



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Ανάπτυξη ασύρματου τοπικού δικτύου με χρήση του  
συστήματος DVB-RCS**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρία Μ. Τζίφα

**Επιβλέπων:** Φράγκος Παναγιώτης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Αθήνα, Ιούλιος 2007**





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

## Ανάπτυξη ασύρματου τοπικού δικτύου με χρήση του συστήματος DVB-RCS

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μαρία Μ. Τζίφα

**Επιβλέπων:** Παναγιώτης Φράγκος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 16<sup>η</sup> Ιουλίου 2007

.....  
Παναγιώτης Φράγκος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Νικόλαος Ουζούνογλου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Φίλιππος Κωνσταντίνου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Αθήνα, Ιούλιος 2007**

.....  
Μαρία Μ. Τζίφα

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Μαρία Μ. Τζίφα, 2007

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι τηλεπικοινωνίες και η ψηφιακή εκπομπή ευρείας κάλυψης (digital broadcasting) είναι δυο διακριτοί τεχνολογικοί τομείς, οι οποίοι μέχρι πρόσφατα ακολουθούσαν παράλληλη πορεία, όμως ο συνδυασμός τους μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες υψηλής ποιότητας. Από την μια πλευρά, η ψηφιακή εκπομπή και συγκεκριμένα το σύστημα DVB-RCS ασχολείται με μεταδόσεις από σημείο προς πολλαπλά σημεία και στοχεύει πλέον στην αμφίδρομη διανομή ευρυζωνικών δεδομένων.

Από την άλλη πλευρά, η ταχεία εξάπλωση των ασύρματων δικτύων (WLAN) και κυρίως της οικογένειας προτύπων IEEE 802.1X έχει καταστήσει την τεχνολογία αυτή κυρίαρχη στον χώρο της ασύρματης μετάδοσης δεδομένων σε μικρή περιοχή, με ταχύτητες που φτάνουν μέχρι και 45 Mbps ή και ακόμα υψηλότερα.

Στην παρούσα εργασία υλοποιείται η ιδέα της συνδυασμένης χρήσης των τηλεπικοινωνιών και της τεχνολογίας ψηφιακής εκπομπής πραγματοποιώντας ένα μοντέλο ασύρματου δικτύου βασισμένου στο σύστημα DVB-RCS. Η αρχιτεκτονική που μελετάται συνδυάζει τις τεχνολογίες WLAN και DVB, ώστε να παρέχεται στην τοπική κοινότητα ευκολότερη πρόσβαση στις πληροφορίες με υψηλή ταχύτητα και ποιότητα.

**Λέξεις κλειδιά :** DVB-RCS, WLAN, 802.11a/b/g, access point, ασύρματο δίκτυο



## **ABSTRACT**

The telecommunications and the digital emission of wide cover (digital broadcasting) it is two distinguishable technological sectors, which up to recently followed parallel course, however their combination can offer services of high quality. From a side, the digital emission and concretely system DVB-RCS deals with transmissions from point to multiple points and aims henceforth in the bidirectional distribution of broadband data.

On the other hand, the rapid spread of wireless networks (WLAN) and mainly the family of models IEEE 802.1X has rendered this technology sovereign in the space of wireless transmission of data in small region, with speeds that reach until 45 Mbps or even still more highly.

In the present work is materialised the idea of combined use of telecommunications and technology of digital emission realising a model of wireless network based on system DVB-RCS. The architecture that is studied combines technologies WLAN and DVB, so that is provided in the local community easier access in the information with high speed and quality.

**Keywords :** DVB-RCS, WLAN, 802.11a/b/g, access point, wireless network











1.7.1.4.5 Σειρά μετάδοσης .....	44
1.7.1.5 Τυχαιοποίηση για ορθή ενεργειακή διανομή.....	44
1.7.1.6 Κωδικοποίηση.....	45
1.7.1.6.1 Συνδεδεμένος κώδικας.....	45
1.7.2 Τμήμα ενδιάμεσης συχνότητας.....	49
1.7.3 Τμήμα ραδιοσυχνοτήτων (RF).....	50
1.8 Μετάδοση δεδομένων IP πάνω από κανάλι DVB-RCS.....	51
1.9 Επιταχύνοντας την πρόσβαση στο Internet .....	53
1.9.1 Το πρωτόκολλο TCP και η σημασία του .....	54
<b>2. ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....</b>	<b>56</b>
2.1. Εισαγωγή.....	56
2.2 Τα στοιχεία και η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων.....	57
2.2.1 Γενικά.....	57
2.2.2 Φυσική αρχιτεκτονική ενός ασύρματου δικτύου.....	57
2.2.3 Συσκευές τελικών χρηστών.....	58
2.2.4 Λογισμικό δικτύων.....	59
2.2.5 Ασύρματη διεπαφή δικτύων.....	60
2.2.6 Κεραία.....	61
2.2.7 Το κανάλι επικοινωνιών.....	62
2.3 Επισκόπηση των δικτύων 802.11.....	63
2.3.1 Οικογενειακό δένδρο τεχνολογίας δικτύων IEEE 802.....	63
2.3.2 Ανάλυση των δικτύων IEEE 802.....	64
2.3.3 Η τοπολογία του 802.11.....	65
2.3.3.1 Independent Basic Service Set (IBSS) Networks .....	66
2.3.3.2 Extended Service Set (ESS) Networks .....	67
2.3.4 Λογική αρχιτεκτονική των δικτύων 802.11.....	68
2.3.4.1 Στρώμα της MAC .....	69
2.3.4.2 Τα φυσικά στρώματα IEEE 802.11.....	69
2.3.5 Οι υπηρεσίες του IEEE 802.11 .....	71
2.3.5.1 Υπηρεσίες σταθμών.....	71
2.3.5.2 Υπηρεσίες συστημάτων διανομής .....	73

<b>3. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ .....</b>	<b>76</b>
3.1 Εισαγωγή .....	76
3.2 Προβλήματα ασφάλειας δικτύου .....	77
3.3 Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ασφάλειας του 802.11.....	78
3.3.1 SSID – Service Set Identifier .....	78
3.3.2 WEP - Wired Equivalent Privacy .....	78
3.4 Πιστοποίηση Ταυτότητας και σύνδεση .....	79
3.5 Το πρότυπο IEEE 802.1X .....	81
3.5.1 Περιγραφή.....	81
3.5.2 Ανάπτυξη κλειδιών WEP.....	82
3.6 Το πρωτόκολλο LEAP (Lightweight Extensible Authentication Protocol).....	83
3.6.1 Περιγραφή.....	83
3.6.2 Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου LEAP.....	84
3.7 Προστασία της μεταδιδόμενης πληροφορίας στα ψηφιακά κινητά συστήματα .....	87
<b>4. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ..</b>	<b>90</b>
4.1 Εισαγωγή .....	90
4.2 Τοπολογία του ασύρματου δικτύου.....	90
4.3 Καταγραφή του εξοπλισμού.....	92
4.3.1 Cisco® Aironet® 1240AG Series Access Point.....	92
4.3.2 Cisco Aironet Omnidirectional Mast Mount Antenna (AIR-ANT2506).....	99
4.3.3 Λογισμικό .....	100
4.4. Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας.....	101
4.5 Παρουσίαση και ανάλυση απόδοσης του δικτύου.....	102
<b>5. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....</b>	<b>108</b>
5.1 Εισαγωγή.....	108
5.2 Διάδοση του σήματος .....	108
5.2.1 Διάδοση του κύματος στον ελεύθερο χώρο.....	108
5.2.2 Περιβάλλον εσωτερικού χώρου .....	109
5.2.3 Το φαινόμενο της πολυδιαδρομικής διάδοσης .....	111
5.3 One- Slope Model.....	112

5.3.1 Περιγραφή.....	112
5.3.2 Αποτελέσματα προσομείωσης.....	114
5.3.3 Σύγκριση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων .....	117
5.4 Multi Wall Model.....	118
5.4.1 Περιγραφή.....	118
5.4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	119
5.4.3 Σύγκριση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων.....	120
5.4.4 Μειονέκτημα της μεθόδου υπολογισμού.....	121
5.5 Πηγές σφαλμάτων.....	121
<b>ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....</b>	<b>124</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>126</b>

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Στάδια πολυπλεξίας και μετάδοσης.....	22
Σχήμα 1.2: Η δομή του Πακέτου Μεταφοράς .....	22
Σχήμα 1.3: Επισκόπηση της αρχιτεκτονικής του συστήματος DVB-RCS για ένα ευρυζωνικό δίκτυο υπηρεσιών.....	26
Σχήμα 1.4: Μπλοκ διάγραμμα ενός διαμορφωτή DVB-RCS .....	29
Σχήμα 1.5: Τυχαιοποίηση των εισερχόμενων δεδομένων.....	30
Σχήμα 1.6: Μορφή των δεδομένων μετά την διαδικασία της προσαρμογής, τυχαιοποίησης, εξωτερικής κωδικοποίησης και διεμπλοκής .....	31
Σχήμα 1.7: Διάτρητοι συνελκτικοί κώδικες.....	32
Σχήμα 1.8: Η διαμόρφωση QPSK.....	33
Σχήμα 1.9: Τμήμα βασικής ζώνης στο return link του συστήματος.....	35
Σχήμα 1.10 : Σύνθεση ενός ATM TRF burst.....	40
Σχήμα 1.11: Σύνθεση του προαιρετικού TRF burst που φέρει πακέτα MPEG2-TS.....	41
Σχήμα 1.12 : Σύνθεση του burst SYNC.....	42
Σχήμα 1.13 : Σύνθεση burst ACQ.....	42
Σχήμα 1.14 : Σύνθεση ενός burst CSC.....	43
Σχήμα 1.15: Διαδικασία τυχαιοποίησης.....	44
Σχήμα 1.16: Κωδικοποιημένη λέξη RS.....	47
Σχήμα 1.17: Συνελκτικός κώδικας ρυθμού $\frac{1}{2}$ .....	48
Σχήμα 1.18: Turbo κωδικοποιητής.....	49
Σχήμα 1.19: Διάγραμμα του τμήματος ραδιοσυχνοτήτων RF και της κεραίας.....	50
Σχήμα 1.20: Ενσωμάτωση της MAC address στο section header .....	52
Σχήμα 1.21.: Πεδία της επικεφαλίδας στην αρχή του τμήματος TCP .....	55
Σχήμα 2.1: Τα συστατικά ενός ασύρματου δικτύου επεκτείνουν τις δυνατότητες του ενσύρματου.....	58





Σχήμα 5.6: Η βασική ιδέα λειτουργίας του Multi Wall Model.....	118
Σχήμα 5.7: Η ισχύς στον χώρο μελέτης μέσω του MWM.....	120



# 1. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ DVB-RCS

## 1.1 Εισαγωγή

Οι τηλεπικοινωνίες και η ψηφιακή εκπομπή ευρείας κάλυψης (digital broadcasting) είναι δύο διακριτοί τεχνολογικοί τομείς οι οποίοι μέχρι πρόσφατα ακολουθούσαν παράλληλη πορεία, κατέχοντας διαφορετική θέση ως προς την παροχή υπηρεσιών στον τελικό χρήστη. Η ψηφιακή εκπομπή ασχολείται με μεταδόσεις από σημείο προς πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint) και στοχεύει πλέον στην αμφίδρομη διανομή ευρυζωνικών δεδομένων -συμπεριλαμβανομένης εικόνας και ήχου υψηλής ποιότητας.

Η εξέλιξη των σύγχρονων συστημάτων ψηφιακών τηλεπικοινωνιών, κινητών και σταθερών, πλέον βασίζεται στην λογική της "ένα-προς-ένα" (point-to-point) αμφίδρομης σύνδεσης, όπως είναι η προσωπική οπτικοακουστική επικοινωνία, και η ανταλλαγή δεδομένων peer-to-peer, συμπεριλαμβανομένης της πρόσβασης στο Internet.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δύο διαφορετικών αυτών τεχνολογιών μπορούν να αλληλοσυμπληρωθούν, με σκοπό την ανάπτυξη υβριδικών δικτύων που συνδυάζουν την αμφιδρομότητα με την παροχή ευρυζωνικών πολυμεσικών υπηρεσιών. Σε αυτή ακριβώς την λογική συνδυασμού τεχνολογιών βασίζεται η ιδέα της αμφίδρομης εκπομπής. Η αξία της συνδυασμένης χρήσης τηλεπικοινωνιών και ψηφιακής εκπομπής φαίνεται από το ενδιαφέρον που προσελκύουν παγκοσμίως οι ερευνητικές προσπάθειες που είναι εστιασμένες σε αυτή την ιδέα. Ολοένα και περισσότερο ελκυστική εμφανίζεται η ιδέα της ενοποίησης διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης σε ένα κοινό ενοποιημένο δίκτυο. Με δεδομένη μάλιστα την επικράτηση του διαδικτυακού πρωτοκόλλου (IP) στην ανταλλαγή δεδομένων, ένα τέτοιο ενοποιημένο σύστημα μπορεί να βασίζεται εξ' ολοκλήρου στο πρωτόκολλο αυτό ("all-IP" δίκτυο).

Η εργασία αυτή υλοποιεί την ιδέα της σύγκλισης των τηλεπικοινωνιών και των τεχνολογιών εκπομπής διερευνώντας ένα μοντέλο ευρυζωνικού δικτύου βασισμένου στην

επίγεια ψηφιακή μετάδοση δεδομένων (DVB-RCS). Η υλοποίηση που μελετάται συνδυάζει την τεχνολογία του DVB με την δικτυακή υποδομή ενός ασύρματου δικτύου, για να προσφέρει στον τελικό χρήστη υψηλής ταχύτητας υπηρεσίες δεδομένων. Με τη χρήση της πλατφόρμας DVB- RCS για το ασύρματο ευρυζωνικό downlink και uplink, διαμορφώνεται ένα δίκτυο που εκμεταλλεύεται το βασικό χαρακτηριστικό των δικτύων που παρέχουν υπηρεσίες πολυμέσων: ο όγκος των δεδομένων που προορίζεται για τον τελικό χρήστη είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερος από την κίνηση που παράγει ο χρήστης και που στέλνεται πίσω στο δίκτυο μέσω του καναλιού επιστροφής.

## **1.2 Η μετάβαση στην ψηφιακή εκπομπή**

Με την εισαγωγή της ψηφιακής τεχνολογίας στην επίγεια μετάδοση, αποτελεί θέμα χρόνου η μετάβαση από τα αναλογικά στα ψηφιακά συστήματα. Αυτή η διαδικασία (“Digital Switchover”) αναμένεται να είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα, όχι τόσο λόγω τεχνικών δυσκολιών, όσο εξαιτίας της υπάρχουσας αναλογικής υποδομής τόσο στους παροχείς όσο και στους τελικούς χρήστες, μιας υποδομής που θα απαιτήσει πολύ χρόνο και ισχυρά κίνητρα για να αντικατασταθεί. Υπάρχουν όμως και τεχνικά ζητήματα, όπως για παράδειγμα η συνύπαρξη αναλογικών και ψηφιακών καναλιών σε γειτονικές ή και στην ίδια περιοχή της μάντας των UHF. Όπως ορίζει το κείμενο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής που παρουσιάστηκε το 2002 στο Ευρωπαϊκό Συμβούλιο της Σεβίλλης, για την επιτάχυνση της μετάβασης στην ψηφιακή μετάδοση, θα πρέπει τα κράτη μέλη να δημιουργήσουν συνθήκες διαφάνειας όσον αφορά τους όρους της μετάβασης. Τα κράτη μέλη είχαν υποχρέωση, έως τα τέλη του 2003, να δημοσιεύσουν τις προθέσεις τους σχετικά με την επικείμενη μετάβαση: θα πρέπει να περιλαμβάνεται χρονοδιάγραμμα και αξιολόγηση των συνθηκών της αγοράς, καθώς και ενδεχομένως ημερομηνία τερματισμού των αναλογικών επίγειων τηλεοπτικών εκπομπών (analog closure), που θα επέτρεπε την ανάκτηση και την αναδιανομή των συχνοτήτων. Τα εθνικά σχέδια μετάβασης θα πρέπει επίσης να λαμβάνουν υπόψη ανταγωνιστικούς μηχανισμούς μετάδοσης (κυρίως δορυφορικούς, καλωδιακούς και επίγειους). Με βάση τις οδηγίες αυτές, αναμένεται στα επόμενα 10

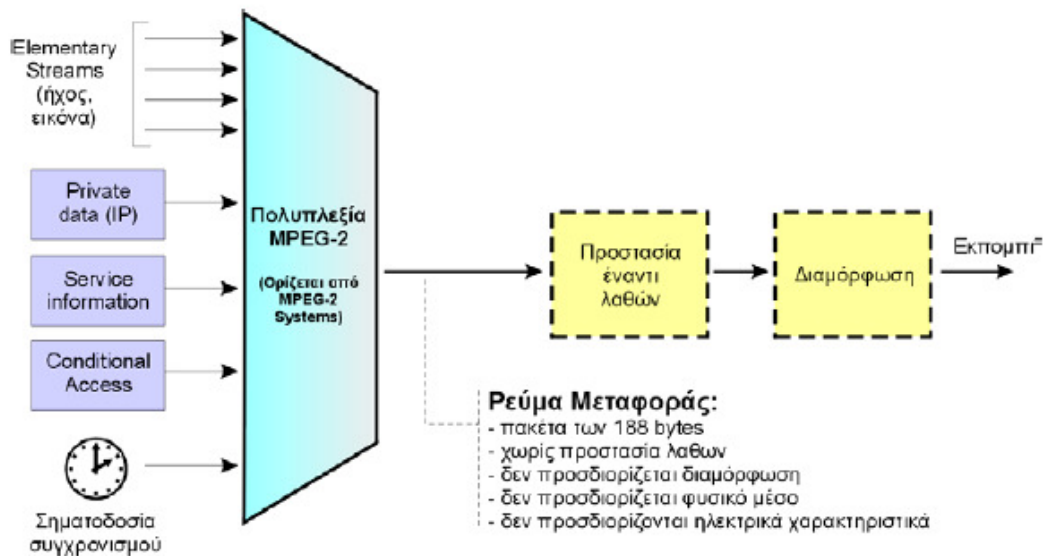
χρόνια το 50% των καναλιών εκπομπής να είναι ψηφιακά και να χρησιμοποιούν το MPEG-2 Transport Stream ως στρώμα μεταφοράς. Στις επόμενες παραγράφους παρατίθενται συνοπτικά τα τεχνολογικά πρότυπα που κατέστησαν δυνατή την υλοποίηση και την εξάπλωση της ψηφιακής εποχής στον χώρο της μετάδοσης δεδομένων, ήχου και εικόνας.

### **1.3 Το σήμα βασικής ζώνης: συμπίεση και πολυπλεξία κατά MPEG-2**

Όταν, μέχρι και τις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας, η έννοια της ψηφιακής μετάδοσης δεδομένων περιοριζόταν απλά στην απλή ψηφιοποίηση του σήματος σε ασυμπίεστη παλμοσειρά PCM, μια μετατροπή που καταλήγει σε ψηφιακό σήμα ενός ρυθμού της τάξης των 270 Mbps, κάθε έννοια ασύρματης μετάδοσης ήταν φυσικό να μην έχει κανένα πρακτικό αντίκρισμα.

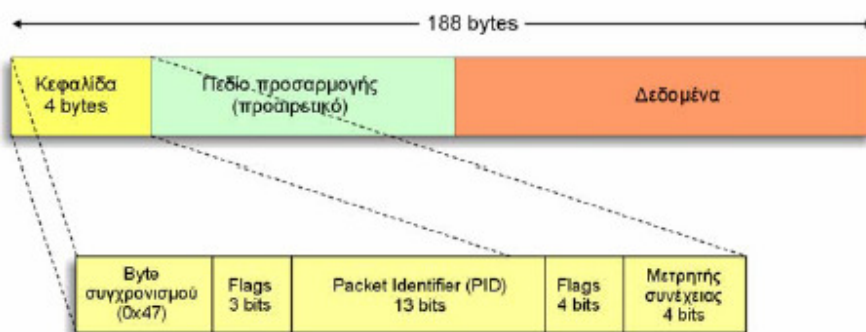
Με την εισαγωγή των αλγορίθμων συμπίεσης εικόνας MPEG-1 και αργότερα του MPEG-2 έγινε δυνατή η συμπίεση του σήματος σε ποσοστά της τάξης του 1:30 ή ακόμη περισσότερο.

Το συμπιεσμένο οπτικοακουστικό σήμα, που φέρει την ονομασία Στοιχειώδης Ροή (Elementary Stream) μαζί με τις Στοιχειώδεις Ροές άλλων προγραμμάτων αλλά και οποιουδήποτε είδους άλλη ψηφιακή πληροφορία, όπως δεδομένα TCP/IP, πολυπλέκεται σε ένα κοινό Ρεύμα Μεταφοράς (MPEG-2 Transport Stream) που αποτελεί και το σήμα βασικής ζώνης για όλα τα συστήματα DVB, όπως ορίζει η προδιαγραφή MPEG-2 Systems. Το Ρεύμα Μεταφοράς περιέχει, εκτός από Στοιχειώδεις Ροές, πληροφορίες για τις διάφορες υπηρεσίες, σηματοδосία συγχρονισμού, ιδιωτικά δεδομένα (private data), στα οποία εντάσσονται και τα δεδομένα IP και έλεγχο περιορισμένης πρόσβασης (Conditional Access).



Σχήμα 1.1 Στάδια πολυπλεξίας και μετάδοσης

Το Ρεύμα Μεταφοράς αποτελεί μια μορφή πολυπλεξίας σχεδιασμένη για σύνθετες εφαρμογές όπως «μπουκέτα» (bouquets) εικόνας, που απαρτίζονται από πολλά ταυτόχρονα προγράμματα και ροές δεδομένων. Αποτελείται από μια διαδοχή πακέτων σταθερού μήκους των 188 bytes που ονομάζονται Πακέτα Μεταφοράς (Transport Packets). Σύνολα δεδομένων που είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος (για παράδειγμα, μία συμπιεσμένη εικόνα, ένα τμήμα ήχου ή ένα πακέτο IP) θα υποστούν κατάτμηση και το περιεχόμενό τους θα μοιραστεί σε περισσότερα του ενός transport packets. Η δομή ενός πακέτου μεταφοράς φαίνεται στο σχήμα 1.2



Σχήμα 1.2: Η δομή του Πακέτου Μεταφοράς

Το αναγνωριστικό πακέτου (Packet Identifier – PID) χρησιμοποιείται στη διαδικασία πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας για να ξεχωρίσει πακέτα με κοινό περιεχόμενο. Το πεδίο προσαρμογής χρησιμοποιείται για να συμπληρώσει το τελευταίο από μια σειρά πακέτων που φέρουν ένα κατακερματισμένο σύνολο δεδομένων.

Η χρήση μικρών και σταθερού μήκους πακέτων διευκολύνει την προστασία του ψηφιακού σήματος από λάθη. Για παράδειγμα, τα πρότυπα DVB για διαμόρφωση και μετάδοση ορίζουν ότι κάθε πακέτο MPEG-2 προστατεύεται με έναν block κώδικα του τύπου Reed-Solomon πριν προχωρήσει για περαιτέρω επεξεργασία στον πομπό. Η αυξημένη ανθεκτικότητα του Ρεύματος Μεταφοράς του προσφέρει μεγαλύτερες πιθανότητες «επιβίωσης» σε ένα κανάλι με λάθη, όπως είναι οποιοδήποτε περιβάλλον ασύρματης εκπομπής

Η προδιαγραφή Systems του MPEG-2 ορίζει την ακριβή μορφή του σήματος που εξέρχεται από τον πολυπλέκτη, στην προκειμένη περίπτωση του Ρεύματος Μεταφοράς. Δεν περιγράφει το φυσικό μέσο μεταφοράς και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του, τη μέθοδο προστασίας έναντι λαθών ούτε και την τεχνική διαμόρφωσης. Οι διαδικασίες αυτές ορίζονται από τις προδιαγραφές μετάδοσης, στη συγκεκριμένη περίπτωση από τα πρότυπα DVB.

## **1.4 Εισαγωγή στα πρότυπα DVB**

Η οικογένεια προτύπων DVB (Digital Video Broadcasting) αναπτύχθηκε για να προσφέρει υπηρεσίες ψηφιακής τηλεόρασης εκμεταλλευόμενη ένα ευρύ φάσμα μέσων διανομής, δορυφορικών, καλωδιακών και επίγειων. Όλα τα DVB standards έχουν υιοθετήσει τα πρότυπα MPEG-2 για συμπίεση ήχου και κινούμενης εικόνας καθώς και για πολυπλεξία. Χάρη στη χρήση των πακέτων μεταφοράς MPEG-2 ως γενικευμένων "μεταφορέων δεδομένων" (data containers), ένα MPEG-2 Transport Stream -και συνεπώς ένα σύστημα DVB- μπορεί να μεταφέρει σχεδόν οτιδήποτε μπορεί να ψηφιοποιηθεί, από τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV), πολλαπλά κανάλια PAL/SECAM/NTSC, μέχρι και υψηλής ταχύτητας υπηρεσίες πολυμέσων και δεδομένων.

- Το δορυφορικό σύστημα DVB-S (Digital Video Broadcasting - Satellite) είναι το παλαιότερο και πιο διαδεδομένο από την οικογένεια προτύπων DVB και έχει αδιαμφισβήτητα τύχει παγκόσμιας αποδοχής. Το DVB-S σχεδιάστηκε με σκοπό την πλήρη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης των δορυφορικών τηλεοπτικών αναμεταδοτών. Χρησιμοποιεί ρυθμό μεταφοράς των 54Mbps με διαμόρφωση QPSK σε συνδυασμό με ένα σχήμα διπλής κωδικοποίησης και διεμπλοκής (coding/interleaving).
- Το καλωδιακό σύστημα DVB-C (Digital Video Broadcasting - Cable) έχει τεχνικά αρκετές ομοιότητες με το DVB-S. Η διαφορά του έγκειται στο ότι χρησιμοποιεί την αποδοτικότερη -αλλά και πιο ευαίσθητη σε παρεμβολές- διαμόρφωση 64 QAM αντί για την QPSK. Έτσι, ένα καλωδιακό κανάλι των 8 MHz μπορεί να μεταφέρει 38.5 Mbps. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί QAM λιγότερων ή περισσότερων επιπέδων. Σε κάθε περίπτωση, υπάρχει μια αντιστάθμιση μεταξύ ταχύτητας και αξιοπιστίας.
- Το επίγειο σύστημα DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) επιτυγχάνει ψηφιακή μετάδοση υψηλών ταχυτήτων πάνω από το "δύσκολο" επίγειο κανάλι, χρησιμοποιώντας διαμόρφωση πολλαπλών φερόντων στο σχήμα της πολυπλεξίας με ορθογωνική διαίρεση συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM). Το σχήμα OFDM του DVB-T χρησιμοποιεί ένα μεγάλο αριθμό φερόντων (6817 ή 1704 για μετάδοση 8K και 2K αντίστοιχα), κάθε ένα από τα οποία διαμορφώνεται κατά QPSK, 16QAM ή 64QAM. Έτσι, η πληροφορία κατανέμεται ομοιόμορφα στο φάσμα και, σε συνδυασμό με κωδικοποίηση και διεμπλοκή δύο στρωμάτων, το σήμα αποκτά μεγάλη ευρωστία ακόμη και σε περιβάλλοντα με ισχυρές διαλείψεις και φαινόμενα πολυδιαδρομικής μετάδοσης (multipath).
- Το σύστημα DVB-RCS αποτελεί το τελευταίο χρονικά μέλος της οικογένειας DVB, το οποίο υποβλήθηκε στην τελική τυποποίηση από το ETSI στα τέλη του 2000 και στην συνέχεια από το DVB το 2002. Το πρότυπο αυτό απαιτεί μια προωστική σύνδεση βασισμένη στο σχήμα δεδομένων DVB/MPEG 2 και μια σύνδεση επιστροφής χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης MF- TDMA, που επιτρέπει μια αμφίδρομη ανταλλαγή δεδομένων. Το πλαίσιο DVB/MPEG 2



φέρνει μέχρι 45 Mbit/s στην προωστική σύνδεση και ένα σχέδιο MF-TDMA που επιτρέπει μέχρι 2 Mbit/s ή περισσότερο ανά φέρον στην κατεύθυνση επιστροφής.

## **1.5 Αρχές του προτύπου DVB-RCS**

### **1.5.1 Γενικά**

Το πρότυπο DVB-RCS, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ορίζει τις προδιαγραφές για την επίγεια μετάδοση δεδομένων. Αναπτύχθηκε, όπως και τα υπόλοιπα προαναφερθέντα standards, από το DVB Forum και εγκρίθηκε από τον ETSI ως πανευρωπαϊκό πρότυπο.

### **1.5.2 Γενική περιγραφή του DVB – RCS**

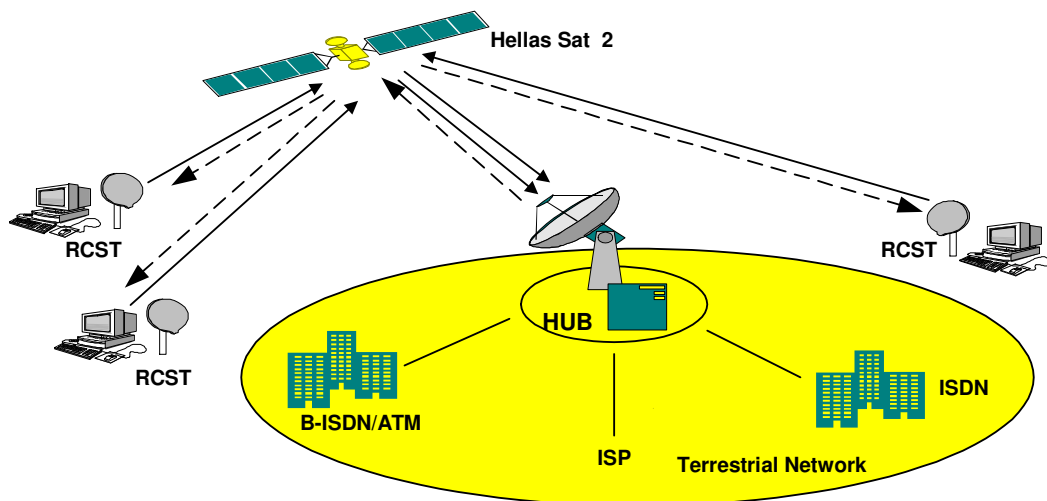
Το σύστημα DVB-RCS προσφέρει αμφίδρομη ευρυζωνική επικοινωνία μέσω του δορυφόρου Hellas Sat 2 μεταξύ χρηστών που ανταλλάσσουν εφαρμογές πραγματικού χρόνου βασισμένες σε διάφορους τύπους δεδομένων (π.χ. κείμενο, φωνή, εικόνες, βίντεο). Στο δίκτυο που περιγράφεται, υπάρχουν δύο πορείες μετάδοσης το προωστικό κανάλι από τον Κεντρικό Δορυφορικό Σταθμό Εδάφους προς το τερματικό, και ένα κανάλι επιστροφής από το τερματικό προς τον Κεντρικό Δορυφορικό Σταθμό Εδάφους.

Ένα άμεσο σύστημα καναλιών επιστροφής διευκολύνει την αμφίδρομη επικοινωνία υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων μέσω του δορυφόρου Hellas Sat 2. Η ζεύξη επιστροφής θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη γρήγορη πρόσβαση του Διαδικτύου ή τις μεγάλες ανταλλαγές δεδομένων που θα είναι απαραίτητες σε έναν «κόσμο πολυμέσων». Το δορυφορικό σύστημα Hellas Sat 2 όχι μόνο αφαιρεί την ανάγκη για τις φυσικές συνδέσεις αλλά και αυξάνει τις ταχύτητες μεταφοράς.

Το δίκτυο αποτελείται από ένα Κεντρικό Δορυφορικό Σταθμό Εδάφους (HUB) το οποίο αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του αναφερομένου στην υπογραφείσα σύμβαση παραχώρησης δορυφορικού συστήματος - ένας ή περισσότεροι δορυφόροι στην προωστική κατεύθυνση (σε πρώτο στάδιο θα χρησιμοποιηθεί μόνο ο δορυφόρος Hellas Sat 2 και σε

μελλοντικό ο Hellas Sat 3), ένα δορυφορικό αμφίδρομο τερματικό (RCST) στη θέση του χρήστη, και έναν δορυφόρο (Hellas Sat 2) στην κατεύθυνση επιστροφής. Τα μέρη του συστήματος DVB-RCS διατάσσονται σε τοπολογία αστέρος. Το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να υποστηρίξει την ταυτόχρονη λειτουργία τουλάχιστον 10.000 RCSTs.

Το σχήμα 1.3 δίνει μια επισκόπηση της αρχιτεκτονικής του συστήματος για ένα ευρυζωνικό δίκτυο υπηρεσιών. Το φάσμα χρηστών περιλαμβάνει τις μικρές/μέσου μεγέθους επιχειρήσεις, τα πανεπιστήμια και τους οικιακούς χρήστες. Η προωστική κυκλοφορία προς τον χρήστη πολυπλέκεται σε ένα συμβατικό φέρον μετάδοσης DVB/MPEG 2 στο κέντρο μετάδοσης (Κεντρικό Δορυφορικό Σταθμό Εδάφους) και αναμεταδίδεται στο RCST.



Σχήμα 1.3: Επισκόπηση της αρχιτεκτονικής του συστήματος DVB-RCS για ένα ευρυζωνικό δίκτυο υπηρεσιών

Αυτό το φέρον διαβιβάζεται χρησιμοποιώντας τη διαμόρφωση QPSK και συνδεδεμένους συνελκτικούς κώδικες Reed-Solomon (που παρέχουν ένα μέγιστο ρυθμό μετάδοσης περίπου 45 Mb/s) σε κάθε χρησιμοποιούμενο αναμεταδότη εύρους 36 MHz του Hellas Sat 2. Η πορεία καναλιών επιστροφής χρησιμοποιείται ως τμήμα ενός ψηφιακού δικτύου, με τον Κεντρικό Δορυφορικό Σταθμό Εδάφους να παρέχει την πύλη (gateway) σε άλλα

(δορυφορικά και επίγεια) δίκτυα. Προκειμένου να παρασχεθεί η διαφανής σύνδεση με άλλα δίκτυα, χρησιμοποιούνται τα πρότυπα βιομηχανίας για τη μεταφορά των στοιχείων από το RCST προς τον Κεντρικό Δορυφορικό Σταθμό Εδάφους, ειδικότερα πρωτόκολλο (IP) Διαδικτύου και τρόπος ασύγχρονης μεταφοράς (ATM). Η προωστική πορεία του συστήματος είναι βασισμένη στα σχετικά πρότυπα ETSI/DVB που σχετίζονται με την τρέχουσα ψηφιακή direct-to-home (DTH) μετάδοση της τηλεόρασης και του ραδιοφώνου. Αυτό καθιστά αυτές τις δύο υπηρεσίες ιδανικές για την ένωση και συμβίωση πάνω σε ένα κοινό φέρον.

Στην προωστική πορεία, μηνύματα σηματοδοσίας μεταφέρονται στα επιμέρους RCSTs σχετικά με τα λάθη συχνότητας και συγχρονισμού, και την κατανομή του εύρους ζώνης (δηλ. θυρίδες χρόνου και συχνότητας). Αυτά τα μηνύματα φέρονται μέσω ενός ή περισσότερων εικονικών καναλιών αποκαλούμενων κανάλια ελέγχου δικτύων, που πολυπλέκονται στο προωστικό ρεύμα μεταφοράς. Συνεπώς το κάθε δορυφορικό τερματικό δεν έχει σταθερή συχνότητα και εύρος φάσματος εκπομπής αλλά ακολουθεί τις παραμέτρους που του διαβιβάζονται από τον Κεντρικό Δορυφορικό Σταθμό Εδάφους. Έτσι, διαβιβάζονται οι πίνακες που παρέχουν στα τερματικά τις πληροφορίες για το που μπορούν να βρουν τα κανάλια ελέγχου τους, και με τις πληροφορίες για τη διαμόρφωση δικτύου. Αυτοί οι πίνακες είναι παρόμοιοι με τον πίνακα πληροφοριών δικτύων (NIT), τον πίνακα περιγραφής υπηρεσιών (SDT) και τον πίνακα πληροφοριών γεγονότος (EIT) στη μετάδοση DVB.

