

ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ
Σ.Δ.Ο

Τμήμα Τηλεπληροφορικής και Διοίκησης

Δίκτυα Πρόσβασης

Πτυχιακή Εργασία: Νοβίλη Ανδριανή, Κοσμίδου Αγγελική
Υπεύθυνος καθηγητής: Τσιαντής Λεωνίδας

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	3
1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	3
1.3 ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ	4
1.4 ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΗΜΑΤΑ	5
1.5 ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ	5
1.6 ΦΥΣΙΚΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ	7
1.6.1 Ομοαξονικά (coaxial)	7
1.6.2 Συνεστραμμένα ζεύγη (Twisted pair - TP)	8
1.6.3 Οπτικές Ίνες	9
1.7 ΕΝΑΕΡΙΑ ΜΕΣΑ.....	10
1.8 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΣΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	11
1.9 ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ.....	13
1.9.1 Διαμόρφωση.....	13
1.9.2 Είδη διαμόρφωσης.....	14
1.9.3 Μετάδοση Βασικής και Ευρείας Ζώνης.....	15
2. ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ.....	17
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	17
2.2 ΠΑΛΜΟΚΩΔΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ (PCM).....	17
2.2.1 Δειγματοληψία.....	18
2.2.2 Κβαντισμός	19
2.2.3 Κωδικοποίηση	21
2.2.4 PCM Πρώτης Τάξης.....	21
2.2.5 Αναγέννηση.....	22
2.2.6 Αποκωδικοποίηση και Φιλτράρισμα	23
2.2.7 Πολυπλεξία	23
2.2.8 Συγχρονισμός.....	24
2.3 ΠΛΗΣΙΟΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ - PDH (PLESIOCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY - ΠΛΗΣΙΟΧΡΟΝΗ ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ).....	27
2.4 ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΚΑΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΗ ΨΗΦΙΑΚΗ ΙΕΡΑΡΧΙΑ	28
2.5 ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ATM.....	31
2.6 ΑΣΥΓΧΡΟΝΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ.....	33
2.7 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ SDH.....	35
2.8 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ PDH.....	35
3. ΕΝΣΥΡΜΑΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ.....	36
3.1 ISDN.....	36
3.1.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος ISDN	38
3.1.2 2B1Q	39

3.1.3	LAP-D.....	40
3.1.4	Εγκατάσταση Κλήσης στο Επίπεδο 3	44
3.2	DSL	44
3.2.1	ADSL.....	46
3.2.2	Καταστολή ηχούς (Echo Cancellation).	48
3.2.3	Συνδεσμολογίες ADSL	49
3.3	ΕΝΣΥΡΜΑΤΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	51
3.3.1	Συνεστραμμένα ζεύγη χάλκινων καλωδίων (Twisted Pair)	51
3.3.2	UTP (Unshielded Twisted Pair)	51
3.3.3	Ομοαξονικό καλώδιο	52
3.3.4	Οπτικές ίνες.....	53
3.3.5	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Οπτικών Ινών.....	54
4.	ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ	56
4.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	56
4.2	ΕΠΙΓΕΙΑ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	56
4.2.1	Κεραίες.....	56
4.2.2	Αναλογικά μικροκυματικά συστήματα	57
4.3	ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	58
4.4	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΗΣ.....	59
4.4.1	Απαιτήσεις.....	59
4.4.2	Τοπολογία.....	60
4.4.3	Διάγραμμα δικτύου	61
4.4.4	FEC (Forward Error Correction)	63
4.5	ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ	64
4.5.1	Bluetooth.....	65
4.5.2	802.11	66
4.5.3	802.11a	67
4.5.4	802.11g	68
4.5.5	HomeRF.....	69
4.5.6	HiperLAN.....	69
5.	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΟΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	71
5.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	71
5.2	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	72
5.3	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	73
5.3.1	Σχεδιασμός.....	73
5.3.2	Εγκατάσταση Access Point	73
5.3.3	Εγκατάσταση καρτών δικτύου.....	76
6.	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	77
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	79

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Οι τηλεπικοινωνίες αποτελούν ένα από τα φλέγοντα ζητήματα της σημερινής κοινωνίας σε κάθε επίπεδο, οικονομικό, κοινωνικό και επιστημονικό. Οι απαιτήσεις για επικοινωνία εξ' αποστάσεως μεταξύ των ανθρώπων και η ανταλλαγή δεδομένων πάσης φύσεως έχει οδηγήσει στην έρευνα και εξέλιξη νέων προτύπων που θα μπορούν να εξυπηρετήσουν τις τεράστιες ανάγκες του σύγχρονου κόσμου. Μια από τις βασικές απαιτήσεις είναι να ανάμεσα σε έναν πομπό και έναν δέκτη να μεταφέρονται η μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα πληροφορίας με τις λιγότερες αποδεκτές αλλοιώσεις και παράλληλα στο μικρότερο δυνατό κόστος. Η ανάγκη αυτή οδήγησε στη χρησιμοποίηση ψηφιακής αναπαράστασης δεδομένων και ψηφιακής μετάδοσης έναντι της αναλογικής μετάδοσης όπως επικρατούσε μέχρι πρότενος στην τηλεφωνία, το ραδιόφωνο και την τηλεόραση για 100 και πλέον χρόνια.

1.2 Βασικές έννοιες μετάδοσης και επικοινωνίας

Οι βασικοί ρόλοι σε μια μετάδοση είναι τέσσερις: ο πομπός, ο δέκτης, το μεταδιδόμενο περιεχόμενο και το κανάλι μετάδοσης. Ανάλογα με τον τρόπο μετάδοσης δεδομένων διακρίνουμε τις επικοινωνίες σε διάφορες κατηγορίες:

Μονόδρομη μετάδοση ονομάζουμε τη μετάδοση δεδομένων από έναν πομπό προς ένα δέκτη μόνο προς μια κατεύθυνση ενώ αμφίδρομη μετάδοση έχουμε στην περίπτωση που σε ένα κανάλι μπορεί να γίνει μετάδοση δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Μετάδοση από σημείο σε σημείο (peer to peer, point to point) έχουμε στην περίπτωση όπου τα δεδομένα αποστέλλονται από έναν πομπό σε ένα δέκτη, ενώ μετάδοση εκπομπής (broadcasting) έχουμε στην περίπτωση όπου τα δεδομένα μεταδίδονται από έναν πομπό προς πολλούς δέκτες.

Επίσης ανάλογα με τον τρόπο που μεταδίδονται τα ψηφιακά δεδομένα, διακρίνουμε την ψηφιακή μετάδοση σε παράλληλη και σειριακή. Στην περίπτωση της σειριακής μετάδοσης, μεταδίδεται ένα bit σε κάθε χρονική στιγμή ενώ στην παράλληλη πολλά bit μπορούν να μεταδοθούν ταυτόχρονα την ίδια χρονική στιγμή.

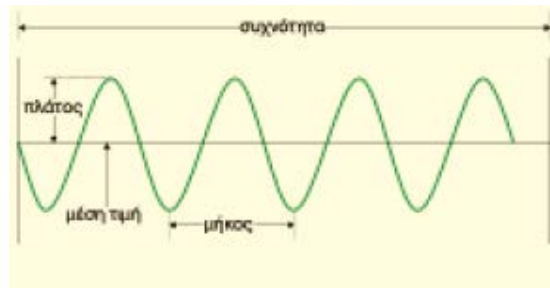
1.3 Αναλογικά σήματα

Γενικά τα αναλογικά σήματα μεταδίδονται με κυματωειδή μορφή, με τη μορφή δηλαδή μιας ταλάντωσης όπως φαίνεται στο σχήμα. Η ταλάντωση είναι μια περιοδική κίνηση δηλαδή μια κίνηση που επαναλαμβάνεται πανομοιότυπα μετά από κάποιο χρονικό διάστημα.

Ένα παλλόμενο ηλεκτρικό δίπολο προκαλεί δύο εναλλασσόμενα πεδία, ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό, τα οποία μεταδίδονται από σημείο σε σημείο και προς όλες τις κατευθύνσεις με τη μορφή δύο κυμάτων, ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού αντίστοιχα. Τα κύματα αυτά μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός, και λέγονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός σήματος είναι τα ακόλουθα:

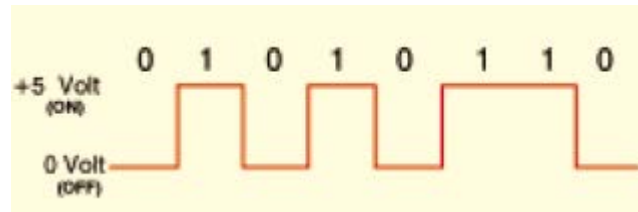
- Η Περίοδος σήματος που είναι η διάρκεια μιας πλήρους ταλάντωσης, συμβολίζεται με T και μετρείται σε δευτερόλεπτα.
- Το Μήκος σήματος που είναι η απόσταση στην οποία μεταδίδεται το σήμα σε χρόνο μιας περιόδου T
- Η Συχνότητα σήματος, ο αριθμός δηλαδή των επαναλήψεων μιας πλήρους ταλάντωσης ενός περιοδικού σήματος στη μονάδα του χρόνου με μονάδα μέτρησης έναν κύκλο ανά δευτερόλεπτο που λέγεται και Hertz (Hz).
- Το Πλάτος σήματος που εκφράζει τη στιγμιαία τιμή του σήματος σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή και είναι η μέγιστη δύναμη του ηλεκτρικού ή του μαγνητικού πεδίου.
- Φάση σήματος η διαφορά δηλαδή ενός σήματος, όταν αυτό συγκρίνεται με κάποιο άλλο σήμα που χρησιμοποιούμε ως σήμα αναφοράς και του οποίου ο κύκλος ξεκινά τη χρονική στιγμή 0



Σχήμα 1. Αναλογικό σήμα

1.4 Ψηφιακά σήματα

Στα ψηφιακά σήματα τα δεδομένα παίρνουν διακριτές τιμές μέσα στο χρόνο και όχι συνεχόμενες. Για την αναπαράσταση των τιμών αυτών χρησιμοποιείται το δυαδικό σύστημα και χρησιμοποιούνται δύο καταστάσεις που αντιπροσωπεύουν τις τιμές 0 ή 1. Οι καταστάσεις αυτές μπορεί να είναι δύο διαφορετικές ηλεκτρικές τάσεις των +5 Volt και 0 Volt αντίστοιχα.



Σχήμα 2. Ψηφιακό σήμα

1.5 Ψηφιοποίηση

Όπως είπαμε η ψηφιακή μετάδοση δεδομένων απαιτεί την ψηφιοποίηση των αναλογικών δεδομένων, τη μετατροπή τους δηλαδή από αναλογική σε ψηφιακή μορφή. Τα δεδομένα που αντιλαμβανόμαστε μέσω των αισθήσεων μας μπορούν να περιγραφούν ως μια ή περισσότερες φυσικές μεταβλητές η τιμή των οποίων είναι μια συνάρτηση του χρόνου και / ή του χώρου. Αυτή η φυσική μεταβλητή μπορεί να μετρηθεί με κάποιο ειδικά κατασκευασμένο όργανο που ονομάζεται αισθητήρας που μετατρέπει

αυτή την φυσική ποσότητα, στην περίπτωση του ήχου την πίεση του αέρα, σε μια άλλη ποσότητα, όπως μια ηλεκτρική τιμή, που ονομάζεται σήμα. Αυτό το σήμα είναι τέτοιο ώστε να παριστά το φυσικό μέγεθος με πιστότητα και μπορεί εύκολα να μετρηθεί.



Σχήμα 3. Η πληροφορία ως σήμα

Το σήμα μπορεί να είναι:

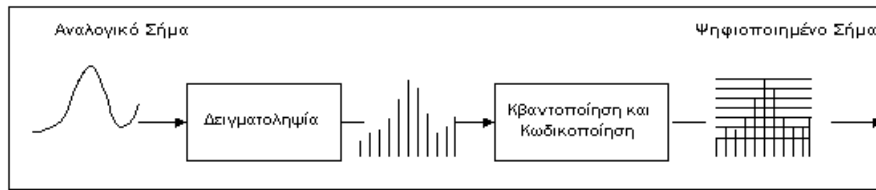
1. Αναλογικό όταν είναι συνεχής συνάρτηση του χρόνου και / ή του χώρου. Τότε λέμε επίσης ότι το σήμα είναι ανάλογο της φυσική μεταβλητής που περιγράφει.
2. Ψηφιακό, το οποίο αποτελείται από μια ακολουθία διακριτών τιμών που είναι κωδικοποιημένες στο δυαδικό σύστημα και εξαρτώνται από το χρόνο ή το χώρο.

Η διαδικασία της ψηφιοποίησης (Αναλογική / Ψηφιακή μετατροπή – Analog to Digital A/D) αποτελείται από τα εξής βασικά στάδια:

Δειγματοληψία. Λαμβάνοντας το αναλογικό σήμα που παρέχει κάποιος αισθητήρας, γίνεται δειγματοληψία του σήματος. Αυτό σημαίνει ότι από το άπειρο πλήθος τιμών του αναλογικού σήματος, κρατάμε μόνο ένα σύνολο διακριτών τιμών ανά κάποιο σταθερό χρονικό διάστημα.

Κβαντοποίηση. Οι τιμές ενός αναλογικού σήματος μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή μέσα από το πεδίο τιμών του και συνεπώς είναι άπειρες. Στην ψηφιακή αναπαράσταση δεν γίνεται να περιγραφούν όλες οι δυνατές τιμές του σήματος αλλά μόνο κάποιο πεπερασμένο υποσύνολο αυτών κάποιες δηλαδή συγκεκριμένες στάθμες. Μια τιμή μήκους n bits μπορεί να περιγράψει 2^n στάθμες μέσα από το πεδίο τιμών του σήματος. Αφού οριστούν οι στάθμες, στο στάδιο της κβαντοποίησης βρίσκουμε την πλησιέστερη στάθμη για κάθε τιμή που προέκυψε από τη δειγματοληψία και την αντιστοιχούμε στην τιμή.

Κωδικοποίηση. Στο στάδιο αυτό επιλέγουμε έναν τρόπο αναπαράστασης των ψηφιακών τιμών που προέκυψαν από τα δύο παραπάνω στάδια.



Σχήμα 4. Ψηφιοποίηση ενός αναλογικού σήματος

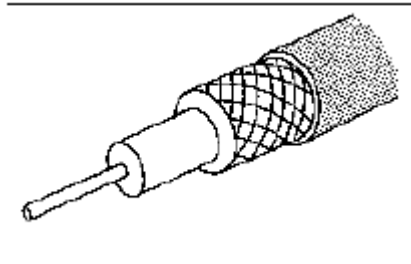
1.6 Φυσικά Μέσα Μετάδοσης Πληροφορίας

Η μετάδοση της ψηφιακής πληροφορίας μπορεί να γίνει μέσω ενσύρματων ή ασύρματων φυσικών μέσων. Διακρίνουμε δύο βασικούς τύπους μέσων μετάδοσης: επίγεια (terrestrial) και εναέρια (aerial).

Στην πρώτη κατηγορία μέσων περιλαμβάνονται τα μεταλλικά καλώδια και οι οπτικές ίνες (optical fibers). Στην πρώτη κατηγορία τα ψηφία μεταφέρονται μέσα στα μεταλλικά καλώδια με την μορφή ηλεκτρικών παλμών. Λόγω των αντιστάσεων του καλωδίου και των παρεμβολών, το ηλεκτρικό σήμα εξασθενεί κατά τη διάδοση του μέσα στο καλώδιο. Τα μεταλλικά καλώδια χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

1.6.1 Ομοαξονικά (coaxial)

Αποτελούνται από ένα δύσκαμπτο χάλκινο σύρμα, τον πυρήνα που περιβάλλεται από ένα μονωτικό υλικό. Το μονωτικό υλικό περιβάλλεται, με τη σειρά του, από έναν εξωτερικό μεταλλικό μανδύα, συνήθως με τη μορφή πλέγματος. Ο εξωτερικός αγωγός, τέλος, περιβάλλεται από ένα προστατευτικό πλαστικό κάλυμα. Μια τομή ενός τέτοιου καλωδίου φαίνεται στο σχήμα 5. Τα ομοαξονικά καλώδια έχουν μικρότερες εξασθενίσεις και μπορούν να επιτύχουν μεγαλύτερες ταχύτητες σε σχέση με τα UTP και τα STP.



Σχήμα 5. Ομοαξονικό καλώδιο

1.6.2 Συνεστραμμένα ζεύγη (Twisted pair - TP)

Αποτελούνται από σύρματα με πυρήνα χαλκού, πάχους ενός περίπου χιλιοστού, τα οποία περιβάλλονται από μονωτικό υλικό. Αν δύο σύρματα συστραφούν το ένα γύρω από το άλλο, ώστε να πάρουν ελικοειδές σχήμα, δημιουργούν κύκλωμα το οποίο μπορεί να μεταφέρει δεδομένα. Τα καλώδια αυτά είναι είτε θωρακισμένα (Shielded twisted pair, STP) είτε αθωράκιστα (Unshielded Twisted Pair, UTP). Όταν χρησιμοποιούνται TP καλώδια για μεταφορά δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις, απαιτούνται σημεία ενίσχυσης και αναμετάδοσης του ηλεκτρικού σήματος. Τα καλώδια TP και ειδικότερα τα UTP, είναι ευαίσθητα στο θόρυβο και στις ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες γειτονικών συσκευών, ενώ έχουν και περισσότερες εκπομπές χαμηλών ραδιοφωνικών συχνοτήτων.



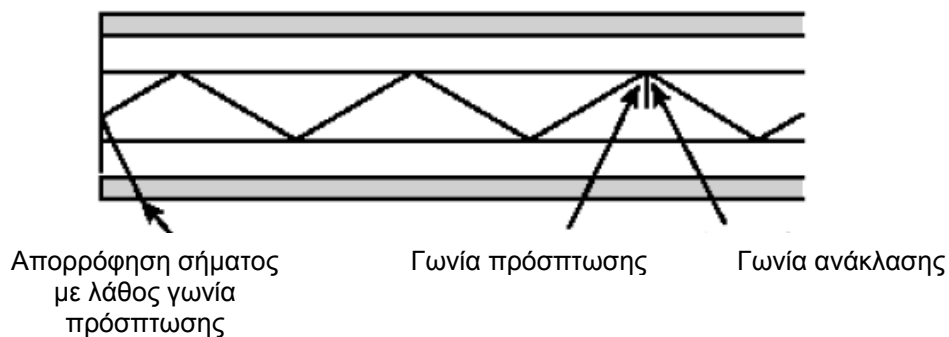
Σχήμα 6. Συνεστραμμένο ζεύγος

1.6.3 Οπτικές Ίνες

Σε μια οπτική ίνα το ψηφιακό σήμα μεταδίδονται ως διαμορφωμένο φως και όχι ως ηλεκτρικό σήμα.

Το φως μεταδίδεται προς μία πάντα κατεύθυνση μέσα από τον πυρήνα της οπτικής ίνας, ο οποίος είναι ένα κυλινδρικό νήμα γυαλιού ή πλαστικού. Περιβάλλεται από μια μονωτική επικάλυψη και αυτή από ένα ειδικό προστατευτικό περίβλημα. Ο πυρήνας και η μονωτική επικάλυψη είναι φτιαγμένοι από υλικά με διαφορετικό δείκτη διάθλασης, έτσι ώστε ο δείκτης ανάκλασης του φωτός στον πυρήνα να είναι λίγο μεγαλύτερος από αυτόν στην επικάλυψη. Αυτό προκαλεί τις συνεχόμενες ανακλάσεις του φωτός μέσα στον κυλινδρικό πυρήνα

Οι οπτικές ίνες προσφέρουν πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης. Η αναμετάδοση του σήματος στις οπτικές ίνες γίνεται είτε απευθείας είτε με ενδιάμεση μετατροπή του φωτός σε ηλεκτρικό σήμα. Οι επιδόσεις των οπτικών ινών μπορούν να αποδοθούν από το γινόμενο του bit rate τους με τη μέγιστη απόσταση που μπορεί να διανύσει το σήμα χωρίς να απαιτηθεί αναμετάδοση. Αυτός ο δείκτης βρίσκεται σήμερα περίπου στα 100 εκατομμύρια Mbps $\times$ km.



Σχήμα 7.Οπτική Ίνα

1.7 Εναέρια μέσα

Οι εναέριες μεταδόσεις μπορεί να είναι είτε επιφανείας (surface), όπως οι ραδιοφωνικές, ή δορυφορικές (satellite). Δεν χρησιμοποιούν κάποιο καλώδιο αλλά την ατμόσφαιρα ή το διάστημα για την αποστολή σημάτων. Τα σήματα που χρησιμοποιούνται στην ασύρματη μετάδοση είναι τα εξής:

Ραδιοκύματα. Χρησιμοποιούνται στη σταθερή και κινητή τηλεφωνία καθώς και στη ραδιοεπικοινωνία. Έχουν χαμηλότερες συχνότητες από τα μικροκύματα και μπορούν να δινύσουν εκατοντάδες χιλιόμετρα. Ο κύριος όγκος ραδιοσυχνοτήτων κυμαίνεται από 30 έως 300 MHz.

Μικροκύματα. Τα μικροκύματα είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκος που κυμαίνεται από 1 έως 30 cm, δηλαδή μεγαλύτερο του ορατού φωτός και μικρότερο των ραδιοκυμάτων. Επομένως οι μικροκυματικές ζεύξεις καλύπτουν την περιοχή φάσματος από 300 MHz έως 30 GHz, όμως το κύριο πεδίο εφαρμογής τους βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ 2 και 8 GHz

Δορυφορική Μετάδοση. Στη δορυφορική επικοινωνία τα δορυφορικά συστήματα αποτελούνται από τους επικοινωνιακούς δορυφόρους και τους αντίστοιχους σταθμούς εδάφους που στέλνουν ραδιοσήματα. Ο επικοινωνιακός δορυφόρος πρέπει να βρίσκεται πάντοτε σε οπτική επαφή με το σταθμό εδάφους με τον οποίο επικοινωνεί. Ο δορυφόρος είναι τοποθετημένος σε γεωστατική τροχιά, δηλαδή στην τροχιά του Ισημερινού και σε απόσταση περίπου 36.000 km πάνω από τη Γη.

Μετάδοση με Υπέρυθρες ή Laser. Πέρα από τα μικροκύματα, υπάρχουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα που παράγονται από άτομα και πυρήνες όπως οι υπέρυθρες ακτίνες (infrared), το ορατό φως (visible light) και οι υπεριώδεις ακτίνες (ultraviolet). Τόσο οι υπέρυθρες ακτίνες όσο και οι ακτίνες λέιζερ χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου τα ενσύρματα μέσα λόγω υψηλού κόστους ή αδυναμίας εγκατάστασης είναι ανεπιθύμητα. Τέτοιες περιπτώσεις είναι δίκτυα περιορισμένης γεωγραφικής εμβέλειας.

Γενικά τα ασύρματα μέσα μετάδοσης έχουν μεγαλύτερους ρυθμούς εμφάνισης λαθών σε σχέση με τις επίγειες μεταδόσεις. Η δορυφορική μετάδοση παρουσιάζει ένα επιπλέον

μειονέκτημα, μια καθυστέρηση μισού περίπου δευτερολέπτου για κάθε πακέτο πληροφορίας που μεταδίδεται.

1.8 Χαρακτηριστικά μέσων μετάδοσης

Τα μέσα μετάδοσης σημάτων έχουν κάποια χαρακτηριστικά. Κάθε μέσο μπορεί να μεταδώσει συγκεκριμένες συχνότητες ηλεκτρομαγνητικών σημάτων, οι οποίες καθορίζουν τη ζώνη εκπομπής του. Το εύρος ζώνης (bandwidth) ορίζεται από τη διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και στην ελάχιστη συχνότητα που μπορεί η πηγή να εκπέμψει και να μεταδοθεί μέσω του καναλιού επικοινωνίας.

Στην ψηφιακή μετάδοση η χωρητικότητα (capacity) ενός μέσου εκφράζει το μέγιστο ρυθμό με τον οποίο μπορούμε να στείλουμε ή να πάρουμε δεδομένα από αυτό χωρίς σφάλμα και έχει στενή σχέση με το εύρος ζώνης του. Γενικά, όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης του μέσου μετάδοσης, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο ρυθμός μετάδοσης των δυαδικών ψηφίων. Στα συστήματα μετάδοσης δεδομένων η χωρητικότητα μετριέται σε bit ανά δευτερόλεπτο (bps: bits per seconds) ή πολλαπλάσιά τους.

Είναι φανερό πως τα μέσα μετάδοσης έχουν περιορισμένο εύρος ζώνης, με αποτέλεσμα να εμποδίζουν το σήμα να περάσει αναλλοίωτο και έτσι να παρατηρούνται φαινόμενα όπως η εξασθένηση και η παραμόρφωση του σήματος. Στην πρώτη περίπτωση το σήμα εξασθενεί, δηλαδή χάνει μέρος από την ισχύ του, και στη δεύτερη παραμορφώνεται η σύνθεσή του και αυτό που λαμβάνει τελικά ο αποδέκτης είναι αλλοιωμένο.

