

Κεφάλαιο 1:

Εισαγωγή – Ιστορικά στοιχεία

1.1 Σύγχρονες Απαιτήσεις των Τηλεπικοινωνιών

Αναγκαιότητα για τηλεπικοινωνιακά δίκτυα υψηλής ταχύτητας, ενοποιημένων υπηρεσιών

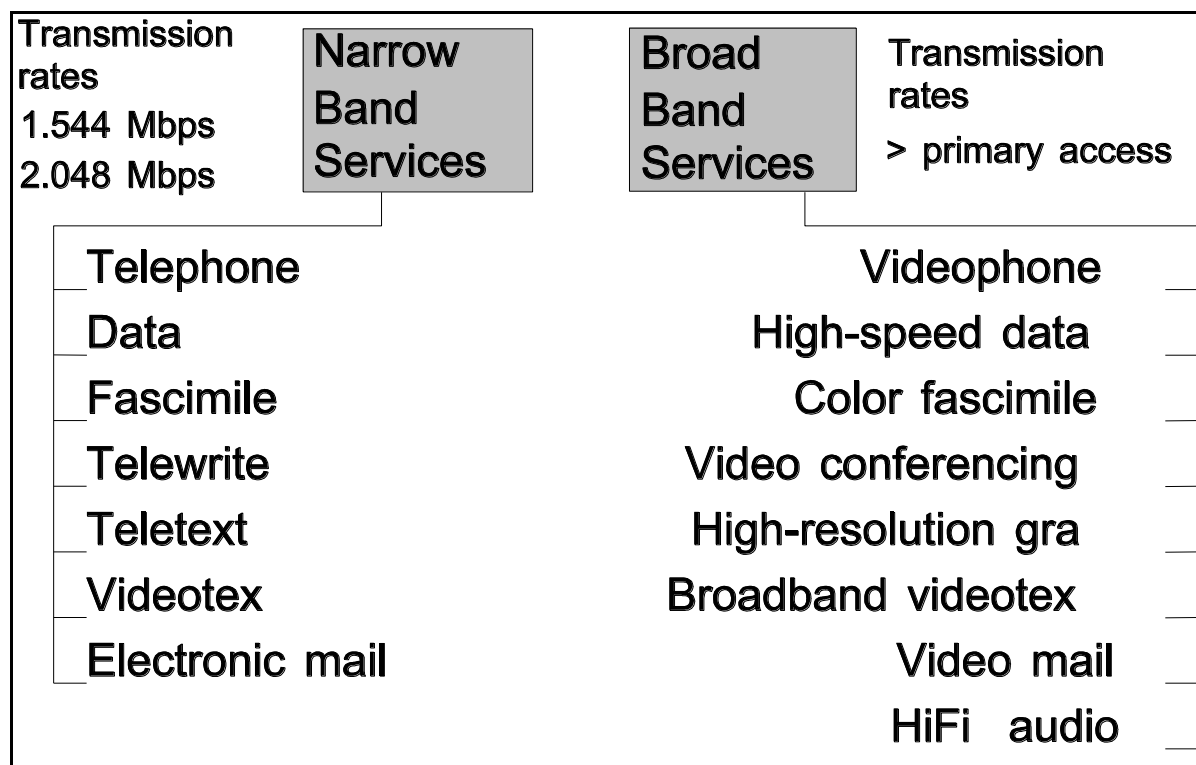
Στην εποχή μας, οι τηλεπικοινωνίες παίζουν πρωταρχικό ρόλο στις καθημερινές συναλλαγές των εταιρειών και των απλών ανθρώπων, καθώς οι απαιτήσεις επικοινωνίας όχι μόνον αυξάνουν συνεχώς, αλλά ποικίλα είναι και τα είδη των αιτουμένων υπηρεσιών. Στην σημερινή εποχή της πληροφορικής, οι καταναλωτές παρουσιάζουν μια αυξημένη ζήτηση νέων υπηρεσιών. Αναγκαίο πλέον είναι όχι μόνον το τηλέφωνο, αλλά και η τηλεμοιοτυπία (fax) και το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail) που είδη προσφέρονται. Ως πιο δημοφιλείς τηλε-υπηρεσίες παρουσιάζονται η HDTV (High Definition TV), η τηλεδιάσκεψη (video conference), η ταχεία μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων, η εικονοτηλεφωνία (videophone), εικονοβιβλιοθήκη, το teletex, η κατ' οίκον επιμόρφωση και video κατ' απαίτηση. Αιτήματα για άλλες μελλοντικές υπηρεσίες όπως έγχρωμη τηλεμοιοτυπία, επικοινωνία με υψηλής ευκρίνειας εικόνα και ήχο, εικονο-ταχυδρομείο (video mail) συνεχώς αυξάνουν. Η ικανοποίηση όλων αυτών των αιτημάτων - υπηρεσιών οδήγησε στα **Δίκτυα Ενοποιημένων Υπηρεσιών, Στενής Ζώνης (N-ISDN)**, αρχικώς, και **Ευρείας Ζώνης (B-ISDN)**, εν συνεχεία.

Στο πέρασμα από τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα στο **ολοκληρωμένο δίκτυο ευρείας ζώνης (IBCN - Integrated Broadband Communication Network)**, αποκαλούμενο επίσης **δίκτυο πλήρων υπηρεσιών (FSN – Full Service Network)**, έχουν δοθεί μερικές σημαντικές κατευθύνσεις και οδηγίες. Το IBCN συχνά αναφέρεται ως **ψηφιακό δίκτυο ενοποιημένων υπηρεσιών ευρείας ζώνης (B-ISDN – Broadband Integrated Services Digital Network)**, διότι θεωρείται η λογική επέκταση του ISDN. Οι κατευθύνσεις που ελήφθησαν για το B-ISDN είναι επηρεασμένες από αρκετές παραμέτρους, κυρίως όμως από την εμφάνιση ενός μεγάλου αριθμού τηλε-υπηρεσιών πολύ διαφορετικών ή και αγνώστων μερικές φορές απαιτήσεων. Στην σημερινή εποχή της πληροφορικής, οι καταναλωτές παρουσιάζουν μια άνευ προηγουμένου αυξημένη ζήτηση νέων υπηρεσιών. Οι πιο δημοφιλείς τηλε-υπηρεσίες που θα εμφανισθούν στο μέλλον είναι: video-on-demand (προσφορά ενός πολύ μεγάλου αριθμού τηλεοπτικών καναλιών τα οποία ο τηλεθεατής επιλέγει κατά βούληση), τηλεεικονοδιάσκεψη (video conferencing), μεταφορά

δεδομένων υψηλής ταχύτητας, εικονοτηλεφωνία (video-telephony), εικονο-βιβλιοθήκη (video library), κατ' οίκον επιμόρφωση (home education), αγορές από το σπίτι (home shopping), τηλε-εργασία (teleworking) και υψηλής ευκρίνειας τηλεόραση (HDTV – High Definition TV).

Κάθε μία απ' αυτές τις υπηρεσίες θα δημιουργήσει άλλες απαιτήσεις για το B-ISDN. Αυτό το ευρύ φάσμα απαιτήσεων εισάγει την ανάγκη ενός παγκοσμίου δικτύου, το οποίο θα είναι αρκετά ευέλικτο, ώστε να μπορεί να προσφέρει όλες αυτές τις υπηρεσίες με το ίδιο τρόπο.

Πίνακας 1.1 Υπηρεσίες Στενής και Ευρείας Ζώνης



Υπάρχουν δύο ακόμη παράμετροι που επηρεάζουν τις κατευθύνσεις που ελήφθησαν για το B-ISDN: α) η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας των ημιαγωγών και της οπτικής τεχνολογίας, και β) η εξέλιξη στη φιλοσοφία σχεδίασης συστημάτων (system concept), όπως π.χ. η μετατόπιση στην άκρη του δικτύου ορισμένων όχι τόσο αναγκαίων λειτουργιών μετάδοσης της πληροφορίας. Αυτές οι ιδέες σχεδίασης συστημάτων είναι πραγματοποιήσιμες πλέον λόγω της τεχνολογικής προόδου, η οποία επέτυχε την τοποθέτηση περισσότερων λειτουργιών σε ένα chip μεγαλύτερης ταχύτητας και υψηλότερης ποιότητας, και μεγαλύτερη ταχύτητα των συστημάτων μετάδοσης. Λόγω της ραγδαίας τεχνολογικής ανάπτυξης, λύσεις που πριν από λίγα χρόνια δεν ήταν εφικτές, στα προσεχή χρόνια αν τύχουν ευρείας αποδοχής θα μπορέσουν να επιβιώσουν οικονομικά.

Τόσο η ανάγκη για ένα ευέλικτο δίκτυο όσο και η πρόοδος της τεχνολογίας και της φιλοσοφίας σχεδίασης συστημάτων, είχαν ως κοινή κατάληξη τον ορισμό της αρχής του **ασύγχρονου τρόπου μετάδοσης**, του **ATM (Asynchronous Transfer Mode)**. Αυτή η ιδέα του ATM είναι τώρα αποδεκτή από την **διεθνή επιτροπή τηλεπικοινωνιών CCITT (International Consultative Committee for Telecommunications and Telegraphy)**, αποκαλούμενη πλέον **ITU-T (International Telecommunications Union)**, ως η βασική λύση για το B-ISDN. Η ATM τεχνολογία είναι επίσης αποδεκτή από την βιομηχανία υπολογιστών που συμμετέχει στο ATM Forum, ως η τεχνολογία διασύνδεσης υπολογιστών σε **τοπικά δίκτυα (ATM LANs)**. Τα δίκτυα ATM θα προσφέρουν:

α) Τηλεπικοινωνίες Ευρείας Ζώνης

Οι υπάρχουσες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες, όπως τηλεφωνία και τέλεξ, απαιτούν ρυθμούς μετάδοσης μικρότερους από 1 Mbit/sec. Οι νέες υπηρεσίες όμως, όπως τηλεοπτική συνεδρίαση (TV conference) και ανάκτηση πληροφορίας με εικόνες (visual information retrieval), απαιτούν ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 100 Mbits/sec. Κανένα από τα υπάρχοντα δίκτυα είτε τηλεφωνικά είτε δίκτυα υπολογιστών ή ακόμη και τα δίκτυα ενοποιημένων υπηρεσιών στενής ζώνης (N-ISDN, ή απλά ISDN), μπορεί να ικανοποιήσει τόσο υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.

β) Τηλεπικοινωνίες Πολυμέσων

Τα υπάρχοντα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα επιτρέπουν την επικοινωνία μέσω μιας μόνον υπηρεσίας (τηλεφωνία, τηλεομοιοτυπία). Η απαίτηση όμως πλέον είναι η χρήση συγχρονισμένων πολλαπλών υπηρεσιών, όπως λ.χ. επικοινωνία μέσω εικόνων και συγχρόνως μέσω υψηλής πιστότητας ήχου. Ως πρώτο βήμα προς τις τηλεπικοινωνίες πολυμέσων, τα δίκτυα ενοποιημένων υπηρεσιών στενής ζώνης (N-ISDN) προσφέρουν ήδη το interface και επιτρέπουν την πρόσβαση στο δίκτυο ανεξαρτήτως του τρόπου μετάδοσης της πληροφορίας μέσα στο δίκτυο, ή, αν γίνεται μεταγωγή κυκλωμάτων ή μεταγωγή πακέτων. Αυτή η ενοποίηση του interface προσδίδει μεγάλη ευελιξία π.χ. στην μετακίνηση των τερματικών του δικτύου και αυξάνει την χρησιμοποίηση των συνδρομητικών γραμμών, διότι επιτρέπει από την ίδια συνδρομητική γραμμή την χρήση διαφορετικών υπηρεσιών (π.χ. σήμερα μέσω της τηλεφωνικής γραμμής χρησιμοποιούμε και το fax). Δεν αρκεί όμως η ενοποίηση του interface όλων των τερματικών του δικτύου αλλά απαιτείται και η πλήρης ενοποίηση του δικτύου, δηλ. η ενοποίηση (ή η αντικατάσταση) των τρόπων μεταγωγής στο δίκτυα (κυκλωμάτων και πακέτων). Η πλήρης λοιπόν ενοποίηση του δικτύου επιτυγχάνεται με την τεχνολογία ATM.

γ) *Οικονομική υλοποίηση της ενοποίησης όλων των υπηρεσιών*

Η απαίτηση για χαμηλού κόστους προσφορά των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών αφ' ενός μεν είναι αυτονόητη, αφ' ετέρου δε αναγκαία για τον εξής λόγο. Δεν μπορεί να γίνει ασφαλής πρόβλεψη της κινήσεως που θα έχει κάθε νέα υπηρεσία. Επομένως, δεν είναι δυνατόν να γίνουν επενδύσεις για κατασκευή αυτόνομων δικτύων κάθε υπηρεσίας. Τούτο οδηγεί στην ανάγκη της πλήρους ενοποίησης των υπηρεσιών.

Για να δοκιμαστεί αυτή η νέα τεχνολογία, διάφοροι δημόσιοι φορείς έχουν πραγματοποιήσει πιλοτικές εφαρμογές ATM. Παραδείγματα των πειραμάτων αυτών είναι μερικές δοκιμές του προγράμματος RACE (Research for Advanced Communication in Europe) (Tat, 1991), το Βελγικό πείραμα ευρείας ζώνης (De Prycker, 1988), τα προγράμματα Multigigabit των ΗΠΑ (Giga, 1990), μια Ιαπωνική δοκιμή με κόμβους ATM, η Ευρωπαϊκή πιλοτική εφαρμογή ATM MOU (Memorandum of Understanding) με 18 φορείς εκμετάλλευσης (David, 1994), ένα Αυστραλέζικο πείραμα μετάδοσης ATM με δορυφόρο (Burston, 1990) και πολλά άλλα. Πιο πρόσφατα, αρκετοί δημόσιοι φορείς (σε ΗΠΑ, Ευρώπη και Ιαπωνία) έχουν ανακοινώσει ή έχουν ήδη αρχίσει να προσφέρουν εντός των ετών 1994-95, εμπορικές υπηρεσίες ATM. Ακόμη, χιλιάδες τοπικά δίκτυα ATM εγκαθίστανται προσφάτως στον ιδιωτικό τομέα.

