



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
= ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΠΑΡΤΗΣ =
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Τζώρλης Παντελής
(ΑΕΜ 2005141)

«Συστήματα Ψηφιακής Διασύνδεσης (Digital Cross-Connect, DXC)»



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων: Γιάννης Λιαπέρδος, Καθηγητής Εφαρμογών

Τίτλος: «Συστήματα Ψηφιακής Διασύνδεσης (Digital Cross-Connect, DXC)»

Περιεχόμενα

Ευρετήριο εικόνων	5
Πρόλογος	8
Εισαγωγή	10
Μεταγωγή πακέτων (packet switching).....	10
Μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching)	12
Οπτικά δίκτυα	13
Οπτικές Ίνες.....	14
Σύγχρονη Οπτική Δικτύωση (SONET)	17
PDH	21
Αρχιτεκτονική Δικτύου FTTC.....	24
Ενεργό Οπτικό Δίκτυο (Active Optical Network, AON)	26
Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network, PON)	27
BPON και GPON	29
EPON	30
WDM-PON.....	30
Υβριδικά TDM/WDM-PONs	31
Παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM)	33
Ορισμός.....	33
Ιστορικά	33
Δειγματοληψία	34
Κβάντιση.....	35
Κωδικοποίηση.....	36
Αναγέννηση	37

Αποκωδικοποίηση.....	39
Φιλτράρισμα	39
Πολυπλεξία	40
Συγχρονισμός.....	41
Το πλαίσιο E I	42
Συστήματα ψηφιακής διασύνδεσης (DXC).....	45
Ορισμός.....	45
Κατηγορίες.....	47
Αρχιτεκτονική.....	49
Οπτικά συστήματα ψηφιακής διασύνδεσης (OXC)	66
Ορισμός.....	66
Κατηγορίες.....	68
Αρχιτεκτονική.....	71
Οπτικά Μονοπάτια	72
Τα συστήματα ψηφιακής διασύνδεσης στην παραγωγή	74
Κατασκευαστές.....	74
RAD Data Communications.....	74
Μοντέλα.....	75
DXC– 2	75
DXC – 30	76
DXC – 100.....	78
Μελέτη Περίπτωσης.....	80
Tellabs	82
Μοντέλα.....	82

Tellabs 5500 core switch	84
Tellabs 5320 L/S	86
Μελέτη Περίπτωσης	87
Sycamore	89
Μοντέλα.....	89
S-DNX	89
DNX-1u	92
Μελέτη Περίπτωσης	94
Επίλογος – Συμπεράσματα	97
Βιβλιογραφία – Πηγές	99

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1 Μεταγωγή πακέτων.....	10
Εικόνα 2 Μεταγωγή πακέτων (σχήμα 2).....	11
Εικόνα 3 Μεταγωγή κυκλώματος.....	12
Εικόνα 4 Μεταγωγή κυκλώματος (σχήμα 2).....	13
Εικόνα 5 Οπτική ίνα	14
Εικόνα 6 Οπτικό σήμα και διάθλασή του.....	15
Εικόνα 7 Πρότυπα SONET/SDH	18
Εικόνα 8 Πρότυπο PDH	22
Εικόνα 9 Επίπεδα PDH σύμφωνα με G.702.....	23
Εικόνα 10 Δίκτυο Οπτικών Ινών	25
Εικόνα 11 Σημείο-προς-σημείο Switched Ethernet.....	27
Εικόνα 12 Παθητικό Οπτικό Δίκτυο	28
Εικόνα 13 Σύγκριση των τεχνολογιών PON	29
Εικόνα 14 Σχέση Κόστους και εύρος ζώνης των Παθητικών Οπτικών Δικτύων	31
Εικόνα 15 Αρχιτεκτονική SUCCESS-HPON.....	32
Εικόνα 16 Παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM)	33
Εικόνα 17 Εξαγόμενο σήμα του κβαντιστή.....	36
Εικόνα 18 Υλοποίηση του πλαισίου E1 point to point.....	42
Εικόνα 19 Ισοδυναμία frames/second με bits/slot.....	43
Εικόνα 20 Δομή ενός time slot ενός frame.....	44
Εικόνα 21 Ψηφιακό cross-connect σύστημα (DCS ή DXC)	45

Εικόνα 22 Ένα DCS σ' ένα δίκτυο κυκλώματος μεταγωγής	46
Εικόνα 23 DCS και σήματα STS-1	48
Εικόνα 24 Λειτουργικά τμήματα ψηφιακού cross-connect (DXC) συστήματος	53
Εικόνα 25 Διασυνδέσεις όπου χρησιμοποιούνται οπτικές cross-connect συνδέσεις (OXCs).....	53
Εικόνα 26 Διασυνδέσεις όπου χρησιμοποιούνται DXCs	54
Εικόνα 27 Δομή πολυπλεξίας SDH σύμφωνα με το ETSI	54
Εικόνα 28 Δομή πολυπλεξίας SONET σύμφωνα με το Telcordia	55
Εικόνα 29 Optical Cross Connect – OXC	66
Εικόνα 30 WDM δίκτυα δρομολόγησης μήκους κύματος	67
Εικόνα 31 Κόμβος μεταγωγής OXC με N εισόδους και N εξόδους	67
Εικόνα 32 Transparent OXC	69
Εικόνα 33 Translucent OXC	70
Εικόνα 34 Δομικές μονάδες οπτικού διασταυρωτήρα (OXC)	72
Εικόνα 35 Οπτικό μονοπάτι (lightpath).....	73
Εικόνα 36 Μετατροπέας σήματος DXC-2	75
Εικόνα 37 Σύστημα ψηφιακής διασύνδεσης DXC-30	77
Εικόνα 38 Διεπαφές D4E1 και D8E1	77
Εικόνα 39 8-Port διεπαφή D8SL	78
Εικόνα 40 Multi-service access node DXC-100	79
Εικόνα 41 DXC-100 (σχήμα 2)	80
Εικόνα 42 Integrated Railway Information System (IRIS)	81
Εικόνα 43 Σημαντικότερα DXC μοντέλα της Tellabs	83
Εικόνα 44 Σύστημα Tellabs 5500 DCS Standard Core Switch (SCS)	84

Εικόνα 45 Σύστημα Tellabs 5500 DCS (σχήμα 2).....	85
Εικόνα 46 Σύστημα Tellabs 5320 L/S.....	86
Εικόνα 47 Σύνδεση backhaul	88
Εικόνα 48 Σύνδεση S-DNX του δικτύου Sycamore.....	90
Εικόνα 49 Συστήματα συνδέσεων DNX-11 και DNX-88.....	91
Εικόνα 50 Access Gateway DNX-1u του δικτύου Sycamore	93
Εικόνα 51 Cell Site.....	94
Εικόνα 52 Access Gateway DNX-1u του δικτύου Sycamore (σχήμα 2)	95

Πρόλογος

Ένα σύστημα ψηφιακής διασύνδεσης (Direct Cross-connect ή DCS ή DXC) είναι ένας δικτυακός εξοπλισμός κυκλώματος μεταγωγής, που χρησιμοποιείται στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών και που επιτρέπει σε χαμηλότερου επιπέδου σήματα να αναδιαμορφωθούν και να διασυνδεθούν σε υψηλότερου επιπέδου σήματα.

Η λειτουργία των Συστημάτων Ψηφιακής Διασύνδεσης έγκειται στη διασύνδεση οποιουδήποτε πληροφοριακού συστήματος χρησιμοποιούμε με οποιαδήποτε διαδικτυακή εφαρμογή, με απόλυτη συνέπεια, υψηλή ασφάλεια και μεγάλη ταχύτητα. Στην σημερινή εποχή, όπου έχει σχεδόν επιτευχθεί αυτό που οι πρώτοι ερευνητές ονόμαζαν «διασύνδεση όλων με όλους», είναι τεράστια η ανάγκη να εξευρεθούν τρόποι, τόσο στο επίπεδο του υλικού, όσο και του λογισμικού και των τηλεπικοινωνιών, ώστε να εξοικονομούνται πόροι.

Οι πόροι αυτοί μπορεί να έχουν την μορφή υπολογιστικής ισχύος, ταχυτήτων μετάδοσης και εύρους ζώνης. Αν συνυπολογίσει κανείς και το γεγονός ότι η αγορά των ψηφιακών τηλεπικοινωνιών και των δικτύων είναι ένα πεδίο οικονομικής δραστηριότητας μεγάλων εταιρειών και το τρέχον ιδιάζον οικονομικό περιβάλλον, καταλαβαίνουμε πως υποδομές που στηρίζονται σε υλικό DXC, προσφέρουν στρατηγικό πλεονέκτημα στους παρόχους και υπηρεσίες υψηλής ποιότητας στους καταναλωτές.

Στην εργασία αυτή θα γίνει μελέτη, παρουσίαση και αξιολόγηση των πρόσφατων τεχνολογικών εξελίξεων στον τομέα των Συστημάτων Ψηφιακής Διασύνδεσης (Digital Cross-Connect, DXC).

Χωρίς την χρήση τέτοιων συστημάτων, ουσιαστικά, δεν θα μπορούσαμε να μιλήσουμε για τηλεπικοινωνιακές υποδομές άρα και για παροχή προηγμένων δικτυακών εφαρμογών, όπως για παράδειγμα τα πασίγνωστα πλέον web services.

Η κλιμακούμενη αρχιτεκτονική τους εξασφαλίζει την κάλυψη οποιασδήποτε ανάγκης όσο μικρής ή μεγάλης κι αν είναι, στο ιδανικό κόστος. Ενδεικτικά αναφέρονται κάποιες δυνατότητες διασύνδεσης με τα παρακάτω συστήματα.

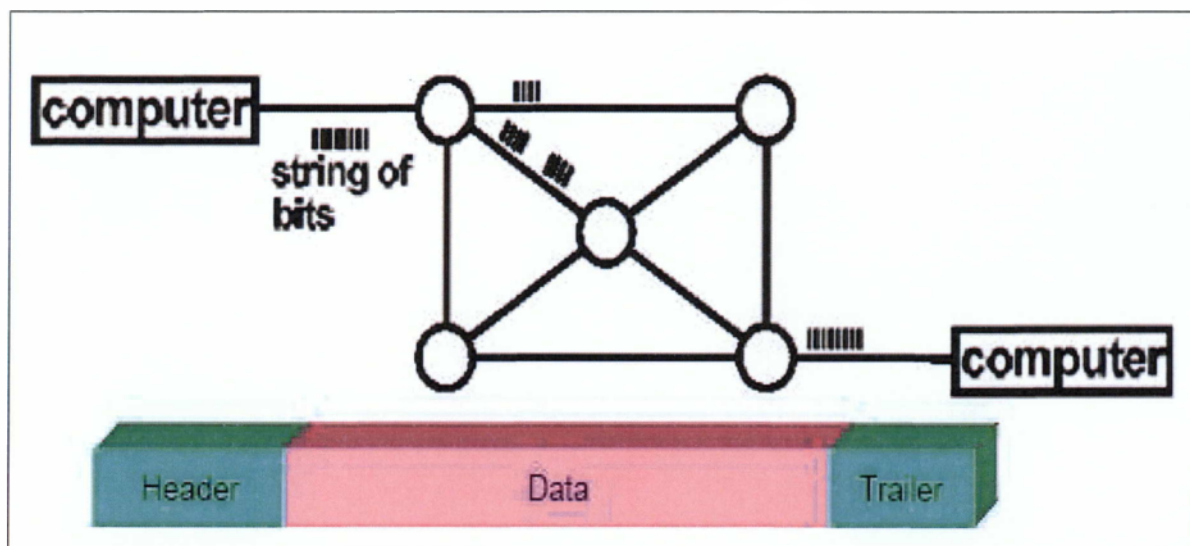
- Τηλεπικοινωνιακά δίκτυα.
- Ηλεκτρονικά καταστήματα (e-shop, b2b/b2c e-business applications).
- Πληροφοριακά web sites με καταλόγους προϊόντων.
- Επιχειρησιακά “κλειστά” δίκτυα συνεργατών (business intranets).
- Εφαρμογές για παραγγελίες μέσω κινητού τηλεφώνου των εξωτερικών πωλητών (mobile ordering).
- Εφαρμογές επιβράβευσης πελατών (web loyalty systems).
- Εφαρμογές διαδραστικής ψηφιακής ενημέρωσης για προϊόντα και υπηρεσίες.

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα κάνουμε μια εισαγωγή στο θέμα μελετώντας το τεχνολογικό πλαίσιο μέσα στο οποίο σχεδιάζονται και υλοποιούνται τα Συστήματα Ψηφιακής διασύνδεσης.

Μεταγωγή πακέτων (packet switching)

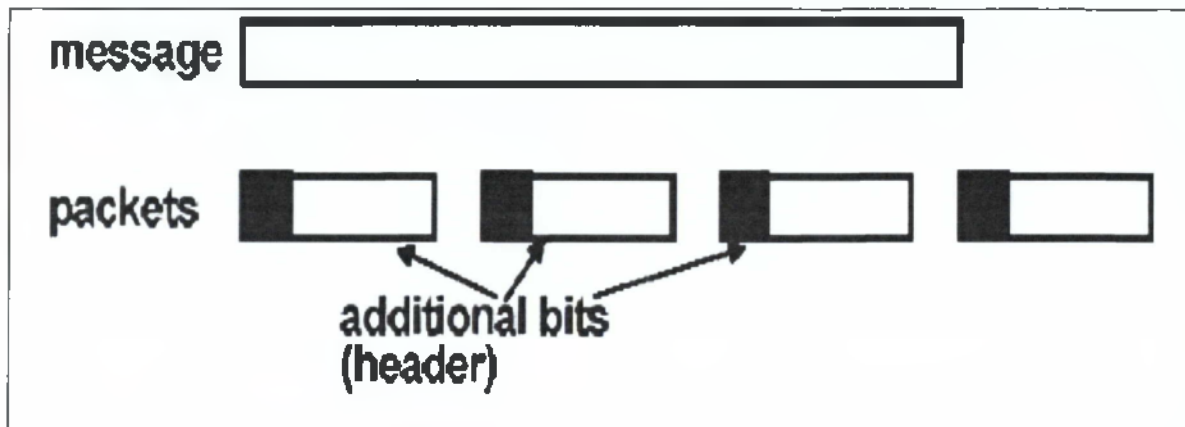
Η μεταγωγή πακέτων είναι μια μέθοδος ψηφιακής επικοινωνίας δικτύου που ομαδοποιεί όλα τα μεταδιδόμενα δεδομένα - ανεξάρτητα από το περιεχόμενο, το τύπο ή τη δομή - σε κατάλληλων διαστάσεων μπλοκ, που ονομάζονται πακέτα. Επομένως, κάθε μήνυμα κατακερματίζεται σε πακέτα.



Εικόνα 1 Μεταγωγή πακέτων

Η μεταγωγή πακέτων χαρακτηρίζεται από διαφορετικής ποιότητας δεδομένα (ή ακολουθίες των πακέτων) σ' ένα κοινό δίκτυο. Όταν διασχίζουν τους κόμβους του δικτύου, τα πακέτα τοποθετούνται σε ουρές αναμονής, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η καθυστέρηση και η απόδοση, ανάλογα με το φόρτο εργασίας του δικτύου.

Η μεταγωγή πακέτων βρίσκεται αντιμέτωπη μ' ένα άλλο κύριο πρότυπο δικτύωσης, τη μεταγωγή κυκλώματος, μια μέθοδο η οποία θεσπίζει ένα περιορισμένο αριθμό αποκλειστικών συνδέσεων, με σταθερό ρυθμό και σταθερή καθυστέρηση μεταξύ των κόμβων, για την αποκλειστική χρήση κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας.



Εικόνα 2 Μεταγωγή πακέτων (σχήμα 2)

Όσον αφορά τη χρέωση, η μεταγωγή κυκλώματος χαρακτηρίζεται από τη χρέωση ανά μονάδα χρόνου σύνδεσης (χρονοχρέωση), ακόμη κι όταν δεν μεταφέρονται κάποια δεδομένα, ενώ η μεταγωγή πακέτου χαρακτηρίζεται από τη χρέωση ανά μονάδα πληροφοριών.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα που έχει αυτού του είδους η μεταγωγή, είναι τα ακόλουθα:

- μικρότερη καθυστέρηση,
- ευκολότερη διαχείριση καταχωρητών και
- ευελιξία στη δρομολόγηση.

Τα μειονεκτήματα μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω :

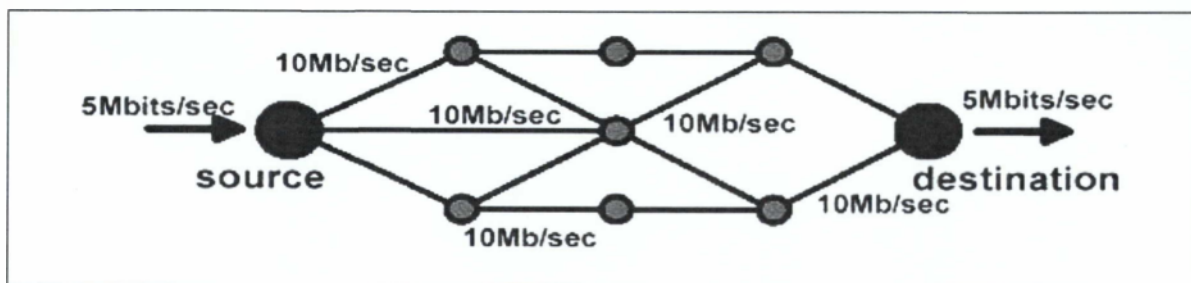
- μεγαλύτερος επικοινωνιακός και υπολογιστικός φόρτος καθώς και
- προβλήματα επανασυναρμολόγησης μηνυμάτων.

Ένα χαρακτηριστικό λοιπόν της μεταγωγής πακέτων είναι ότι μπορούν διαφορετικά πακέτα να πηγαίνουν στον τελικό τους προορισμό χρησιμοποιώντας διαφορετικές διαδρομές. Αυτό δεν αλλοιώνει καθόλου την επικοινωνία μιας και το πακέτο έχει μέσα την τελική διεύθυνση.

Ένα άλλο σημείο που πρέπει να σταθούμε είναι ότι μαζί με τα πακέτα μεταδίδεται και η πληροφορία έλεγχου. Επίσης, σε κάθε κόμβο πραγματοποιείται η απόφαση δρομολόγησης. Ενώ σε περίπτωση βλάβης του δικτύου ή για οποιοδήποτε λόγο για τον οποίο υπάρχει πρόβλημα στην επικοινωνία, τα πακέτα δρομολογούνται από αλλού.

Μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching)

Η μεταγωγή κυκλώματος θεσπίζει ένα περιορισμένο αριθμό αποκλειστικών συνδέσεων, με σταθερό ρυθμό και σταθερή καθυστέρηση μεταξύ των κόμβων, για την αποκλειστική χρήση κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας. Έτσι, κάθε σύνδεσμος “σπάει” σε μικρότερα κομμάτια, κάθε ένα από τα οποία δεσμεύεται αποκλειστικά για μια και μόνο σύνοδο (session).

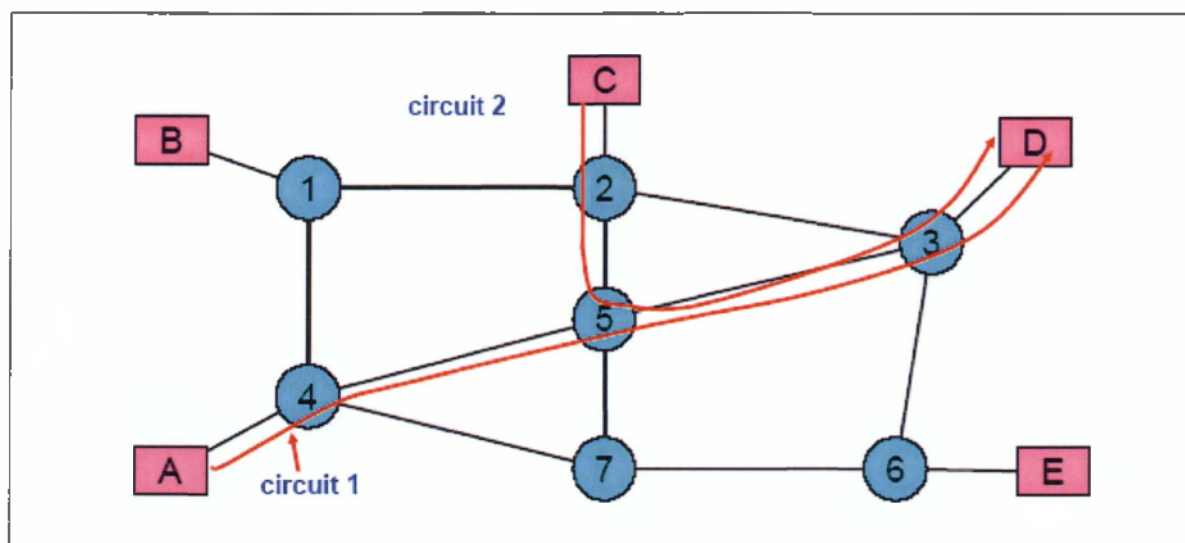


Εικόνα 3 Μεταγωγή κυκλώματος

Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνικής μεταγωγής κυκλώματος είναι τα ακόλουθα :

- Δεσμεύονται πόροι στο δίκτυο. Εντούτοις, εάν δεν χρειάζονται πόροι σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο, σπαταλούνται προσωρινά.
- Προσφέρουν εγγύηση για μεγαλύτερη ποιότητα.

- Χρειάζεται αρκετά μεγάλο χρόνο εγκατάστασης. Επομένως δεν είναι κατάλληλο για σύντομες συνδέσεις.
- Σε περίπτωση βλάβης, όλα τα κυκλώματα πρέπει να ξαναδημιουργηθούν.
- Η χρέωση γίνεται σύμφωνα με την απόσταση και το χρόνο.
- Είναι πολύ καλή η μεταγωγή για ευαίσθητες υπηρεσίες που απαιτούν ποιότητα καθώς οι απαιτούμενοι πόροι είναι ήδη δεσμευμένοι.
- Το δίκτυο δεν βλέπει την πληροφορία που μεταφέρεται.



Εικόνα 4 Μεταγωγή κυκλώματος (σχήμα 2)

Οπτικά δίκτυα

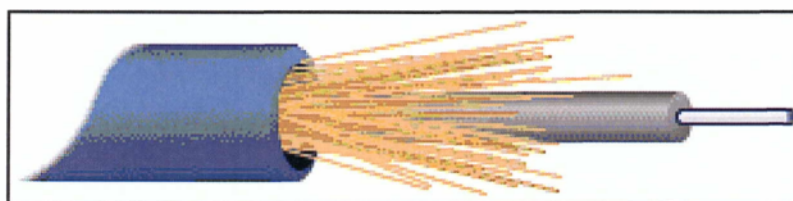
Τα δίκτυα Οπτικής Ίνας FTTC (Fiber to the Curb), είναι η τεχνολογία παροχής ευρυζωνικού περιεχομένου που χρησιμοποιούν οι τηλεπικοινωνιακές εταιρείες. Το FTTC είναι η φυσική κατάληξη στην εξέλιξη του τοπικού βρόχου.

Με το FTTC, η διείσδυση των οπτικών ινών φτάνει μέχρι τη γειτονιά των χρηστών και επιτρέπει στις Οπτικές Μονάδες Δικτύου (ONU, Optical Network Unit) να επικοινωνούν με 20 ή και λιγότερους συνδρομητές. Μόλις πραγματοποιηθεί το FTTC, ο δρόμος για τον τελικό προορισμό που είναι το FTTH, (Fiber To The Home), θα είναι εύκολη υπόθεση.

Το FTTC ανήκει σε μία γενικότερη κατηγορία οπτικών δικτύων συνδρομητικού βρόχου, που ονομάζεται FITL, (Fiber In The Loop). Αυτή η κατηγορία περιέχει ακόμη τις υλοποιήσεις FTTO (Fiber To The Office) ή FTTB (Fiber To The Building), η οποία αναπτύσσεται αρκετά σε ορισμένες πόλεις και την FTTH, (Fiber To The Home), η οποία θα είναι η τελευταία εξέλιξη του FTTC.

Οπτικές Ίνες

Οι οπτικές ίνες είναι λεπτές και διαφανείς ίνες, φτιαγμένες από γυαλί, και χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση του φωτός. Μια οπτική ίνα είναι ένας κυλινδρικός διηλεκτρικός κυματοδηγός που διαβιβάζει το φως κατά μήκος του άξονά του, με τη διαδικασία της ολικής εσωτερικής ανάκλασης.



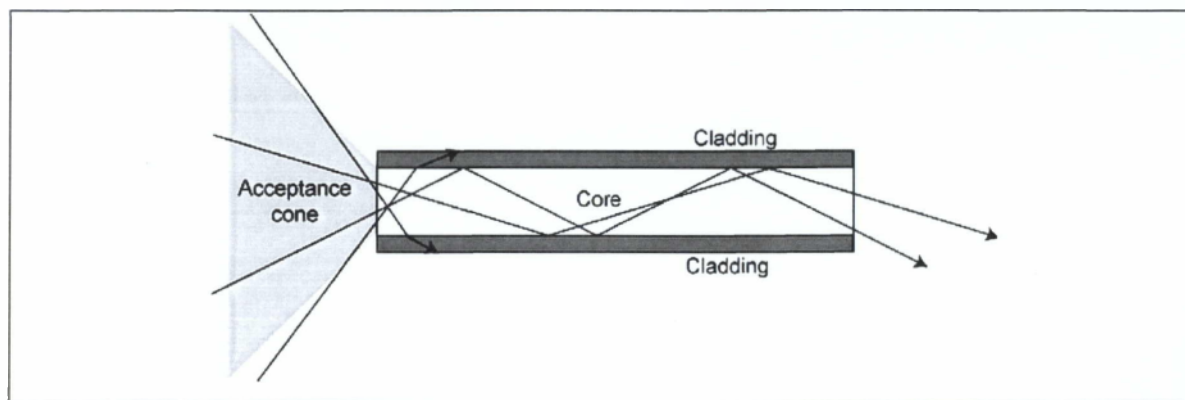
Εικόνα 5 Οπτική ίνα

Η ίνα αποτελείται από έναν πυκνό πυρήνα, μέσω του οποίου μεταδίδεται το οπτικό σήμα στο τέρμα της ίνας. Όσο πιο στενός είναι ο πυρήνας, τόσο πιο γρήγορα μεταφέρεται το κύμα φωτός. Ο οπτικός πυρήνας περιβάλλεται από στρώμα γυάλινης επικάλυψης.

Η επικάλυψη (cladding), η οποία περιβάλλει την οπτική ίνα κρατάει το φως στον πυρήνα, εμποδίζοντας το σήμα να διασκορπιστεί και να χάσει την ισχύ του. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα είναι μεγαλύτερος από αυτόν της επένδυσης.

Η επικάλυψη με τη σειρά της περιβάλλεται από το εξωτερικό προστατευτικό υλικό, το οποίο προστατεύει την ίνα από τους περιβαλλοντικούς κινδύνους. Η δέσμη φωτός εκπέμπεται στον πυρήνα της οπτικής ίνας και προσπίπτει με τέτοια γωνία στην επικάλυψη ώστε να υπάρχει ολική ανάκλαση και να μεταδίδεται σε όλο το μήκος της οπτικής ίνας. Η οπτική ίνα εγκλωβίζει όλη την ενέργεια της ακτίνας του φωτός.

Τα οπτικά σήματα ανακλώμενα εσωτερικά μπορούν να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις αφού ισχύει η αρχή της φυσικής «Όταν μία ακτίνα φωτός περνά από το ένα μέσο σε άλλο, η ακτίνα διαθλάται στη διαχωριστική επιφάνεια». Η γωνία διάθλασης εξαρτάται από τις ιδιότητες των δύο μέσων.



Εικόνα 6 Οπτικό σήμα και διάθλασή του

Για γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες από μία συγκεκριμένη κρίσιμη τιμή, το φως διαθλάται πίσω στο γυαλί και δεν διαφεύγει στον αέρα. Συνεπώς μια ακτίνα φωτός προσπίπτουσα με γωνία ίση ή μεγαλύτερη της κρίσιμης τιμής παγιδεύεται εντός της ίνας.

Με αυτό τον τρόπο η ακτίνα μπορεί να διαδοθεί για πολλά χιλιόμετρα, με σχεδόν μηδενική απώλεια. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να διαδίδονται πολλές διαφορετικές ακτίνες αρκεί να στέλνονται με διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης και η γωνία αυτή να είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης.

Υπάρχουν πολλές γωνίες με τις οποίες το φως μπορεί να εισέλθει σε μια οπτική ίνα και να δημιουργήσει διαφορετικές γωνίες προσβολής της επικάλυψης οι οποίες αναφέρονται και ως τρόποι (modes). Ο αριθμός των τρόπων αυξάνει καθώς αυξάνει η διάμετρος του πυρήνα. Οι μονότροπες (single - mode) οπτικές ίνες έχουν συνήθως διάμετρο πυρήνα περίπου 10 μm ενώ οι πολύτροπες 50 - 100 μm .

Οι μονότροπες οπτικές ίνες, σε αντίθεση με τις πολύτροπες δεν διαχέουν τη δέσμη φωτός αλλά απαιτούν συγκέντρωση φωτός μεγάλης έντασης σε πυρήνα μικρής διαμέτρου, γεγονός που απαιτεί τη χρήση Laser. Η διάμετρος δηλαδή του πυρήνα να είναι στο επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου οπτικού σήματος. Αναφέρεται και σαν ομοαξονική μετάδοση.

Τόσο οι μονότροπες όσο και οι πολύτροπες ίνες χρησιμοποιούνται στις επικοινωνίες, με τις πολύτροπες να χρησιμοποιούνται συνήθως για μικρές αποστάσεις (μέχρι 500 μ), και τις μονότροπες σε πιο μεγάλες αποστάσεις.

Δεδομένου ότι ο δείκτης διάθλασης του γυαλιού είναι περίπου 1.5, η ταχύτητα του φωτός στην ίνα είναι περίπου 200.000 km/s, ή δύο τρίτα της ταχύτητας του φωτός στο κενό.

Για τη σύγχρονη οπτική ίνα γυαλιού, η μέγιστη απόσταση μετάδοσης περιορίζεται όχι από την εξασθένηση, αλλά από τη διασπορά κατά μήκος της ίνας. Η διασπορά στις οπτικές ίνες προκαλείται από ποικίλους παράγοντες.

Καταρχάς η διασυμβολική παρεμβολή, που προκαλείται από τις διαφορετικές αξονικές ταχύτητες των διαφορετικών εγκάρσιων τρόπων, περιορίζει την απόδοση των πολύτροπων ινών. Επειδή η μονότροπη ίνα υποστηρίζει μόνο έναν εγκάρσιο τρόπο, η διασυμβολική παρεμβολή δεν τις επηρεάζει.

Για την μονότροπη ίνα η απόδοση περιορίζεται από τη χρωματική διασπορά, η οποία εμφανίζεται επειδή ο δείκτης του γυαλιού ποικίλλει ελαφρώς ανάλογα με το μήκος κύματος του φωτός, και το φως από τις πραγματικές οπτικές συσκευές αποστολής σημάτων έχει μη μηδενικό φασματικό πλάτος.

Η διασπορά τρόπου πόλωσης, που μπορεί να περιορίσει την απόδοση των μονότροπων συστημάτων, εμφανίζεται επειδή αν και η μονότροπη ίνα μπορεί να στηρίζει μόνο έναν εγκάρσιο τρόπο, μπορεί να φέρει αυτόν τον τρόπο με δύο διαφορετικές πολώσεις, και οι μικρές ατέλειες ή οι διαστρεβλώσεις σε μια ίνα μπορούν να αλλάξουν τις ταχύτητες διάδοσης για τις δύο πολώσεις.

Η διασπορά περιορίζει το εύρος ζώνης της ίνας επειδή ο μεταδιδόμενος οπτικός παλμός περιορίζει το ρυθμό στον οποίο οι παλμοί μπορούν να ακολουθήσουν το ένα άλλος στην ίνα και να είναι ακόμα διακριτοί στο δέκτη.

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι οι απώλειες που επιτυγχάνονται στις οπτικές ίνες, είναι της τάξης των 0.2-0.3 db/km και το σήμα μπορεί να ταξιδέψει από 80 έως 140 χλμ. χωρίς να χρειαστεί αναγέννηση. Το συνολικό εύρος ζώνης που μπορεί να επιτευχθεί θεωρητικά, με χρήση προηγμένων μορφών πολυπλεξίας, είναι της τάξης των 300 THz.

Αντίθετα στο ομοαξονικό καλώδιο, εμφανίζονται απώλειες της τάξης των 1000 db/km, γι' αυτό και χρειάζεται πολύ συχνότερα ενίσχυση, όπως είπαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, και το εύρος ζώνης που μπορεί να μεταφερθεί είναι της τάξης του 1 GHz.