Γενικά, σφάλμα σήματος ονομάζουμε οποιαδήποτε φυσική ή τεχνητή αιτία η οποία έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορεί ο αποδέκτης να αναπαραγάγει το αρχικό σήμα που εκπέμπει ο πομπός:

- Η εξασθένηση της ισχύος του σήματος με την απόσταση οφείλεται στην ηλεκτρική αντίσταση του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το μέσο μετάδοσης.
- Η παραμόρφωση πλάτους οφείλεται στη διαφορετική εξασθένηση την οποία προκαλούν τα μέσα μετάδοσης στα διαφορετικά πλάτη ενός σήματος.

- Η παραμόρφωση λόγω καθυστέρησης (delay distortion) οφείλεται στη διαφορετική ταχύτητα με την οποία μεταδίδονται μέσα στις γραμμές οι συχνότητες ενός σήματος εξαιτίας της ελαστικότητας και της πυκνότητας του συγκεκριμένου μέσου.
- Ο θόρυβος είναι κάθε ηλεκτρική ή ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, τεχνητής ή φυσικής προέλευσης, η οποία παρεμβάλλεται στο σήμα που μεταδίδεται, με αποτέλεσμα να αλλοιώνει την ποιότητά του και να προκαλεί παραμόρφωση.

Ο θόρυβος παρουσιάζεται σε όλα τα συστήματα επικοινωνιών, είτε ενσύρματα ή ασύρματα. Τα είδη του θορύβου διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τον εξωτερικό θόρυβο, ο οποίος δημιουργείται από αιτίες που προκαλούνται κάποιον παράγοντα εκτός του συστήματος επικοινωνίας όπως παράσιτα, από διάφορες ηλεκτρομηχανικές συσκευές που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από το σύστημα ή από τα λεγόμενα ατμοσφαιρικά παράσιτα, όπως είναι για παράδειγμα οι ατμοσφαιρικές εκκενώσεις. Η ένταση του θορύβου είναι αντιστρόφως ανάλογος προς τη συχνότητα και ανάλογος προς το μήκος κύματος του σήματος.

Στη δεύτερη κατηγορία θορύβου ανήκει ο εσωτερικός θόρυβος, ο οποίος προκαλείται από το ίδιο το μέσο. Θόρυβοι αυτής της μορφής είναι ο θερμικός θόρυβος (thermal noise), που προκύπτει από συγκρούσεις των ηλεκτρονίων του μέσου μετάδοσης, ο θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης (inter-modulation noise), που οφείλεται στη συνύπαρξη σημάτων διαφορετικών συχνοτήτων, όταν αυτά μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης, καθώς και η συνακρόαση (cross-talk), που προκαλείται, όταν δύο ξένα μεταξύ τους σήματα συζευχθούν για κάποιον ανεξάρτητο λόγο.

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος για την αντιμετώπιση του θορύβου είναι η μείωση του εύρους ζώνης του σήματος μέχρι κάποιο όριο ανοχής, χωρίς όμως να επηρεάζεται δραματικά ο ρυθμός μετάδοσης.

Μια σύγχρονη μέθοδος που ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις του θορύβου είναι η ψηφιακή επεξεργασία σήματος (DSP: Digital Signal Processing). Η DSP έχει την ικανότητα να διακρίνει το θόρυβο ανάμεσα στα διάφορα ψηφιακά σήματα που εκπέμπονται και να τον απομακρύνει.. Επιπλέον το σήμα παραμορφώνεται λόγω της εξασθένησης που

υφίσταται. Μερικά από τα προβλήματα που δημιουργεί η εξασθένηση μπορούν να εξομαλυνθούν με τη χρήση αναμεταδοτών

$$\text{εξασθένηση} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \text{db}$$

$$\text{ενίσχυση} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \text{db}$$

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} \left(\frac{S}{N} \right) \text{db}$$

1.9 Αναλογική Μετάδοση

Ένα μέσο μετάδοσης λειτουργεί πιο αποδοτικά και αξιόπιστα σε υψηλές συχνότητες, όπως για παράδειγμα οι συχνότητες των 70 έως 150 MHz. Το πρόβλημα ετοπίζεται στην μεταφορά σημάτων χαμηλών συχνοτήτων. Η τεχνική σύμφωνα με την οποία μεταφέρονται οι χαμηλές συχνότητες από τις υψηλές ονομάζεται διαμόρφωση (modulation), ενώ η συσκευή που το επιτυγχάνει ονομάζεται διαμορφωτής (modulator). Η διαμόρφωση χρησιμοποιεί ένα σήμα υψηλής συχνότητας, που ονομάζεται φέρον το οποίο διαμορφώνεται κατάλληλα με βάση το σήμα με τις χαμηλές συχνότητες που πρόκειται να μεταδοθεί. Οι υψηλές συχνότητες του φορέα ονομάζονται φέρουσες συχνότητες (carrier frequency)

1.9.1 Διαμόρφωση

Η διαμόρφωση γίνεται με τη μεταβολή κάποιου χαρακτηριστικού της φέρουσας κυματομορφής, όπως το πλάτος, η συχνότητα ή η φάση της με βάση το σήμα χαμηλών συχνοτήτων που πρόκειται να μεταφερθεί από το μέσο μετάδοσης. Το διαμορφωμένο σήμα στέλνεται στον αποδέκτη, ο οποίος με τη σειρά του αποδιαμορφώνει το σήμα που

λαμβάνει και εξάγει το σήμα χαμηλών συχνοτήτων που περιέχει τη μεταδιδόμενη πληροφορία.

Η διαδικασία που επαναφέρει το διαμορφωμένο σήμα στην κανονική του μορφή ονομάζεται αποδιαμόρφωση (demodulation) και η συσκευή λέγεται αποδιαμορφωτής (demodulator). Οι διαδικασίες της διαμόρφωσης- αποδιαμόρφωσης γίνονται συνήθως από την ίδια συσκευή που ονομάζεται MODEM (Modulator - Demodulator).

1.9.2 Είδη διαμόρφωσης

Σε όλα τα είδη διαμόρφωσης αυτό που γίνεται είναι η μετάδοση ενός αναλογικού σήματος (φορέα) επάνω στο οποίο προστίθεται το ψηφιακό σήμα, μεταβάλλοντας ένα ή περισσότερα από τα χαρακτηριστικά του φέροντος σήματος. Υπάρχουν τρεις μορφές διαμόρφωσης:

- Διαμόρφωση πλάτους (AM: Amplitude Modulation)
- Διαμόρφωση συχνότητας (FM: Frequency Modulation)
- Διαμόρφωση φάσης (PM: Pulse Modulation)

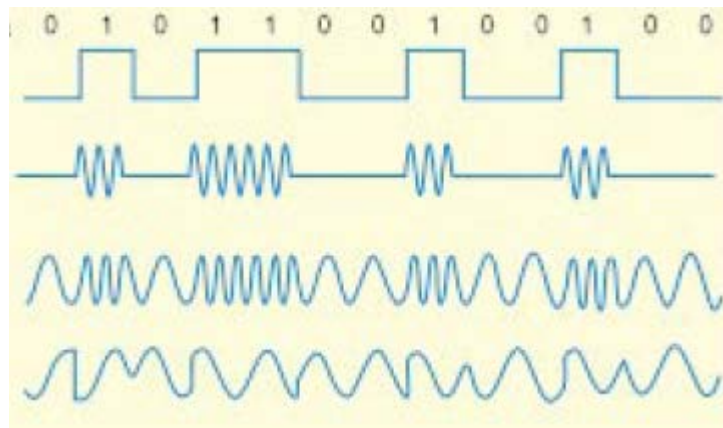
Στη διαμόρφωση πλάτους το πλάτος του αναλογικού σήματος-φορέα που μεταδίδεται μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος. Το φέρον μπορεί να αναπαραστήσει τα δύο ψηφία 1 και 0 μεταβάλλοντας το πλάτος του σε δύο συγκεκριμένα επίπεδα. Το ψηφίο 1 αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη στάθμη και το ψηφίο 0 στη μικρότερη.

Στη διαμόρφωση συχνότητας, έχουμε μεταβολή της συχνότητας του φέροντος σήματος για την αναπαράσταση του ψηφιακού σήματος. Έτσι το ψηφίο 0 αναπαριστάται από ένα σήμα χαμηλής συχνότητας ενώ το 1 με ένα φέρον σήμα υψηλής συχνότητας.

Στη διαμόρφωση ή μετατόπιση φάσης (PSK: Phase Shift Keying) μετατοπίζεται η φάση του αναλογικού σήματος (φορέα) ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος που μεταδίδεται από το διαποδιαμορφωτή. Με την είσοδο των ψηφίων 0 και 1, μόνο η φάση του σήματος αλλάζει. Στην απλούστερη των περιπτώσεων το ψηφίο 1 μπορεί να

επιφέρει μετατόπιση της φάσης του κατά 180 μοίρες σε σχέση με την προηγούμενη φάση του αναλογικού σήματος, ενώ το ψηφίο 0 δεν επιφέρει καμιά αλλαγή φάσης.

Στη διαφορική διαμόρφωση φάσης (DPSK: Differential PSK), δε χρειάζεται το σταθερό σήμα, γιατί δε συγκρίνονται οι ίδιες οι φάσεις του φέροντος αλλά η μεταξύ τους σχέση. Τα ψηφία κωδικοποιούνται σε σχέση με κάποια μεταβολή της φάσης του φέροντος. Μετατοπίσεις φάσεων συμβαίνουν σε κάθε μεταβολή από το ψηφίο 0 ή 1, ανεξάρτητα από τον τρόπο με τον οποίο αυτά μεταδίδονται



Σχήμα 8. Τρόποι Διαμόρφωσης Ψηφιακού σήματος (Πλάτους, Συχνότητας, Φάσης)

1.9.3 Μετάδοση Βασικής και Ευρείας Ζώνης

Στην μετάδοση βασικής ζώνης (baseband transmission) διαμέσου ηλεκτρικών καλωδίων, το σήμα μεταδίδεται απευθείας ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη. Ένα μόνο bit μπορεί να μεταδοθεί κάθε φορά και πολυπλεξία επιτυγχάνεται μόνο με χρονικό καταμερισμό (Time Division Multiplexing, TDM).

Η μετάδοση ευρείας ζώνης (broadband transmission) δεν χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό σήμα απευθείας. Το ηλεκτρικό σήμα χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει κάποιο χαρακτηριστικό (πχ το πλάτος) ενός άλλου σήματος, που ονομάζεται φέρον (carrier) και που αποτελεί το σήμα που τελικά θα μεταδοθεί. Συνήθως, το φέρον έχει πολύ μεγαλύτερη συχνότητα από το σήμα που μεταφέρει την πληροφορία. Στην μετάδοση ευρείας ζώνης η πολυπλεξία μπορεί να επιτευχθεί και με διαίρεση συχνοτήτων (FDM). Στην πολυπλεξία FDM, η μετάδοση των ρών δεδομένων μπορεί να γίνει ταυτόχρονα

και με μικρότερες απαιτήσεις αναμετάδοσης σε σχέση με τη μετάδοση βασικής ζώνης. Η ανάκτηση της πληροφορίας στον προορισμό, γίνεται με την αντίστροφη διαδικασία, που ονομάζεται αποδιαμόρφωση. Οι συσκευές που διαμορφώνουν το φέρον κατά την μετάδοση και το αποδιαμορφώνουν στην λήψη, ονομάζονται modems.

2. Ψηφιακή Μετάδοση

2.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια οι απαιτήσεις για μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων οδήγησαν στην έρευνα για αποδοτικότερους τρόπους μετάδοσης. Έτσι η ψηφιακή μετάδοση είναι αυτή που εξελίσσεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Η διαμόρφωση στην ψηφιακή μετάδοση επιτυγχάνεται ως εξής: ένα αναλογικό σήμα διαμορφώνει ένα ψηφιακό φέρον, δηλαδή μια σειρά παλμών των οποίων μεταβάλλει το πλάτος, και κατόπιν το σήμα που προκύπτει αποστέλλεται για μετάδοση.

Η διαμόρφωση του ψηφιακού φέροντος γίνεται ανάλογα με το αναλογικό σήμα, με τους εξής τρόπους:

- Μέθοδος διαμόρφωσης διάρκειας παλμών (PDM: Pulse Duration Modulation),
- Μέθοδος διαμόρφωσης θέσης παλμών (PPM: Pulse Position Modulation).
- Παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM: PulseCode Modulation), σύμφωνα με την οποία τα αναλογικά σήματα μετατρέπονται σε σειρές ψηφίων κατά παρόμοιο τρόπο με τα δεδομένα των υπολογιστών.

2.2 Παλμοκωδική Διαμόρφωση (PCM)

Η ψηφιακή μετάδοση σημάτων πληροφορίας, όπως τα φωνητικά δεδομένα ή δεδομένα εικόνας, τα οποία είναι από τη φύση τους αναλογικά, απαιτεί τα σήματα αυτά να μετατραπούν σε ψηφιακά. Η χρήση της ψηφιακής αναπαράστασης των αναλογικών σημάτων προσφέρει τα παρακάτω πλεονεκτήματα :

1. Αντοχή (ruggedness) στο θόρυβο μετάδοσης και στην παρεμβολή,
2. Αποτελεσματική αναμετάδοση (regeneration) του κωδικοποιημένου σήματος κατά μήκος της διαδρομής μετάδοσης και

3. Δυνατότητα ομοιόμορφου σχήματος (uniform format) μετάδοσης για διαφορετικά είδη σημάτων βασικής ζώνης.

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος μετάδοσης ψηφιακών δεδομένων με τη χρήση διαύλων επικοινωνίας ευρείας ζώνης είναι η Παλμοκωδική Διαμόρφωση (PCM pulse-code modulation). Όπως είπαμε τα βασικά στάδια της διαμόρφωσης ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό είναι τρία: η δειγματοληψία (sampling), η κβαντοποίηση (quantizing), και η κωδικοποίηση (encoding).

Οι λειτουργίες κβαντοποίησης και κωδικοποίησης, συνήθως εκτελούνται με το ίδιο κύκλωμα, το οποίο ονομάζεται μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό (analog - to - digital converter). Οι ουσιώδεις λειτουργίες ενός δέκτη μπορεί να είναι είτε η ενίσχυση και αναμετάδοση (regeneration) των εξασθετισμένων σημάτων, ή η αποκωδικοποίηση (decoding) και αποδιαμόρφωση (demodulation) της ακολουθίας των κβαντισμένων σημάτων. Η ενίσχυση και αναμετάδοση (regeneration) συνήθως εμφανίζεται σε ενδιάμεσα στάδια κατά μήκος της διαδρομής μετάδοσης, όπου είναι απαραίτητο.

2.2.1 Δειγματοληψία

Η διαδικασία της δειγματοληψίας βασίζεται στο θεώρημα δειγματοληψίας για σήματα περιορισμένου εύρους ζώνης. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα παίρνονται δείγματα από το πλάτος του αναλογικού σήματος που θα μεταδοθεί και με βάση αυτά καθορίζεται το πλάτος των αντίστοιχων παλμών του φέροντος σήματος. Με βάση το θεώρημα του Nyquist , η συχνότητα δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από το εύρος ζώνης που καλύπτει το σήμα. Έτσι αν θέλουμε να μεταδώσουμε ένα ηχητικό σήμα με εύρος ζώνης 4.000 Hz για την πιστή αναπαραγωγή του απαιτούνται 8.000 δείγματα το δευτερόλεπτο.

Κατά την διαδικασία λοιπόν της δειγματοληψίας, λαμβάνονται δείγματα της εισερχόμενης κυματομορφής πληροφορίας με μια ακολουθία ορθογώνιων παλμών σύμφωνα με το θεώρημα δειγματοληψίας. Στην πραγματικότητα πριν να εισάγουμε το σήμα για δειγματοληψία χρησιμοποιείται ένα φίλτρο έτσι ώστε να απορρίπτονται συχνότητες μεγαλύτερες από το επιτρεπτό όριο πριν από την δειγματοληψία.



Σχήμα 9. PCM

Στην περίπτωση της ανθρώπινης ομιλίας, είναι αρκετό το εύρος συχνοτήτων 0-4000Hz. Συνεπώς χρησιμοποιείται ένα φίλτρο το οποίο επιτρέπει τη διέλευση των συχνοτήτων στο φάσμα 0-4000Hz ενώ αποκόπτει τις υπόλοιπες συχνότητες. Η μέγιστη συχνότητα του σήματος πληροφορίας θα είναι $f_{\max} = 4000\text{Hz}$. Σύμφωνα με το θεώρημα δειγματοληψίας θα έχουμε όλη την πληροφορία που περιέχει το φάσμα μιας συνδιάλεξης αν μεταδώσουμε από το φάσμα αυτό τουλάχιστο 8000 δείγματα ανά sec, η αλλιώς η συχνότητα δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι ίση με 8000Hz.

2.2.2 Κβαντισμός

Ένα συνεχές σήμα, όπως η φωνή, έχει συνεχές πεδίο τιμών πλάτους. Με άλλα λόγια οι τιμές ενός αναλογικού σήματος μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή μέσα από το πεδίο τιμών του και συνεπώς είναι άπειρες.

Στην ψηφιακή αναπαράσταση δεν γίνεται να περιγραφούν όλες οι δυνατές τιμές του σήματος αλλά μόνο κάποιο πεπερασμένο υποσύνολο αυτών κάποιες δηλαδή συγκεκριμένες στάθμες. Επιπλέον δεν είναι απαραίτητο να μεταδίδουμε τα ακριβή πλάτη των δειγμάτων αφού η ανθρώπινη αίσθηση μπορεί να ανιχνεύσει πεπερασμένες διαφορές έντασης. Αυτό σημαίνει ότι το αρχικό συνεχές σήμα μπορεί να προσεγγιστεί από ένα σήμα το οποίο κατασκευάζεται από διακριτά πλάτη. Αν καθορίσουμε διακριτές στάθμες πλάτους με αρκετά μικρό βήμα μεταξύ τους, μπορούμε να κάνουμε το τελικό σήμα να μη ξεχωρίζει πρακτικά από το αρχικό συνεχές σήμα. Μια διακριτή τιμή μήκους n bits μπορεί να περιγράψει 2^n στάθμες μέσα από το πεδίο τιμών του σήματος. Συνεπώς ο αριθμός των απαιτούμενων bit αναπαράσταση L αριθμού στάθμεων είναι :

$$n = \log_2 L$$

Αν λοιπόν το εύρος ζώνης του μέσου είναι f_m η συχνότητα δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον $2 \cdot f_m$ συνεπώς οι παλμοί που μεταδίδονται είναι $n \cdot 2 \cdot f_m$.

Η μετατροπή ενός αναλογικού (συνεχούς) δείγματος του σήματος σε μια ψηφιακή (διακριτή) μορφή καλείται διαδικασία κβαντοποίησης (quantizing). Αφού οριστούν οι στάθμες, στο στάδιο της κβαντοποίησης βρίσκουμε την πλησιέστερη στάθμη για κάθε τιμή που προέκυψε από τη δειγματοληψία και την αντιστοιχούμε στην τιμή αυτή. Η διαφορά μεταξύ δύο γειτονικών διακριτών τιμών ονομάζεται κβάντο (quantum) ή μέγεθος βήματος (step - size). Οι διαφορές μεταξύ του αναλογικού σήματος στην είσοδο με το κβαντισμένο σήμα στην έξοδο ονομάζεται σφάλμα κβαντισμού (quantizing error).

Η διαδικασία κβαντοποίησης, μπορεί να χρησιμοποιεί είτε ομοιόμορφη απόσταση μεταξύ των στάθμων. Πολλές φορές όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεταβλητή απόσταση μεταξύ των επιπέδων κβαντισμού. Σήματα μεγάλου πλάτους κβαντοποιούνται με μεγάλα βήματα, ενώ τα μικρού πλάτους με μικρά βήματα. Γι αυτό χρησιμοποιείται ένας μη ομοιόμορφος κβαντιστής με το χαρακτηριστικό ότι το μέγεθος του βήματος αυξάνει στις μεγάλες στάθμες πλάτους, οι οποίες συμβαίνουν σχετικά σπάνια. Έτσι επιτυγχάνεται μια ποσοστιαία ομοιόμορφη ακρίβεια στο μεγαλύτερο τμήμα του πεδίου τιμών του σήματος εισόδου, με αποτέλεσμα να απαιτούνται λιγότερα βήματα από ότι στη περίπτωση που θα χρησιμοποιούνταν ομοιόμορφος κβαντιστής. Η χρήση ενός μη ομοιόμορφου κβαντιστή επιτυγχάνεται με τη διαδικασία της συστολής ή συμπίεσης. Κατά τη λήψη του σήματος εφαρμόζεται η αντίστροφη διαδικασία της διαστολής ή αποσυμπίεσης του σήματος στην αντίστοιχη σωστή στάθμη. Ο συνδυασμός ενός συμπίεστη και ενός αποσυμπίεστη ονομάζεται συμπίεστης - αποσυμπίεστης (comprander).

Στην πραγματικότητα τα κυκλώματα συμπίεσης - αποσυμπίεσης στην διαμόρφωση PCM παράγουν μια τμηματικά γραμμική προσέγγιση της επιθυμητής καμπύλης, χρησιμοποιώντας όμως έναν αρκετά μεγάλο αριθμό γραμμικών τμημάτων, η προσέγγιση μπορεί να πλησιάσει αρκετά την αληθινή καμπύλη συμπίεσης.

2.2.3 Κωδικοποίηση

Με τη δειγματοληψία και την κβαντοποίηση, ένα συνεχές σήμα αναπαριστάται σε ένα διακριτό σύνολο τιμών, αλλά όχι στην καλύτερη δυνατή μορφή για μετάδοση μέσω ενός ραδιοδιαύλου. Για τη σωστή μετάδοση του σήματος απαιτείται η διαδικασία της κωδικοποίησης (encoding) για τη μετατροπή των τιμών των δειγμάτων σε μια πιο κατάλληλη μορφή. Η αντιστοίχιση της κάθε διακριτής τιμής με ένα στοιχείο ή ένα σύμβολο λέγεται κώδικας. Για παράδειγμα η παρουσία ή η απουσία ενός παλμού είναι ένα σύμβολο. Σε ένα δυαδικό κώδικα (binary code) κάθε σύμβολο μπορεί να πάρει μια από δύο διακριτές τιμές. Τα δύο σύμβολα ενός δυαδικού κώδικα είναι το 0 και 1. Οι διακριτές τιμές που προκύπτουν από την κβαντοποίηση θα μπορούσαν να αναπαρασταθούν και με κάποιον άλλο κώδικα εκτός από τον δυαδικό. Σε ένα τριαδικό κώδικα (ternary code), κάθε σύμβολο μπορεί να είναι μια από τρεις διακριτές τιμές. Ωστόσο, τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την επίδραση του θορύβου σε ένα μέσο μετάδοσης, επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας δυαδικό κώδικα και αυτό επειδή ένα δυαδικό σύμβολο αντέχει μια σχετικά υψηλή στάθμη θορύβου και είναι εύκολο να αναγεννηθεί.

2.2.4 PCM Πρώτης Τάξης

Τα δείγματα κωδικοποιούνται χρησιμοποιώντας 8 bits. Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών δειγματοληψιών του ίδιου σήματος ονομάζεται πλαίσιο (frame) και ισούται με $1/8000 \text{ Hz} = 125 \mu\text{s}$. Στο διάστημα αυτό μεταδίδονται κωδικοποιημένα τα δείγματα όλων των καναλιών του συστήματος. Στην Ευρώπη ένα πλαίσιο περιλαμβάνει 32 κανάλια και ονομάζεται Πρώτης Τάξης ενώ στο αμερικάνικο PCM σύστημα 24. Συνεπώς στην Ευρώπη η διάρκεια ενός καναλιού είναι $125/32=3,9\mu\text{s}$. Το διάστημα αυτό ονομάζεται χρονοθυρίδα (Time slot) και υποδιαιρείται σε 8 τμήματα, ένα για κάθε bit.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κωδικοποίησης του κάθε σήματος. Ένας από αυτούς είναι η διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (Differential PCM). Βασική προϋπόθεση στην κωδικοποίηση αυτή είναι ότι το πλάτος σήματος μεταβάλλεται σχετικά αργά συγκρινόμενο με το ρυθμό δειγματοληψίας. Η κωδικοποίηση αυτή λοιπόν συνίσταται

στην εξαγωγή και μετάδοση όχι του ψηφιοποιημένου πλάτους αλλά της διαφοράς της τρέχουσας τιμής από την προηγούμενη τιμή του πλάτους. Εφόσον άλματα του $+1$ ή -16 είναι σπάνια σε μια κλίμακα του 128, αρκούν το πολύ 5 bit για την αναπαράσταση της διαφοράς αυτής. Σε απότομες αλλαγές του πλάτους θα χρειαστεί κάποιο χρονικό διάστημα ώστε το παλμοκωδικό σήμα να πιάσει τις πραγματικές τιμές.