Το σύγγραμμα αυτό περιγράφει γενικά τεχνικά προβλήματα της ATM τεχνολογίας που είναι ανεξάρτητα από τον δημόσιο ή ιδιωτικό τομέα.

Στον δημόσιο τομέα των τηλεπικοινωνιών, οι περισσότερες από τις υπηρεσίες επικοινωνίας και οι περισσότερες συσκευές ευρίσκονται υπό τον έλεγχο εταιρειών (ΗΠΑ) ή τηλεπικοινωνιακών οργανισμών, PTTs (Ευρώπη, Ιαπωνία, Αυστραλία, ...). Οι οργανισμοί αυτοί απαιτούν οι προσφερόμενες συσκευές να είναι εναρμονισμένες προς τις συστάσεις της ITU-T. Έτσι, οι συσκευές ATM στο μέλλον θα ευρίσκουν εύκολα τον δρόμο προς τον δημόσιο τηλεπικοινωνιακό τομέα.

Στον ιδιωτικό τομέα των τηλεπικοινωνιών, οι υπηρεσίες και οι συσκευές ανήκουν σε ιδιώτες. Εδώ, υπάρχουν δύο μεγάλες ομάδες που προσφέρουν συσκευές: η βιομηχανία τηλεπικοινωνιών και η βιομηχανία υπολογιστών. Υπάρχει η τάση να έρχεται σε συμφωνία ο ιδιωτικός τομέας με τον δημόσιο και αντιστρόφως, ώστε να εξασφαλίζεται μια συνολική, ευρείας εκτάσεως συνύπαρξη.

Ένα μεγάλο βήμα προς αυτή την συνύπαρξη των δημοσίων τηλεπικοινωνιακών δικτύων και των ιδιωτικών δικτύων επικοινωνίας έγινε από το ATM Forum, που είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός που ενώνει όλους τους τύπους των βιομηχανιών (υπολογιστών και τηλεπικοινωνιών), με πάνω από 400 μέλη παγκοσμίως. Το ATM Forum έχει ορίσει προδιαγραφές ATM, βάσει των διεθνών προτύπων (international standards) όπως ορίζονται από την ITU, για συστήματα ATM που θα εγκατασταθούν σε δίκτυα πελατών.

1.2 Η κατάσταση στον κόσμο της τηλεφωνίας

Τα σημερινά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα χαρακτηρίζονται από μία εξειδίκευση. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε υπηρεσία υπάρχει ένα τουλάχιστον δίκτυο που μεταδίδει την υπηρεσία αυτή. Μερικά παραδείγματα των ήδη υπάρχοντων δικτύων περιγράφονται κατωτέρω:

- POTS (Plain Old Telephone Service). Η παλαιά απλή τηλεφωνική υπηρεσία μεταδίδεται με τα δημόσια τηλεφωνικά δίκτυα μεταγωγής (PSTN - Public Switched Telephone Network). Αυτό το πανταχού παρόν δίκτυο προσφέρει στους πελάτες του την κλασική αμφίδρομη συνδιάλεξη.
- Δίκτυο τηλετυπίας (telex), το οποίο μεταδίδει μηνύματα με χαρακτηριστές τα οποία μεταδίδονται με πολύ χαμηλό ρυθμό (μέχρι 300 bit/s). Οι χαρακτηριστές κωδικοποιούνται βάσει ενός κώδικα των 5 bits.
- Δεδομένα υπολογιστών μεταδίδονται στον δημόσιο τομέα είτε με δίκτυο μεταγωγής πακέτων (PSDN – Packet Switched Data Network) βάσει των πρωτοκόλλων X.25, είτε, σε πολύ λίγες χώρες, με δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος (CSDN – Circuit Switched Data Network) βάσει των πρωτοκόλλων X.21, και πολύ συχνά χρησιμοποιούνται αποκλειστικά μισθωμένες γραμμές (leased lines).
- Τηλεοπτικά σήματα μπορούν να μεταδοθούν με τρεις τρόπους: α) εκπέμποντας στην περιοχή των ραδιοφωνικών συχνοτήτων, χρησιμοποιώντας γειωμένες κεραίες, β) από το δίκτυο της καλωδιακής τηλεόρασης (CATV - Community Antenna TV), και γ) με δορυφόρο, χρησιμοποιώντας το σύστημα DBS (Direct Broadcast System).
- Στον ιδιωτικό τομέα, δεδομένα υπολογιστών μεταδίδονται κυρίως από τοπικά δίκτυα (LAN – Local Area Network). Τα πιο γνωστά από τα οποία είναι το Ethernet, token bus (τοπικό δίκτυο με αρτηρία διέλευσης αδειοδοτικού) και token ring (δακτυλιοειδές δίκτυο αδειοδοτικού) (IEEE 802 series).

Κάθε ένα απ' τα ανωτέρω δίκτυα έχει σχεδιαστεί ειδικά για συγκεκριμένη υπηρεσία και συνήθως δεν μπορεί να εξυπηρετήσει άλλη. Παραδείγματος χάριν, το αρχικό δίκτυο CATV δεν επιτρέπει την μετάδοση POTS, ή το PSTN δεν μεταδίδει τηλεοπτικά σήματα, ή η μετάδοση ομιλίας σε δίκτυο X.25 είναι πολύ προβληματική, λόγω της μεγάλης καθυστέρησης απ' άκρο σε άκρο και της τρομώδους μεταβολής (jitter) της καθυστέρησης αυτής.

Μόνο σε μερικές ειδικές περιπτώσεις μπορούν να προσφερθούν υπηρεσίες άλλου δικτύου, από δίκτυο το οποίο έχει σχεδιαστεί για διαφορετικές υπηρεσίες. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το PSTN, το

οποίο μπορεί να μεταφέρει δεδομένα υπολογιστών με περιορισμένη ταχύτητα, αν στα δύο άκρα του δικτύου τοποθετηθούν τα κατάλληλα modems (διαποδιαμορφωτές).

Μια σημαντική συνέπεια αυτής της εξειδίκευσης (των υπηρεσιών) είναι η ύπαρξη πολλών ανεξαρτήτων δικτύων σ' όλο τον κόσμο, κάθε ένα από τα οποία απαιτεί τον δικό του σχεδιασμό, ξεχωριστή κατασκευή και συντήρηση. Επιπλέον, οι διαστάσεις του κάθε δικτύου πρέπει να καθορισθούν αποκλειστικά για κάθε ένα τύπο υπηρεσίας. Ακόμη και αν σε ένα δίκτυο υπάρχουν ευρέως διαθέσιμοι πόροι, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλο τύπο υπηρεσίας. Παραδείγματος χάριν, οι ώρες αιχμής στο τηλεφωνικό δίκτυο είναι μεταξύ 9 π.μ. και 5 μ.μ. ενώ στο CATV δίκτυο είναι κατά την διάρκεια της νύχτας. Αφού δεν είναι δυνατή η άντληση πόρων από άλλο δίκτυο, κάθε δίκτυο πρέπει να έχει τις κατάλληλες διαστάσεις για να μπορεί να αντιμετωπίσει μόνο του τις συνθήκες της χειρότερης περίπτωσης κίνησης, που είναι η κίνηση την ώρα αιχμής.

1.3 Ιδεατή Δομή των Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων Ενοποιημένων Υπηρεσιών

1.3.1 Υπηρεσίες Στενής και Ευρείας Ζώνης

Η ITU-T (CCITT), στη σύσταση I.113 (το 1990), ορίζει ως ευρείας ζώνης (broadband) υπηρεσία ή σύστημα, την υπηρεσία ή το σύστημα που απαιτεί κανάλια μετάδοσης με ρυθμούς μεγαλύτερους του "primary access rate" (πρωτεύοντος ρυθμού μετάδοσης). Ένα B-ISDN interface υποστηρίζει ήδη ρυθμούς μετάδοσης bits που φθάνουν ή ξεπερνούν τα 622 Mbps. Σημειωτέον ότι τα interfaces που έχουν ορισθεί για το N-ISDN (ή απλώς ISDN) είναι:

α) Το "**Basic Rate (Access) Interface – BRI (Βασική Πρόσβαση)**", με συνολικό ρυθμό μετάδοσης 160 Kbps, που συνίστανται από 2 κανάλια (κανάλια B, όπως λέγονται) των 64 Kbps και ένα κανάλι σηματοδότησης των 16 Kbps (κανάλι D), δηλ. 144 Kbps διαθέσιμο εύρος ζώνης στους συνδρομητές, και 16 Kbps εύρος ζώνης για διαχείριση και συντήρηση του δικτύου ($160 \text{ Kbps} = 2 \cdot 64 + 16 + 16 \text{ Kbps}$). Τα τρία κανάλια ($2B + D = 144 \text{ Kbps}$) συνδυάζουν υπηρεσίες φωνής ή υπηρεσίες δεδομένων ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Έτσι μπορούμε να έχουμε δύο κανάλια B για φωνή και ένα κανάλι D για δεδομένα, ή ένα κανάλι B για φωνή και τα B + D για δεδομένα, ή δύο κανάλια B για δεδομένα και το D για σηματοδότηση (signaling), ή τέλος όλα τα κανάλια για δεδομένα. Η γραμμή μετάδοσης είναι δισύρματη. Το BRI κοινώς αναφέρεται ως 2B+D.

Η Βασική Πρόσβαση παρέχεται από τον Ο.Τ.Ε. με τους εξής δύο τρόπους:

- Σύνδεση Πολλαπλού Συνδρομητικού Αριθμού (Multiple Subscriber Number - MSN)
Στην περίπτωση αυτή, ορίζονται για κάθε σύνδεση οκτώ διαφορετικοί αριθμοί κλήσης. Ο πελάτης έχει την δυνατότητα να συνδέσει μέχρι οκτώ τερματικά και να ορίσει στο καθένα από αυτά τον δικό του αριθμό κλήσης.
- Σύνδεση διεπιλογής (Direct Dialling In - DDI).
Στην περίπτωση αυτή, στο χώρο του πελάτη υπάρχει μικρό Συνδρομητικό Κέντρο στο οποίο και οδηγείται η γραμμή ISDN. Στον πελάτη δίνεται ένας αριθμός κλήσης (κεφαλικός αριθμός), ενώ δεσμεύονται συνολικά δέκα αριθμοί. Αυτή η περίπτωση προσομοιάζει με την περίπτωση της συνοπτικής σύνδεσης στο PSTN.

Στην Βασική Πρόσβαση του ΟΤΕ, τα ψηφιακής μορφής σήματα κωδικοποιούνται σύμφωνα με τον κώδικα 2B1Q. Επίσης, ο ΟΤΕ δίνει στον χρήστη μόνο τα δύο Β κανάλια, δηλ. 128 Kbps.

β) Το "**Primary Rate (Access) Interface – PRI (Πρωτεύουσα Πρόσβαση)**", με συνολικό ρυθμό μετάδοσης είτε 1544 Kbps (1,544 Mbps) δηλ. εύρος ζώνης ζεύξεως T1 (Αμερική), ή 2048 Kbps (2,048 Mbps) δηλ. εύρος ζώνης ζεύξεως E1 (Ευρώπη). Σε κάθε PRI συμπεριλαμβάνεται ένα κανάλι σηματοδότησης με εύρος ζώνης D = 64 Kbps (το μεσαίο, 16°, στο E1 και το τελευταίο 24°, στο T1). Το υπόλοιπο εύρος ζώνης χωρίζεται σε διάφορους συνδυασμούς των 64 Kbps καναλιών. Επίσης στην Αμερική χρησιμοποιούνται 8 Kbps για την συντήρηση του δικτύου ($1544 \text{ Kbps} = 23 \cdot 64 + 64 + 8 \text{ Kbps}$), ενώ στην Ευρώπη το πρώτο κανάλι των 64 Kbps χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό του πλαισίου μετάδοσης των καναλιών ($2048 \text{ Kbps} = 30 \cdot 64 + 64 + 64 \text{ Kbps}$). Ο καθαρός ρυθμός μετάδοσης (για τους χρήστες) είναι 1,536 Mbps ($24 \cdot 64$) και 1,92 Mbps ($30 \cdot 64$), για ζεύξεις T1 και E1, αντιστοίχως. Δηλ. στην Αμερική είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν από τους χρήστες 24 κανάλια ενώ στην Ευρώπη 30 κανάλια. Η γραμμή μετάδοσης είναι τετρασύρματη (ένα ζεύγος γραμμών ανά κατεύθυνση). Το PRI κοινώς αναφέρεται ως 23B+D ή 30B+D (στην Αμερική ή στην Ευρώπη, αντιστοίχως). Τέλος έχει εφαρμοσθεί η ακόλουθη συνάθροιση καναλιών σε σχηματισμό καναλιών H:

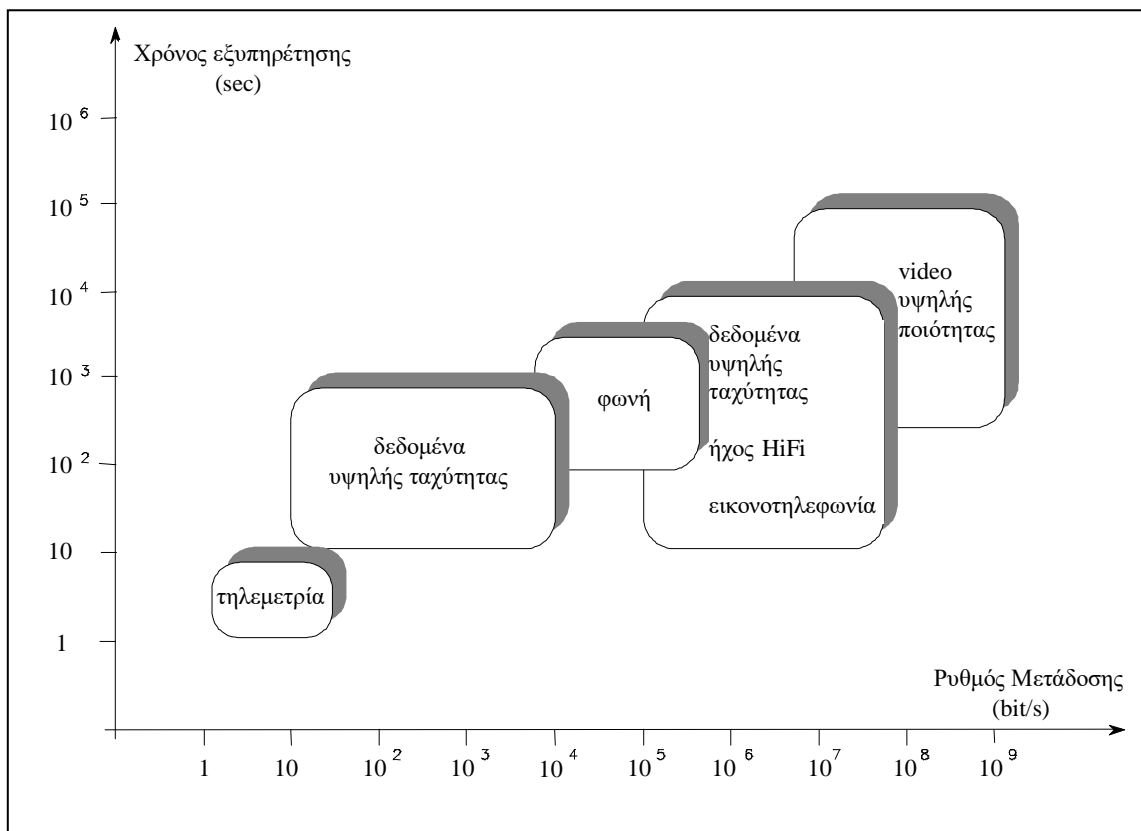
- H0 = 384 kbit/s (6 B channels)
- H10 = 1472 kbit/s (23 B channels)
- H11 = 1536 kbit/s (24 B channels)
- H12 = 1920 kbit/s (30 B channels) – International ([E-carrier](#)) only.

Ο κώδικας γραμμής που χρησιμοποιεί ο ΟΤΕ στην περίπτωση της Πρωτεύουσας Πρόσβασης είναι HDB3.

Η ITU-T κατέταξε τις πιθανές υπηρεσίες ευρείας ζώνης σε 4 κατηγορίες:

- 1) Υπηρεσίες Συνομιλίας (**Conversational Service**,
- 2) Υπηρεσίες Ανάκτησης Πληροφοριών (**Retrieval Services**),
- 3) Υπηρεσίες Μηνυμάτων (**Messaging Services**),
- 4) Υπηρεσίες Διανομής Πληροφοριών (**Distribution Services**): α) χωρίς την μεσολάβηση του χρήστη (without user-individual presentation control) (non interactive) β) με την μεσολάβηση του χρήστη (with user-individual presentation control) (interactive).

Οι 3 πρώτες κατηγορίες είναι "interactive" υπηρεσίες. Στο σχήμα 1.3.1 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα που δείχνει την ποικιλία των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, και στον πίνακα 1.3.1 παρουσιάζονται παραδείγματα υπηρεσιών σε κάθε μια από τις 4 κατηγορίες, όπως δίνονται από την ITU-T.



Σχήμα 1.3.1: Ποικιλία Τηλεπικοινωνιακών Υπηρεσιών, όπως εκφράζεται από τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης (bandwidth) και την μέση τιμή του χρόνου εξυπηρέτησης κάθε υπηρεσίας.

Πίνακας 1.3.1 Υπηρεσίες B-ISDN (B-ISDN Services)

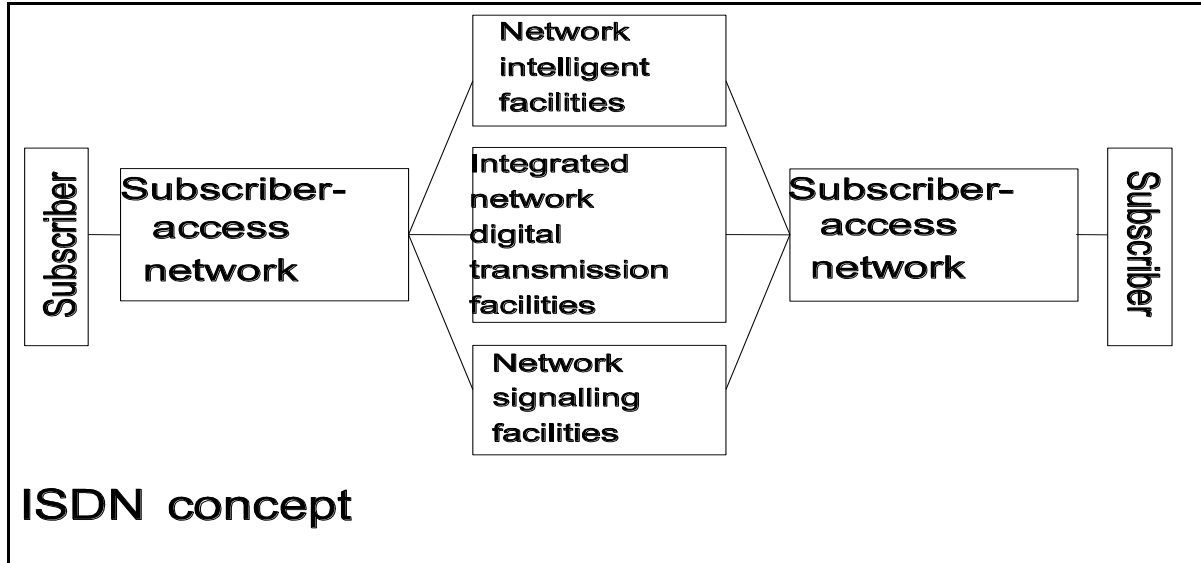
Είδος Πληροφορίας	Παραδείγματα υπηρεσίας Ευρείας Ζώνης
Συνομιλίας (Conversational)	
Κινούμενες εικόνες και ήχος	Εικονοτηλεφωνία ευρείας ζώνης. Ευρυζωνική υπηρεσία εικονοδιάσκεψης (video conference) Υπηρεσίες εικόνας για επίβλεψη – παρακολούθηση. Υπηρεσίες μετάδοσης πληροφοριών εικόνας ή ήχου.
Ήχος	Σήματα προγραμμάτων πολλαπλού ήχου.
Δεδομένα	Μετάδοση ψηφιακής πληροφορίας πολλαπλού ήχου. Υπηρεσίες μεταφοράς αρχείων μεγάλου όγκου. Τηλε-υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας.
Έγγραφα	Τηλεομοιοτυπία υψηλής ταχύτητας. Υπηρεσίες επικοινωνίας με εικόνα υψηλής ανάλυσης. Υπηρεσίες επικοινωνίας με έγγραφα.
Μηνύματος (Messaging)	
Με Κινούμενη εικόνα και ήχο	Υπηρεσία εικονο-ταχυδρομείου.
Με έγγραφα	Υπηρεσία ταχυδρομείου με έγγραφα.
Ανάκτησης (Retrieval)	
Κειμένων, δεδομένων, γραφικών, ήχου, σταθερών (ακίνητων) και κινουμένων εικόνων	Τηλεεικονογραφία (videotex) ευρείας ζώνης. Υπηρεσίες ανάκτησης εικόνων υψηλής ευκρίνειας. Υπηρεσίες ανάκτησης δεδομένων. Υπηρεσίες ανάκτησης εγγράφων.
Διανομής (Distribution)	
Χωρίς έλεγχο από τον χρήστη.	
Κινουμένων εικόνων και ήχου Κειμένων, γραφικών και σταθερών εικόνων Δεδομένων Εικόνων	Υπηρεσίες διανομής πληροφοριών εικόνων. Υπηρεσίες διανομής εγγράφων. Υπηρεσίες διανομής δεδομένων με υψηλή ταχύτητα. Υπηρεσίες διανομής τηλεοπτικού σήματος. Συνδρομητική – καλωδιακή τηλεόραση (PAY TV). Υπηρεσίες διανομής τηλεοπτικού σήματος υψηλής ποιότητας. Υπηρεσίες διανομής τηλεοπτικού σήματος υψηλής ευκρίνειας.
Διανομής (Distribution)	
Με έλεγχο από τον χρήστη (κάθε χρήστη ξεχωριστά).	
Κειμένου, γραφικών, ήχου και σταθερών εικόνων	Τηλεοπτική βιντεογραφία με εκπομπή πλήρους καναλιού (Full-channel broadcast videography).

1.3.2 Ιδεατή Δομή του N-ISDN (ISDN)

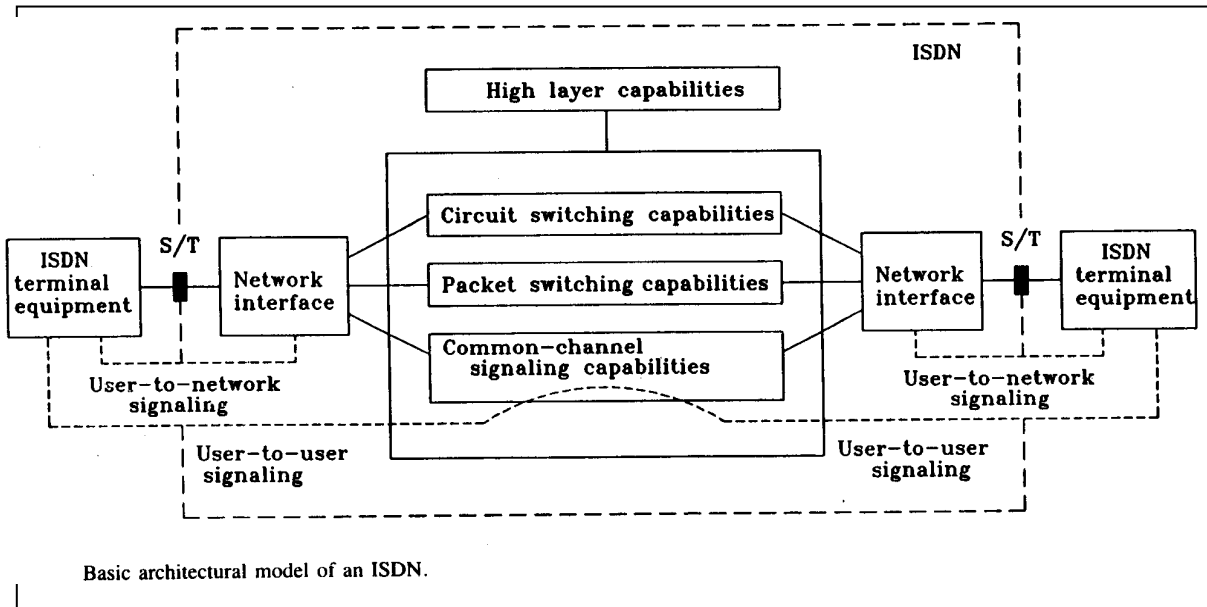
Ένα πρώτο βήμα, παρότι μικρό, προς ένα ενιαίο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο είναι η εισαγωγή του ψηφιακού δικτύου ενοποιημένων υπηρεσιών στενής ζώνης, N-ISDN (Narrowband ISDN), στο οποίο φωνή και δεδομένα μεταδίδονται από ένα κοινό μέσο. Το δίκτυο αυτό δεν μπορεί να μεταδώσει τηλεοπτικά σήματα λόγω του περιορισμένου εύρους ζώνης που διαθέτει, γι' αυτό και εξακολουθεί να είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός ειδικού τηλεοπτικού δικτύου. Ακόμη όμως και στο N-ISDN η ενοποίηση των υπηρεσιών στενής ζώνης όπως η φωνή και τα δεδομένα μπορεί να θεωρηθεί μάλλον περιορισμένη, παρόλο που η πρόσβαση στο δίκτυο είναι πλήρως ολοκληρωμένη είτε με διεπαφή (interface) βασικής πρόσβασης (basic access) είτε με διεπαφή πρωτεύοντος ρυθμού (primary rate interface). Ωστόσο, μέσα στο δίκτυο, για ένα χρονικό διάστημα θα υπάρχει ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων και ένα δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος, σαν δύο επικαλυπτόμενα δίκτυα, ανίκανα όμως να μεταδώσουν άλλου είδους κίνηση απ' αυτή για την οποία έχει σχεδιαστεί το καθένα (φωνή ή δεδομένα βάσει των πρωτοκόλλων X.25, όχι και τα δύο).