Τέλος να αναφέρουμε ότι για τη μετάδοση των σημάτων στις οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες πολυπλεξίας WDM, η οποία επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση μέχρι 128 καναλιών σε διαφορετικές συχνότητες, η DWDM, που μεταφέρει περισσότερα κανάλια και επιτρέπει την ταυτόχρονη αναγέννηση της πολυπλεγμένης ροής και η CWDM, η οποία παραδίδει πολλαπλάσια μήκη κύματος μέσω μιας οπτικής ίνας με μικρότερο κόστος και πολυπλοκότητα από τα συστήματα DWDM.

Σύγχρονη Οπτική Δικτύωση (SONET)

Η τεχνολογία αυτή παρουσιάστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και αφορούσε μια μεγάλη ομάδα προτύπων που άπτονται των οπτικών επικοινωνιών. Στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ιαπωνία, οι τυποποιήσεις αυτές είναι γνωστές ως SONET (Synchronous Optical Network).

Αντίθετα, στη Ευρώπη ονομάζονται SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Το πρότυπο SONET δημιουργήθηκε από τη Bellcore ενώ το SDH αρχικά τυποποιήθηκε από τον ETSI και στη συνέχεια έγινε διεθνές πρότυπο με κάποιες τροποποιήσεις από την ITU -T.

Το πρότυπο SONET (και στη συνέχεια το SDH), προσπάθησε να αποτελέσει πρότυπο οπτικής διασύνδεσης με στόχο τη διαλειτουργικότητα συστημάτων διαφορετικών κατασκευαστών.

Χωρίς το SONET, η διασύνδεση γίνεται μόνο με από-πολυπλεξία στο ηλεκτρικό επίπεδο, κάτι που επιβαρύνει πολύ τη μεταφορά δεδομένων μιας και η μετατροπή του σήματος από οπτικό σε ηλεκτρικό και το αντίστροφο είναι μια χρονοβόρα διαδικασία.

Τα πρότυπα SONET/SDH ορίζουν μια νέα ψηφιακή ιεραρχία πολυπλεξίας που είναι κατάλληλη για τον χειρισμό σημάτων που βασίζουν τη μεταφορά τους σε οπτικές ίνες, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν την εύκολη εξαγωγή από ένα πολυπλεγμένο σήμα των διαφόρων σημάτων χαμηλότερων ρυθμών.

SONET (ANSI)	Οπτικός φορέας (OC)	SDH	Ρυθμός δεδομένων (Mbps)
STS-1	OC-1		51.84
STS-3	OC-3	STM-1	155.52
STS-9	OC-9	STM-3	466.56
STS-12	OC-12	STM-4	622.08
STS-18	OC-18	STM-6	933.12
STS-24	OC-24	STM-8	1244.16
STS-36	OC-36	STM-12	1866.24
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32
STS-96	OC-96	STM-32	4976.64
STS-192	OC-192	STM-64	9953.28
STS-768	OC-768	STM-256	39813.12

Εικόνα 7 Πρότυπα SONET/SDH

Το βασικό δομικό στοιχείο του SONET είναι ένα πλαίσιο 810 bytes, διάρκειας 125 μ sec. Αποτελείται από μια περιοχή με μέγεθος 774 bytes στην οποία μεταφέρεται το payload (ωφέλιμο φορτίο) και μια περιοχή overhead (επιβάρυνσης μετάδοσης). Η περιοχή ωφέλιμου φορτίου ορίζεται και σαν “Φάκελος Σύγχρονου Φορτίου” (SPE – Synchronous Payload Envelope) και περιλαμβάνει και την επιβάρυνση μονοπατιού/διαδρομής (path overhead - POH).

Το overhead έχει μέγεθος 36 bytes και χωρίζεται σε δύο τμήματα, την επιβάρυνση τμήματος και την επιβάρυνση γραμμής που αναφέρονται σαν SOH (Section Overhead) και LOH (Line Overhead) αντίστοιχα.

Το πλαίσιο του SONET μεταδίδεται σχηματίζοντας ένα σήμα 51,840 Mbps, γνωστό ως “Σήμα Σύγχρονης Μεταφοράς - 1ου επιπέδου” (STS-1 Synchronous Transport Signal-level 1). Η λειτουργικότητα του SONET επιτυγχάνεται ορίζοντας το βασικό STS-1 σήμα και δημιουργώντας στη συνέχεια μια πολλαπλάσια δομή η οποία προκύπτει από την πολυπλεξία σημάτων STS-1 με τη μέθοδο της παρεμβολής οκτάδων.

Έτσι ανάλογα με το βαθμό πολυπλεξίας δημιουργούνται σήματα με ρυθμούς N φορές μεγαλύτερους από το βασικό ρυθμό του STS -1, που όπως αναφέραμε προηγουμένως είναι 51,840 Mbps. Επί του παρόντος οι τιμές του N είναι 1,3,9,12,18,24,36,48.

Όταν η μετάδοση γίνεται χρησιμοποιώντας οπτική ίνα, ορίζεται ένα οπτικό αντίστοιχο του σήματος STS-1 που ονομάζεται “Οπτικός Φορέας – 1ου επιπέδου” (OC-1 Optical Carrier- level 1). Το OC-1 είναι το σήμα που λαμβάνεται στην έξοδο ενός ηλεκτρικό-οπτικού μετατροπέα, όταν στην είσοδό του εισάγεται το σήμα STS -1.

Το OC-1 αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο μετάδοσης στο SONET και απ’ αυτό μπορούν να παραχθούν σήματα υψηλότερης ιεραρχίας. Για παράδειγμα το OC-3 μεταφέρει πληροφορία με ρυθμό $3 \times 51,84$ δηλαδή 155,42 Mbps.

Ο αριθμός που συνοδεύει το πρόθεμα OC δείχνει το πλήθος των σημάτων ψηφιακού ρεύματος (DS3), που το τοπικό σήμα μπορεί να μεταφέρει. Έτσι έχουν δημιουργηθεί διάφορα πρότυπα ρυθμών μεταφοράς δεδομένων πάνω από οπτικές ίνες τα οποία αντιστοιχίζονται με τους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων από ηλεκτρικά σήματα.

Για την μεταφορά μικρότερων ρυθμών δεδομένων από το βασικό STS-1, ο Φάκελος Σύγχρονου Φορτίου (SPE) ενός πλαισίου STS-1 μπορεί να διαιρεθεί σε συνιστώσες χαμηλότερων ρυθμών.

Αυτές οι συνιστώσες είναι ειδικές δομές που ονομάζονται “νοητές μερικές ροές” (VT-Virtual Tributary) και επιτρέπουν τη μεταφορά ωφέλιμων φορτίων, που είναι μικρότερα από το ωφέλιμο φορτίο του STS-1. Για παράδειγμα η νοητή ροή VT-1.5 μπορεί να μεταφέρει σήμα 1,544 Mbps (T1).

Το πρότυπο SDH βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο SONET και μάλιστα επεκτείνει κάποια στοιχεία του έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει διεθνές standard. Παρά τη μεγάλη ομοιότητα, εντούτοις υπάρχουν κάποιες διαφορές μεταξύ τους.

Η πιο βασική είναι η διαφορά στον βασικό ρυθμό. Στο SDH ο ρυθμός αυτός είναι περίπου 150 Mbps, ενώ στο SONET είναι 50 Mbps. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται η συνένωση (concatenation) τριών βασικών σημάτων STS-1 του SONET για να προκύψει το STM-1 του SDH.

Επίσης, τα SONET και SDH διαφέρουν στο πλήθος και την πυκνότητα των ρυθμών μετάδοσης που υποστηρίζουν. Επειδή η τιμή του βασικού πλαισίου του SDH είναι 155,520 Mbps, με την πολυπλεξία για παράδειγμα, τεσσάρων καναλιών θα προκύψει ροή πληροφορίας με ρυθμό 622,080 Mbps (STM-4) και αν πολυπλεχθούν 16 κανάλια, τότε ο ρυθμός που θα προκύψει ισούται με 2488,320 (STM-16). Επιπλέον, όσον αφορά το πλαίσιο μετάδοσης, το πλαίσιο του SONET μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το ένα τρίτο του SDH. Το πλαίσιο του SDH αποτελείται από 9 γραμμές των 270 bytes, ενώ του SONET από 9 γραμμές των 90 bytes.

Τέλος, επειδή στο SDH ορίζεται πολύ υψηλός βασικός ρυθμός, υπάρχει μια μεγαλύτερη δυσκολία για τη μεταφορά των σημάτων μικρότερου ρυθμού. Έτσι ορίζονται επιπλέον ρεύματα μικρότερου ρυθμού από τα VT όπως π.χ. τα C (container) και TU (tributary unit).

PDH

Πολλές προσπάθειες είχαν γίνει στο παρελθόν για να δημιουργηθεί ένα πρότυπο σύγχρονης ψηφιακής μετάδοσης υψηλών ρυθμών. Το 1988 συστάθηκε από την CCITT και την ANSI το πρότυπο του SDH. Ήδη το 1985 είχε συσταθεί το πρότυπο για τα σύγχρονα οπτικά δίκτυα – SONET.

Στο παρελθόν πριν την εισαγωγή του SDH υπήρχαν δίκτυα χαμηλών ταχυτήτων σχεδιασμένα ώστε η μετάδοση να γίνεται από σημείο σε σημείο (point-to-point). Επίσης δεν υπήρχε ενιαία τυποποίηση με αποτέλεσμα ο κάθε κατασκευαστής να επιλέγει την δική του.

Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να απαιτούνται μηχανήματα του ίδιου κατασκευαστή και στα δύο άκρα. Τα παλαιότερα τύπου δίκτυα στηρίζονταν στο πρότυπο PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy δηλαδή ήταν μη συγχρονισμένα ψηφιακά δίκτυα.

Στη ψηφιακή μετάδοση τη βάση για τη δημιουργία τυποποιημένων ρυθμών μετάδοσης αποτελεί το ψηφιακό σήμα τηλεφωνίας των 64 Kbits/sec με διαμόρφωση PCM –Pulse Code Modulation.

Με πολυπλεξία του βασικού ρυθμού προκύπτουν οι ρυθμοί ανώτερης τάξης και με διαδοχικά στάδια πολυπλεξίας δημιουργείται μία ιεραρχία – Hierarchy. Σήμερα εφαρμόζονται παγκόσμια οι παρακάτω ιεραρχίες πολυπλεξίας.

digital signal	data rate (Mbits/s)	Voice channels	overhead percentage
T1	1,544	24	0.52 %
T2	6,312	96	2.65 %
T3	44,736	672	3.85 %
T4	274,176	4032	5.85 %
E1	2,048	32	6.25 %
E2	8,448	128	9.09 %
E3	34,368	512	10.81 %
E4	139,264	2048	11.76 %

Εικόνα 8 Πρότυπο PDH

Στις ΗΠΑ και σε κάποιες άλλες χώρες η ιεραρχία έχει ως βασικό ρυθμό μετάδοσης – bitrate τα 1,5 Mbits/sec σύμφωνα με τις οδηγίες της ANSI. Οι ρυθμοί μετάδοσης αυτής της ιεραρχίας είναι: 1.544 Kbits/sec, 6.312 Kbits/sec και 44.736 Kbits/sec.

Στην Ευρώπη, στην Αυστραλία και σε αρκετές ακόμη χώρες η ιεραρχία έχει ως βασικό ρυθμό μετάδοσης τα 2 Mbits/sec σύμφωνα με τις οδηγίες της CEPT. Οι ρυθμοί μετάδοσης αυτής της ιεραρχίας είναι: 2.048 Kbits/sec, 8.448 Kbits/sec, 34.368 Kbits/sec, 139.264 Kbits/sec και 565 Kbits/sec.

Η ITU – T ενσωμάτωσε τις παραπάνω παραλλαγές στη σύσταση – recommendation G.702 που αφορά τη πλησιόχρονη ιεραρχία.

DS Level	voice channels	Data rate (Mbps)
DS0	1	0.064
DS1	24	1.544
DS1c	48	3.152
DS2	96	6.312
DS3	672	44.736
DS3c	1344	91.053
DS4	4032	274.176

Εικόνα 9 Επίπεδα PDH σύμφωνα με G.702

Στο αμερικάνικο σύστημα εκτός από τα πιο πάνω επίπεδα ιεραρχίας υπάρχουν και κάποια ενδιάμεσα τα οποία φέρουν την ονομασία DSc. Στην τυποποίηση κατά ANSI το T1, T2 κ.τ.λ. χρησιμοποιείται ο συμβολισμός DS1 DS2 (Digital Signal Level. Ενώ κατά την ITU –T τυποποίηση υπάρχει και το E5 – 565,148 Mbits/sec (7680 κανάλια φωνής).

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός σήματος PDH είναι τα εξής:

- Κάθε πολυπλέκτης έχει τη δική του πηγή χρονισμού (εσωτερικό ρολόι). Δεν είναι απαραίτητο ο πολυπλέκτης να συγχρονίζεται με το σήμα εισόδου. Τα ρολόγια των ψηφιακών παροχών – tributaries έχουν την ίδια ονομαστική τιμή συχνότητας αλλά παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις από αυτή μέσα σε προδιαγεγραμμένα πλαίσια. Για το λόγο αυτό τα σήματα αυτά ονομάζονται πλησιόχρονα – Plesiochronous.
- Η πολυπλεξία πάνω από τα 2 Mbits/sec γίνεται bit – by – bit. Στην κατά CEPT ιεραρχία, τέσσερα σήματα πολυπλέκονται για να δώσουν ένα σήμα ανώτερης τάξης. Σε κάθε τάξη πολυπλεξίας δημιουργείται ένα καινούριο πλαίσιο – frame, το οποίο περιέχει πρόσθετη πληροφορία (λέξη συγχρονισμού πλαισίου, υπηρεσιακά bits, bits ελέγχου και bits σηματοδότησης).
- Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται με bit – by – bit θετική τροποποίηση. Ο ρυθμός που αντιστοιχεί σε κάθε ψηφιακή παροχή στο πλαίσιο του πολυπλεγμένου σήματος είναι πάντοτε λίγο μεγαλύτερος από το μέγιστο επιτρεπόμενο ρυθμό

μετάδοσης της παροχής. Η έλλειψη του ωφέλιμου σήματος που οφείλεται στο λόγο αυτό καλύπτεται με προσθήκη – όταν χρειάζεται – bits τροποποίησης – justification bits σε προκαθορισμένες θέσεις του πλαισίου του πολυπλεγμένου σήματος. Η διαδικασία αυτή γίνεται ανεξάρτητα για το κάθε κανάλι.

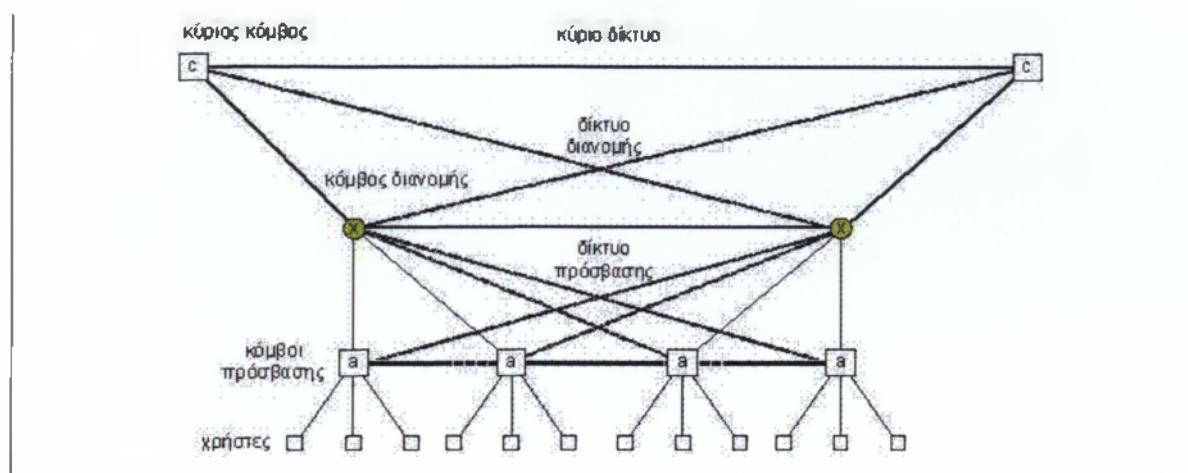
- Η σχετική θέση που έχει η πολυπλεγμένη πληροφορία εντός του πλαισίου – frame δεν καταγράφεται. Άρα εάν δεν ακολουθήσει αποπολυπλεξία του πλαισίου ώστε να προκύψουν τα ψηφιακά σήματα δεν είναι δυνατή η πρόσβαση στο σήμα.
- Δηλαδή το πολυπλεγμένο σήμα πρέπει να αποπολυπλεχθεί πλήρως ώστε να προκύψει το κύκλωμα προς διάθεση. Γι αυτό το λόγο τα PDH είναι Point to point διότι δεν μπορεί να γίνει επιλεκτική αποπολυπλεξία ενός μόνον σήματος.

Αρχιτεκτονική Δικτύου FTTC

Προς το παρόν οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση ευρυζωνικού δικτύου κορμού και διανομής, καθώς είναι ουσιαστικά η μόνη τεχνολογία που μπορεί να υποστηρίξει τη συγκέντρωση ευρυζωνικών συνδέσεων πρόσβασης και να μεταφέρει τις μεγάλες ποσότητες δεδομένων με υψηλό ρυθμό που απαιτεί η παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών από κεντρικά σημεία διανομής προς τους συνδρομητές.

Για το λόγο αυτό είναι κοινή περίπτωση ο συνδυασμός υποδομών οπτικών ινών με άλλες ευρυζωνικές τεχνολογίες, όπου η υποδομή οπτικών ινών δημιουργείται και φτάνει μέχρι τις γειτονιές ή τα κτίρια των συνδρομητών και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται οι υπόλοιπες τεχνολογίες ευρυζωνικής πρόσβασης για να δημιουργηθεί το δίκτυο πρόσβασης που φτάνει μέχρι το χώρο του χρήστη.

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική ενός δικτύου οπτικών ινών, σημειώνεται ότι αποτελείται από τρεις βασικές λογικές μονάδες: το δίκτυο κορμού, το δίκτυο διανομής και το δίκτυο πρόσβασης. Η λογική αυτή παρουσιάζεται καλύτερα στα σχήματα που ακολουθούν:



Εικόνα 10 Δίκτυο Οπτικών Ινών

Το δίκτυο κορμού αποτελείται από έναν αριθμό κόμβων οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους. Σημειώνεται ότι υπάρχει σύνδεση μεταξύ των κύριων κόμβων οι οποίοι βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους.

Το δίκτυο διανομής, παρέχει συνδέσεις σημείου-πολλαπλών σημείων μεταξύ των κυρίων κόμβων και των κόμβων πρόσβασης. Στους κόμβους διανομής μπορεί να τοποθετηθεί ενεργός ή παθητικός εξοπλισμός για το διαχωρισμό του σήματος, οπότε λέμε ότι χρησιμοποιούμε Ενεργό Οπτικό Δίκτυο (AON, Active Optical Network) ή Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (PON, Passive Optical Network) αντίστοιχα.

Τέλος, το δίκτυο πρόσβασης, που καταλήγει στις Οπτικές Μονάδες Δικτύου, αποτελεί τον οπτικό τερματισμό του σήματος. Από εκεί κι έπειτα το σήμα γίνεται ηλεκτρικό και μεταφέρεται μέσω χάλκινου καλωδίου στον συνδρομητή. Κάθε OMD επικοινωνεί με 20 περίπου χρήστες.

Αν αυτό το κομμάτι αναδιαταχθεί έτσι ώστε κάθε OMD να επικοινωνεί με έναν χρήστη και μεταφερθεί η OMD στο χώρο του χρήστη, θα έχει επιτευχθεί η τεχνολογία Οπτική Ίνα Στο Σπίτι (FTTH). Μέχρι τότε μπορούν να χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες ADSL/VDSL2 στο τελευταίο κομμάτι του δικτύου.

Ενεργό Οπτικό Δίκτυο (Active Optical Network, AON)

Η τεχνολογία AON χρησιμοποιεί διατάξεις ενεργού εξοπλισμού στους κόμβους διανομής. Η διαφορά της τεχνολογίας AON από την PON βρίσκεται στον τρόπο υλοποίησης της διάταξης όπου τερματίζει το δίκτυο διανομής και από την οποία ξεκινούν οι υψηλού εύρους ζώνης συνδέσεις και φτάνουν μέχρι το συνδρομητή.

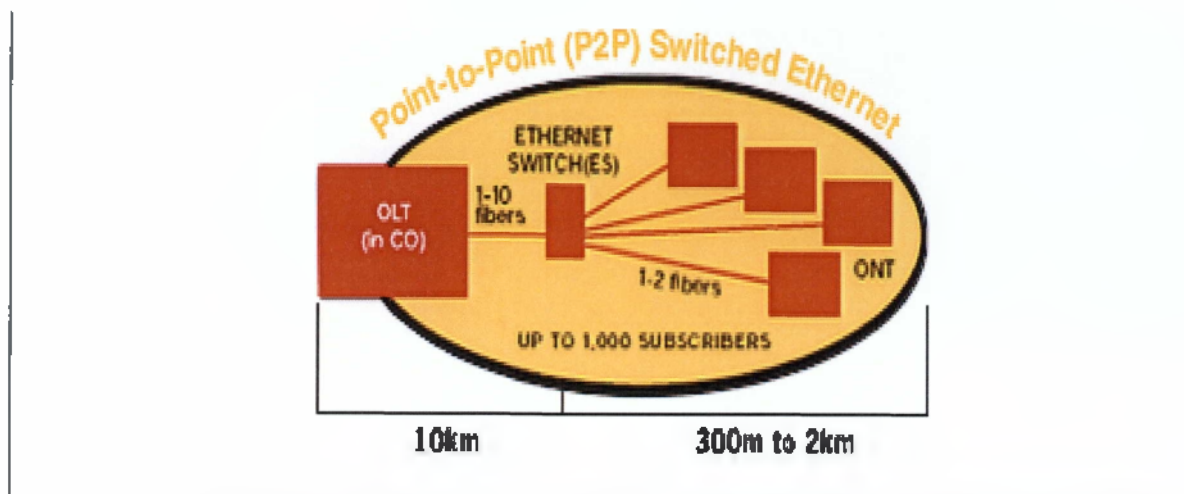
Στην τεχνολογία AON η διάταξη αυτή αποτελείται από ενεργό εξοπλισμό, δηλαδή εξοπλισμό που απαιτεί ηλεκτρική τροφοδοσία και εκτελεί έξυπνες εργασίες δρομολόγησης δεδομένων. Ο εξοπλισμός αυτός μετατρέπει το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό και ξανά σε οπτικό οπότε, μέσα από την αναγέννηση, εξαλείφεται η εξασθένηση του οπτικού σήματος.

Επίσης η τεχνολογία AON επιτρέπει τη δημιουργία οπτικών δακτυλίων όπου παρέχεται η δυνατότητα προστασίας του δικτύου μέσω της μετάδοσης του σήματος σε δυο διαδρομές (η προστασία συνίσταται στην εξασφάλιση της δυνατότητας μετάδοσης δεδομένων ακόμη και αν εμφανιστεί βλάβη στη μια διαδρομή).

Φυσικά απαιτείται από την πλευρά του χρήστη ο κατάλληλος εξοπλισμός τερματισμού των οπτικών ινών (Optical Network Unit – ONU) που παρέχει τη θύρα πρόσβασης στο οπτικό δίκτυο.

Τα ενεργά Οπτικά Δίκτυα, είναι μια προσέγγιση, που δεν είναι πολύ διαδεδομένη για το σχεδιασμό των κόμβων διανομής. Οι συνδέσεις point-to-point (P2P) μεταξύ των κύριων κατανεμητών και των συνδρομητών, που χρησιμοποιούν κατεξοχήν την τεχνολογία IEEE 802.3ah EFM (Ethernet in the First Mile) για την πρόσβαση στο ευρυζωνικό περιεχόμενο.

Οι συνδέσεις P2P δίνουν στους χρήστες μεγαλύτερο αποκλειστικό εύρος ζώνης, σε σχέση με τα διαμοιραζόμενα συστήματα και τη δυνατότητα πρόσβασης σε περισσότερο υλικό μελλοντικά. Η αναβάθμισή τους γίνεται εύκολα και επηρεάζει ένα χρήστη κάθε φορά και δεν απαιτούνται αλλαγές σε κεντρικές εγκαταστάσεις.



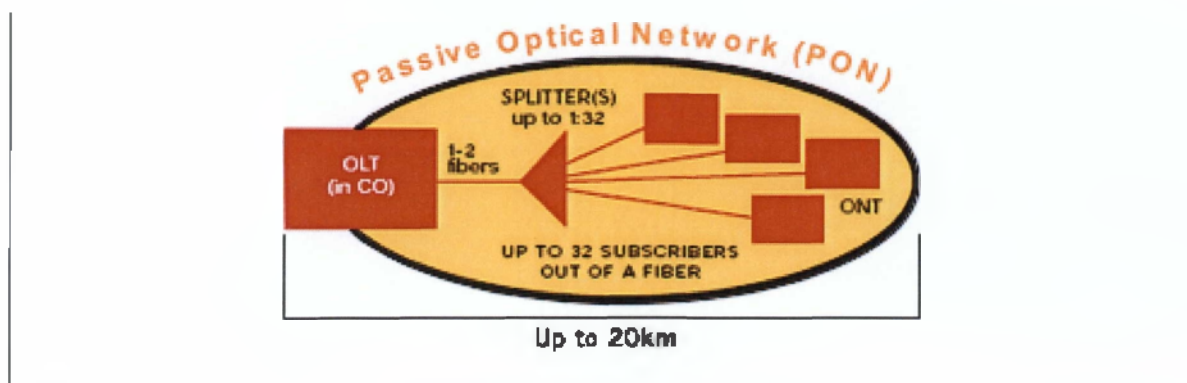
Εικόνα 11 Σημείο-προς-σημείο Switched Ethernet

Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network, PON)

Όπως είπαμε και παραπάνω, τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα, είναι αυτά που στους κόμβους διανομής χρησιμοποιούν παθητικό εξοπλισμό. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούν διαχωριστές για την πολλαπλή μετάδοση ενός σήματος σε πολλές Οπτικές Μονάδες Δικτύου, τυπικά 32.

Αποτελούνται από έναν Τερματιστή Οπτικής Γραμμής (Optical Line Termination, OLT) στο κεντρικό γραφείο του φορέα παροχής υπηρεσιών και τις οπτικές μονάδες δικτύου (ONUs) κοντά στους τελικούς χρήστες. Αυτό επιτρέπει την εξοικονόμηση σε οπτικές ίνες αλλά και σε εξοπλισμό κυρίων κατανομών, που χρησιμοποιείται στις σημείο-προς-σημείο συνδέσεις.

Τα PONs έχουν μια τοπολογία δέντρου προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η κάλυψή τους με χρήση ελάχιστων διαχωριστών, μειώνοντας κατά συνέπεια τις απώλειες οπτικής ισχύος. Αυτό είναι σημαντικό, καθώς το παθητικό δίκτυο διανομής δεν έχει κανέναν ενισχυτή ή αναγεννητή.



Εικόνα 12 Παθητικό Οπτικό Δίκτυο

Υπάρχουν τρεις τυποποιημένες εκδόσεις PON: Ethernet PON (EPON, IEEE 802.3ah), ATM PON και Broadband PON (APON-BPON, ITU-TG.983) και Gigabit PON (GPON, ITU-TG.984). Όλες χρησιμοποιούν δύο μήκη κύματος, ένα για την προς τα κάτω και ένα για την προς τα πάνω μετάδοση δεδομένων. Αυτά τα μήκη κύματος μοιράζονται χρονικά μεταξύ των χρηστών, με πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDMA - PONs).

Το συνολικό διαθέσιμο εύρος ζώνης ανά χρήστη περιορίζεται έτσι από αυτό το μοίρασμα. Ένα τρίτο μήκος κύματος μπορεί προαιρετικά να χρησιμοποιηθεί για την προς τα κάτω μετάδοση αναλογικής τηλεόρασης (RF). Η Πολυπλεξία Μήκους Κύματος (WDM) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα PON για να αυξήσει τη συνολική χωρητικότητα του δικτύου. Ο πίνακας που παραθέτουμε παρακάτω συγκρίνει μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά των τεχνολογιών PON.

	EPON	BPON	GPON	WDM-PON
Standard	IEEE 802.3ah	ITU G.983	ITU G.984	None
Framing	Ethernet	ATM	GFP/ATM	Protocol Independent
Maximum Bandwidth	1 Gbit/s	622 Mbit/s	2.488 Gbit/s	1-10 Gbit/s per channel
Users/PON	16	32	64	100's
Average Bandwidth per User	60 Mbit/s	20 Mbit/s	40 Mbit/s	1-10 Gbit/s
Video	RF / IP	RF	RF / IP	RF / IP
Estimated Cost	Lowest	Low	Medium	High

Εικόνα 13 Σύγκριση των τεχνολογιών PON

BPON και GPON

Το 1995, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι στις ΗΠΑ ένωσαν τις δυνάμεις τους στην επιτροπή FSAN (Full Access Service Network) για να προτυποποιήσουν την τεχνολογία PON (Passive Optical Network). Τα αποτελέσματα των προσπαθειών τους τυποποιήθηκαν στις συστάσεις της ITUG.983 και G.984. Η ελλοχεύουσα τεχνολογία μετάδοσης για την πρώτη κατηγορία προτύπου βασίζεται στην ATM-ενθυλάκωση.

Λόγω αυτού, ονομάστηκε ATMPON (APON). Το όνομα άλλαξε αργότερα σε Ευρυζωνικό PON (BPON) για να υπογραμμίσει ότι η κίνηση δεν περιορίζεται σε μεταδόσεις ATM μόνο. Τα πρότυπα BPON διευκρινίζουν τη λειτουργία από το φυσικό στρώμα μέχρι το OAM. Οι μέγιστες ταχύτητες είναι 622 Mbit/s προς τα κάτω και 155 Mbit/s προς τα πάνω.

Καθώς η ενθυλάκωση της IP κυκλοφορίας σε πακέτα ATM δημιουργεί μεγάλο πλεόνασμα δεδομένων που οφείλονται στην επικεφαλίδα, και στην προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα πιο ευέλικτο πρότυπο, αναπτύχθηκε το GPON (Gigabit PON).

Στο GPON, η ενθυλάκωση πραγματοποιείται μέσω ενός πρωτοκόλλου που λέγεται Generic Framing Protocol, μία ευέλικτη μέθοδο που επιτρέπει τη διαχείριση πληροφοριών μεταβλητού ρυθμού δεδομένων. Χρησιμοποιούνται μεγαλύτερα πακέτα μεταβλητού μήκους και προσφέρεται η δυνατότητα στα δεδομένα που είναι ευαίσθητα στην καθυστέρηση, όπως η φωνή και το βίντεο, να μπαίνουν σε προτεραιότητα και τα υπόλοιπα δεδομένα να ακολουθούν (Quality of Service, QoS). Το δίκτυο GPON παραδίδει μέχρι 2,488 Gbps ρυθμό δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις και είναι ικανό να προσφέρει υπηρεσίες triple play (φωνή, βίντεο, δεδομένα).

EPON

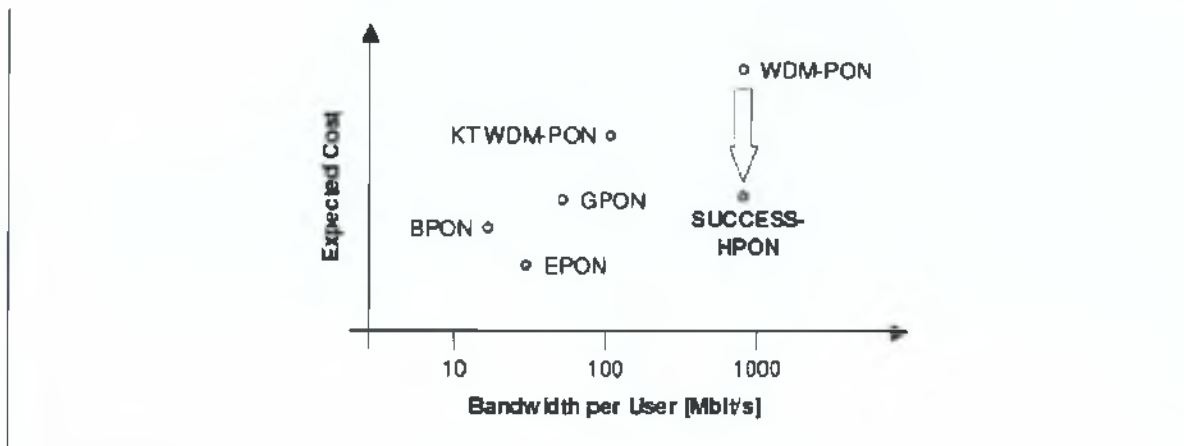
Μια ξεχωριστή προσπάθεια τυποποίησης PON άρχισε με βάση το IEEE Ethernet πρωτόκολλο. Η ιδέα εδώ ήταν να χρησιμοποιηθεί η τεράστια υποδομή Ethernet χαμηλού κόστους για να γίνει απλούστερη και πιο φθηνή τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα PON.

