

Τεχνολογίες Δικτύων Πρόσβασης Ευρείας Ζώνης

Τεχνικές χρήσης οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης



Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλ/νιών

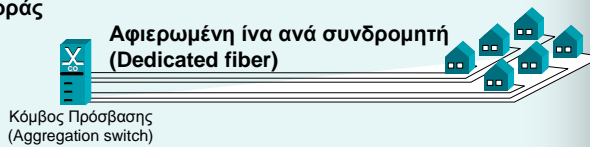
Δομή της Διάλεξης

- **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

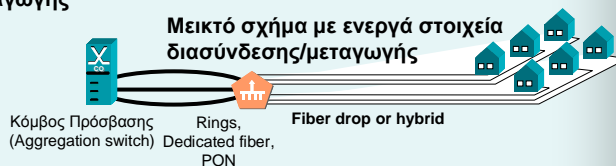
Εναλλακτικές τεχνολογίες μεταφοράς (Transport method):

ATM
SDH
Ethernet
PPP/IP



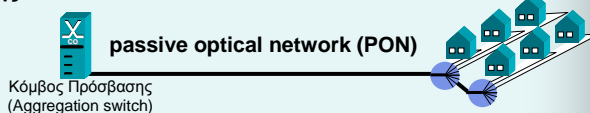
Εναλλακτικές τεχνολογίες μεταγωγής (switching method):

IP/SRP
Ethernet /RPR
ATM
MPLS
SDH

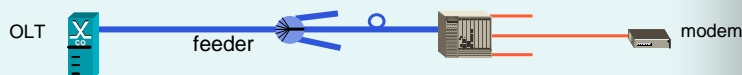


Εναλλακτικές τεχνικές πολύπλεξης:

WDM
TDM/TDMA
FDM



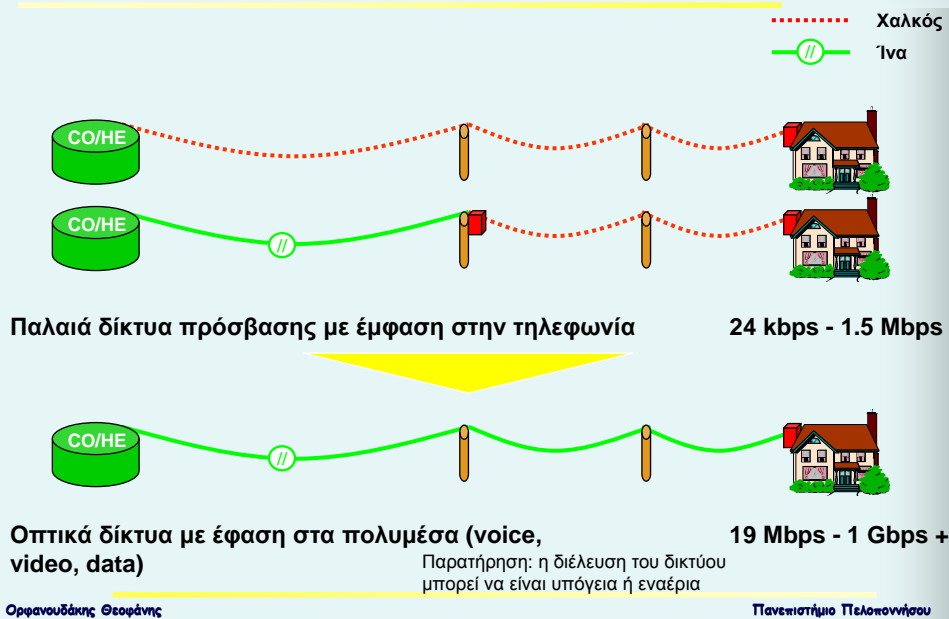
(Συνήθεις) Εναλλακτικές Υβριδικές Τοπολογίες



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

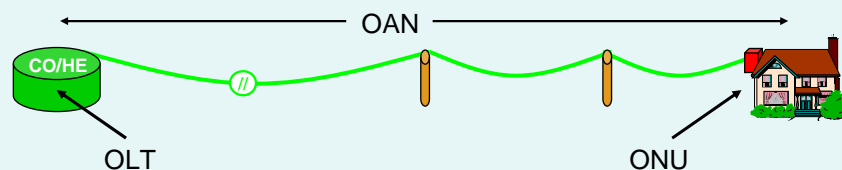
Αμιγώς Οπτική Πρόσβαση (FTTH)



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.

