

Τεχνολογίες και Λειτουργία της Τηλεπικοινωνιακής Αγοράς

Δίκτυα πρόσβασης (B μέρος)

Τεχνολογίες δικτύων πρόσβασης

- Ενσύρματα δίκτυα πρόσβασης
 - POTS
 - ISDN
 - B-ISDN
 - DSL
- Οπτικά/Καλωδιακά δίκτυα πρόσβασης (μεριζόμενης ή σημείο-προς-σημείο)
 - PON
 - HFC

Δομή της Διάλεξης

- Γενικά χαρακτηριστικά οπτικών δικτύων πρόσβασης
- Αρχιτεκτονικές FTTx
 - Με χρήση ενεργών στοιχείων
 - Παθητικά οπτικά δίκτυα
 - Υβριδικά
- Γενικά χαρακτηριστικά & εναλλακτικές Τεχνολογίες Παθητικών Οπτικών Δικτύων (PON)
 - ATM PON/Broadband PON (APON/BPON)
 - Gigabit PON (GPON)
 - Ethernet PON (EPON)

Βασικές Τεχνικές

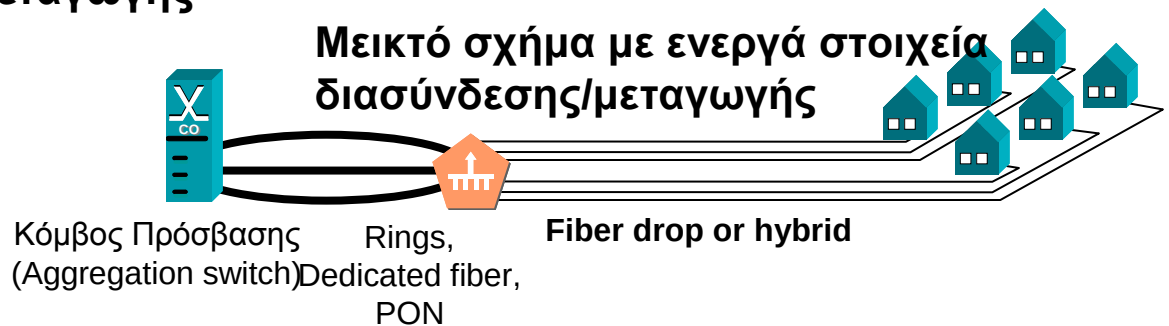
Εναλλακτικές τεχνολογίες μεταφοράς (Transport method):

ATM
SDH
Ethernet
PPP/IP



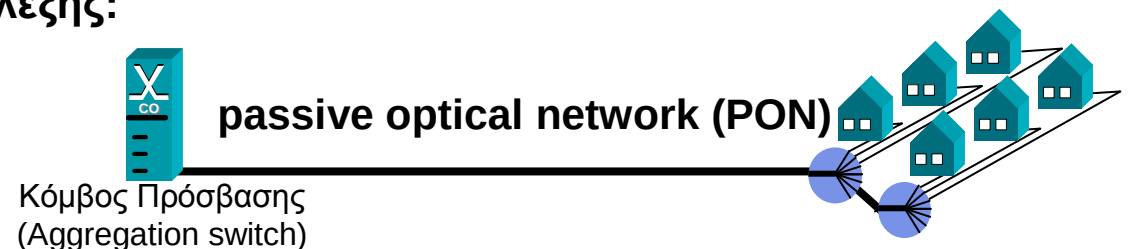
Εναλλακτικές τεχνολογίες μεταγωγής (switching method):

IP/SRP
Ethernet /RPR
ATM
MPLS
SDH

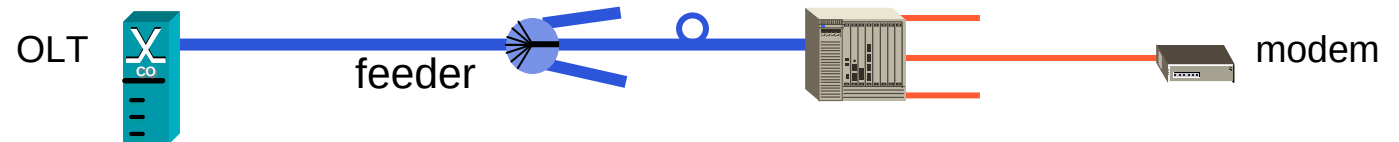


Εναλλακτικές τεχνικές πολύπλεξης:

WDM
TDM/TDMA
FDM



(Συνήθεις) Εναλλακτικές Υβριδικές Τοπολογίες



Τοπικός βρόχος (drop)	Υπηρεσίες (services)	Διεπαφές (interfaces)
DSL (χαλκός) (SHDSL, VDSL, ADSL, MDSL, HS-SDSL)	Internet, Τηλεφωνία VoD, AoD IP-VPN	Enet 10BT ISDN BA, a/b VoIP/Enet MPEG
Ομοαξωνικό (coax)	Internet, Τηλεφωνία Broadcast a/d VoD, AoD IP-VPN	Enet 10/BT ISDN BA, a/b VoIP/Enet DVB/MPEG TS
Ασύρματα (Radio)	Τηλεφωνία Internet IP-VPN	Enet 802.11

VoD=Video-on-Demand

AoD=Audio-on-Demand

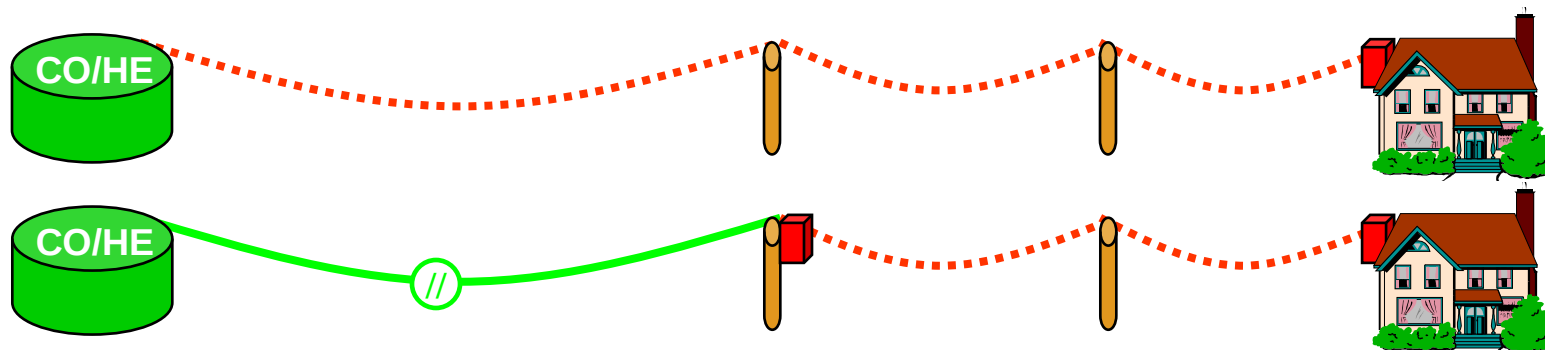
VPN=Virtual Private Network

Enet=Ethernet

DVB=Digital Video Broadcasting

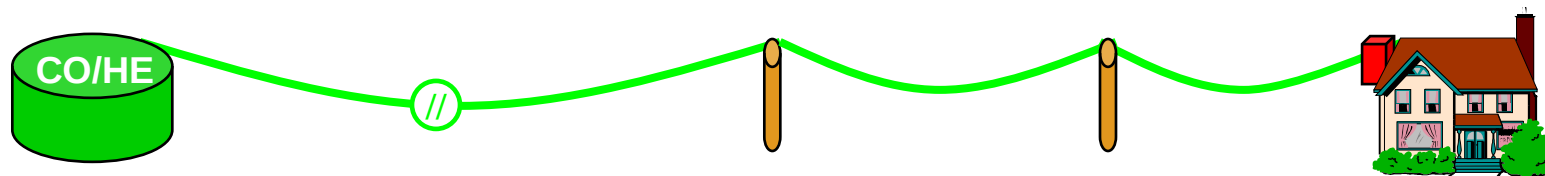
Αμιγώς Οπτική Πρόσβαση (FTTH)

..... Χαλκός
// Γίνα



Παλαιά δίκτυα πρόσβασης με έμφαση στην τηλεφωνία

24 kbps - 1.5 Mbps



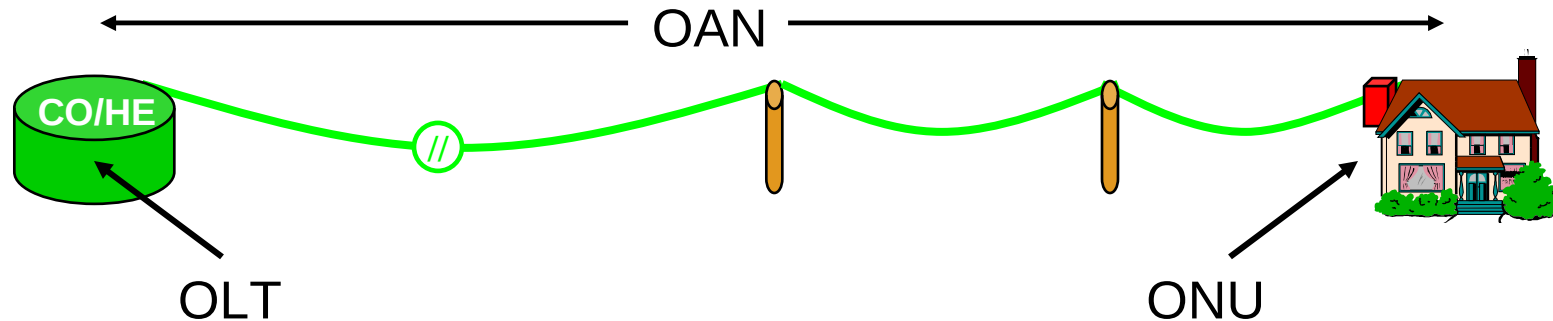
Οπτικά δίκτυα με έμφαση στα πολυμέσα (voice, video, data)

19 Mbps - 1 Gbps +

Παρατήρηση: η διέλευση του δικτύου μπορεί να είναι υπόγεια ή εναέρια

Fiber-To-The-Home (FTTH)

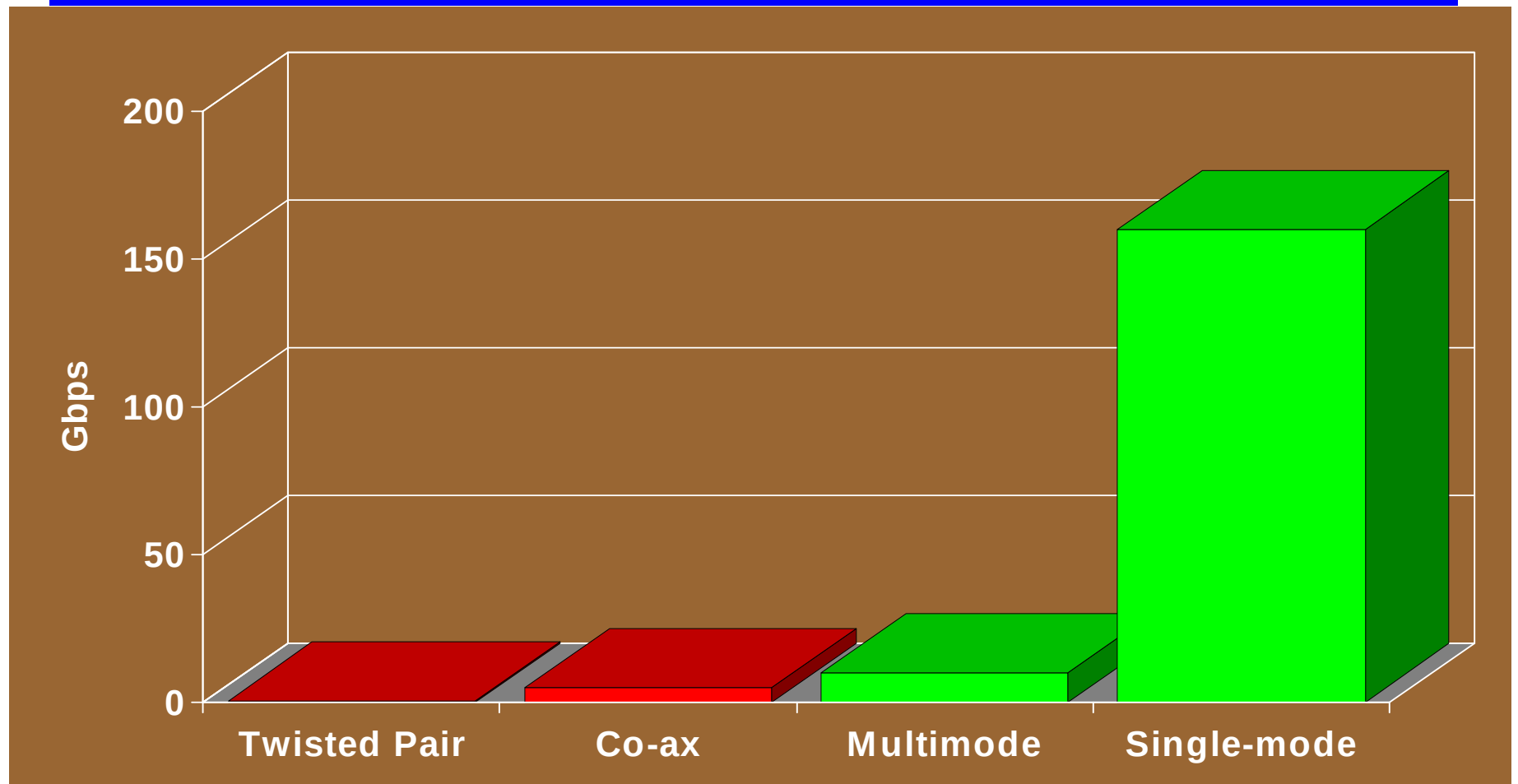
- Η τεχνολογία αμιγώς οπτικών δικτύων πρόσβασης αποκαλείται ευρέως Fiber-To-The-Home (FTTH).
 - Πρόκειται για οπτικά δίκτυα πρόσβασης όπου η τερματική συσκευή του (οπτικού) δικτύου (ONU) ανήκει στον τελικό συνδρομητή. Η χωρητικότητα αν και διαφέρει κατά περίπτωση υπερβαίνει σε κάθε περίπτωση αυτή άλλων εναλλακτικών δικτύων πρόσβασης.
- OAN: Optical Access Network
 - ONU: Optical Network Unit
 - OLT: Optical Line Termination



Χαρακτηριστικά Τεχνολογίας FTTH

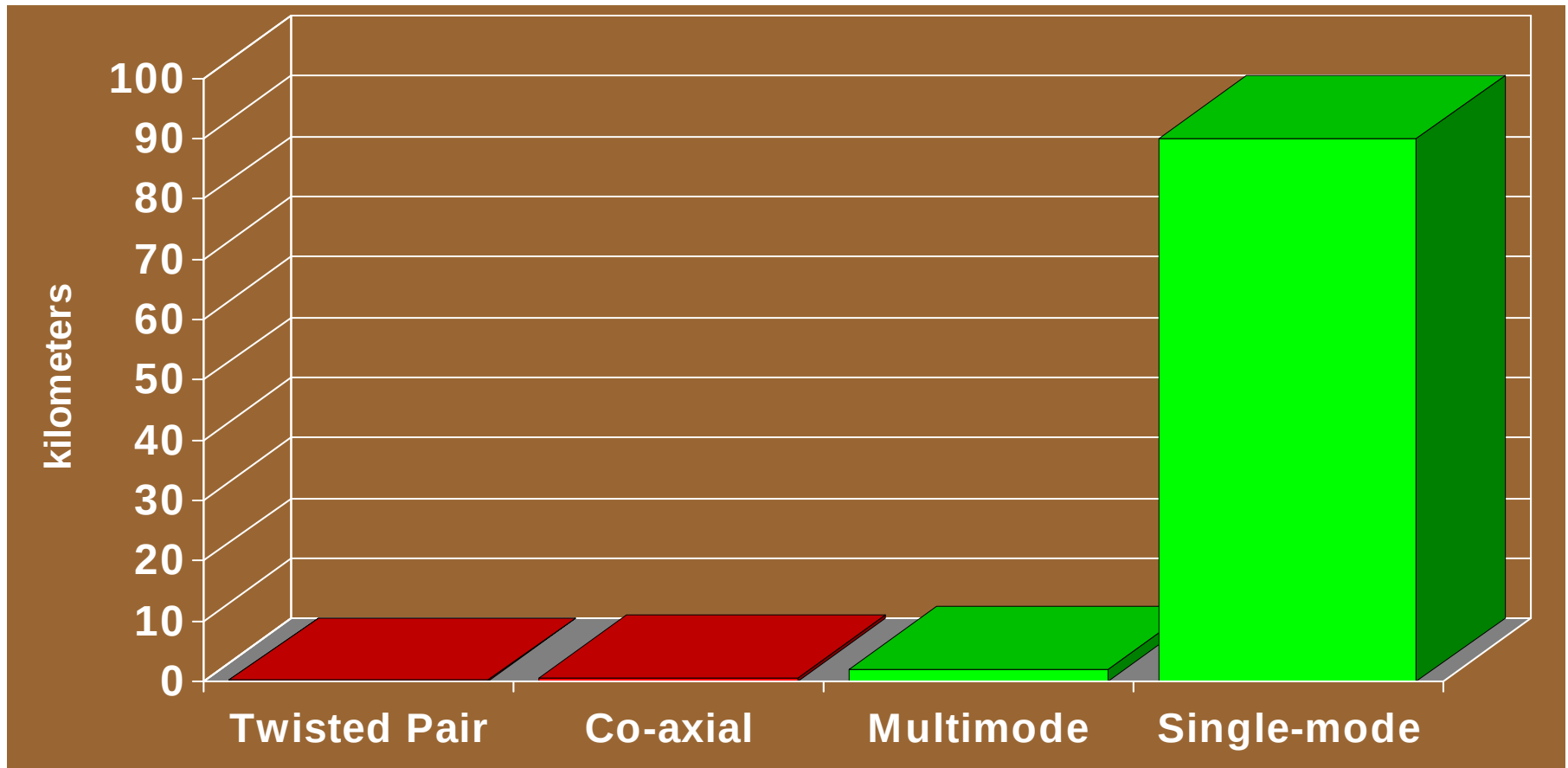
- Πρακτικά απεριόριστη χωρητικότητα πληροφορίας
- Ευκολία αναβάθμισης
 - το μέσο δεν περιορίζει την εισαγωγή νέων τεχνικών μετάδοσης
- Σχετικά εύκολη εγκατάσταση
- Επιτρέπει συμμετρικές υπηρεσίες
- Περιορισμένο κόστος λειτουργίας & συντήρησης (σε σχέση με άλλες ενσύρματες τεχνολογίες ευαίσθητες στη γήρανση, κλιματικούς, περιβαλλοντικούς παράγοντες κ.α.)
- Όλα τα προτερήματα της μετάδοσης μέσω οπτικών ινών
 - Μεγάλες αποστάσεις
 - Ισχύ, ευελιξία, αξιοπιστία
 - Μικρότερης διαμέτρου και βάρους καλώδια
 - Ασφάλεια
 - Ανοχή σε παρεμβολές και θόρυβο (electromagnetic interference EMI)

