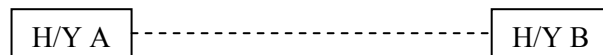


# Εισαγωγή στα Δίκτυα Υπολογιστικών Συστημάτων και το Internet

## 5.1 Εισαγωγή

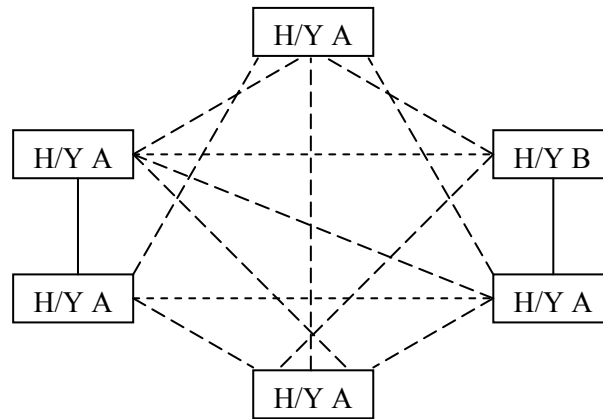
Δύο υπολογιστές που επικοινωνούν μέσω ενός επικοινωνιακού διαύλου αποτελούν ένα δίκτυο υπολογιστών. Επικοινωνιακός δίαυλος είναι ένα ενσύρματο ή ασύρματο μέσο μεταφοράς δεδομένων ανάμεσα σε δύο υπολογιστικά συστήματα. Οι επικοινωνιακοί δίαυλοι μπορεί να είναι μονόδρομοι (simplex) δηλαδή μονόδρομης επικοινωνίας, αμφίδρομης εναλλασσόμενης επικοινωνίας (half duplex) ή αμφίδρομης ταυτόχρονης επικοινωνίας (full duplex) δηλαδή μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα και προς τις δύο κατευθύνσεις.



Σχήμα 5.1: Απλό δίκτυο υπολογιστών

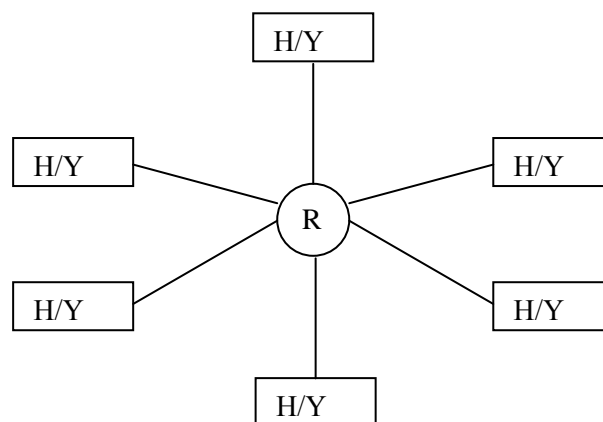
Για να κλιμακωθεί το παραπάνω απλό υπόδειγμα και να προστεθούν στο δίκτυο και άλλες υπολογιστικές συσκευές θα μπορούσε ο κάθε κόμβος που προστίθεται να επικοινωνεί με όλους τους άλλους κόμβους με ένα ξεχωριστό επικοινωνιακό δίαυλο.

Κάτι τέτοιο όμως είναι πολύ κοστοβόρο, δύσκολο στη διαχείριση και αναποτελεσματικό για μεγάλους αριθμούς υπολογιστικών συστημάτων.



Σχήμα 5.2: Κλιμάκωση δικτύου υπολογιστών με προσθήκη επικοινωνιακών γραμμών

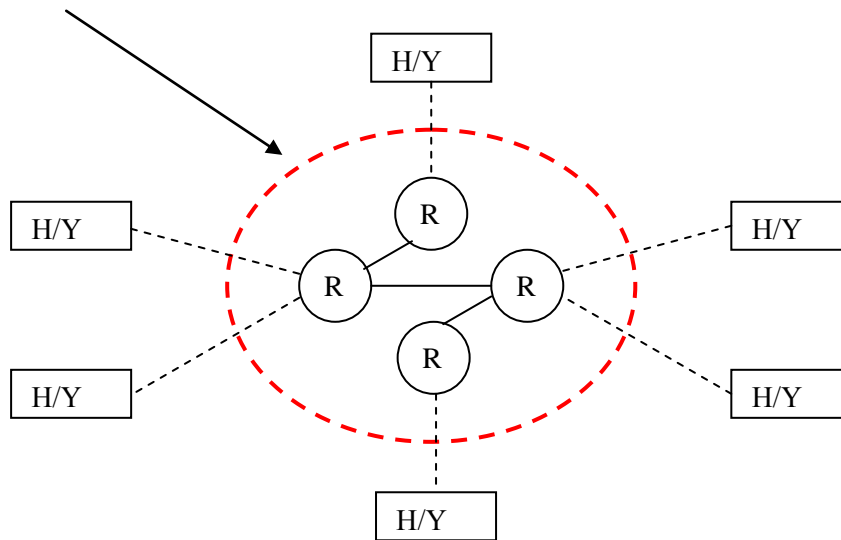
Για την μείωση των επικοινωνιακών διαύλων ή γραμμών χρησιμοποιούνται κόμβοι διασύνδεσης όπως επαναλήπτες (repeaters), γέφυρες (bridges), δρομολογητές (routers) ή διακόπτες (switches) οι οποίοι δημιουργούν ένα ξεχωριστό κύκλωμα για κάθε ζεύγος υπολογιστών που επικοινωνούν.



Σχήμα 5.3: Κλιμάκωση δικτύου υπολογιστών με προσθήκη κόμβου διασύνδεσης

Για την περαιτέρω κλιμάκωση του παραπάνω υποδείγματος δικτύου χρησιμοποιούνται επιπρόσθετοι κόμβοι διασύνδεσης, που συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν δίκτυα διασύνδεσης υπολογιστών.

Δίκτυο Διασύνδεσης



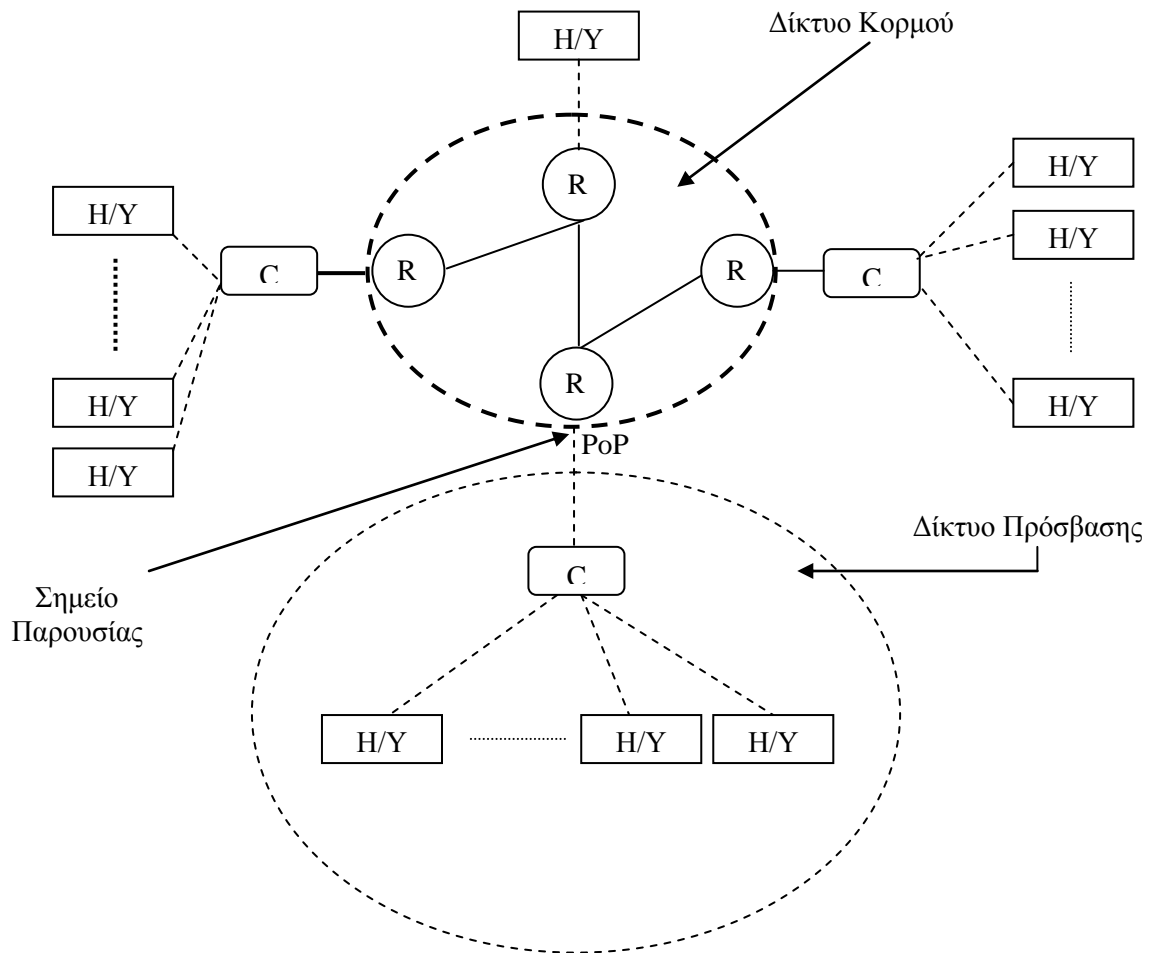
Σχήμα 5.4: Κλιμάκωση δικτύου υπολογιστών με δίκτυο διασύνδεσης

Κάθε δίκτυο υπολογιστών καθώς και το τηλεφωνικό δίκτυο αποτελείται από δύο τμήματα:

- το επικοινωνιακό δίκτυο ή δίκτυο διασύνδεσης ή δίκτυο κορμού (backbone network) το οποίο αποτελείται από κόμβους διασύνδεσης
- και το δίκτυο πρόσβασης ή συνδρομητικός βρόγχος (local loop) που είναι το κομμάτι του δικτύου από τον υπολογιστή μέχρι τον πρώτο κόμβο διασύνδεσης στο δίκτυο κορμού.

Στο δίκτυο κορμού μπορεί να συνδέεται μεγάλος αριθμός υπολογιστών του δικτύου πρόσβασης με τη χρήση συγκεντρωτών ή πολυπλεκτών που μειώνουν περαιτέρω τη

χρήση επικοινωνιακών γραμμών. Ο πρώτος κόμβος μέσω του οποίου το δίκτυο πρόσβασης επικοινωνεί με το δίκτυο κορμού ονομάζεται σημείο πρόσβασης ή σημείο παρουσίας (Point of Presence – PoP).

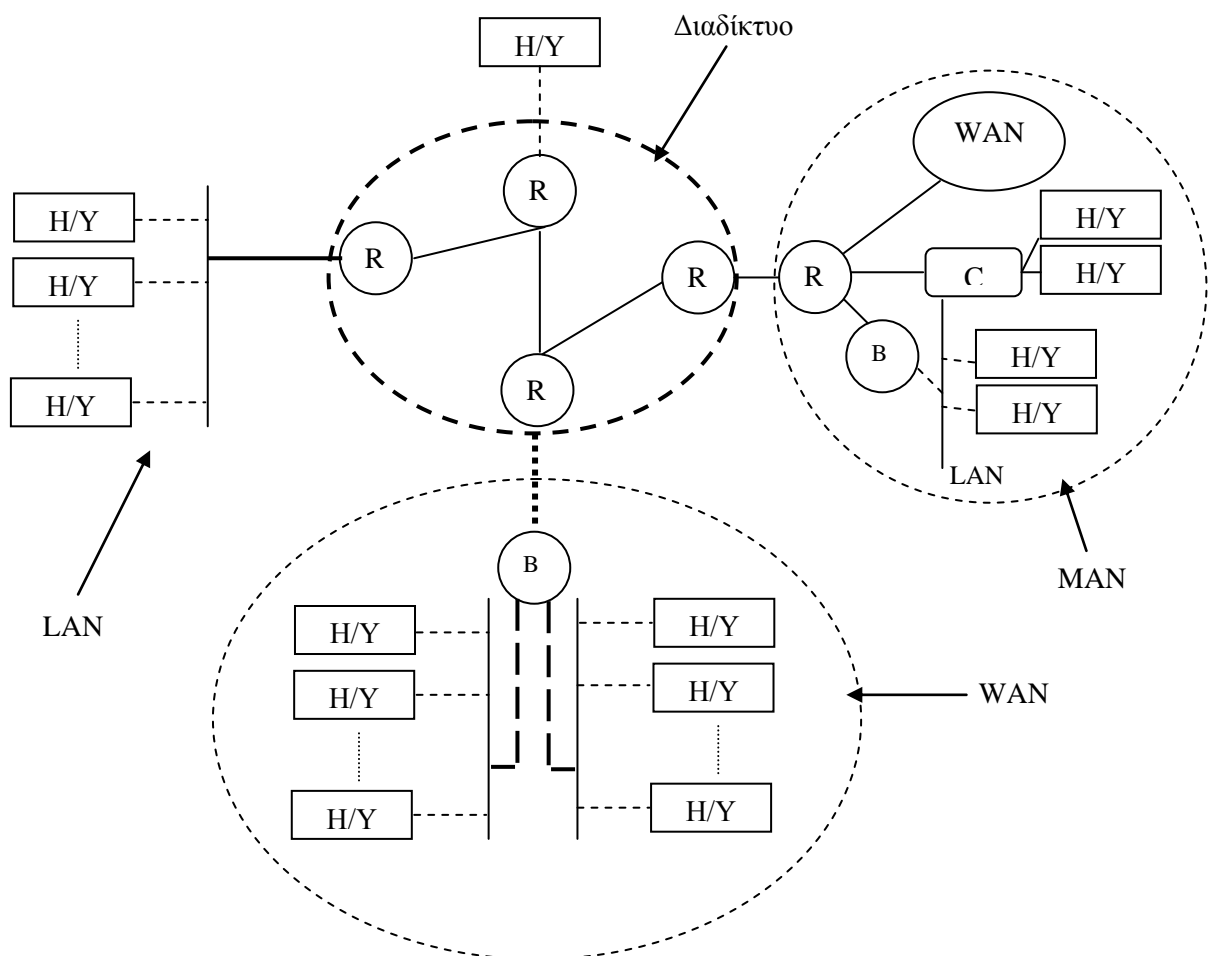


Σχήμα 5.5: Δίκτυο πρόσβασης και δίκτυο κορμού

Το παραπάνω υπόδειγμα δικτύου μπορεί να επαναλαμβάνεται σε μικρότερες ή μεγαλύτερες χωρικές (γεωγραφικές) ή λογικές ιεραρχίες δημιουργώντας διασυνδεδεμένα δίκτυα μεταγωγής δεδομένων.

Από γεωγραφική άποψη τα δίκτυα μπορούν να διακριθούν σε:

- Τοπικά Δίκτυα (Local Area Networks -- LANs), που καλύπτουν μικρές επιφάνειες (γραφεία, οικήματα, κλπ.)
- Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (Wide Area Networks -- WANs), που καλύπτουν μεγάλες επιφάνειες, όπως ένα πανεπιστήμιο ή μια πανεπιστημιούπολη
- Μητροπολιτικά Δίκτυα (Metropolitan Area Networks -- MANs), που μπορούν να καλύπτουν μία συνοικία ή πόλη
- Διαδίκτυα (internets), που συνδέουν όλα αυτά τα ξεχωριστά υποδίκτυα σε ένα μεγάλο ενιαίο δίκτυο. Υπάρχουν μικρά και μεγαλύτερα διαδίκτυα: υπάρχουν δημόσια διαδίκτυα που συνδέουν τα υποδίκτυα μιας χώρας καθώς και άλλα μεγαλύτερα διαδίκτυα που συνδέουν τα υποδίκτυα των χωρών μιας ηπείρου, ενώ το μεγαλύτερο και πιο γνωστό διαδίκτυο, που συνδέει όλα τα άλλα διαδίκτυα είναι το Internet.



Σχήμα 5.6: Διασύνδεση διαφορετικών τύπων δικτύων

## 5.2 Μετάδοση Πληροφορίας και Μεταγωγή

Δύο είναι οι βασικές τεχνικές προσεγγίσεις για την επικοινωνία υπολογιστικών συσκευών και συσκευών επικοινωνίας απ' άκρη σ' άκρη:

1. Μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching)
2. Μεταγωγή πακέτου (Packet Switching)

Στην διαδικασία μεταγωγής κυκλώματος, για την επικοινωνία των δύο άκρων δεσμεύεται ένα συγκεκριμένο μονοπάτι (κύκλωμα) με εγγυημένη χωρητικότητα. Κύκλωμα (circuit) ή μονοπάτι (path) ή διαδρομή (route) είναι μία διατεταγμένη ακολουθία από κόμβους και συνδέσεις που ξεκινάει από το ένα επικοινωνιακό άκρο και καταλήγει στο άλλο.

Χωρητικότητα μιας γραμμής είναι ο ρυθμός μεταγωγής ή μεταφοράς πληροφοριών και μετράται σε bits ανά δευτερόλεπτο (bits/s). Η χωρητικότητα των γραμμών μοιράζεται ανάμεσα στα κυκλώματα με σταθερή αναλογία. Η τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος χρησιμοποιείται στα τηλεφωνικά δίκτυα λόγω της ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service – QoS) που παρέχει η εγγυημένη σύνδεση.

Το βασικό μειονέκτημα στην μεταγωγή κυκλώματος είναι η υποχρησιμοποίηση των γραμμών μεταγωγής λόγω της αποκλειστικής εκχώρησής τους στα κυκλώματα που τις δεσμεύουν, τα οποία συνήθως χρησιμοποιούν ένα μικρό μόνο μέρος της χωρητικότητας των γραμμών. Για παράδειγμα σε μια τηλεφωνική σύνδεση ο ρυθμός ομιλίας των δύο άκρων είναι πολύ αργός (ακόμα κι αν είναι γρήγορος!) σε σχέση με την χωρητικότητα του κυκλώματος που δεσμεύεται.

Στη διαδικασία μεταγωγής πακέτου τα δύο άκρα δεν δεσμεύουν κυκλώματα αλλά επικοινωνούν μεταξύ τους με την ανταλλαγή πακέτων πληροφορίας, όπου κάθε πακέτο πληροφορίας πρέπει να γνωρίζει την διεύθυνση προορισμού του. Κάθε φορά που επικοινωνούν δύο άκρα με την διαδικασία μεταγωγής πακέτων, το δίκτυο (δηλαδή οι κόμβοι μεταγωγής) πρέπει να μπορούν να αποφασίζουν -με βάση τη διεύθυνση προορισμού κάθε πακέτου- για την διαδρομή που θα πρέπει ακολουθήσουν τα πακέτα ώστε να φτάσουν στον προορισμό τους.

Η διαδικασία αυτή καλείται δρομολόγηση (routing). Κατά τη διαδικασία της δρομολόγησης οι κόμβοι του δικτύου αποφασίζουν για την εκχώρηση μονοπατιών κάθε φορά που λαμβάνουν ένα πακέτο εισόδου.

Στην μεταγωγή πακέτου υπάρχουν δύο τεχνικές δρομολόγησης:

1. Η δρομολόγηση νοητού κυκλώματος (virtual circuit), όπου μια διαδρομή (route) απ' άκρη σ' άκρη αποτελείται από διάφορους κόμβους και συνδέσεις και χρησιμοποιείται για να μεταφέρει μία ροή (flow) από ένα τελικό σημείο σε ένα άλλο. Λέγοντας ροή εννοείται μία ροή πακέτων (packet stream) με τα ίδια: διεύθυνση πηγής και διεύθυνση προορισμού. Η διαδρομή που θα ακολουθήσουν όλα τα πακέτα μιας σύνδεσης είναι η ίδια και αποφασίζεται κατά τη φάση εγκαθίδρυσης της σύνδεσης, χωρίς όμως να παρέχεται εγγυημένος ρυθμός μετάδοσης. Η δρομολόγηση νοητού κυκλώματος εγγυάται την μη απώλεια δεδομένων με τεχνικές επαναμετάδοσης.
2. Στην δρομολόγηση datagram, κάθε ξεχωριστό πακέτο μιας ροής μπορεί να ακολουθεί διαφορετική διαδρομή για την οποία αποφασίζει ο κάθε κόμβος του δικτύου. Στην δρομολόγηση datagram κάθε φορά που ο ρυθμός της εισερχόμενης ροής πακέτων σε ένα κόμβο ξεπερνά τη χωρητικότητα της γραμμής εξόδου, τα επιπλέον πακέτα καταχωρούνται στην ουρά του καταχωρητή εξόδου (output buffer) και αν ο χώρος του καταχωρητή είναι γεμάτος, χάνονται. Επομένως, δεν παρέχεται εγγύηση (best effort) ότι ένα πακέτο θα φθάσει στον προορισμό του.

Η μεταγωγή πακέτων δημιουργεί στο δίκτυο κίνηση κατά ριπές γιατί στατιστικά η μέση κίνηση είναι σημαντικά μικρότερη από την μέγιστη τιμή της. Η τεχνολογία μεταγωγής πακέτου δεν παρουσιάζει το μειονέκτημα υποχρησιμοποίησης των γραμμών γιατί οι γραμμές δεν δεσμεύονται. Αντί αυτού το πρόβλημα είναι η μεγάλη χρήση κάθε γραμμής από όλες τις συνδέσεις και επομένως η υπερχρησιμοποίησή τους. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο πρόβλημα της καθυστέρησης (delay) που είναι το σημαντικότερο εμπόδιο στην παροχή υπηρεσιών πραγματικού χρόνου (real time) με ποιότητα υπηρεσίας.

### 5.3 Στρωματοποίηση – Μοντέλο OSI (Open Systems Interconnection)

Η τεχνολογία επικοινωνίας υπολογιστών έχει να αντιμετωπίσει ένα πλήθος από προβλήματα που αφορούν διαδικασίες διασύνδεσης, μεθόδους δρομολόγησης, τεχνικές μεταφοράς δεδομένων, μεθοδολογίες διαχείρισης συνδέσεων, τρόπους παρουσίασης των δεδομένων και φυσικά υλοποίηση εφαρμογών και υπηρεσιών. Η διαδικασία επίλυσης όλων αυτών των θεμάτων ακολουθεί την τεχνική του διαίρει και βασίλευε, όπου κάθε κλάση ομοειδών λειτουργιών αντιμετωπίζονται ξεχωριστά σε διαφορετικά επίπεδα (στρώματα) επίλυσης της κάθε κλάσης.

Η αρχιτεκτονική αυτή ονομάζεται στρωματοποιημένη αρχιτεκτονική και κάθε στρώμα ή επίπεδο (layer) είναι υπεύθυνο για την αντιμετώπιση μιας συγκεκριμένης κατηγορίας λειτουργιών του δικτύου.

Το πιο γνωστό υπόδειγμα στρωματοποιημένης αρχιτεκτονικής είναι το μοντέλο διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων (Open Systems Interconnection -- OSI) του οργανισμού προτυποποίησης ISO (International Standards Organization). Το μοντέλο ISO/OSI καθιερώνει επτά (7) επίπεδα επικοινωνίας ανάμεσα σε δύο υπολογιστικά συστήματα:

Επίπεδο Εφαρμογών (Application Layer)
Επίπεδο Παρουσίασης (Presentation Layer)
Επίπεδο Συνόδου (Session Layer)
Επίπεδο Μεταφοράς (Transport Layer)
Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)
Επίπεδο Σύνδεσης Δεδομένων (Data Link Layer)
Φυσικό Επίπεδο (Physical Layer)

Σχήμα 5.7: Τα επτά επίπεδα της αρχιτεκτονικής ISO-OSI



Το φυσικό επίπεδο ορίζει την διεπαφή ανάμεσα στις συσκευές μετάδοσης δεδομένων και το επικοινωνιακό μέσο καθώς και τους ηλεκτρομηχανικούς κανόνες μεταγωγής των bits στη γραμμή επικοινωνίας. Μερικά γνωστά πρότυπα φυσικού επιπέδου είναι η διεπαφή RS-232, τα τμήματα που αφορούν το φυσικό επίπεδο των τεχνολογιών τοπικών δικτύων (Ethernet, IEEE 802, Token Ring, FDDI) καθώς και τα φυσικά τμήματα των PPP, SLIP, ATM, Frame Relay, SONET, ADSL, DWDM, Wi-Fi, κλπ.

Το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων προσπαθεί να μετατρέψει ένα εγγενώς μη-αξιόπιστο μηχανισμό μεταφοράς δεδομένων που παρέχεται από το φυσικό επίπεδο σε μία ροή από bits που μεταδίδεται δίχως λάθη και δίχως απώλειες πακέτων. Προς τα υψηλότερα επίπεδα, το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων παρέχει ένα αξιόπιστο τρόπο μεταφοράς των δεδομένων. Τα πιο γνωστά πρότυπα του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων είναι τα πρότυπα HDLC και LLC (Logical Link Control - IEEE 802.2, τροποποιημένη εκδοχή του HDLC για τοπικά δίκτυα). Σε περιπτώσεις λαθών ή απώλειας δεδομένων χρησιμοποιούνται τεχνικές επαναμετάδοσης, όπως τα πρωτόκολλα Stop and Wait, Go back n, Selective Repeat.

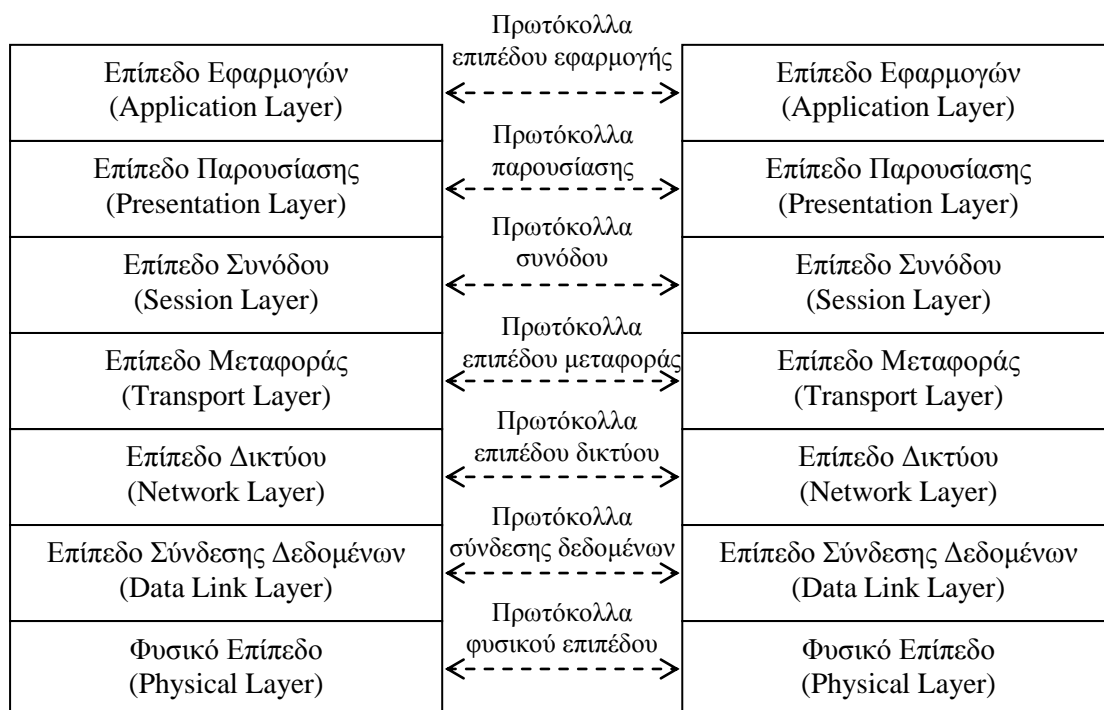
Το επίπεδο δικτύου αποτελεί κι αυτό μέρος του δικτύου επικοινωνίας. Η βασική του λειτουργία είναι η δρομολόγηση (routing) των πακέτων προς τον τελικό τους προορισμό. Επίσης, το επίπεδο δικτύου ασκεί και έλεγχο ροής (flow control) των πακέτων, όχι απ' άκρη σ' άκρη, αλλά ανάμεσα στους επικοινωνιακούς κόμβους του δικτύου.

Το επίπεδο μεταφοράς, δεν βρίσκεται στους κόμβους του επικοινωνιακού δικτύου, αλλά στους τελικούς υπολογιστές. Το επίπεδο μεταφοράς δέχεται δεδομένα από το επίπεδο συνόδου, τα διασπά σε μικρότερα πακέτα και τα αποστέλλει στο επίπεδο δικτύου για μεταφορά. Ανεξάρτητα από το επίπεδο δικτύου, το επίπεδο μεταφοράς εξασφαλίζει την αξιόπιστη μεταφορά των δεδομένων απ' άκρη σ' άκρη, ενώ ασκεί και απ' άκρη σ' άκρη έλεγχο ροής (end-to-end flow control).

Το επίπεδο συνόδου ελέγχει την επικοινωνία ανάμεσα στα δύο άκρα, είτε ομαδοποιώντας τα δεδομένα, είτε επανακάμπτοντας από διακοπές της σύνδεσης και γενικά παρέχοντας τον μηχανισμό εγκατάστασης των συνδέσεων. Σε πολλές εφαρμογές υπάρχει μικρή ή καθόλου ανάγκη ύπαρξης του επιπέδου συνόδου.

Το επίπεδο παρουσίασης ορίζει την μορφή των πληροφοριών που ανταλλάσσονται ανάμεσα στα δύο άκρα και παρέχει υπηρεσίες μετατροπής των δεδομένων (συμπίεση, κρυπτογράφηση) από μια μορφή σε μια άλλη ανάλογα με τις ανάγκες των εφαρμογών.