Η πορεία επιστροφής από τον επιμέρους χρήστη παρέχεται μέσω ενός δορυφορικού τερματικού (RCST), τη σταθερή μικρή κεραία (0,8 - 1.2m στην ζώνη Ku στην Ευρώπη, παραδείγματος χάριν) και το PC πολυμέσων ή τον ψηφιακό ενσωματωμένο αποκωδικοποιητή (IRD) προς έναν διαδραστικό κεντρικό υπολογιστή στον Κεντρικό Δορυφορικό Σταθμό Εδάφους χρησιμοποιώντας ένα σχέδιο πολλαπλής-πρόσβασης. Σε ένα Καλωδιακό ή SMATV περιβάλλον, ένα τέτοιο τερματικό παρέχει μια πορεία επιστροφής για μια ομάδα συνδεδεμένων χρηστών. Αυτή η σύνδεση επιστροφής μπορεί να αποτελεστεί από την πολυπλεξία διάφορων μορφών δεδομένων (π.χ. βίντεο, data, fax, και ήχος) που προέρχονται από το σπίτι ή το γραφείο.

Ομοίως, στο σύστημα DVB-RCS το RCST ενεργεί ως δρομολογητής/ πολυπλέκτης για τις διαφορετικές πηγές δεδομένων. Τα επιμέρους δεδομένα καθοδηγούνται μέσω του

Κεντρικού Σταθμού Εδάφους στον τελικό προορισμό τους. Το RCST υιοθετεί ένα σχέδιο MF- TDMA για να έχει πρόσβαση στο δίκτυο και να συμμετέχει στις αμφίδρομες επικοινωνίες. Το MF- TDMA επιτρέπει σε μια ομάδα RCSTs να επικοινωνήσει με τον κόμβο χρησιμοποιώντας ένα σύνολο συχνοτήτων φορέων, κάθε ένα από το οποίο διαιρείται σε χρονοθυρίδες. Ο Κεντρικός Σταθμός Εδάφους διαθέτει σε κάθε ενεργό RCST μια σειρά bursts; κάθε ένα καθορίζεται από μια συχνότητα, ένα εύρος ζώνης, έναν χρόνο έναρξης και μια διάρκεια. Αυτή η συλλογή των συχνοτήτων φορέων και χρονοθυρίδων αναφέρεται ως πλαίσιο (frame).

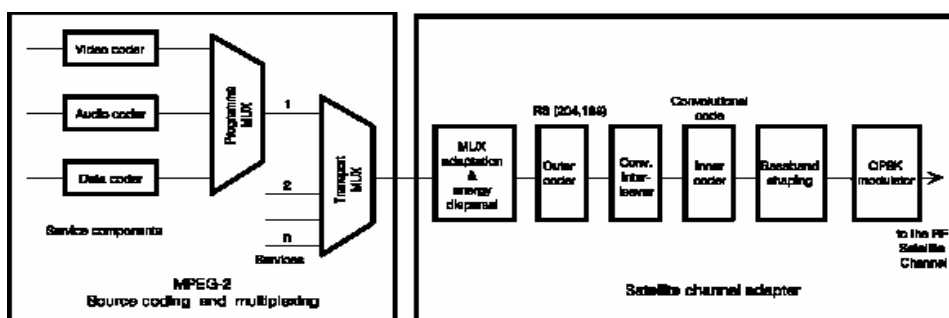
Κάθε θυρίδα χρόνου/συχνότητας περιέχει ακριβώς ένα πακέτο (η περιεκτικότητα των πακέτων είναι είτε μερίδες των πακέτων IP είτε συνδεδεμένα κύτταρα του ATM). Συχνότητα-ευκίνητα SITS έχουν πρόσβαση σε ένα σχέδιο των αυλακώσεων χρόνου/συχνότητας μέσα σε αυτά τα πλαίσια. Καθιερώνοντας τη γνώση της δομής MF- TDMA μέσω των προωστικών πινάκων ζεύξης, το RCST έχει πρόσβαση στο δίκτυο χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο ALOHA με θυρίδες (slotted ALOHA). Έκτοτε, η ικανότητα κυκλοφορίας διατίθεται δυναμικά, επιτρέποντας στο RCST να λειτουργήσει χωρίς περιορισμούς. Ένα RCST μπορεί να εκπέμψει μόνο όταν έχει δεχθεί το προωστικό κανάλι. Επιπλέον το RCST πρέπει να έχει συγχρονιστεί στην προωστική σύνδεση, να έχει κάνει καταχώρηση και να του έχει δοθεί χωρητικότητα (σε σχέση με τις θυρίδες MF- TDMA).

Καθώς το DVB-RCS από μόνο του ορίζει ένα σύστημα εκπομπής ευρείας κάλυψης (broadcasting) περιλαμβάνοντας τον ορισμό της τεχνολογίας επιστροφής (reverse path) και δεδομένου ότι η μορφή του σήματος βασικής ζώνης και ο αλγόριθμος συμπίεσης των δεδομένων περιγράφεται στην προδιαγραφή MPEG-2, το πρότυπο DVB- RCS για το forward link περιορίζεται αποκλειστικά στην περιγραφή των λειτουργιών του διαμορφωτή. Αυτός δέχεται από τον πολυπλέκτη το Ρεύμα Μεταφοράς MPEG-2 που περιέχει πολυπλεγμένες τις υπηρεσίες εικόνας, ήχου και δεδομένων υπό μορφή σήματος βασικής ζώνης και παράγει το προς μετάδοση RF σήμα.

## 1.6 Forward Link

Η λειτουργία του διαμορφωτή είναι σχετικά σύνθετη. Το μπλοκ διάγραμμα που φαίνεται στο σχήμα 1.4 δείχνει τις βασικές λειτουργίες της μετατροπής του σήματος βασικής ζώνης στο προς μετάδοση σήμα. Οι λειτουργίες αυτές, με τη σειρά που εφαρμόζονται, είναι οι εξής:

- Προσαρμογή MPEG-2 πακέτων και τυχαιοποίηση της ενέργειας (randomization)
- Εξωτερική κωδικοποίηση (προστασία έναντι λαθών με κώδικα Reed-Solomon)
- Εξωτερική συνελκτική διεμπλοκή (convolutional interleaving)
- Εσωτερική κωδικοποίηση με διάτρητο συνελκτικό κώδικα (punctured convolutional code)
- Εσωτερική διεμπλοκή (inner interleaving) στον χρόνο και στη συχνότητα
- Σχηματισμός βασικής ζώνης για διαμόρφωση (baseband shaping for modulation)
- Διαμόρφωση (Modulation)

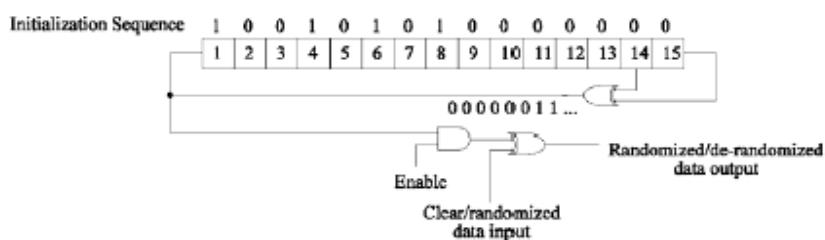


Σχήμα 1.4: Μπλοκ διάγραμμα ενός διαμορφωτή DVB-RCS

## 1.6.1 Συνοπτική περιγραφή των σταδίων της διαμόρφωσης DVB-RCS

### 1.6.1.1 Προσαρμογή MPEG-2 πακέτων και τυχαιοποίηση (randomization)

Το σήμα βασικής ζώνης που εισέρχεται στον διαμορφωτή είναι σταθερού ρυθμού (constant bit rate - CBR) και οργανωμένο σε πακέτα σταθερού μήκους των 188 bytes. Κάθε πακέτο ξεκινά με το byte συγχρονισμού (sync-word) όπως φαίνεται στο σχήμα 1.6 α, που είναι πάντα ίσο με 0x47. Η σειρά μετάδοσης θα πρέπει να ξεκινά από το MSB (πχ '0') της sync-word (πχ '01000111'). Για να είναι σύμφωνη η μετάδοση με τους κανονισμούς της ITU (Radio Regulations) και για την πιστοποίηση ικανοποιητικών μεταφορών δεδομένων, τα δεδομένα της εισόδου του MPEG πολυπλέκτη υποβάλλονται σε τυχαιοποίηση (randomization). Η διαδικασία αυτή φαίνεται στο σχήμα 1.5:



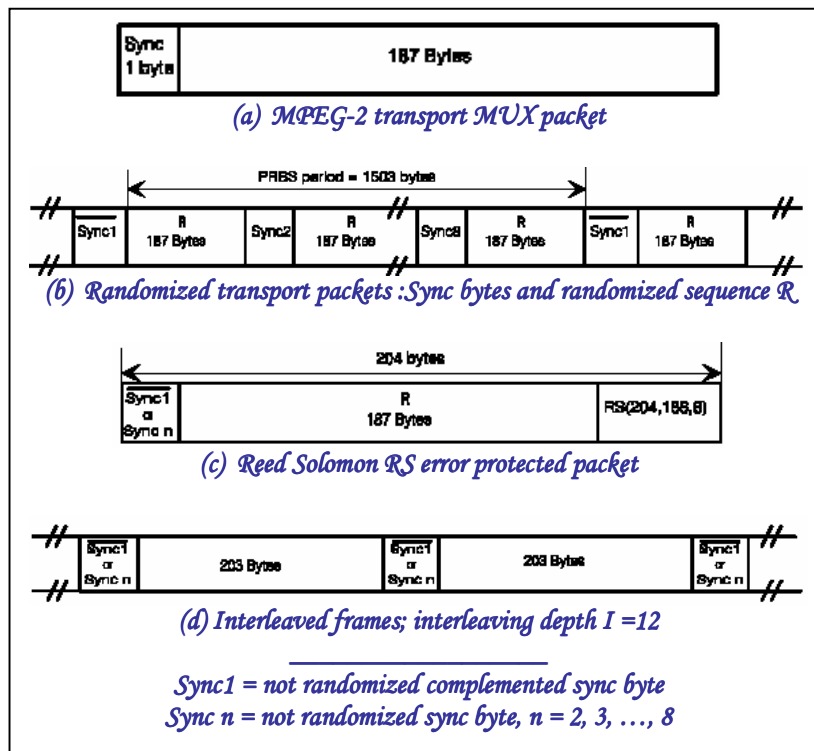
Σχήμα 1.5: Τυχαιοποίηση των εισερχόμενων δεδομένων

Το πολυώνυμο για την γεννήτρια ψευδοτυχαίας ακολουθίας είναι:

$$1 + X^{14} + X^{15}$$

Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να είναι ενεργή ακόμα και όταν δεν υπάρχουν δεδομένα εισόδου στον διαμορφωτή ή όταν δεν είναι συμβατά με την τυποποίηση MPEG 2 (1 sync-byte + 187 packet bytes).

Τα βήματα στη διαδικασία της προσαρμογής, τυχαιοποίησης, εξωτερικής κωδικοποίησης και διεμπλοκής φαίνονται στο σχήμα 1.6.



Σχήμα 1.6: Μορφή των δεδομένων μετά την διαδικασία της προσαρμογής, τυχαιοποίησης, εξωτερικής κωδικοποίησης και διεμπλοκής

### 1.6.1.2 Εξωτερική κωδικοποίηση και συνελκτική διεμπλοκή

Μετά το στάδιο της τυχαιοποίησης ακολουθεί η εξωτερική κωδικοποίηση (outer coding). Ένας συντομευμένος κώδικας Reed-Solomon RS (204,188, t=8) που προκύπτει από τον αρχικό συστηματικό κώδικα RS (255,239,t=8) εφαρμόζεται σε κάθε τυχαιοποιημένο πακέτο των 188 bytes του σχήματος 1.6 (b) για την παραγωγή ενός πακέτου προστατευόμενο από λάθη (error protected packets) σχήμα 1.6 (c). Ο κώδικας Reed-Solomon αυξάνει το μήκος του πακέτου κατά 16 bytes, και επιτρέπει να διορθωθούν μέχρι και 8 λανθασμένα bytes σε τυχαίες θέσεις μέσα στο προστατευμένο πακέτο.

Μετά την κωδικοποίηση, τα προστατευμένα πακέτα υποβάλλονται σε μία συνελκτική διεμπλοκή (convolutional interleaving) με βάθος  $I=12$  και προκύπτει ο σχηματισμός του σχήματος 1.6(d). Η διαδικασία διεμπλοκής βασίζεται στη μέθοδο Forney.

### 1.6.1.3 Εσωτερική κωδικοποίηση και διεμπλοκή

Το σύστημα επιτρέπει μια ευρεία επιλογή διάτρητων συνελκτικών κωδίκων (punctured convolutional codes), που βασίζονται σε μια κλάση  $\frac{1}{2}$  των ελικοειδών κωδικών με σταθερό μήκος  $k = 7$ . Τα πολυώνυμα-γεννήτριες του μητρικού κώδικα είναι  $G1 = 171_{oct}$  για την έξοδο  $X$  και  $G2 = 133_{oct}$  για την έξοδο  $Y$ . Επιπρόσθετα με τον μητρικό κώδικα, το σύστημα επιτρέπει διάτρητους κώδικες με ρυθμούς (code rates)  $2/3$ ,  $3/4$ ,  $5/6$  και  $7/8$ , εφαρμόζοντας συγκεκριμένα πρότυπα διάτρησης (puncturing patterns) στον μητρικό κώδικα.

Οι διάτρητοι συνελκτικοί κώδικες θα χρησιμοποιηθούν όπως στο σχήμα 1.7.

Original code			Code rates										
K	G1 (X)	G2 (Y)	1/2		2/3		3/4		5/6		7/8		
			p	d <sub>free</sub>	p	d <sub>free</sub>	p	d <sub>free</sub>	p	d <sub>free</sub>	p	d <sub>free</sub>	
7	171 <sub>oct</sub>	133 <sub>oct</sub>	X: 1 Y: 1 I=X <sub>1</sub> Q=Y <sub>1</sub>	10	X: 10 Y: 11 I=X <sub>1</sub> Y <sub>2</sub> Y <sub>3</sub> Q=Y <sub>1</sub> X <sub>3</sub> Y <sub>4</sub>	6	X: 101 Y: 110 I=X <sub>1</sub> Y <sub>2</sub> Q=Y <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	5	X: 10101 Y: 11010 I=X <sub>1</sub> Y <sub>2</sub> Y <sub>4</sub> Q=Y <sub>1</sub> X <sub>3</sub> X <sub>5</sub>	4	X: 1000101 Y: 1111010 I=X <sub>1</sub> Y <sub>2</sub> Y <sub>4</sub> Y <sub>6</sub> Q=Y <sub>1</sub> Y <sub>3</sub> X <sub>5</sub> X <sub>7</sub>	3	

NOTE: 1 = transmitted bit  
0 = non transmitted bit

Σχήμα 1.7: Διάτρητοι συνελκτικοί κώδικες

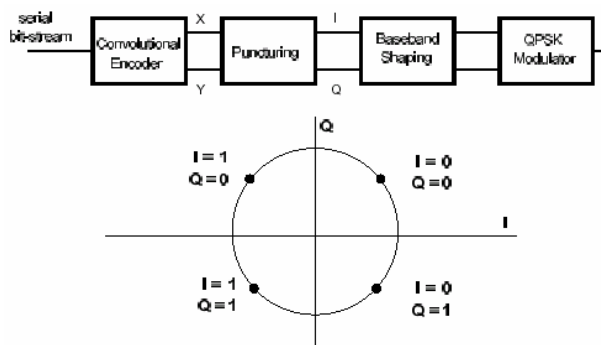
Η έξοδος του εσωτερικού κωδικοποιητή υφίσταται διεμπλοκή τόσο σε επίπεδο bits όσο και σε επίπεδο συμβόλων. Η ακριβής αντιστοιχία των bits εισόδου στα τελικά διαμορφωμένα σύμβολα εξαρτάται από τον τύπο της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται.

### 1.6.1.4 Διαμόρφωση και μετάδοση

Η διαδικασία της εσωτερικής διεμπλοκής παράγει μια ακολουθία από bits ήδη οργανωμένη σε σύμβολα QAM. Η διαμόρφωση που εφαρμόζεται είναι QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying). Γενικά στην τεχνική αυτή  $a$  bit ομαδοποιούνται σε ομάδες των δύο bit και στη συνέχεια οδηγούνται σε δύο διαμορφωτές. Ο φορέας του ενός διαμορφωτή είναι μετατοπισμένος σε φάση κατά  $90^\circ$  σε σχέση με το φορέα του άλλου. Το πρώτο από τα δύο bit του dibit, αυτό που οδηγούμε στο διαμορφωτή με φορέα που έχει φάση  $0^\circ$  (In phase) το ονομάζουμε I bit, ενώ το δεύτερο που διαμορφώνει το μετατοπισμένο κατά  $90^\circ$



φορέα (Quadrature) το ονομάζουμε Q bit. Μετά την πρόσθεση των δύο σημάτων, το τελικό σήμα έχει σαν φάση την συνισταμένη των φάσεων των δύο σημάτων Q, I. Έτσι, προκύπτουν οι τέσσερις φάσεις στο πολικό διάγραμμα του σχήματος 1.8.



Σχήμα 1.8: Η διαμόρφωση QPSK

Πριν από την διαμόρφωση τα I και Q σήματα θα περάσουν από φίλτρο βασικής ζώνης τύπου SRSC (square root raised cosine filter) ενώ όλη η διαδικασία φαίνεται στο σχήμα 1.8.

Το φίλτρο SRSC είναι μια θεωρητική συνάρτηση που ορίζεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$H(f) = 1 \text{ for } |f| < f_N(1 - \alpha)$$

$$H(f) = \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{2f_N} \left[ \frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right\}^{1/2} \text{ for } f_N(1 - \alpha) \leq |f| \leq f_N(1 + \alpha)$$

$$H(f) = 0 \text{ for } |f| > f_N(1 + \alpha),$$

όπου,

$$f_N = \frac{1}{2T_B} = \frac{R_B}{2}$$

είναι η συχνότητα Nyquist και το  $\alpha$  είναι ο roll-off συντελεστής που είναι ίσος με  $\alpha = 0,35$ .

### 1.6.1.5 Ωφέλιμο bit rate

Η τιμή που περισσότερο ίσως ενδιαφέρει τον παροχέα DVB- RCS είναι το ωφέλιμο bit rate που μπορεί να μεταφερθεί από το ψηφιακό σήμα, δηλαδή ο ρυθμός του Ρεύματος Μεταφοράς MPEG-2 που μεταδίδεται. Η τιμή αυτή εξαρτάται από τη διάρκεια του διαστήματος φρούρησης, τον ρυθμό κωδικοποίησης και τον τύπο της διαμόρφωσης, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα (τιμές σε Mbps).

Modulation	Code rate	Guard interval			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56

Ο συνδυασμός των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν βρίσκεται στην επιλογή του χρήστη. Γενικά πάντως ισχύει ότι όσο αυξάνει ο ωφέλιμος ρυθμός, τόσο πιο ευάλωτο γίνεται το σήμα σε φαινόμενα διαλείψεων και πολυδιαδρομικής μετάδοσης (multipath). Απαιτείται δηλαδή να γίνει ένας συμβιβασμός (trade-off) από την πλευρά του παροχέα μεταξύ χωρητικότητας και ανθεκτικότητας του σήματος.

## 1.7 Return link του συστήματος

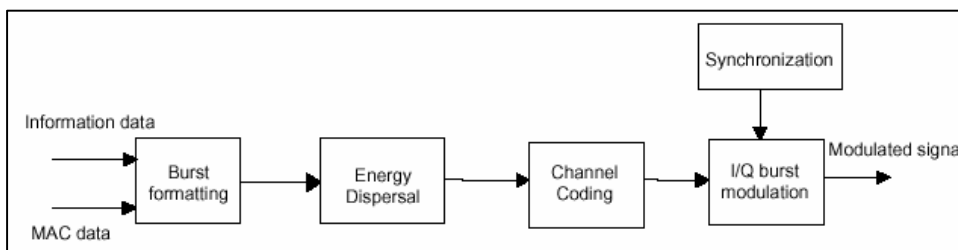
### 1.7.1 Τμήμα βασικής ζώνης

#### 1.7.1.1 Εισαγωγή

Το τμήμα αυτό λαμβάνει και επεξεργάζεται τα προς μετάδοση ψηφιακά σήματα που φθάνουν από το επίγειο δίκτυο στην πλευρά εκπομπής του σταθμού. Η επεξεργασία αυτή

περιλαμβάνει αποθήκευση, πολυπλεξία και κωδικοποίηση, ώστε να δημιουργηθούν τα κατάλληλα πακέτα δεδομένων για την αποστολή τους στον αντίστοιχο προορισμό.

Στο return link του συστήματος, όπως καλείται η ζεύξη επιστροφής ενός δικτύου, το σήμα της πληροφορίας διοχετεύεται στο base band, το πρώτο τμήμα της αλυσίδας του δορυφορικού μέρους του τερματικού. Στο μέρος αυτό, η επεξεργασία του σήματος απεικονίζεται στο σχήμα 1.9, η οποία περιλαμβάνει πολυπλεξία ήχου, δεδομένων και βίντεο, δημιουργία ροής δυαδικών ψηφίων, ομαδοποίηση των ψηφίων αυτών σε πακέτα που παρεμβάλλονται στα κατάλληλα timeslots, των χρονικών πλαισίων, και κωδικοποίηση. Οι διαδικασίες αυτές θα εξεταστούν επιμέρους στη συνέχεια.



Σχήμα 1.9: Τμήμα βασικής ζώνης στο return link του συστήματος

### 1.7.1.2 Πολυπλεξία

Τα σήματα ήχου, εικόνας και βίντεο κωδικοποιούνται, πακετοποιούνται και σε συνδυασμό με το ρολόι αναφοράς οδηγούνται σε έναν πολυπλέκτη. Στην έξοδο του πολυπλέκτη, προκύπτει μία ροή bits που καλείται MPEG2-TS. Αυτή η διαδικασία, ακολουθεί το πρωτόκολλο του MPEG2, η λειτουργία του οποίου έχει ήδη περιγραφεί στην αντίστοιχη ενότητα του forward link. Αυτή η ροή των bit οργανώνεται σε πακέτα προκαθορισμένου μήκους (188bytes). Ένα από αυτά τα byte είναι η λέξη συγχρονισμού, υπάρχουν επίσης 3 bytes επικεφαλίδας και τα υπόλοιπα περιέχουν δεδομένα πληροφορίας.

### 1.7.1.3 Συγχρονισμός του τερματικού RCST

Το Multi-Frequency κανάλι επιστροφής βασίζεται στις διαδικασίες Time Division Multiple Access όπου πολυάριθμοι χρήστες μοιράζονται ένα κοινό φέρον ή ένα πακέτο φερόντων. Ο συγχρονισμός του τερματικού είναι απαραίτητος για την διασφάλιση της λειτουργίας σε μια βάση μη παρεμβολής.

#### *Χρονικός έλεγχος (Timing control)*

Ο συγχρονισμός των RCST είναι ένα απαραίτητο χαρακτηριστικό των δορυφορικών αλληλεπιδρώντων δικτύων. Επιβάλλονται λοιπόν κάποιοι περιορισμοί στα RCST για να επιτευχθεί ένα αποδοτικό TDMA σύστημα με ελαχιστοποίηση των παρεμβολών μεταξύ χρηστών και μέγιστη διαμετακομιστική ικανότητα (throughput). Υπάρχει δυνατότητα αντιμετώπισης αυτών των προβλημάτων εάν ο NCC πραγματοποιεί κάποιες λειτουργίες στην φέρουσα συχνότητα των RCSTs. Έτσι, η διαδικασία συγχρονισμού βασίζεται πάνω στην πληροφορία που εμπεριέχεται στην σηματοδοσία εμπρόσθιας σύνδεσης (fls) και συγκεκριμένα με τη βοήθεια των:

- Ρολόι αναφοράς δικτύου NCR (network clock reference)
- Σηματοδοσία στα ιδιωτικά τμήματα DVB μέσω MPEG2-TS

Το ρολόι αναφοράς δικτύου NCR κατανέμεται με ένα συγκεκριμένο PID (packet identifier) μέσα στη ροή δεδομένων του μεταδιδόμενου MPEG που περιέχουν την σηματοδοσία της εμπρόσθιας σύνδεσης. Το PCR συνήθως προέρχεται από ένα κωδικοποιητή βίντεο MPEG, αν και στην περίπτωση αυτή προέρχεται από το ρολόι αναφοράς του Hub (τμήμα NCC). Αντιπροσωπεύει ρολόι 27 MHz που βρίσκεται στο τμήμα NCC και αποτελεί την βάση όλων των γεγονότων χρονισμού. Στην ουσία είναι ένα δείγμα του ρολογιού του σταθμού Hub που διαβιβάζεται τακτικά σε όλα τα τερματικά (περίπου 10 με 200 times/s). Αυτή η πληροφορία προωθείται έπειτα από το τερματικό στον έλεγχο φέροντος και στο συγχρονισμό ρολογιού συμβόλων και έμμεσα συμβάλλει στο

συγχρονισμό των bursts. Το ρολόι αναφοράς του NCC παρέχει ακρίβεια 5 ppm (parts per milion) ή και καλύτερη.

### **Συγχρονισμός φέροντος (Carrier synchronization)**

Μόλις αναφέρθηκε ότι μέσω του μεταδιδόμενου MPEG παραδίδονται στα RCSTs πληροφορίες για το NCR. Ανασκευάζεται έτσι το ρολόι αναφοράς από τις πληροφορίες NCR και στη συνέχεια πραγματοποιείται μια σύγκριση του τοπικού ρολογιού των RCSTs με το λαμβανόμενο από το NCR. Το ανακτημένο ρολόι όμως θα παρεκκλίνει από το ρολόι αναφοράς του σταθμού Hub εξαιτίας της μετατόπισης Doppler, η οποία οφείλεται στη δορυφορική κίνηση. Η απόκλιση εξαρτάται από παράγοντες όπως η ταχύτητα του δορυφόρου, η πραγματική δορυφορική θέση και η θέση του τερματικού. Προσαρμόζεται λοιπόν η συχνότητα μετάδοσης όλων των RCST στην ίδια περίπου συχνότητα. Έτσι, το τερματικό συνεχίζει να λαμβάνει πακέτα PCR για να διατηρήσει το συγχρονισμό του ρολογιού.

### *Συγχρονισμός burst (Burst synchronization)*

Τα τερματικά RCSTs ανακτούν την κεντρική συχνότητα, τον χρόνο έναρξης και την διάρκεια της μεταδιδόμενης κίνησης τους (transmit burst), εξετάζοντας τη σηματοδοσία προωστικής σύνδεσης (πιο συγκεκριμένα μέσω των πινάκων Superframe Composition Table, Frame Composition Table, Timeslot Composition Table).

Η εκχώρηση των στιγμών και της διάρκειας μετάδοσης των RCSTs γίνεται με βάση του λεγόμενου BTP (Burst Time Plan). Το BTP περιέχει πληροφορίες για τη κεντρική συχνότητα, τον απόλυτο χρόνο έναρξης των superframes, που δίνεται από τη μεταβλητή NCR, τις σχετικές αντισταθμίσεις χρόνου και συχνότητας των κατανομών των bursts μαζί με την περιγραφή των ιδιοτήτων των χρονοσχημάτων. Ένα superframe ξεκινάει πάντα από μία συγκεκριμένη τιμή του τοπικού μετρητή NCR ενός RCST που αποτελεί αναφορά για

όλες τις κατανομές των bursts μέσα σε ένα superframe. Για λόγους συγχρονισμού στο δίκτυο, το RCST ανανεώνει την απόλυτη τιμή του ρολογιού αναφοράς του NCC. Το RCST συγκρίνει τη ανανεωμένη μεταβλητή με την τιμή του NCR που δίνεται από το BTP. Η χρονική αναφορά για την μέτρηση των timeslots χρησιμεύει όταν οι προηγούμενες τιμές είναι ίσες.

Η ακρίβεια του συγχρονισμού των bursts θα είναι μέχρι 50% μιας περιόδου ενός συμβόλου. Η ανάλυση θα είναι ένα διάστημα αρίθμησης NCR. Η ακρίβεια του συγχρονισμού των bursts είναι η χειρότερη δυνατή απόκλιση μεταξύ του προγραμματισμένου χρόνου έναρξης των bursts και του πραγματικού χρόνου έναρξης του burst στην έξοδο του πομπού. Η προγραμματισμένη έναρξη του burst γίνεται τη χρονική στιγμή όπου ταυτίζεται η ανανεωμένη τιμή του NCR με την τιμή που είναι γραμμένη στο TBTP για το συγκεκριμένο burst. Η ιδανική ανανεωμένη τιμή του NCR ορίζεται ως η έξοδος που παρατηρείται σε έναν ιδανικό δέκτη DVB-S μειωμένης καθυστέρησης. Αν χρειαστεί να επιτευχθεί η ζητούμενη ακρίβεια, η αντιστάθμιση για τη καθυστέρηση του δέκτη γίνεται από το τερματικό RCST.

#### *Συγχρονισμός ρολογιού συμβόλων*

Η ακρίβεια του ρολογιού συμβόλων για τον transmitter καθορίζεται από το ρολόι NCR, με στόχο την αποφυγή της χρονικής ολίσθησης σε σχέση με το ρολόι αναφοράς του σταθμού Hub. Το τερματικό RCST δεν χρειάζεται να αντισταθμίσει το ρολόι συμβόλων Doppler. Πιο συγκεκριμένα, η ακρίβεια του ρολογιού συμβόλων θα κυμαίνεται μέχρι και 20 ppm από την ονομαστική τιμή του ρυθμού των συμβόλων που βρίσκεται στο TCT. Ο ρυθμός ρολογιού συμβόλων θα έχει μια σύντομη σταθερότητα που περιορίζει το χρονικό σφάλμα οποιουδήποτε συμβόλου μέχρι ενός burst διάρκειας 1/20 της διάρκειας του συμβόλου.

#### 1.7.1.4 Μορφοποίηση των bursts

Η σειριακή ροή της πληροφορίας σε bits μορφοποιείται σε bursts. Υπάρχουν τέσσερα είδη bursts: κυκλοφορίας (TRF), απόκτησης (ACQ), συγχρονισμού (SYNC) και κοινού καναλιού σηματοδότησης (CSC).

Οι διατάξεις των bursts περιγράφονται παρακάτω:

##### 1.7.1.4.1 Διατάξεις των bursts κυκλοφορίας (TRF)

Τα bursts κυκλοφορίας TRF χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά χρήσιμων δεδομένων από το RCST στο Hub. Αυτά τα bursts ακολουθούνται από ένα χρόνο φύλαξης, guard time για να μειώσει τη διαβιβασθείσα ισχύ και να αντισταθμίσει time offset. Ορίζονται δύο είδη bursts κυκλοφορίας, αυτά που φέρουν ATM κελιά και αυτά που φέρουν MPEG2-TS πακέτα.

#### ATM TRF burst

Το ωφέλιμο φορτίο ενός ATM TRF burst αποτελείται από  $N_{\text{atm}}$  σε σειρά συνδεδεμένα κελιά ATM, καθένα από τα οποία έχει μήκος 53 bytes, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.10. Προαιρετικά μπορεί να έχει ένα πρόθεμα  $N_{\text{p,atm}}$  bytes. Η δομή αυτή που είναι όμοια με αυτή των ATM κελιών δε παρέχει απαραίτητα και τις υπηρεσίες της ATM κλάσης. Για ευρυζωνικές υπηρεσίες δικτύου υποτίθεται ότι θα υπάρξει ένα κύτταρο ATM σε traffic burst και το προαιρετικό  $N_{\text{p,atm}}$  byte πρόθεμα του ATM διαμορφώνεται ως Satellite Access Control (SAC) πεδίο.

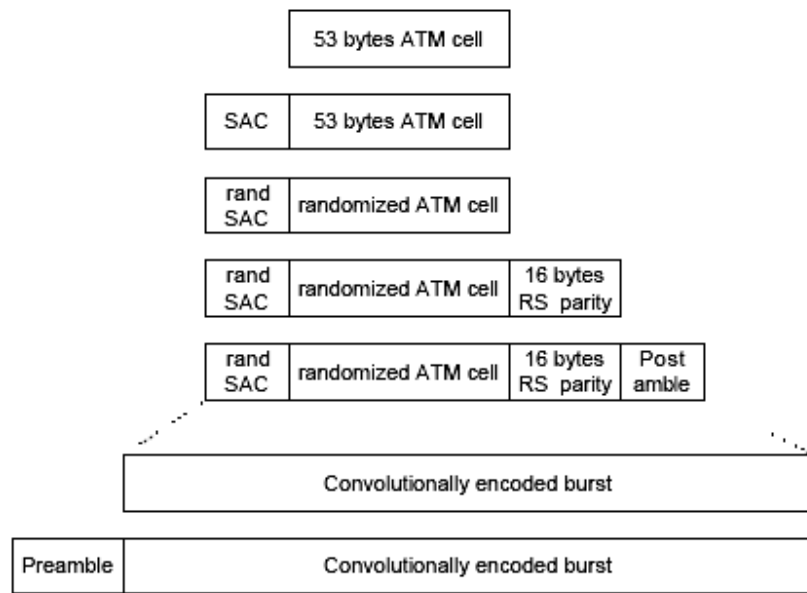


Figure 1.1-6 ATM Traffic Burst Structure

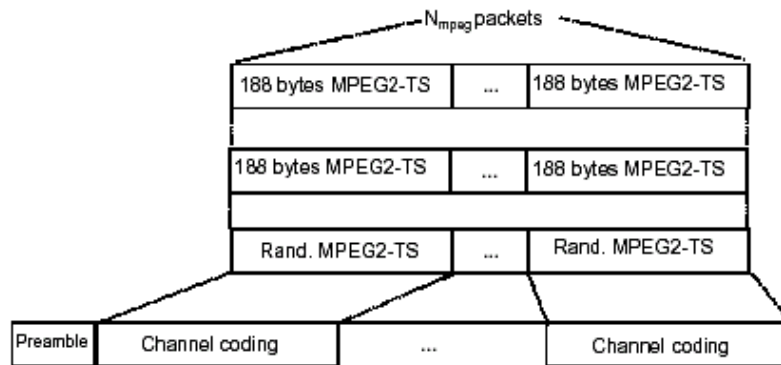
Σχήμα 1.10 : Σύνθεση ενός ATM TRF burst

### MPEG2-TS TRF burst

Στην περίπτωση που τα πακέτα MPEG2-TS είναι οι βασικοί φορείς πληροφορίας, ένα burst περιέχει  $N_{mpeg}$  αλυσιδωτά συνδεδεμένα MPEG2-TS πακέτα, μήκους 188 bytes το καθένα. Το burst αποτελείται από διάφορα τμήματα κωδικοποίησης καναλιού, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.11. Η μετάδοση τους είναι προαιρετική.

Τα τερματικά RCST μπορούν να πληροφορηθούν για τον αριθμό των MPEG2 πακέτων που περιέχονται σε μία TRF χρονοσχιμή από το πεδίο `time_slot_duration` του πίνακα TCT αν αφαιρέσουν την χρονική διάρκεια των άλλων πεδίων. Τα τερματικά RCSTs που υποστηρίζουν αυτό το μηχανισμό ενημερώνουν σχετικά το κέντρο ελέγχου NCC μέσω του CSC burst.





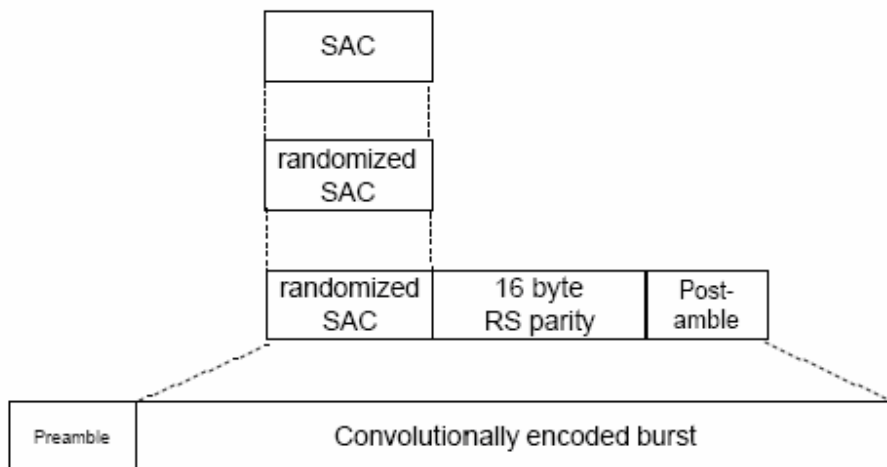
Σχήμα 1.11: Σύνθεση του προαιρετικού TRF burst που φέρει πακέτα MPEG2-TS

#### 1.7.1.4.2 Διάταξη των bursts συγχρονισμού (SYNC) και απόκτησης (ACQ)

Τα ACQ και SYNC bursts χρησιμοποιούνται για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης των μεταδιδόμενων bursts ενός τερματικού RCST κατά τη διάρκεια της σύνδεσης στο δίκτυο και μετά από αυτήν.