Μια άλλη κωδικοποίηση είναι η διαμόρφωση δέλτα. Σύμφωνα με αυτή κάθε τιμή του σήματος διαφέρει από την προηγούμενη κατά $+1$ ή -1 , οπότε σε κάθε περίπτωση θα μεταδοθεί μόνο ένα bit, το 1 ή το 0 αντίστοιχα. Η κωδικοποίηση αυτή μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα αν το σήμα μεταβάλλεται απότομα.

Τέλος μια βελτίωση του διαφορικού PCM είναι η προγνωστική κωδικοποίηση. Η κωδικοποίηση αυτή χρησιμοποιεί κάποιο αλγόριθμο πρόγνωσης με βάση τις προηγούμενες τιμές για να προβλέψει τις επόμενες και έτσι να προλάβει τυχόν ραγδαίες μεταβολές του σήματος.

2.2.5 Αναγέννηση

Όπως είδαμε η αναγέννηση ενός σήματος είναι η ενίσχυσή του και αναμετάδοσή του σε περίπτωση εξασθένησης. Στην PCM διαμόρφωση υπάρχει η δυνατότητα επιδιόρθωσης της παραμόρφωσης και του θορύβου που παράγονται κατά την μετάδοση μιας κυματομορφής μέσω ενός διαύλου. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανακατασκευή της κυματομορφής PCM μέσω μιας αλυσίδας αναγεννητικών επαναληπτών (repeaters) που είναι τοποθετημένοι σε αρκετά μικρή απόσταση κατά μήκος της διαδρομής μετάδοσης. Η αναγέννηση επιτυγχάνεται με τρεις βασικές λειτουργίες:

Ισοστάθμιση (equalization). Οι λαμβανόμενοι παλμοι μορφοποιούνται έτσι ώστε να αντισταθμίζεται η επιδράση παραμόρφωσης πλάτους και φάσης.

Χρονισμός (timing). Το κύκλωμα χρονισμού περιέχει μια περιοδική ακολουθία παλμών, που παράγεται από τους λαμβανόμενους παλμούς και καθορίζει το χρόνο δειγματολειτουργίας των ισοσταθμισμένων παλμών.

Λήψη απόφασης (decision making). Η λήψη απόφασης από τον επαναλήπτη ενεργοποιείται όταν στο χρόνο που καθορίζεται από το κύκλωμα χρονισμού, ο

επαναλήπτης πρέπει να πάρει μια απόφαση για το κατά πόσο υπάρχει ή όχι παλμός. Εάν η απόφαση είναι "ναι", μεταδίδεται ένας καινούργιος παλμός προς το επόμενο επαναλήπτη. Αν από την άλλη πλευρά η απόφαση είναι "όχι", μεταδίδεται μια καθαρή μηδενική στάθμη. Στην ιδανική περίπτωση, εκτός από την καθυστέρηση, το αναδημιουργούμενο σήμα είναι ακριβώς το ίδιο όπως το αρχικά μεταδιδόμενο σήμα.

2.2.6 Αποκωδικοποίηση και Φιλτράρισμα

Κατά τη λήψη του σήματος στο δέκτη διενεργείται αναγέννηση των λαμβανόμενων παλμών. Στη συνέχεια οι παλμοί ομαδοποιούνται ξανά σε κωδικές λέξεις και αποκωδικοποιούνται σε ένα κβαντισμένο σήμα PAM. Η τελική λειτουργία στον δέκτη είναι η ανάκτηση της κυματομορφής σήματος αφού το σήμα περάσει από ένα φίλτρο του οποίου η συχνότητα αποκοπής είναι ίση με το εύρος ζώνης W της πληροφορίας.

2.2.7 Πολυπλεξία

Η ανάγκη για μετάδοση όσο γίνεται περισσότερων δεδομένων ταυτόχρονα μέσα από ένα κανάλι μετάδοσης οδήγησε στην ανάπτυξη μεθόδων πολλαπλής εκμετάλλευσης του μέσου μετάδοσης. Η Πολυπλεξία λοιπόν είναι η πολλαπλή εκμετάλλευση του μέσου έτσι ώστε την ίδια χρονική στιγμή να μεταδίδεται παράλληλα μεγάλος αριθμός σημάτων επικοινωνούντων χρηστών. δηλαδή τη διαδικασία αποστολής διακριτών σημάτων από την ίδια γραμμή επικοινωνίας και την ταυτόχρονη και χωρίς αλληλεπιδράσεις μετάδοσή τους. Η τεχνική της πολυπλεξίας αποτελεί βασικό παράγοντα προκειμένου να επιτευχθεί μείωση του κόστους επικοινωνίας. Επίσης η τεχνική αυτή διευκολύνει την καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων τηλεπικοινωνιακών αγαθών. Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι πολυπλεξίας, τις οποίες θα αναπτύξουμε αναλυτικότερα στη συνέχεια:

- Πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας (FDM: Frequency Division Multiplexing)
- Πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου (TDM: Time Division Multiplexing)

Η πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας (FDM - Frequency Division Multiplexing) χρησιμοποιείται και στην αναλογική μετάδοση. Το αρχικό εύρος ζώνης του μέσου

(φυσικό κανάλι) επιμερίζεται σε πολλές μικρότερες ζώνες συχνότητας, τα λεγόμενα λογικά κανάλια, ώστε κάθε χρήστης να κατέχει αποκλειστικά τη δική του ζώνη συχνότητας. Λογικό κανάλι είναι κάθε ξεχωριστή γραμμή μεταφοράς που συνδέεται με την κύρια γραμμή επικοινωνίας (φυσικό κανάλι) και έχει πάντοτε μικρότερο ή ίσο εύρος ζώνης με αυτήν.

Στην πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου (TDM - Time Division Multiplexing) οι χρήστες εναλλάσσονται κυκλικά, σαν να βρίσκονται γύρω από στρογγυλό τραπέζι, και καθένας από αυτούς παίρνει όλο το εύρος ζώνης του φυσικού καναλιού για σύντομο συνήθως αλλά πλήρως καθορισμένο χρονικό διάστημα. Η πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στην ψηφιακή μετάδοση. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, όταν έχουμε πολλές εισόδους που μοιράζονται το ίδιο ψηφιακό κανάλι, δημιουργείται μια νέα ροή δυαδικών ψηφίων, που προκύπτει από το συνδυασμό των δυαδικών ψηφίων όλων των επιμέρους ροών κυκλοφορίας.

Σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν PCM, είναι φυσικό να πολυπλέκονται διάφορες πηγές πληροφορίας με διαίρεση στο χρόνο, ενώ κάθε πηγή κρατάει την ανεξαρτησία της, καθ' όλη τη διαδρομή από τον πομπό στον δέκτη έτσι ώστε να μπορεί να ανασυνταχθεί η πληροφορία στον δέκτη. Καθώς ο αριθμός των ανεξάρτητων πηγών πληροφορίας αυξάνει, το διάστημα χρόνου που διατίθεται σε μία πηγή μειώνεται. Η μείωση του διαστήματος αυτού μειώνει και το μήκος της λέξης που παριστάνει ένα απλό δείγμα. Η παραγωγή και μετάδοση των παλμών τείνει να γίνει δυσκολότερη καθώς η διάρκειά τους μειώνεται αφού εάν οι παλμοί γίνουν πολύ μικροί, αυξάνονται τα σφάλματα στο μέσο μετάδοσης. Έτσι λοιπόν θα πρέπει ο αριθμός των ανεξάρτητων πηγών να είναι περιορισμένος.

2.2.8 Συγχρονισμός

Το κανάλι "0" στα πλαίσια με περιττό αριθμό (δηλ στο 1^ο, το 3^ο κ.ο.κ.) χρησιμοποιείται για το συγχρονισμό πομπού και δέκτη και αποστέλλεται η ειδική λέξη 0011011 για τον συγχρονισμό, ενώ στα άρτια πλαίσια περιέχει σήματα που χρησιμοποιούνται για ειδικούς σκοπούς.

Για να μπορέσει να λειτουργήσει ικανοποιητικά ένα σύστημα PCM με πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου, είναι απαραίτητος ο συγχρονισμός των λειτουργιών χρονισμού στον δέκτη με τις αντίστοιχες λειτουργίες στον πομπό. Γενικά, αυτό ισοδυναμεί με ότι το τοπικό ρολόι στο δέκτη πρέπει να κρατάει τον ίδιο χρόνο με ένα σταθερό μακρινό ρολόι στον πομπό, εκτός του ότι το τοπικό ρολόι καθυστερεί κατά ένα διάστημα που αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για τη μετάδοση του σήματος πληροφορίας από τον πομπό στον δέκτη. Ένας τρόπος για τον συγχρονισμό των ρολογιών πομπού και δέκτη είναι να προστεθεί ένα στοιχείο του κώδικα ή παλμός στο τέλος ενός πλαισίου (frame) και να μεταδίδει τον παλμό αυτό σε κάθε πλαίσιο. Σε μια τέτοια περίπτωση, ο δέκτης περιλαμβάνει ένα κύκλωμα το οποίο ψάχνει για το σχηματισμό εναλλασσόμενων 1 και 0, με ρυθμό το μισό του ρυθμού πλαισίων, και έτσι επιτυγχάνει συγχρονισμό μεταξύ του πομπού και του δέκτη.

Στην περίπτωση που η μετάδοση διακόπτεται είναι δύσκολο τα ρολόγια πομπού και δέκτη να συνεχίσουν να είναι συγχρονισμένα. Συνεπώς, κατά την εκτέλεση μιας διαδικασίας συγχρονισμού πρέπει να ορίσουμε μια διαφορετική διαδικασία για την ανίχνευση του παλμού συγχρονισμού. Η τεχνική συνίσταται στην παρατήρηση στοιχείων του κώδικα ένα προς ένα, έτσι ώστε κάποια στιγμή να ανιχνευτεί ο παλμός συγχρονισμού. Έτσι, αν μετά την παρατήρηση κάποιου συγκεκριμένου στοιχείου του κώδικα βρεθεί ότι δεν είναι παλμός συγχρονισμού, το ρολόι του δέκτη οπισθοχωρεί κατά ένα στοιχείο κώδικα και παρατηρείται το επόμενο στοιχείο κώδικα. Αυτή η διαδικασία αναζήτησης επαναλαμβάνεται μέχρι να βρεθεί ο παλμός συγχρονισμού. Προφανώς, ο χρόνος που απαιτείται για τον συγχρονισμό εξαρτάται από την στιγμή κατά την οποία επανακαθίσταται η σωστή μετάδοση.

Με τη χρήση πολυπλεξίας προκύπτουν συστήματα PCM δεύτερης, τρίτης κ.ο.κ. τάξης. Ο συγχρονισμός των συστημάτων που χρησιμοποιούν πολυπλεξία είναι απαραίτητος και οι απαιτήσεις που τίθενται είναι οι εξής:

- A. Οι εισερχόμενοι και εξερχόμενοι συρμοί πρέπει να μεταβιβάζονται με την ίδια ταχύτητα.
- B. Τα bits των διαφόρων συρμών πρέπει να αρχίζουν και να τελειώνουν συγχρόνως.
- Γ. Το πρώτο bit του πρώτου καναλιού όλων των εισερχόμενων συρμών πρέπει να καταφθάνει την ίδια χρονική στιγμή.

Για να επιτευχθεί ο συγχρονισμός των συρμών ακολουθούνται οι εξής μέθοδοι:

Ασύγχρονα δίκτυα. Στα δίκτυα αυτά δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις οι εισερχόμενοι και εξερχόμενοι συρμοί δεν μεταβιβάζονται με την ίδια ταχύτητα και τα bits των συρμών δεν αρχίζουν και τελειώνουν ταυτόχρονα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται δύο κύρια προβλήματα:

- Η αντιστοιχία μεταξύ των bits των εισερχόμενων συρμών με τα bits των εσωτερικών συρμών του κέντρου μεταβάλλεται συνεχώς. Αυτό αντιμετωπίζεται με τη χρήση ενός buffer για την ενταμίευση κάθε εισερχόμενου πλαισίου και την ανάγνωση από τον buffer των ξεχωριστών καναλιών σύμφωνα με το ρυθμό των εσωτερικών καναλιών του κέντρου.
- Επίσης άλλο ένα πρόβλημα είναι ότι ανάλογα με την απόκλιση είτε πρέπει να χάνονται περισσότερο ή λιγότερο συχνά ορισμένα bits ή να προστίθενται bits ώστε να ευθυγραμμίζονται τα πλαίσια των συρμών. Αυτό οδηγεί σε απώλεια ενός πλήρους πλαισίου αν η παροχή του εισερχόμενου συρμού είναι μεγαλύτερη από την εσωτερική παροχή. Αντίθετα στην περίπτωση που η εσωτερική παροχή είναι μεγαλύτερη τότε πρέπει να προστίθεται ένα πλαίσιο.

Πλησιοσύγχρονα συστήματα. Στα συστήματα αυτά η απόκλιση είναι πολύ μικρή μεταξύ των παροχών και γι αυτό το λόγο για να αντιμετωπιστεί η απόκλιση αυτή, μέσα στο συρμό PCM υπάρχουν κενές διαθέσιμες θέσεις στις οποίες μπορούν να προστεθούν ή να αφαιρεθούν bits για να μειωθεί ή αυξηθεί το μέγεθος του πλαισίου.

Σύγχρονα συστήματα. Στα συστήματα αυτά υπάρχει ένα κεντρικό ρολόι που προσδιορίζει το ρυθμό παροχής συρμών σε όλα τα συστήματα.

Αυτοσυγχρονιζόμενα συστήματα. Από το ρυθμό μετάδοσης συρμών σε ένα κέντρο υπολογίζεται ένας μέσος ρυθμός. Ο μέσος αυτός χρησιμοποιείται στο κέντρο και για την παροχή των εσωτερικών και εξερχόμενων από αυτό συρμών. Οι αποκλίσεις εξουδετερώνονται σε μεγάλο βαθμό από το σχηματισμό της μέσης τιμής. Η δεύτερη προϋπόθεση εξασφαλίζεται από τη χρήση ενός ταμιευτή στον οποίο γίνεται εγγραφή των εισερχόμενων συρμών σύμφωνα με το ρυθμό άφιξης και ανάγνωση σύμφωνα με τον εσωτερικό ρυθμό.

2.3 Πλησιοχρονα συστήματα - PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy - Πλησιόχρονη ψηφιακή μετάδοση)

Όπως είπαμε η πολυπλεξία οδηγεί σε συστήματα PCM ανώτερης τάξης. Τα πλησιοσύγχρονα συστήματα που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη είναι τα εξής:

- Σύστημα DS-1E πρώτης τάξης με ρυθμό 2,046 Mbit/s
- Συστήματα DS-2E δεύτερης τάξης που προκύπτουν από την πολύπλεξη τεσσάρων συστημάτων PCM πρώτης τάξης και υποστηρίζουν $4 \times 32 = 120$ κανάλια και παροχή 8,448 Mbit/s
- Συστήματα DS-3E τρίτης τάξης που υποστηρίζουν $4 \times 120 = 480$ κανάλια και παροχή 34,368 Mbit/s
- Συστήματα DS-4E τετάρτης τάξης που προκύπτουν από την πολύπλεξη τεσσάρων συστημάτων PCM τρίτης τάξης και υποστηρίζουν $4 \times 480 = 1920$ κανάλια και παροχή 139,264 Mbit/s.

Σε Αμερική και Ιαπωνία επειδή το PCM πρώτης τάξης αποτελείται από 24 κανάλια έχουμε τα εξής συστήματα ανώτερης τάξης:

- Σύστημα DS-1 πρώτης τάξης με ρυθμό 1,544 Mbit/s
- Συστήματα DS-2 δεύτερης τάξης που υποστηρίζουν $4 \times 24 = 96$ κανάλια και παροχή 6,312 Mbit/s
- Συστήματα DS-3 τρίτης τάξης που υποστηρίζουν $5 \times 96 = 480$ κανάλια και παροχή 32,064 Mbit/s ή $7 \times 96 = 672$ κανάλια και παροχή 44,736 Mbit/s.

2.4 Σύγχρονη και Ασύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία

Τα διάφορα πλησιοσύγχρονα συστήματα που χρησιμοποιούνται δημιούργησαν μια πλησιόχρονη ψηφιακή ιεραρχία. Το 1998 η CCITT καθιέρωσε μια τυποποίηση ψηφιακών συστημάτων για μια ενιαία ψηφιακή ιεραρχία σύγχρονης μετάδοσης SDH (Synchronous Digital Hierarchy) παγκοσμίως. Συγκεκριμένα καθιερώθηκε το πλαίσιο σύγχρονου τρόπου μεταφοράς STM (Synchronous Transfer Mode) με ταχύτητα 155520 kbit/s που προκύπτει τόσο από την ευρωπαϊκή όσο και από την αμερικανική πλησιοχρονη ιεραρχία. Τα σήματα που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία της πολυπλεξίας στο SDH είναι σήματα του PDH. Το αποτέλεσμα της πολυπλεξίας είναι η δημιουργία ενός STM πλαισίου. Ο όρος σύγχρονη στο SDH προέρχεται από το γεγονός ότι η διαδικασία της πολυπλεξίας πλησιοσύγχρονων σημάτων (plesiochronous tributaries) για το σχηματισμό των STM-n πλαισίων (τα πλαίσια μετάδοσης του SDH) έχει σύγχρονη δομή.

Από τα πλαίσια STM-1 δημιουργούνται τα συστήματα STM ανώτερης τάξης. Αν n από αυτά τα πλαίσια συγχωνευτούν, παράγεται ένα STM- n πλαίσιο. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η ταχύτητα μετάδοσης των διαφόρων συστημάτων STM.

Πλαίσιο SDH	Ρυθμός μετάδοσης (Kbit/s)
Ραδιοηλεκτρική και δορυφορική μετάδοση	51840
STM-1	155520
STM-4	622080 1224160
STM-16	2488320
STM-64	9953280

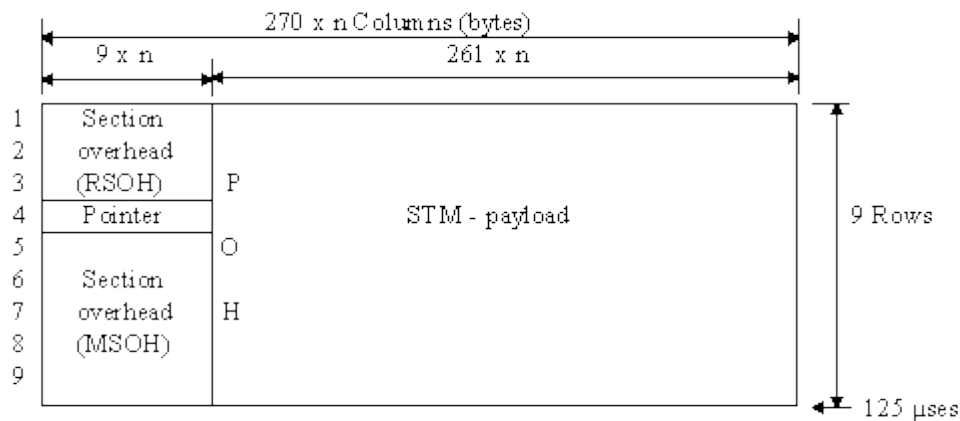
Πίνακας 1. Συστήματα STM ανώτερης τάξης

Η συγχώνευση των STM-1 πλαισίων για τη δημιουργία του STM-n πλαισίου στηρίζεται στην τεχνική της πολυπλεξίας με διαπλοκή των bytes (byte-interleaved-multiplexing), η οποία σχηματίζει τη m-ιοστή n-άδα bytes του STM-n από τα (n τον αριθμό) m-ιοστά bytes των επιμέρους STM-1 πλαισίων (η σειρά με την οποία λαμβάνονται τα n bytes από τα STM-1 πλαίσια είναι πάντοτε σταθερή).

Η στοιχειώδης μονάδα πληροφορίας στη δομή της σύγχρονης πολυπλεξίας είναι το container στο οποίο αποθηκεύονται όλα τα Ευρωπαϊκά και Αμερικανικά πλησιόχρονα σήματα πριν την πολυπλεξία. Η προσθήκη στο container ενός header που περιέχει πληροφορία για το μονοπάτι (POH - Path OverHead), καταλήγει στη δημιουργία ενός νοητού container (VC - Virtual Container). Το ωφέλιμο φορτίο (payload) που το STM-1 πλαίσιο μπορεί να μεταφέρει μπορεί να είναι ένα VC-4 (νοητό container προερχόμενο από ένα DS-4 σήμα). Τότε, το ωφέλιμο φορτίο (payload) του STM-1 πλαισίου αποτελείται από μια στήλη των 9 bytes για το POH ακολουθούμενη από 260 στήλες των 9 bytes για το ωφέλιμο φορτίο (payload) του VC-4. Το ωφέλιμο φορτίο (payload) μπορεί να είναι και τρία VC-3 (νοητό container προερχόμενο από ένα DS-3 σήμα) και να αποτελείται από μία σταθερή 9-άδα από bytes (FOH - Fixed OverHead) ακολουθούμενη από τρία VC-3 σήματα.

Στο Σχήμα 10 φαίνεται η δομή του STM-1 πλαισίου. Εκτός από το ωφέλιμο φορτίο (payload), το STM πλαίσιο έχει τρεις ακόμα περιοχές:

- ✓ RSOH (Regenerator Section OverHead) που χρησιμοποιείται για να αυξήσει την αξιοπιστία μετάδοσης μεταξύ των αναμεταδοτών (regenerators)
- ✓ MSOH (Multiplexer Section OverHead) που μεταφέρει πληροφορία απαραίτητη για την πολυπλεξία και αποπολυπλεξία
- ✓ Περιοχή Pointer που δείχνει στην αρχή του VC-4 ή του VC-3, καθώς η διεύθυνση της αρχής αυτών δεν είναι σταθερή μέσα στο πεδίο ωφέλιμης πληροφορίας του STM πλαισίου (STM payload space).



Σχήμα 10. Δομή του STM-n πλαισίου

Η σύγχρονη ψηφιακή μετάδοση (SDH) διαφέρει από την πλησιοσύγχρονη (PDH) στο γεγονός ότι στο SDH τα DS-m σήματα πολυπλέκονται σε ένα μόνο στάδιο με τρόπο σύγχρονο, σε αντίθεση με το PDH όπου η πολυπλεξία είναι ασύγχρονη. Επειδή η πολυπλεξία ολοκληρώνεται σε ένα μόνο στάδιο, η προσθήκη ή αφαίρεση σημάτων από το πλαίσιο είναι εύκολη στο SDH σε αντίθεση με το PDH.

Επίσης, λόγω της ύπαρξης των pointers στο SDH, είναι εφικτός ο συγχρονισμός σε όλη την έκταση του δικτύου. Επιπρόσθετα η ύπαρξη ενός κοινού πλαισίου STM επιτρέπει τη συνύπαρξη Ευρωπαϊκών και Αμερικανικών DS-m σημάτων που μπορεί τελικά να οδηγήσει στην υλοποίηση ενός ενιαίου παγκόσμιου δικτύου.

Μια άλλη διαφορά ανάμεσα στο SDH και το PDH είναι ότι στο SDH τα STM-n πλαίσια μεταδίδονται σε τακτά διαστήματα των 125 μsec, ανεξάρτητα από την τιμή του n με αποτέλεσμα σήματα χαμηλών ταχυτήτων, όπως το DS-0 (φωνή), να μπορούν να ληφθούν άμεσα από το πλαίσιο. Τέλος παρόλο που η ποσότητα της προστιθέμενης πληροφορίας μπορεί να υπερβαίνει το 10% του STM πλαισίου, στο SDH σε αντίθεση με το PDH δεν δημιουργεί κανένα πρόβλημα λόγω των υψηλών ταχυτήτων.

2.5 Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς Δεδομένων - ATM

Το ATM προέρχεται από τα αρχικά της αγγλικής ορολογίας Asynchronous Transfer Mode που στα ελληνικά μεταφράζεται σαν Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς Δεδομένων. Πρόκειται για ένα αναπτυσσόμενο τηλεπικοινωνιακό πρότυπο για το ISDN ευρείας ζώνης (broadband) που προωθείται από πολλές μεγάλες τηλεπικοινωνιακές εταιρείες. Ήδη πολλοί ευρωπαϊκοί τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί έχουν επιλέξει το ATM σαν πλατφόρμα για την παροχή φτηνού ISDN ευρείας ζώνης (B-ISDN : BroadBand ISDN), ανάμεσά τους και ο ΟΤΕ.