Το επίπεδο εφαρμογών περιλαμβάνει όλες τις εφαρμογές ή υπηρεσίες στο επίπεδο των χρηστών, όπως υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, μεταφοράς αρχείων, απομακρυσμένης πρόσβασης, κλπ. Δύο υπολογιστικά συστήματα που επικοινωνούν με βάση το μοντέλο OSI θα πρέπει να διαθέτουν τα επτά αυτά επίπεδα. Ο μηχανισμός της επικοινωνίας μεταξύ των συστημάτων γίνεται με την ανταλλαγή μηνυμάτων και την χρήση πρωτοκόλλων επικοινωνίας ως εξής:

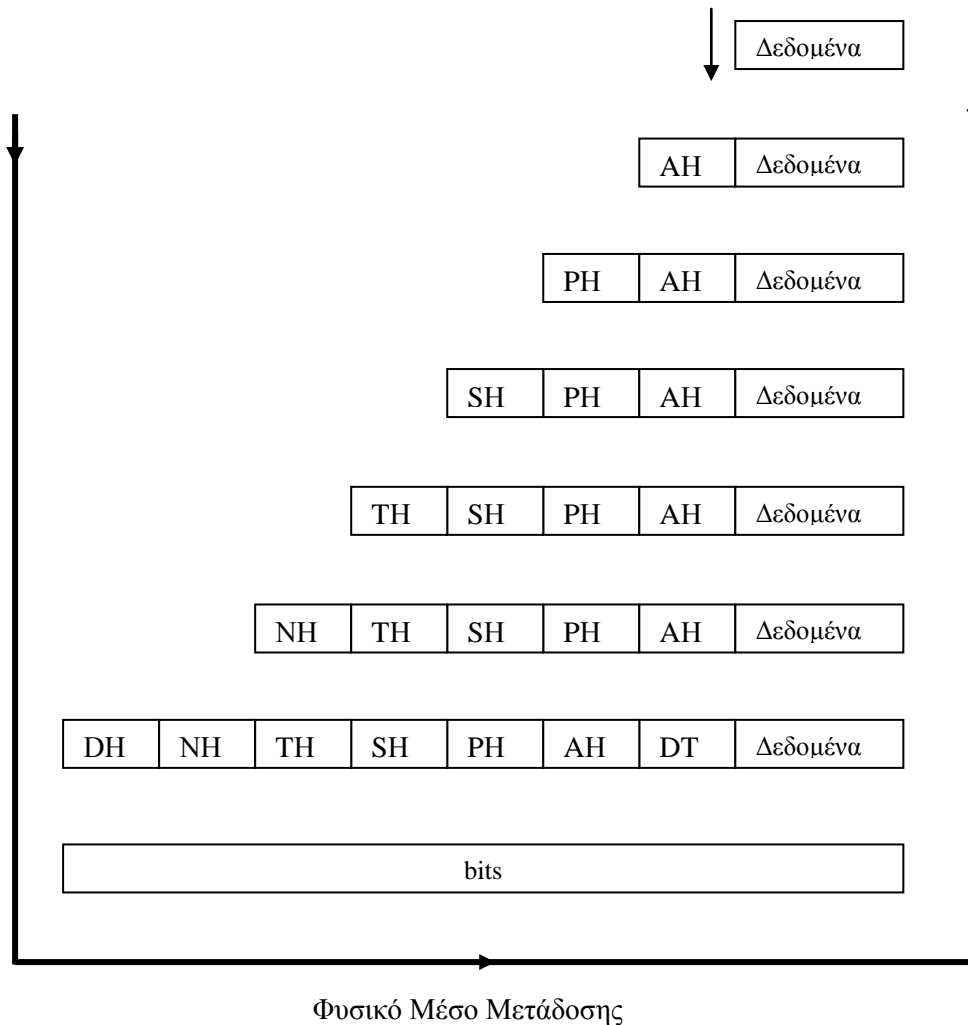


Σχήμα 5.8: Μηχανισμός επικοινωνίας με τη χρήση πρωτοκόλλων

Κάθε επίπεδο μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από μία οντότητα που υλοποιεί τις λειτουργίες κάθε επιπέδου. Ένα πρωτόκολλο (protocol) είναι ένα σύνολο από κανόνες για την επικοινωνία ανάμεσα σε ομότιμες οντότητες, δηλαδή ανάμεσα σε οντότητες του ίδιου επιπέδου.

Ο μηχανισμός της επικοινωνίας ανάμεσα σε δύο υπολογιστικά συστήματα γίνεται με την αποστολή και την λήψη πακέτων δεδομένων, όπου συμπεριλαμβάνονται και οι

επικεφαλίδες (headers) που επισυνάπτονται από όλες τις διαδοχικές οντότητες. Οι επικεφαλίδες περιέχουν πληροφορίες διαχείρισης κάθε επιπέδου και πρωτοκόλλου, που προσθέτει κάθε οντότητα ώστε να μπορεί να επικοινωνεί με την ομότιμη οντότητα του άλλου άκρου.

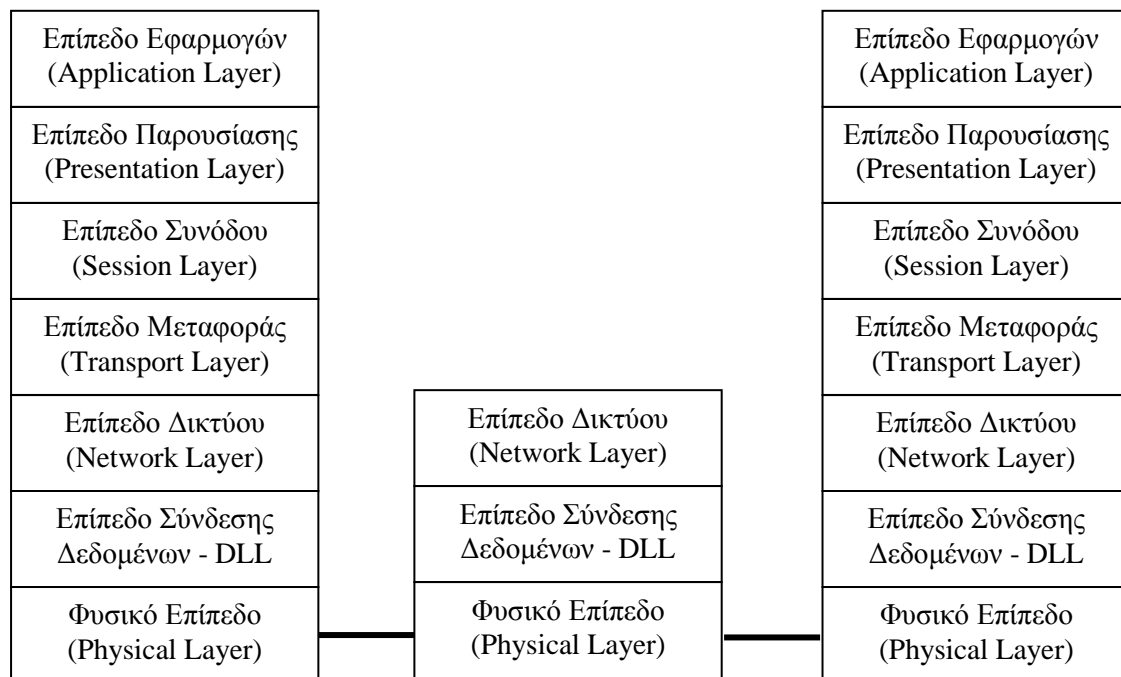


Σχήμα 5.9 Μηχανισμός επικοινωνίας με τη χρήση επικεφαλίδων πρωτοκόλλων

Πιο συγκεκριμένα, στα δεδομένα που εισέρχονται σε μια υπηρεσία του επιπέδου εφαρμογής προστίθεται μία επικεφαλίδα (header) του επιπέδου εφαρμογής, που περιέχει πληροφορίες σχετικές με την εφαρμογή που προσθέτει την επικεφαλίδα. Στη συνέχεια, τα δεδομένα μαζί με την επικεφαλίδα εφαρμογής (Application Header – AH) μεταβιβάζονται στην επόμενη οντότητα του επιπέδου παρουσίασης, η οποία προσθέτει με τη σειρά της την επικεφαλίδα της (PH).

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται σε κάθε επίπεδο του υπολογιστή αποστολής, όπου με την σειρά τους οι διαδοχικές οντότητες επισυνάπτουν στο τέλος του μηνύματος που λαμβάνουν, την δική τους επικεφαλίδα. Η οντότητα σύνδεσης δεδομένων εκτός από την επικεφαλίδα προθέτει στο τέλος και μία ουρά (trailer) που συμβολίζει το τέλος του πακέτου το οποίο και αποστέλλει στο φυσικό επίπεδο.

Από την άλλη πλευρά ο υπολογιστής προορισμού αποσυναρμολογεί το πακέτο με τον ακριβώς αντίθετο μηχανισμό από αυτόν που συναρμολογήθηκε. Η οντότητα του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων αφαιρεί την επικεφαλίδα (και την ουρά) που είχε προσθέσει η ομότιμη οντότητα του συστήματος αποστολής, διαβάζει τις πληροφορίες που επισυνάπτονται στην επικεφαλίδα και αποστέλλει το πακέτο στην οντότητα του επιπέδου δικτύου. Το επίπεδο δικτύου με τη σειρά του αφαιρεί την επικεφαλίδα δικτύου και μεταβιβάζει το μήνυμα στο παραπάνω επίπεδο μεταφοράς. Με αυτό τον μηχανισμό αφαιρούνται διαδοχικά όλες οι επικεφαλίδες μέχρι και το επίπεδο εφαρμογής και τελικά τα δεδομένα φθάνουν στον προορισμό τους.



Σχήμα 5.10: Τελικά και ενδιάμεσα συστήματα επικοινωνίας

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, ενώ τα τελικά συστήματα για να επικοινωνήσουν πρέπει να έχουν και τα επτά επίπεδα του μοντέλου OSI, οι κόμβοι του δικτύου μεταγωγής πακέτων χρειάζονται μόνο τα τρία κατώτερα επίπεδα γιατί η βασική τους επιδίωξη και λειτουργία είναι η μεταγωγή των πακέτων, η οποία επιτελείται από τα επίπεδα δικτύου, σύνδεσης δεδομένων και το φυσικό επίπεδο.

## 5.4 Σηματοδοσία και Συστήματα Μετάδοσης

Υπάρχουν δύο κατηγορίες σημάτων: α) τα συνεχή και β) τα διακριτά

Κάθε σήμα χαρακτηρίζεται από το εύρος του που είναι η τιμή του σε κάθε χρονική στιγμή, τη συχνότητά του που είναι το πλήθος των περιόδων στη διάρκεια ενός δευτερολέπτου και μετράται σε Hertz (Hz) και τη φάση του που είναι η θέση του σήματος στο πλαίσιο μιας περιόδου. Μία μορφή παράστασης των σημάτων είναι ως συνάρτηση της συχνότητας τους.

Ένα σήμα μπορεί να αποτελείται από το άθροισμα άλλων σημάτων που το συνθέτουν, δηλαδή μιας υπέρθεσης συχνοτήτων, φάσεων και εύρους ενώ η εύρεση των σημάτων που το αποτελούν γίνεται με την ανάλυση Fourier.

Ρυθμός διαμόρφωσης (modulation rate) ενός σήματος είναι ο ρυθμός μεταβολής των ηλεκτρικών σημάτων, ενώ ρυθμός μετάδοσης (data signaling rate) ή ρυθμαπόδοση (throughput) είναι το πλήθος των bits ανά δευτερόλεπτο (bits/s). Χωρητικότητα (capacity) ή ταχύτητα μετάδοσης είναι ο μέγιστος δυνατός ρυθμός μετάδοσης μιας επικοινωνιακής γραμμής.

Ο ρυθμός μετάδοσης αποτελεί συνάρτηση του ρυθμού διαμόρφωσης, ανάλογα με το πλήθος των bits που κωδικοποιούνται σε κάθε ηλεκτρική στάθμη. Αν για παράδειγμα σε ένα σύστημα μετάδοσης είναι διαθέσιμες  $n=2^k$  διαφορετικές στάθμες, τότε κάθε στάθμη μπορεί να κωδικοποιήσει  $k$  bits και επομένως ο ρυθμός μετάδοσης είναι  $B=M*k$ , όπου  $B$  ο ρυθμός μετάδοσης,  $M$  ο ρυθμός διαμόρφωσης και  $k$  το πλήθος των bits που μεταφέρει κάθε στάθμη.

Ισχύς (power) ενός σήματος είναι η έντασή του η οποία υφίσταται εξασθένηση ανάλογη της απόστασης που διανύει το σήμα. Για το λόγο αυτό χρειάζεται να υπάρχουν σε συγκεκριμένες αποστάσεις στοιχεία ενισχυτών σήματος.

Ένας παράγοντας εξασθένησης και παραμόρφωσης του σήματος είναι ο θόρυβος (noise). Ο θόρυβος μπορεί να οφείλεται στις καιρικές συνθήκες, σε πηγές θερμότητας, σε λόγους συνακρόασης, κλπ. Ο θόρυβος αλλοιώνει το σήμα και μπορεί να οδηγήσει και σε απώλεια πληροφοριών.

Σε ένα σύστημα μετάδοσης ο πομπός αποστέλλει σήματα σύμφωνα με ένα σύστημα χρονισμού (ρολόι) μέσω ενός διαύλου προς ένα δέκτη που λαμβάνει δείγματα των σημάτων σύμφωνα με το δικό του ρολόι.

Για να μπορέσει το σύστημα μετάδοσης να λειτουργήσει δίχως λάθη θα πρέπει να υπάρχει συγχρονισμός στα συστήματα χρονισμού. Δύο είναι οι βασικές μέθοδοι επίτευξης συγχρονισμού στα επικοινωνιακά συστήματα:

- Ασύγχρονη μετάδοση
- Σύγχρονη μετάδοση

Κατά την ασύγχρονη μετάδοση, η πληροφορία χρονισμού είναι ενσωματωμένη στα μεταδιδόμενα δεδομένα. Αν για παράδειγμα ο δίαυλος χρησιμοποιείται για τη μεταφορά χαρακτήρων, τότε κάθε χαρακτήρας θα πρέπει να πλαισιώνεται από τουλάχιστον ένα bit αρχής και ένα bit τέλους, ώστε να υπάρχει συγχρονισμός στο πλαίσιο κάθε χαρακτήρα, ενώ όλο το υπόλοιπο χρονικό διάστημα ο δίαυλος είναι κενός (idle). Η ασύγχρονη μέθοδος δημιουργεί επιπλέον κόστος μετάδοσης πληροφορίας χρονισμού και μειώνει την απόδοση του δικτύου.

Κατά τη σύγχρονη μετάδοση αποστέλλεται συνεχώς ένας χαρακτήρας SYNC ώστε να διατηρείται ο συγχρονισμός. Τα δεδομένα δεν χρειάζεται επομένως να χρησιμοποιούν πληροφορίες χρονισμού μειώνοντας έτσι το κόστος μετάδοσης πληροφοριών.

### 5.4.1 Αναλογικά και ψηφιακά συστήματα μετάδοσης

Τα δεδομένα στη φύση είναι αναλογικά. Για παράδειγμα η φωνή είναι ένα αναλογικό σήμα στο φάσμα από 1-6 περίπου KHz (αν και τα φωνήεντα και σύμφωνα είναι μέχρι τα 4 KHz), οι εικόνες είναι συνεχή ηλεκτρομαγνητικά κύματα, κλπ..

Αντίθετα τα δεδομένα ενός υπολογιστικού συστήματος είναι ψηφιακά, δηλαδή αναπαρίστανται ως δίτιμες (0/1) ακολουθίες ψηφίων.

Τόσο τα αναλογικά δεδομένα, όσο και τα ψηφιακά δεδομένα μπορούν να παρασταθούν και να μεταδοθούν είτε με αναλογικά, είτε με ψηφιακά σήματα. Τα αναλογικά σήματα είναι συνεχή ηλεκτρομαγνητικά κύματα, ενώ τα ψηφιακά σήματα είναι περιοδικά σήματα, δηλαδή μία ακολουθία παλμών.

Ένα σύστημα μετάδοσης προσδιορίζεται από τη μορφή των σημάτων που μεταδίδει. Αν τα σήματα που μεταδίδονται είναι αναλογικά, τότε έχουμε **αναλογικό σύστημα μετάδοσης**, ενώ αν τα σήματα που μεταδίδονται είναι ψηφιακά έχουμε το **ψηφιακό σύστημα μετάδοσης**.

Η μετατροπή των ψηφιακών δεδομένων σε αναλογικά σήματα, ώστε να μπορούν να μεταδίδονται από αναλογικά συστήματα μετάδοσης γίνεται με τη χρήση διαμορφωτών/αποδιαμορφωτών (modulators/demodulators – modems).

Αντίστοιχα, η μετατροπή αναλογικών σημάτων σε ψηφιακή μορφή γίνεται με τη χρήση κωδικοποιητών/αποκωδικοποιητών (coders/decoders – codecs).

Τόσο τα αναλογικά, όσο και τα ψηφιακά σήματα εξασθενούν ανάλογα με την απόσταση και για την ενίσχυσή τους χρησιμοποιούνται ενισχυτές για τα αναλογικά σήματα και επαναλήπτες (repeaters) για τα ψηφιακά.

Παρότι τα ψηφιακά σήματα εξασθενούν γρηγορότερα από τα αναλογικά, τα ψηφιακά συστήματα μετάδοσης υπερτερούν στους τομείς:

- της ποιότητας, γιατί η ενίσχυση του ψηφιακού σήματος από τους επαναλήπτες δεν αθροίζει τον θόρυβο, αλλά ανακτά μόνο τα ψηφιακά δεδομένα. Αντίθετα οι ενισχυτές αναλογικών σημάτων αθροίζουν και τον θόρυβο του σήματος
- του κόστους, λόγω του μεγαλύτερου κόστους των αναλογικών συσκευών.

Στα αναλογικά συστήματα μετάδοσης τα αναλογικά δεδομένα δεν χρειάζονται μετατροπή, αλλά μόνο διαμόρφωση για αποστολή σε μακρινές αποστάσεις. Οι τρεις βασικές τεχνικές διαμόρφωσης είναι:

- Διαμόρφωση εύρους (AM)
- Διαμόρφωση συχνότητας (FM)
- Διαμόρφωση φάσης (PM)

Τα ψηφιακά δεδομένα για να μεταδοθούν από αναλογικά συστήματα μετάδοσης θα πρέπει να μετατραπούν και να διαμορφωθούν ανάλογα. Οι βασικές τεχνικές είναι:

- Μετατροπή εύρους (Amplitude-Shift Keying -- ASK), όπου οι δύο τιμές (0/1) μετατρέπονται σε δύο διαφορετικά εύρη της φέρουσας συχνότητας. Ο τρόπος αυτός μετάδοσης χρησιμοποιείται και στις οπτικές ίνες.
- Μετατροπή συχνότητας (Frequency-Shift Keying -- FSK), όπου οι δύο τιμές (0/1) μετατρέπονται σε δύο διαφορετικές συχνότητες.
- Μετατροπή φάσης (Phase-Shift Keying -- PSK), όπου οι δύο τιμές (0/1) παριστάνονται με δύο διαφορετικές φάσεις του σήματος.
- Quadrature Amplitude Modulation (QAM) που είναι συνδυασμός ASK και PSK.

Στα ψηφιακά συστήματα μετάδοσης, τα αναλογικά δεδομένα για να μεταδοθούν με ψηφιακά σήματα θα πρέπει να μετατραπούν σε ψηφιακή μορφή. Οι βασικές μέθοδοι μετατροπής είναι:

- Παλμοκωδική διαμόρφωση (Pulse Code Modulation – PCM),
- Διαφορική Παλμοκωδική διαμόρφωση (Differential Pulse Code Modulation – DPCM),



- Προσαρμοζόμενη Διαφορική Παλμοκωδική διαμόρφωση (Adaptive Differential Pulse Code Modulation – ADPCM),
- Διαμόρφωση Δέλτα (Delta modulation)

Για τα ψηφιακά δεδομένα δεν απαιτείται η μετατροπή τους γιατί μπορούν να παρασταθούν άμεσα με δύο διαφορετικές στάθμες. Ωστόσο, χρησιμοποιούνται τεχνικές κωδικοποίησης για την αποδοτικότερη χρήση των ψηφιακών συστημάτων. Οι πιο γνωστές τεχνικές κωδικοποίησης ψηφιακών δεδομένων είναι:

- NRZ-L (Non Return to Zero Level), όπου το ψηφίο 1 αναπαρίσταται με αρνητική τάση και το ψηφίο 0 με θετική τάση.
- NRZI (Non Return to Zero Invert on ones), όπου το ψηφίο 1 αναπαρίσταται με μετάβαση από θετική σε αρνητική τάση ή το αντίστροφο και το ψηφίο 0 με απουσία μετάβασης. Η κωδικοποίηση NRZI είναι διαφορική και όχι απόλυτη, δηλαδή κάθε ψηφίο κωδικοποιείται σχετικά με το προηγούμενο ως διαφορά τάσεων και όχι ως απόλυτη τιμή τάσης.
- Bipolar AMI (Alternative Mark Inversion), όπου το ψηφίο 0 αναπαρίσταται με απουσία σήματος ενώ το ψηφίο 1 αναπαρίσταται εναλλάξ με θετικές και αρνητικές τάσεις.
- Pseudoternary, που είναι η αντίστροφη τεχνική AMI, όπου το ψηφίο 1 αναπαρίσταται με απουσία σήματος ενώ το ψηφίο 0 αναπαρίσταται εναλλάξ με θετικές και αρνητικές τάσεις.
- Manchester, όπου το ψηφίο 0 παριστάνεται με μετάβαση από υψηλή σε χαμηλή τάση, ενώ το ψηφίο 1 με μετάβαση από χαμηλή σε υψηλή τάση, στο μέσο του ψηφίου μετάδοσης.
- Διαφορική Manchester, όπου το ψηφίο 0 παριστάνεται με την μετάβαση από ένα επίπεδο τάσης σε ένα άλλο, ενώ το ψηφίο 1 παριστάνεται με την απουσία μετάβασης.

### 5.4.1.1 Παλμοκωδική διαμόρφωση (Pulse Code Modulation – PCM),

Για την μετάδοση αναλογικών δεδομένων με ψηφιακά συστήματα μετάδοσης, απαιτείται η μετατροπή των αναλογικών δεδομένων σε ψηφιακά. Η διαδικασία αυτή λέγεται ψηφιοποίηση (digitization).

Για την ψηφιοποίηση αναλογικού σήματος με την τεχνική PCM απαιτείται ένας μετατροπέας PCM αναλογικού - σε - ψηφιακό (analog - to - digital (A/D) PCM converter).

Η τεχνική της παλμοκωδικής διαμόρφωσης PCM περιλαμβάνει τα στάδια:

1. Δειγματοληψία (sampling)
2. Κβαντοποίηση (quantization)

Το πρώτο στάδιο βασίζεται στο θεώρημα δειγματοληψίας του Nyquist, σύμφωνα με το οποίο: "ένα σήμα με φάσμα  $B$  μπορεί να αναπαρασταθεί πλήρως από μια σειρά δειγμάτων του που λαμβάνονται με συχνότητα  $2B$ ". Με την παραπάνω μέθοδο δειγματοληψίας δεν χάνονται πληροφορίες και η κωδικοποίηση είναι πλήρης.

Έτσι στο στάδιο της δειγματοληψίας, λαμβάνουμε δείγματα από το αρχικό αναλογικό σήμα σε διακριτές χρονικές στιγμές, με δεδομένη συχνότητα.

Στο δεύτερο στάδιο της PCM τεχνικής, αρχικά στρογγυλοποιούμε τα δείγματα σε προκαθορισμένα επίπεδα τάσης, ο αριθμός των οποίων είναι συνάρτηση του αριθμού bits που θα χρησιμοποιηθούν για την ψηφιακή αναπαράσταση των δειγμάτων:  $k$  bits αντιστοιχούν σε  $2^k$  επίπεδα τάσης. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός  $k$  των bits αναπαράστασης και το πλήθος  $2^k$  των επιπέδων τάσης τόσο πιο ακριβής είναι η διαδικασία αναπαράστασης. Έτσι, στη συνέχεια, η τιμή του κάθε δείγματος (μέγεθος παλμού) περιγράφεται από  $k$  bits.

Η τεχνική PCM έχει ως αποτέλεσμα την αναπαράσταση ενός αναλογικού σήματος με μια ακολουθία από δυαδικά κωδικοποιημένες τιμές (bitstream).

Για παράδειγμα, η ανθρώπινη φωνή είναι ένα αναλογικό σήμα που μπορεί να φτάσει σε συχνότητες 4KHz. Με την τεχνική PCM στο στάδιο της δειγματοληψίας

απαιτούνται 8000 δείγματα. Αν υποθέσουμε ότι χρησιμοποιούμε -στο δεύτερο στάδιο- 256 προκαθορισμένα επίπεδα τάσης, τότε χρειάζονται 8 ψηφία για την αναπαράσταση των δειγμάτων και επομένως για την μετάδοση φωνής απαιτείται χωρητικότητα  $8 \cdot 8000 = 64000 \text{ b/s} = 64 \text{ Kbps}$ .

## 5.5 Μέσα Μετάδοσης

Υπάρχουν τέσσερις τύποι μέσων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση πληροφοριών στον κόσμο των τηλεπικοινωνιών:

- χαλκός (copper)
- ομοαξονικά καλώδια (coaxial, στην πραγματικότητα μία προσαρμογή του χαλκού)
- οπτικές ίνες (fiber)
- ασύρματο (wireless)

Στο παρελθόν, τα χάλκινα καλώδια ήταν ο μόνος τρόπος μετάδοσης των πληροφοριών. Τα συνεστραμμένα ζεύγη που μπορεί να είναι θωρακισμένα -shielded Twisted Pair (STP)- ή μη θωρακισμένα - Unshielded Twisted Pair (UTP)- αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό ζευγών χάλκινων συρμάτων διαφορετικών μεγεθών μέσα σε ένα καλώδιο. Στα καλώδια που είναι χωρίς μόνωση το σήμα - και κυρίως οι υψηλές συχνότητες - μπορεί να διαφύγει. Όσο αφορά όμως την μετάδοση φωνής τα καλώδια αυτά είναι ικανοποιητικά. Οι ταχύτητες μετάδοσης διαφέρουν ενώ απαιτούνται επαναλήπτες ή ενισχυτές λόγω ευαισθησίας στο θόρυβο. Όμως πέρα από το ότι ο χαλκός από μόνος του έχει περιορισμούς στην ταχύτητα μετάδοσης, οι νέες υπηρεσίες που δημιουργήθηκαν (μετάδοση εικόνας, δεδομένων κλπ.) τον κατέστησαν ακόμα πιο αναποτελεσματικό.

Τα ομοαξονικά καλώδια από ένα μονό σύρμα χαλκού που διατρέχει τον άξονα του καλωδίου. Αυτό το σύρμα διαχωρίζεται από την εξωτερική μόνωση με ένα μονωτικό περίβλημα. Λόγω της κατασκευής του καλωδίου μπορούν να μεταδίδονται πολύ υψηλές συχνότητες χωρίς να διαφεύγουν. Έτσι τα ομοαξονικά καλώδια χρησιμοποιούνται για μετάδοση εικόνας και τηλεόρασης, αφού επιτρέπουν τη μετάδοση δεδομένων με υψηλές ταχύτητες. Τα ομοαξονικά καλώδια είναι διαφόρων τύπων όπως 50 Ohm Baseband ή 75

Ohm Broadband, ενώ επιτρέπεται και πολύπλεξη πολλών χιλιάδων καναλιών φωνής και δεκάδων τηλεοπτικών καναλιών (CATV).

Οι οπτικές ίνες είναι αναμφισβήτητα το πιο εξελιγμένο μέσο μετάδοσης. Ενώ η μετάδοση πάνω από τον χαλκό χρησιμοποιεί συχνότητες στην κλίμακα των MHz, η μετάδοση πάνω από οπτική ίνα (fiber optic) χρησιμοποιεί συχνότητες ένα εκατομμύριο φορές υψηλότερες. Με άλλα λόγια η θεμελιώδης διαφορά ανάμεσα στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και στο φως είναι η συχνότητα. Η εγκατάσταση οπτικών ινών βέβαια κοστίζει περισσότερο από την εγκατάσταση χαλκού. Τεχνικά, η οπτική ίνα αποτελείται από τον πυρήνα που μεταφέρει το φως, τον μανδύα που είναι από γυαλί ή πλαστικό και το εξωτερικό περίβλημα, ενώ οι πηγές φωτός είναι συνήθως LED (Light Emitting Diode). Οι οπτικές ίνες έρχονται σε δύο βασικές μορφές: πολύτροπες (multimode) και μονότροπες (single-mode).

Η συνολική διάμετρος και για τους δύο τύπους είναι 125 microns. Θα μπορούσε να νομίσει κανείς ότι η πολύτροπη ίνα έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα. Όμως συμβαίνει το αντίθετο. Με την μονότροπη ίνα μόνο μία ακτίνα φωτός ή κατάσταση (mode) διασχίζει το καλώδιο και αυτό κάνει ευκολότερη την αναπαραγωγή του σήματος στα ενδιάμεσα σημεία. Οι περισσότερες καλωδιώσεις οπτικών ινών σήμερα είναι μονότροπες.

Η ασύρματη επικοινωνία είναι η τελευταία επιλογή μέσου μετάδοσης. Αυτή μπορεί να λάβει διάφορες μορφές: μικροκύματα, δορυφορικές ζεύξεις, κινητά τηλέφωνα κλπ. Σε κάθε περίπτωση ένα ασύρματο σύστημα αποφεύγει την ανάγκη για μία σύνθετη καλωδιομένη εγκατάσταση και υποδομή.

## 5.6 Συσκευές διασύνδεσης δικτύων

Το βασικό υλικό διασύνδεσης δικτύων αφορά τα τρία πρώτα επίπεδα της στρωματοποιημένης αρχιτεκτονικής και μπορεί να ομαδοποιηθεί ως εξής:

- Επαναλήπτες (repeaters), που συνδέουν δύο (ή περισσότερα) δίκτυα στο επίπεδο ένα (φυσικό επίπεδο)
- Γέφυρες (bridges), που συνδέουν δύο (ή περισσότερα) δίκτυα στο επίπεδο δύο (επίπεδο σύνδεσης δεδομένων)

- Διακόπτες (switches), που συνδέουν δύο (ή περισσότερα) δίκτυα στο επίπεδο δύο (επίπεδο σύνδεσης δεδομένων) αλλά διαθέτουν υψηλότερο επίπεδο λογικής και ευφυΐας από τις γέφυρες
- Δρομολογητές (routers), που συνδέουν δύο (ή περισσότερα) δίκτυα στο επίπεδο τρία (επίπεδο δικτύου)
- Πύλες (gateways), που διασυνδέουν διαφορετικά δίκτυα στο επίπεδο εφαρμογής μεταφράζοντας τις πληροφορίες ανάμεσα στις διαφορετικές δικτυακές αρχιτεκτονικές

Οι **επαναλήπτες (repeaters)** αναπαράγουν μία ακολουθία από ψηφία που λαμβάνουν ως είσοδο και χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση υπολογιστών στο ίδιο τοπικό δίκτυο ή ανάμεσα σε διαφορετικά τοπικά δίκτυα της ίδια τεχνολογίας όταν δεν χρειάζεται δρομολόγηση των πακέτων. Οι επαναλήπτες αποστέλλουν τα ψηφία που λαμβάνουν δίχως να περιμένουν (όπως οι γέφυρες) να ληφθεί το συνολικό πακέτο. Μπορούν επίσης να διαθέτουν πολλές θύρες (hubs) και να χρησιμοποιούνται για την διασύνδεση περισσότερων υπολογιστών ή τοπικών δικτύων.

Οι **γέφυρες (bridges)** δρομολογούν πακέτα δεδομένων του επιπέδου δύο με βάση τις διευθύνσεις MAC (φυσικές διευθύνσεις τοπικών δικτύων) των πακέτων. Σε αντίθεση με τους επαναλήπτες οι γέφυρες δεν ξεκινούν την αναμετάδοση πριν τη λήψη ολόκληρου του πακέτου. Ως συνέπεια οι κόμβοι και στις δύο πλευρές μιας γέφυρας μπορούν να μεταδίδουν ταυτόχρονα δίχως συγκρούσεις (collisions) όπως συμβαίνει με τους επαναλήπτες.

