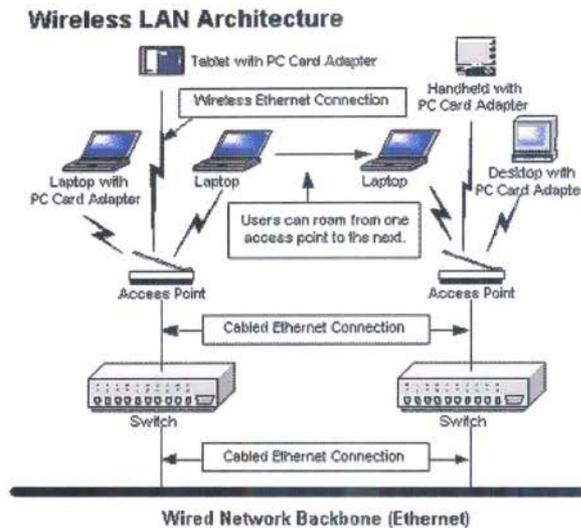


**ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΑΡΤΑΣ**  
Σχολή ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ  
Τμήμα ΤΗΛΕΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ**  
ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ**  
ΤΖΙΑΧΡΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΕΞ:Θ'  
Α.Μ:2098

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ**  
ΤΣΙΑΝΤΗΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΥΓΕΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ Υ. & Δ.  
ΠΡΩΤ 4510  
20/11/2020



## Περιεχόμενα

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>3</b>
<b>ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>5</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>9</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b> .....	<b>9</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ</b> .....	<b>9</b>
2.1 Πλεονεκτήματα.....	9
2.2 Μειονεκτήματα.....	10
2.3 Εφαρμογές.....	11
2.4 Πρότυπα των Wireless LANs.....	12
2.4.1 IEEE 802.11.....	12
2.4.2 HiperLan.....	12
2.4.3 HomeRF SWAP.....	13
2.4.4 Bluetooth.....	13
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b> .....	<b>14</b>
<b>ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.11</b> .....	<b>14</b>
3.1 Το πρότυπο 802.11b.....	15
3.2 Το πρότυπο 802.11a.....	15
3.3 Τοπολογία του IEEE 802.11.....	15
3.4 Δομικά στοιχεία ενός WLAN.....	17
3.4.1 Συσκευές χρηστών (End-user devices).....	17
3.4.2 Λογισμικό δικτύου (Network Software).....	17
3.4.3 Ασύρματες κάρτες δικτύου (Wireless NICs).....	17
3.4.4 Ασύρματες Τοπικές Γέφυρες (Wireless Local Bridges).....	17
3.4.5 Κεραίες (Antennas).....	18
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b> .....	<b>19</b>
<b>ΤΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ MAC ΣΤΟ 802.11</b> .....	<b>19</b>
4.1 Λειτουργίες του υποστρώματος MAC.....	19
4.2 Πρόσβαση στο ασύρματο μέσο.....	19
4.3 Χρονικά διαστήματα πρόσβασης.....	20
4.4 Λειτουργία του μηχανισμού πρόσβασης DCF.....	22
4.4.1 Μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος.....	22
4.4.2 Λειτουργία του DCF με τη μέθοδο CSMA/CA.....	22
4.4.3 Διαδικασία επαλήθευσης από το υποστρώμα MAC.....	23
4.4.4 Διαδικασία υποχώρησης.....	24
4.4.5 Λειτουργία του DCF με την χρήση RTS/CTS.....	26
4.5 Λειτουργία του μηχανισμού πρόσβασης PCF.....	27
4.6 Δομή του MAC πλαισίου.....	28
4.6.1 Κατηγορίες πλαισίων.....	28
4.6.2 Η τεχνική του τεμαχισμού.....	29
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b> .....	<b>32</b>
<b>ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ ΤΟΥ 802.11b</b> .....	<b>32</b>
5.1 Αρχιτεκτονική του φυσικού στρώματος.....	32
5.2 Λειτουργίες του φυσικού στρώματος (Physical Layer Operations).....	33
5.3 Το Φυσικό Στρώμα του 802.11 με χρήση της τεχνικής Spread Spectrum.....	33
5.3.1 Το υποστρώμα PMD FHSS.....	34
5.3.1.1 Η λειτουργία της μεταπήδησης συχνότητας.....	34
5.3.1.2 Η λειτουργία διαμόρφωσης συχνότητας FHSS.....	35

5.3.2 Το υποστρώμα PMD DSSS.....	36
5.3.2.1 Η λειτουργία του DSSS.....	36
5.3.2.2 Η λειτουργία διαμόρφωσης συχνότητας DSSS.....	37
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....</b>	<b>39</b>
<b>ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ.....</b>	<b>39</b>
6.1 Σχεδίαση και Υλοποίηση μοντέλου ενός Server με ένα Client.....	39
6.1.1 Δοκιμή του ασύρματου δικτύου που σχεδιάστηκε.....	40
6.2 Σχεδίαση και Υλοποίηση μοντέλου ενός Server με δύο Clients.....	44
6.2.1 Δοκιμή του ασύρματου δικτύου που σχεδιάστηκε.....	44
6.2.2 Διαμοιρασμός εύρους ζώνης (Bandwidth Sharing).....	46
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....</b>	<b>48</b>
<b>ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ.....</b>	<b>48</b>
7.1 Σχεδίαση και Υλοποίηση μοντέλου ενός Server με ένα Client.....	48
7.1.1 Δοκιμή του ασύρματου δικτύου που σχεδιάστηκε.....	49
7.2 Σχεδίαση και Υλοποίηση μοντέλου ενός Server με δύο Clients.....	53
7.2.1 Δοκιμή του ασύρματου δικτύου που σχεδιάστηκε.....	53
7.2.2 Διαμοιρασμός εύρους ζώνης (Bandwidth Sharing).....	55
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....</b>	<b>57</b>
<b>ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....</b>	<b>57</b>
8.1 Εφαρμογές που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν στο μέλλον.....	57
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....</b>	<b>59</b>

## Λίστα Εικόνων

Εικόνα 2.1 Το φαινόμενο της ‘παρεμβολής λόγω πολλαπλών διαδρομών’.....	11
Εικόνα 3.1 IEEE 802.11 και OSI model.....	14
Εικόνα 3.2 Infrastructure Mode.....	16
Εικόνα 3.3 Ad – Hoc Mode.....	16
Εικόνα 3.4 Διασύνδεση δικτύων με local και remote γέφυρες.....	18
Εικόνα 4.1 Η αρχιτεκτονική του επιπέδου MAC του 802.11.....	20
Εικόνα 4.2 Τα 3 κυριότερα IFS που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των διάφορων πλαισίων που μετακινούνται μέσα στο 802.11 δίκτυο.....	20
Εικόνα 4.3 Σχηματική αναπαράσταση του βασικού μηχανισμού πρόσβασης DCF...23	
Εικόνα 4.4 Σχηματική αναπαράσταση της τεχνικής της θετικής επαλήθευσης.....	24
Εικόνα 4.5 Η διαδικασία της υποχώρησης στην περίπτωση που 5 σταθμοί θέλουν να μεταδώσουν.....	25
Εικόνα 4.6 Η εκθετική αύξηση του CW μετά από ανεπιτυχείς μεταδόσεις.....	26
Εικόνα 4.7 Λειτουργία DCF με αποστολή και λήψη πακέτων RTS και CTS.....	27
Εικόνα 4.8 Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του PCF.....	28
Εικόνα 4.9 Μετά το polling του σταθμού 3 (ο οποίος δεν έχει πακέτα προς μετάδοση) σειρά έχει ο σταθμός 4, ο οποίος μεταδίδει τα δεδομένα που θέλει (U4). Το πακέτο CFend που αποστέλλεται από τον PC δηλώνει το τέλος της CFP.....	28
Εικόνα 4.10 Η γενική δομή ενός MAC πλαισίου.....	31
Εικόνα 4.11 Τεμαχισμός ενός MSDU σε μικρότερα πακέτα.....	32
Εικόνα 4.12 Διαδικασία αποστολής ενός πλαισίου με την μέθοδο του τεμαχισμού...32	
Εικόνα 5.1 Η αρχιτεκτονική του υποστρώματος MAC και του φυσικού στρώματος όπως αυτή καθορίζεται από το 802.11.....	33
Εικόνα 5.2 Η εξάπλωση του σήματος στην περιοχή των συχνοτήτων με τη χρήση της τεχνικής Spread Spectrum.....	34
Εικόνα 5.3 Ακολουθία μεταπήδησης συχνότητας σε συνάρτηση με το χρόνο.....	35
Εικόνα 5.4 Η διαμόρφωση GFSK χρησιμοποιεί 2 δυνατές συχνότητες για κάθε hop ώστε να δηλώνει αν ένα bit δεδομένων είναι 1 ή 0.....	36
Εικόνα 5.5 Αναπαράσταση ενός bit από μια ακολουθία θετικών και αρνητικών μονάδων (1).....	37
Εικόνα 5.6 Μετάδοση δεδομένων με χρήση της τεχνικής DBPSK.....	38
Εικόνα 6.1 Σχεδιασμός του indoor WLAN.....	39
Εικόνα 6.2 Throughput σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που κατεβάζει ο χρήστης με το HTTP πρωτόκολλο.....	41
Εικόνα 6.3 Throughput σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που κατεβάζει ο χρήστης με το FTP πρωτόκολλο.....	41
Εικόνα 6.4 Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 10 MB με χρήση του HTTP πρωτοκόλλου από τον Server στον Client.....	42
Εικόνα 6.5 Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 20 MB με χρήση του HTTP πρωτοκόλλου από τον Server στον Client.....	42
Εικόνα 6.6 Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 10 MB από τον Server στον Client με την χρήση του πρωτοκόλλου FTP.....	43

Εικόνα 6.7 Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 20 MB από τον Server στον Client με την χρήση του πρωτοκόλλου FTP.....	43
Εικόνα 6.8 Σχεδιασμός ασύρματου δικτύου με δύο χρήστες .....	44
Εικόνα 6.9 Throughput για κάθε χρήστη, σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που κατεβάζει ο χρήστης με το HTTP πρωτόκολλο.....	45
Εικόνα 6.10 Throughput για κάθε χρήστη, σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που κατεβάζει ο χρήστης με το FTP πρωτόκολλο.....	45
Εικόνα 6.11 Μεταβολή του throughput κάθε χρήστη όταν παραλαμβάνουν το αρχείο των 40 MB.....	46
Εικόνα 6.12 Μεταβολή του throughput κάθε χρήστη όταν παραλαμβάνουν το αρχείο των 50 MB.....	46
Εικόνα 7.1 Σχεδιασμός ενός outdoor WLAN .....	49
Εικόνα 7.2 Throughput σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που κατεβάζει ο χρήστης με το HTTP πρωτόκολλο.....	50
Εικόνα 7.3 Throughput σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που κατεβάζει ο χρήστης με το FTP πρωτόκολλο.....	50
Εικόνα 7.4 Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 10 MB με χρήση του HTTP πρωτοκόλλου από τον Server στον Client.....	51
Εικόνα 7.5 Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 20 MB με χρήση του HTTP πρωτοκόλλου από τον Server στον Client.....	51
Εικόνα 7.6 Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 10 MB από τον Server στον Client με την χρήση του πρωτοκόλλου FTP.....	52
Εικόνα 7.7 Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 20 MB από τον Server στον Client με την χρήση του πρωτοκόλλου FTP.....	52
Εικόνα 7.8 Σχεδιασμός ενός outdoor WLAN με δύο Clients .....	53
Εικόνα 7.9 Μεταβολή throughput για κάθε χρήστη, σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που κατεβάζει ο χρήστης με το HTTP πρωτόκολλο.....	54
Εικόνα 7.10 Μεταβολή throughput για κάθε χρήστη, σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που κατεβάζει ο χρήστης με το FTP πρωτόκολλο.....	54
Εικόνα 7.11 Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 10 MB με χρήση του HTTP πρωτοκόλλου από τον Server στον Client 1.....	55
Εικόνα 7.12 Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 10 MB με χρήση του HTTP πρωτοκόλλου από τον Server στον Client 2.....	55
Εικόνα 7.13 Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 20 MB με χρήση του HTTP πρωτοκόλλου από τον Server στον Client 1.....	56
Εικόνα 7.14 Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 20 MB με χρήση του HTTP πρωτοκόλλου από τον Server στον Client 2.....	56

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δυνατότητα για πρόσβαση σε πληροφορίες από οπουδήποτε και οποτεδήποτε φαίνεται ότι θα χαρακτηρίσει τη πληροφορική και τη κοινωνία του 21ου αιώνα. Η δυνατότητα αυτή υποστηρίζεται από συστήματα ψηφιακών ασύρματων επικοινωνιών βασισμένα στις τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας, προσωπικών συστημάτων επικοινωνίας (PCS), δορυφορικών επικοινωνιών (περιλαμβανόμενης και ασύρματης υψηλής ταχύτητας πρόσβασης στο Διαδίκτυο μέσω δορυφόρων) και ασύρματων τοπικών δικτύων.

Τα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών αναπτύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του '90, κυρίως λόγω Ι) της ανάγκης για διασύνδεση απομακρυσμένων ενσύρματων τοπικών δικτύων (LAN) με μεγάλες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, και ΙΙ) της απαίτησης των χρηστών για πρόσβαση σε υπηρεσίες (που τα κοινά ενσύρματα δίκτυα προσφέρουν) από οποιοδήποτε μέρος, οποιαδήποτε ώρα της ημέρας.

Η δικτύωση των υπολογιστών αποτελεί σήμερα τον πρωταρχικό στόχο κάθε χρήστη ο οποίος επιθυμεί να επικοινωνεί με κάποιον άλλο χρήστη μέσω του υπολογιστή του ή ακόμα και για να κάνει χρήση των υπηρεσιών που προσφέρει κάθε δίκτυο. Άλλες φορές, η εγκατάσταση ενός ενσύρματου δικτύου είναι εύκολη υπόθεση, κυρίως όταν πρόκειται για κοντινή απόσταση των δύο υπολογιστών, ενώ άλλες φορές προκύπτει μία πολύπλοκη διαδικασία, όταν δεν είναι εφικτή η εγκατάσταση καλωδίων. Η λύση σε τέτοιου είδους προβλήματα δίνεται με την εγκατάσταση ενός ασύρματου δικτύου.

Σε κάθε περίπτωση όμως, η δικτύωση υπολογιστών με ασύρματο τρόπο, αποτελεί μία νέα, ανταγωνιστική με τα ενσύρματα δίκτυα, τεχνολογία. Η έρευνα εστιάζεται στο πως τα ασύρματα δίκτυα θα προσφέρουν ταχύτητα όμοια με αυτή που προσφέρουν τα ενσύρματα, έτσι ώστε σε συνδυασμό με την χωρίς καλώδια επικοινωνία, να καλύψουν κάθε απαιτητικό χρήστη. Παράλληλα όμως με την έρευνα για την βελτίωση των επιδόσεων ενός τέτοιου δικτύου, πολλές είναι και οι εφαρμογές που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν με τα ασύρματα δίκτυα, οι οποίες είναι κοινές με τα ενσύρματα. Σε αρχικό στάδιο ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να προσφέρει πρόσβαση σε όποιον χρήστη σε δεδομένα που επιθυμεί, χωρίς να έχει ως κύριο μέλημα την ταχύτητα. Όπως γίνεται με κάθε τεχνολογία όμως έτσι και τα ασύρματα δίκτυα εξελίσσονται για να καλύψουν κάθε ανάγκη. Έτσι στις μέρες μας η τεχνολογία αυτή καλύπτει ένα πολύ ευρύ φάσμα εφαρμογών και ενσωματώνει ένα πλήθος τεχνολογικών θεμάτων. Η παρούσα πτυχιακή εργασία δεν είχε ως στόχο την παρουσίαση κάθε τέτοιας εφαρμογής γι αυτό και έγινε μία απλή αναφορά τους.

Για να είναι εφικτή όμως αυτή η διασύνδεση ενσύρματων τοπικών δικτύων και επιπλέον να μπορεί ο τελικός χρήστης να έχει πρόσβαση τόσο σε ενσύρματα όσο και σε ασύρματα δίκτυα με την χρήση μόνο ενός τερματικού (π.χ. PC), οι παγκόσμιοι οργανισμοί δημιουργίας προτύπων (Standardization bodies) δημιούργησαν και θέσπισαν πρότυπα λειτουργίας τα οποία ένα ασύρματο δίκτυο πρέπει να ακολουθεί. Τα πρότυπα αυτά περιγράφουν τον τρόπο λειτουργίας ενός ασύρματου δικτύου στο φυσικό επίπεδο (PHY - Physical Layer) και στο επίπεδο διασύνδεσης (DLL - Data Link Layer), και εστιάζονται στον τρόπο λειτουργίας του Medium Access Control (MAC) ημι-επιπέδου.

Μετά την εισαγωγή που κάναμε για τις διάφορες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας, στο επόμενο κεφάλαιο, το κεφάλαιο δύο, κάνουμε μια αναφορά στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των Ασύρματων Τοπικών Δικτύων (WLANs). Κλείνουμε αυτό το κεφάλαιο με μία αναφορά στα διάφορα στάνταρ που

αναπτύχθηκαν με το πέρασμα των χρόνων και τα οποία είναι απαραίτητα για να γίνει εφικτή η ασύρματη επικοινωνία δύο ή περισσότερων σταθμών.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναπτύσσεται το πρότυπο IEEE 802.11 και στα συμπληρωματικά πρότυπα 802.11a και 802.11b, τα οποία θεσπίστηκαν από την IEEE. Τα αντικείμενα ανάπτυξης αφορούν, τοπολογία του δικτύου και τα δομικά συστατικά του.

Το κεφάλαιο τέσσερα, μιλάει για το υπόστρωμα ελέγχου προσπέλασης στο μέσο μετάδοσης (MAC) στο πρότυπο 802.11b. Γι' αυτό το σκοπό αναφέρονται οι λειτουργίες ελέγχου και διαδικασίας πρόσβασης στο μοιραζόμενο φυσικό κανάλι που παρέχονται από στο MAC.

Άλλο ένα στρώμα που η λειτουργία του καθορίζει την λειτουργία κάθε ασύρματης επικοινωνίας που στηρίζεται στο πρότυπο 802.11b, περιγράφεται στο πέμπτο κεφάλαιο. Πρόκειται για το Φυσικό Στρώμα (PHY). Το κεφάλαιο αυτό μιλάει για την αρχιτεκτονική του στρώματος, τις λειτουργίες και τις τεχνικές που υπάρχουν για την μετάδοση του σήματος από τον ένα σταθμό σε κάποιον άλλο.

Στα δύο επόμενα κεφάλαια περιγράφονται τα πειράματα που έγιναν για την αξιολόγηση των επιδόσεων των WLANs που κάνουν χρήση του 802.11b στάνταρ. Στο έκτο κεφάλαιο σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα ασύρματο δίκτυο, μέσα σε κλειστό χώρο (indoor WLAN). Στο έβδομο κεφάλαιο σχεδιάστηκε ένα παρόμοιο σε αρχιτεκτονική δίκτυο με το indoor, με την διαφορά ότι υλοποιήθηκε σε εξωτερικό χώρο (outdoor WLAN). Μετά το τέλος κάθε πειράματος ακολούθησαν γραφικές αναπαραστάσεις για κάθε παράμετρο που θέλαμε να αξιολογήσουμε, καθώς επίσης και σχολιασμός αποτελεσμάτων.

## Κεφάλαιο 2

### Εισαγωγή στα Ασύρματα Δίκτυα Τοπικής Περιοχής

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (Wireless LAN) είναι ένα σύστημα επικοινωνίας το οποίο καθιστά δυνατή την διασύνδεση (και μεταφορά δεδομένων) - μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων - κινητών ή ακίνητων χρηστών. Η συνηθισμένη ακτίνα δράσης ενός τέτοιου δικτύου εκτείνεται από αρκετά μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα, δίνοντας τη δυνατότητα για την διασύνδεση των γραφείων μιας εταιρείας, αλλά ακόμα και γειτονικά κτίρια. Η σύνδεση ενός ασύρματου δικτύου με ένα ενσύρματο, δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να έχουν πρόσβαση και στους πόρους του ενσύρματου δικτύου, εκτός από τους πόρους του ασύρματου.

#### 2.1 Πλεονεκτήματα

Μερικοί από τους βασικότερους από τους λόγους που τα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (WLAN) κερδίζουν συνεχώς έδαφος στην αγορά, είναι:

- **Συνεργασία και συμβατότητα με τα ενσύρματα δίκτυα.** Για να μπορέσει ο χρήστης να έχει πρόσβαση τόσο σε ενσύρματα όσο και σε ασύρματα δίκτυα με τη χρήση ενός μόνο τερματικού (π.χ. PC), έπρεπε να δημιουργηθούν και να θεσπιστούν κάποια πρότυπα επικοινωνίας/μετάδοσης. Έτσι το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE), δημιούργησε το 802.11 standard για ασύρματα δίκτυα που είναι ευρέως γνωστό ως Wireless LAN (WLAN). Το στάνταρ αυτό περιγράφει τον τρόπο λειτουργίας ενός ασύρματου δικτύου στο φυσικό επίπεδο (Physical Layer – PHY) και στο επίπεδο διασύνδεσης (Data Link Layer) και εστιάζονται στον τρόπο λειτουργίας του Media Access Control (MAC) ημι-επιπέδου.
- **Λειτουργία χωρίς άδεια.** Οι περιοχές/συχνότητες λειτουργίας των WLAN (γνωστές και ως ISM – Industrial Scientific and Medical) έχουν καθοριστεί από διεθνείς οργανισμούς, και έχουν γίνει αποδεκτές από το μεγαλύτερο μέρος των κυβερνήσεων (παγκοσμίως) καθώς και από τους αντίστοιχους οργανισμούς επίβλεψης και λειτουργία του ραδιοφωνικού φάσματος. Αυτές οι συχνότητες περιλαμβάνουν (μεταξύ των άλλων) τις περιοχές των 2.4GHz (2.4-2.8GHz) και των 5GHz (5.7-5.8GHz).
- **Κινητικότητα (mobility).** Τα WLAN παρέχουν τη δυνατότητα στους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες ενώ βρίσκονται σε κίνηση σε πραγματικό χρόνο. Μία τέτοια εφαρμογή συναντάμε στους αγώνες ταχύτητας. Τα αυτοκίνητα έχουν σύνθετα συστήματα επεξεργασίας που παρακολουθούν και ελέγχουν τα διάφορα όργανα που βρίσκονται στο αυτοκίνητο. Καθώς το αυτοκίνητο αγωνίζεται στον αγώνα, πληροφορίες που αφορούν τα όργανά του, φορτώνονται στον κεντρικό υπολογιστή, καθιστώντας ικανή μια ανάλυση σε πραγματικό χρόνο της επίδοσης του αυτοκινήτου.