Το ATM είναι ένα από την οικογένεια των τηλεπικοινωνιακών προτύπων που εισήγαγαν την έννοια της **αναπήδησης πακέτου**, της **αναμετάδοσης πλαισίου** (frame relay) και τελευταία της **υπηρεσίας δεδομένων υψηλών ταχυτήτων με μεταγωγή** (Switched Multimegabit Data Service - SMDS). Το Frame Relay είναι το πρωτόκολλο μεταβίβασης δεδομένων με τη μορφή πλαισίων, χρησιμοποιώντας υψηλές ταχύτητες μέσω του δικτύου ATM, με απλές διαδικασίες μεταγωγής, αξιοποιώντας την καλύτερη ποιότητα των μέσων μετάδοσης. Ο συνδυασμός ATM/Frame Relay παρέχει τη δυνατότητα διακίνησης όλων των πολυμεσικών μορφών πληροφορίας όπως φωνή δεδομένα, εικόνα και κινούμενη εικόνα (βίντεο).

Η τεχνολογία πίσω από το ATM δεν αποτελεί κάτι καινούργιο - είναι στην ουσία παρεμφερής του STM (Synchronous Transfer Mode) το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στα τηλεφωνικά δίκτυα. Ξεκίνησε δε από την ανάγκη να καλυφθούν οι τηλεπικοινωνιακές ανάγκες της ολοένα και αυξανόμενης κοινωνίας της πληροφορίας, και των ανθρώπινων αναγκών για ανεπτυγμένα τηλεπικοινωνιακά μέσα.

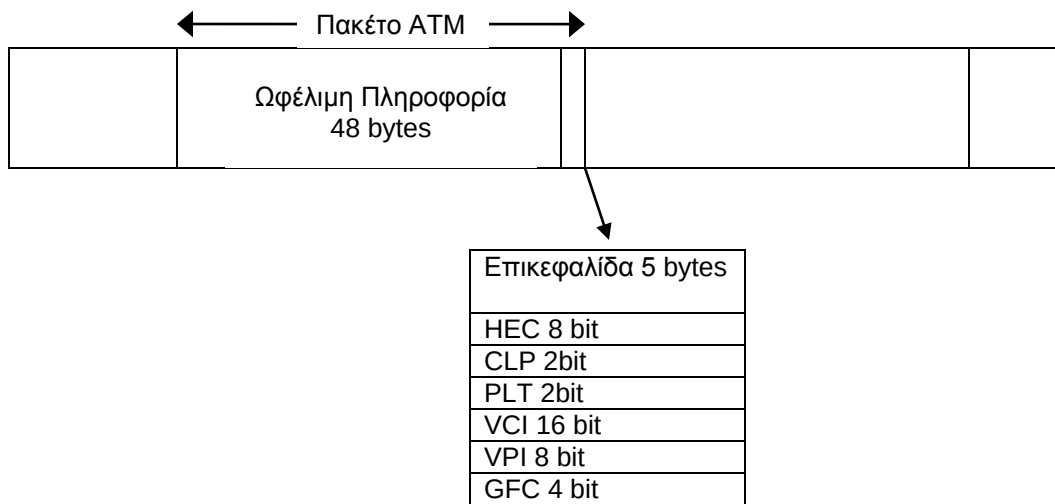
Το ATM επιτρέπει τη μετάδοση σημάτων με διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης για την εξυπηρέτηση υπηρεσιών είτε στενής είτε ευρείας ζώνης. Είναι μία τεχνολογία η οποία χρησιμοποιείται για τη μεταφορά πληροφοριών σε πακέτα ή κυψέλες (cells) των 53 ψηφιοσυλλαβών (bytes). Ανάλογα με το εύρος ζώνης χρησιμοποιείται μεγαλύτερος ή μικρότερος αριθμός πακέτων. Μία κυψέλη (cell) αποτελείται από την επικεφαλίδα

(header – 5 bytes) που περιλαμβάνει χρήσιμες πληροφορίες δρομολόγησης της κυψέλης μέσα στο δίκτυο και τις πληροφορίες του χρήστη (payload – 48 bytes). Η τεχνολογία ATM είναι συνδεσμική (connection-oriented). Αυτό σημαίνει ότι πριν αρχίσει η μετάδοση πληροφοριών, πρέπει να επιτευχθεί η σύνδεση μεταξύ των δύο σημείων του δικτύου. Το δίκτυο ATM αποτελείται από ένα αριθμό μεταγωγέων (switches) οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με πολύ υψηλές ταχύτητες (155 ή 622 Mbps) είτε με απευθείας συνδέσεις οπτικών ινών είτε μέσω συστημάτων μετάδοσης Σύγχρονης Ψηφιακής Ιεραρχίας (γνωστά σαν SDH). Η ταχύτητα των ATM δικτύων προβλέπεται να φτάσει τα 2,5 Gbps. Η σύνδεση μεταξύ δύο σημείων στο δίκτυο υλοποιείται με ένα Μόνιμο Νοητό Κύκλωμα (permanent virtual circuit– PVC). Ένα Μόνιμο Νοητό Κύκλωμα συνδέει μόνιμα δύο διαφορετικά σημεία μεταξύ τους, παρόμοια με ένα μισθωμένο κύκλωμα. Σε αντίθεση με το μισθωμένο κύκλωμα που είναι μια διατεμαστική φυσική σύνδεση ένα Μόνιμο Νοητό Κύκλωμα είναι στην πράξη νοητό διότι μοιράζεται το εύρος ζώνης και τους πόρους του δικτύου ATM με άλλα Μόνιμα Νοητά Κυκλώματα.

Τα Μόνιμα Νοητά Κυκλώματα μπορεί να είναι:

- MNK Μεταγωγής Πλαισίων (FR PVC)
- MNK ATM Σταθερού Ρυθμού (ATM CBR PVC)
- MNK ATM Μεταβλητού Ρυθμού (ATM VBR PVC)

Το πρωτόκολλο ATM, είναι δύσκολο να ενταχθεί σε κάποιο επίπεδο του OSI. Στην πράξη το ATM δανείζεται στοιχεία από τρία διαδοχικά επίπεδα στην ιεραρχία OSI, το δεύτερο (επίπεδο σύνδεσης δεδομένων) γιατί βρίσκεται ακριβώς πάνω από το υλικό και μιλάει κατ'ευθείαν με αυτό, το τρίτο (επίπεδο δικτύου) γιατί τροποποιεί τη συμπεριφορά του με τον έλεγχο ροής και τη δυναμική δρομολόγηση, και το τέταρτο (επίπεδο μεταφοράς) γιατί οι συνδέσεις είναι καθορισμένες από σημείο σε σημείο και έχουν αρχή και τέλος.



Σχήμα 11. Δομή ενός πακέτου ATM

Στο Σχήμα 11 βλέπουμε τη δομή ενός πακέτου ATM. Οι έννοιες SDU (Service Data Unit) και PDU (Protocol Data Unit) αναφέρονται σε μονάδες μεταφοράς πληροφορίας. Σε ένα πακέτο ATM η SDU είναι η ωφέλιμη πληροφορία που αποτελείται από 48 bytes ενώ η PDU είναι η επικεφαλίδα που περιέχει 5 bytes. Στην επικεφαλίδα τα πεδία VCI (Virtual Channel Identifier) VPI (Virtual Path Identifier) περιέχουν πληροφορίες για την αναγνώριση αντίστοιχα του νοητού καναλιού και της νοητής διαδρομής που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση. Το πεδίο HEC (Header Error Control) είναι το πεδίο ελέγχου σφάλματος επικεφαλίδας, το πεδίο CLP (Cell Loss Priority) καθορίζει ποια πεδία δεν πρέπει να χαθούν ενώ το PLT (Payload Type) διακρίνει τα ωφέλιμα πακέτα από τα κενά πακέτα χωρίς ωφέλιμη πληροφορία. Τέλος το GFC (Generic Flow Control) θα αναλαμβάνει να καθοδηγήσει τα πακέτα σε διαφορετικές τερματικές συσκευές.

2.6 Ασύγχρονη Χρονική Πολυπλεξία

Όπως είδαμε οι τεχνικές πολυπλεξίας επιτρέπουν την κοινή χρήση των γραμμών επικοινωνίας και επομένως την καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων. Η πλυπλεξία χρόνου χρησιμοποιείται κυρίως στην ψηφιακή τεχνολογία. Οι τεχνικές

πολυπλεξίας χρόνου διακρίνονται σε σύγχρονη πολυπλεξία (TDM - Time Division Multiplexing) και ασύγχρονη πολυπλεξία (ATDM - Asynchronous Time Division Multiplexing).

Στην τεχνική σύγχρονης πολυπλεξίας (TDM) η μετάδοση των δεδομένων γίνεται με τη μορφή πλαισίων (frames). Ο ρυθμός μετάδοσης των πλαισίων και το μήκος τους είναι σταθεροί παράμετροι και προσδιορίζουν τη χωρητικότητα του συστήματος. Κάθε σήμα που πρόκειται να μεταδοθεί χρησιμοποιεί μόνιμα μια θέση για ένα frame (frame slot). Το συγκεκριμένο σήμα, που αποτελείται από έναν αριθμό ATM cells, για να μεταδοθεί ένα πλαίσιο του χρησιμοποιεί μόνο τη συγκεκριμένη θέση. Σε περίπτωση που το σήμα δεν πρόκειται να μεταδώσει κάποιο πλαίσιο σε μια δεδομένη στιγμή η χρονοθυρίδα του μένει κενή και ανεκμετάλλευτη.

Αντίθετα με τη χρήση της τεχνικής ασύγχρονης πολυπλεξίας (ATDM) τα πλαίσια από κάθε σήμα πρώτα αποθηκεύονται σε κάποιο buffer και στη συνέχεια, με τη χρήση ενός αλγορίθμου προτεραιότητας FIFO (First In First Out), αφαιρούνται τα ATM cells από τον buffer και μεταδίδονται. Τα cells κάθε σήματος δεν βρίσκονται σε καθορισμένες θέσεις αλλά σε τυχαίες θέσεις στο τελικό ATDM σήμα και γι αυτό αυτή η πολυπλεξία χαρακτηρίζεται ως ασύγχρονη. Η τεχνική αυτή υπερέχει της σύγχρονης πολυπλεξίας γιατί εκμεταλλεύεται καλύτερα τους τηλεπικοινωνιακούς πόρους.

Στη τεχνική σύγχρονης πολυπλεξίας δεν επιτρέπεται η χρήση ενός slot που έχει δοθεί σε ένα σήμα από ένα άλλο σήμα και έτσι μεταδίδονται άδεια slots ενώ υπάρχουν δεδομένα που επιθυμούν μετάδοση. Αντίθετα στην ασύγχρονη πολυπλεξία cells από κάθε σήμα μεταδίδονται με τη σειρά που αποθηκεύονται στο buffer με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν κενές θέσεις.

Σε φυσικό επίπεδο τώρα, αν η μετάδοση βασίζεται σε cells τότε τα ATM cells μεταδίδονται όπως είναι χωρίς τη χρήση εξωτερικού πλαισίου. Απλά στην ωφέλιμη πληροφορία προστίθεται το header και σχηματίζονται τα ATM cells τα οποία υπόκεινται σε scrambling και μεταδίδονται με τη μορφή μιας συνεχούς ροής ταχύτητας 155.520 Mbps. Η αναγνώριση των ορίων των cells γίνεται με τη βοήθεια του HEC πεδίου του header. Από τα 155.520 Mbps, 5.760 Mbps ή περισσότερα αποτελούνται από ανενεργά

cells, cells του φυσικού επιπέδου που χρησιμοποιούνται για αυτοσυντήρηση καθώς και από άλλα cells δεσμευμένα από το φυσικό επίπεδο.

2.7 Μετάδοση βασισμένη σε SDH

Αν σε φυσικό επίπεδο η μετάδοση γίνεται με SDH, τα ATM cells μεταδίδονται αφού πρώτα αποθηκευτούν στο STM-n πλαίσιο του SDH. Τα ATM cells μαζί με κάποια ανενεργά cells σχηματίζουν ένα σήμα ταχύτητας 149.760 Mbps το οποίο αποθηκεύεται στο χώρο ωφέλιμης πληροφορίας του VC-4 και τελικά μεταδίδεται με τη μορφή ενός STM-n πλαισίου. Όλα τα bits των cells εκτός από του header υποκινείται scrambling. Ο δέκτης εξάγει τις πληροφορίες συγχρονισμού από το STM-n πλαίσιο και στέλνει τα ATM cells στο ATM επίπεδο εκτελώντας την προηγούμενη διαδικασία με αντίστροφη σειρά. Η αρχή των cells σε κάθε πλαίσιο αποθηκεύεται στο POH (Path OverHead) και τα όρια των cells μπορούν να ανιχνεύθουν είτε με τη χρήση του πεδίου HEC στο header του ATM cell ή με τη βοήθεια του POH. Οι λειτουργίες αυτοσυντήρησης παρέχονται από τα SOH (Section OverHead) και POH (Path OverHead). Πλέον τα σύγχρονα δίκτυα προσανατολίζονται προς την μετάδοση βασισμένη σε SDH.

2.8 Μετάδοση βασισμένη σε PDH

Όπως θα δούμε παρακάτω, για την μετάδοση σε ψηφιακό δίκτυο Broadband ISDN απαιτείται η δυνατότητα μεταφοράς ATM cells στη μορφή DS-m σημάτων του PDH. Η μετάδοση αυτού του είδους βασίζεται σε PDH και ονομάζεται και G.702. Σε φυσικό επίπεδο η μετάδοση είναι παρόμοια με αυτή της SDH-βασισμένης μετάδοσης, εκτός από το ότι χρησιμοποιούνται PDH σήματα για την αποθήκευση των ATM cells αντί για STM-n σήματα. Ο ρυθμός μετάδοσης cells εξαρτάται από το DS-m σήμα του PDH που χρησιμοποιείται. Πιο σημαντικά από τα σήματα που χρησιμοποιούνται για μετάδοση ATM cells, είναι τα DS-1 (1.544 Mbps), DS-1E (2.048 Mbps), DS-3E (34.368 Mbps), DS-3 (44.736 Mbps) και DS-4E (139.264 Mbps).

3. Ενσύρματη Μετάδοση

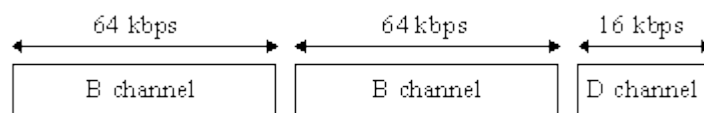
3.1 ISDN

Το πρωτόκολλο ATM όπως είπαμε χρησιμοποιείται στο Ψηφιακό Δίκτυο Ολοκληρωμένων Υπηρεσιών ISDN (Integrated Services Digital Network) ευρείας ζώνης. Το ISDN λοιπόν είναι ένα ψηφιακό δίκτυο που υποστηρίζει ταυτόχρονα δηλαδή ενοποιεί διαφόρων ειδών τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, όπως για παράδειγμα υπηρεσίες μετάδοσης data, υπηρεσίες ήχου αλλά και υπηρεσίες βίντεο χαμηλής ποιότητας.

Το ISDN ξεκίνησε να αναπτύσσεται από τη Παγκόσμια Ένωση Τηλεπικοινωνιών ITU (International Telecommunications Union) και το 1984 έγιναν οι αρχικές προτάσεις από την επιτροπή CCITT (International Telephone and Telegraph Consultative Committee). Από το 1990 με προσπάθειες των εταιρειών Bell, Motorola και U S Robotics υλοποιήθηκαν τα πρώτα δίκτυα ISDN.

Το ISDN διακρίνεται σε δύο τύπους, το N-ISDN και το B-ISDN ευρείας ζώνης. Ο όρος N-ISDN σημαίνει Narrowband Integrated Services Digital Network το οποίο μεταφράζεται ως ψηφιακό δίκτυο ενοποιημένων υπηρεσιών στενής ζώνης ενώ το B-ISDN ως Broadband ISDN δηλαδή δίκτυο ευρείας ζώνης. Η ενοποίηση επιτυγχάνεται χάρη στην μετατροπή όλων των προς μετάδοση σημάτων σε ψηφιακή μορφή.

Στο σήμα βασικού ρυθμού (basic rate signal) του ISDN υπάρχουν δύο κανάλια B των 64 kbps για μετάδοση φωνής και ένα κανάλι D των 16 kbps για μετάδοση data (σχήμα). Η ταχύτητα συνεπώς μετάδοσης της πληροφορίας είναι $2 \cdot 64 + 16 = 144$ kbps μέσα από τη δισύρματη γραμμή που συνδέει το χρήστη με το τοπικό κόμβο του δικτύου.



Σχήμα 12. Σήμα βασικού ρυθμού ISDN

Στην έκδοση πρωτεύοντος ρυθμού Primary Rate Interface (PRI) τα κανάλια αποτελούνται από 23 τύπου B και ένα τύπου D με εύρος 64 kb/s. Ο συνολικός ρυθμός φτάνει τα 1536 kb/s. Στην Ευρώπη το PRI αποτελείται από 30 B κανάλια και ένα D των 64 kb/s που αποδίδουν ρυθμό μετάδοσης 1984 kb/s.

Οι κόμβοι του δικτύου έχουν τη δυνατότητα να ξεχωρίζουν τα κανάλια και αφού ανακτήσουν την πληροφορία που είναι αποθηκευμένη σε κάθε ένα από αυτά, να το αποστέλλουν στο κατάλληλο δίκτυο (δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος ή δίκτυο μεταγωγής πακέτων - switched telephone network/packet-switched data network).

Επίσης το κανάλι D μεταδίδει πληροφορία σηματοδοσίας (signaling information) γι αυτό και οι κόμβοι του δικτύου πρέπει να υλοποιούν συναρτήσεις ανάκτησης και χειρισμού αυτής της πληροφορίας, καθώς και αποστολής της στο δίκτυο σηματοδοσίας.

Το ISDN επιτρέπει πολλά ψηφιακά σήματα να μπορούν να μεταδοθούν ταυτόχρονα μέσα από τα ήδη υπάρχοντα τηλεφωνικά καλώδια. Η μετατροπή του δικτύου από αναλογικό σε ψηφιακό γίνεται εφόσον η εταιρεία παροχής τηλεφωνικών υπηρεσιών εγκαθιστά μεταγωγείς που μπορούν να αποστείλουν, αναμεταδώσουν και παραλάβουν ψηφιακά σήματα ISDN. Η ταχύτητα που υποστηρίζει το βασικό BRI ISDN για τη μετάδοση ασυμπιεστων δεδομένων ξεκινάει από τα 128 kb/s. Επιπλέον η καθυστέρηση στην εκκίνηση μιας ISDN σύνδεσης είναι μισή σε σχέση με μια αναλογική σύνδεση.

Στο ISDN για να ειδοποιηθεί μια συσκευή για την εισερχόμενη κλήση δεν χρησιμοποιείται ένα απλό ηλεκτρικό σήμα που ενεργοποιεί το κουδούνι του τηλεφώνου αλλά ένα ειδικό πακέτο δεδομένων σε ξεχωριστό κανάλι που περιέχει πληροφορίες για τον αποστολέα της κλήσης ή τον τύπο της κλήσης (δεδομένα ή φωνή) και είναι γνωστό σαν σήμανση εντός ζώνης (in band signaling). Για την αρχικοποίηση της σύνδεσης ένα απλό modem απαιτεί 30 με 60 δευτερόλεπτα ενώ στην περίπτωση του ISDN αυτό διαρκεί περίπου 2 δευτερόλεπτα.

3.1.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος ISDN

Η βασική ιδέα πίσω από το ISDN είναι αυτή ενός ψηφιακού αγωγού bit (digital bit pipe). Ο αγωγός αυτός επιτρέπει σε πολλά κανάλια να μεταδίδουν ταυτόχρονα δεδομένα με πολύπλεξη διαίρεσης χρόνου. Η τηλεφωνική εταιρεία τοποθετεί μια συσκευή τερματισμού δικτύου (network terminating device) NT1 στο κτίριο ή την περιοχή του συνδρομητή και τη συνδέει με τον κόμβο ISDN στο τηλεφωνικό κέντρο. Η πολυπλεξία επιτρέπει τη μετάδοση πολλών και διαφορετικών σημάτων ταυτόχρονα. Έτσι πολλές συσκευές μπορούν να χρησιμοποιήσουν ταυτόχρονα την ίδια τηλεφωνική γραμμή για να μεταδώσουν είτε ήχο είτε εικόνα ή βίντεο πράγμα που θα ήταν πολύ πολύπλοκο και αντισυμβατικό στην περίπτωση της αναλογικής γραμμής.

Η συσκευή NT1 δεν είναι απλά μια κάρτα σύνδεσης αλλά περιέχει κυκλώματα που αναλαμβάνουν πολύπλοκες διεργασίες όπως τον έλεγχο και τη διαχείριση του δικτύου, την αντιμετώπιση περιπτώσεων ανταγωνισμού με άλλες συσκευές που προσπαθούν να προσπελάσουν την αρτηρία κα.

Στην περίπτωση μιας εταιρικής σύνδεσης όπου οι πιθανές συνδέσεις μπορεί να είναι περισσότερες, η NT1 συσκευή δεν είναι αρκετή και απαιτείται μια NT2 συσκευή που ονομάζεται PBX (Private Branch eXchange – Ιδιωτικό Τηλεφωνικό Κέντρο Εξωτερικής Διακλάδωσης) και που συνδέεται με την NT1 και κατόπιν με τον ISDN κόμβο.

Η επιτροπή CCITT έχει ορίσει τέσσερα σημεία αναφοράς στις συνδέσεις ανάμεσα στις συσκευές. Το σημείο U αναφέρεται στη σύνδεση του κόμβου ISDN με τη NT1 συσκευή. Αυτό είναι προς το παρόν ένα συνεστραμμένο ζεύγος χάλκινων καλωδίων αλλά όπως θα δούμε υπάρχει η προοπτική να αντικατασταθεί με οπτικές ίνες. Το σημείο αναφοράς T είναι η διασύνδεση του NT1 με τις συσκευές του χρήστη ή με το NT2. Το σημείο αναφοράς S είναι η σύνδεση του NT2 με τις συσκευές του χρήστη. Τέλος το σημείο R είναι η σύνδεση μη ISDN τερματικών με έναν προσαρμοστή του ISDN τερματικού. Σκοπός του ISDN είναι να προσφέρει έναν ψηφιακό αγωγό bit στα σημεία αναφοράς T ή S.

Για να δούμε αναλυτικά την υλοποίηση του αγωγού αυτού θα πρέπει να εξετάσουμε τα τρία επίπεδα του μοντέλου OSI (Open Systems Interconnection) που αφορούν το ISDN, δηλαδή το φυσικό επίπεδο (1), το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (2) και το επίπεδο δικτύου (3).

Στο φυσικό επίπεδο το ISDN καθορίζεται από τη σειρά προδιαγραφών I και G της ITU. Το σημείο αναφοράς U που παρέχεται από την εταιρεία για το βασικό ρυθμό BRI είναι ένα διπλό καλώδιο με δυνατότητα ψηφιακής σύνδεσης 160 kb/s. Καταστολή ηχούςΗ κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη είναι η 4B3T ενώ στη Βόρεια Αμερική η 2B1Q.

3.1.2 2B1Q

2B1Q (2 Binary 1 Quaternary) είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος σηματοδότησης σε σημεία διασύνδεσης U και περιγράφηκε λεπτομερώς το 1988 από τις ANSI προδιαγραφές T1.601. Γενικά το 2B1Q παρέχει:

- 2 bits ανά baud (Το 1 baud είναι μια αλλαγή διαμόρφωσης το δευτερόλεπτο)
- 80 kbaud
- Ρυθμός μετάδοσης 160 kb/s

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις 4 διαφορετικές καταστάσεις του σήματος, τον τρόπο που συμβολίζονται, την τάση που αντιστοιχεί σε κάθε κατάσταση και τα bits που μεταδίδονται. Το σήμα μπορεί να πάρει μια από τις παρακάτω τιμές και να συμβολίζει μια διαφορετική στάθμη (Quaternary) και έτσι να μεταδίδεται ένα από τα 4 διαφορετικά ζεύγη bits

Bits	Σύμβολο Κατάστασης	Τάση
00	-3	-2.5
01	-1	-0.833
10	+3	+2.5
11	+1	+0.833

Το πλαίσιο που μεταδίδεται σε κάθε σημείο U έχει μήκος 240 bits. Με ρυθμό μετάδοσης 160 kb/s, κάθε πλαίσιο απαιτεί χρόνο μετάδοσης 1.5 ms. Κάθε πλαίσιο αποτελείται από τα εξής :

Συγχρονισμός	$12 * (B1 + B2 + D)$	Συντήρηση
18 bits	216 bits	6 bits

- Το τμήμα συγχρονισμού του πλαισίου αποτελείται από 9 στάθμες των 2 bits της μορφής +3 +3 -3 -3 -3 +3 -3 +3 -3.
- Ακολουθούν 18 bits εκ των οποίων τα 8 bits είναι για κάθε ένα από τα 2 κανάλια B και 2 bits για το κανάλι D.
- Το τμήμα συντήρησης περιέχει CRC πληροφορίες (Cyclic Redundancy Check), σημάνσεις ανίχνευσης σφάλματος (BED block error detection) και άλλες ενσωματωμένες εντολές διαχείρισης.

Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσα από ένα υπερπλαίσιο (superframe) που αποτελείται από 8 πλαίσιο των 240 bit που συνολικά αποτελείται από 1920. Το τμήμα συγχρονισμού του πρώτου πλαισίου του υπερπλαισίου είναι αντιστραμμένο δηλ της μορφής -3 -3 +3 +3 +3 -3 +3 -3 +3.

3.1.3 LAP-D

Σε επίπεδο σύνδεσης δεδομένων το ISDN Data Link Layer ορίζεται από τις προδιαγραφές του ITU Q.920 - Q.923. Στο επίπεδο αυτό το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται είναι το LAP-D (Link Access Protocol - D κανάλι). Είναι παρόμοιο προς το πρωτόκολλο LAP-B που χρησιμοποιείται στα δίκτυα X.25. Η δομή του πλαισίου σε αυτό το επίπεδο είναι η εξής.

Σημαία	Διεύθυνση	Έλεγχος	Πληροφορία	CRC	Σημαία
--------	-----------	---------	------------	-----	--------

Η σημαία αποτελείται από 8 bits και έχει πάντα τη τιμή 7E16 (0111 11102). Η διεύθυνση αποτελείται από 16 bits όπως φαίνεται παρακάτω.

Διεύθυνση							
1	2	3	4	5	6	7	8
SAPI (6 bits)						C/R	EA0
TEI (7 bits)							EA1

Τα πρώτα 6 bit αποτελούν το πεδίο SAPI (Service Access Point Identifier). Το πεδίο αυτό προσδιορίζει το σημείο που το Επίπεδο 2, το επίπεδο δηλαδή σύνδεσης δεδομένων παρέχει διασύνδεση στο Επίπεδο 3 Δικτύου. Το C/R (Command/Response) πεδίο είναι 1 bit που δείχνει αν πρόκειται για πλαίσιο εντολής ή απάντησης. Ο δείκτης EA0 (Address Extension) του 1 bit δείχνει αν αυτό είναι η πρώτη ή η δεύτερη οκτάδα της διεύθυνσης.

Στη δεύτερη οκτάδα τα 7 πρώτα bit είναι ο προσδιοριστής TEI (Terminal Endpoint Identifier). Ο προσδιοριστής αυτός είναι μοναδικός για κάθε τερματική συσκευή στη διασύνδεση των σημείων αναφοράς S και T του ISDN S/T. Ο προσδιοριστής αυτός μπορεί να είναι είτε δυναμικός ή να ορίζεται στατικά σε μια συσκευή. Η δεύτερη οκτάδα τελειώνει με το EA1 (Address Extension) bit που δείχνει το τέλος της διεύθυνσης.

Ο Έλεγχος αποτελείται από 2 οκτάδες και είναι ένα πεδίο ελέγχου που προσδιορίζει τον τύπο του πλαισίου που μεταδίδεται.

Η Πληροφορία είναι το τμήμα που περιέχει τις πληροφορίες του πρωτόκολλου του Επιπέδου 3 του Δικτύου και πληροφορίες του χρήστη.

Το τμήμα CRC (Cyclic Redundancy Check) αποτελείται από 2 οκτάδες και είναι ένα πεδίο ελέγχου σφαλμάτων ροής bit σε χαμηλό επίπεδο για τα δεδομένα του χρήστη.

Το τέλος πλαίσιο καταλήγει πάλι σε έναν δείκτη (Flag) της μιας οκτάδας που έχει πάντα την τιμή 7E16 (0111 11102).

Η διαδικασία αρχικοποίηση μιας σύνδεσης στο Επίπεδο Σύνδεσης περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Η τερματική συσκευή TE και το Δίκτυο αρχικά ανταλλάσσουν πλαίσια Receive Ready (RR) περιμένοντας να ξεκινήσει κάποια σύνδεση.
2. Η τερματική συσκευή στέλνει ένα πλαίσιο UI (Unnumbered Information) με τιμές στα πεδία SAPI 63 και TEI 127.
3. Το δίκτυο ορίζει δυναμικά έναν προσδιοριστή τερματικής συσκευής TEI (με τιμή από 64 μέχρι 126).
4. Η τερματική συσκευή στέλνει ένα πλαίσιο SABME (Set Asynchronous Balanced Mode) με τιμές για τα πεδία SAPI 0 (που αντιστοιχεί σε SETUP) και TEI την τιμή που έχει αναθέσει το δίκτυο.
5. Το δίκτυο απαντάει με ένα πλαίσιο UA (Unnumbered Acknowledgement), με τιμές SAPI=0 και TEI την παραπάνω τιμή.

Από το σημείο αυτό η σύνδεση είναι έτοιμη για την αρχικοποίηση του Επιπέδου 3.

Σε επίπεδο Δικτύου (3) το ISDN καθορίζεται από τις προδιαγραφές ITU Q.930 - Q.939. Στο Επίπεδο 3 πραγματοποιείται η εγκατάσταση, συντήρηση και τερματισμός μιας λογικής σύνδεσης δικτύου μεταξύ δύο συσκευών. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των SPIDs (Service Profile IDs). Οι προσδιοριστές αυτοί χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τις υπηρεσίες και τα χαρακτηριστικά που παρέχει ο τηλεπικοινωνιακός φορέας στην συσκευή ISDN. Οι προσδιοριστές αυτοί είναι προαιρετικοί και μπορεί να χρησιμοποιηθούν μόνο κατά την αρχικοποίηση της σύνδεσης. Συνήθως αυτό που στην πραγματικότητα χρησιμοποιείται είναι ο 10ψήφιος τηλεφωνικός αριθμός της ISDN γραμμής με ένα πρόθεμα και ένα επίθεμα. Η δομή των δεδομένων περιγράφεται στο πρωτόκολλο ITU Q.931 και παρουσιάζεται παρακάτω:

Τμήμα Πληροφορίας							
1	2	3	4	5	6	7	8
Προσδιοριστής Πρωτοκόλλου							
0	0	0	0	Μήκος του CRV			
CRV (8 ή 16 bits)							
0	Τυπος Μηνύματος						
Υποχρεωτικά ή Προαιρετικά Πληροφοριακά Στοιχεία							

Στην κεφαλίδα λοιπόν του πρωτοκόλου Q.931 περιέχονται τα εξής:

- Προσδιοριστής Πρωτοκόλλου (8 Bits) – Προσδιορίζει το πρωτόκολλο που θα χρησιμοποιηθεί στο Επίπεδο Δικτύου. Στην περίπτωση του Q.931 περιέχει την τιμή 0816.
- Μήκος CRV (8 Bits) – Προσδιορίζει το μήκος του πεδίου CRV.
- Πεδίο Αναφοράς Κλήσης (Call Reference Value - CRV) (8 / 16 Bits) – Χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει μοναδικά κάθε κλήση στη σύνδεση χρήστη με το δίκτυο.
- Τύπος Μηνύματος (8 Bits) – Προσδιορίζει τον τύπο του μηνύματος (SETUP, CONNECT κτλ.).
- Υποχρεωτικά ή Προαιρετικά Πληροφοριακά Στοιχεία (μεταβλητού μήκους) – Εξαρτώνται από τον τύπο του μηνύματος.

3.1.4 Εγκατάσταση Κλήσης στο Επίπεδο 3

Παρακάτω αναφέρονται τα βήματα που ακολουθούνται για να εκκινήσει μια ISDN κλήση. Στην διαδικασία τα μηνύματα στέλνονται ανάμεσα σε τρία σημεία: αυτόν που κάνει την κλήση, το κέντρο μεταγωγής ISDN και τον παραλήπτη της κλήσης:

1. Ο καλών στέλνει ένα μήνυμα SETUP στο κέντρο.
2. Αν το SETUP είναι OK, το κέντρο στέλνει ένα μήνυμα CALL PROCeeding στον καλώντα και ένα SETUP στον παραλήπτη.
3. Ο παραλήπτης λαμβάνει το SETUP. Αν και αυτό είναι OK, τότε χτυπάει το τηλέφωνο και στέλνει ένα μήνυμα ALERTING στο κέντρο.
4. Το κέντρο προωθεί το μήνυμα ALERTING στον καλώντα.
5. Όταν ο παραλήπτης απαντήσει στην κλήση στέλνεται ένα μήνυμα CONNECT στο κέντρο.
6. Το κέντρο προωθεί το μήνυμα CONNECT στον καλώντα.
7. Ο καλών στέλνει ένα μήνυμα CONNECT ACKnowledge στο κέντρο.
8. Το κέντρο προωθεί το μήνυμα CONNECT ACK στον παραλήπτη.
9. Η κλήση τώρα έχει ενεργοποιηθεί.

3.2 DSL

Το DSL (Digital Subscriber Line) είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων σε υψηλή ταχύτητα, μέσω των ήδη υπάρχοντων τηλεφωνικών γραμμών, που μέχρι σήμερα εξυπηρετούσαν μόνο τις φωνητικές τηλεπικοινωνιακές ανάγκες του κόσμου.

Τα χάλκινα καλώδια του τηλεφωνικού δικτύου είναι τύπου συνεστραμμένων ζευγων (twisted pairs) και χρησιμοποιούνταν ανέκαθεν για τη μεταφορά φωνής. Παρόλα αυτά, ο ήχος της ανθρώπινης φωνής αποτελείται από συχνότητες που κυμαίνονται σε εύρος μεταξύ 100Hz και 4.000Hz.. Το εύρος ζώνης όμως του χαλκού είναι κατά πολύ

μεγαλύτερο από αυτό της ανθρώπινης φωνής με αποτέλεσμα να μην αξιοποιείται η μεγάλη χωρητικότητα που προσφέρει ο χαλκός. Οι επιπλέον συχνότητες δεν είναι απαραίτητες για να γίνει μεταφορά μόνο της φωνής και γι αυτό στα μέχρι τώρα τηλεφωνικά δίκτυα με ειδικά φίλτρα αυτές αποκόπτονται, αφού μπορεί και να δημιουργήσουν θόρυβο κατά τη συνομιλία. Το εύρος αυτό των χάλκινων συνεστραμμένων ζευγών μπορεί να εκμεταλλευτεί με τη χρήση ειδικών τεχνικών όπως αυτή του DSL.

Οι τεχνολογίες DSL αναφέρονται γενικά ως xDSL και οι κυριότερες από αυτές είναι οι ADSL, HDSL, SDSL και VDSL. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των xDSL τεχνολογιών:

Τύπος	Μέγιστη Αποστολή Δεδομένων	Μέγιστη Λήψη Δεδομένων	Μέγιστη Απόσταση
ADSL	800 Kbps	8 Mbps	5,500 m
HDSL	1,54 Mbps	1,54 Mbps	3,650 m
IDSL	144 Kbps	144 Mbps	10,700 m
MSDSL	2 Mbps	2 Mbps	8,800 m
RADSL	1Mbps	1 Mbps	5,500 m
SDSL	2,3Mbps	2,3Mbps	6,700 m
VDSL	16Mbps	52Mbps	1,200 m

Πίνακας 2. xDSL τεχνολογίες

Με το xDSL, η επικοινωνία γίνεται εξ' ολοκλήρου ψηφιακά, επιτρέποντας τη χρήση πολύ μεγαλύτερου εύρους ζώνης για τη μεταφορά των δεδομένων, χάρη στη χρήση εξελιγμένων τεχνικών διαμόρφωσης σήματος, με αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλότερων ταχυτήτων από αυτές των συνηθισμένων dial-up συνδέσεων. Το xDSL επιτρέπει επίσης, τη χρήση ενός μέρους του εύρους για τη μεταφορά αναλογικού σήματος (φωνής), επιτρέποντας έτσι την ταυτόχρονη χρήση μιας φυσικής γραμμής για την τηλεφωνική σύνδεση, αλλά και τη μετάδοση δεδομένων .

Το DSL όπως είπαμε προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Digital Subscriber Line (Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή) και στην ουσία αποτελεί μια τεχνολογία που μετατρέπει με τη χρήση ειδικών modems το απλό τηλεφωνικό καλώδιο σε ένα δίαυλο ψηφιακής

επικοινωνίας μεγάλου εύρους ζώνης. Ο δίαυλος αυτός μεταφέρει αναλογικό σήμα φωνής χρησιμοποιώντας τις χαμηλές και τις υψηλές συχνότητες ταυτόχρονα για τη μεταφορά δεδομένων. Ανάλογα με το είδος του modem που θα συνδέσουμε στις δύο άκρες της επικοινωνίας μπορούμε να επιτύχουμε διαφορετικές ταχύτητες. Με το DSL επιτυγχάνονται ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων μέχρι και 52,8 Mbps προς το χρήστη (downstream) και 2,3 Mbps από το χρήστη προς το Διαδίκτυο (upstream) καθώς ταυτόχρονα θα μεταφέρονται και τα αναλογικά σήματα της φωνής

3.2.1 ADSL

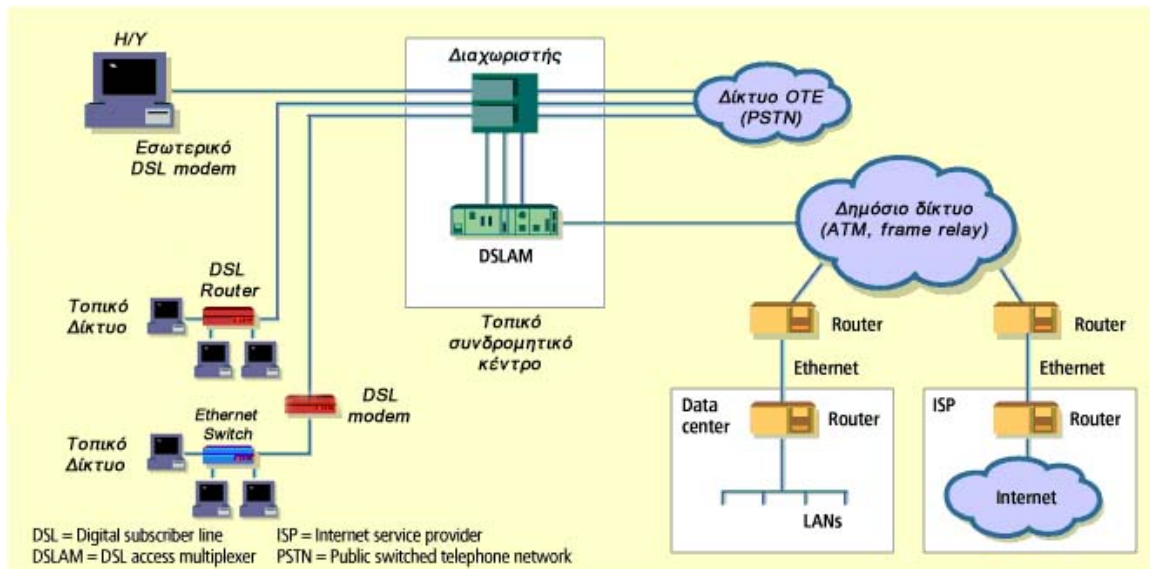
Το ADSL, το οποίο προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Asymmetric Digital Subscriber Line. Η τεχνολογία ADSL εξασφαλίζει πρόσβαση υψηλών ταχυτήτων στο Διαδίκτυο και σε άλλα Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα, δίνοντας τη δυνατότητα για ταυτόχρονη μετάδοση φωνής και δεδομένων (δεδομένα, κινούμενη εικόνα, γραφικά) μέσω της απλής τηλεφωνικής γραμμής. Κύριο χαρακτηριστικό της τεχνολογίας είναι ότι η μεταφορά δεδομένων γίνεται με ασύμμετρο τρόπο, δηλαδή προσφέρει διαφορετικό ρυθμό για τη λήψη (μέχρι 8 Mbps downstream) και διαφορετικό για την αποστολή δεδομένων (640 kbps upstream). Το σημαντικότερο είναι ότι όλο το εύρος ζώνης είναι εξ' ολοκλήρου διαθέσιμο στον χρήστη. Ωστόσο η απόδοση του ADSL εξαρτάται σημαντικά από την απόσταση του χρήστη από τον τηλεπικοινωνιακό παροχέα και φθάνει τα:

1,5 Mbps για απόσταση 5,5 km

2,0 Mbps για απόσταση 4,9 km

6,3 Mbps για απόσταση 3,6 km

8,4 Mbps για απόσταση 2,7 km



Σχήμα 12. Διάγραμμα ADSL σύνδεσης

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι τηλεφωνικές γραμμές μεγάλου μήκους προκαλούν μεγάλη εξασθένιση στα σήματα υψηλών συχνοτήτων που μπορεί να φτάσει και τα 90 dB στο 1 MHz. Σε αυτή την περίπτωση είναι αρκετά δύσκολο για τα ADSL modems να μπορέσουν να διαχωρίσουν τα κανάλια και να κρατήσουν το θόρυβο σε χαμηλά επίπεδα.

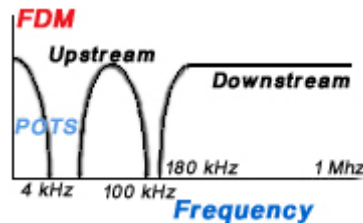
Οι υψηλές ταχύτητες που παρέχει το ADSL οφείλεται κυρίως σε εξελιγμένους αλγορίθμους και στη βελτιωμένη ψηφιακή επεξεργασία σήματος, τα οποία συμπιέζουν σε μεγάλο βαθμό την πληροφορία που μεταδίδεται μέσα από τα υπάρχοντα τηλεφωνικά καλώδια, καθώς επίσης και στη βελτίωση των μετασχηματιστών, των αναλογικών φίλτρων και των μετατροπών σήματος (από αναλογικό σε ψηφιακό).

Για την πολύπλεξη των καναλιών επικοινωνίας τα ADSL modems χωρίζουν το διαθέσιμο εύρος ζώνης μιας τηλεφωνικής γραμμής με μια από τις ακόλουθες μεθόδους :

Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (FDM-Frequency Division Multiplexing).

Όπως είδαμε στο πρώτο κεφάλαιο η FDM χωρίζει το εύρος ζώνης ενός μέσου σε υποτμήματα, έτσι ώστε διαφορετικής συχνότητας σήματα να μεταδίδουν διαφορετικές πληροφορίες μέσω του ίδιου μέσου ταυτόχρονα. Στο ADSL ένα τμήμα της ζώνης δεσμεύεται για τα δεδομένα λήψης και χωρίζεται σε 256 διακριτά κανάλια σε φάσμα από

26 kHz μέχρι 1,2 MHz. Μια άλλη ζώνη δεσμεύεται για τα δεδομένα αποστολής. Το τμήμα για τα δεδομένα λήψης χωρίζεται επίσης με πολυπλεξία καταμερισμού χρόνου (TDM – Time Division Multiplexing) σε ένα ή περισσότερα κανάλια υψηλής ταχύτητας και σε ένα ή περισσότερα κανάλια χαμηλής ταχύτητας.



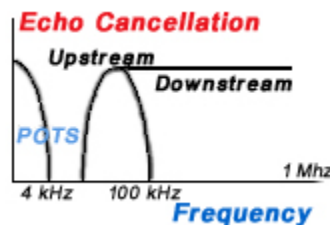
Σχήμα 13. FDM

3.2.2 Καταστολή ηχούς (Echo Cancellation).

Σε αυτή τη μέθοδο η ζώνη για την αποστολή δεδομένων επικαλύπτεται με τη ζώνη για τη λήψη και αυτές στη συνέχεια διαχωρίζονται από τα modems V.32 και V.34.

Και στις δύο τεχνικές, το ADSL διαχωρίζει ένα κανάλι φωνής στα 4 kHz για απλά φωνητικά δεδομένα τηλεφωνίας και άλλα 256 κανάλια καθένα από τα οποία μπορεί να μεταφέρει με πολυπλεξίας καταμερισμού χρόνου δεδομένα με ρυθμό μέχρι 32 kbps. Έτσι, η μέγιστη ταχύτητα που μπορούμε να πετύχουμε με την τεχνολογία ADSL είναι :

$$256 * 32 \text{ kbps} = 8.192 \text{ Mbps}$$



Σχήμα 14. Καταστολή Ηχούς

Το ADSL modem οργανώνει τα δεδομένα που δημιουργούνται από την πολυπλεξία των καναλιών λήψης σε μπλοκ και προσθέτει σε καθένα από αυτά έναν κώδικα διόρθωσης σφαλμάτων. Αντίστοιχα ο δέκτης διορθώνει τα σφάλματα που δημιουργούνται κατά την

αποστολή των μπλοκ. Έτσι η συχνότητα σφαλμάτων που προκύπτουν είναι αρκετά μικρή (BER μικρότερο του $1/10^9$).

3.2.3 Συνδεσμολογίες ADSL

Για τη λειτουργία του ADSL απαιτείται η εγκατάσταση μιας συσκευής modem στον χρήστη της ADSL σύνδεσης. Ο τηλεπικοινωνιακός παροχέας της σύνδεσης τοποθετεί μία συσκευή στον πελάτη που ονομάζεται Network Interface Device (NID) η οποία αναλαμβάνει να κάνει το διαχωρισμό της συχνότητας της φωνής, που όπως είπαμε είναι στο φάσμα μεταξύ 0 - 4kHz και των υψηλότερων συχνοτήτων των DSL σημάτων από τα 25kHz μέχρι το 1,2MHz που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων. Ο διαχωριστής των διαφορετικών συχνοτήτων είναι ουσιαστικά ένα φίλτρο που δεν χρειάζεται παροχή ρεύματος και ακόμα και στην περίπτωση διακοπής παροχής ρεύματος.

Οι πιθανές συνδεσμολογίες είναι δύο ειδών, η splitter-based και η splitterless. Και στις δύο συνδεσμολογίες στον παραλήπτη φθάνει ένα δισύρματο καλώδιο. Στη splitter-based τεχνολογία απαιτείται η εγκατάσταση ενός διαχωριστή σήματος στο χώρο του συνδρομητή από τον παροχέα για το διαχωρισμό του σήματος φωνής από το σήμα που μεταφέρει τα δεδομένα. Το σήμα DSL (δεδομένων) διαχωρίζεται από τη γραμμή του τηλεφώνου και με διαφορετικό καλώδιο οδεύει προς το modem. Συνεπώς απαιτείται επιπλέον καλωδίωση εκτός από τον διαχωριστή σήματος. Το καλώδιο του modem συνδέεται μέσω κάρτας διεπαφής (NIC-Network Interface Card) η οποία συνήθως είναι μία κάρτα ethernet ή ένα hub το οποίο θα συνδέεται σε τοπικό δίκτυο.

Από την άλλη στην splitterless τεχνολογία τα δύο σήματα δεν διαχωρίζονται. Η συσκευή modem του DSL συνδέεται απευθείας με την τηλεφωνική γραμμή, όπως και οι τηλεφωνικές συσκευές. Το modem περιέχει ειδικά chips που διαχωρίζουν τα σήματα δεδομένων από τα σήματα φωνής. Τα σήματα δεδομένων λειτουργούν σε χαμηλότερη ισχύ ώστε να μη δημιουργούν παρεμβολές στα σήματα της φωνής με αποτέλεσμα όμως η μέγιστη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων είναι μικρότερη σε σχέση με το splitter-based DSL. Επιπλέον, για να μπορέσουν οι τηλεφωνικές συσκευές να λειτουργήσουν, χρησιμοποιείται ένα φίλτρο μεταξύ της συσκευής και τη τηλεφωνικής γραμμής. Το φίλτρο

αυτό παρεμποδίζει τα DSL σήματα δεδομένων έτσι ώστε να μην παρεμβάλλονται ως θόρυβος στη φωνητική επικοινωνία. Η συνδεσμολογία splitterless είναι γνωστή και ως "Universal DSL" ή "G.Lite" ή "DSL Lite".

HDSL. Εκτός από την διαδεδομένη ειδικά στην Ελλάδα ADSL υπάρχουν και άλλοι τύποι xDSL σύνδεσης. Μια από αυτές είναι η HDSL (High-bit-rate Digital Subscriber Line). που υποστηρίζει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων μέχρι 2 Mbps. Η HDSL σύνδεση σε αντίθεση με το ADSL είναι συμμετρική, υποστηρίζει δηλαδή τον ίδιο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων τόσο για τη αποστολή όσο και για τη λήψη. Το μεινέκτημα στη σύνδεση είναι ότι τα δύο άκρα αποστολής και λήψης δεδομένων δε μπορούν να απέχουν μεταξύ τους πάνω από 3,5 km. Επιπλέον η λειτουργία του HDSL απαιτεί τη χρήση δύο ζευγών συνεστραμμένων καλωδίων και συνεπώς την εγκατάσταση δύο τηλεφωνικών γραμμών.