Το μειονέκτημα είναι ότι το Ethernet είναι κατασκευασμένο συνήθως για εκρηκτικού ρυθμού υπηρεσίες και όχι για υπηρεσίες σταθερού ρυθμού ή πολυπλεξίας TDM. Το EPON αναπτύχθηκε και τυποποιήθηκε ως το IEEE 802.ah πρότυπο.

Το πρότυπο εστιάζει κυρίως στο φυσικό στρώμα μετάδοσης και έτσι η διαλειτουργικότητα των υψηλότερων στρωμάτων δεν είναι εγγυημένη. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για το EPON είναι θεωρητικά τα 1,25 Gbit/s, αλλά λόγω της χρήσης της κωδικοποίησης 8B/10B, αυτός γίνεται ουσιαστικά 1 Gbit/s.

WDM-PON

Τα WDM-PON, όπως αναφέραμε ανωτέρω, χρησιμοποιούν ακριβό εξοπλισμό και, εκτός από τα μεγάλης απόστασης δίκτυα, το κόστος τους μοιράζεται σε μερικές δεκάδες χρηστών μόνο. Εντούτοις, μπορούν να παρέχουν ρυθμούς Gbit/s σε κάθε χρήστη, που τα TDM-PONs δεν μπορούν. Το ζήτημα όμως είναι πώς να γίνεται αυτό κατά τρόπο οικονομικά αποδοτικό.

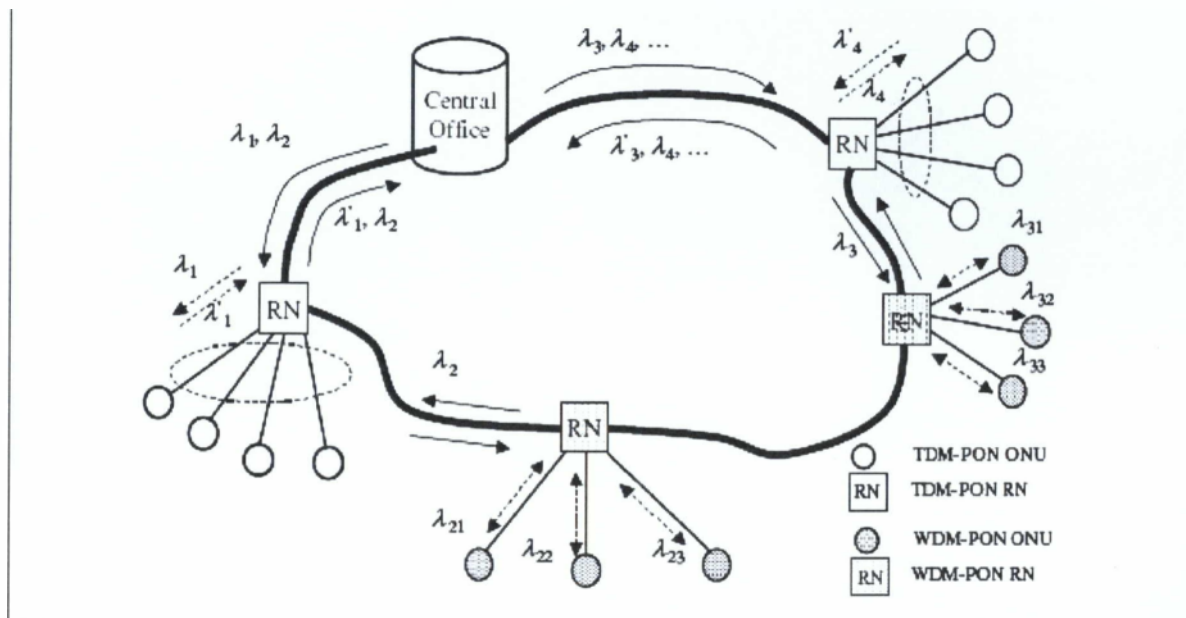


Εικόνα 14 Σχέση Κόστους και εύρος ζώνης των Παθητικών Οπτικών Δικτύων

Υβριδικά TDM/WDM-PONs

Η ανάπτυξη των τεχνολογιών TDMA-PONs έχει ξεκινήσει. Λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες υποδομές και τις αυξανόμενες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, το ζήτημα θα είναι πώς να περάσουμε στην τεχνολογία WDM-PON με έναν εύκαμπτο και οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Κάποια υβριδικά TDM/WDM PON μοντέλα έχουν προταθεί, συμπεριλαμβανομένων των Hybrid PON της Samsung και του SUCCESS-DWA και του SUCCESS-HPON του Στάνφορντ.

Οι παραλλαγές SUCCESS-DWA και SUCCESS-HPON που προτάθηκαν από το πανεπιστήμιο του Stanford, παρέχουν μια ομαλή μετάβαση από τις υλοποιήσεις TDM στις WDM-PON. Η Εικόνα 15 δείχνει τη θέση του SUCCESS-HPON ανάμεσα στις άλλες υλοποιήσεις PON. Παρέχει εύρος ζώνης συγκρίσιμο με τις απλές WDM-PON, αλλά σε χαμηλότερα κόστη. Αυτό επιτυγχάνεται καταργώντας την εγκατάσταση των laser στο χώρο των συνδρομητών και τοποθετώντας τους στους κύριους καταναμητές. Σ' αυτήν την περίπτωση, ένα συνεχές κύμα στέλνεται από τον κύριο καταναμητή στους συνδρομητές, με το οποίο θα διαμορφώσουν τα δεδομένα που θα στείλουν πίσω στο δίκτυο. Με την αφαίρεση των laser και την τοποθέτησή του στους κύριους καταναμητές, η εγκατάσταση γίνεται πολύ πιο φθηνή αφού μειώνονται οι απαραίτητες συσκευές που πρέπει να τοποθετηθούν στο σύστημα.



Εικόνα 15 Αρχιτεκτονική SUCCESS-HPON

Παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM)

Ορισμός

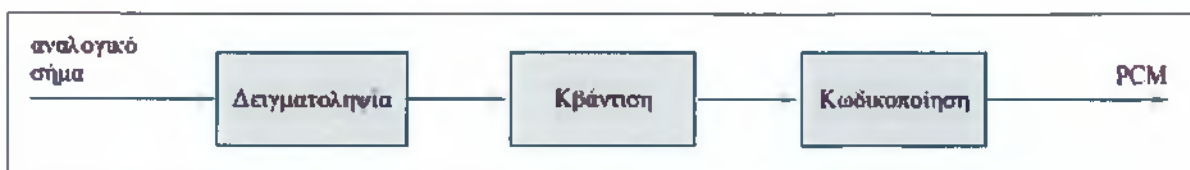
Η παλμοκωδική διαμόρφωση (Pulse Code Modulation – PCM) αποτελεί μια από τις κύριες τεχνικές μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Οι βασικές λειτουργίες της απεικονίζονται συνοπτικά στο παρακάτω σχήμα.

Γενικά, η PCM διευκολύνει τη ψηφιακή μετάδοση από σημείο σε σημείο (σε σειρά ζεύξεων). Εκτός από την τηλεφωνία, η PCM χρησιμοποιείται στον ψηφιακό ήχο σε προσωπικούς υπολογιστές και στα CD (δεν συνηθίζεται όμως στα DVD).

Ιστορικά

Η παλμοκωδική διαμόρφωση (Pulse Code Modulation – PCM) δοκιμάσθηκε για πρώτη φορά το 1948 στα Bell Labs για τη μετάδοση αναλογικού σήματος φωνής 4kHz ως ψηφιακού σήματος 64 Kbps. Άρχισε να χρησιμοποιείται στο τηλεφωνικό σύστημα

- 1962 στις ΗΠΑ: 24 κανάλια φωνής σε φορέα 1,5 Mbps και
- 1969 στην Ευρώπη: 30 κανάλια φωνής σε φορέα 2 Mbps.



Εικόνα Error! Reference source not found. Παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM)

Δειγματοληψία

Η διαδικασία της δειγματοληψίας βασίζεται στο θεώρημα δειγματοληψίας για σήματα περιορισμένου εύρους ζώνης. Το θεώρημα δειγματοληψίας έχει ως εξής :

Έστω το σήμα $m(t)$, περιορισμένου εύρους ζώνης το οποίο δειγματοληπτείται κάθε T sec όπου $T \leq 1/2f_m$ και f_m η μέγιστη συχνότητά του. Το σήμα $m(t)$ είναι δυνατόν να ανακτηθεί από τις τιμές των δειγμάτων του $m(nT_s)$, όπου n ακέραιος και T_s ο ρυθμός δειγματοληψίας, χωρίς παραμόρφωση αρκεί ο χρόνος δειγματοληψίας T_s να είναι αρκετά γρήγορος ώστε τουλάχιστον δύο δείγματα να λαμβάνονται στην περίοδο που αντιστοιχεί στη μέγιστη συχνότητα του σήματος.

Κατά την διαδικασία λοιπόν της δειγματοληψίας, λαμβάνονται δείγματα της εισερχόμενης κυματομορφής πληροφορίας με μια ακολουθία στενών ορθογώνιων παλμών.

Για να εξασφαλιστεί η τέλεια ανακατασκευή της πληροφορίας στο δέκτη, ο ρυθμός της δειγματοληψίας πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το διπλάσιο της υψηλότερης συνιστώσας συχνότητας W της κυματομορφής πληροφορίας σύμφωνα με το θεώρημα δειγματοληψίας. Στην πράξη, πριν να εισάγουμε το σήμα στο δειγματολήπτη, χρησιμοποιείται ένα βαθυπερατό φίλτρο έτσι ώστε να απορρίπτονται συχνότητες μεγαλύτερες από W πριν από την δειγματοληψία.

Στην περίπτωση λοιπόν κατά την οποία θέλουμε να μεταδώσουμε σήμα ομιλίας, είναι αρκετό το εύρος συχνοτήτων 0-4000 Hz. Επομένως χρησιμοποιούμε ένα βαθυπερατό φίλτρο το οποίο επιτρέπει τη διέλευση των συχνοτήτων στο φάσμα 0-4000 Hz ενώ αποκόπτει τις υπόλοιπες συχνότητες.

Η μέγιστη συχνότητα του σήματος πληροφορίας θα είναι $f_{max} = 4000$ Hz. Σύμφωνα με το θεώρημα δειγματοληψίας θα έχουμε όλη την πληροφορία που περιέχει το φάσμα μιας

συνδιάλεξης αν μεταδώσουμε από το φάσμα αυτό τουλάχιστο 8000 δείγματα ανά sec, η αλλιώς η συχνότητα δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι ίση με 8000 Hz.

Κβάντιση

Ένα συνεχές σήμα, όπως η φωνή, έχει συνεχές πεδίο τιμών πλάτους και συνεπώς τα δείγματά του έχουν συνεχές πεδίο τιμών πλάτους. Με άλλα λόγια μέσα στο πεπερασμένο πεδίο τιμών του σήματος βρίσκουμε έναν άπειρο αριθμό σταθμών πλάτους. Στην πραγματικότητα όμως δεν είναι απαραίτητο να μεταδίδουμε τα ακριβή πλάτη των δειγμάτων.

Οποιαδήποτε ανθρώπινη αίσθηση (π.χ. το αυτί, το μάτι), σαν τελικός δέκτης, μπορεί να ανιχνεύσει πεπερασμένες διαφορές έντασης. Αυτό σημαίνει ότι το αρχικό συνεχές σήμα μπορεί να προσεγγιστεί από ένα σήμα το οποίο κατασκευάζεται από διακριτά πλάτη, επιλεγμένα από ένα διαθέσιμο σύνολο με βάση την ελαχιστοποίηση του σφάλματος.

Η ύπαρξη ενός πεπερασμένου αριθμού διακριτών σταθμών πλάτους είναι μια βασική συνθήκη της PCM. Προφανώς εάν καθορίσουμε διακριτές στάθμες πλάτους με αρκετά μικρό βήμα μεταξύ τους, μπορούμε να κάνουμε το προσεγγιζόμενο σήμα να μη ξεχωρίζει πρακτικά από το αρχικό συνεχές σήμα.

Η μετατροπή ενός αναλογικού (συνεχούς) δείγματος του σήματος σε μια ψηφιακή (διακριτή) μορφή καλείται διαδικασία κβάντισης (quantizing). Γραφικά, η διαδικασία κβάντισης σημαίνει ότι μια ευθεία γραμμή που παριστάνει τη σχέση μεταξύ της εισόδου και της εξόδου ενός γραμμικού συνεχούς συστήματος αντικαθίσταται από μια κλιμακωτή (staicase) χαρακτηριστική.

Η διαφορά μεταξύ των δύο γειτονικών διακριτών τιμών ονομάζεται κβάντο (quantum) ή μέγεθος βήματος (step-size). Τα σήματα που εφαρμόζονται σε έναν κβαντιστή (quantizer), ταξινομούνται σε στάθμες πλάτους (βήματα) και όλα τα σήματα εισόδου τα οποία βρίσκονται στο συν ή πλην μισό ενός κβάντου της μεσαίας τιμής μιας στάθμης, αντικαθίστανται στην έξοδο από την υπόψη μεσαία τιμή.

Οι διαφορές μεταξύ του αναλογικού σήματος στην είσοδο με το κβαντισμένο σήμα στην έξοδο ονομάζεται σφάλμα κβαντισμού (quantizing error) ή θόρυβος κβάντισης. Είναι φανερό ότι η μέγιστη στιγμιαία τιμή αυτού του σφάλματος είναι το μισό ενός κβάντου και το συνολικό εύρος της μεταβολής είναι από -μισό έως +μισό βήμα.

Ας θεωρήσουμε ένα σήμα περιορισμένου εύρους ζώνης $x(t)$. Εφαρμόζοντας την πράξη της δειγματοληψίας σ' αυτό, λαμβάνουμε το διακριτό σήμα $x_s(t) = x(nT_s)$, $n = 1, 2, \dots$, όπου T_s είναι η περίοδος δειγματοληψίας.

Κατά την κβάντιση του σήματος, οι τιμές $x_s(nT_s)$ μετατρέπονται σε μία από τις Q επιτρεπόμενες τιμές $m_1, m_2, \dots, m_Q$, δίνοντας έτσι την ακολουθία παλμών $x_q(nT_s)$. Τελικά, το εξαγόμενο σήμα από τον κβαντιστή είναι η ακόλουθη κυματομορφή

$$x_q(t) = x_q(nT_s), \quad nT_s \leq t < (n+1)T_s, \quad n=1, 2, \dots$$

Εικόνα 16 Εξαγόμενο σήμα του κβαντιστή

Κωδικοποίηση

Συνδυάζοντας τις διαδικασίες δειγματοληψίας και κβάντισης, ένα συνεχές σήμα βασικής ζώνης περιορίζεται σε ένα διακριτό σύνολο τιμών, αλλά όχι σε μορφή που να ταιριάζει καλά σε μετάδοση μέσω μίας γραμμής ή ενός ράδιο-διαύλου.

Για να εκμεταλλευτούμε τα πλεονεκτήματα δειγματοληψίας και κβάντισης απαιτείται η χρησιμοποίησης μίας διαδικασίας κωδικοποίησης (encoding process) για τη μετατροπή του διακριτού συνόλου των τιμών των δειγμάτων σε μια πιο κατάλληλη μορφή. Κάθε σχέδιο για την αναπαράσταση καθενός από αυτά τα διακριτά σύνολα τιμών σαν μια ιδιαίτερη διάταξη διακριτών γεγονότων ονομάζεται κώδικας (code).

Ένα από τα διακριτά γεγονότα σ' ένα κώδικα ονομάζεται στοιχείο του κώδικα (code element) ή σύμβολο (symbol). Για παράδειγμα, η παρουσία ή η απουσία ενός παλμού

είναι ένα σύμβολο. Μια ιδιαίτερη διάταξη συμβόλων, που χρησιμοποιείται σε ένα κώδικα, για την παράσταση μίας μόνο τιμής του διακριτού συνόλου ονομάζεται κωδική λέξη (codeword) ή χαρακτήρας (character).

Σ' ένα δυαδικό κώδικα (binary code) κάθε σύμβολο μπορεί να πάρει μια από δύο διακριτές τιμές ή είδη, όπως η παρουσία ή η απουσία ενός παλμού. Τα δύο σύμβολα ενός δυαδικού κώδικα συνήθως συμβολίζονται με 0 και 1. Σ' ένα τριαδικό κώδικα (ternary code), κάθε σύμβολο μπορεί να είναι μια από τρεις διακριτές τιμές ή είδη, κι έτσι συνεχίζεται για τους άλλους κώδικες.

Ωστόσο, τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την επίδραση του θορύβου σ' ένα μέσο μετάδοσης, επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας δυαδικό κώδικα και αυτό επειδή ένα δυαδικό σύμβολο αντέχει μια σχετικά υψηλή στάθμη θορύβου και είναι εύκολο να αναγεννηθεί.

Αναγέννηση

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό των συστημάτων PCM βρίσκεται στην ικανότητα να ελέγχουν τις επιδράσεις της παραμόρφωσης και του θορύβου που παράγονται κατά την μετάδοση μιας κυματομορφής PCM μέσω ενός διαύλου. Αυτή η δυνατότητα επιτυγχάνεται με την ανακατασκευή της κυματομορφής PCM μέσω μιας αλυσίδας αναγεννητικών επαναληπτών (regenerative repeaters) που είναι τοποθετημένοι σε αρκετά μικρή απόσταση κατά μήκος της διαδρομής μετάδοσης. Ο αναγεννητικός επαναλήπτης εκτελεί τρεις βασικές λειτουργίες. Την ισοστάθμιση (equalization), τον χρονισμό (timing) και τη λήψη απόφασης (decision making).

Ο ισοσταθμιστής μορφοποιεί τους λαμβανόμενους παλμούς έτσι ώστε να αντισταθμίζει τις επιδράσεις παραμόρφωσης πλάτους και φάσης που παράγονται από τη χαρακτηριστική μετάδοσης του διαύλου.

Το κύκλωμα χρονισμού περιέχει μια περιοδική ακολουθία παλμών, που παράγεται από τους λαμβανόμενους παλμούς, για τη δειγματοληψία των ισοσταθμισμένων παλμών σε χρονικές στιγμές όπου ο λόγος σήματος προς θόρυβο είναι μέγιστος.

Η διάταξη απόφασης ενεργοποιείται όταν στο χρόνο δειγματοληψίας που καθορίζεται από το κύκλωμα χρονισμού, το πλάτος του ισοσταθμισμένου παλμού με το θόρυβο ξεπερνά μια προκαθορισμένη στάθμη τάσης.

Έτσι για παράδειγμα, σ' ένα σύστημα PCM με τροφοδοσία on - off, ο επαναλήπτης παίρνει μια απόφαση σε κάθε διάρκεια bit κατά πόσο υπάρχει ή όχι παλμός. Εάν η απόφαση είναι "ναι", μεταδίδεται ένας καινούργιος παλμός προς το επόμενο επαναλήπτη. Αν από την άλλη πλευρά η απόφαση είναι "όχι", μεταδίδεται μια καθαρή μηδενική στάθμη.

Κατά αυτό τον τρόπο, η συσσώρευση παραμόρφωσης και θορύβου σε ένα διάστημα μεταξύ επαναληπτών απαλείφεται πλήρως, με την προϋπόθεση ότι η παρενόχληση δεν είναι τόσο μεγάλη ώστε να προκαλέσει σφάλμα στη διαδικασία λήψης απόφασης. Στην ιδανική περίπτωση, εκτός από την καθυστέρηση, το αναδημιουργούμενο σήμα είναι ακριβώς το ίδιο όπως το αρχικά μεταδιδόμενο σήμα. Στην πράξη όμως, το αναδημιουργούμενο σήμα διαφέρει από το αρχικό σήμα για δύο κυρίως λόγους :

1. Η παρουσία θορύβου μετάδοσης και η παρεμβολή περιστασιακά προκαλούν λανθασμένες αποφάσεις στον επαναλήπτη εισάγοντας έτσι λανθασμένα bit (bit errors) στο αναδημιουργούμενο σήμα.
2. Εάν η απόσταση μεταξύ των λαμβανομένων παλμών αποκλίνει από την αρχική τιμή της, εισάγεται μια αστάθεια (jitter) στη θέση του αναδημιουργούμενου παλμού προκαλώντας με αυτό τον τρόπο παραμόρφωση.

Αποκωδικοποίηση

Η πρώτη λειτουργία στον δέκτη είναι η αναγέννηση (επαναμορφοποίηση και καθαρισμός) των λαμβανόμενων παλμών. Αυτοί οι καθαροί παλμοί, στη συνέχεια, ομαδοποιούνται ξανά σε κωδικές λέξεις και αποκωδικοποιούνται (δηλαδή αντιστοιχίζονται) σ' ένα κβαντισμένο σήμα ΡΑΜ (διαμόρφωση πλάτους παλμών).

Στη διαμόρφωση ΡΑΜ, τα πλάτη ισαπέχοντων ορθογώνιων παλμών μεταβάλλονται σύμφωνα με τις στιγμιαίες τιμές των δειγμάτων ενός συνεχούς σήματος πληροφορίας. Η διαδικασία αποκωδικοποίησης (decoding) περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός παλμού, το πλάτος του οποίου είναι το γραμμικό άθροισμα όλων των παλμών στη κωδική λέξη, με τον κάθε παλμό να έχει βάρος την τιμή της θέσης του (20, 21, 22, 23,...) στον κώδικα.

Φιλτράρισμα

Η τελική λειτουργία στον δέκτη είναι η ανάκτηση της κυματομορφής σήματος περνώντας την έξοδο του αποκωδικοποιητή μέσω ενός βαθυπερατού φίλτρου ανακατασκευής, του οποίου η συχνότητα αποκοπής είναι ίση με το εύρος ζώνης W της πληροφορίας.

Υποθέτοντας ότι η διαδρομή μετάδοσης είναι ελεύθερη από σφάλματα, το σήμα που ανακτάται δεν περιλαμβάνει θόρυβο, με εξαίρεση την αρχική παραμόρφωση που εισάγεται από την διαδικασία κβάντισης.

Πολυπλεξία

Σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν PCM, είναι φυσικό να πολυπλέκονται διάφορες πηγές πληροφορίας με διαίρεση στο χρόνο, ενώ κάθε πηγή κρατάει την ανεξαρτησία της, καθ' όλη τη διαδρομή από τον πομπό στον δέκτη.

Αυτή η ανεξαρτησία είναι υπεύθυνη για τη συγκριτική ευκολία με την οποία οι πηγές πληροφορίας μπορούν να βγούνε ή να ξαναμπούν σε ένα σύστημα πολυπλεξίας με διαίρεση χρόνου. Καθώς ο αριθμός των ανεξάρτητων πηγών πληροφορίας αυξάνει, το διάστημα χρόνου που διατίθεται σε μία πηγή πρέπει να μειωθεί καθώς όλες πρέπει να εξυπηρετηθούν μέσα σε ένα χρονικό διάστημα ίσο με το αντίστροφο του ρυθμού δειγματοληψίας.

Αυτό με τη σειρά του σημαίνει ότι μειώνεται η επιτρεπόμενη διάρκεια της κωδικής λέξης που παριστάνει ένα απλό δείγμα. Ωστόσο, η παραγωγή και μετάδοση των παλμών τείνει να γίνει δυσκολότερη καθώς η διάρκειά τους μειώνεται. Επιπλέον, εάν οι παλμοί γίνουν πολύ μικροί, τα σφάλματα στο μέσο μετάδοσης αρχίζουν να παρεμβάλλουν στην ορθή λειτουργία του συστήματος. Συνεπώς, στην πράξη είναι απαραίτητο να περιορίσουμε τον αριθμό των ανεξάρτητων πηγών πληροφορίας που μπορούν να περιληφθούν σε μια ομάδα διαίρεσης χρόνου.

Στην εφαρμογή της PCM στα τηλεφωνικά συστήματα μετάδοσης γίνεται πολυπλεξία πολλών καναλιών φωνής.

Στις ΗΠΑ χρησιμοποιείται το σύστημα T1 όπου 24 κανάλια φωνής πολυπλέκονται σε πλαίσιο των $125 \mu s (=1/8000)$ για μετάδοση πάνω από μια συνήθη τηλεφωνική γραμμή.

Στην Ευρώπη χρησιμοποιείται το σύστημα E1 όπου πολυπλέκονται 30 κανάλια φωνής και άλλα 2 για συγχρονισμό και σηματοδότηση.

Συγχρονισμός

Για να λειτουργήσει ικανοποιητικά ένα σύστημα PCM με πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου, είναι απαραίτητο οι λειτουργίες χρονισμού στον δέκτη, εκτός από τον χρόνο που χάνεται στη μετάδοση και στην αναγέννηση, να ακολουθούν από κοντά τις αντίστοιχες λειτουργίες στον πομπό. Γενικά, αυτό ισοδυναμεί με ότι το τοπικό ρολόι στο δέκτη πρέπει να κρατάει τον ίδιο χρόνο με ένα σταθερό μακρινό ρολόι στον πομπό, εκτός του ότι το τοπικό ρολόι καθυστερεί κατά μια ποσότητα που αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για τη μετάδοση του σήματος πληροφορίας από τον πομπό στον δέκτη.

Μια διαδικασία για τον συγχρονισμό των ρολογιών πομπού και δέκτη είναι να προσαρτηθεί ένα στοιχείο του κώδικα ή παλμός στο τέλος ενός πλαισίου (frame) το οποίο είναι η διαδοχή κωδικών λέξεων που προέρχονται από κάθε μία από τις ανεξάρτητες πηγές πληροφορίας και να μεταδίδει τον παλμό αυτό σε κάθε πλαίσιο.

Σε μια τέτοια περίπτωση, ο δέκτης περιλαμβάνει ένα κύκλωμα το οποίο ψάχνει για το σχηματισμό εναλλασσόμενων 1 και 0, με ρυθμό το μισό του ρυθμού πλαισίων, και έτσι επιτυγχάνει συγχρονισμό μεταξύ του πομπού και του δέκτη.

Όταν η μετάδοση διακόπτεται είναι αρκετά απίθανο ότι τα ρολόγια πομπού και δέκτη θα συνεχίσουν να δείχνουν τον ίδιο χρόνο για αρκετό χρονικό διάστημα. Συνεπώς, κατά την εκτέλεση μιας διαδικασίας συγχρονισμού πρέπει να ορίσουμε μια διαφορετική διαδικασία για την ανίχνευση του παλμού συγχρονισμού.

Η διαδικασία συνίσταται στην παρατήρηση στοιχείων του κώδικα ένα προς ένα, μέχρι να ανιχνευτεί ο παλμός συγχρονισμού. Δηλαδή μετά την παρατήρηση κάποιου συγκεκριμένου στοιχείου του κώδικα για αρκετό χρόνο ώστε να βεβαιωθούμε ότι δεν είναι παλμός συγχρονισμού, το ρολόι του δέκτη οπισθοχωρεί κατά ένα στοιχείο κώδικα και παρατηρείται το επόμενο στοιχείο κώδικα.

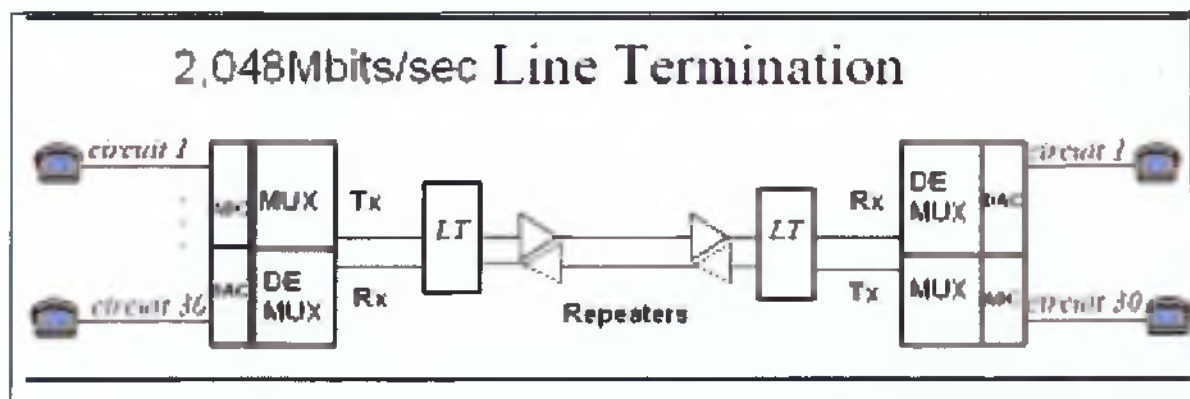
Αυτή η διαδικασία αναζήτησης επαναλαμβάνεται μέχρις ότου ανιχνευτεί ο παλμός συγχρονισμού. Προφανώς, ο χρόνος που απαιτείται για τον συγχρονισμό εξαρτάται από την στιγμή κατά την οποία επανακαθίσταται η σωστή μετάδοση.

Το πλαίσιο E1

Οι συστάσεις της ITU – T οι οποίες περιγράφουν την δομή του πλαισίου E1 είναι οι:

- G.703 – Διασύνδεση και κώδικες γραμμής
- G.704 – δομή πλαισίου – frame structure
- G.732 – Χαρακτηριστικά της πολυπλεξίας των PCM σημάτων.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε το πώς υλοποιείται η E1 point to point. Πολυπλέκτες, αποπολυπλέκτες και αναγεννητές και προς τις δύο κατευθύνσεις. Η ζεύξη σύμφωνα με τη σύσταση G.703 υλοποιείται είτε με ομοαξονικό καλώδιο 75 Ohm unbalanced ανά κατεύθυνση είτε με συνεστραμμένο ζεύγος –twisted pair 120 Ohm balanced ανά κατεύθυνση. Ο κώδικας γραμμής που χρησιμοποιείται είναι ο HDB3.



Εικόνα 17 Υλοποίηση του πλαισίου E1 point to point

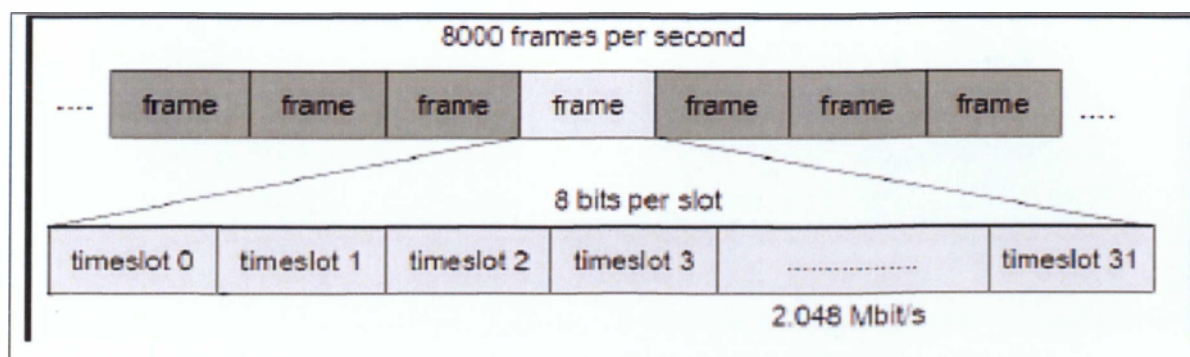
Η σύσταση G.704 είναι αυτή που περιγράφει τη δομή του πλαισίου E1. Η ανάλυση που ακολουθεί αφορά 30 αναλογικές τηλεφωνικές γραμμές οι οποίες μετατρέπονται σε 30 ψηφιακές γραμμές με την παλμοκωδική διαμόρφωση – Pulse code modulation (PCM).

Το E1 – 2048 Kbits/sec εξυπηρετεί 32 ψηφιακά κανάλια – time slots (TS) από το TS0 έως το TS31. Το TS0 δεσμεύεται από το σύστημα για το συγχρονισμό της ψηφιακής μετάδοσης και την αναγνώριση λαθών με την μέθοδο Cyclic Redundancy Check 4 bits – CRC-4.

Το TS16 επίσης είναι δεσμευμένο από το σύστημα για ειδική σηματοδότηση συσχέτισης καναλιών – channel associated signaling CAS. Κατά συνέπεια από τα 32 κανάλια μόνο τα 30 χρησιμοποιούνται για μεταφορά δεδομένων – Payload. Σύμφωνα με τα μέχρι τώρα στοιχεία προκύπτει το overhead percentage $(2/32) \times 100 = 6,25\%$ το οποίο εκφράζει το ποσοστό της μη ωφέλιμης πληροφορίας για το συνδρομητή.

Κατά συνέπεια από τα 2,048 Mbits/sec τα $0,0625 \times 2,048 \text{ Mbits/sec} = 0,128 \text{ Mbits/sec} = 128 \text{ Kbits/sec}$ χρησιμοποιείται από το σύστημα ενώ τα $0,9375 \times 2,048 \text{ Mbits/sec} = 1,92 \text{ Mbits/sec}$ χρησιμοποιείται από τη συνδρομητική βάση. Προφανώς όσο πιο πολύ αυξάνει ο ρυθμός μετάδοσης τόσο το overhead καταλαμβάνει μεγαλύτερο μέρος εις βάρος του payload. Άρα ένα πλαίσιο – frame του E1 – 2048 Kbits/sec:

- Αποτελείται από 32 κανάλια – time slots με 8 bits ανά κανάλι.
- Ένα time slot διαρκεί περίπου $8/2048 \text{ K} = 3,9 \text{ } \mu\text{sec}$
- $8 \times 32 = 256 \text{ bits}$ ανά frame
- Ένα frame έχει διάρκεια 125 μsec
- 8000 frames ανά δευτερόλεπτο παράγουν 2,048 Mbits/sec.