Οι **διαφανείς γέφυρες (transparent bridges)** δρομολογούν πλαίσια πακέτων κατασκευάζοντας μόνες τους, τους πίνακες δρομολόγησης, παρατηρώντας και καταγράφοντας τις διευθύνσεις και τις διαδρομές των πακέτων. Για την σωστή κατασκευή του πίνακα δρομολόγησης δεν πρέπει να υπάρχουν κύκλοι στην τοπολογία του δικτύου και για αυτό χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι εύρεσης επικαλυπτικών δένδρων του γράφου της τοπολογίας (Spanning Tree Protocols -- STP). Οι διαφανείς γέφυρες χρησιμοποιούνται στα δίκτυα τύπου Ethernet.

Οι **γέφυρες δρομολόγησης πηγής (source-route)** δεν διατηρούν πίνακες δρομολόγησης αλλά την απόφαση δρομολόγησης λαμβάνει ο κόμβος αποστολής, ενώ η πληροφορία δρομολόγησης περιλαμβάνεται μέσα στο πλαίσιο πακέτου. Οι γέφυρες

δρομολόγησης πηγής χρησιμοποιούνται στα δίκτυα τύπου Token Ring. Οι απομακρυσμένες γέφυρες διασυνδέουν δύο ή περισσότερα απομακρυσμένα τοπικά δίκτυα, χρησιμοποιώντας τυπικά μία γέφυρα για κάθε τοπικό δίκτυο οι οποίες διασυνδέονται με χρήση γραμμών από σημείο σε σημείο ή μέσω δικτύων μεταγωγής πακέτων.

Οι **δρομολογητές (routers)** είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την δρομολόγηση πακέτων στο επίπεδο τρία (επίπεδο δικτύου) της στρωματοποιημένης αρχιτεκτονικής. Η λειτουργία των δρομολογητών σε δίκτυα IP αναλύεται διεξοδικά παρακάτω (δίκτυα TCP/IP).

Οι **γεφυροδρομολογητές (brouters)** συνδυάζουν ταυτόχρονα τα επίπεδα δύο και τρία, λειτουργώντας ως δρομολογητές αν τα πακέτα που λαμβάνουν ανήκουν σε κάποιο πρωτόκολλο δρομολόγησης που υποστηρίζουν αλλιώς προωθούν τα πακέτα αμετάβλητα.

Οι **πύλες** μεταφράζουν πληροφορίες του επιπέδου εφαρμογής ανάμεσα σε ανομοιογενή δίκτυα και δεδομένα δικτύων. Μία πύλη μπορεί για παράδειγμα να μεταφράσει πληροφορίες εφαρμογής ανάμεσα σε δίκτυα τεχνολογίας TCP/IP και OSI ή TCP/IP και Δίκτυα Windows ή AppleTalk, κλπ. Οι περισσότερες πύλες λειτουργούν στο επίπεδο επτά (επίπεδο εφαρμογής).

Οι **διακόπτες (switches)** λειτουργούν όπως οι γέφυρες, στο επίπεδο δύο, και δρομολογούν με βάση τις MAC διευθύνσεις των πακέτων, αλλά διαθέτουν μεγαλύτερες δυνατότητες από τις γέφυρες. Ενώ μια γέφυρα ενώνει δύο δίκτυα ταυτόχρονα, ένα switch μπορεί και συνδέει ένα μεγάλο αριθμό δικτύων ταυτόχρονα, επομένως μπορεί να αντικαταστήσει μία ομάδα από γέφυρες, ενώ ταυτόχρονα είναι φθηνότερο από τις γέφυρες.

Οι πιο γνωστές μέθοδοι επαναμετάδοσης που χρησιμοποιούν τα switches είναι οι παρακάτω:

- **(Cut-through):** Δρομολόγηση των πακέτων και επαναμετάδοση των δεδομένων πριν ολοκληρωθεί η λήψη τους (τυπικά μόλις διαβάσουν τα πρώτα 12 bytes του πλαισίου Ethernet).
- **(Store-and-Forward):** Ολόκληρο το πακέτο αντιγράφεται στη μνήμη και ελέγχεται για τυχόν λάθη (Cyclical Redundancy Check -- CRC). Αν το πακέτο δεν περιέχει λάθη επαναμεταδίδεται, αλλιώς απορρίπτεται.

– (**Fragment-free Switching**): Πρόκειται για ένα υβρίδιο μεταξύ των δύο πρώτων μεθόδων. Το switch διαβάζει τα πρώτα 64 bytes του πακέτου πριν το επαναμεταδώσει.

## 5.7 Τεχνικές Πολύπλεξης

Το πρόβλημα της χρήσης ενός κοινού φυσικού μέσου μετάδοσης από πολλούς διαύλους ή κανάλια επικοινωνίας επιλύεται ικανοποιητικά με τον μηχανισμό της πολύπλεξης. Ο μηχανισμός της πολύπλεξης διαιρεί το εύρος του σήματος είτε στο επίπεδο της συχνότητας (πολύπλεξη με διαίρεση συχνότητας) ή στο επίπεδο του χρόνου (πολύπλεξη με διαίρεση χρόνου). Έτσι, οι πολυπλέκτες λαμβάνουν ως είσοδο  $n$  κανάλια επικοινωνίας, τα πολυπλέκουν σε μια έξοδο, ενώ στο άλλο άκρο της σύνδεσης γίνεται αποπολύπλεξη από μία είσοδο στα  $n$  αρχικά κανάλια.

### 5.7.1 Πολύπλεξη με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Multiplexing – FDM)

Στην πολύπλεξη με διαίρεση συχνότητας το εύρος συχνοτήτων του φυσικού μέσου, έστω  $F$ , διαιρείται σε  $n$  κανάλια εύρους  $F/n$  το καθένα. Κάθε ένα από τα κανάλια έχει διαφορετικές φέρουσες συχνότητες, που πρέπει να απέχουν τόσο ώστε να μην επικαλύπτονται μεταξύ τους και επομένως το εύρος κάθε καναλιού είναι λίγο μικρότερο από την θεωρητική τιμή  $F/n$ , ώστε να υπάρχουν ζώνες ασφαλείας

### 5.7.2 Πολύπλεξη με διαίρεση χρόνου (Time Division Multiplexing – TDM)

Στην πολύπλεξη με διαίρεση χρόνου κάθε κανάλι –από τα  $n$  κανάλια- χρησιμοποιεί όλη τη χωρητικότητα του φυσικού μέσου αλλά για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ίσο με τη  $1/n$  του συνολικού πλαισίου χρόνου. Ο χρόνος είναι οργανωμένος σε πλαίσια χρόνου, όπου μέσα σε κάθε πλαίσιο πολυπλέκονται  $n$  κανάλια.

Για παράδειγμα στην παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM) απαιτούνται 8000 δείγματα ανά δευτερόλεπτο, όπου κάθε δείγμα αποτελείται από 8 ψηφία. Αν θέλαμε να πολυπλέξουμε 24 κανάλια επικοινωνίας (DS-1 – Digital Signal -1) τότε θα πρέπει κάθε πλαίσιο χρόνου να έχει 8 ψηφία επί 24 κανάλια, δηλαδή 192 ψηφία. Κάθε πλαίσιο θα

πρέπει να επαναλαμβάνεται 8000 φορές κάθε δευτερόλεπτο, δηλαδή 8000 πλαίσια των 193 ψηφίων (το τελευταίο ψηφίο χρησιμοποιείται για λόγους συγχρονισμού) μας δίνει απαιτούμενες ταχύτητες μετάδοσης της τάξης των 1.544 Mbps. Στην δομή πολύπλεξης DS-1C χρησιμοποιούνται δύο DS-1 σήματα με αποτέλεσμα να έχουμε ταχύτητες 3.152 Mbps. Στη δομή DS-2 έχουμε 96 κανάλια πολύπλεξης και ταχύτητες 6.54 Mbps, κλπ..

### **5.7.3 Στατιστική πολύπλεξη (Statistical Multiplexing)**

Το πρόβλημα στην πολύπλεξη διαίρεσης χρόνου είναι ότι μπορεί να είναι αναποτελεσματική όταν κάποιο κανάλι δεν χρησιμοποιεί τον διαθέσιμο χρόνο του ή δεν έχει δεδομένα προς μετάδοση.

Η στατιστική πολύπλεξη με διαίρεση χρόνου επιλύει το πρόβλημα εκχωρώντας πλαίσια χρόνου που μεταβάλλονται ως προς το μέγεθός τους ανάλογα με τα προς μετάδοση δεδομένα. Έτσι βελτιστοποιείται η χρήση της γραμμής με την αποδοχή όμως μιας μικρής επιβάρυνσης που αφορά την μετάδοση επιπλέον πληροφορίας ελέγχου (διευθύνσεις καναλιών αποστολής, αφού δεν στέλνουν όλα τα κανάλια). Η στατιστική πολύπλεξη από τη στιγμή που συνήθως δεν χρησιμοποιείται από το σύνολο των καναλιών αλλά από ένα υποσύνολο των καναλιών σε βάση ζήτησης μπορεί πρακτικά να πολυπλέκει κανάλια που το συνολικό άθροισμα χωρητικότητας τους υπερβαίνει την χωρητικότητα της γραμμής εξόδου.

Η μικρή πιθανότητα όλα τα κανάλια να μεταδώσουν ταυτόχρονα μπορεί να οδηγήσει σε αδυναμία εξυπηρέτησης από το φυσικό μέσο, πρόβλημα που επιλύεται συνήθως με τη χρήση ενταμιευτών προσωρινής αποθήκευσης και μηχανισμών ελέγχου ροής.

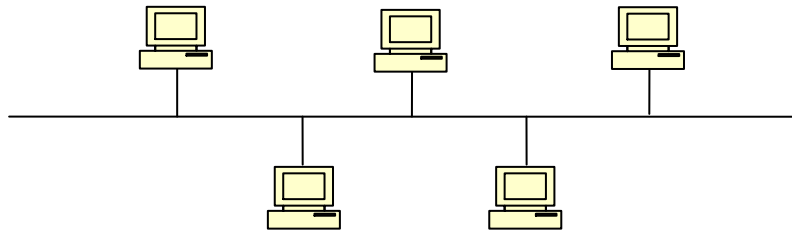
## **5.8 Τεχνολογίες τοπικών δικτύων**

Τα τοπικά δίκτυα έχουν ως βασικό μέσο μετάδοσης ένα κοινό φυσικό μέσο πολλαπλής πρόσβασης, όπου πολλοί κόμβοι μπορούν να μεταδίδουν δεδομένα χρησιμοποιώντας τον ίδιο κοινό δίαυλο.

Το υλικό δικτύωσης των τοπικών δικτύων Ethernet μπορεί και μεταδίδει το σήμα σε συγκεκριμένες μέγιστες αποστάσεις. Για να ξεπεραστεί αυτός ο περιορισμός, δύο

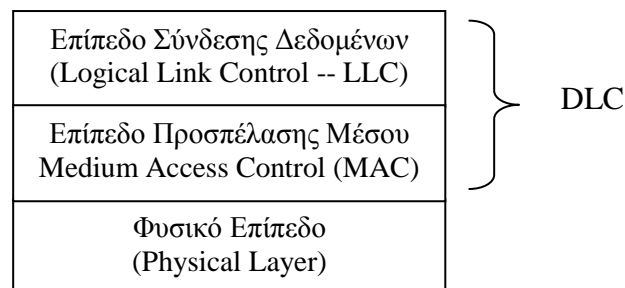


κομμάτια καλωδίου (segments) μπορούν να συνενωθούν με τη χρήση ενός επαναλήπτη. Το μέγιστο μήκος ενός τέτοιου κομματιού καλωδίου είναι περίπου 500 μέτρα.



Σχήμα 5.11: Τοπικό δίκτυο τοπολογίας λεωφόρου (bus)

Για τον διαμοιρασμό και τη διαχείριση του διαύλου απαιτείται ένα επιπλέον επίπεδο διαχείρισης (πέρα από τα επτά επίπεδα του OSI) που ονομάζεται επίπεδο προσπέλασης του μέσου (Medium Access Control – MAC Layer). Συνήθως το επίπεδο MAC θεωρείται υποεπίπεδο του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων (DLC) και μαζί με το υποεπίπεδο LLC (Logical Link Control – IEEE 802.2) αποτελούν το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων.



Σχήμα 5.12: Τα επίπεδα των τοπικών δικτύων

Στα τοπικά δίκτυα δεν υπάρχουν προβλήματα δρομολόγησης ενώ η πιο γνωστή στρατηγική επίλυσης του προβλήματος χρήσης ενός κοινού μέσου από πολλούς κόμβους είναι η ελεύθερη μετάδοση, όπου όμως πολλές φορές η ταυτόχρονη αποστολή πακέτων δημιουργεί συγκρούσεις που πρέπει να επιλυθούν με επαναμεταδόσεις μειώνοντας έτσι την συνολική ταχύτητα του διαύλου.

Ο πομποδέκτης του επιπέδου MAC (γνωστός και ως MAU –Medium Access Unit) διασυνδέει τον κόμβο (την κάρτα δικτύου) με το φυσικό μέσο (καλώδιο) του τοπικού δικτύου. Ο πομποδέκτης αποτελείται από μία μονάδα αποστολής δεδομένων, μια μονάδα λήψης καθώς και ένα κύκλωμα ανίχνευσης φέροντος.

Η πιο παλιά υλοποίηση ενός συστήματος ελεύθερης μετάδοσης είναι το σύστημα Slotted Aloha, που χρησιμοποιεί χρονοθυρίδες και επιτρέπει συγκρούσεις που επιλύει στη συνέχεια με επαναμεταδόσεις.

Η πιο γνωστή στρατηγική όμως ανίχνευσης αν άλλοι κόμβοι μεταδίδουν καθώς και ανίχνευσης συγκρούσεων παρέχεται από το πρωτόκολλο CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect) (IEEE 802.3).

### **5.8.1 Ethernet - IEEE 802.3**

Τα τοπικά δίκτυα τύπου Ethernet αρχικά παρουσιάστηκαν από την εταιρεία Xerox και αργότερα αποτέλεσαν πρότυπο του οργανισμού IEEE (IEEE 802.3).

Το πρότυπο IEEE 802.3 αποτελεί γενίκευση του Ethernet και υλοποιεί το πρωτόκολλο πολλαπλής προσπέλασης με ακρόαση φέροντος και ανίχνευση συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, CSMA/CD).

Η πρώτη οικογένεια των δικτύων αυτών (10Base2, 10Base5, 10Base-T) υποστηρίζει εύρος ζώνης 10Mbps. Η μέθοδος CSMA/CD δεν παρέχει μηχανισμούς ελέγχου και προτεραιοτήτων ούτε εξασφαλίζει κάποιο άνω όριο καθυστέρησης. Επίσης, δεν προσφέρει δυνατότητες διαχείρισης όπως δέσμευση του διαθέσιμου εύρους ζώνης.

Προοίμιο (7 bytes)
Αρχή Πλαισίου (1 byte)
Διεύθυνση Προορισμού (6 bytes)
Διεύθυνση Αποστολής (6 bytes)
Μήκος Δεδομένων (802.3) Πρωτόκολλο (Ethernet) (2 bytes)
Δεδομένα (46-1500 bytes)
Άθροισμα Ελέγχου (4 bytes)

Σχήμα 5.13: Δομή πλαισίου 802.3 και Ethernet

Το πλαίσιο MAC του IEEE 802.3 χρησιμοποιεί κωδικοποίηση Manchester στο πεδίο Προοίμιο για τον συγχρονισμό του δέκτη, ενώ χρησιμοποιεί διευθύνσεις μήκους 48 ψηφίων.

Σε ένα τοπικό δίκτυο τύπου IEEE 802.3 επιτρέπεται η συνύπαρξη πλαισίων τύπου Ethernet αφού ουσιαστικά η δομή των πλαισίων των δύο πρωτοκόλλων είναι παρόμοια.

Η διαφοροποίηση μπορεί να γίνει με βάση την τιμή του πεδίου Μήκος Δεδομένων στο IEEE 802.3 ή πρωτόκολλο στο πλαίσιο Ethernet, όπου στο πλαίσιο Ethernet είναι μεγαλύτερη από 1500.

Οι βασικές φυσικές τοπολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι τοπολογίες λεωφόρου και αστέρα. Στην τοπολογία αστέρα χρησιμοποιούνται Hubs που είναι συσκευές που λαμβάνουν πακέτα από μία θύρα και τα επαναμεταδίδουν στις υπόλοιπες θύρες υλοποιώντας όμως την λογική του IEEE 802.3.

### **5.8.2 Ισόχρονο Ethernet (Isochronous Ethernet)**

Το Ισόχρονο Ethernet ή Iso-Ethernet αποτελεί παραλλαγή του Ethernet η οποία προτάθηκε με στόχο την ολοκλήρωση δεδομένων φωνής (Integrated Voice Data LAN, IVD LAN) σε τοπικά δίκτυα. Έμφαση δόθηκε στον συνδυασμό των υπηρεσιών τοπικών δικτύων και ψηφιακών δικτύων ενοποιημένων υπηρεσιών (ISDN).

### **5.8.3 Fast Ethernet**

Το Fast Ethernet (100Base-TX, 100Base-FX, 100Base-T4) αποτελεί τη φυσική εξέλιξη του κλασικού Ethernet. Είναι συμβατό με το πρότυπο IEEE 802.3 σε επίπεδο δομής πλαισίου και χρησιμοποιεί και αυτό το πρωτόκολλο CSMA/CD παρέχοντας εύρος ζώνης 100Mbps. Ούτε το Fast Ethernet δεν παρέχει τους απαραίτητους μηχανισμούς ελέγχου, δέσμευσης και προτεραιοτήτων.

### **5.8.4 Gigabit Ethernet**

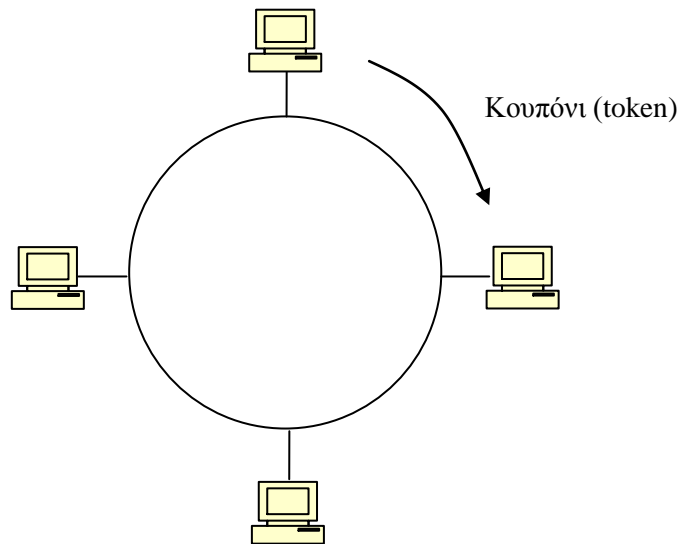
Στα τέλη του 1995 συστάθηκε στον οργανισμό IEEE ειδική επιτροπή (High-speed Study Group) προκειμένου να μελετήσει την μετάδοση Ethernet πλαισίων σε ταχύτητες της τάξης των gigabits per second.

Η τεχνολογία Gigabit Ethernet ακολουθεί την ίδια λογική με αυτή του Fast Ethernet δηλαδή χρήση του πρωτοκόλλου CSMA/CD και συμβατότητα προς τα πίσω με στόχο την αξιοποίηση του υπάρχοντος εξοπλισμού. Αυτό είναι και το μεγαλύτερο πλεονέκτημά της έναντι σε άλλες εναλλακτικές τεχνολογίες τεχνικά ανώτερες (ευελιξία, δυνατότητα κλιμάκωσης) όπως το ATM.

### **5.8.5 Δίκτυα δακτυλίου κουπονιού (IEEE 802.5 Token Ring)**

Το πρότυπο IEEE 802.5 ορίζει το πρωτόκολλο Ελέγχου Πρόσβασης στο μέσο (MAC) περάσματος κουπονιού για ένα τοπικό δίκτυο τοπολογίας δακτυλίου. Το κουπόνι είναι ένα ειδικό πλαίσιο ελέγχου το οποίο περιστρέφεται μέσα στο δακτύλιο και ο κόμβος που το κατέχει έχει επίσης και το δικαίωμα πρόσβασης. Το IEEE 802.5 υποστηρίζει ταχύτητα μετάδοσης 16Mbps καθώς και μηχανισμούς κατανομής του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Στα βασικά του χαρακτηριστικά μπορεί να προστεθεί η δυνατότητα

μορφοποίησης της κίνησης κάθε σταθμού και καθορισμού ενός άνω ορίου καθυστέρησης. Επίσης, παρέχει μηχανισμούς δέσμευσης και προτεραιοτήτων.



Σχήμα 5.14: Τοπικό δίκτυο τοπολογίας δακτυλίου (IEEE 802.5)

### 5.8.6 Τοπικά δίκτυα ATM

Τα τοπικά δίκτυα τεχνολογίας ATM αποτελούν τεχνολογία τρίτης γενιάς τοπικών δικτύων που σχεδιάστηκε για να παρέχει αυξημένη ρυθμαπόδοση και εγγυήσεις μετάδοσης σε πραγματικό χρόνο για την υποστήριξη πολυμεσικών εφαρμογών. Οι κύριες προδιαγραφές τους συνοψίζονται στις εξής:

- Υποστήριξη πολλαπλών κλάσεων εγγυημένης υπηρεσίας
- Δυνατότητα αύξησης της ρυθμαπόδοσης ανά σταθμό εργασίας και επεκτασιμότητας του συστήματος
- Προώθηση της επικοινωνίας μεταξύ τεχνολογιών τοπικών και μητροπολιτικών δικτύων και ενσωμάτωσή τους
- Δυνατότητα μερικώς μόνιμων (semi-permanent) και βάσει ζήτησης (on-demand) συνδέσεων

Τα τοπικά δίκτυα ATM εμφανίζονται σε διάφορες μορφές. Καταρχήν, είναι δυνατό να λειτουργήσουν ως πύλες για ATM WANS δίκτυα, όπου ένας ATM μεταγωγός ενεργεί ως δρομολογητής και συγκεντρωτής κίνησης ενός ATM WAN. Επίσης, μια ομάδα από μεταγωγείς ATM ενδέχεται να διασυνδέουν επιμέρους τοπικά δίκτυα δημιουργώντας το απαραίτητο κατά περίπτωση δίκτυο κορμού (backbone network). Εξάλλου και η περίπτωση κατευθείαν σύνδεσης ισχυρών σταθμών εργασίας σε έναν μεταγωγέα ATM αποτελεί συχνό τρόπο υλοποίησης της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Τέλος, δυνατή εμφανίζεται και η μίξη των μορφών αυτών.

Ανεξάρτητα, πάντως, από την μορφή που θα επιλεγεί, δεδομένου των διαφορετικών χαρακτηριστικών που διέπουν τα δίκτυα ATM και LAN, απαιτείται για την επικοινωνία τους να ληφθούν υπόψη βασικά ζητήματα συμβατότητας. Στα πλαίσια αυτά, το θέμα της συμβατότητας θα πρέπει να εξεταστεί σε τρία κυρίως σημεία:

- Στην αλληλεπίδραση του τελικού συστήματος με το δίκτυο ATM και με το δίκτυο LAN
- Στην αλληλεπίδραση του τελικού συστήματος ενός LAN με το τελικό σύστημα ενός διαφορετικού LAN ίδιου τύπου και
- Στην αλληλεπίδραση του τελικού συστήματος ενός LAN με το τελικό σύστημα ενός άλλου LAN διαφορετικού τύπου

Σημαντικό πλεονέκτημα των τοπικών δικτύων ATM είναι η δυνατότητα δημιουργίας ιδεατών τοπικών δικτύων (Virtual LANs – VLANs) σε βάσει ζήτησης. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να δημιουργηθούν λογικές τοπολογίες τοπικών δικτύων ανάμεσα σε ομάδες χρηστών και όχι κατ' ανάγκη φυσικές τοπολογίες όπως στις προηγούμενες τεχνολογίες τοπικών δικτύων.

Η τεχνολογία ATM μπορεί να χρησιμοποιηθεί, εκτός από τα τοπικά δίκτυα και ως τεχνολογία του δικτύου κορμού και για το λόγο αυτό θα αναλυθεί εκτενέστερα στα δίκτυα κορμού.

## **5.9 Δίκτυα Κορμού (Backbone or core networks)**

### **5.9.1 Fiber Distributed Data Interface (FDDI)**

Το πρότυπο FDDI ορίζει ένα δίκτυο τοπολογίας δακτυλίου με μέσο μετάδοσης οπτική ίνα και ρυθμό δεδομένων 100 Mbps. Η πρόσβαση στο μέσο ελέγχεται με κουπόνι. Βασίζεται σε τοπολογία διπλού δακτυλίου για ανάκαμψη από ενδεχόμενα σφάλματα και χρησιμοποιεί μονότροπες ή πολύτροπες οπτικές ίνες.

Το πρότυπο υποστηρίζει μέχρι και 1000 φυσικές συνδέσεις και μέγιστη απόσταση 200 χιλιομέτρα. Αναπτύχθηκε ως βασική τεχνολογία μητροπολιτικών δικτύων (Metropolitan Area Networks, MAN) και συνήθως χρησιμοποιείται για διασύνδεση δικτύων και μεγάλων υπολογιστών ή σταθμών εργασίας.

Στα κύρια θετικά στοιχεία του FDDI κατατάσσονται το υψηλό εύρος ζώνης και οι δυνατότητες υποστήριξης σύγχρονης κίνησης και πολλαπλής εκπομπής. Επίσης, παρέχει ανοχή σε σφάλματα και μηχανισμούς δυναμικής διαχείρισης του εύρους ζώνης. Από την άλλη πλευρά η υποστήριξη σύγχρονης κίνησης αν και αποτελεί βασική προδιαγραφή του προτύπου δεν εξασφαλίζεται στις περισσότερες υλοποιήσεις. Επιπλέον, αν και η τεχνική του κουπονιού επιτρέπει τον περιορισμό της καθυστέρησης σε συγκεκριμένες τιμές, η μείωση του χαμηλού ορίου καθυστέρησης οδηγεί σε μείωση της χρήσης του εύρους ζώνης. Σε μια προσπάθεια διεύρυνσης του προτύπου και αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών, αναπτύχθηκε το FDDI-II.

Το FDDI-II αποτελεί εξέλιξη του FDDI με στόχο την υποστήριξη κίνησης πραγματικού χρόνου. Για το σκοπό αυτό βασίζεται σε πρωτόκολλο δακτυλίου με σχισμές (slotted ring) και στη χρήση χρονοθυρίδων. Η λειτουργία του εξασφαλίζεται από πολύπλοκους μηχανισμούς σηματοδότησης και δυναμικής διαχείρισης του εύρους ζώνης, ενώ προσφέρει και δυνατότητες πολλαπλής αποστολής. Έτσι, καταφέρνει να παρέχει ισόχρονα κανάλια χαμηλής καθυστέρησης. Στα αρνητικά στοιχεία του προτύπου συμπεριλαμβάνονται η μεγάλη του πολυπλοκότητα και η ασυμβατότητα με το FDDI.

### **5.9.2 Distributed Queue Double Bus (DQDB)**

Η τεχνολογία Distributed Queue Double Bus (DQDB), η οποία περιγράφεται στο πρότυπο IEEE 802.6, ανήκει στις τεχνολογίες μητροπολιτικών δικτύων, όπως και το

FDDI. Η αρχιτεκτονική του δικτύου που ονομάζεται και DQDB από το ομώνυμο πρωτόκολλο στο οποίο στηρίζει τη λειτουργία της, υλοποιείται με δύο αρτηρίες που μεταφέρουν κίνηση προς την μία μόνο διεύθυνση και σε αντίθετες κατευθύνσεις. Αν και οι δύο αρτηρίες είναι δυνατό να σχηματίσουν δακτύλιο, δεν εμφανίζονται τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά ενός δικτύου τοπολογίας δακτυλίου. Το IEEE 802.6 παρέχει μηχανισμούς ανάκαμψης σφαλμάτων και επιτρέπει την υποστήριξη διαφόρων τύπων κίνησης μέσω των χρονοθυρίδων. Τέλος, κύριο πλεονέκτημά του θεωρείται και η δυναμική διαχείριση του διαθέσιμου εύρους ζώνης (45Mbps και άνω).

Σε σύγκριση με το FDDI, το DQDB παρουσιάζει μικρότερη καθυστέρηση πρόσβασης. Επίσης, σε αντίθεση με αυτό, είναι συμβατό με τα υπάρχοντα πρότυπα τηλεπικοινωνιών όπως το SONET και το ISDN. Παρόλα αυτά, το FDDI έχει γίνει ευρύτερα αποδεκτό στην αγορά, ενώ για το DQDB δεν έχει εμφανιστεί μεγάλος αριθμός προϊόντων.

### **5.9.3 B-ISDN, ATM**

Ο όρος Asynchronous Transfer Mode (ATM) είναι εδώ και πολλά χρόνια ένα από τα πιο καυτά τηλεπικοινωνιακά θέματα. Αν και υπάρχουν προϊόντα και συσκευές ATM στην αγορά δεν παύει να παραμένει ακόμα ένα πρότυπο σε ανάπτυξη με πολλές προοπτικές μπροστά του. Ήδη πολλοί ευρωπαϊκοί τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί έχουν επιλέξει το ATM σαν πλατφόρμα για την παροχή φτηνού ISDN ευρείας ζώνης (Broadband-ISDN -- B-ISDN).

Το ATM είναι μια τεχνολογία που ιστορικά πηγάζει από την ανάπτυξη του Broadband ISDN (B-ISDN) το 1970 & 1980. Είναι ένα πρότυπο της International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) (πρώην International Telegraph and Telephone Consultative Committee (CCITT)) για μεταγωγή κελιών (cell relay), όπου οι πληροφορίες για πολλαπλού τύπου υπηρεσίες όπως φωνή, video ή δεδομένα, μεταφέρονται σε μικρά σταθερού μεγέθους κελιά. Τα δίκτυα ATM είναι προσανατολισμένα σε σύνδεση (connection-oriented) και αρχικά είχαν θεωρηθεί για χρήση ως δημόσια δίκτυα για την ταχεία μεταφορά πληροφοριών. Το ATM Forum επέκτεινε το μοντέλο της ITU-T για χρήση της τεχνολογίας ATM πάνω από δημόσια αλλά και ιδιωτικά δίκτυα. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές στις οποίες η τεχνολογία ATM μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Οι κυριότερες από αυτές είναι:



- Τηλε-διάσκεψη (Video Conferencing)
- Συνδιάσκεψη από γραφείο σε γραφείο (Desktop Conferencing)
- Εικονοτηλέφωνο (Videophone)
- Εικόνα / Ήχος κατά παραγγελία (Audio/Video On Demand)
- Εικονικά τοπικά δίκτυα (VLANs: Virtual LANs)
- Επικοινωνίες ATM μεγάλης χωρητικότητας με κινητούς κόμβους (συνήθως με δορυφορικές ζεύξεις)

Η τεχνολογία Asynchronous Transfer Mode (ATM) είναι μία υψηλών επιδόσεων τεχνολογία μεταγωγής και πολύπλεξης, που χρησιμοποιεί πακέτα συγκεκριμένου μεγέθους για τη μεταφορά διαφορετικών τύπων κίνησης. Η πληροφορία σχηματοποιείται μέσα σε κελιά συγκεκριμένου μήκους που αποτελούνται από 48 bytes ωφέλιμης πληροφορίας και πέντε (5) bytes επικεφαλίδας. Το συγκεκριμένο μήκος του πακέτου εγγυάται ότι οι πληροφορίες που είναι ευαίσθητες στο χρόνο (π.χ. video) δεν επηρεάζονται από μεγάλα πακέτα. Βέβαια αν τα κελιά ήταν μεγαλύτερα σε μέγεθος το σύστημα θα ήταν πιο αποδοτικό, επειδή η επικεφαλίδα θα ήταν ένα μικρότερο ποσοστό του συνολικού κελιού, αλλά τότε θα υπήρχαν μεγαλύτερες καθυστερήσεις.