FTTH Χωρητικότητα (*)



* Τυπικές τιμές χωρητικότητας για γραμμές
100 m

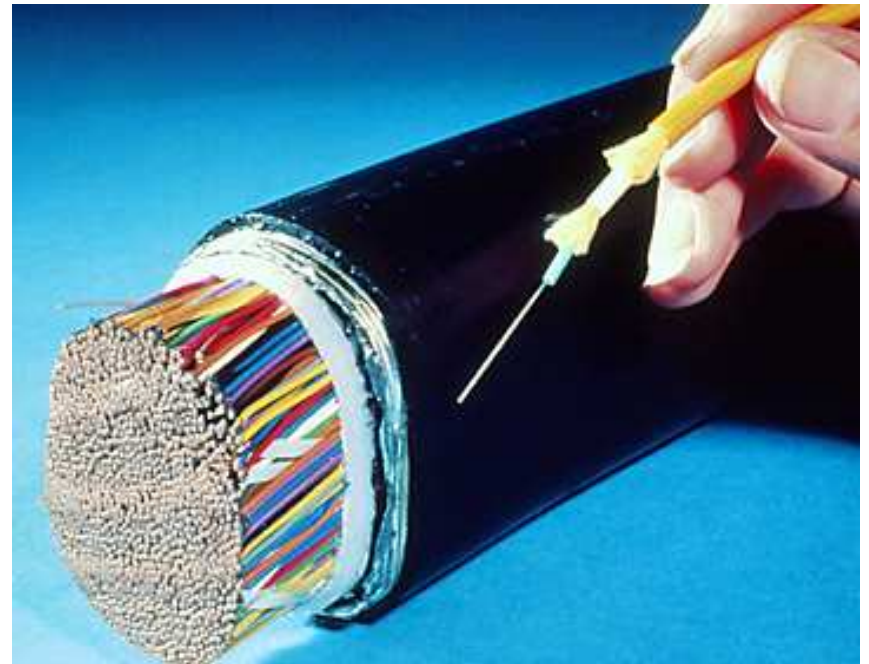
FTTH Αποστάσεις (*)



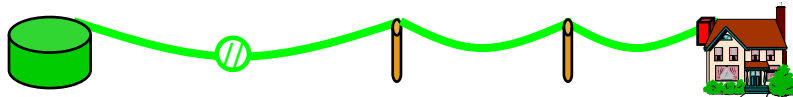
* Τυπικές τιμές για γραμμές χωρητικότητας 1 Gbps

FTTH: Σύγκριση Οπτικών Ινών – Χαλκού (I)

- Ένα ζεύγος χάλκινων καλωδίων μεταφέρει ~6 τηλεφωνικές συνδιαλέξεις
 - ADSL@384Kbps
- Ένα ζεύγος οπτικών μεταφέρει >2,5 εκατ. τηλεφωνικές συνδιαλέξεις
 - 64 channels @ 2.5 Gb/s
- Ένα οπτικό καλώδιο ισοδύναμης χωρητικότητας με χάλκινα καλώδια θα έχει λιγότερο από 1% το βάρος και το μέγεθός τους



FTTH: Σύγκριση Οπτικών Ινών – Χαλκού (II)



Οπτική ίνα

- Χρησιμοποιεί φωτεινά σήματα
- Διηλεκτρικό μη-αγώγιμο (nonconductive) υλικό
 - Εύρωστο απέναντι σε Η/Μ παρεμβολές (EMI immune)
- Χαμηλή διαστολή με τη θερμοκρασία
- Εύθραστο, σταθερό υλικό
- Χημικά σταθερό

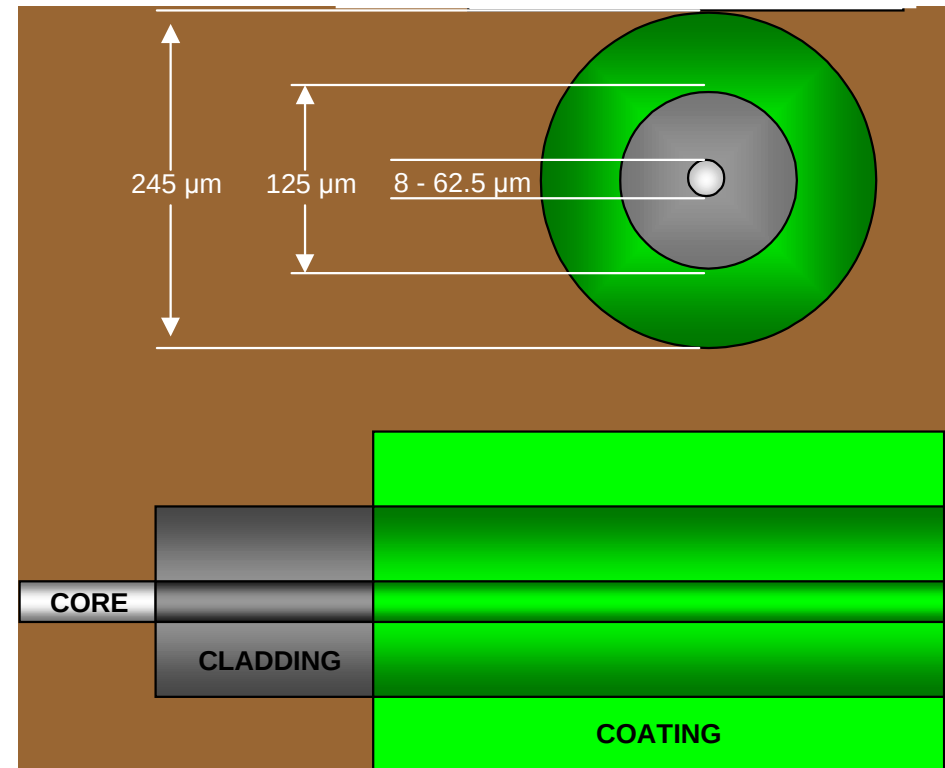


Χαλκός

- Χρησιμοποιεί ηλεκτρικά σήματα
- Ηλεκτρικά αγώγιμο
 - Ευάλωτο σε Η/Μ παρεμβολές (EMI)
- Υψηλή διαστολή με τη θερμοκρασία
- Εύπλαστο υλικό
- Ευπαθές σε διάβρωση και γαλβανισμό

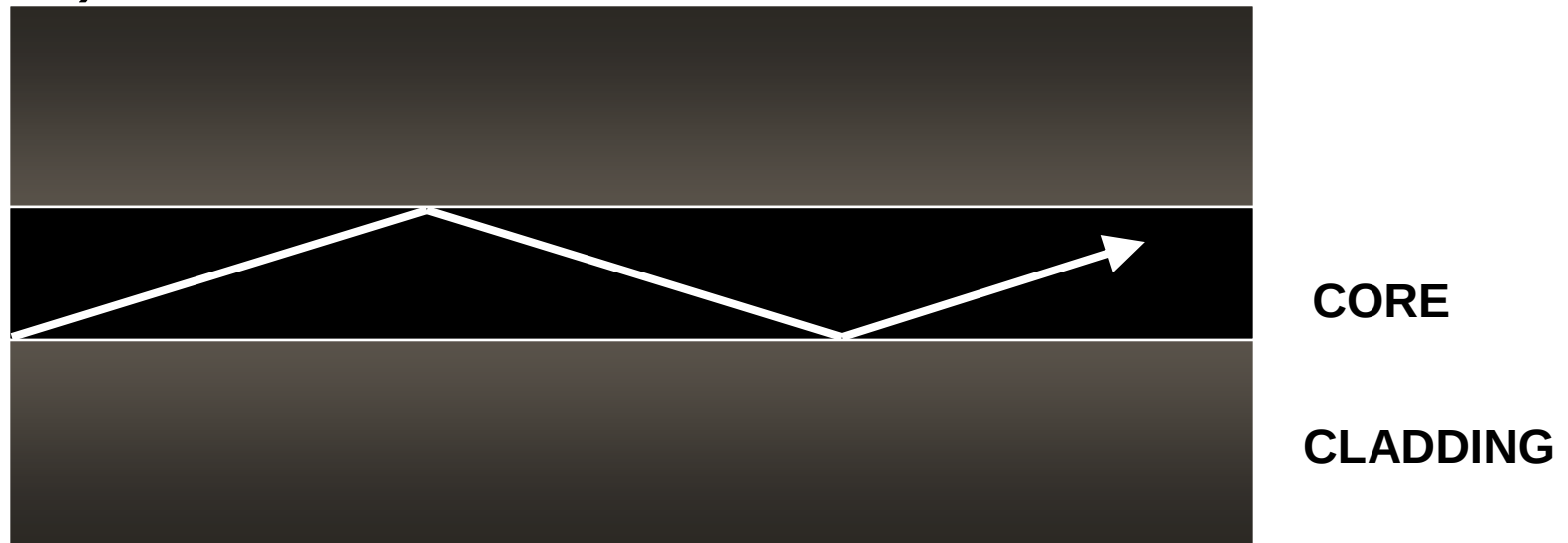
Αρχές Εφαρμογών Οπτικών Ινών (I)

- Πυρήνας (Core)
 - Διαδίδει το οπτικό σήμα
 - Υλικό σύμμικτο με χαλαζία
- Επένδυση (Cladding)
 - Περιορίζει το οπτικό σήμα εντός του πυρήνα
 - Καθαρός χαλαζίας
- Περίβλημα
 - Προστασία του γυαλιού
 - Ακρυλικό/πλαστικό



Αρχές Εφαρμογών Οπτικών Ινών (II)

- Η μετάδοση μέσω οπτικών ινών βασίζεται στην αρχή της ανάκλασης του φωτός στο εσωτερικό τους



- Τα οπτικά κύματα (Light waves -“modes”) ανακλώνται και οδηγούνται κατά μήκος της οπτικής ίνας

Αρχές Εφαρμογών Οπτικών Ινών (III)

- Δύο κυρίαρχες τεχνολογίες laser χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις «single mode»
 - Fabry-Perot (F-P) lasers
 - Χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος
 - Μειωμένη σταθερότητα εκπεμπόμενου μήκους κύματος
 - Distributed Feedback (DFB) lasers
 - Υψηλότερου κόστους, υψηλότερης ισχύος
 - Εξαιρετική σταθερότητα εκπεμπόμενου μήκους κύματος
 - Εξαιρετική σταθερότητα θερμοκρασίας
 - Εσωτερική διαμόρφωση
 - Κατάλληλο για μέσα επίπεδα ισχύος και αποστάσεις
 - Εξωτερική διαμόρφωση
 - Απόλυτη ποιότητα broadcast
- Vertical Cavity Surface Emitting Lasers (VCSELs)
 - Νεότερη τεχνολογία που υπόσχεται μείωση κόστους

Αρχές Εφαρμογών Οπτικών Ινών (IV)

- Μήκη Κύματος που χρησιμοποιούνται σε Single Mode Fiber (μεγάλες αποστάσεις)

—1310 nm

- Συνήθως χαμηλότερο κόστος laser
- Χρησιμοποιείται για κοντινές εκπομπές (broadcast) και μικρές/μεσαίες δεδομένων

—1550 nm

- Μπορεί να ενισχυθεί με χρήση: erbium doped fiber amplifiers (EDFAs)
- Lasers κατασκευάζονται σε μια ποικιλία (~1535 – 1600 nm) για εφαρμογές wave division multiplexing (WDM)
- Επιτυγχάνεται σχετικά μικρότερη εξασθένιση στα 1550 nm

—1490 nm

- Δημοφιλής για εκπομπή downstream data σε συστήματα 3λ.
 - Δεν ενισχύεται ομοίως εύκολα
 - Σχετικά υψηλότερο κόστος

Αρχές Εφαρμογών Οπτικών Ινών (V)

- Χρήση μονής ίνας (Single Fiber)
 - Downstream broadcast* : 1550 nm
 - Upstream data: 1310 nm
 - Downstream data: 1310 ή 1490 nm* αναλόγως
 - Πλεονεκτήματα
 - Χρησιμοποιείται μικρότερη ποσότητα ίνας
 - Μικρότερη ποσότητα παθητικών στοιχείων (optical passives - taps/splitters)
 - Μικρότερο εργατικό κόστος συντήρησης συνδέσεων

* Διαφορετικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί από data στα 1550 nm εάν δεν υφίσταται εκπομπή

Αρχές Εφαρμογών Οπτικών Ινών (VI)

- Χρήση διπλής ίνας (Dual Fiber)
 - Σε ορισμένες εφαρμογές χρησιμοποιείται ανεξάρτητη ίνα στην downstream κατεύθυνση και διαφορετική στην upstream ή διαφορετική για την εκπομπή τηλεοπτικού σήματος και διαφορετική για αμφίδρομες δικτυακές συνδέσεις. Αυτό εξυπηρετεί συγκεκριμένες απαιτήσεις μετάδοσης σήματος όπως ειδικές τεχνικές RF-διαμόρφωσης (απο)κωδικοποιητών (set top box) κλπ.
 - Πλεονεκτήματα
 - Απλοποιεί τα παθητικά στοιχεία που απαιτούνται
 - Μειώνει την εξασθένιση του σήματος

Τεχνικές Χρήσης Οπτικών Ινών στο Δίκτυο Πρόσβασης

Αρχιτεκτονικές FTTx

Αρχιτεκτονικές FTTx (I)

- Οι τεχνολογίες FTTx : Fiber To The x, όπου x :
 - Curb, Cabinet,
 - Building,
 - Home,ανάλογα με τον βαθμό προσέγγισης του συνδρομητή με ίνα
- είναι οπτικά δίκτυα πρόσβασης τα οποία στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση του μήκους του χάλκινου βρόχου, φέρνοντας το ευρυζωνικό μέσο μετάδοσης (οπτική ίνα) κοντά στον συνδρομητή.
- Τα δίκτυα FTTx μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:
 - Οπτική Ίνα στην Καμπίνα - Fiber To The Cabinet (FTTC)
 - Οπτική Ίνα στο Κτίριο - Fiber To The Building (FTTB)

Αρχιτεκτονικές FTTC

- Οπτική Ίνα στην Καμπίνα - Fiber To The Cabinet (FTTC)
 - Η οπτική ίνα φτάνει μέχρι μία καμπίνα (ONU) στο πεζοδρόμιο και εξυπηρετεί τους πελάτες της γύρω περιοχής μέσω δικτύου χαλκού, συνήθως του υπάρχοντος τοπικού βρόχου.
 - Η περίπτωση αυτή περιορίζει το μήκος του χαλκού σε μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα, επιτρέποντας ταχύτητες πρόσβασης μέχρι μερικές δεκάδες Mb/s, π.χ. χρησιμοποιώντας συστήματα VDSL.
 - Η λύση αυτή θεωρείται κατάλληλη για την εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού συνδρομητών οι οποίοι είναι συγκεντρωμένοι σε μία μικρή περιοχή (π.χ. οικοδομικό τετράγωνο), και έχουν σχετικά μικρές απαιτήσεις ταχύτητας πρόσβασης.

Fiber To The Building - FTTB

- Οπτική Ίνα στο Κτίριο - Fiber To The Building (FTTB):
 - Η οπτική ίνα μπαίνει στο κτήριο των συνδρομητών (συγκρότημα γραφείων, πολυκατοικία, σπίτι) και η ONU τοποθετείται εσωτερικά μέσα στο κτίριο εξυπηρετώντας τους συνδρομητές του κτιρίου.
 - Το μήκος του χαλκού περιορίζεται σε αυτό της δομημένης καλωδίωσης του κτιρίου ή ακόμη και μηδενίζεται (οπτική εσωτερική καλωδίωση), επιτρέποντας πρακτικά οποιαδήποτε ταχύτητα πρόσβασης.
 - Η λύση αυτή θεωρείται κατάλληλη για την εξυπηρέτηση μεμονωμένων μεγάλων επιχειρήσεων με μεγάλες απαιτήσεις ταχύτητας ή κτηρίων με μεγάλη συγκέντρωση μικρών συνδρομητών (π.χ. εμπορικά και επαγγελματικά κέντρα).

Δομικά στοιχεία ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης (I)

- Σε κάθε περίπτωση, ένα δίκτυο FTTx αποτελείται από τρία βασικά μέρη:
 - OLT: Optical Line Termination (Οπτικός Τερματισμός Γραμμής)
 - Η OLT αποτελεί την οπτική τερματική διάταξη του FTTx προς την πλευρά του τηλεπικοινωνιακού παρόχου και είναι εγκατεστημένη στο σημείο παρουσίας του (POP).
 - Η OLT είναι υπεύθυνη για τη διασύνδεση του FTTx με το υπόλοιπο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο (PSTN, IP, ATM, κλπ).
 - ONU: Optical Network Unit (Οπτική Μονάδα Δικτύου)
 - Οι ONU αποτελούν τις οπτικές τερματικές διατάξεις προς την πλευρά των πελατών στις οποίες καταλήγει το FTTx. Σε κάθε ONU γίνεται η οπτοηλεκτρονική μετατροπή και αποπολύπλεξη του οπτικού σήματος και παρέχονται προς τους πελάτες οι υπηρεσίες μέσω χάλκινων αγωγών.
 - Οι ONU έχουν τη μορφή καμπινών (υπαίθριων ή εσωτερικού χώρου).