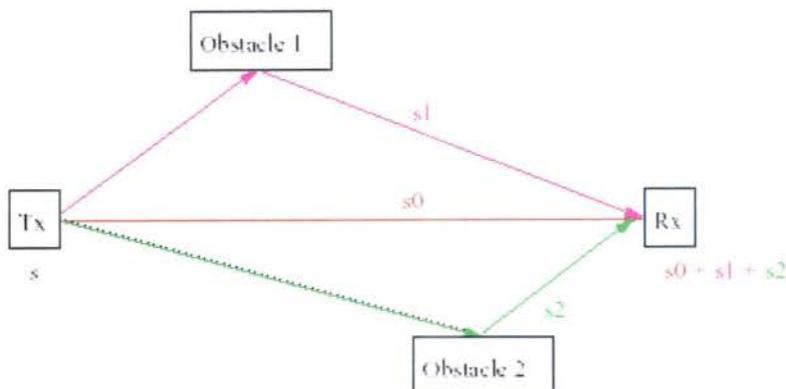
- **Γρήγορη και εύκολη εγκατάσταση.** Η εγκατάσταση ενός ασύρματου δικτύου μειώνει δραματικά την ανάγκη χρήσης καλωδίων (για την μεταφορά δεδομένων μεταξύ υπολογιστών) η οποία – μεταξύ των άλλων - απαιτεί κόπο, χρόνο και επιπλέον κόστος. Με αυτό τον τρόπο διευκολύνεται η λειτουργία ενός δικτύου σε μέρη που η εγκατάσταση καλωδίων είναι αδύνατη όπως για παράδειγμα δύο γειτονικά κτίρια ή οι απέναντι πλαγιές ενός βουνού. Επίσης η εγκατάσταση ενός ασύρματου δικτύου σε ένα κτίριο, μπορεί να γίνει και μετά την ολοκλήρωση κατασκευής του τελευταίου, σε αντίθεση με το ενσύρματο που απαιτεί μελέτη και εγκατάσταση ειδικών καναλιών για την εισαγωγή καλωδίων.
- **Αύξηση της παραγωγικότητας.** Όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα έχουν ως συνέπεια την αύξηση της παραγωγικότητας, κυρίως σε επιχειρήσεις όπου η κινητικότητα και γρήγορη πρόσβαση στα δεδομένα της επιχείρησης είναι απαραίτητες. Για παράδειγμα οι εργαζόμενοι μιας εταιρίας, έχουν πρόσβαση σε όποιο αρχείο η σε όποια βάση δεδομένων χρειάζονται, που βρίσκονται σε κάποιον server, από οπουδήποτε και αν βρίσκονται εντός της εμβέλειας του ασύρματου δικτύου. Αυτό βοηθάει τους εργαζόμενους να αποδίδουν καλύτερα, διότι μπορούν να επιλέξουν οι ίδιοι πού θα εργαστούν και να έχουν πρόσβαση στα αρχεία που χρειάζονται ανά πάσα στιγμή και από οποιοδήποτε σημείο της επιχείρησης εξοικονομώντας χρόνο.

## 2.2 Μειονεκτήματα

Η χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων για την μετάδοση των σημάτων κάνουν τα WLAN ευπαθή σε πολλά φαινόμενα παρεμβολής τα οποία αλλοιώνουν σε μικρό ή μεγάλο βαθμό την επικοινωνία των ασύρματων χρηστών.

- **Ασφάλεια.** Τα ασύρματα δίκτυα μειονεκτούν από πλευράς παρεχόμενης ασφάλειας. Ειδικότερα τα ασύρματα δίκτυα τα οποία είναι εγκατεστημένα σε εξωτερικό περιβάλλον, είναι επιρρεπή σε παρεμβολές από τρίτους, που μπορεί να οδηγήσουν ακόμα και σε υποκλοπή δεδομένων. Για την αντιμετώπιση τέτοιου είδους ενεργειών η γνωστότερη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι ένας μηχανισμός κρυπτογράφησης που είναι γνωστός ως Wired Equivalent Privacy (WEP), με σκοπό να προσφέρει ασφάλεια στο WLAN παρόμοια με αυτή που προσφέρεται και στα Ethernet LANs. Αναλυτικότερη περιγραφή για θέματα ασφάλειας θα δοθούν σε επόμενη ενότητα.
- **Ακριβό hardware.** Για την υλοποίηση ενός ασύρματου δικτύου απαιτείται επιπλέον ηλεκτρονικός εξοπλισμός σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό ότι αποτελούν μια νέα τεχνολογία, ανεβάζουν το κόστος αγοράς τους.
- **Παρεμβολές.** Τα ασύρματα δίκτυα είναι ευάλωτα στις παρεμβολές. Οι παρεμβολές μπορεί να προέρχονται από απλές ηλεκτρονικές συσκευές, ακόμα και από ανακλώμενα σήματα. Τα ανακλώμενα αυτά σήματα οφείλονται στην ύπαρξη διαφόρων επιφανειών και εμποδίων που βρίσκονται εντός του πεδίου λειτουργίας μέσα στο οποίο πραγματοποιείται η μετάδοση ενός σήματος από έναν πομπό σε ένα δέκτη. Ένα τέτοιο φαινόμενο είναι και η 'παρεμβολή λόγω πολλαπλών διαδρομών' ή 'πολύδοξη διάδοση' (multipath propagation). Ο συνολικός χρόνος καθυστέρησης

μεταξύ των ανακλώμενων σημάτων σε σχέση με το αρχικό σήμα (primary signal) αναφέρεται ως delay spread.



Εικόνα 2.1 Το φαινόμενο της 'παρεμβολής λόγω πολλαπλών διαδρομών'.

Παρεμβολές ωστόσο έχουμε και από ηλεκτρονικές συσκευές οι οποίες λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων με αυτή που λειτουργούν τα ασύρματα δίκτυα. Μία τέτοια συσκευή είναι οι φούρνοι μικροκυμάτων οι οποίοι λειτουργούν στα 2,4 GHz, όπως συμβαίνει και με τα ασύρματα δίκτυα που κάνουν χρήση του πρωτοκόλλου 802.11x.

- **Ασυμβατότητα συστημάτων.** Στην κατασκευή ενός WLAN θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η ασυμβατότητα (interoperability) μεταξύ προϊόντων διαφορετικών κατασκευαστών, διαφορετικά το δίκτυο δε θα λειτουργεί σωστά. Οι λόγοι ασυμβατότητας είναι οι εξής:

- *Διαφορετική τεχνολογία:* Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί την τεχνολογία διαμόρφωσης Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) δε θα επικοινωνεί με ένα άλλο που βασίζεται στην τεχνολογία διαμόρφωσης Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS).

- *Χρήση διαφορετικού φάσματος συχνοτήτων:* Η επικοινωνία μεταξύ συσκευών που λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες δεν είναι δυνατή ακόμα και αν χρησιμοποιείται η ίδια τεχνολογία.

- *Διαφορετική υλοποίηση:* Ακόμα και να χρησιμοποιείται η ίδια τεχνολογία και το ίδιο φάσμα συχνοτήτων μπορεί να μην είναι δυνατή η επικοινωνία λόγω διαφορετικών παραμέτρων υλοποίησης από κάθε κατασκευαστή.

## 2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Τα ασύρματα δίκτυα βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς της καθημερινής μας ζωής, καθώς και σε πληθώρα επαγγελματικών και εμπορικών δραστηριοτήτων. Μερικές από αυτές τις εφαρμογές είναι σε:

- **Επιχειρήσεις.** Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να βρουν εφαρμογή σε κάθε είδους επιχείρηση. Με ένα WLAN οι εργαζόμενοι μπορούν να εκμεταλλευθούν το

ασύρματο δίκτυο για αποστολή e-mail, πρόσβαση σε αρχεία, βάσεις δεδομένων και πρόσβαση στο Internet, ανεξάρτητα από την θέση στο κτίριο που έχει το γραφείο του εργαζόμενου, ακόμη και χωρίς να βρίσκεται σε αυτό.

- **Εκπαίδευση.** Με τη χρήση WLAN από τα ακαδημαϊκά ιδρύματα οι φοιτητές μπορούν να έχουν πρόσβαση μέσω laptops στο πανεπιστημιακό δίκτυο. Με την χρήση laptop, γίνεται εφικτή και η τηλε-εκπαίδευση αφού όταν αποθηκεύονται διαλέξεις μαθημάτων σε μορφή βίντεο σε κάποιον server, μπορεί κάθε φοιτητής που έχει πρόσβαση στο ασύρματο δίκτυο να παρακολουθεί τις διαλέξεις αυτές ακόμα και από το σπίτι του.

- **Υγεία.** Μεγάλη είναι και η κλίμακα εφαρμογών των ασύρματων δικτύων στα νοσοκομεία. Παράδειγμα αποτελούν οι πληροφορίες για την υγεία κάποιου ασθενούς που βρίσκεται στο νοσοκομείο, επιτρέποντας σε γιατρούς και νοσοκόμες, να μαθαίνουν ανά πάσα στιγμή την κατάσταση της υγείας του ασθενούς. Αποκτώντας οι γιατροί και οι νοσοκόμες laptops, μπορούν να επικοινωνήσουν ασύρματα με κάποιον server είτε για να ενημερωθούν για το ιατρικό ιστορικό του ασθενούς, είτε να γνωρίσουν στοιχεία για την πορεία της υγείας του. Έτσι για κάθε τυχόν αλλαγή στην υγεία του ασθενούς, όπως και κάθε αποτέλεσμα εξετάσεων που του γίνονται, μπορεί να ενημερωθεί η βάση δεδομένων που βρίσκεται στον server, από τον γιατρό ή τη νοσοκόμα.

## 2.4 Πρότυπα των Wireless LANs

Για την υλοποίηση ενός ασύρματου δικτύου τοπικής περιοχής πρέπει να επιλεγεί ένα από τα standard που έχουν θεσπίσει διάφοροι οργανισμοί τα τελευταία χρόνια. Στη συνέχεια παραθέτουμε τα σπουδαιότερα.

### 2.4.1 IEEE 802.11

Το IEEE 802.11, το οποίο δημιουργήθηκε τον Ιούνιο του 1997, υποστήριζε ρυθμούς δεδομένων της τάξεως των 1 Mbps και 2Mbps και λειτουργεί στα 2.4 GHz. Με το πέρασμα των χρόνων δημιουργήθηκε ανάγκη για δημιουργία νέων συμπληρωματικών προτύπων από την IEEE. Τα νέα αυτά πρότυπα που είναι βασισμένα στο 802.11 και είναι το 802.11a και το 802.11b. Καθένα λειτουργεί σε διαφορετική περιοχή συχνοτήτων και υποστηρίζει διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Περισσότερες λεπτομέρειες για αυτά τα standards θα δοθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

### 2.4.2 HiperLan

Το HiperLan καθιερώθηκε από την ETSI (European Telecommunications Standards Institute) το 1996 και αποτελείται από δύο εκδόσεις. Η πρώτη είναι το HiperLan I. Το πρότυπο αυτό λειτουργεί στη συχνότητα των 5 GHz και προσφέρει ένα ρυθμό δεδομένων της τάξης των 24 Mbps με χρήση της GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Το πρότυπο αυτό χρησιμοποιεί μία παραλλαγή του

CSMA/CA η οποία στηρίζεται στο χρόνο ζωής του πακέτου, την προτεραιότητα των πακέτων και τις αναμεταδόσεις στο επίπεδο MAC.

Στην δεύτερη έκδοσή του standard, το HiperLan II, αλλάζει η τεχνική διαμόρφωσης που έχει επιλεγεί να είναι η OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing), ενώ υποστηρίζει διάφορους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων (6, 9, 12, 18, 27, 36 και 54 Mbps). Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στο υπόστρωμα MAC στηρίζεται σε μία διαφοροποιημένη λειτουργία της τεχνικής TDMA.

### **2.4.3 HomeRF SWAP**

Η HomeRF είναι μια ομάδα από μεγάλες εταιρίες που δημιουργήθηκε για να προωθήσει την χρήση των WLAN στο σπίτι και στα γραφεία. Η ομάδα αυτή έχει αναπτύξει ένα νέο πρωτόκολλο για τον σκοπό αυτό, το οποίο ονομάζεται SWAP (Shared Wireless Access Protocol).

Το SWAP χρησιμοποιεί στο υπόστρωμα MAC ένα νέο πρωτόκολλο, το οποίο συνδυάζει χαρακτηριστικά και λειτουργίες από το DECT (ένα Standard της ETSI για ψηφιακά ασύρματα τηλέφωνα) και το 802.11. Η συχνότητα λειτουργίας είναι τα 2.4 GHz, ενώ στο φυσικό στρώμα χρησιμοποιείται η τεχνική FHSS, υποστηρίζοντας ρυθμούς δεδομένων της τάξης των 1 Mbps και 2 Mbps.

### **2.4.4 Bluetooth**

Το πρότυπο Bluetooth που δημιουργήθηκε από τις Ericsson, IBM, Toshiba, Intel, Nokia και Motorola και υποστηρίζεται από άλλες 1900 εταιρίες, είναι το de facto πρότυπο για μικρών επιδόσεων ασύρματη δικτύωση ηλεκτρονικών συσκευών (κινητά, PDA, PC, εκτυπωτές, fax, modem, ηλεκτρολογία κ.τ.λ.) με χαμηλή κατανάλωση (0,01 W) και χαμηλό κόστος.

Τα δίκτυα αυτά ονομάζονται PAN (Personal Area Networks, Δίκτυα Προσωπικού Χώρου) γιατί σε αντίθεση με τα LAN, ο χώρος ο οποίος καλύπτεται είναι πολύ λίγα μέτρα. Τα PAN έχουν ουσιαστικά σχεδιαστεί με σκοπό την κατάργηση των καλωδίων. Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων είναι μέχρι 1Mbps ενώ είναι δυνατή και η ταυτόχρονη μεταφορά ήχου. Η συχνότητα που εκπέμπονται τα δεδομένα είναι τα 2,4GHz ενώ χρησιμοποιείται η τεχνική εναλλαγής συχνότητας (FHSS). Το Bluetooth υποστηρίζει τόσο άμεση επικοινωνία ανάμεσα σε δύο συσκευές (point to point) όσο και επικοινωνία πολλών συσκευών με ένα Access Point (point to multipoint). Η χωρητικότητά του είναι 8 συσκευές ανά δίκτυο αλλά η μέθοδος εναλλαγής συχνοτήτων (1600 εναλλαγές ανά δευτερόλεπτο σε 79 κανάλια) επιτρέπει σε περισσότερα από 1 δίκτυα να συνυπάρχουν στον ίδιο χώρο. Η ελάχιστη απόσταση ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη είναι 10 εκατοστά και η μέγιστη 10 μέτρα. Από πλευράς ασφάλειας, αν και το Bluetooth δεν παρέχει ιδιαίτερα υψηλό επίπεδο, η μικρή του εμβέλεια περιορίζει τον κίνδυνο.

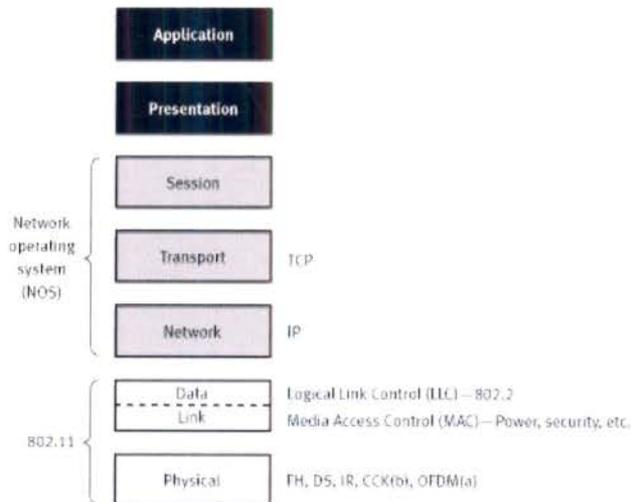
## Κεφάλαιο 3

### Το πρότυπο 802.11

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη ενότητα, η IEEE θέσπισε το 802.11 standard για τα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (WLAN) το 1997. Υποστηρίζει ταχύτητες έως 2 Mbps. Η IEEE θέσπισε όπως είπαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο δύο νέα συμπληρωματικά standard για τα WLAN. Η έκδοση IEEE 802.11b (γνωστή και ως IEEE 802.11 High Rate ή Wi-Fi) δημιουργήθηκε τον Ιούλιο του 1998 και έχει ταχύτητα 11Mbps ενώ η έκδοση IEEE 802.11a, που βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της ανάπτυξης, προβλέπει ταχύτητες μέχρι 54Mbps. Όπως όλα τα πρότυπα 802 της IEEE, το 802.11x επικεντρώνεται στα κατώτατα 2 επίπεδα του μοντέλου OSI, το φυσικό και το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων όπως δείχνει η εικόνα 1.

Το IEEE 802.11 πρότυπο τοποθετεί προδιαγραφές στις παραμέτρους και στο φυσικών (PHY) και στο MAC ημι-επίπεδο του δικτύου. Το στρώμα PHY, που χειρίζεται πραγματικά τη διαβίβαση στοιχείων μεταξύ των κόμβων, μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε την Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) είτε την Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS), είτε Infrared (IR). Αναλυτικότερη περιγραφή για το PHY θα δοθεί σε επόμενη ενότητα.

Το MAC αποτελεί ένα από τα δύο υποστρώματα του στρώματος σύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer) του 802.11. Το άλλο στρώμα είναι το Logical Link Control (LLC). Στο MAC γίνεται χρήση του Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) πρωτοκόλλου, το οποίο βοηθάει στην αποφυγή συγκρούσεων (collisions) αναγκάζοντας τον πομπό να στείλει ένα ειδικό πακέτο πριν αρχίσει την εκπομπή των δεδομένων του, για να ελέγξει αν το κανάλι μετάδοσης είναι ελεύθερο. Αν ισχύει αυτό προχωράει στην μετάδοση των δεδομένων του. Το ειδικό αυτό πακέτο ονομάζεται Acknowledgment (ACK). Περισσότερα για την λειτουργία του MAC υποστρώματος θα πούμε σε επόμενη ενότητα.



Εικόνα 3.1. 802.11 and the ISO Model

### 3.1 Το πρότυπο 802.11b

Το πιο κρίσιμο ζήτημα που επηρεάζει την απαίτηση για WLAN υπήρξε ο μειωμένος ρυθμός απόδοσης. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων που υποστηρίζονται από το αρχικό 802.11 πρότυπο είναι χαμηλοί για να υποστηρίξουν περισσότερες γενικές απαιτήσεις σε περιβάλλοντα εργασίας και έχουν καθυστερήσει την υιοθέτηση του WLAN. Αναγνωρίζοντας την κρίσιμη ανάγκη υποστήριξης υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων, η IEEE δημιούργησε το πρότυπο 802.11b ( το οποίο είναι επίσης γνωστό και ως 802.11 High Rate) για μεταδόσεις μέχρι και 11Mbps. Λειτουργεί στην συχνότητα των 2,4 GHz και χρησιμοποιεί την τεχνική DSSS.

Το IEEE 802.11b είναι, ουσιαστικά, το στάνταρ στα ασύρματα δίκτυα Ethernet και υποστηρίζει τόσο επικοινωνία point to point όσο και επικοινωνία point to multipoint. Οι υπολογιστές που βρίσκονται στον ίδιο χώρο, π.χ., μπορούν να οριστούν σε κατάσταση ad hoc και να επικοινωνήσουν άμεσα μεταξύ τους. Η ανάγκη για Access Point (AP) προκύπτει όταν χρειάζεται επικοινωνία με ενσύρματα δίκτυα ή και περιφερειακά ή στην περίπτωση του roaming (π.χ. όταν ο χρήστης ενός φορητού υπολογιστή πρέπει να κινείται μέσα σ' ένα κτίριο).

Οι παγκόσμιοι ρυθμιστικοί οργανισμοί και οι συμμαχίες των κατασκευαστών έχουν επικυρώσει τα νέα πρότυπα υψηλών ρυθμών μετάδοσης, τα οποία υπόσχονται να ανοίξουν την αγορά για WLAN σε επιχειρήσεις μεγάλης και μικρής κλίμακας καθώς και για προσωπική χρήση. Με το 802.11b τα WLAN θα είναι ικανά να επιτύχουν ασύρματα απόδοση και ρυθμούς μετάδοσης συγκρίσιμους με αυτούς στα ενσύρματα δίκτυα Ethernet.

### 3.2 Το πρότυπο 802.11a

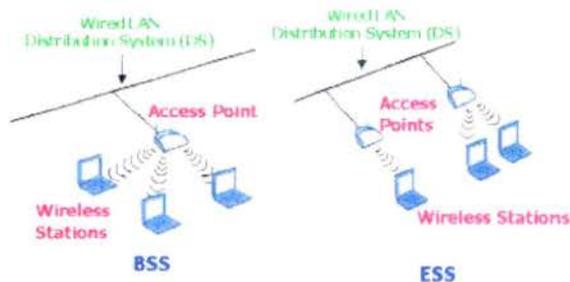
Το 802.11a είναι το νεότερο πρότυπο επικοινωνίας για ασύρματα δίκτυα που αναπτύχθηκε από το Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Υποστηρίζει ταχύτητες πάνω από 54 Mbps και κάνει χρήση της τεχνικής διαμόρφωσης OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) . Παρέχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης και για περισσότερους χρήστες. Χρησιμοποιεί ένα εύρος των 300 MHz και το οποίο βρίσκεται στο επίπεδο των 5 GHz. Το FCC έχει χωρίσει το εύρος ζώνης ανά 100 MHz και κάθε ζώνη έχει διαφορετική ισχύ ως έξοδο. Η χαμηλή ζώνη δουλεύει από 5.15 MHz – 5.25 MHz και μέγιστη έξοδο ισχύος τα 50 mW. Η μέση ζώνη λειτουργεί στα 5.25 MHz – 5.35 MHz και μέγιστη έξοδο ισχύος τα 250 mW. Η υψηλή ζώνη λειτουργεί στα 5.725 MHz – 5.825 MHz και μέγιστη έξοδο ισχύος τα 1 W.