Διαφορετικές ροές κίνησης μπορούν να πολυπλεχθούν και να τύχουν διαχείρισης έτσι ώστε να σταλούν οι ροές σε πολλούς διαφορετικούς προορισμούς. Αυτό βοηθάει στον περιορισμό του κόστους μέσω της μείωσης του αριθμού των διεπαφών και των λοιπών στοιχείων που απαιτούνται για την κατασκευή ενός δικτύου.

Το B-ISDN αποτελεί ένα πρότυπο με βάση το ATM που δημιουργήθηκε με σκοπό να ολοκληρώσει τις υπάρχουσες τεχνολογίες και να δημιουργήσει την υποδομή για ένα παγκόσμιο δίκτυο που θα καλύπτει το σύνολο των αναγκών και των ψηφιακών υπηρεσιών.

Τα B-ISDN δίκτυα προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες, σε σχέση με τις προηγούμενες δικτυακές δομές, οι οποίες συνοψίζονται στις εξής:

- Ανεξαρτησία από την εφαρμογή. Πρόκειται για τη δυνατότητα των δικτύων B-ISDN να υποστηρίζουν τη μετάδοση διαφόρων τύπων πληροφορίας με διαφορετικά

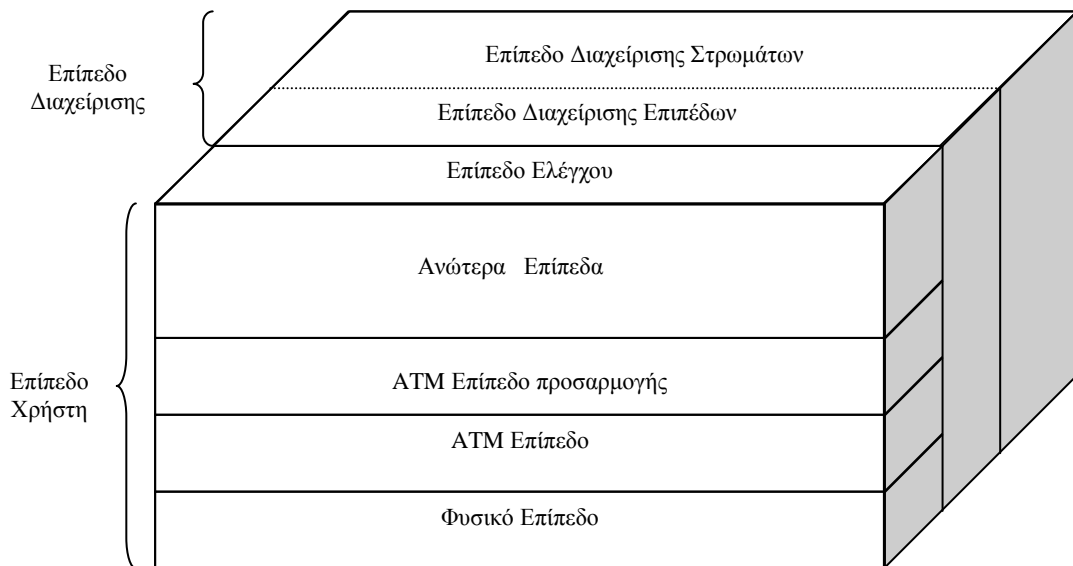
- χαρακτηριστικά. Ειδικότερα, είναι δυνατό να μεταδώσουν δεδομένα σταθερού και μεταβλητού ρυθμού, video, ήχο ή και συνδυασμούς των μορφών αυτών.
- Αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης. Σε αντίθεση με το σύγχρονο τρόπο επικοινωνίας και την πολύπλεξη με διαίρεση χρόνου (Time Division Multiplexing – TDM), το ATM διαθέτει το εύρος ζώνης αρκετά αποδοτικά. Η μέθοδος που χρησιμοποιεί βασίζεται στη στατιστική πολύπλεξη (statistical multiplexing) και στην απεριόριστη πρόσβαση ανάλογα με την υφιστάμενη χωρητικότητα.
  - Ολοκλήρωση των LAN, MAN και WAN δικτύων. Το γεγονός ότι το ATM είναι ανεξάρτητο από τα πρωτόκολλα του φυσικού επιπέδου, συνεπάγεται ότι μπορεί να ενσωματωθεί σε όλα τα δίκτυα. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι απαραίτητη η μετατροπή μεταξύ των πρωτοκόλλων, καθώς και ότι δεν καταργείται η ήδη εγκατεστημένη δικτυακή υποδομή.
  - Προσαρμοστικότητα του εύρους ζώνης. Τα δίκτυα B-ISDN επιτρέπουν την προσαρμογή του εύρους με βάση τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής, δεδομένου ότι το τμήμα δεδομένων κάθε ATM κελιού είναι 48 bytes. Στην πράξη, οι προδιαγραφές εύρους καθορίζονται κατά την εγκατάσταση μιας σύνδεσης.
  - Δυναμική κατανομή του εύρους ζώνης. Αν κατά τη διάρκεια μιας σύνδεσης οι απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας που διαπραγματεύτηκαν κατά την εγκατάστασή της μεταβληθούν, τότε παρέχεται η δυνατότητα νέας κατανομής του εύρους ανά χρήστη. Επιπλέον, μπορεί να υπολογιστεί το εύρος που χρησιμοποιήθηκε για σκοπούς λογιστικής χρέωσης.
  - Διακύμανση της παρεχόμενης ποιότητας ανά σύνδεση. Κάθε χρήστης μπορεί να ρυθμίσει την ποιότητα υπηρεσίας που λαμβάνει ανάλογα με τις ανάγκες του τόσο κατά την έναρξη της μετάδοσης όσο και κατά τη διάρκειά της.

Το υπόδειγμα B-ISDN αποτελείται από τρία κατακόρυφα επίπεδα: το επίπεδο χρήστη (User Plane), το επίπεδο ελέγχου (Control Plane) και το επίπεδο διαχείρισης (Management Plane).

- **Επίπεδο χρήστη:** Πραγματοποιεί τη μεταφορά του video, ή του εκάστοτε τύπου υπηρεσίας, από τον video εξυπηρετητή ως τον τελικό χρήστη.
- **Επίπεδο ελέγχου:** Χρησιμοποιείται κατά την εγκατάσταση και την απεγκατάσταση των συνδέσεων μέσω των μηχανισμών σηματοδότησης.

– **Επίπεδο διαχείρισης:** Το επίπεδο διαχείρισης χωρίζεται σε δύο επιμέρους τμήματα. Η διαχείριση των στρωμάτων (layer management) περιλαμβάνει διαχειριστικές λειτουργίες που αναφέρονται στα οριζόντια επίπεδα του μοντέλου. Αντίθετα, η διαχείριση επιπέδων (plane management) αναφέρεται στις διαδικασίες διαχείρισης και συντονισμού που σχετίζονται με τη συνολική λειτουργία του μοντέλου.

Από οριζόντια οπτική γωνία, το B-ISDN μοντέλο αποτελείται από στρώματα πρωτοκόλλων. Ειδικότερα, διακρίνονται το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο ATM και το επίπεδο προσαρμογής στο ATM, καθώς και τα ανώτερα επίπεδα πρωτοκόλλων.



Σχήμα 5.15: Υπόδειγμα B-ISDN

Το φυσικό επίπεδο συνίσταται από δύο υποεπίπεδα: το υποεπίπεδο σύγκλισης μεταφοράς (transport convergence, TC) και το υποεπίπεδο που εξαρτάται από το φυσικό μέσο (Physical Medium Dependent, PMD). Το πρώτο προσαρμόζει τη ροή των κελιών στο ρυθμό ροής του PMD δημιουργώντας τη δομή του πλαισίου που θα μεταφερθεί και εισάγοντας και εξάγοντας τα κελιά από αυτό. Επίσης, αναλαμβάνει το κομμάτι της επεξεργασίας του φυσικού επιπέδου και τις διαδικασίες εύρεσης των ορίων των κελιών και ελέγχου σφαλμάτων. Από την άλλη πλευρά, το PMD προσδιορίζει το από σημείο-σε-

σημείο σύστημα μετάδοσης που συνδέει τα στοιχεία του δικτύου μεταξύ τους και επιτελεί λειτουργίες ανάλογα με τις προδιαγραφές του χρησιμοποιούμενου φυσικού μέσου.

Στο φυσικό επίπεδο, το πιο σημαντικό πρότυπο μετάδοσης ATM κελιών είναι το SDH/SONET. Αν και πρόκειται στην ουσία για δύο διαφορετικά πρότυπα, οι διαφορές τους σχετικά με το B-ISDN είναι επουσιώδεις. Ο λόγος για την χρήση των προτύπων αυτών εντοπίζεται στην ευελιξία που παρέχουν στην πολύπλεξη και στις εκτεταμένες δυνατότητες που παρουσιάζουν για δικτυακό έλεγχο και συντήρηση. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι για τα SDH και SONET πρωτόκολλα έχουν προταθεί πολλές συστάσεις και ταχύτητες. Ωστόσο, για την μετάδοση ATM κελιών επιλέγονται συνήθως τα 155 Mbps. Το ATM επίπεδο καθιστά δυνατή τη μετάδοση υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις από το ίδιο φυσικό δίκτυο με αποδοτικό τρόπο. Η λειτουργία του έγκειται στην πολύπλεξη και προώθηση των κελιών μέσα από μία νοητή σύνδεση (virtual connection, VC) που πραγματοποιείται με βάση τις προδιαγραφές των παρεχόμενων υπηρεσιών.

Η σύνδεση αυτή χαρακτηρίζεται σε τοπικό επίπεδο από ένα ζευγάρι δεικτών: τον δείκτη νοητού καναλιού (virtual channel indicator, VCI) και τον δείκτη νοητού μονοπατιού (virtual path indicator, VPI). Ειδικότερα, μία από-άκρη-σε-άκρη σύνδεση μεταξύ δύο χρηστών συνίσταται από έναν αριθμό VC συνδέσεων σε κάθε έναν από τους οποίους αντιστοιχεί μία τιμή. Εξάλλου, ως νοητό μονοπάτι θεωρείται ένα σύνολο από νοητά κανάλια. Το νοητό μονοπάτι διαφοροποιείται εννοιολογικά από τη νοητή σύνδεση, δεδομένου ότι αυτή αποτελεί λογική έννοια, ενώ το μονοπάτι έχει πρακτική σημασία. Επίσης, δεν θα πρέπει να παρανοείται το ζεύγος των δεικτών που χρησιμοποιείται για τοπική δρομολόγηση, με την διεύθυνση ATM που χαρακτηρίζει τον αποδέκτη των κελιών.

Το πρωτόκολλο ATM είναι προσανατολισμένο σε σύνδεση, η οποία υλοποιείται με μηχανισμούς σηματοδότησης. Κάθε κελί που μεταφέρει περιλαμβάνει ένα πεδίο δεδομένων 48 bytes και μία επικεφαλίδα μεγέθους 5 bytes. Η επικεφαλίδα διαφοροποιείται ανάλογα με το αν χρησιμοποιείται στη διεπαφή μεταξύ δικτύου και χρήστη ή στη διεπαφή μεταξύ δικτύων.

Το επίπεδο υπηρεσιών βρίσκεται στην κορυφή του B-ISDN μοντέλου και αναλαμβάνει την επικοινωνία μεταξύ των κατώτερων επιπέδων και της εφαρμογής ενώ επιτελεί και τη σηματοδότηση.

Οι διαδικασίες σηματοδότησης εφαρμόζονται από σημείο σε σημείο και διακρίνονται σε σηματοδότηση στη διεπαφή χρήστη δικτύου (User-Network Interface Signaling) και στη σηματοδότηση στη διεπαφή μεταξύ δύο διαφορετικών δικτύων (Network-Network Interface Signaling). Τόσο ο ITU-T όσο και το ATM-Forum έχουν κατασκευάσει μια σειρά προτύπων σηματοδότησης.

#### **5.9.4 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)**

Η τεχνολογία Wavelength Division Multiplexing (WDM) αυξάνει την χωρητικότητα του φυσικού μέσου (οπτική ίνα - fiber) χρησιμοποιώντας μία τελείως διαφορετική μέθοδο από την γνωστή Time Division Multiplexing (TDM) που χρησιμοποιείται στην τεχνολογία Synchronous Optical Network (SONET) /Synchronous Digital Hierarchy (SDH). Η WDM εκχωρεί στα εισερχόμενα οπτικά σήματα συγκεκριμένες συχνότητες φωτός (μήκη κύματος (wavelengths) ή λάμδα (lambda)) μέσα σε μία προκαθορισμένη ζώνη συχνοτήτων. Επειδή κάθε κανάλι εκπέμπει σε διαφορετική συχνότητα μπορούμε να επιλέξουμε τα διαφορετικά κανάλια με ένα συντονιστή δέκτη (Tuner). Ένας άλλος τρόπος να σκεφτεί κανείς το WDM είναι ότι κάθε κανάλι είναι ένα διαφορετικό χρώμα φωτός. Διαφορετικά κανάλια δημιουργούν ένα "ουράνιο τόξο".

Στο σύστημα WDM, κάθε μήκος κύματος διέρχεται από την οπτική ίνα και τα σήματα αποπολυπλέκονται στο άκρο. Όπως και στο TDM η χωρητικότητα είναι ένα άθροισμα των λαμβανομένων σημάτων αλλά το WDM μεταφέρει κάθε εισερχόμενο σήμα ξεχωριστά και ανεξάρτητα. Αυτό σημαίνει ότι κάθε κανάλι έχει τη δική του χωρητικότητα. Η διαφορά ανάμεσα στο WDM και στο Dense-WDM (DWDM) είναι βασικά μία, ότι το DWDM διαχωρίζει τα μήκη κύματος πιο κοντά από ότι το WDM, και γι' αυτό επιτυγχάνεται μεγαλύτερη συνολική χωρητικότητα. Τα όρια του διαχωρισμού των χρωμάτων δεν είναι ακριβώς γνωστά αν και σήμερα υπάρχουν συστήματα με χωρητικότητα 128 λάμδα σε μία ίνα. Μερικά ακόμα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του DWDM είναι η ικανότητα ενίσχυσης του σήματος όλων των χρωμάτων μονομιάς χωρίς την πρότερη μετατροπή τους σε ηλεκτρικά σήματα καθώς και την ικανότητα μεταφοράς σημάτων διαφορετικών ταχυτήτων και τύπων ταυτόχρονα και διαφανώς στην ίνα.

## 5.10 Δίκτυα Πρόσβασης (Access Networks – Local Loop)

### 5.10.1 xDSL (Digital Subscriber Line)

Οι τεχνολογίες xDSL αναπτύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Σήμερα έχουν εγκατασταθεί εμπορικά συστήματα ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop) στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής. Τα συστήματα αυτά αναμένεται ότι θα αποτελέσουν την απαραίτητη τεχνολογική υποδομή για την πρόσβαση των συνδρομητών σε υπηρεσίες ευρείας ζώνης και μεταφοράς δεδομένων σε υψηλούς ρυθμούς.

Ο όρος xDSL αναφέρεται σε μια μεγάλη ομάδα τεχνολογιών ψηφιακού συνδρομητικού βρόχου. Οι τεχνολογίες αυτές, παρέχουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης μεταξύ συνδρομητή και Αστικού Κέντρου μέσω ενός ή περισσότερων ζευγών χαλκού. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει μερικές από τις τεχνολογίες που περιλαμβάνονται κάτω από τον όρο xDSL.

Τεχνολογία	Ρυθμοί Μετάδοσης	Υπηρεσίες
DSL: Digital Subscriber Line	160 kbps	ISDN, υπηρεσίες φωνής και δεδομένων
HDSL High data rate Digital Subscriber Line	2Mbps	Τεχνολογία διανομής για πρόσβαση σε WAN, LAN, servers. Κάνει χρήση 2 ή 3 ζευγών.
SDSL Single line Digital Subscriber Line	2Mbps	Συμμετρική πρόσβαση κατάλληλη για εταιρείες. Κάνει χρήση 1 ζεύγους.
ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line	1,5 έως 9Mbps προς το χρήστη και 16 έως 640Kbps προς το δίκτυο	Πρόσβαση σε Internet, video on demand, LAN, υπηρεσίες πολυμέσων.
VDSL Very high data rate Digital Subscriber Line	13 έως 52Mbps προς το χρήστη και 1,5 έως 2,3Mbps προς το δίκτυο	Πρόσβαση σε Internet, video on demand, υπηρεσίες πολυμέσων, τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας - HDTV.

Βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων xDSL είναι η μετάδοση της πληροφορίας μεταξύ των συνδρομητών και των τηλεφωνικών κέντρων σε ψηφιακή μορφή, χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα υποδομή του δικτύου πρόσβασης τεχνολογίας χαλκού.

Η μετατροπή του δικτύου πρόσβασης χαλκού σε ψηφιακό προτάθηκε και υλοποιήθηκε για πρώτη φορά από το ISDN. Παρόλα αυτά όμως στις προδιαγραφές του

ISDN γίνεται λόγος για ψηφιακά μονοπάτια προς τους τελικούς καταναλωτές ταχύτητας έως 192Kbps ενώ στο xDSL γίνεται λόγος για ταχύτητες έως και 52Mbps (VDSL). Το xDSL λοιπόν, δίνει τη δυνατότητα, με βάση τους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων τους οποίους παρέχει, ευρυζώνιων υπηρεσιών προς τους τελικούς χρήστες.

Η βασική διαφορά από ένα σύστημα κλασσικού δικτύου πρόσβασης τεχνολογίας χαλκού είναι η ύπαρξη των δύο διαμορφωτών - αποδιαμορφωτών (modems) στα άκρα.

Για να μπορέσουν τα συστήματα xDSL να πετύχουν τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κάνουν μια πολύ εντατική χρήση του φάσματος εντός των χάλκινων καλωδίων. Αυτό κάνει τα συστήματα αυτά ευάλωτα σε υψηλά επίπεδα θορύβου και διαφωνιών. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τη χρήση του φάσματος σε συστήματα μετάδοσης χαλκού για διαφορετικές τεχνολογίες.

<b>Τεχνολογία</b>	<b>Φάσμα</b>
Αναλογική φωνητική τηλεφωνία	4.000Hz
ISDN	80.000Hz
T1 (2B1Q <sup>1</sup> )	400.000Hz
T1 (AMI)	>800.000Hz
ADSL	>1.000.000Hz

Η κύρια τεχνολογία xDSL είναι η τεχνολογία ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Link).

Η τεχνολογία αυτή εκμεταλλεύομενη το γεγονός ότι οι κοινοί - οικιακοί χρήστες «καταναλώνουν» υπηρεσίες, παρά «παράγουν», χρησιμοποιεί ασύμμετρα το φάσμα για τη λήψη και τη μετάδοση πετυχαίνοντας υψηλές αποδόσεις προς το συνδρομητή για τυπικές αποστάσεις συνδρομητικών βρόγχων (1,5 έως 5 km). Για το λόγο αυτό άλλωστε, έχει κυριαρχήσει στη μαζική αγορά των οικιακών χρηστών παρέχοντας την τεχνολογική λύση για υπηρεσίες γρήγορης πρόσβαση στο Internet (Fast Internet), Video on Demand, Video Conference, Digital broadcast TV κλπ.

---

<sup>1</sup> 2B1Q: 2 binary, 1 quaternary. Μονοδιάστατη διαμόρφωση για μεταφορά 2 ψηφίων ανά σύμβολο. 2B1Q είναι ένα τεσσάρων επιπέδων PAM (pulse amplitude modulation) σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για σε συστήματα όπως το HDSL/SDSL, S-HDSL, και ISDN BRI.

Στα σημαντικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας ADSL είναι ότι κάνει εφικτή την ταυτόχρονη παροχή και χρήση υπηρεσιών παραδοσιακής τηλεφωνίας και πρόσβασης σε υπηρεσίες δεδομένων μέσω του ίδιου ζεύγους χαλκού. Τελευταία μάλιστα έχουν οριστεί τα σχετικά πρότυπα για την παροχή υπηρεσιών ISDN και πρόσβασης σε υπηρεσίες δεδομένων μέσω ADSL τεχνολογίας. Η τεχνολογία αυτή είναι γνωστή ως IDSL (ISDN DSL) αν και ελάχιστα διαφέρει από το παραδοσιακό ADSL. Αυτός είναι άλλωστε ο λόγος που πάρα πολλές εταιρείες παρέχουν με χρήση του ίδιου υλικού ADSL και IDSL στους πελάτες τους.

Βασικό μειονέκτημα της τεχνολογίας ADSL είναι η απαραίτητη εγκατάσταση ειδικού τερματικού εξοπλισμού στο χώρο των συνδρομητών. Ο εξοπλισμός αποτελείται από ενεργητικά ή παθητικά φίλτρα - διαχωριστές (splitters) οι οποίοι χωρίζουν το φάσμα που αφορά την παραδοσιακή τηλεφωνία και το φάσμα που αφορά την υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων.

Για το λόγο αυτό έχουν προχωρήσει σχετικές προσπάθειες ώστε να προσφέρονται υπηρεσίες ευρείας ζώνης και παραδοσιακής τηλεφωνίας χωρίς την ανάγκη των ειδικών εγκαταστάσεων (διαχωριστών - splitters). Το σχετικό πρότυπο αποκαλείται Lite-ADSL ή UDSL ή splitterless ADSL και αναμένεται να καλύψει την ευρεία αγορά του Internet.

Η εφαρμογή του ADSL μέχρι σήμερα έχει υλοποιηθεί και στηριχθεί σε μεγάλο βαθμό στην τεχνολογία ATM<sup>2</sup>. Η τεχνολογία ATM αποτελεί την κατ' εξοχήν τεχνολογία δικτύων ευρείας ζώνης. Ένα από τα βασικά προβλήματα αυτής της τεχνολογίας ήταν, μέχρι πρότινος, η μη ύπαρξη προτύπων για τη μετάδοση της πληροφορίας σε χαμηλούς, σχετικά, ρυθμούς. Αυτό το κενό καλύπτει επιτυχώς το ADSL δίνοντας τη δυνατότητα για πρόσβαση στους τελικούς καταναλωτές με ρυθμούς από 1 έως 9Mbps.

Η πληροφορία από και προς το χρήστη μεταφέρεται ως φορτίο ATM ενώ το ADSL αποτελεί το μέσο μετάδοσης πάνω από το οποίο μεταφέρεται η πληροφορία εντός του δικτύου πρόσβασης. Βασικά στοιχεία του δικτύου ATM είναι η σηματοδότηση και δρομολόγηση την οποία προσφέρει στο χρήστη και στους διαχειριστές του.

Με τη γενική αναφορά στην αρχιτεκτονική του δικτύου πρόσβασης τεχνολογίας ADSL φάνηκαν τα βασικά στοιχεία ενός τέτοιου δικτύου. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται και αναλύονται διεξοδικά παρακάτω.

---

<sup>2</sup> ATM: Asynchronous Transfer Mode, Ασύγχρονος Τρόπος Μετάδοσης.



Το DSL Access Multiplexer (DSLAM) αποτελεί τον κόμβο πρόσβασης σύμφωνα με το μοντέλο αναφοράς του ADSL Forum ο οποίος και στο χώρο των εταιρειών παροχής υλικού ADSL έλαβε αυτό το όνομα.

Ένα DSLAM το οποίο εξυπηρετεί 1000 για παράδειγμα συνδρομητές με ταχύτητες στα 6Mbps απαιτεί για να εγγυηθεί τους ρυθμούς αυτούς στους χρήστες σύνδεση προς το δίκτυο κορμού της τάξης των 6Gbps. Αν λάβει κανείς υπ' όψη του όμως ακόμα και στις ώρες αιχμής οι χρήστες χρησιμοποιούν το δίκτυο το 10% του χρόνου γίνεται κατανοητό ότι η ίδια ποιότητα υπηρεσίας μπορεί να παρέχεται με μια σύνδεση της τάξης των 600Mbps. Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση όμως τέτοιες ταχύτητες στη σύνδεση του DSLAM με το δίκτυο κορμού ATM είναι υπερβολικά μεγάλες δημιουργώντας προβλήματα στο δίκτυο κορμού να ανταποκριθεί. Έτσι η σύνδεση μερικών από τους συνδρομητές σε DSLAMs εκτός του αστικού κέντρου και μεταφοράς μέσω του δικτύου ATM της κίνησης προς αυτούς από άλλο σημείο του δικτύου κορμού δίνει λύση στο πρόβλημα αυτό.

Βασικό χαρακτηριστικό των DSLAMs, όπως έχουν παρουσιαστεί ως εδώ, είναι το γεγονός ότι υπάρχει σε αυτά ένα ATU-C (modem) για κάθε χρήστη. Έτσι κάθε χρήστης είναι συνεχώς συνδεδεμένος με το DSLAMs σε αντίθεση με τα δίκτυα επιλογής των σημερινών υπηρεσιών δεδομένων πάνω από το παραδοσιακό τηλεφωνικό δίκτυο. Αυτό κάνει το κόστος των DSLAMs αρκετά υψηλό και αρκετά ελκυστική την εύρεση λύσης ώστε να είναι δυνατό να παρέχεται σύνδεση των συνδρομητών σε ένα ATU-C μετά από απαίτηση - κλήση. Σε μια τέτοια περίπτωση το ίδιο ATU-C είναι δυνατό να το μοιράζονται αρκετοί συνδρομητές κάνοντας το κόστος των DSLAMs αρκετά χαμηλότερο.

Η σύνδεση τέλος του DSLAM με το δίκτυο ATM υλοποιείται μέσω ηλεκτρικών διεπαφών στα 2 και 34Mbps ή μέσω οπτικής διεπαφής στα 155Mbps και χρήση μονότροπης ή πολύτροπης ίνας.

Στην πλευρά των συνδρομητών ο εξοπλισμός που είναι απαραίτητος για την παροχή υπηρεσιών ADSL είναι ένα Modem το οποίο υλοποιεί το ATU-R του μοντέλου αναφοράς του ADSL Forum. Το Modem αυτό αναλαμβάνει κυρίως την παροχή του φυσικού μέσου μετάδοσης προς τα ανώτερα επίπεδα της ιεραρχίας. Οι λειτουργίες του Modem αυτού περιλαμβάνουν:

- Δέσμευση συχνοτήτων. Στα συστήματα ADSL το φάσμα συχνοτήτων εντός του χαλκού χωρίζεται σε τρεις διαφορετικές περιοχές. Σε αυτό το οποίο αφορά την παραδοσιακή τηλεφωνία, σε αυτό το οποίο αφορά τη μετάδοση από το συνδρομητή και αυτό που αφορά τη μετάδοση προς το συνδρομητή. Το φάσμα για την τηλεφωνία είναι καλά ορισμένο και εκτείνεται από τα 0 έως τα 4Khz για υπηρεσία παραδοσιακής τηλεφωνίας<sup>3</sup>. Το φάσμα για τις άλλες δύο περιοχές χρησιμοποιείται με βάση δύο διαφορετικές τακτικές. Στη μία πραγματοποιείται διαχωρισμός των συχνοτήτων αποστολής και λήψης (Frequency Division Multiplexing - FDM) ενώ στην άλλη δεν υλοποιείται σαφής διαχωρισμός των συχνοτήτων αλλά οι συχνότητες λήψης και αποστολής επικαλύπτονται. Στη δεύτερη περίπτωση είναι απαραίτητη η εφαρμογή μεθόδων αποφυγής της ηχούς (echo cancellation). Η μέθοδος των διαχωρισμένων συχνοτήτων έχει το πλεονέκτημα των απλούστερων και πιο οικονομικών συσκευών ενώ η μέθοδος της επικάλυψης των συχνοτήτων τις υψηλότερες ταχύτητες καθώς κάνει καλύτερη χρήση του φάσματος.
- Προσαρμογή ρυθμού μετάδοσης. Κατά την αρχικοποίηση των ATU-R και ATU-C γίνεται ανταλλαγή σημάτων ελέγχου των συχνοτήτων μεταξύ τους. Έτσι είναι δυνατός ο εντοπισμός θορύβου και παρεμβολών και η προσαρμογή της εκπομπής στις ιδιαιτερότητες της γραμμής. Κατ' αυτό τον τρόπο αποφασίζεται ο ακριβής ρυθμός μεταφοράς δεδομένων ο οποίος είναι σύμφωνος με τα χαρακτηριστικά της γραμμής και κατά συνέπεια ο βέλτιστος.

### 5.10.2 HFC (Hybrid Fiber-Coax)

Τα ομοαξονικά καλώδια με συχνότητες της τάξης των GHz και 1000 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα από τον χαλκό μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για να παρέχουν ένα μεγάλο εύρος υπηρεσιών όπως αλληλεπιδραστικό video (ώστε να μπορούν και οι χρήστες να επικοινωνούν με τον πομπό και να εκφράζουν τις προτιμήσεις τους), δεδομένα και φωνή.

Το γεγονός ότι πολύ εύρος ζώνης σήμερα χρησιμοποιείται για αναλογικό video καταδεικνύει μία βασική διαφορά ανάμεσα στο HFC και στα δίκτυα χαλκού. Το HFC δίνει ικανοποιητική χωρητικότητα σε υπηρεσίες πανεκπομπής (broadcast), ενώ οι περιορισμοί σε εύρος ζώνης του χαλκού παρόλα τα σημαντικά πλεονεκτήματα που

---

<sup>3</sup> Για υπηρεσίες ISDN το αντίστοιχο φάσμα φτάνει σε μερικές ευρωπαϊκές χώρες τα 130Khz.

υπάρχουν με τη χρήση της τεχνολογίας xDSL οδηγεί σε μεγάλα κόστη, τουλάχιστον σε όρους μαζικής ανάπτυξης.

Η πιο σημαντική παράμετρος για τον προσδιορισμό της αρχιτεκτονικής στα δίκτυα πρόσβασης είναι η χωρητικότητα. Το HFC δίκτυο έχει 4 παραμέτρους σχετικά με την αμφίδρομη χωρητικότητα: συχνότητα, χωρική πολύπλεξη, αποδοτικότητα φάσματος και μήκος κύματος.

Η συχνότητα δίνει τη δυνατότητα να αποφασίζεται το μέγεθος της σωλήνας (750 MHz, 862 MHz, 1GHz) και να προσδιορίζετε ο τύπος του σήματος που ένας φορέας παρέχει. Κάθε συχνότητα μπορεί να επαναχρησιμοποιείται καθώς η υπηρεσία που προσφέρεται αλλάζει. Η χωρική πολύπλεξη προσδιορίζει πόσες οπτικές ίνες τρέχουν στο δίκτυο κορμού και σε κάθε κόμβο. Η αποδοτικότητα χρήσης του φάσματος με την επιλογή διαφορετικών τεχνικών διαμόρφωσης δίνει τη δυνατότητα αύξησης της χωρητικότητας. Τέλος τα πολλαπλά μήκη κύματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αυξήσουν την χωρητικότητα (WDM).