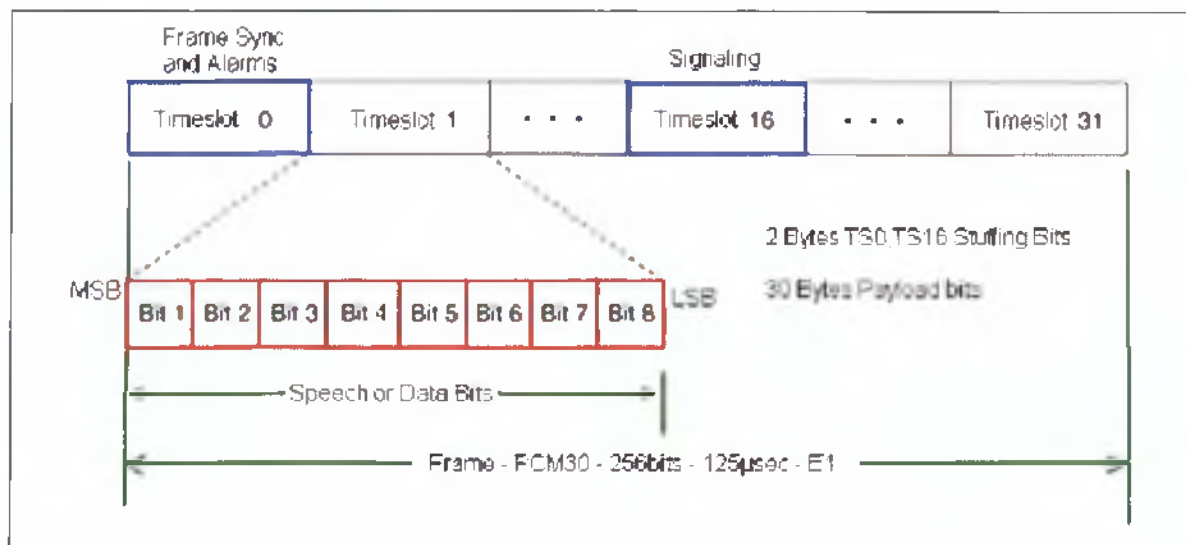


Εικόνα 18 Ισοδυναμία frames/second με bits/slot

- Το σύστημα E1 ομαδοποιεί τα frames ανά 16άδα.

- 16 frames δημιουργούν ένα multiframe structure – MFS.
- Ένα MFS διαιρείται σε δύο sub-multiframe – SMF.
- Το frame – 0 έως frame 7 ανήκουν στο 1ο SMF
- Το frame – 8 έως frame – 15 ανήκουν στο 2ο SMF.
- Ένα MFS διαρκεί $16 \times 125 \mu\text{sec} = 2 \text{ msec}$.

Σε 1 δευτερόλεπτο έχουμε 8000 frames αυτό μεταφράζεται σε $8000/16 = 500$ MFS. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τη δομή μιας χρονοθυρίδας – time slot (TS) ενός από τα 8000 frames του επιπέδου E1 – 2,048 Mbits/sec.



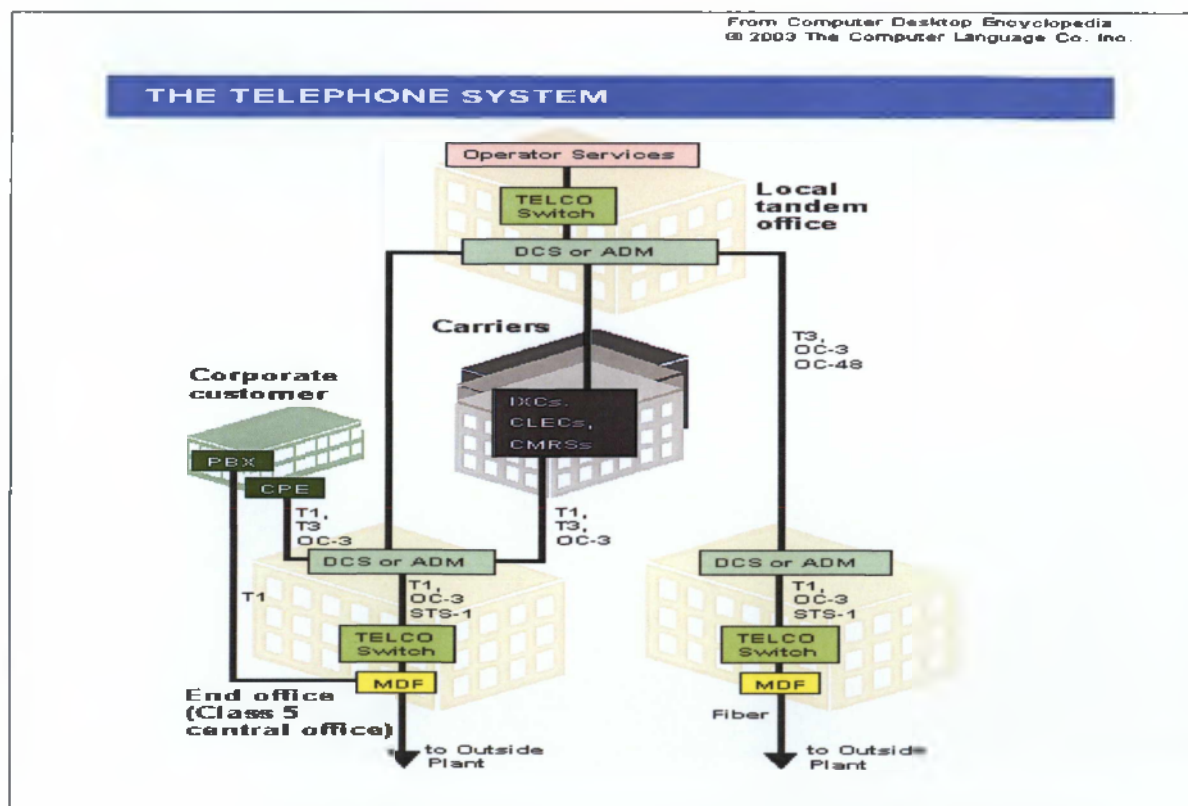
Εικόνα 20 Δομή ενός time slot ενός frame

Συστήματα ψηφιακής διασύνδεσης (DXC)

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε τα Συστήματα Ψηφιακής Διασύνδεσης (Digital Cross Connect Systems - DCX), δίνοντας αρχικά τον ορισμό τους κι εν συνεχεία τις κατηγορίες και την αρχιτεκτονική τους.

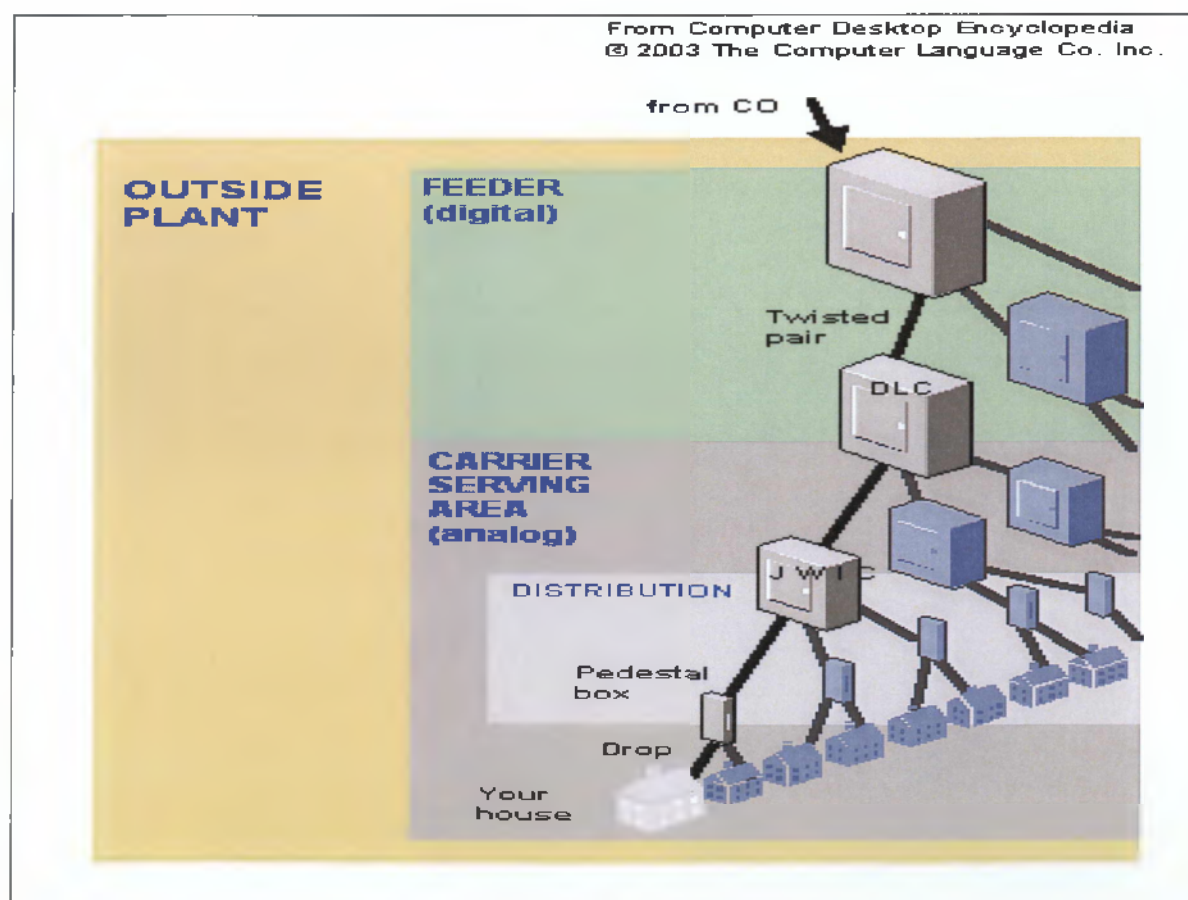
Ορισμός

Ένα ψηφιακό cross-connect σύστημα (DCS ή DXC) είναι ένας δικτυακός εξοπλισμός κυκλώματος μεταγωγής, που χρησιμοποιείται στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών και που επιτρέπει σε χαμηλότερου επιπέδου, σήματα TDM, όπως είναι τα DS0, να αναδιαμορφωθούν και να διασυνδεθούν σε υψηλότερου επιπέδου TDM σήματα, όπως είναι τα DS1. Οι μονάδες DCS λειτουργούν και στα δύο, παλαιότερης τεχνολογίας, σήματα T-carrier και E-carrier ρέματα, καθώς και στα νεότερης, όπως τα SONET/SDH.



Εικόνα 21 Ψηφιακό cross-connect σύστημα (DCS ή DXC)

Στην παραπάνω εικόνα, μπορούμε να δούμε πώς ένα τηλεφωνικό δίκτυο δομείται με την χρήση συστημάτων ψηφιακής διασύνδεσης. Οι μονάδες DCS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη ρύθμιση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, όπου μπορεί να εκτρέπει την κυκλοφορία από το ένα κύκλωμα στο άλλο σε περίπτωση βλάβης του δικτύου, να υποστηρίζει την αυτόματη τροφοδότηση, καθώς και σε άλλες εφαρμογές. Ένα DCS, σ' ένα δίκτυο κυκλώματος μεταγωγής, παρέχει μεγάλη ευελιξία, που σε διαφορετική περίπτωση μπορεί να εξασφαλιστεί μόνο με μεγαλύτερο κόστος.



Εικόνα 19 Ένα DCS σ' ένα δίκτυο κυκλώματος μεταγωγής

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, ενώ οι συσκευές DCS μετατοπίζουν τη κυκλοφορία, εντούτοις δεν είναι μεταγωγείς πακέτων. Αντίθετα, αλλάζουν κυκλώματα κι όχι πακέτα, και η διαχείριση των ρυθμίσεων του κυκλώματος διαρκεί για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα, συνήθως μήνες ή και περισσότερο.

Αντίθετα, οι μεταγωγείς πακέτων, οι οποίοι μπορούν να δρομολογήσουν κάθε πακέτο με διαφορετικό τρόπο, και λειτουργούν για χρονικά διαστήματα ίσα με δευτερόλεπτα.

Οι μονάδες DCS μερικές φορές αποκαλούνται και “DACS” μονάδες, μιας και αυτές οι μονάδες δημιουργήθηκαν και πωλήθηκαν από την AT&T's Western Electric division, η οποία έχει τώρα μετονομαστεί σε Alcatel-Lucent.

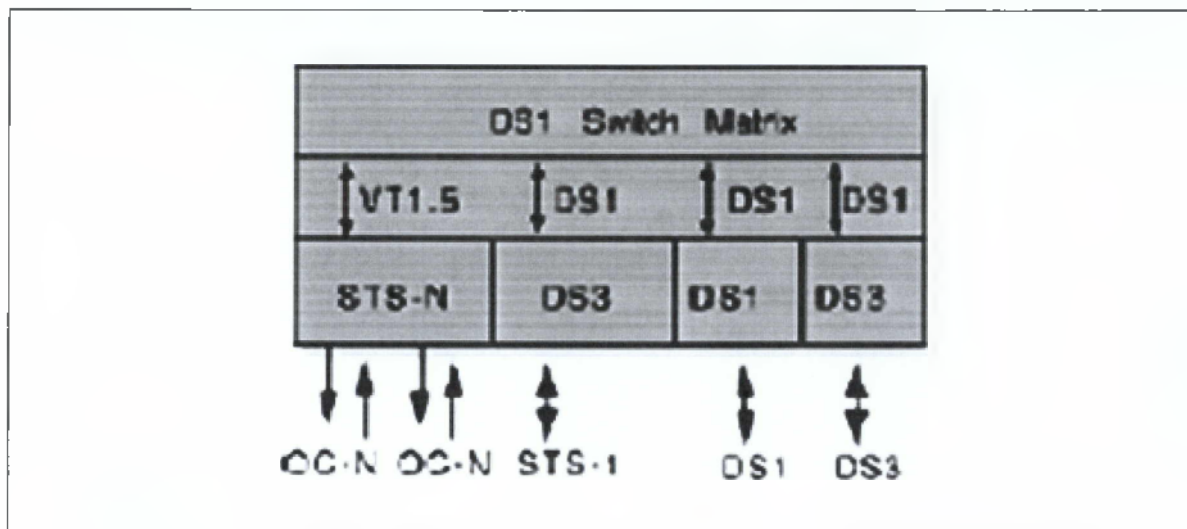
Κατηγορίες

Οι μονάδες DCS αναλύονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: **περιορισμένου εύρους, μεσαίου εύρους και ευρυζωνικές**. Οι μονάδες περιορισμένου εύρους αναφέρονται σε 1-0 DACSs που ασχολούνται κατά βάση με DS1s και DS0s. Οι εξωτερικές γραμμές σύνδεσης είναι οι DS1 και εν συνεχεία οι μονάδες DCS κάνουν τις συνδέσεις μέσω στο επίπεδο DS0.

Οι μονάδες μεσαίου εύρους εφαρμόζονται σε 3-1 DCS, μιας και είναι ικανές να ανταποκρίνονται σε DS3 καθώς και σε DS1 εξωτερικά interfaces. Έτσι γίνονται οι συνδέσεις της σε DS1 ρυθμό. Αυτού του είδους τα DCS έχουν ένα ενσωματωμένο M13 multiplex για να πραγματοποιηθούν αυτές οι συνδέσεις.

Ένα ευρυζωνικό DCS περιέχει DS3 ή μεγαλύτερες διεπαφές, συμπεριλαμβανομένων των SONET και OC-48. Το ευρυζωνικό DCS κάνει επίσης τα cross connections του σε ποσοστό DS3 ή και υψηλότερο. Σχεδόν όλες οι ευρυζωνικές DCS είναι σε θέση να δημιουργούν cross connections στο STS-1 επίπεδο του SONET, ενώ κάποιες μπορούν και σε ακόμα μεγαλύτερα επίπεδα του SONET.

Ο ρόλος τους έγκειται στο να δέχονται πολλαπλά οπτικά σήματα, προσπελάζοντας τα στοιχειώδη σήματα STS-1 και επιτρέποντας τη μεταγωγή τους στο επίπεδο αυτό. Τα στοιχεία αυτά καθιστούν δυνατή τη διασύνδεση πολύ μεγαλύτερου αριθμού STS-1 σημάτων, σε σχέση με τους πολυπλέκτες add-drop.



Εικόνα 20 DCS και σήματα STS-1

Το βασικό τους πλεονέκτημα είναι οι μειωμένες διαδικασίες πολύπλεξης/αποπολύπλεξης, λόγω του ότι γίνεται προσπέλαση και μεταγωγή μόνο των απαιτούμενων σημάτων. Τα χαρακτηριστικά αυτών των συσκευών, τις καθιστούν κατάλληλες για εφαρμογές διαχείρισης δικτύων.

Αρχιτεκτονική

Μία ψηφιακή cross-connect σύνδεση περιλαμβάνει: έναν αριθμό θυρών (ports) για τη λήψη/αποστολή σημάτων για επιλεκτικό αριθμό σημάτων που λαμβάνονται από ένα ή περισσότερα από ένα ports. Η cross-connect σύνδεση χαρακτηρίζεται από ένα πίνακα μεταγωγής, ο οποίος που διασύνδεει Optical Data Units (ODU-k).

Οι οπτικές μονάδες δεδομένων (ODU-k) μπορούν να μεταφέρουν SDH, Asynchronous Transfer Mode (ATM), Internet Protocol (IP) καθώς και Ethernet, όπως ορίζονται στο ITU-TG.709. Κατά συνέπεια, οι ψηφιακές μονάδες cross-connect (DXC) επιτρέπουν την πολλαπλή σύνδεση όλων των τύπων σημάτων που χαρτογραφήθηκαν στο ODU χρησιμοποιώντας ένα απλό πίνακα μεταγωγής.

Για παράδειγμα, οι μονάδες ATM μπορούν να ενεργοποιούνται χωρίς τη χρήση ενός συγκεκριμένου πίνακα μεταγωγής για την μονάδα αυτή. Οι οπτικές μονάδες δεδομένων (ODU-k) επιτρέπουν τη δρομολόγηση SDH/SONET, ATM, IP καθώς και Ethernet σημάτων στο εσωτερικό του ίδιου του πίνακα μεταγωγής χωρίς την ανάγκη να ενσωματωθούν διαφορετικοί πίνακες μεταγωγής.

Είναι γεγονός το ότι οι μονάδες DXC επιτρέπουν την εναλλαγή της βασικής δομής πληροφορίας του Optical Transport Network (OTN), δηλαδή του Optical Data Unit (ODU-k), όπως ορίζεται στο ITU-TG.709. Συνεπώς, μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμο με το ODU-1/2/3 ή ακόμα και με υψηλότερο DXC.

Επιπλέον, υπάρχει μία δεύτερη άποψη cross-connect σύνδεσης που περιλαμβάνει όπως και προηγουμένως έναν αριθμό από ports για τη λήψη/αποστολή σημάτων για επιλεκτικό αριθμό σημάτων που λαμβάνονται από ένα ή περισσότερα από ένα ports.

Η διαφορά όμως είναι ότι ο πίνακας μεταγωγής είναι σε θέση να εναλλάσσει τη σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία (Synchronous Digital Hierarchy - SDH) με σύγχρονα πλαίσια μεταφοράς (synchronous transport modules STM-N).

Επίσης, υπάρχει μία τρίτη άποψη cross-connect σύνδεσης που περιλαμβάνει όπως και προηγουμένως έναν αριθμό από ports για τη λήψη/αποστολή σημάτων για επιλεκτικό αριθμό σημάτων που λαμβάνονται από ένα ή περισσότερα από ένα ports.

Η διαφορά όμως είναι ότι ο πίνακας μεταγωγής είναι σε θέση να εναλλάσσει το σύγχρονο σήμα μεταφοράς STS-N του SONET, που προέρχεται από τα optical carriers OC-N.

Με τον όρο “Transparent switching” εννοούμε τη δυνατότητα εναλλαγής STM-N ή STS-N σημάτων δεδομένου του ότι δεν υπόκεινται σε κάποια επεξεργασία των overhead bytes, δηλαδή δεν τερματίζεται το τμήμα Multiplex (Multiplex Section - MS) και Αναγέννησης (Regeneration Section - RS).

Πιο ευρέως διαδεδομένη άποψη αποτελεί η 1^η, η οποία χαρακτηρίζεται επιπλέον από την ικανότητα του πίνακα μεταγωγής να εναλλάσσει τη σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία (SDH) με σύγχρονα πλαίσια μεταφοράς (STM-N) και σύγχρονα σήματα μεταφοράς STS-N του SONET.

Ο πίνακας μεταγωγής δημιουργείται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να έχει τη δυνατότητα εναλλαγής SDH virtual containers VC-3, VC-4 και συνεχόμενων virtual containers VC-4-nc, όπου $n=4, 16, 64$ ή 256 όπως ορίζονται στο ITU-T Recommendation G. 707. Επιπλέον, εναλλάσσεται και τα σύγχρονα συστήματα μεταφορών STS-1s και STS-nc του SONET, όπου $n=3, 12, 48, 192$ ή 768 , όπως ορίζονται στο Telcordia GR253.

Κάθε port έχει ρυθμιστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να λαμβάνει και να στέλνει σήματα ενός επιλεγμένου τύπου (για παράδειγμα, STM-N, OC-n, OTM.) κι επιπλέον περιλαμβάνει: τέτοια μέσα ώστε να μετατρέπεται οποιοδήποτε επιλεγμένο είδος λαμβανόμενου σήματος σε μια εσωτερική δομή πλαισίου του πίνακα μεταγωγής καθώς και μέσα για μετατροπή της δομής πλαισίου σ' ένα σήμα με τύπο που μπορεί να προέλθει από αυτό το port.

Η χρήση μιας εσωτερικής δομής πλαισίου στο οποίο όλα τα επιλεγμένα σήματα μπορούν να χαρτογραφηθούν σε διακόπτη, επιτρέπει σ' έναν ενιαίο πίνακα μεταγωγής να πραγματοποιήσει σύνδεση cross-connect πολλαπλών τύπων σήματος.

Σε ένα οπτικό σύστημα ψηφιακής διασύνδεσης, ένα ή περισσότερα ports ασχολείται με τη λήψη/αποστολή τέτοιων οπτικών σημάτων, δηλαδή ένα ή περισσότερα ports περιλαμβάνει τα μέσα για τη μετατροπή του οπτικού σήματος σ'ένα αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα για cross-connect σύνδεση χρησιμοποιώντας τον πίνακα μεταγωγής κι επιπλέον τα μέσα για τη μετατροπή των ηλεκτρικών σημάτων σ'ένα αντίστοιχο οπτικό σήμα για cross-connect σύνδεση χρησιμοποιώντας τον πίνακα μεταγωγής.

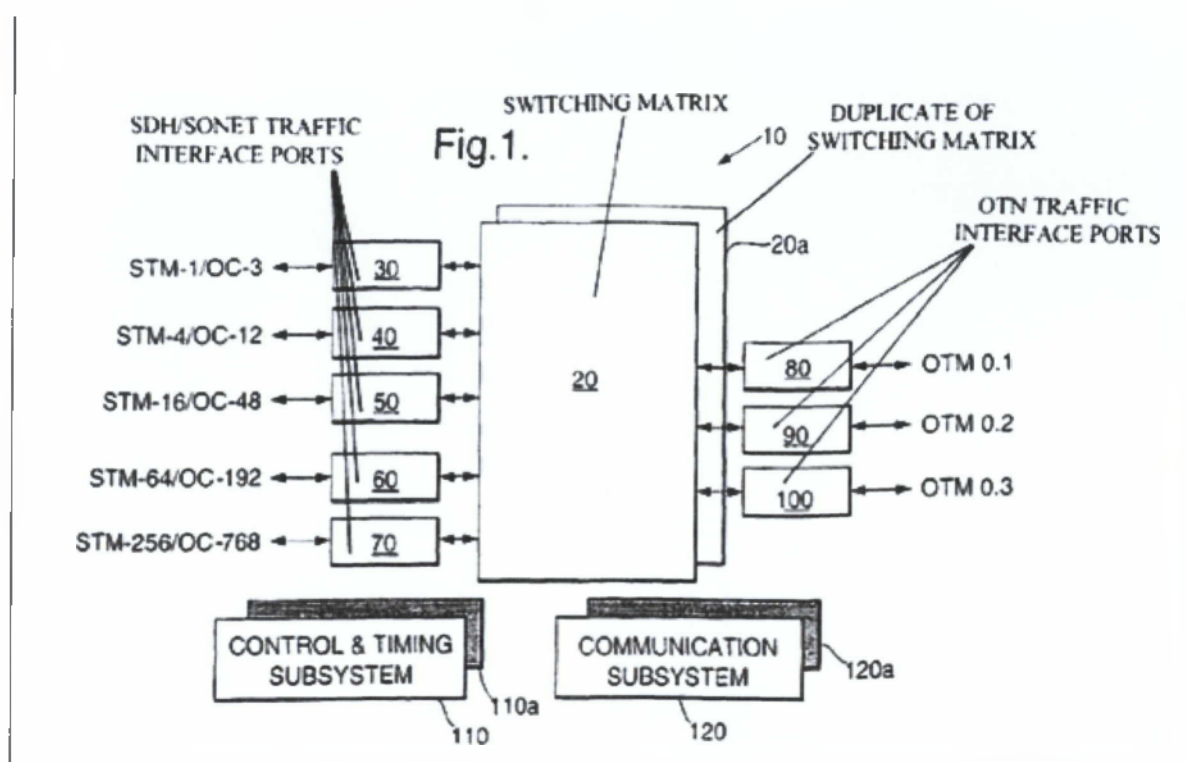
Επιπρόσθετα, τα DXC συστήματα περιλαμβάνουν περαιτέρω μέσα για τον έλεγχο της ακεραιότητας της μεταγωγής. Το DXC περιλαμβάνει μέσα για το συγχρονισμό των σημάτων που μετάγονται. Κατά προτίμηση, το DXC περιλαμβάνει περαιτέρω μέσα για την προστασία της μεταγωγής.

Το DXC περιλαμβάνει ακόμα ένα ή περισσότερα ports για την λήψη/αποστολή OTM σημάτων, δηλαδή ένα ή περισσότερα ports για την εξαγωγή ODU-ks από τα OTMs και για την πολυπλεξία και την αποπολυπλεξία των ODU-ks. Επίσης, το DXC παρέχει αυτόματη set-up διαδρομής, δηλαδή χρησιμοποιεί μέσα για να πραγματοποιηθεί η γενική μεταγωγή πολλαπλών πρωτοκόλλων (General Multi-Protocol Label Switching, GMPLS) ή ένα κανάλι σημάτων.

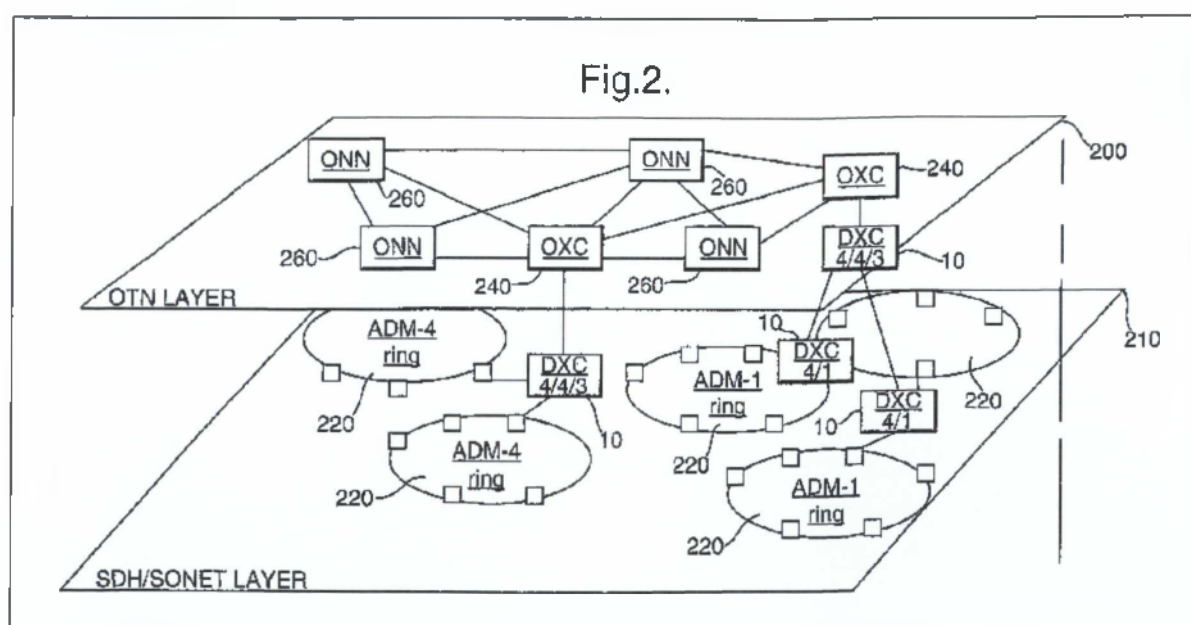
Ο πίνακας μεταγωγής του DXC συστήματος, σε αντίθεση με την κλασική προστασία του SNCP στο VC-4/VC-3 επίπεδο, είναι σε θέση να προστατεύσει τη διαδρομή στο επίπεδο ODU. Κατά τη διάρκεια μιας λήψης, ο πίνακας μεταγωγής εκτελεί την cross-connect σύνδεση του επιπέδου ODU για το 1+1 ODUSNCP, ενώ κατά τη διάρκεια μιας αποστολής, η επιλογή γίνεται με βάση την παρακολούθηση της ποιότητας των επιπέδων των ODUs που "εργάζονται" και που "προστατεύουν". Η προστασία των STM-N/OC-N που έχουν υποστεί μετατροπή, βασίζεται στις ίδιες αρχές: τη γεφύρωση και την επιλογή με βάση την ποιότητα της παρακολούθησης.

Σ' αυτή την παράγραφο, θα επικεντρωθούμε σε κάποια σχήματα που βρίσκονται στην παρακάτω σελίδα.

1. Αρχικά, στο σχήμα 24 βλέπουμε μια σχηματική αναπαράσταση των λειτουργικών τμημάτων ενός ψηφιακού cross-connect (DXC) συστήματος,
2. το σχήμα 25 δείχνει τις διασυνδέσεις στο επίπεδο του δικτύου όπου χρησιμοποιούνται οπτικές cross-connect συνδέσεις (OXCs) και DXCs4/4/3 και 4/1, ενώ
3. το σχήμα 26 δείχνει τις διασυνδέσεις στο επίπεδο του δικτύου όπου χρησιμοποιούνται DXCs,
4. το σχήμα 27 παρουσιάζει μία δομή πολυπλεξίας SDH σύμφωνα με το ETSI,
5. το σχήμα 28 παρουσιάζει μία δομή πολυπλεξίας SONET σύμφωνα με το Telcordia και

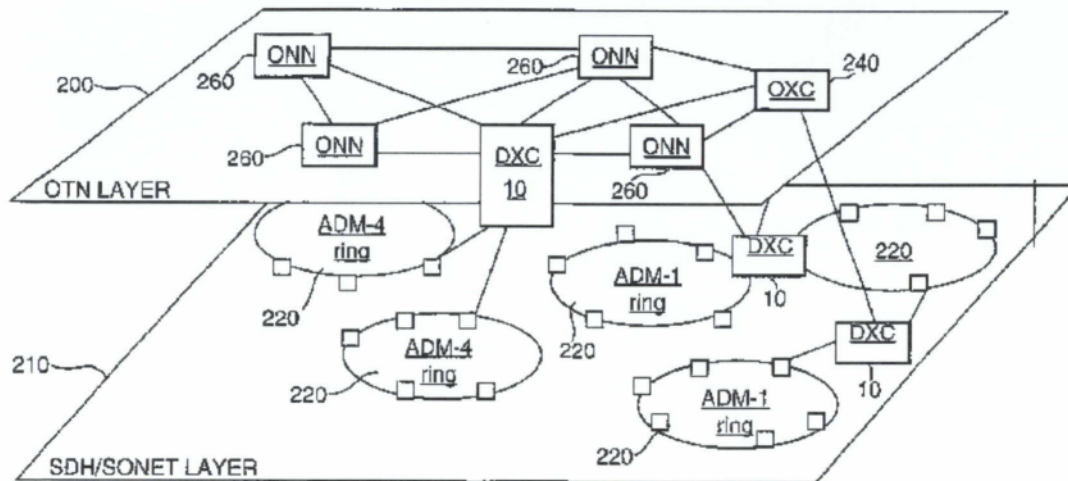


Εικόνα 21 Λειτουργικά τμήματα ψηφιακού cross-connect (DXC) συστήματος



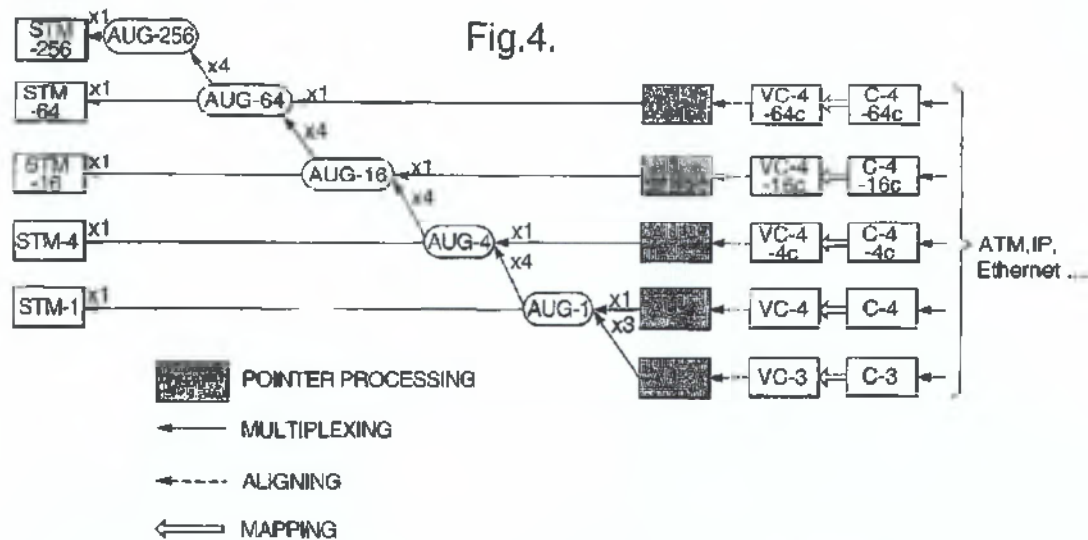
Εικόνα 22 Διασυνδέσεις όπου χρησιμοποιούνται οπτικές cross-connect συνδέσεις (OXCs)

Fig.3.