#### Διάταξη burst συγχρονισμού (SYNC)

Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται από τα RCST για την υποστήριξη του συγχρονισμού και την αποστολή πληροφοριών ελέγχου στο σύστημα. Τα bursts συγχρονισμού συντίθενται, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.12, από ένα πρόθεμα για εντοπισμό του burst (που ρυθμίζεται και ενδείκνυται στο RCST μέσω του TCT) και από ένα προαιρετικό byte SAC\_length του πεδίου SAC ( Έλεγχος Πρόσβασης Δορυφόρου ). Έπειτα από τυχαιοποίηση, ένα προαιρετικό CSC, το οποίο περιγράφεται παρακάτω, μπορεί να προστεθεί στο πεδίο αυτό, δίνοντας έτσι ένα συνολικό μέγεθος  $N_{p, sync}$  bytes.

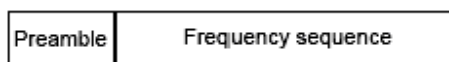


Σχήμα 1.12 : Σύνθεση του burst SYNC

Όπως και ένα burst κυκλοφορίας TRF, το burst SYNC συνήθως ακολουθείται από ένα χρόνο φύλαξης, *guard time*, για μείωση της μεταδιδόμενης ισχύος και αντιστάθμιση του χρονικού offset. Ο βαθμός στον οποίο χρησιμοποιείται το burst SYNC εξαρτάται από τις ικανότητες- προδιαγραφές του κέντρου ελέγχου δικτύου.

### Burst απόκτησης (ACQ)

Χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί συγχρονισμός πριν από τη λειτουργική χρήση του δικτύου από το τερματικό RCST. Οι μεταδόσεις σε ένα burst ACQ θα πρέπει να έχουν την διάταξη που φαίνεται στο σχήμα :

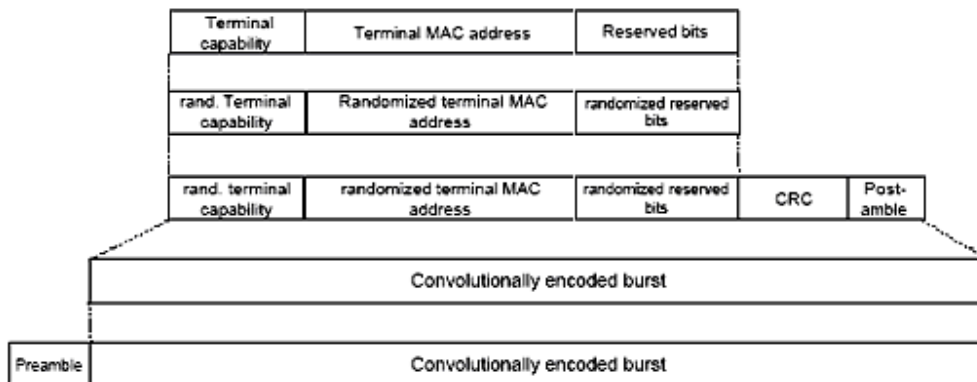


Σχήμα 1.13 : Σύνθεση burst ACQ

Το μήκος του προθέματος και του περιεχομένου (συμπεριλαμβάνοντας την ακολουθία των συχνοτήτων) στέλνονται στα τερματικά RCSTs μέσω του TCT. Το ACQ περιβάλλεται από ένα χρονικό διάστημα φύλαξης.

#### 1.7.1.4.3 Διάταξη burst κοινού καναλιού σηματοδότησης (CSC)

Το CSC μπαίνει σε εφαρμογή μόνο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σύμφωνα με την οποία ένα RCST προσδιορίζει την ταυτότητα του (logon). Αποτελούνται από ένα πρόθεμα για την έναρξη της ανίχνευσης και την ανίχνευση του burst, ένα πεδίο που περιγράφει τις ικανότητες του RCST, την MAC διεύθυνση του RCST, την δυναμική συνδεσιμότητα, την αναπήδηση συχνότητας, ένα δεσμευμένο πεδίο και ένα προσδιοριστικό του τύπου του burst. Το CSC περιβάλλεται από ένα χρονικό διάστημα φύλαξης.



Σχήμα 1.14 : Σύνθεση ενός burst CSC

#### 1.7.1.4.4 Αρίθμηση και ερμηνεία των bits

Ο όρος «bit 0» θα πρέπει να αναφέρεται στο λιγότερο σημαντικό ψηφίο ενός πεδίου πολλών ψηφίων. Το περισσότερο σημαντικό ψηφίο ενός μη προσημασμένου πεδίου k bits θα συμβολίζεται ως «bit k-1». Για ένα προσημασμένο πεδίο, το «bit k-1» θα πρέπει να είναι το bit πρόσημου και το «bit k-2» το περισσότερο σημαντικό ψηφίο.

#### 1.7.1.4.5 Σειρά μετάδοσης

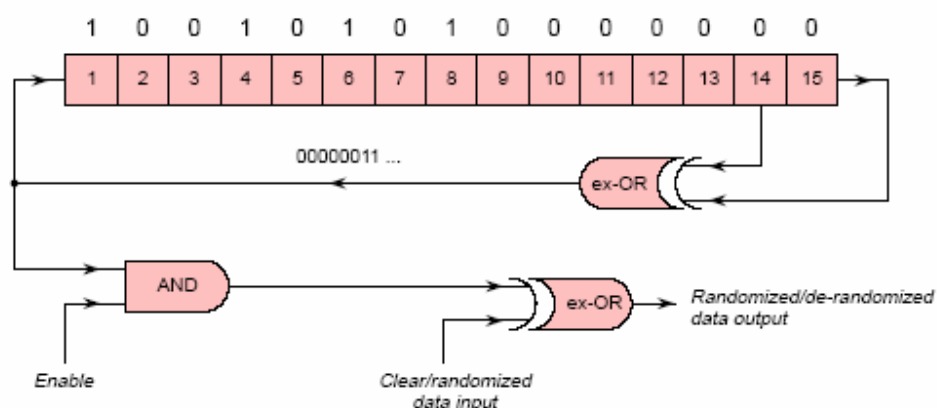
Τα πεδία στις δομές των δεδομένων θα πρέπει να μεταδίδονται με τη σειρά με την οποία ορίζονται. Οι μη προσημασμένες μεταβλητές θα πρέπει να μεταδοθούν ξεκινώντας από το περισσότερο σημαντικό ψηφίο και τελειώνοντας με το λιγότερο σημαντικό ψηφίο. Η μετάδοση των προσημασμένων μεταβλητών πρέπει να ξεκινά από το ψηφίο πρόσημου, να ακολουθεί το περισσότερο σημαντικό ψηφίο και να τελειώνει με το λιγότερο σημαντικό ψηφίο.

#### 1.7.1.5 Τυχαιοποίηση για ορθή ενεργειακή διανομή

Η ροή δεδομένων της ζεύξης επιστροφής θα πρέπει να οργανώνεται σε bursts όπως έχει ήδη περιγραφεί. Προκειμένου να περιοριστεί το ενδεχόμενο να υπάρχουν μεγάλα διαστήματα χωρίς δυαδική μεταβολή (μακριές ακολουθίες "0" ή "1" - κάτι που συμβαίνει π.χ. σε πακέτα κενά περιεχομένου που χρησιμοποιούνται μόνο για stuffing), ακολουθείται μια διαδικασία τυχαιοποίησης.

Το πολυώνυμο της ψευδοτυχαίας δυαδικής συνάρτησης θα πρέπει να είναι το εξής, που είναι το ίδιο με το αντίστοιχο του forward link :

$$1 + x^{14} + x^{15}$$



Σχήμα 1.15: Διαδικασία τυχαιοποίησης

Η τυχαία κατανομή προκύπτει χρησιμοποιώντας την έξοδο μιας μηχανής LFSR (Linear Feedback Shift Register) των 15 bits προκειμένου να επιτευχθεί τυχαία διανομή των άσσων και των μηδενικών. Η μηχανή εκτελεί την modulo 2 πρόσθεση των δεδομένων με την ψευδοτυχαία ακολουθία. Το αρχικό περιεχόμενο της μηχανής δίνεται στο σχήμα 1.15. Το πρώτο bit της ψευδοτυχαίας ακολουθίας προστίθεται στο πρώτο ψηφίο της ροής των bit των σειριακών δεδομένων, δηλαδή στο πρώτο bit ύστερα από το πρόθεμα του burst. Το περιεχόμενο της μηχανής μηδενίζεται πριν περάσει στην επεξεργασία του επόμενου burst. Όλη η επεξεργασία αυτή ενεργοποιείται για να αποφευχθεί η περίπτωση μη διαμορφωμένου φέροντος και καθώς προκύπτουν πιο ομαλές μεταβάσεις δυαδικών ψηφίων, παρατηρείται καλύτερη διάθεση της ενέργειας.

#### **1.7.1.6 Κωδικοποίηση**

Η κωδικοποίηση για την προστασία των καναλιών από τα λάθη, εφαρμόζεται στα δεδομένα κυκλοφορίας και ελέγχου, που μεταδίδονται μέσω των bursts. Περιγράφονται δύο σχήματα κωδικοποίησης: η συνδεδεμένη κωδικοποίηση και η turbo. Τα τερματικά RCSTs θα πρέπει να μπορούν να εφαρμόσουν και τα δύο σχήματα. Μέσα σε μια χρονική περίοδο, τα τερματικά RCSTs δεν μπορούν να αλλάξουν το σχήμα κωδικοποίησης. Επιπρόσθετα, ένας κώδικας ελέγχου κυκλικής πλειονότητας CRC (Cyclic Redundancy Check) μπορεί να εφαρμοστεί στα CSC και SYNC burst, προκειμένου να επιτραπεί η ανίχνευση λαθών και στα δύο σχήματα κωδικοποίησης.

##### **1.7.1.6.1 Συνδεδεμένος κώδικας**

Ένας συνδεδεμένος κώδικας χρησιμοποιεί δύο επίπεδα κωδικοποίησης, έναν εσωτερικό κώδικα και έναν εξωτερικό κώδικα, προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό

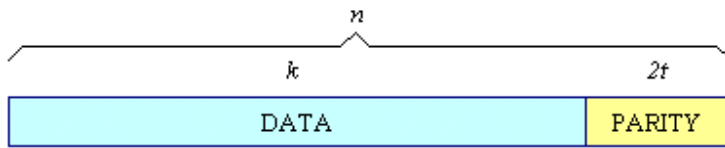
αποτέλεσμα όσον αφορά την αναζήτηση λαθών. Ο εσωτερικός κώδικας χρησιμοποιείται συνήθως για να διορθώνει τα περισσότερα λάθη που παρουσιάζονται στο κανάλι. Ο εξωτερικός κώδικας, συνήθως υψηλού ποσοστού κώδικας, στη συνέχεια καλείται να μειώσει την πιθανότητα σφάλματος στα επιθυμητά όρια. Ο πρωταρχικός λόγος για την χρήση ενός συνδεδεμένου κώδικα είναι η επίτευξη χαμηλού ποσοστού λαθών με πολυπλοκότητα μικρότερη από ότι θα απαιτούσε η λειτουργία ενός απλού κώδικα.

Στη περίπτωση της συνδεδεμένης κωδικοποίησης στο σύστημα που εξετάζεται, ο εξωτερικός κώδικας είναι ένας Reed- Solomon κώδικας και ο εσωτερικός είναι ένας μη συστηματικός συνελκτικός κώδικας.

### **Εξωτερικός κωδικοποιητής Reed- Solomon**

Αυτός ο κώδικας, που προέρχεται από τον αυθεντικό κώδικα RS(255, 239,8) αν μειωθεί κατά  $B$  bytes, μπορεί να εφαρμοστεί για τις διατάξεις κάποιων bursts. Για τα ATM TRF bursts, το μήκος της κωδικοποιημένης λέξης πληροφορίας,  $K-B$ , είναι  $(N_{atm} * 53 + N_{p.atm})$ , ενώ στην περίπτωση που η πληροφορία μεταφέρεται μέσω ενός MPEG2-TS πακέτου ισχύει  $K-B = 188$  bytes. Ο εξωτερικός κώδικας μπορεί να παρακαμφθεί, γεγονός που συμβαίνει πάντα όταν χρησιμοποιείται turbo κώδικας. Αν χρησιμοποιούνται μαζί οι CRC και RS κώδικες, υπολογίζεται πρώτα το CRC του ωφέλιμου φορτίου του burst και στη συνέχεια προστίθενται τα αντίστοιχα κωδικοποιημένα bytes κατά RS

Η γενική αρχή του κώδικα Reed Solomon είναι να λαμβάνει ένα σύνολο ψηφιακών δεδομένων και να εισάγει επιπρόσθετα bits. Αυτοί οι κώδικες ανήκουν στο σύνολο των BCH κωδίκων και είναι γραμμικοί κώδικες. Ο RS κώδικας προσδιορίζεται ως RS  $(n,k)$  με σύμβολα των  $s$  bits. Αυτό σημαίνει ότι ο κωδικοποιητής λαμβάνει  $k$  σύμβολα δεδομένων, το καθένα από αυτά έχει μήκος  $s$  bits, και προσθέτει σύμβολα parity για να προκύψει κωδική λέξη  $n$  συμβόλων. Το ακόλουθο διάγραμμα δείχνει μια τυπική κωδικοποιημένη λέξη Reed Solomon (αυτός ο κώδικας καλείται ως συστηματικός κώδικας γιατί τα δεδομένα παραμένουν αμετάβλητα και τα σύμβολα parity επισυνάπτονται ).

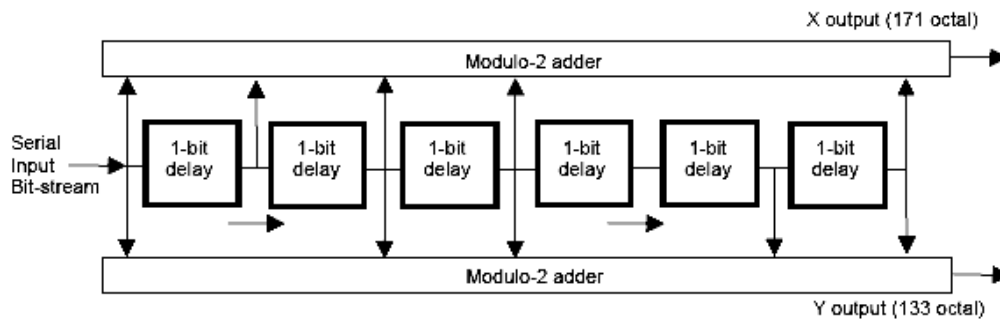


Σχήμα 1.16: Κωδικοποιημένη λέξη RS

Δεδομένου ότι το μέγεθος του συμβόλου είναι  $s$ , το μέγιστο μήκος της κωδικοποιημένης λέξης ( $n$ ) για τον κώδικα RS είναι  $2s-1$ . Για παράδειγμα, το μέγιστο μήκος όταν ο κώδικας λειτουργεί με σύμβολα των 8 bits ( $s=8$ ) είναι 255bytes. Οι κώδικες RS μπορεί να εφαρμοστούν και με μικρότερο αριθμό bytes. Στην περίπτωση αυτή, εισάγονται τα σύμβολα δεδομένων, συμπληρώνεται το κενό των υπόλοιπων θέσεων του κωδικοποιητή με μηδενικά, τα οποία και δεν αποστέλλονται, προκειμένου να λειτουργήσει ορθά η μηχανή του κωδικοποιητή RS (255,239).

### Εσωτερική συνελικτική κωδικοποίηση

Το σύστημα επιτρέπει μια ευρεία επιλογή διάτρητων συνελικτικών κωδίκων (punctured convolutional codes), βασισμένων σε έναν μητρικό συνελικτικό κώδικα με ρυθμό  $1/2$  μήκους  $K=7$  που αντιστοιχεί σε 64 καταστάσεις του καταχωρητή του κωδικοποιητή του Trellis, κάτι που φαίνεται και στο σχήμα 1.17. Τα πολυώνυμα-γεννήτριες του μητρικού κώδικα είναι  $G1 = 171_{\text{OCT}}$  για την έξοδο X και  $G2 = 133_{\text{OCT}}$  για την έξοδο Y, όπως έχει περιγραφεί και στην ενότητα για το forward link. Ο κωδικοποιητής θα πρέπει να είναι αρχικοποιημένος στην τιμή 0, πριν τη κωδικοποίηση του πρώτου ψηφίου. Στο τέλος κάθε συρμού δεδομένων, ο κωδικοποιητής επανέρχεται στην μηδενική κατάσταση (αποθηκεύει έξι μηδενικά, ο συρμός των οποίων ονομάζεται postamble).



Σχήμα 1.17: Συνελκτικός κώδικας ρυθμού  $\frac{1}{2}$

Ο εσωτερικός κώδικας μπορεί να παρακαμφθεί. Σε αυτή τη περίπτωση, το περισσότερο σημαντικό ψηφίο εισάγεται στο κανάλι I, το επόμενο ψηφίο στο κανάλι Q κ.ο.κ. Αυτός ο κώδικας παρακάμπτεται πάντα όταν γίνεται χρήση του κώδικα Turbo.

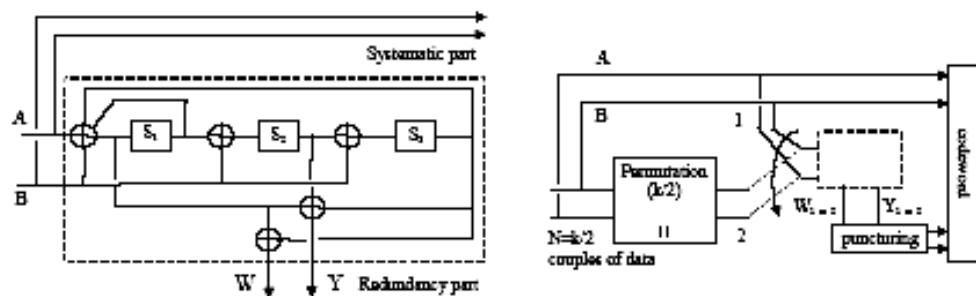
### Turbo κώδικας

Ο Turbo συνελκτικός κώδικας χρησιμοποιεί δύο παράλληλα συνδεδεμένους διπλούς δυαδικούς κυκλικούς επαναλαμβανόμενους συστηματικούς συνελκτικούς κώδικες (DBCRSCC). Τα πλεονεκτήματα του κώδικα είναι η καλύτερη σύγκλιση, απόδοση, ειδικά σε υψηλό SNR και ποσοστό κώδικα συγκριτικά με έναν ενιαίο δυαδικό turbo συνελκτικό κώδικα. Το επίπεδο λαθών του κώδικα είναι τόσο χαμηλό που είναι δυνατή η αποκωδικοποίηση σχεδόν χωρίς λάθος, με περιορισμένο αριθμό επαναλήψεων. Η ιδιότητα κυκλικής μετάβασης των καταστάσεων επιτυγχάνει υψηλότερο ποσοστό κωδικοποίησης δεδομένων από έναν ενιαίο δυαδικό turbo συνελκτικό κώδικα. Ο Turbo κώδικας χρησιμοποιείται για μικρά μεγέθη πλαισίων και υψηλούς ρυθμούς δεδομένων. Υποστηρίζονται δώδεκα μεγέθη πλαισίων (frames) που κυμαίνονται από 12 bytes μέχρι 216 bytes, συμπεριλαμβάνοντας τα πλαίσια των 53 bytes συμβατά με το ATM και τα πλαίσια των 188 bytes συμβατά με τα πρότυπα MPEG2 και DVB-S. Στην περίπτωση του DVB-RCS, ο Turbo κώδικας που χρησιμοποιείται είναι duobinary, δηλαδή διπλός δυαδικός. Αυτό σημαίνει πως σε κάθε κύκλο, ο κωδικοποιητής λαμβάνει 2 bits δεδομένων και δίνει στην έξοδο 2 πρόσθετα bits, έτσι ώστε όταν προστεθούν και τα συστηματικά bits, το ποσοστό κωδικοποίησης να είναι  $\frac{2}{4}$ . Προκειμένου να αποφευχθούν παράλληλες



μεταβάσεις στο trellis του κώδικα, η μνήμη του κωδικοποιητή θα πρέπει να υπερβαίνει τον αριθμό των εισαγόμενων bits και γι αυτό το λόγο στο DVB-RCS χρησιμοποιούνται κωδικοποιητές με μνήμη τρία (δηλαδή περιορισμένο μήκος τέσσερα).

Ο Turbo κωδικοποιητής περιγράφεται στο σχήμα 1.18. Το περισσότερο σημαντικό ψηφίο του πρώτου byte, μετά το πρόθεμα του burst, εκχωρείται στο A. Το επόμενο ψηφίο εκχωρείται στο B και αυτό συνεχίζεται για όλα τα ψηφία του burst. Τα πρόσθετα bits (parity bits) είναι στις εξόδους W και Y.



Σχήμα 1.18: Turbo κωδικοποιητής

Ο κωδικοποιητής τροφοδοτείται από μπλοκ μηνυμάτων των  $k$  bits, τα οποία ομαδοποιούνται σε  $N = k/2$  ζευγάρια. Ο αριθμός των ζευγαριών ανά μπλοκ μπορεί να είναι  $N = \{48, 64, 212, 220, 228, 424, 432, 440, 752, 848, 856, 864\}$ . Ο αριθμός των bytes ανά μπλοκ είναι  $N/4$ .

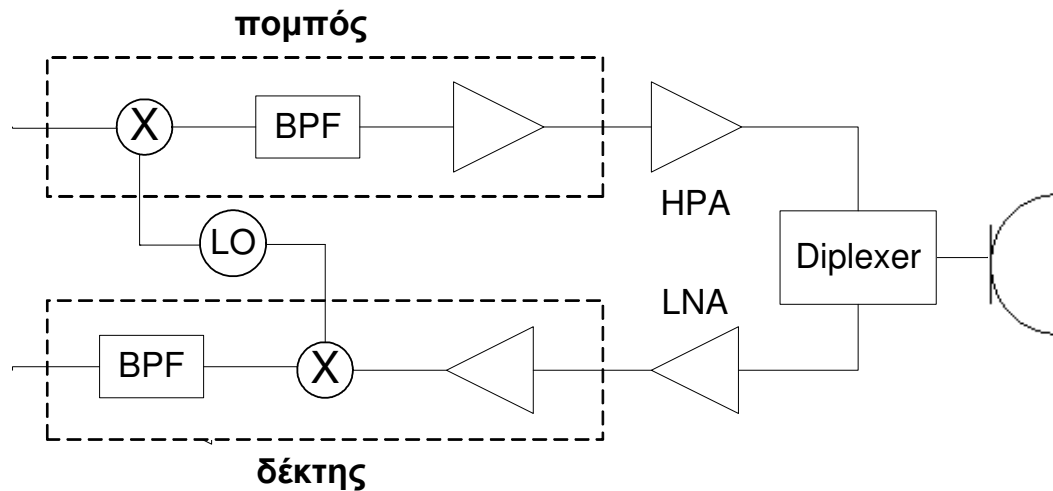
### 1.7.2 Τμήμα ενδιάμεσης συχνότητας

Στο τμήμα αυτό κατά την πλευρά της εκπομπής του επίγειου σταθμού πραγματοποιείται διαμόρφωση QPSK λόγω του χαμηλού ρυθμού λαθών που επιτυγχάνει και τακτοποίηση των προς εκπομπή πακέτων δεδομένων. Στην πλευρά της λήψης, πραγματοποιείται σύμφωνη αποδιαμόρφωση και αναδημιουργία των ψηφίων πληροφορίας.

Τα στάδια επεξεργασίας του σήματος μετά την έξοδό του από το στάδιο κωδικοποίησης είναι ίδια με αυτά του forward link και έχουν ήδη περιγραφεί στην αντίστοιχη υποενότητα.

### 1.7.3 Τμήμα ραδιοσυχνότητων (RF)

Στο τμήμα αυτό, το οποίο απεικονίζεται στο σχήμα 1.19, φαίνεται το τμήμα RF του return link και του forward link του συστήματος. Στο return link, όπου το τερματικό στέλνει πληροφορία, το σήμα διέρχεται του πομπού, ενώ στο forward link εισάγεται στο τμήμα του δέκτη.



Σχήμα 1.19: Διάγραμμα του τμήματος ραδιοσυχνότητων RF και της κεραίας

Κατά τη ζεύξη επιστροφής του συστήματος, δηλαδή στην περίπτωση που το τερματικό στέλνει πληροφορία στο δορυφόρο και από εκεί στο κεντρικό σταθμό Hub, το σήμα διέρχεται του πομπού. Εκεί, πραγματοποιείται άνω μετατροπή συχνότητας για την προσαρμογή στο εύρος ζώνης ραδιοσυχνότητων του δορυφορικού σήματος και ενίσχυση για να δοθεί στο σήμα RF η αναγκαία στάθμη ισχύος.

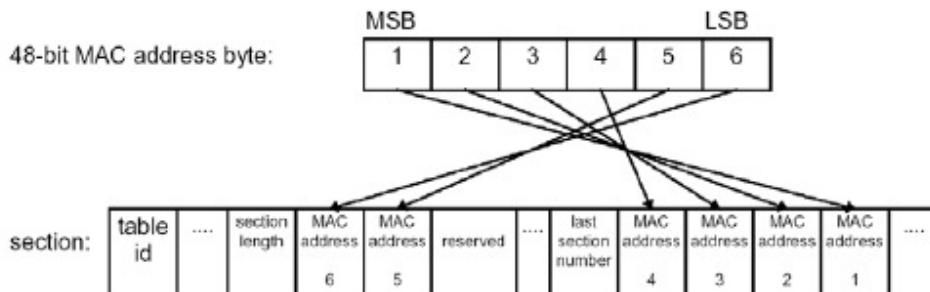
## 1.8 Μετάδοση δεδομένων IP πάνω από κανάλι DVB-RCS

Με την εξασφάλιση της αξιόπιστης μετάδοσης του Ρεύματος Μεταφοράς MPEG-2 πάνω από το κανάλι DVB-RCS, απομένει να εξεταστεί ο τρόπος με τον οποίο τα πακέτα IP ενθυλακώνονται (encapsulate) πάνω στα πακέτα μεταφοράς. Τα τελευταία έχουν σταθερό μήκος 188 bytes, εκ των οποίων τα 4 είναι η επικεφαλίδα (header). Προκειμένου λοιπόν τα IP πακέτα αφενός να ενσωματωθούν στο ρεύμα μεταφοράς και αφετέρου να διακρίνονται σαφώς από τα πακέτα που μεταφέρουν τα προγράμματα εικόνας και βίντεο, πρέπει να υιοθετηθεί μια διαδικασία που να εκτελεί λειτουργίες αντιστοίχισης (mapping), προσαρμογής (adaptation) και κατακερματισμού (segmentation). Οι λειτουργίες αυτές ορίζονται από το πρότυπο ETSI EN 301 192.

Το πρότυπο αυτό ορίζει τέσσερις διαφορετικές τεχνικές ενθυλάκωσης:

- Διοχέτευση δεδομένων (data riping). Στη μέθοδο αυτή, τα δεδομένα των IP πακέτων ενσωματώνονται απευθείας ως φορτίο (payload) στα πακέτα μεταφοράς MPEG-2.
- Ροή δεδομένων (data streaming). Η μέθοδος αυτή είναι πιο κατάλληλη για υπηρεσίες streaming over DVB. Το data stream διαμορφώνεται σε μία συμβατή Στοιχειώδη Ροή MPEG-2 (Elementary Stream), η οποία με τη σειρά της οργανώνεται σε πακέτα, κατά τη δομή του PES (Packetized Elementary Stream). Τέλος, τα πακέτα PES κατακερματίζονται και διανέμονται στο φορτίο των MPEG-2 transport packets.
- Ενθυλάκωση πολλαπλών πρωτοκόλλων (Multiprotocol Encapsulation - MPE). Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε για να μεταφέρονται πακέτα διάφορων πρωτοκόλλων (π.χ. TCP/IP) πάνω από το κανάλι DVB. Τα πακέτα πληροφορίας ενσωματώνονται σε data sections, όπως αυτά ορίζονται στο πρότυπο MPEG-2 DSM-CC. Με τη σειρά τους, τα data sections είναι πλήρως συμβατά με τη δομή private\_section που ορίζεται στο MPEG-2 Systems (ISO/IEC 13818-1) και ενσωματώνονται απευθείας στο Ρεύμα Μεταφοράς όπως ορίζει η παραπάνω προδιαγραφή. Από την πλευρά του χρήστη, τα πακέτα που προορίζονται γι' αυτόν διαχωρίζονται από τα υπόλοιπα δεδομένα με κριτήριο το αναγνωριστικό πακέτου (PID), στη συνέχεια το πεδίο

MAC (που αποθηκεύεται στα αντίστοιχα πεδία του section header, όπως δείχνει το σχήμα) και τέλος τη διεύθυνση IP προορισμού, αν πρόκειται για πακέτα IP.



Σχήμα 1.20: Ενσωμάτωση της MAC address στο section header

- Περιοδική εκπομπή δεδομένων (data carousel). Η τεχνική αυτή είναι κατάλληλη για μετάδοση δεδομένων χωρίς αμφιδρομότητα (interaction). Τα προς αποστολή δεδομένα - που αφορούν κυρίως μεγάλες ομάδες χρηστών παρά μεμονωμένους χρήστες- οργανώνονται σε ομάδες (groups) και εκπέμπονται κυκλικά ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να είναι προσπελάσιμα από τον καθένα.

Η αποτελεσματικότητα και οι προοπτικές του IP-over-DVB φαίνονται από την ευρεία αποδοχή των τεχνικών του προαναφερθέντος προτύπου από το σύνολο σχεδόν των πυλών IP-to-DVB που κυκλοφορούν, αλλά και από την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση για μονάδες ενθυλάκωσης.

Είναι βέβαια γεγονός ότι η MPE εισάγει λόγω της ενθυλάκωσης πολλαπλών επιπέδων αρκετή πλεονάζουσα πληροφορία (overhead) για πλαισίωση και σηματοδότηση με αποτέλεσμα να μην προσφέρει τη βέλτιστη λύση για την περίπτωση του IP. Για τον λόγο αυτό υπάρχει μια πιο «ελαφριά» έκδοση, με το όνομα ULE (Ultra-Light Encapsulation) που είναι ειδικά σχεδιασμένη για δεδομένα IP.

Επίσης, όλες οι προηγούμενες τεχνικές αναφέρονται σε πακέτα της τέταρτης έκδοσης του IP (IPv4) που κυριαρχεί στο Internet. Η έλευση της έκτης έκδοσης (IPv6) και η ενσωμάτωσή της στον χώρο της μετάδοσης εικόνας, ήχου και δεδομένων είναι θέμα χρόνου, καθώς υπό προτυποποίηση βρίσκονται νέες τεχνικές ενθυλάκωσης IPv6-over-DVB. Μια τέτοια προοπτική φαίνεται να υπόσχεται πολλά, καθώς τα κυριότερα πλεονεκτήματα του IPv6 (μεγάλος χώρος διεθυνσιοδότησης, ομαλή δρομολόγηση,

υποστήριξη QoS, αυξημένη ασφάλεια και υποστήριξη κινητότητας (mobility) μπορούν να βρουν άμεσες και σημαντικές εφαρμογές στον χώρο της μετάδοσης δεδομένων.

## **1.9 Επιταχύνοντας την πρόσβαση στο Internet**

Δύο νέες εξελίξεις αναμένεται να έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην περαιτέρω εξέλιξη του Διαδικτύου στην Ευρώπη αλλά και παγκοσμίως: η πρόσβαση ανεξαρτήτως πλατφόρμας (σύγκλιση) και η ευρυζωνική σύνδεση. Διατίθενται πλέον νέες επικοινωνιακές πλατφόρμες, εκτός της ιντερνετικής πρόσβασης βάσει προσωπικού υπολογιστή. Ιδιαίτερα η αμφίδρομη ψηφιακή τηλεόραση και οι συσκευές κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς (3G) που διέπονται από κοινά πρότυπα, διανοίγουν δυνατότητες πολυπλατφορμικής πρόσβασης σε υπηρεσίες και μπορούν να είναι ταυτόχρονα υποκατάστατο και συμπλήρωμα των υφισταμένων δυνατοτήτων. Το ίδιο ισχύει για τα δίκτυα υποστήριξης.

Δεν υπάρχει κοινά αποδεκτός ορισμός του «ευρυζωνικού», τα κύρια όμως χαρακτηριστικά του είναι η υψηλή ταχύτητα και η συνεχής σύνδεση. Ευρυζωνική πρόσβαση παρέχεται επί του παρόντος κυρίως μέσω του χάλκινου τηλεφωνικού δικτύου, με χρήση τεχνολογιών τύπου ADSL ή μέσω καλωδιακών τηλεοπτικών δικτύων με χρήση καλωδιακού διαποδιαμορφωτή (modem). Ευρυζωνική πρόσβαση μπορεί επίσης να παρασχεθεί μέσω νέας υποδομής, κυρίως οπτικής ίνας, σταθερής ασύρματης πρόσβασης (FWA), συστημάτων κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς, τοπικών ραδιοδικτύων (R-LAN) που λειτουργούν σε ζώνες συχνοτήτων ελεύθερες αδείας, καθώς και μέσω δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών. Η χρήση του συστήματος DVB-RCS ως δικτύου πρόσβασης δίνει μια εναλλακτική λύση στη πρόβλημα της ευρυζωνικής πρόσβασης.

Έχοντας υπόψη τις προοπτικές που μόλις αναφέρθηκαν, η παρούσα εργασία περιγράφει μια διαδεδομένη και προσιτή μέθοδο ευρυζωνικής πρόσβασης στο Internet χρησιμοποιώντας την τεχνολογία DVB. Για την αξιολόγηση του τρόπου αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί το πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης (TCP) στο επίπεδο μεταφοράς.

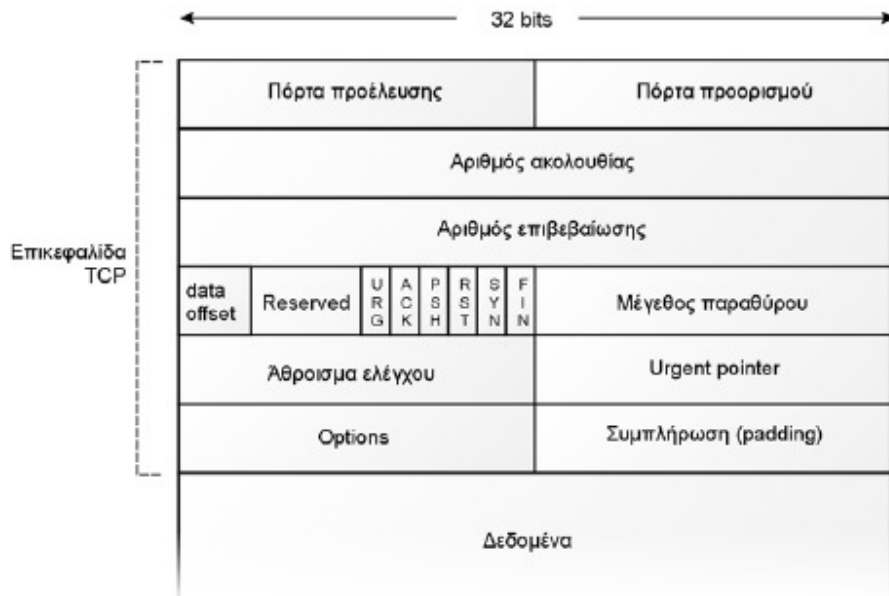
### 1.9.1 Το πρωτόκολλο TCP και η σημασία του

Το πρωτόκολλο μεταφοράς TCP (Transmission Control Protocol) είναι σήμερα το πιο δημοφιλές ίσως πρότυπο στις επικοινωνίες δεδομένων μέσω του Internet και όχι μόνο. Σχεδιάστηκε για πρώτη φορά το 1981 για χρήση στο αμερικανικό DARPA για να εξασφαλίσει αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ δύο τερματικών. Από τότε, έχει γίνει αντικείμενο πάμπολλων ερευνητικών προσπαθειών και έχει υποστεί πολλές προσθήκες και βελτιώσεις. Η παράγραφος αυτή επιχειρεί μία πολύ σύντομη ανασκόπηση των κυριότερων σημείων του πρωτοκόλλου.