### 3.3 Τοπολογία του IEEE 802.11

Με τον όρο τοπολογία σε ένα ασύρματο δίκτυο, εννοούμε τον τρόπο με τον οποίο διασυνδέονται οι σταθμοί (stations) είτε μεταξύ τους είτε με κάποιο ενσύρματο δίκτυο, ώστε να παρέχονται οποιεσδήποτε υπηρεσίες από ένα χρήστη σε κάποιον άλλο (π.χ. από ένα Server σε ένα Client). Ένας σταθμός είναι κάθε συσκευή η οποία εμπεριέχει τις λειτουργίες του 802.11 (δηλαδή το επίπεδο MAC, το φυσικό στρώμα και μια διασύνδεση (interface) με το ασύρματο μέσο). Υπάρχουν δύο βασικές τοπολογίες που χρησιμοποιούν σήμερα τα ασύρματα δίκτυα.

Πρώτος τρόπος λειτουργίας είναι ο Infrastructure Mode. Αυτός αποτελείται από ένα τουλάχιστον AP το οποίο συνδέεται σε ένα σύστημα διανομής (Distribution System). Αυτή η τοπολογία μπορεί να υλοποιηθεί, όπως φαίνεται και από την εικόνα 3.2 με δύο διαφορετικά δομικά συστατικά. Το πρώτο είναι το BSS (Basic Service Set). Όπως φαίνεται και από την εικόνα 3.2 αυτό αποτελείται από τρεις σταθμούς (stations – STA) οι οποίοι είναι μέλη του BSS. Σύμφωνα με αυτή τη τοπολογία κάθε σταθμός που είναι μέλος του BSS μπορεί να επικοινωνήσει με ένα ενσύρματο LAN μέσω ενός AP.

Το δεύτερο δομικό συστατικό είναι το ESS. Σύμφωνα με αυτό το τρόπο λειτουργίας, επεκτείνονται οι δυνατότητες ενός ασύρματου δικτύου αφού παρέχει την δυνατότητα σύνδεσης περισσότερων BSS μεταξύ τους. Αυτό, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2, επιτυγχάνεται με την χρήση τόσων APs όσα είναι και τα BSS που θέλουμε να συνδέσουμε σε ένα LAN. Στο παράδειγμά μας, αυτό που φαίνεται στην εικόνα δηλαδή, έχουμε δύο BSS τα οποία συνδέονται σε ένα ενσύρματο LAN μέσω δύο αντιστοιχών APs.



**Εικόνα 3.2.** Infrastructure Mode

Στον δεύτερο τρόπο λειτουργίας εισάγεται ένα ακόμη δομικό στοιχείο που έχει το όνομα IBSS. Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας κάθε σταθμός μπορεί να επικοινωνήσει απευθείας με ένα άλλο χωρίς την μεσολάβηση κάποιου AP. Αυτού του είδους το δίκτυο ονομάζεται Ad – Hoc. Ο τρόπος σύνδεσης του κάθε σταθμού φαίνεται στην εικόνα 3.3.



**Εικόνα 3.3.** Ad – Hoc Mode

## 3.4 Δομικά στοιχεία ενός WLAN

Για να γίνει όμως εφικτή η ασύρματη μετάδοση δεδομένων από ένα σταθμό σε ένα άλλο, είναι απαραίτητη η χρήση κάποιων δομικών στοιχείων, υλικών δηλαδή hardware αλλά και χρήση κατάλληλου λογισμικού δηλαδή software. Τα στοιχεία αυτά βοηθούν στην αποστολή, λήψη και επεξεργασία των σημάτων από τον ένα σταθμό στον άλλο. Τέτοιου είδους δομικά στοιχεία περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

**3.4.1 Συσκευές χρηστών.** Πρόκειται για το μέσο διασύνδεσης του τελικού χρήστη – πελάτη με τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές που παρέχει το ασύρματο δίκτυο. Μερικά παραδείγματα τέτοιων συσκευών είναι τα εξής :

- Laptop computers
- Palmtop computers
- Handheld PCs and printers
- Personal Digital Assistants (PDAs)
- Handheld printers and scanners

**3.4.2 Λογισμικό δικτύου (Network Software).** Όπως κάθε ενσύρματο δίκτυο, έτσι και κάθε ασύρματο για να λειτουργήσει σωστά, απαιτείται η εγκατάσταση ειδικού λογισμικού (software). Ένα σύστημα διαχείρισης δικτύου (NOS: Network Operating System), όπως είναι για παράδειγμα το Microsoft NT Server, παρέχει διαφόρων ειδών υπηρεσίες, όπως διαμοιρασμό δεδομένων (file sharing) και διαμοιρασμό συσκευών (π.χ. Printer sharing). Πολλά τέτοια συστήματα στηρίζονται στην ύπαρξη ενός server, στον οποίο βρίσκονται και βάσεις δεδομένων στις οποίες έχουν πρόσβαση οι διάφορες συσκευές τις οποίες ελέγχει ο χρήστης. Στις τελευταίες έχει εγκατασταθεί ειδικό λογισμικό (client software), το οποίο κατευθύνει τις εντολές του χρήστη στον server.

**3.4.3 Ασύρματες κάρτες δικτύου (Wireless NICs).** Η ασύρματη κάρτα δικτύου (Wireless Network Interface Card) χρησιμοποιείται για την μετάδοση του ψηφιακού σήματος ενός υπολογιστή μέσω του ασύρματου μέσου σε έναν άλλο υπολογιστή. Στην διαδικασία αυτή συμπεριλαμβάνεται η διαμόρφωση και η ενίσχυση του σήματος.

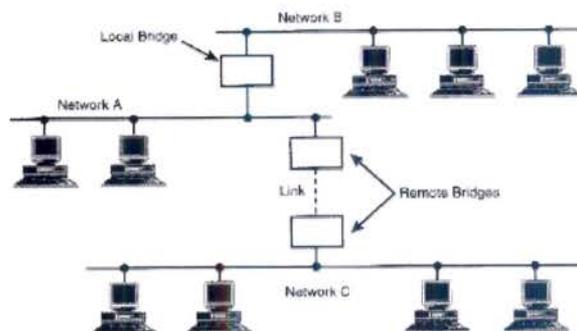
Η διασύνδεση της ασύρματης κάρτας με την συσκευή του χρήστη συμπεριλαμβάνει και έναν οδηγό λογισμικού (software driver). Το λογισμικό αυτό είναι εκείνο που καθοδηγεί την κάρτα για την επεξεργασία και τη διαμόρφωση του σήματος τόσο αυτού που λαμβάνει ένας δέκτης όσο και αυτού που στέλνει ο ίδιος.

**3.4.4 Ασύρματες Τοπικές Γέφυρες (Wireless Local Bridges).** Οι γέφυρες δικτύων αποτελούν ένα σημαντικό μέρος της τοπολογίας ενός δικτύου καθώς συνδέουν δύο ή περισσότερα LANs μεταξύ τους στο επίπεδο του υποστρώματος MAC. Οι γέφυρες χωρίζονται σε δύο είδη (τα οποία παρουσιάζονται στην εικόνα 3.4):

**Local bridges:** Συνδέουν τοπικά δίκτυα που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση.

**Remote bridges:** Συνδέουν δίκτυα που χωρίζονται από αποστάσεις μεγαλύτερες από αυτές που μπορούν να υποστηρίξουν τα πρωτόκολλα των τοπικών δικτύων.

Στην ορολογία των ασύρματων δικτύων οι γέφυρες αναφέρονται ως APs (Access Points), τα οποία είναι συσκευές απαραίτητες για τη διασύνδεση ενός WLAN με ένα ενσύρματο δίκτυο, αλλά και τη διασύνδεση πολλών WLAN μεταξύ τους.



Εικόνα 3.4. Διασύνδεση δικτύων με local και remote γέφυρες.

**3.4.5 Κεραίες (Antennas).** Η κεραία εκπέμπει το διαμορφωμένο σήμα μέσω του αέρα ώστε αυτό να φτάσει στον προορισμό του. Γενικά, οι κεραίες διακρίνονται σε πολλά είδη και μεγέθη και χαρακτηρίζονται από τις παρακάτω παραμέτρους:

- Μοντέλο διάδοσης (propagation pattern)
- Ευαισθησία (Gain)
- Ισχύς μετάδοσης (Transmit power)
- Εύρος ζώνης (Bandwidth)

Το μοντέλο διάδοσης μιας κεραίας καθορίζει την περιοχή κάλυψης (coverage area) της κεραίας. Για την μετάδοση του σήματος στα WLAN χρησιμοποιούνται κυρίως δύο είδη κεραιών:

**Μια πολυκατευθυντική (omni directional) κεραία**, η οποία διοχετεύει την ισχύ της προς κάθε κατεύθυνση.

**Μια μονοκατευθυντική (directional) κεραία**, η οποία συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος της σε μία μόνο κατεύθυνση.

## Κεφάλαιο 4

### Το υπό-στρώμα MAC στο 802.11x

Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, το MAC αποτελεί ένα υπόστρωμα του στρώματος σύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer) του 802.11. Σκοπός του επιπέδου MAC είναι να παρέχει λειτουργίες ελέγχου πρόσβασης (στις οποίες συμπεριλαμβάνονται η διευθυνσιοδότηση, ο έλεγχος της σωστής σειράς των πλαισίων κ.ά.) στο μοιραζόμενο φυσικό κανάλι, όπως αυτό καθορίζεται από το Standard.

Χρησιμοποιεί το PHY για να μεταδώσει τα MSDUs ( MAC Service Data Units). Η μετάδοσή τους είναι ασύγχρονη και βασίζεται στην χωρίς σύνδεση μεταφορά.

#### 4.1 Λειτουργίες του υποστρώματος MAC

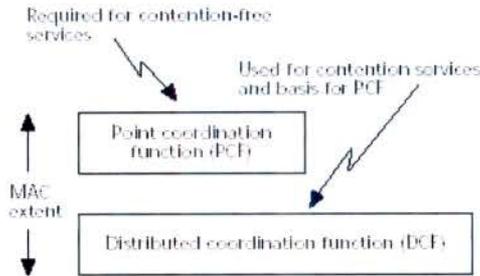
Το υπόστρωμα MAC παρέχει 3 κύριες λειτουργίες:

- Πρόσβαση στο ασύρματο μέσο
- Προσχώρηση (joining) σε ένα δίκτυο
- Παροχή των λειτουργιών 'authentication' και 'privacy'

#### 4.2 Πρόσβαση στο ασύρματο μέσο

Πριν ξεκινήσει η μετάδοση ενός πλαισίου, ένας σταθμός πρέπει πρώτα να επιτύχει την πρόσβαση στο μέσο. Για να το επιτύχει αυτό υπάρχουν δύο μέθοδοι, όπως καθορίζονται από την αρχιτεκτονική του Standard (Εικόνα 4.1):

- DCF (Distributed Coordination Function): Το 802.11 καθορίζει τις επόμενες δύο κατηγορίες DCF:
  - *DCF CSMA/CA*: Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου αυτής βασίζεται στον ανταγωνισμό και για την πρόσβαση στο μέσο χρησιμοποιείται η τεχνική CSMA/CA (Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance)
  - *DCF RTS/CTS*: Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου αυτής στηρίζεται στην πρόσβαση στο μέσο με την βοήθεια πακέτων 'αίτησης' (RTS) και 'άδειας' (CTS) χρήσης του μέσου
- PCF (Point Coordination Function): Το πρωτόκολλο αυτό στηρίζεται στην πρόσβαση στο μέσο χωρίς ανταγωνισμό (χρήσιμο για infrastructure δίκτυα), ενώ κύριο ρόλο παίζει ένας ελεγκτής ο οποίος καλείται PC (Point Coordinator) και βρίσκεται στα APs.

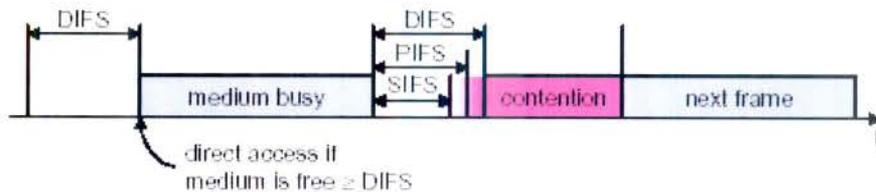


Εικόνα 4.1. Η αρχιτεκτονική του επιπέδου MAC του 802.11.

### 4.3 Χρονικά διαστήματα πρόσβασης

Το IEEE 802.11 καθορίζει την ύπαρξη χρονικών διαστημάτων για την μεσολάβηση μεταξύ των διαφόρων λειτουργιών αποστολής και λήψης πλαισίων ενός σταθμού. Το χρονικό διάστημα μεταξύ κάθε αποστολής πλαισίου (frame) καλείται **IFS** (Inter Frame Space). Υπάρχουν 4 διαφορετικά IFSs που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τα επίπεδα προτεραιότητας για την πρόσβαση στο ασύρματο μέσο, τα οποία φαίνονται στο επόμενο Εικόνα. Η αναφορά γίνεται ξεκινώντας από αυτό με την μικρότερη διάρκεια:

- A. SIFS: Short InterFrame Space
- B. PIFS: PCF InterFrame Space
- C. DIFS: DCF InterFrame Space
- D. EIFS: Extended InterFrame Space



Εικόνα 4.2. Τα 3 κυριότερα IFS που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των διάφορων πλαισίων που μετακινούνται μέσα στο 802.11 δίκτυο.

Τα διαφορετικά αυτά χρονικά διαστήματα πρέπει να είναι ανεξάρτητα από το ρυθμό bit ενός σταθμού, ενώ τα ίδια διαστήματα πρέπει να παραμένουν αμετάβλητα, σύμφωνα με τιμές που καθορίζονται από το φυσικό στρώμα. Στη συνέχεια αναλύουμε τις περιπτώσεις στις οποίες χρησιμοποιείται το κάθε IFS (η χρήση τους θα φανεί καλύτερα στις επόμενες παραγράφους):

- SIFS: Χρησιμοποιείται για τα ACK πλαίσια, τα CTS πλαίσια, το δεύτερο ή ένα διαδοχικό MPDU ενός 'fragment burst' και από έναν σταθμό που αποκρίνεται σε κάθε διαλογή (polling) μέσω του PCF. Το SIFS

χρησιμοποιείται από έναν σταθμό όταν αυτός έχει καταλάβει το μέσο και χρειάζεται να το κρατήσει για την διάρκεια της μετάδοσης ενός πλαισίου. Έχοντας τη μικρότερη διάρκεια, εμποδίζει τους άλλους σταθμούς που θέλουν να μεταδώσουν, καθώς αυτοί πρέπει να περιμένουν για μεγαλύτερο διάστημα μέχρι να ανιχνεύσουν ότι το μέσο είναι ελεύθερο. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα στον σταθμό που ήδη μεταδίδει να ολοκληρώσει τη διαδικασία μετάδοσης των πλαισίων που έχει προς μετάδοση.

- **PIFS:** Το PIFS μπορεί να χρησιμοποιηθεί από έναν σταθμό μόνο κατά τη λειτουργία του PCF για να κερδίσει την πρόσβαση στο μέσο. Ο υπολογισμός του γίνεται με βάση τον τύπο:

$$\text{PIFS} = \text{SIFSTime} + \text{SlotTime}$$

- **DIFS:** Το DIFS χρησιμοποιείται από σταθμούς που λειτουργούν με DCF για την μετάδοση πλαισίων δεδομένων (MPDUs) και πλαισίων διαχείρισης (MMPDUs). Ο υπολογισμός του γίνεται με βάση τον τύπο:

$$\text{DIFS} = \text{SIFSTime} + 2 \times \text{Slot Time}$$

- **EIFS:** Το EIFS μπορεί να χρησιμοποιηθεί από σταθμούς που λειτουργούν με DCF, όποτε το φυσικό στρώμα υποδείξει στο MAC ότι η μετάδοση ενός πλαισίου είχε ξεκινήσει αλλά δεν κατέληξε στην σωστή παραλαβή ενός ολόκληρου MAC πλαισίου με τη σωστή τιμή FCS (Frame Check Sequence, το οποίο είναι ένα πεδίο στο πλαίσιο MAC που χρησιμοποιείται για έλεγχο λαθών με τη βοήθεια του αλγορίθμου CRC). Η εξίσωση που προκύπτει από τα SIFS, DIFS και τον χρόνο που χρειάζεται για να μεταδοθεί ένα ACK πλαίσιο ελέγχου με ρυθμό 1 Mbps, μας δίνει το EIFS:

$$\text{EIFS} = \text{SIFS Time} + (8 \times \text{ACK Size}) + \text{Preamble Length} + \text{PLCP Header Length} + \text{DIFS}$$

Οι τιμές που δίνονται από το Standard, ανάλογα με το φυσικό επίπεδο που χρησιμοποιείται, φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

InterFrame Space	DSSS	FHSS	DFIR
SIFS	10 μs	28 μs	7 μs
PIFS	30 μs	78 μs	15 μs
DIFS	50 μs	128 μs	23 μs
Slot time	20 μs	50 μs	8 μs

Πίνακας 4.1

## 4.4 Λειτουργία του μηχανισμού πρόσβασης DCF

Στην παράγραφο αυτή θα αναπτύξουμε τις δύο μεθόδους πρόσβασης DCF που καθορίζονται από το 802.11 Standard.

### 4.4.1 Μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος

Ένας συνδυασμός φυσικού και εικονικού μηχανισμού ανίχνευσης φέροντος ενεργοποιεί τη συνιστώσα ‘MAC coordination’ για να καθορίσει αν το μέσο είναι απασχολημένο ή αδρανές. Κάθε φυσικό στρώμα που καθορίζεται από το 802.11 παρέχει έναν συγκεκριμένο τρόπο ανίχνευσης του μέσου. Το αποτέλεσμα από την εκτίμηση του φυσικού καναλιού στέλνεται από την ‘PHY coordination’ στην ‘MAC coordination’ ως μέρος της πληροφορίας για τον καθορισμό της κατάστασης του μέσου.

Η ‘MAC coordination’ εκτελεί τον εικονικό μηχανισμό ανίχνευσης φέροντος που στηρίζεται στις πληροφορίες κράτησης που υπάρχουν στο πεδίο ‘Duration’ σε όλα τα πλαίσια RTS και CTS. Η πληροφορία αυτή ανακοινώνει σε όλους τους σταθμούς αν ένας σταθμός πρόκειται να χρησιμοποιήσει το μέσο. Η ‘MAC coordination’ ελέγχει τα πεδία ‘Duration’ σε όλα τα MAC πλαίσια και τοποθετεί την πληροφορία αυτή στο NAV (Network Allocation Vector) κάθε σταθμού αν η τιμή είναι μεγαλύτερη από την τρέχουσα NAV που έχει ο σταθμός. Ο NAV λειτουργεί ως ένας μετρητής, ξεκινώντας με μια τιμή ίση με την τιμή που υπήρχε στο πεδίο ‘Duration’ του τελευταίου πλαισίου που ανιχνεύθηκε στο μέσο και μετρώντας αντίστροφα προς το 0.

Η ανίχνευση του φυσικού στρώματος και η λειτουργία του NAV παρέχουν ικανές πληροφορίες στο υπόστρωμα MAC για να αποφασίσει την κατάσταση του καναλιού. Για παράδειγμα, το φυσικό στρώμα μπορεί να έχει ανιχνεύσει ότι δεν υπάρχουν τρέχουσες μεταδόσεις στο μέσο, παρ’ όλα η τιμή στο NAV μπορεί να δηλώνει ότι μία μετάδοση που έλαβε χώρα αποτρέπει όλες τις μεταδόσεις για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση αυτή το MAC θα αναβάλλει όλες τις μεταδόσεις μέχρι να εκπνεύσει η περίοδος που καθορίζεται στο πεδίο ‘Duration’.

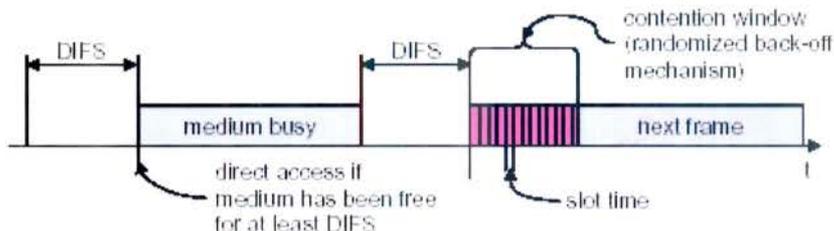
### 4.4.2 Λειτουργία του DCF με τη μέθοδο CSMA/CA

Ο βασικός μηχανισμός πρόσβασης καλείται DCF και ουσιαστικά είναι ένας μηχανισμός CSMA/CA (Εικόνα 4.3). Ένα πρωτόκολλο CSMA λειτουργεί, γενικά, ως εξής: Ένας σταθμός που θέλει να μεταδώσει, αρχικά, ανιχνεύει το μέσο. Αν το μέσο είναι κατειλημμένο τότε ο σταθμός αναβάλλει την μετάδοση για αργότερα. Αν το μέσο ανιχνευθεί ελεύθερο τότε ο σταθμός επιτρέπεται να μεταδώσει. Πιο συγκεκριμένα η σειρά που ακολουθείται κατά την λειτουργία του CSMA/CA είναι η εξής:

1. Ένας σταθμός που θέλει να μεταδώσει ανιχνεύει αρχικά το μέσο για να διαπιστώσει αν ένας άλλος σταθμός μεταδίδει. Αν το μέσο είναι:
  - **κατειλημμένο**, αναβάλλει την μετάδοση μέχρι το τέλος της τρέχουσας μετάδοσης. Μετά την αναβολή (deferral) ή πριν προσπαθήσει να μεταδώσει αμέσως μετά από μια επιτυχή μετάδοση.

ο σταθμός πρέπει να επιλέξει ένα τυχαίο διάστημα οπισθοχώρησης (backoff) πριν ξαναπροσπαθήσει να μεταδώσει.

- ελεύθερο για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (το οποίο είναι ίσο με DIFS) τότε επιτρέπεται στον σταθμό να μεταδώσει.
2. Ο σταθμός λήψης ελέγχει το CRC του ληφθέντος πακέτου και στέλνει ένα πακέτο επαλήθευσης (ACK). Η λήψη του πακέτου επαλήθευσης δηλώνει στον πομπό ότι δεν συνέβη σύγκρουση. Αν ο αποστολέας δεν λάβει το πακέτο επαλήθευσης ξαναστέλνει το τεμάχιο μέχρι να λάβει την επαλήθευση. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για ένα συγκεκριμένο αριθμό επαναμεταδόσεων.



Εικόνα 4.3. Σχηματική αναπαράσταση του βασικού μηχανισμού πρόσβασης DCF.

Οι τυχόν συγκρούσεις που θα συμβούν πρέπει να ανιχνευθούν από το επίπεδο MAC ώστε η επαναμετάδοση των πακέτων να γίνει από το επίπεδο αυτό και όχι από κάποιο ανώτερο, γεγονός το οποίο θα προκαλούσε σημαντική καθυστέρηση.