Δομικά στοιχεία ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης (I)

- Οπτικό Δίκτυο

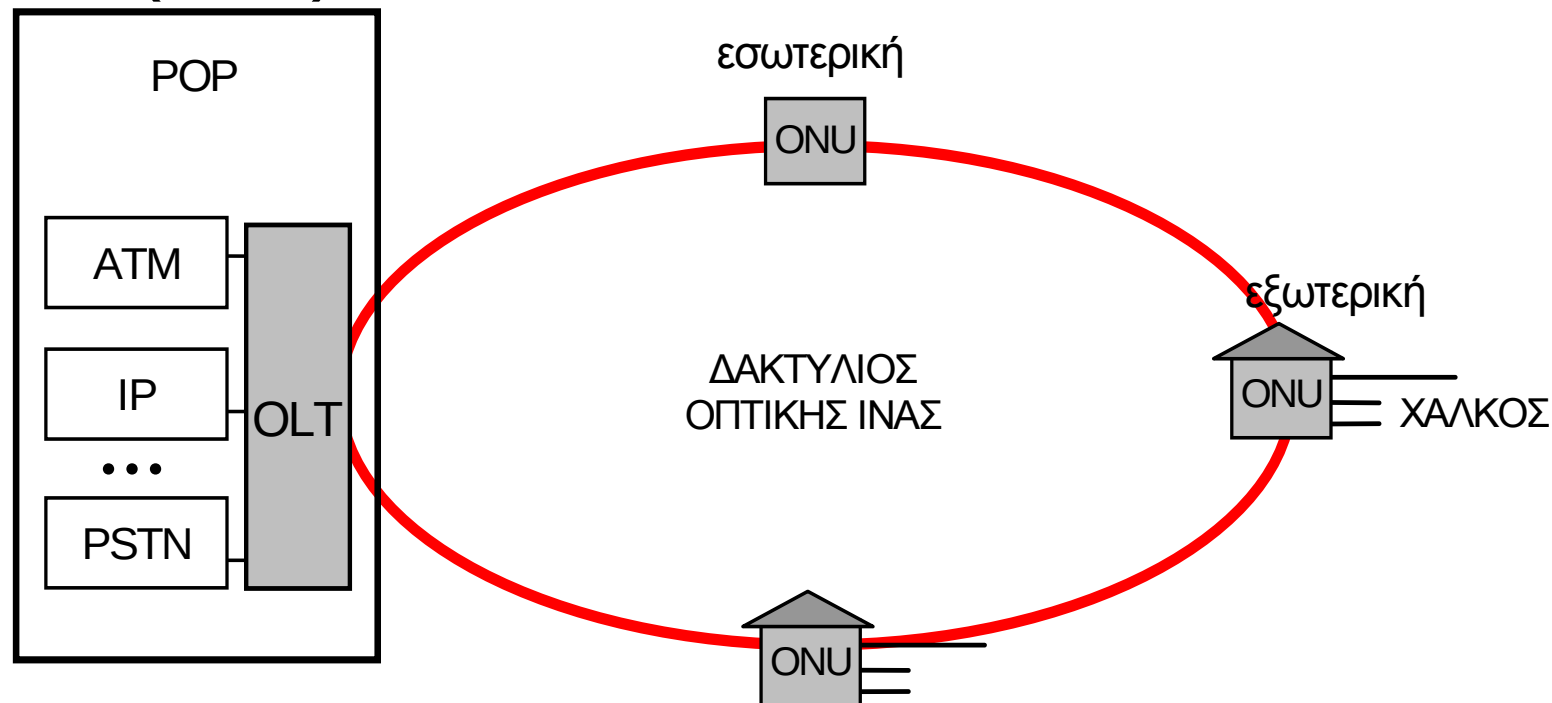
- Πρόκειται για την οπτική καλωδίωση που συνδέει την OLT με τις ONU.
- Η καλωδίωση γίνεται με μονότροπο (single-mode) ΚΟΙ (καλώδιο οπτικών ινών), συνήθως μεγάλης χωρητικότητας (π.χ. 60 ινών) και μπορεί γενικά να έχει οποιαδήποτε τοπολογία
 - Δακτυλίου,
 - Αρτηρίας ή
 - Δένδρου.
- Η οπτική καλωδίωση σχεδιάζεται έτσι ώστε οι πιθανοί κόμβοι του δικτύου να μην βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τους συνδομητές, ανάλογα με τις τελικές ταχύτητες πρόσβασης που θα δοθούν.

Active Optical Networks

- AON: Active Optical Network (Ενεργά Οπτικά Δίκτυα)
 - Σε ένα δίκτυο AON, όλες οι ONU συνδέονται με τη σειρά πάνω στο ίδιο ζεύγος ινών και σε κάθε ONU γίνεται οπτοηλεκτρονική μετατροπή και αντίστροφα. Έτσι οι κόμβοι διακλάδωσης του οπτικού δικτύου είναι **ενεργοί**.
 - Η τοπολογία του AON μπορεί να είναι δακτύλιος (οπότε είναι δυνατή και η προστασία του δικτύου) ή αρτηρία.
 - Δίκτυα AON χρησιμοποιούνται ήδη σε πολλές χώρες, κυρίως για την εξυπηρέτηση επιχειρησιακών πελατών.
 - Τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούν συστήματα μετάδοσης SDH και flexible multiplexers για την παροχή των διάφορων υπηρεσιών.
 - Στην περίπτωση FTTC, οι τελικές συνδέσεις των χρηστών μπορούν να γίνουν και μέσω συστημάτων xDSL μεγαλώνοντας τις τελικές ταχύτητες πρόσβασης.

Active Optical Networks (II)

- AON: Active Optical Network (Ενεργά Οπτικά Δίκτυα)
 - Παράδειγμα εφαρμογής τοπολογίας δακτυλίου σε συνδυασμό με αρχιτεκτονική Fiber To The Curb (FTTC)

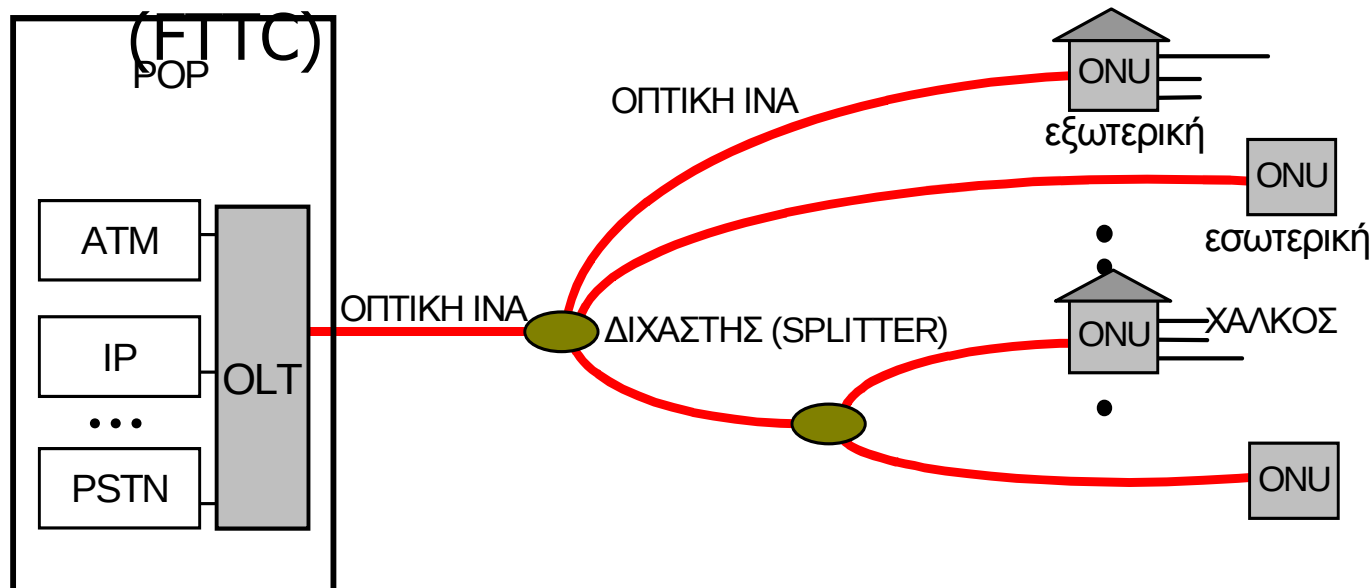


Passive Optical Networks

- PON: Passive Optical Network (Παθητικό Οπτικό Δίκτυο)
 - Σε ένα δίκτυο PON, το ζευγάρι ινών που ξεκινά από την OLT διαχωρίζεται σε κλάδους μέσω **παθητικών** διχαστών (splitter), και κάθε κλάδος συνδέεται με μία ONU. Έτσι οι κόμβοι διακλάδωσης του οπτικού δικτύου είναι παθητικοί.
 - Η τοπολογία του PON είναι από τη φύση της δένδρική.
 - Τα δίκτυα PON προσβλέπουν στη μαζική διείσδυση ευρυζωνικών υπηρεσιών και έχουν χρησιμοποιηθεί διεθνώς κυρίως σε πιλοτικές εφαρμογές.

Passive Optical Networks (II)

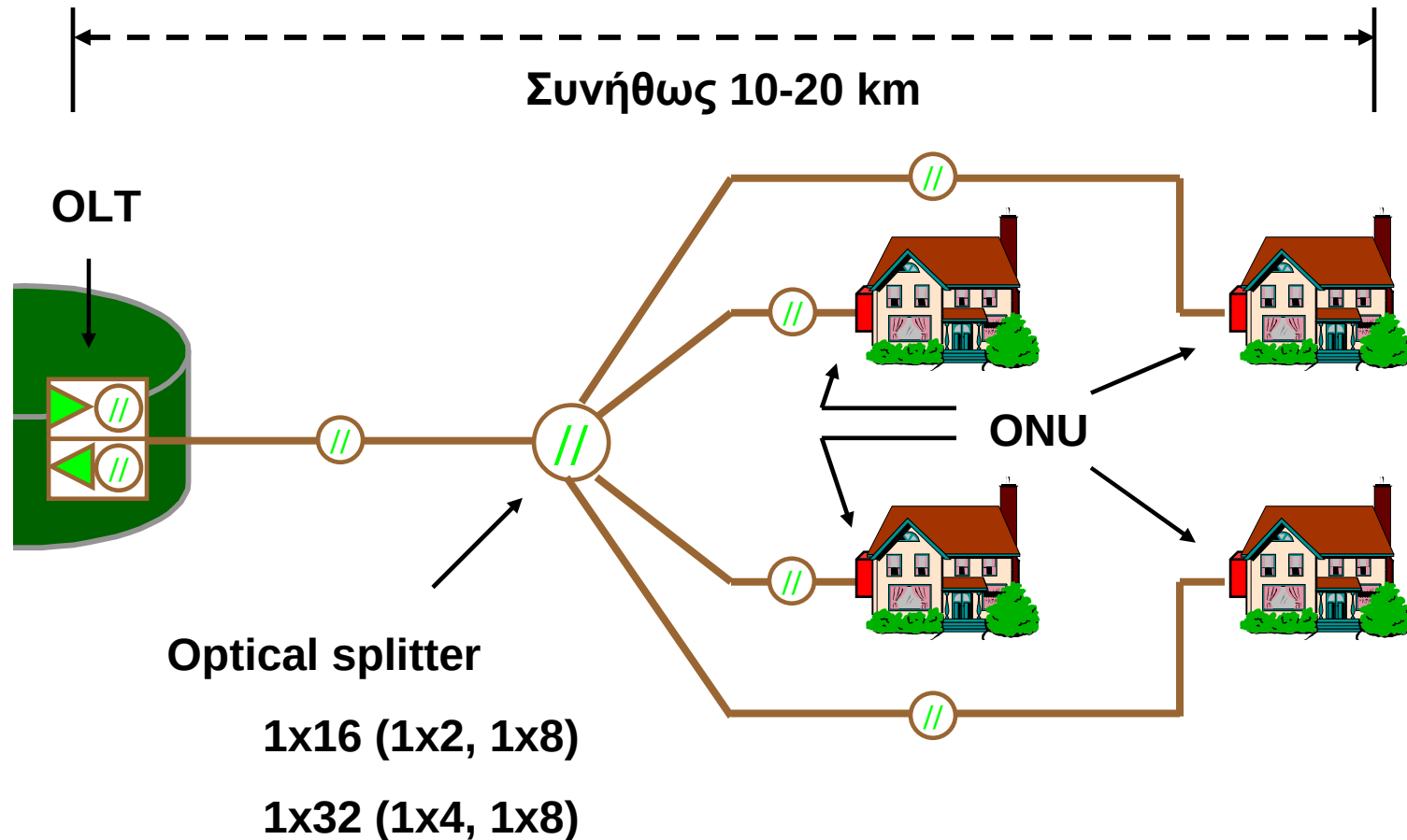
- PON: Passive Optical Network (Παθητικό Οπτικό Δίκτυο)
 - Παράδειγμα εφαρμογής τοπολογίας δακτυλίου σε συνδυασμό με αρχιτεκτονική Fiber To The Curb



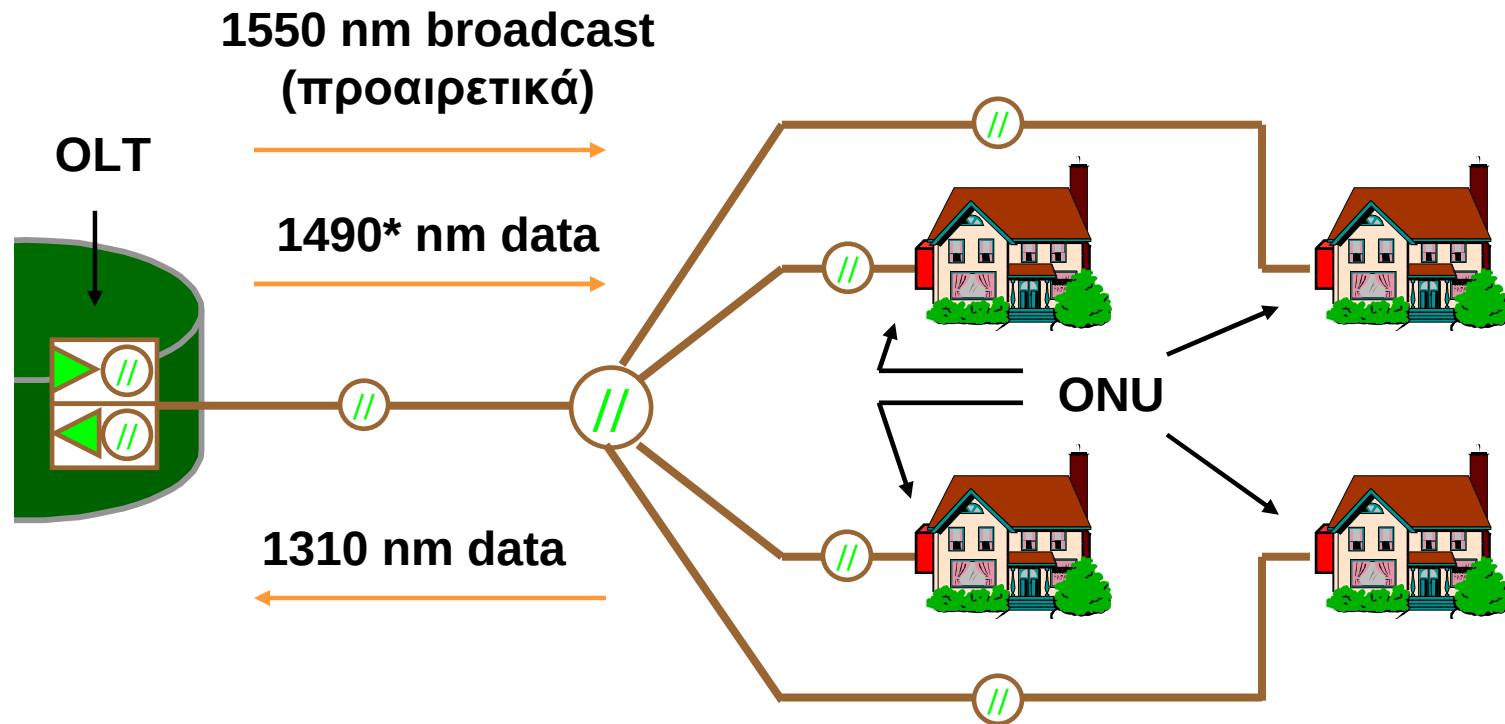
Αρχιτεκτονικές FTTH

- Αντίστοιχα υπάρχουν δύο βασικές αρχιτεκτονικές FTTH:
 - Passive Optical Networks (PONs)
 - Διαμοιράζει την πρόσβαση σε τμήματα του δικτύου πρόσβασης
 - Χρησιμοποιεί οπτικούς διαχωριστές (optical splitters) για το διαμοιρασμό του σήματος προς και από τους συνδρομητές (μέσω μιας κοινόχρηστης ίνας)
 - Παροχή ισχύος χρειάζεται μόνο στους τερματισμούς
 - Ενεργών Κόμβων (Active Optical Node)
 - Κάθε συνδρομητής απολαμβάνει μια αφιερωμένη σε αυτόν οπτική ίνα
 - Συχνά χρησιμοποιούνται ενεργά στοιχεία για τη διαχείριση της ισχύος του σήματος
- Επιπλέον υπάρχουν υβριδικές τοπολογίες (Hybrid PONs)
 - Συνδυασμός των παραπάνω

Αρχιτεκτονική PON (A-PON, E-PON, G-PON) (I)

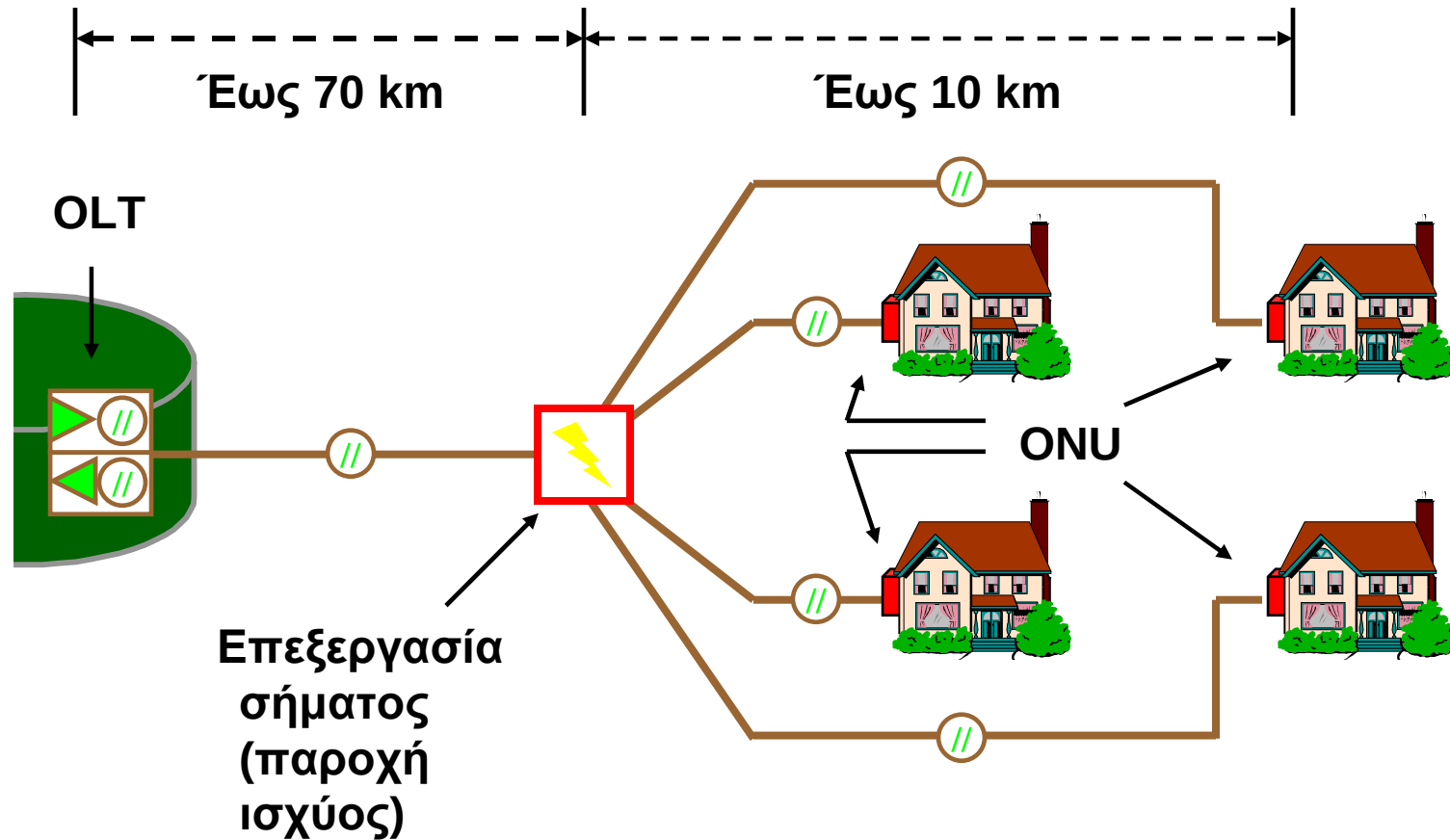


Αρχιτεκτονική PON (A-PON, E-PON, G-PON) (II)