Μια άλλη σημαντική συνέπεια της εξειδίκευσης υπηρεσιών είναι η ανικανότητα του δικτύου να εκμεταλλευτεί σωστά την πρόοδο που σημειώνεται στην τεχνολογία και στους αλγόριθμους κωδικοποίησης. Παραδείγματος χάριν, οι σημερινοί ψηφιακοί διακόπτες που χρησιμοποιούνται στο N-ISDN είναι σχεδιασμένοι για ρυθμούς των 64 kbit/s, για κανάλια φωνής. Λαμβάνοντας όμως υπ' όψιν τον σημερινό ρυθμό ανάπτυξης της τεχνολογίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και της κωδικοποίησης ομιλίας, θα έχουμε στο μέλλον ρυθμούς της τάξεως των 32 kbit/s (**ADPCM - Adaptive Differential Pulse Code Modulation**), ή των 13 kbit/s (για δίκτυα κινητής τηλεφωνίας όπως τα **GSM – Global System for Mobile**), ή ακόμη χαμηλότερους. Οι υπάρχουσες διατάξεις μεταγωγής και τα συστήματα μετάδοσης δεν θα ταιριάζουν πλήρως στους ρυθμούς αυτούς και επομένως χρειάζονται προσαρμογή, ή δεν θα χρησιμοποιούν αποδοτικά τους εσωτερικούς πόρους των, γι' αυτούς τους χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης των bits.

Τα σχήματα της επομένης σελίδας αναπαριστούν την ιδεατή δομή του N-ISDN (σχ. 1.3.2α) και την βασική αρχιτεκτονική του N-ISDN (basic architectural model of an ISDN, σχ. 1.3.2β), η οποία μπορεί να υλοποιηθεί με την ενοποίηση των υπάρχόντων δικτύων μεταγωγής κυκλωμάτων και πακέτων.



Σχήμα 1.3.2α: Ιδεατή δομή του ISDN



Σχήμα 1.3.2β: Βασική Αρχιτεκτονική του N-ISDN

1.3.3 Ιδεατή Δομή του B-ISDN

Στο σχεδιασμό του μελλοντικού δικτύου B-ISDN θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν όλες οι υπάρχουσες υπηρεσίες, αλλά και υπηρεσίες που πιθανόν να εμφανιστούν στο μέλλον. Ας υποθέσουμε ότι ένα δίκτυο είναι σχεδιασμένο να μεταδίδει μια συγκεκριμένη υπηρεσία, λόγω χάριν υπηρεσία μεταγωγής κυκλώματος με ρυθμό καναλιού των 70 Mbit/s. Ας υποθέσουμε επίσης ότι το δίκτυο αυτό έχει ειδικώς σχεδιασθεί για να μεταδίδει με αυτόν τον ρυθμό bits. Αργότερα όμως εμφανίζεται στο προσκήνιο μια νέα τηλε-υπηρεσία, της οποίας ο ρυθμός είναι 40 Mbit/s. Αυτό θα σήμαινε ότι το δίκτυο που είναι σχεδιασμένο για την υπηρεσία των 70 Mbit/s μπορεί να μεταδώσει την νέα τηλε-υπηρεσία, αλλά καθόλου αποδοτικά: μόνον 40 από τα 70 Mbit/s που είναι διαθέσιμα θα μεταδίδονται. Το παράδειγμα αυτό δεν είναι εξωπραγματικό. Είναι πολύ πιθανόν να εμφανισθούν στο μέλλον νέες υπηρεσίες που δεν έχουν ακόμη προσδιορισθεί και των οποίων οι απαιτήσεις είναι άγνωστες σήμερα.

Όπως μπορούμε να συμπεράνουμε από τα ανωτέρω παραδείγματα, τα σημερινά δίκτυα είναι πολύ εξειδικευμένα και έχουν πολλά μειονεκτήματα, σημαντικότερα από τα οποία είναι:

- *Εξάρτηση Υπηρεσίας.*

Κάθε δίκτυο μπορεί να μεταδίδει μόνον μια συγκεκριμένη υπηρεσία (τύπο πληροφορίας) για την οποία έχει ειδικά σχεδιαστεί. Μόνο σε ειδικές περιπτώσεις και με την χρησιμοποίηση κατάλληλων οργάνων (π.χ. modems) μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλη υπηρεσία, με αναποτελεσματική χρήση των πόρων του.

- *Έλλειψη Ευελιξίας.*

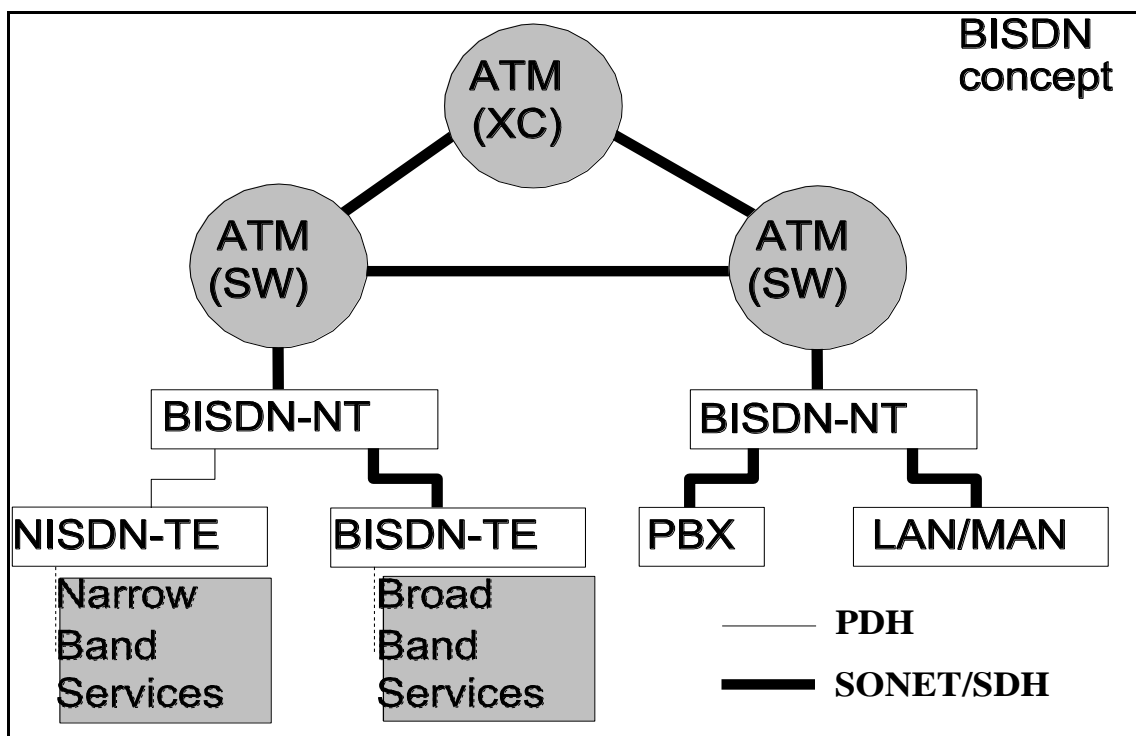
Η πρόοδος στην οπτικοακουστική κωδικοποίηση, στην κωδικοποίηση ομιλίας, στους αλγορίθμους συμπίεσης και στην τεχνολογία **VLSI (Very Large Systems Integration)**, επιδρούν στο ρυθμό μετάδοσης κάθε υπηρεσίας, με αποτέλεσμα την αλλαγή των απαιτήσεων της υπηρεσίας από το δίκτυο. Στο μέλλον θα εμφανιστούν νέες υπηρεσίες με άγνωστες σήμερα απαιτήσεις. Προς το παρόν είναι ακόμη αβέβαιο, π.χ. τι απαιτήσεις ρυθμού μετάδοσης bits θα χρειαστεί η τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας, HDTV. Ένα εξειδικευμένο δίκτυο αντιμετωπίζει μεγάλες δυσκολίες (ακαμψία) στην προσαρμογή των αλλαγών ή στην εμφάνιση νέων υπηρεσιών.

- *Έλλειψη αποδοτικότητας.*

Οι εσωτερικοί διαθέσιμοι πόροι δεν χρησιμοποιούνται αποδοτικά. Πόροι που είναι διαθέσιμοι σε ένα δίκτυο δεν μπορεί να γίνουν διαθέσιμοι σε κάποιο άλλο δίκτυο.

Λαμβάνοντας υπόψη όλ' αυτά τα θέματα της εξάρτησης από τις υπηρεσίες, της ευελιξίας και της διάθεσης των πόρων, καταλήγουμε στο πολύ σημαντικό συμπέρασμα, ότι στο μέλλον θα πρέπει να υπάρχει

ένα μόνο δίκτυο (B-ISDN) και να είναι ανεξάρτητο από τον τύπο της παρεχόμενης υπηρεσίας. Αυτό προϋποθέτει ότι το ενιαίο αυτό δίκτυο θα έχει τη δυνατότητα μετάδοσης όλων των υπηρεσιών, κατανέμοντας όλους τους διαθέσιμους πόρους του (resources) μεταξύ των διαφορετικών υπηρεσιών. Το κάτωθι σχήμα (σχ. 1.3.3) παρουσιάζει την ιδεατή δομή του B-ISDN.



Σχήμα 1.3.3 Ιδεατή δομή του B-ISDN

Ένα ενιαίο δίκτυο ανεξάρτητο υπηρεσιών, όχι μόνο δε θα έχει τα μειονεκτήματα που περιγράψαμε ανωτέρω, αλλά θα έχει και τα ακόλουθα βασικά πλεονεκτήματα:

- *Ευελιξία και ασφάλεια στις μελλοντικές εξελίξεις.*

Η πρόοδος στις τεχνικές κωδικοποίησης και στην τεχνολογία VLSI ενδεχομένως να μειώσουν το εύρος ζώνης των υπάρχοντων τηλε-υπηρεσιών. Ένα δίκτυο ικανό να μεταφέρει όλα τα είδη των υπηρεσιών θα πρέπει να έχει την ικανότητα να προσαρμόζεται εύκολα στις αλλαγές, ή στις νέες απαιτήσεις.

- *Αποδοτικότητα στην εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων.*

Όλοι οι διαθέσιμοι πόροι του δικτύου θα μπορούν να κατανεμηθούν μεταξύ όλων των υπηρεσιών,

ούτως ώστε να προκύπτει ο βέλτιστος καταμερισμός των πόρων του, στατιστικά.

- *Οικονομία.*

Αφού πρέπει να σχεδιάσουμε, να κατασκευάσουμε και να συντηρούμε μόνο ένα δίκτυο, το συνολικό κόστος σχεδιασμού, κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης θα είναι μικρότερο.

Η μετάβαση από ένα μεγάλο αριθμό δικτύων σε ένα και μόνο δίκτυο IBCN έγινε δυνατή μετά από ένα μεγάλο αριθμό εξελίξεων.

Μία μελέτη που έγινε στο ερευνητικό πρόγραμμα RACE δείχνει ότι στην αρχή οι οικιακοί και οι επιχειρηματικοί συνδρομητές θα συνεχίσουν να είναι ξεχωριστοί. Οι οικιακοί συνδρομητές θα έχουν το αναλογικό CATV δίκτυο όπως και ένα ξεχωριστό δίκτυο τηλεφώνου και videotex. Πριν από την εισαγωγή των ψηφιακών τεχνικών, όπως ψηφιακή επεξεργασία στη συσκευή της οικιακής τηλεόρασης και ψηφιακή μετάδοση πληροφοριών video στον κεντρικό σταθμό της CATV, θα τους δοθεί η δυνατότητα μιας εξελιγμένης υπηρεσίας CATV (pay TV - pay TV ήδη προσφέρεται στην Αμερική και Ευρώπη π.χ. Δανία). Ταυτόχρονα με την εμφάνιση των ψηφιακών τεχνικών στον κόσμο της τηλεόρασης το τηλεφωνικό δίκτυο θα δέχεται σταδιακά υπηρεσίες ISDN και θα συμπεριλαμβάνει και χαμηλής ταχύτητας videophones. Το επόμενο βήμα θα είναι η ψηφιακή τηλεόραση, με αποκορύφωμα την ενοποίηση όλων των υπηρεσιών σε ένα ενιαίο IBCN δίκτυο. Για τους συνδρομητές επιχειρήσεων η πρώτη ολοκλήρωση θα γίνει μέσω του N-ISDN για όλες τις υπηρεσίες χαμηλού ρυθμού συμπεριλαμβανομένων φωνής, δεδομένων, χαμηλής ταχύτητας videophone, facsimile κ.λ.π. Ταυτόχρονα θα εμφανιστούν γραμμές μεταφοράς δεδομένων υψηλής ταχύτητας με απώτερο σκοπό την ολοκλήρωση όλων των interactive υπηρεσιών υψηλής ταχύτητας. Στο τελικό στάδιο θα γίνει η ολοκλήρωση των interactive και κατανεμημένων υπηρεσιών.

1.4 Πρόοδος στην Τεχνολογία: Τεχνολογική Ωθηση

Ο ορισμός ενός δικτύου ανεξαρτήτου υπηρεσίας έχει επηρεαστεί από την εξέλιξη δύο σημαντικών παραγόντων που είναι κλειδιά σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα: τεχνολογία και φιλοσοφία συστημάτων. Και στους δύο παράγοντες έχει σημειωθεί πάρα πολύ μεγάλη πρόοδος που καθιστά εφικτή την ανάπτυξη συστημάτων με πολύ οικονομικό τρόπο, που μερικά χρόνια πριν ήταν αδύνατο ή οικονομικά ασύμφορο να υλοποιηθούν. Αυτές οι δύο παράμετροι δεν εξελίχθηκαν ανεξάρτητα, αλλά ωθώντας η μία την άλλη.