Το TCP παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων με σύνδεση (connection-oriented) και έλεγχο ροής (flow control) χρησιμοποιώντας το IP ως επίπεδο δικτύου. Οργανώνει τα δεδομένα σε τμήματα (segments) με επικεφαλίδα της οποίας τα πεδία διευκολύνουν τις λειτουργίες ελέγχου ροής και ανάνηψης από λάθη.

Πολλές νοητές παράλληλες συνδέσεις μπορούν να εγκατασταθούν στην ίδια φυσική διαδρομή IP χάρη στις νοητές «πόρτες» (ports) των οποίων οι αριθμοί δηλώνονται στην αρχή της κεφαλίδας. Για ανίχνευση χαμένων πακέτων, το κάθε τμήμα αριθμείται με έναν συγκεκριμένο αριθμό ακολουθίας (sequence number) τον οποίο κάθε φορά ο αποστολέας αυξάνει κατά τον αριθμό των bytes που έχουν ως τώρα σταλεί επιτυχώς. Ο παραλήπτης απαντά δηλώνοντας στο πεδίο του αριθμού επιβεβαίωσης (acknowledgment number) τον αριθμό ακολουθίας του επόμενου τμήματος που αναμένει. Τμήματα για τα οποία η επιβεβαίωση καθυστερεί περισσότερο από ένα χρονικό διάστημα RTO (Retransmission TimeOut) επανεκπέμπονται.

Προκειμένου να μην καθυστερείται η ανταλλαγή δεδομένων από τη φυσική καθυστέρηση του καναλιού, το TCP επιχειρεί να στείλει έναν συγκεκριμένο όγκο δεδομένων χωρίς να περιμένει την επιβεβαίωση για το πρώτο τμήμα. Ο όγκος αυτός των δεδομένων που ανα πάσα στιγμή βρίσκονται ανεπιβεβαίωτα στο δίκτυο λέγεται παράθυρο (TCP window) ή παράθυρο συμφόρησης (congestion window). Το παράθυρο συμφόρησης αρχίζει με την τιμή του ενός τμήματος και αυξάνεται με κάθε επιτυχή επιβεβαίωση, αυξάνοντας έτσι και την ταχύτητα μετάδοσης.



Σχήμα 1.21.: Πεδία της επικεφαλίδας στην αρχή του τμήματος TCP

Η αύξηση είναι αρχικά εκθετική (διαδικασία αργής εκκίνησης - «slow start») και αργότερα γραμμική (διαδικασία αποφυγής συμφόρησης - «congestion avoidance»). Σε περίπτωση απώλειας πακέτου, ο αποστολέας μειώνει το παράθυρο συμφόρησης στο ήμισυ της προηγούμενης τιμής του, με αποτέλεσμα να μειώνεται αντίστοιχα και η ταχύτητα αποστολής, υπό καθεστώς απωλειών σε ένα περιβάλλον διαλείψεων.

Είναι γεγονός ότι το TCP είναι το πιο διαδεδομένο πρωτόκολλο στις διαδικτυακές συνδέσεις. Είναι χαρακτηριστικό ότι το 95% των bytes, το 90% των πακέτων και το 75% των συνδέσεων στο Internet σήμερα χρησιμοποιούν το TCP. Έτσι, η εστίαση στη λειτουργία της στοίβας TCP/IP που περιγράφηκε, καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό των αναγκών του μέσου χρήστη.

## 2. ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

### 2.1. Εισαγωγή

Η εργασία αυτή υλοποιεί την ιδέα της σύνδυαστικής χρήσης των τηλεπικοινωνιών και των τεχνολογιών εκπομπής υλοποιώντας ένα μοντέλο δικτύου βασισμένου στην επίγεια ψηφιακή μετάδοση δεδομένων (DVB-RCS). Η αρχιτεκτονική που μελετάται συνδυάζει την τεχνολογία του DVB με την WLAN, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα χρήσης υπηρεσιών δεδομένων υψηλής ταχύτητας από περισσότερους χρήστες.

Η ταχεία εξάπλωση των ασύρματων δικτύων δεδομένων (WLANs) και ιδίως της οικογένειας προτύπων IEEE 802.11x έχει καταστήσει την τεχνολογία αυτή κυρίαρχη στον χώρο της ασύρματης μετάδοσης δεδομένων σε μικρή περιοχή ή της ζεύξης σημείο-προς-σημείο (point-to-point) μεγάλων αποστάσεων, σε ταχύτητες που μπορούν να αγγίξουν μέχρι και τα 54 Mbps (πρωτόκολλο IEEE 802.11g) ή και ακόμα υψηλότερα. Δεδομένου ότι οι συσκευές είναι πλέον προσιτές εμπορικά και στο ευρύ κοινό, είναι πολύ διαδεδομένη η ανάπτυξη τοπικών μικροκυψελών (hot-spots) υψηλής ταχύτητας σε πολυσύχναστα σημεία (πολυκαταστήματα, εκθέσεις, αεροδρόμια, πανεπιστήμια) εντός των οποίων οι ασύρματοι χρήστες μπορούν να έχουν ταχεία πρόσβαση στο Internet με εύρος ζώνης της τάξης των αρκετών Mbps. Η μεγάλη χωρητικότητα των ασύρματων δικτύων τα καθιστά ικανά να παρέχουν από μόνα τους αμφίδρομη ταχεία πρόσβαση.

Οι συσκευές WLAN κατά IEEE 802.11 εκπέμπουν, όπως ορίζει το πρότυπο, με τεχνική απλωμένου φάσματος αναπήδησης συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS) με μέγιστο ονομαστικό ρυθμό 3Mbps. Το δίκτυο 802.11b λειτουργεί με εκπομπή απλωμένου φάσματος άμεσης ακολουθίας (Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS) με μέγιστο ονομαστικό ρυθμό 11 Mbps. Αμφότερες οι τεχνολογίες λειτουργούν στην ελεύθερη (license-free) περιοχή των 2.4GHz, γνωστή και ως ζώνη ISM (Industrial, Scientific, Medical).



## **2.2 Τα στοιχεία και η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων**

### **2.2.1 Γενικά**

Τα ασύρματα δίκτυα εκτελούν παρόμοιες λειτουργίες με τα ενσύρματα δίκτυα, όπως το ethernet και το token ring. Γενικά, τα δίκτυα εκτελούν τις ακόλουθες λειτουργίες για να επιτρέψουν τη μεταφορά των πληροφοριών από την πηγή στον προορισμό:

1. Το μέσο παρέχει ένα δίαυλο διαβίβασης στοιχείων
2. Οι μέσες τεχνικές πρόσβασης διευκολύνουν τη διανομή ενός κοινού μέσου
3. Τα δεδομένα παραμένουν αναλλοίωτα
4. Οι μηχανισμοί δρομολόγησης επιτρέπουν τη μετάδοση των δεδομένων από την πηγή δημιουργίας προς τον αποδέκτη
5. Το λογισμικό συνδετικότητας διασυνδέει μια συσκευή, όπως ο light pen ανιχνευτής κώδικα υπολογιστών ή φραγμών, στα προγράμματα εφαρμογών που φιλοξενούνται σε έναν κεντρικό υπολογιστή

Ένας καλός τρόπος να απεικονιστούν αυτές οι λειτουργίες είναι να διευκρινιστεί η δικτυακή αρχιτεκτονική. Αυτή η αρχιτεκτονική περιγράφει τα πρωτόκολλα, το σημαντικό υλικό, και τα στοιχεία λογισμικού που αποτελούν το δίκτυο. Μια δικτυακή αρχιτεκτονική, είτε ασύρματη είτε ενσύρματη, μπορεί να αντιμετωπισθεί με δύο τρόπους, φυσικά και λογικά.

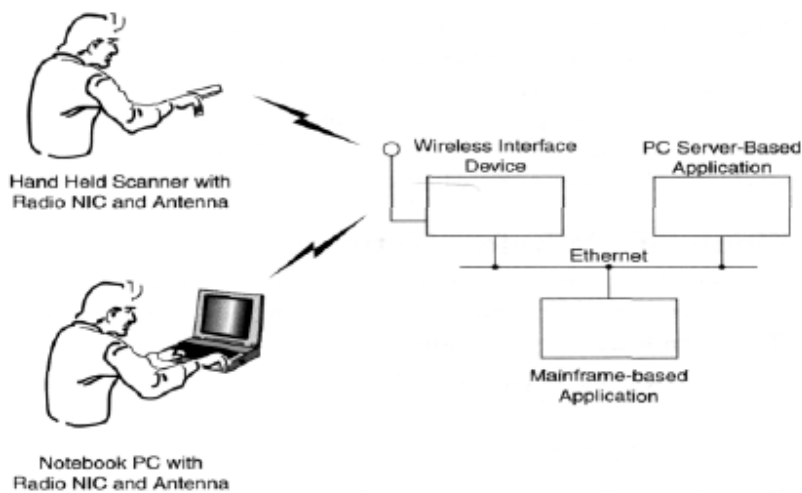
### **2.2.2 Φυσική αρχιτεκτονική ενός ασύρματου δικτύου**

Τα φυσικά συστατικά ενός ασύρματου δικτύου εφαρμόζουν τη φυσική σύνδεση στοιχείων, και τις λειτουργίες στρώματος δικτύων (Σχήμα 2.1) για να ικανοποιήσουν τη λειτουργία που απαιτείται μέσα στις τοπικές, μητροπολιτικές, και ευρείες περιοχές. Τα ακόλουθα τμήματα εξηγούν τα διάφορα συστατικά του ασύρματου τοπικού LAN.

### 2.2.3 Συσκευές τελικών χρηστών

Όπως με οποιοδήποτε σύστημα, πρέπει να υπάρχει ένας τρόπος για τους χρήστες να διασυνδέσουν τις εφαρμογές με τις υπηρεσίες. Εάν το δίκτυο είναι ασύρματο ή ενσύρματο, μια συσκευή τελικών χρηστών είναι μια διεπαφή μεταξύ του χρήστη και του δικτύου. Παρακάτω είναι οι κατηγορίες συσκευών τελικών χρηστών που είναι οι αποτελεσματικότερες ως συσκευές για τα ασύρματα δίκτυα:

- Τερματικοί σταθμοί υπολογιστών γραφείου
- Υπολογιστές lap-top

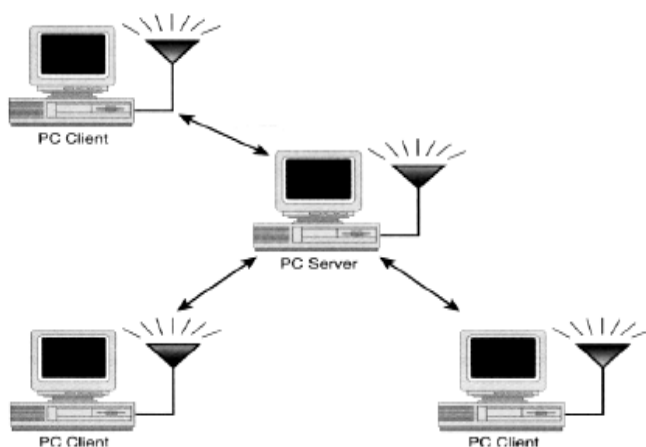


Σχήμα 2.1: Τα συστατικά ενός ασύρματου δικτύου επεκτείνουν τις δυνατότητες του ενσύρματου

- Υπολογιστές Palmtop
- Φορητό PC
- Προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί (PDA)
- Φορητοί ανιχνευτές και συλλέκτες στοιχείων
- Φορητοί εκτυπωτές

## 2.2.4 Λογισμικό δικτύων

Ένα ασύρματο δίκτυο αποτελείται από το λογισμικό που βρίσκεται εγκατεστημένο στα διαφορετικά μέρη του δικτύου. Πολλά αριθμητικά στοιχεία είναι αποθηκευμένα στον κεντρικό υπολογιστή που προσανατολίζεται, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2, όπου περιέχονται τα προγράμματα εφαρμογών και οι βάσεις δεδομένων.



Σχήμα 2.2: Ένα δικτυακό λειτουργικό σύστημα που βασίζεται σε server παρέχει μια συγκεντρωτική πλατφόρμα για την αποθήκευση δεδομένων μέσω εφαρμογών που χρησιμοποιούν οι χρήστες του ασύρματου δικτύου.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι συσκευές θα διασυνδέσουν μέσω του TCP/ IP τα προγράμματα εφαρμογών ή μια βάση δεδομένων που λειτουργεί. Το λογισμικό που εκτελεί τις λειτουργίες εφαρμογής μπορεί να τρέξει σε έναν κεντρικό υπολογιστή. Με τα συστήματα αυτού του είδους, το λογισμικό στη συσκευή μπορεί να εκτελέσει τη λειτουργία ενός τμήματος ή όλης της εφαρμογής και διασυνδέεται με μια βάση δεδομένων που βρίσκεται σε έναν κεντρικό υπολογιστή.

Σε μερικές περιπτώσεις, ένας υπολογιστής-πύλη είναι απαραίτητος για να παρέχει μια διεπαφή μεταξύ της συσκευής και των προγραμμάτων εφαρμογών που τρέχουν στον κεντρικό υπολογιστή. Οι συσκευές επικοινωνούν με τον κεντρικό υπολογιστή μέσω της

πύλης. Η πύλη ενεργεί ως πληρεξούσιος για τις διάφορες συσκευές. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης του υπολογιστή-πύλη είναι τα ακόλουθα:

- Καλύτερη απόδοση: Με την παρουσία μιας πύλης μεταφορών και εφαρμογής, οι συσκευές επικοινωνούν με την πύλη με τη χρησιμοποίηση ενός φιλικού πρωτοκόλλου που είναι πιο απλό σε σχέση με το TCP/IP.
- Αξιοπιστία: Εάν ο υπολογιστής-πύλη είναι αξιόπιστος τότε το δίκτυο δουλεύει απρόσκοπτα.
- Μακρύτερη ζωή μπαταριών: Όταν οι συσκευές βρίσκονται σε κατάσταση μη απασχόλησης, το λογισμικό δικτύων δεν είναι απαραίτητο να στείλει τα keep - alive πακέτα για να τηρήσει τη σύνδεση με τον κεντρικό υπολογιστή.

### **2.2.5 Ασύρματη διεπαφή δικτύων**

Η διεπαφή ασύρματων δικτύων παίρνει γενικά τη μορφή ενός ασύρματου NIC ή ενός εξωτερικού διαποδιαμορφωτή που διευκολύνει το διαμορφωτή και τα πρωτόκολλα επικοινωνιών. Αυτά τα συστατικά διασυνδέουν τη συσκευή χρηστών μέσω ενός διαύλου επικοινωνίας, όπως ISA (τυποποιημένη αρχιτεκτονική βιομηχανίας) ή PCMCIA. Ο δίαυλος ISA χρησιμοποιείται περισσότερο από τους υπολογιστές γραφείου PC. Πολλοί φορητοί υπολογιστές έχουν θύρες PCMCIA που δέχονται κάρτες NICs.

Η διεπαφή μεταξύ της συσκευής του χρήστη και του NIC περιλαμβάνει επίσης έναν οδηγό λογισμικού που συνδέει την εφαρμογή του πελάτη ή το λογισμικό και την κάρτα. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς τους οδηγούς είναι οι ακόλουθοι:

- NDIS (Network Driver Interface Specification): Οδηγός που χρησιμοποιείται με τα λειτουργικά συστήματα δικτύων της Microsoft
- ODI (Open Datalink Interface): Οδηγός που χρησιμοποιείται με τα λειτουργικά συστήματα δικτύων Novell
- PDS (Packet Driver Specification): Ένας γενικός driver για το DOS που αναπτύχθηκε από την εταιρεία λογισμικού FTP για τη χρήση σε υλοποιήσεις βασισμένες στο TCP/IP.

Οι ασύρματες κάρτες έρχονται παραδοσιακά με δύο συσκευές δηλαδή μια κάρτα PCMCIA που τοποθετείται στο φορητό υπολογιστή και ένα εξωτερικό κουτί πομποδεκτών. Αυτή η οργάνωση είναι ικανοποιητική για μερικές εφαρμογές, όπως οι ενσωματωμένες συσκευές εντούτοις όμως, δεν είναι εργονομική για τις περισσότερες φορητές συσκευές. Μερικοί προμηθευτές, ειδικά με τις νεώτερες ασύρματες κάρτες τους, προσφέρουν τις νέες PCMCIA οι οποίες έχουν ενσωματωμένους τους πομποδέκτες.

### **2.2.6 Κεραία**

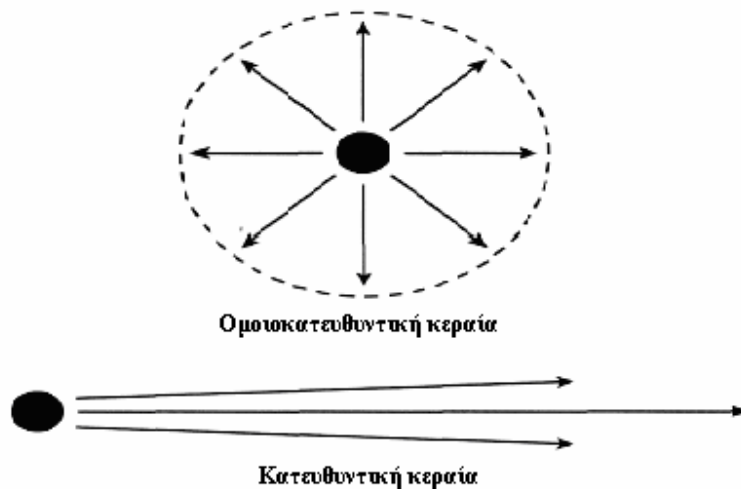
Η κεραία ακτινοβολεί το διαμορφωμένο σήμα μέσω του αέρα έτσι ώστε ο προορισμός να μπορεί να το παραλάβει. Οι κεραίες έρχονται σε πολλές μορφές και μεγέθη και έχουν τα ακόλουθα συγκεκριμένα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά:

- Πρότυπο διάδοσης
- Κέρδος
- Εύρος ζώνης

Το πρότυπο διάδοσης μιας κεραίας καθορίζει την κάλυψή της. Μια κατευθυντική κεραία αποστέλλει το μεγαλύτερο μέρος του σήματος της προς μια κατεύθυνση. Το σχήμα 2.3 επεξηγεί τις διαφορές.

Ο συνδυασμός ισχύος μετάδοσης και κέρδους μιας κεραίας καθορίζει την απόσταση στην οποία θα διαδοθεί το σήμα. Οι μεγάλης απόστασης μεταδόσεις απαιτούν υψηλότερη ισχύ και κατευθυντική εκπομπή σήματος. Από την άλλη πλευρά οι εκπομπές μικρής απόστασης απαιτούν λιγότερη ισχύ και λιγότερο κέρδος. Με τα ασύρματα δίκτυα, η ισχύς μετάδοσης είναι σχετικά χαμηλή, χαρακτηριστικά περίπου ένα Watt ή λιγότερα.

Το εύρος ζώνης είναι το επηρεάζον μέρος της συχνότητας φάσματος που διαδίδει το σήμα. Το τηλεφωνικό σύστημα, παραδείγματος χάριν, λειτουργεί σε ένα εύρος ζώνης κατά προσέγγιση από 0 έως 4 KHz. Το εύρος ζώνης αυτό είναι αρκετό για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες μετάδοσης φωνής. Τα συστήματα ραδιοκυμάτων έχουν τα μεγαλύτερα ποσά εύρους ζώνης που βρίσκονται σε υψηλότερες συχνότητες. Ο ρυθμός μετάδοσης πληροφοριών και το εύρος ζώνης σχετίζονται ανάλογα: όσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης πληροφοριών, τόσο περισσότερο εύρος ζώνης θα χρειαστεί.



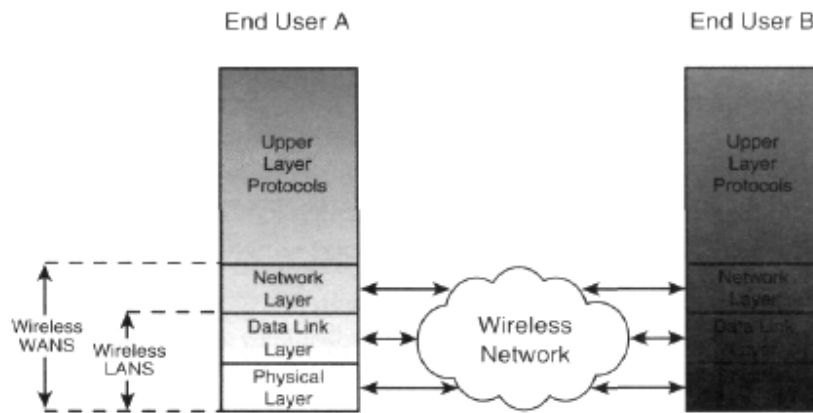
Σχήμα 2.3: Μια ομοιοκατευθυντική κεραία εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις ενώ μια κατευθυντική εστιάζει σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.

### 2.2.7 Το κανάλι επικοινωνιών

Όλα τα συστήματα πληροφοριών χρησιμοποιούν ένα κανάλι επικοινωνιών κατά μήκος του οποίου ρέουν πληροφορίες από την πηγή στον προορισμό. Τα δίκτυα Ethernet μπορούν να χρησιμοποιήσουν το UTP ή το ομοαξονικό καλώδιο. Τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν τον αέρα ως μέσο. Στη γήινη επιφάνεια, ως μέσα μετάδοσης χρησιμοποιούνται τα κύματα και το υπέρυθρο φως.

Η βροχή, η ομίχλη, και το χιόνι μπορούν να αυξήσουν το ποσό μορίων ύδατος στον αέρα. Παρόλα αυτά η μετάδοση μπορεί να γίνει με ικανοποιητικά επίπεδα απόδοσης. Οι τρόποι να αντιμετωπιστεί η εξασθένηση που παρουσιάζεται είναι είτε να αυξηθεί η ισχύς μετάδοσης των ασύρματων συσκευών, που στις περισσότερες περιπτώσεις περιορίζεται από τη FCC, είτε να γίνει χρήση ειδικών ενισχυτών που καλούνται επαναλήπτες οι οποίοι ειδικεύονται στη λήψη αδύναμων σημάτων.

Ένα ασύρματο δίκτυο δεν προσφέρει όλες τις λειτουργίες του OSI αλλά λειτουργεί μόνο στα κατώτερα τρία στρώματα όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4. Μόνο τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής, εντούτοις, εκτελούν τις λειτουργίες στρώματος δικτύων.

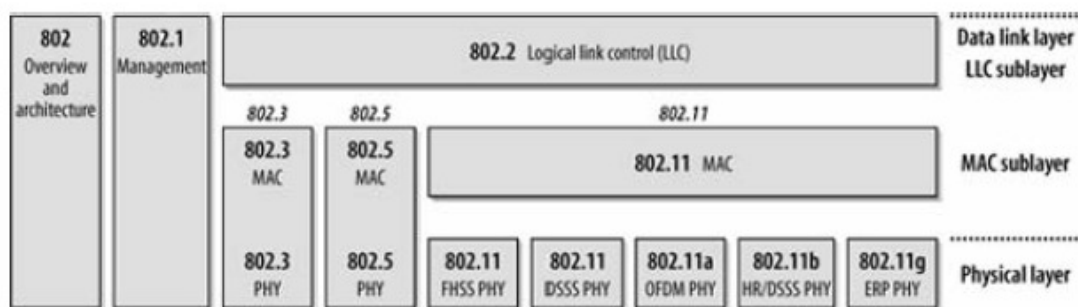


Σχήμα 2.4: Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να συνδέσουν 2 ενσύρματα.

## 2.3 Επισκόπηση των δικτύων 802.11

### 2.3.1 Οικογενειακό δένδρο τεχνολογίας δικτύων IEEE 802

Το 802.11 είναι μέλος της οικογένειας IEEE 802, η οποία είναι μια σειρά προδιαγραφών για τις τεχνολογίες δικτύων τοπικής περιοχής (LAN). Το σχήμα 2.5 παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ των διάφορων συστατικών της οικογένειας 802 και τη θέση τους στο πρότυπο της OSI.



Σχήμα 2.5: Η οικογένεια IEEE 802 και η σχέση της με το μοντέλο OSI

Για να εξασφαλίσει τη διαλειτουργικότητα με τα υπάρχοντα πρότυπα, η ομάδα εργασίας του 802.11 ανέπτυξε τα πρότυπα έτσι ώστε να είναι συμβατά με άλλα υπάρχοντα πρότυπα 802, όπως είναι τα εξής:

- IEEE 802: Λειτουργικές απαιτήσεις
- IEEE 802.2: Καθορισμός υπηρεσιών MAC
- IEEE 802.a: Επισκόπηση και αρχιτεκτονική
- IEEE 802.11b: Διαχείριση LAN/MAN
- IEEE 802.11g: Διαφανείς γέφυρες
- IEEE 802.SS: Οδηγίες για την ανάπτυξη των διοικητικών προτύπων στρώματος.
- IEEE 802.10: Ασφάλεια στην ανταλλαγή δεδομένων.

### **2.3.2 Ανάλυση των δικτύων IEEE 802**

Οι προδιαγραφές IEEE 802 στρέφονται στα δύο χαμηλότερα στρώματα του προτύπου OSI επειδή ενσωματώνουν τα στοιχεία τόσο του φυσικού στρώματος όσο και του στρώματος ζεύξης. Όλα τα 802 δίκτυα έχουν και MAC και φυσικό (PHY) τμήμα. Η MAC είναι ένα σύνολο κανόνων για να καθοριστεί η πρόσβαση στο μέσο και η αποστολή δεδομένων, αλλά οι λεπτομέρειες της μετάδοσης και της λήψης αφήνονται στο PHY.

Μεμονωμένες προδιαγραφές στην 802 σειρά προσδιορίζονται από έναν δεύτερο αριθμό. Παραδείγματος χάριν, 802.3 είναι η προδιαγραφή για ένα δίκτυο Πολλαπλής Πρόσβασης Ανίχνευσης Φέροντος με ανίχνευση σύγκρουσης (CSMA/CD), που συσχετίζεται με το Ethernet, και 802.5 είναι η προδιαγραφή δικτύου δακτυλίου σκυτάλης. Άλλες προδιαγραφές περιγράφουν άλλα μέρη της στοίβας πρωτοκόλλων 802. Το 802.2 διευκρινίζει ένα κοινό στρώμα ζεύξης, τον λογικό έλεγχο συνδέσεων (LLC), ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιαδήποτε τεχνολογία LAN χαμηλού στρώματος. Τα διαχειριστικά χαρακτηριστικά των 802 δικτύων διευκρινίζονται στο 802.1. Μεταξύ των 802.1, υπάρχουν πολλές παροχές για bridging (802.1D) και εικονικά LANs, ή VLANs (802.1Q).

Το 802.11 είναι απλώς ένα άλλο στρώμα συνδέσεων που μπορεί να χρησιμοποιήσει την ενθυλάκωση 802.2/LLC. Η προδιαγραφή του βασικού 802.11 περιλαμβάνει το 802.11



MAC και δύο φυσικά στρώματα: ένα φυσικό στρώμα απλωμένου φάσματος αναπήδησης συχνότητας (FHSS) και ένα στρώμα ζεύξης απλωμένου φάσματος άμεσης ακολουθίας (DSSS). Πιο πρόσφατες αναθεωρήσεις 802.11 προσέθεσαν επιπρόσθετα φυσικά στρώματα. Το 802.11b περιγράφει ένα στρώμα υψηλού ρυθμού άμεσης ακολουθίας (HR/DSSS) προϊόντα βασισμένα σε 802.11b χτύπησαν την αγορά το 1999 και ήταν το πρώτο μαζικής αγοράς PHY. Το 802.11a περιγράφει ένα φυσικό στρώμα βασισμένο στην πολυπλεξία ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (OFDM) τα πρώτα προϊόντα βασισμένα σε 802.11a έγιναν διαθέσιμα το 2005. Το 802.11g είναι το νεότερο φυσικό στρώμα. Προσφέρει την υψηλότερη ταχύτητα μέσω της χρήσης OFDM αλλά με προς τα πίσω τη συμβατότητα με 802.11b. Η προς τα πίσω συμβατότητα δεν είναι χωρίς κόστος, εν τούτοις. Όταν οι χρήστες 802.11b και 802.11g συνυπάρχουν στο ίδιο σημείο πρόσβασης, απαιτείται πρόσθετος φόρτος για τις επικεφαλίδες πρωτοκόλλου, μειώνοντας τη μέγιστη ταχύτητα για τους χρήστες 802.11g.

Το 802.11 επιτρέπει την κινητή πρόσβαση στο δίκτυο και για την επίτευξη αυτού του στόχου, ενσωματώθηκαν διάφορα πρόσθετα χαρακτηριστικά στη MAC. Κατά συνέπεια, η 802.11 MAC μπορεί να φανεί αρκετά σύνθετη έναντι άλλων IEEE 802 προδιαγραφών της MAC. Η χρήση των ραδιοκυμάτων ως φυσικό στρώμα απαιτεί επίσης ένα σχετικά σύνθετο PHY. Το 802.11 χωρίζει το PHY σε δύο γενικά συστατικά: τη Φυσική Διαδικασία Σύγκλισης Στρώματος (Physical Layer Convergence Procedure - PLCP), για τη χαρτογράφηση των πλαισίων της MAC επάνω στο μέσο, και ένα Φυσικό Εξαρτώμενο από το Μέσο σύστημα (Physical Medium Dependent - PMD) για να διαβιβάσει εκείνα τα πλαίσια.

### **2.3.3 Η τοπολογία του 802.11**

Η τοπολογία του 802.11 αποτελείται από συστατικά, που αλληλεπιδρούν για να παρέχεται ένα ασύρματο LAN το οποίο επιτρέπει την διαφάνεια της κίνησης των σταθμών σε ένα υψηλό στρώμα πρωτοκόλλου, όπως είναι το Logical Link Control (LLC). Σταθμός είναι οποιαδήποτε συσκευή περιέχει λειτουργίες του πρωτοκόλλου 802.11 (όπως είναι στρώμα της MAC, στρώμα PHY). Οι λειτουργίες του προτύπου 802.11 υπάρχουν φυσικά

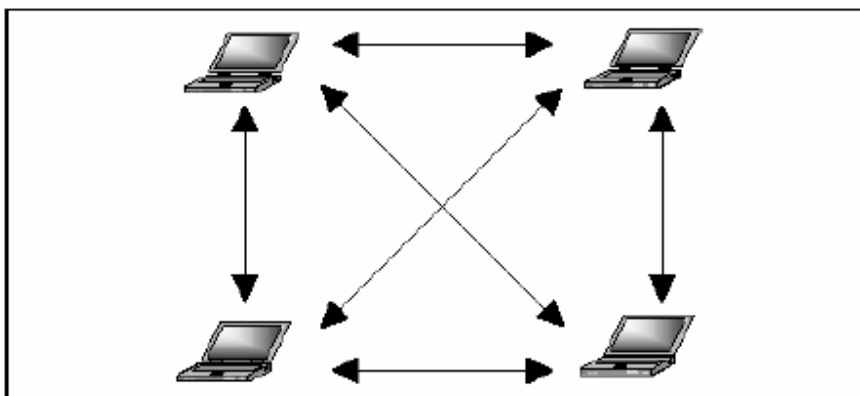
μέσα σε μια συσκευή ασύρματης δικτύωσης, η διεπαφή λογισμικού οδηγεί τη συσκευή και το σημείο πρόσβασης. Το πρότυπο 802.11 υποστηρίζει τις ακόλουθες δύο τοπολογίες:

- Independent Basic Service Set (IBSS) networks
- Extended Service Set (ESS)

Αυτά τα δίκτυα χρησιμοποιούν μια βασική δομική μονάδα που το πρότυπο 802.11 αναφέρει ως BSS, παρέχοντας μια περιοχή κάλυψης με την οποία οι σταθμοί του BSS παραμένουν πλήρως συνδεδεμένοι. Ένας σταθμός είναι ελεύθερος να κινηθεί μέσα στο BSS, αλλά δεν μπορεί να επικοινωνήσει άμεσα με άλλους σταθμούς εάν φύγει από το BSS.

### 2.3.3.1 Independent Basic Service Set (IBSS) Networks

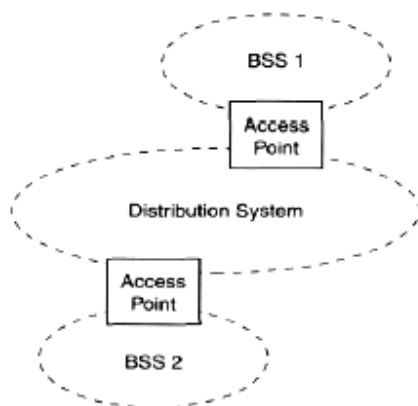
Ένα IBSS είναι ένα αυτόνομο BSS που δεν έχει καμία backbone υποδομή και αποτελείται από τουλάχιστον δύο ασύρματους σταθμούς (Σχήμα 2.6). Κάθε κόμβος θεωρείται ομότιμος(peer) και έτσι το δίκτυο απαρτίζεται από μονοπάτια. Συνήθως αυτός ο τρόπος χρησιμοποιείται για μικρά δίκτυα. Αυτός ο τύπος δικτύου αναφέρεται συχνά ως ad hoc επειδή μπορεί να κατασκευαστεί γρήγορα χωρίς ιδιαίτερη σχεδίαση καθώς ένα ad hoc δίκτυο μπορεί να περιέχει πολλά μονοπάτια για επικοινωνία μεταξύ δύο κόμβων, και έτσι παρέχει μεγάλη αξιοπιστία λόγω εφεδρείας μονοπατιών, αλλά και αυξημένη ταχύτητα. Το ασύρματο δίκτυο τύπου ad hoc θα ικανοποιήσει τις περισσότερες ανάγκες των χρηστών που καταλαμβάνουν έναν μικρότερο χώρο.



Σχήμα 2.6: 802.11 LAN του τύπου BSS ( IBSS )

### 2.3.3.2 Extended Service Set (ESS) Networks

Για τις απαιτήσεις που υπερβαίνουν τους περιορισμούς ενός ανεξάρτητου BSS, το 802.11 καθορίζει το Extended Service Set (ESS) LAN, όπως διευκρινίζεται στο Σχήμα 2.7. Αυτός ο τύπος διαμόρφωσης ικανοποιεί τις ανάγκες των δικτύων μεγάλης κάλυψης που είναι αυθαίρετα από πλευράς μεγέθους και πολυπλοκότητας.



Σχήμα 2.7: 802.11 LAN του τύπου Extended Service Set (ESS)

Το πρότυπο 802.11 αναγνωρίζει τους ακόλουθους τύπους κινητικότητας:

- Καμία μετάβαση: Αυτός ο τύπος κινητικότητας αναφέρεται σε σταθμούς που δεν κινούνται και σ' αυτούς που κινούνται μέσα στο τοπικό BSS.
- BSS: Αυτός ο τύπος κινητικότητας αναφέρεται σε σταθμούς που κινούνται από ένα BSS σε ένα ESS προς ένα άλλο BSS μέσα στο ίδιο ESS.
- ESS: Αυτός ο τύπος κινητικότητας αναφέρεται σε σταθμούς που κινούνται από ένα BSS σε ένα ESS προς ένα BSS σε ένα διαφορετικό ESS.

Το πρότυπο 802.11 υποστηρίζει με σαφήνεια τους τύπους κινητικότητας καμίας μετάβασης (No-transition) και BSS, χωρίς όμως να εγγυάται ότι μια σύνδεση θα συνεχιστεί όταν γίνεται μία ESS μετάβαση.