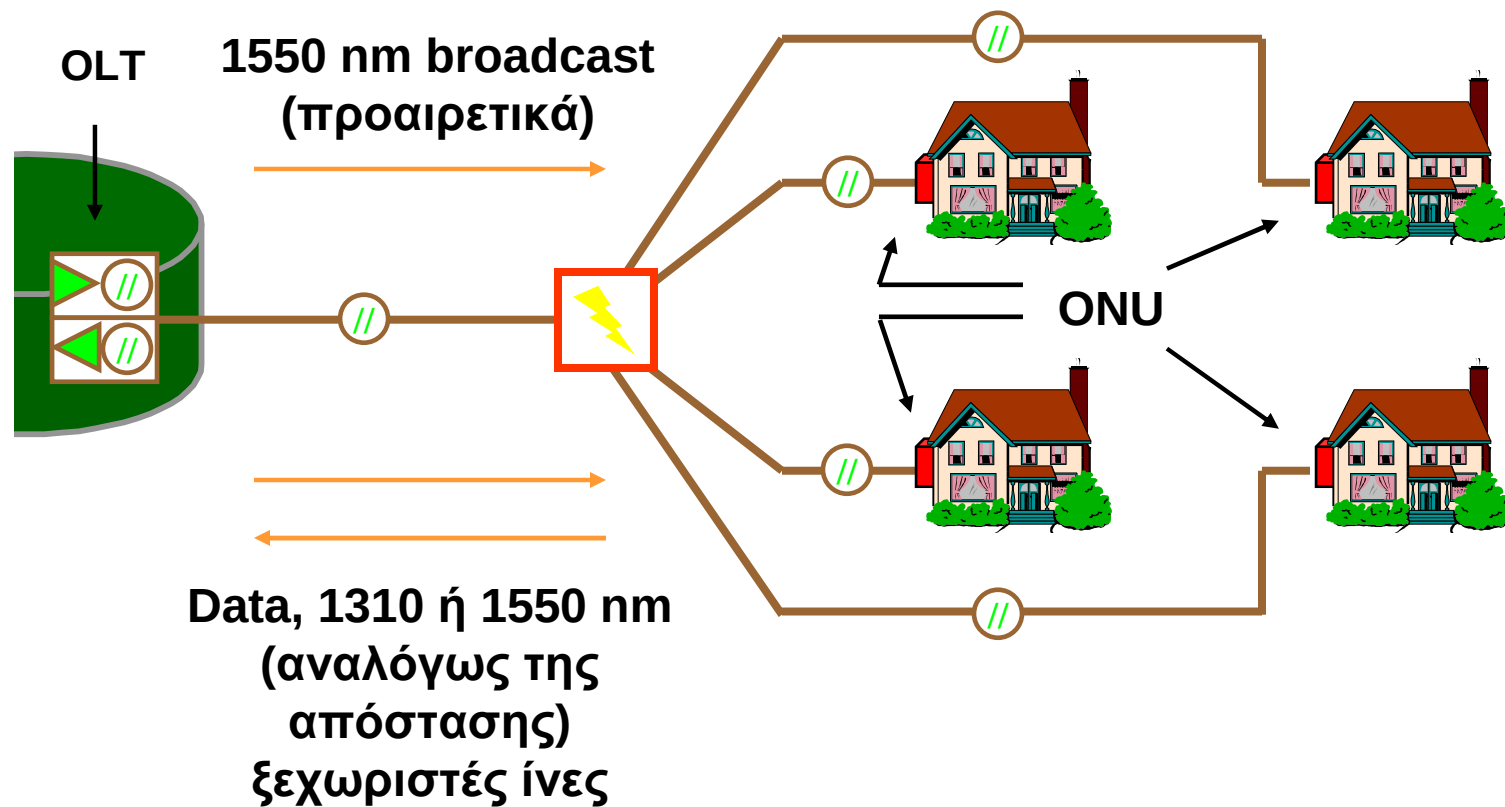


* Διαφορετικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί από data στα 1550 nm εάν δεν υφίσταται εκπομπή τηλεοπτικού σήματος

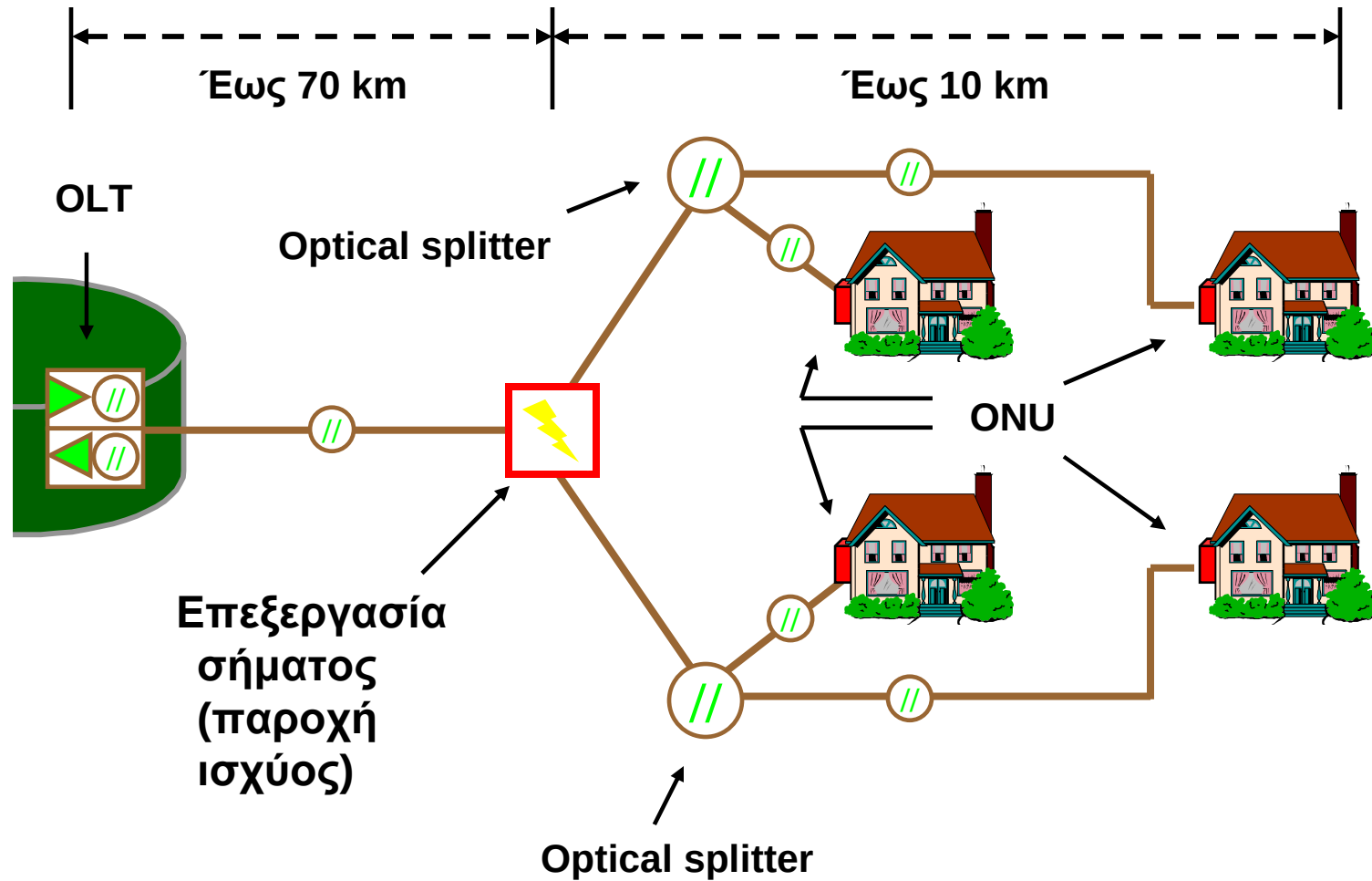
Αρχιτεκτονική Ενεργών Κόμβων (I)



Αρχιτεκτονική Ενεργών Κόμβων (II)

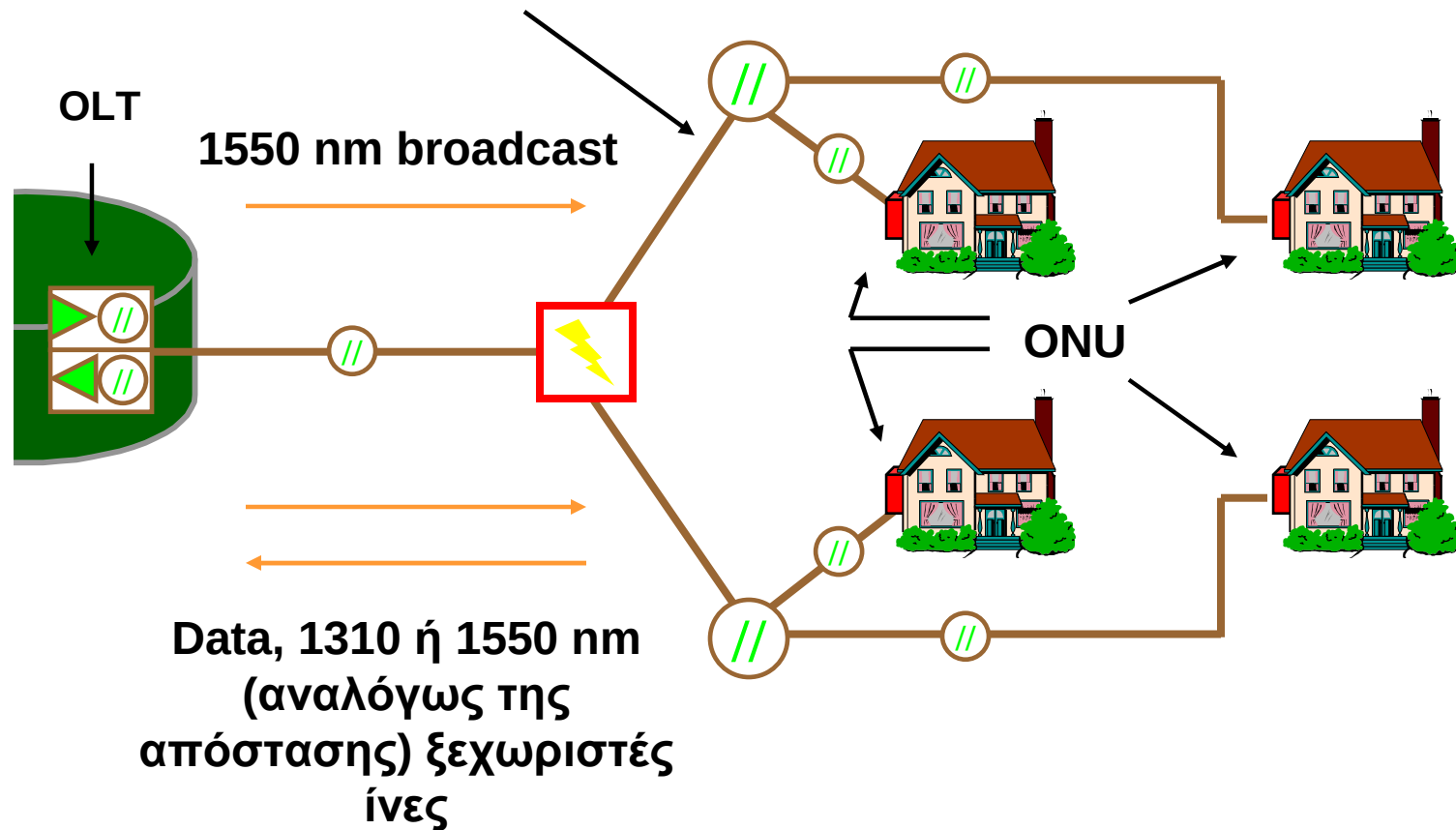


Αρχιτεκτονική Υβριδικών PON (I)



Αρχιτεκτονική Υβριδικών PON (II)

Μονή ίνα (Single fiber), 1550 broadcast, 1310 bidirectional data



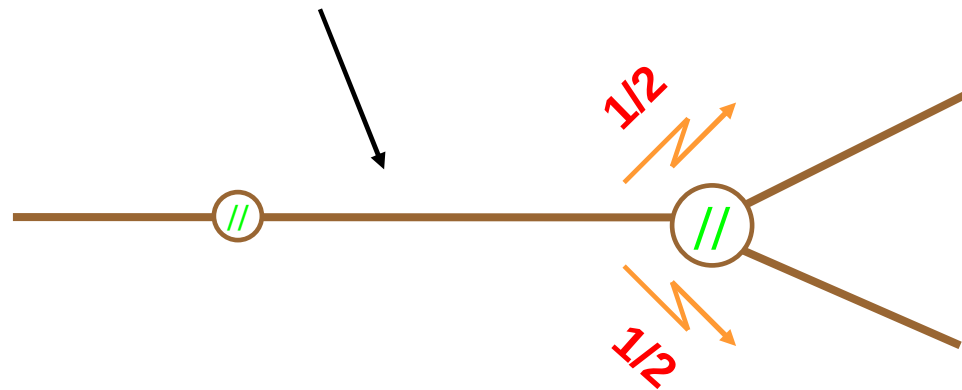
Διαχείριση της Ισχύος σε Συστήματα PON (I)

- Η χρήση του συστήματος περιορίζεται από τη μέγιστη απόσταση που μπορεί να καλύψει το σήμα σε σχέση με το μέγιστο αριθμό διαμοιραστών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κατανείμουν αυτό σε περισσότερους συνδρομητές
- Το πρόβλημα είναι ότι συχνά η ισχύς του σήματος εξασθενεί σύντομα σε επίπεδα μή αποδεκτά
- Υπάρχουν επιπλέον παράμετροι που επηρεάζουν την τοπολογία και την επιλογή τοποθέτησης των παθητικών στοιχείων και οδεύσεων (τεχνοοικονομικοί, γεωπολιτικοί κλπ.)

Διαχείριση της Ισχύος σε Συστήματα PON (II)

Fiber loss / km: 0.25 dB (1550 nm)

0.4 dB (1260 - 1360 nm)



- Με κάθε διχοτόμηση της ίνας το σήμα διαμοιράζεται ισομερώς σε δύο κατευθύνσεις, άρα η ισχύς του εξαθενεί αντίστοιχα κατά:
— $10\log(0.5)=3$ dB.
- Στην πράξη επιτυγχάνεται ~ 3.5 dB ονομαστικά, οπότε αντίστοιχα μπορεί να αναχθεί σε μείωση της μέγιστης καλυπτόμενης απόστασης κατά 10 km @ 1310 nm

Τεχνικές Χρήσης Οπτικών Ινών στο Δίκτυο Πρόσβασης

Εναλλακτικές Τεχνολογίες PON

Πρότυπα Τεχνολογιών PON & Οργανισμοί

- Οργανισμοί παραγωγής σχετικών πρωτύπων και πρωτοκόλλων
 - International Telecommunication Union (ITU-T)
 - Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE)
 - Άλλες κοινοπραξίες προώθησης τεχνικών προδιαγραφών στους παραπάνω οργανισμούς:
 - Full Services Access Network (FSAN)
 - Metro Ethernet Forum (MEF)
 - Αποτελούν κοινοπραξίες τηλεπικοινωνιακών παρόχων και κατασκευαστών σχετικού εξοπλισμού
- Τρία δημοσιευμένα πρότυπα PON υπάρχουν
 - ITU-T BPON (G.983) & GPON (G.984)
 - IEEE EPON (802.3ah)
 - Ασύμβατα με αυτά δίκτυα PONs υπάρχουν σε χρήση αλλά δεν παρέχουν διαλειτουργικότητα με τα διεθνή πρότυπα