### **5.10.3 FTTH (Fiber to the Home)**

Τα οπτικά δίκτυα αναπτύχθηκαν σε ανταπόκριση των απαιτήσεων των καταναλωτών για υπηρεσίες πολυμέσων και άλλες υψηλών απαιτήσεων εφαρμογές. Η τεχνολογία Fiber To The Home (FTTH) έχει αναπτυχθεί με βάση την απαίτηση για αύξηση της χωρητικότητας στο δίκτυο πρόσβασης.

Σε ένα σύστημα FTTH ο εξοπλισμός στο κέντρο διανομής του άροχου συνδέεται με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (Public Switched Telephone Network - PSTN) με τη χρήση DS1s και συνδέεται με διεπαφές ATM ή Ethernet.

Όλα τα σήματα στη συνέχεια πολυπλέκονται σε μία οπτική ίνα με χρήση τεχνικών WDM και μεταφέρονται στον τελικό χρήστη μέσω ενός παθητικού οπτικού διαχωριστή (passive optical splitter).

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση της τεχνολογίας FTTH περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Το δίκτυο είναι παθητικό γεγονός που μειώνει τα κόστη, τις απαιτήσεις και την ανάγκη συντήρησης του δικτύου καθώς και το γεγονός ότι δεν υπάρχει ανάγκη για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Υπάρχει μία οπτική ίνα μέχρι τον τελικό χρήστη παρέχοντας τη δυνατότητα για εφαρμογές όπως: φωνής, Video δε βάση ζήτησης (video on demand - VoD).
- Είναι αξιόπιστο, κλιμακωτό και ασφαλές.

Η οικογένεια τεχνολογιών FTTx διαφοροποιούνται ανάλογα με το σημείο απόληξης της οπτικής ίνας. Οι λύσεις που προκύπτουν είναι οι εξής:

- FTTX (ή FTTE<sub>x</sub>) – Fiber To The eXchange. Δε φεύγει οπτική ίνα μετά τον κεντρικό μεταγωγέα.
- FTTCab – Fiber To The Cabinet. Η οπτική ίνα φτάνει μέχρι τον τοπικό μεταγωγέα.
- FTTC – Fiber To The Curb. Η οπτική ίνα φτάνει μέχρι το ΚΑΦΑΟ.
- FTTB/FTTH – Fiber To The Building / Fiber To The Home. Η οπτική ίνα φτάνει μέχρι τις εγκαταστάσεις του συνδρομητή.

## 5.11 Ασύρματες και κινητές επικοινωνίες

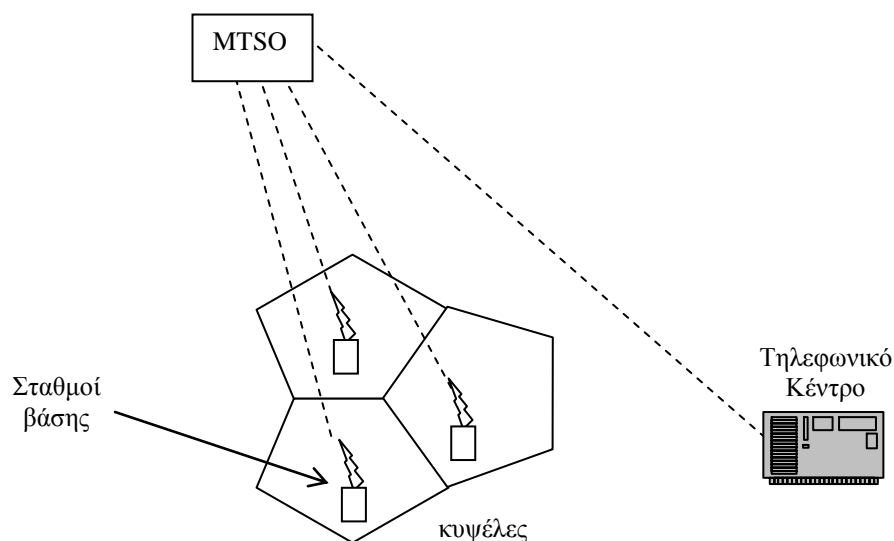
Το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο ασύρματο τηλεφωνικό σύστημα, γνωστό ως IMTS (Improved Mobile Telephone Service), τέθηκε σε λειτουργία το 1946. Στην υλοποίηση του συστήματος IMTS ανυψώθηκε ένας ψηλός πύργος στο κέντρο μίας μητροπολιτικής περιοχής, όπου υπήρχε εκπομπή και λήψη διαφόρων καναλιών από την κεραία του πύργου. Κάθε όχημα μέσα στην περιοχή κάλυψης μπορούσε να προσπαθήσει να δεσμεύσει ένα κανάλι για να πραγματοποιήσει μία κλήση.

Δυστυχώς ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών δεν μπορούσε να ικανοποιήσει την ανάγκη. Τα πράγματα μπορούσαν να γίνουν χειρότερα, αν η μητροπολιτική περιοχή αυξανόταν σε μέγεθος, οπότε χρειαζόταν περισσότερη ενέργεια για να αποσταλεί ή να ληφθεί ένα σήμα και επίσης περισσότεροι συνδρομητές δεν μπορούσαν να έχουν σήμα.

Η λύση σε αυτό το πρόβλημα ήταν η κυψελοειδής τηλεφωνία. Οι μητροπολιτικές περιοχές χωρίστηκαν σε κυψέλες (cells) όχι μεγαλύτερες από λίγα χιλιόμετρα σε

διάμετρο, με κάθε κυψέλη να δουλεύει σε ένα σύνολο συχνοτήτων, που διέφεραν από τις συχνοτήτες των γειτονικών κυψελών. Επειδή η ισχύς (power) της αποστολής σε μία συγκεκριμένη κυψέλη κρατήθηκε σε ένα επίπεδο αρκετό για να λαμβάνεται μόνο μέσα στην κυψέλη, οι ίδιες περιοχές συχνοτήτων μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και σε άλλες (μη γειτονικές) κυψέλες μέσα στην μητροπολιτική περιοχή.

Καθώς οι συνδρομητές κινούνται από μία κυψέλη σε μια άλλη οι κινητές τηλεφωνικές συσκευές τους σε συνδυασμό με τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό του εδάφους (σταθμοί βάσης - base stations) και με τα τηλεφωνικά κέντρα μεταγωγής (MTSOs - mobile Telephone Switching Offices), μεταφερόταν από την μία περιοχή στην άλλη χωρίς παύση με τον μηχανισμό αυτόματης αντιστοίχισης συχνοτήτων μεταξύ διαφορετικών γειτονικών κυψελών (handoff). Επίσης τα συστήματα είχαν σχεδιαστεί ώστε να εντοπίζουν τους συνδρομητές καταχωρώντας τους μέσα σε κάθε μία από τις κυψέλες.



Σχήμα 5.16: Μοντέλο Ασύρματου Δικτύου Επικοινωνίας

Η αρχική τεχνολογία μετάδοσης ανάμεσα στην περιοχή της κυψέλης και στην κινητή συσκευή ήταν αναλογική στη φύση της και είναι γνωστή ως AMPS - Advanced

Mobile Phone Service. Το αναλογικό σχήμα που χρησιμοποιείται στην AMPS είναι γνωστό ως FDMA (Frequency Division Multiple Access).

Στην εποχή της ψηφιακής μετάδοσης πολλές εταιρίες θεώρησαν ότι θα ήταν προτιμότερο ένα σχήμα ψηφιακής μετάδοσης. Το αποτέλεσμα ήταν ένα σχήμα ψηφιακής μετάδοσης με διαίρεση χρόνου (Time Division Multiple Access - TDMA). Στην Ευρώπη το επιλεγμένο τελικά σχήμα ήταν μια προσαρμογή του TDMA, γνωστή ως "grouped special mobile". Από τότε το όνομα έχει αλλάξει σε "global system for mobile communications" (GSM).

Ένα τρίτο σύνολο εταιρειών προσδιόρισε ότι θα ήταν καλύτερο ένα ειδικό φάσμα συχνοτήτων μέσα στο οποίο θα γινόταν η εκπομπή και η λήψη των σημάτων και ανέπτυξε το αντίστοιχο σύστημα. Το σχήμα αυτό έγινε γνωστό με το όνομα CDMA (Code Division Multiple Access).

Όσο αφορά την επικοινωνία ανάμεσα στην περιοχή της κυψέλης και στο κέντρο μεταγωγής των κλήσεων (Mobile Telephone Switching Office - MTSO) χρησιμοποιούνται πιο συμβατικές μέθοδοι όπως μικροκύματα, χαλκός ή οπτικές ίνες.

Κάθε κινητή συσκευή χρησιμοποιεί ένα ξεχωριστό και προσωρινό δίαυλο επικοινωνίας κάθε φορά που πραγματοποιείται μία κλήση ή σύνδεση. Μία κυψέλη (cell) είναι η βασική γεωγραφική μονάδα κάθε κυψελωτού συστήματος. Τομέας είναι μια ομάδα από γειτονικές κυψέλες. Σε κάθε κυψέλη ενός τομέα χρησιμοποιούνται διαφορετικές συχνότητες επικοινωνίας ώστε να μην υπάρχουν διεμπλοκές, ενώ οι ίδιες συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες κυψέλες άλλων τομέων επιτυγχάνοντας έτσι επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων. Αν για παράδειγμα υπάρχουν επτά διαθέσιμες συχνότητες κάθε τομέας επτά κυψελών μπορεί να χρησιμοποιεί σε κάθε κυψέλη διαφορετικές συχνότητες, οι οποίες θα επαναλαμβάνονται σε κάθε τομέα.

Το μέγεθος κάθε κυψέλης διαφέρει ανάλογα με την περιοχή (αστικές ή αγροτικές περιοχές) και το πλήθος των χρηστών. Συνήθως σε αστικές περιοχές το μέγεθος των κυψελών είναι μικρότερο γεωγραφικά, από το αντίστοιχο μέγεθος σε αγροτικές περιοχές με λίγους χρήστες.

Το βασικότερο πρόβλημα στην ανάπτυξη των κυψελωειδών συστημάτων είναι η μετάβαση από την μία κυψέλη σε άλλη κατά τη διάρκεια μιας σύνδεσης. Από τη στιγμή που οι γειτονικές περιοχές δεν χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα συχνοτήτων, η σύνδεση θα

έπρεπε ή να διακοπεί ή να μεταφερθεί από το ένα φάσμα συχνοτήτων στο άλλο. Η διακοπή μιας σύνδεσης βέβαια είναι ανεπίτρεπτη και επομένως η διαχείριση της μετάβασης από μια κυψέλη σε άλλη γίνεται με τον μηχανισμό Handoff, όπου πραγματοποιείται αυτόματη μεταφορά μιας σύνδεσης από ένα κανάλι συχνοτήτων σε ένα άλλο κανάλι συχνοτήτων καθώς η κινητή συσκευή μετακινείται ανάμεσα σε γειτονικές κυψέλες.

### **5.11.1 Αναλογικά Κυψελοειδή**

Υπάρχουν σήμερα τρία (3) κύρια αναλογικά κυψελοειδή συστήματα : Advanced Mobile Phone System (AMPS), Nordic Mobile Telephone (NMT) και Total Access Communications Systems (TACS). Το σύστημα AMPS και η παραλλαγή του Narrowband Advanced Mobile Phone System (NAMPS) κυριαρχούν στην αγορά των αναλογικών συστημάτων.

### **5.11.2 Ψηφιακά Κυψελοειδή**

Τα συστήματα αυτά έχουν ραγδαία ανάπτυξη και έχουν ξεπεράσει τα αναλογικά συστήματα. Τα πιο σημαντικά πρότυπα διεθνώς περιλαμβάνουν τα παρακάτω: Global System for Mobile telecommunications (GSM), Time Division Multiple Access (TDMA), Hughes Enhanced TDMA (E-TDMA), και Code Division Multiple Access (CDMA). Το σύστημα GSM κυριαρχεί στην ψηφιακή κυψελοειδή αγορά..

### **5.11.3 Personal Communication Services (PCS) / Personal Communication Networks (PCN)**

Το PCS είναι ένα μεγάλο φάσματος υπηρεσιών τηλεπικοινωνιακό σύστημα που επιτρέπει στους ανθρώπους και στις συσκευές να επικοινωνούν ανεξάρτητα από την τοποθεσία. Μερικές υπηρεσίες περιλαμβάνουν αριθμούς τηλεφώνων που καταχωρούνται σε ανθρώπους και όχι σε συσκευές (Number Portability), κλήσεις σε πελάτες που μπορούν να πληρωθούν είτε από αυτόν που καλεί είτε από αυτόν που λαμβάνει την κλήση καθώς και υπηρεσίες διαχείρισης που δίνουν τη δυνατότητα στον λαμβάνων την κλήση να έχει μεγαλύτερο έλεγχο στις εισερχόμενες κλήσεις.

Τα υποψήφια πρότυπα είναι τα : CMDA, TDMA, GSM, Personal Access Communication Systems (PACS), κλπ..

#### **5.11.4 DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)**

Η τεχνολογία Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) είναι μία ψηφιακή τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης υψηλής χωρητικότητας. Παρέχει υπηρεσίες φωνής ποιότητας τηλεφώνου και μία ευρεία κλίμακα από υπηρεσίες δεδομένων συμπεριλαμβανομένης και της τεχνολογίας ISDN.

Η τεχνολογία DECT μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλές εφαρμογές για σύνδεση σε διαφορετικά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Είναι σημαντικό να γίνει αντιληπτή η διαφορά ανάμεσα σε μία τεχνολογία πρόσβασης και σε ένα ασύρματο σύστημα όπως τα TACS, AMPS, GSM. Σε αυτά τα συστήματα όλο το δίκτυο είναι μέρος του ορισμού και μία κινητή μονάδα μπορεί να έχει πρόσβαση μόνο στο δίκτυο που είναι μέρος του συνολικού ασύρματου συστήματος. Το DECT ως μία γενική τεχνολογία πρόσβασης παρέχει την ευελιξία να αλληλεπιδρά με διαφορετικές εφαρμογές και δίκτυα συμπεριλαμβανομένων των IP & UMTS δικτύων.

Το DECT έχει μεγάλες ικανότητες μεταφοράς δεδομένων. Μέσω του πρωτοκόλλου DECT's advanced Radio Protocol είναι δυνατό να μεταφέρονται διαφορετικές χωρητικότητες συνδυάζοντας πολλά φέροντα σε ένα κανάλι. Το DECT μπορεί να υποστηρίξει χωρητικότητες δεδομένων  $n * 24$  Kbps μέχρι 552 Kbps ή ακόμα περισσότερο μέχρι 2 Mbps.

#### **5.11.5 MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service)**

Τα συστήματα MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System) λειτουργούν σε συχνότητες μικρότερες των 5GHz και καλύπτουν αποστάσεις μέχρι 40km. Η πιο διαδεδομένη τεχνική μετάδοσης σε αυτά τα συστήματα είναι η τεχνική **Διάχυτου Φάσματος (Spread Spectrum)**, η οποία επιτυγχάνει την πολλαπλή πρόσβαση των χρηστών με την χρήση διαφορετικών κωδίκων, γνωστή ως πολλαπλή προσιτότητα με διαίρεση κωδίκων (CDMA -Code Division Multiple Access-). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας **IEEE 802.11**.



### 5.11.6 WLAN (Wireless LAN)

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή μεγάλου εύρους ζώνης σε απομακρυσμένους χρήστες, επιτρέπουν στους σταθμούς εργασίας να επικοινωνούν μεταξύ τους και να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο χρησιμοποιώντας σαν μέσο μετάδοσης τα ραδιοκύματα. Μπορούν να συνδεθούν σε ήδη υπάρχοντα ενσύρματα τοπικά δίκτυα σαν προέκταση αυτών, ή να αποτελέσουν την βάση για ένα καινούργιο δίκτυο.

### 5.11.7 Πρότυπο IEEE 802.11 (Wi-Fi)

Σε απλούς όρους ένα δίκτυο Wireless Local Area Network (WLAN) κάνει ακριβώς ότι λέει το όνομα: παρέχει όλα τα χαρακτηριστικά και τα πλεονεκτήματα των παραδοσιακών τεχνολογιών LAN όπως το Ethernet ή Token Ring χωρίς όμως τους περιορισμούς των καλωδίων. Αλλά το να δούμε ένα WLAN μόνο σε όρους καλωδίων χάνουμε την ουσία που είναι η δυνατότητα επαναπροσδιορισμού του τρόπου που βλέπουμε τα τοπικά δίκτυα. Η διασυνδεσιμότητα δεν απαιτεί πλέον φυσική σύνδεση. Οι "τοπικές περιοχές" (local areas") δεν μετρούνται πλέον σε μέτρα αλλά σε χιλιόμετρα. Μία υποδομή τοπικού δικτύου δεν χρειάζεται να χρησιμοποιεί δομημένες καλωδιώσεις αλλά μπορεί να μετακινείται με τους ρυθμούς μετακίνησης του οργανισμού.

Τα WLANs χρησιμοποιούν ένα μέσο μετάδοσης όπως τα κλασσικά LANs. Αντί να χρησιμοποιούν ανεστραμμένα ζεύγη και οπτικές ίνες χρησιμοποιούν είτε Infrared Light (IR) είτε Radio Frequencies (RF). Από τις δύο τεχνολογίες η RF είναι πολύ πιο διαδεδομένη λόγω της ευρύτερης κάλυψης, μεγαλύτερης ταχύτητας και μεγαλύτερης περιοχής συχνοτήτων. Τα περισσότερα WLANs σήμερα χρησιμοποιούν την μάλιστα συχνοτήτων 2.4 GHz.

Όπως περίπου τα συστατικά ενός τοπικού δικτύου μέσα στο χώρο ενός κτιρίου, έτσι και στα ασύρματα LANs ο εξοπλισμός αποτελείται από PC card, PCI, ISA client adapters και LAN transceivers που δουλεύουν σαν hubs και γέφυρες ανάμεσα στο ασύρματο και στο ενσύρματο κομμάτι. Όσο αφορά την επικοινωνία ανάμεσα σε διαφορετικά κτίρια ο όρος τοπικό δίκτυο μπορεί να επαναπροσδιοριστεί από τη στιγμή που με ασύρματες γέφυρες θα είναι δυνατή η επικοινωνία ανάμεσα σε διαφορετικά

ασύρματα LANs δημιουργώντας έτσι ένα ευρύτερο LAN. Σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε τα διαφορετικά LANs να συνδέονται μέσω WANs με υψηλά έξοδα.

Ένα ασύρματο δίκτυο 802.11 βασίζεται στην κυψελωτή δικτυακή δομή, δηλαδή στην διαίρεση της περιοχής εξυπηρέτησης σε κυψέλες. Κάθε κυψέλη ορίζεται ως Σύνολο Βασικής Εξυπηρέτησης (Basic Service Set, BSS) στην ορολογία της συστάσεως.

Επίσης, κάθε κυψέλη, έχει ένα κεντρικό σημείο εξυπηρέτησης, ανάλογο με το σταθμό βάσης των GSM κυψελωτών συστημάτων, που καλείται Σημείο Πρόσβασης (Access Point, AP). Τερματικοί σταθμοί αποκτούν πρόσβαση στο δίκτυο και σύνδεση με το AP μέσω των Προσαρμοστών Σταθμού (Station Adapters, SA), ενώ δύο ασύρματα δίκτυα 802.11 μπορούν να συνδεθούν χρησιμοποιώντας Ασύρματες Γέφυρες (Wireless Bridges, WB).

Αν και το δίκτυο μπορεί να αποτελείται μόνο από μια κυψέλη, στην περίπτωση πολλαπλών κυψελών, ο δικτυακός σκελετός που χρησιμοποιείται για την διασύνδεση των κυψελών μεταξύ τους, ασύρματος ή και ενσύρματος (π.χ. Ethernet), καλείται Σύστημα Κατανομής (Distribution System, DS).

Εάν το AP επικοινωνεί με ένα άλλο 802 δίκτυο (όπως το Ethernet) καλείται πύλη (portal). Ο συνδυασμός BSSs και DSs σχηματίζουν αυτό που ονομάζεται Σύστημα Εκτεταμένης Εξυπηρέτησης (Extended Service System, ESS). Παρότι το πρότυπο δεν το απαιτεί, το AP και η πύλη βρίσκονται φυσιολογικά στην ίδια υλική συσκευή.

Η ασφάλεια είναι εξαιρετικής σημασίας. Η επιτροπή του 802.11 καθόρισε τον όρο Προστασία Ισοδύναμη του ενσύρματος (Wired Equivalent Protection, WEP) για να επισημάνει ότι ένα WLAN οφείλει να είναι ασφαλές όπως και ένα LAN.

Δύο τύποι ασφάλειας έχουν μελετηθεί:

1. Περιορισμένη Πρόσβαση (Restricting Access). Η ιδέα είναι να εξασφαλίσει κάτι ισοδύναμο με το φυσικό κλειδί (Physical Key) στο LAN. Έχει οριστεί ότι η περιοχή πρόσβασης θα προστατεύεται με έναν παρόμοιο μηχανισμό.

2. Κρυφή παρακολούθηση (Eavesdropping). Κάθε μήνυμα είναι κρυπτογραφημένο με μια πρότυπη ψευδοτυχαία γεννήτρια αριθμών (Pseudo Random Number Generator, PRNG) βασισμένη στον αλγόριθμο RSA's RC4.

Γενικά λοιπόν μπορούμε να συνοψίσουμε τα χαρακτηριστικά του WLAN 802.11 στα παρακάτω:

Το πρότυπο IEEE 802.11 ορίζει ένα επίπεδο προσπέλασης μέσου (MAC Layer) συμβατό με τις υπόλοιπες τεχνολογίες 802 ώστε να είναι σε θέση να συνεργάζεται με αυτές.

Έχουν οριστεί τα εξής 3 πρότυπα φυσικού στρώματος: το **FHSS**, το **DSSS** και το **Infrared**. Μέχρι στιγμής το πρότυπο IEEE 802.11 λειτουργεί στη ζώνη των **2.4GHz** Ωστόσο στο μέλλον προβλέπεται η μετακίνησή του σε υψηλότερες ζώνες συχνοτήτων καθώς προορίζεται για ευρεία χρήση.

Στην ουσία το πρότυπο 802.11 παρέχει ευρεία, ασύγχρονη δικτύωση η οποία απαιτεί μια κατανεμημένη συνάρτηση ελέγχου. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων που υποστηρίζει το πρότυπο αυτό είναι 1 και 2Mbps. Ωστόσο, οι εταιρίες ασύρματων τοπικών δικτύων που χαρακτηρίζονται από εμπειρία και τεχνογνωσία στην επεξεργασία ραδιοσημάτων και ψηφιακών σημάτων, μπορούν να παράγουν προϊόντα που να υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης 3 Mbps και να είναι απολύτως συμβατά με το πρότυπο 802.11

### **5.11.8 LMDS (Local Multipoint Distribution Service)**

Τα συστήματα LMDS (Local Multipoint Distribution Systems) λειτουργούν σε πολύ υψηλές συχνότητες (24GHz, 27 GHz, 42GHz) και η ακτίνα κάλυψης είναι 5-6 km. Επομένως χρησιμοποιούνται σε κυψελωτές αρχιτεκτονικές για κάλυψη μικρών σχετικά γεωγραφικών περιοχών. Η διασύνδεση των κυψελών απαιτεί τη χρήση αναμεταδοτών (Repeaters) οι οποίοι θα πρέπει να βρίσκονται κάτω από συνθήκες πλήρους οπτικής επαφής (Line Of Sight). Η ικανότητα αυτών των συστημάτων να καλύπτουν ικανοποιητικά μικρές περιοχές, σε συνδυασμό με το προσφερόμενο μεγάλο εύρος ζώνης, τα καθιστά κατάλληλα για την διανομή αμφίδρομων υπηρεσιών πολυμέσων και αμφίδρομων τηλεοπτικών προγραμμάτων.

Από τεχνική άποψη, ένα σύστημα LMDS μπορεί να παρέχει υπηρεσίες με ρυθμούς της τάξης των 37,5Mbps, χρησιμοποιώντας τεχνικές πολυπλεξίας TDM/TDMA/FDD (Time Division Multiplexing/Time Division Multiple Access/ Frequency Division Duplex). Τα συστήματα αυτά έχουν την δυνατότητα διαβίβασης πακέτων IP (Internet

Protocol) και επομένως όλες τις υπηρεσίες και εφαρμογές που το IP επιτρέπει, καθώς και πρόσβαση στο Internet. Επίσης προσφέρουν συμμετρική επικοινωνία, δηλ., η μεγάλη ταχύτητα διασύνδεσης δεν επιτυγχάνεται μόνο για το κανάλι προώθησης (από τον πάροχο των υπηρεσιών προς τον χρήστη), αλλά και αντίστροφα.

Ως LMDS ορίζεται η ασύρματη τεχνολογία ευρείας ζώνης που χρησιμοποιείται για επίδοση φωνής, δεδομένων, διαδικτύου και υπηρεσιών βίντεο σε συχνότητα 25 GHz και άνω (ανάλογα με την χώρα της άδειας ανάπτυξης του).

### **5.11.9 GPRS (General Packet Radio Service)**

Η τεχνολογία GPRS είναι η πιο σημαντική τεχνολογία για να ακολουθήσει τα δίκτυα GSM από τη δημιουργία στις αρχές του 1990 των ασύρματων τεχνολογιών μεταφοράς ψηφιακής φωνής. Οι πάροχοι της τεχνολογίας GPRS βρίσκονται στη διαδικασία ανάπτυξης GPRS δικτύων αλλά περιμένουν μία σταθερή τροφοδοσία από εμπορικές ποιοτικές τηλεφωνικές συσκευές πριν από την ενεργή παροχή της υπηρεσίας.

Η τεχνολογία General Packet Radio Service (GPRS) είναι ένα σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση των τεχνολογιών 3ης γενιάς επιτρέποντας πακέτα δεδομένων να περνούν πάνω από τα σημερινά circuit-switched GSM δίκτυα. Αντίθετα με τις παραδοσιακές συνδέσεις που εκχωρούν μία θυρίδα χρόνου (time slot) σε κάθε χρήστη, το GPRS επιτρέπει στους χρήστες να μοιράζονται τις θυρίδες. Επίσης φέρνει τις ασύρματες επικοινωνίες ένα βήμα πιο κοντά στους πόρους του Internet αφού "σπάει" τα μηνύματα σε πακέτα, τα δρομολογεί από ανεξάρτητα κανάλια και τα ανασυνθέτει στην πλευρά του παραλήπτη.

Μία τεχνολογία για να είναι ελκυστική θα πρέπει να ταιριάζει και στον πάροχο και στους χρήστες. Το GPRS έχει μικρό κόστος για την ανάπτυξη του δικτύου αλλά ωστόσο παρέχει υψηλή προστιθέμενη αξία στους χρήστες. Ιδιαίτερα οι τελικοί χρήστες θα υψηλότερες ταχύτητες και always-on σύνδεση στο Internet. Οι πάροχοι θα μπορέσουν να χρησιμοποιήσουν τις υπάρχουσες υποδομές τους πιο αποδοτικά, ενώ θα παρέχουν μία τελείως καινούργια υπηρεσία στους χρήστες, που θα αυξήσει το μέσο όρο των εσόδων από κάθε χρήστη.

### 5.11.10 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

Η διαδικασία της εξέλιξης των κινητών επικοινωνιών περιλαμβάνει 3 στάδια εξέλιξης (γενιές - Generations). Στην πρώτη γενιά (1G) η εισαγωγή κυβελωτών συστημάτων στα τέλη του 1970 και στις αρχές του 1980 δημιούργησε ένα ξαφνικό άλμα στις κινητές επικοινωνίες. Τα συστήματα αυτά μπορούσαν να μεταφέρουν μόνο πληροφορία αναλογικής φωνής και τα πιο γνωστά συστήματα 1G είναι τα: Advanced Mobile Phone System (AMPS), Nordic Mobile Telephone (NMT) & Total Access Communication System (TACS).

Η ανάπτυξη κυβελοειδών συστημάτων 2ης γενιάς (2G) βασίστηκε στην ανάγκη βελτίωσης της ποιότητας μεταφοράς, της χωρητικότητας του συστήματος & της γεωγραφικής κάλυψης. Η μετάδοση φωνής εξακολουθεί να κυριαρχεί αλλά οι ανάγκες για fax, σύντομα μηνύματα και μεταφορές δεδομένων αναπτύσσονται ταχύτατα. Τα συστήματα 2ης γενιάς περιλαμβάνουν τα: GSM, Digital-AMPS (D-AMPS), Code Division Multiple Access (CDMA) & Personal Digital Communication (PDC). Το σύστημα GSM είναι το πιο επιτυχημένο πρότυπο (GSM900, GSM-Railway [GSM-R], GSM1800, GSM1900, GSM400).

Κατά τη μετάβαση από τη 2η γενιά στη 3η γενιά είχαμε την πρώτη φάση της προτυποποίησης του GSM900 από την ETSI το 1990 (9.6 Kbps). Τα πρότυπα GSM βελτιώθηκαν στη φάση 2 (1995). Το 1996 ο οργανισμός ETSI αποφάσισε να βελτιώσει περαιτέρω το GSM στη φάση 2+ και να συγχωνεύσει ικανότητες 3ης γενιάς (3G).

Οι εκδόσεις του GSM στη φάση 2+ περιλαμβάνουν σημαντικά χαρακτηριστικά όπως Intelligent Networks, CODEC, GPRS κα. Το Universal Mobile Telecommunications System είναι ένα επιτυχημένο πρότυπο 3G GSM που είναι συμβατό με το GSM.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων 3G (IMT-2000) είναι μία οικογένεια από πρότυπα με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο
- Χρησιμοποιούνται για κινητές εφαρμογές
- Υποστηρίζουν και μεταγωγή πακέτων και μεταγωγή κυκλώματος
- Προσφέρουν υψηλές ταχύτητες μέχρι 2 Mbps

– Προσφέρουν αποτελεσματική χρήση του φάσματος

Το UMTS αναπτύσσεται από την Third-Generation Partnership Project (3GPP), μία ομάδα με τη συμμετοχή εταιριών, οργανισμών και ερευνητικών ιδρυμάτων με παγκόσμια αποδοχή. Η 3GPP εισάγει το UMTS σε φάσεις και εκδόσεις. Η πρώτη έκδοση (UMTS rel. '99) εισήχθη τον Δεκέμβριο 1999. Η πιο σημαντική αλλαγή της δεύτερης έκδοσης (UMTS rel. '00) είναι το UMTS Terrestrial Access (UTRA), μία W-CDMA διεπαφή για land-based επικοινωνίες. Η UTRA υποστηρίζει Time Division Duplex (TDD) και Frequency Division Duplex (FDD). Και οι δύο τρόποι υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 2 Mbps.