1.4.1 Πρόοδος στην Τεχνολογία

Τα τελευταία χρόνια μεγάλη τεχνολογική πρόοδος έχει σημειωθεί τόσο στο πεδίο της ηλεκτρονικής όσο και στο πεδίο της οπτικής. Αυτή η πρόοδος θα επιτρέψει την οικονομική ανάπτυξη νέων τηλεπικοινωνιακών δικτύων πολύ υψηλών ταχυτήτων.

1.4.1.1 Τεχνολογία ημιαγωγών (semi-conductors)

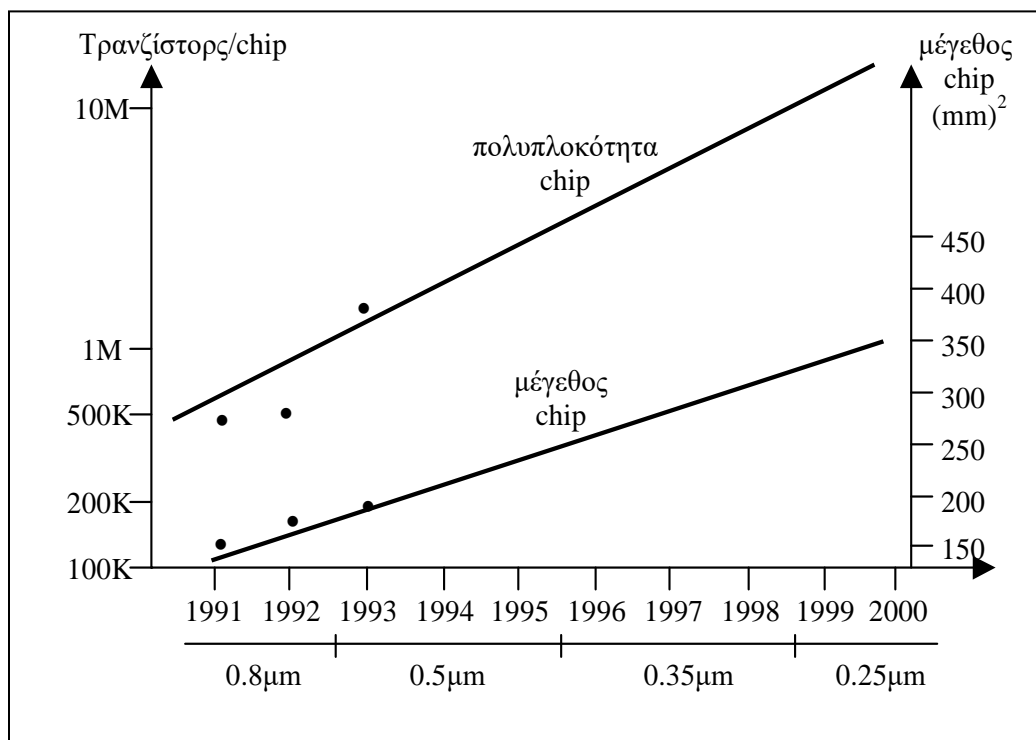
Συστήματα επικοινωνιών ευρείας ζώνης μπορούν να αναπτυχθούν βάσει διαφορετικών τεχνολογιών: την πιο ελπιδοφόρα τεχνολογία **CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)**, την τεχνολογία **διπολικού πυριτίου (Silicon Bipolar, ECL)** και την τεχνολογία **Γαλλίου-Αρσενίου (GaAs)**.

Η τεχνολογία CMOS είναι προς το παρόν η πιο ελπιδοφόρα, διότι επιτρέπει υψηλή πολυπλοκότητα και σχετικά υψηλές ταχύτητες (μέχρι 200 με 300 Mbit/s) χρησιμοποιώντας γεωμετρία τάξεως μικρότερης 1 μ (submicron geometries). Οι μικρής ισχύος προδιαγραφές της CMOS είναι ιδιαίτερος σημαντικές και επιτρέπουν την υλοποίηση υψηλής πολυπλοκότητας και υψηλής ταχύτητας συστημάτων σε chip πολύ μικρής επιφάνειας.

Επίσης, η πολυπλοκότητα των chips CMOS συνεχώς αυξάνει, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4.1.1. Στο σχήμα αυτό βλέπουμε ότι καθώς το μέγεθος συνεχώς μειώνεται με την πάροδο των ετών, η πολυπλοκότητα σε ένα chip συνεχώς αυξάνει. Η πολυπλοκότητα του chip σε πύλες εξαρτάται όχι μόνο από το μέγεθος, αλλά επίσης και από την κανονικότητα του chip. Παραδείγματος χάριν, chips μνήμης με πολύ κανονική σχηματομορφή (patterns) περιέχει πολύ περισσότερα τρανζίστορ απ' ό,τι chips με τυχαία λογική. Με αυτή την αυξανόμενη πολυπλοκότητα ανά chip, το κόστος ενός συστήματος μπορεί εύκολα να μειωθεί, καθόσον η μεγάλη ολοκλήρωση θα επιτρέψει τη συνεχή συρρίκνωση του μεγέθους του συστήματος ή την αύξηση των δυνατών λειτουργιών, διατηρώντας σταθερό το κόστος.

Δεν υπάρχει κάποια ένδειξη ότι η τάση αύξησης της πολυπλοκότητας ανά chip θα σταματήσει σύντομα, επιτρέποντας στα μελλοντικά συστήματα να παρέχουν πλούσια λειτουργικότητα.

Τεχνολογίες δίπολων πυριτίου, όπως **ECL (Emitter Coupled Logic)**, θα χρησιμοποιηθούν σε υψηλής ταχύτητας αναλογικά και ψηφιακά κυκλώματα έχοντας μικρή προς μέτρια πολυπλοκότητα. Περαιτέρω βελτίωση στην ταχύτητα και στην κατανάλωση ενέργειας αναμένεται τα προσεχή έτη (Reiner, 1986). Η τεχνολογία ECL επιτυγχάνει προσφάτως ταχύτητες μεταξύ 5 και 10 GHz, καθιστώντας την ιδιαίτερος κατάλληλη για υψηλής ταχύτητας συστήματα μετάδοσης.



Σχήμα 1.4.1.1 Πολυπλοκότητα των chips CMOS

Ένας συνδυασμός των CMOS και ECL, αποκαλούμενος **BICMOS (Bipolar CMOS)**, συνδυάζει τα πλεονεκτήματα και των δύο τεχνολογιών, με υψηλής ταχύτητας οδηγητές και ένα πυρήνα CMOS μικρής ισχύος και υψηλής πολυπλοκότητας. Αυτή η τεχνολογία έχει καλά αποτελέσματα σε περιοχές όπου απαιτείται συνδυασμός υψηλής ταχύτητας και υψηλής πολυπλοκότητας.

Προς το παρόν, ταχύτητες ακόμη μεγαλύτερες απ' αυτές που επιτυγχάνει η ECL μπορούν να επιτευχθούν με την τεχνολογία GaAs. Όμως η τεχνολογία GaAs δεν έχει ωριμάσει τόσο όσο του πυριτίου και ως εκ τούτου έχει μερικά μειονεκτήματα όσον αφορά στο κόστος, σε σύγκριση με την τεχνολογία πυριτίου. Επομένως, αναμένεται ότι στο άμεσο μέλλον δε θα είναι δυνατή η ανάπτυξη υψηλής πολυπλοκότητας chips GaAs, σε μια τιμή συγκρίσιμη με τα chips πυριτίου.

1.4.1.2 Οπτική τεχνολογία

Η οπτική τεχνολογία (τεχνολογία οπτικών ινών) επίσης εξελίσσεται αρκετά ραγδαία. Η οπτική ίνα έχει εγκατασταθεί εδώ και αρκετά χρόνια, σε συστήματα μετάδοσης εσωτερικού χώρου. Σε πολλές περιπτώσεις, ήδη εφαρμόζεται οπτική ίνα, σε τοπικούς βρόχους (local loop). Οι οπτικές ίνες που θα χρησιμοποιηθούν στο B-ISDN πιθανόν να είναι μονοτροπικού τύπου, επειδή οι δυνατότητες μετάδοσης μεγάλου εύρους ζώνης είναι σχεδόν απεριόριστες (50 THz).

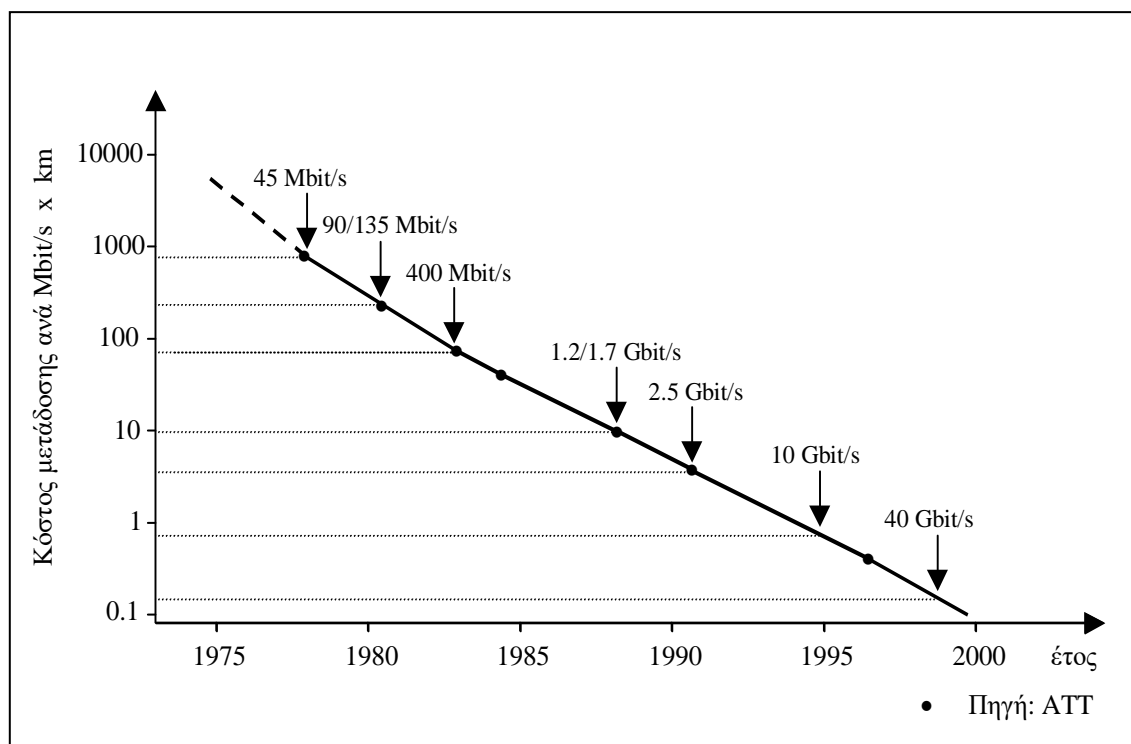
Τρεις είναι οι παράμετροι της μετάδοσης που συνεχώς βελτιώνονται: ο ρυθμός μετάδοσης των bits, η απόσταση και η ποιότητα της μετάδοσης (Cohen, 1986). Συστήματα πολλών gigabit δυνάμενα να μεταδώσουν πληροφορία σε απόσταση εκατοντάδων χιλιομέτρων με πολύ χαμηλούς ρυθμούς λαθών (bit error rate) έχουν αναφερθεί από διάφορες πηγές (Kimura, 1986), (Hanke, 1987).

Αυτά τα υψηλής χωρητικότητας συστήματα ακόμη απαιτούν μάλλον δαπανηρές τερματικές συσκευές (ακριβούς lasers, οπτικούς και ηλεκτρικούς δέκτες, ...). Η εξέλιξη αυτών των συστημάτων δείχνεται στο σχήμα 1.4.1.2. Στο σχήμα αυτό βλέπουμε ότι το γινόμενο του ρυθμού μετάδοσης των bits επί την απόσταση αυξάνεται ταχέως με την πάροδο των ετών, καθώς νέες οπτικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται.

Στο μέλλον, αυτά τα πολύ υψηλής χωρητικότητας συστήματα μεγάλων αποστάσεων θα χρησιμοποιούνται με επιτυχία στα υπεραστικά συστήματα μετάδοσης, ελαττώνοντας έτσι το κόστος της υπεραστικής μετάδοσης σε ένα δίκτυο ευρείας ζώνης, σε τιμή συγκρίσιμη προς το κόστος της υπεραστικής μετάδοσης των σημερινών τηλεφωνικών δικτύων.

Αναφορικά με τις πηγές και τους δέκτες φωτός έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος και συνεχώς αναφέρονται βελτιώσεις (Cheung, 1987). Αυτές κυμαίνονται από τη χρήση χαμηλού κόστους με **διόδους φωτοεκπομπής, LED (Light Emitting Diodes)**, για ρυθμούς μέχρι 600 Mbit/s, έως τη χρήση φθηνών **οπτικών δίσκων (Lasers CD - Compact Disk)** των 800 nm παραθύρου μέχρι χαμηλού κόστους lasers των 1500 nm παραθύρου.

Για τους συνδρομητικούς βρόχους, μιας περιορισμένης απόστασης (ολίγων χιλιομέτρων) και μικρότερων απαιτήσεων εύρους ζώνης (λίγες εκατοντάδες Mbit/s), αυτές οι εναλλακτικές λύσεις έχουν εφαρμοσθεί στις τερματικές συσκευές των χρηστών. Οι φθηνές λύσεις θα επιτρέψουν την οικονομική εισαγωγή των συστημάτων αυτών στους τοπικούς (συνδρομητικούς) βρόχους στα μέσα της δεκαετίας του '90, π.χ. για ρυθμούς της τάξεως των 600 Mbit/s και για μετάδοση μέχρι 10 km (De Prycker, 1992), (Shumate, 1991).