SDSL. Παρόμοια με το HDSL, το SDSL, (Single-line Digital Subscriber Line) είναι μια τεχνολογία που υποστηρίζει ρυθμό μεταφοράς δεδομένων μέχρι 2 Mbps. Λέγεται Single-line γιατί απαιτεί μόνο ένα συνεστραμμένο ζεύγος χαλκού. Για αυτό, όμως, η μέγιστη απόσταση μεταξύ των δύο άκρων δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 3 km.

VDSL. Το VDSL προέρχεται από τα αρχικά Very-high-data-rate Digital Subscriber Line και απότο όνομά του είναι φανερό ότι υπόσχεται ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες. Βρίσκεται στη φάση ανάπτυξης και η ταχύτητα μετάδοσης κυμαίνονται για τη λήψη από 13 έως 52 Mbps και για την αποστολή από 1,5 έως 2,3 Mbps. Παρόλα αυτά θα υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί στην μέγιστη απόσταση μεταξύ των δύο άκρων του αγωγού και ανάλογα με την υλοποίηση, το VDSL δε θα μπορεί να ξεπερνά το 1,5 km . οι ρυθμοί μετάδοσης

3.3 Ενσύρματα Μέσα Μετάδοσης

Όπως είδαμε στα ενσύρματα μέσα ανήκει μια ποικιλία από υλικά που χρησιμοποιούνται σήμερα και το καθένα έχει τις ιδιαίτερες ιδιότητές του. Διακρίνονται στα συνεστραμμένα ζεύγη χάλκινων καλωδίων, στα ομοαξονικά καλώδια και στις οπτικές ίνες.

3.3.1 Συνεστραμμένα ζεύγη χάλκινων καλωδίων (*Twisted Pair*)

Τα χάλκινα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων είναι το παλαιότερο μέσο επικοινωνιακών ζεύξεων και το πιο διαδεδομένο λόγω χαμηλού κόστους. Είναι κατάλληλα για διέλευση και ψηφιακών και αναλογικών σημάτων και χρησιμοποιούνται ευρέως στο τηλεφωνικό δίκτυο.

Τα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων αποτελούνται από σύρματα χαλκού, τα οποία περιβάλλονται από μονωτικό υλικό. Δύο σύρματα αν συστραφούν το ένα γύρω από το άλλο και πάρουν ελικοειδές σχήμα, δημιουργούν κύκλωμα το οποίο μπορεί να μεταφέρει δεδομένα.

Ένα τέτοιο καλώδιο μπορεί να αποτελείται από περισσότερα από ένα ζεύγη. Ανάλογα με το αν περιβάλλονται από μονωτικό υλικό ή όχι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: το αθωράκιστο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους UTP (Unshielded Twisted Pair) και το θωρακισμένο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους STP (Shielded Twisted Pair)

3.3.2 UTP (*Unshielded Twisted Pair*)

Το UTP χρησιμοποιείται συνηθώς στα τηλεφωνικά δίκτυα. Χωρίζεται σε κατηγορίες από 1 έως 5, ανάλογα με το πλέξιμο των καλωδίων. Όσο πιο σφιχτό είναι το πλέξιμο τόσο πιο γρηγοροί είναι οι ρυθμοί μετάδοσης με τους οποίους μεταδίδονται τα δεδομένα.

Επίσης επιτυγχάνεται και μεγαλύτερη μείωση των παρεμβολών και των ηλεκτρικών αλληλεπιδράσεων ανάμεσα σε κοντινά όμοια ζεύγη.

Τα βασικά πλεονεκτήματά τους είναι τα εξής:

1. Σε μικρές σχετικά αποστάσεις έχουν μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης (από 100Mbps έως 1Gbps). Ρυθμοί δηλαδή 10 έως 100 φορές μεγαλύτεροι από τους ρυθμούς των ομοαξονικών καλωδίων.
2. Η μικρή ωμική αντίσταση του χαλκού σημαίνει μικρή εξασθένιση του σήματος.
3. Τέλος η εγκατάσταση, η συντήρηση και η επισκευή τους είναι απλή με μικρό κόστος.

Τα αναλογικά σήματα (τηλεφωνία) μέσω συνεστραμμένων καλωδίων μπορούν να διανύσουν αποστάσεις μερικών χιλιομέτρων. Τα ψηφιακά σήματα μετά τα 90m (λόγω μεγαλύτερου εύρους ζώνης) παρουσιάζουν μεγάλη εξασθένιση και χρειάζονται αναμεταδότη.

Τα θωρακισμένα καλώδια συνεστραμμένου ζεύγους (STP: Shielded Twisted Pair) παρέχουν μεγαλύτερη προστασία από θόρυβο ή παρεμβολές, το κόστος τους όμως είναι μεγαλύτερο.

3.3.3 Ομοαξονικό καλώδιο

Τα ομοαξονικά καλώδια αποτελούνται από ένα δύσκαμπτο χάλκινο σύρμα, τον πυρήνα που περιβάλλεται από ένα μονωτικό υλικό. Το μονωτικό υλικό περιβάλλεται, με τη σειρά του, από έναν εξωτερικό μεταλλικό μανδύα, συνήθως με τη μορφή πλέγματος. Ο εξωτερικός αγωγός, περιβάλλεται από ένα προστατευτικό πλαστικό κάλυμα. Τα είδη των ομοαξονικών καλωδίων που είναι πιο διαδεδομένα στην ψηφιακή μετάδοση είναι των 50 και των 75 ohm. Η κατασκευή του καλωδίου του δίνει ένα πολύ καλό συσυνδυασμό υψηλού εύρους ζώνης και εξαιρετικής ανοχής θορύβου. Για καλώδια που φτάνουν το 1 χλμ δίνουν ρυθμο μετάδοσης 10 Mbps. Σε μικρότερα καλώδια επιτυγχάνονται ακόμα καλύτεροι ρυθμοί.

Υπάρχουν δύο τρόποι για να συνδεθεί ένα ομοαξωνικό καλώδιο με μια συσκευή: είτε με μια ένωση T ή μια διακλάδωση βρυκόλακα. Στην πρώτη περίπτωση το καλώδιο κόβεται στα δύο και εισάγεται η ένωση T που είναι ένας συνδετήρας που επανασυνδέει το καλώδιο και παρέχει και ένα τρίτο καλώδιο που οδηγεί στην συσκευή. Με τη διακλάδωση βρυκόλακα (vampire tap), χρησιμοποιείται μια τρύπα με βάθος και πλάτος μεγάλης ακρίβειας η οποία ανοίγεται στο καλώδιο και οδηγεί στον πυρήνα. Μέσα σε αυτή την τρυπα βιδώνεται ένας ειδικός συνδετήρας που κάνει ότι ακριβώς και ο συνδετήρας T.

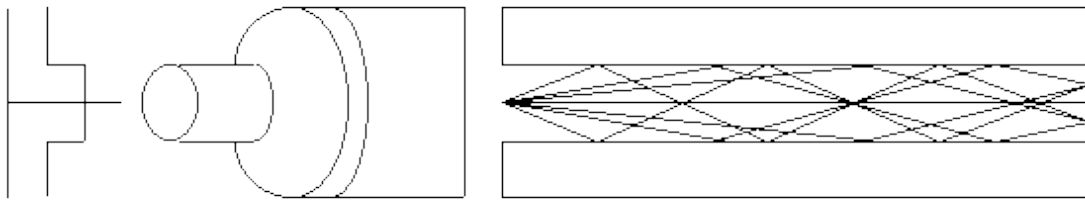
Η μετάδοση δεδομένων μέσα από το ομοαξωνικό καλώδιο γίνεται πολλές φορές με άμεση δυαδική σήμανση με 1 volt για την τιμή 1 και 0 volt για την τιμή 0. η σήμανση αυτή όμως δεν προσδιορίζει πότε ακριβώς τερματίζεται ένα bit. Αντί γι αυτή χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση Manchester ή η διαφορική κωδικοποίηση Manchester. Στην κωδικοποίηση Manchester η τιμή 1 μεταδίδεται σε δύο διαστήματα όπου κατά το πρώτο διάστημα η τάση είναι υψηλή ενώ κατά το δεύτερο η τάση είναι χαμηλή. Το 0 στέλνεται ακριβώς με τον ανάποδο τρόπο. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι απαιτεί το διπλάσιο εύρος ζώνης από την απλή δυαδική μετάδοση.

3.3.4 Οπτικές ίνες

Όπως είδαμε το Broadband ISDN είναι ένας τρόπος σύνδεσης που επιτρέπει μεγάλες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Οι ρυθμοί μετάδοσης μπορούν να φτάνουν ως και τα 600 Mbps. Για να επιτευχθεί όμως η πλήρης εκμετάλλευση των δυνατοτήτων των ISDN συνδέσεων, είναι απαραίτητη η κατασκευή ενός δικτύου τέτοιου που το μέσο μετάδοσης να επιτρέπει ταχύτητες ψηφιακής μετάδοσης πολύ μεγαλύτερες από αυτές των συνεστραμμένων ή των ομοαξωνικών καλωδίων.

Τέτοια δίκτυα είναι αυτά των οπτικών ινών που στη χώρα μας είναι εγκατεστημένα σε πολύ περιορισμένη έκταση. Η οπτική ίνα έχει τη μορφή μιας λεπτής κλωστής. Η κλωστή αυτή είναι κατασκευασμένη από μια πυριτική ένωση που ονομάζεται silica. Η ίνα αποτελείται από τον πυρήνα (core) και το εξωτερικό περίβλημα (cladding). Η πληροφορία μεταδίδεται μέσα από μια οπτική ίνα ψηφιακά ως διαμορφωμένο φως όμως και όχι ως ηλεκτρικό σήμα. Το χαρακτηριστικό της ίνας είναι ότι ο δείκτης διάθλασης (refractive index) του εσωτερικού τμήματος του πυρήνα είναι ελαφρώς μεγαλύτερος από

αυτόν του εξωτερικού περιβλήματος. Το φως ανακλάται στα τοιχώματα του πυρήνα και όταν κατά την πρόσπτωσή του σχηματίζει γωνία που έχει τιμή μικρότερη από την τιμή κρίσιμης γωνίας (critical angle), τότε το φως υφίσταται ολική ανάκλαση (σχήμα). οι οπτικές ίνες μπορούν να καμφθούν μέχρι μια συγκεκριμένη γωνία. Στην περίπτωση που η οπτική ίνα καμφθεί υπερβολικά, τότε η γωνία πρόσπτωσης του σήματος γίνεται μεγαλύτερη της κρίσιμης γωνίας. Τότε μέρος του φωτός κατευθύνεται προς το περίβλημα με αποτέλεσμα να έχουμε απώλεια ισχύος του σήματος.



Σχήμα 15. Οπτική ίνα

3.3.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Οπτικών Ινών

Η μετάδοση ψηφιακού σήματος με τη μορφή διαμορφωμένου φωτός μέσα από τις οπτικές ίνες υφίσταται πολύ μικρότερες αλλοιώσεις και παρεμβολές σε σχέση με τη μετάδοση ηλεκτρομαγνητικού σήματος μέσα από χάλκινα σύρματα με αποτέλεσμα να παρέχουν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης ενώ ταυτόχρονα υποφέρουν από μικρές απώλειες κατά τη μετάδοση (transmission loss). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι απώλειες κατά τη μετάδοση σήματος σε ομοαξονικό καλώδιο με την ελάχιστη εξασθένιση σήματος είναι γύρω στα 3.5 db/km στα 2.5 MHz, ενώ οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν απώλειες της τάξης των 0.2 db/km στο 1 GHz. Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιούμε στις οπτικές ίνες λιγότερους αναμεταδοτές (repeater) σε αποστάσεις εκατοντάδες χιλιομέτρων με ταχύτητες δεκάδων Gbps.

Επίσης οι οπτικές ίνες σαν υλικό έχουν μικρότερο βάρος και πάχος σε σχέση με τα καλώδια. Παρόλα αυτά όπως είδαμε είναι πιο ευπαθείς και όχι τόσο ανθεκτικές και κατά την εγκατάστασή τους θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η γωνία κάμψης που δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα ανώτατο όριο. Απώλειες από την κάμψη του άξονα (microbending

loss) έχουμε όταν ασκείται ασύμμετρη πίεση στην επιφάνειά της ίνας μετά την εγκατάστασή της. Η μέγιστη απόσταση μετάδοσης σήματος χωρίς τη χρήση αναμεταδότη περιορίζεται από παράγοντες όπως η απώλεια φωτός και η επικάλυψη (dispersion). Η απώλεια φωτός, που είναι η κύρια πηγή απωλειών μετάδοσης, οφείλεται σε απώλειες απορρόφησης κατά τις οποίες το προσπίπτον φως απορροφάται από τις ακαθαρσίες. Επίσης τέτοιες απώλειες μπορεί να προκληθούν λόγω ατελειών της δομής της οπτικής ίνας. Οι οπτικές ίνες μπορεί να υποστούν απώλειες διασποράς όπου έχουμε διασπορά του φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις όταν αυτό έρθει σε επαφή με κάποιο αντικείμενο μεγέθους όχι πολύ μεγαλύτερου του μήκους κύματος.

Επιπλέον οι οπτικές ίνες είναι ανεπηρέαστες από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, ενώ η δυνατότητα μετάδοσης πληροφορίας αυξάνεται σημαντικά με τη χρήση της τεχνικής πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (WDM - Wavelength Division Multiplexing). Η τεχνική αυτή αξιοποιεί το γεγονός ότι οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν μικρές απώλειες για σε σήματα με μήκος κύματος από 0,8 ως 1,6 μm. Έτσι μπορούν να διαμορφωθούν πολλά σήματα σε διαφορετικά μήκη κύματος και στη συνέχεια να αυτά να πολυπλέχθούν.

Άλλος ένας παράγοντας περιορισμού της ικανότητας μεταφοράς πληροφορίας είναι η επικάλυψη (dispersion). Οι παλμοί φωτός υφίστανται παραμορφωση όταν μεταδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις μέσα στην οπτική ίνα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το πλάτος τους και να υπάρχει επικάλυψη γειτονικών παλμών που εμποδίζει το δέκτη να προσδιορίσει το σήμα που ο πομπός στέλνει. Το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπισθεί με χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης που επιτρέπουν μεγαλύτερα διαστήματα μεταξύ των παλμών, με αποτέλεσμα όμως να μειώνεται η χωρητικότητα της οπτικής ίνας.

Είναι χαρακτηριστικό ότι τα δίκτυα οπτικών ινών χρησιμοποιούνται στην Αμερική και την Ιαπωνία ήδη από το τέλος της δεκαετίας του 1970. Στην Ελλάδα η επέκταση της χρήσης των οπτικών ινών μπορεί να γίνει σταδιακά. Σε πρώτο στάδιο οι οπτικές ίνες φθάνουν σε επιχειρήσεις και οργανισμούς μεγάλου μεγέθους (FTTO - Fiber To The Office). Το επόμενο στάδιο είναι το δίκτυο οπτικών ινών να φτάνει μέχρι έναν τοπικό σταθμό που εξυπηρετεί μια περιοχή ενώ στο μέλλον το δίκτυο θα μπορεί να φτάσει μέχρι τον τελευταίο καταναλωτή αντικαθιστώντας πλήρως τα υπάρχοντα καλώδια χαλκού (FTTH - Fiber To The Home), ολοκληρώνοντας την κατασκευή ενός πλήρως οπτικού δικτύου.

4. Ασύρματα Δίκτυα

4.1 Γενικά

Η μετάδοση δεδομένων με τη χρήση ενσύρματων μέσων αν και πολύ αξιόπιστη δε μπορεί να αντιμετωπίσει προβλήματα που προκύπτουν από τη μορφολογία του χώρου ή τις κλιματολογικές συνθήκες. Τα ασύρματα δίκτυα και οι ραδιοζεύξεις είναι αυτές που ολοένα σήμερα κερδίζουν περισσότερο έδαφος στις τηλεπικοινωνίες.

4.2 Επίγεια Μικροκυματικά Συστήματα

Τα επίγεια μικροκυματικά συστήματα οπτικής επαφής (ραδιοηλεκτρικά ευρείας ζώνης ή ερτζιανά δίκτυα) επιτρέπουν τη μετάδοση μεταξύ δύο σταθερών σημείων με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που συγκεντρώνεται με τη βοήθεια κετευθυντικών κεραιών. Τα σήματα αυτά χρησιμοποιούνται στις τηλεφωνικές συνδιαλέξεις όπως και στη μετάδοση δεδομένων.

Η περιοχή των μικροκυμάτων εκτείνεται από τα 300 MHz ως τα 30 GHz. Τα περισσότερα από τα συστήματα μετάδοσης δεδομένων χρησιμοποιούν συχνότητες από 1.7 GHz έως 10 GHz κι αυτό γιατί οι συχνότητες από 300 MHz μέχρι 1.7 GHz δίνουν μικρή χωρητικότητα ενώ οι απώλειες λόγω απορρόγησης της ακτινοβολίας γίνονται πολύ μεγάλες πάνω από τα 10 GHz.

4.2.1 Κεραίες

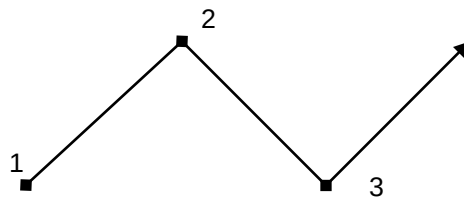
Η καμπυλότητα της γης περιορίζει την απαιτούμενη οπτική επαφή μεταξύ δύο σταθμών. Η κύρωση όμως της τροχιάς των κυμάτων προς το έδαφος λόγω του μειωμένου δείκτη διάθλασης της ατμόσφαιρας σε σχέση με το ύψος αυξάνει την εμβέλεια του σήματος. Για

απλούστερους όμως υπολογισμούς θεωρούμε ότι η μετάδοση είναι ευθύγραμμη σε μια ακτίνα όμως της γης αυξημένη. Η ενεργός ακτίνα R' παρατηρήθηκε ότι είναι

$$R' = \frac{4}{3} * R = 8500 \text{ Km.}$$

Η εμβέλεια του σήματος μειώνεται όταν παρεμβάλλονται εμπόδια. Έτσι πριν την εγκατάσταση των κεραιών σχεδιάζεται μια τομή του εδάφους μεταξύ των δύο σταθμών λαμβανοντας υπόψη τη διορθωμένη ακτίνα της γης R' . Το ύψος των σημείων που τοποθετούνται οι κεραίες προσδιορίζεται έτσι ώστε οι ανακλάσεις του σήματος να είναι αμελητέες.

Τα μικροκυματικά συστήματα χρησιμοποιούν κεραίες με παραβολικούς ανακλαστήρες (κάτοπτρα). Η επιφάνειά τους είναι τμήμα παραβολοειδούς στην εστία του οποίου είναι τοποθετημένη η κεραία που ακτινοβολεί. Το σφαιρικό κύμα που εκπέμπει η κεραία μετατρέπεται σε επίπεδο κύμα με την ανάκλαση στο κάτοπτρο. Οι κεραίες μιας μιλλολυματικής ζεύξης δεν τοποθετούνται σε ευθεία γραμμή αλλά σε γραμμή ζικ-ζακ έτσι ώστε η ενέργεια από τον πρώτο σταθμό να μη δημιουργεί προβλήματα επαλληλίας στον τρίτο σταθμό στον οποίο στέλνει σήμα και ο δεύτερος σταθμός αναμετάδοσης.



Σχήμα 16. Τοπολογία ζικ-ζακ

4.2.2 Αναλογικά μικροκυματικά συστήματα

Κάθε μικροκυματικό σύστημα οπτικής επαφής αποτελείται από δύο τερματικούς σταθμούς για την εκπομπή και λήψη του σήματος και συνήθως από ενδιάμεσους σταθμούς αναμετάδοσης για τη λήψη, ενίσχυση και αναμετάδοση του σήματος. Σε κάθε

σταθμό υπάρχει ένας κλάδος λήψης και ένας κλάδος εκπομπής. Υπάρχουν δύο ειδών μικροκυματικά συστήματα, τα αναλογικά και τα ψηφιακά. Στα αναλογικά συστήματα, ο τερματικός σταθμός λειτουργεί με διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Modulation). Ο πομπός διαμορφώνεται από μια ευρεία ζώνη συχνοτήτων που δημιουργείται στο φερέσυχο (ΦΣ) εκπομπής. Η ζώνη αυτή ονομάζεται βασική ζώνη του ΦΣ και μπορεί να περιλαμβάνει κανάλια τηλεφωνικής σύνδεσης, μετάδοσης δεδομένων ή τηλεοπτικού σήματος.

Στον κλάδο εκπομπής του σταθμού η βασική ζώνη οδηγείται από το φερέσυχο εκπομπής στο διαμορφωτή όπου διαμορφώνεται ένας φορέας στα 70 MHz που δημιουργείται στη γεννήτρια G. Η ενδιάμεση αυτή συχνότητα ενισχύεται και οδηγείται στον ανυψωτή συχνότητας. Η ενδιάμεση συχνότητα διαμορφώνει έναν μικροκυματικό φορέα που δημιουργεί μια γεννήτρια G2 και μεταθέτεται στη συχνότητα εκπομπής. Έτσι δημιουργείται ένα κανάλι εκπομπής που ονομάζεται αρτηρία. Τα συστήματα ευρείας ζώνης περιλαμβάνουν όπως είπαμε παραπάνω από μια αρτηρίες.

Από την άλλη στον κλάδο λήψης του τερματικού σταθμού, το σήμα φτάνει από την κεραία μέσω των φίλτρων και του κυματοδηγού στην είσοδο του δέκτη όπου ενισχύεται σε έναν προενισχυτή. Στη συνέχεια υποβιβάζεται η συχνότητά του με τη βοήθεια της συχνότητας της βοηθητικής γεννήτριας G1 στην ενδιάμεση συχνότητα των 70 MHz. Κατόπιν το σήμα ενισχύεται σε έναν ενδιάμεσο ενισχυτή και οδηγείται στον αποδιαμορφωτή. Εδώ λαμβάνεται η αρχική ζώνη του ΦΣ. Η ζώνη ενισχύεται και οδηγείται στο φερέσυχο λήψης από όπου παίρνονται τα διαφορετικά κανάλια.

4.3 Ψηφιακά μικροκυματικά συστήματα

Η ψηφιακή μετάδοση απαιτεί πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης από την αναλογική. Έτσι ένα PCM σήμα ομιλίας απαιτεί 64 kHz αντί των 4kHz ενός σήματος SSB. Η ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας στις επόμενες δεκαετίες και στα τηλεπικοινωνιακά κέντρα έχει ως αποτέλεσμα την μετατροπή των παλιών αναλογικών συστημάτων σε ψηφιακά. Οικονομοτεχνικές μελέτες δείχνουν η ψηφιακή μικροκυματική ζεύξη είναι οικονομικότερη από την αναλογική για αποστάσεις μέχρι 800 km περίπου.

Αρχικά σαν μέθοδος διαμόρφωση εξετάσθηκε η PSK (Phase Shift Keying) η οποία όμως δε δίνει τους απαιτούμενους ρυθμούς μετάδοσης. Έτσι αναπτύχθηκαν μιαιδικά συστήματα διαμόρφωσης φάσης (MPSK) όπως οι QPSK και 8PSK και συστημάτων QAM (Quadrature Amplitude Modulation) που αποδίδουν πολλαπλάσιους ρυθμούς. Από τα αναλογικά συστήματα προήλθαν τα ψηφιακά συστήματα πρώτης γενιάς στενής ζώνης με QPSK και 8PSK και σταθερό πλάτος παλμών. Τα συστήματα δεύτερης γενιάς χρησιμοποιούσαν συστήματα διαμόρφωσης 16QAM και 64QAM με 140 Mbps αλλά αντιμετώπιζαν προβλήματα μη γραμμικών παραμορφώσεων στη διαδρομή του σήματος. Σήμερα αναπτύσσονται συστήματα 3^{ης} γενιάς που έχουν σαν χαρακτηριστικά την καλύτερη εκμετάλλευση του φάσματος των ραδιοσυχνοτήτων χρησιμοποιώντας μεθόδους διαμόρφωσης 64QAM και 256QAM που με εύρος καναλιού 40 MHz μπορούν να αποδώσουν 14 Mbps. Επίσης άλλο ένα χαρακτηριστικό είναι η μεγαλύτερη οικονομικότητα που επιτυγχάνεται με τη χρήση νέων ημιαγωγικών στοιχείων σε ολοκληρωμένα μικροκυματικά κυκλώματα. Επίσης επιδιώκεται η επέκταση του φάσματος με αξιοποίηση συχνοτήτων πάνω από τα 11 GHz και διαμόρφωση 16QAM και 64QAM.