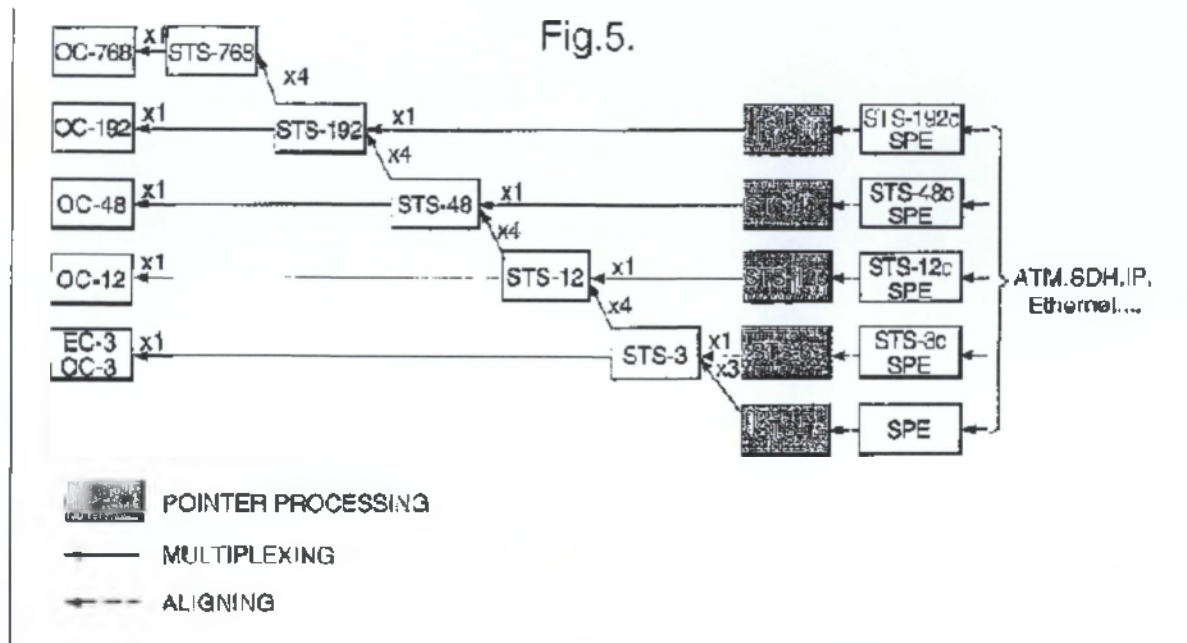


Εικόνα 23 Διασυνδέσεις όπου χρησιμοποιούνται DXCs

Fig.4.



Εικόνα 24 Δομή πολυπλεξίας SDH σύμφωνα με το ETSI



Εικόνα 25 Δομή πολυπλεξίας SONET σύμφωνα με το Telcordia

Σχετικά με το σχήμα 24, αξίζει να αναφέρουμε ότι φαίνεται ένα σχηματικό διάγραμμα των λειτουργικών τμημάτων ενός ψηφιακού cross-connect (DXC) συστήματος. Το σύστημα DXC10 παρέχει cross-connect σύνδεση της κυκλοφορίας μεταξύ των οπτικών δικτύων επικοινωνίας SDH/SONET και OTN. Το DXC10 περιλαμβάνει:

- έναν ηλεκτρικό πίνακα μεταγωγής 20 για την εκτέλεση της λειτουργίας μεταγωγής,
- πέντε interface ports SDH/SONET 30-70 για την κυκλοφορία που συνδέονται με τον πίνακα μεταγωγής 20,
- τρία interface ports OTN80-100 για την κυκλοφορία που συνδέονται με τον πίνακα μεταγωγής 20,
- ένα μπλοκ 110 για την παροχή συγχρονισμού, ελέγχου και διαχείρισης των DXC και

- ένα υποσύστημα επικοινωνίας 120 που εξασφαλίζει την επικοινωνία με εξωτερικό εξοπλισμό, όπως για παράδειγμα ένα απομακρυσμένο σύστημα διαχείρισης για την ενεργοποίηση της απομακρυσμένης ρύθμισης παραμέτρων του DXC.

Στην ενσωμάτωση απεικονίζονται τα interface ports 30-70 για την κυκλοφορία, τα οποία είναι αντίστοιχα για τη λήψη/αποστολή των οπτικών σημάτων SDH/SONET STM-1/OC-3, STM-4/OC-12, STM-16/OC-48, STM-64/OC-192 και STM-256/OC-768. Τα interface ports 80-100 για την κυκλοφορία, είναι για τη λήψη/αποστολή OTN OTM 0.1 (2.5 Gbit/s), OTM 0.2 (10 Gbit/s) και OTM 0.3 (40 Gbit/s), οπτικών σημάτων, αντίστοιχα. Το DXC προσφέρει cross-connect σύνδεση των σημάτων κυκλοφορίας που στέλνονται από ένα port σε ένα ή περισσότερα άλλα ports. Όπως θα δείξουμε παρακάτω, το DXC10 προσφέρει τη δυνατότητα αμφίδρομης cross-connect σύνδεσης μεταξύ των ports κυκλοφορίας, και γι' αυτό τον λόγο, τα ports κυκλοφορίας 30-70 στο εξής θα αναφέρονται ως θύρες εισόδου και τα ports κυκλοφορίας 80-100 θα αναφέρονται ως θύρες εξόδου.

Κάθε θύρα 30-100 περιλαμβάνει μέσα οπτικής σε ηλεκτρική (O/E) μετατροπής για τη μετατροπή των οπτικών σημάτων που λαμβάνονται στα αντίστοιχα ηλεκτρικά σήματα, τα οποία μετά από κατάλληλη επεξεργασία (για παράδειγμα με εξόρυξη ODU-k από OTM-n σήματα), συνδέονται με τον πίνακα μεταγωγής.

Κάθε θύρα 30-100 περιλαμβάνει επίσης μέσα ηλεκτρικής σε οπτική (E/O) μετατροπής για τη μετατροπή των ηλεκτρικών σημάτων που λαμβάνονται από τη σύνδεση με το interface port (για παράδειγμα η κατασκευή OTM-n από ODU-k) στα αντίστοιχα οπτικά σήματα. Ο πίνακας μεταγωγής 20 περιλαμβάνει μία αρχιτεκτονική Clos τριών σταδίων και επιτρέπει cross-connect συνδέσεις για αρχική χωρητικότητα 8192 STM-1 σημάτων.

Η λειτουργία του συστήματος DXC θα περιγραφεί τώρα σε σχέση μ' ένα οπτικό σήμα που λαμβάνεται σε μια θύρα εισόδου που πρέπει να συνδεθεί cross-connect με μια θύρα εξόδου. Για να εκτελέσει τη σύνδεση, είτε στο SDHVC-n επίπεδο, είτε στο SONET STS-n ή OTNODUk επίπεδο ή η μεταγωγή των STM-n και /ή OC-n σημάτων, το DXC

εκτελεί τις ακόλουθες ενέργειες. Οι δράσεις 1 και 3 εκτελούνται από τη θύρα εισόδου κυκλοφορίας, η 4 από τον πίνακα μεταγωγής και οι 5, 6 από τη θύρα εξόδου της κυκλοφορίας.

1. Το σήμα ωφέλιμου φορτίου (payload signal, PLD) έχει αποδιαμορφωθεί από το οπτικό σήμα που λήφθηκε στη θύρα εισόδου και μετατρέπεται σ' ένα αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα από τον Ο/Ε μετατροπέα.
2. Το ηλεκτρικό σήμα είναι ευθυγραμμισμένο με τη χρήση του Frame Alignment Word, το οποίο επιτρέπει στη θύρα εισόδου να προσδιορίσει την αρχή του κάθε πλαισίου εντός του ηλεκτρικού σήματος.
3. Το ηλεκτρικό σήμα επεξεργάζεται (ανάλογα με τους τύπους της εισόδου και τους τύπους της κυκλοφορίας) και χαρτογραφείται (δηλαδή μετατρέπεται) σε μια εσωτερική δομή του πλαισίου που δημιουργείται από τη θύρα εισόδου. Το εσωτερικό πλαίσιο δομείται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτραπεί η μεταφορά όλων των δυνατών μορφών κυκλοφορίας σε ολόκληρο τον πίνακα μεταγωγής, δηλαδή στα ακόλουθα. Για το SDHVC3, VC-4, VC-4-nc, όπου $n=4, 16$ ή $64, 256$, όπως ορίζονται στο ITU-T Recommendation G. 707. Για το SONET STS-1s, STS-nc, όπου $n=3, 12, 48$ ή $192, 768$, όπως ορίζεται στο Telcordia GR-253. Για το OTNODUk, όπου $k=1, 2$ ή 3 , όπως ορίζονται στο ITU-TG. 709. Για το STM-N, όπου $n=16, 64$ ή 256 και για το OC-n όπου $n=48, 192$ ή 768 . Η εσωτερική δομή του πλαισίου περιλαμβάνει ένα σύνολο από time slots και για κάθε τύπο μορφής κυκλοφορίας που πρέπει να συνδεθεί, χρησιμοποιεί έναν καθορισμένο αριθμό από αυτά τα time slots.
4. Ο πίνακας μεταγωγής συνδέει το σήμα κυκλοφορίας στην επιλεγμένη θύρα εξόδου συνδέοντας τα time slots στην επιλεγμένη θύρα εξόδου.
5. Η θύρα εξόδου εξάγει από το εσωτερικό πλαίσιο της σύνδεσης κυκλοφορίας.

6. Ανάλογα με τη μορφή της κυκλοφορίας της σύνδεσης (δηλαδή την εισερχόμενη κίνηση) και τον τύπο μορφής της κυκλοφορίας στη θύρα εξόδου (δηλαδή την εξερχόμενη κίνηση), η θύρα εξόδου πραγματοποιεί διαφορετικές ενέργειες. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της σύνδεσης του εισερχόμενου σήματος VC-n μ' ένα εξερχόμενο σήμα κυκλοφορίας SDH, η θύρα εξόδου δημιουργεί τα τμήματα Multiplex (Multiplex Section, MS) και Regeneration (Regeneration Section, RS), όπως ορίζονται στο ITU-TG. 783. Αντίστοιχα, στην περίπτωση της σύνδεσης του εισερχόμενου σήματος ODUk μ' ένα εξερχόμενο σήμα κυκλοφορίας OTN, η θύρα εξόδου δημιουργεί τη μονάδα (Optical Transport Unit, OTU), όπως ορίζεται στο ITU-TG. 798. Ανάλογα με τον τύπο του εξερχόμενου σήματος κυκλοφορίας, εισάγεται το αντίστοιχο πλαίσιο Frame Alignment Word.
7. Τέλος το ηλεκτρικό εξερχόμενο σήμα κυκλοφορίας μετατρέπεται σ' ένα αντίστοιχο οπτικό σήμα με χρήση των μέσων μετατροπής από ηλεκτρικό σε οπτικό.

Δεδομένου ότι τα εσωτερικό πλαίσιο έχει διαμορφωθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπει τη μεταφορά κάθε μορφής σήματος κυκλοφορίας, επιτρέπεται έτσι σ' ένα απλό σήμα να συνδέεται σε διαφορετικά σήματα κυκλοφορίας.

Αυτή η ικανότητα να αλλάζονται τα σήματα διαφορετικών τύπων χωρίς καμία εξωτερική επεξεργασία, καθιστά το DXC10 ισοδύναμο μ' ένα οπτικό OXC σύστημα, με την επιπρόσθετη δυνατότητα την παρακολούθηση της ποιότητας των σημάτων μεταγωγής.

Το DXC συνδυάζει τα οφέλη ενός ηλεκτρικού πίνακα μεταγωγής με ψηφιακό πυρήνα (τέτοια είναι η ευκολότερη παρακολούθηση της απόδοσης και του εντοπισμού της θέσης σφάλματος, η “τακτοποίηση” της κυκλοφορίας, η μετατροπή του μήκους κύματος, η αναγέννηση των σημάτων) και τελικά καταλήγει στο βασικό πλεονέκτημα, το οποίο είναι χαρακτηριστικό για ένα OXC, δηλαδή η διαφάνεια του ποσοστού των δεδομένων.

Η ικανότητα να χαρτογραφηθούν τα SONET/SDH, ATM, IP, Ethernet σε ODU containers καθιστά το DXC 10 βασικό υποψήφιο για να χρησιμοποιηθεί ως σημείο

σύνδεσης μεταξύ του οπτικού backbone και τα χαμηλότερων επιπέδων του δικτύου επικοινωνίας.

Τα σχήματα 25 και 26 δείχνουν παραδείγματα του τρόπου με τον οποίο το DXC 10 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συνδέσει το οπτικό backbone 200 (National Layer OTN) με τα χαμηλότερα Regional 210 (SDH/SONET) επίπεδα του δικτύου επικοινωνίας.

Στα παραδείγματα αυτά, τα επίπεδα Regional 210 περιλαμβάνουν έναν αριθμό δικτύων δακτυλίου SDH/SONET220, ενώ το National layer αποτελείται από ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων οπτικών συνδέσεων 240 (OXC) και οπτικών κόμβων δικτύου 260 (ONN). Έτσι, το DXC10 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή σύνδεσης μεταξύ δακτυλίων/ONN στο πλαίσιο regional και national επιπέδων, καθώς και σύνδεση cross-connect μεταξύ των επιπέδων.

Η ικανότητα του DXC να χαρτογραφεί τα STM-N ή και OC-N σε ODU-k καθώς και η δυνατότητα να τα τερματίζει και να τα συνδέει στο VC-4/VC-3 επίπεδο, επιτρέπει στη λειτουργία που πραγματοποιείται από μια οπτική σύνδεση και ένα DXC 4/4/3, να ενσωματώνεται σε μια ενιαία μεταγωγή.

Το DXC10 είναι μία σύνδεση που παρέχει πολλές υπηρεσίες, όπως οι οπτικές και οι ηλεκτρικές (O-E-O), συνδυάζοντας τη μεταγωγή στο επίπεδο λάμδα με τη μεταγωγή χαμηλότερης κοκκίωσης, με βάση μια αρχική χωρητικότητα (bandwidth) των 8192 STM-1 ports (για παράδειγμα, 1280 Gbit/s.512xSTM16).

Το DXC παρέχει μεταγωγή άμεσων μηκών κύματος και SDH/SONET. Κάθε μήκος κύματος μπορεί να χειρίζεται το OTMO. K overhead (το οποίο ονομάζεται και Digital Wrapper) καθώς και το Forward Error Correction (FEC), σύμφωνα με το ITU-TG. 709 Standard (το οποίο εγκρίθηκε τον Φεβρουάριο του 2001). Παρέχεται επίσης η μεταγωγή των STM-16/STM-64/STM-256 σημάτων καθώς και των αντίστοιχων σημάτων OC-N.

Οι μηχανισμοί ελέγχου τόσο για τη διαχείριση των SDH σημάτων όσο και για τις μεταγωγές (General Multi-Protocol Label Switching, GMPLS) περιλαμβάνονται μαζί με

ένα ευρύ φάσμα άλλων οπτικών και προστασίας εξοπλισμού μηχανισμών για συνεργασία στο επίπεδο του SDH.

Το DXC έχει ρυθμιστεί ώστε να εκτελεί τις λειτουργικές απαιτήσεις των ITU-TG. 783, G. 958 και G. 784.

Τα STM-N σήματα είναι δομημένα σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ITU-TG. 707. Το DXC εφαρμόζει τις διαδρομές πολυπλεξίας που καθορίζονται από το ETSIETS 300147 και G. 707, όπως φαίνεται στο σχήμα 5 για πολυπλεξία του STM-1 μέχρι το STM-256. Επιπλέον, το DXC είναι ικανό να υποστηρίξει SONET χαρτογράφηση σύμφωνα με το Telcordia.

Το G. 709 (και πιο συγκεκριμένα η έκδοση του έτους 2000) καθορίζει μια σειρά από ODU-k για διάφορα bit-rates, ξεκινώντας από την τιμή των 2.5 Gbit/s. Για παράδειγμα, το ODU-1 (όπου k=1) ορίζεται ώστε να μεταφέρει ένα σήμα με bitrate ίσο με 2,5 Gbit/s. Ομοίως, το ODU-2 ορίζεται για τη μεταφορά 10 Gbit/s σημάτων και το ODU-3 για τη μεταφορά των 40 Gbit/s σημάτων.

Είναι επίσης δυνατό να πολυπλέξουμε τέσσερα ODU-1 σε μία οπτική μονάδα ωφέλιμου φορτίου OPU-2 ή 16 ODU-1 σε μία μονάδα OPU-3. Ομοίως, τέσσερα ODU-2 μπορεί να πολυπλεχτούν σε μία μονάδα OPU-3. Ως εκ τούτου, προκειμένου να αλλάξουμε το περιεχόμενο των ODUs, είναι αναγκαίο να τερματιστούν τα εισερχόμενα ODUs και να αποπολυπλεχτούν τα βασικά τμήματα που περιλαμβάνονται στα OPU. Για παράδειγμα, μία εισερχόμενη μονάδα ODU-2 που αποτελείται από τέσσερα ODU-1s, πρώτα αποπολυπλέκεται σε τέσσερα ODU-1s και στη συνέχεια αλλάζει.

Η διαδικασία της πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας πραγματοποιείται στα interfaces 80-100 στο switch fabric 20. Στη συνέχεια περιγράφονται οι ενέργειες που απαιτούνται για την πολυπλεξία τεσσάρων ODU-1 σε μια ODU-2:

1. Τα τέσσερα εισερχόμενα ODU-1s προσαρμόζονται μ' ένα κοινό ρολόι μέσω ενός μηχανισμού του εσωτερικού πλαισίου. Αυτή η διαδικασία είτε προσθέτει ή διαγράφει τα δεδομένα ή bytes του ωφέλιμου φορτίου.

2. Μετά τη σύνδεση, τα τέσσερα ODU-ls προσαρμόζονται στο bit-rate του ODU-2 και πολυπλέκονται. Έτσι, τα εξερχόμενα μηνύματα ακολουθούν ένα κοινό ρολόι όπου τα δεδομένα ή τα bytes, είτε προστίθενται ή διαγράφονται τα εξερχόμενα δεδομένα.

Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιεί θετικό/μηδενικό/αρνητικό justification, όπως ορίζεται στο ITU-TG. 709. Στη διαδικασία πολυπλεξίας, κάθε bit ή byte από τα n σήματα, πολυπλέκεται ξεχωριστά κι ένα κάθε φοράγια την παραγωγή του συνολικού σήματος. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται στη θύρα εξόδου της κυκλοφορίας.

Στην περίπτωση της αποπολυπλεξίας, το ODU-2 τερματίζεται, τα ODU-1 αποπολυπλέκονται και εξάγονται χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που περιέχονται στο OPU2. Τα ODU-1 προσαρμόζονται στο εσωτερικό πλαίσιο μέσω ενός μηχανισμού justification. Το ίδιο μπορεί να εφαρμοστεί και σε όλες τις ODU πολυπλεξίες.

Η βλάβη θέσης στον εξοπλισμό του DXC βασίζεται σε on-line διαγνωστικές εξετάσεις που αφορούν τη λειτουργικότητα του ελέγχου, του χρονοδιαγράμματος, της μεταγωγής, καθώς και των εσωτερικών συνδέσεων. Ο DXC εξοπλισμός μπορεί να εκτελέσει την ανίχνευση βλάβης μιας κι έχει δυνατότητες παρακολούθησης επιδόσεων.

Οι εσωτερικοί και εξωτερικοί βρόχοι είναι διαθέσιμοι για τον εντοπισμό των βλαβών μεταξύ δικτύων μεταφοράς και εξοπλισμού. Η ποιότητα των εισερχόμενων σημάτων παρακολουθείται συνεχώς στις θύρες εξοπλισμού και τα σχετικά στοιχεία, αφού έχουν επεξεργαστεί, διατίθενται στο κέντρο ελέγχου για τις επόμενες αξιολογήσεις των επιδόσεων του δικτύου.

Στις θύρες κυκλοφορίας 30-100, είναι κατασκευασμένο ένα εσωτερικό πλαίσιο που περιέχει ODUs ή σήματα STM-N/OC-N κι ένα επιπρόσθετο byte, που ονομάζεται flag byte, έχει τοποθετηθεί στο ανακατασκευασμένο πλαίσιο. Το flag byte χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ακεραιότητας της σύνδεσης.

Όλες οι παράμετροι ρύθμισης και η κατάσταση του συστήματος παρακολουθούνται και ελέγχονται μέσω του LCT ή ενός απομακρυσμένου συστήματος διαχείρισης (του NMS), μέσω μιας αποκλειστικής πρόσβασης (Q interface ή QECC καναλιού).

Το DXC10 μπορεί να εξοπλιστεί με ένα σύνολο μονάδων διπλού ρολογιού που εκτελούν το χειρισμό είτε των SONET/SDH ή ITU-TG. 709 σημάτων. Ως παράδειγμα αναφέρονται οι ακόλουθες μονάδες: STM-256/OC-768/OTM-0.3, STM-64/OC-192/OTM-0.2 καθώς και STM-16/OC-48/OTM-0.1.

Τα Gigabit-Ethernet interfaces καθώς και άλλα interfaces δεδομένων μπορούν επίσης να υποστηριχτούν.

Οι βασικές λειτουργικές απαιτήσεις του πίνακα μεταγωγής DXC20 είναι οι ακόλουθες:

- non-blocking: η πιθανότητα να μην μπορεί να ικανοποιηθεί μια συγκεκριμένη αίτηση σύνδεσης είναι 0,
- πλήρη συνδεσιμότητα: είναι δυνατόν να συνδεθεί οποιαδήποτε είσοδος σε κάθε διαθέσιμη έξοδο,
- ακεραιότητα χρονικής ακολουθίας (συνεχόμενα ωφέλιμα φορτία): τα συνεχόμενα ωφέλιμα φορτία μεταφέρονται χωρίς να μειωθεί η ακεραιότητα της χρονικής ακολουθίας και
- διαβεβαίωση ορθότητας των συνδέσεων: εξασφαλίζονται σωστές συνδέσεις μεταξύ των θυρών κυκλοφορίας.

Το DXC έχει σχεδιαστεί για να επιτευχθεί μια χωρητικότητα 8192xSTM-1 και να υποστηρίξει ρυθμό μέχρι και, για παράδειγμα, 2500 Gbit/s (1024xSTM-16). Η κύρια εφαρμογή των DXC είναι η παροχή μιας αυτόματης αναδιαμόρφωσης των καναλιών μέσω του δικτύου.

Οι ημι-μόνιμες και χρονικά περιορισμένες, συνδέσεις μπορούν να υλοποιηθούν βάση μιας, εκ των προτέρων, προγραμματισμένης εντολής. Σε γενικές γραμμές, αυτές οι λειτουργίες προορίζονται να παρέχονται υπό τον έλεγχο ενός εξωτερικού NMS είτε μέσω του GMPLS (General multi protocol label switching) μηχανισμού.

Επίσης, μπορεί να παρέχεται επίσης η γρήγορη αποκατάσταση του GMPLS. Οι συναγερμοί που προβάλλει το DXC και η σχετική τους επεξεργασία βασίζονται στις απαιτήσεις ITU-TG. 783 και G. 784 για SDH σήματα, καθώς και στις ITU-TG. 798 για OTM-N σήματα.

Το DXC ρυθμίζεται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται υψηλό επίπεδο διαθεσιμότητας. Ως εκ τούτου, όλα τα κοινά τμήματα του εξοπλισμού, δηλαδή οι πίνακες μεταγωγής 20, 20a και τα υποσυστήματα ελέγχου 110, 110a και επικοινωνίας και συγχρονισμού 120, 120a είναι πλήρως επαναλαμβανόμενα (βλέπε σχήμα 24).

Η λειτουργικότητα του εξοπλισμού 10 παρακολουθείται από ένα σύστημα συναγερμού και από την ενσωματωμένα πρότυπα δοκιμών, τα οποία επιτρέπουν στα μονοπάτια συνδέσεων μεταξύ των θυρών 30-100 να παρακολουθούνται χωρίς να επηρεάζουν την κυκλοφορία καθ' οποιονδήποτε τρόπο.

Οι μονάδες του εξοπλισμού 10 είναι οι ακόλουθες:

- 1+1 για το υποσύστημα του πίνακα μεταγωγής 20,
- Διαχείριση Q και QECC για τις μονάδες ελέγχου, επικοινωνιών και χρονισμού 110, 120,
- 1+1 για σύνδεση με περιφερειακά racks και Power Supply και
- 1+1 για τα racks του port και τις μονάδες για τον έλεγχο και τις συνδέσεις.

Επιπλέον, το DXC περιλαμβάνει εγκαταστάσεις που επιτρέπουν τη προστασία του δικτύου σε κάθε επίπεδο της κυκλοφορίας (για παράδειγμα, τα VC-n και STM-N).

Εκτός από την προστασία του SDH (δηλαδή τα MSP και SNC-P), παρέχονται επίσης στοιχεία για την προστασία ολόκληρου του STM-N σήματος. Για να καταστεί δυνατή η ενσωμάτωση του DXC στο οπτικό δίκτυο μεταφοράς (Optical Transport Network, OTN), παρέχεται ένα ευρύ φάσμα οπτικών μηχανισμών προστασίας συμπεριλαμβανομένης της γρήγορης αποκατάστασης του GMPLS.

Με τη χρήση των ζευγών πινάκων 20 και 20a εντοπίζεται κάθε ελάττωμα που σχετίζεται με τη λειτουργία τους και ακολούθως ενεργοποιείται η προστασία. Ύστερα πραγματοποιείται η μεταγωγή hitless όπου ενεργοποιείται ο πίνακας μεταγωγής. Δημιουργείται ένας συναγερμός ή μία αναφορά και αποστέλλεται στο τοπικό ή το απομακρυσμένο σύστημα διαχείρισης.

Με τον όρο hitless εννοούμε ότι δεν υπάρχουν σφάλματα στα δεδομένα όταν ενεργοποιείται η διαδικασία προστασίας. Το ελάττωμα μπορεί να είναι αποτέλεσμα του υψηλού ποσοστού σφάλματος ή της διακοπής ρεύματος κ.λπ.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του DXC είναι η ικανότητα να εκτελεί την παρακολούθηση της απόδοσης (Performance Monitoring), που είναι τυπική ενός κλασικού SDH/SONET και ενσωματώνεται στον εξοπλισμό του.

Υπάρχει ένας αριθμός από bytes στο πλαίσιο SDH που παρέχουν πληροφορίες της απόδοσης σχετικά με τα STM-N/OC-N σήματα (σύμφωνα με τα ITU-T G. 707 και G.783). Το DXC παρέχει μέσα για την παρακολούθηση αυτών των bytes (για παραδείγματα B1, J0, B2, J1, B3 κλπ.). Η παρακολούθηση και η διαχείριση της απόδοσης συμφωνούν με τα ITU-T G. 784, G. 826, G. 828 και G. 829.

Η διαχείριση της απόδοσης αναφέρεται στη δυνατότητα ελέγχου της διαδικασίας παρακολούθησης της απόδοσης μέσω της δημιουργίας των δεδομένων απόδοσης, της αναφοράς των δεδομένων απόδοσης, καθώς και της αναφοράς των ορίων. Παρέχεται επίσης η παρακολούθηση της απόδοσης που βασίζεται στα ODU/OTU bytes (όπως ορίζονται στο G. 709). Το DXC μπορεί να ελεγχτεί και να παρακολουθηθεί μέσω:

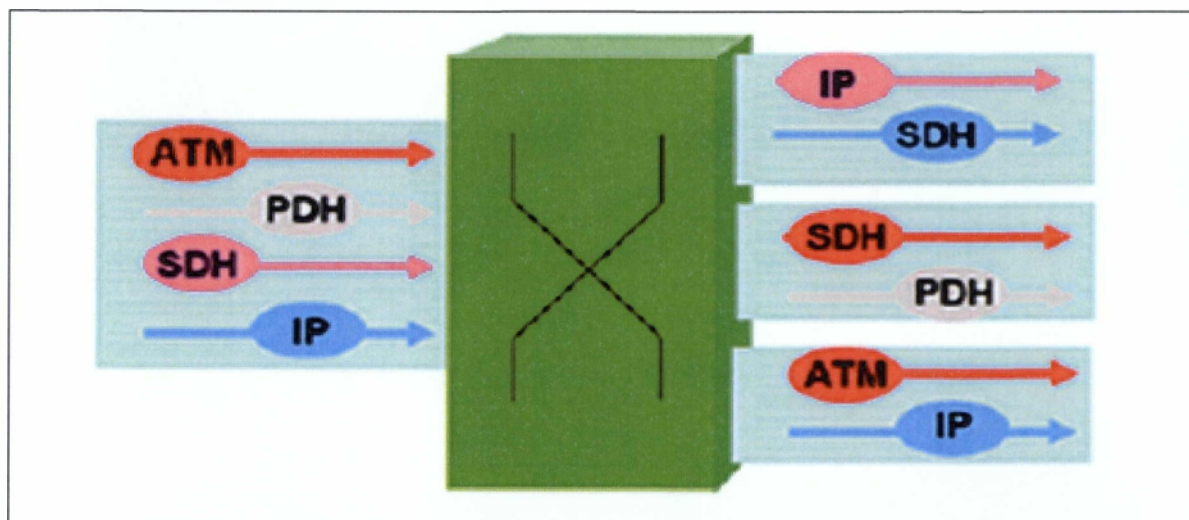
- Μιας διεπαφής F σε ένα LCT (προσωπικός υπολογιστής με λειτουργικό σύστημα UNIX ή MS-Windows NT και λογισμικό εφαρμογών),
- Μιας διεπαφής Q σε ένα NMS,
- Του ITU-T Q. 811 και Q. 812 (παλιότερα βάσει του ITU-T G. 773),
- του QECC (μιας διεπαφής STM-N), όπως ορίζει η ITU-T G. 784 ή
- από ένα μηχανισμό GMPLS (General Multi-Protocol Label Switching).

Οπτικά συστήματα ψηφιακής διασύνδεσης (OXC)

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε την κατηγορία των οπτικών συστημάτων Ψηφιακής Διασύνδεσης. Λόγω της ραγδαίας ανόδου και χρήσης των οπτικών δικτύων στην παραγωγή, είναι σημαντικό να γίνει μια ξεχωριστή αναφορά σε αυτά.

Ορισμός

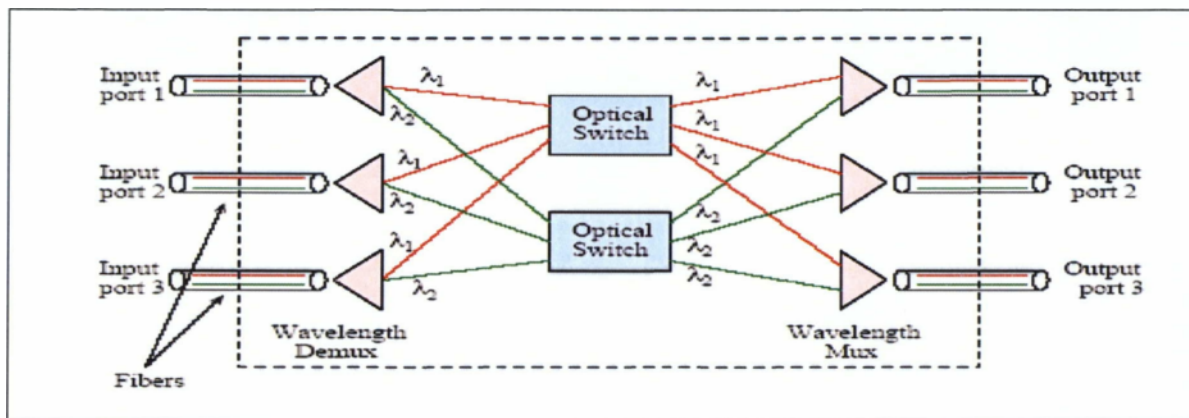
Ένα οπτικό σύστημα διασύνδεσης (Optical Cross Connect – OXC) είναι μια διάταξη N οπτικών εισόδων και N οπτικών εξόδων, η οποία, στην πιο εξελιγμένη της μορφή, έχει τη δυνατότητα δρομολόγησης οπτικών καναλιών (στο οπτικό επίπεδο, χωρίς εξαγωγή των ψηφιακών σημάτων από τα οπτικά κανάλια στο ηλεκτρικό επίπεδο) από οποιαδήποτε είσοδο σε οποιαδήποτε έξοδο και μάλιστα δυναμικά.