Σχήμα 1.4.1.2 Τάσεις του κόστους της οπτικής μετάδοσης

Ας εξετάσουμε όμως τώρα τα συστατικά της οπτικής τεχνολογίας με περισσότερη λεπτομέρεια.

1) Ο Οπτικός Πομπός

Ο οπτικός πομπός (**optical transmitter**) είναι μια διάταξη η οποία μετατρέπει ηλεκτρικούς παλμούς σε οπτικούς. Η διάταξη αυτή χαρακτηρίζεται από την οπτική ισχύ (όσο πιο υψηλή τόσο το καλύτερο), το χρόνο ανύψωσης (όσο πιο χαμηλός τόσο το καλύτερο), το κεντρικό μήκος κύματος, και τη διακύμανση του μήκους κύματος, μεταξύ μεγίστου και ελαχίστου (όσο πιο κοντά βρίσκονται αυτές οι δύο τιμές τόσο το καλύτερο).

Στις διόδους **lasers** οι παράμετροι ελέγχονται καλύτερα, η οπτική ισχύς είναι υψηλότερη, και ο χρόνος ανύψωσης είναι μικρός. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο τα lasers είναι ιδανικά για διακυμάνσεις πολλών χιλιάδων bits. Τα σύμφωνα lasers έχουν την ικανότητα να μεταβιβάζουν μήκη κύματος πολύ στενής ζώνης. Οι διόδοι φωτοεκπομπής (LEDs) μεταβιβάζουν μήκη κύματος ευρύτερης ζώνης, είναι πιο φτηνά, και εξυπηρετούν καλύτερα διακυμάνσεις λιγότερων bits από τους πομπούς των laser.

2) Ο Δέκτης

Ο οπτικός δέκτης (**optical receiver**) είναι μια διάταξη η οποία μετατρέπει οπτικούς παλμούς σε ηλεκτρικούς. Οι διατάξεις αυτές (λέγονται και φωτοανιχνευτές - **photodetectors**) κατασκευάζονται είτε από υλικό το οποίο εμποδίζει τη διέλευση του φωτός είτε από ημιαγωγούς. Οι ανιχνευτές, για διακυμάνσεις πολλών χιλιάδων bits, πρέπει να έχουν υψηλή ευαισθησία στην οπτική ισχύ, πολύ γρήγορο (response time) χρόνο ανταπόκρισης (γρήγοροι χρόνοι ανόδου και καθόδου), και το εύρος μήκους κύματος στο οποίο ανταποκρίνονται να ταιριάζει με το εύρος του μεταδιδόμενου μήκους κύματος.

Τέτοιες προηγμένες τεχνολογίες είναι η **Positive-Intrinsic-Negative (PIN) φωτοδίοδος** και η **Avalanche Photo-Diode (APD) φωτοδίοδος**.

3) Η Ίνα ως Μέσο

Το μέσο που χρησιμοποιείται για να καθοδηγήσει τους οπτικούς παλμούς είναι η γυάλινη ίνα μεγάλης καθαρότητας. Η γυάλινη ίνα έναντι του χάλκινου καλωδίου, μεταφέρει περισσότερα bits πιο αξιόπιστα, με λιγότερα λάθη, και σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Αυτό επιτυγχάνεται ελέγχοντας μερικούς παράγοντες όπως:

- Τη γεωμετρία της ίνας και ιδιαίτερα τη διάμετρό της ώστε να έχει τη μικρότερη πιθανή απόκλιση κατά μήκος (πολλών μιλίων).
- Την πυκνότητα ακαθαρσιών μέσα στο γυαλί, διότι οι ακαθαρσίες διασκορπίζουν τα φωτόνια με αποτέλεσμα την αραίωση του οπτικού σήματος.
- Την ακτινική διανομή του δείκτη διάθλασης στην ίνα έτσι ώστε οι οπτικές ακτίνες να μην διαφεύγουν από την επιφάνεια και διασκορπίζουν το σήμα. Οι ακτίνες ταξιδεύουν γρηγορότερα σε ευθεία αξονική κατεύθυνση παρά σε κατεύθυνση με γωνίες. Ευρύνοντας, όμως, το πλάτος του οπτικού παλμού και μειώνοντας τον αριθμό των bits, έχουμε διασπορά. Είδη χρησιμοποιούνται ίνες ικανές να μεταβιβάζουν μέχρι και 10 Gbps.
- Τη διαφάνεια (transparency) του γυάλινου υλικού για ένα ευρύ φάσμα μήκους κύματος. Οι σύγχρονες ίνες απλού-ρυθμού μεταβιβάζουν μήκη κύματος μεταξύ 1300-1550 nm και απορροφούν μήκη κύματος μεταξύ 1340-1440 nm. Αυτή η απορρόφηση οφείλεται σε μόρια νερού τα οποία παγιδεύονται στην ίνα κατά την κατασκευή. Έχει αναπτυχθεί ίνα (ονομάζεται AllWave) η οποία χρησιμοποιείται σε όλο το φάσμα μεταξύ 1289-1625 nm.

Ο πυρήνας της γυάλινης ίνας είναι πολύ λεπτός. Έτσι, κατά την κατασκευή λαμβάνει χώρα μια διαδικασία προκειμένου να αποφευχθεί η διαφυγή του φωτός. Η ίνα είναι φτιαγμένη κατ' αντιστοιχία με το χάλκινο καλώδιο που αποτελείται από ομόκεντρους κύκλους καθένας κατασκευασμένος και από

διαφορετικό υλικό. Ο πυρήνας (της ίνας) δημιουργείται από διοξείδιο του πυριτίου μεγάλης καθαρότητας με ένα καλά ελεγχόμενο δείκτη διάθλασης. Είναι επιστρωμένος με επικάλυψη χαμηλότερου δείκτη διάθλασης ώστε το οπτικό σήμα να παραμένει μέσα σε αυτόν. Η επικάλυψη είναι σκεπασμένη με μια γυαλιστερή επιφάνεια, και αυτή περιβάλλεται από ακόμη μια για αύξηση της δύναμης. Η τελευταία είναι τυλιγμένη με ένα πλαστικό θερμομονωτικό περίβλημα. Το τελικό προϊόν μοιάζει με ένα λεπτό κοινό χάλκινο καλώδιο.

Τα καλώδια των οπτικών ινών είναι πολλαπλού ή απλού ρυθμού. Η διάμετρος του πυρήνα πολλαπλού ρυθμού είναι 50 ή 62.5 μm ενώ του απλού περίπου 9 μm . Η προσθήκη επικαλύψεων στον πυρήνα αυξάνει τη διάμετρο σε 125 μm .

Η οπτική ίνα απαιτεί διαφορετική μεταχείριση από αυτή του χάλκινου καλωδίου. Για παράδειγμα, αντίθετα προς το χαλκό, η ίνα μπορεί να λυγίζει σε μεγάλες ακτίνες. Δύο ίνες δεν συνδέονται περιστρέφοντας αυτές μεταξύ τους, όπως γίνεται με το χαλκό, αλλά τα άκρα τους στιλβώνονται με ειδικά εργαλεία και εκεί τοποθετούνται ειδικοί συνδετήρες (connectors). Η σύζευξη γίνεται με ταιριαστούς συνδετήρες οι οποίοι αυτο-ευθυγραμμίζουν δύο πυρήνες με τρομερή ακρίβεια ώστε το φως περνώντας τη σύνδεση να έχει πολύ μικρές και προβλέψιμες απώλειες μετρούμενες σε decibels.

4) Οπτικός Ενισχυτής

Επειδή ένα οπτικό σήμα διαδιδόμενο σε μια ίνα εξασθενίζει, θα πρέπει να ενισχυθεί ώστε να αντισταθμιστούν οι απώλειες. Η ενίσχυση του οπτικού σήματος είναι μια διαδικασία πολλαπλών βαθμίδων. Το οπτικό σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρονικό, στη συνέχεια ενισχύεται, και μετά μετατρέπεται πάλι σε οπτικό. Η λειτουργία αυτή είναι γνωστή ως ‘αναγέννηση’ (**regeneration**), και είναι σχετικά ακριβή. Αρκετές ‘γεννήτριες’ (αναγεννητές - **regenerators**) μπορούν να υπάρχουν καθ’ όλη την έκταση των συνδεδεμένων ινών. Εν τούτοις, όταν μία γεννήτρια παρουσιάσει βλάβη, η μεταβίβαση διακόπτεται. Ένα σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να ανιχνεύσει τη βλάβη, να αναγνωρίσει τη χαλασμένη γεννήτρια και σε ποία κατεύθυνση παρουσιάστηκε η βλάβη. Συνεπώς, μια ενδεχόμενη βλάβη και η ανίχνευσή της κάνουν τα συστήματα οπτικής επικοινωνίας ακόμα πιο πολύπλοκα.

Άλλη τεχνική ενίσχυσης οπτικού σήματος είναι η χρήση ενός **all-optical-fiber-amplifier (OFA)**. Ο OFA είναι ένα τμήμα ίνας (περίπου 70 m) η οποία περιέχει ως πρόσμιξη το στοιχείο έρβιο (**erbium**) και από την οποία αντλείται φως με μήκος κύματος 980 ή 1480 nm. Η άντληση διεγείρει τα άτομα του ερβίου μέσα στην ίνα. Τότε, όταν ένα οπτικό σήμα, με μήκος κύματος 1530-1565 nm, διαπεράσει την ίνα, αναγκάζει τα άτομα του ερβίου που έχουν διεγερθεί, να εκπέμψουν φωτόνια του ίδιου μήκους κύματος με το σήμα. Αυτό είναι γνωστό ως εκπομπή μετά από διέγερση (**stimulated emission**), και έχει ως επακόλουθο, τα εξερχόμενα φωτόνια να είναι περισσότερα των εισερχομένων. Έτσι δημιουργείται ένα ενισχυμένο οπτικό σήμα. Οι ενισχυτές οπτικών ινών που έχουν ως πρόσμιξη έρβιο είναι επίσης γνωστοί

και ως **Erbium-Doped Amplifiers (EDFAs)**. Οι EDFAs έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν σε διαφορετικά μήκη κύματος, παρουσιάζουν χαμηλές απώλειες σύζευξης με την οπτική ίνα και πολύ μικρή εξάρτηση της απολαβής (του κέρδους ενίσχυσης) από την πόλωση του οπτικού σήματος. Η αργά μεταβαλλομένη δυναμική του κέρδους ενίσχυσης στους EDFAs έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζουν σταθερό κέρδος σε χαμηλές συχνότητες, στοιχείο που τους κάνει ιδανικούς στην περίπτωση της πολυπλεξίας μηκών κύματος **WDM (Wavelength Division Multiplexing)** (πρόκειται για την εφαρμογή της πολυπλεξίας **FDM – Frequency Division Multiplexing** – σε οπτικά δίκτυα). Μειονέκτημα: Τα άτομα του ερβίου που έχουν διεγερθεί, εκπέμπουν φωτόνια “αυθόρμητα” ακόμη και αν κανένα οπτικό σήμα δεν παρίσταται. Αυτό είναι ένα ανεπιθύμητο αποτέλεσμα, το οποίο ελαχιστοποιείται με μονωτές. Με τα σημερινά δεδομένα, το συνολικό κέρδος των OFAs κυμαίνεται στα 30 dB με ισχύ εξόδου περίπου 10 mW. Καλύτεροι OFAs (μικρότερο μήκος κύματος, μεγαλύτερο κέρδος, και μεγαλύτερη ισχύς) αναμένονται στο εγγύς μέλλον.

Ένας άλλος (και πιο πρόσφατος) τύπος οπτικού ενισχυτή είναι ο οπτικός ενισχυτής ημιαγωγού (**Semiconductor Optical Amplifier – SOA**). Ο SOA είναι μια δίοδος laser που η τροφοδοσία του γίνεται με ηλεκτρικό ρεύμα. Η κατασκευή ενός SOA βασίζεται στην τεχνολογία των ημιαγωγών και είναι αρκετά οικονομική. Τα βασικά χαρακτηριστικά των SOAs είναι η ικανότητα λειτουργίας και στα 1300 nm και στα 1500 nm (δηλαδή και στις δύο ζώνες συχνοτήτων – μηκών κύματος – όπου παρουσιάζεται χαμηλή εξασθένιση του σήματος στην οπτική ίνα), η ευκολία προσαρμογής τους με άλλες οπτικές διατάξεις ή κυκλώματα, ενώ σε σύγκριση με τους EDFAs παρουσιάζουν χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος και γρηγορότερη απόκριση απολαβής, της τάξεως των 0,1 με 1,0 psec. Το μικρό μέγεθος των SOA προσφέρει την δυνατότητα ολοκλήρωσής των. Επίσης, ο SOA μπορεί να κατασκευασθεί ώστε να παρέχει ενίσχυση σε ένα εκτενές εύρος ζώνης μηκών κύματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οπτική ενίσχυση κατά μήκος μιας ζεύξης σε αμιγώς οπτικούς αναγεννητές και μετατροπείς μήκους κύματος (χωρίς να απαιτείται οπτικο-ηλεκτρική μετατροπή). Εξάλλου, ο SOA αποτελεί την βάση των αμιγώς οπτικών πυλών. Το μειονέκτημα των SOA είναι ότι παρουσιάζουν υψηλές απώλειες σύζευξης με την οπτική ίνα και υψηλότερο θόρυβο. Οι απώλειες της σύζευξης υπερνικούνται με την παροχή περισσότερης ισχύος εισόδου. Το κέρδος της ενίσχυσης εξαρτάται από την πόλωση του σήματος εισόδου.

Κλείνοντας αναφέρουμε ότι υπάρχουν τρία είδη ενισχυτών: ψηφιακοί ενισχυτές απλού - μήκους κύματος, ψηφιακοί ενισχυτές πολλαπλού - μήκους κύματος (ή πολλαπλού καναλιού), και ενισχυτές για αναλογικές εφαρμογές όπως είναι η καλωδιακή τηλεόραση (CATV).