### 5.11.11 Bluetooth

Η τεχνολογία Bluetooth είναι μία ασύρματη τεχνολογία που αναπτύσσεται από την εταιρία Ericsson μαζί με άλλους φορείς και δίνει τη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας σε μικρές αποστάσεις ανάμεσα σε τηλέφωνα, υπολογιστές και άλλες συσκευές.

Η τεχνολογία Bluetooth θα αντικαταστήσει πολλά από τα καλώδια που χρησιμοποιούνται στο σπίτι ή στο γραφείο για τη σύνδεση μηχανών όπως: τηλέφωνα, εκτυπωτές, PDA's, υπολογιστές, φορητούς υπολογιστές, fax, πληκτρολόγια και γενικά κάθε συσκευή που θα έχει το Bluetooth chip θα έχει τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας.

Πέρα από την αντικατάσταση των καλωδίων η τεχνολογία Bluetooth παρέχει μία πύλη (gateway) προς τα υπάρχοντα δίκτυα δεδομένων και ένα μηχανισμό για τον σχηματισμό ομάδων από συνδεδεμένες μηχανές χωρίς τη χρήση των σταθερών δικτυακών υποδομών.

Στο σπίτι θα μπορεί μία συσκευή Bluetooth να δουλεύει ως φορητή/σταθερή συσκευή με χρέωση όπως οι σταθερές συσκευές. Θα μπορεί επίσης να λειτουργεί έξω από το σπίτι σαν κινητή συσκευή (π.χ. κινητό τηλέφωνο) με ανάλογη χρέωση. Ενώ επίσης όταν θα βρίσκεται στην περιοχή μίας άλλης Bluetooth συσκευής θα μπορεί να υπάρχει επικοινωνία χωρίς χρέωση (walkie talkie).

Επίσης είναι δυνατή η σύνδεση με το Internet είτε ασύρματα είτε μέσω μίας σταθερής σύνδεσης οποιασδήποτε τεχνολογίας (PSTN, ISDN, LAN, xDSL). Σε κοντινές

αποστάσεις (π.χ. συναντήσεις συνεργασίας, συσκέψεις κλπ.) μπορούν να μεταφέρονται έγγραφα άμεσα χωρίς καλωδιωμένες συνδέσεις. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα αυτόματου συγχρονισμού διαφορετικών Bluetooth συσκευών (π.χ. αυτόματη ενημέρωση του σταθερού υπολογιστή από τον φορητό ή το αντίθετο).

### **5.11.12 Mobile IP**

Λόγω της αυξανόμενης δημοτικότητας των palm-top και άλλων mobile computers, το Mobile IP αναπτύχθηκε για να επιτρέπει στα εξαρτήματα & στους υπολογιστές που έχουν τη στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP να έχουν σύνδεση στο Internet, ενώ κινούνται από ένα σημείο επαφής στο Internet σε ένα άλλο. Αν και το Mobile IP μπορεί να δουλέψει με καλωδιωμένες συνδέσεις, όπου ένας υπολογιστής αποσυνδέεται από ένα φυσικό σημείο σύνδεσης και συνδέεται σε ένα άλλο, κυριότερα ταιριάζει σε ασύρματες επικοινωνίες.

Ο όρος “mobile” κάτω από αυτή τη λογική σημαίνει ότι ένας χρήστης μπορεί να είναι συνδεδεμένος και να χρησιμοποιεί μία ή περισσότερες εφαρμογές στο Internet, ενώ το σημείο σύνδεσης αλλάζει δυναμικά και επομένως όλες οι συνδέσεις διατηρούνται αυτόματα παρά την αλλαγή.

## **5.12 Δορυφορικές επικοινωνίες**

Ένας ακόμα τρόπος για την παροχή ασύρματης επικοινωνίας είναι οι γεωσύγχρονοι δορυφόροι. Η επικοινωνία ανάμεσα σε δύο μέρη στη γη μπορεί να γίνει με τη χρήση αυτών των δορυφόρων. Η μετάδοση φωνής από τέτοιους δορυφόρους γίνεται σπάνια ενώ η πιο κύρια χρησιμότητά τους είναι για τη μετάδοση δεδομένων. Για τη μετάδοση φωνής χρησιμοποιούνται τα Low Earth Orbit (LEO) δορυφορικά συστήματα. Πρόκειται για δορυφόρους που επικοινωνούν απ' ευθείας με τις κινητές συσκευές λόγω του μικρού τους ύψους (<900 χιλ.) από τη γη.

Το σύστημα αυτό είναι παρόμοιο με το κυψελοειδές με τη διαφορά ότι αυτό που κινείται είναι όλη η κυψελοειδής περιοχή. Η μεγάλη ταχύτητα περιστροφής (λόγω του μικρού ύψους) αναγκάζει πολλές φορές τις διάφορες κλήσεις να μεταβιβάζονται σε

άλλους δορυφόρους ώστε να διεκπεραιωθούν. Είναι επομένως αναγκαίος ένας μεγάλος αριθμός δορυφόρων που να εγγυάται την ομαλή μεταβίβαση των κλήσεων.

Οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται εκτεταμένα σε μία ποικιλία από εφαρμογές στην επικοινωνία εξαιτίας κάποιων πολύ γνωστών πλεονεκτημάτων:

- Internet
- Τηλεκπαίδευση, Τηλεδιάσκεψη, τηλεϊατρική
- Ευρυζωνικά δίκτυα δεδομένων
- Υπηρεσίες πανεκπομπής (multicast/broadcast).
- Υπηρεσίες φωνής
- Υπηρεσίες multimedia

Ο κάθε χρήστης με ένα κατάλληλο σταθμό μπορεί να απασχολήσει ένα δορυφόρο αρκεί να βρίσκεται μέσα στο ίχνος του. Μια σωστά σχεδιασμένη υπηρεσία εγκαθιστά ένα αποτελεσματικό 'ραδιοσύνδεσμο' ανάμεσα στον χρήστη και τον δορυφόρο. Ο χρήστης μπορεί να είναι στατικός (fixed), ή σε κίνηση (mobile). Απ' τη στιγμή που η ζεύξη θα κλείσει, η υπηρεσία θα είναι ικανοποιητική για τον προορισμένο σκοπό.

Η χρήση στην Ελλάδα της τεχνολογίας VSAT είναι σήμερα περιορισμένη λόγω του υψηλού κόστους των τερματικών συσκευών. Είναι όμως πιθανό η τεχνολογία VSAT να αναπτυχθεί στον ελλαδικό χώρο και ιδιαίτερα στον νησιωτικό λόγω της δυσκολίας στην ανάπτυξη επίγειας υποδομής.

Η χρησιμοποίηση όμως από επιχειρήσεις της τεχνολογίας VSAT θα ήταν δυνατή ιδιαίτερα σε συγκεκριμένους κατοχυρωμένους τομείς όπως ο τουρισμός και οι αλυσίδες ξενοδοχείων για τη δημιουργία VPNs αλλά και ευρύτερα για την διασύνδεση επιχειρήσεων στον βαλκανικό χώρο όπου οι επίγειες υποδομές αποθαρρύνονται λόγω των μεγάλων επενδύσεων που απαιτούνται και της χρονοβόρας υλοποίησής..

### **5.13 Τεχνολογία Internet – Οικογένεια Πρωτοκόλλων TCP/IP**

Παρότι το υπόδειγμα ISO/OSI είναι ένα πιστοποιημένο πρότυπο (de yare) από τον οργανισμό ISO, στην πράξη δεν χρησιμοποιήθηκε εκτεταμένα από την βιομηχανία



υπολογιστών και επικοινωνιών. Ο βασικός λόγος είναι πως η υλοποίηση των πρωτοκόλλων του μοντέλου OSI απαιτεί υψηλή υπολογιστική δύναμη του συστήματος και η εμπορική υλοποίηση του παραπάνω προτύπου για μικροϋπολογιστές υπήρξε πολύ κοστοβόρα σε όρους χώρων αποθήκευσης, χρόνου εκτέλεσης και γενικά υπολογιστικής ισχύος.

Με την έλευση του Internet η παγκόσμια βιομηχανία τηλεπικοινωνιών υιοθέτησε αρχικά, εισήγαγε και χρησιμοποίησε στην πράξη (de facto) μια εναλλακτική αρχιτεκτονική προσέγγιση για τη διασύνδεση ανοικτών συστημάτων βασισμένη σε τέσσερα επίπεδα διασύνδεσης αντί για τα επτά επίπεδα του OSI.

Η αρχιτεκτονική αυτή προσέγγιση των τεσσάρων επιπέδων περιλαμβάνει ένα σύνολο πρωτοκόλλων γνωστό ως οικογένεια πρωτοκόλλων TCP/IP (TCP/IP suite) και έχει λάβει την ονομασία της από τα δύο πιο σημαντικά ίσως πρωτόκολλα της οικογένειας' τα πρωτόκολλα TCP (Transmission Control Protocol) του επιπέδου μεταφοράς και IP (Internet Protocol) του επιπέδου τρία (επίπεδο δικτύου).

Επίπεδο Εφαρμογών (Application Layer)
Επίπεδο Μεταφοράς (Transport Layer)
Επίπεδο Δικτύου (Network Layer)
Κατώτερα Επίπεδα

Σχήμα 5.18: Επίπεδα αρχιτεκτονικής TCP/IP

Το μοντέλο TCP/IP καθιερώνει τέσσερα επίπεδα διασύνδεσης. Η λειτουργία των πρωτοκόλλων των τεσσάρων επιπέδων είναι παρόμοια με την λειτουργία των πρωτοκόλλων του μοντέλου OSI, η υλοποίηση όμως είναι διαφορετική.

DNS, TELNET, FTP, SMTP, POP, IMAP, SNMP, SSL, HTTP	
UDP (User Datagram Protocol) TCP (Transmission Control Protocol)	
ARP/RARP Πρωτόκολλα πυλών	IP (Internet Protocol)
Κατώτερα Επίπεδα	

Σχήμα 5.17: Πρωτόκολλα TCP/IP

Τα κατώτερα επίπεδα περιλαμβάνουν τα επίπεδα DLC και φυσικό επίπεδο του μοντέλου OSI και οι προδιαγραφές τους δεν ορίζονται από το μοντέλο TCP/IP. Στο επίπεδο αυτό περιλαμβάνονται όλες οι τεχνολογίες διασύνδεσης των επιπέδων ένα και δύο, όπως τεχνολογίες τοπικών δικτύων (Ethernet, IEEE 802.x, κλπ), PPP (Point to Point Protocol), SLIP, FDDI, ATM, SDH, SONET, DWDM, Gigabit Ethernet, Wi-Fi, IEEE 802.11, Satellite, UMTS, κλπ.

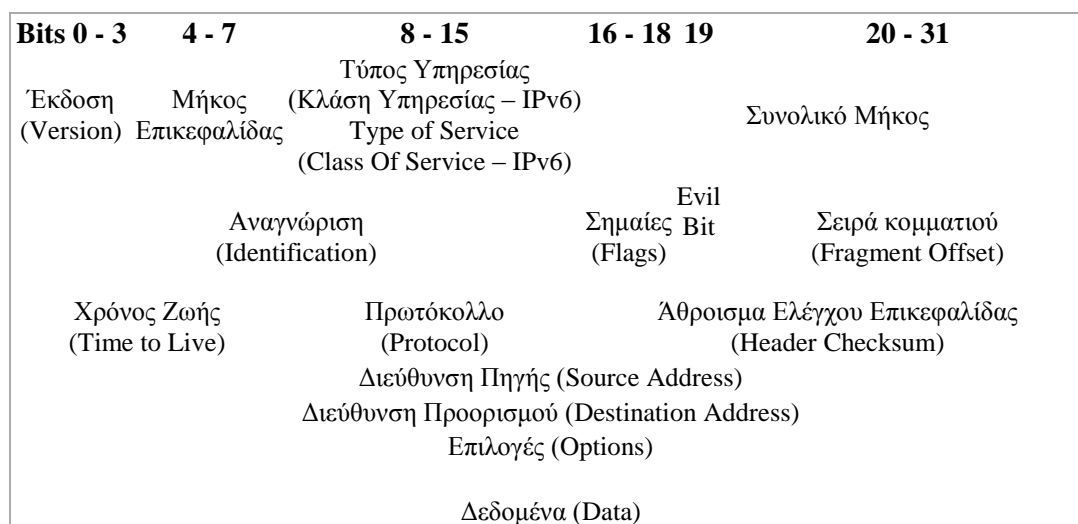
Το επίπεδο δικτύου περιλαμβάνει το κύριο πρωτόκολλο δρομολόγησης IP (IPv4, IPv6) καθώς και συνοδευτικά πρωτόκολλα όπως τα ICMP (Internet Control Messaging Protocol), ARP (Address Resolution Protocol) , RARP (Reverse Address Resolution Protocol), και τα πρωτόκολλα πυλών (gateway protocols) BGP, IGMP, OSF.

Το επίπεδο μεταφοράς περιλαμβάνει δύο κύρια πρωτόκολλα μεταφοράς, τα UDP (User Datagram Protocol) και TCP (Transmission Control Protocol).

Το επίπεδο εφαρμογής περιλαμβάνει όλες τις γνωστές εφαρμογές του Internet όπως DNS (Domain Name Server), FTP(File Transfer Protocol), SMTP (Simple Mail Transfer Protocol), POP (Post Office Protocol), IMAP (), TELNET(), SNMP(Simple Network Management Protocol), SSL (Secure Socket Layer), HTTP (Hypertext Transfer Protocol), κλπ..

### 5.13.1 Πρωτόκολλο IP και δρομολόγηση

Στο επίπεδο δικτύου η βασική δομή πληροφορίας που χρησιμοποιείται είναι το IP Datagram ή πακέτο IP (IP packet). Το κάθε πακέτο IP έχει μέγιστο μέγεθος 64KB και αποτελείται από μία επικεφαλίδα (IP header) που περιέχει πληροφορίες δρομολόγησης και διαχείρισης του επιπέδου δικτύου και μια περιοχή δεδομένων.



Σχήμα 5.19: Δομή Πακέτου IP

Κατά τη διαδικασία της δρομολόγησης των πακέτων IP, η κύρια διαδικασία είναι η εύρεση διαδρομών από τον αποστολέα προς τον παραλήπτη κάθε IP πακέτου. Η κύρια διαχειριστική πληροφορία που πρέπει να περιέχει κάθε πακέτο κατά τη διαδικασία της δρομολόγησης είναι οι IP διευθύνσεις (IP address) αποστολής και προορισμού.

Γενικά, διεύθυνση σε ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο είναι μία ταυτότητα (συνήθως αριθμός), μοναδική για κάθε συσκευή, με την οποία είναι “γνωστή” στο δίκτυο. Βασική λειτουργία των διευθύνσεων είναι η δυνατότητα ταυτοποίησης και αναγνώρισης των πόρων του δικτύου με μοναδικό τρόπο.

Για παράδειγμα, στο τηλεφωνικό δίκτυο κάθε συσκευή έχει ένα μοναδικό αριθμό τηλεφώνου με τον οποίο ταυτοποιείται. Οι αρχιτεκτονικές διευθυνσιοδότησης στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα δεν ακολουθούν έναν επίπεδο (flat) μηχανισμό αριθμοδότησης.

Συνήθως, ακολουθούνται ιεραρχικά σχήματα αριθμοδότησης που περιέχουν και πληροφορίες δρομολόγησης. Για παράδειγμα, ένας τηλεπικοινωνιακός οργανισμός δεν ξεκινά να δίνει αριθμούς από το ένα μέχρι τον αριθμό που αντιστοιχεί στο πλήθος των συνδρομητών του, γιατί τότε για να δρομολογηθεί μία κλήση προς έναν συνδρομητή θα έπρεπε να ελέγχεται μία βάση δεδομένων εκατομμυρίων συνδρομητών.

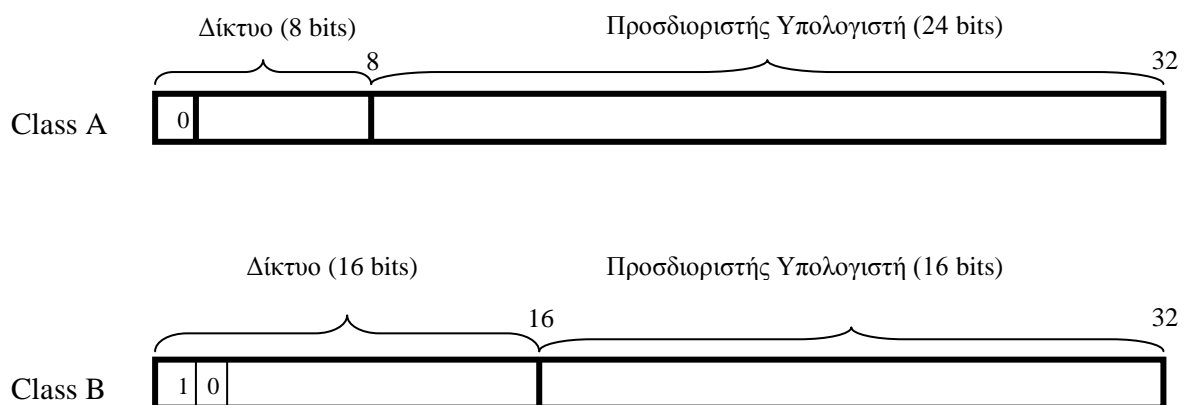
Αντίθετα, κάθε αριθμός αποτελείται από δύο βασικά μέρη, το μέρος του δικτύου και το μέρος του συνδρομητή, ακολουθώντας την βασική ιεραρχική δομή (δίκτυο κορμού-δίκτυο πρόσβασης) που αναφέραμε στην αρχή.

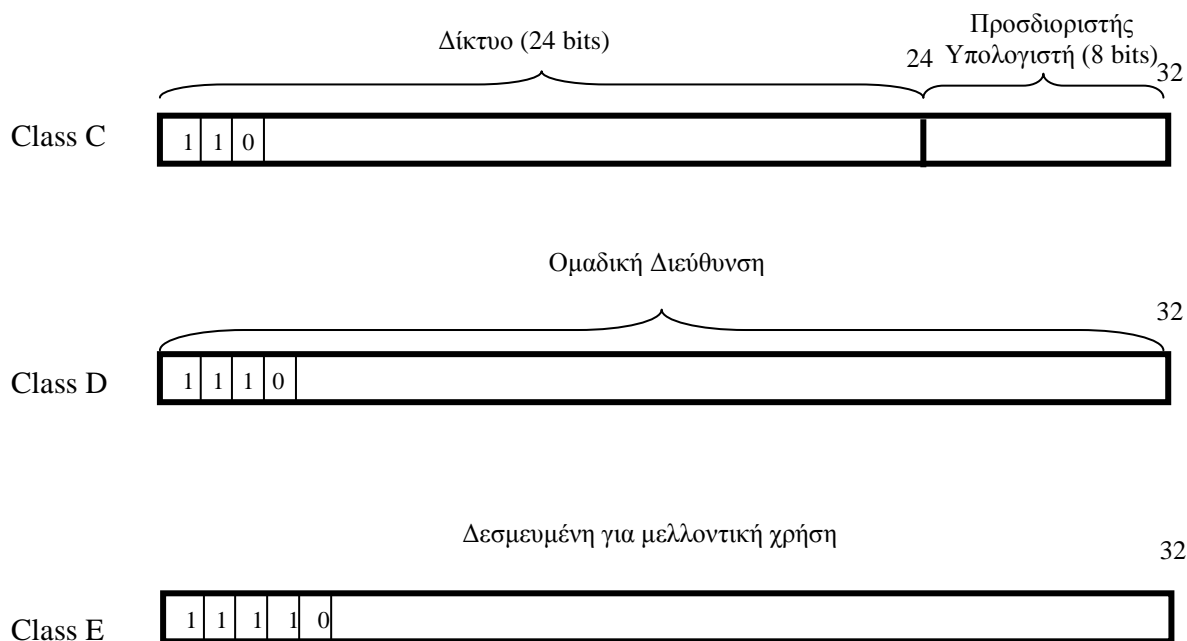
Για παράδειγμα, ο αριθμός 210-xxxxxx είναι ένας δεκαψηφιος αριθμός όπου το 210 είναι το μέρος του δικτύου κορμού (υπεραστικού δικτύου) που αντιστοιχεί στην Αθήνα, ενώ το υπόλοιπο μέρος εξακολουθητικά χωρίζεται περαιτέρω σε μέρη που προσδιορίζουν τον δήμο (2-ψηφία), τη συνοικία (2-ψηφία) και τελικά τον τελικό συνδρομητή (3-ψηφία).

Έτσι, η διαδικασία της δρομολόγησης απλοποιείται και κατανέμεται (distributed) γιατί σε κάθε βήμα (κάθε κόμβο του δικτύου) ελέγχεται μόνο ένα πρόθεμα και όχι το σύνολο του αριθμού.

Κατ' αναλογία οι IP διευθύνσεις είναι διευθύνσεις τεσσάρων (4) bytes (32-bit) που αποτελούνται από δύο μέρη: τον προσδιοριστή του δικτύου και τον προσδιοριστή του υπολογιστή.

Διακρίνουμε πέντε κατηγορίες (κλάσεις) IP διευθύνσεων, ανάλογα με το πόσα bits καταχωρούνται στο κομμάτι του προσδιοριστή δικτύου και πόσα στο κομμάτι προσδιοριστή του υπολογιστή:





Κάθε IP διεύθυνση αποτελείται από τέσσερα bytes και συνεπώς παριστάνεται σε μορφή τεσσάρων αριθμών διαχωριζομένων με τελεία, που ο κάθε αριθμός μπορεί να λάβει τιμές από 0 έως 255, όσο δηλαδή και η αρίθμηση του κάθε byte.

Σε κάθε κλάση από τις πέντε παραπάνω κλάσεις IP τα πέντε πρώτα bits είναι δεσμευμένα για κάθε κλάση, έτσι ώστε με μια πρώτη ματιά στον αριθμό του πρώτου byte της διεύθυνσης να μπορούμε να διαχωρίζουμε ανάμεσα στις κλάσεις.

Έτσι στην κλάση A το πρώτο bit είναι πάντα μηδέν (0) με αποτέλεσμα το εύρος των IP διευθύνσεων του πρώτου byte στην κλάση A να είναι από **0** έως **127**. Δηλαδή μια έγκυρη διεύθυνση κλάσης A είναι η 60.12.134.23

Στην κλάση B τα δύο πρώτα bits είναι πάντα ένα (1) και μηδέν (0) με αποτέλεσμα το εύρος των IP διευθύνσεων του πρώτου byte στην κλάση A να είναι από **128** έως **191**. Δηλαδή μια έγκυρη διεύθυνση κλάσης B είναι η 147.71.12.5

Στην κλάση C το τρία πρώτα bits είναι πάντα ένα (1), ένα (1) και μηδέν (0) με αποτέλεσμα το εύρος των IP διευθύνσεων του πρώτου byte στην κλάση C να είναι από **192** έως **223**. Δηλαδή μια έγκυρη διεύθυνση κλάσης A είναι η 195.251.248.120

Η κλάση D λαμβάνει τιμές από **224 έως 239** και η κλάση E από **240 έως 247**.

Στις διευθύνσεις class A παρατηρούμε ότι στο κομμάτι του υπολογιστή μπορούμε να έχουμε  $2^{32}$  διευθύνσεις υπολογιστών, στις class B διευθύνσεις μπορούμε να έχουμε  $2^{32}$  υπολογιστές, και στις class C 256 υπολογιστές.

Εξακολουθητικά, το κομμάτι του υπολογιστή μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε υποδίκτυα από τον σχεδιαστή του δικτύου. Αν για παράδειγμα θέλαμε μία class C διεύθυνση (π.χ. την 195.251.255.0) να την χωρίσουμε σε τέσσερα υποδίκτυα, τότε θα πρέπει στο κομμάτι του υπολογιστή που έχει 8 bits να δεσμεύσουμε τα 2 πρώτα bits για τα υποδίκτυα και τα υπόλοιπα έξι (6) να μείνουν για τον προσδιορισμό του υπολογιστή ( $2^2=4$  υποδίκτυα, τα 00xxxxxx, 01xxxxxx, 10xxxxxx, 11xxxxxx με  $2^6=64$  υπολογιστές το καθένα). Τα τέσσερα υποδίκτυα τότε θα είχαν διευθύνσεις 195.251.255.0, 195.251.255.64, 195.251.255.128 και 195.251.255.192.

Κάθε υπολογιστής δικτύου όταν ξεκινάει, φορτώνει στη μνήμη του την IP διεύθυνσή του. Πως όμως μπορεί να γνωρίζει τις διευθύνσεις δικτύου του, σε ποια δίκτυα δηλαδή ανήκει<sup>4</sup>;

Ο διαχωρισμός της διεύθυνσης δικτύου από την διεύθυνση υπολογιστή γίνεται με τη χρήση μιας διεύθυνσης 32-bits, γνωστής ως μάσκα δικτύου (network mask) στην οποία όλα τα bits που αντιστοιχούν στη διεύθυνση δικτύου τίθεται ένα (1) και τα bits του υπολογιστή μηδέν (0).

Ο κάθε υπολογιστής φορτώνει μαζί με την IP διεύθυνση και την μάσκα του και στη συνέχεια με μία απλή πράξη λογικού ΚΑΙ (AND) μεταξύ της διεύθυνσης και της μάσκας μπορεί να βρει την διεύθυνση δικτύου του.

Για παράδειγμα μία class A διεύθυνση έχει μάσκα 255.0.0.0, μία class B διεύθυνση έχει μάσκα 255.255.0.0, και οι class A διευθύνσεις έχουν μάσκα 255.255.255.0.

Οι διευθύνσεις που έχουν όλα τα bits στον προσδιοριστή του υπολογιστή μηδέν συμβολίζουν διευθύνσεις δικτύου, ενώ αν έχουν όλα τα bits του υπολογιστή ένα συμβολίζουν ομαδικές διευθύνσεις (broadcast) του συγκεκριμένου δικτύου. Οι

---

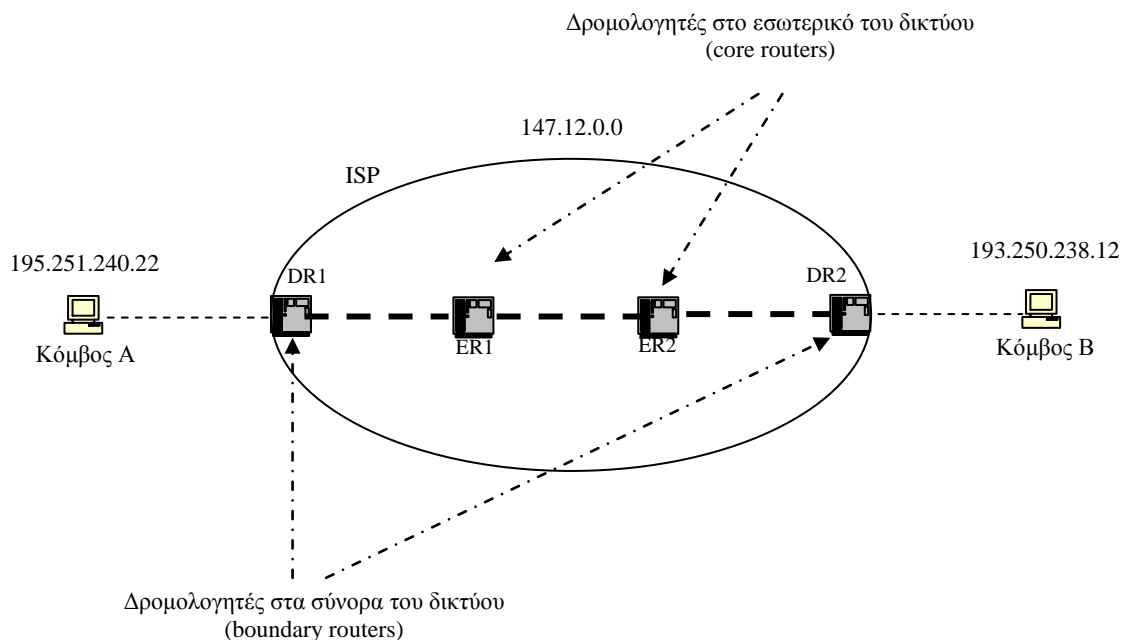
<sup>4</sup> Κάθε υπολογιστής μπορεί να ανήκει σε περισσότερα από ένα δίκτυα και επομένως να έχει περισσότερες από μία IP διευθύνσεις

διευθύνσεις δικτύου 128.0.0.0, ονομάζονται loopback και δεν αποτελούν έγκυρες διευθύνσεις δικτύου αλλά χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της διεπαφής του δικτύου.

Επίσης, οι διευθύνσεις IP μπορούν να είναι στατικές (static IP) δηλαδή να έχουν εκχωρηθεί μόνιμα σε ένα υπολογιστή από τον διαχειριστή του δικτύου ή δυναμικές (dynamic IP) δηλαδή να αλλάζουν κάθε φορά που ο υπολογιστής συνδέεται στο δίκτυο μέσω ενός παρόχου υπηρεσιών διασύνδεσης.

Οι IP διευθύνσεις, όπως έχουμε αναφέρει, παίζουν πρωταρχικό ρόλο στη λειτουργία της δρομολόγησης.

Θεωρούμε το μοντέλο δικτύου του σχήματος 5.19. Αποτελείται από ένα δύο τελικούς κόμβους, και ένα δίκτυο δρομολογητών που παρέχεται από ένα παροχέα υπηρεσιών διασύνδεσης (Internet Service Providers – ISP). Οι κόμβοι A και B μπορούν να συνδέονται με τον πάροχο υπηρεσιών Internet είτε μέσω ενός σταθερού δικτύου δεδομένων, είτε μέσω του τηλεφωνικού δικτύου (dial-up) με χρήση modem (PSTN, ISDN, ADSL).



Σχήμα 5.20: Δρομολόγηση IP

Ο κόμβος A έχει διεύθυνση 195.251.240.22 και μάσκα 255.255.255.0 και ως προεπιλεγμένο δρομολογητή (default gateway) τον δρομολογητή DR1.

Ο δρομολογητής DR1 έχει δύο διεπαφές δικτύου (ανήκει σε δύο δίκτυα) την διεύθυνση 195.251.240.21 με την οποία συνδέεται με τον κόμβο A και την διεύθυνση 147.12.255.2 με την οποία συνδέεται στο δίκτυο του παρόχου, το οποίο έχει διεύθυνση δικτύου 147.12.0.0.

Ο δρομολογητής DR2 έχει επίσης δύο διεπαφές: την 193.250.238.11 με την οποία συνδέεται με το δίκτυο του κόμβου B και την 147.12.255.5 με την οποία συνδέεται με τον ISP.

Ο κόμβος B έχει διεύθυνση 193.250.238.12, μάσκα 255.255.255.0 και προεπιλεγμένο δρομολογητή τον DR2.

Τέλος, υπάρχουν και δύο ενδιάμεσοι δρομολογητές, οι ER1 και ER2 που βρίσκονται στο εσωτερικό του δικτύου κορμού.