Το πρότυπο 802.11 καθορίζει το σύστημα διανομής ως ένα στοιχείο το οποίο διασυνδέει το BSS μέσα στο ESS μέσω σημείων πρόσβασης. Το σύστημα διανομής υποστηρίζει τους τύπους κινητικότητας του 802.11 με το να παρέχει τις απαραίτητες λογικές υπηρεσίες που χειρίζονται την απεικόνιση της διεύθυνσης προορισμού και τη συνεχή ολοκλήρωση πολλαπλών BSS. Ένα σημείο πρόσβασης είναι ένας προσπελάσιμος σταθμός, που παρέχει μια διεπαφή στο σύστημα διανομής για τους σταθμούς που βρίσκονται μέσα σε διάφορα BSS. Τα ανεξάρτητα δίκτυα BSS και ESS είναι διαφανή στο στρώμα LLC.

Μέσα στο ESS, το πρότυπο 802.11 προσαρμόζει την ακόλουθη φυσική διαμόρφωση BSS:

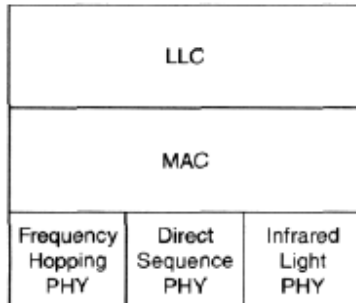
- BSS τα οποία είναι μερικώς επικαλύπτομενα: Αυτός ο τύπος διαμόρφωσης παρέχει παρακείμενη κάλυψη μέσα σε μια καθορισμένη περιοχή, ο οποίος είναι καλύτερος όταν η εφαρμογή δεν μπορεί να ανεχτεί τη διάσπαση της υπηρεσίας των δικτύων.
- BSS που είναι φυσικά χωρισμένα: Για αυτήν την περίπτωση, η διαμόρφωση δεν παρέχει την παρακείμενη κάλυψη. Το 802.11 δεν διευκρινίζει ένα όριο στην απόσταση μεταξύ BSS.
- BSS που παρατίθενται φυσικά: Αυτό μπορεί να είναι απαραίτητο για να παρέχει ένα εφεδρικό ή υψηλής απόδοσης δίκτυο.

Το πρότυπο 802.11 δεν περιορίζει τη σύνθεση του συστήματος διανομής επομένως, μπορεί να είναι συμβατό με το 802 ή με κάποια μη τυποποιημένα δίκτυα. Εάν τα πλαίσια δεδομένων χρειάζονται μετάδοση από και προς ένα μη συμβατό με το 802.11 LAN τότε αυτά τα πλαίσια, καθορίζονται από το πρότυπο 802.11, εισάγονται και εξάγονται μέσω ενός λογικού σημείου αποκαλούμενου πύλη. Η πύλη παρέχει τη λογική ολοκλήρωση μεταξύ του υφιστάμενου ενσύρματου δικτύου και των δικτύων 802.11. Όταν το σύστημα διανομής κατασκευάζεται με στοιχεία τύπου 802 όπως το 802.3 (ethernet) ή 802.5 (token ring), η πύλη και το σημείο πρόσβασης γίνονται ταυτόσημες έννοιες.

#### **2.3.4 Λογική αρχιτεκτονική των δικτύων 802.11**

Η τοπολογία παρέχει τα μέσα για να επεξηγηθούν τα απαραίτητα φυσικά συστατικά ενός δικτύου, αλλά η λογική αρχιτεκτονική καθορίζει την λειτουργία του δικτύου. Όπως

επεξηγεί το σχήμα 2.8, η λογική αρχιτεκτονική του προτύπου 802.11 που ισχύει για κάθε σταθμό αποτελείται από ένα ενιαίο στρώμα MAC και από ένα στρώμα με πολλαπλά PHY.



Σχήμα 2.8: Ένα μονό 802.11 MAC Layer υποστηρίζει 3 διαφορετικά PHY

#### 2.3.4.1 Στρώμα της MAC

Ο στόχος του στρώματος της MAC είναι να παρασχεθούν οι λειτουργίες ελέγχου πρόσβασης (όπως η εξέταση, ο συντονισμός πρόσβασης, ο έλεγχος ακολουθίας παραγωγής και ελέγχου των πλαισίων και η οριοθέτηση των LLC, PDU), ώστε τα πλαίσια που διανέμονται δια μέσου PHY να υποστηρίζουν το LLC Layer. Το στρώμα της MAC εκτελεί την εξέταση και την αναγνώριση των πλαισίων υποστηρίζοντας το LLC. Το πρότυπο 802.11 χρησιμοποιεί το CSMA/CA (carrier sense multiple access with collision avoidance) δεδομένου ότι το ethernet χρησιμοποιεί το CSMA/CD (carrier sense multiple access with collision detection). Δεν είναι δυνατό και να πραγματοποιηθεί μετάδοση και λήψη στο ίδιο κανάλι χρησιμοποιώντας τον ίδιο πομποδέκτη. Ένα ασύρματο τοπικό LAN βασισμένο στο 802.11 παίρνει μέτρα ώστε να αποφεύγονται οι συγκρούσεις (collisions) και όχι να ανιχνεύονται.

#### 2.3.4.2 Τα φυσικά στρώματα IEEE 802.11

Το πρότυπο καθορίζει τα 2.4 GHz διότι αυτή η συχνότητα είναι ελεύθερα διαθέσιμη. Το FCC Part 15 στις Ηνωμένες Πολιτείες εποπτεύει την εκπεμπόμενη ισχύ RF σε

συχνότητες ISM. Το Part 15 περιορίζει το μέγιστο κέρδος των κεραιών στα 6 dBi ισχύς εκπομπής. Τα αντίστοιχα Ευρωπαϊκά και Ιαπωνικά όρια είναι 0 milliwatts /1 MHz. Οι πραγματικές συχνότητες που εγκρίνονται για χρήση στις Ηνωμένες Πολιτείες, την Ευρώπη, και την Ιαπωνία διαφέρουν ελαφρώς. Τον Μάρτιο του 1993, η επιτροπή του 802.11 άρχισε να λαμβάνει προτάσεις για ένα άμεσης συχνότητας πρότυπο Φυσικού επιπέδου. Έπειτα από πολύ συζήτηση και διάλογο, η επιτροπή συμφώνησε να περιλάβει ένα κεφάλαιο στα πρότυπα που να διευκρινίζει τη χρήση της άμεσης ακολουθίας. Η άμεση ακολουθία του Φυσικού επιπέδου καθορίζει δύο διαμεταγωγές δεδομένων:

- 2 Mbps, χρησιμοποιώντας τη διαμόρφωση Differential Quaternary Phase Shift Keying (DQPSK).
- 1 Mbps, χρησιμοποιώντας τη διαμόρφωση Differential Binary Phase Shift Keying (DBPSK).

Τα πρότυπα καθορίζουν επτά άμεσα κανάλια ακολουθίας. Ένα κανάλι είναι αποκλειστικά διαθέσιμο για την Ιαπωνία. Τρία ζευγάρια καναλιών καθορίζονται για τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ευρώπη. Τα κανάλια κατά ζεύγη μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς παρεμβολές. Επιπλέον, τα κανάλια και των τριών ζευγών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα για την ύπαρξη επαρκούς ή υψηλής απόδοσης με την ανάπτυξη ενός σχεδίου συχνοτήτων που αποτρέπει τις διενέξεις μεταξύ των σημάτων.

Σε αντίθεση με την άμεση ακολουθία, το hopping συχνοτήτων του PHY το οποίο βασίζεται στο 802.11, χρησιμοποιεί τα ραδιοσήματα για να αποστείλει τα σήματα δεδομένων κάνοντας hopping από μια συχνότητα σε άλλη. Αυτό πραγματοποιείται μεταδίδοντας λίγα bits σε κάθε συχνότητα προτού μετατοπιστεί σε μια άλλη. Τα συστήματα που εκτελούν Hopping συχνοτήτων, εκτελούν αυτή την διεργασία τυχαία, αλλά πραγματικά είναι μια γνωστή ακολουθία. Μια ιδιαίτερη ακολουθία Hop αναφέρεται συνήθως και ως κανάλι hopping συχνοτήτων. Τα συστήματα που διενεργούν Hopping συχνοτήτων τείνουν να είναι λιγότερο δαπανηρά στη υλοποίηση και δεν καταναλώνουν τόση πολύ ισχύ όση καταναλώνουν τα αντίστοιχα συστήματα άμεσης ακολουθίας. Αυτό καθιστά τα πρώτα περισσότερο κατάλληλα για φορητές εφαρμογές. Παρόλα αυτά, το hopping συχνοτήτων είναι πολύ λιγότερο ανθεκτικό στις πολλαπλής-πορείας και άλλων πηγών παρεμβολών. Το σύστημα πρέπει να ξαναμεταδώσει τα δεδομένα εάν αυτά αλλοιωθούν σε ένα από τα hop ακολουθίας συχνοτήτων.

Η επιτροπή του 802.11 καθόρισε η συχνότητα hopping του Φυσικού επιπέδου να έχει διαμεταγωγή δεδομένων ίση με 1Mbps κάνοντας χρήση της μεθόδου Gaussian frequency shift keying (GFSK) δύο επιπέδων. Αυτή η προδιαγραφή περιγράφει 79 κεντρικές συχνότητες καναλιών που προσδιορίζονται για τις Ηνωμένες Πολιτείες, από τις οποίες υπάρχουν τρεις ομάδες από 22 ακολουθίες hopping.

Το υπέρυθρο Physical Layer περιγράφει έναν τύπο διαμόρφωσης που λειτουργεί στη συχνότητα από 850 nm έως 950 nm για μικρό εξοπλισμό και χαμηλών ταχυτήτων εφαρμογές. Ο βασικός ρυθμός διαμεταγωγής δεδομένων αυτού του υπέρυθρου μέσου είναι 1 Mbps χρησιμοποιώντας 16-PPM (pulse position modulation) και ένα ενισχυμένο ρυθμό των 2 Mbps χρησιμοποιώντας 4-PPM. Η μέγιστη ισχύ των υπέρυθρων συσκευών περιορίζεται στην μέγιστη ισχύ των 2 Watt.

Όπως έγινε με τα πρότυπα IEEE 802.3, για το 802.11 εξετάζονται πρόσθετα PHY καθώς οι εφαρμόσιμες τεχνολογίες γίνονται διαθέσιμες.

### **2.3.5 Οι υπηρεσίες του IEEE 802.11**

Το πρότυπο 802.11 καθορίζει τις υπηρεσίες που παρέχουν οι λειτουργίες που απαιτεί το επίπεδο LLC για την αποστολή MSDU (MAC service data units) ανάμεσα σε δύο οντότητες του δικτύου.

Οι επόμενες ενότητες καθορίζουν τις υπηρεσίες συστημάτων σταθμών και διανομής.

#### **2.3.5.1 Υπηρεσίες σταθμών**

Το πρότυπο 802.11 καθορίζει τις υπηρεσίες για την παροχή των λειτουργιών μεταξύ των σταθμών. Ένας σταθμός μπορεί να είναι μέσα σε οποιοδήποτε ασύρματο στοιχείο στο δίκτυο, όπως ένα φορητό PC ή ένας φορητός ανιχνευτής. Επιπλέον, όλα τα σημεία πρόσβασης υλοποιούν υπηρεσίες σταθμών. Για να παρέχουν την απαραίτητη λειτουργία, αυτοί οι σταθμοί πρέπει να στείλουν και να λάβουν MSDU και να εφαρμόσουν επαρκή επίπεδα ασφάλειας.

## **Πιστοποίηση Ταυτότητας (Authentication)**

Επειδή τα ασύρματα δίκτυα έχουν περιορισμένη φυσική ασφάλεια για να αποτρέψουν μια μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, το 802.11 καθορίζει υπηρεσίες επικύρωσης για να ελεγχθεί η πρόσβαση στο τοπικό δίκτυο σε ένα επίπεδο ίσο με ένα ενσύρματο δίκτυο. Όλοι οι σταθμοί που είναι συμβατοί με το 802.11, είτε είναι μέρος ενός ανεξάρτητου BSS είτε ESS δικτύου, πρέπει να χρησιμοποιούν υπηρεσίες επικύρωσης πριν την αποκατάσταση μιας σύνδεσης με έναν άλλο σταθμό με τον οποίο ανταλλάσσουν πλαίσια επικυρωσης.

Το πρότυπο IEEE 802.11 καθορίζει τις ακόλουθες δύο υπηρεσίες επικύρωσης:

- **Επικύρωση ανοικτών συστημάτων:** Αυτή είναι η προεπιλεγμένη μέθοδος επικύρωσης για το 802.11, η οποία είναι μια πολύ απλή διαδικασία που περιλαμβάνει δύο στάδια. Κατ' αρχήν ο σταθμός που θέλει να κάνει ταυτοποίηση με έναν άλλο σταθμό στέλνει ένα πλαίσιο διαχείρισης επικύρωσης που περιέχει την ταυτότητα του σταθμού που αποστέλλει. Ο λαμβάνων σταθμός επιστρέφει κατόπιν ένα πλαίσιο που προειδοποιεί εάν αναγνώρισε την ταυτότητα της επικύρωσης.
- **Επικύρωση με χρήση κοινόχρηστου (Shared) κλειδιού:** Αυτός ο τύπος επικύρωσης προϋποθέτει ότι κάθε σταθμός έχει λάβει ένα κοινό μυστικό κλειδί μέσω ενός καναλιού ανεξάρτητου από το δίκτυο τύπου 802.11. Οι σταθμοί επικυρώνουν γνωρίζοντας το κοινό μυστικό κλειδί. Η χρήση της επικύρωσης με κοινό κλειδί απαιτεί την υλοποίηση του αλγορίθμου WEP (Wireless Equivalent Privacy).

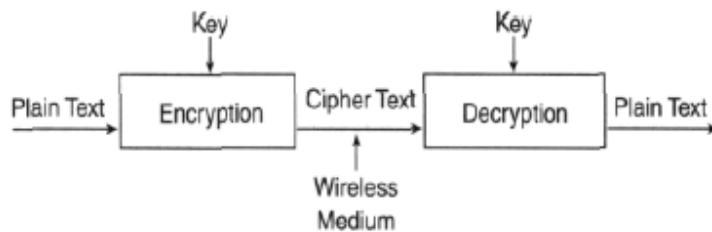
## **Deauthentication**

Η υπηρεσία του de-authentication χρησιμοποιείται για να καταστραφεί η ταυτότητα ενός σταθμού που για οποιοδήποτε λόγο δεν μπορεί πλέον να υπάρχει στο τοπικό ασύρματο δίκτυο. Όταν η διαδικασία αυτή ξεκινήσει, ο σταθμός δεν μπορεί πλέον να έχει πρόσβαση στο δίκτυο, μέχρι να ξαναπεράσει από την φάση authentication. Με αυτό τον τρόπο ελευθερώνονται πόροι στο access point για άλλες συσκευές.



## Μυστικότητα (Privacy)

Μέσα σε ένα ασύρματο δίκτυο, όλοι οι σταθμοί και οι συσκευές μπορούν να παρακολουθήσουν την κυκλοφορία των δεδομένων που λαμβάνει χώρα μέσα στο δίκτυο πράγμα που προκαλεί σοβαρό πρόβλημα ασφάλειας. Το IEEE 802.11 αντιμετωπίζει αυτό το πρόβλημα παρέχοντας μια επιλογή υπηρεσίας μυστικότητας που βελτιώνει το επίπεδο ασφάλειας ενός δικτύου 802.11 σε αυτό ενός ενσύρματου δικτύου. Η υπηρεσία μυστικότητας που εφαρμόζεται σε όλα τα πλαίσια δεδομένων (data frames) και σε μερικά πλαίσια επικύρωσης, είναι βασισμένη στον αλγόριθμο WEP (Wired Equivalent Privacy) του 802.11 ο οποίος μειώνει σημαντικά τους κινδύνους εάν κάποιος υποκλέπτει δεδομένα του δικτύου (eavesdrop) . Αυτός ο αλγόριθμος εκτελεί την κρυπτογράφηση των μηνυμάτων, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9.



Σχήμα 2.9: Αποτροπή υποκλοπής δεδομένων μέσω του WEP

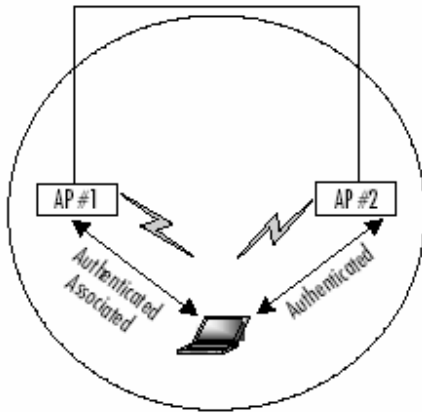
### 2.3.5.2 Υπηρεσίες συστημάτων διανομής

Οι υπηρεσίες συστημάτων διανομής, όπως καθορίζονται από το 802.11, παρέχουν τη λειτουργία κατά μήκος ενός συστήματος διανομής. Τα σημεία πρόσβασης παρέχουν τις υπηρεσίες αυτές.

## Ένωση (Association)

Ένας σταθμός χρησιμοποιεί την διαδικασία association μόλις συνδεθεί στο AP. Αυτή η λειτουργία δημιουργεί τα λογικά μονοπάτια μεταξύ των συσκευών, και αποφασίζει για

τον τρόπο με τον οποίο θα επικοινωνήσει το Σύστημα Διανομής με τον σταθμό. Αν δεν συμβεί αυτή η διαδικασία, τότε το Σύστημα Διανομής δεν θα ξέρει πού να στείλει τα πλαίσια δεδομένων. Όπως βλέπουμε στο σχήμα 2.10, ένας σταθμός μπορεί να είναι authenticated σε περισσότερα από ένα Access Point αλλά η διαδικασία association συμβαίνει μόνο με ένα.



Σχήμα 2.10: Η διαδικασία association

### **Αποσύνδεση (Disassociation)**

Ένας σταθμός ή ένα σημείο πρόσβασης μπορεί να καλέσει την υπηρεσία αποσύνδεσης για να ολοκληρώσει μια υπάρχουσα σύνδεση. Αυτή η υπηρεσία είναι μια ανακοίνωση, επομένως κανένα συμβαλλόμενο μέρος δεν μπορεί να αρνηθεί τη λήξη. Οι σταθμοί πρέπει να διαχωριστούν κατά την αποχώρηση από το δίκτυο.

### **Διανομή (Distribution)**

Ένας σταθμός χρησιμοποιεί την υπηρεσία διανομής κάθε φορά που στέλνει πλαίσια MAC κατά μήκος ενός συστήματος διανομής. Το πρότυπο 802.11 δεν διευκρινίζει πώς το σύστημα διανομής παραδίδει τα στοιχεία. Η υπηρεσία διανομής παρέχει στο σύστημα διανομής αρκετές πληροφορίες για να καθορίσει τον κατάλληλο προορισμό BSS.

## **Ολοκλήρωση (Integration)**

Η υπηρεσία ολοκλήρωσης επιτρέπει την παράδοση των MAC πλαισίων μέσω μιας πύλης, μεταξύ ενός συστήματος διανομής και ενός τοπικού δικτύου μη-συμβατού με το 802.11. Η λειτουργία ολοκλήρωσης εκτελεί όλες τις απαραίτητες μεταφράσεις διαστήματος των μέσων ή των διευθύνσεων. Οι λεπτομέρειες μιας λειτουργίας ολοκλήρωσης εξαρτώνται από την υλοποίηση του συστήματος διανομής και βρίσκονται πέρα από το πεδίο του προτύπου 802.11.

## **Επανασυσχέτιση**

Η υπηρεσία επανασυσχέτισης επιτρέπει σε έναν σταθμό να αλλάξει την τρέχουσα κατάσταση σύνδεσης του. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα πρόσθετης λειτουργίας για την υποστήριξη της κινητής BSS μετάβασης για τους συνδεδεμένους σταθμούς. Η υπηρεσία αυτή επιτρέπει σε έναν σταθμό να μεταβιβάσει τη σύνδεσή του από ένα σημείο πρόσβασης σε ένα άλλο. Αυτό κρατά το σύστημα διανομής ενήμερο για την τρέχουσα χαρτογράφηση μεταξύ του σημείου πρόσβασης και του σταθμού καθώς ο σταθμός κινείται από BSS προς BSS μέσα σε ένα ESS. Τέλος, μέσω της υπηρεσίας αυτής επιτρέπονται οι μεταβαλλόμενες ιδιότητες σύνδεσης μιας καθιερωμένης σύνδεσης καθώς ο κινητός σταθμός παραμένει συνδεδεμένος με το ίδιο σημείο πρόσβασης. Ο κινητός σταθμός εκκινεί πάντα την υπηρεσία επανασυσχέτισης.

### **3. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ**

#### **3.1 Εισαγωγή**

Η έγκριση των IEEE 802.11 προτύπων για τα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (WLANs) και η πτώση στις τιμές των ασύρματων καρτών διεπαφών δικτύων (NICs) και των ασύρματων Access Points (APs) έχουν προκαλέσει μια έκρηξη σε ζήτηση για τη δημιουργία ασύρματων τοπικών LAN. Λόγω αυτής της απαίτησης, οι υπεύθυνοι των δικτύων είχαν να εξετάσουν δύο συγκρουόμενα ζητήματα. Οι υπεύθυνοι των δικτύων θέλουν να παρέχουν τους χρήστες την ευελιξία και την ευκολία που η ασύρματη πρόσβαση στο δίκτυο προσφέρει ενώ παράλληλα να διατηρήσουν την ασφάλεια και την ακεραιότητα των δικτύων.

Η σύνδεση των υπολογιστών με τις τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών μας πέρασε σε μία εποχή που η πληροφορία μπορεί να διακινείται ταχέως μέσω των ασύρματων δικτύων. Οι τεχνολογίες αυτές των ασύρματων δικτύων αναπτύσσονται με πολύ γρήγορους ρυθμούς σήμερα, και όπως φαίνεται η ανάπτυξη αυτή δεν θα σταματήσει για αρκετά χρόνια ακόμα. Επί του παρόντος, οι ασύρματες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται για την σύνδεση εξοπλισμού φορητών υπολογιστών με εταιρικά καταναμημένα συστήματα που συνιστούν πηγές σημαντικής πληροφορίας. Τα ασύρματα LANs αλλά και τα κυτταρικά συστήματα ευρύτερων περιοχών μας υπόσχονται να πραγματοποιήσουν ολοκληρωμένα δίκτυα και πλήρως καταναμημένα και ευρέως διαδεδομένες φορητές επικοινωνίες, πράγμα το οποίο αναμένεται να δώσει ένα τέλος στα προβλήματα που οφείλονται σε γεωγραφικούς περιορισμούς. Οι στόχοι είναι σαφείς και έχουν να κάνουν με την μεγαλύτερη αξιοπιστία, καλύτερη κάλυψη και υπηρεσίες, μεγαλύτερη δυναμικότητα, ευκινησία διοίκησης, ασφάλεια, ασύρματα πολυμέσα κλπ.

Απαραίτητη καθίσταται η αύξηση της ασφάλειας, πριν την εκπλήρωση των ασύρματων τηλεπικοινωνιών. Η προστασία και η ασφάλεια απέναντι στις μη επιθυμητές εισβολές, αποτελούν κύρια θέματα προς συζήτηση, για τις επόμενες γενιές ασύρματων δικτύων. Ένα ασφαλές σύστημα παρέχει προστασία σε λάθη των έμπιστων χρηστών,

δεδομένου ότι ένα ασφαλές σύστημα προστατεύει από απάτες μη εξουσιοδοτημένων χρηστών.

Τα ζητήματα για την ασφάλεια των ασύρματων δικτύων, αυξάνονται και το ίδιο και η έρευνα για την αντιμετώπιση των ζητημάτων αυτών. Μάλιστα έχουν κατασκευαστεί πολλά συστήματα ανίχνευσης ανεξέλεγκτων εισόδων. Τα συστήματα αυτά έχουν σαν σκοπό τους να εξακριβώνουν επιθέσεις σε υπολογιστικά συστήματα ή σε δίκτυα ή ακόμη και σε πληροφοριακά συστήματα γενικότερα.

Στις ενότητες που ακολουθούν γίνεται προσπάθεια προσδιορισμού και περιγραφής θεμάτων ασφάλειας των ασύρματων δικτύων.

### **3.2 Προβλήματα ασφάλειας δικτύου**

Η ασφάλεια είναι θεμελιώδες μέρος των επικοινωνιών των ασύρματων δικτύων. Είναι αρκετά ενδιαφέρον ότι αυτά τα συστήματα έχουν σχεδιαστεί, για να εξασφαλίζουν ανοιχτή πρόσβαση δια μέσου τεράστιων δικτυακών περιβαλλόντων. Οι σημερινές τεχνολογίες είναι συνήθως του τύπου παρείσφρησης της διεύθυνσης του δικτύου, και συχνά περιορίζουν την συνδεσιμότητα και εμποδίζουν την εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα και υπηρεσίες. Με την συνεχή αύξηση του πλήθους των ασύρματων δικτύων, τα ζητήματα ασφαλείας των κινητών χρηστών μπορεί να είναι πολύ πιο σημαντικά από ότι περιμένουμε. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι η αποστολή κάποιου password ή host name μέσω ενός συστήματος. Άλλα ζητήματα ασφαλείας στα ασύρματα δίκτυα τα οποία έχουν μελετηθεί εκτενώς, είναι η ανωνυμία και η μυστικότητα τοποθεσίας στα φορητά δίκτυα, στα οποία και έχει δοθεί ιδιαίτερη σημασία τελευταία. Μια τυπική κατάσταση είναι αυτή κατά την οποία ένας χρήστης που έχει συνδράμει σε μια δεδομένη κυριότητα, ζητά υπηρεσίες όταν βρίσκεται σε μία ξένη κυριότητα. Μόνο η τοπική κυριότητα κάθε χρήστη πρέπει να ενημερώνεται για την πραγματική του ταυτότητα, δρομολόγηση και το μέρος που πιθανόν να βρίσκεται. Ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα είναι η κλωνοποίηση των τηλεφωνικών συσκευών που αυξάνει το πλήθος των υποθέσεων σε πολλές γραμμές μεταφοράς. Τέλος γίνεται πειραματική επανόρθωση της ασφάλειας του πλαισίου εργασίας.

Μερικά συστήματα υποστηρίζουν την διαδικασία με την οποία τίθενται ονόματα σε επιγραφές δια μέσω του διαδικτύου.

### **3.3 Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ασφάλειας του 802.11**

Το πρότυπο 802.11 προβλέπει αρχικά δύο χαρακτηριστικά γνωρίσματα ασφάλειας τα οποία δυστυχώς, υπολείπονται μιας αληθινά ασφαλούς λύσης. Και οι δύο λύσεις λειτουργούν με το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων ενός δικτύου.

#### **3.3.3.1 SSID – Service Set Identifier**

Το SSID είναι ένα σύνολο πληροφοριών που χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει ένα σημείο πρόσβασης στους σταθμούς που επιθυμούν να συνδεθούν προκειμένου να χρησιμοποιήσουν το ασύρματο δίκτυο. Κατά συνέπεια, το SSID είναι ένα συνηθισμένο όνομα θέσης δικτύου το οποίο μοιράζονται το σημείο πρόσβασης και οι χρήστες που συνδέονται πάνω σε αυτό. Το SSID πρέπει είτε να έχει διαμορφωθεί από πριν είτε να προβάλλεται στις ασύρματες μεταδόσεις των αναγνωριστικών σημάτων. Επειδή εξ' ορισμού το SSID διαβιβάζεται με σαφήνεια στα πλαίσια αναγνωριστικών σημάτων, παρέχει πολύ μικρή ασφάλεια. Ένα μη εξουσιοδοτημένο σημείο πρόσβασης θα μπορούσε να διαβάσει το SSID από τα πλαίσια αναγνωριστικών σημάτων και ίσως να υποθέσει την ταυτότητα του νόμιμου σημείου πρόσβασης. Αυτό θα μπορούσε ενδεχομένως να επιτρέψει την υποκλοπή της κυκλοφορίας των δεδομένων των σταθμών.

#### **3.3.3.2 WEP - Wired Equivalent Privacy**

Σύμφωνα με τη τυποποίηση του προτύπου 802.11, το Wired Equivalent Privacy (WEP) δημιουργήθηκε με σκοπό να παρέχει την εμπιστευτικότητα. Η τελευταία είναι θεωρητικά ισοδύναμη με την αντίστοιχη εμπιστευτικότητα ενός ενσύρματου τοπικού

δικτύου, το οποίο δεν υιοθετεί τις κατάλληλες εκείνες κρυπτογραφικές τεχνικές που θα ενισχύσουν την μυστικότητά του.

Το WEP στηρίζεται σε ένα μυστικό κλειδί που μοιράζονται ένας κινητός σταθμός και ένα σημείο πρόσβασης (AP). Χρησιμοποιεί την RC4 κρυπτογράφηση δεδομένων που εφευρέθηκε από την RSA Data Security. Το RC4 είναι μια συμμετρικού τύπου κρυπτογράφηση δεδομένων στην οποία χρησιμοποιείται το ίδιο κλειδί μεταβλητού μήκους, τόσο για την κρυπτογράφηση, όσο και για την αποκρυπτογράφηση. Με το WEP επιτρέπεται στον αποστολέα να κρυπτογραφεί το ωφέλιμο φορτίο πλαισίων δεδομένων και να το αντικαθιστά με το αντίστοιχο αρχικό ωφέλιμο φορτίο με το κρυπτογραφημένο. Στην συνέχεια ο αποστολέας προωθεί τα κρυπτογραφημένα πλαίσια στον προορισμό τους. Τέλος, τα κρυπτογραφημένα πλαίσια δεδομένων στέλνονται στον προορισμό τους. Το σύνολο των κομματιών, των επιγραφών WEP της MAC στέλνονται στον παραλήπτη. Στην συνέχεια, ο δέκτης όπως θα περίμενε κανείς χρησιμοποιεί το κοινό κλειδί WEP, για να αποκρυπτογραφήσει το ωφέλιμο φορτίο και να ανακτήσει τα αρχικά πλαίσια δεδομένων. Το παραγόμενο πλαίσιο με το ωφέλιμο φορτίο μπορεί έπειτα να περαστεί σε ένα ανώτερο πρωτόκολλο στρώματος.

Το WEP παρέχει δύο κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα:

- Αρνείται την πρόσβαση στο δίκτυο από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες οι οποίοι δεν φέρουν το κατάλληλο κλειδί WEP.
- Αποτρέπει την αποκωδικοποίηση πληροφοριών που έχουν κρυπτογραφηθεί σε ένα WLAN, χωρίς την κατοχή του κλειδιού WEP.

### **3.4 Πιστοποίηση Ταυτότητας και σύνδεση**

Για να είναι σε θέση ένας ασύρματος σταθμός να χρησιμοποιεί το WLAN, πρέπει πρώτα να πιστοποιήσει την αυθεντικότητά του στο σημείο πρόσβασης. Κατά τη διαδικασία της πιστοποίησης, ο σταθμός πρέπει να συνδεθεί με ένα σημείο πρόσβασης. Μόλις εκτελέσει ένας σταθμός αυτά τα δύο βήματα, μπορεί να έχει πρόσβαση στους πόρους του WLAN. Το πρότυπο 802.11 περιγράφει δύο μεθόδους για την επικύρωση των σταθμών.

## **Ανοικτή επικύρωση**

Με την ανοικτή επικύρωση, ο σταθμός κάνει πιστοποίηση εξ ολοκλήρου χρησιμοποιώντας ένα σαφές κείμενο. Αυτό αποτρέπει σε έναν σταθμό να επικυρωθεί και να συνδεθεί χωρίς την κατοχή του σωστού κλειδιού WEP. Με αυτόν τον τρόπο ο σταθμός δεν είναι σε θέση να διαβιβάσει ή να λάβει τα στοιχεία χωρίς το σωστό κλειδί WEP.

## **Κοινή βασική επικύρωση**

Με την μέθοδο της κοινής βασικής επικύρωσης ένα πακέτο πρόκλησης στέλνεται προς επικύρωση στο σταθμό. Ο σταθμός πρέπει να κρυπτογραφήσει τα πακέτα χρησιμοποιώντας το κοινό κλειδί WEP και τα στείλει μετά πίσω στο σημείο πρόσβασης. Στην περίπτωση που το πακέτο πρόκλησης κρυπτογραφήθηκε σωστά, τότε ο σταθμός επιτρέπει να πραγματοποιηθεί η σύνδεση.

## **Σύνδεση**

Σε αυτή την φάση, μόλις λάβει εξουσιοδότηση ο σταθμός, διαβιβάζει ένα αίτημα σύνδεσης στο σημείο πρόσβασης. Εάν το αίτημα γίνει αποδεκτό, τότε ο σταθμός συνδέεται με το σημείο πρόσβασης. Εν συνεχεία το σημείο πρόσβασης στέλνει μια απάντηση σύνδεσης πίσω στο σταθμό.

Τονίζεται ότι η επικύρωση και η σύνδεση γίνονται απλώς στο στρώμα συνδέσεων δεδομένων, μεταξύ του σταθμού και του σημείου πρόσβασης. Καμία ενέργεια του χρήστη δεν εξετάστηκε στην άδεια της πρόσβασης σταθμών στο WLAN.

Η ανοικτή και κοινή βασική επικύρωση, περιλαμβάνει την επικύρωση των σταθμών σε σημεία πρόσβασης τα οποία χρησιμοποιούν τη διεύθυνση MAC του σταθμού. Αυτός ο τύπος επικύρωσης δεν εξετάζει την ταυτότητα του χρήστη. Κατά συνέπεια η κλοπή ενός laptop ή μιας κάρτας ασύρματης δικτύωσης (NIC) θα σήμαινε και την ταυτόχρονη απόκτηση πρόσβασης στο δίκτυο, αφού είναι αυτόματα και κάτοχος των WEP κλειδιών.



## **3.5 Το πρότυπο IEEE 802.1X**

### **3.5.1 Περιγραφή**

Το πρότυπο IEEE 802.1x το οποίο στηρίζεται στο Port Based Network Access Control υιοθετήθηκε για να εξεταστούν μερικές από τις τρέχουσες ανάγκες ασφάλειας του προτύπου 802.11. Το 802.1x μας παρέχει δύο σημαντικούς μηχανισμούς.

#### **Πιστοποίηση χρήστη μέσω EAP**

Το Extensible Authentication Protocol (EAP) είναι μια μέθοδος επικύρωσης μεταξύ ενός χρήστη και ενός κεντρικού υπολογιστή επικύρωσης. Ενδιάμεσες συσκευές όπως είναι τα σημεία πρόσβασης και οι κεντρικοί δρομολογητές (routers) δεν συμμετέχουν στη επικοινωνία αυτή. Εδώ σκοπός είναι η αναμετάδοση πακέτων EAP μεταξύ των συμβαλλόμενων μερών που εκτελούν την επικύρωση. Το πρότυπο 802.1x περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο τα πακέτα EAP είναι συμπυκνωμένα και μεταφέρονται σε Ethernet πλαίσια έτσι ώστε οι διαδικασίες επικύρωσης EAP να μπορούν να κατευθυνθούν μέσω Ethernet. Το EAP υποστηρίζει πολλαπλούς μηχανισμούς επικύρωσης όπως τα σημεία πρόσβασης, οι κάρτες, τα πιστοποιητικά, η βιομετρική, η επικύρωση χρηστών κ.λπ. Συσκευές που χρησιμοποιούν το EAP δίνουν λύσεις στην ανάγκη για την ασφάλεια των MAC address.

#### **Η έκδοση κλειδιού WEP χρησιμοποιώντας το EAP-Key Frame**

Αυτό το μήνυμα επιτρέπει στο ασύρματο σημείο πρόσβασης να στείλει ένα ή περισσότερα κλειδιά WEP προς το σταθμό. Τα σημεία πρόσβασης μπορούν να στείλουν ένα μήνυμα EAP-Key οποιαδήποτε στιγμή μετά την επικύρωση για την ενημέρωση των κλειδιών WEP στο σταθμό. Αυτό επιτρέπει (αλλά δεν απαιτεί) τη διανομή των κλειδιών στα σημεία και τους σταθμούς πρόσβασης. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτό παρέχει έναν μηχανισμό για τη διαχείριση των WEP κλειδιών αλλά δεν περιγράφει πώς αντιμετωπίζεται. Η χρησιμοποίηση του EAP-Key Frame για την παραγωγή των κλειδιών

WEP μπορεί να βοηθήσει, ώστε να μετριαστούν οι κυριότεροι κίνδυνοι ασφάλειας στους στατικούς σταθμούς.