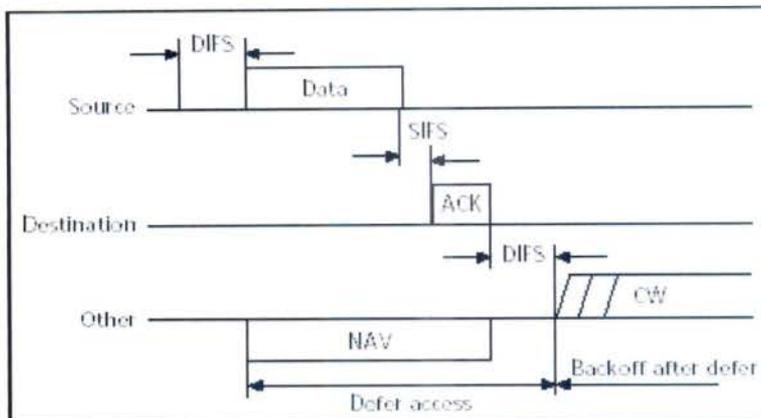
Σε σταθμούς που χρησιμοποιούν στο φυσικό στρώμα την τεχνική της μεταπήδησης συχνότητας (FH: Frequency Hopping), ο έλεγχος του καναλιού χάνεται στο όριο του 'dwell time' και ο σταθμός πρέπει να ανταγωνιστεί για το κανάλι με το τέλος του παραπάνω διαστήματος. Είναι, επίσης, απαραίτητο οι σταθμοί που χρησιμοποιούν FH να έχουν ολοκληρώσει την μετάδοση ενός ολόκληρου MPDU και του αντίστοιχου ACK (αν απαιτείται) πριν το όριο του 'dwell time'.

#### 4.4.3 Διαδικασία επαλήθευσης από το υπόστρωμα MAC

Ένας σταθμός πρέπει να απαντήσει με μια επαλήθευση αν το CRC του ληφθέντος πλαισίου είναι σωστό. Αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως 'θετική επαλήθευση'. Η μη-λήψη ενός αναμενόμενου ACK πλαισίου είναι ένδειξη λάθους για τον σταθμό μετάδοσης. Παρ' όλα αυτά, ο σταθμός λήψης μπορεί να έχει λάβει σωστά το πλαίσιο και το λάθος να έχει συμβεί στην λήψη του ACK, γεγονός που δεν μπορεί να διακρίνει ο σταθμός που ξεκίνησε την ανταλλαγή του πλαισίου.

Ύστερα από μια επιτυχή λήψη ενός πλαισίου που χρειάζεται επαλήθευση, η μετάδοση του ACK πλαισίου θα ξεκινήσει ύστερα από μια περίοδο SIFS (ώστε να μην υπάρχει ανταγωνισμός) χωρίς να υπολογίζεται αν το μέσο είναι κατειλημμένο ή ελεύθερο.

Ένας σταθμός πρέπει να περιμένει για ένα χρονικό διάστημα το οποίο αναφέρεται ως 'ACK Timeout' χωρίς να έχει γίνει λήψη ενός ACK πλαισίου πριν προχωρήσει στο συμπέρασμα πως η μετάδοση του MPDU απέτυχε. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η λειτουργία της θετικής επαλήθευσης.



Εικόνα 4.4. Σχηματική αναπαράσταση της τεχνικής της θετικής επαλήθευσης.

#### 4.4.4 Διαδικασία υποχώρησης

Αν το μέσο είναι κατειλημμένο, ο σταθμός πρέπει να αναβάλλει (defer) τη μετάδοση μέχρι το μέσο να γίνει ελεύθερο:

- για χρονική περίοδο ίση με DIFS, όταν το τελευταίο πλαίσιο που ανιχνεύθηκε στο μέσο λήφθηκε σωστά
- για διάστημα ίσο με EIFS, όταν το τελευταίο πλαίσιο που ανιχνεύθηκε στο μέσο δεν λήφθηκε σωστά

Αν ωστόσο υπάρχουν πολλοί σταθμοί οι οποίοι πρέπει να αναβάλλουν την διαδικασία μετάδοσης, τότε πρέπει να ακολουθηθεί μια διαδικασία που ελαχιστοποιεί τις συγκρούσεις κατά την διάρκεια του ανταγωνισμού (contention). Μετά τα παραπάνω διαστήματα ο σταθμός θα δημιουργήσει μια τυχαία περίοδο υποχώρησης (**backoff**) για έναν επιπρόσθετο χρόνο (ο οποίος χωρίζεται σε σχισμές) πριν την μετάδοση, εκτός αν ο μετρητής υποχώρησης (backoff timer) περιέχει ήδη μια μη-μηδενική τιμή οπότε και η επιλογή του τυχαίου αριθμού δεν λαμβάνει χώρα. Ο χρόνος υποχώρησης (που θα αποτελέσει την αρχική τιμή του μετρητή υποχώρησης) επιλέγεται με βάση τον τύπο:

$$\text{Backoff Time} = \text{Random} \times \text{Slot Time}$$

όπου Random είναι ένας ψευδοτυχαίος αριθμός που επιλέγεται από μία ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα  $[0, CW]$ . Το CW αντιπροσωπεύει το παράθυρο ανταγωνισμού και η λειτουργία του αναφέρεται στη συνέχεια.

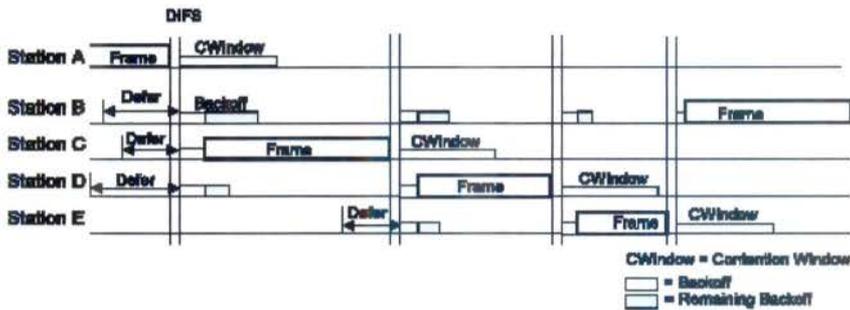
Ένας σταθμός που εκτελεί την διαδικασία υποχώρησης θα χρησιμοποιήσει τον μηχανισμό ανίχνευσης φέροντος (carrier sense) κατά τη διάρκεια κάθε σχισμής υποχώρησης (backoff slot). Αν δεν σημειωθεί καμία κίνηση στο μέσο κατά την περίοδο μιας συγκεκριμένης σχισμής υποχώρησης, τότε κατά την διαδικασία της υποχώρησης μειώνεται ο χρόνος υποχώρησης κατά Slot Time.

Αν το μέσο διαπιστωθεί ότι είναι απασχολημένο σε κάθε στιγμή κατά τη διάρκεια μιας σχισμής υποχώρησης τότε η διαδικασία της υποχώρησης

εγκαταλείπεται, δηλαδή ο μετρητής υποχώρησης δεν μειώνεται για τη σχισμή αυτή. Η μετάδοση μπορεί να ξεκινήσει όταν ο μετρητής υποχώρησης φτάσει το 0.

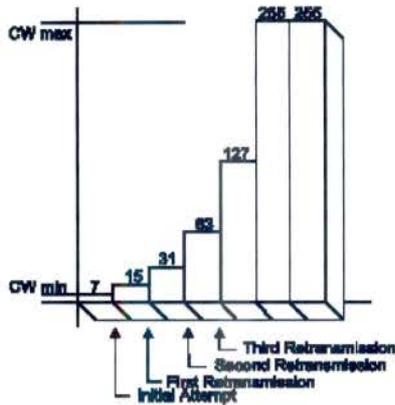
Στην περίπτωση επιτυχώς επαληθευμένων μεταδόσεων η διαδικασία της υποχώρησης ξεκινάει με το τέλος του ληφθέντος ACK πλαισίου. Στην περίπτωση ανεπιτυχών μεταδόσεων που απαιτούν επαλήθευση η διαδικασία της υποχώρησης ξεκινάει με το τέλος του χρόνου εκπνοής (**timeout interval**) του ληφθέντος ACK. Αν η μετάδοση είναι επιτυχής η τιμή του CW επιστρέφει στην τιμή  $CW_{min}$  πριν επιλεχθεί το νέο τυχαίο διάστημα υποχώρησης.

Το αποτέλεσμα της διαδικασίας υποχώρησης είναι ότι όταν πολλοί σταθμοί αναβάλλουν την μετάδοση και μπαίνουν στη διαδικασία της τυχαίας υποχώρησης, τότε ο σταθμός που επιλέγει το μικρότερο διάστημα υποχώρησης χρησιμοποιώντας την τυχαία συνάρτηση θα κερδίσει τον ανταγωνισμό.



Εικόνα 4.5. Η διαδικασία της υποχώρησης στην περίπτωση που 5 σταθμοί θέλουν να μεταδώσουν.

Το Παράθυρο Ανταγωνισμού **CW** (Contention Window) παίρνει αρχικά μία αρχική τιμή ίση με  $CW_{min}$ . Το CW θα πάρει την επόμενη τιμή κάθε φορά που μία ανεπιτυχής προσπάθεια για μετάδοση ενός MPDU γίνει η αιτία να αυξηθεί ο μετρητής επανάληψης (retry counter) του σταθμού, μέχρι το CW να φτάσει την τιμή  $CW_{max}$ . Από τη στιγμή που φτάσει την τιμή  $CW_{max}$ , το CW θα παραμείνει εκεί μέχρι να γίνει reset. Η συνηθέστερη περίπτωση στην οποία το CW θα γίνει reset στην τιμή  $CW_{min}$  είναι ύστερα από κάθε επιτυχή μετάδοση ενός MSDU ή MMPDU. Η εκθετική αύξηση του CW δίνεται στο επόμενο Εικόνα.



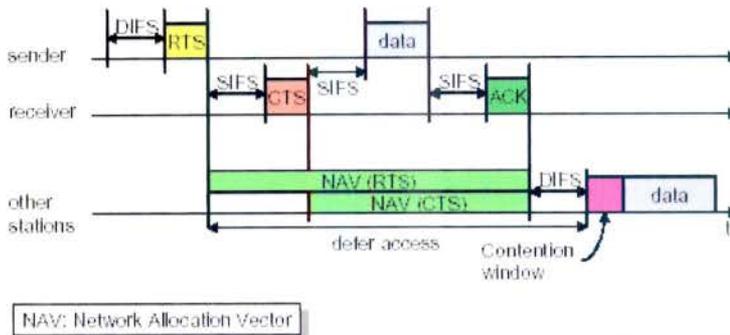
Εικόνα 4.6. Η εκθετική αύξηση του CW μετά από ανεπιτυχείς μεταδόσεις.

Η προηγούμενη εικόνα δίνει τις διαδοχικές τιμές του CW μετά από αναμεταδόσεις ενός σταθμού. Ο λόγος που το CW αυξάνεται εκθετικά είναι για να ελαχιστοποιηθούν οι συγκρούσεις και να μεγιστοποιηθεί το throughput τόσο για χαμηλή όσο και υψηλή χρησιμοποίηση του καναλιού. Για χαμηλή χρησιμοποίηση, οι σταθμοί δεν χρειάζεται να περιμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα πριν μεταδώσουν ένα πλαίσιο. Μετά την πρώτη ή την δεύτερη προσπάθεια, ένας σταθμός θα καταφέρει να μεταδώσει επιτυχώς μέσα σε ένα μικρό χρονικό διάστημα. Αν, όμως, η χρησιμοποίηση του δικτύου είναι υψηλή το πρωτόκολλο θα αναγκάσει τους σταθμούς να αναμένουν για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους για να μειώσουν την πιθανότητα ταυτόχρονης μετάδοσης από 2 ή περισσότερους σταθμούς. Για υψηλή χρησιμοποίηση, η τιμή του CW αυξάνεται σε ιδιαίτερα υψηλές τιμές.

#### 4.4.5 Λειτουργία του DCF με την χρήση RTS/CTS

Στην περίπτωση αυτή σημαντικό ρόλο παίζει ο εικονικός μηχανισμός ανίχνευσης που παρέχεται από το υπόστρωμα MAC. Η διαδικασία για την αποστολή πακέτων με την συγκεκριμένη μέθοδο φαίνεται στη παρακάτω εικόνα, ενώ η σειρά που ακολουθείται είναι η εξής:

1. Ο σταθμός που θέλει να στείλει δεδομένα στέλνει αρχικά ένα πακέτο RTS (Request To Send) με τις παραμέτρους κράτησης (reservation) του μέσου, αφού πρώτα περιμένει για ένα DIFS. Η κράτηση καθορίζει το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για την αποστολή των δεδομένων.
2. Ο σταθμός λήψης επαληθεύει-αφού πρώτα περιμένει για ένα SIFS-μέσω ενός πακέτου CTS (Clear To Send) ότι είναι έτοιμος να κάνει λήψη των δεδομένων.
3. Ο σταθμός αποστολής μπορεί τώρα να στείλει άμεσα τα δεδομένα τα οποία θα επιβεβαιωθούν μέσω ACK.
4. Οι άλλοι σταθμοί αποθηκεύουν τις αλλαγές στις κρατήσεις του στρώματος που διανέμονται μέσω των RTS και CTS.



**Εικόνα 4.7.** Λειτουργία DCF με αποστολή και λήψη πακέτων RTS και CTS.

Η 'MAC coordination' εκτελεί την εικονική ανίχνευση φέροντος η οποία βασίζεται στην κρατημένη πληροφορία που βρίσκεται στο πεδίο διάρκειας (Duration) όλων των πλαισίων. Η πληροφορία αυτή αναγγέλλει (σε όλους τους σταθμούς) την επικείμενη χρησιμοποίηση του μέσου από έναν σταθμό. Η 'MAC coordination' ελέγχει το πεδίο διάρκειας σε όλα τα MAC πλαίσια και τοποθετεί την πληροφορία αυτή στον NAV (Network Allocation Vector) του σταθμού εάν η τιμή είναι μεγαλύτερη από την τρέχουσα τιμή του NAV.

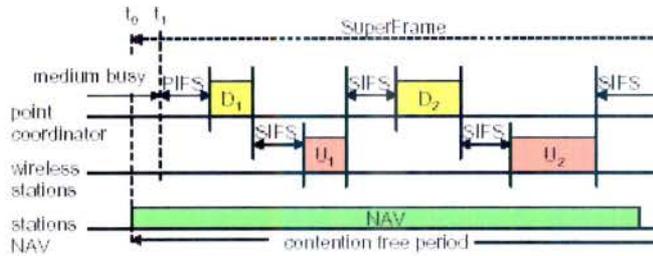
Ο NAV λειτουργεί ως ένας χρονομετρητής, ξεκινώντας με μια τιμή ίση με αυτή του πεδίου διάρκειας (Duration Field) του τελευταίου πλαισίου που μεταδόθηκε και ανιχνεύθηκε στο μέσο και μετρώντας αντίστροφα προς το 0. Από την στιγμή που ο NAV φτάσει το 0 (κάτι που δηλώνει ότι το μέσο δεν είναι κατειλημμένο), ο σταθμός είναι έτοιμος να μεταδώσει αν και εφόσον η 'PHY coordination' υποδείξει ότι το κανάλι είναι ελεύθερο.

Ο NAV υποστηρίζει μια πρόβλεψη για την μελλοντική κίνηση στο δίκτυο η οποία βασίζεται στην πληροφορία διάρκειας που ανακοινώνεται στα RTS/CTS πλαίσια πριν από την ανταλλαγή των δεδομένων. Η πληροφορία της διάρκειας είναι επίσης διαθέσιμη στις MAC επικεφαλίδες (headers) όλων των πλαισίων που στέλνονται κατά τη διάρκεια του CP (εκτός των PS-Poll Control frames).

## 4.5 Λειτουργία του μηχανισμού πρόσβασης PCF

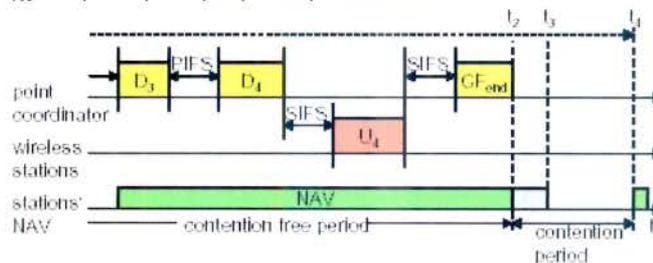
Η εναλλακτική μέθοδος PCF χρησιμοποιείται μόνο σε 'infrastructure' δίκτυα. Η μέθοδος αυτή κάνει χρήση ενός ελεγκτή που καλείται PC (Point Coordinator), ο οποίος λειτουργεί στο AP ενός BSS και καθορίζει ποιος σταθμός έχει την άδεια για να μεταδώσει την τρέχουσα χρονική στιγμή.

Το PCF χρησιμοποιεί τον εικονικό μηχανισμό ανίχνευσης φέροντος υποβοηθούμενο από ένα μηχανισμό ελέγχου προτεραιότητας. Το PCF διανέμει τις απαραίτητες πληροφορίες μέσω των πλαισίων διαχείρισης 'Beacon' για να κερδίσει τον έλεγχο του μέσου θέτοντας σε λειτουργία το Network Allocation Vector (NAV). Συγκεκριμένα, το PC ανιχνεύει το μέσο στην αρχή κάθε περιόδου CFP (Contention Free Period). Αν το μέσο είναι ελεύθερο για διάστημα ίσο με PIFS, το PC στέλνει ένα πλαίσιο Beacon, ώστε οι σταθμοί να ενημερώσουν τα NAV για την διάρκεια της CFP.



**Εικόνα 4.8.** Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του PCF.

Στο παράδειγμα της επόμενης εικόνας, ο σταθμός 3 δεν έχει δεδομένα προς αποστολή. Έτσι, αφού περάσει ένα χρονικό διάστημα ίσο με PIFS, ο σταθμός 4 ο οποίος ελέγχει τώρα το μέσο μπορεί να μεταδώσει.



**Εικόνα 4.9.** Μετά το polling του σταθμού 3 (ο οποίος δεν έχει πακέτα προς μετάδοση) σειρά έχει ο σταθμός 4, ο οποίος μεταδίδει τα δεδομένα που θέλει ( $U_4$ ). Το πακέτο  $CF_{end}$  που αποστέλλεται από τον PC δηλώνει το τέλος της CFP.

## 4.6 Δομή του MAC πλαισίου

Το υπόστρωμα MAC του 802.11 καθορίζει τον σχηματισμό διαφόρων πλαισίων. Ο σχηματισμός αυτών των πλαισίων εξαρτάται από τη λειτουργία για την οποία προορίζονται, ενώ όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο υποστηρίζεται και η δημιουργία μικρότερου μεγέθους πλαισίων σύμφωνα με μια τεχνική που καλείται τεμαχισμός.

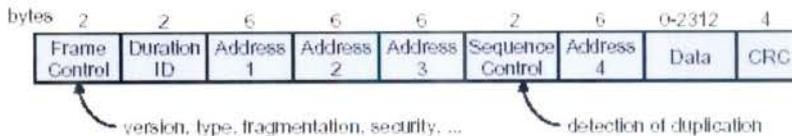
### 4.6.1 Κατηγορίες πλαισίων

Για την μεταφορά των MSDUs μεταξύ ομότιμων LLCs, το υπόστρωμα MAC χρησιμοποιεί 3 ειδών τύπους πλαίσιο, οι οποίοι αναφέρονται παρακάτω:

- **Ελέγχου (Control):** Μετά την εγκατάσταση των υπηρεσιών association και authentication μεταξύ σταθμών και APs τα πλαίσια ελέγχου είναι αυτά που θα βοηθήσουν στην σωστή παραλαβή των πλαισίων δεδομένων. Τέτοια πλαίσια είναι τα: RTS, CTS, ACK, PS Poll, CF End.
- **Διαχείρισης (Management):** Ο σκοπός των πλαισίων διαχείρισης είναι η εγκατάσταση της αρχικής επικοινωνίας μεταξύ των σταθμών και των APs. Έτσι, τα πλαίσια αυτά παρέχουν υπηρεσίες όπως οι association και authentication.

- **Δεδομένων (Data):** Ο κύριος σκοπός των πλαισίων αυτών είναι η μεταφορά πληροφορίας μεταξύ των ομότιμων LLCs.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η γενική δομή ενός MAC πλαισίου που ‘αντιστοιχεί’ σε όλα τα πλαίσια που μεταδίδουν οι σταθμοί, ανεξάρτητα από τον τύπο του πλαισίου.



**Εικόνα 4.10.** Η γενική δομή ενός MAC πλαισίου.

Τα πρώτα 30 bytes (όλα τα πεδία, δηλαδή, πριν αυτό των δεδομένων) αποτελούν την επικεφαλίδα (header) του MAC πλαισίου, ενώ μετά τα δεδομένα ακολουθεί ένα πεδίο το οποίο χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο CRC για έλεγχο λαθών. Πιο συγκεκριμένα τα πεδία της επικεφαλίδας είναι τα εξής:

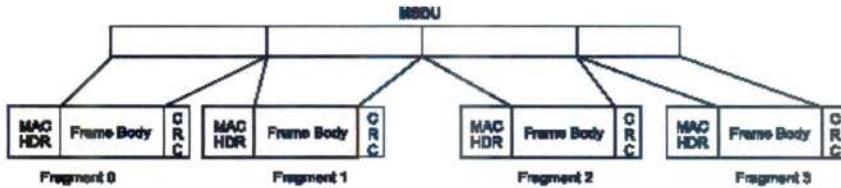
- **Frame Control:** Το πεδίο αυτό περιλαμβάνει πληροφορίες για τον τύπο του πλαισίου, για τον έλεγχο της ισχύος, για την κρυπτογράφηση κ.ά.
- **Duration ID:** Η πληροφορία στο πεδίο αυτό δηλώνει την διάρκεια του επόμενου πλαισίου προς μετάδοση.
- **Address:** Τα πεδία των διευθύνσεων παρέχουν τους διάφορους τύπους διευθύνσεων, όπως των σταθμών μετάδοσης και λήψης του πλαισίου, του BSS για το οποίο προορίζεται κ.ά.
- **Sequence Control:** Τα bytes στο πεδίο αυτό υποδεικνύουν τον αριθμό του πλαισίου ενός συγκεκριμένου MSDU.