Παραλλαγές Τεχνολογιών & Πρωτοκόλλων PON

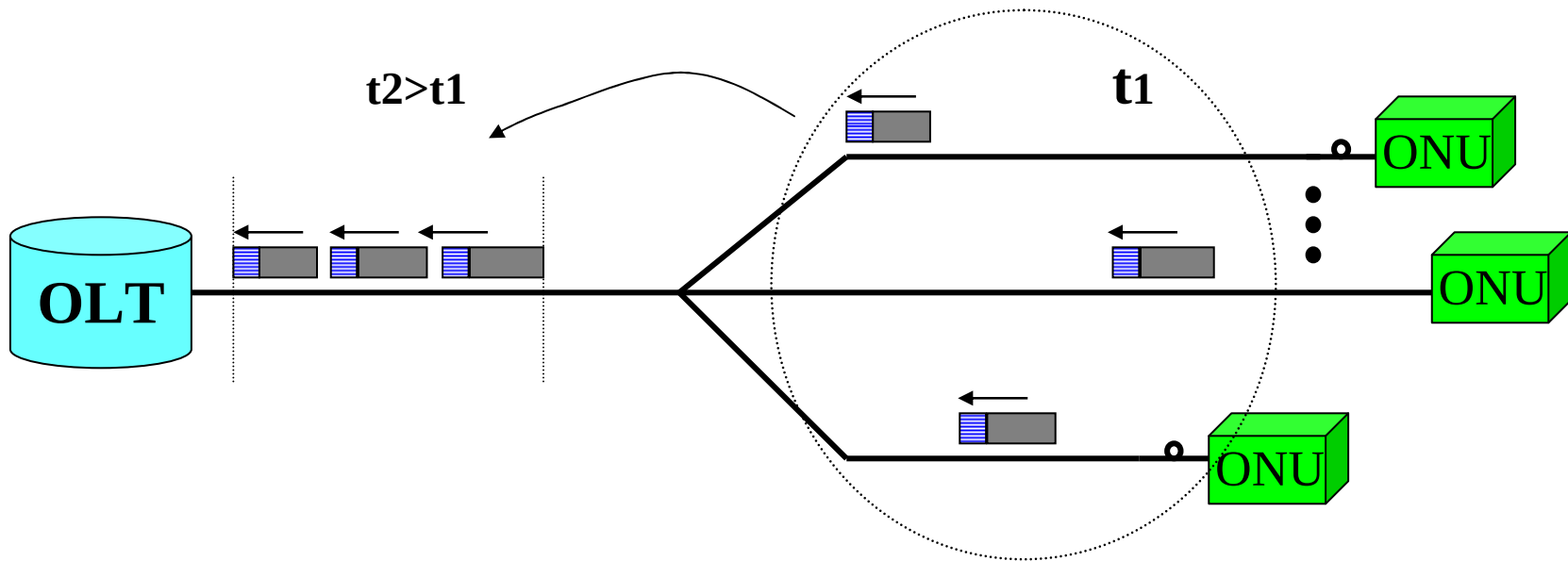
- APON/BPON: ATM/Broadband PON (ITU-T G.983)
 - Χρησιμοποιεί το ATM σαν μηχανισμό μεταφοράς δεδομένων
 - Υποστηρίζεται από τον οργανισμό FSAN
 - Εκδόσεις του εμφανίζονται την περίοδο 1998-2003
- GPON: Gigabit-Capable PON (ITU-T G.984)
 - Βασίζεται στην τεχνική Generic Framing Procedure (G.7041)
 - Υποστηρίζεται από τον οργανισμό FSAN
 - Εκδόσεις του εμφανίζονται την περίοδο 2003-2004
- EPON: Ethernet PON (IEEE 802.3ah-2004)
 - Χρησιμοποιεί το Ethernet σαν μηχανισμό μεταφοράς δεδομένων και το Multi-Point Control Protocol (MPCP)
 - Υποστηρίζεται από τον οργανισμό IEEE
 - Εκδόσεις του εμφανίζονται τον Ιούνιο 2004

Ιδιαιτερότητες Δικτύων Πρόσβασης PON

- Τοπολογία Point-to-Multipoint
- Νέα τεχνική μετάδοσης πάνω από οπτικές ίνες
 - Νέο φυσικό στρώμα (PHY)
 - Πλαισίωση
 - Εκτίμηση απόστασης (Ranging)
- Νέα τεχνική πολλαπλής πρόσβασης (multiple access) στο κανάλι επιστροφής από τους χρήστες (upstream) με τεχνικές δυναμικής δέσμευσης εύρους ζώνης (Reservation Access Mechanism)
 - Upstream burst transmission: Laser turn on/off
 - Ανάγκες διάκρισης και δυναμικής παροχής ποιότητας υπηρεσιών (QoS)
- Ασφάλεια (Security)
 - Η εκπομπή προς όλους (downstream broadcasting) απαιτεί εξασφάλιση της ιδιωτικότητας των δεδομένων

Έλεγχος Πρόσβασης (Medium Access Control)

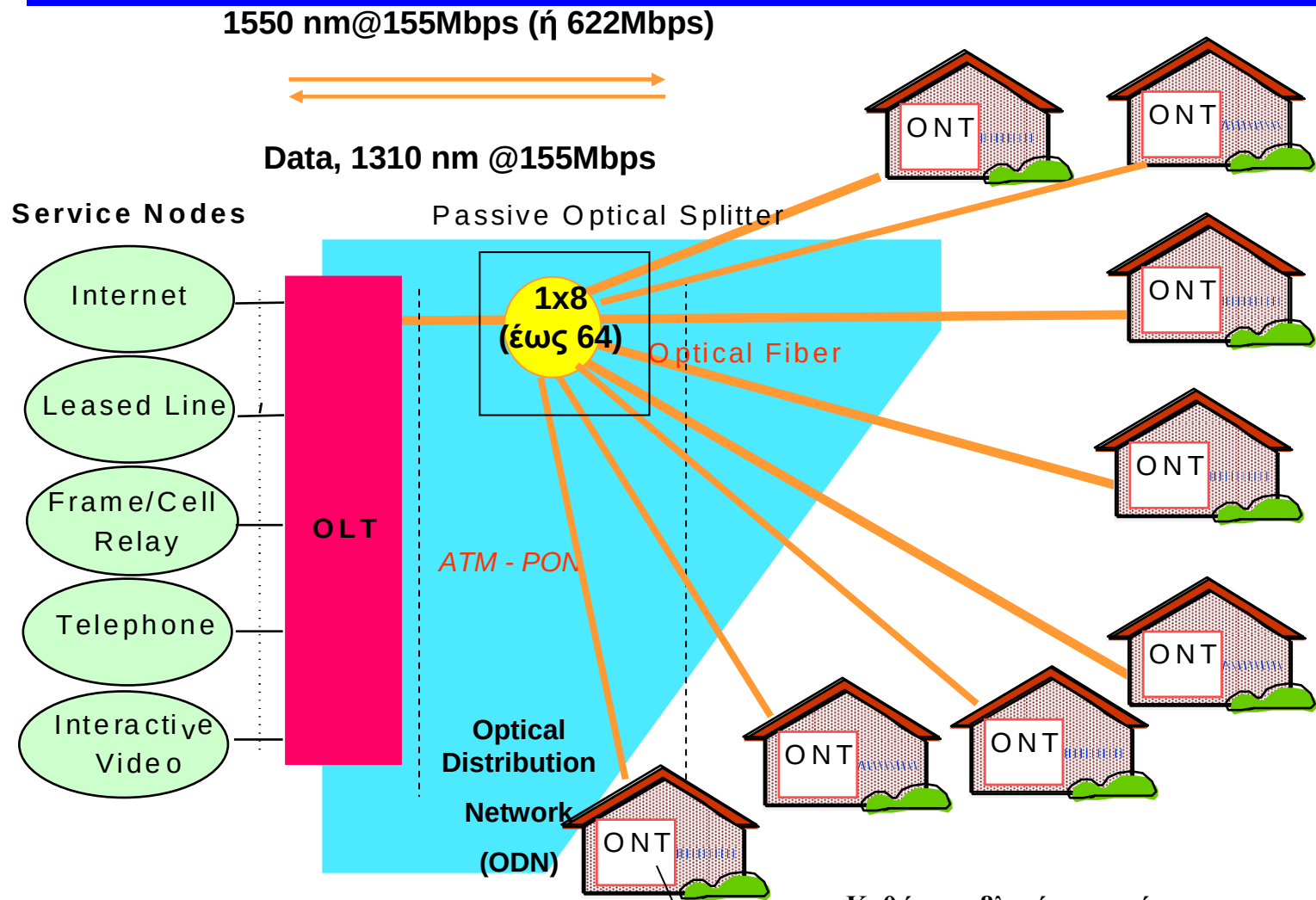
- Η μετάδοση από τις ONU στο κανάλι upstream γίνεται με τεχνική TDMA και μόνο κατόπιν αδειών μετάδοσης που προγραμματίζει και εκπέμπει downstream ο κεντρικός ελεγκτής πρόσβασης που υλοποιείται στην OLT



Τεχνικές Χρήσης Οπτικών Ινών στο Δίκτυο Πρόσβασης

**ATM PON (A-PON), Broadband
PON (B-PON)**

ATM/Broadband PON (ITU-T G.983)



Καθώς προβλεπόταν κυρίως η αρχιτεκτονική FTTH χρησιμοποιήθηκε η αντίστοιχη ονομασία ONT αντί ONU (κατά τα πρότυπα του ISDN)

Τα χαρακτηριστικά του A-PON

- Η κίνηση μεταφέρεται σε ATM cells
- Υποστηρίζει μέχρι 64 ONUs (6bit PON address)
- Υποστηρίζει 4 κλάσεις (εδώ λέγονται Traffic CONTainers)
- Επιπλέον πολύπλεξη επιτυγχάνεται βάσει των VPI/VCI

Χαρακτηριστικά A-PON

- Εφαρμόζει τις συνήθεις μεθόδους πολύπλεξης στα δίκτυα PON που παρουσιάστηκαν
- Η πολύπλεξη των δεδομένων υποστηρίζει μόνο την τεχνολογία ATM και ορίζονται αντίστοιχα μεγέθη σχισμών μετάδοσης και τεχνικές ανάθεσης διευθύνσεων (MAC)
 - Η τεχνική TDMA εφαρμόζεται σε χρονοθυρίδες διάρκειας 53Bytes (data payload)
 - Η διευθύνσεις στο επίπεδο MAC αναφέρονται στο αναγνωριστικό της ONT: Transmit Enable Address/Terminal Endpoint Address (TEA)
 - Μέχρι 64 ONT $\Leftrightarrow$ 6bit TEA
 - Υποστηρίζονται 4 κλάσεις υπηρεσιών (ονομάζονται T-CONT Traffic CONTainers) συμβατά με τα πρότυπα του ATM
 - Περαιτέρω πολύπλεξη ροών σε κάθε ONT βασίζεται στο αναγνωριστικό σύνδεσης VPI/VCI που εγκαθίσταται σε επίπεδο ATM
 - Αντίστοιχη μεταγωγή δεδομένων (ATM) προς το δίκτυο κορμού

APON Downstream Πλαίσιο

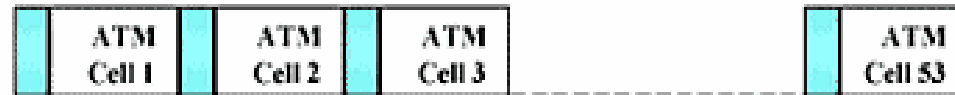
*Downstream frame: 56 ATM cells (*53 Bytes) @155Mbps = 152,67μsec (Ανάλογα στην περίπτωση ρυθμού 622Mbps)*



- Τα PLOAM cells είναι ειδικής χρήσης και χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο πολλαπλής πρόσβασης των ONT. Περιλαμβάνουν:
 - 53 Άδειες μετάδοσης (δες & upstream transmission frame)
 - 12 ειδικά μηνύματα
 - CRC και
 - πληροφορία συγχρονισμού
- Συνεπώς η αξιοποιήσιμη χωρητικότητα καναλιού Downstream μειώνεται στα: $155 \times 54 / 56 = 149,97$ Mbps
- Ο προγραμματισμός αδειών αφήνεται στη βούληση της κάθε υλοποίησης να χρησιμοποιήσει κατάλληλο αλγόριθμο με χρήση των μηχανισμών που προβλέπει το πρότυπο

APON Upstream Πλαίσιο (I)

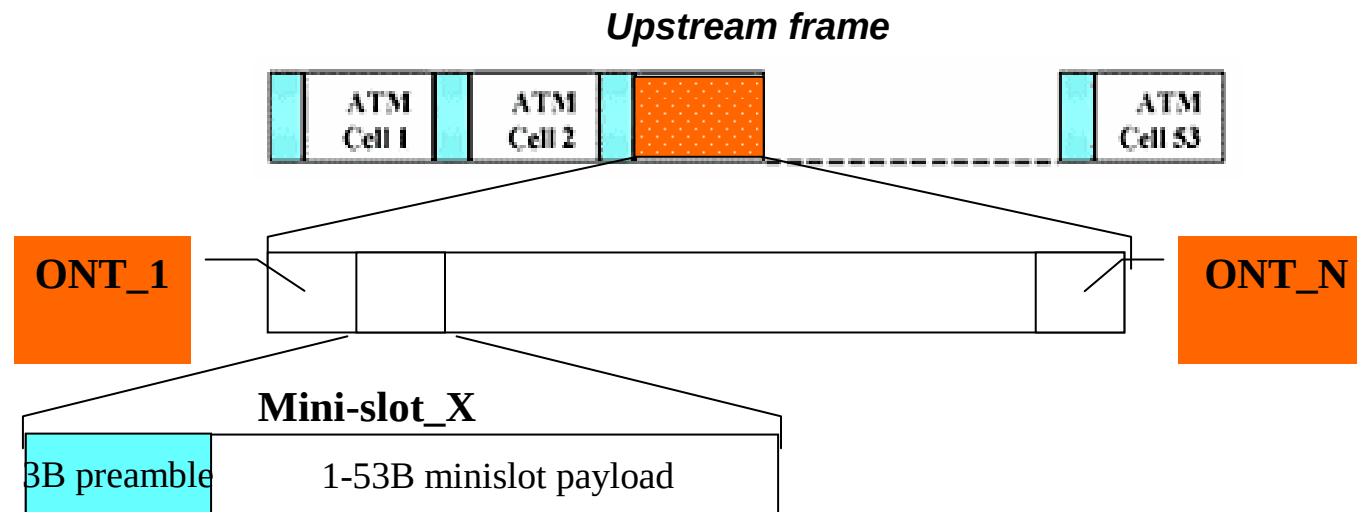
*Upstream frame: 53 ATM cells (*56 Bytes) @155Mbps = 152,67μsec*



 *3 O/H Bytes/cell : 4bit guard-band, 20bits preamble & delimiter*

- Η αξιοποιήσιμη χωρητικότητα καναλιού Downstream μειώνεται στα: $155 \times 53 / 56 = 149,19$ Mbps
- Δυναμικά ο MAC controller στο OLT μπορεί να δεσμεύει cell στο upstream πλαίσιο για την μετάδοση αιτήσεων για δυναμική δέσμευση επιπλέον εύρους ζώνης με τη μέθοδο των μικροσχισμών

APON Upstream Πλαίσιο (II)



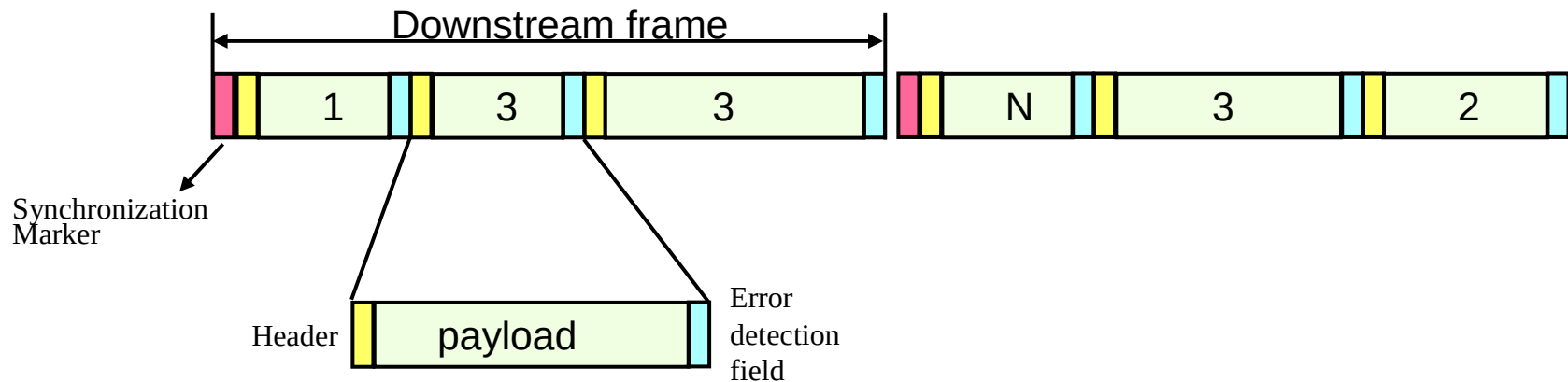
- Εάν ο προγραμματισμός αδειών ήταν προκαθορισμένος στατικά στο χρόνο, αυτό θα αντιστοιχούσε σε μια υπηρεσία σταθερού ρυθμού (μισθωμένη γραμμή – leased line)
 - Το πρότυπο προβλέπει την ειδική χρήση (κατά βούληση) σχισμών του καναλιού upstream για την μετάδοση αιτήσεων από συγκεκριμένες κάθε φορά ONU
 - Για εξοικονόμηση εύρους ζώνης χρησιμοποιείται η μέθοδος των μικροσχισμών όπου πολλαπλά ONT μπορούν να μεταδώσουν αιτήσεις στη διάρκεια μιας κανονικής σχισμής «διάρκειας» 53B

Τα χαρακτηριστικά του EPON

- **Κωδικοποίηση κα πλαισίωση σύμφωνα με το 802.3 Standard**
- **Ρυθμοί γραμμής σύμφωνα με το Ethernet standard**
- **Μονοτροπική ίνα (Single-mode fiber)**
- **Υποστηρίζει 1 ως 16 ή 32 ONU**

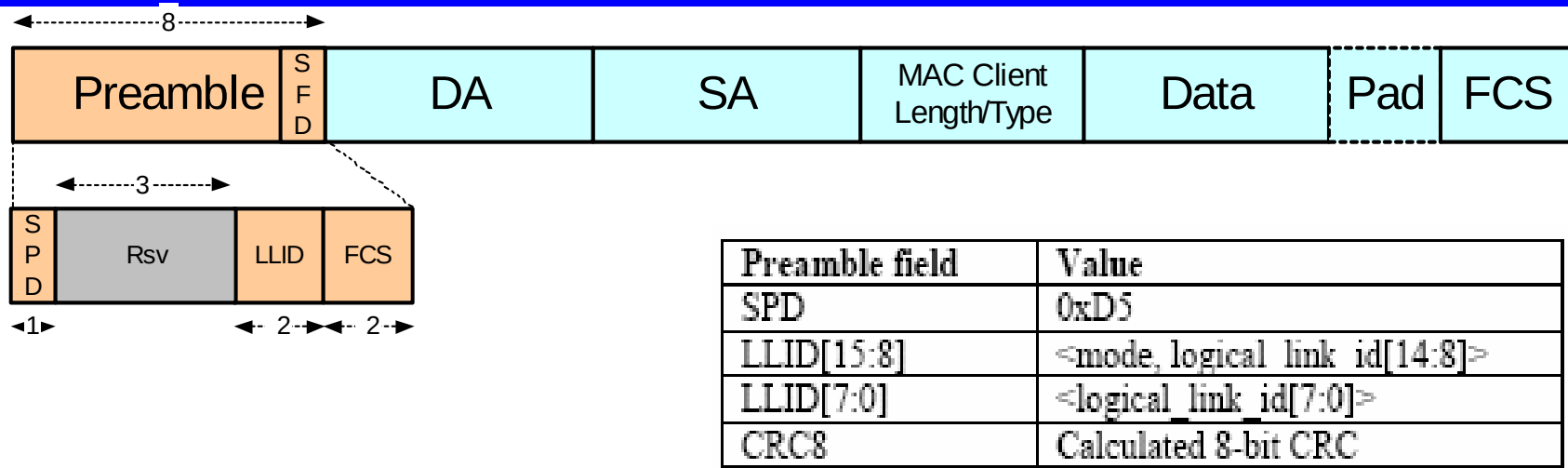
Πλαισίωση EPON στο Downstream κανάλι

- Τα πλαίσια EPON είναι συμβατά με το IEEE 802.3
- Συγχρονισμός μέσω Synchronisation marker: 1byte every 2ms
- Η ONU προορισμός προσδιορίζεται από το πεδίο LLID που βρίσκεται στο preamble



Οι άδειες μεταδίδονται στο downstream σε πλαίσια Ethernet ειδικού τύπου (GATE) και μήκους 64bytes.