### **3.5.2 Ανάπτυξη κλειδιών WEP**

Η υιοθέτηση του 802.1x και η χρήση του σε WLAN αποτελεί μια βελτίωση στην ασφάλεια των SSID και των στατικών κλειδιών WEP. Προκειμένου να βελτιωθεί περαιτέρω η ασφάλεια στο WLAN, η Cisco έχει αναπτύξει το EAP-Key.

#### **Μονόδρομη εξουσιοδότηση (One Way Authentication)**

Η επικύρωση WEP είναι μονόδρομη. Το σημείο πρόσβασης δεν πρέπει να επικυρώσει τον κινητό σταθμό. Αυτό μπορεί να επιτρέψει σε ένα σημείο πρόσβασης μη εξουσιοδοτημένων χρηστών να ξεγελάσει το σύστημα και να επιτύχει επικύρωση σε έναν σταθμό πρόσβασης.

#### **Στατικά κλειδιά WEP (Static WEP Keys)**

Κανένας μηχανισμός δεν καθορίζει τη βασική διανομή ή τη βασική διαπραγμάτευση. Αυτό καθιστά απαραίτητο, τα ασύρματα δίκτυα να διαμορφώνονται με τα κλειδιά WEP που ορίζει ο χρήστης. Τα διοικητικά έξοδα από αυτήν την εγγύηση διαμόρφωσης κλειδιών από τον χρήστη ουσιαστικά διασφαλίζουν ότι αυτά τα κλειδιά θα είναι σπάνια.

#### **Αδυναμίες των κλειδιών WEP (WEP Key Vulnerability)**

Πρόσφατες καταγραφές περιγράφουν μερικές επιτυχείς επιθέσεις στον αλγόριθμο WEP. Μία από αυτές τις επιθέσεις, της οποίας ο κώδικας πηγής είναι εύκολα διαθέσιμος στο διαδίκτυο, περιγράφει μια επίθεση η οποία είναι σε θέση να ανακτήσει ένα κλειδί 40-bit WEP σε 15 λεπτά με ένα συνηθισμένο laptop. Επειδή οι κλίμακες αυτής της επίθεσης στηρίχθηκαν στο βασικό μέγεθος του κλειδιού, φαίνεται πολύ καθαρά ότι ένα κλειδί των 128-bit μπορεί να ανακτηθεί μέσα σε περίπου 45 λεπτά.

## **3.6 Το πρωτόκολλο LEAP (Lightweight Extensible Authentication Protocol)**

### **3.6.1 Περιγραφή**

Τα συστήματα της Cisco, έχουν αναπτύξει το Lightweight Extensible Authentication Protocol (LEAP). Το LEAP παρέχει δύο σημαντικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα ασφάλειας.

#### **Αμοιβαία επικύρωση μεταξύ του σταθμού και του σημείου πρόσβασης**

Το LEAP απαιτεί την αμοιβαία επικύρωση μεταξύ των σταθμών και των σημείων πρόσβασης. Αυτό επιτρέπει σε έναν συνδεδεμένο σταθμό να ελέγξει την ταυτότητα του σημείου πρόσβασης με το οποίο προσπαθεί να συνδεθεί. Παράλληλα, το σημείο πρόσβασης ελέγχει την ταυτότητα του σταθμού. Ο σταθμός χρειάζεται να παρουσιάσει ένα όνομα χρήστη και έναν κωδικό πρόσβασης που θα πρέπει να έχει ελεγχθεί από έναν κεντρικό υπολογιστή με ενεργοποιημένο το LEAP, όπως είναι τα Interlink Networks RADSeries. Αυτή η αμοιβαία επικύρωση εξασφαλίζει ότι μόνο εξουσιοδοτημένοι χρήστες επιτρέπεται να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο αποτρέποντας την εξαπάτηση του κάθε νόμιμου χρήστη από ψεύτικους σταθμούς πρόσβασης. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται σημαντική βελτίωση στη μονόδρομη επικύρωση.

#### **Κατανομή των κλειδιών WEP σε μια Per-session βάση**

Στην επιτυχή επικύρωση, ο αλγόριθμος LEAP παράγει δυναμικά το μοναδικό κλειδί συνόδου WEP. Η διεπαφή των δικτύων ή ο ασύρματος προσαρμογέας (NIC) του τοπικού LAN Cisco Aironet παράγει ανεξάρτητα αυτό το κλειδί. Η χρήση των WEP κλειδιών ανά σύνοδο μειώνει πολύ τη δυνατότητα του WEP κλειδιού να αποκαλυφθεί. Στην περίπτωση που το κλειδί αποκαληφθεί, τότε αυτό καθίσταται άχρηστο αφού έχει ολοκληρωθεί η

τρέχουσα σύνοδος. Αυτό μειώνει πολύ την ευπάθεια του κλειδιού WEP, επομένως με την χρήση του LEAP της Cisco καλύπτονται δύο αξιοσημείωτα κενά ασφάλειας των WLAN.

### **3.6.2 Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου LEAP**

Υπάρχουν τρία βασικά συστατικά που απαιτούνται για τη λειτουργία του LEAP.

#### **LEAP Supplicant**

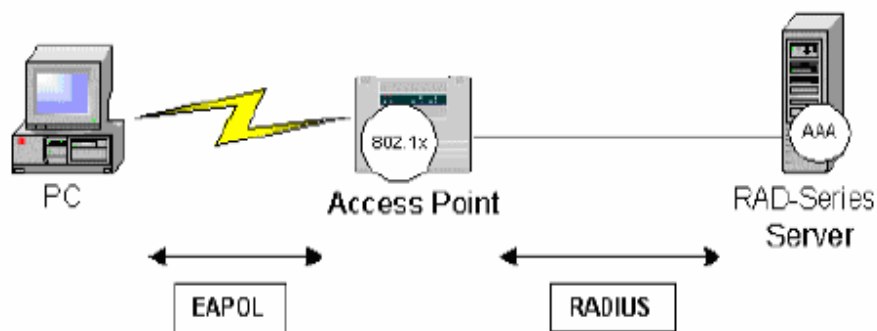
Το Supplicant είναι το λογισμικό και το firmware των πελατών που ζητούν εξουσιοδότηση στο WLAN. Το λογισμικό υπάρχει στη συσκευή των διακομιστών του προσαρμοστή του WLAN. Το Firmware υπάρχει στον προσαρμοστή της Cisco. Το LEAP supplicant μπορεί να διαμορφωθεί ώστε να αποθηκεύει το όνομα χρήστη και τον κωδικό πρόσβασης ή να προτρέπει τα πιστοποιητικά στο χρόνο σύνδεσης. Η αποθήκευση του ονόματος χρήστη και του κωδικού πρόσβασης supplicant μπορεί να είναι ένας κίνδυνος ασφάλειας αφού μια κλεμμένη συσκευή θα επέτρεπε την πρόσβαση στους πόρους των δικτύων.

#### **802.1x Authenticator**

Το authenticator είναι το λογισμικό που τρέχει στο σημείο πρόσβασης. Το authenticator ενεργεί ως ηλεκτρονόμος, διαβιβάζοντας τα μηνύματα EAP στον κεντρικό υπολογιστή επικύρωσης.

#### **Κεντρικός υπολογιστής επικύρωσης**

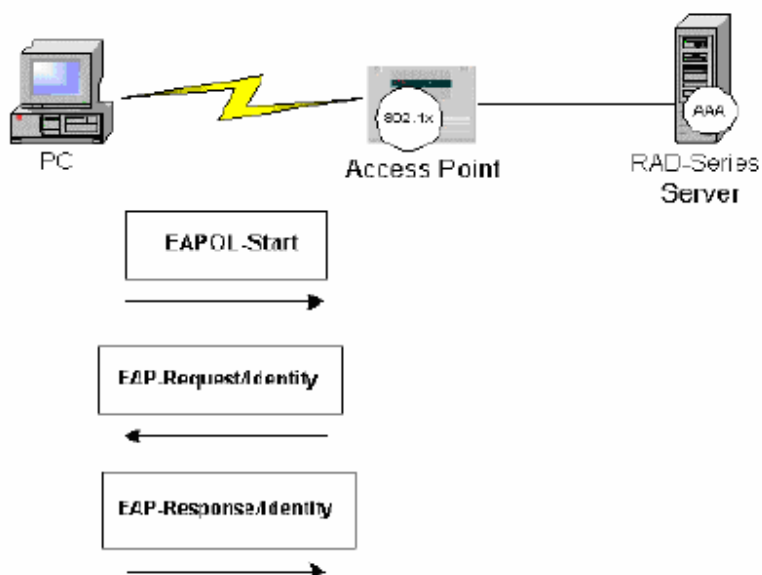
Ο κεντρικός υπολογιστής επικύρωσης είναι ένας κεντρικός υπολογιστής με το LEAP ενεργοποιημένο. Ο κεντρικός υπολογιστής επιτρέπει την επικύρωση των σταθμών βασισμένη στο όνομα χρήστη και τον κωδικό πρόσβασης.



Σχήμα 3.1: Η επικύρωση LEAP της Cisco και η βασική διαδικασία ανταλλαγής εμφανίζονται σε τρεις φάσεις

### Η φάση της έναρξης

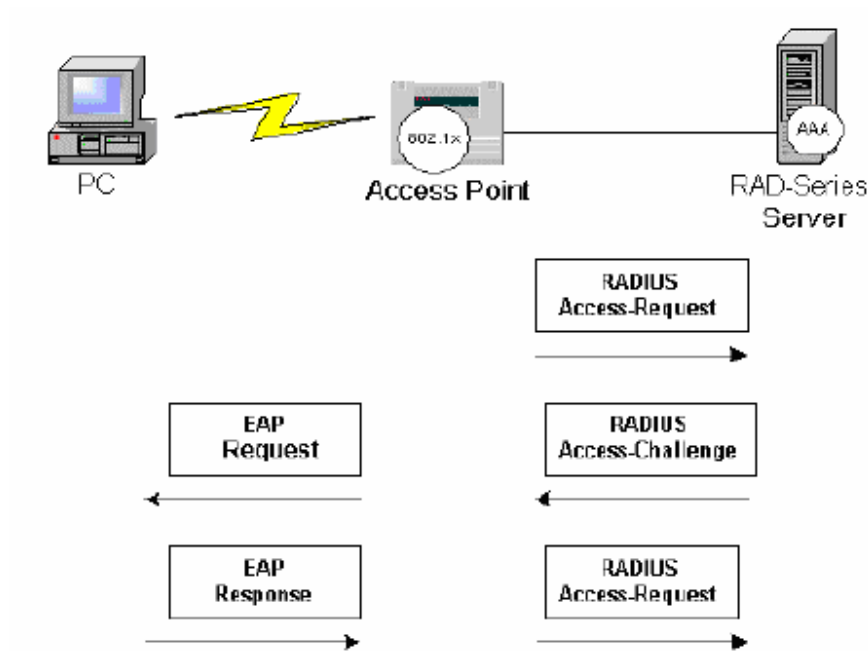
Στη φάση της έναρξης, το supplicant αρχίζει την επικύρωση με την έκδοση ενός μηνύματος EAPOL-Start προς στον authenticator. Ο authenticator αποκρίνεται προς τον supplicant με ένα μήνυμα EAPRequest/Identity. Ο Supplicant αποκρίνεται με ένα μήνυμα EAP-Response/ Identity και παραδίδει την ταυτότητά του στο authenticator.



Σχήμα 3.2: Η φάση της έναρξης

### Η φάση της επικύρωσης

Η επικύρωση του LEAP της Cisco είναι μια αμοιβαία μέθοδος επικύρωσης. Μηνύματα ηλεκτρονόμων του EAP Authenticator αποστέλλονται στον κεντρικό υπολογιστή επικύρωσης χρησιμοποιώντας ένα μήνυμα πρόσβασης. Κατά την επικύρωση ο κεντρικός υπολογιστής αποκρίνεται με ένα μήνυμα πρόσβασης. Ο Authenticator αναμεταδίδει αυτό το μήνυμα στον supplicant ως αίτημα. Έπειτα, ο supplicant αποκρίνεται με ένα μήνυμα απάντησης που διαβιβάζεται στην επικύρωση.

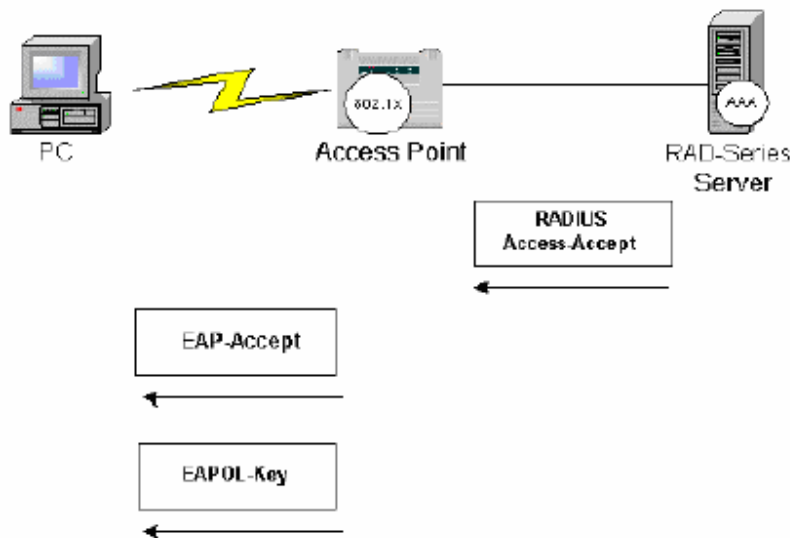


Σχήμα 3.3: Η φάση της επικύρωσης

### Η φάση του τερματισμού

Εάν ο χρήστης δεν είναι έγκυρος, ο κεντρικός υπολογιστής επικύρωσης στέλνει ένα πακέτο RADIUS Deny με ένα μήνυμα αποτυχίας του EAP. Εάν ο χρήστης είναι έγκυρος, ο κεντρικός υπολογιστής επικύρωσης στέλνει ένα πακέτο αποδοχής RADIUS και ένα

μήνυμα επιτυχίας EAP. Ο κεντρικός υπολογιστής επικύρωσης και ο supplicant είναι σε θέση να αντλήσουν ένα κλειδί από τον κωδικό πρόσβασης του χρήστη. Η βασική τεχνική παραγωγής δημιουργεί ένα πιο μακροχρόνιο κλειδί το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τη σύνοδο. Κατά την παραλαβή του κλειδιού από τον κεντρικό υπολογιστή επικύρωσης, ο Authenticator διαβιβάζει ένα βασικό μήνυμα EAPOL-Key στον supplicant. Αυτό το μήνυμα είναι ένα βασικό κλειδί περιεχομένου και μήκους το οποίο ο supplicant μπορεί να χρησιμοποιήσει για να υπολογίσει το κλειδί της συνόδου.



Σχήμα 3.4: Η φάση του τερματισμού

Σε αυτό το σημείο, ο supplicant και ο Authenticator έχουν ένα κοινό κλειδί συνόδου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της συνόδου.

### 3.7 Προστασία της μεταδιδόμενης πληροφορίας στα ψηφιακά κινητά συστήματα

Όλα τα ψηφιακά κινητά συστήματα προωθούν την ασφάλεια δια μέσου κάποιου είδους απόκρυψης. Η πληροφορία είναι δυνατόν να διασφαλιστεί με πολλούς τρόπους,

ωστόσο για την ασφάλιση της μεταδιδόμενης πληροφορίας γίνεται χρήση δύο τρόπων, των συμμετρικών και των ασύμμετρων. Και οι δύο αυτοί τρόποι βασίζονται στην εκτέλεση μαθηματικών διαδικασιών, χρησιμοποιώντας κρυφούς αριθμούς, γνωστούς σε όλους μας σαν κλειδιά (keys). Η δυσκολία με τους συμμετρικούς αυτούς αλγόριθμους είναι πως και τα δύο άκρα πρέπει να έχουν γνώση του εν λόγω κωδικού κλειδιού. Από την άλλη μεριά οι ασύμμετρες τεχνικές κάνουν χρήση δύο επιμέρους κλειδιών για κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση. Συνήθως, το κλειδί της κωδικοποίησης μπορεί να διανέμεται δημοσίως, δεδομένου ότι το κλειδί της αποκωδικοποίησης διαφυλάσσεται ασφαλώς από τον αποδέκτη.

Ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος συμμετρικός αλγόριθμος ονομάζεται DES (data encryption standard) και αναπτύχθηκε από την IBM στα 1977. Κάνει χρήση ενός κωδικού των 56-bit ο οποίος για τα δεδομένα της εποχής του ήταν αδύνατον να αποκρυπτογραφηθεί. Μία ομάδα χρηστών του διαδικτύου δύναται να χρησιμοποιήσει ένα DES κωδικοποιημένο μήνυμα. Ως εκ τούτου οι περισσότεροι οργανισμοί σήμερα χρησιμοποιούν το triple-DES το οποίο κάνει χρήση ενός αριθμού των 112-bits. Η βασική ιδέα είναι ότι τα μεγαλύτερα κλειδιά, μπορούν να σημαίνουν περισσότερους συνδυασμούς και οπότε καλύτερη κωδικοποίηση. Με GSM κωδικοποιούνται όλα τα δεδομένα μεταξύ των συνδρομητών και του σταθμού χρησιμοποιώντας έναν κώδικα που λέγεται A5. Οι λεπτομέρειες για τον κώδικα αυτό κρατούνταν κρυφές, ώστε να είναι δυσκολότερος στο “σπάσιμο”. Δυστυχώς όμως, οι λεπτομέρειες αυτές διέρρευσαν με την πάροδο του χρόνου και κοινοποιήθηκαν από τους hackers και τους crackers στο διαδίκτυο. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η συνεχής δουλειά, με σκοπό την ασφάλεια και προστασία των δεδομένων. Διάφοροι ασύμμετροι αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί, καθένας από αυτούς χρησιμοποιεί και έναν διαφορετικό τύπο μαθηματικής συνάρτησης. Έχει προταθεί ένας αποδοτικός αλγόριθμος που βασίζεται στο γεγονός ότι ο παραγοντισμός είναι καλύτερος από τον πολλαπλασιασμό. Πράγματι το να πολλαπλασιαστούν δύο αριθμοί από έναν υπολογιστή είναι εύκολη υπόθεση, αλλά η ανάκτηση αυτών των αριθμών από το προϊόν δεν είναι. Το μεγάλο μειονέκτημα των ασύμμετρων σχημάτων είναι ότι απαιτούν μεγάλη χρήση της CPU και δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για κωδικοποίηση μεγάλων μηνυμάτων. Αντιθέτως με την τεχνική A5 το μήνυμα κωδικοποιείται με συμμετρικό



αλγόριθμο και ένα κωδικό που διαλέγεται τυχαία από το δίκτυο και αποστέλλεται στην συσκευή που χρησιμοποιεί τον ασύμμετρο αλγόριθμο.

## **4. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**

### **4.1 Εισαγωγή**

Όπως έχει τυποποιηθεί στο [DVBInteractive97], ένα αμφίδρομο δίκτυο DVB αποτελείται από δύο διακριτά μέρη: το Κανάλι Εκπομπής και το Κανάλι Επιστροφής. Το γενικό αυτό μοντέλο μπορεί να περιλάβει την περίπτωση του TCP-over-DVB, οπότε η κίνηση TCP/IP που μεταφέρεται από το κανάλι εκπομπής ενθυλακώνεται σε ένα MPEG-2 Κανάλι Μεταφοράς με την τεχνική MPE (Multi Protocol Encapsulation). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται από μια μονάδα που δρα ως “Πύλη IP/DVB” (IP-to-DVB Gateway). Η έξοδος της Πύλης σε μορφή σήματος βασικής ζώνης οδηγείται στον διαμορφωτή που παράγει και το προς εκπομπή RF σήμα. Τα εκπεμπόμενα δεδομένα λαμβάνονται στη μεριά του χρήστη από έναν πομποδέκτη DVB-RCS, ο οποίος ουσιαστικά είναι μια ξεχωριστή συσκευή (stand-alone).

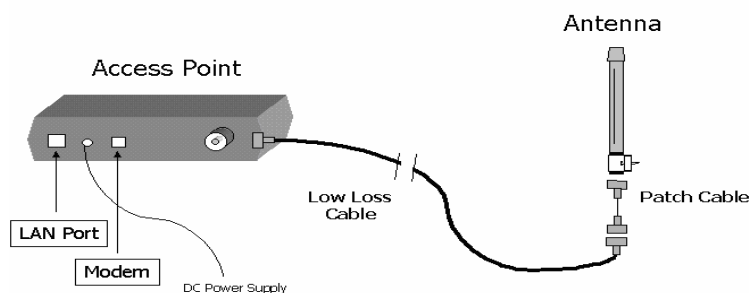
Το τερματικό του χρήστη αποστέλλει δεδομένα μέσω του καναλιού επιστροφής χρησιμοποιώντας τον ίδιο πομποδέκτη. Το δίκτυο του παροχέα είναι επίσης εξοπλισμένο με μία διεπαφή για το δίκτυο επιστροφής και η τοπολογία κορμού του μαζί με τις μονάδες μεταγωγής IP πακέτων (routers, switches κτλ.) πρέπει να έχουν ρυθμιστεί ούτως ώστε να εξασφαλίζουν ασύμμετρη ροή πακέτων TCP.

### **4.2 Τοπολογία του ασύρματου δικτύου**

Στην εργαστηριακή υλοποίηση που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία, ο εξοπλισμός του τελικού χρήστη περιλαμβάνει ένα τυπικό Windows-based PC και έναν DVB-RCS πομποδέκτη. Ο πομποδέκτης είναι εξοπλισμένος με κατάλληλο λογισμικό που πραγματοποιεί σε πραγματικό χρόνο την αποθυλάκωση (decapsulation) των IP datagrams από το λαμβανόμενο MPEG-2 Transport Stream και την παράδοσή τους στην στοίβα

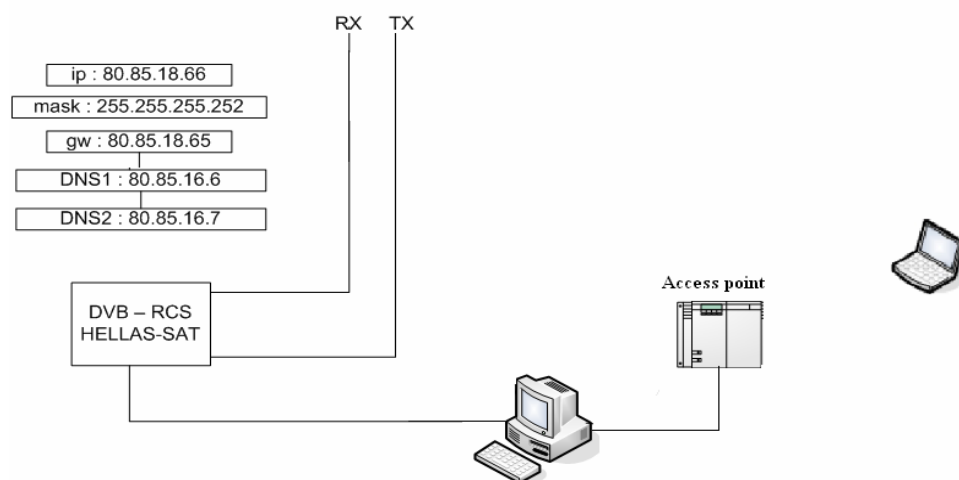
πρωτοκόλλων TCP/IP του λειτουργικού συστήματος. Επιλέχθηκε μια τυπική υλοποίηση ακριβώς για να φανεί ότι ο εν λόγω τρόπος πρόσβασης μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιονδήποτε υπολογιστή ενός μέσου χρήστη χωρίς να υπάρχουν εξειδικευμένες απαιτήσεις σε υλικό και λογισμικό.

Επεκτείνοντας σε μεγαλύτερο αριθμό ατόμων την δυνατότητα πρόσβασης στο Internet, που παρέχεται δορυφορικά, αναπτύχθηκε ένα ασύρματο δίκτυο. Για την υλοποίηση του δικτύου αυτού χρησιμοποιήθηκε ένα access point και μια κεραία συνδεδεμένη με αυτό, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 4.1: Σύνδεση access point με την κεραία του

Το υποδίκτυο του EMS DVB-RCS πομποδέκτη που χρησιμοποιήθηκε είναι το 80.85.18.66 με gateway 80.85.18.65 και DNS servers 80.85.16.6 και 80.85.16.7. Η τοπολογία του δικτύου που υλοποιήθηκε φαίνεται στο σχήμα 4.2 που ακολουθεί.



Σχήμα 4.2: Το υλοποιηθέν δίκτυο

Ο χώρος ανάπτυξης του ασύρματου δικτύου επιλέχτηκε να είναι το κτίριο της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ και συγκεκριμένα ο δεύτερος όροφος του κτιρίου αυτού.

Πριν ξεκινήσει η ανάλυση της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε θα γίνει αναφορά στον εξοπλισμό, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε και αποτελείται από ένα Cisco® Aironet® 1240AG Series Access Point και μια 5.2-dBi Cisco Aironet Antenna (AIR-ANT2506) ομοιοκατευθυντική, η οποία συνδέεται με RG-58 καλώδιο με το Cisco AP.

### 4.3 Καταγραφή του εξοπλισμού

#### 4.3.1 Cisco® Aironet® 1240AG Series Access Point

Το υλοποιηθέν ασύρματο δίκτυο βασίστηκε κατά κύριο λόγο στο Cisco® Aironet® 1240AG Series Access Point. Αυτά τα a/b/g access points είναι σχεδιασμένα για απαιτητικό περιβάλλον ραδιοσυχνοτήτων. Διαθέτουν εξωτερικά βύσματα κεραιών τόσο για το b/g όσο και για το a δίκτυο προκειμένου να είναι δυνατό να επιτευχθεί εκτεταμένου εύρους κάλυψη. Σε αυτό, φυσικά συνεισφέρουν και η υψηλή ισχύς εκπομπής και ευαισθησία λήψης που χαρακτηρίζουν το ράδιο των 2,4 και 5 GHz.



Σχήμα 4.3: Cisco Aironet 1240AG Series Access Point

Στον τομέα της ασφάλειας υποστηρίζει 802.11i, WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2), WPA και ένα μεγάλο αριθμό τύπων Extensible Authentication Protocol (EAP). Τα WPA και WPA2 αποτελούν τις πιστοποιήσεις του Wi-Fi Alliance για διαλειτουργική και προτυποποιημένη ασφάλεια ασυρμάτων δικτύων. Αυτές οι πιστοποιήσεις υποστηρίζουν την IEEE 802.1X για την επικύρωση της ταυτότητας των χρηστών. Το Temporal Key Integrity Protocol (TKIP) χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση WPA και η Advanced Encryption Standard (AES) για την κρυπτογράφηση WPA2. Αυτές οι πιστοποιήσεις βοηθούν ώστε να εξασφαλιστεί διαλειτουργικότητα μεταξύ των επικυρωμένων ασύρματων συσκευών Wi-Fi, που προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές. Η πιστοποίηση IEEE 802.1X βοηθά να εξασφαλίσει ότι μόνο οι εξουσιοδοτημένοι χρήστες έχουν πρόσβαση στο δίκτυο. Παρέχει επίσης συμβατότητα και υποστήριξη για συσκευές πελατών με WPA που τρέχουν TKIP και χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο κρυπτογράφησης RC4.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του access point που χρησιμοποιήθηκε και επεξηγείται η χρησιμότητά του.

<b>Χαρακτηριστικό</b>	<b>Πλεονέκτημα</b>
<b>Διπλά 802.11a και 802.11g ράδιο</b>	Παρέχει μέχρι και 108 Mbps χωρητικότητας για απαιτητικές εφαρμογές αλλά και συμβατότητα με παλαιότερες 802.11b συσκευές.
<b>Διπλοί RP-TNC κονέκτορες κεραιών για 2.4 GHz και για 5 GHz</b>	Τα βύσματα των κεραιών επιτρέπουν σύνδεση με την πλειοψηφία των 2.4 GHz και 5 GHz κεραιών, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες κάλυψης
<b>Ευελιξία στον ρόλο της σύνδεσης</b>	Τα αυτόνομα access points μπορούν να λειτουργήσουν ως access point ή bridge (γέφυρα), όταν είναι ρυθμισμένα είτε σαν μονής είτε διπλής μάντας πλατφόρμες, επιτρέποντας σε κάθε ράδιο να είναι ανεξάρτητα ρυθμισμένο σαν access point repeater, root bridge, non-root bridge ή workgroup bridge, δίνοντας τη δυνατότητα για ευρεία γκάμα εφαρμογών

<p><b>Ενοποιημένο Cisco IDS/IPS</b></p>	<p>Αυτό το ενσωματωμένο χαρακτηριστικό λογισμικού είναι μέρος του Cisco Self-Defending Network και είναι η πρώτη βιομηχανικά ενσωματωμένη ενσύρματη και ασύρματη λύση ασφαλείας. Όταν ένας έμπιστο πελάτης δρα κακόβουλα, τότε το ενσύρματο IDS εντοπίζει την επίθεση και στέλνει αιτήσεις στους Cisco WLAN ελεγκτές, οι οποίοι θα προβούν στο disassociation με την συσκευή-πελάτη</p>
<p><b>Ασφάλεια</b></p>	<p><b>Authentication</b>  Πρότυπα ασφαλείας:  · WPA  · WPA2 (802.11i)  · Cisco TKIP  · Cisco message integrity check (MIC)  IEEE 802.11 WEP keys of 40 bits and 128 bits  <b>802.1X EAP types:</b>  · EAP-Flexible Authentication via Secure Tunneling (EAP-FAST)  · Protected EAP-Generic Token Card (PEAP-GTC)  · PEAP-Microsoft Challenge Authentication Protocol Version 2 (PEAPMSCHAP)  · EAP-Transport Layer Security (EAP-TLS)  · EAP-Tunneled TLS (EAP-TTLS)  · EAP-Subscriber Identity Module (EAP-SIM)  · Cisco LEAP  <b>Encryption:</b>  · AES-CCMP encryption (WPA2)  · TKIP (WPA)  · Cisco TKIP  · WPA TKIP  · IEEE 802.11 WEP keys of 40 bits and 128 bits</p>

<b>Υποστηρίζει 12 μη- επικαλυπτόμενα κανάλια, με δυνατότητα μέχρι και 23 κανάλια</b>	Η το δυνατόν χαμηλότερη παρεμβολή με γειτονικά access points απλοποιεί τη λειτουργία. Λιγότερη λάθη εκπομπής μεγαλύτερη διέλευση
<b>Ανθεκτικό μεταλλικό κάλυμμα</b>	Ανθεκτικό μεταλλικό κάλυμμα και άλλα χαρακτηριστικά υποστηρίζουν τη χρησιμοποίηση σε εργοστάσια και σε εξωτερικό περιβάλλον (μέσα σε κατάλληλα κουτιά).
<b>Κρυπτογράφηση AES υποβοηθούμενη από υλισμικό</b>	Προσφέρει υψηλή ασφάλεια χωρίς υποβάθμιση των επιδόσεων
<b>Αναβάθμιση του ασύρματου δικτύου</b>	Επεκτείνει την ασφάλεια, την αξιοπιστία, την ευκολία της επέκτασης, και την διαχείριση του δικτύου
<b>Λογισμικό Ios Cisco</b>	Παραδίδει υψηλού επιπέδου υπηρεσίες κατηγορίας για τη συνδεσιμότητα, την εξελιξιμότητα, και τη διαθεσιμότητα του δικτύου
<b>Εκτίμηση ολομέλειας UL 2043</b>	Αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες


Στον επόμενο πίνακα εμφανίζονται όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του access point

<b>Λογισμικό</b>	Cisco IOS Software Release 12.3(8) JA ή επόμενο Cisco IOS Software Release 12.3(11)JX ή επόμενο(Lightweight Mode). Cisco Unified Wireless Network Software Release 4.0 ή επόμενο.
<b>Υποστηριζόμενοι ρυθμοί δεδομένων</b>	802.11a: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, and 54 Mbps 802.11g: 1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48, and 54 Mbps

<b>Ενσύρματη σύνδεση</b>	Autosensing 802.3 10/100BASE-T Ethernet	
<b>Υλισμική μορφή ραδίου</b>	802.11a: CardBus (32-bit)	802.11b or 802.11g: Mini-PCI (32-bit)
<b>Μπάντες συχνοτήτων και κανάλια λειτουργίας</b>	ETSI 2.412 to 2.472 GHz; 13 κανάλια 5.15 to 5.35 GHz; 8 κανάλια 5470 to 5725 MHz; 11 κανάλια	
<b>Μη επικαλυπτόμενα κανάλια</b>	<b>802.11a:</b> 12 κανάλια (FCC; και άλλες ρυθμίσεις υποστηρίζουν διαφορετικούς ρυθμούς από 802.11a κανάλια) <b>FCC:</b> πλέον υποστηρίζει 12 μη-επικαλυπτόμενα κανάλια, με έως 23 κανάλια μέσω μιας μελλοντικής firmware release σύμφωνα με τους κανόνες FCC.	<b>802.11b/g:</b> 3 κανάλια
<b>Ευαισθησία λήψης (τυπική)</b>	802.11a	802.11g
	6 Mbps: -88 dBm 9 Mbps: -87 dBm 12 Mbps: -86 dBm 18 Mbps: -85 dBm 24 Mbps: -82 dBm 36 Mbps: -79 dBm 48 Mbps: -74 dBm 54 Mbps: -73 dBm	1 Mbps: -96 dBm 2 Mbps: -93 dBm 5.5 Mbps: -91 dBm 6 Mbps: -91 dBm 9 Mbps: -85 dBm 11 Mbps: -88 dBm 12 Mbps: -83 dBm 18 Mbps: -81 dBm 24 Mbps: -78 dBm 36 Mbps: -74 dBm 48 Mbps: -73 dBm




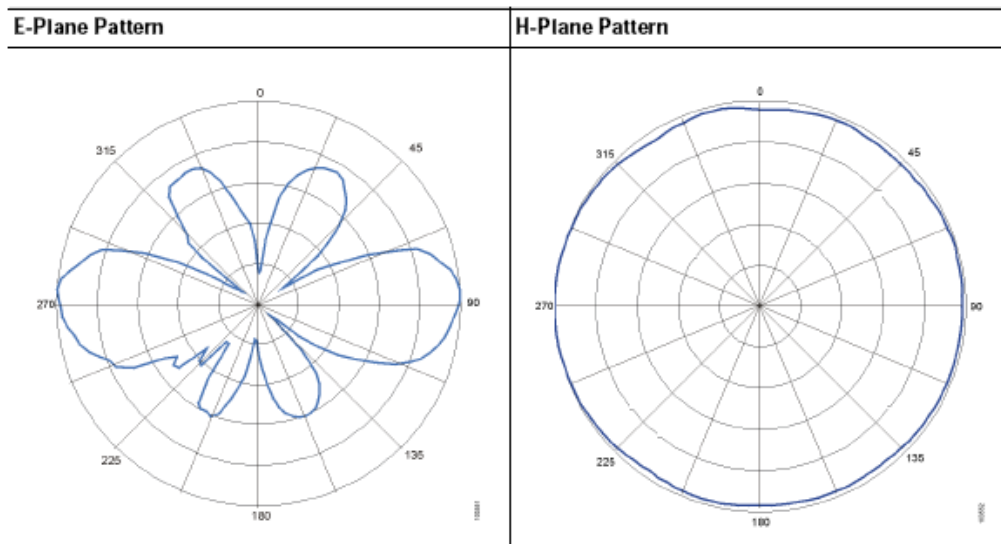
		54 Mbps: -73 dBm	
<b>Διαθέσιμες ρυθμίσεις ισχύος εκπομπής (η ρύθμιση για μέγιστη ισχύ εκπομπής μπορεί να διαφέρει ανά κανάλι και εξαρτάται από τους ισχύοντες κατά τόπους νόμους)</b>	<b>802.11a:</b> <b>OFDM:</b> 17 dBm (50 mW) 15 dBm (30 mW) 14 dBm (25 mW) 11 dBm (12 mW) 8 dBm (6 mW) 5 dBm (3 mW) 2 dBm (2 mW) -1 dBm (1 mW)	<b>802.11b</b> <b>CCK:</b> 100 mW (20 dBm) 50 mW (17 dBm) 25 mW (14 dBm) 12 mW (11 dBm) 6 mW (8 dBm) 3 mW (5 dBm) 2 mW (2 dBm) 1 mW (-1 dBm)	<b>802.11g:</b> <b>OFDM:</b> 50 mW (17 dBm) 25 mW (14 dBm) 12 mW (11 dBm) 6 mW (8 dBm) 2 mW (5 dBm) 1 mW (-1 dBm)
<b>Συμβατότητα</b>	<b>Standards</b> <b>Safety</b> UL 60950-1 CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1 IEC 60950-1 EN 60950-1 UL 2043 NIST FIPS 140-2 Pre-Validation List <b>Radio Approvals</b> FCC Part 15.247 , 15.407 RSS-210 (Canada) EN 300.328, EN 301.893 (Europe) ARIB-STD 33 (Japan) ARIB-STD 66 (Japan) ARIB-STD T71 (Japan) AS/NZS 4771, 4268.2 (Australia and New Zealand)		

	<p>EMI and Susceptibility (Class B)</p> <p>FCC Part 15.107 and 15.109</p> <p>ICES-003 (Canada)</p> <p>VCCI (Japan)</p> <p>EN 301.489-1 and -17 (Europe)</p> <p>EN 60601-1-2 EMC requirements for the Medical Directive 93/42/EEC</p> <p><b>Security</b></p> <p>802.11i, WPA2, WPA</p> <p>802.1X</p> <p>AES, TKIP</p> <p>Other</p> <p>IEEE 802.11g and IEEE 802.11a</p> <p>FCC Bulletin OET-65C</p> <p>RSS-102</p>
<b>Διαστάσεις</b>	6.6 x 8.5 x 1.1 in. (16.76 x 21.59 x 2.79 cm); add 0.517
<b>Βάρος</b>	2.0 lb
<b>Περιβαλλοντικές ανοχές</b>	<p>Θερμοκρασία λειτουργίας: -4 to 131°F (-20 to 55°C)</p> <p>Υγρασία λειτουργίας: 10% ως 90% (non-condensing)</p>
<b>Μνήμη και επεξεργαστής</b>	32 MB RAM; 16 MB Flash memory
<b>Απαιτήσεις τροφοδοσίας</b>	<p>100 to 240 VAC ; 50 to 60Hz (power supply)</p> <p>36 to 57 VDC (device)</p>
<b>Ισχύς</b>	12.95 W maximum
<b>Πιστοποίηση Wi-Fi</b>	

#### 4.3.2 Cisco Aironet Omnidirectional Mast Mount Antenna (AIR-ANT2506)

Για την ανάπτυξη του ασύρματου δικτύου τοποθετήθηκε μια 5.2-dBi ομοιοκατευθυντική κεραία κατασκευασμένη από την Cisco, η οποία συνδέεται με RG-58 καλώδιο με το Cisco 1242 AP. Διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας αυτής καθώς και πίνακας με τα χαρακτηριστικά της ακολουθούν.