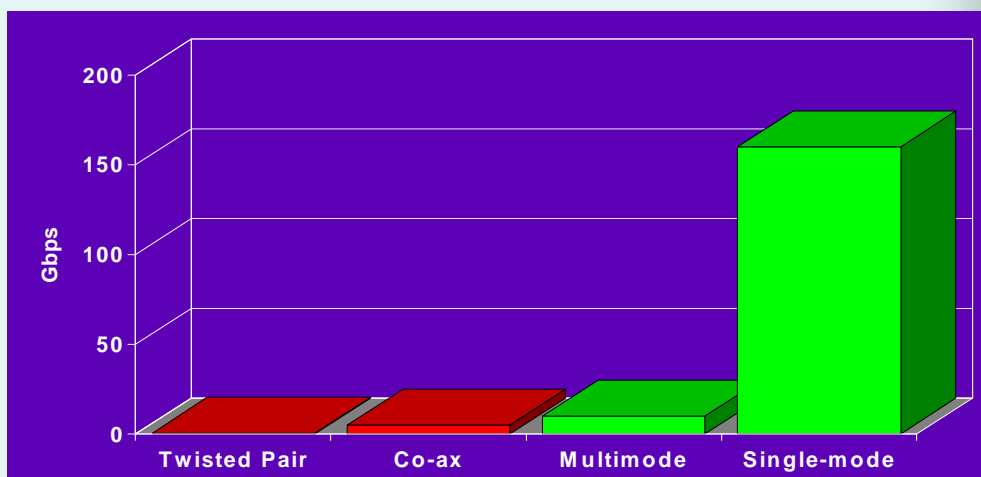
- ✓ OAN: *Optical Access Network*
- ✓ ONU: *Optical Network Unit*
- ✓ OLT: *Optical Line Termination*



Χαρακτηριστικά Τεχνολογίας FTTH

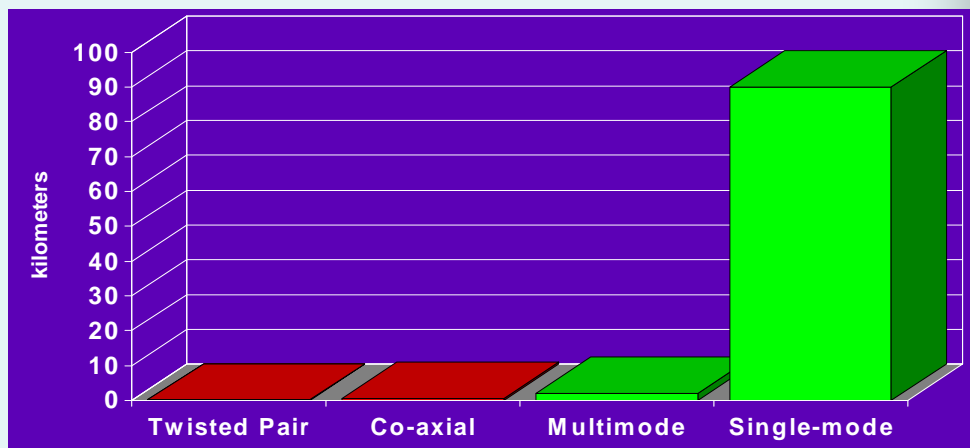
- Πρακτικά απεριόριστη χωρητικότητα πληροφορίας
- Ευκολία αναβάθμισης
 - ✓ το μέσο δεν περιορίζει την εισαγωγή νέων τεχνικών μετάδοσης
- Σχετικά εύκολη εγκατάσταση
- Επιτρέπει συμμετρικές υπηρεσίες
- Περιορισμένο κόστος λειτουργίας & συντήρησης (σε σχέση με άλλες ενσύρματες τεχνολογίες ευαίσθητες στη 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