4.4 Σχεδιασμός ραδιοζεύξης

Η δημιουργία ενός ασύρματου δικτύου θα πρέπει να ξεκινάει με έναν σωστό σχεδιασμό. Υπάρχει μια σειρά από βήματα στη φάση του σχεδιασμού που μπορούν να γλιτώσουν το σχεδιαστή του δικτύου από πολλά λάθη και παραλείψεις κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης και υλοποίησης.

4.4.1 Απαιτήσεις

Στη φάση της προετοιμασίας και πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε άλλη έρευνα ο σχεδιαστής του ασύρματου δικτύου θα πρέπει πρώτα από όλα να καθορίσει τις απαιτήσεις των χρηστών του δικτύου με βάση δυο πολύ σημαντικούς παράγοντες:

- Το πλήθος των δεδομένων που πρόκειται να ανταλλάσσονται
- Το ρυθμό μετάδοσης που θα πρέπει να μεταδίδονται
- Την ποιότητα των μεταδιδόμενων πληροφοριών.

Είναι φανερό ότι οι παράγοντες αυτοί δεν είναι σε κάθε υλοποίηση εξίσου σημαντικοί. Υπάρχουν κανάλια τα οποία εξυπηρετούν π.χ. φωνητικές υπηρεσίες όπου ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είναι πολύ σημαντικότερος από την ακρίβεια της πληροφορίας ψηφιακού ήχου που μεταδίδεται. Σε άλλες περιπτώσεις όπως είναι η μετάδοση κρίσιμων πληροφοριών όπως είναι μια ηλεκτρονική συναλλαγή η ακρίβεια και η ποιότητα στη μετάδοση των πληροφοριών με το μικρότερο δυνατό σφάλμα είναι πρωταρχικός στόχος και η ταχύτητα μετάδοσης δευτερεύων. Συνεπώς ο σχεδιαστής του δικτύου θα πρέπει να προσδιορίσει τις ανάγκες των χρηστών και ανάλογα να προχωρήσει στην επιλογή της καλύτερης δυνατής λύσης.

4.4.2 Τοπολογία

Όπως επίσης είδαμε οι ασύρματες και ειδικά οι μικροκυματικές ζεύξεις επηρεάζονται άμεσα από τον χώρο και γενικά από την τοπολογία του δικτύου. Θα πρέπει να αρχικά να γίνει έλεγχος της οπτικής επαφής μεταξύ των τερματικών και να προσδιοριστούν οι θέσεις των πομπών και δεκτών του σήματος με προσοχή έτσι ώστε το μικροκυματικό σήμα να είναι όσο το δυνατόν πιο διαυγές. Σε μικροκυματικές ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων μια τεχνική που χρησιμοποιείται είναι η χρήση ενός συστήματος προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης GPS (Global Positioning System). Το GPS είναι ένα σύστημα που έχει αναπτυχθεί από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ και βασίζεται στη χρησιμοποίηση δορυφόρων για τον εντοπισμό των συντεταγμένων της θέσης μιας συσκευής στην επιφάνεια της γης η οποία λαμβάνει ένα ειδικό σήμα από τουλάχιστον 3 δορυφόρους.

Αφού προσδιοριστούν οι ακριβείς θέσεις των συσκευών μετάδοσης θα πρέπει να γίνει ένα διάγραμμα με τη τοπογραφική ή γεωγραφική θέση τους. Η μορφολογία του χώρου ή του εδάφους είναι ένας σημαντικός παράγοντας και η ύπαρξη εμποδίων όπως είδαμε μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη μετάδοση του σήματος και να περιορίσει την εμβέλεια του. Ειδικά στην περίπτωση ραδιοζεύξεων μεγάλων αποστάσεων θα πρέπει να

χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό ένα τοπογραφικό με τα ύψη των φυσικών ή τεχνητών εμποδίων που παρεμβάλλονται μεταξύ των τερματικών σταθμών. Επίσης θα πρέπει να προσδιορίζεται πάνω σε αυτό το διάγραμμα η πορεία μετάδοσης του σήματος από τον πομπό προς τους αναμεταδότες και μέσω αυτών στον τελικό παραλήπτη.

4.4.3 Διάγραμμα δικτύου

Το επόμενο λοιπόν στάδιο είναι η σχεδίαση του λογικού διαγράμματος του δικτύου. Ανάλογα με τις αποστάσεις και τις απαιτήσεις μετάδοσης των δεδομένων θα πρέπει να προσδιοριστούν τα οι τερματικοί σταθμοί, τα μεταξύ τους κανάλια καθώς και οι ενδιάμεσοι αναμεταδότες. Ακολουθεί λοιπόν το στάδιο του ελέγχου της μηκοτομής της μικροκυματικής ζεύξης. Για ραδιοζεύξεις μεγάλων αποστάσεων ένας εμπειρικός κανόνας είναι ότι ένα σήμα δε θα πρέπει να ταξιδεύει χωρίς αναμετάδοση σε απόστασης μεγαλύτερη των 50 Km. Οι αναμεταδότες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Παθητικοί Αναμεταδότες
- Ενεργοί Αναμεταδότες

Οι παθητικοί αναμεταδότες είναι ουσιαστικά ανακλαστήρες των ραδιοκυμάτων. Οι αναμεταδότες αυτοί ανακατευθύνουν ουσιαστικά το σήμα έτσι ώστε να αποφευχθεί ένα φυσικό εμπόδιο. Τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι:

- Δεν έχουν δική τους τροφοδοσία
- Δεν χρειάζονται οδική πρόσβαση ούτε στέγαση
- Χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση

Οι παθητικοί αναμεταδότες προφανώς δεν έχουν καμία επίπτωση στο περιβάλλον. Οδηγουν σε εξοικονόμηση κόστους κατασκευής του δικτύου αφού με την ανακατεύθυνση του σήματος προς εύκολα προσβάσιμες περιοχές, το κόστος κατασκευής ενεργών αναμεταδοτών μειώνεται σημαντικά

Ένα δίκτυο όμως δε μπορεί να χρησιμοποιεί μόνο παθητικούς αναμεταδότες και αυτό γιατί το σήμα όπως είπαμε μετά από κάποια απόσταση εξασθενεί. Συνεπώς είναι

απαραίτητα η ύπαρξη ενεργών αναμεταδότες οι οποίοι λαμβάνουν ένα σήμα, το ενισχύουν και το αναμεταδίδουν. Η βασική τους διαφορά είναι στον τρόπο κατασκευής τους όπου περιέχουν έναν δέκτη, έναν ενισχυτή και έναν πομπό. Είναι απαραίτητη η τροφοδοσία τους και επιπλέον η συντήρησή τους ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η κατασκευή τους πρέπει να είναι τέτοια έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ανεμπόδιστη μετάδοση του σήματος. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να είναι τοποθετημένοι σε ψηλά σημεία καθώς και σε κατασκευασμένους πύργους οι οποίοι θα είναι επίσης ανθεκτικοί σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Η κατασκευή τέτοιων αναμεταδοτών είναι δύσκολη και δαπανηρή και απαιτεί πάντα οδική πρόσβαση γι αυτό και η επιλογή της τοποθεσίας θα πρέπει να γίνει με μεγάλη προσοχή.

Ένα σημαντικό λοιπόν στάδιο στη σχεδίαση του ασύρματου δικτύου είναι ο προσδιορισμός του μονοπατιού που θα ακολουθηθεί το σήμα και ο καθορισμός της συχνότητας λειτουργίας της ζεύξης. Η επιλογή της σωστής ραδιοσυχνότητας είναι μια σημαντική παράμετρος στην υλοποίηση του ασύρματου δικτύου. Οι μικροκυματικές ζεύξεις υπόκεινται σε κάποιους κανονισμούς όσον αφορά τη συχνότητα και την απόσταση μετάδοσης του σήματος. Έτσι κατά το σχεδιασμό θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι αποστάσεις μεταξύ των τερματικών σταθμών έτσι ώστε να επιλέγεται η καλύτερη δυνατή και επιτρεπόμενη συχνότητα. Στον πίνακα παρουσιάζονται οι επιτρεπτές μπάντες συχνοτήτων και οι μέγιστες αποστάσεις που μπορούν να μεταδοθούν.

Ζώνη Συχνότητας	Μέγιστη Επιτρεπτή Απόσταση Μετάδοσης
7 GHz	Πάνω από 30 Km
13/15/18 GHz	15 Km – 30 Km
23/26 GHz	5 Km – 15 Km
38 GHz	Μέχρι 5 Km

Πίνακας 3. Συχνότητες ανά απόσταση

Ένας από τους δείκτες αξιολόγησης της αξιοπιστίας και της απόδοσης της μετάδοσης είναι η συχνότητα των σφαλμάτων κατά τη μετάδοση BER όπου

BER= πλήθος εσφαλμένων bit / συνολικός αριθμός μεταδιδόμενων bit

Ο δείκτης αυτός δεν είναι αρκετός γιατί αλλοιώνει την πραγματική εικόνα απόδοσης ενός δικτύου που για παράδειγμα είναι αξιόπιστο αλλά για κάποια συνεχόμενη περίοδο εμφάνισε πολλά σφάλματα. Έτσι χρησιμοποιούνται άλλα κριτήρια αξιολόγησης ενός δικτύου όπως είναι αυτά που περιγράφονται από την ITU και ονομάζονται G.821 και G.826. Ενδεικτικά τα κριτήρια του G.821 είναι τα εξής:

- **Errored Second (ES).** Μια περίοδος ενός δευτερολέπτου όπου συμβαίνει τουλάχιστον ένα σφάλμα
- **Severly Errored Second (SES).** Μια περίοδος ενός δευτερολέπτου όπου ο δείκτης BER ξεπερνάει το 0.001
- **Degraded Minute (DM).** Μια περίοδος από 60 διαστήματα του ενός δευτερολέπτου εκτός των SES όπου ο δείκτης BER υπερβαίνει το 0.000001.

Με βάση τις προδιαγραφές σε μια μετάδοση ο δείκτης SES δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 0.2%, ο DM το 10% και ο ES το 8%.

4.4.4 FEC (Forward Error Correction)

Η μέθοδος FEC είναι μια τεχνική εντοπισμού σφαλμάτων ιδιαίτερα διαδεδομένη στις ασύρματες επικοινωνίες. Στηρίζεται στη μετάδοση δεδομένων σε πακέτα και προσθέτει επιπλέον bits σε ένα πακέτο τα οποία ελέγχουν αν η μετάδοση του τμήματος δεδομένων του πακέτου έχει γίνει σωστά. Με βάση τον FEC κατά την αποστολή των δεδομένων εκτελείται ένας αλγόριθμος ο οποίος παράγει ένα κωδικό από bits που προκύπτουν από τα bits των δεδομένων και προστίθενται σαν επικεφαλίδα στο πακέτο. Το πακέτο στέλνεται στον παραλήπτη και εκεί εκτελείται ο ίδιος αλγόριθμος. Αν ο κωδικός που παράγεται στον παραλήπτη δεν είναι ο ίδιος με αυτόν που στάλθηκε τότε σημαίνει πως έχει συμβεί κάποιο σφάλμα και μπορεί να εντοπιστεί και ένας περιορισμένος αριθμός από αυτά να διορθωθούν χωρίς να είναι αναγκαία η επαναμετάδοση του πακέτου. Ένας Reed-Solomon κωδικός που αποτελείται από 20 byte διόρθωσης από τα 224 συνολικά μπορεί να διορθώσει μέχρι 10 Byte ανά τμήμα.

4.5 Ασύρματα δίκτυα υπολογιστών

Τα ασύρματα μέσα μετάδοσης επιτρέπουν σε ηλεκτρονικές συσκευές (από υπολογιστές μέχρι video) να επικοινωνούν μεταξύ τους και να ανταλλάσσουν δεδομένα χωρίς την ύπαρξη καλωδίων. Επιτυγχάνουν τη μετάδοση δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις εύκολα και με μικρό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης των δικτύων. Θα μπορούσαμε να διακρίνουμε τις ασύρματες επικοινωνίες στις εξής κατηγορίες:

Προσωπικά Ασύρματα Δίκτυα WPAN (Wireless Personal Area Networks)

- IrDA
- Bluetooth

Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα WLAN (Wireless Local Area Networks)

- 802.11b (ή WiFi ή Ασύρματο Ethernet)
- 802.11a
- 802.11g
- HiPerLAN II
- HomeRF

Ευρυζωνικά Ασύρματα Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (WAN)

- MMDS and LMDS
- Δίκτυα Ευρείας Περιοχής με τη χρήση Δορυφορικής Σύνδεσης

Δίκτυα με τη χρήση Κινητής Τηλεφωνίας (Mobile Wireless)

Τα κυριότερα πρωτόκολλα ασύρματης μετάδοσης που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι το πρωτόκολλο Bluetooth για τη διασύνδεση ηλεκτρονικών συσκευών μεταξύ τους σε μικρές αποστάσεις και οι τεχνολογίες 802.11x για την εγκατάσταση Ασύρματων Τοπικών Δικτύων. Σε όλα τα νέα πρότυπα ασύρματων δικτύων, εκτός από το πρότυπο IrDA (Infrared Data Association, Σύνδεσμος για τα Υπέρυθρα Δεδομένα), το οποίο ούτως ή άλλως δεν αφορά ασύρματα δίκτυα αλλά ασύρματη επικοινωνία, δεν απαιτείται οπτική επαφή.

4.5.1 Bluetooth

Το Bluetooth είναι ένα πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας διαφορετικό από τα 802.11 πρότυπα. Το όνομά του το πήρε από το βασιλιά Harald Bluetooth που έζησε στη Δανία από το 910 μ.Χ. έως το 940 μ.Χ. και το πρότυπο ονομάστηκε έτσι γιατί αναπτύχθηκε από την εταιρεία Ericsson μαζί με άλλες μεγάλες εταιρίες του χώρου όπως η IBM, Toshiba, Intel, Nokia και Motorola. Είναι το πρότυπο που χρησιμοποιείται όχι για την εγκατάσταση τοπικών δικτύων υπολογιστών αλλά για την επικοινωνία και τη μικρών επιδόσεων ασύρματη δικτύωση ηλεκτρονικών συσκευών όπως κινητά, PDA, μικροσυσκευές με PC, εκτυπωτές, fax, modem, πληκτρολόγια κ.τ.λ. Το χαρακτηριστικό των συσκευών αυτών είναι η χαμηλή κατανάλωση (0,01W). Τα δίκτυα αυτά ονομάζονται PAN (Personal Area Networks, Δίκτυα Προσωπικού Χώρου) και η εμβέλεια της επικοινωνίας περιορίζεται σε είναι πολύ λίγα μέτρα και έρχονται να αντικαταστήσουν την ασύρματη διασύνδεση με υπέρυθρες IR (Infra Red). Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων είναι μέχρι 1Mbps ενώ είναι δυνατή και η ταυτόχρονη μεταφορά ήχου. Η συχνότητα που εκπέμπονται τα δεδομένα είναι τα 2,4GHz ενώ χρησιμοποιείται η τεχνική εναλλαγής συχνότητας.

Το Bluetooth σε αντίθεση με το 802.11 είναι πολύ απλούστερο στην εγκατάσταση και χρήση του. Υποστηρίζει τόσο άμεση επικοινωνία ανάμεσα σε δύο συσκευές (point to point) όσο και επικοινωνία πολλών συσκευών με ένα access point (point to multipoint). Η χωρητικότητά του είναι 8 συσκευές ανά δίκτυο αλλά η μέθοδος εναλλαγής συχνοτήτων (1600 εναλλαγές ανά δευτερόλεπτο σε 79 κανάλια) επιτρέπει σε περισσότερα από 1 δίκτυα να συνυπάρχουν στον ίδιο χώρο. Η ελάχιστη απόσταση ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη είναι 10 εκατοστά και η μέγιστη 10 μέτρα. Το Bluetooth δεν παρέχει ιδιαίτερα υψηλό επίπεδο ασφαλείας ούτε κάποιο πρωτόκολλο κρυπτογράφησης, όμως η μικρή του εμβέλεια περιορίζει τον κίνδυνο υποκλοπής των μεταφερόμενων δεδομένων.

4.5.2 802.11

Το 802.11 είναι το όνομα του project της ομάδας εργασίας του Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών γνωστού ως IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) για τα ασύρματα δίκτυα. Το IEEE 802.11, το οποίο δημιουργήθηκε τον Ιούνιο του 1997, είχε αρχικά ταχύτητα 2Mbps και ήταν το πρότυπο που ακολουθούσαν μέχρι τώρα τα ασύρματα δίκτυα Ethernet. Οι κυριότερες εκδόσεις του πρωτοκόλλου αυτού είναι οι 802.11b, 802.11a και η πιο πρόσφατη 802.11g.

Wi-Fi (802.11b)

Το πρωτόκολλο αυτό αποτελεί το standard της αγοράς μέχρι τώρα στα ασύρματα δίκτυα Ethernet και υποστηρίζει τόσο επικοινωνία point to point (η οποία ονομάζεται ad hoc) όσο και επικοινωνία point to multipoint. Ονομάζεται και Wi-Fi (Wireless Fidelity) και χρησιμοποιείται για την υλοποίηση τοπικών δικτύων σε μεγάλους χώρους χωρίς τη χρήση καλωδίων. Η έκδοση IEEE 802.11b που είναι επίσης γνωστή και ως IEEE 802.11 High Rate δημιουργήθηκε τον Ιούλιο του 1998 και έχει ταχύτητα 11Mbps. Αποτελεί την πλέον διαδεδομένη και φθηνή λύση στο χώρο των ασύρματων Τοπικών δικτύων. Λειτουργεί στο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων των 2.4GHz και εμβέλειά του έχει ακτίνα περίπου 30 μέτρα. Η συχνότητα αυτή που χρησιμοποιείται και από τους φούρνους μικροκυμάτων, επιλέχθηκε διότι είναι ελεύθερη και δεν απαιτείται έκδοση αδείας για τις συσκευές που τη χρησιμοποιούν.

Οι υπολογιστές που βρίσκονται στον ίδιο χώρο μπορούν να επικοινωνήσουν είτε απευθείας ο ένας με τον άλλον σε κατάσταση ad hoc χωρίς την εγκατάσταση τοπικού δικτύου. Στην περίπτωση εγκατάστασης τοπικού δικτύου είναι απαραίτητη η χρήση ενός access point που αποτελεί έναν ασύρματο αναμεταδότη-δρομολογητή που συνδέει όλους τους υπολογιστές μεταξύ τους.

Το 802.11b χρησιμοποιεί το WEP (Wired Equivalent Privacy) ως πρωτόκολλο κρυπτογράφησης των δεδομένων που μεταδίδονται ασύρματα. Το WEP χρησιμοποιεί

τον αλγόριθμο RC4 και προσφέρει τη δυνατότητα εξουσιοδότησης του κάθε κόμβου και κρυπτογράφησης των δεδομένων.

Ένα από τα μειονεκτήματα του WiFi είναι ότι χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα σήματος με το πρωτόκολλο Bluetooth. Η κοινή χρήση της ίδιας συχνότητας και από τα δύο πρότυπα μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην συνύπαρξή τους. Οι παρεμβολές μπορεί να προκύψουν εάν τα δύο δίκτυα βρίσκονται πολύ κοντά και προσπαθούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα. Οι παρεμβολές συνήθως οδηγούν σε λάθος μεταφορά των δεδομένων και αυτόματα θα επαναληφθεί η μεταφορά του χαμένου πακέτου σε άλλη συχνότητα. Το Bluetooth, όμως, μεταφέρει μικρότερα πακέτα και δοκιμάζει εναλλακτικές συχνότητες 600 φορές ταχύτερα από το IEEE802.11b, με αποτέλεσμα, ουσιαστικά, το πρώτο να μπλοκάρει το δεύτερο μειώνοντας δραματικά την ταχύτητά του. Το γεγονός ότι η συχνότητα αυτή είναι διαδεδομένη και σε άλλες οικιακές συσκευές μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές σε μεγάλη συχνότητα.

4.5.3 802.11a

Το πρότυπο 802.11a είναι μια βελτιωμένη έκδοση του 802.11b. Χρησιμοποιεί διαφορετική συχνότητα από το Wi-Fi στα 5.15GHz με 5.35GHz η οποία δεν είναι πολύ διαδεδομένη και έτσι οι παρεμβολές στο σήμα από άλλες μικροκυματικές συσκευές είναι σημαντικά λιγότερες. Το εύρος ζώνης είναι πολύ μεγαλύτερο και έτσι θεωρητικά η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων μπορεί να φτάσει και τα 54Mbps. Παρόλα αυτά η πραγματική ταχύτητα είναι περίπου στα 22Mbps αν και κάποιοι κατασκευαστές παρέχουν τύπους υλικού που υποστηρίζουν μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης. Το σημαντικότερο μειονέκτημα σε σχέση με το Wi-Fi είναι η μικρή εμβέλεια του σήματος που περιορίζεται στα 15 μέτρα. Αυτό σημαίνει πως για την εγκατάσταση ενός τοπικού δικτύου σε μεγαλύτερη απόσταση χρειάζονται περισσότεροι αναμεταδότες από ότι το Wi-Fi που καλύπτει μέχρι και 30 μέτρα. Επίσης αποτελεί πιο ακριβή λύση από ότι το Wi-Fi. Επιπλέον το 802.11a δεν είναι συμβατό με το Wi-Fi. Υπάρχουν ωστόσο συσκευές που υποστηρίζουν και τα δύο πρότυπα και μπορούν να αλλάζουν συχνότητα επικοινωνίας για να διατηρούν τη σύνδεση δύο ασύρματων δικτύων με διαφορετικό πρότυπο.

4.5.4 802.11g

Το 802.11g είναι το τελευταίο πρότυπο που έχει αναπτυχθεί και κερδίζει συνεχώς έδαφος στην υλοποίηση ασύρματων δικτύων. Χρησιμοποιεί την ίδια κωδικοποίηση με το 802.11a (OFDM). Παρέχει ταχύτητες στα 54Mbps και 108 Mbps και είναι συμβατό με το πρότυπο Wi-Fi. Η εμβέλεια του σήματος όπως και στο Wi-Fi είναι 30 μέτρα όμως αντιμετωπίζει τα ίδια προβλήματα παρεμβολών από άλλες μικρολυματικές συσκευές όπως και το Wi-Fi.

Ένα από τα πρότυπα που αναπτύσσεται και πρόκειται να προσφέρει μεγαλύτερες δυνατότητες είναι το 802.16. το πρότυπο αυτό αναμένεται να καλύπτει μεγαλύτερη απόσταση (από 20 μέχρι 30 χλμ) και επίσης θα υποστηρίξει πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες. Η συχνότητα του σήματος θα είναι διαφορετική από όλα τα 802.11 πρότυπα και θα κυμαίνεται από 10 μέχρι 66 GHz.

Στα ασύρματα τοπικά δίκτυα υπάρχουν δύο μέρη: η ασύρματη κάρτα δικτύου (wireless LAN adapter), η οποία επικοινωνεί είτε με άλλες συσκευές που έχουν ασύρματη κάρτα δικτύου, είτε με έναν αναμεταδότη δρομολογητή (Access Point) που λειτουργεί και ως γέφυρα με το ενσύρματο δίκτυο. Η κάρτα δικτύου μοιάζει με μια τυπική κάρτα δικτύου (είτε σε ISA ή PCI για σταθερούς υπολογιστές, είτε σε PC Card για φορητούς) με μια μικρή κεραία, ενώ ο πομποδέκτης έχει τις διαστάσεις ενός βιβλίου και, εκτός από την κεραία, έχει και τα κατάλληλα βύσματα για σύνδεση με σταθερό δίκτυο. Οσον αφορά την ασφάλεια, τα πιο πολλά ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν επίσης μεθόδους εξουσιοδότησης των συνδεόμενων και κρυπτογράφησης των δεδομένων. Αρκετά πρότυπα χρησιμοποιούν την τεχνική εναλλαγής συχνότητας (frequency hopping) σύμφωνα με την οποία ο κάθε πομποδέκτης αλλάζει συχνότητα μετά την αποστολή/λήψη ενός πακέτου δεδομένων αποφεύγοντας έτσι τα παράσιτα.



Εικόνα 1. Ασύρματη Κάρτα Δικτύου της Compaq



Εικόνα 2. Access Point της Compaq

4.5.5 HomeRF

Πέρα από τη τεχνολογία IEEE802.11 για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, εναλλακτικά χρησιμοποιείται το πρότυπο HomeRF, το οποίο αναπτύσσεται από την Proxim, Intel και Motorola και υποστηρίζεται από πολλές εταιρείες όπως η Hewlett Packard. Το HomeRF στηρίζεται στο ασύρματο πρωτόκολλο Κοινής Πρόσβασης SWAP (Shared Wireless Access Protocol). Το SWAP συνδυάζει την τεχνολογία 802.11 με στοιχεία από το σύστημα ψηφιακής ασύρματης τηλεφωνίας DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone). Το πρότυπο αυτό προσφέρει ταυτόχρονη μεταφορά ήχου και δεδομένων με ταχύτητα μέχρι 2Mbps. Η χαμηλή ταχύτητα που προσφέρει σε κόστος παρόμοιο με αυτό του IEEE802.11b είναι ένα από τα σημαντικά μειονεκτήματά του. Επίσης αντιμετωπίζει τα ίδια προβλήματα παρεμβολών με τα πρότυπα 802.11 και Bluetooth.