#### 4.6.2 Η τεχνική του τεμαχισμού

Η διαδικασία της διαίρεσης ενός MSDU ή ενός MMPDU σε μικρότερα MAC πλαίσια, τα MPDUs, ονομάζεται τεμαχισμός (fragmentation). Η διαδικασία αυτή γίνεται για να αυξηθεί η αξιοπιστία, μεγαλώνοντας την πιθανότητα επιτυχούς μεταφοράς ενός MSDU ή ενός MMPDU σε περιπτώσεις όπου τα χαρακτηριστικά του καναλιού περιορίζουν την αξιόπιστη μετάδοση για μεγαλύτερα πλαίσια. Η ανασυγκρότηση των MPDUs σε ένα MSDU ή ένα MMPDU ονομάζεται ‘defragmentation’.

Όταν γίνεται λήψη ενός MSDU ή ενός MMPDU από το LLC από το υπόστρωμα διαχείρισης MAC (MLME) και το μήκος του MSDU είναι μεγαλύτερο από μια συγκεκριμένη τιμή η οποία καλείται κατώφλι τεμαχισμού (Fragmentation Threshold), τότε το MSDU χωρίζεται σε MPDUs, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα. Κάθε τεμάχιο δεν πρέπει να υπερβαίνει σε μέγεθος το κατώφλι τεμαχισμού.

Μόνο τα MPDUs με μία και μόνο διεύθυνση παραλήπτη (unicast receiver address) επιτρέπεται να υποστούν τεμαχισμό. Τα πλαίσια εκπομπής (broadcast) και πολλαπλής διανομής (multicast) δεν επιτρέπεται να υποστούν τεμαχισμό ακόμα κι αν το μήκος τους υπερβαίνει το κατώφλι τεμαχισμού.



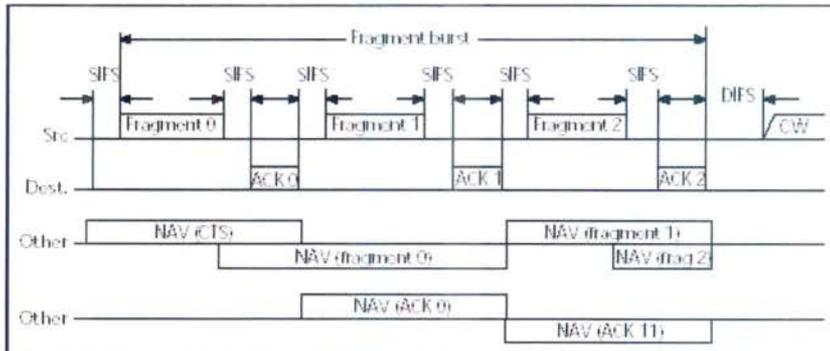
Εικόνα 4.11. Τεμαχισμός ενός MSDU σε μικρότερα πακέτα.

Τα MPDUs που προκύπτουν από τον τεμαχισμό ενός MSDU ή ενός MMPDU αποστέλλονται ως ανεξάρτητες μεταδόσεις και το καθένα από αυτά επαληθεύεται ξεχωριστά. Μετά τη λήψη ενός πακέτου επαλήθευσης ο σταθμός που μεταδίδει θα περιμένει για ένα χρονικό διάστημα ίσο με SIFS μέχρι να μεταδώσει το επόμενο τεμάχιο. Ένα πλαίσιο μπορεί να αποσταλεί με τη διαδικασία του τεμαχισμού χρησιμοποιώντας τόσο τον βασικό τρόπο μετάδοσης DCF όσο και τον τρόπο μετάδοσης DCF με τη χρήση των πακέτων RTS/CTS.

Από τη στιγμή που ένας σταθμός έχει ανταγωνιστεί για το κανάλι, θα συνεχίσει να στέλνει τεμάχια μέχρι να συμβεί ένα από τα παρακάτω γεγονότα:

1. Όλα τα τεμάχια ενός MSDU ή ενός MMPDU έχουν αποσταλεί.
2. Δεν έχει ληφθεί επιβεβαίωση.
3. Απαγορευθεί στο σταθμό να στείλει επιπλέον τεμάχια λόγω του ορίου του dwell time.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η διαδικασία μετάδοσης ενός MSDU πολλών τεμαχίων (multiple-fragment), η οποία είναι γνωστή ως 'fragment burst'.



Εικόνα 4.12. Διαδικασία αποστολής ενός πλαισίου με την μέθοδο του τεμαχισμού.

Κατά τη χρησιμοποίηση της μεθόδου του τεμαχισμού ισχύουν και οι επόμενοι κανόνες:

- Αν ο σταθμός εκπομπής κάνει λήψη μιας επιβεβαίωσης αλλά δεν υπάρχει αρκετός χρόνος για να μεταδώσει το επόμενο τεμάχιο λόγω του ορίου του dwell, θα ανταγωνιστεί για το κανάλι στο επόμενο dwell time.

- Αν ο σταθμός εκπομπής δεν κάνει λήψη μιας επιβεβαίωσης, θα προσπαθήσει να αναμεταδώσει το αποτυχημένο MPDU ή ένα άλλο MPDU, αφού εκτελέσει τη διαδικασία υποχώρησης και ανταγωνισμού.
- Από τη στιγμή που ο σταθμός έχει ανταγωνιστεί για το κανάλι για να επαναμεταδώσει ένα τεμάχιο ή ένα MSDU, θα ξεκινήσει τη μετάδοση με το τελευταίο τεμάχιο που δεν επιβεβαιώθηκε.

## Κεφάλαιο 5

### ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ ΤΟΥ 802.11 (Physical Layer)

Το 802.11 Standard καθορίζει την ύπαρξη, τον τρόπο λειτουργίας και τον καθορισμό τριών διαφορετικών φυσικών στρωμάτων, τα οποία αναπτύσσονται διεξοδικά στη συνέχεια.

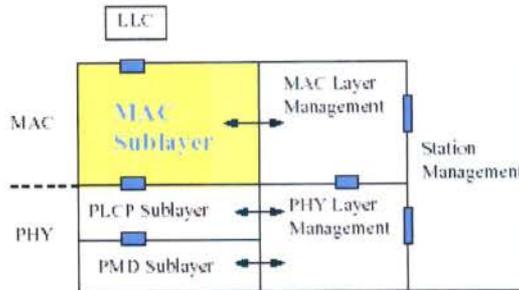
#### 5.1 Αρχιτεκτονική του φυσικού στρώματος

Η αρχιτεκτονική του φυσικού στρώματος αποτελείται από τα δύο επόμενα υποστρώματα:

- **PLCP** (Physical Layer Convergence Procedure) υπόστρωμα: Το υπόστρωμα αυτό χρησιμοποιεί μια μέθοδο η οποία διαμορφώνει τα MPDUs, σε frames, κατάλληλα για την αποστολή και τη λήψη των δεδομένων του χρήστη και διαχειρίζεται την πληροφορία μεταξύ των STAs πάνω από το PMD υπόστρωμα. Για να γίνει αυτό εφικτό, το υπόστρωμα MAC επικοινωνεί με το PLCP μέσω των στοιχείων υπηρεσίας (service primitives) με την βοήθεια των SAPs (Service Access Points) του PHY. Για την μεταφορά των MPDUs το PLCP προσαρτίζει πεδία σε κάθε MPDU που περιέχουν απαραίτητες πληροφορίες για κάθε πομπό και δέκτη. Το νέο πλαίσιο που προκύπτει από αυτή τη προσάρτηση ονομάζεται PPDU (PLCP Protocol Data Unit).
- **PMD** (Physical Medium Dependent) υπόστρωμα: Το υπόστρωμα αυτό παρέχει την διασύνδεση μεταφοράς, που χρησιμοποιείται για την αποστολή και την λήψη δεδομένων μεταξύ δύο ή περισσότερων STAs μέσω του ασύρματου μέσου. Για την παροχή αυτής της υπηρεσίας, το PMD διασυνδέεται άμεσα με το ασύρματο μέσο και παρέχει διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση των πλαισίων που μεταδίδονται. Τα PLCP και PMD επικοινωνούν μέσω των 'primitives' για τον έλεγχο των λειτουργιών μετάδοσης και λήψης.

Υπάρχει όμως και ακόμα μία λειτουργία που πραγματοποιείται στο φυσικό στρώμα. Αποτελεί μία συνιστώσα που λειτουργεί σε συνεργασία με το υπόστρωμα MAC και εκτελεί λειτουργίες διαχείρισης για το φυσικό στρώμα. Αυτή η συνιστώσα ονομάζεται **Physical Layer Management (PLM)**.

Η συσχέτιση των παραπάνω στοιχείων τόσο μεταξύ τους όσο και με το υπόστρωμα MAC απεικονίζεται στο επόμενο Εικόνα.



**Εικόνα 5.1.** Η αρχιτεκτονική του υποστρώματος MAC και του φυσικού στρώματος όπως αυτή καθορίζεται από το 802.11.

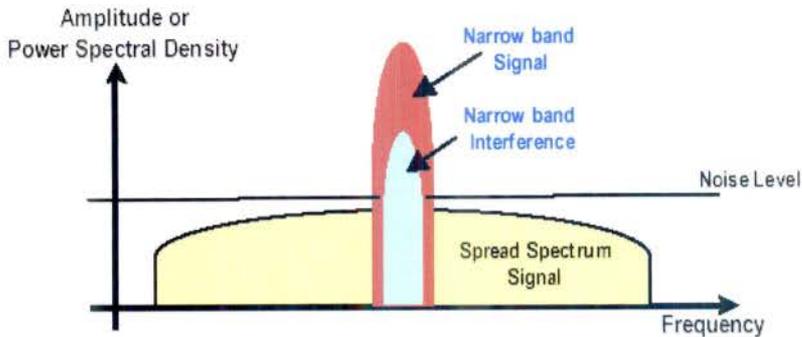
## 5.2 Λειτουργίες του φυσικού στρώματος (Physical Layer Operations)

Για την εκτέλεση των λειτουργιών του υποστρώματος PLCP, το 802.11 καθορίζει την χρήση των μηχανών κατάστασης (state machines). Κάθε μηχανή κατάστασης εκτελεί μία από τις παρακάτω λειτουργίες:

- Ανίχνευση φέροντος: Η λειτουργία αυτή αφορά τον καθορισμό της κατάστασης του μέσου
- Μετάδοση: Η λειτουργία αυτή αναφέρεται στην αποστολή των διαδοχικών bytes ενός πλαισίου δεδομένων.
- Λήψη: Η λειτουργία αυτή αναφέρεται στην λήψη διαδοχικών bytes ενός πλαισίου δεδομένων.

## 5.3 Το Φυσικό Στρώμα του 802.11 με χρήση της τεχνικής Spread Spectrum

Το 802.11 καθορίζει δύο διαφορετικά φυσικά στρώματα τα οποία στηρίζονται στην τεχνική διαμόρφωσης που καλείται ‘εξάπλωση φάσματος’ (SS: Spread Spectrum). Η τεχνική αυτή ‘εξαπλώνει’ την ισχύ του σήματος σε μια ευρεία μπάνα συχνοτήτων, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2. Η διαδικασία αυτή κάνει το σήμα λιγότερο ευάλωτο στον θόρυβο και τις παρεμβολές από άλλες μεταδόσεις οι οποίες χρησιμοποιούν συνήθως ένα μικρό εύρος συχνοτήτων. Έτσι, η πιθανή προκύπτουσα παρεμβολή με το εξαπλωμένο σήμα θα οδηγήσει σε λιγότερα λάθη κατά την αποδιαμόρφωση του σήματος από τον δέκτη.



Εικόνα 5.2. Η εξάπλωση του σήματος στην περιοχή των συχνοτήτων με τη χρήση της τεχνικής Spread Spectrum.

### 5.3.1 Το υπόστρωμα PMD FHSS

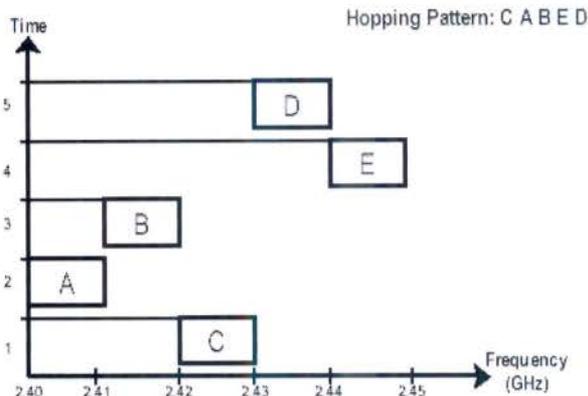
Το υπόστρωμα PMD (Physical Medium Dependent) εκτελεί την πραγματική μετάδοση και λήψη των PPDU's υπό την καθοδήγηση του PLCP. Για να εκτελέσει αυτήν την λειτουργία το FHSS PMD συνδέεται απευθείας με το ασύρματο μέσο και παρέχει την διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση των πλαισίων που μεταδίδονται μέσω της τεχνικής FHSS.

Το PMD μεταφράζει την δυαδική αναπαράσταση των PPDU's σε ένα αναλογικό σήμα ικανό για μετάδοση. Το FHSS PMD εκτελεί αυτές τις λειτουργίες μέσω της λειτουργίας μεταπήδησης συχνότητας (frequency hopping) και της τεχνικής διαμόρφωσης που ονομάζεται **FSK** (Frequency Shift Keying). Η επόμενη παράγραφος εξηγεί το FHSS PMD.

#### 5.3.1.1 Η λειτουργία της μεταπήδησης συχνότητας

Το 802.11 καθορίζει έναν αριθμό καναλιών (79 για την Β. Αμερική και για τις περισσότερες χώρες της Ευρώπης) που ισοκατανέμονται στην μπάντα ISM στην συχνότητα των 2.4 GHz. Κάθε κανάλι έχει εύρος 1 MHz, κατά συνέπεια η κεντρική συχνότητα λειτουργίας (όσον αφορά τις ΗΠΑ) για το πρώτο κανάλι είναι τα 2.402 GHz, για το δεύτερο τα 2.403 GHz κ.ο.κ.

Το PMD που στηρίζεται στο FHSS μεταδίδει τα δεδομένα μεταπηδώντας από κανάλι σε κανάλι σύμφωνα με μια συγκεκριμένη ψευδο-τυχαία ακολουθία μεταπήδησης (hopping pattern) η οποία κατανέμει ομοιόμορφα το σήμα κατά μήκος της μπάντας συχνοτήτων. Από την στιγμή που η ακολουθία μεταπήδησης τεθεί σε ένα AP, τα STAs αυτόματα συγχρονίζονται στην σωστή ακολουθία. Το 802.11 Standard καθορίζει έναν συγκεκριμένο αριθμό ακολουθιών, ώστε να αποφεύγεται η παρατεταμένη παρεμβολή μεταξύ των ακολουθιών αυτών. Μια τέτοια ακολουθία φαίνεται στην επόμενη Εικόνα.



Εικόνα 5.3. Ακολουθία μεταπήδησης συχνότητας σε συνάρτηση με το χρόνο.

Για κάθε βήμα μεταπήδησης (hop) στην ακολουθία μεταπήδησης ο πομπός μεταδίδει σε μια συγκεκριμένη κεντρική συχνότητα λειτουργίας για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα το οποίο καλείται 'dwell time'. Ο ρυθμός μεταπήδησης (hop rate) είναι ρυθμιζόμενος, παρ' όλα αυτά υπάρχει ένας ελάχιστος ρυθμός που καθορίζεται από τους αρμόδιους οργανισμούς κάθε χώρας (π.χ. στις Ηνωμένες Πολιτείες ο ελάχιστος ρυθμός είναι 2.5 hops/sec ο οποίος αντιστοιχεί σε ένα μέγιστο 'dwell time' ίσο με 400 ms). Επιπρόσθετα, η ελάχιστη απόσταση μεταπήδησης (hop distance) στην συχνότητα είναι 6 MHz για την Β. Αμερική και για το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης και 5 MHz για την Ιαπωνία.

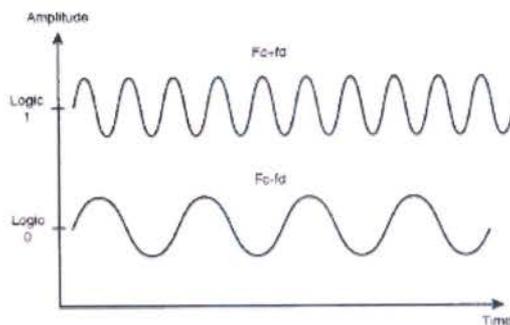
### 5.3.1.2 Η λειτουργία διαμόρφωσης συχνότητας FHSS

Το PMD που στηρίζεται στο FHSS μεταδίδει τα δυαδικά δεδομένα με ρυθμό είτε 1Mbps είτε 2Mbps, χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο τύπο διαμόρφωσης για κάθε ρυθμό:

1. 1 Mbps: 2-level GFSK
2. 2 Mbps: 4-level GFSK

Για ρυθμό δεδομένων ίσο με 1Mbps, το PMD χρησιμοποιείται η 2-level Gaussian Frequency Shift Key (**GFSK**) διαμόρφωση, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.4. Η ιδέα του GFSK είναι να μεταβάλλει τη συχνότητα του φέροντος ώστε να αναπαριστά διαφορετικά δυαδικά σύμβολα.

Για ρυθμό δεδομένων ίσο με 2 Mbps, το PMD χρησιμοποιεί τη 4-level Gaussian Frequency Shift Key (GFSK) διαμόρφωση.



**Εικόνα 5.4.** Η διαμόρφωση GFSK χρησιμοποιεί 2 δυνατές συχνότητες για κάθε hop ώστε να δηλώνει αν ένα bit δεδομένων είναι 1 ή 0.

Το 802.11 περιορίζει την μέγιστη ισχύ του πομπού στα 100 mWatts για ισοτροπικά ακτινοβολούμενη ισχύ (κάτι που σημαίνει ότι οι μετρήσεις έγιναν για κεραία χωρίς ενίσχυση). Η πραγματική ισχύς, ωστόσο, θα είναι μεγαλύτερη με τη χρήση κεραιών οι οποίες προσφέρουν μεγαλύτερη κατευθυντικότητα και άρα απολαβή ή ενίσχυση (gain).

### 5.3.2 Το υπόστρωμα PMD DSSS

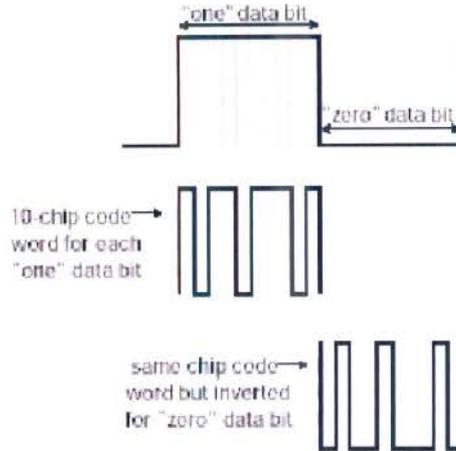
Όπως και με τα άλλα δύο φυσικά στρώματα που καθορίζονται από το 802.11 Standard, το DSSS PMD εκτελεί την ουσιαστική μετάδοση και λήψη των PPDU's υπό την καθοδήγηση του PLCP με χρήση της τεχνικής διαμόρφωσης **DSSS** (Direct Sequence Spread Spectrum). Η λειτουργία του DSSS PMD μεταφράζει την δυαδική αναπαράσταση των PPDU's σε ένα αναλογικό σήμα κατάλληλο για μετάδοση. Το φυσικό στρώμα που χρησιμοποιεί την τεχνική DSSS εκτελεί αυτήν την λειτουργία πολλαπλασιάζοντας ένα φέρον (radio frequency carrier) με ένα PN (pseudo-noise) ψηφιακό σήμα. Το προκύπτον σήμα εμφανίζεται ως θόρυβος αν σχεδιαστεί στην περιοχή των συχνοτήτων. Το μεγαλύτερο εύρος ζώνης του 'direct sequence' σήματος δίνει την δυνατότητα στην ισχύ του θορύβου να πέσει κάτω από το όριο θορύβου χωρίς να υπάρξει καθόλου απώλεια πληροφορίας, όπως φαίνεται και στο εικόνα 4.2.

Όπως και με το FHSS, το φυσικό στρώμα DSSS λειτουργεί στις συχνότητες από 2.4 GHz έως 2.4835 GHz. Το 802.11 καθορίζει μέχρι 14 κανάλια διαφορετικών συχνοτήτων, με το καθένα να έχει εύρος 22 MHz.

#### 5.3.2.1 Η λειτουργία του DSSS

Η κεντρική ιδέα της τεχνικής DSSS είναι, αρχικά, να εξαπλωθεί ψηφιακά το μη διαμορφωμένο PPDU της βασικής ζώνης (base band) και έπειτα να διαμορφωθούν τα εξαπλωμένα δεδομένα σε μια συγκεκριμένη συχνότητα.

Ο πομπός εξαπλώνει το PPDU συνδυάζοντας το PPDU ('Scrambled Data) με έναν Pseudo-Noise (PN) κώδικα (ο οποίος συχνά αναφέρεται ως chip code ή spreading sequence) με την βοήθεια ενός modulo-2 αθροιστή (mod-2 adder). Η PN ακολουθία (PN sequence) αποτελείται από μία ακολουθία θετικών και αρνητικών '1'. Μία τέτοια ακολουθία δίνεται στην επόμενη εικόνα.



**Εικόνα 5.5.** Αναπαράσταση ενός bit από μια ακολουθία θετικών και αρνητικών μονάδων (1).

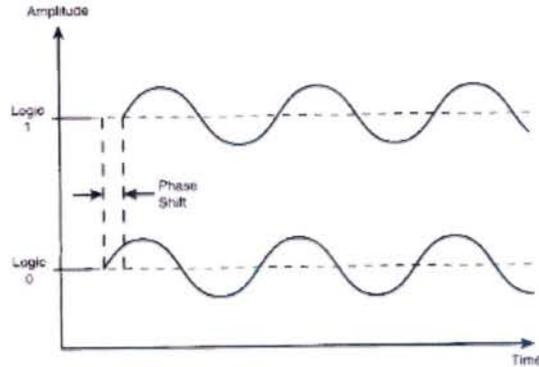
Η έξοδος του mod-2 αθροιστή είναι ένα DSSS σήμα με υψηλότερο ρυθμό σηματοδότησης από αυτόν του αρχικού σήματος. Ένα PPDU με ρυθμό 1 Mbps στην είσοδο θα καταλήξει σε ένα εξαπλωμένο σήμα με ρυθμό 11 Mbps στην έξοδο του αθροιστή. Στη συνέχεια, ο διαμορφωτής ('Carrier modulator') μεταφράζει το σήμα της βασικής ζώνης σε ένα αναλογικό σήμα στην συχνότητα λειτουργίας της μετάδοσης του επιλεγμένου καναλιού. Αν και η 'spreading sequence' είναι η ίδια για όλους τους χρήστες, υπάρχει η ελευθερία επιλογής οποιουδήποτε καναλιού συχνότητας, ώστε να υποστηρίζεται η ταυτόχρονη μετάδοση.