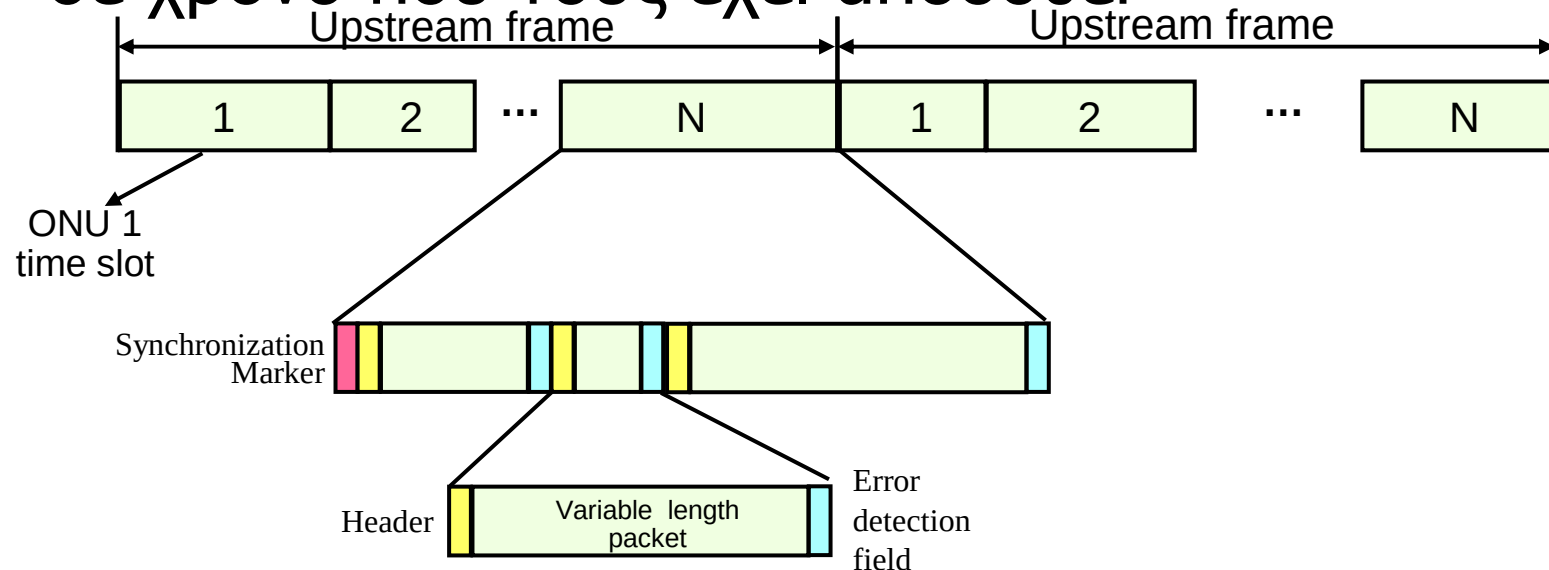
Οι τροποποιήσεις του πλαισίου Ethernet



- SPD: Start Packet Delimiter
- LLID: Logical Link ID (one or more per ONU)
- Για τον έλεγχο πρόσβασης στο upstream κανάλι, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο MultiPoint Control Protocol (MPCP).

Η δομή του πλαισίου στο **Upstream** κανάλι του **EPON**

- Οι ONUs μεταδίδουν ακέραια Ethernet πλαίσια σε χρόνο που τους έχει αποδοθεί



Οι ONUs ανακοινώνουν το μήκος της ουράς δεδομένων σε πλαίσια Ethernet ειδικού τύπου (REPORT) και μήκους 64bytes.

Τεχνικές Χρήσης Οπτικών Ινών στο Δίκτυο Πρόσβασης

Gigabit PON (G-PON)

FSAN/ITU packet-based GPON (G.984.3)

- Ρυθμοί μετάδοσης Gigabit (1.24Gbps/2.48Gbps)
- Αποτελεσματική μεταφορά όλων των ειδών της κίνησης ATM/IP/TDM
- Μέχρι 64 ONU στο φυσικό στρώμα (PMD) αλλά μέχρι 128 στο TC στρώμα
- 4 κλάσεις (T-CONTs)
- 4096 ουρές (κάθε ONU μπορεί να έχει οσεσδήποτε ουρές)
- Το εύρος ζώνης (χρόνος) αποφασίζεται ανά ουρά (προσδιορίζονται από το AllocID)
- Αποτελεσματική υποστήριξη μεγάλης ποικιλίας εφαρμογών με διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (από μισθωμένες γραμμές μέχρι best effort)
- Στόχος το χαμηλό κόστος εξοπλισμού

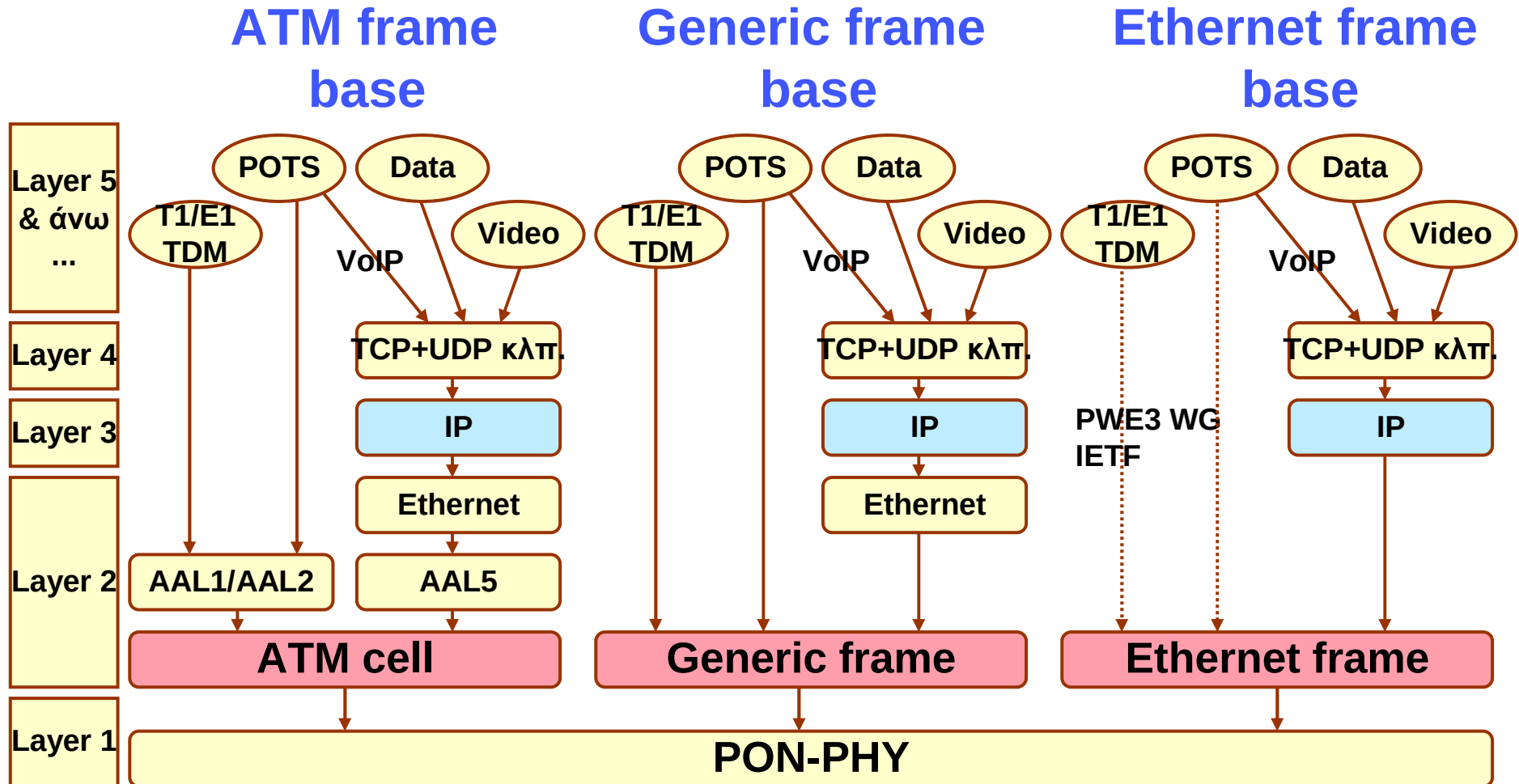
Το πρότυπο G-PON

- Εργασίες της επιτροπής FSAN 2001-2004
- Στοχεύει στην υπέρβαση των περιορισμό της τεχνολογίας BPON
 - Μεγαλύτερες ταχύτητες (1,24 Gbps)
 - Επεκτασιμότητα σε μεγαλύτερες ταχύτητες (2,5 Gbps) με συγκρίσιμη κλίμακα κόστους
- Υποστήριξη δικτύων IP
 - Μετάβαση από πλήρως ATM σε πλήρως IP μετάδοση
- Κοινή πλατφόρμα παροχής υπηρεσιών
 - Video - IPTV ή RF
 - Voice - TDM ή VoIP
 - Data
- Πλατφόρμα με διαλειτουργικότητα και χαμηλό κόστος λειτουργίας
 - Υποστήριξη διεθνών προτύπων
 - Μη ύπαρξη ενεργών στοιχείων στο δίκτυο πρόσβασης

Χαρακτηριστικά G-PON

- Εφαρμόζει αντίστοιχες μεθόδους πολύπλεξης με τα δίκτυα A-PON
- Η πολύπλεξη των δεδομένων υποστηρίζει μεν ένα σταθερού μεγέθους πλαίσιο (μετάδοση downstream & upstream διάρκειας 125 μ sec – απαιτήσεις φωνής) αλλά μέσα σε αυτό δεν μεταδίδονται υποχρεωτικά μόνο ATM cells αλλά υποστηρίζονται και μεταβλητού μεγέθους πακέτα
 - Τα μεγέθη σχισμών μετάδοσης προσδιορίζονται δυναμικά ανάλογα με τις αιτήσεις μετάδοσης (εκφραζόμενες πλέον σε Bytes)
 - Οι διευθύνσεις στο επίπεδο MAC αναφέρονται στο αναγνωριστικό της ONT
 - Υποστηρίζονται οι ίδιες κλάσεις υπηρεσιών με το A-PON

G-PON Εναλλακτικά Πρωτόκολλα (GTC)



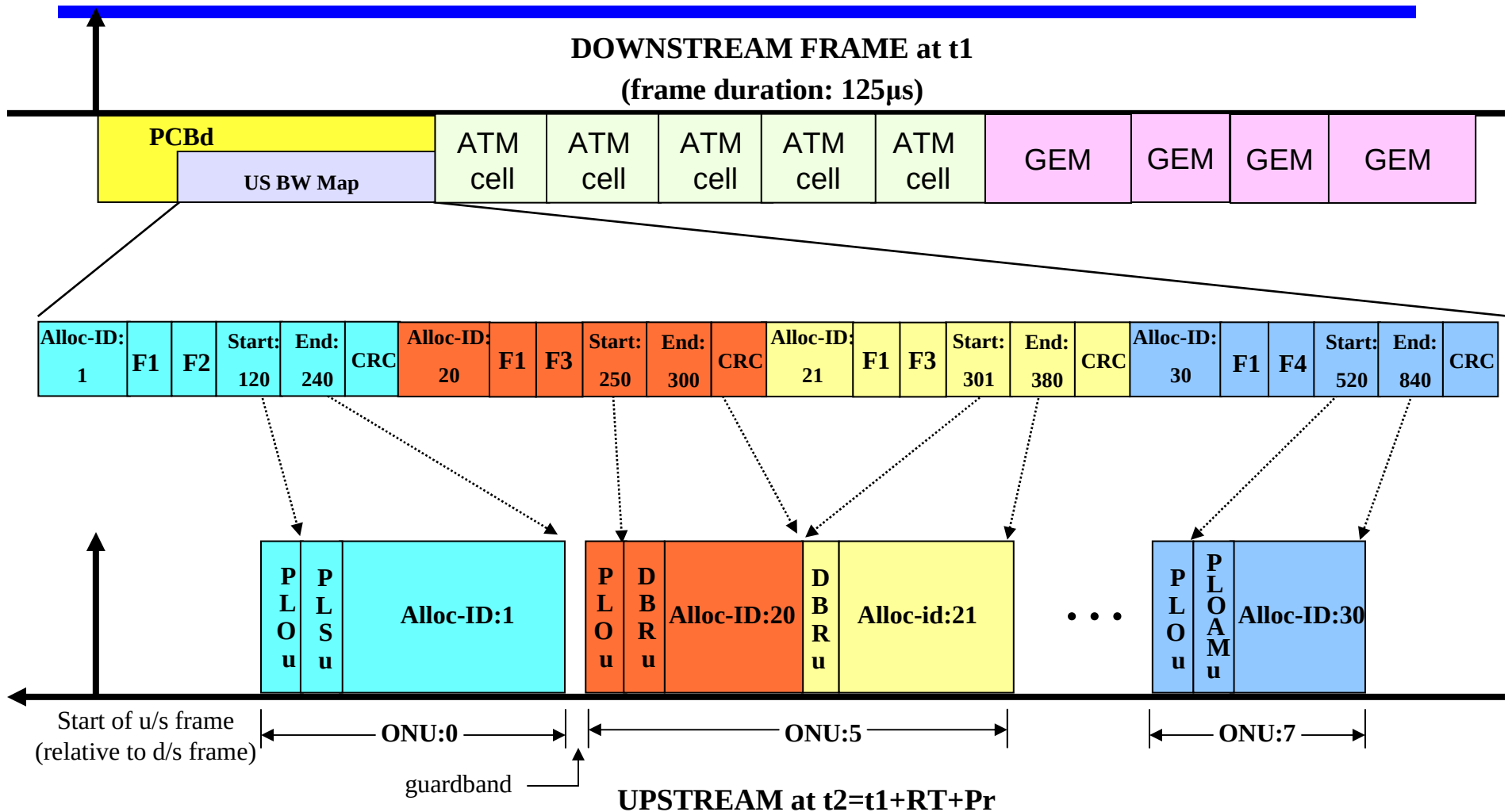
ITU-T G.984.2 Physical Media Dependent Layer

- 8.2.1 Digital Signal Nominal Bit Rate
 - Transmission Line Rate = Multiple of 8 kHz
 - Nominal Line Rates
 - Downstream = 1244.16 Mbit/s
 - Upstream = 622.08 Mbit/s
- 8.2.2.1 Transmission Medium
 - ITU-T G.652 Single Mode Fiber
- 8.2.5 Operating Wavelength
 - Downstream Wavelength on Single Fiber=1480–1500 nm
 - Upstream Wavelength = 1260 – 1360 nm
- 8.2.7.1 Attenuation Range
 - CLASS B = 25 dB
- Table 4-a, Item 7 Maximum Fiber Distance Between S/R & R/S Points
 - Maximum Fiber Distance Between OLT and ONU – 20km/12.4 miles

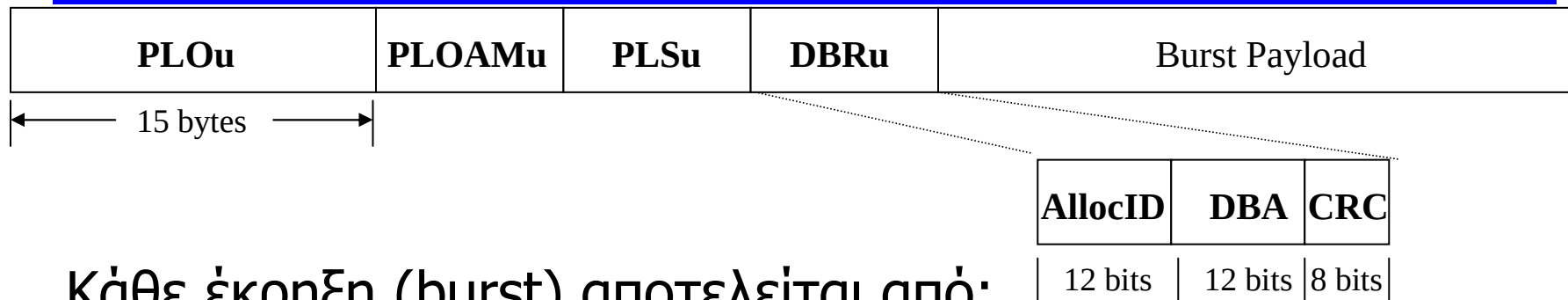
ITU-T G.984.3 Transmission Convergence Layer

- 5.3 Πολύπλεξη
 - Υποστηρίζονται (ταυτόχρονα) δύο μηχανισμοί:
 - ATM
 - GEM (GPON Encapsulation Mode)
 - Ένα πλαίσιο μπορεί να αποτελεί μίξη ATM ή GEM
 - GEM = 10% αποδοτικότερο από την τεχνική μεταφοράς ATM του B-PON για μεταφορά IP κίνησης
 - Το GPON επίσης δεν κάνει χρήση της κωδικοποίησης 8b/10b του EPON (θα εξεταστεί στη συνέχεια)
 - Κατά συνέπεια το G-PON εξοικονομεί 20% σε σχέση με το EPON