4.5.6 HiperLAN

Το HiperLAN είναι ένα εναλλακτικό πρότυπο που αναπτύχθηκε και τυποποιήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τυποποίησης Τηλεπικοινωνιών ETSI (European Telecommunications Standardization Institute). Το HiperLAN 1 τυποποιήθηκε το 1996 και υποστηρίζει ταχύτητες μέχρι 24Mbps. Το HiperLAN 2 υποστηρίζει ταχύτητες μέχρι 54Mbps. Το HiperLAN χρησιμοποιεί τη συχνότητα των 5GHz, η οποία στην Αμερική και στην Ιαπωνία είναι ελεύθερη και στην Ευρώπη έχει παραχωρηθεί για χρήση από τα ασύρματα δίκτυα. Έτσι δεν υπάρχουν προβλήματα παρεμβολών με τα δίκτυα που λειτουργούν στα 2,4GHz και μπορούν να χρησιμοποιηθούν παγκοσμίως χωρίς την απαίτηση παραχώρησης αδείας.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του HiperLAN είναι το ad hoc roaming, η δυνατότητα δηλαδή της αυτόματης προώθησης των δεδομένων από access point σε access point όταν ο παραλήπτης δεν βρίσκεται στο βεληνεκές του αποστολέα. Το HiperLAN συγκριτικά με τα περισσότερα πρότυπα υποστηρίζει μεγάλη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων και επιπλέον είναι το μόνο που υποστηρίζει προδιαγραφές QoS (Quality Of Service - Ποιότητα Υπηρεσιών). Με το QoS τα πακέτα δεδομένων κατηγοριοποιούνται και αποκτούν διαφορετική σειρά προτεραιότητας ανάλογα με το είδος τους έτσι ώστε η ροή δεδομένων να είναι πιο ομαλή όταν πρόκειται για δεδομένα εικόνας ή βίντεο. Τέλος το HiperLAN2, σε αντίθεση με όλα τα υπόλοιπα πρότυπα, είναι συμβατό με μια τεράστια ποικιλία δικτύων γιατί, εκτός από το να συνδέεται με δίκτυα Ethernet, έχει τη δυνατότητα και για μεταφορά πακέτων IP, Firewire, ATM, UMTS κ.ά.

	Bluetooth	HomeRF	IEEE802.11	IEEE802.11b	IEEE802.11a	HiperLAN1	HiperLAN2
Ταχύτητα	1Mbps	2Mbps	2Mbps	11Mbps	54Mbps	24Mbps	54Mbps
Εμβέλεια	10μ	50μ	100μ	100μ	100μ	50μ	30-150μ
Συχνότητα	2,4GHz	2,4GHz	2,4GHz	2,4GHz	5GHz	5GHz	5GHz
Διασύνδεση	Καμία	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet, ATM, IP, UMTS, Firewire, PPP
Κατάσταση	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο		Διαθέσιμο	
Υποστηρικτές	Ericsson, IBM, Toshiba, Intel, Nokia, Motorola	Proxim, Intel, HP, 3COM, Motorola		Cisco, Lucent, 3Com, Apple, Compaq, Zoom, Dell, Nokia		ETSI, Proxim, HP, Xircom, IBM, Nokia	ETSI, HP, Xircom, IBM, TI, Dell, Ericsson, Nokia, Proxim

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά Ασύρματων προτύπων

5. Υλοποίηση ενός Ασύρματου Τοπικού Δικτύου

5.1 Γενικά

Τα ασύρματα δίκτυα είναι πολύ διαδεδομένα πλέον στην υλοποίηση τοπικών δικτύων. Η ευκολία εγκατάστασης και οι δυνατότητες που προσφέρουν οδηγούν πολλούς τεχνικούς δικτύων να τα προτιμούν σε σχέση με τα παραδοσιακά ενσύρματα τοπικά δίκτυα. Ο εξοπλισμός που απαιτείται είναι παρόμοιος με τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα χωρίς όμως την ανάγκη καλωδιακής εγκατάστασης ανάμεσα στις συσκευές που συμμετέχουν στο τοπικό δίκτυο. Αυτό σημαίνει εξοικονόμηση χρόνου και κόστους εγκατάστασης του δικτύου. Επίσης άλλο ένα πλεονέκτημα είναι η επεκτασιμότητα του αφού οποιαδήποτε συσκευή διαθέτει τον κατάλληλο εξοπλισμό μπορεί να συνδεθεί σχεδόν άμεσα στο τοπικό δίκτυο.

Τα μειονεκτήματα ενός ασύρματου τοπικού δικτύου έχουν να κάνουν κυρίως με την απόσταση στην οποία μπορούν να τοποθετηθούν οι υπολογιστές μεταξύ τους λαμβάνοντας πάντα υπόψη και την ιδιομορφία του χώρου. Όπως αναφέραμε στις μικροκυματικές ζεύξεις, το σήμα για να έχει καλή απόδοση θα πρέπει να μεταδίδεται όσο γίνεται περισσότερο ανεμπόδιστο. Τοίχοι ή ψηλά εμπόδια μειώνουν κατά πολύ την ακτίνα εμβέλειας του ραδιοκύματος. Επίσης ένα άλλο μειονέκτημα που περιγράφηκε είναι οι παρεμβολές που δέχεται η μικροκυματική ζεύξη από άλλες συσκευές ακόμα και οικιακές που εκπέμπουν ακτινοβολία ίδιου ή παρόμοιου φάσματος.

Τέλος συγκρίνοντας ένα ασύρματο δίκτυο με ένα ασύρματο είναι προφανές ότι οι κίνδυνοι στην ασφάλεια είναι πολύ περισσότεροι. Και αυτό γιατί στα ασύρματα δίκτυα το κανάλι μεταφοράς των δεδομένων είναι ο ατμόσφαιρικός αέρας γεγονός που δίνει τη δυνατότητα σε οποιονδήποτε βρίσκεται κοντά στην εκπομπή του σήματος να δέχεται το ραδιοσήμα χωρίς να απαιτείται η φυσική σύνδεσή του με το δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε σφάλματα στις ρυθμίσεις ασφαλείας του τοπικού δικτύου όπως η χρήση των προεπιλεγμένων ρυθμίσεων των κατασκευαστών και η μη χρήση κρυπτογράφησης μπορεί να οδηγήσει στην υποκλοπή σημαντικών πληροφοριών για μια εταιρεία. Σε κάθε

περίπτωση ο σχεδιαστής ενός ασύρματου δικτύου θα πρέπει να λάβει όλα τα απαραίτητα μέτρα έτσι ώστε το σήμα ακόμα κι αν υποκλαπεί, η μυστικότητα των μεταδιδόμενων δεδομένων να προστατεύεται.

5.2 Εξοπλισμός

Για την υλοποίηση ενός ασύρματου τοπικού δικτύου κατά το πρότυπο 802.11 είναι απαραίτητη η εγκατάσταση σε κάθε υπολογιστή του δικτύου μια ασύρματη κάρτα δικτύου (wireless LAN adapter). Η ασύρματη κάρτα δικτύου είναι παρόμοια με μια τυπική κάρτα δικτύου και συνδέεται είτε σε μια ISA ή σε μια PCI θύρα για σταθερούς υπολογιστές. Στο εξωτερικό της μέρος υπάρχει μια κεραία για την μετάδοση του σήματος. Στην περίπτωση ενός φορητού η κάρτα είναι τύπου PCMCIA. Επίσης μπορεί να είναι και σε μορφή εξωτερικής συσκευής που συνδέεται μέσω USB.



Wireless PCI Card

Εικόνα 3. Ασύρματη Κάρτα Δικτύου PCI

Οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να συνδεθούν δύο υπολογιστές είναι δύο: είτε με μια ad hoc σύνδεση ή μέσω ενός δρομολογητή αναμεταδότη. Στην πρώτη περίπτωση οι υπολογιστές συνδέονται απευθείας μεταξύ τους. Το μόνο που χρειάζεται είναι μια ασύρματη κάρτα δικτύου εγκατεστημένη και στους δύο γι αυτό και οι ρυθμίσεις που απαιτούνται είναι λιγότερες. Ο μέγιστος αριθμός όμως υπολογιστών που μπορούν να συνδεθούν είναι μόλις δύο. Συνεπώς για την ασύρματη σύνδεση παραπάνω από δύο υπολογιστών είναι απαραίτητη η εγκατάσταση στο χώρο ενός αναμεταδότη δρομολογητή (Access Point). Η συσκευή αυτή αναλαμβάνει να λαμβάνει, να δρομολογεί και να αναμεταδίδει τα σήματα που στέλνουν οι ασύρματες κάρτες δικτύου που είναι εγκατεστημένες στους υπολογιστές. Είναι αυτόνομη συσκευή και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της μπορεί να εξυπηρετεί διαφορετικές λειτουργίες όπως να λειτουργεί και ως γέφυρα με ένα ενσύρματο δίκτυο που υπάρχει επιπλέον του ασύρματου. Επίσης

μπορεί να λειτουργεί και ως ADSL modem και να παρέχει σύνδεση στο Internet άμεσα σε όλους τους υπολογιστές (Internet sharing).



Εικόνα 4. Ασύρματο Access Point

5.3 Εγκατάσταση

Ας δούμε βήμα προς βήμα την διαδικασία εγκατάστασης ενός ασύρματου τοπικού δικτύου όσον αφορά το φυσικό επίπεδο χωρίς να εμβαθύνουμε στις ρυθμίσεις τοπικού δικτύου στο περιβάλλον των Windows αφού αυτές οι ρυθμίσεις ισχύουν και στην περίπτωση ενός ενσύρματου.

5.3.1 Σχεδιασμός

Σε πρώτη φάση όπως είπαμε και στις μικροκυματικές ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων κάνουμε μια μελέτη του χώρου έτσι ώστε να αποφασιστεί σε ποια σημεία θα εγκατασταθούν οι τερματικοί σταθμοί και το Access Point λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που έχουν οι ασύρματες επικοινωνίες.

5.3.2 Εγκατάσταση Access Point

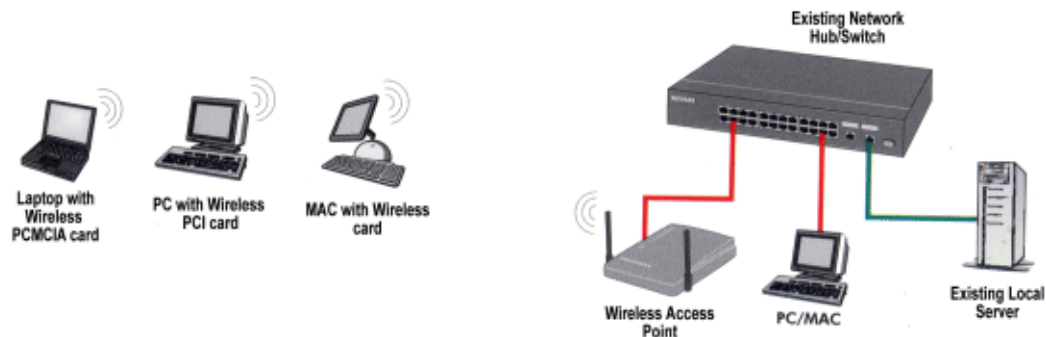
Το Access Point θα πρέπει να τοποθετηθεί περίπου στο κέντρο του ασύρματου δικτύου και να τροφοδοτείται από το ηλεκτρικό δίκτυο. Συνήθως μπορεί να εξυπηρετήσει μέχρι 16 ασύρματες συσκευές. Θα πρέπει να έχει σχετικά καλή οπτική επαφή με τους τερματικούς σταθμούς συνεπώς καλό είναι να βρίσκεται σε κάποιο ψηλό σημείο. Σε

περίπτωση που το δίκτυο εκτείνεται σε παραπάνω ορόφους τότε είναι καλό να υπάρχουν ένα Access Point ανά όροφο. Όπως είπαμε η συχνότητα που χρησιμοποιείται στο πρότυπο 802.11 είναι πολύ ευαίσθητη σε παρεμβολές από άλλες συσκευές όπως ηλεκτρονικές συσκευές, κινητά, φούρνους μικροκυμάτων κ.α. Συνεπώς θα πρέπει το Access Point να είναι τοποθετημένο μακριά από τέτοιες συσκευές.



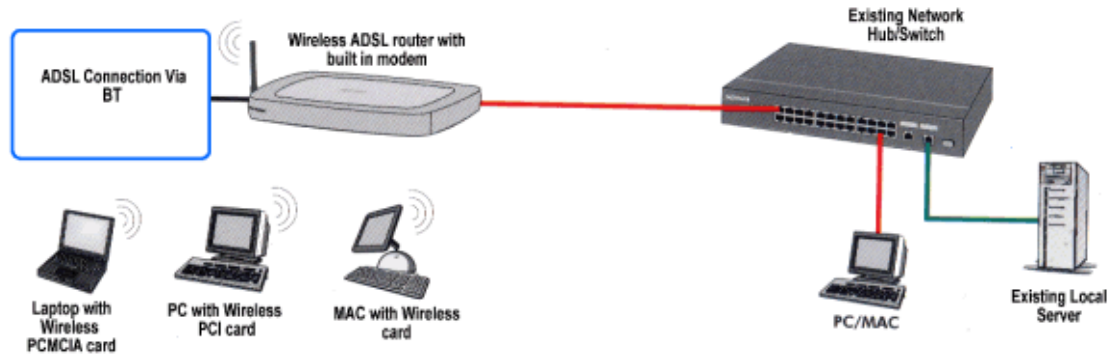
Εικόνα 5. Access Point στο κέντρο του δικτύου

Η εγκατάστασή του επίσης εξαρτάται και από τις λειτουργίες τις οποίες θα εξυπηρετεί. Τα περισσότερα Access Point έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης με ενσύρματο Ethernet δίκτυο. Έτσι αν πρόκειται να λειτουργήσει ως γέφυρα μεταξύ ενός ενσύρματου και ασύρματου δικτύου τότε θα πρέπει να συνδεθεί με τη συσκευή switch του ενσύρματου Ethernet δικτύου όπως φαίνεται και στο Σχήμα 17.



Σχήμα 17. Δυνατότητα σύνδεσης με ενσύρματο Ethernet

Με τον ίδιο τρόπο το Access Point έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί και με κάποιο ADSL modem για την παροχή σύνδεσης στο Internet. Υπάρχουν όμως στην αγορά ADSL modem που είναι παράλληλα και Access Point τα οποία μπορούν να παρέχουν πρόσβαση στο Internet στους υπολογιστές του ασύρματου δικτύου όπως φαίνεται και στο Σχήμα . Είναι προφανές ότι σε αυτή την περίπτωση το Access Point θα πρέπει να είναι συνδεδεμένο με το τηλεφωνικό δίκτυο.



Σχήμα 18. Ενσωματωμένο ADSL modem και Access Point

Το Access Point συνοδεύεται από κάποιο λογισμικό με το οποίο μπορούν να γίνουν οι κατάλληλες ρυθμίσεις έτσι ώστε να αποφευχθεί κάθε κίνδυνος ασφαλείας του δικτύου. Μια από τις ρυθμίσεις που μπορούν να γίνουν είναι ο προσδιορισμός της συχνότητας του μικροκύματος. Επίσης κάθε ασύρματο δίκτυο προσδιορίζεται μοναδικά από ένα προσδιοριστή που ονομάζεται SSID (Service Set Identification). Το SSID είναι ουσιαστικά το προσδιοριστικό όνομα του δικτύου στο οποίο θα πρέπει να αναφέρονται όλες οι σύσκευές που είναι συνδεδεμένες σε αυτό. Θα πρέπει το όνομα αυτό να μην υπερβαίνει τους 32 χαρακτήρες και να είναι το ίδιο για όλες τις συσκευές του δικτύου. Επίσης για λόγους ασφαλείας είναι καλό να αλλάζει από τον τεχνικό του δικτύου έτσι ώστε να είναι μοναδικό.



Εικόνα 6. Καθορισμός συχνότητας, SSID και WEP ή WPA

Άλλη μια ρύθμιση ασφαλείας που είναι καλό να ενεργοποιηθεί είναι η χρήση κάποιου προτύπου κρυπτογράφησης. Στα WiFi 802.11b δίκτυα το πρότυπο που χρησιμοποιείται είναι το WEP (Wired Equivalent Privacy). Πρόκειται για ένα σύστημα ασφάλειας του ασύρματου δικτύου. Χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο κρυπτογράφησης RC4 με τη χρήση ενός 64bit κλειδιού και ένα διάνυσμα αρχικοποίησης των 24 bit. Παρόλα αυτά το πρότυπο WEP παρουσίασε σημαντικές ελλείψεις. Έτσι στα ασύρματα δίκτυα WiFi 802.11i χρησιμοποιείται μια βελτιωμένη έκδοση κρυπτογράφησης, το WPA (Wi-Fi Protected Access). Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο κρυπτογράφησης RC4 με τη χρήση ενός 128-bit κλειδιού και ένα διάνυσμα αρχικοποίησης των 48 bit. Η

σημαντικότερη βελτίωση είναι το σύστημα TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) με το οποίο τα κλειδιά κρυπτογράφησης αλλάζουν δυναμικά καθώς το σύστημα χρησιμοποιείται.

5.3.3 Εγκατάσταση καρτών δικτύου

Στο επόμενο βήμα εγκαθίστανται οι κάρτες δικτύου στους desktop ή φορητούς υπολογιστές του δικτύου με τον ίδιο τρόπο που εγκαθίσταται μια τυπική κάρτα. Ανοίγοντας τον υπολογιστή τα Windows XP θα αναγνωρίσουν το καινούριο υλικό. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να γίνει εγκατάσταση των οδηγών της κάρτας. Συνήθως οι κάρτες συνοδεύονται από το κατάλληλο λογισμικό για την διαχείριση των ρυθμίσεων τους. Αρχικά θα πρέπει να προσδιοριστεί ότι η σύνδεση γίνεται μέσω Access Point ή Ad Hoc. Επίσης θα πρέπει να προσδιοριστεί το SSID του ασύρματου δικτύου που έχει καθοριστεί και στο Access Point. Τέλος θα πρέπει να προσδιοριστεί αν η μετάδοση των δεδομένων γίνεται με τη χρήση κάποιο κρυπτογραφικού προτύπου WEP ή WPA ανάλογα με τις ρυθμίσεις που έχουν γίνει στο Access Point.

Το επόμενο βήμα είναι ο εντοπισμός της συχνότητας στην οποία γίνεται η μετάδοση. Οι κάρτες έχουν έναν μηχανισμό αυτόματης σάρωσης όλων των πιθανών συχνοτήτων μέχρι να εντοπιστεί κάποιο σήμα του οποίου η συχνότητα αποθηκεύεται μια φορά και για πάντα. Εφόσον συντονιστούν οι συσκευές με το ραδιοσήμα που αποστέλλει το Access Point η υλοποίηση του ασύρματου δικτύου σε φυσικό επίπεδο έχει ολοκληρωθεί. Στο τελικό στάδιο γίνονται όλες εκείνες οι ρυθμίσεις σε επίπεδο εφαρμογής του τοπικού δικτύου μέσα από το λειτουργικό σύστημα που είναι απρόμοιες και στην περίπτωση ενός ενσύρματου Ethernet δικτύου.

6. Επίλογος

Οι τηλεπικοινωνίες όπως είδαμε είναι ένας τομέας ραγδαίων εξελίξεων. Ειδικά οι ασύρματες επικοινωνίες και τα ασύρματα δίκτυα έχουν γνωρίσει τα τελευταία χρόνια μια αλματώδη και ραγδαία εξέλιξη. Τεχνολογίες που εξυπηρετούν από μετάδοση φωνής, ψηφιακής εικόνας και δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις μέχρι την εγκατάσταση πλέον τοπικών δικτύων ή δικτύων ευρείας περιοχής με τη χρήση μικροκυματικών ζεύξεων.

Καθώς οι τεχνολογίες αυτές ωριμάζουν δημιουργούνται πρότυπα συμβατά με όλες τις πλατφόρμες και μπορούν να διασυνδέσουν συσκευές που ποικίλουν από desktop υπολογιστές και κινητά τηλέφωνα μέχρι PDAs και ηλεκτρονικές συσκευές. Ειδικά η εφαρμογή των ασύρματων επικοινωνιών στα δίκτυα υπολογιστών έχει φέρει ραγδαίες αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας και στις δυνατότητές τους. Χρήστες κινητών τηλεφώνων ή φορητών υπολογιστών μπορούν να συνδεθούν ασύρματα με κάποιο τοπικό δίκτυο σε κάποιο ξενοδοχείο ή αεροδρόμιο και να παραλάβουν την ηλεκτρονική τους αλληλογραφία άμεσα ή να έχουν πρόσβαση στον παγκόσμιο ιστό. Οι επιχειρήσεις ανεξαρτήτως μεγέθους μπορούν να υλοποιήσουν ασύρματα τοπικά δίκτυα ή δίκτυα ευρείας περιοχής χρησιμοποιώντας μικροκυματικές ζεύξεις των οποίων ο εξοπλισμός γίνεται συνεχώς πιο οικονομικός.

Η ευκολία εγκατάστασης ενός ασύρματου δικτύου ενέχει και πολλούς όμως κινδύνους. Στα πλαίσια μιας εταιρίας ο κίνδυνος βρίσκεται στην εγκατάσταση δικτύων που δεν θα πληρούν τους απαραίτητους κανόνες ασφαλείας. Σε μια ασύρματη ζεύξη, όπως είδαμε ο ατμοσφαιρικός δίαυλος μετάδοσης δίνει τη δυνατότητα υποκλοπής των δεδομένων. Έτσι αν δεν παρθούν τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας όπως είναι πρωτόκολλα κρυπτογράφησης των πληροφοριών, είναι πολύ πιθανόν η μετάδοση των δεδομένων να δεχθεί επιθέσεις από hackers και να παραβιαστεί το απόρρητο των πληροφοριών. Το γεγονός ότι η εγκατάσταση μιας ασύρματης επικοινωνίας σε ένα τοπικό δίκτυο είναι μια εύκολη διαδικασία μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα η εγκατάσταση αυτή να μη γίνεται από έμπειρο και σωστά καταρτισμένο προσωπικό και να οδηγήσει σε δημιουργία τρυπών στο σύστημα ασφαλείας ενός οργανισμού ή μιας εταιρείας.

Συμπερασματικά οι ασύρματες επικοινωνίες αποτελούν μια από τις ραγδαία εξελισσόμενες τεχνολογίες που θα κυριαρχήσουν τα επόμενα χρόνια σε σχέση με τα ενσύρματα μέσα επικοινωνίας λόγω των μεγάλων δυνατοτήτων που προσφέρουν και της ευκολίας ανάπτυξης και υλοποίησής τους. Παρόλα αυτά θα πρέπει να διασφαλιστεί η ασφάλεια της μεταδιδόμενης πληροφορίας με τρόπο τέτοιο ώστε να μην διακινδυνεύεται σε καμία περίπτωση η ακεραιότητα των δεδομένων.

Βιβλιογραφία

1. Andrew S.Tanenbaum, "Computer Networks", Prentice Hall Inc 1989
2. Stallings W., "Data and Computer Communications, 5th edition", Prentice Hall, 1996.
3. "Μετάδοση Δεδομένων & Δίκτυα Υπολογιστών" ΤΕΕ Τομέας Πληροφορικής ΥΠΕΠΘ Αθήνα 2000
4. Γεωργίου Θ, Κάππος Ι, Λαδίας Α., Μικροπουλος Α, "Πολυμέσα – Δίκτυα", Παιδαγωγικό Ινστιτούτο 1999
5. Douglas E. Comer, "Internetworking with TCP/IP, Principles, Protocols and Architecture, Vol 1", Prentice Hall Inc 2000
6. Hasall F, "Data Communications, Computer Networks and Open Systems", Addison 1996
7. Microsoft WLAN Security White Paper, Making IEEE 802.11 Networks Enterprise-Ready
<http://www.microsoft.com/windows2000/docs/wirelessec.doc>
8. Cisco Aironet Wireless LAN Security Overview
http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/witc/ao350ap/prodlit/a350w_ov.htm
9. www.pcmag.com
10. www.wikipedia.com
11. Peter J. Welcher and Marty Adkins, "Wireless LAN Security"
<http://www.netcraftsmen.net/welcher/papers/wireless02.html>
12. <http://www.techfest.com/networking/prot.htm>