Έστω ότι ο κόμβος A θέλει να στείλει ένα πακέτο στον κόμβο B. Αφού δημιουργήσει το πακέτο το αποστέλλει στον δρομολογητή με τον οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένος (default router ή default gateway). Ο δρομολογητής στη συνέχεια με βάση τη διεύθυνση προορισμού του πακέτου και τον πίνακα δρομολόγησης αποστέλλει το πακέτο στον επόμενο δρομολογητή, ο οποίος πάλι με τον ίδιο τρόπο αποστέλλει το πακέτο περαιτέρω στον επόμενο δρομολογητή μέχρι να φτάσει στον δρομολογητή που είναι άμεσα συνδεδεμένος με τον κόμβο B. Τότε ο τελικός δρομολογητής αποστέλλει το πακέτο άμεσα στον κόμβο B.

Ο πίνακας δρομολόγησης περιλαμβάνει γραμμές (entries) που αποτελούνται από τουλάχιστον δύο πεδία: Δίκτυο Προορισμού, Δρομολογητής Εξόδου.

Ο κάθε δρομολογητής όταν λαμβάνει ένα πακέτο εισόδου, πρώτα εξάγει τη διεύθυνση δικτύου προορισμού του πακέτου (με χρήση μάσκας ανάλογα με την κλάση) και στη συνέχεια αν ο δρομολογητής είναι άμεσα συνδεδεμένος με τον κόμβο προορισμού, το πακέτο προωθείται άμεσα. Αλλιώς αν η διεύθυνση δικτύου του πακέτου βρίσκεται στον πίνακα δρομολόγησης (στο πεδίο Δίκτυο Προορισμού) τότε το πακέτο αποστέλλεται προς τον αντίστοιχο δρομολογητή εξόδου (στο πεδίο Δρομολογητής Εξόδου) που βρίσκεται στην ίδια γραμμή του πίνακα δρομολόγησης. Επειδή, ένας πίνακας δρομολόγησης δεν μπορεί να περιέχει εγγραφές για όλα τα δίκτυα, πάντα (πρέπει



να) υπάρχει μία εγγραφή προς έναν προεπιλεγμένο επόμενο δρομολογητή (default router) προς τον οποίο δρομολογούνται τα πακέτα των οποίων η διεύθυνση δικτύου δεν υπάρχει στον πίνακα δρομολόγησης.

Την ίδια διαδικασία ακολουθούν και οι δρομολογητές DR1, ER1, ER2, DR2 για τα δικά τους δίκτυα.

Πιο αναλυτικά η διαδικασία είναι η παρακάτω:

1. Ο κόμβος A δημιουργεί ένα πακέτο datagram με διεύθυνση προορισμού 193.250.238.12 (κόμβος B).
2. Ο κόμβος A γνωρίζει τον προεπιλεγμένο δρομολογητή του (DR1) και του στέλνει το πακέτο datagram
3. Ο DR1 με βάση την διεύθυνση προορισμού (class C) εξάγει την διεύθυνση δικτύου του κόμβου B, που είναι 193.250.238.0 και επιτελεί την λειτουργία της δρομολόγησης:
  - Αν το πακέτο ανήκει στα δικά του δίκτυα τότε το δρομολογεί άμεσα.
  - Αν δεν ανήκει, συμβουλευεται τον πίνακα δρομολόγηση του, που περιλαμβάνει έστω μία μόνο εγγραφή:

<b>ΠΡΟΣ ΚΟΜΒΟΥΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ</b>	<b>ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΤΗΣ ΕΞΟΔΟΥ</b>
DEFAULT ROUTE	ER1

- Αν η διεύθυνση προορισμού βρίσκεται στον πίνακα δρομολόγησης, το πακέτο αποστέλλεται προς τον δρομολογητή που ορίζεται
  - Αν δεν υπάρχει η διεύθυνση προορισμού στον πίνακα δρομολόγησης, τότε ακολουθείται η προκαθορισμένη διαδρομή (DEFAULT ROUTE) προς τον επόμενο δρομολογητή ή επόμενο βήμα (next hop).
4. Ο DR1 αποστέλλει το πακέτο στον ER1, ο οποίος επιτελεί την ίδια λειτουργία, όπως και ο DR1 στο βήμα (3). Ο ER1 έχει ως προκαθορισμένο επόμενο βήμα τον δρομολογητή ER2 και του αποστέλλει το πακέτο

5. Ο ER2 λαμβάνει το πακέτο και το δρομολογεί με την ίδια λειτουργία προς τον δικό του προκαθορισμένο δρομολογητή, τον DR2
6. Ο DR2 ελέγχει τη διεύθυνση προορισμού του πακέτου και διαπιστώνει με βάση τον πίνακα δρομολόγησης, ότι ανήκει σε ένα δικό του δίκτυο, το 193.250.238.12 και αποστέλλει το πακέτο άμεσα προς τον κόμβο B.
7. Ο κόμβος B ελέγχει την διεύθυνση προορισμού του πακέτου που λαμβάνει και αν είναι ίδια με τη δική του κρατάει το πακέτο, αλλιώς το απορρίπτει.

Οι διευθύνσεις IP είναι διευθύνσεις λογικές, ενώ οι διευθύνσεις του επιπέδου DLC είναι διευθύνσεις φυσικές. Σε κάθε βήμα της δρομολόγησης οι IP διευθύνσεις του επόμενου βήματος πρέπει να αντιστοιχίζονται σε φυσικές διευθύνσεις. Η αντιστοίχιση IP διευθύνσεων σε φυσικές διευθύνσεις είναι έργο του πρωτοκόλλου ARP και θα εξεταστεί στα παρακάτω.

Επίσης, η συμπλήρωση και διαχείριση του πίνακα δρομολόγησης είναι έργο των πρωτοκόλλων πύλης, όπως τα BGP, OSPF, κλπ.

Το IPv6 (ή IPng) είναι μία νέα έκδοση του πρωτοκόλλου IP η οποία σχεδιάστηκε ως εξέλιξη του βασικού πρωτοκόλλου των διαδικτύων IPv4. Η παρουσίαση του έγινε από την IETF ( Internet Engineering Task Force ) το 1994 και περιγράφεται αναλυτικά σε μια σειρά από RFCs.

Οι σημαντικές αλλαγές του IPv6 ως προς το IPv4 είναι:

- Αύξηση του μεγέθους της διεύθυνσης IP από 32 bit σε 128 bit.
- Αυτόματη ανάθεση διεύθυνσης.
- Υποστήριξη πολλαπλών επιπέδων ιεραρχίας στις IP διευθύνσεις.
- Δυνατότητα ελέγχου, από κάθε κόμβο, της διαδρομής των πακέτων.
- Ενδοκτισμένη υποστήριξη ασφάλειας.
- Multicasting.
- Υποστήριξη ποιότητας εξυπηρέτησης.

### 5.13.2 Πρωτόκολλα ICMP

Το ICMP (Internet Control Message Protocol – RFC 792) αποτελεί τον βασικό μηχανισμό ανταπόκρισης σε λάθη των πακέτων IP, διαγνωστικών μηνυμάτων αλλά και συγκεκριμένων τρόπων δρομολόγησης. Τα μηνύματα ICMP ενθυλακώνονται ως δεδομένα σε IP πακέτα με νέα IP επικεφαλίδα.

Για παράδειγμα, τα ICMP μηνύματα ECHO REQUEST και ECHO REPLY, χρησιμοποιούνται από την γνωστή εντολή ping για να διαπιστωθεί αν ένας κόμβος είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο ή όχι.

Επίσης, κάθε φορά που ένας δρομολογητής προωθεί ένα IP πακέτο στον επόμενο δρομολογητή το πεδίο TTL (Time To Live) του IP datagram μειώνεται κατά ένα. Το μήνυμα TIME EXCEEDED επιστρέφεται προς τον κόμβο-πηγή όταν το πεδίο TTL του IP datagram είναι μηδέν.

Επίσης, το μήνυμα DESTINATION UNREACHABLE που χρησιμοποιείται από την γνωστή εντολή traceroute (π.χ. tracert 147.20.134.125) αποστέλλεται προς τον κόμβο-πηγή όταν δεν μπορεί το IP πακέτο να φθάσει στον προορισμό του.

### 5.13.3 Πρωτόκολλα ARP, RARP

Το πρωτόκολλο ARP χρησιμοποιείται για την αντιστοίχιση IP διευθύνσεων σε διευθύνσεις του επιπέδου MAC (Medium Access Control) των τοπικών δικτύων. Κατά τη διαδικασία της άμεσης αποστολής ενός IP πακέτου από τον τελικό δρομολογητή στον κόμβο προορισμού η φυσική παράδοση του πακέτου γίνεται με την φυσική του MAC διεύθυνση, που είναι μία μοναδική 48-bit διεύθυνση στην κάρτα δικτύου ενός κόμβου. Η αντιστοίχιση της IP διεύθυνσης με την φυσική διεύθυνση γίνεται με το πρωτόκολλο ARP το οποίο αν δεν γνωρίζει ήδη την αντιστοίχιση στέλνει ένα μήνυμα προς όλους τους κόμβους του τοπικού δικτύου (broadcast) με την IP διεύθυνση της οποίας αναζητά την διεύθυνση MAC και ο κόμβος που αναγνωρίζει την IP διεύθυνσή του απαντά αποστέλλοντας την φυσική του διεύθυνση, η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παράδοση του πακέτου.

Το πρωτόκολλο RARP επιτελεί την αντίθετη λειτουργία, δηλαδή αντιστοιχεί φυσικές διευθύνσεις σε διευθύνσεις IP. Για παράδειγμα κατά τη λειτουργία εκχώρησης τυχαίων δυναμικών IP διευθύνσεων κατά τη διαδικασία εκκίνησης, ένας κόμβος στέλνει τη φυσική του διεύθυνση με ένα μήνυμα πανεκπομπής στο δίκτυο. Ο εξυπηρετητής RARP αντιλαμβάνεται το μήνυμα και αποστέλλει στον κόμβο μία IP διεύθυνση για να χρησιμοποιεί. Το πρωτόκολλο DHCP έχει σε πολλές περιπτώσεις αντικαταστήσει το RARP.

#### 5.13.4 Αυτόνομα Συστήματα και Πρωτόκολλα Πύλης

Τα πιο γνωστά πρωτόκολλα πύλης (Gateway Protocols) είναι τα RIP, OSPF, IS-IS, και BGP.

Στο Internet, ένα Αυτόνομο Σύστημα (Autonomous System – AS) είναι ένα δίκτυο ή μια συλλογή από δίκτυα που αντιπροσωπεύονται από μία κοινή διαχειριστική αρχή (π.χ. ένα πανεπιστήμιο, το δίκτυο ενός παρόχου, κλπ.). Κάθε αυτόνομο σύστημα ταυτοποιείται με μία μοναδική ταυτότητα-αριθμό (Autonomous System Number (ASN)). Τα εσωτερικά δίκτυα ενός αυτόνομου συστήματος ανταλλάσσουν πληροφορίες δρομολόγησης χρησιμοποιώντας εσωτερικά πρωτόκολλα πύλης (Interior Gateway Protocol (IGP), όπως το RIP και κυρίως τα OSPF και IS-IS, που χρησιμοποιούν αλγόριθμους εύρεσης βραχύτερων μονοπατιών (Bellman-Ford ή Dijkstra) για να προσδιορίσουν τις κοντινότερες διαδρομές αποστολής πακέτων.

Τα αυτόνομα συστήματα ανταλλάσσουν πληροφορίες δρομολόγησης με άλλα αυτόνομα συστήματα χρησιμοποιώντας εξωτερικά πρωτόκολλα πύλης όπως το BGP (Border Gateway Protocol), που αντικατέστησε το γνωστό EGP (Exterior Gateway Protocol). Το BGP χρησιμοποιεί παραλλαγές των αλγορίθμων απόστασης μιας και η δρομολόγηση ανάμεσα σε διαφορετικά αυτόνομα συστήματα δεν έχει ως βασικό κριτήριο την κοντινότερη απόσταση. Το βασικό κριτήριο είναι η μείωση των πινάκων δρομολόγησης με χρήση συλλογών δικτύων (supernetting) που να μπορούν να αντιπροσωπεύονται με μία μόνο εγγραφή στον πίνακα δρομολόγησης και κυρίως η αποφυγή κύκλων κατά τη δρομολόγηση.

### 5.13.5 Πρωτόκολλο UDP

Το πρωτόκολλο UDP (User Datagram Protocol) είναι μαζί με το TCP (Transmission Control Protocol) τα δύο βασικά πρωτόκολλα του επιπέδου μεταφοράς.

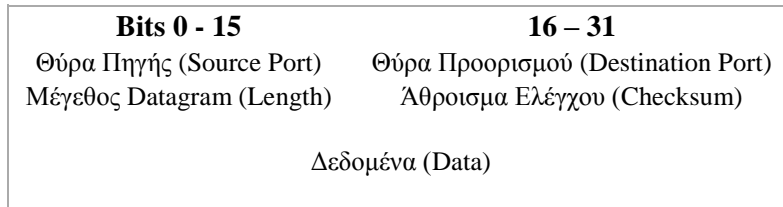
Στα παραδοσιακά IP δίκτυα ο χώρος στην ουρά των δρομολογητών (buffers) και η χωρητικότητα της σύνδεσης (bandwidth) τυπικά δεν δεσμεύονται για συνδέσεις αλλά διαμοιράζονται σε μία βάση ζήτησης. Ο δίχως περιορισμό διαμοιρασμός κάνει εξαιρετικά δύσκολο για το δίκτυο να προσφέρει εγγυημένη και αξιόπιστη ποιότητα μεταφοράς σε μια συγκεκριμένη σύνδεση, από τη στιγμή που μία πιο εκρηκτική (bursty) σύνδεση μπορεί να μονοπωλεί τους δικτυακούς πόρους με ζημία για τις υπόλοιπες συνδέσεις. Στις μη προσανατολισμένες σε σύνδεση (connectionless) υπηρεσίες μεταφοράς, όπως του UDP, τα πακέτα δρομολογούνται ανεξάρτητα μέσα στο δίκτυο και φτάνουν στον προορισμό τους εκτός σειράς. Η ποιότητα που λαμβάνει κάθε ανεξάρτητο πακέτο εξαρτάται από τη διαδρομή του καθώς και τη συμφόρηση (congestion) των ενδιάμεσων κόμβων. Στα δίκτυα που είναι προσανατολισμένα σε σύνδεση, όπως το TCP, όλα τα πακέτα που σχετίζονται με μία συγκεκριμένη πηγή και προορισμό, ακολουθούν το ίδιο μονοπάτι μέσα στο δίκτυο, κάνοντας έτσι την υπηρεσία μεταφοράς πιο αξιόπιστη.

Το πρωτόκολλο UDP επικοινωνεί με τις ομότιμες οντότητες των άλλων κόμβων με την αποστολή μικρών μηνυμάτων, γνωστών ως datagrams. Η υπηρεσία μεταφοράς του UDP δεν παρέχει εγγύηση παράδοσης των μηνυμάτων αλλά βασίζεται στην πολιτική της καλύτερη προσπάθειας (best effort) γιατί η παράδοση των μηνυμάτων εξαρτάται από τις συνθήκες συμφόρησης του δικτύου και επομένως είναι αναξιόπιστη. Ωστόσο αποτελεί ένα γρήγορο και αποτελεσματικό μηχανισμό για τη μεταφορά πακέτων κυρίως σε εφαρμογές πελάτη-εξυπηρετητή που εξυπηρετούν εκατομμύρια αιτήσεις και δεν χρειάζεται να γνωρίζουν την κατάσταση (state) κάθε σύνδεσης. Για αυτό το 90% περίπου της κίνησης στο Internet είναι κίνηση UDP.

Το UDP χρησιμοποιεί για την επικοινωνία του εκτός από την IP διεύθυνση του κόμβου και την θύρα (port) επικοινωνίας. Θύρα (port) είναι ένας 16-bit αριθμός (0 έως 65535) και σε συνδυασμό με την IP διεύθυνση του υπολογιστή και το πρωτόκολλο επικοινωνίας αποτελούν ένα μοναδικό σημείο επαφής (socket) για την επικοινωνία των εφαρμογών στο επίπεδο μεταφοράς. Έτσι ένα UDP socket περιγράφεται από την τριάδα (UDP, IP διεύθυνση, port). Οι θύρες από 1 έως 1023 ονομάζονται well-known και χρησιμοποιούνται από εφαρμογές εξυπηρετητών, από 1024 έως 49151 είναι

καταχωρημένες θύρες (registered) , ενώ από 49152 έως 65535 είναι προσωρινές θύρες που χρησιμοποιούνται από εφαρμογές πελατών.

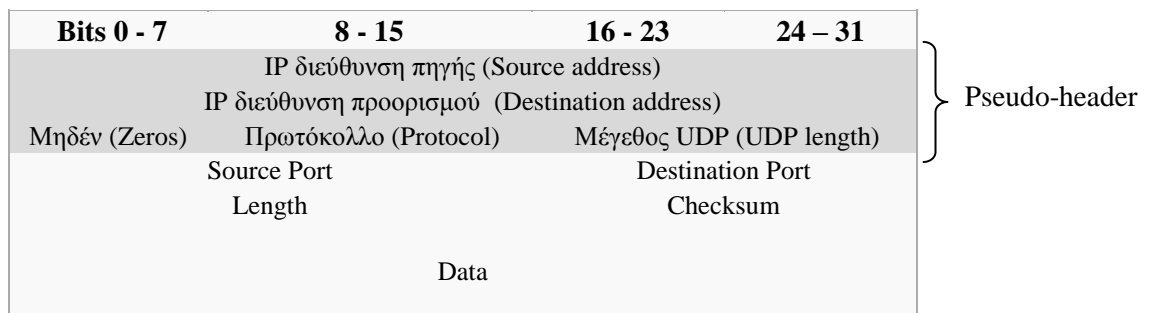
Η δομή του UDP datagram παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Κάθε datagram αποτελείται από την επικεφαλίδα (header) 64-bit και τα δεδομένα.



Σχήμα 5.21: Δομή UDP Datagram

Το πεδίο Source Port είναι προαιρετικό και όταν δεν χρησιμοποιείται τίθεται στο μηδέν , το πεδίο Μέγεθος Datagram προσδιορίζει το μέγεθος του datagram σε bytes και όπως έχουμε αναφέρει, έχει ελάχιστη τιμή οκτώ (8).

Το άθροισμα ελέγχου χρησιμοποιείται για έλεγχο λαθών της επικεφαλίδας και των δεδομένων. Για τον υπολογισμό του αθροίσματος ελέγχου χρησιμοποιείται μια ψευδο-επικεφαλίδα (pseudo-header) (που δεν μεταδίδεται) που μιμείται την IP επικεφαλίδα. Ο υπολογισμός του αθροίσματος ελέγχου γίνεται με βάση τις IP διευθύνσεις πηγής και προορισμού καθώς και τον αριθμό πρωτοκόλλου (17 για το UDP) και το μέγεθος του UDP.

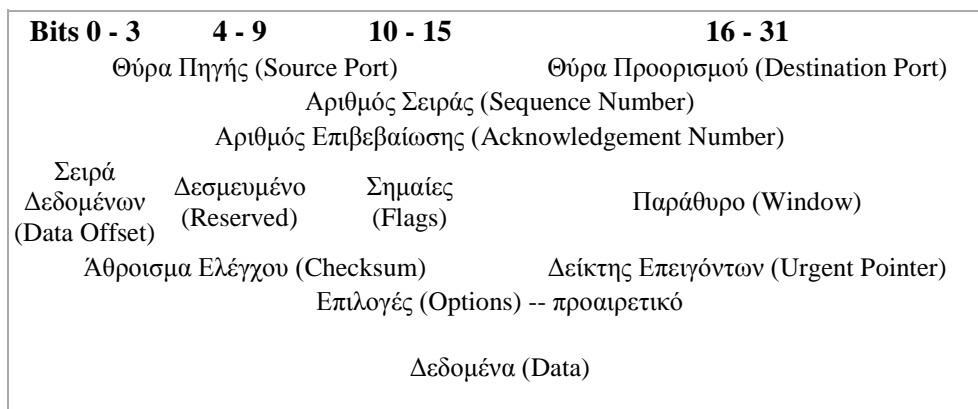


Σχήμα 5.22: Δομή ψευδοεπικεφαλίδας UDP Datagram

Το πρωτόκολλο TCP εξασφαλίζει την αξιόπιστη μεταφορά μιας ροής bytes (bytes stream) στο δίκτυο. Διασπά την ροή σε κομμάτια (TCP segments) κατάλληλου μέγιστου μεγέθους (Maximum Transmission Unit – MTU) ανάλογα με το υποκείμενο φυσικό δίκτυο και τα αποστέλλει προς μεταφορά.

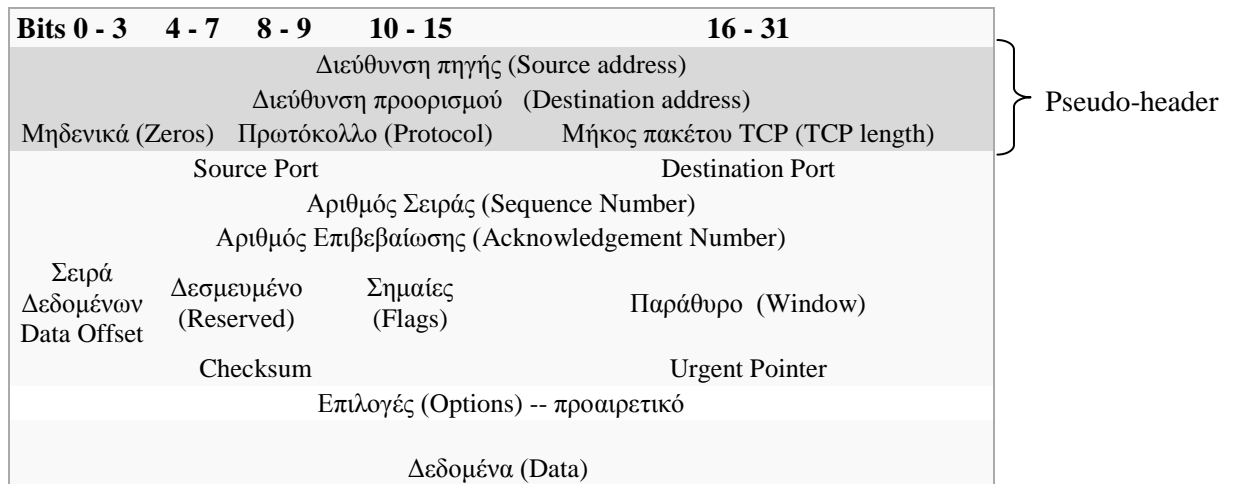
Κάθε κομμάτι TCP έχει ένα αριθμό σειράς (Sequence Number) ώστε να ταυτοποιείται, ενώ για κάθε κομμάτι που λαμβάνεται από τον τελικό κόμβο αποστέλλονται επιβεβαιώσεις (acknowledgements) ώστε να διασφαλίζεται η παράδοσή του. Κάθε οντότητα TCP έχει χρονόμετρο (timer) που δημιουργεί TIMEOUT αν δεν επιβεβαιωθεί με λήψη acknowledgement η παράδοση κάθε μηνύματος. Τα κομμάτια για τα οποία δεν υπάρχει επιβεβαίωση επαναστέλλονται. Επίσης, για την αποφυγή λαθών χρησιμοποιείται όπως και στο UDP ένα άθροισμα ελέγχου με την ίδια διαδικασία ψευδο-επικεφαλίδας όπως και στο UDP.

Η δομή του πακέτου TCP (TCP segment) δείχνεται στο παρακάτω σχήμα. Αποτελείται από την επικεφαλίδα και τα δεδομένα. Το πεδίο παράθυρο (window) χρησιμοποιείται για έλεγχο ροής. Ο κόμβος αποστολής μπορεί να στείλει μόνο την ποσότητα bytes που ορίζει το παράθυρο πριν να περιμένει για επιβεβαίωση λήψης, ώστε να μη γεμίζει η γραμμή και υπάρχουν απώλειες πακέτων.



Σχήμα 5.23: Δομή TCP Segment

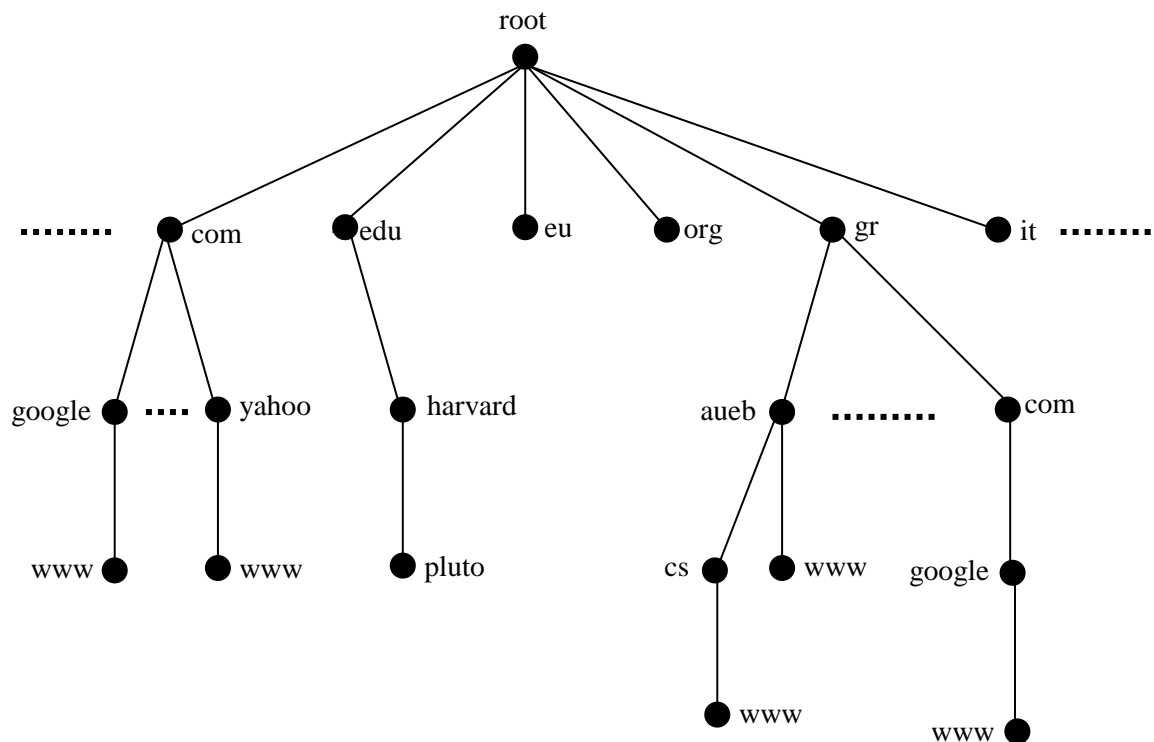
Η δομή της ψευδο-επικεφαλίδας δείχνεται στο παρακάτω σχήμα, ενώ η διαδικασία υπολογισμού του πεδίου άθροισμα ελέγχου (checksum) είναι παρόμοια με αυτή του UDP.



Σχήμα 5.24: Δομή ψευδοεπικεφαλίδας TCP Segment

### 5.13.6 Υπηρεσία DNS (Domain Name Service)

Η υπηρεσία DNS (Domain Name System) αντιστοιχεί IP διευθύνσεις σε λογικά DNS ονόματα, ώστε να μπορούν να απομνημονευθούν εύκολα.



Σχήμα 5.25: Δομή δένδρου DNS



Για παράδειγμα η IP διεύθυνση 195.251.238.12 μπορεί να αντιστοιχεί στο λογικό όνομα `adonis.aueb.gr`.

Η οργάνωση της υπηρεσίας DNS είναι κατανεμημένη και οργανωμένη σε μια δομή δένδρου. Το DNS δένδρο είναι χωρισμένοι σε ζώνες (zones) όπου κάθε ζώνη είναι ένα σύνολο κόμβων που βρίσκονται κάτω από μία κοινή διαχειριστική αρχή και εξυπηρετούνται από ένα εξουσιοδοτημένο DNS εξυπηρετητή.

Ένα λογικό όνομα (DNS name) αποτελείται από δύο ή περισσότερα μέρη που διαχωρίζονται με τελείες, για παράδειγμα `www.cs.aueb.gr`. Το δεξί μέρος (`gr`) συμβολίζει το υψηλότερο όνομα (domain) στην ιεραρχία, ενώ κάθε όνομα προς τα αριστερά συμβολίζει το αμέσως χαμηλότερο όνομα (subdomain) στην ιεραρχία. Το βάθος στην ιεραρχία μπορεί να φθάσει τα 127 επίπεδα.

Στο υψηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας μπορεί να βρίσκονται ονόματα χωρών (όπως `gr`, `it`, `fr`, `uk`, κλπ.) ή άλλα δεσμευμένα ονόματα που δεν αντιστοιχούν σε χώρες αλλά συμβολίζουν οργανισμούς (`org`), πανεπιστήμια (`edu`), εμπορικές επιχειρήσεις (`com`), ευρωπαϊκές χώρες (`eu`), κλπ.

Πιο χαμηλά στην ιεραρχία βρίσκονται δεσμευμένα ονόματα οργανισμών (`yahoo`, `google`, `aueb`, κλπ.) ή ακόμα και άλλα σχετικά στην ιεραρχία ονόματα (π.χ. `com`, κλπ.). Ακόμα χαμηλότερα μπορεί να βρίσκονται ονόματα τμημάτων οργανισμών (`cs`), εξυπηρετητών `web` (`www`) καθώς και απλά ονόματα υπολογιστών (`hostnames`).

Κάθε domain ή subdomain έχει ένα ή περισσότερους εξουσιοδοτημένους εξυπηρετητές (DNS Servers) που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την αντιστοίχιση DNS ονομάτων και IP διευθύνσεων (`resolving`). Η ιεραρχία των DNS servers είναι παρόμοια με την ιεραρχία των DNS ονομάτων.

### **5.13.6 Πρωτόκολλο HTTP**

Το πρωτόκολλο HTTP (HyperText Transfer Protocol) είναι ο βασικός μηχανισμός μεταφοράς πληροφοριών της υπηρεσίας Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web – WWW). Το HTTP ακολουθεί το μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή (client-server), όπου ο εξυπηρετητής (HTTP Server) αποθηκεύει πληροφορίες σε αρχεία τύπου HTML (HyperText Markup Language).

Η εφαρμογή πελάτη ή εξερευνητής Web ή φυλλομετρητής (HTTP client – Web client ή Web Browser) αποστέλλει μία αίτηση με τη χρήση του πρωτοκόλλου TCP στο well-known port 80 (by default) του εξυπηρετητή. Όταν ο εξυπηρετητής λάβει το μήνυμα-αίτηση (request) αποστέλλει το αρχείο ή μήνυμα λάθους αν αυτό δεν υπάρχει.

Οι πόροι του δικτύου που προσπελάζονται από το πρωτόκολλο HTTP είναι γνωστοί ως URIs (Uniform Resource Identifiers) ή URLs (Uniform Resource Locations).

Το πρωτόκολλο HTTP ορίζει οκτώ μεθόδους (εντολές) για την εκτέλεση πράξεων στους πόρους του δικτύου. Οι πιο βασικές μέθοδοι είναι οι παρακάτω:

**GET:** η μέθοδος get αιτείται από τον HTTP Server ενός πόρου, όπως για παράδειγμα μια σελίδα .html ή μια εικόνα ή ένα αρχείο ήχου, κλπ.. Στην πράξη η μέθοδος GET μπορεί να χρησιμοποιείται και για την αποστολή δεδομένων μέσω αιτήσεων για την λήψη κατάλληλων σελίδων (αρχείων HTML) με κλήσεις σε μεθόδους CGI (Common Gateway Interface).