### 5.3.2.2 Η λειτουργία διαμόρφωσης συχνότητας DSSS

Ένας διαμορφωτής διαμορφώνει το εξαπλωμένο PPDU συνδυάζοντάς το με ένα φέρον ρυθμισμένο (set) στη συχνότητα μετάδοσης. Το DSSS PMD μεταδίδει το αρχικό PPDU με ρυθμό 1 Mbps ή 2 Mbps χρησιμοποιώντας διαφορετικό τύπο διαμόρφωσης, ανάλογο με το ποιος ρυθμός έχει επιλεγεί:

1. **1 Mbps** : DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying)
2. **2 Mbps** : DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying)

Η λειτουργία της τεχνικής **PSK** (Phase Shift Keying) μεταβάλλει τη φάση της συχνότητας του φέροντος ώστε να αναπαραστήσει διαφορετικά σύμβολα. Έτσι, οι αλλαγές στη φάση διατηρούν τις πληροφορίες που βρίσκονται στο σήμα. Καθώς ο θόρυβος συνήθως επηρεάζει το πλάτος του σήματος και όχι τη φάση, η χρήση του συγκεκριμένου τύπου διαμόρφωσης μειώνει τις παρεμβολές (interference). Η είσοδος στον διαμορφωτή DBPSK είναι είτε 0 είτε 1, όπως αυτά προέρχονται από το PLCP. Η επόμενη εικόνα δείχνει πως ο διαμορφωτής μεταδίδει τα δεδομένα μεταβάλλοντας τη φάση του φέροντος.



**Εικόνα 5.6.** Μετάδοση δεδομένων με χρήση της τεχνικής DBPSK.

Στην περίπτωση του DQPSK (για ρυθμό μετάδοσης 2 Mbps), η είσοδος στον διαμορφωτή είναι ένας συνδυασμός 2 bit (00, 01, 10, 11) που προέρχονται από το PLCP. Καθένα από αυτά τα σύμβολα των 2 bit στέλνεται με ρυθμό 1 Mbps, καταλήγοντας σε ένα ρυθμό δεδομένων ίσο με 2 Mbps. Έτσι, η τεχνική αυτή διπλασιάζει το ρυθμό δεδομένων ενώ διατηρεί το ίδιο baud rate με αυτό ενός σήματος με ρυθμό 1 Mbps.

Τα επίπεδα ισχύος για μετάδοση με DSSS είναι:

1. 1000 mWatts για τις ΗΠΑ
2. 100 mWatts για την Ευρώπη
3. 10 mWatts για την Ιαπωνία

Τα επίπεδα αυτά αναμένεται να είναι υψηλότερα χρησιμοποιώντας κεραίες με μεγαλύτερη κατευθυντικότητα.

## Κεφάλαιο 6

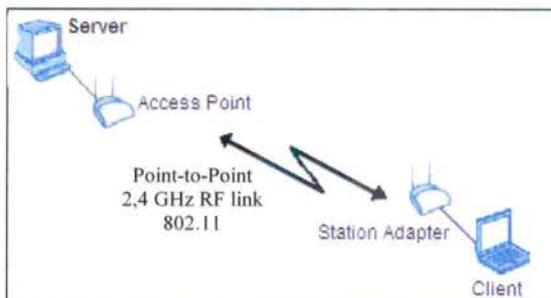
### Ασύρματο δίκτυο εσωτερικού χώρου

Για να μελετήσουμε ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο, σχεδιάσαμε, υλοποιήσαμε και δοκιμάσαμε ένα ασύρματο δίκτυο εσωτερικού χώρου. Σκοπός μας ήταν να αξιολογήσουμε τις επιδόσεις αυτού του ασύρματου δικτύου το οποίο έκανε χρήση του IEEE 802.11b στάνταρ.

#### 6.1 Σχεδίαση & Υλοποίηση μοντέλου ενός Server με ένα Client

Η μελέτη μας εστιάστηκε αρχικά σε ένα μοντέλο δικτύου το οποίο περιελάμβανε έναν εξυπηρετητή (Server) ο οποίος επικοινωνούσε μόνο με έναν χρήστη – πελάτη (Client). Το υπό σχεδίαση δίκτυο μας ήταν αυτόνομο, δηλαδή, δεν ήταν συνδεδεμένο με κάποιο άλλο δίκτυο, ενσύρματο ή ασύρματο, ώστε να δεχόταν επίδραση από κάποια άλλη πηγή κίνησης. Η εικόνα 6.1 δείχνει τον αρχικό αυτό σχεδιασμό (configuration). Ο ρόλος του Server ήταν να επικοινωνεί με τον πελάτη, και να απαντά σε αιτήσεις του τελευταίου, για αποστολή δεδομένων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε, θα τα αναφέρουμε σε επόμενη ενότητα. Για την επικοινωνία του Server με τον Client ήταν απαραίτητη η χρήση του Access Point (AP) το οποίο συνδέσαμε απευθείας στον Server. Το AP αφού λάβει ψηφιακά δεδομένα (bits) μέσω ενός καλωδίου δικτύου, από τον Server, τα διαμορφώνει κατάλληλα ώστε να μπορούν να μεταδοθούν μέσω του αέρα που αποτέλεσε το φυσικό μας μέσο. Τα σήματα που μεταδίδει το AP λαμβάνονται από το Station Adapter (STA), του οποίου ο ρόλος είναι να τα αποδιαμορφώνει και μετατρέποντάς τα σε ψηφιακά δεδομένα, και μέσω ενός καλωδίου δικτύου, να τα μεταδώσει στον Client. Η επικοινωνία μεταξύ των δύο υπολογιστών είναι όπως είπαμε ασύρματη, κάνοντας χρήση το πρωτοκόλλου IEEE 802.11b, που κάνει χρήση της DSSS τεχνικής, η οποία προσφέρει ένα ονομαστικό (nominal) bit-rate της τάξεως των 11 Mbps στη συχνότητα των 2,4 GHz.

Ο παραπάνω σχεδιασμός αποτέλεσε ένα δοκιμαστικό test-bed για την αξιολόγηση των επιδόσεων του πρωτοκόλλου IEEE 802.11b μέσα από μια σειρά πειραμάτων μέτρησης των δικτυακών πόρων (π.χ. Throughput, available bit-rate). Η υλοποίηση του σχεδιασμού μας, γίνεται όπως έχουμε προαναφέρει μέσα σε κλειστό χώρο (indoor), χωρίς παρεμβολή εμποδίων, τηρώντας δηλαδή Line of Sight (LOS) συνθήκη και με μικρή απόσταση μεταξύ του AP και του STA (2 μέτρα).



Εικόνα 6.1. Σχεδιασμός του indoor WLAN

### 6.1.1 Δοκιμή του Ασύρματου Δικτύου που σχεδιάστηκε

Μετά τον σχεδιασμό του ασύρματου δικτύου μας και την υλοποίησή του σε εσωτερικό κλειστό χώρο, προχωρήσαμε στην δοκιμή του. Για την δοκιμή του, χρησιμοποιήθηκαν πηγές κίνησης, που ήταν αρχεία των 10, 20, 30, 40 και 50MB. Αυτά τα αρχεία ήταν αποθηκευμένα στον Server. Για την δημιουργία κίνησης (traffic) στο δίκτυο, ο Client έκανε μια αίτηση για αποστολή κάποιου από τα παραπάνω αρχεία (file request) στον Server. Ο Server αφού δεχτεί αυτή την αίτηση, ξεκινάει την αποστολή των δεδομένων. Αυτή η μορφή επικοινωνίας του Server με τον Client στηρίζεται στην μέθοδο Unicast. Η μετάδοση των δεδομένων πάνω από τον αέρα που αποτέλεσε το φυσικό μας μέσο, έγινε με το **HTTP** (Hyper Text Transfer Protocol) και το **FTP** (File Transfer Protocol) πάνω από το TCP – IP πρωτόκολλο μεταφοράς. Αυτό σημαίνει ότι ο Client για να κάνει μια αίτηση στον Server, ο οποίος λειτουργούσε στην περίπτωση του HTTP πρωτοκόλλου ως WEB Server, ενώ στην περίπτωση του FTP πρωτοκόλλου, λειτουργούσε ως FTP Server. Και στην μία και στην άλλη περίπτωση, ο Server προβάλλει τα αρχεία που έχει προς αποστολή μέσω μια ιστοσελίδας στην οποία πρέπει να έχει πρόσβαση ο Client. Το πώς υλοποιείται και πως λειτουργεί ένας HTTP ή FTP Server ξεφεύγει από το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

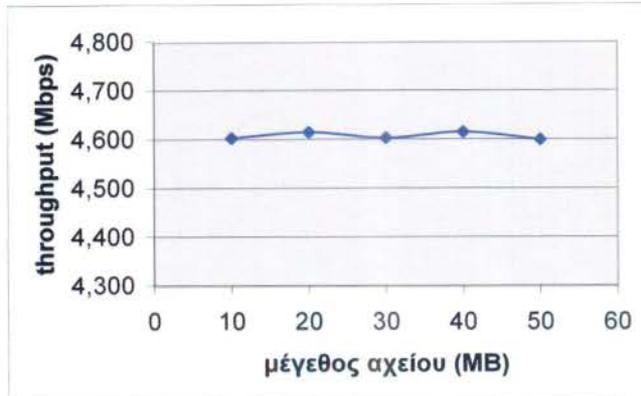
Αφού αποκτήσει πρόσβαση ο Client στην ιστοσελίδα του Server, μπορεί να βλέπει στο τερματικό του κάθε στιγμή τα αρχεία που είναι αποθηκευμένα σε αυτόν, και να επιλέξει αυτό που επιθυμεί κάθε φορά να του αποσταλεί.

Μετά την αίτηση του Client προς τον Server για το αρχείο που επιθυμεί να παραλάβει, ξεκινάει συνεχής επικοινωνία μεταξύ τους που περιλαμβάνει αποστολή δεδομένων με τη μορφή πακέτων (packets) από τον Server, και απάντηση με μορφή επιβεβαίωσης από τον Client με ένα ειδικό πακέτο που ονομάζεται Acknowledgement (Ack). Με την βοήθεια κάποιου προγράμματος διαχείρισης παραλαβής αρχείων (download manager), μετά από την ολοκλήρωση κάθε τέτοιας διαδικασίας για την παραλαβή του αρχείου από τον Client, πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα που αφορούν το throughput του Client. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον πίνακα 6.1.

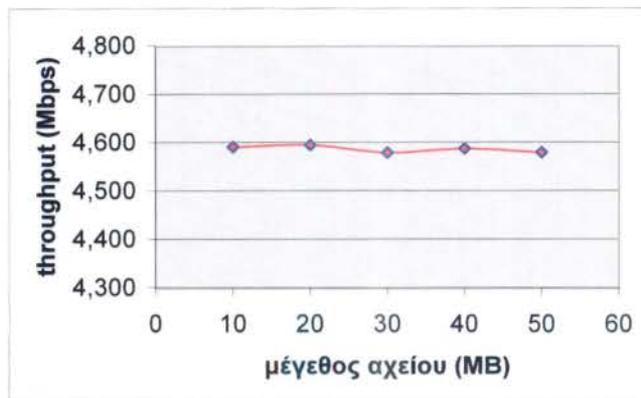
	Πρωτόκολλο του στρώματος Εφαρμογής	
	HTTP	FTP
<b>10 MB</b>	4,504 Mbps	4,492 Mbps
<b>20 MB</b>	4,516 Mbps	4,496 Mbps
<b>30 MB</b>	4,504 Mbps	4,480 Mbps
<b>40 MB</b>	4,516 Mbps	4,488 Mbps
<b>50 MB</b>	4,500 Mbps	4,480 Mbps

Πίνακας 6.1. Αποτελέσματα throughput με έναν Client

Στις εικόνες 6.2 και 6.3 που ακολουθούν γίνεται αναπαράσταση των τιμών του throughput του Client για κάθε αρχείο που παραλαμβάνει. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι το throughput παραμένει περίπου σταθερό για κάθε μέγεθος αρχείου. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η μεταβολή στο μέγεθος του αρχείου, δεν αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει την επίδοση του δικτύου.



Εικόνα 6.2. Throughput σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που παραλαμβάνει ο χρήστης με το HTTP πρωτόκολλο.



Εικόνα 6.3. Throughput σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που παραλαμβάνει ο χρήστης με το FTP πρωτόκολλο.

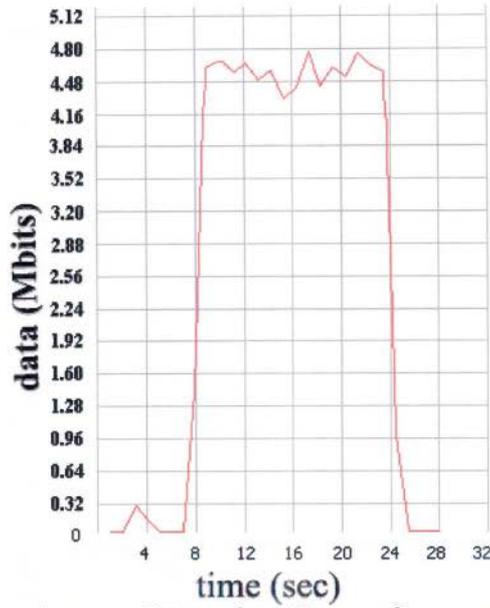
Στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν, αναπαριστάται η μεταβολή του bit rate του χρήστη όταν αυτός παραλαμβάνει ένα αρχείο. Ο οριζόντιος άξονας παριστάνει τον χρόνο μετρημένο σε δευτερόλεπτα, ενώ ο κατακόρυφος άξονας δείχνει τον αριθμό των bits που διακινήθηκαν μέσα από το ασύρματο δίκτυο.

Με τη βοήθεια κάθε τέτοιας γραφικής παράστασης μας δίνεται η δυνατότητα να υπολογίσουμε το throughput του χρήστη με έναν επιπλέον τρόπο εκτός από αυτόν που περιγράφηκε παραπάνω.

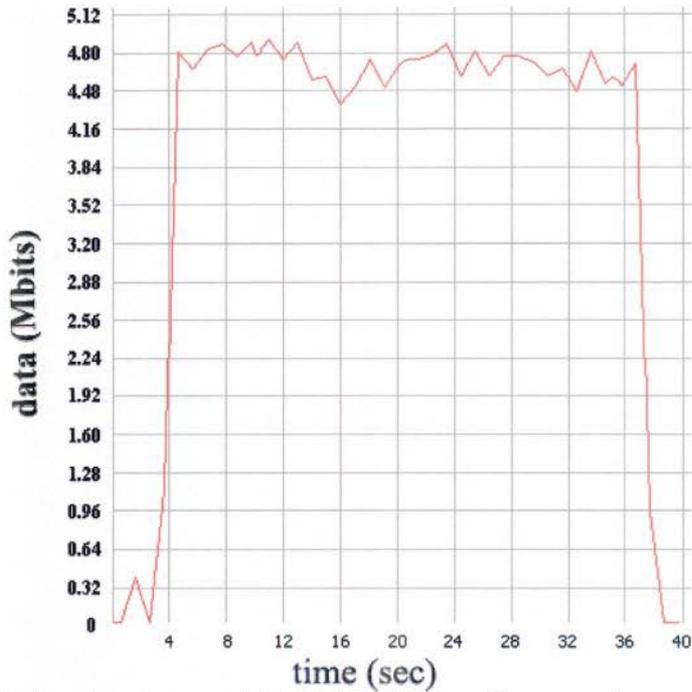
Βλέποντας από την εικόνα το χρόνο που χρειάστηκε για να παραλάβει ο Client το αρχείο που ζήτησε από τον Server, και έχοντας γνώση το μέγεθος του αρχείου που ζήτησε, το throughput του χρήστη υπολογίζεται με τον εξής τύπο :

$$\text{Throughput} = \text{file size (Mbit)} \setminus \text{time (sec)}$$

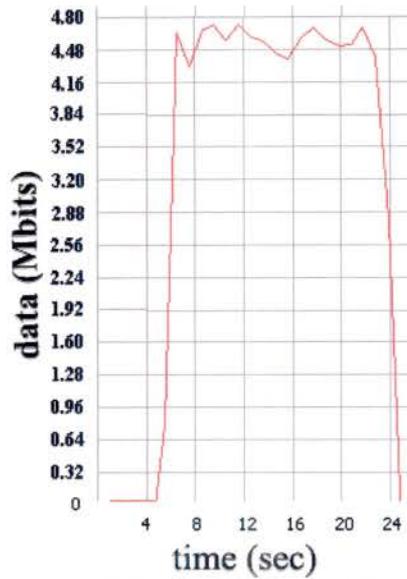
Η παραπάνω διαδικασία αποτελεί ένα μέσο επαλήθευσης για τον υπολογισμό του throughput.



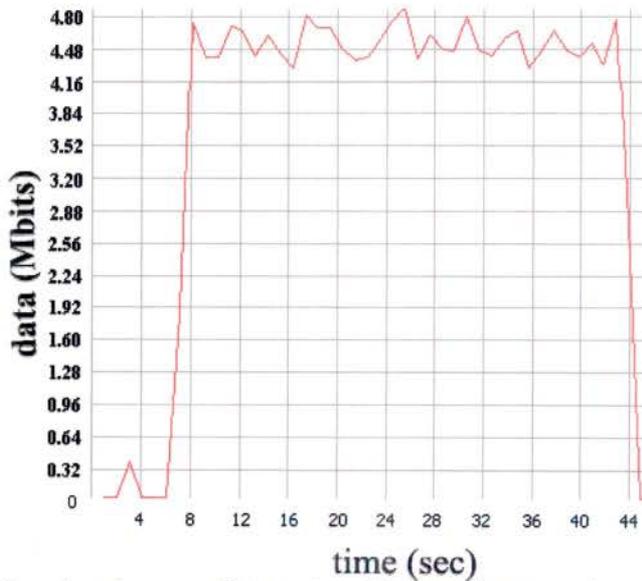
Εικόνα 6.4. Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 10 MB με χρήση του HTTP πρωτοκόλλου από τον Server στον Client.



Εικόνα 6.5. Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 20 MB με χρήση του HTTP πρωτοκόλλου από τον Server στον Client.



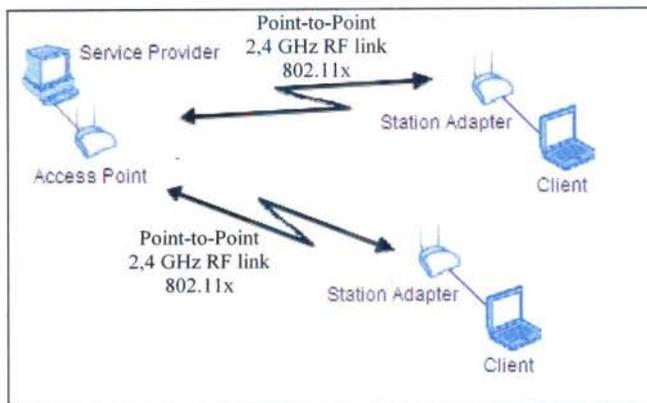
Εικόνα 6.6. Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 10 MB από τον Server στον Client με την χρήση του πρωτοκόλλου FTP.



Εικόνα 6.7. Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 20 MB από τον Server στον Client με την χρήση του πρωτοκόλλου FTP.

## 6.2 Σχεδίαση & Υλοποίηση μοντέλου ενός Server με δύο Clients

Για επιπλέον μελέτη των επιδόσεων ενός ασύρματου δικτύου, επεκτείνουμε το ήδη υπάρχον, προσθέτοντας έναν επιπλέον Client. Το νέο δίκτυο που δημιουργήθηκε κάνει χρήση του IEEE 802.11b στάνταρ. Ο σχεδιασμός του φαίνεται στην εικόνα 6.9. Η επικοινωνία του δεύτερου Client με τον Sever γίνεται μέσω ενός δεύτερου Station Adapter (STA) που συνδέεται στον Client και του Access Point (AP) που είναι ήδη συνδεδεμένο με τον Server από το προηγούμενο πείραμα.



Εικόνα 6.8. Σχεδιασμός ασύρματου δικτύου με δύο χρήστες

### 6.2.1 Δοκιμή του Ασύρματου Δικτύου που σχεδιάστηκε

Αφού υλοποιήσαμε το δεύτερο αυτό σχεδιασμό, δοκιμάσαμε την μεταφορά πραγματικών δεδομένων μέσα από το δίκτυό μας με σκοπό την αξιολόγηση του δικτύου μας μετρώντας το throughput του κάθε ένα Client ενώ και οι δύο παραλαμβάνουν το ίδιο αρχείο, κάνοντας σε διαφορετικές χρονικές στιγμές αίτηση στον Server για να τους αποστείλει ένα αρχείο. Ωστόσο η αίτηση του δεύτερου Client γινόταν πάντα ενώ βρισκόταν σε εξέλιξη η παραλαβή του αρχείου από τον πρώτο Client. Ο σκοπός που κάναμε αυτή την εφαρμογή είναι για να επιβεβαιώσουμε ότι το κανάλι μοιράζεται εξίσου και στους δύο Client όταν όμως και οι δύο παραλαμβάνουν ταυτόχρονα δεδομένα (bandwidth sharing).

Για την εφαρμογή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν αρχεία των 10, 20, 30, 40 και 50MB. Ο κάθε Client έκανε μια αίτηση για αποστολή κάποιου από τα παραπάνω αρχεία (file request) στον Server σε διαφορετικές χρονικές στιγμές τηρώντας τη συνθήκη που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Ο Server αφού δεχτεί αυτή την αίτηση, ξεκινάει την αποστολή των δεδομένων. Αυτή η μορφή επικοινωνίας του Server με τον Client στηρίζεται στην μέθοδο Unicast. Η μετάδοση των δεδομένων πάνω από τον αέρα που αποτέλεσε το φυσικό μας μέσο, έγινε με το HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) και το FTP (File Transfer Protocol) πάνω από το TCP – IP πρωτόκολλο μεταφοράς.