Εικόνα Error! Reference source not found. Optical Cross Connect – OXC

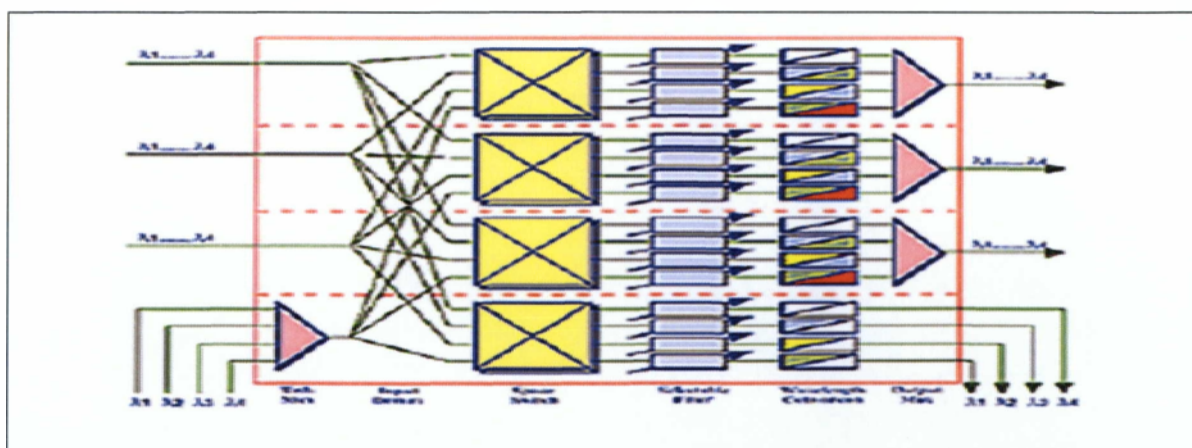
Η μετάδοση της πληροφορίας σε δίκτυα δρομολόγησης μήκους κύματος γίνεται με τη βοήθεια λογικών συνδέσεων, είναι δηλαδή μια μορφή μεταγωγής κυκλώματος (circuit switching) που συναντάται κυρίως με τον όρο οπτική μεταγωγή κυκλώματος (Optical Circuit Switching – OCS).

Τα WDM δίκτυα δρομολόγησης μήκους κύματος βασίζονται στην αρχιτεκτονική κόμβων μεταγωγής optical cross-connects (OXC). Ο ρόλος ενός OXC είναι να πραγματοποιεί την προώθηση της κίνησης από τις εισόδους του στις ζητούμενες εξόδους και επίσης να υποστηρίζει την πρόσθεση και τον τερματισμό της κίνησης που ξεκινάει ή προορίζεται για το συγκεκριμένο κόμβο.



Εικόνα 26 WDM δίκτυα δρομολόγησης μήκους κύματος

Ένας κόμβος μεταγωγής OXC με N εισόδους και N εξόδους ικανός να χειρίζεται W μήκη κύματος για κάθε είσοδο είναι ισοδύναμος λειτουργικά με W ανεξάρτητους $N \times N$ μονοχρωματικούς μεταγωγείς.



Εικόνα 27 Κόμβος μεταγωγής OXC με N εισόδους και N εξόδους

Κατηγορίες

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να υλοποιηθεί ένα σύστημα OXC. Ένας από αυτούς είναι ο πλήρως ηλεκτρονικός. Δηλαδή, όλα τα οπτικά σήματα εισόδου μετατρέπονται σε ηλεκτρονικά σήματα αφού περάσουν από ειδικούς αποπολυπλέκτες.

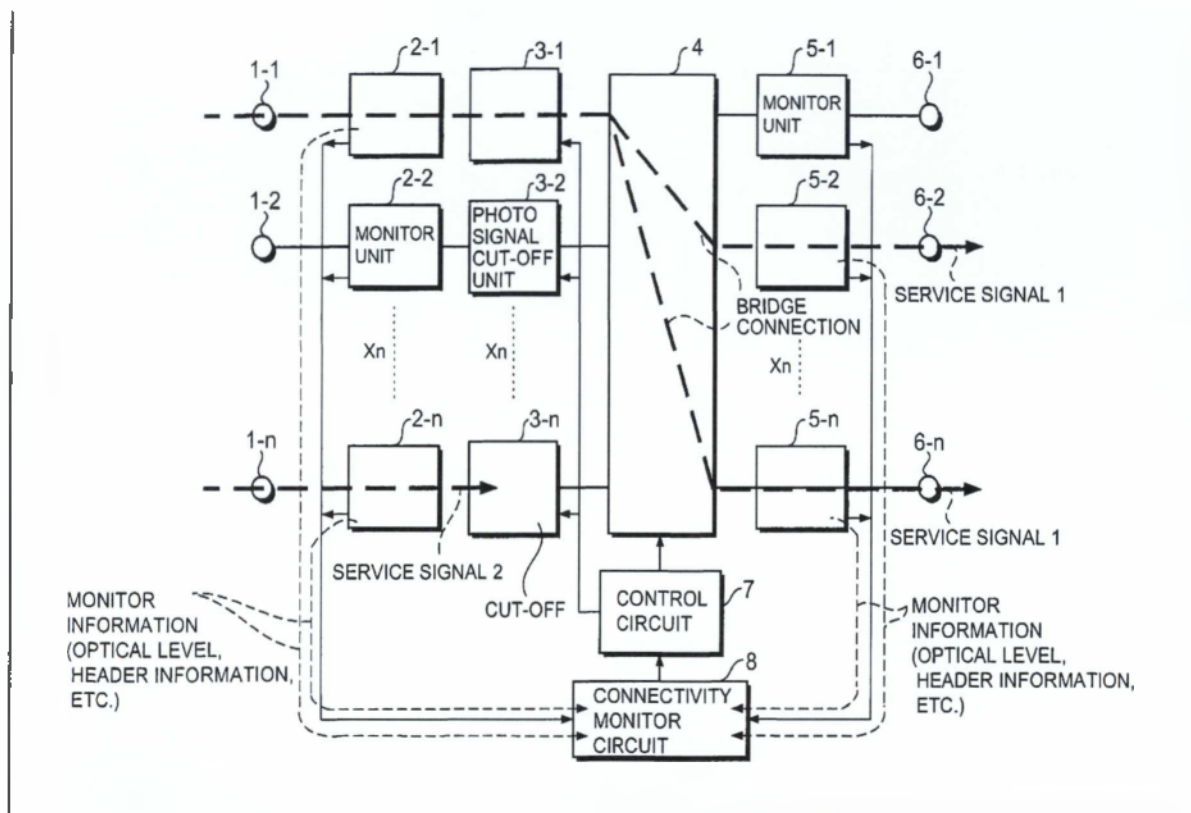
Στην συνέχεια, τα ηλεκτρονικά σήματα περνάνε από ηλεκτρονικούς μεταγωγείς. Τελικά, τα σήματα μετατρέπονται ξανά σε οπτικά, διαμορφώνουν ακτίνες Laser και πολυπλέκονται πριν οδηγηθούν στις οπτικές ίνες.

Αυτή η κατηγορία ονομάζεται σχεδιασμός «**OEO**» (Optical-Electrical-Optical). Συστήματα ψηφιακής διασύνδεσης τα οποία βασίζονται σε σχεδιασμό OEO έχουν ένα περιορισμό: τα ηλεκτρονικά κυκλώματα που χρησιμοποιούν μειώνουν το μέγιστο εύρος ζώνης της συσκευής.

Αυτή η αρχιτεκτονική εμποδίζει ένα OXC να λειτουργήσει με την ίδια ταχύτητα που θα λειτουργούσε ένα πλήρως οπτικό σύστημα διασύνδεσης. Από την άλλη πλευρά, είναι πολύ εύκολο να παρακολουθήσουμε και να ελέγξουμε την ποιότητα του σήματος, μιας που όπως προαναφέραμε, αυτό μετατρέπεται σε ηλεκτρονικό και το αντίστροφο.

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι το οπτικό σήμα μπορεί να αναγεννιέται και έτσι να μειώνονται οι επιδράσεις των φαινομένων διασποράς (dispersion) και εξασθένησης (attenuation). Ένα τέτοιο σύστημα διασύνδεσης λέγεται αδιαφανές (opaque) OXC. Στην παρακάτω εικόνα, μπορούμε να δούμε το διάγραμμα συστατικών μερών ενός τέτοιου συστήματος.

Η μεταγωγή οπτικού σήματος σε μία πλήρως οπτική συσκευή είναι η δεύτερη προσέγγισή που ακολουθείται. Τέτοια OXC λέγονται διαφανή (transparent) OXC ή φωτονικά (PXC). Εδώ, τα οπτικά σήματα αποπολυπλέκονται και στην συνέχεια τα αποπολυπλεγμένα μήκη κύματος μεταγωγούνται από ειδικούς, οπτικούς μεταγωγείς.



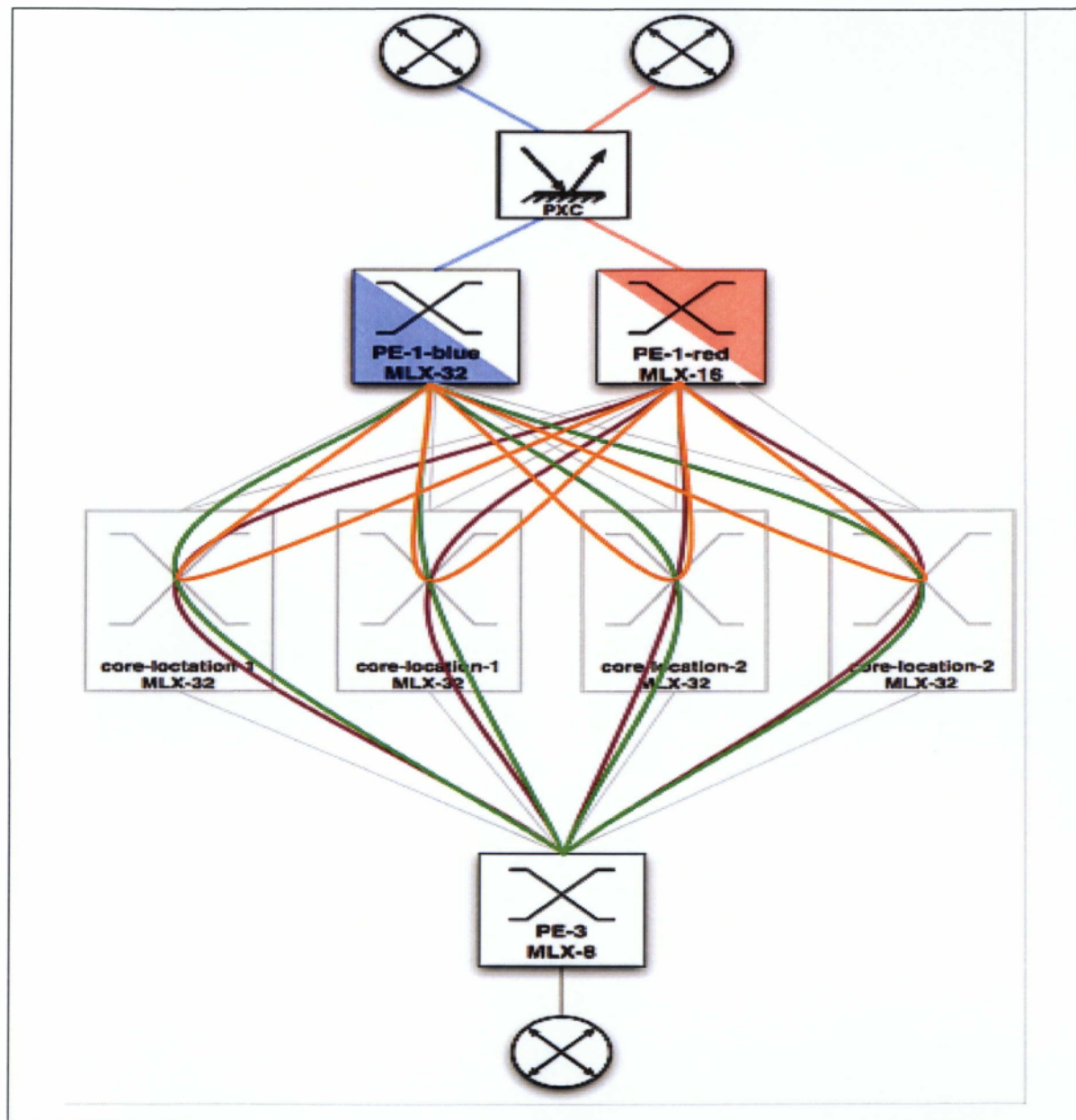
Εικόνα 28 Transparent OXC

Μετά τη μεταγωγή (switching), τα οπτικά σήματα πολυπλέκονται στις ίνες εξόδου, από ειδικούς, οπτικούς πολυπλέκτες. Αυτή η προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα της πλήρους αξιοποίησης της ταχύτητας του οπτικού σήματος και την διαφάνεια ως προς τα δικτυακά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται. Ωστόσο, η διατήρηση του σήματος σε οπτική μόνο μορφή εμποδίζει την ενδελεχή παρακολούθηση της ποιότητας του σήματος (monitoring).

Επίσης υπάρχουν και τα «υβριδικά», ημιδιαφανή (translucent) OXC. Σε αυτήν την αρχιτεκτονική, υπάρχει ένα στάδιο μεταγωγής που περιλαμβάνει ένα οπτικό μεταγωγέα και έναν ηλεκτρονικό. Τα οπτικά σήματα μπορούν είτε να περάσουν από τον οπτικό μεταγωγέα κατευθείαν είτε να μετατραπούν σε ηλεκτρονικά και να περάσουν από τον ηλεκτρονικό μεταγωγέα.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, προτιμάται η οπτική μεταγωγή, αλλά και η ηλεκτρονική είναι διαθέσιμη, όταν αυτό απαιτείται. Περιπτώσεις όπου χρειάζεται η ηλεκτρονική μεταγωγή είναι όταν όλες οι οπτικές διεπαφές είναι απασχολημένες είτε όταν θέλουμε να

έχουμε αυξημένη εποπτεία επί του σήματος. Στην παρακάτω εικόνα, μπορούμε να δούμε ένα διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος.



Εικόνα 29 Translucent OXC

Οι ημιδιαφανείς OXC κόμβοι παρέχουν έναν συγκερασμό μεταξύ της διαφάνειας ενός πλήρως οπτικού σήματος και σχετικά εύκολης παρακολούθησης και ελέγχου του σήματος. Επίσης επιτρέπουν την αναγέννηση του σήματος σε κάθε κόμβο.

Αρχιτεκτονική

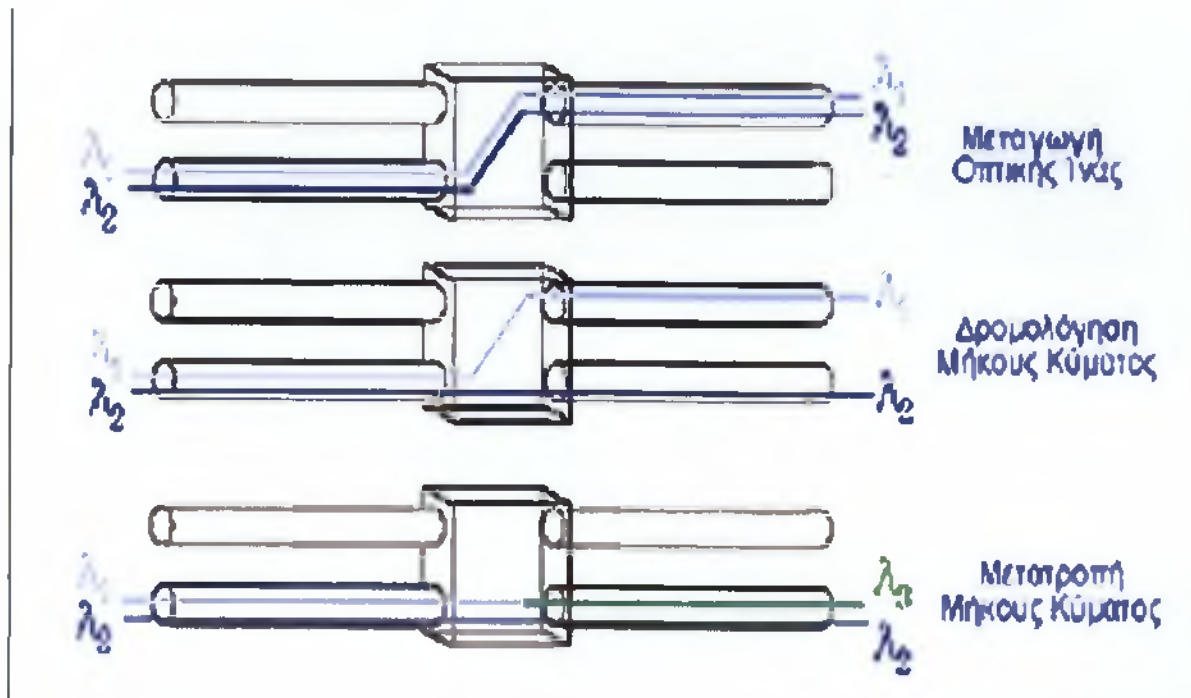
Ένα οπτικό σύστημα ψηφιακής διασύνδεσης έχει μια πληθώρα τερματικών εισόδου όπου τα οπτικά σήματα τροφοδοτούνται. Αντίστοιχα αρκετές είναι και οι εξόδου, οπότε διαθέτει και έναν οπτικό μεταγωγέα για την σωστή σύνδεση εισόδων και εξόδων.

Σ' ένα δίκτυο δρομολόγησης μήκους κύματος είναι δυνατό οι κόμβοι μεταγωγής να έχουν τη δυνατότητα μετατροπής του μήκους κύματος (wavelength conversion). Σε μια τέτοια περίπτωση, ένα οπτικό μονοπάτι μπορεί σε κάθε σύνδεσμό του να έχει διαφορετικό μήκος κύματος.

Εάν στο δίκτυο δεν υπάρχουν αυτοί οι μηχανισμοί το δίκτυο διέπεται από περιορισμό της συνέχειας του μήκους κύματος (wavelength continuity constraint) και κάθε οπτικό μονοπάτι δεσμεύει το ίδιο μήκος κύματος σε κάθε ενδιάμεσο σύνδεσμο του, από την πηγή ως τον προορισμό της σύνδεσης.

Στην οπτική περιοχή, όπου μπορούν να μεταδοθούν 40 οπτικά κανάλια από μία μόνο οπτική ίνα, απαιτείται ένα στοιχείο δικτύου να μπορεί να δέχεται διάφορα μήκη κύματος στις εισόδους του και να τα καθοδηγεί στις κατάλληλες εξόδους. Για να πραγματοποιηθεί αυτό ο οπτικός διασταυρωτήρας (OXC) χρειάζεται τρεις δομικές μονάδες.

1. Μεταγωγή οπτικής ίνας (fiber switching) – Η ικανότητα να καθοδηγούνται όλα τα μήκη κύματος από μια οπτική ίνα εισόδου σε μια διαφορετική οπτική ίνα εξόδου.
2. Δρομολόγηση μήκους κύματος (wavelength switching) – Η ικανότητα δρομολόγησης συγκεκριμένων μήκων κύματος από μια οπτική ίνα εισόδου σε πολλαπλές οπτικές ίνες εξόδου.
3. Μετατροπή μήκους κύματος (wavelength conversion) – Η ικανότητα μετατροπής επαναχρωματισμού των εισερχόμενων μήκων κύματος και η μετάδοσή τους με άλλη συχνότητα στην έξοδο.

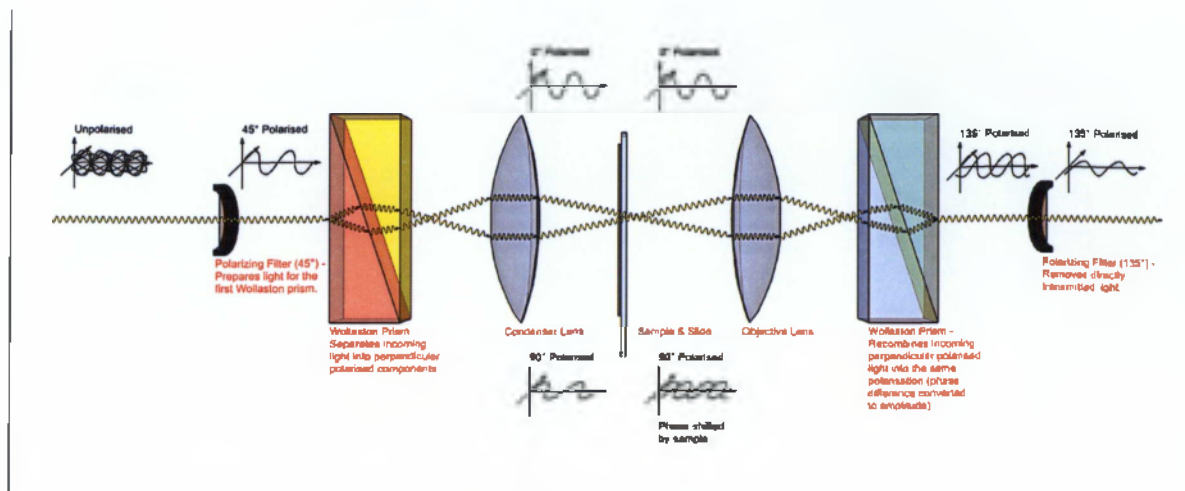


Εικόνα 30 Δομικές μονάδες οπτικού διασταυρωτήρα (OXC)

Οπτικά Μονοπάτια

Βασικό στοιχείο μιας σύνδεσης μεταξύ δύο κόμβων σε ένα δίκτυο δρομολόγησης μήκους κύματος είναι το οπτικό μονοπάτι (lightpath). Το οπτικό μονοπάτι είναι ένα αμιγώς οπτικό κανάλι επικοινωνίας μεταξύ δύο κόμβων, το οποίο καθορίζεται από τη διαδρομή που χρησιμοποιείται, δηλαδή το σύνολο των κόμβων από τους οποίους διέρχεται, αλλά και από το μήκος κύματος που χρησιμοποιείται σε κάθε τμήμα του.

Το lightpath αποτελείται από ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος της οπτικής ίνας εισόδου του κόμβου μεταγωγής s , ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος της οπτικής ίνας εξόδου του κόμβου μεταγωγής d και τα ενδιάμεσα light-links που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία των ενδιάμεσων κόμβων.



Εικόνα 31 Οπτικό μονοπάτι (lightpath)

Τα lightpaths θα πρέπει να πληρούν ένα σύνολο από περιορισμούς. Ο βασικός περιορισμός στα δίκτυα δρομολόγησης μήκους κύματος είναι ότι δεν μπορούν δύο οπτικά μονοπάτια να χρησιμοποιούν το ίδιο μήκος κύματος πάνω στην ίδια οπτική ίνα, το οποίο ονομάζεται και περιορισμός διακριτής χρησιμοποίησης των μηκών κύματος (district wavelength assignment constraint), ενώ τα lightpaths ονομάζονται διακεκριμένα (disjoint lightpaths).

Αν κανένας κόμβος του δικτύου δεν έχει τη δυνατότητα για μετατροπή μήκους κύματος, τότε το lightpath θα πρέπει να υπακούει στον ανωτέρω περιορισμό. Ένα lightpath μπορεί να είναι αμιγώς οπτικό (all-optical) ή όχι, ανάλογα με το αν κατά μήκος του μονοπατιού το σήμα μεταδίδεται εξολοκλήρου στον οπτικό τομέα, ή σε κάποιους κόμβους μεταγωγής υφίσταται οπτο-ηλεκτρονική μετατροπή.

Ο τελικός αλλά εξίσου σημαντικός περιορισμός είναι ότι το φυσικό μήκος και το μήκος ενίσχυσης ενός lightpath θα πρέπει να είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα άνω όρια που θέτουν τα χαρακτηριστικά της οπτικής ίνας και του ενισχυτή (π.χ. Crosstalk, ASE).

Τα συστήματα ψηφιακής διασύνδεσης στην παραγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε σημαντικούς τύπους συστημάτων ψηφιακής διασύνδεσης. Θα επικεντρώσουμε σε μεγάλους και καινοτόμους κατασκευαστές και σε δημοφιλείς λύσεις που προτείνουν.

Με αυτόν τον τρόπο, θα αποκτήσουμε μια πιο πρακτική γνώση του ρόλου αυτών των συστημάτων στα δίκτυα επικοινωνιών. Επίσης, θα εξοικειωθούμε με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και αρχιτεκτονικές.

Κατασκευαστές

Από τις αρκετές σε αριθμό εταιρείες που παράγουν συσκευές ψηφιακής διασύνδεσης, ξεχωρίσαμε τρεις. Αυτές είναι οι **RAD Data Communications**, **Sycamore** και **Tellabs**. Αυτούς του κατασκευαστές τους επιλέξαμε βάσει της παρουσίας τους στην αγορά και στον προσανατολισμό τους στην κατασκευή και σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων.

RAD Data Communications

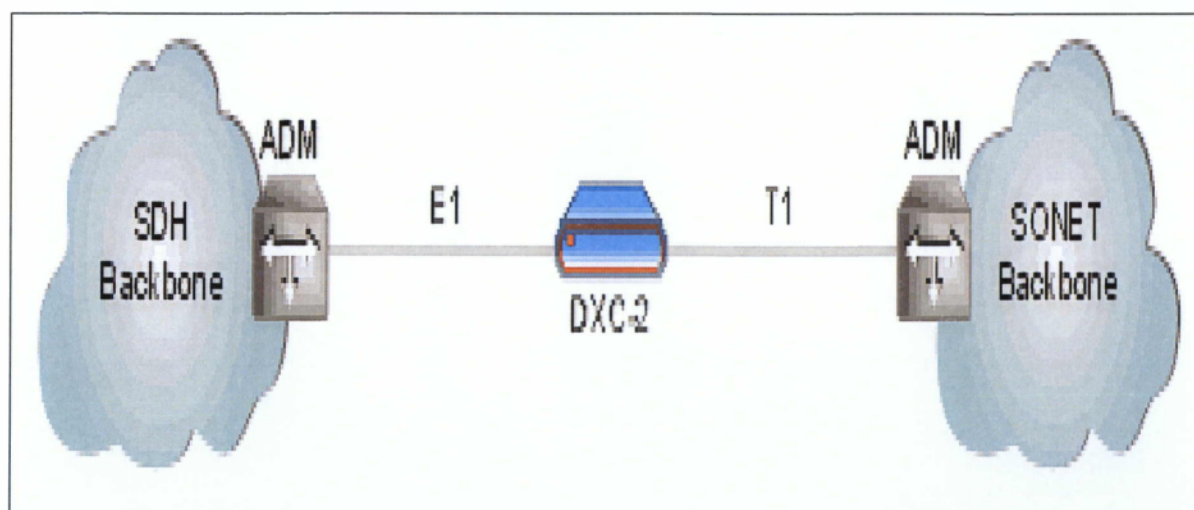
Η εταιρεία RAD Data Communications ιδρύθηκε στις αρχές της δεκαετίας του '80 και έχει διακριθεί σαν ένας κατασκευαστής συσκευών για τηλεπικοινωνιακές υποδομές που βοηθάει στην μείωση του κόστους πρόσβασης, τόσο για δίκτυα σταθερής, όσο και για δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και Internet. Τηλεπικοινωνιακοί/Δικτυακοί πάροχοι, επιχειρήσεις, κρατικές υπηρεσίες, συγκαταλέγονται στους πελάτες της RAD.

Μοντέλα

Τα προϊόντα ψηφιακής διασύνδεσης της RAD συγκεντρώνουν τον δικτυακό φόρτο που προκαλείται από την πλευρά των χρηστών σε trunks τύπου E1/T1, E3/T3 ή STM-1/OC-3. Η χρήση DXC συστημάτων της RAD για τις ανάγκες του backhaul, επιτρέπει την παροχή μισθωμένων γραμμών και γενικότερα υπηρεσιών με μικρότερο κόστος. Επιπροσθέτως, τα συστήματα DXC της RAD είναι σε θέση να διαχειριστούν κάθε είδους δικτυακό φόρτο.

DXC- 2

Το DXC-2 είναι ένας μετατροπέας σήματος E1 σε T1. Υποστηρίζει μετατροπή σήματος, σηματοδότηση και time slot swapping ανάμεσα σε δύο συσκευές που λειτουργούν στην ίδια ταχύτητα. Το DXC-2 είναι μια παραμετροποιήσιμη μονάδα, που επιτρέπει στον χρήστη της να συνδέει οποιοδήποτε εισερχόμενο 64 kbps time slot, σε οποιοδήποτε εξερχόμενο 64 kbps time slot. Η ρύθμιση μπορεί να γίνεται και κατά την διάρκεια της λειτουργίας χωρίς να διακόπτεται η παροχή υπηρεσιών εκ μέρους της συσκευής.



Εικόνα 32 Μετατροπέας σήματος DXC-2

Στα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης συσκευής περιλαμβάνονται:

- Παραμετροποιήσιμη μετατροπή A-law/μ-law κωδικοποιημένων σημάτων.
- Το T1 interface ακολουθεί τα πρότυπα: AT&T, TR-62411 και ANSI T1.403.
- Το E1 interface ακολουθεί τα πρότυπα: ITU Rec. G.703, G.704, G.732, και G.823.
- Έλεγχο για υπερχειλίσσεις/υποχειλίσσεις στους buffers.
- Τοπικά και απομακρυσμένα loopbacks για λόγους διάγνωσης σφαλμάτων.
- Η εποπτεία και ο έλεγχος γίνονται από panel τύπου LCD ή από ASCII τερματικό.

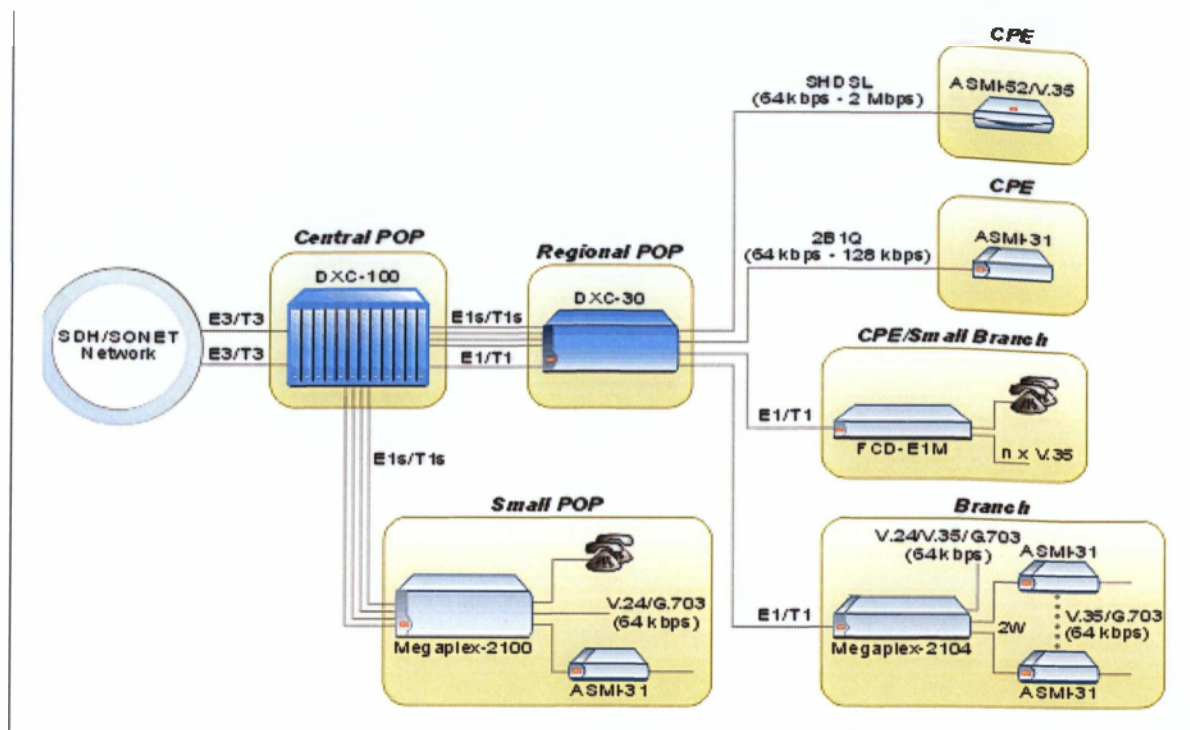
Ένας πίνακας συνδέσεων, που ορίζεται από τον χρήστη, καθορίζει τις διασυνδέσεις μεταξύ κάθε εισερχόμενης 64 kbps γραμμής και κάθε εξερχόμενης γραμμής. Το T1 interface ακολουθεί τα πρότυπα AT & T TR-62411 και ANSI T1.403 και υποστηρίζει D4 και ESF πλαίσια.