Παράμετρος	Τιμή	
Εύρος συχνοτήτων	2,42 – 2,48 GHz	
VSWR	Λιγότερο από 2:1, 1.5:1 nominal	
Κέρδος	5.2 dBi	
Πόλωση	κάθετη	
Αζιμούθιο(3-dB BW)	Ομοιοκατευθυντικό 360ο	
Elevation(3-dB BW)	50°	
Διαστάσεις	13.5" x 1.25"	



Σχήμα 4.4: Διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας

### 4.3.3 Λογισμικό

Το NetStumbler (<http://www.netstumbler.com/downloads/>) αποτελεί μια άριστη και δωρεάν εφαρμογή λογισμικού, το οποίο έχει την ικανότητα να δίνει πολλές λεπτομέρειες για όλα τα ασύρματα δίκτυα στη γύρω περιοχή, συμπεριλαμβανομένου του ESSID τους, εάν χρησιμοποιούν WEP. Η τρέχουσα έκδοση είναι η 0,4. Η εγκατάσταση είναι εύκολη και γρήγορη και για όλα όσα το NetStumbler προσφέρει, το πακέτο λογισμικού είναι εντυπωσιακά μικρό.

Το NetStumbler δεν υποστηρίζει όλες τις κάρτες ασύρματων δικτύων. Υποστηριζόμενες κάρτες είναι εκείνες που χρησιμοποιούν το chipset Hermes (κάρτες Lucent, Orinoco, Avaya, Agere, Proxim). Από την έκδοση 0.30, το λογισμικό υποστηρίζει επίσης τους εγγενείς οδηγούς NDIS 5.1 του Windows XP, επιτρέποντας την υποστήριξη των Cisco Aironet και μερικών καρτών βασισμένων σε chipset Prism.

Υποθέτοντας ότι η ασύρματη κάρτα είναι ήδη εγκατεστημένη, το NetStumbler αρχίζει αμέσως. Με μια ματιά φαίνονται όλα τα ασύρματα δίκτυα που το NetStumbler έχει βρει, μαζί με την ισχύ σήματος, το SNR και το θόρυβο. Το NetStumbler παρουσιάζει τις πιο ενεργές συνδέσεις με χρώμα. Το πράσινο δείχνει ένα ισχυρό σήμα, το κίτρινο ένα οριακό και το κόκκινο ένα σχεδόν άχρηστο. Το γκρι σημαίνει ότι το ασύρματο δίκτυο δεν είναι προσιτό. Το σύμβολο της κλειδαριάς, όπου αυτό εμφανίζεται, δείχνει ότι το συγκεκριμένο δίκτυο χρησιμοποιεί WEP ή άλλο πρωτόκολλο ασφαλείας.

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά του NetStumbler είναι η δυνατότητα της αναπαραγωγής MIDI με βάση την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος. Αυτό αποτελεί μεγάλη ευκολία κατά την εύρεση του καλύτερου δυνατού σήματος μεταξύ δύο τοποθεσιών, όπως όταν επιχειρείται ευθυγράμμιση κεραιών σε μεγάλη απόσταση. Όταν η ισχύς του σήματος αυξάνεται, τότε ο τόνος που αναπαράγει το NetStumbler είναι πιο ψηλός. Συνεπώς, το μόνο που απαιτείται να γίνει είναι να κινηθεί η κεραία γύρω τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφα έως ότου ακουστεί ο υψηλότερος τόνος.

Μια δεύτερη επιλογή για την απεικόνιση της ισχύος των σημάτων είναι διαθέσιμη μέσω του μενού πλοήγησης στην αριστερή πλευρά της οθόνης του προγράμματος. Δείχνονται όλες οι διευθύνσεις MAC που συσχετίζονται με εκείνο το SSID. Με ένα κλικ

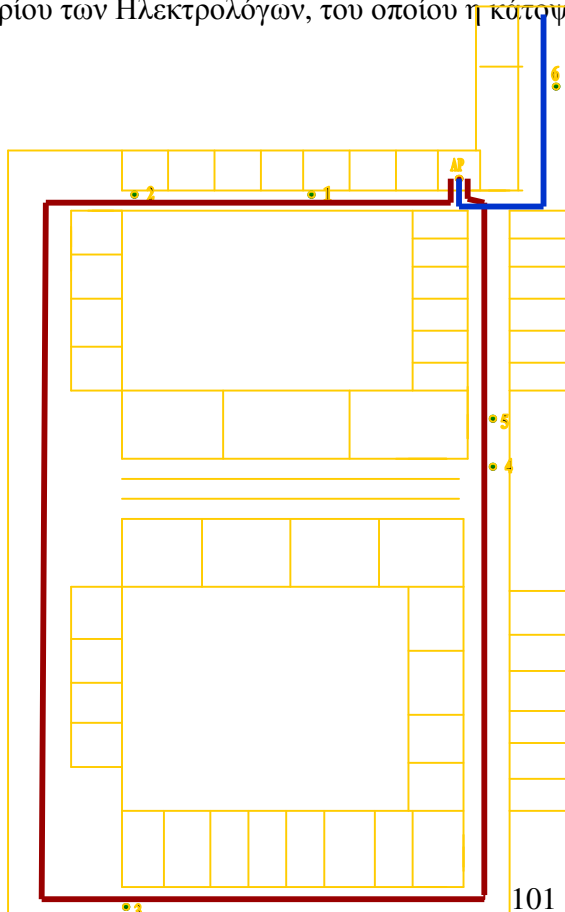
στη διεύθυνση MAC δείχνεται μια γραφική αναπαράσταση της ισχύος του σήματος σε αυτό το ασύρματο δίκτυο.

Το NetStumbler είναι ένας ενεργός ανιχνευτής δικτύων, που στέλνει αιτήματα ανίχνευσης και παρακολουθεί για αποκρίσεις στα αιτήματα αυτά. Συνεπώς, δεν θα ανιχνεύσει τα αποκαλούμενα "κλειστά" δίκτυα, τα οποία δεν διαφημίζουν το SSID τους. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται ένα παθητικό εργαλείο ελέγχου όπως τα Kismet ή KisMAC.

Στην υποενότητα, που ακολουθεί, δίνονται αποτελέσματα μετρήσεων ισχύος του σήματος, σε όλη την επιφάνεια του δεύτερου ορόφου του κτιρίου των Ηλεκτρολόγων.

#### 4.4. Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Μετά την πραγματοποίηση της συνδεσμολογίας των συσκευών που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, έχει αναπτυχθεί το ασύρματο δίκτυο. Η μελέτη της απόδοσης του δικτύου αυτού πραγματοποιείται στο μεγαλύτερο τμήμα του δεύτερου ορόφου του κτιρίου των Ηλεκτρολόγων, του οποίου η κάτοψη φαίνεται στο σχήμα 4.5 που ακολουθεί.



Σχήμα 4.5: Κάτοψη του χώρου μελέτης

Αρχικά, έγινε καταγραφή της ισχύος του σήματος που εκπέμπεται σε απόσταση πολύ κοντινή της κεραίας ώστε να επιβεβαιωθεί μέσω της τιμής αυτής, η ορθότητα των ρυθμίσεων του access point. Ρυθμίσεις που αφορούν την ισχύ εκπομπής, την συμβατότητα του επιλεγμένου πρωτοκόλλου 802.11X με το αντίστοιχα υποστηριζόμενο από την PCI κάρτας. Μετά τον έλεγχο αυτό πραγματοποιήθηκε καταγραφή της ισχύος στον χώρο μελέτης της παρούσας εργασίας.

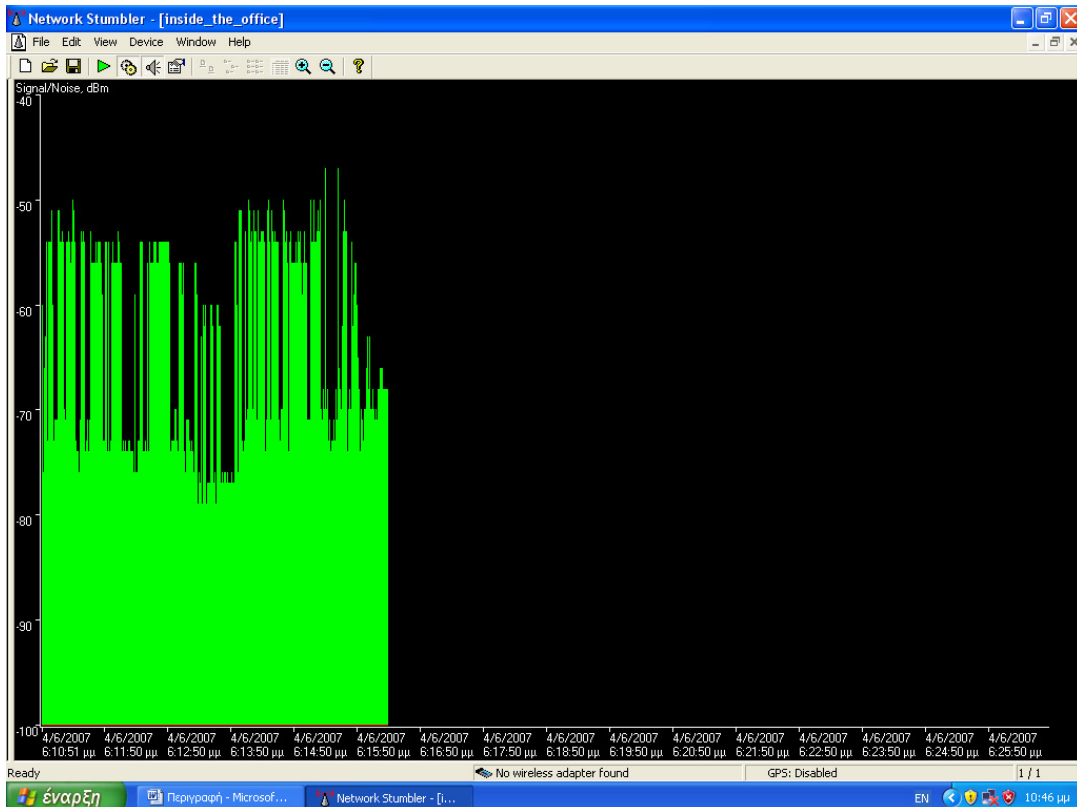
Αφού έγινε λήψη και μέτρηση του σήματος στον χώρο του γραφείου που βρίσκεται το access point, κινηθήκαμε με το laptop στον όροφο καλύπτοντας το μεγαλύτερο μέρος αυτού. Συγκεκριμένα, η πρώτη διαδρομή που ακολουθήσαμε διαγράφεται ακολουθώντας τα αριθμημένα σημεία της κάτοψης μέχρι και το σημείο 5 και είναι η διαδρομή με το κόκκινο χρώμα στο σχήμα 4.5. Η δεύτερη διαδρομή έχει σχεδιαστεί με το μπλε χρώμα και ξεκίνησε από το γραφείο που βρίσκεται το AP με κατεύθυνση στο σημείο 6 και περιλαμβάνει και την επιστροφή μας στο αρχικό σημείο.

Στην επόμενη ενότητα γίνεται παρουσίαση και ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων.

#### **4.5 Παρουσίαση και ανάλυση απόδοσης του δικτύου**

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνονται τα επίπεδα της ισχύος που λαμβάνονται μέσα στο χώρο του γραφείου.

Πρόκειται για μια λήψη με μικρή διακύμανση τιμών στα επίπεδα των -48 ως -51 dBm. Η υψηλή τιμή της ισχύος είναι αναμενόμενη αφού βρισκόμαστε σε ελάχιστη απόσταση από το access point. Στα επίπεδα αυτά ισχύος είναι δυνατό να επιτευχθεί ο μέγιστος ρυθμός διέλευσης δεδομένων στα 54Mbps, για 802.11g κάρτα πελάτη. Η διακύμανση που παρατηρείται δικαιολογείται από την κίνηση των ατόμων στο χώρο του γραφείου.

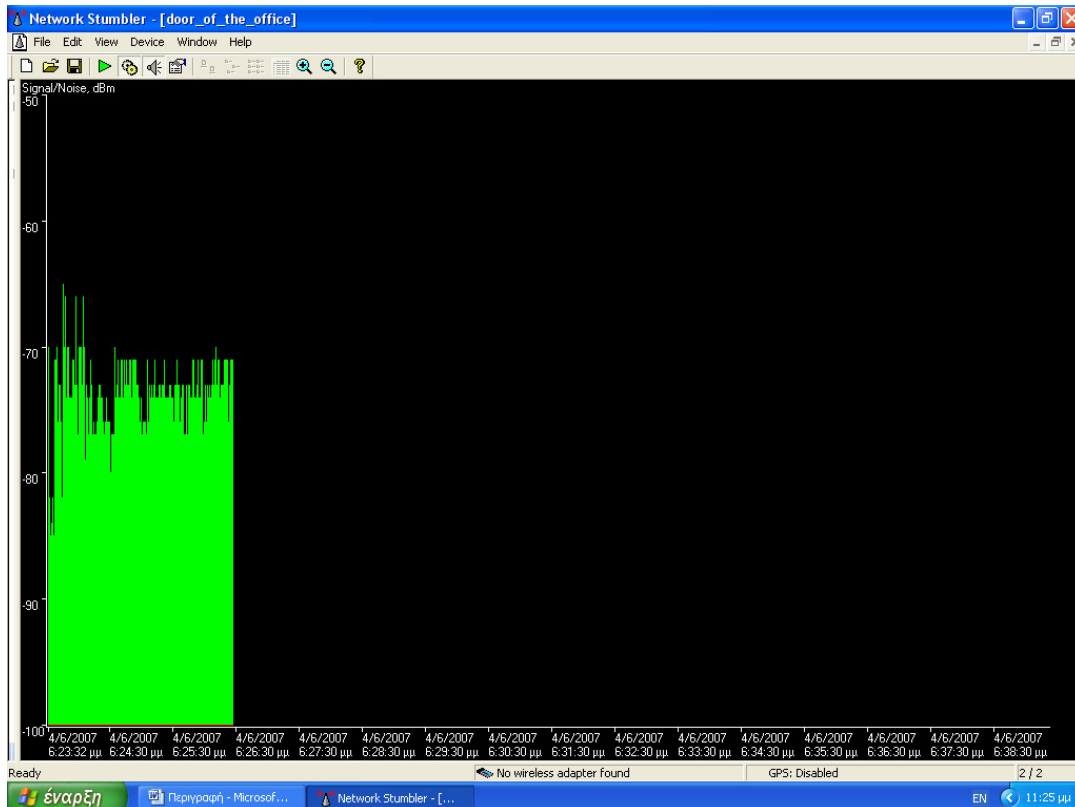


Σχήμα 4.6: Επίπεδα της ισχύος μέσα στο χώρο του γραφείου

## Α' Διαδρομή

Στην συνέχεια έγινε μέτρηση της ισχύος στο χώρο ακριβώς έξω από το γραφείο που βρίσκεται το access point. Οι μετρήσεις που προέκυψαν φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.

Τα επίπεδα ισχύος που λαμβάνονται κυμαίνονται σε ένα εύρος τιμών από -67 ως -71 dBm. Στα επίπεδα αυτά ισχύος παραμένει η δυνατότητα επίτευξης μέγιστου ρυθμού διέλευσης δεδομένων στα 54Mbps.

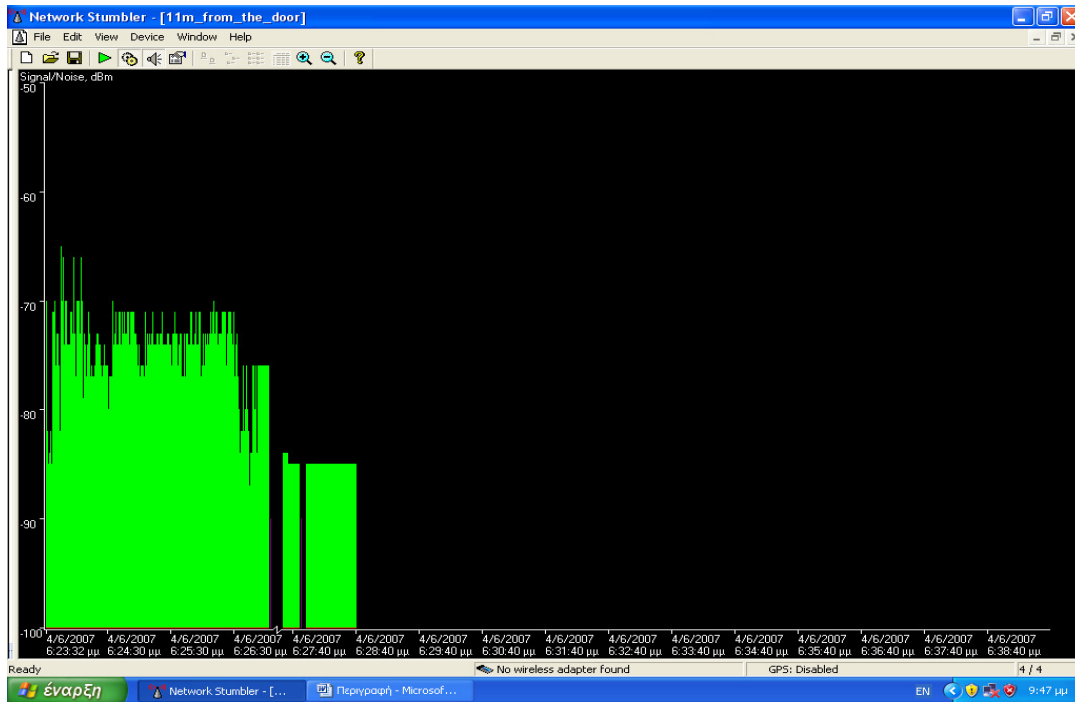


Σχήμα 4.7: Επίπεδα της ισχύος έξω από τον χώρο του γραφείου

Στην συνέχεια ακολουθώντας την διαδρομή που έχει ήδη περιγραφεί, μέχρι μια απόσταση περίπου 11 m από την έξοδο του γραφείου, που στο σχήμα 4.5 επισημαίνεται με τον αριθμό 1, λήφθηκαν οι τιμές ισχύος, οι οποίες παρουσιάζονται στο σχήμα 4.8.

Κατά την διάρκεια της διαδρομής μέχρι το σημείο αυτό, τα επίπεδα της ισχύος παραμένουν περίπου σταθερά στην τιμή των -70 dBm όπου η δυνατότητα επίτευξης μέγιστου ρυθμού διέλευσης δεδομένων στα 54Mbps παραμένει εφικτή. Πλησιάζοντας, όμως, στο σημείο 1 το σήμα εξασθενεί με αργό ρυθμό μέχρι την τιμή των -76 dBm. Σε αυτά τα επίπεδα ισχύος μπορεί μεν να μην παρέχεται ο μέγιστος ρυθμός διέλευσης δεδομένων αλλά υπάρχει συνδεσιμότητα με τουλάχιστον 11Mbps, για 802.11g κάρτα πελάτη.



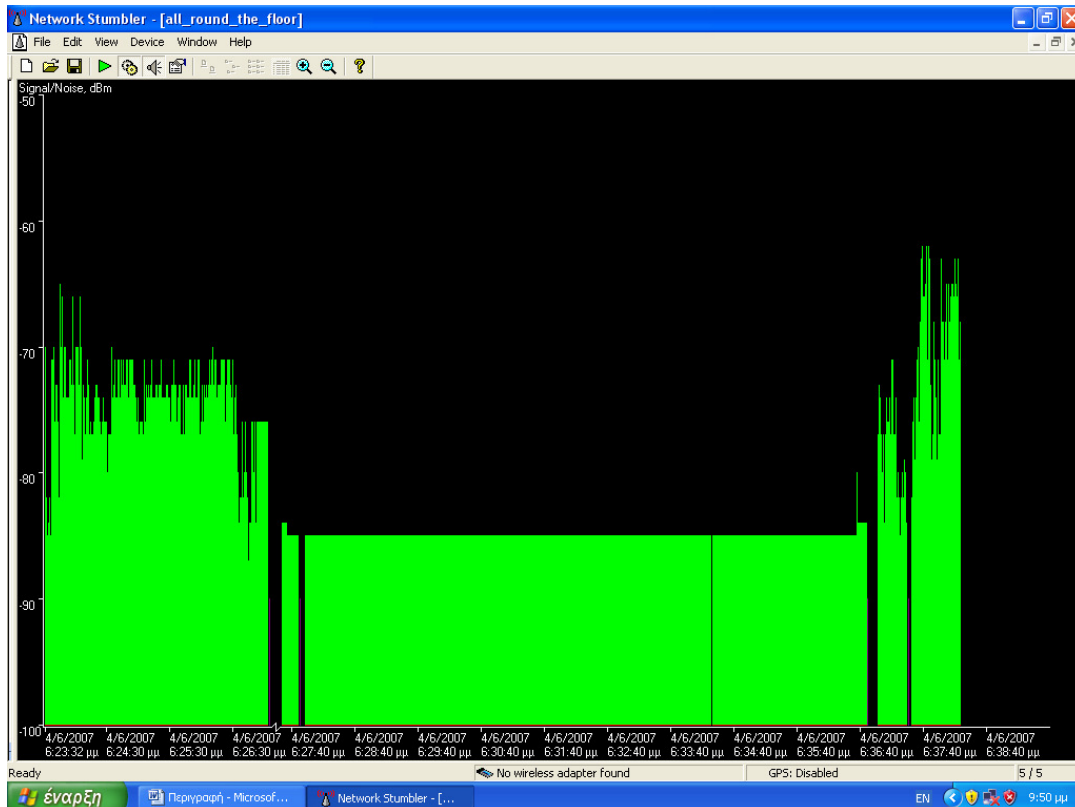


Σχήμα 4.8: Επίπεδα της ισχύος σε απόσταση 11 m από την είσοδο του γραφείου

Όμως, φτάνοντας στο σημείο 1, όπως φαίνεται και στο παράθυρο του Network Stumbler, το σήμα δεν εντοπίζεται για ελάχιστο χρονικό διάστημα αλλά επανεμφανίζεται με απότομη πτώση της τιμής του και σταθεροποίηση στην τιμή των -85 dBm. Στην περίπτωση αυτή πλέον η πρόσβαση στο Internet μέσω του ασύρματου δικτύου καθίσταται δύσκολη.

Ακολουθώντας την σχεδιασμένη διαδρομή σε ολόκληρη σχεδόν την έκταση του ορόφου συγκεντρώθηκαν τα αποτελέσματα που φαίνονται συνολικά στο σχήμα που ακολουθεί.

Παρατηρώντας τα επίπεδα της ισχύος, όπως αυτά καταγράφηκαν από το λογισμικό, αρχικά γίνεται η διαπίστωση ότι μετά την απώλεια του σήματος και την συλλογή του στην συνέχεια με αισθητά μειωμένη τιμή, η τιμή αυτή διατηρείται σταθερή στο επίπεδο των -85 dBm για το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής και συγκεκριμένα μέχρι περίπου και το σημείο 5 της κάτοψης που έχει σχεδιαστεί.



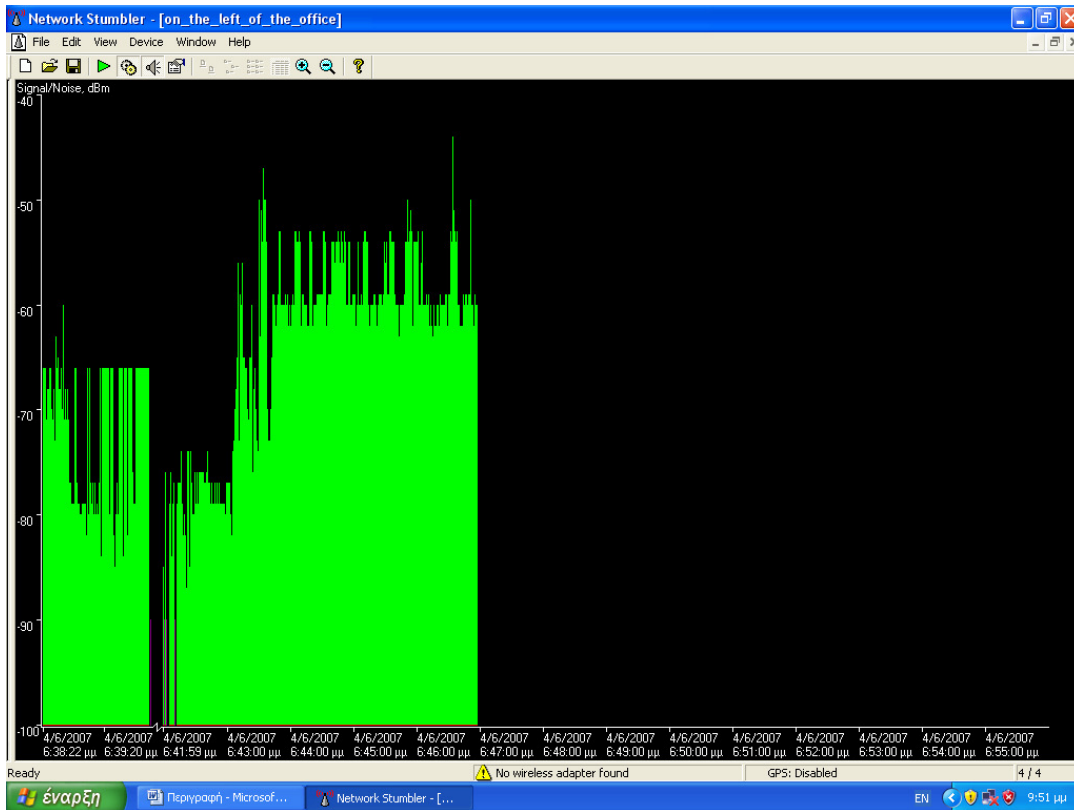
Σχήμα 4.9: Επίπεδα της ισχύος για την διαδρομή α΄

Προχωρώντας και πλησιάζοντας το access point η ισχύς σταδιακά αυξάνεται.

Στην καταγραφή της ισχύος παρατηρούνται ορισμένες διακοπές της λήψης που αντιστοιχούν στα σημεία 2, 3, 4. Στα σημεία αυτά η διακοπή πιθανώς να οφείλεται στην ύπαρξη των μεταλλικών πορτών στο κτίριο.

## Β΄ Διαδρομή

Τέλος, ακολουθήθηκε η διαδρομή στα αριστερά του γραφείου προς το σημείο με την ένδειξη 6 και η λαμβανόμενη ισχύς φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 4.10: Επίπεδα της ισχύος για την διαδρομή β´

Κατά την μετακίνηση παρατηρείται διακοπή της ισχύος από το σημείο 6 της κάτοψης μέχρι και το τέλος του διαδρόμου. Στην επιστροφή προς το γραφείο εμφανίζεται σταδιακή αύξηση της ισχύος του σήματος όπως ήταν αναμενόμενο. Το σημαντικό είναι πως σχεδόν σε όλη την διάρκεια την διαδρομής, η ισχύς δεν εμφανίζεται μικρότερη από την τιμή των -75 dBm, οπότε παρέχεται στον χρήστη η δυνατότητα μέγιστου ρυθμού διέλευσης δεδομένων στα 54Mbps.

## 5. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

### 5.1 Εισαγωγή

Η διάδοση του κύματος σε εσωτερικό χώρο διαφέρει από αυτή σε εξωτερικό περιβάλλον κυρίως λόγω διαφορετικών αποστάσεων και μεταβλητότητας του περιβάλλοντος. Εξαιτίας της πολυδιαδρομικής διάδοσης (πολλαπλές ανακλάσεις, διαθλάσεις και διασπορά του ηλεκτρομαγνητικού κύματος από τα εμπόδια που συναντά) λαμβάνουν χώρα η παραμόρφωση του σήματος και οι απώλειες διάδοσης.

Για ένα μικρό δίκτυο σε μια περιορισμένη περιοχή, μόνο κατασκευαστικές πληροφορίες του χώρου είναι αρκετές για την ρύθμιση των ΑΡ. Για ένα μεγαλύτερο δίκτυο, μια πιο λεπτομερής διαδικασία απαιτείται για την εξασφάλιση επαρκούς κάλυψης και λειτουργικότητας δικτύου (bit rate, capacity, interference). Βασικά υπάρχουν δύο προσεγγίσεις. Η πρώτη βασίζεται σε πειραματικές μετρήσεις. Η δεύτερη περιλαμβάνει την θεωρητική προσέγγιση της διάδοσης και των απωλειών του σήματος. Οι δύο αυτοί τρόποι παρουσιάζονται στις επόμενες ενότητες.

### 5.2 Διάδοση του σήματος

#### 5.2.1 Διάδοση του κύματος στον ελεύθερο χώρο

Το σημείο έναρξης της ανάλυσης είναι η διάδοση του κύματος στον ελεύθερο χώρο. Το σήμα σε απόσταση  $x$  από την πηγή,  $J(x)$ , μπορεί να γραφεί ως εξής :

$$J(x) = (J_0 x^{-D}) e^{i(2\pi f x c)} \quad (5.1)$$

Όπου

$x$  = απόσταση από την πηγή

$J_0$  = το πλάτος σήματος της πηγής

$f$  = η συχνότητα (2.4 GHz)

$D$  = συντελεστής εξασθένησης σαν συνάρτηση της απόστασης

$c$  = η ταχύτητα του φωτός στον ελεύθερο χώρο

Σημειώνεται ότι στον ελεύθερο χώρο γενικά η τιμή του  $D$  γίνεται ίση με 2. Όμως, σε αρκετές εμπειρικές εργασίες οι ερευνητές έχουν προτείνει ένα πλήθος από διαφορετικές τιμές για το  $D$ , οι οποίες ποικίλλουν από 1.2 μέχρι 4 και αντιπροσωπεύουν το ειδικό περιβάλλον στο οποίο έγιναν οι μελέτες. Επίσης, το σήμα  $J(x)$  θεωρείται ως μια σύνθετη μεταβλητή και αυτό λαμβάνεται υπόψη κατά την χρήση της μεταβλητής αυτής.

Ο βασικός άξονας της εργασίας, όπως έχει ήδη αναφερθεί, περιλαμβάνει ένα AP/κεραία, όπου χαρακτηρίζεται με  $T$ , και ένα δέκτη  $R$  για την συλλογή του σήματος.

## 5.2.2 Περιβάλλον εσωτερικού χώρου

Όταν ένα ραδιοκύμα συναντά εμπόδια κατά την διάδοση του επηρεάζεται από αυτά. Οι πιο συνηθισμένοι παράγοντες επίδρασης στα ραδιοκύματα αποτελούν η ανάκλαση, η απορρόφηση, η διάθλαση, η διασπορά, και περίθλαση. Παρακάτω αναλύονται οι παράγοντες αυτοί.

### 1. Ανάκλαση

Ανάκλαση εμφανίζεται όταν το ραδιοκύμα προσπέσει σε μια επιφάνεια που έχει πολύ μεγαλύτερες διαστάσεις από το μήκος κύματός του. Σε ένα εξωτερικό περιβάλλον, αυτές θα εμφανίζονται εξαιτίας της καμπυλότητας της γης, της ύπαρξης των κτιρίων κ.λπ. Σε ένα περιβάλλον εσωτερικού χώρου, το φαινόμενο της ανάκλασης οφείλεται στους τοίχους, στην διέλευση ανθρώπων και σε άλλα εμπόδια. Τα ανακλώμενα κύματα ακολουθούν τους τυπικούς νόμους της ανάκλασης σύμφωνα με τους οποίους η προσπίπτουσα γωνία είναι ίση με τη γωνία της ανάκλασης και το κύμα υπόκειται σε αλλαγή φάσης  $180^\circ$ . Ανάλογα με

το υλικό της επιφάνειας στην οποία προσπίπτει το σήμα μπορεί επίσης να συμβεί απορρόφηση. Τέλεια αγωγίμα υλικά είναι τέλειοι ανακλαστήρες, ενώ λιγότερο αγωγίμα παρουσιάζουν περισσότερο ποσοστό απορρόφησης από το αντίστοιχο της ανάκλασης. Η αγωγιμότητα ενός υλικού εξαρτάται από τις διηλεκτρικές ιδιότητές του.

## **2. Απορρόφηση**

Καθώς το ραδιοκύμα περνά μέσω ενός υλικού, ένα ποσοστό της ενέργειάς του απορροφάται. Το ποσοστό της απορρόφησης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υλικού.

## **3. Περίθλαση**

Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται όταν εμποδίζεται η πορεία του ραδιοκύματος ανάμεσα στον πομπό και στον δέκτη από μια επιφάνεια που έχει αιχμηρές ανωμαλίες (άκρες). Το σήμα που προσκρούει στην ανωμαλία διασπάται σε δευτερεύοντα κύματα, τα οποία διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις γύρω από το σημείο πρόσπτωσης. Το φαινόμενο αυτό είναι υπεύθυνο για την δημιουργία μιας πορείας ανάμεσα στο T και το P ακόμα και όταν δεν υπάρχει καμία άμεση ή ανακλώμενη διαδρομή. Η περίθλαση εξαρτάται από την γεωμετρία της επιφάνειας στην οποία προσπίπτει το σήμα, καθώς επίσης και από το πλάτος, την φάση, και την πόλωση.

## **4. Διασπορά**

Όταν υπάρχουν επιφάνειες με διαστάσεις συγκρίσιμες με το μήκος κύματος του κύματος μέσα στο μέσο μετάδοσης, η διασπορά του σήματος εμφανίζεται μακριά από τις επιφάνειες. Αν ο αριθμός των επιφανειών ανά μονάδα όγκου είναι μεγάλος, οι επιδράσεις

της διασποράς μπορούν να είναι αξιόλογες. Η διασπορά είναι ιδιαίτερα επικρατούσα όταν υπάρχουν τραχείς και ανώμαλες επιφάνειες.