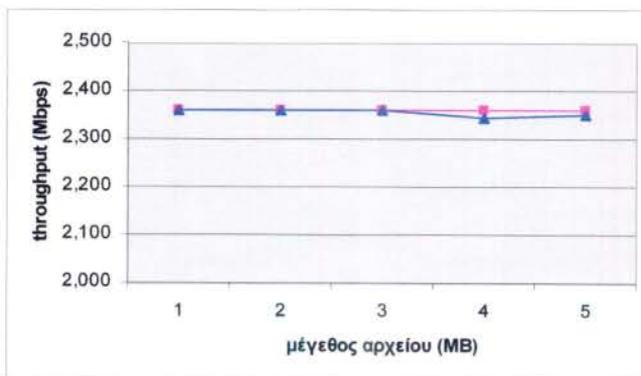
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επικοινωνία του κάθε Client με τον Server είναι η ίδια με το πρώτο πείραμα και περιγράφεται στην παράγραφο 6.1.1.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του throughput φαίνονται στον πίνακα 6.4.

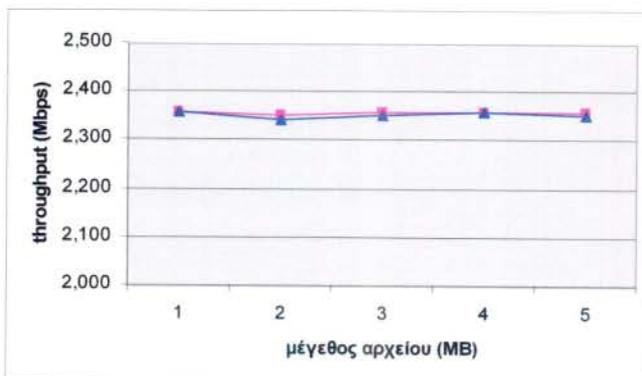
	Πρωτόκολλο του στρώματος Εφαρμογής			
	HTTP		FTP	
	1 <sup>ος</sup> Client	2 <sup>ος</sup> Client	1 <sup>ος</sup> Client	2 <sup>ος</sup> Client
10 MB	2,360 Mbps	2,360 Mbps	2,360 Mbps	2,360 Mbps
20 MB	2,360 Mbps	2,360 Mbps	2,352 Mbps	2,344 Mbps
30 MB	2,360 Mbps	2,360 Mbps	2,360 Mbps	2,352 Mbps
40 MB	2,360 Mbps	2,344 Mbps	2,360 Mbps	2,360 Mbps
50 MB	2,360 Mbps	2,352 Mbps	2,360 Mbps	2,352 Mbps

Πίνακας 6.4. Αποτελέσματα throughput με δύο Client.

Στις εικόνες 6.9 και 6.10 που ακολουθούν γίνεται αναπαράσταση των τιμών του throughput του Client για κάθε αρχείο που παραλαμβάνει. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι το throughput παραμένει περίπου σταθερό για κάθε μέγεθος αρχείου. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η μεταβολή στο μέγεθος του αρχείου, δεν αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει την επίδοση του δικτύου.



Εικόνα 6.9. Throughput για κάθε χρήστη, σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που παραλαμβάνει ο χρήστης με το HTTP πρωτόκολλο.



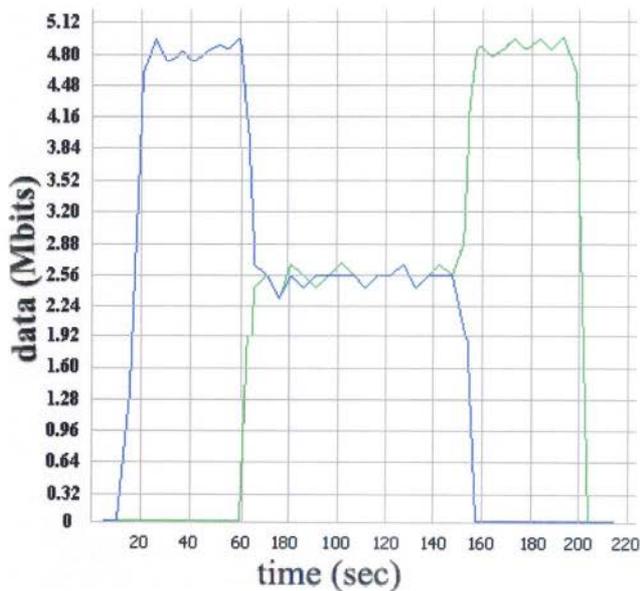
Εικόνα 6.10. Throughput για κάθε χρήστη, σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που παραλαμβάνει ο χρήστης με το FTP πρωτόκολλο.

## 6.2.2 Διαμοιρασμός Εύρους Ζώνης (Bandwidth Sharing)

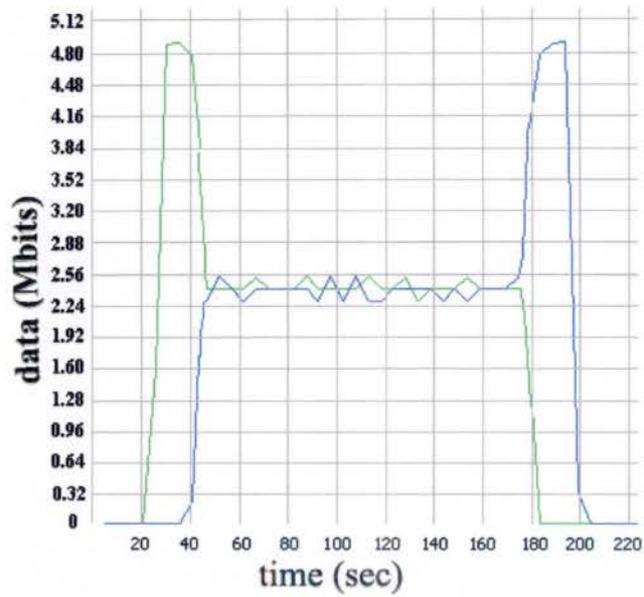
Το πείραμα με τους δύο χρήστες μας δίνει την δυνατότητα να παρατηρήσουμε πως μοιράζεται το εύρος ζώνης. Χρησιμοποιώντας δύο πανομοιότυπους χρήστες (ίδια επεξεργαστική ισχύς, ίδιο λειτουργικό σύστημα κ.τ.λ.), αυτό που θα πρέπει να συμβεί είναι κάθε ένας να καταλάβει το μισό από το εύρος ζώνης που είναι διαθέσιμο, όταν ταυτόχρονα και οι δύο παραλαμβάνουν ένα αρχείο.

Στις εικόνες 6.11 και 6.12, βλέπουμε το bit rate του κάθε ένα χρήστη κατά τη διάρκεια που παραλαμβάνουν και οι δύο κάποιο αρχείο. Ο κατακόρυφος άξονας δείχνει τα bits που μεταδίδονται σε κάθε χρονική στιγμή. Ο οριζόντιος αναπαριστά το χρόνο σε δευτερόλεπτα.

Στην εικόνα 6.11 παρατηρούμε ότι στα πρώτα 60 sec ο πρώτος χρήστης παραλαμβάνει ένα αρχείο μόνος του, ενώ σε εκείνη τη χρονική στιγμή αρχίζει και ο δεύτερος χρήστης να παραλάβει το ίδιο αρχείο. Έτσι το throughput του κάθε χρήστη γίνεται το ίδιο περίπου, και αυτό σημαίνει ότι το εύρος ζώνης μοιράζεται εξίσου και στους δύο χρήστες. Όταν ο πρώτος χρήστης παραλάβει όλο το αρχείο, τότε ο δεύτερος συνεχίζει καταλαμβάνοντας πλέον όλο το εύρος ζώνης.



Εικόνα 6.11. Μεταβολή του throughput κάθε χρήστη όταν παραλαμβάνουν το αρχείο των 40 MB.



Εικόνα 6.12. Μεταβολή το throughput κάθε χρήστη όταν παραλαμβάνουν το αρχείο των 50 MB.

## Κεφάλαιο 7

### Ασύρματο δίκτυο εξωτερικού χώρου

Για να μελετήσουμε σωστότερα την λειτουργία ενός ασύρματου τοπικού δικτύου, σχεδιάσαμε και αναπτύξαμε ένα καινούργιο μοντέλο, αυτή τη φορά υλοποιημένο σε εξωτερικό χώρο (outdoor). Σκοπός μας ήταν η αξιολόγηση ενός outdoor WLAN με μεγάλη απόσταση ανάμεσα στο AP και το STA. Το δίκτυο κάνει χρήση του IEEE 802.11b στάνταρ όπως και στην προηγούμενη σειρά πειραμάτων.

#### 7.1 Σχεδίαση & Υλοποίηση μοντέλου ενός Server με ένα Client

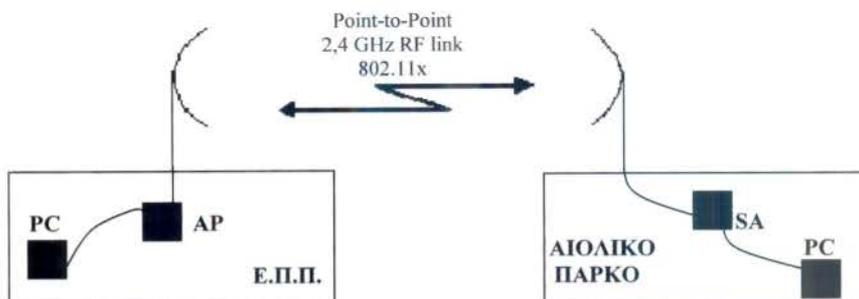
Μετά την σχεδίαση ενός τέτοιου δικτύου σε κλειστό χώρο, σχεδιάσαμε και δοκιμάσαμε το δίκτυό μας σε πραγματικές εξωτερικές συνθήκες. Το μοντέλο μας αποτελούνταν από ένα Server και ένα Client και δεν ήταν συνδεδεμένο με κανένα άλλο ενσύρματο ή ασύρματο δίκτυο. Η εικόνα 7.1 δείχνει τον αρχικό σχεδιασμό (configuration). Ο ρόλος του Server ήταν ίδιος όπως και στο προηγούμενο πείραμα, δηλαδή να απαντά σε αιτήσεις του Client για αποστολή αρχείων. Για την επικοινωνία του Server με τον Client ήταν απαραίτητη η χρήση του Access Point (AP) το οποίο συνδέσαμε απευθείας στον Server. Το AP αφού λάβει ψηφιακά δεδομένα (bits) μέσω ενός καλωδίου δικτύου, από τον Server, τα διαμορφώνει κατάλληλα ώστε να μπορούν να μεταδοθούν στον Client. Για την μετάδοση των σημάτων ήταν απαραίτητη η εγκατάσταση εξωτερικών κεραιών. Τα σήματα που μεταδίδει το AP λαμβάνονται από το Station Adapter (STA), του οποίου ο ρόλος είναι να τα αποδιαμορφώνει και μετατρέποντάς τα σε ψηφιακά δεδομένα, και να τα μεταδώσει στον Client.

Η επικοινωνία μεταξύ των δύο υπολογιστών είναι όπως είπαμε ασύρματη, κάνοντας χρήση το πρωτοκόλλου IEEE 802.11b, που κάνει χρήση της DSSS τεχνικής, η οποία προσφέρει ένα ονομαστικό (nominal) bit-rate της τάξεως των 11 Mbps στη συχνότητα των 2,4 GHz. Η υλοποίηση του σχεδιασμού μας, γίνεται χωρίς παρεμβολή εμποδίων, τηρώντας δηλαδή Line of Sight (LOS) συνθήκη.

Ο παραπάνω σχεδιασμός αποτέλεσε ένα δοκιμαστικό test-bed για την αξιολόγηση των επιδόσεων του πρωτοκόλλου IEEE 802.11b μέσα από μια σειρά πειραμάτων μέτρησης των δικτυακών πόρων (π.χ. Throughput, available bit-rate Η αξιολόγησή των επιδόσεων του δικτύου μας θα γίνει μετρώντας το throughput του Client καθώς επίσης και το available bandwidth και να συγκρίνουμε τις τιμές αυτές με εκείνες του indoor περιβάλλοντος.

Στην εικόνα 7.1 βλέπουμε το σχεδιάγραμμα του δικτύου βάση του οποίου πραγματοποιήσαμε το πείραμά μας. Το ασύρματο link που χρησιμοποιούμε συνδέει δύο περιοχές. Η μία είναι το εργαστήριο του τμήματος Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων στο οποίο βρίσκεται ένας υπολογιστής, ο οποίος παίζει τον ρόλο του Server, επειδή σε αυτόν έχουμε αποθηκεύσει τα αρχεία μας. Σε αυτόν τον υπολογιστή έχουμε συνδέσει το Access Point (AP) το οποίο στη συνέχεια συνδέεται στην κεραία που βρίσκεται στην ταράτσα του εργαστηρίου του τμήματος Ε.Π.Π.

Η άλλη περιοχή με την οποία συνδέουμε το εργαστήριο του Ε.Π.Π. βρίσκεται στο Αιολικό Πάρκο του ΤΕΙ Κρήτης. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα κτήριο μέσα στο οποίο έχουμε τοποθετήσει ένα δεύτερο PC το οποίο έχει τον ρόλο του Client. Αυτό το PC συνδέεται σε ένα Station Adapter (SA) το οποίο στη συνέχεια συνδέεται στην κεραία που βρίσκεται στην ταράτσα του κτιρίου του Αιολικού Πάρκου.



Εικόνα 7.1. Σχεδιασμός ενός outdoor WLAN

### 7.1.1 Δοκιμή του Ασύρματου Δικτύου που σχεδιάστηκε

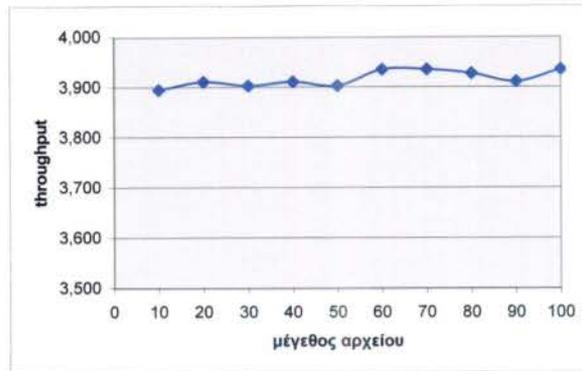
Μετά τον σχεδιασμό του ασύρματου δικτύου μας και την υλοποίησή του στον εξωτερικό χώρο, προχωρήσαμε στην δοκιμή του. Για την δοκιμή του χρησιμοποιήθηκαν πηγές κίνησης που ήταν αρχεία των 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 και 100MB. Αυτά τα αρχεία ήταν αποθηκευμένα στον Server. Για την δημιουργία κίνησης (traffic) στο δίκτυο, ακολουθήσαμε ότι εφαρμόσαμε και στο προηγούμενο πείραμα. Ο Client έκανε μια αίτηση για αποστολή κάποιου από τα παραπάνω αρχεία (file request) στον Server. Ο Server αφού δεχτεί αυτή την αίτηση, ξεκινάει την αποστολή των δεδομένων. Αυτή η μορφή επικοινωνίας του Server με τον Client στηρίζεται στην μέθοδο Unicast. Η μετάδοση των δεδομένων πάνω από τον αέρα που αποτέλεσε το φυσικό μας μέσο, έγινε με το **HTTP** (Hyper Text Transfer Protocol) και το **FTP** (File Transfer Protocol) πάνω από το TCP – IP πρωτόκολλο μεταφοράς. Για την μετάδοση με το HTTP ο Server μας λειτουργήσε ως WEB Server, ενώ για την μετάδοση με το FTP ο Server μας λειτουργήσε ως FTP Server.

Χρησιμοποιώντας πάλι κάποιον download manager, μετά από την ολοκλήρωση κάθε τέτοιας διαδικασίας για την παραλαβή του αρχείου από τον Client, πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα που αφορούν το throughput του Client. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον πίνακα 7.1.

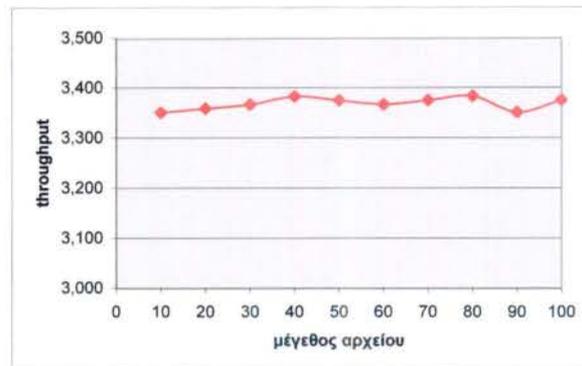
	Πρωτόκολλο του στρώματος Εφαρμογής	
	HTTP	FTP
10 MB	3,896 Mbps	3,352 Mbps
20 MB	3,912 Mbps	3,360 Mbps
30 MB	3,904 Mbps	3,368 Mbps
40 MB	3,912 Mbps	3,384 Mbps
50 MB	3,904 Mbps	3,376 Mbps
60 MB	3,936 Mbps	3,368 Mbps
70 MB	3,936 Mbps	3,376 Mbps
80 MB	3,928 Mbps	3,384 Mbps
90 MB	3,912 Mbps	3,352 Mbps
100 MB	3,936 Mbps	3,376 Mbps

Πίνακας 7.1. Αποτελέσματα throughput με έναν Client

Στις εικόνες 7.2 και 7.3 που ακολουθούν γίνεται αναπαράσταση των τιμών του throughput του Client για κάθε αρχείο που παραλαμβάνει. Με βάση τις εικόνες διαπιστώσαμε ότι το throughput του Client παραμένει περίπου σταθερό για κάθε μέγεθος αρχείου. Οι όποιες διαφορές οφείλονται σε εξωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν κάθε ασύρματη ζεύξη.



Εικόνα 7.2. Throughput σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που κατεβάζει ο χρήστης με το HTTP πρωτόκολλο.



Εικόνα 7.3. Throughput σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που κατεβάζει ο χρήστης με το FTP πρωτόκολλο.

Στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν, αναπαριστάται το bit rate του χρήστη όταν αυτός παραλαμβάνει ένα αρχείο. Οι διακυμάνσεις στο bit rate οφείλονται στους εξωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ζεύξη μας.

Ο οριζόντιος άξονας παριστάνει τον χρόνο σε δευτερόλεπτα, ενώ ο κατακόρυφος άξονας δείχνει τον αριθμό των bits που διακινήθηκαν μέσα από το ασύρματο δίκτυο.

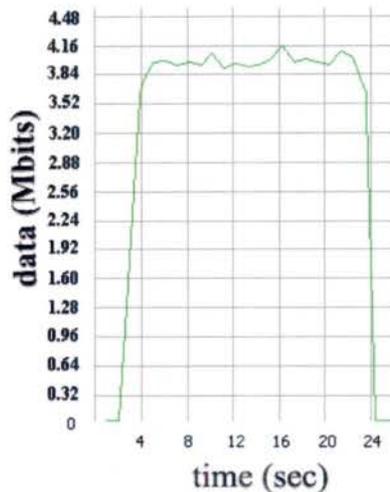
Με τη βοήθεια κάθε τέτοιας γραφικής παράστασης μας δίνεται η δυνατότητα να υπολογίσουμε το throughput του χρήστη με έναν επιπλέον τρόπο εκτός από αυτόν που περιγράφηκε παραπάνω. Βλέποντας από την εικόνα το χρόνο που χρειάστηκε για να παραλάβει ο Client το αρχείο που ζήτησε από τον Server, και έχοντας γνώση το

μέγεθος του αρχείου που ζήτησε, το throughput του χρήστη υπολογίζεται με τον εξής τύπο :

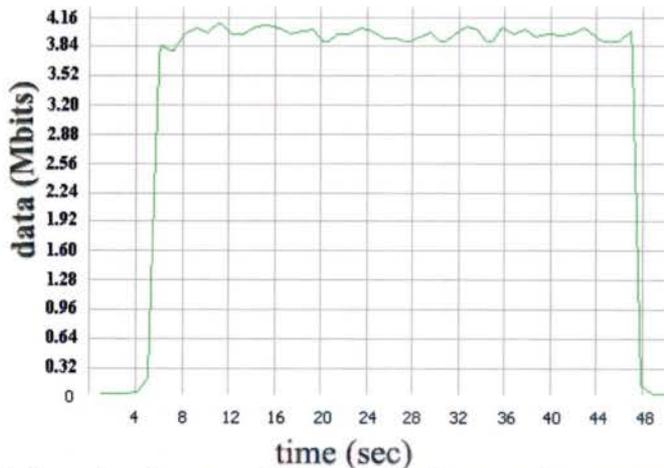
$$\text{Throughput} = \text{file size (Mbit)} \setminus \text{time (sec)}$$

Η παραπάνω διαδικασία αποτελεί ένα μέσο επαλήθευσης για τον υπολογισμό το throughput.

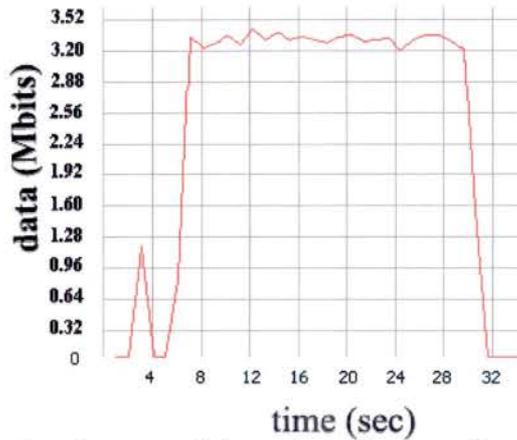
Τις εικόνες που ακολουθούν τις πήραμε με την βοήθεια του προγράμματος Performance Monitor των Windows.



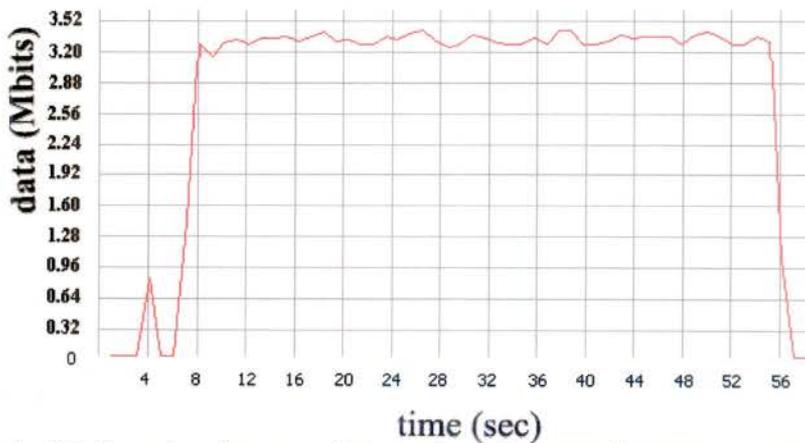
**Εικόνα 7.4.** Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 10 MB με χρήση του HTTP πρωτοκόλλου από τον Server στον Client.