DXC – 30

Το DXC-30 είναι ένα σύστημα ψηφιακής διασύνδεσης σχεδιασμένο να παρέχει ψηφιακή πρόσβαση και διασύνδεση για πολλαπλές υπηρεσίες. Υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών για τηλεπικοινωνιακούς παρόχους, κινητά δίκτυα επικοινωνιών, ISP, εταιρείες, πανεπιστημιακά δίκτυα και άλλα.

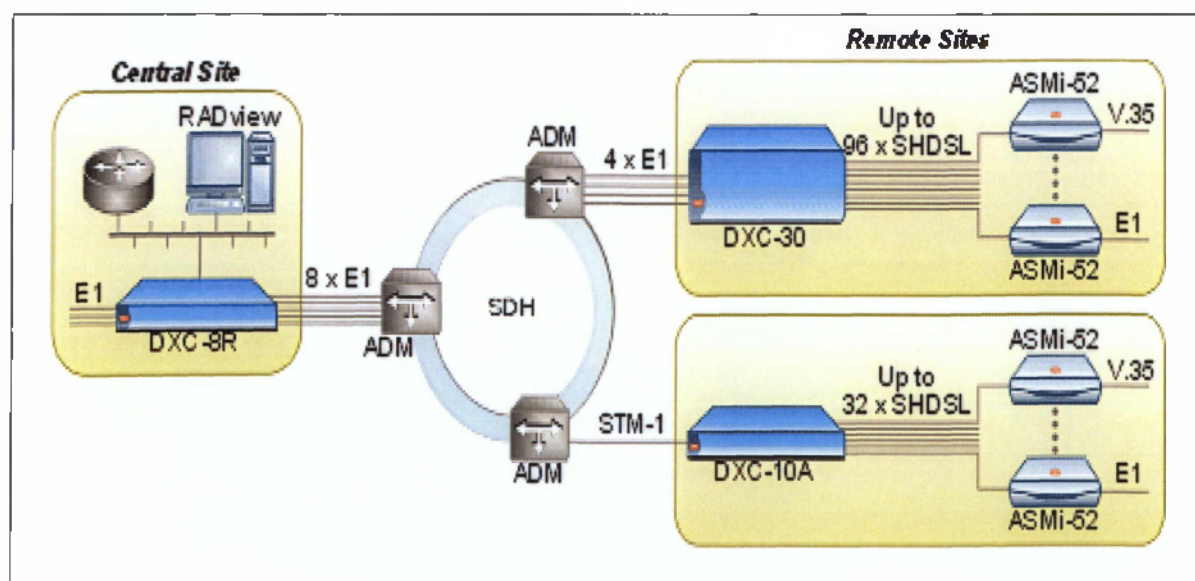
Το DXC-30 μπορεί να εκπέμψει κάθε συνδυασμό δικτυακού φόρτου και παρέχει non-blocking διασύνδεση μέχρι 120 γραμμών. Η αρθρωτή μονάδα ψηφιακής διασύνδεσης η οποία διαθέτει υποστηρίζει μετατροπή E1 σε T1, ανάστροφη πολυπλεξία, παρακολούθηση σηματοδοσίας, και μετάδοση T1 κυκλωμάτων πάνω από E1 γραμμές.

Υποστηρίζει υπηρεσίες ISDN, E1/T1, E3/T3, x DSL, και STM-1. Για να διασφαλιστεί η μέγιστη αξιοπιστία του συστήματος, το DXC-30 μπορεί να εξοπλιστεί με λύσεις πλεονασμού (redundancy).



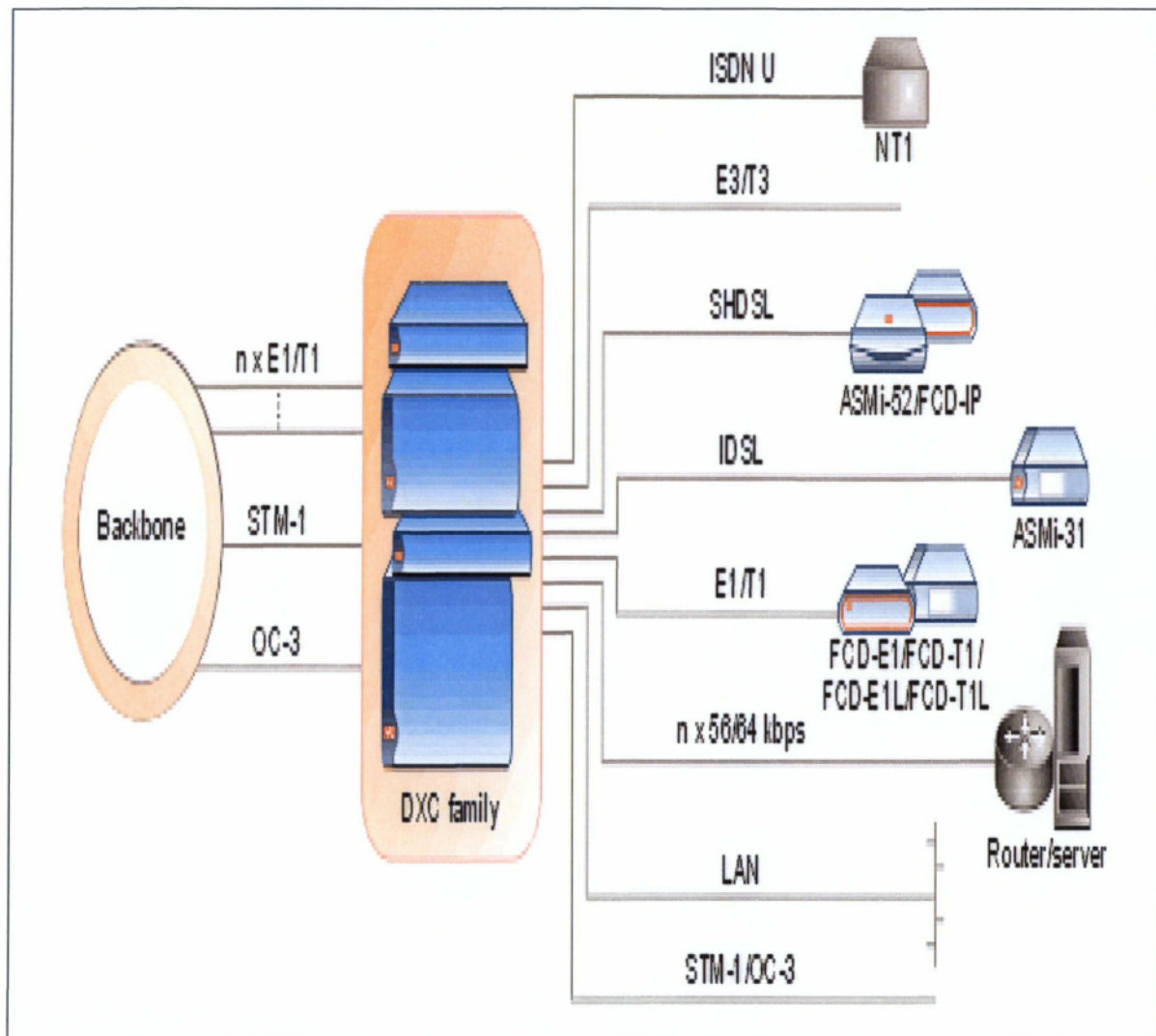
Εικόνα 33 Σύστημα ψηφιακής διασύνδεσης DXC-30

Οι διεπαφές D4E1 και D8E1 (4 και 8 port, αντίστοιχα) μεταδίδουν σε απόσταση έως και 2.2 km. Έχουν ρυθμό μετάδοσης μέχρι 2.048 Mbps ανά port, και υποστηρίζουν BERT.



Εικόνα 34 Διεπαφές D4E1 και D8E1

Η διεπαφή DE1B (2 port E1) μεταδίδει και αυτή σε απόσταση έως και 2.2 km. Το BERT υποστηρίζεται προαιρετικά, όπως επίσης και η αυτόματη παράκαμψη δικτυακού φόρτου. Η 8-Port διεπαφή D8SL χρησιμοποιεί standard SHDSL τεχνολογία για να μπορέσει να μεταδώσει μέχρι και σε 10.7 km.

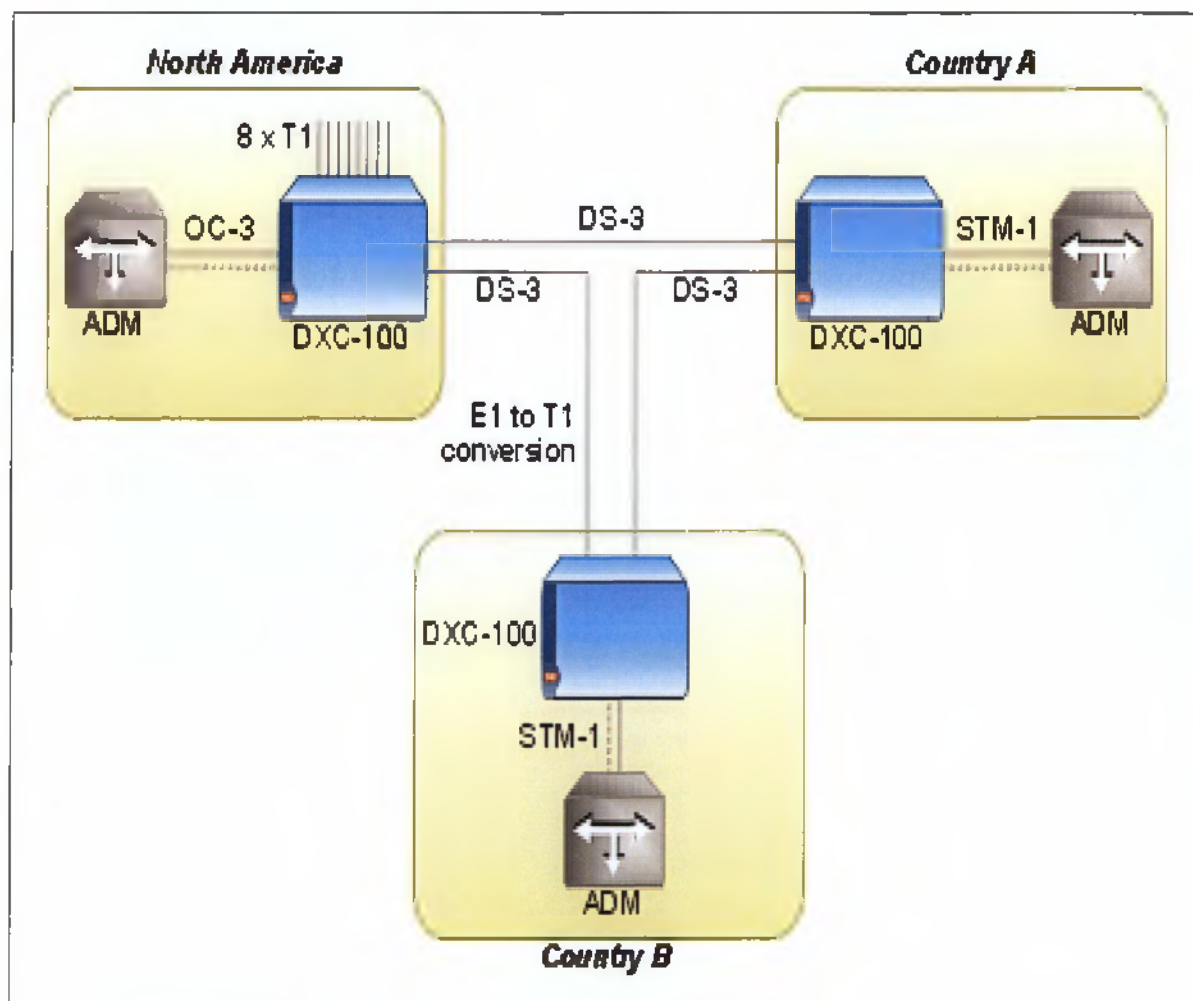


Εικόνα 39 8-Port διεπαφή D8SL

DXC – 100

Το DXC-100 είναι ένας multi-service access node, προορισμένος για τηλεπικοινωνιακούς παρόχους. Είναι μια συσκευή που συγκεντρώνει και διασυνδέει πολλές γραμμές E1/T1, E3/T3 και STM-1/OC-3 με μεγάλη απόδοση.

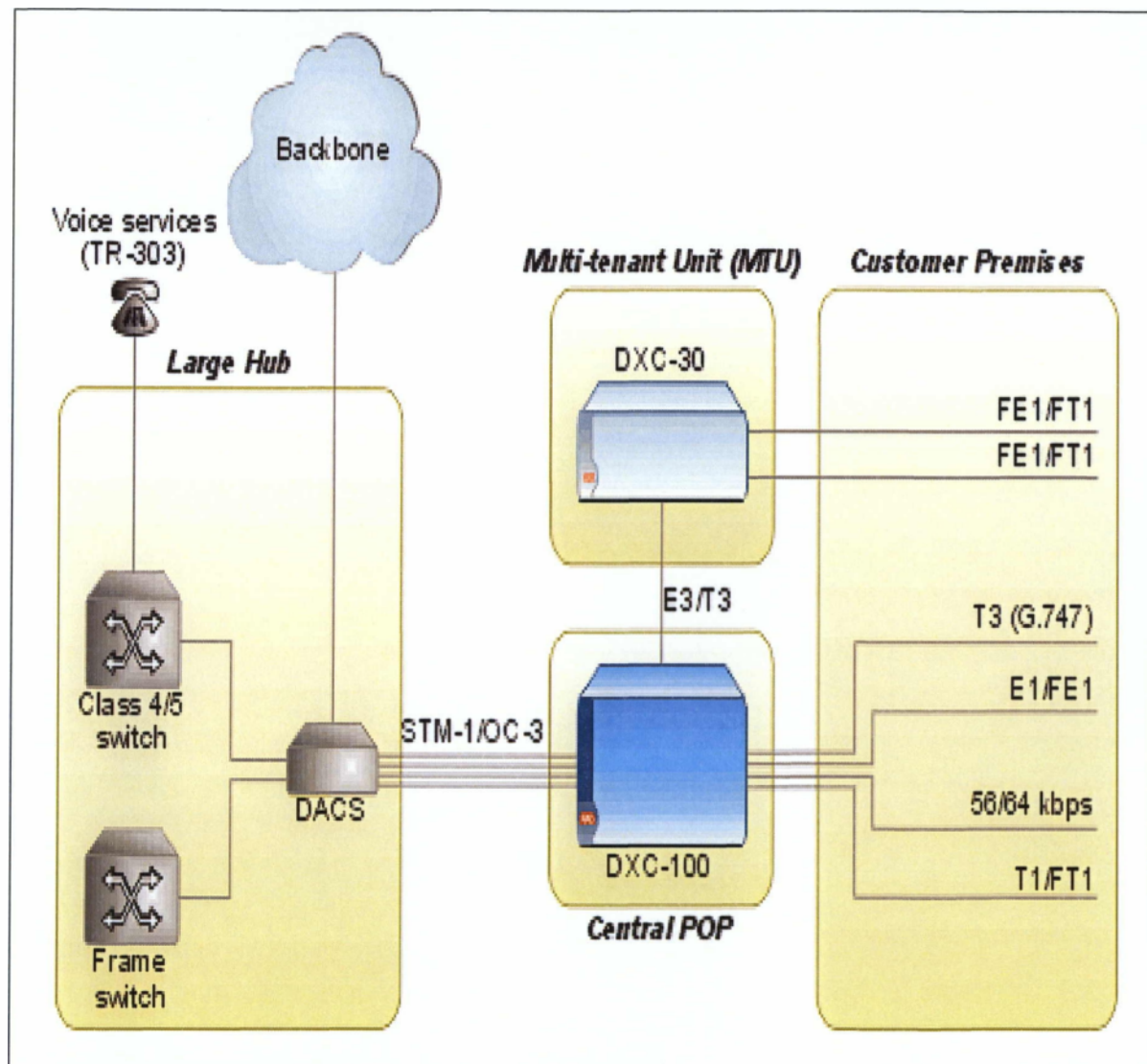
Όπως μπορούμε να δούμε και στην παρακάτω εικόνα, το DXC-100 multi service access node μπορεί να συνδεθεί και με άλλες, όμοιες συσκευές (μέχρι 8) για να παρέχουν μια κλιμακώσιμη (scalable), μειωμένου κόστους, κεντριοποιημένη λύση. Το DXC-100 ικανοποιεί τις ανάγκες των περισσότερων παρόχων, ευρυζωνικής και μη, πρόσβασης, ISP, επιχειρήσεων και άλλα.



Εικόνα 40 Multi-service access node DXC-100

Στις δυνατότητες της συσκευής περιλαμβάνονται μετατροπή E1/T1 ή E3/T3, πρόσβαση υψηλής ταχύτητας σε backbone, συγκέντρωση Ethernet traffic από διάφορες πηγές σε ένα κανάλι. Το DXC-100 επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάπτυξη τόσο δικτύων φωνής, όσο και δικτύων δεδομένων.

Κάθε σασσί υποστηρίζει 80 nx 56/64 kbps, 88 E1, 88 T1, 11 E3, 11 T3, 4STM-1 και 4OC-3 links. Η συνδεσμολογία των 8 σασσί, που προαναφέραμε, μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 640 nx 56/64 kbps, 688 E1, 688 T1, 80 E3, 80 T3, 32 STM-1 και 8OC-3 γραμμές,



Εικόνα 35 DXC-100 (σχήμα 2)

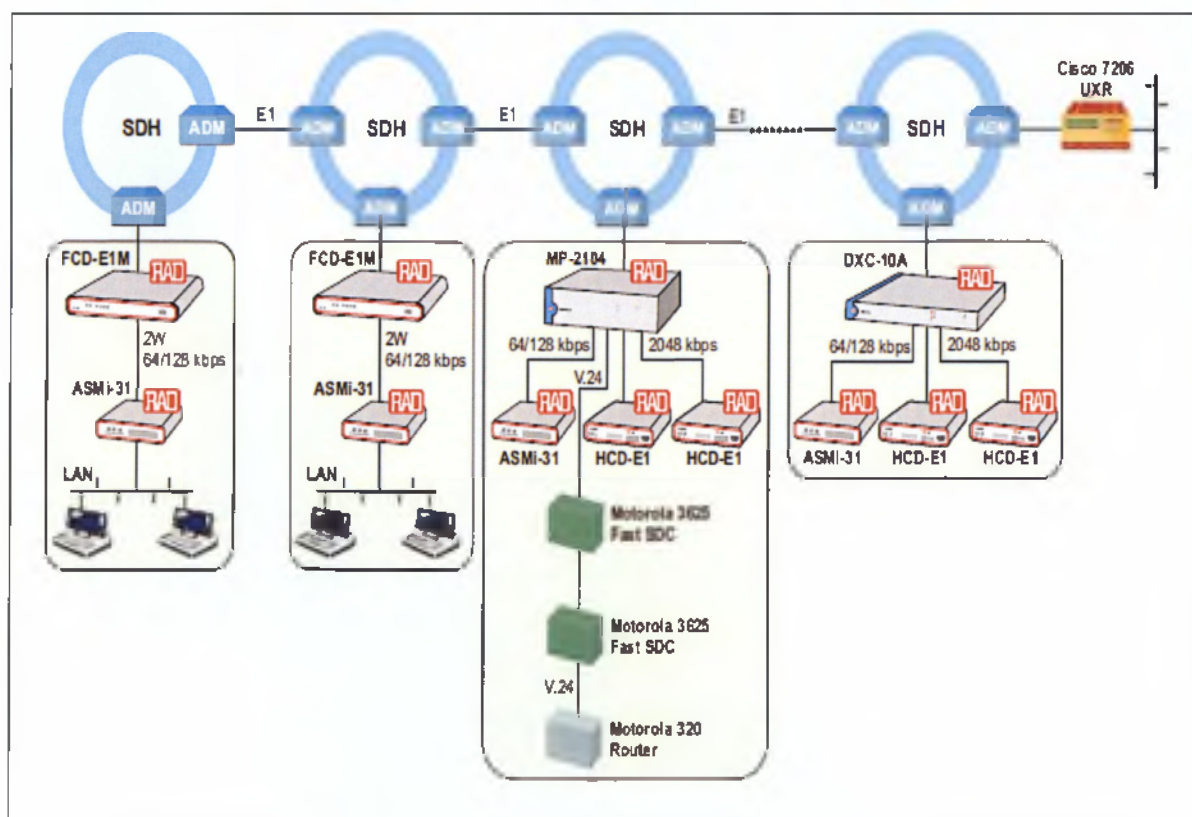
Μελέτη Περίπτωσης

Ο τομέας των μεταφορών και ειδικότερα των σιδηροδρόμων στην Ρουμανία, είναι υψίστης σημασίας για την βιομηχανική ανάπτυξη της χώρας. Ο λόγος είναι η μεγάλη γεωγραφική διασπορά των επιχειρήσεων. Κάθε πόλη διαθέτει τα δικά της εργοστάσια

και την δική της βιομηχανική περιοχή. Το σιδηροδρομικό δίκτυο της χώρας είναι το 4^ο μεγαλύτερο στην Ευρώπη, με συνολικό μήκος γραμμών που ξεπερνάει τα 14,000 km.

Για την βελτίωση των υπηρεσιών της, ο Εθνικός Οργανισμός Σιδηροδρόμων της χώρας ανέπτυξε το σύστημα Integrated Railway Information System (IRIS). Ο κύριος στόχος του συγκεκριμένου Πληροφοριακού Συστήματος ήταν η υποβοήθηση της διαχείρισης του σιδηροδρομικού δικτύου, τόσο από άποψη λειτουργική όσο και στρατηγική.

Ο οργανισμός εγκατέστησε μια υποδομή οπτικών ινών, προκειμένου να εξασφαλίσει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης στις Ethernet συνδέσεις μεταξύ των σταθμών. Όλοι οι σταθμοί επικοινωνούν με το Κέντρο Πληροφοριών του Οργανισμού, που βρίσκεται στο Βουκουρέστι και το οποίο διαχειρίζεται και επεξεργάζεται όλη την ροή της πληροφορίας. Όπως είναι κατανοητό, το IRIS προσφέρει intranet υψηλών ταχυτήτων και αντίστοιχα γρήγορα πρόσβαση στο Διαδίκτυο.



Εικόνα 36 Integrated Railway Information System (IRIS)

Για τις ανάγκες του συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν προϊόντα της RAD σε περισσότερους από 400 σιδηροδρομικούς σταθμούς, που έτσι αποκτούσαν πρόσβαση στο δίκτυο οπτικής ίνας του Οργανισμού. Όλο το δίκτυο διαιρείται σε 9 τομείς.

Σε κάθε τομέα, ένας Cisco δρομολογητής συνδέεται σε ένα DXC access node, που συγκεντρώνει τον φόρτο από κάθε site προς τον τομέα. Μια ευρεία σειρά από πολυπλέκτες, μονάδες τερματισμού, και modems της RAD, είναι εγκατεστημένα σε διάφορα σημεία του δικτύου, ανάλογα με τον φόρτο που διαχειρίζεται το κάθε κομμάτι και την απόσταση του από το κάθε DXC.

Tellabs

Η TellabsInc. είναι μια εταιρεία τηλεπικοινωνιών που σχεδιάζει και κατασκευάζει εξοπλισμό για παρόχους δικτυακών υπηρεσιών. Η μέχρι τώρα πορεία της στην αγορά την κατατάσσει στις 100 μεγαλύτερες εταιρείες Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών και τις έχει δώσει πολλές παρόμοιες διακρίσεις. Πάνω από το 1/3 των ασύρματων κλήσεων παγκοσμίως διέρχονται από δίκτυα παρόχων που αποτελούν πελάτες της Tellabs, όπως η T-Mobile και η Verizon Communications.

Ταυτόχρονα με τον σχεδιασμό και την κατασκευή αυτόνομων συστημάτων, η Tellabs προσφέρει ολοκληρωμένα συστήματα σε παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, Multi-Service Operators (MSOs) και εταιρείες ασύρματης δικτύωσης. Κρατικές υπηρεσίες επίσης εμπιστεύονται τις λύσεις της Tellabs.

Μοντέλα

Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε συγκεντρωτικά τα σημαντικότερα DXC μοντέλα της Tellabs με τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

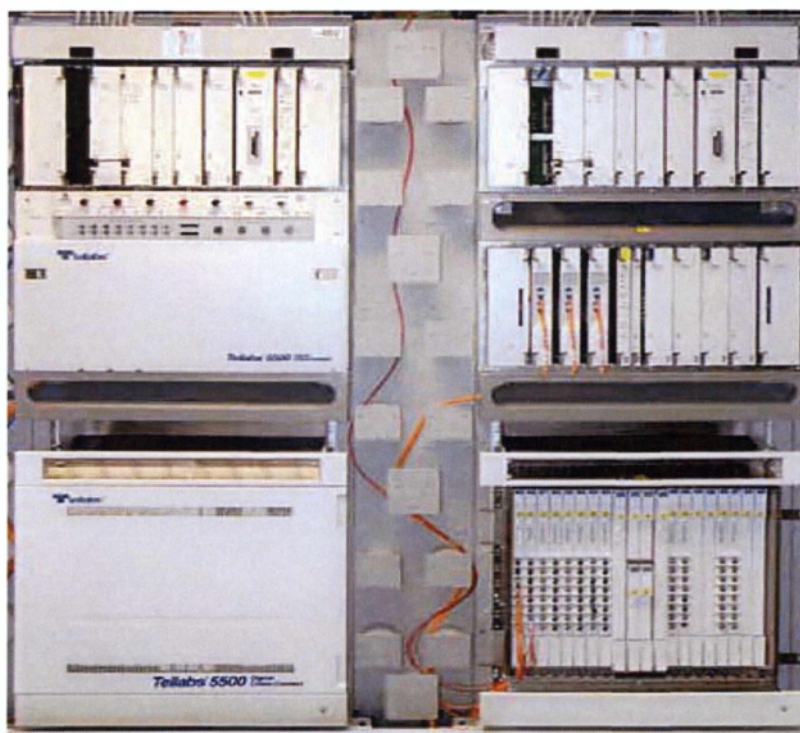
Product	Description	Size/ Switching capacity	Interfaces
Tellabs® 5500 Digital Cross-Connect	Digital cross-connected vital to the core of the network	Admin and network: 2 23-inch x 7-foot racks for up to 4,608 STS-1 equivalent, non-blocking switch capacity Ports: Minimum of 1 23-inch x 7-foot rack (up to 3 HD384 optical port shelves in 1 rack for up to 1,152 STS-1 equivalent circuits)	High-density electrical and optical interfaces, including T1, T3, STS-1E, OC-3, OC-12 and OC-48, and Gigabit Ethernet; integrated DS0 grooming available
Tellabs® 5500 Integrated Voice Quality Enhancement (IVQE)	Integrated voice quality enhancement for the Tellabs 5500 DCS	1 high-density port shelf on the Tellabs 5500 DCS	Supports T1 through OC-48 terminations
Tellabs® 5500 NGX-S Transport Switch	Combines cross-connected and ADM capability in a compact single-shelf system for smaller applications	Size: 17 x 12 x 23.6 inches (W x D x H) (3 per 7-foot rack) Mounting options: 19- or 23-inch rack	DS-1: 392 HD DS-3: 336 DS-3/EC-1: 112 OC-3: 112 OC-12: 56 OC-48: 14
Tellabs® 5320L/S Digital Cross-Connect	Most reliable and scalable 3/1/0 cross-connected designed to replace and gracefully migrate traffic from aging legacy NDCS systems	Admin and network: Minimum of 1 23-inch x 7-foot rack Ports: Minimum of 1 23-inch x 7-foot rack	Full non-blocking any-to-any connectivity for DS-1, E1, STS-1e, and DS-3 Interfaces
Tellabs® 8000 Intelligent Network Manager	Powerful and scalable management system providing deep element management functionality and advanced network/service management	N/A	Supports the Tellabs 5500 DCS and Tellabs 5320L/S DCS
Tellabs® MetroWatch Integrated Network Manager	Full-featured element management	N/A	Supports the Tellabs 5500 DCS and Tellabs 5320L/S DCS
Tellabs® MetroWatch NGX Element Manager (EM)	Complete TMN-based element management layer functionality of the Tellabs® 5500 NGX-S Transport Switch	N/A	Supports the Tellabs 5500 NGX-S

Εικόνα 37 Σημαντικότερα DXC μοντέλα της Tellabs

Tellabs 5500 core switch

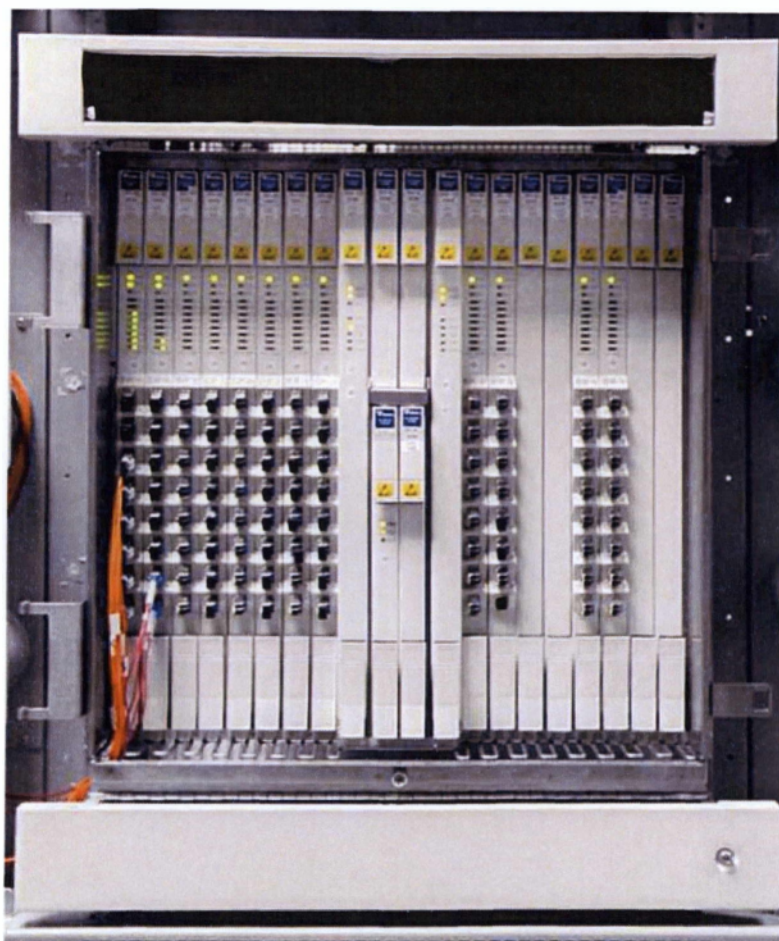
Το ψηφιακό Cross-Connect σύστημα (DCS) Tellabs 5500 με Consolidated Core Switch (CCS), επεκτείνει τη μέγιστη χωρητικότητα του DCS Tellabs 5500 στο αντίστοιχο ισοδύναμο 4608STS-1 (STS-1e) από το προηγούμενο μέγιστο 3072, με δυνατότητα επέκτασης έως και 6144. Μπορεί να αναπτυχθεί ως αυτόνομο Tellabs 5500 DCS 4608 σύστημα ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επέκταση του πίνακα μεταγωγής για τα υπάρχοντα Tellabs 5500 DCS Standard Core Switch (SCS) συστήματα.

Ο πίνακας μεταγωγής Tellabs 5500 DCS 4608 CCS βρίσκεται σ' ένα ενιαίο ράφι και απαιτούνται δύο ράφια για τον πλεονασμό (redundancy).



Εικόνα 44 Σύστημα Tellabs 5500 DCS Standard Core Switch (SCS)

Επιπλέον, το Tellabs συνεχίζει να υποστηρίζει τον υπάρχοντα εξοπλισμό στα δίκτυα των πελατών, παρέχοντας τη δυνατότητα επέκτασης των υπάρχοντων Tellabs 5500 SCS (256, 1024, 1536 και 3072 μεγεθών πυρήνα) σε πάνω από 4K μέγεθος πυρήνα. Η δυνατότητα αυτή προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση τόσο στην κατανάλωση χώρου όσο και στην κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με τις ισχύουσες πρότυπες ρυθμίσεις του πυρήνα.