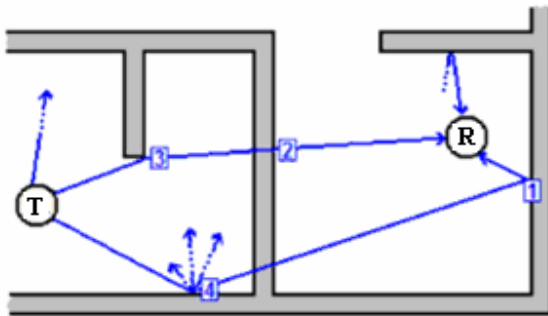
## **5. Διάθλαση**

Σε ένα υπαίθριο περιβάλλον, η ατμόσφαιρα έχει έναν δείκτη διάθλασης, ο οποίος κάμπτεται την πορεία του σήματος. Αυτό αλλάζει τη γεωμετρία της κατάστασης. Σε ένα περιβάλλον εσωτερικού χώρου, αυτή η επίδραση δεν είναι σημαντική. Εντούτοις, το σήμα περνά μέσω των αντικειμένων, μέσα στα οποία η διάθλαση θα εμφανιστεί. Έτσι το σήμα θα βγει σε μια διαφορετική θέση από το αναμενόμενο. Κατά συνέπεια, τα εμπόδια αλλάζουν την πορεία της ακτινοβολίας.

### **5.2.3 Το φαινόμενο της πολυδιαδρομικής διάδοσης**

Σαν συνέπεια των παραγόντων που σημειώνονται στην προηγούμενη ενότητα, ο δέκτης R μπορεί να δεχτεί πολλαπλά κύματα από διαφορετικές πορείες. Κάθε ένα από αυτά τα κύματα θα έχει το δικό του εύρος και φάση, και θα φθάσουν στον R με καθυστέρηση.

Η σχετική φάση πολλαπλών ανακλώμενων σημάτων μπορεί να προκαλέσει εποικοδομητική ή καταστρεπτική παρέμβαση στο δέκτη. Το φαινόμενο αυτό έχει μελετηθεί για σύντομες αποστάσεις (τυπικά για αποστάσεις ίσες με μισό μήκος κύματος), και δίνεται από τον όρο fast fading. Αυτές οι μεταβολές μπορούν να ποικίλουν μέχρι και 20 dB για μια μικρή απόσταση. Σε περιβάλλον εσωτερικού χώρου αποκαλούνται πολυδιαδρομικά κανάλια, επειδή τα κανάλια επικοινωνίας που συνδέουν τους πομπούς με τους δέκτες επηρεάζονται από τις παρεμβολές λόγω της πολυδιαδρομικής διάδοσης.



Σχήμα 5.1: Πολυδιαδρομικά κανάλια- Φαινόμενα όπως η ανάκλαση (1), απορρόφηση (2), διάθλαση (3) και διασπορά (4) προκαλούνται από RF σήματα

Σημειώνεται ότι το σήμα που λαμβάνεται στο R είναι ένας συνδυασμός όλων αυτών των κυμάτων και αποκτήθηκε με πρόσθεση των τιμών των σημάτων που αντιμετωπίζονται ως σύνθετοι αριθμοί. Δίνεται έτσι η δυνατότητα καθορισμού της ισχύος του σήματος ως το πλάτος ενός σύνθετου αριθμού.

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται δύο θεωρητικά μοντέλα υπολογισμού της ραδιοκάλυψης στον χώρο που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

## 5.3 One- Slope Model

### 5.3.1 Περιγραφή

Το μοντέλο αυτό αποτελεί τον ευκολότερο τρόπο υπολογισμού του επιπέδου του σήματος μέσα σε ένα κτίριο χωρίς την γνώση λεπτομερειών του χώρου. Το path loss σε dB είναι συνάρτηση μόνο της απόστασης ανάμεσα στις κεραίες του πομπού και του δέκτη:

$$L(d) = L_0 + 10 n \log(d) \quad (5.2)$$

όπου  $L_0$  (dB) είναι μια εκτίμηση της τιμής της απώλειας σε απόσταση 1 m,  $n$  είναι ένας παράγοντας προσδιορισμού της εξασθένησης (path loss exponent), και  $d$  (m) είναι η απόσταση.  $L_0$  και  $n$  είναι εμπειρικές τιμές για ένα δεδομένο περιβάλλον και προσεγγίζουν



αρκετά καλά τις πραγματικές τιμές. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται τιμές των σταθερών αυτών που προέκυψαν από διαφορετικές αναφορές. Η τιμή του παράγοντα  $n$ , έχει υψηλή εξάρτηση από τον τύπο του κτιρίου ή της κατασκευής που υπάρχει στον εσωτερικό χώρο, επομένως αυτό έχει την βασικότερη επίδραση στον καθορισμό του επιπέδου του σήματος.

Όπως φαίνεται από την εξίσωση υπολογισμού του path loss η αλλαγή του σήματος εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη αδιαφορώντας για πρόσθετες κατασκευές που μπορεί να υπάρχουν στο εσωτερικό του χώρου μελέτης. Το μοντέλο αυτό παρέχει μια απλή εκτίμηση και η επιλογή του  $n$  είναι καθοριστική.

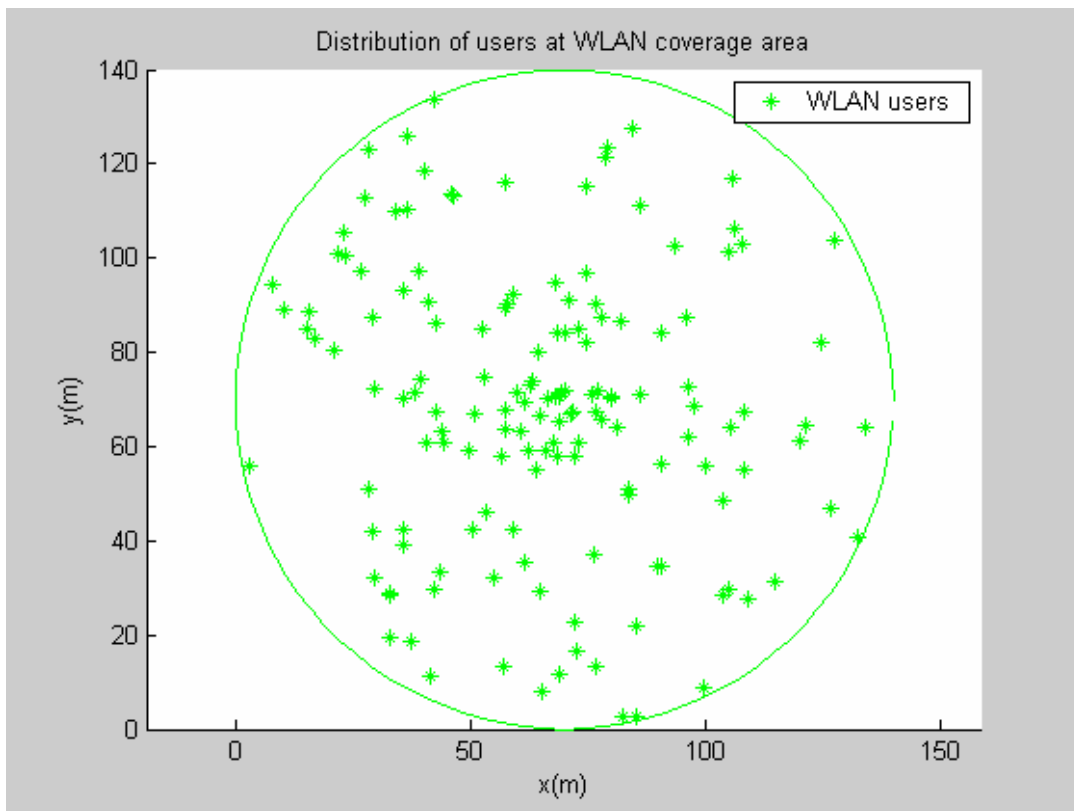
<b>f (GHz)</b>	<b>L<sub>0</sub> (dB)</b>	<b>n</b>	<b>σχόλια</b>
1.8	33.3	4.0	Χώρος γραφείου
1.8	37.5	2.0	Ανοιχτός χώρος
1.8	39.2	1.4	Διάδρομος
1.9	38.0	3.5	Χώρος γραφείου
1.9	38.0	1.3	Διάδρομος
2.45	40.2	4.2	Χώρος γραφείου[1]
2.45	40.2	1.2	Διάδρομος
2.45	40.0	3.5	Χώρος γραφείου [2]
2.5	40.0	3.7	Χώρος γραφείου
5.0	46.4	3.5	Χώρος γραφείου
5.25	46.8	4.6	Χώρος γραφείου

Οι τιμές του παράγοντα  $n$ , όπως έχει ήδη αναφερθεί, εξαρτώνται από τον τύπο του κτιρίου και το εσωτερικό περιβάλλον. Η τιμή  $n = 2$  αντιπροσωπεύει την διαδρομή στον ελεύθερο χώρο. Οι τιμές που είναι μικρότερες του 2 χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη του επιπέδου του σήματος σε διαδρόμους, όπου η μείωση του  $n$  οφείλεται στην επίδραση της κυματοδότησης. Σε περιβάλλον γραφείου με τοίχους και έπιπλα η τιμή του  $n$  κυμαίνεται

ανάμεσα στο 3 και το 6. Με το μοντέλο αυτό δίνονται τα καλύτερα αποτελέσματα για χώρους με περισσότερο ή λιγότερο ομοιόμορφα εμπόδια.

### 5.3.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

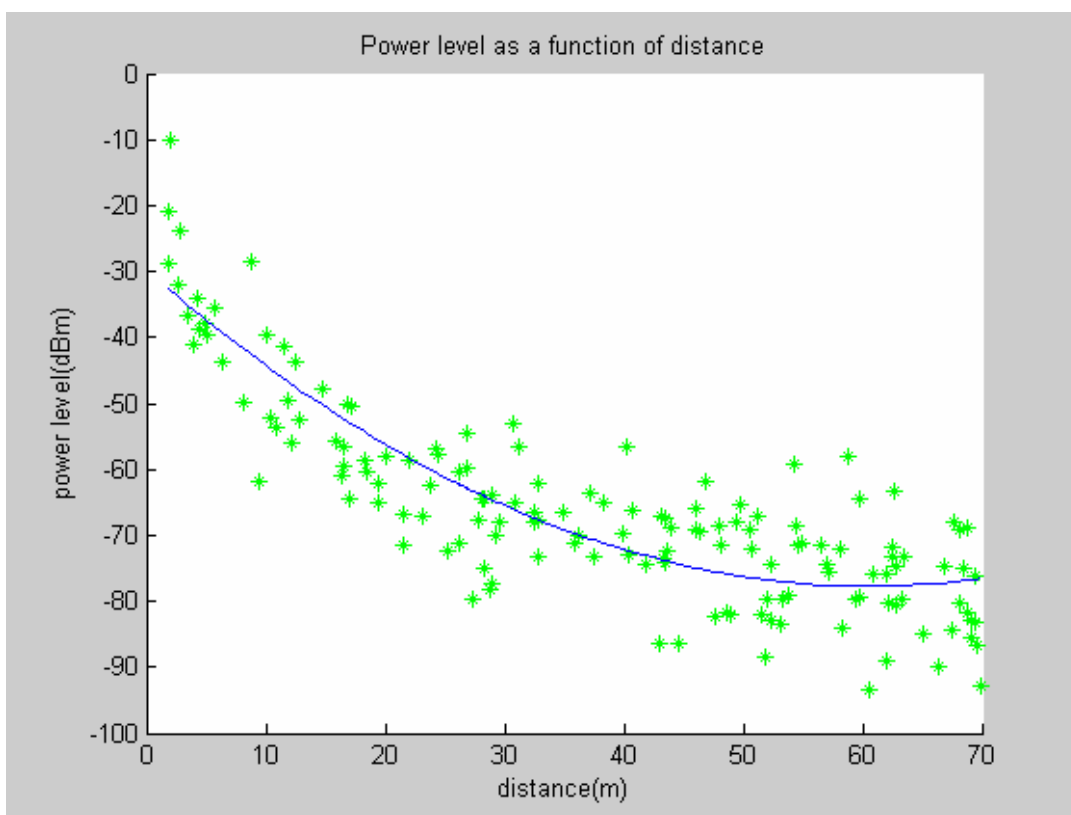
Με βάση το μοντέλο που αναλύθηκε, η διάδοση του κύματος στον χώρο του ορόφου προσομοιώθηκε στο Matlab. Στο σχήμα 5.2 που ακολουθεί φαίνεται η τυχαία κατανομή, στον χώρο, σημείων όπου βρίσκονται δέκτες για την συλλογή και μέτρηση της ισχύος του σήματος.



Σχήμα 5.2: Κατανομή των δεκτών στον χώρο γύρω από το AP

Η ακτίνα εμβέλειας καθορίστηκε στα 70 m, όση περίπου είναι και η μέγιστη απόσταση από το access point, στην οποία βρεθήκαμε κατά την διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων. Θεωρούμε ότι η εκπομπή του σήματος πραγματοποιείται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις, αφού όπως έχει ήδη αναφερθεί, πειραματικά χρησιμοποιήθηκε ομοιοκατευθυντική κεραία για την ανάπτυξη του ασύρματου δικτύου.

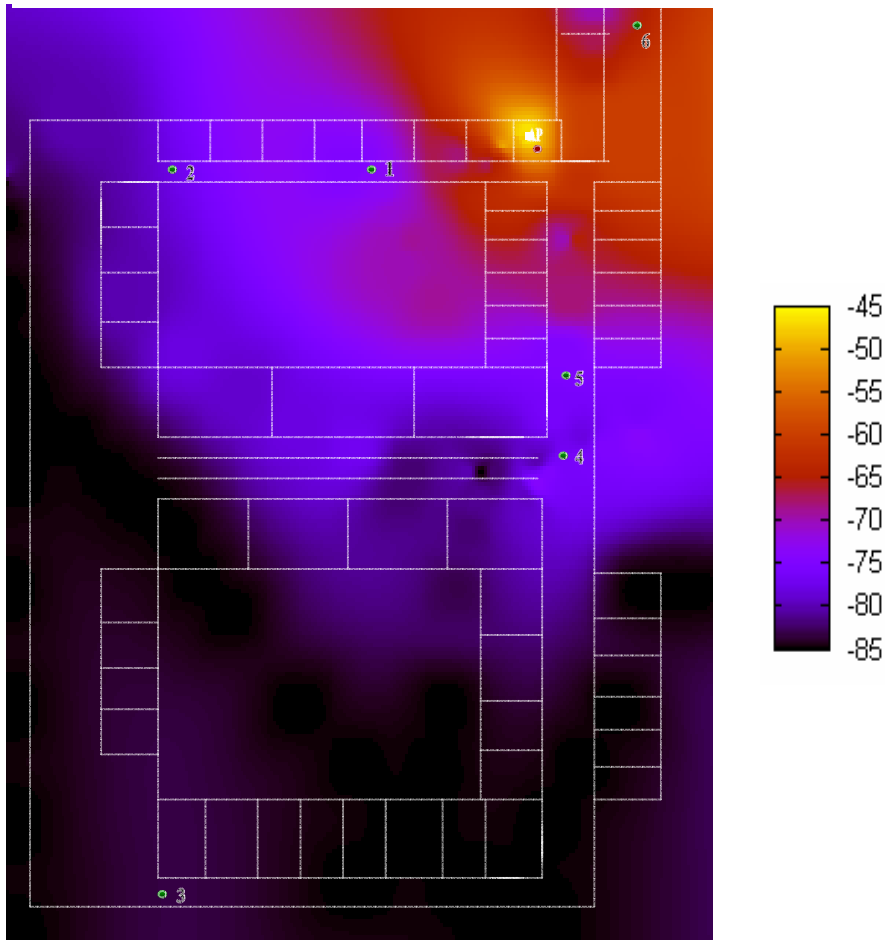
Στην συνέχεια παρουσιάζεται η μεταβολή της ισχύος σε σχέση με την απόσταση μεταξύ κεραίας AP και δέκτη.



Σχήμα 5.3: Η ισχύς σε σχέση με την απόσταση μεταξύ κεραίας AP και δέκτη

Παρατηρείται ότι η τιμή της ισχύος του σήματος μειώνεται κατά την απομάκρυνση του laptop από το access point. Αυτό όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, ήταν αναμενόμενο αφού εκτός από τις απώλειες κατά την διάδοση στον ελεύθερο χώρο υπεισέρχονται απώλειες λόγω των τοίχων, των παραθύρων, των ειδικών κατασκευών (π.χ μεταλλικές πόρτες, γυάλινοι τοίχοι με μεταλλικό περίβλημα κ.α) που υπάρχουν στον χώρο.

Τα αποτελέσματα των τιμών της ισχύος σε σχέση με τις συντεταγμένες κάθε σημείου στο χώρο, όπως αυτά προέκυψαν από το Matlab, εισήχθησαν στο πρόγραμμα GnuPlot μέσω του οποίου εχουμε το σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 5.4: Η ισχύς στον χώρο μελέτης μέσω του ISM

Πρόκειται για τον χάρτη της διαβάθμισης της ισχύος του σήματος στον χώρο μελέτης.

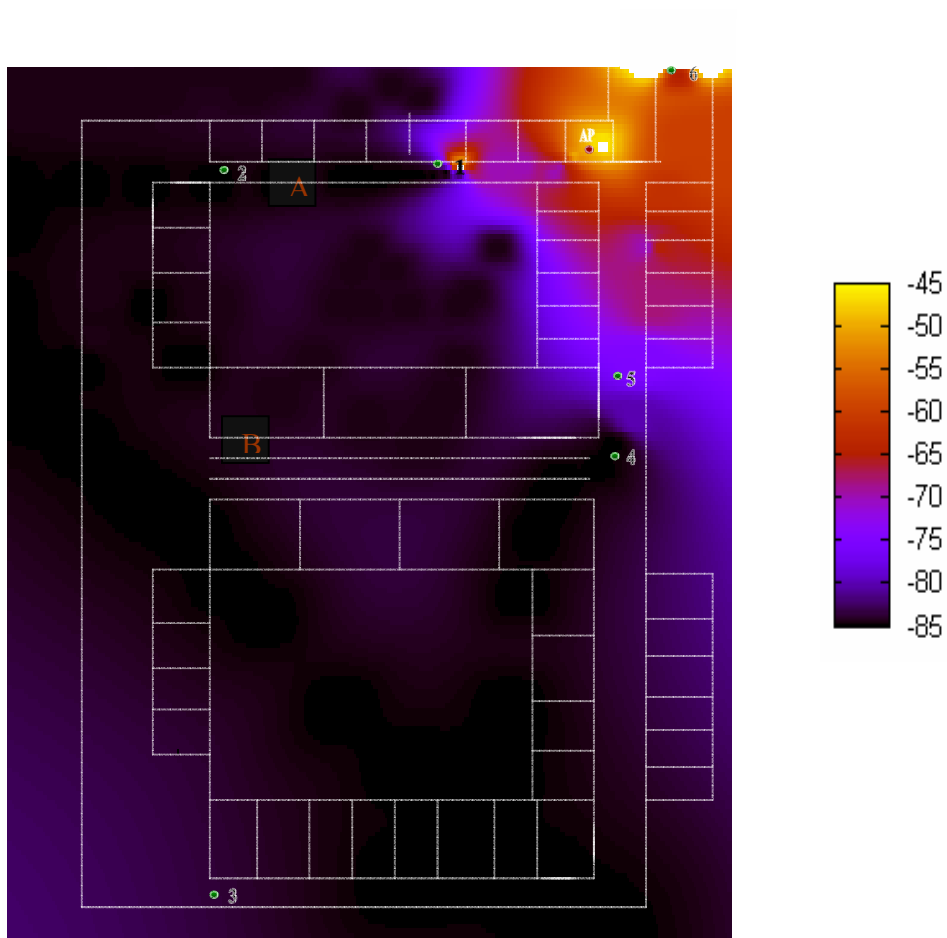
Για τον υπολογισμό του path loss χρησιμοποιήθηκε η σχέση

$$L(d) = L_0 + 10 n \log(d)$$

όπου τέθηκαν οι τιμές  $L_0 = 40$  dB και  $n = 3.5$ , που φαίνεται να προσεγγίζουν απόλυτα ικανοποιητικά τις πειραματικά μετρήσιμες τιμές της ισχύος.

### 5.3.3 Σύγκριση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων

Σύμφωνα με τα δεδομένα που ελήφθησαν μέσω της πειραματικής διαδικασίας, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, σχεδιάστηκε ο χάρτης της ισχύος για τον δεύτερο όροφο του κτιρίου Η.Μ.Μ.Υ. ,που φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



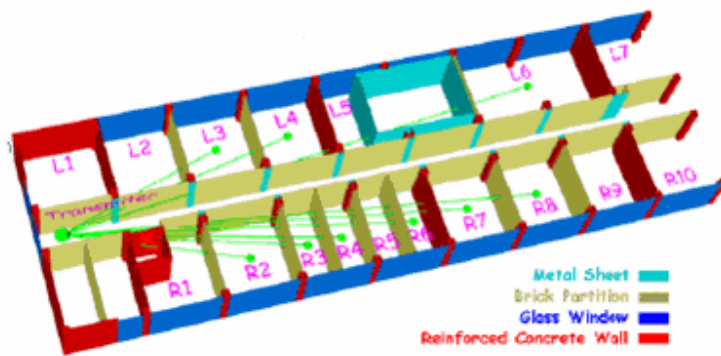
Σχήμα 5.5 : Η ισχύς στον χώρο μελέτης μέσω των μετρήσεων

Συγκρίνοντας τα σχήματα 5.4 και 5.5 παρατηρείται ότι η βασικότερη διαφορά παρουσιάζεται στην περιοχή που παρεμβάλλεται μεταξύ των δυο διαδρόμων A και B και πιο συγκεκριμένα μετά το σημείο 1 διαδρόμου A, όπου στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάστηκε απότομη πτώση της ισχύος του σήματος. Πτώση της τάξης των 10 dBm, αφού η ισχύς έφτασε στα -85 dBm. Στην ενότητα που ακολουθεί εξηγείται η διαφορά αυτή.

## 5.4 Multi Wall Model

### 5.4.1 Περιγραφή

Το εμπειρικό μοντέλο Multi Wall Model (MWM) παρέχει πολύ καλύτερη ακρίβεια από το 1SM. Η βασική ιδέα έγκειται στην ύπαρξη διαφορετικού ποσοστού απώλειας ισχύος του σήματος κατά την διέλευση του από εμπόδια διαφορετικών υλικών που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.6: Η βασική ιδέα λειτουργίας του Multi Wall Model

Το path loss μεταξύ πομπού και δέκτη δίνεται από την σχέση

$$L = L_{FSL}(d) + \sum k_{wi}L_{wi} + k_fL_f \quad (5.3)$$

Όπου  $L_{FSL}(dB)$  είναι η απώλεια ελεύθερης διάδοσης για απόσταση  $d$  (m) μεταξύ access point και laptop και προκύπτει από την σχέση του μοντέλου ISM με  $n = 2$ ,  $k_{wi}$  είναι ο αριθμός των τοίχων  $i$ -τύπου που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη,

$L_{wi}$  (dB) είναι ο παράγοντας εξασθένησης για τον  $i$  τοίχο,  $k_f$  είναι ο αριθμός των ορόφων και  $L_f$  (dB) είναι ο παράγοντας εξασθένησης για τον κάθε όροφο. Στην παρούσα εργασία η μελέτη πραγματοποιείται μόνο στον όροφο που βρίσκεται το access point, οπότε ο τρίτος όρος της εξίσωσης (5.3) δεν υπάρχει.

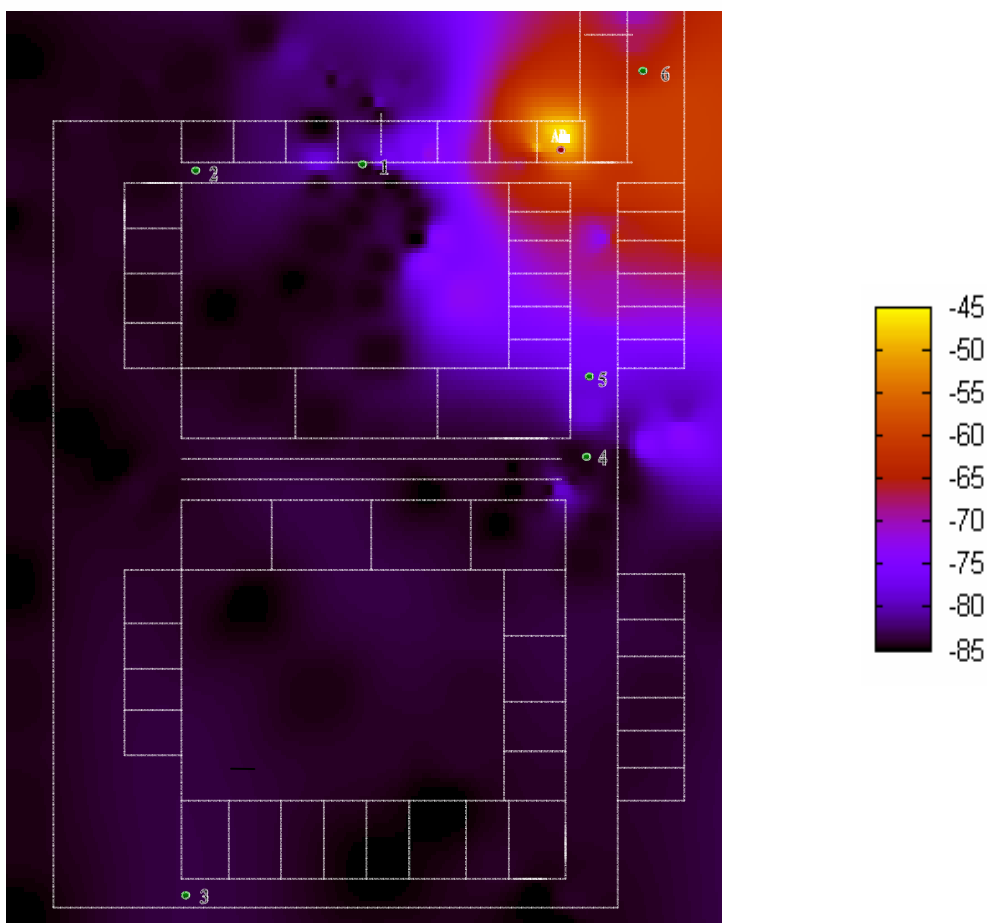
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται ορισμένες εμπειρικές τιμές εξασθένησης του σήματος εξαιτίας τοίχων, μεταλλικών κατασκευών κ.α.

<b>Εξασθένηση σήματος στα 2.4 GHz</b>	<b>dB</b>
Παράθυρο	2
Τοίχος γραφείου	4
Μεταλλική πόρτα σε τοίχο γραφείου	6
Γυάλινος τοίχος με μεταλλικό περίβλημα	7
Μεταλλική πόρτα σε τούβλινο τοίχο	12.4

Φυσικά υπάρχουν πολλά ακόμα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κτιρίων και δεν περιλαμβάνονται στον πίνακα, αφού σε αυτόν γίνεται μια αναφορά στα πιο συνηθισμένα εμπόδια που συναντά το σήμα στην διάδοση στο εσωτερικό ενός κτιρίου.

#### **5.4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων**

Με την εφαρμογή του μοντέλου αυτού προκύπτει ο χάρτης κατανομής της ισχύος στον χώρο, και φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 5.7: Η ισχύς στον χώρο μελέτης μέσω του MWM

### 5.4.3 Σύγκριση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων

Στο 1SM η επιλογή των  $L_0$  και  $n$  συμπεριλαμβάνει τις απώλειες που οφείλονται στους τοίχους, στα παράθυρα και σε εμπόδια που συνηθίζουν να υπάρχουν σε χώρους γραφείων. Στον χώρο, όμως, μελέτης μας φαίνεται ότι οι τιμές αυτές ανταποκρίνονται αρκούτως ικανοποιητικά στο πειραματικό αποτέλεσμα με μόνη διαφορά στην περιοχή που έχει ήδη επισημανθεί.

Ειδικά στην περιοχή αυτή φαίνεται να δίνει περισσότερο προσεγγιστικά αποτελέσματα το MWM. Αυτό συμβαίνει επειδή μετά την απόσταση των 11m στο διάδρομο A, δηλαδή, μετά το σημείο 1 της κάτοψης υπάρχουν τμήματα γυάλινου τοίχου με



μεταλλικό περίβλημα, τα οποία προκαλούν μεγαλύτερη εξασθένηση του σήματος από τα συνηθισμένα υλικά, όπως φαίνεται και στον πίνακα που έχει προηγηθεί.

#### **5.4.4 Μειονέκτημα της μεθόδου υπολογισμού**

Στο μοντέλο αυτό, όμως, δεν λαμβάνονται υπόψη ειδικές ανακλάσεις και περιθλάσεις, έτσι σε συγκεκριμένες περιπτώσεις η ακρίβεια του αποτελέσματος περιορίζεται. Οι παράγοντες εξασθένησης δεν αντικατοπτρίζουν φυσικές απώλειες από τους τοίχους αλλά στατιστικές τιμές, οι οποίες προκύπτουν από δημοσιευμένες εργασίες. Για παράδειγμα, αν ο δέκτης βρίσκεται πίσω από έναν μεταλλικό τοίχο συγκεκριμένων διαστάσεων δεν μπορεί να προκύψει αποτέλεσμα θεωρητικά για μια πολύ μεγάλη εξασθένηση, εκτός και αν το μέταλλο θεωρηθεί τέλειος ανακλαστής της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Αλλά στην πραγματικότητα το κύμα θα βρει διέξοδο γύρω από το μεταλλικό εμπόδιο εξαιτίας των ανακλάσεων, περιθλάσεων και της διασποράς..

Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και στον χώρο πραγματοποίησης της πειραματικής μας διαδικασίας και πιο συγκεκριμένα στον χώρο του διαδρόμου Α μετά το σημείο 1 της κάτοψης, όπου και με το μοντέλο αυτό υπάρχει κάποια διαφορά με τις πειραματικές τιμές. Μελετώντας τον χώρο παρατηρούμε ότι το σήμα εξερχόμενο των γυάλινων τοίχων εξασθενεί, όπως προβλέφθηκε από το MWM, διαδίδεται για μικρή απόσταση στον ελεύθερο χώρο και λόγω της διάταξης του κτιρίου προσπίπτει σε τοίχους, παρουσιάζοντας το φαινόμενο της πολυδιαδρομικής διάδοσης, που αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Επομένως, το σήμα που τελικά λαμβάνεται από το δέκτη που βρίσκεται στον διάδρομο συμπεριλαμβάνει αθροιστικά και το σήμα που επιστρέφει εξασθενημένο από τον χώρο εξωτερικά των γυάλινων τοίχων.

### **5.5 Πηγές σφαλμάτων**

Παρατηρώντας τα σχήματα 5.5 και 5.6 που απεικονίζουν αντίστοιχα τα πειραματικά αποτελέσματα και τα θεωρητικά από το μοντέλο MWM, που φαίνεται να προσεγγίζει πολύ

καλύτερα τις μετρήσιμες τιμές ισχύος μπορούν να εντοπιστούν λίγες ακόμα μικρότερες διαφορές. Αυτές μπορούν να εξηγηθούν από τις παρακάτω διαπιστώσεις:

- Το θεωρητικό μοντέλο που αναπτύχθηκε έχουν αδυναμίες στις οποίες έχει ήδη γίνει αναφορά
- Τα σφάλματα που εμφανίζονται κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων, και οφείλονται:
  - Στην συνεχή κίνηση του laptop και στην μη ύπαρξη σταθερής κατεύθυνσης του δέκτη σε σχέση με την κεραία του access point
  - Στην μη παραμονή μας κατά την διάρκεια των μετρήσεων σε συγκεκριμένα σημεία για μικρό έστω χρονικό διάστημα ώστε να έχουμε συλλογή περισσότερων δειγμάτων που ίσως να προσέδιδε την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια.



**AKPQNYMIA**

<b>ADSL</b>	<b>Asymmetric Digital Subscriber Line</b>
<b>BER</b>	<b>Bit Error Rate</b>
<b>CNR</b>	<b>Carrier to Noise Ratio</b>
<b>DVB</b>	<b>Digital Video Broadcasting</b>
<b>DVB-C</b>	<b>Digital Video Broadcasting – Cable</b>
<b>DVB-RCT</b>	<b>Digital Video Broadcasting – Return Channel via Terrestrial</b>
<b>DVB-S</b>	<b>Digital Video Broadcasting – Satellite</b>
<b>DVB-T</b>	<b>Digital Video Broadcasting – Terrestrial</b>
<b>DVB-RCS</b>	<b>Digital Video Broadcasting – Return Channel System</b>
<b>ETSI</b>	<b>European Telecommunications Standards Institute</b>
<b>IP</b>	<b>Internet Protocol</b>
<b>LAN</b>	<b>Local Area Network</b>
<b>MAC</b>	<b>Medium Access Control</b>
<b>MPE</b>	<b>Multi Protocol Encapsulation</b>
<b>MPEG</b>	<b>Motion Picture Experts Group</b>
<b>PCM</b>	<b>Pulse Code Modulation</b>
<b>QPSK</b>	<b>Quadrature Phase Shift Keying</b>
<b>RF</b>	<b>Radio Frequency</b>
<b>RS</b>	<b>Reed-Solomon</b>
<b>TCP</b>	<b>Transport Control Protocol</b>
<b>TS</b>	<b>Transport Stream</b>

<b>ULE</b>	<b>Ultra Light Encapsulation</b>
<b>VPN</b>	<b>Virtual Private Network</b>
<b>WLAN</b>	<b>Wireless Local Area Network</b>

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] EMS DVB-RCS Broadband Satellite Services Network System Design and Status April 2003
- [2] “Broadband Internet Access solutions via satellite” Eutelsat Multimedia Department  
[www.eutelsat.com](http://www.eutelsat.com)
- [3] Patacchini A. “Satcoms applications: a key role for the European knowledge society”  
[www.eutelsat.com](http://www.eutelsat.com)
- [3] Valenti C. M., Cheng S., Seshadri I. R. “Digital Video Broadcasting” West Virginia University  
[www.csee.wvu.edu](http://www.csee.wvu.edu)
- [4] “DVB-RCS: Satellite Industry Needs, Opportunities & Issues”, White Paper  
[www.spacebridge.com](http://www.spacebridge.com)
- [5] “BROADBAND INTERNET VIA SATELLITE COST-EFFECTIVE TWO-WAY SATELLITE SERVICE” D-Star  
[www.eutelsat.com](http://www.eutelsat.com)
- [6] “Reed-Solomon Codes”  
[www.4i2i.com](http://www.4i2i.com)
- [7] Pejman Roshan, Jonathan Leary, “802.11 Wireless LAN Fundamentals”, Cisco Press, 2004
- [8] Toby J. Velte - Ph.D., Anthony T. Velte, “Cisco 802.11 Wireless Networking Quick Reference”, Cisco Press, 2005
- [9] Matthew Gast, “802.11 Wireless Networks The Definitive Guide”, O'Reilly, 2005
- [10] Bruce E. Alexander, “802.11 Wireless Network Site Surveying and Installation”, Cisco Press, 2004
- [11] Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.5 license, “Wireless Networking in the Developing World”, Limehouse Book Sprint Team, 2006
- [12] Rob Flickenger, “Building Wireless Community Networks”, O'Reilly, 2003
- [13] Rob Flickenger, “Wireless Hacks”, O'Reilly, 2003
- [14] IEEE 802.11 Working Group,  
<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html>

- [15] ZVÁNOVEC, S., VÁLEK, M., PECHAČ, P. Results of Indoor Propagation Measurement Campaign for WLAN Systems Operating in 2.4 GHz ISM Band. *The International Conference on Antennas and Propagation ICAP 2003*, Exeter, UK, p.63-66.
- [16] TAMMINEM, J. 2.4 GHz WLAN Radio Interface -Presentation at Tampere University of Technology 2002, [www.radionet.fi](http://www.radionet.fi).
- [17] TAROKH, V., GHASSEMZADEH, S.S. 2002: The Ultra-wideband Indoor Path Loss Model. IEEE P802.15-02/277-SG3a and IEEE P802.15-02/278-SG3a.