Για παράδειγμα η εντολή: `GET /myDir/aueb.jpg HTTP/1.1` αιτείται της εικόνας `aeub.jpg` που βρίσκεται στο ευρετήριο `myDir`. Το `HTTP/1.1` είναι η τρέχουσα έκδοση (version) του πρωτοκόλλου.

**HEAD:** Αιτείται της επικεφαλίδας ενός HTML αρχείου που περιέχει μετα-πληροφορίες (meta-information) όπως η γλώσσα που χρησιμοποιείται, ο φυλλομετρητής, κλπ.

**POST:** Αποστέλλει δεδομένα του χρήστη, για παράδειγμα τα πεδία μιας φόρμας, στον εξυπηρετητή. Μαζί με την GET είναι οι δύο βασικές μέθοδοι αποστολής δεδομένων.

**PUT:** “Ανεβάζει” (uploads), δηλαδή αποθηκεύει στον εξυπηρετητή σελίδες (αρχεία .html), εικόνες, αρχεία, κλπ. , επιτελεί δηλαδή την αντίθετη λειτουργία της GET.

Οι βασικές εκδόσεις του πρωτοκόλλου HTTP είναι οι εκδόσεις HTTP 1.0 που χρησιμοποιείται ακόμα καθώς και η τρέχουσα έκδοση HTTP 1.1.

Το HTTP δεν γνωρίζει τα στοιχεία των χρηστών (IP διεύθυνση, κλπ.) που εξυπηρετεί, ούτε εν’ γένει την κατάσταση της σύνδεσης (stateless). Το γεγονός αυτό

δυσχεραίνει την ανάπτυξη εφαρμογών, όπου χρειάζεσαι να είναι γνωστή η κατάσταση μιας σύνδεσης κυρίως για την διενέργεια συναλλαγών, όπου μια συναλλαγή για να εκτελεστεί απαιτεί συνήθως περισσότερα από ένα βήματα (αποστολή πληροφοριών, αγορά, πληρωμή, κλπ.). Ο πιο κοινός τρόπος για την επίλυση αυτού του προβλήματος είναι η χρήση μικρών αρχείων που περιέχουν πληροφορίες κατάστασης του χρήστη και της σύνδεσης και είναι γνωστά ως cookies.

Επειδή, σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να υπάρξει κακόβουλη χρήση των cookies και να ληφθούν πληροφορίες προσωπικών προτιμήσεων των χρηστών, ο συγκεκριμένος μηχανισμός δεν θεωρείται ασφαλής.

Ο μηχανισμός διευθυνσιοδότησης και χρήσης του πρωτοκόλλου HTTP από την υπηρεσία WWW αποτελείται από τρία βασικά μέρη: α) το μέρος του πρωτοκόλλου, β) το DNS όνομα του εξυπηρετητή HTTP και γ) το όνομα του προς μεταφορά αρχείου.

Για παράδειγμα μία έγκυρη WWW διεύθυνση είναι η <http://www.aueb.gr/> ή <http://www.cs.aueb.gr/~than/firstPage.html>.

Στην πρώτη περίπτωση το μέρος του πρωτοκόλλου είναι το http, το όνομα του εξυπηρετητή [www.aueb.gr](http://www.aueb.gr) και ως όνομα αρχείου θεωρείται το προκαθορισμένο αρχικό αρχείο (αρχική σελίδα) `default.html` ή `index.html`. Το σύμβολο `://` είναι το διαχωριστικό ανάμεσα στο πρωτόκολλο και το λογικό όνομα και μπορεί να παραλείπεται εφόσον υπονοείται. Το σύμβολο `/` στο τέλος δηλώνει το αρχικό ευρετήριο (ρίζα) αναζήτησης του αρχείου και μπορεί να παραλείπεται.

Στην δεύτερη περίπτωση, το όνομα του αρχείου είναι `/~than/firstPage.html`.

Το πρωτόκολλο HTTP μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό και με τη γλώσσα XML (Extensible Markup Language) που αποτελεί επέκταση της γλώσσας HTML. Ένα από τα σημαντικά προβλήματα της HTML είναι η αδυναμία σημασιολογικής ερμηνείας των περιεχομένων των αρχείων HTML ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται σε εμπορικές συναλλαγές και κατ' επέκταση η συμπερίληψη σε αρχεία HTML στοιχείων Βάσεων Δεδομένων.

Πιο συγκεκριμένα, σε τεχνικό επίπεδο η γλώσσα HTML δεν επιτρέπει τον ορισμό από τους χρήστες δικών τους συμβολών (tags) και επομένως δεν παρέχει την ευελιξία για την εν' δυνάμει δυνατότητα σημασιολογικής ερμηνείας των στοιχείων που εμπεριέχονται. Η γλώσσα XML επιτρέποντας την εισαγωγή συμβόλων από τους χρήστες

δίνει την δυνατότητα ορισμού πεδίων και δομών (αν και δεν μπορεί να οριστεί σημασιολογικό περιεχόμενο) και επομένως την δυνατότητα ορισμού σημασιολογικού περιεχομένου σε συνδυασμό όμως με άλλες τεχνολογίες για την αναπαράσταση πληροφοριών όπως η RDF (Resource Description Framework).

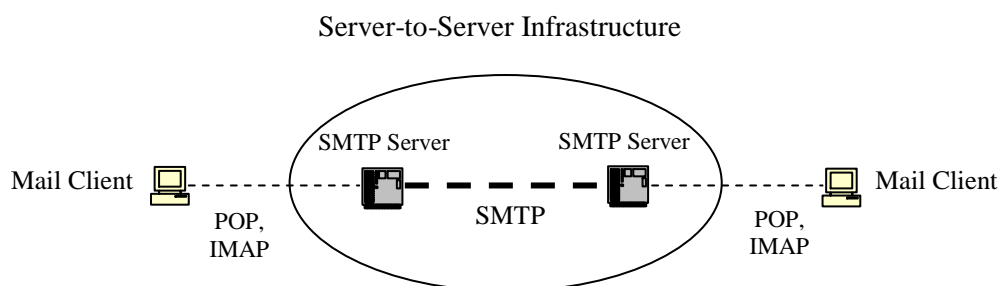
### 5.13.7 Πρωτόκολλο SMTP

Το πρωτόκολλο SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) είναι το καθιερωμένο (de facto) πρότυπο για την υπηρεσία Ηλεκτρονικού Ταχυδρομείου. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο μεταφοράς απλού κειμένου (text) ανάμεσα σε εξυπηρετητές Ηλεκτρονικού Ταχυδρομείου (Mail Servers ή SMTP Servers). Για την μεταφορά και άλλων δεδομένων εκτός από κείμενο (αρχεία διαφόρων τύπων) έχει ενσωματωθεί η επέκταση MIME (πρότυπο MIME).

Το πρωτόκολλο SMTP χρησιμοποιείται μόνο για την επικοινωνία ανάμεσα στους εξυπηρετητές ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.

Οι χρήστες μπορούν να επικοινωνούν με την περιοχή τους (mailbox) στον εξυπηρετητή εισερχομένων μηνυμάτων και να λαμβάνουν τα μηνύματά τους ή να επικοινωνούν με τον εξυπηρετητή εξερχομένων μηνυμάτων και να αποστέλλουν τα μηνύματά τους μέσω των πρωτοκόλλων POP ή IMAP.

Ο εξυπηρετητής εισερχομένων μηνυμάτων και ο εξυπηρετητής εξερχομένων μηνυμάτων μπορεί να βρίσκονται στον ίδιο υπολογιστή ή σε διαφορετικούς υπολογιστές.



Σχήμα 5.26: Επικοινωνία ηλεκτρονικού ταχυδρομείου μέσω SMTP

Η υπηρεσία Ηλεκτρονικού Ταχυδρομείου επιτρέπει την μεταφορά μηνυμάτων από ένα κόμβο αποστολής σε ένα κόμβο προορισμού. Βασίζεται στο υπόδειγμα πελάτη-εξυπηρετητή, όπου οι χρήστες που επιθυμούν να στείλουν ένα μήνυμα χρησιμοποιούν ένα πρόγραμμα-πελάτη που τους επιτρέπει να συντάξουν ένα μήνυμα και να επικοινωνήσουν με το πρόγραμμα-εξυπηρετητή για να αιτηθούν την αποστολή του μηνύματος προς κάποιον συγκεκριμένο κόμβο. Ο εξυπηρετητής όταν λαμβάνει το μήνυμα αναλαμβάνει να το παραδώσει στον εξυπηρετητή που είναι συνδεδεμένος ο παραλήπτης.

Η διαδικασία λήψης μηνυμάτων είναι ανάλογη. Ο χρήστης που επιθυμεί να λάβει μηνύματα θα πρέπει να επικοινωνήσει με τον δικό του εξυπηρετητή και με τη χρήση συνθηματικού (password) να λάβει τα μηνύματα που έχουν σταλεί.

Πιο αναλυτικά, κάθε χρήστης ηλεκτρονικού ταχυδρομείου για να μπορεί να στείλει και να λάβει μηνύματα θα πρέπει πρώτα να έχει μία έγκυρη διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.

Οι διευθύνσεις Ηλεκτρονικού Ταχυδρομείου έχουν τη μορφή `χρήστης@domain`, όπου το πεδίο χρήστη είναι το αναγνωριστικό όνομα κάθε χρήστη ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και `domain` είναι το προσδιοριστικό όνομα του εξυπηρετητή με τον οποίο συνδέεται ο χρήστης για να λάβει τα μηνυμάτά του. Το σύμβολο `@` είναι το διαχωριστικό ανάμεσα στα δύο πεδία. Για παράδειγμα ένα έγκυρο όνομα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου είναι `alice@aueb.gr` ή `bob@adonis.aueb.gr`.

Στην πρώτη περίπτωση το όνομα χρήστη είναι `alice` και το `domain` είναι `aueb.gr`. Στην πραγματικότητα το `domain: aueb.gr` αντιστοιχίζεται σε ένα προκαθορισμένο (primary) mail server. Στην δεύτερη περίπτωση το όνομα χρήστη είναι `bob`, ενώ το πεδίο `domain` δηλώνει ρητά ένα όνομα υπολογιστή (DNS όνομα) ως εξυπηρετητή.

Σε πιο τεχνικούς όρους, κάθε χρήστης που θέλει να μπορεί να λαμβάνει μηνύματα θα πρέπει πρώτα να δημιουργήσει ένα λογαριασμό (account) σε ένα εξυπηρετητή εισερχόμενων μηνυμάτων (incoming mail server). Ο λογαριασμός ενός χρήστη περιλαμβάνει:

A) ένα προσωπικό χώρο αποθήκευσης των μηνυμάτων του (mailbox) στον εξυπηρετητή.

B) ένα όνομα χρήστη (login name) και ένα συνθηματικό (password) για να μπορεί να έχει πρόσβαση στον χώρο αποθήκευσης.

Η δημιουργία λογαριασμού σε ένα συγκεκριμένο εξυπηρετητή ηλεκτρονικού ταχυδρομείου έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός λογαριασμού (διεύθυνσης) ηλεκτρονικού ταχυδρομείου με τη μορφή που αναφέρθηκε παραπάνω.

Αφού δημιουργηθεί ο λογαριασμός και τεθεί σε λειτουργία ο χρήστης επικοινωνεί με τον εξυπηρετητή εισερχόμενων μηνυμάτων μέσω του πρωτοκόλλου POP (Post Office Protocol) ή του πρωτοκόλλου IMAP (Internet Message Access Protocol).

Το πρωτόκολλο POP υποστηρίζει ασύγχρονη επικοινωνία σύνδεσης, δηλαδή η σύνδεση με τον χρήστη διαρκεί όσο χρόνο απαιτείται για την λήψη των μηνυμάτων. Τα μηνύματα αποθηκεύονται στον υπολογιστή του χρήστη και προαιρετικά και στον εξυπηρετητή. Το γεγονός αυτό έχει το μειονέκτημα πως όσοι χρήστες δεν διαθέτουν σταθερή θέση υπολογιστή (π.χ. φοιτητές) δεν αποθηκεύουν το σύνολο των μηνυμάτων τους σε ένα κεντρικό αποθηκευτικό χώρο αλλά κατανεμημένα σε κάθε υπολογιστή που χρησιμοποιούν. Το πλεονέκτημα είναι ότι δεν απαιτείται μεγάλος κεντρικός αποθηκευτικός χώρος στον εξυπηρετητή.

Το πρωτόκολλο IMAP αν και δεν διαθέτει τόσες πολλές εμπορικές υλοποιήσεις όσες το πρωτόκολλο POP υπερέχει γιατί υποστηρίζει τρεις τύπους σύνδεσης: "online", "offline", και "disconnected". Η λειτουργία offline είναι παρόμοια με τον μηχανισμό του πρωτοκόλλου POP, ενώ η λειτουργία online υποστηρίζει την αποθήκευση των μηνυμάτων στον εξυπηρετητή και προαιρετικά την αποθήκευση στον υπολογιστή του χρήστη. Το πλεονέκτημα είναι πως το σύνολο των μηνυμάτων των χρηστών στην λειτουργία online βρίσκεται αποθηκευμένο κεντρικά στον εξυπηρετητή σε βάρος όμως του αποθηκευτικού χώρου. Η λειτουργία "disconnected" επιτρέπει στο πρόγραμμα-πελάτη να συνδεθεί με τον εξυπηρετητή, να δημιουργήσει ένα προσωρινό αντίγραφο των μηνυμάτων ("cache" copy) και στη συνέχεια να αποσυνδεθεί από τον εξυπηρετητή. Ο χρήστης μπορεί στη συνέχεια να εργαστεί με το προσωρινό αντίγραφο σε κατάσταση "offline", αλλά το παρόν υπόδειγμα διαφέρει από το κανονικό "offline" στο ότι το αρχικό αντίγραφο των μηνυμάτων παραμένει στον εξυπηρετητή.

Κατά τη διαδικασία της αποστολής μηνυμάτων ο χρήστης επικοινωνεί με τον εξυπηρετητή εξερχόμενων μηνυμάτων (outgoing mail server) και προωθεί το μήνυμα προς αποστολή. Ο εξυπηρετητής μπορεί να ελέγχει αν ο χρήστης είναι έγκυρος ή να μην

ελέγχει την εγκυρότητα και αποστέλλει το μήνυμα. Οι εξυπηρετητές εξερχόμενων μηνυμάτων πρέπει σε κάθε περίπτωση να ελέγχει αν η IP διεύθυνση του αποστολέα ή του παραλήπτη ανήκει στο πεδίο διευθύνσεων του εξυπηρετητή, διαφορετικά προωθεί μηνύματα μεταξύ διαφορετικών δικτύων (transit) και τα μηνύματα θεωρούνται ανεπιθύμητα (spam).

Γενικά, ανεπιθύμητα (spam) θεωρούνται τα μηνύματα τα οποία λαμβάνονται δίχως την γνώση ή την συγκατάθεση του παραλήπτη και αφορούν δόλια ή παραπλανητικά μηνύματα ή διαφημιστικά μηνύματα εμπορικών επιχειρήσεων.

Ένα βασικό θέμα στην χρησιμοποίηση του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου είναι η δυνατότητα πρόσβασης στον λογαριασμό του χρήστη από οποιαδήποτε μέρος του κόσμου διαθέτει σύνδεση δικτύου. Το κλασικό υπόδειγμα πελάτη-εξυπηρετητή έχει το μειονέκτημα ότι η πρόσβαση από διαφορετικά μέρη του κόσμου μπορεί να μην είναι εφικτή γιατί μπορεί να μην υπάρχουν εγκατεστημένα προγράμματα-πελάτες ή να υπάρχουν σε διαφορετική γλώσσα.

Το γεγονός αυτό οδήγησε στην ενοποίηση της υπηρεσίας ηλεκτρονικού ταχυδρομείου με την υπηρεσία παγκόσμιου ιστού (WWW). Η παροχή ηλεκτρονικού ταχυδρομείου βασισμένου στην υπηρεσία WWW (Web-based E-mail) δίνει την δυνατότητα σύνδεσης στον λογαριασμό ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ενός χρήστη από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου, από τη στιγμή που η υπηρεσία παγκόσμιου ιστού είναι ευρέως διαδεδομένη.

### **5.13.8 Πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων FTP**

Το πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων (File Transfer Protocol – FTP) δίνει τη δυνατότητα μεταφοράς αρχείων από ένα υπολογιστή σε άλλο. Ο μηχανισμός σύνδεσης είναι παρόμοιος με του πρωτοκόλλου HTTP.

Ο χρήστης μπορεί να συνδεθεί με τον απομακρυσμένο κόμβο και να λάβει ή να αποστείλει αρχεία των τύπων: ascii και binary. Ο εξυπηρετητής ftp είναι συνδεδεμένος στο well-known TCP port 21.

Το περιβάλλον επικοινωνίας μπορεί να είναι βασισμένο σε εντολές (command line), γραφικό ή ενοποιημένο με την υπηρεσία παγκόσμιου ιστού (web-based ftp). Οι βασικές εντολές στο ftp είναι:

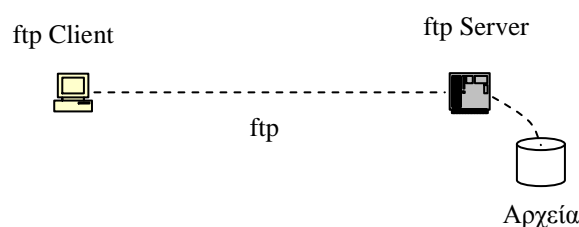
**(o) pen:** ανοίγει μία ftp σύνδεση με ένα απομακρυσμένο υπολογιστή, για παράδειγμα:

```
o ftp.ntua.gr
```

**get:** λαμβάνει ένα αρχείο από τον απομακρυσμένο κόμβο, για παράδειγμα:

```
get tmp.zip
```

**put:** αποστέλλει ένα αρχείο στον απομακρυσμένο κόμβο, π.χ. `put index.html`



Σχήμα 5.27: Μεταφορά Αρχείων με το πρωτόκολλο ftp

Η υπηρεσία web-based ftp παρέχει τη δυνατότητα χρήσης της υπηρεσίας μεταφοράς αρχείων στο περιβάλλον της υπηρεσίας παγκόσμιου ιστού και επομένως ανεξαρτησία από ειδικά προγράμματα-πελάτες τα οποία οι απλοί χρήστες ίσως δεν τα γνωρίζουν ή δυσκολεύονται να τα χρησιμοποιήσουν.

Η χρήση της υπηρεσίας web-based ftp είναι παρόμοια με αυτή του πρωτοκόλλου HTTP με τη διαφορά ότι στο μέρος του πρωτοκόλλου το όνομα πρέπει να δηλωθεί ρητά ως ftp.

Το πρωτόκολλο TELNET (TELEphone NETwork) χρησιμοποιείται για απομακρυσμένη σύνδεση ανάμεσα σε κόμβους του Internet. Η υπηρεσία telnet προσομοιώνει την επικοινωνία ενός τερματικού σταθμού (πληκτρολόγιο και οθόνη) με ένα κεντρικό υπολογιστή. Ιδιαίτερα στα λειτουργικά συστήματα UNIX η υπηρεσία telnet



χρησιμοποιείται πολύ συχνά για απομακρυσμένη επικοινωνία πολλών χρηστών με το σύστημα.

Κατά τη σύνδεση με το πρωτόκολλο telnet ο χρήστης αποστέλλει στο απομακρυσμένο σύστημα το όνομα χρήστη (login name) και το συνθηματικό πεδίο σύνδεσης (password) τα οποία αποστέλλονται ακρυπτογράφητα και μπορούν εύκολα να υποκλαπούν. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια, που τα προβλήματα ασφάλειας έχουν αυξηθεί, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο SSH (Secure Shell), που παρέχει εμπιστευτικότητα στην επικοινωνία και ασφάλεια.

### **5.13.9 Ποιότητα Υπηρεσιών – Quality Of Service (QoS)**

Σήμερα το Internet παρέχει υπηρεσίες καλύτερης προσπάθειας (best effort). Η κίνηση τυγχάνει επεξεργασίας όσο γρηγορότερα γίνεται, αλλά δεν υπάρχει εγγύηση στο χρόνο ούτε στην παράδοση. Όμως με την μεταμόρφωση του Internet σε εμπορική υποδομή, έχουν αναπτυχθεί ανάγκες για ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service – QoS).

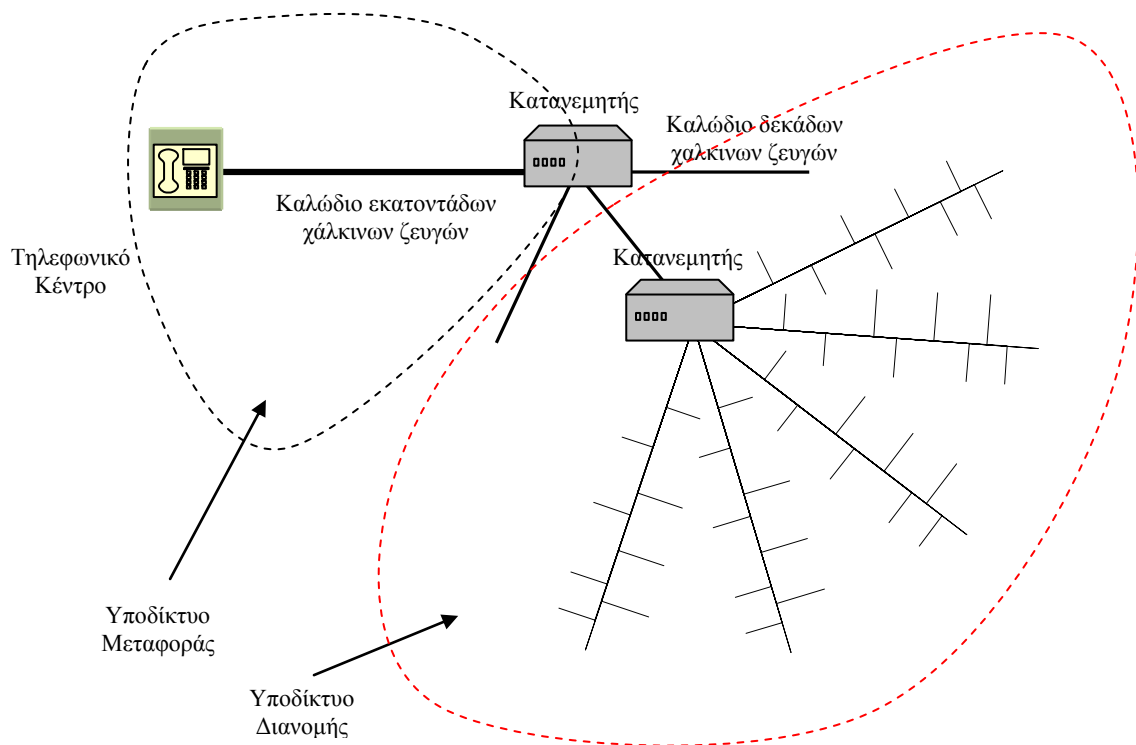
Είναι φανερό ότι είναι πιθανό να ζητούνται διάφοροι τύποι – κλάσεις υπηρεσιών. Μία κλάση υπηρεσιών μπορεί να περιλαμβάνει υπηρεσίες υψηλής αξιοπιστίας ή ταχύτητας. Μία άλλη κλάση μπορεί να περιλαμβάνει υπηρεσίες χαμηλής καθυστέρησης και χαμηλής διακύμανσης (jitter) όπως Internet telephony & video conference. Επίσης οι υπηρεσίες best effort μπορούν να παραμείνουν για τους πελάτες που θέλουν απλά διασύνδεση. Το RSVP (ReSerVation Protocol) [RFC 2205-2209] είναι ένα πρωτόκολλο που επιτρέπει στις εφαρμογές να ζητούν υπηρεσίες QoS για τις ροές δεδομένων τους (data flows).

### **5.14 Τηλεφωνικό Δίκτυο**

Το παραδοσιακό τηλεφωνικό δίκτυο πρόσβασης αποτελείται στο μεγαλύτερο μέρος του από ζευγάρια χάλκινων καλωδίων τα οποία ξεκινούν από το τηλεφωνικό κέντρο της περιοχής και καταλήγουν στον συνδρομητή. Τα τηλεφωνικά κέντρα (τερματικά ή αστικά κέντρα -- Central Offices) επιτελούν την διαδικασία της αυτόματης διεπιλογής κατά την κλήση.

Η ψηφιακή τεχνολογία οδήγησε σε κέντρα τα οποία έχουν τη δυνατότητα να επεξεργάζονται ψηφιακά σήματα. Στο παραδοσιακό τηλεφωνικό δίκτυο, τα σήματα από τους συνδρομητές εξακολουθούν να φτάνουν σε αναλογική μορφή και να μετατρέπονται σε ψηφιακά κατά την είσοδο τους στο κέντρο, ενώ σε πιο πρόσφατες τεχνολογίες (βλ. ISDN) τα σήματα από και προς τον συνδρομητή είναι ψηφιακά.

Σε κάθε περίπτωση όμως, είτε το σύστημα είναι αναλογικό είτε ψηφιακό, πρέπει να αναγνωριστεί ένα βασικό χαρακτηριστικό: το επικοινωνιακό μονοπάτι - το κύκλωμα - που εγκαθιδρύεται από το μέρος που καλεί (αφετηρία) στο σημείο που δέχεται την κλήση (προορισμός). Το κύκλωμα αυτό εγκαθιδρύεται στην αρχή της κλήσης και διατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια της. Η διαδικασία αυτή καλείται μεταγωγή κλήσης. Το σύστημα αυτό δεν είναι πολύ αποδοτικό. Η υποχρησιμοποίηση της χωρητικότητας των γραμμών είναι μεγάλη και κυμαίνεται από 50% όταν μιλάει το ένα μέρος μέχρι και μηδενική χρησιμοποίηση αν δεν μιλάει κανείς. Η βασική αρχιτεκτονική ενός τηλεφωνικού δικτύου πρόσβασης (local loop) το οποίο αποτελείται από ζεύγη χαλκού έχει διάρθρωση αστέρα.



Σχήμα 5.28: Βασική αρχιτεκτονική τηλεφωνικού δικτύου πρόσβασης

Πιο συγκεκριμένα, η αρχιτεκτονική του τηλεφωνικού δικτύου πρόσβασης αποτελείται από δύο βασικά υποδίκτυα:

- Το υποδίκτυο μεταφοράς (Feeder Network).
- Το υποδίκτυο διανομής (Distribution Network).

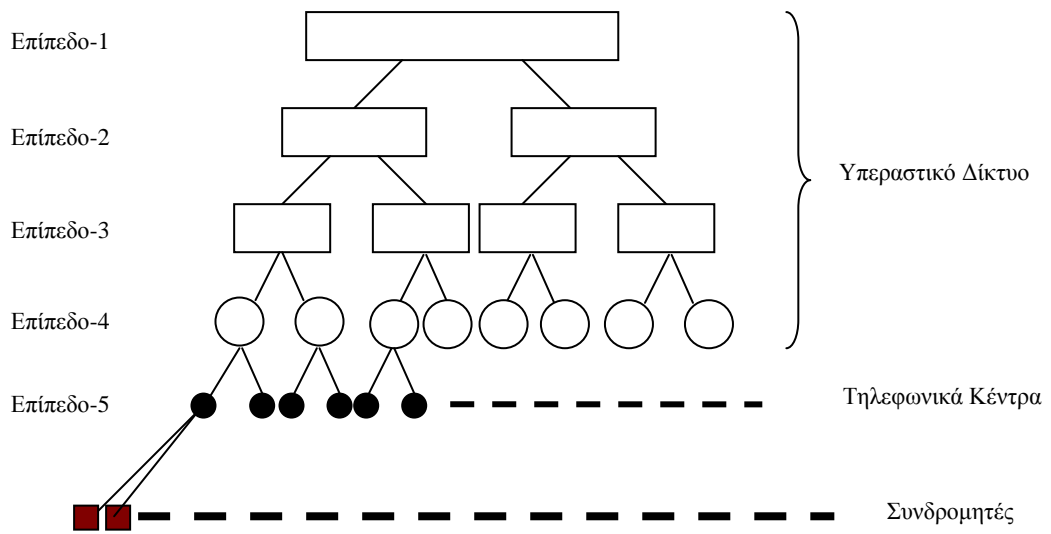
Το δίκτυο διανομής είναι το τελικό δίκτυο των καταναμητών μέχρι τα οικήματα, ενώ το δίκτυο μεταφοράς πολυπλέκει την κίνηση από το δίκτυο διανομής μέχρι το τηλεφωνικό κέντρο χρησιμοποιώντας περισσότερα καλώδια χαλκού, ανάλογα και με το βαθμό πολύπλεξης. Το σημείο διαχωρισμού των δύο τμημάτων είναι συνήθως ένα σημείο συγκέντρωσης των γραμμών, που καλείται συγκεντρωτής (concentrator) ή καταναμητής.

Αν μία τηλεφωνική κλήση έχει προέλευση και προορισμό μέσα στα πλαίσια του ίδιου τηλεφωνικού κέντρου, τότε η μεταγωγή της κλήσης (switching) μπορεί να γίνει τοπικά (local switching).

Τι συμβαίνει όμως στην περίπτωση, που μία κλήση δεν προέρχεται και τερματίζεται μέσα στα πλαίσια του ίδιου τηλεφωνικού κέντρου. Η απάντηση προφανώς είναι να συνδεθούν τα τηλεφωνικά κέντρα σε ένα κέντρο υψηλότερου ιεραρχικά επιπέδου (ή απευθείας μεταξύ τους). Σε μεγαλύτερες κλίμακες ακολουθώντας την ίδια λογική μπορούν να υπάρχουν και άλλα υψηλότερα επίπεδα στην ιεραρχία.

Γενικά, σε μεγάλες κλίμακες τηλεφωνικών αρχιτεκτονικών μπορούν να υπάρχουν πέντε επίπεδα ιεραρχίας. Το τηλεφωνικό κέντρο καλείται και ως κέντρο επιπέδου-5 (class-5 office), ενώ το κέντρο που συνδέει κέντρα επιπέδου-5, καλείται και ως κέντρο επιπέδου-4 (class -4 office). Τα κέντρα του υψηλότερου επιπέδου στην ιεραρχία – κέντρα επιπέδου-1—βρίσκονται σε λίγα μέρη σε μία χώρα.

Ας σημειωθεί ότι το μόνο κέντρο που έχει ανθρώπους ως συνδρομητές είναι το τηλεφωνικό κέντρο επιπέδου-5. Τα άλλα κέντρα στην ιεραρχία έχουν κέντρα χαμηλότερου επιπέδου ως συνδρομητές.



Σχήμα 5.29: Ιεραρχική Δομή του Τηλεφωνικού Δικτύου

Ολόκληρο το δίκτυο καλείται Δημόσιο Τηλεφωνικό Δίκτυο Μεταγωγής (Public Switched Telephone Network – PSTN).