**Εικόνα 7.5.** Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 20 MB με χρήση του HTTP πρωτοκόλλου από τον Server στον Client.



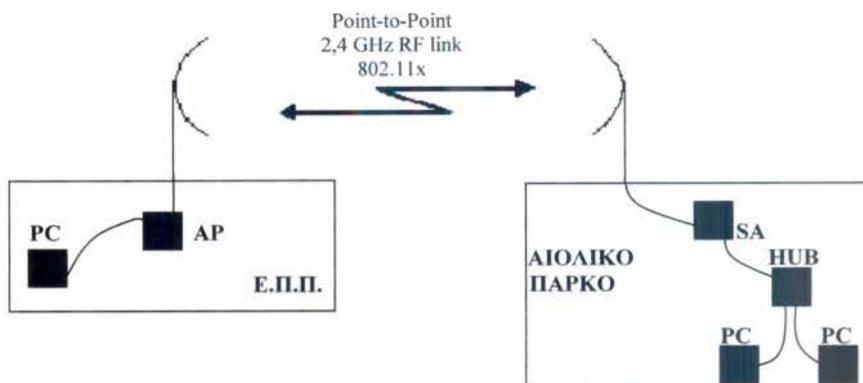
Εικόνα 7.6. Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 10 MB από τον Server στον Client με την χρήση του πρωτοκόλλου FTP.



Εικόνα 7.7. Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 20 MB από τον Server στον Client με την χρήση του πρωτοκόλλου FTP.

## 7.2 Σχεδίαση & Υλοποίηση μοντέλου ενός Server με δύο Clients

Όπως και στη μελέτη που κάναμε για το indoor WLAN έτσι και για το outdoor WLAN, για επιπλέον μελέτη των επιδόσεών του δικτύου μας, προσθέσαμε και ένα δεύτερο χρήστη (Client). Η διαφορά με το indoor WLAN που υλοποιήθηκε στο προηγούμενο πείραμα με τους δύο Client, είναι ότι στο outdoor WLAN οι Clients ήταν συνδεδεμένοι με ένα HUB 10\100 Mbps, δηλαδή συνδέσαμε ένα Ethernet LAN με έναν Server ασύρματα χρησιμοποιώντας το 802.11b στάνταρ. Ο σχεδιασμός του δικτύου μας φαίνεται στην εικόνα 7.8.



Εικόνα 7.8. Σχεδιασμός ενός outdoor WLAN με δύο Clients

### 7.2.1 Δοκιμή του Outdoor WLAN που σχεδιάστηκε

Μετά την υλοποίηση του δεύτερου αυτού σχεδιασμού, δοκιμάσαμε την μεταφορά πραγματικών δεδομένων μέσα από το δίκτυο μας με σκοπό αρχικά την αξιολόγηση του δικτύου μας μετρώντας το throughput για κάθε ένα Client. Η εφαρμογή του πειράματος προϋποθέτει την ταυτόχρονη λήψη του ίδιου αρχείου από τους δύο Clients για κάποιο χρονικό διάστημα. Αυτό συνέβη, κάνοντας σε διαφορετικές χρονικές στιγμές αίτηση στον Server για να τους αποστείλει ένα αρχείο. Ωστόσο η αίτηση του δεύτερου Client γινόταν πάντα ενώ βρισκόταν σε εξέλιξη η παραλαβή του αρχείου από τον πρώτο Client. Ένα ακόμη αντικείμενο μελέτης με την εφαρμογή αυτού του πειράματος ήταν η επιβεβαίωση ότι το κανάλι μοιράζεται εξίσου και στους δύο Client όταν όμως και οι δύο παραλαμβάνουν ταυτόχρονα δεδομένα (bandwidth sharing).

Για την εφαρμογή του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν αρχεία των 10, 20, 30, 40 και 50MB. Ο κάθε Client έκανε μια αίτηση για αποστολή κάποιου από τα παραπάνω αρχεία (file request) στον Server σε διαφορετικές χρονικές στιγμές τηρώντας τη συνθήκη που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Ο Server αφού δεχτεί αυτή την αίτηση, ξεκινάει την αποστολή των δεδομένων. Αυτή η μορφή επικοινωνίας του Server με τον Client στηρίζεται στην μέθοδο Unicast. Η μετάδοση των δεδομένων πάνω από τον αέρα που αποτέλεσε το φυσικό μας μέσο, έγινε με το HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) και το FTP (File Transfer Protocol) πάνω από το TCP – IP πρωτόκολλο μεταφοράς.

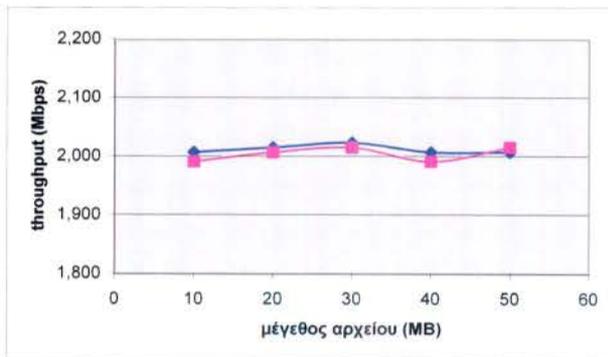
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επικοινωνία του κάθε Client με τον

Server είναι η ίδια με το πρώτο πείραμα και περιγράφεται στην παράγραφο 6.1.1.  
 Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του throughput φαίνονται στον πίνακα 7.4.

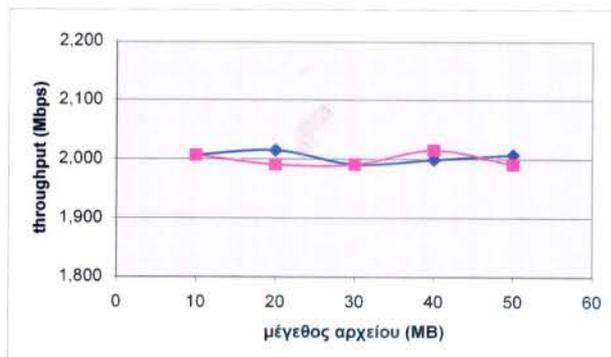
	Πρωτόκολλο του στρώματος Εφαρμογής			
	HTTP		FTP	
	1 <sup>ος</sup> Client	2 <sup>ος</sup> Client	1 <sup>ος</sup> Client	2 <sup>ος</sup> Client
<b>10 MB</b>	2,008 Mbps	1,992 Mbps	2,008 Mbps	2,008 Mbps
<b>20 MB</b>	2,016 Mbps	2,008 Mbps	2,016 Mbps	1,992 Mbps
<b>30 MB</b>	2,024 Mbps	2,016 Mbps	2,192 Mbps	1,992 Mbps
<b>40 MB</b>	2,008 Mbps	1,992 Mbps	2,000 Mbps	2,016 Mbps
<b>50 MB</b>	2,008 Mbps	2,016 Mbps	2,008 Mbps	1,992 Mbps

Πίνακας 7.4. Αποτελέσματα throughput με δύο Client.

Στις εικόνες 7.9 και 7.10 που ακολουθούν γίνεται αναπαράσταση των τιμών του throughput του Client για κάθε αρχείο που παραλαμβάνει. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι το throughput παραμένει περίπου σταθερό για κάθε μέγεθος αρχείου.



Εικόνα 7.9. Throughput για κάθε χρήστη, σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που κατεβάζει ο χρήστης με το HTTP πρωτόκολλο.

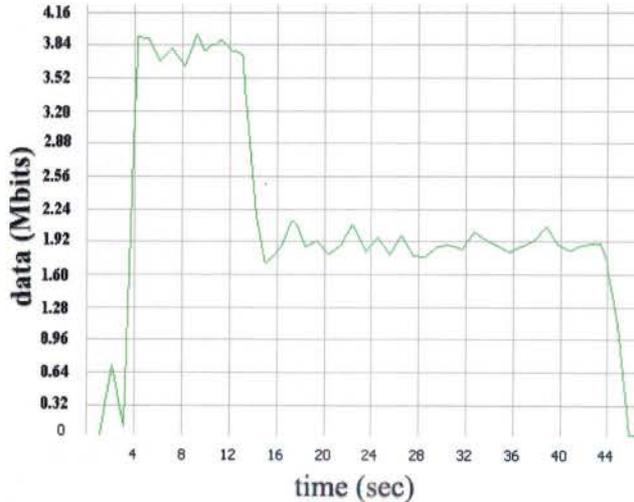


Εικόνα 7.10. Throughput για κάθε χρήστη, σε συνάρτηση με το μέγεθος του αρχείου που κατεβάζει ο χρήστης με το FTP πρωτόκολλο.

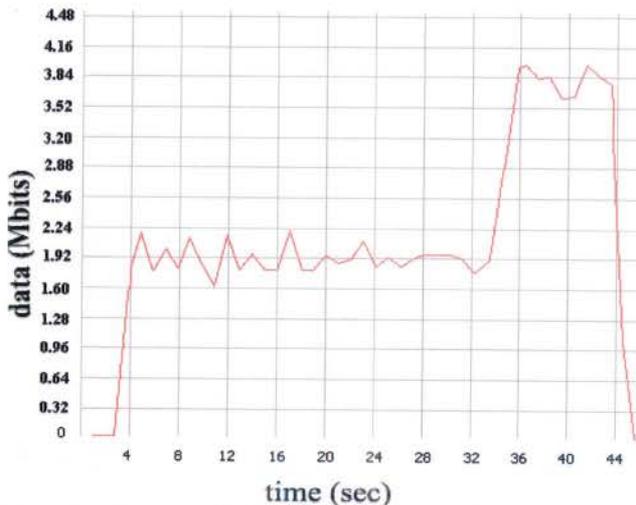
## 7.2.2 Διαμοιρασμός Εύρους Ζώνης (Bandwidth Sharing)

Το πείραμα με τους δύο Clients μας δίνει την δυνατότητα να παρατηρήσουμε πως μοιράζεται το εύρος ζώνης. Χρησιμοποιώντας δύο πανομοιότυπους χρήστες αυτό που θα πρέπει να συμβεί είναι κάθε ένας να καταλάβει το μισό από το εύρος ζώνης που είναι διαθέσιμο, όταν ταυτόχρονα και οι δύο παραλαμβάνουν ένα αρχείο.

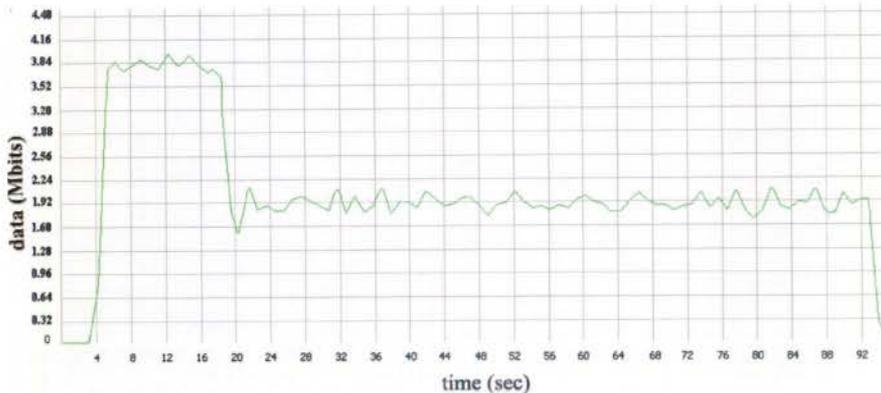
Στις εικόνες 7.11 και 7.12, βλέπουμε το bit rate για τον κάθε ένα χρήστη κατά τη διάρκεια που παραλαμβάνουν και οι δύο κάποιο αρχείο. Ο κατακόρυφος άξονας δείχνει πόσα bits μεταδίδονται σε κάθε χρονική στιγμή. Ο οριζόντιος αναπαριστά το χρόνο σε δευτερόλεπτα.



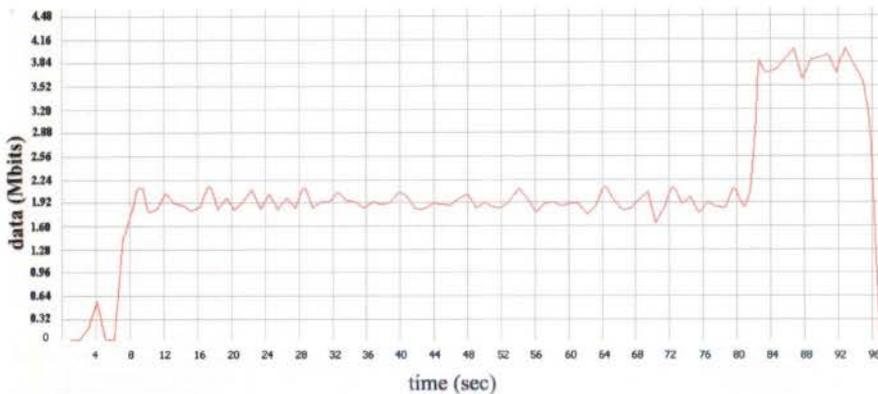
Εικόνα 7.11. Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 10 MB με χρήση του HTTP πρωτοκόλλου από τον Server στον Client 1.



Εικόνα 7.12. Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 10 MB με χρήση του HTTP πρωτοκόλλου από τον Server στον Client 2.



Εικόνα 7.13. Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 20 MB από τον Server στον Client 1.



Εικόνα 7.14. Γραφική παράσταση των Bytes που διακινήθηκαν στο δίκτυο σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την unicast διανομή 20 MB από τον Server στον Client 2.

Αυτό που παρατηρήσαμε στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις, είναι ότι ο πρώτος Client (τον ονομάζουμε 'πρώτο' επειδή πρώτος ξεκινάει να κατεβάζει το αρχείο από τον Server), καταλαμβάνει αρχικά όλο το εύρος ζώνης (bandwidth) μέχρι τη στιγμή που ο δεύτερος Client ξεκινάει να κατεβάζει και αυτός το ίδιο αρχείο από τον Server. Στη συνέχεια το εύρος ζώνης αυτό μοιράζεται στους δύο Clients. Η τιμή του throughput που έχει κάθε Client για το εν λόγω χρονικό διάστημα είναι γύρω στα 2 Mbps.

Να σημειωθεί ότι η χρονική στιγμή που ο δεύτερος Client κάνει την αίτηση για να παραλάβει το αρχείο είναι τυχαία, αλλά την κάνει πάντα όταν ο πρώτος βρίσκεται σε επικοινωνία με τον Server για την παραλαβή του δικού του αρχείου, έτσι ώστε να δούμε την συμπεριφορά του δικτύου κατά την ταυτόχρονη παραλαβή δεδομένων από τους δύο Clients.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είχε ως στόχο την μελέτη την υλοποίηση και την αξιολόγηση ενός ασύρματου τοπικού δικτύου το οποίο έκανε χρήση του 802.11b. Μέσα από την εγκατάσταση ενός τέτοιου δικτύου και την μελέτη των επιδόσεών του, διαπιστώσαμε ότι τα ασύρματα δίκτυα αναμένεται στο μέλλον να είναι άξια ανταγωνισμού με τα ενσύρματα όσων αφορά τις επιδόσεις.

Στο θεωρητικό μέρος αναπτύξαμε τα πρότυπα που έχει αναπτύξει το IEEE και τα οποία είναι απαραίτητα για την ασύρματη επικοινωνία. Αναφερθήκαμε στην λειτουργία του MAC Layer και στους μηχανισμούς λειτουργίας που χρησιμοποιεί κάθε χρήστης για να έχει πρόσβαση σε ένα ασύρματο δίκτυο. Στη συνέχεια αναπτύξαμε το φυσικό στρώμα του 802.11b στάνταρ, δηλαδή τον πως μεταδίδεται η πληροφορία μέσα από το φυσικό μέσσο, από έναν χρήστη σε ένα άλλο.

Το πειραματικό μέρος περιελάμβανε μια σειρά πειραμάτων ώστε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα για τις επιδόσεις του στάνταρ που χρησιμοποιήσαμε. Στο πρώτο μέρος των πειραμάτων μας σχεδιάσαμε και υλοποιήσαμε ένα ασύρματο δίκτυο εσωτερικού χώρου (indoor WLAN). Στόχος ήταν η μέτρηση του throughput του Client. Στη συνέχεια επεκτείναμε το δίκτυό μας, εγκαθιστώντας ένα δεύτερο Client και κάναμε εκ νέου υπολογισμό των throughput κάθε Client. Μια ακόμα πολύ χρήσιμη παρατήρηση που κάναμε κατά την υλοποίηση με τους δύο χρήστες, ήταν ο διαμοιρασμός του εύρους ζώνης (bandwidth sharing). Αυτό σημαίνει ότι κάθε Client παραλαμβάνει το ίδιο αρχείο στον ίδιο χρόνο με κάποιον άλλο, ακόμα και όταν η παραλαβή του αρχείου γίνεται ταυτόχρονα από τους δύο Clients.

Στη συνέχεια ακολούθησε το δεύτερο μέρος των πειραμάτων όπου υλοποιήσαμε ένα ασύρματο δίκτυο σε εξωτερικό χώρο (outdoor WLAN). Σκοπός μας ήταν να δούμε πώς λειτουργεί ένα ασύρματο δίκτυο που κάνει χρήση του IEEE 802.11b, όταν το AP με το STA βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση. Αυτό που παρατηρήσαμε αρχικά, κάνοντας τις ίδιες μετρήσεις με το indoor WLAN, ήταν ότι το outdoor είχε χειρότερες επιδόσεις, πράγμα αναμενόμενο λόγω της μακρινής απόστασης ανάμεσα στο AP και στο STA. Τόσο στο outdoor, όσο και στο indoor ασύρματο δίκτυο όμως, έχουμε μεγάλο εύρος ζώνης και έτσι υπάρχουν πολλές εφαρμογές που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν είτε στη μία, είτε στην άλλη περίπτωση.

#### 8.1 Εφαρμογές που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν στο μέλλον

Όπως και στα ενσύρματα δίκτυα έτσι και στα ασύρματα, θα μπορούσαμε να υλοποιήσουμε πολυμεσικές εφαρμογές, όπως μετάδοση ταινιών βίντεο μετά από απαίτηση του πελάτη (Video on Demand). Ένας χρήστης – πελάτης θα μπορεί να επισκέπτεται το Web Site ενός Server, όπως περιγράψαμε σε προηγούμενη ενότητα και να επιλέγει την ταινία που θέλει να δει. Επειδή όμως απαιτείται μεγάλο εύρος ζώνης, μέχρι τώρα ένα ασύρματο δίκτυο που κάνει χρήση του 802.11b στάνταρ, δεν μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερους από τρεις – τέσσερις ταυτόχρονους χρήστες οι οποίοι μάλιστα πρέπει να βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Ακόμα μία εφαρμογή αποτελεί η μετάδοση ήχου, όπου κάθε χρήστης με την παραπάνω διαδικασία θα μπορεί να ακούσει το αγαπημένο του μουσικό κομμάτι. Ακόμη μια εφαρμογή που

μπορεί να υλοποιηθεί σε ένα ασύρματο δίκτυο και η απλή μετάδοση φωνής διαμέσου του ασύρματου δικτύου, που επιτρέπει την επικοινωνία ενός απομακρυσμένου χρήστη με κάποιον άλλο. Αυτή η εφαρμογή αποτελεί μια μορφή τηλεφωνικής επικοινωνίας. Στις μέρες μας τα δίκτυα υπολογιστών συνέβαλλαν στον διαμοιρασμό μία σύνδεσης Internet σε περισσότερους από έναν χρήστες. Όπως και στα ενσύρματα έτσι και στα ασύρματα δίκτυα, θα μπορούσαμε με ένα μόνο σταθμό εργασίας ο οποίος έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο, να δώσουμε πρόσβαση και σε όποιον άλλο χρήστη μπορεί να επικοινωνεί ασύρματα με τον πρώτο. Δανειζόμενοι όρους που χρησιμοποιήσαμε στην πτυχιακή εργασία, μπορούμε να πούμε ότι ο πρώτος σταθμός είναι ο Server, ενώ ο δεύτερος σταθμός εργασίας είναι ο Client.

Οι εφαρμογές όμως των ασύρματων δικτύων, δεν σταματάνε εδώ. Αποτελούν μία νέα τεχνολογία που συνεχώς εξελίσσεται και παρέχει πολλές ανέσεις σε όσους τη χρησιμοποιούν. Οι έρευνες συνεχίζονται για την βελτίωση της ταχύτητας, παρέχοντας καλύτερες υπηρεσίες στο χρήστη ο οποίος πλέον θα μπορεί να κινείται σε κάθε γεωγραφικό μήκος και πλάτος.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

### **A**

ACK – Acknowledgment  
AP - Access Point

### **B**

BSS - Basic Service Set

### **C**

CDMA - Code Division Multiple Access  
CFP - Contention Free Period  
CSMA/CA - Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance  
CTS - Clear To Send  
CW - Contention Window

### **D**

DBPSK - Differential Binary Phase Shift Keying  
DCF - Distributed Coordination Function  
DIFS - DCF InterFrame Space  
DLL - Data Link Layer  
DQPSK - Differential Quadrature Phase Shift Keying  
DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum

### **E**

EIFS - Extended InterFrame Space  
ESS - Extended Service Set  
ETSI - European Telecommunications Standards Institute

### **F**

FCS - Frame Check Sequence  
FDMA - Frequency Division Multiple Access  
FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum  
FSK - Frequency Shift Keying

### **G**

GFSK - Gaussian Frequency Shift Key  
GMSK - Gaussian Minimum Shift Keying

## **I**

IBSS - Independent BSS  
IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers  
IFS - Inter Frame Space  
ISM – Industrial Scientific and Medical

## **M**

MAC - Medium Access Control  
MPDU - MAC Protocol Data Unit  
MSDU - MAC Service Data Unit

## **N**

NAV - Network Allocation Vector  
NOS - Network Operating System

## **O**

OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplex

## **P**

PCF - Point Coordination Function  
PCS - Personal Communication Systems  
PHY - Physical Layer  
PIFS - PCF InterFrame Space  
PLCP - Physical Layer Convergence Procedure  
PLM - Physical Layer Management  
PMD - Physical Medium Dependent  
PN - Pseudo-Noise  
PPDU - PLCP Protocol Data Unit  
PSK - Phase Shift Keying

## **R**

RTS - Request To Send

## **S**

SAP - Service Access Point  
SIFS - Short InterFrame Space  
STA – Station Adapter  
SWAP - Shared Wireless Access Protocol

## **T**

TDMA - Time Division Multiple Access

## **W**

WEP - Wired Equivalent Privacy

WLAN - Wireless Local Area Networks