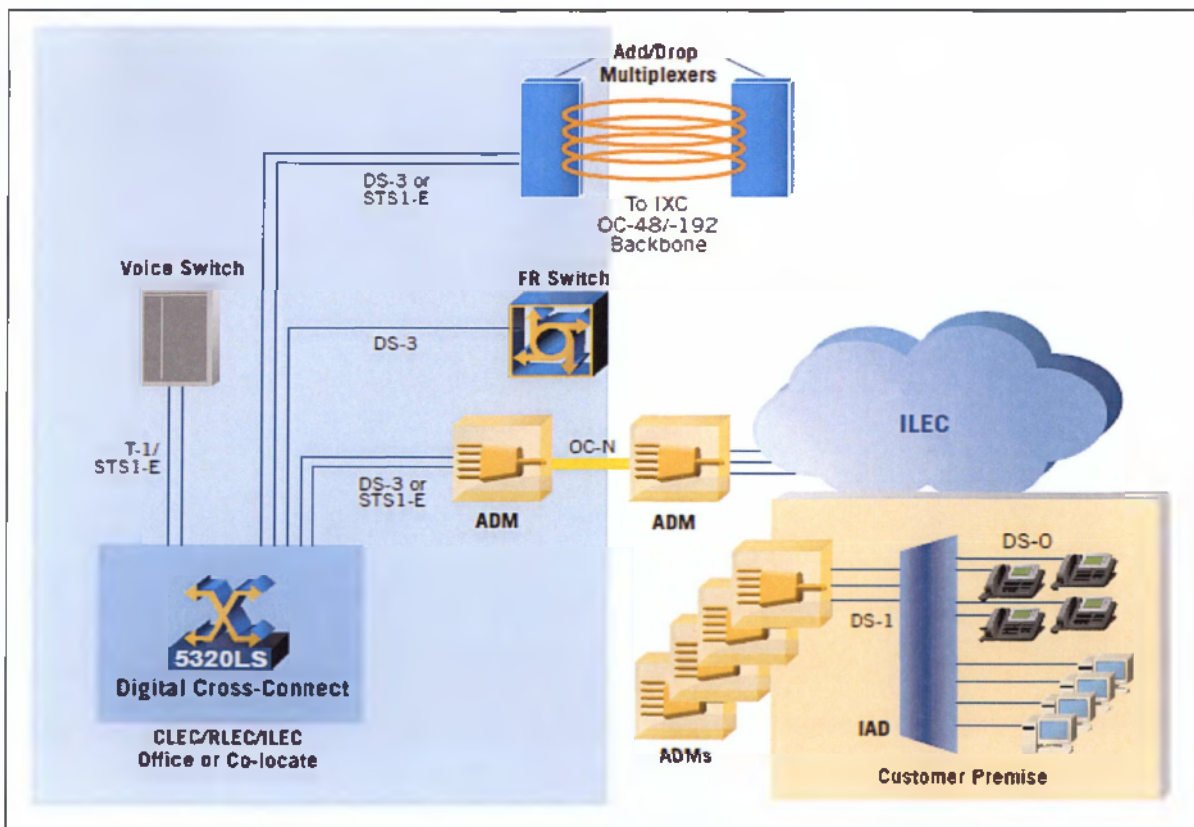
Εικόνα 45 Σύστημα Tellabs 5500 DCS (σχήμα 2)

Tellabs 5320L/S

Η γραμμή M-1 είναι η κύρια μέθοδος παροχής πρόσβασης στους επιχειρηματίες και στους πελάτες των επιχειρήσεων, σε δίκτυα μεταγωγής φωνής και δεδομένων και παραμένει ένα κρίσιμο στοιχείο για την ενσύρματη μετάδοση.

Το ψηφιακό Tellabs 5320L/S παρέχει μια βασική λειτουργία στην ιδιωτική παροχή υπηρεσιών γραμμής, επιτρέποντας στους μεταφορείς να διατηρούν και να γεμίζουν τα κυκλώματα πριν από την αλλαγή του παρόχου και των μεταφορών, για την πιο αποτελεσματική και μειωμένου κόστους, χρήση του δικτύου.

Η ιδιαίτερα ανταγωνιστική αγορά υπηρεσιών T-1 απαιτεί από τους επιτυχημένους μεταφορείς να εντοπίσουν ευκαιρίες για τη μεγιστοποίηση των εσόδων και την ελαχιστοποίηση του κόστους που έχει να κάνει με αυτές τις υπηρεσίες.



Εικόνα Error! Reference source not found. Σύστημα Tellabs 5320 L/S

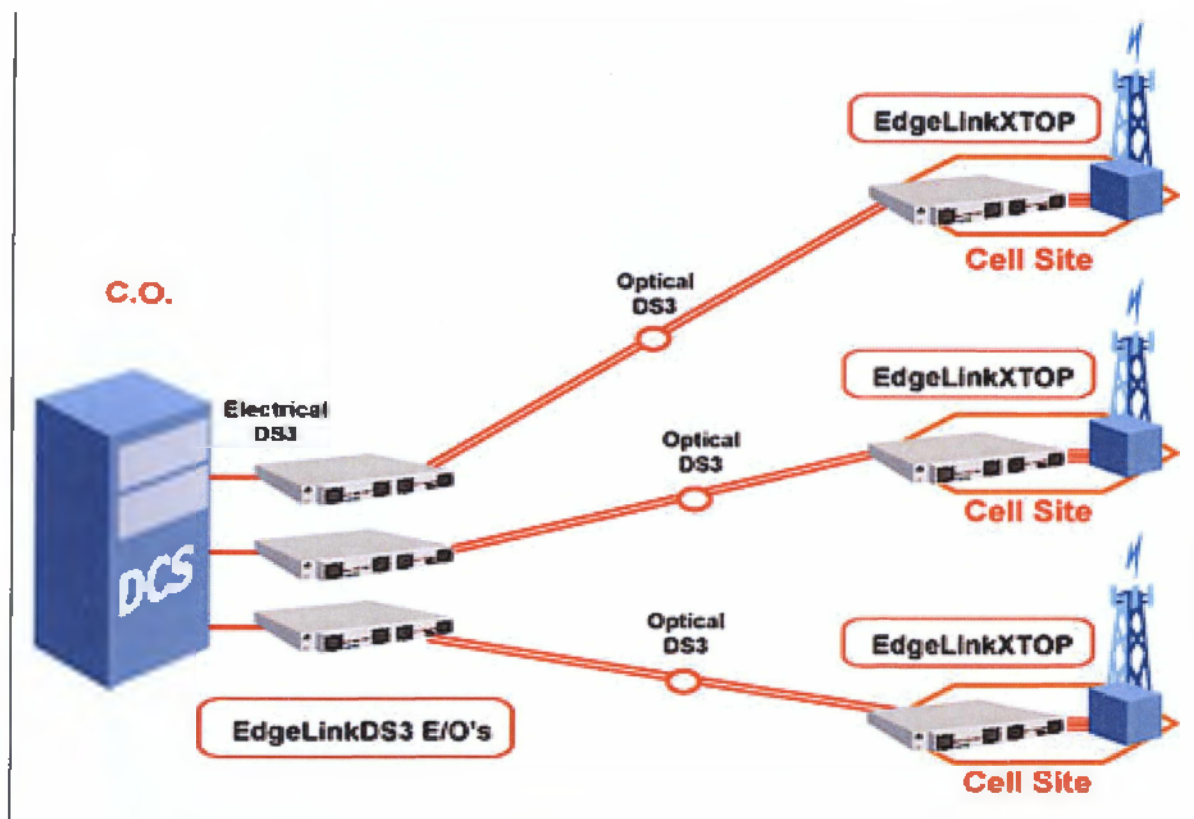
Το ψηφιακό Tellabs 5320 L/S με τη συγκέντρωση κυκλώματος φωνής GR-303, επιτρέπει στους μεταφορείς να μεγιστοποιήσουν τη χρήση των τηλεπικοινωνιακών τους υποδομών, όπως είναι οι διακόπτες φωνής και τα NDCSs, μειώνοντας κατ' αυτό τον τρόπο ακόμα περισσότερο το κόστος των υπηρεσιών των ιδιωτικών γραμμών M-1. Το ψηφιακό Tellabs 5320 L/S με το GR-303 διατηρεί όλη τη παραδοσιακή λειτουργικότητα NDCS και τα οφέλη των μεταφορέων είναι τα παρακάτω:

- Αξιοπιστία.
- Κορυφαία πυκνότητα θυρών.
- Κλιμάκωση σε αντιστοιχία, από 1 έως 7168 DS-1.
- Υποστήριξη πλήθους υπηρεσιών, από DS-0 υπηρεσίες (για παράδειγμα, MJU, διασκέψεις φωνής, μετάδοσης, DDS, κ.λπ.) έως υψηλής ταχύτητας διεπαφές DS-3 και STS-1E για 3/1/0 λειτουργικότητα.
- Κεντρική διαχείριση του δικτύου μέσω δοκιμής πρόσβασης και Loopbacks.
- Παρακολούθηση ολόκληρου του συστήματος εγκαταστάσεων για την επιβολή του SLA και την αντιμετώπιση των προβλημάτων του δικτύου.

Μελέτη Περίπτωσης

Σε ένα ιεραρχικό δίκτυο τηλεπικοινωνιών, το κομμάτι που περιλαμβάνει τις συνδέσεις μεταξύ του κυρίως δικτύου (backbone) και των υποδικτύων στις «παρυφές» λέγεται backhaul.

Για παράδειγμα, σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, τα κινητά τηλέφωνα των χρηστών επικοινωνούν με τον πυλώνα του κελιού στο οποίο βρίσκονται. Ο πυλώνας όμως επικοινωνεί με τον υπόλοιπο κόσμο μέσω της backhaul σύνδεσης με το backbone. Στην παρακάτω εικόνα, μπορούμε να δούμε ένα παράδειγμα backhaul σύνδεσης.



Εικόνα 38 Σύνδεση backhaul

Ένας μεγάλος πάροχος κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποίησε τα συστήματα **8600 Managed Edge System** και **8000 Intelligent Network Manager (INM)** για το backhaul του δικτύου του. Το 8000 INM χρησιμοποιεί σαν διεπαφή το IBM Tivoli Netcool, που είναι σύστημα διαχείρισης σφαλμάτων. Αυτή είναι η πρωτεύουσα διεπαφή που χρησιμοποιεί η τεχνική υπηρεσία του παρόχου (NOC).

Επίσης, το 8000 INM χρησιμοποιήθηκε σε ένα ξεχωριστό data center. Ο πάροχος είχε μικρή άνεση χρόνου προκειμένου να αναδειχθούν τα πλεονεκτήματα αυτής της λύσης. Ο πάροχος επιδίωκε να χρησιμοποιήσει πολυχρηστικούς δρομολογητές, προκειμένου να ελαχιστοποιήσει τα κόστη.

Αυτά προέρχονται κυρίως από την χρήση μισθωμένων γραμμών από άλλους παρόχους. Υλοποιώντας δυναμικό διαμοιρασμό εύρους ζώνης στο αντίστοιχο 3G δίκτυο, ο πάροχος κατάφερε να μειώσει το πλήθος των μισθωμένων T1 γραμμών κατά 50%, άρα και το αντίστοιχο κόστος.

Παράλληλα, η λύση που υλοποιήθηκε έδωσε την δυνατότητα στον πάροχο να επιταχύνει τον λεγόμενο time-to-market, που είναι η χρονική περίοδος που μεσολαβεί ανάμεσα στην σύλληψη της ιδέας ενός νέου προϊόντος ή υπηρεσίας και στην παροχή της στους αντίστοιχους καταναλωτές.

Επίσης, μειώθηκε η πιθανότητα απώλειας δεδομένων και η αποδοτικότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών. Φάνηκε στην πράξη πως το 8000 INM έχει την δυνατότητα να διαχειριστεί ένα μεγάλο δίκτυο που περιλαμβάνει μεγάλο πλήθος κόμβων.

Sycamore

Τα δίκτυα Sycamore αναπτύσσουν και διαθέτουν έξυπνους, οπτικούς διακόπτες, πολλαπλές συνδέσεις, ολοκληρωμένες πλατφόρμες πρόσβασης, προηγμένο λογισμικό, καθώς και κινητές ευρυζωνικές λύσεις βελτιστοποίησης που αποσκοπούν στη δημιουργία πιο ευέλικτων, αποτελεσματικών, επεκτάσιμων και αξιόπιστων δικτύων επικοινωνιών.

Μοντέλα

S-DNX

Όπως τα δίκτυα πρόσβασης σταδιακά εξελίσσονται ώστε να υποστηρίζουν πολλαπλές υπηρεσίες μέσω συγκλινουσών υποδομών, η κίνηση της συγκέντρωσης της κυκλοφορίας πιο κοντά στην άκρη της πρόσβασης έχει ως αποτέλεσμα ένα σημαντικό κόστος και μεγάλα λειτουργικά οφέλη. Δικαιολογημένα, οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων θέλουν πιο οικονομικά αποτελεσματικούς τρόπους για να επεκτείνουν αυτή τη στρατηγική μετάβασης σε υφιστάμενες και νέες εγκαταστάσεις.



Εικόνα 48 Σύνδεση S-DNX του δικτύου Sycamore

Η υψηλής χωρητικότητας, σύνδεση S-DNX του δικτύου Sycamore αξιοποιεί την αρχιτεκτονική, ευελιξία και απόδοση του DNX για την παροχή σταθερής και κινητής τηλεφωνίας με τη συνεχή επέκταση των επιλογών.

Η S-DNX προσθέτει σημαντική επεκτασιμότητα στη γραμμή προϊόντων DNX, επιτρέποντας στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων την επέκταση ενός υπάρχοντος δικτύου, που βασίζεται σε DNX, σε μια πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια. Οι πελάτες μπορούν να ακολουθήσουν μια ολοένα και αυξανόμενη στρατηγική για την οικοδόμηση των δικτύων που προστατεύει τις επενδύσεις στα συστήματα συνδέσεων DNX-11 ή DNX-88.

DNX-1u

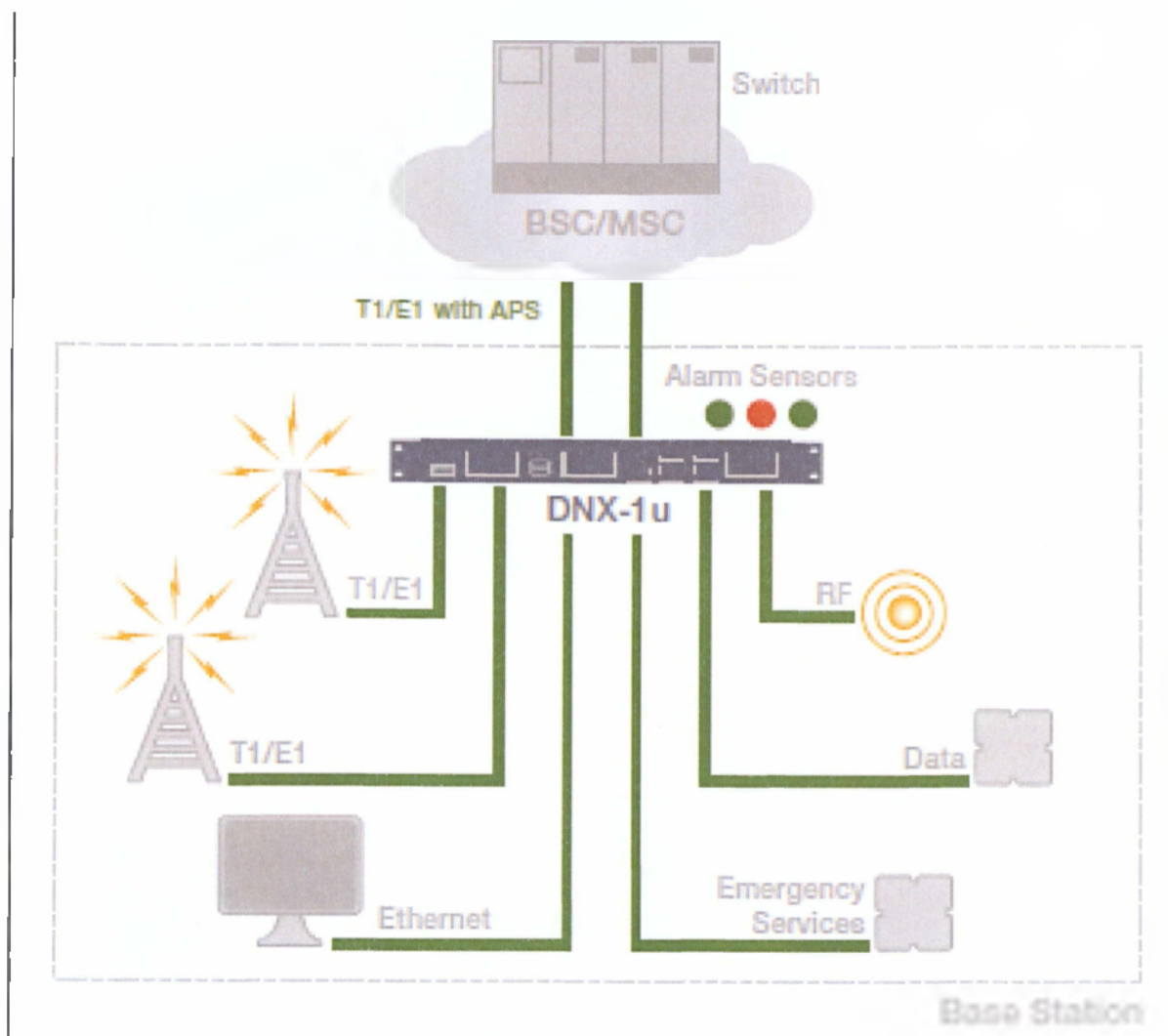
Καθώς η ζήτηση για τις κινητές επικοινωνίες συνεχίζει να αυξάνεται σε όλο τον κόσμο, οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύου πρέπει να αναπτύξουν, να κλιμακώσουν και να διαχειριστούν ένα συνεχώς διευρυνόμενο φάσμα υπηρεσιών φωνής και δεδομένων. Ταυτόχρονα, υπάρχει η πρόκληση για τον έλεγχο των εξόδων και της εξαγωγής της μέγιστης αξίας από τις υπάρχουσες υποδομές.

Μία από τις μεγαλύτερες διαδικασίες είναι η επέκταση των υπηρεσιών που συχνά οδηγούν σε αυξημένη πολυπλοκότητα των δικτύων, ιδιαίτερα στο σταθμό βάσης. Υπάρχει σαφής ανάγκη για λύσεις που θα ενοποιούν πολλαπλές συσκευές μίας λειτουργίας, θα μειώνουν το χρηματικό κεφάλαιο και τις περιοδικές δαπάνες (όπως τα έξοδα μεταφοράς) και θα βελτιώνουν τη συνολική διαχείριση του δικτύου πρόσβασης ραδιοεπικοινωνίας (Radio Access Network RAN).

Το Access Gateway DNX-1u του δικτύου Sycamore απαντάει στην εξής πρόκληση:

- Συνδυάζει ψηφιακό cross-connect,
- Αντιμετωπίζει την κυκλοφορία και τις απομακρυσμένες λειτουργίες διαχείρισης σ' ένα ενιαίο, ολοκληρωμένο σύστημα και
- Θεσπίζει μια σαφή πορεία μετάβασης σε υπηρεσίες 3G.

Το DNX-1u ενοποιεί τον εξοπλισμό ενσωματώνοντας τις λειτουργίες των πολλαπλών στοιχείων του δικτύου και επιτρέπει σε διαφορετικές υπηρεσίες να μοιράζονται κοινές εγκαταστάσεις μετάδοσης. Με έως και οκτώ T1 ή E1 μικρές/μεγάλες διεπαφές, το DNX-1u εξαλείφει την ανάγκη για εξωτερική CSU λειτουργικότητα. Το Time-Slot Interchanger (TSI) προβλέπει την αντιμετώπιση οικονομικά αποδοτικών backhaul στρατηγικών και Automatic Protection Switching (APS) για μέγιστη διαθεσιμότητα του δικτύου.



Εικόνα 50 Access Gateway DNX-1u του δικτύου Sycamore

Ο μετατροπέας από PCM σε ADPCM υποστηρίζει 2:1 συμπίεση της κυκλοφορίας της κίνησης. Οκτώ θύρες της 10/100 σύνδεσης Ethernet, σε συνδυασμό με τη μεταγωγή του επιπέδου (Layer) 2 και τη δρομολόγηση καναλιών, εξαλείφουν την ανάγκη για επιπρόσθετες συσκευές, όπως είναι τα hubs, τα switches και οι routers. Δύο σύγχρονες διεπαφές EIA-530/ITU X.21/V.35 παρέχουν πρόσβαση σε Nx56/64 Kbps σειριακά δεδομένα, ενώ έξι ασύγχρονες EIA-232/ITU V.24 υποστηρίζουν τη λειτουργικότητα του τερματικού του διακομιστή που απαιτούνται για τη διαχείριση του εξοπλισμού.

Μελέτη Περίπτωσης

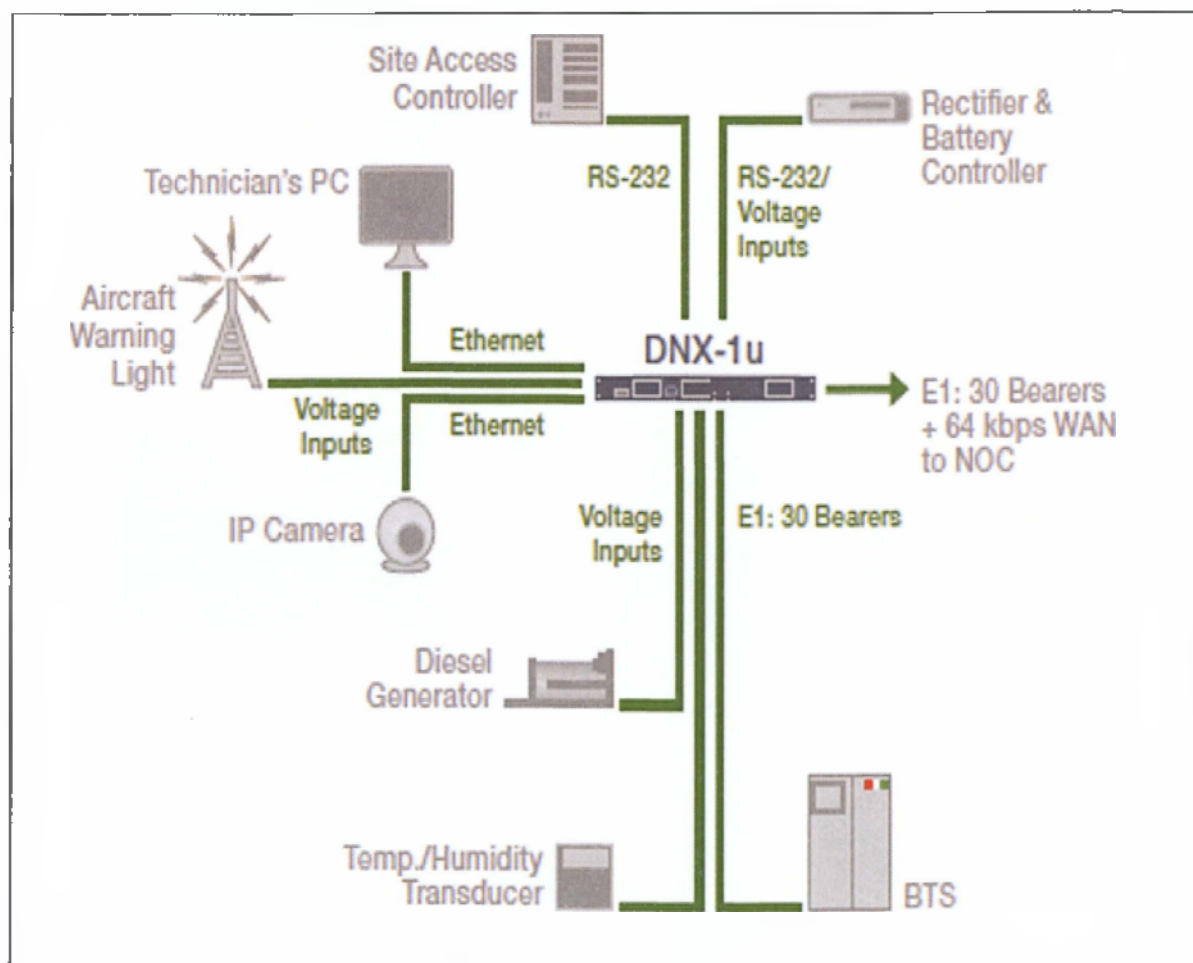
Ένα **Cell site** είναι η γεωγραφική περιοχή που φιλοξενεί κεραίες και άλλο τηλεπικοινωνιακό, ηλεκτρονικό εξοπλισμό ο οποίος τοποθετείται εκεί προκειμένου να δημιουργηθεί ένα κελί για ένα κυψελωτό δίκτυο. Ως γνωστόν, τα κυψελωτά δίκτυα είναι η υποδομή που επιτρέπει την κινητή επικοινωνία. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε ένα cell site.



Εικόνα 40 Cell Site

Η μικρή δυνατότητα εποπτείας ενός cell site είναι καθοριστικός παράγοντας για βλάβες, μακρές περιόδους δυσλειτουργίας ή διακοπής λειτουργίας και επίσης δυσκολεύει κατά πολύ το έργο των τεχνικών που είναι επιφορτισμένοι με την συντήρηση του εξοπλισμού. Παράλληλα, η επιτήρηση της απόδοσης σε ένα μισθωμένο backhaul κύκλωμα Ε1 είναι αδύνατη.

Προκειμένου να αντιμετωπίσει την κατάσταση που προαναφέραμε, ένας από τους μεγαλύτερους παρόχους κινητής τηλεφωνίας στην Νότια Αφρική χρησιμοποίησε το **DNX-1u Access Gateway** σαν κεντρικό κομμάτι ενός συστήματος τηλεμετρίας. Το αποτέλεσμα ήταν η εξοικονόμηση \$500,000 το χρόνο, και η μείωση της μέσης διάρκειας απώλειας λειτουργίας από 17 σε 7 ώρες.



Εικόνα 52 Access Gateway DNX-1u του δικτύου Sycamore (σχήμα 2)

Η Νότια Αφρική διαθέτει τρεις παρόχους κινητής τηλεφωνίας και πρόκειται για μια από τις γρηγορότερα αναπτυσσόμενες αγορές στον υγροκρινμένο κλάδο. Προκειμένου να αντιμετωπίσει τον ανταγωνισμό, ο ένας από τους τρεις παρόχους επιδίωξε να προσφέρει υπηρεσίες υψηλότερης ποιότητας.

Ωστόσο, τα cell sites υποφέρουν από απώλειες εξοπλισμού που οφείλονται σε κλοπές, βανδαλισμούς, φυσικές καταστροφές ή και φυσική φθορά του εξοπλισμού. Η επιτήρηση του χώρου είναι ιδιαίτερα δύσκολη, όπως είναι προφανές.

Χρησιμοποιώντας το DNX-1u Access Gateway σε 500 cell sites, ο πάροχος αντιμετώπισε το πρόβλημα. Λειτουργώντας στο κέντρο μιας αρχιτεκτονικής τηλεμετρίας, όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, το DNX-1u επιτρέπει απομακρυσμένη διαχείριση βασισμένη στο IP πρωτόκολλο.

Επίσης, έγινε δυνατός ο έλεγχος όλων των συσκευών στο site απλά με την χρήση ενός καναλιού 64 kbps σε ένα backhaul E1. Τα στοιχεία που απαρτίζουν το σύστημα περιλαμβάνουν:

- Site access controller και IP κάμερες.
- Συστήματα τροφοδοσίας με μπαταρία και έλεγχο δυναμικού.
- Τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός.
- Αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας.
- Λαμπτήρας προειδοποίησης για αεροσκάφη.

Οι τεχνικοί της εταιρείας μπορούν να συνδεθούν απομακρυσμένα σε κάθε cell site μέσω του εταιρικού δικτύου και να επιτηρήσουν τις συσκευές. Ταυτόχρονα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε τεχνικά εγχειρίδια και να επικοινωνούν με άλλους τεχνικούς και να συντονίζουν την δουλειά τους καλύτερα και αποδοτικότερα.

Επίλογος – Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, στην εργασία αυτή αναπτύξαμε και εστιάσαμε στη μελέτη και την αξιολόγηση των τεχνολογικών εξελίξεων γενικότερα στον τομέα των Συστημάτων Ψηφιακής Διασύνδεσης (Digital Cross-Connect, DXC).

Είδαμε την Παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM), τα Οπτικά συστήματα ψηφιακής διασύνδεσης (OXC) και τη σχέση τους με τα Συστήματα Ψηφιακής Διασύνδεσης καθώς και τα Συστήματα Ψηφιακής Διασύνδεσης στην παραγωγή και ειδικότερα τα μοντέλα τέτοιων συστημάτων.

Κατά την επιλογή ενός συστήματος ψηφιακής διασύνδεσης, πρέπει να γίνει μια ενδελεχής μελέτη όσον αφορά στις δυνατότητες που θα διαθέτει το σύστημα αλλά και να διερευνηθούν οι μελλοντικές απαιτήσεις τόσο στο θέμα της διαλειτουργικότητας των δεδομένων όσο και στις ανάγκες των χρηστών οι οποίοι θα το χρησιμοποιούν.

Η μεγάλη πληθώρα συστημάτων και προτύπων φανερώνει την μεγάλη διαφοροποίηση στην έρευνα και τον σχεδιασμό που σημειώθηκε τα προηγούμενα χρόνια από τις μεμονωμένες προσπάθειες Πανεπιστημίων και Οργανισμών.

Είναι γνωστό ότι μέχρι το 2020 οι Τηλεπικοινωνίες (Σταθερές, Κινητές) θα παίζουν έναν κεντρικό ρόλο στις δραστηριότητες των πολιτών παγκοσμίως. Ιδιαίτερα στον Ευρωπαϊκό χώρο προβλέπεται ότι η οικονομική ζωή και ο τρόπος λειτουργίας των κατοίκων θα είναι ιδιαίτερα εξαρτημένος από τις Τηλεπικοινωνίες.

Τα μελλοντικά συστήματα θα αποτελούνται από ένα πλήθος υπηρεσιών και δικτύων. Τα δίκτυα αισθητήρων (Sensor Networks), τα προσωπικά δίκτυα (Personal Networks), τα τοπικά δίκτυα (LAN), τα οικιακά δίκτυα (Home Networks), τα κινητά δίκτυα (Moving Networks) και τα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN) είναι ένα δείγμα του αναπτυσσόμενου περιβάλλοντος. Η εξάρτηση της κοινωνίας από τα δίκτυα δημιουργεί καινούργιες

προσεγγίσεις και δίνει έμφαση στην Απλότητα, στην Αποδοτικότητα και στην Εμπιστοσύνη (AAE) ή (SET, Simplicity, Efficiency & Trust).

Η μελέτη μας εστίασε εκτός από την παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου που στηρίζονται αυτά τα συστήματα, στην μελέτη της διεθνούς εμπειρίας πάνω στην ανάπτυξη συστημάτων και στην χρήση τους σε πραγματικές συνθήκες.

Μεγάλες επιχειρήσεις έχουν δημιουργηθεί, οι οποίες αναπτύσσουν προϊόντα και παρέχουν λύσεις προκειμένου φορείς, όπως τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι, βιομηχανίες και κρατικές υποδομές να παρέχουν εύρωστες, ποιοτικές λύσεις επικοινωνίας και γενικευμένη πρόσβαση σε δίκτυα δεδομένων υψηλών ταχυτήτων. Σημαντικά οφέλη επίσης προκύπτουν λόγω των δυνατοτήτων κλιμάκωσης αυτών των συστημάτων.

Βιβλιογραφία – Πηγές

1. Telcordia GR-253-CORE, *Synchronous Optical Network (SONET) Transport Systems: Common Generic Criteria* (October 2009). Issue 5.
2. Telcordia GR-499-CORE *Transport Systems Generic Requirements (TSGR): Common Requirements* (November 2009). Issue 4.
3. Horak, Ray (2007). *Telecommunications and Data Communications Handbook*. Wiley-Interscience. p. 476. ISBN 9780470041413.
4. ITU-T Rec. G.707/Y.1322 PDF, *Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)* (Geneva: International Telecommunications Union, January 2007). Accessed 2010-11-03.
5. ITU-T Rec. G.783 PDF, *Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks* (Geneva: International Telecommunications Union, March 2006). Accessed 2010-11-03.
6. ITU-T Rec. G.784 PDF, *Management aspects of the synchronous digital hierarchy (SDH) transport network element* (Geneva: International Telecommunications Union, March 2008). Accessed 2010-11-03.
7. ITU-T Rec. G.803 PDF, *Architecture of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH)* (Geneva: International Telecommunications Union, March 2000). Accessed 2010-11-03.
8. "SONET/SDH Technical Summary". *TechFest*. TechFest.com. 2002. <http://www.techfest.com/networking/wan/sonet.htm> Retrieved 2010-11-13.
9. ANSI T1.105.07-1996, *Synchronous Optical Network (SONET)—Sub-STS-1 Interface Rates and Formats Specification* (New York: American National Standards Institute, 1996). Revised 2005.
10. http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_cross_connect_system
11. http://www.telecom.ntua.gr/ees/downloads/tlta/tilepikoinwniaki_agora_dial2_pdh_sdh.pdf

12. <http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/2584/1/savva%20savvas.pdf>
13. http://www.svcamoren.net/corporate/collateral/CS_mobile_ran_telemetry.pdf