Η δομή του πλαισίου στο Downstream



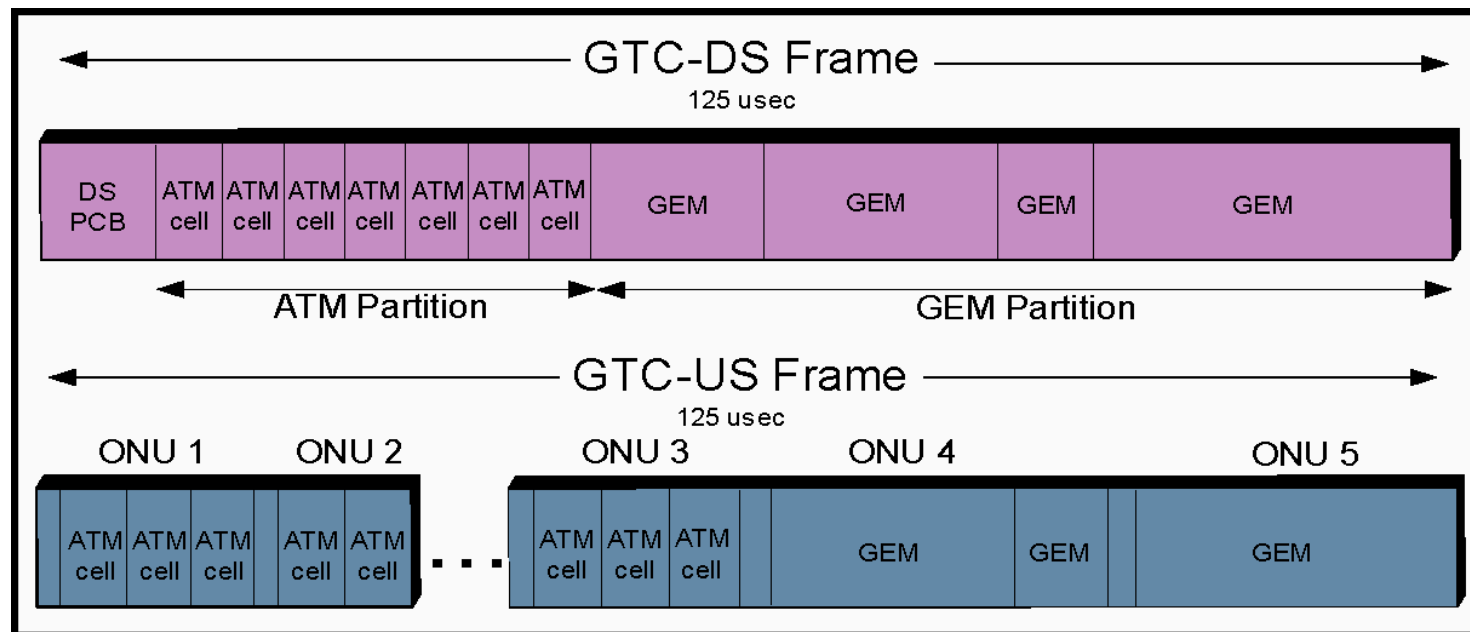
Η δομή των εκρήξεων που μεταδίδονται στο Upstream



Κάθε έκρηξη (burst) αποτελείται από:

- PLOu: Physical Layer Overhead (u=upstream) guard-band & synchronisation preamble & delimiter
- Προαιρετικά (controlled by the OLT)
 - PLOAM: Physical Layer Operation & Maintenance
 - PLS: Power Level Sequence
 - **DBRu: Dynamic Bandwidth Allocation Report**
(χρησιμοποιείται για την ανακοίνωση των μηκών των ουρών μετρημένων σε blocks των 48bytes)
- Ωφέλιμο φορτίο - Burst Payload: είτε ATM cells είτε IP/Ethernet ενθυλακωμένα σε GEM πλαίσια

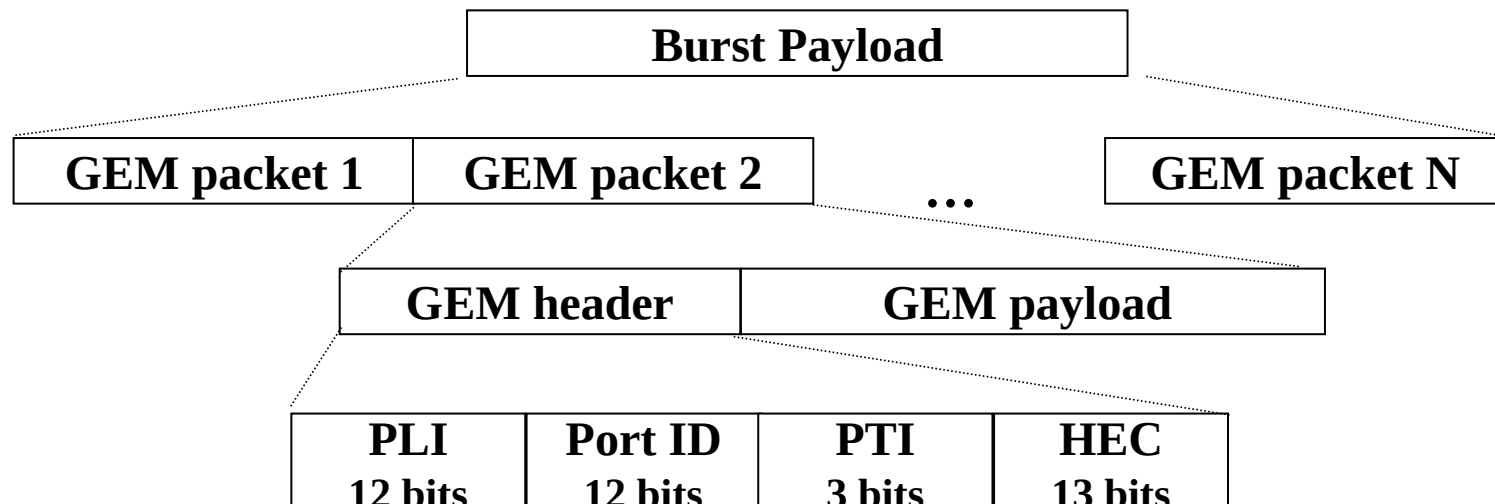
Πλαίσια Μετάδοσης G-PON (I)



G-PON Πλαίσιο Upstream (II)

—GEM (GPON Encapsulation Mode)

- Επιτρέπει την κατάτμηση και επανένωση πακέτων μεταβλητού μεγέθους (χρήση πεδίων PTI και HEC –όπως στο AAL5/ATM)
- Επιτρέπει την πολύπλεξη περισσότερων ροών πακέτων (π.χ. Εφαρμογών, υπηρεσιών ...) με χρήση του πεδίου PortID
- Επιτρέπει την απευθείας μετάδοση πάνω από την οπτική ίνα (χωρίς 8b/10b line coding)



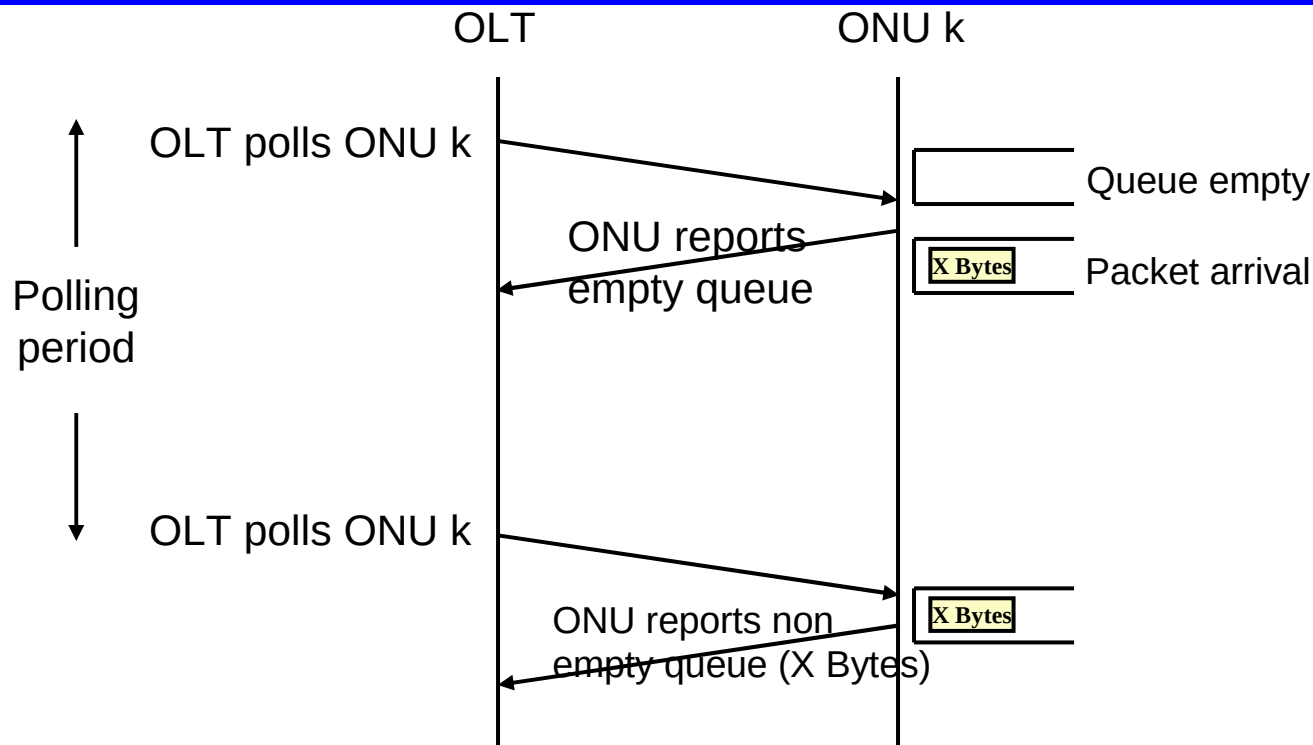
GPON Ορόσημα

- G.984.1 – Service Requirements
 - Απαιτήσεις σε ταχύτητες μετάδοσης, αποστάσεις και πλήθος τερματισμών, ανοχές, καθυστέρηση κλπ.
 - Δημοσίευση από την ITU-T 01/2003
- G.984.2 – PMD – Physical Media Dependent Layer
 - Αποθέματα ισχύος ανά κατηγορία ίνας, λόγοι διαχωρισμού (split ratios), κλπ
 - Class B ODN – 10dB min - 25 dB Max loss
 - Δημοσίευση από την ITU-T 01/2003
- G.984.3 – TC - Transmission Convergence Layer
 - Transport Protocol Layer
 - 1/04 : έγκριση από την ITU-T
- G.984.4 – OMCI – ONT Management and Control Interface
 - Διαλειτουργικότητα με άλλα δίκτυα, διαχείριση και λειτουργία.
 - 1/05: έγκριση από την ITU-T (δημοσίευση αναμένεται Q4 2005)

Ποιότητα και αποτελεσματικότητα

- Η ποιότητα συνδέεται με περιοδική ανάθεση παραθύρου μετάδοσης σταθερής διάρκειας
 - (B bits are allocated every T_p so that $B/T_p = \text{peak rate}$)
 - Ακόμα και όταν η πηγή είναι ανενεργή, αποδίδεται χρόνος => αναποτελεσματικό
- Αποτελεσματικότητα συνδέεται με δυναμική απόδοση χρόνου κατόπιν αιτήσεως (η κίνηση βρίσκεται ήδη στην ουρά)
 - Απαιτείται χρόνος μέχρι ο ελεγκτής να μάθει για την άφιξη ενός πακέτου και να προγραμματίσει τη μετάδοσή του

Ανιχνεύοντας την άφιξη ενός πακέτου

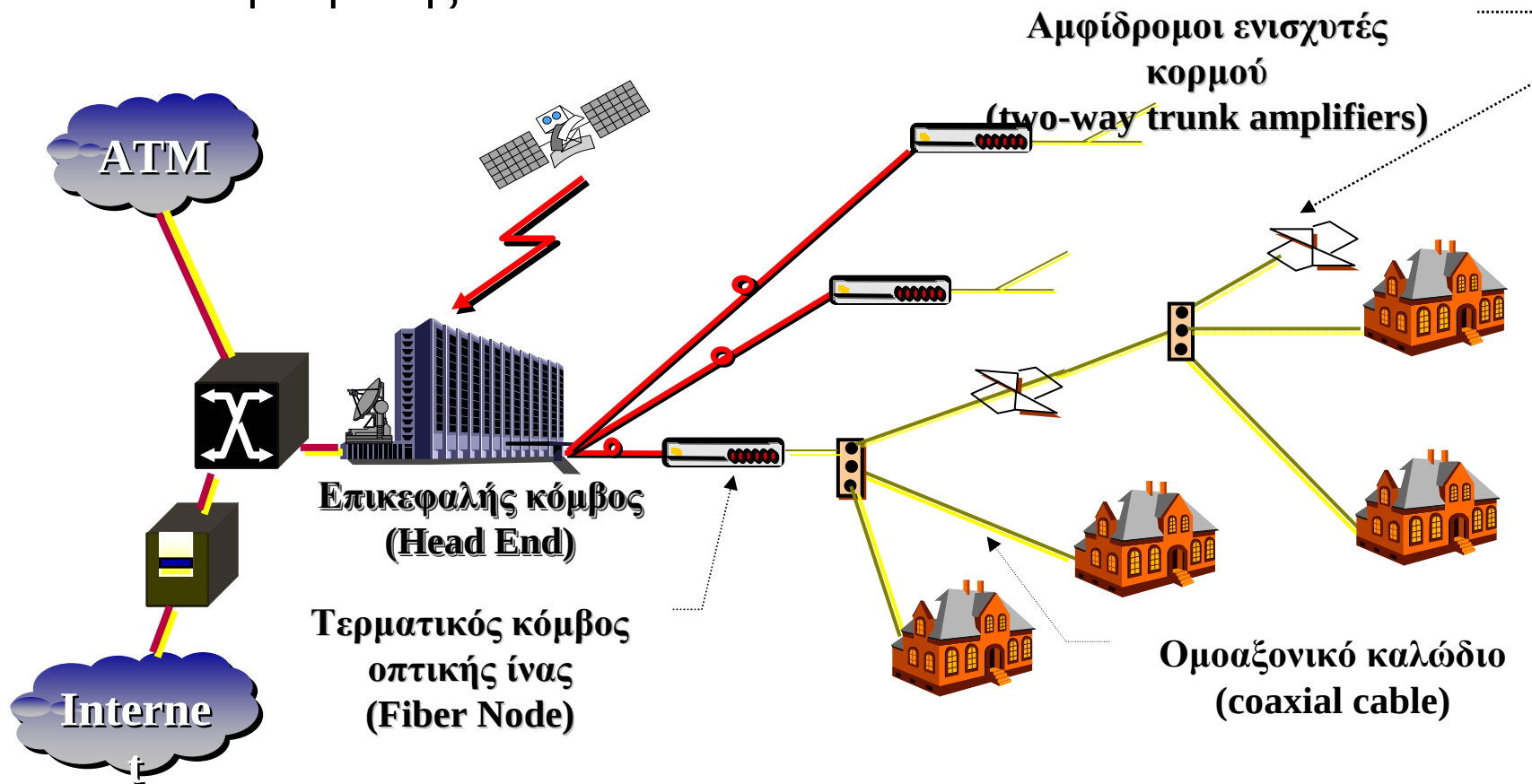


Ο ελεγκτής πρόσβασης μαθαίνει ότι ένα πακέτο εισήλθε σε μια ουρά μετά από χρόνο ίσο με

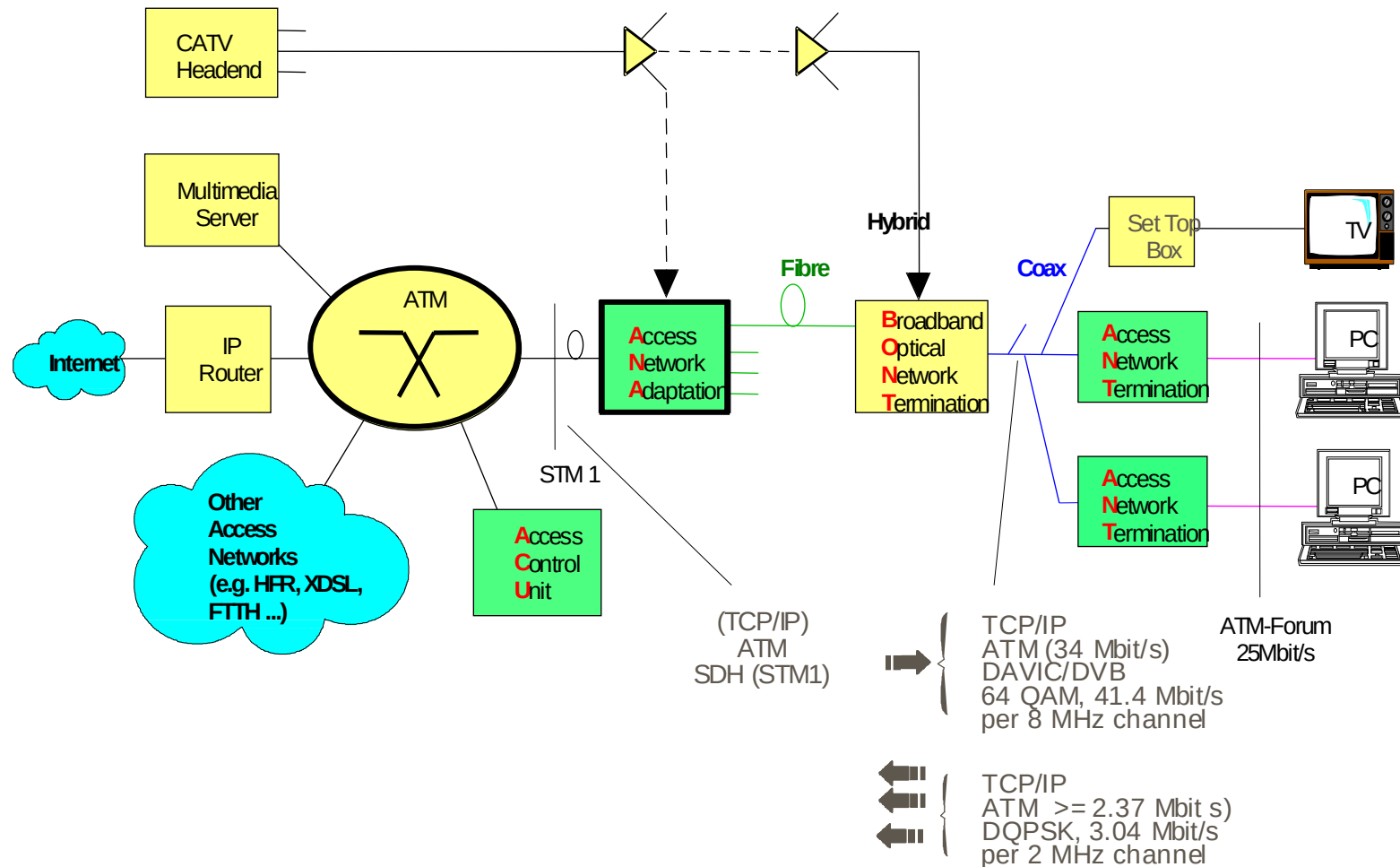
Την περίοδο δειγματοληψίας + την καθυστέρηση διάδοσης