1.4.2 Πρόοδος στην Φιλοσοφία Σχεδίασης των Συστημάτων (System Concept)

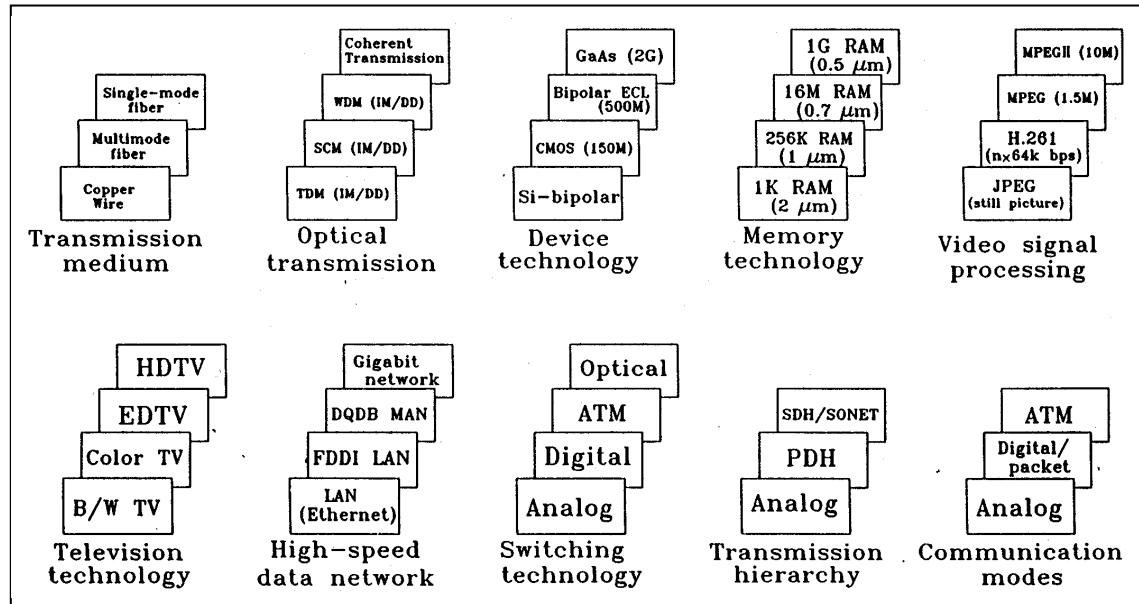
Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, το ιδανικό δίκτυο του μέλλοντος πρέπει να είναι ευέλικτο (ευπροσάρμοστο). Το πιο ευπροσάρμοστο δίκτυο ως προς τις απαιτήσεις εύρους ζώνης και το πιο αποδοτικό ως προς τη χρήση των διαθέσιμων πόρων, είναι το δίκτυο που βασίζεται στην ιδέα μεταγωγής πακέτων. Πράγματι, σ' ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων μπορεί να μεταδοθεί οποιοδήποτε εύρος ζώνης και οι πόροι χρησιμοποιούνται μόνον όταν πρόκειται να μεταδώσουμε χρήσιμη πληροφορία.

Το πρωτόκολλο X.25 όμως, που χρησιμοποιήθηκε ευρέως στα πρώτα δίκτυα μεταγωγής πακέτων, υποφέρει από τη μεγάλη πολυπλοκότητα (των ελέγχων) που απαιτείται, εξ αιτίας της χαμηλής ποιότητας των γραμμών μετάδοσης. Η υψηλή πολυπλοκότητα εισάγει μεγάλες καθυστερήσεις και επομένως δεν επιτρέπει τη μετάδοση υπηρεσιών με αυστηρούς χρονικούς περιορισμούς ή με πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.

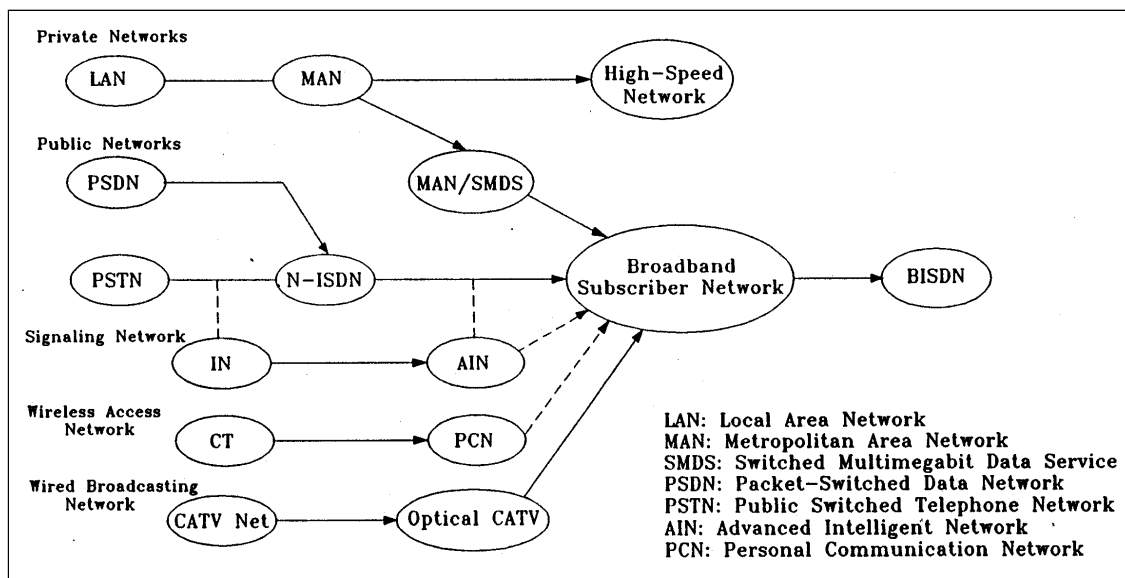
Από την πρώτη εισαγωγή δικτύων μεταγωγής πακέτων που βασίζεται στις αρχές του X.25, έχει επέλθει μεγάλη εξέλιξη στη φιλοσοφία των συστημάτων για αυτά τα (προσανατολισμένα στα πακέτα) δίκτυα. Οι βασικοί λόγοι γι' αυτές τις αλλαγές είναι η ανάγκη μεγαλύτερης προσαρμοστικότητας, η ανάγκη μετάδοσης υπηρεσιών διαφορετικών από τις αμιγείς υπηρεσίες δεδομένων, ιδιαιτέρως υπηρεσιών υψηλού ρυθμού μετάδοσης bits, και η πρόοδος στην τεχνολογία που επιτρέπει την αποτελεσματικού κόστους ανάπτυξη συστημάτων υψηλής ταχύτητας, ποιότητας και μεγάλης πολυπλοκότητας.

Η βασική ιδέα πίσω από την αλλαγή φιλοσοφίας των συστημάτων είναι ότι: λειτουργίες δεν πρέπει να επαναλαμβάνονται στο δίκτυο εάν μπορούμε να εγγυηθούμε την απαιτούμενη ποιότητα μιας υπηρεσίας, όταν οι λειτουργίες αυτές υλοποιηθούν μόνο μια φορά στα άκρα του δικτύου. Αυτή η βασική ιδέα μπορεί να εφαρμοσθεί σε δύο λειτουργίες που προσφέρονται από το δίκτυο: τη **διαφάνεια πληροφορίας** (ή **σημασιολογική διαφάνεια**), και τη **διαφάνεια χρόνου** (ή **χρονική διαφάνεια**).

Τα σχήματα που ακολουθούν δείχνουν: την εξέλιξη της τεχνολογίας (σχήμα 1.4.2α τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών ευρείας ζώνης) και την εξέλιξη - ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιακών δικτύων στο σχήμα 1.4.2β.



Σχήμα 1.4.2α Τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών ευρείας ζώνης



Σχήμα 1.4.2β Ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιακών δικτύων

Σημασιολογική Διαφάνεια (Διαφάνεια Πληροφορίας - Semantic Transparency)

Η διαφάνεια πληροφορίας, ή **σημασιολογική διαφάνεια (information or semantic transparency)** είναι η λειτουργία εκείνη που εξασφαλίζει την ορθή παράδοση στο δέκτη των bits που εκπέμπονται από το πομπό. Φυσικά κανένα δίκτυο δεν είναι ιδανικό και πάντα υπάρχει μια μικρή πιθανότητα να συμβούν λάθη. Την πιθανότητα αυτή την ορίζει η ITU για όλους τους τύπους των δικτύων (π.χ. για το ISDN η πιθανότητα αυτή ορίζεται από την σύσταση Q.513).

Στα αρχικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων η ποιότητα της μετάδοσης ήταν πολύ χαμηλή. Για να εξασφαλίσουμε μια αποδεκτή ποιότητα υπηρεσίας στους τελικούς χρήστες, σε κάθε ζεύξη (ζεύξη προς ζεύξη) διενεργείται έλεγχος σφαλμάτων (βλέπε σχήμα 1.4.3α). Ο έλεγχος σφαλμάτων υποστηρίζεται από το πρωτόκολλο **HDLC (High-Level Data Link Control)**, το οποίο περιλαμβάνει λειτουργίες καθορισμού των ορίων του πλαισίου (τα bits μεταδίδονται κατά πολύ μεγάλες ομάδες, δηλ. πλαίσια), διαφάνειας bit, **ελέγχου σφαλμάτων (CRC – Cyclic Redundancy Check)** και ανάκαμψης σφαλμάτων (error recovery, διόρθωση σφαλμάτων που συνήθως γίνεται με επαναμετάδοση).

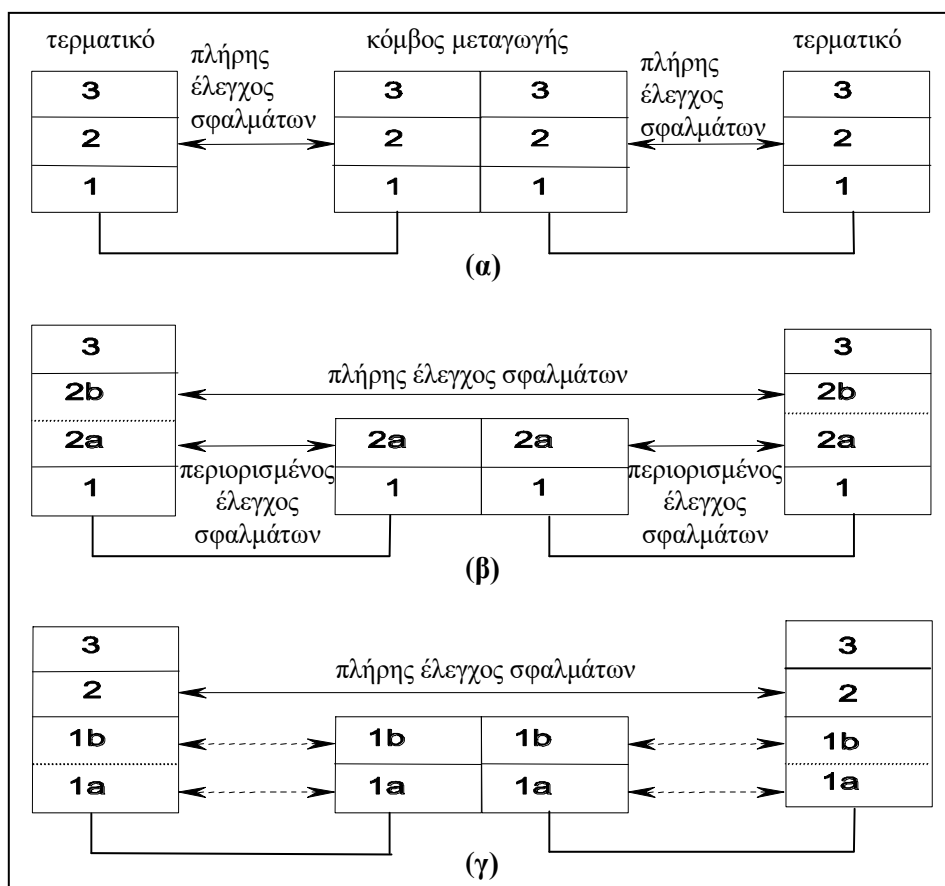
Με την έλευση του ISDN για τις υπηρεσίες στενής ζώνης, βελτιώθηκε η ποιότητα των συστημάτων μετάδοσης και μεταγωγής, με αποτέλεσμα τη μείωση των σφαλμάτων μέσα στο δίκτυο. Σε τέτοιο υψηλής ποιότητας δίκτυο προτείνεται η υλοποίηση μόνο των βασικών λειτουργιών του πρωτοκόλλου HDLC (καθορισμός πλαισίου, διαφάνεια bit και έλεγχος σφαλμάτων) ζεύξη προς ζεύξη (link-by-link), ενώ άλλες λειτουργίες, όπως η ανάκαμψη σφαλμάτων να εκτελούνται στα άκρα του δικτύου (end-to-end). Στο σχήμα 1.4.3β φαίνεται ότι το δεύτερο στρώμα (layer) του **μοντέλου OSI** χωρίζεται σε δυο υποστρώματα: το υπόστρωμα 2a που υποστηρίζει τις βασικές λειτουργίες του δευτέρου στρώματος και το υπόστρωμα 2b που υποστηρίζει τις υπόλοιπες λειτουργίες. Ο τρόπος αυτός σχεδιασμού ονομάζεται **frame-relaying (αναμετάδοση πλαισίου)** (Spencer, 1987) και προσφέρεται από αρκετούς τηλεπικοινωνιακούς φορείς ως νέα έκδοση του X.25 για να επιτύχουμε μεγαλύτερη ικανότητα διεκπεραίωσης (throughput) (2 Mbit/s).

Το υπόστρωμα 2a λειτουργεί ζεύξη προς ζεύξη και το υπόστρωμα 2b στα άκρα του δικτύου. Αυτή η τερματική λειτουργία στο υπόστρωμα 2 ευρίσκεται σε αντίφαση με το μοντέλο OSI, όπου τερματικές λειτουργίες εκτελούνται μόνον από το επίπεδο 4 και άνω. Δε θα επεκτείνουμε την συζήτηση σ' αυτό το σημείο.

Για το ISDN ευρείας ζώνης αυτή η ιδέα επεκτείνεται ακόμη περισσότερο. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιούνται επίσης cells αλλά οι βασικές λειτουργίες του υποστρώματος 2a έχουν μεταταθεί στα άκρα του δικτύου. Αυτή η ιδέα ονομάζεται **ATM: Asynchronous Transfer Mode** (Ασύγχρονος Τρόπος Μετάδοσης) (βλέπε σχήμα 1.4.3γ).

Όπως μπορούμε να δούμε στον πίνακα 1.4.1., οι λειτουργίες που εκτελούνται μέσα στο δίκτυο ελαττώνονται από πλήρη έλεγχο σφαλμάτων στο X.25, στο απόλυτο ελάχιστο στο ATM (Μεταγωγή ATM

cell - cell switching). Αυτό επίσης αντανακλά την πολυπλοκότητα των κόμβων μέσα στο δίκτυο: οι κόμβοι X.25 έχουν μεγάλη πολυπλοκότητα, οι κόμβοι μεταγωγής πλαισίου έχουν μικρή πολυπλοκότητα και επομένως επιτρέπουν μεγαλύτερες ταχύτητες, ενώ οι κόμβοι ATM έχουν τη μικρότερη πολυπλοκότητα και επομένως επιτρέπουν πολύ υψηλές ταχύτητες (π.χ. 600 Mbit/s) (De Prycker, 1987).



Σχήμα 1.4.3 (α) Πλήρης έλεγχος σφαλμάτων σε κάθε ζεύξη σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων
(β) Περιορισμένος έλεγχος σφαλμάτων σε δίκτυα μεταγωγής πλαισίου
(γ) Μεταγωγή πακέτων σε δίκτυα ATM

Πίνακας 1.4.1 Εξέλιξη των λειτουργιών σε ένα δίκτυο

	Μεταγωγή Πακέτων	Μεταγωγή Πλαισίων	Μεταγωγή ATM Πακέτων
Αναμετάδοση πακέτου	X	-	-
Καθορισμός πλαισίου	X	X	-
Έλεγχος λαθών	X	X	-

Μπορούμε επομένως να συμπεράνουμε ότι λόγω της αυξημένης ποιότητας των τηλεπικοινωνιακών δικτύων, η διαφάνεια πληροφορίας μπορεί να εξασφαλισθεί με έλεγχο σφαλμάτων που θα εκτελείται μόνο μια φορά, στα άκρα του δικτύου.

Χρονική Διαφάνεια (Διαφάνεια Χρόνου/Time Transparency)

Διαφάνεια χρόνου (time transparency) είναι η λειτουργία που εξασφαλίζει την έγκαιρη παράδοση της πληροφορίας στο δέκτη.

Μερικές υπηρεσίες έχουν την απαίτηση η αποστελλόμενη ροή των bits να φτάνει στο δέκτη με πολύ μικρή καθυστέρηση. Οι υπηρεσίες αυτές ονομάζονται υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (real-time services) και ένα τυπικό παράδειγμα είναι η μετάδοση φωνής στα 64 kbit/s και η εικονοτηλεφωνία. Οι απαιτήσεις για τις υπηρεσίες αυτές περιέχονται στις συστάσεις της ITU (ITU Recommendations), που καθορίζουν, παραδείγματος χάριν, την καθυστέρηση ανά κέντρο (σύσταση Q.507) και την καθυστέρηση από άκρο σε άκρο (συστάσεις G.161 και G.164).

Τα συστήματα μεταγωγής πακέτου και μεταγωγής πλαισίου αντιμετωπίζουν προβλήματα στην υποστήριξη υπηρεσιών πραγματικού χρόνου. Δεδομένου ότι απαιτούν μεσαία προς υψηλή πολυπλοκότητα στους κόμβους μεταγωγής και ότι απαιτούν μεγάλα συστήματα προσωρινής καταχώρησης (buffering) των πακέτων και συνήθως λειτουργούν με μεσαίες προς χαμηλές ταχύτητες, θα εισάγουν μια καθυστέρηση (και ένα jitter στην καθυστέρηση), η οποία είναι αρκετά μεγάλη, καθιστώντας ανέφικτη ή αδύνατη τη μεταφορά υπηρεσιών πραγματικού χρόνου. Έτσι, τα δίκτυα αυτά είναι ανίκανα να εξασφαλίσουν την απαιτούμενη διαφάνεια χρόνου (π.χ. G.164).

Σε αντίθεση με τα συστήματα αυτά, το ATM έχει μειώσει στο ελάχιστο τις λειτουργίες στους κόμβους μεταγωγής επιτρέποντας έτσι πολύ μεγάλες ταχύτητες. Εξ αιτίας των υψηλών ταχυτήτων, η καθυστέρηση στο δίκτυο και το jitter της καθυστέρησης αυτής ελαττώνονται σε πολύ χαμηλές τιμές (λίγες εκατοντάδες msec για το jitter της καθυστέρησης), εξασφαλίζοντας έτσι πολύ μικρή καθυστέρηση στο δέκτη (De Prycker, 1987b). Το jitter της καθυστέρησης που εισάγεται στο δίκτυο αποκαθίσταται μόνο στα όρια του δικτύου. Επομένως η χρονική σχέση δεν επαναπροσδιορίζεται ή διατηρείται εντός του δικτύου (δηλ. στους κόμβους), όπως συμβαίνει παραδείγματος χάριν στην περίπτωση των δικτύων μεταγωγής κυκλώματος.

Λόγω της υψηλής ταχύτητας των κόμβων ATM του δικτύου καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι είναι δυνατόν να πραγματοποιήσουμε διαφάνεια χρόνου και έτσι να μεταδώσουμε υπηρεσίες πραγματικού χρόνου σε ATM δίκτυο. Περισσότερες λεπτομέρειες επί της χρονικής και σημασιολογικής διαφάνειας θα εξηγηθούν στο κεφάλαιο 2 του παρόντος συγγράμματος.

1.5 Οι τότε Μελλοντικές Απαιτήσεις Υπηρεσιών: Η Ώθηση της Αγοράς

Αναφορικά με τις προσδοκίες της αγοράς, μπορεί κανείς να διακρίνει 2 κύριες κατηγορίες συνδρομητών του B-ISDN: τους οικιακούς και τις επιχειρήσεις. Και οι δύο έχουν τις δικές τους απαιτήσεις υπηρεσιών. Η πρώτη κατηγορία ενδιαφέρεται περισσότερο για τις υπηρεσίες διασκέδασης και η δεύτερη κατηγορία για τις υπηρεσίες που θα προξενήσουν αύξηση της παραγωγικότητας.

1.5.1 Οι τότε Προσδοκίες των Οικιακών Συνδρομητών

Μια σημαντική υπηρεσία για να προσφερθεί σε οικιακό συνδρομητή είναι η TV όλων των ειδών ποιότητας και των δυνατοτήτων προσπέλασης. Μπορεί να σκεφθεί κανείς, σήματα εικόνων με ποιότητα συγκρίσιμη προς αυτά των δικτύων της CATV, ή σήματα εικόνων που έχουν πολύ καλύτερη ποιότητα, χάριν των ψηφιακών χαρακτηριστικών του δικτύου. Η ψηφιακή λοιπόν TV μερικές φορές αποκαλείται **SDTV (Standard Digital TV)**. Οι ρυθμοί μετάδοσης των bit που απαιτούνται γι' αυτήν την υπηρεσία κυμαίνονται μεταξύ 1.5 και 15 Mbit/s. Στο μέλλον πολύ υψηλής ποιότητας τηλεοπτικά σήματα, αποκαλούμενα **HDTV (High Definition TV)**, θα προσφέρονται επίσης σε οικιακούς συνδρομητές από το B-ISDN. Για την HDTV, οραματιζόμαστε ρυθμούς μετάδοσης bit μεταξύ 15 και 150 Mbit/s, ανάλογα με την πολυπλοκότητα της συμπίεσης και την ποιότητα των εικόνων. Μείζων ζήτημα γι' αυτές τις διαφορετικές ποιότητες των εικόνων αποτελεί η συμβατότητα ανάμεσα στα διάφορα σήματα εικόνων, ώστε, παραδείγματος χάριν, να μπορούμε να δούμε πρόγραμμα SDTV από συσκευή τηλεόρασης HDTV και αντιστρόφως.

Όλα αυτά τα σήματα εικόνων μπορούν να προσφερθούν με διάφορους τρόπους. Ο πιο απλός τρόπος είναι ένα είδος προσομοίωσης (emulation) της CATV, όπου ένα σύνολο τηλεοπτικών προγραμμάτων προσφέρεται σε ημι-μόνιμη βάση σε κάθε πελάτη. Ένα βήμα μετά ευρίσκεται η τηλεόραση πρόσβασης εκ μεταγωγής (switched access), στην οποία κάθε πελάτης αποφασίζει και ζητεί τα τηλεοπτικά προγράμματα που τον ενδιαφέρουν. Ένα ακόμη βήμα πιο πέρα ευρίσκεται η κατά βούληση προσφορά εικόνας (video-on-demand), μέσω βιβλιοθήκης εικόνων, όπου ο πελάτης θα καλεί ένα πωλητή τηλεοπτικών προγραμμάτων και θα επιλέγει κάποιο πρόγραμμα από έναν μεγάλο αριθμό γραμμάτων που θα είναι διαθέσιμα.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα οικιακή υπηρεσία είναι η εικονοτηλεφωνία. Στο B-ISDN, υψηλής ποιότητας εικόνες μπορούν να μεταδοθούν με αποδεκτό κόστος, χρησιμοποιώντας ρυθμούς μετάδοσης bit 0.5 με 5 Mbit/s, περίπου. Η εμφάνιση των μηχανών λήψεως ή εγγραφής video, πιθανόν να βοηθήσει τον κόσμο να εξοικειωθεί με τη μηχανή λήψεως του εικονοτηλεφώνου.

Άλλες εφαρμογές που πιθανόν να κερδίσουν το ενδιαφέρον των οικιακών συνδρομητών είναι υπηρεσίες όπως: αγορές από το σπίτι (home shopping), κατ' οίκον επιμόρφωση (home education), και μεταφορά πληροφορίας video όπως ταξιδιωτικές εικόνες και πληροφορίες για ενοικίαση σπιτιών.

Είναι φανερό ότι μόλις το B-ISDN διατεθεί σε κάθε οικιακό συνδρομητή, θα εμφανισθεί μεγάλος αριθμός νέων δυνατοτήτων, που σήμερα δε θεωρούνται ενδιαφέρουσες ή είναι ακόμη άγνωστες.

1.5.2 Οι τότε Προσδοκίες των Επιχειρηματικών Συνδρομητών

Ο επιχειρηματικός συνδρομητής έχει εντελώς διαφορετικές απαιτήσεις για το B-ISDN. Η μόνη επικαλυπτόμενη υπηρεσία με τον οικιακό χρήστη είναι η εικονοτηλεφωνία. Αλλά και εδώ υπάρχει η επέκταση προς την τηλε-εικονο-διάσκεψη (video conferencing), που πρέπει να παρασχεθεί για να καταστεί δυνατή η πολυμερής εικονοτηλεφωνία.

Δεδομένης της συνεχώς αυξανόμενης επιτυχίας των τοπικών δικτύων (LAN) στο επιχειρηματικό περιβάλλον, αναμένεται ότι η πολύ ενδιαφέρουσα υπηρεσία που θα προσφερθεί από το B-ISDN θα είναι η υψηλής ταχύτητας διασύνδεση των LAN.

Η διασύνδεση αυτή των LAN θα προσφέρει στον επιχειρηματικό πελάτη δυνατότητες για κατανεμημένη πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων. Ακόμη με τις συνεχώς αυξανόμενες δυνατότητες των PC (Personal Computer) και των σταθμών εργασίας αναφορικά με την ταχύτητα επεξεργασίας και τη χωρητικότητα αποθήκευσης των δίσκων, όλο και περισσότερες εφαρμογές λογισμικού τρέχουν σε διαφορετικές μηχανές σε κατανεμημένο περιβάλλον. Αυτή η εφαρμογή ίσως είναι ιδιαίτερος χρήσιμη για τους εργαζόμενους κατ' οίκον.

Επίσης αναμένονται εφαρμογές όπως μετάδοση ιατρικής εικόνας υψηλής ποιότητας, συλλογική εκπαίδευση, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο με πολυμέσα, τηλεδιάσκεψη με πολυμέσα στο περιβάλλον γραφείου.

Στο βιομηχανικό περιβάλλον οι εφαρμογές θα είναι προσανατολισμένες περισσότερο προς την απομακρυσμένη οπτική επιθεώρηση, κατανομή της οπτικής επεξεργασίας της πληροφορίας στους εργάτες του εργοστασίου, κλπ.

Ο κατάλογος όλων των δυνατών εφαρμογών για τους επιχειρηματικούς συνδρομητές δεν έχει εξαντληθεί και νέες υπηρεσίες θα εμφανισθούν όταν οι χρήστες δουν τις δυνατότητες του B-ISDN.