Γενική Τοπολογία Συστημάτων HFC

- Αποτελούν αναβάθμιση των δικτύων καλωδιακής τηλεόρασης (Community Area TV, Cable TV, CATV) σε γενικό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο πρόσβασης



Αρχιτεκτονική συστήματος HFC



Γενικά Χαρακτηριστικά Δικτύων HFC (I)

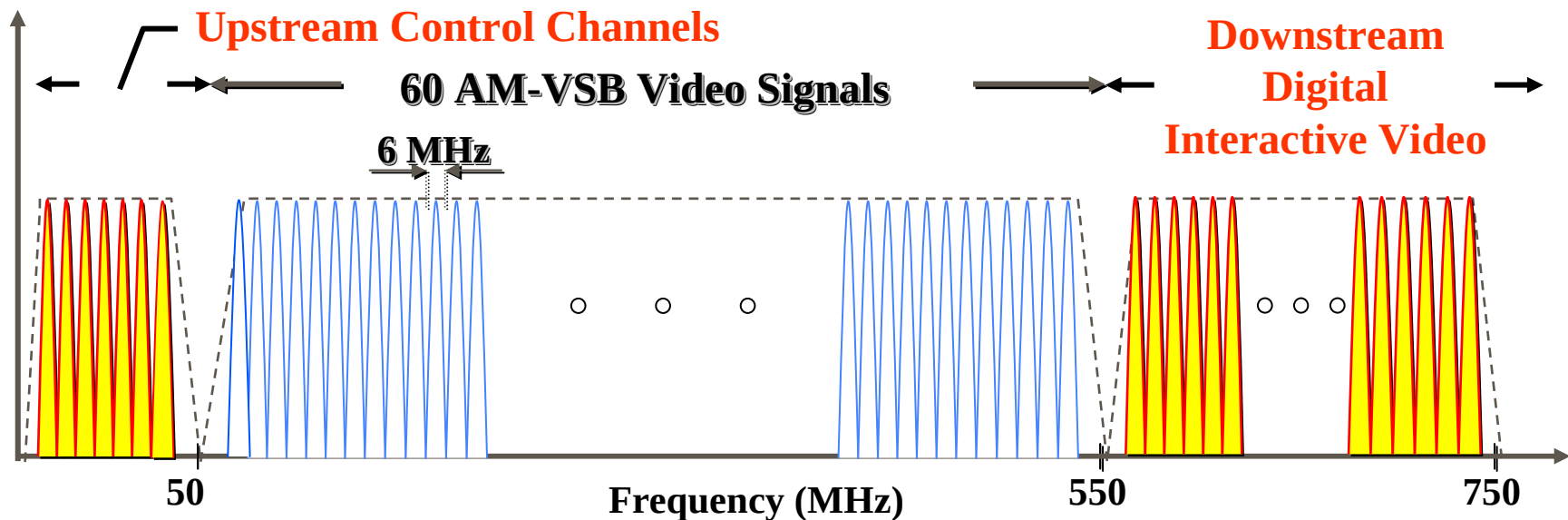
- Το δίκτυο έχει δενδροειδή τοπολογία ξεκινώντας από τον επικεφαλής κόμβο, στον οποίο είτε συγκεντρώνονται τηλεοπτικά προγράμματα από δορυφορικές εκπομπές, είτε παράγονται τοπικά και εκπέμπονται προς τους χρήστες.
- Το πρώτο τμήμα του δικτύου μέχρι το σημείο, όπου ξεκινά η διακλάδωση προς τις διάφορες κατευθύνσεις, αποτελείται από οπτικές ίνες για αύξηση της χωρητικότητας, της αξιοπιστίας και της ποιότητας του σήματος.
- Στη συνέχεια ακολουθεί το δενδροειδούς τοπολογίας καλωδιακό τμήμα του δικτύου, όπου για την αποκατάσταση της εξασθένησης του σήματος χρησιμοποιούνται αναλογικοί ενισχυτές μονής κατεύθυνσης.

Γενικά Χαρακτηριστικά Δικτύων HFC (II)

- Καθώς ένα μόνο ποσοστό της χωρητικότητας του καλωδιακού δικτύου εξαντλείται από τα υπάρχοντα κανάλια εκπομπής αναλογικού σήματος τηλεόρασης υπήρξε έντονη τάση για την αξιοποίηση του υπολειπόμενου εύρους ζώνης και την απόδοσή του σε κανάλια μετάδοσης ψηφιακού σήματος εκπομπής τόσο προς όσο και από τους χρήστες και συνδρομητές του δικτύου καλωδιακής τηλεόρασης και εισαγωγής της ιδιαίτερα σημαντικής δυνατότητας της αμφίδρομης επικοινωνίας.
- Η ανάγκη αυτή οδήγησε στην κατανομή του διαθέσιμου φάσματος των ομοαξονικών δικτύων με λογική παραπλήσια αυτής της ανάπτυξης του DSL στα τηλεφωνικά δίκτυα συνεστραμένων χάλκινων ζευγών

Κατανομή Φάσματος

STANDARD	UPSTREAM	DOWNSTREAM
DVB-C ETS 300 800	5-65 MHz	70-862 MHz QAM
		70-130 MHz QPSK
		300-862 MHz QAM
DAVIC 1.3	8-26.5 MHz	70-1000 MHz QAM
		70 -130 MHz QPSK
		300-1000 MHz QAM
DOCSIS	5-30 MHz 5-42 MHz	50-860 MHz



Στόχοι του μηχανισμού πρόσβασης

- Αποδοτική χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης στο upstream κανάλι
- Προσφορά διαφοροποιημένων υπηρεσιών και ευέλικτη στρατηγική χρέωσης
- Αποτελεσματική Υποστήριξη Υπηρεσιών Πολυμέσων

Ρυθμοί Μετάδοσης Upstream

- Συνηθέστερη περίπτωση στο θορυβώδες κανάλι ανόδου είναι η διαμόρφωση QPSK με εναλλακτική την 16-QAM
 - Προβλέπεται να υποστηρίζονται οι εξής ρυθμοί μετάδοσης: 160, 320, 640, 1,280 & 2,560 kilosymbols/second
 - Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης (περίπτωση 16-QAM, 4 bits/symbol) 10.24 megabits
 - Συνήθης περίπτωση QPSK (2 bits/symbol) με ρυθμό 1,280 kilosymbols/second **αποδίδει ρυθμό μετάδοσης 2,56Mbps**
 - Για τους παραπάνω ρυθμούς μετάδοσης το εύρος του καναλιού αντίστοιχα γίνεται 200, 400, 800, 1600, 3200 KHz
 - Στη διάρκεια της μικροσχισμής των 6.25 microseconds για το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 2,560 kilosymbols/second μεταδίδονται 16symbols (32 ή 64 bit για κάθε διαμόρφωση αντίστοιχα)

Ρυθμοί Μετάδοσης Downstream

- Στο κανάλι καθόδου επιλέγονται οι παρακάτω εναλλακτικές διαμόρφωσης
 - 64-QAM με ρυθμό μετάδοσης 5.056941 megasymbols/second (**που αντιστοιχεί σε ρυθμό 30.341646 megabits/second**)
 - ή 256-QAM με ρυθμό μετάδοσης 5.360537 megasymbols/second (**που αντιστοιχεί σε ρυθμό 42.884296 megabits/second**).

Οργανισμοί & Πρότυπα: Ιστορική εξέλιξη

IEEE 802.14

- Framing, coding, modulation
- MAC
 - address, slot format
 - CBR, VBR, ABR

ATM Forum RBB

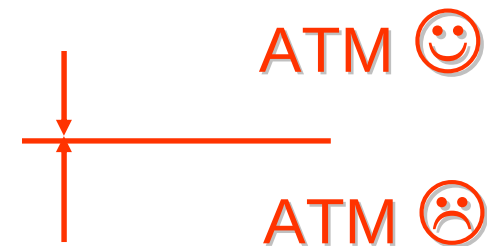
- Reference architecture for ATM over HFC, FTTC, ADSL, VDSL
- VP/VC, traffic classes and QoS provisioning across access network
- Signaling over access network
- physical interfaces
- Management of access network devices

DAVIC/DVB

- Reference protocol architecture for digital Audio/Video flows
- Framing, coding, modulation
- MAC (- address, slot format...)

IETF-IPCDN

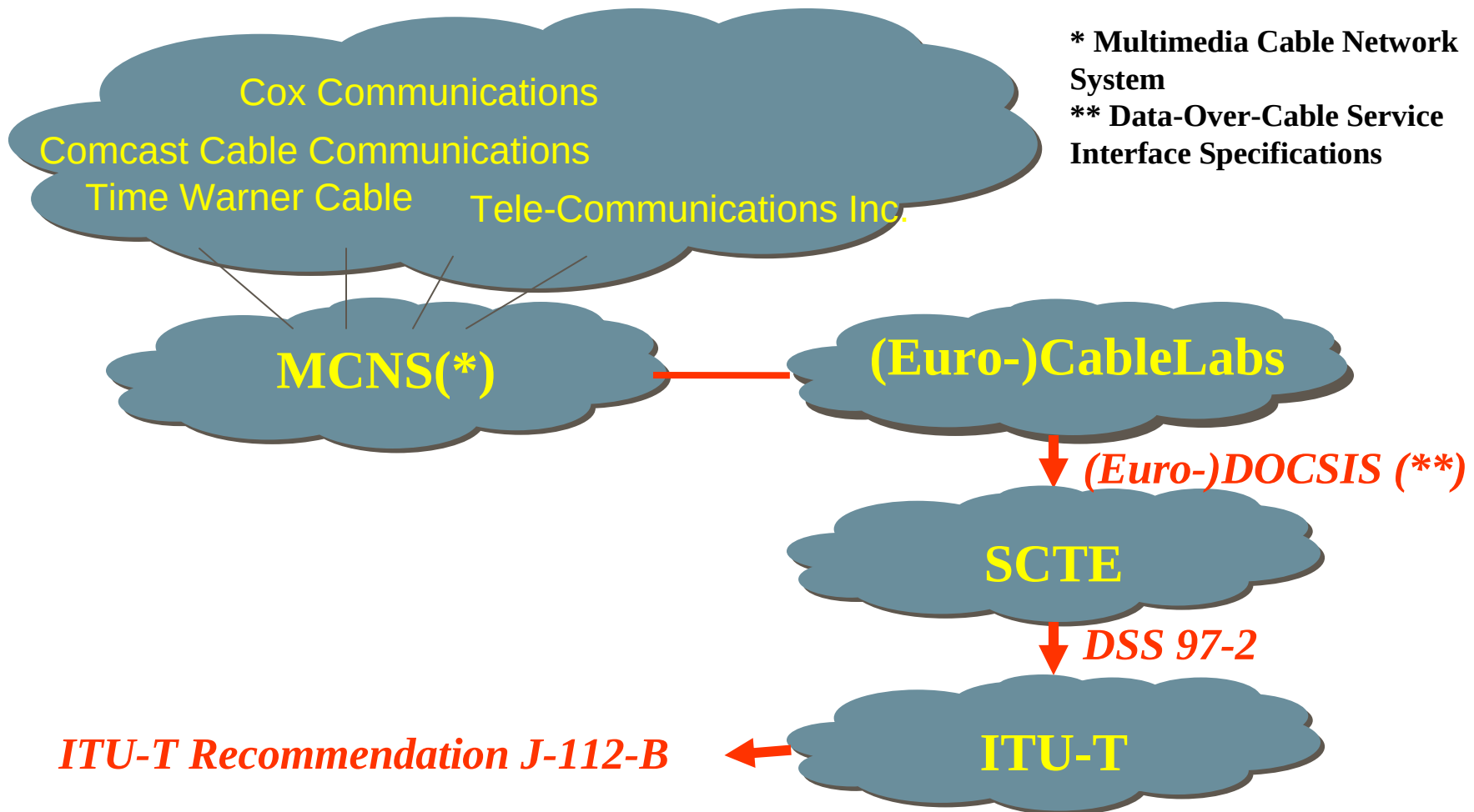
- DHCP
- ARP
- Broadcast & multicast
- IP Service Class
- RSVP, QoS



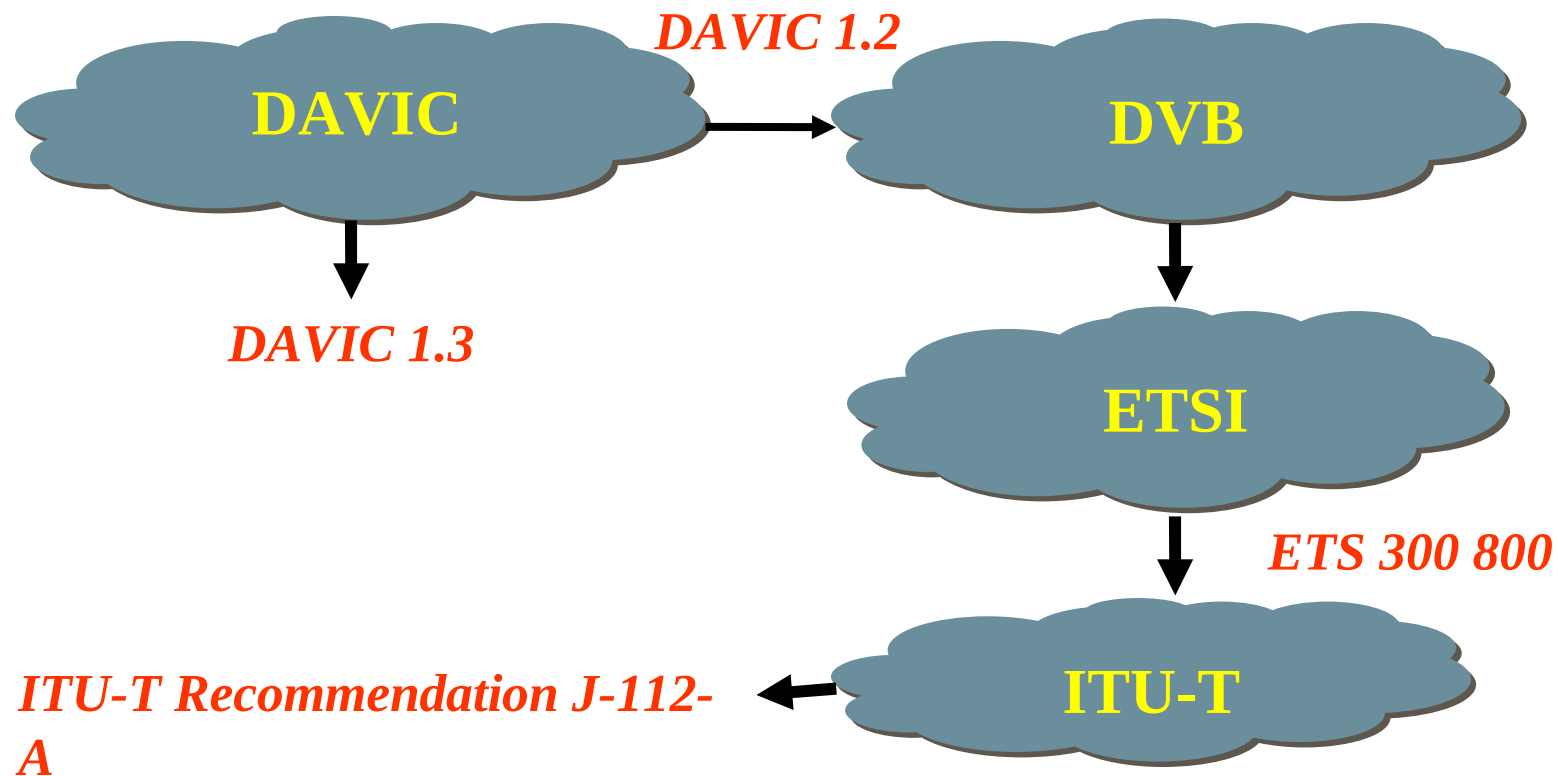
MCNS/CableLabs

- Data over cable reference architecture
- Service interface specification (SP-CMCI, SP-CMRFI...)

Οργανισμοί & Πρότυπα: Ιστορική εξέλιξη



Οργανισμοί & Πρότυπα: Ιστορική εξέλιξη



Οργανισμοί & Πρότυπα: Κατανομή του φάσματος

- Συστάσεις για την κατανομή του φάσματος

STANDARD	UPSTREAM	DOWNSTREAM
DVB-C ETSI 300 800	5-65 MHz	70-862 MHz QAM
		70-130 MHz QPSK 300-862 MHz QAM
DAVIC 1.3	8-26.5 MHz	70-1000 MHz QAM
		70 –130 MHz QPSK 300-1000 MHz QAM
MCNS/DOCSIS	5-30 MHz 5-42 MHz (extended subsplit)	50-860 MHz

Οργανισμοί & Πρότυπα: Κοινά χαρακτηριστικά

- Συνδυασμός FDM (για την κατανομή των καναλιών επιστροφής-upstream) & TDMA (για την κατανομή του εύρους ζώνης σε κάθε κανάλι)
- Το PHY Type B για το κανάλι εκπομπής προς τους χρήστες (downstream) του IEEE 802.14 ταυτίζεται με αυτό των J.112-B/DOCSIS
- Παρόμοιοι προβλεπόμενοι μηχανισμοί πρόσβασης
- Χρήση μικρο-σχισμών (mini-slots) για τη μετάδοση αιτήσεων στο κανάλι επιστροφής (για το DAVIC από την έκδοση 1.3 και μετά)

Οργανισμοί & Πρότυπα: Διαφορές

- Διαφορετικό ΡΗΥ του DAVIC 1.2 (ITU J-112-A)
- Διαφορετικά πρωτόκολλα ελέγχου πρόσβασης (MAC) (Διευθύνσεις, πεδία/μηνύματα, αλγόριθμοι επίλυσης συγκρούσεων)
- Διαφορετικές προβλέψεις για διάκριση κλάσεων υπηρεσιών και εξασφάλιση ποιότητας προσφερόμενης υπηρεσίας (QoS)
- Διαφορετική υποστήριξη στρωμάτων δικτύου (IP, ATM)

Οργανισμοί & Πρότυπα

- IP-ATM: Οι δύο κόσμοι (και) στο περιβάλλον του HFC
 - Ο de-facto νικητής είναι το πρότυπο DOCSIS (από το 2006 στην έκδοση 3.0)