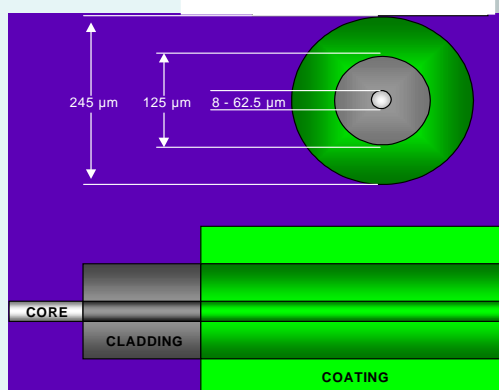


Χαλκός

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

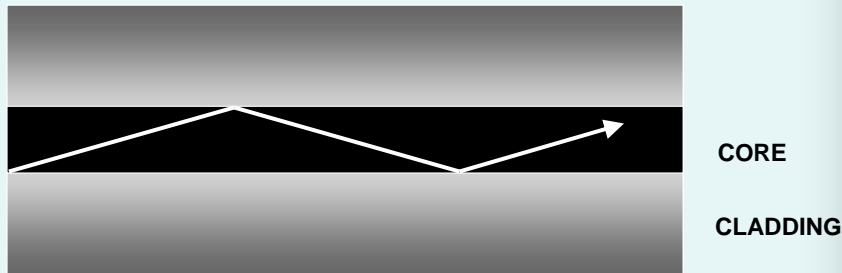
Αρχές Εφαρμογών Οπτικών Ινών (I)

- **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 Ινα στην Καμπίνα - Fiber To The Cabinet (FTTC)
 - ✓ Οπτική Ινα στο Κτίριο - Fiber To The Building (FTTB)

Αρχιτεκτονικές FTTx (II)

- **Οπτική Ινα 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.

Αρχιτεκτονικές FTTx (III)

- **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).

Αρχιτεκτονικές FTTx (IV)

- **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 καμινών (υπαίθριων ή εσωτερικού χώρου).

Αρχιτεκτονικές FTTx (V)

- **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 συνδρομητές, ανάλογα με τις τελικές ταχύτητες πρόσβασης που θα δοθούν.

Αρχιτεκτονικές FTTx (VI)

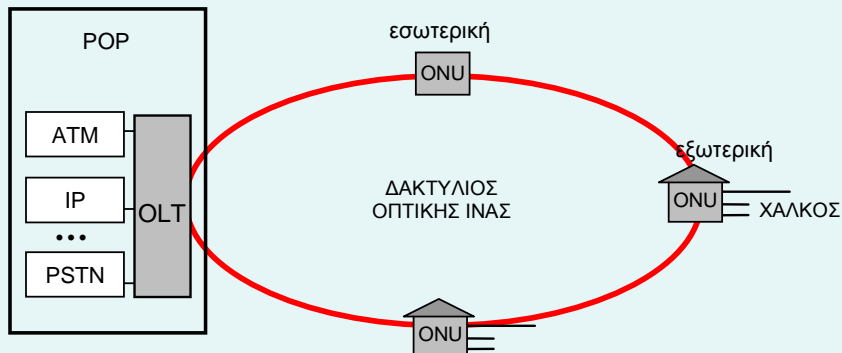
- **AON: Active Optical Network (Ενεργά Οπτικά Δίκτυα)**

- ✓ 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.

Αρχιτεκτονικές FTTx (VII)

- **AON: Active Optical Network (Ενεργά Οπτικά Δίκτυα)**

- ✓ Παράδειγμα εφαρμογής τοπολογίας δακτυλίου σε συνδυασμό με αρχιτεκτονική Fiber To The Curb (FTTC)



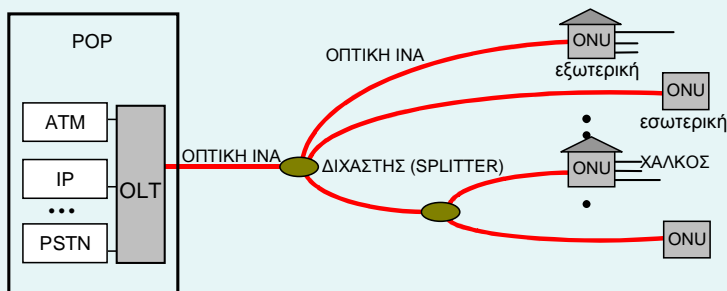
Αρχιτεκτονικές FTTx (VIII)

- **PON: Passive Optical Network (Παθητικό Οπτικό Δίκτυα)**

- ✓ 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 δενδρική. Τα δίκτυα PON (στις διάφορες μορφές τους: TPON, ATM-PON, κλπ) προσβλέπουν στη μαζική διείσδυση ευρυζωνικών υπηρεσιών και έχουν χρησιμοποιηθεί διεθνώς κυρίως σε πιλοτικές εφαρμογές.

Αρχιτεκτονικές FTTx (IX)

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



Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

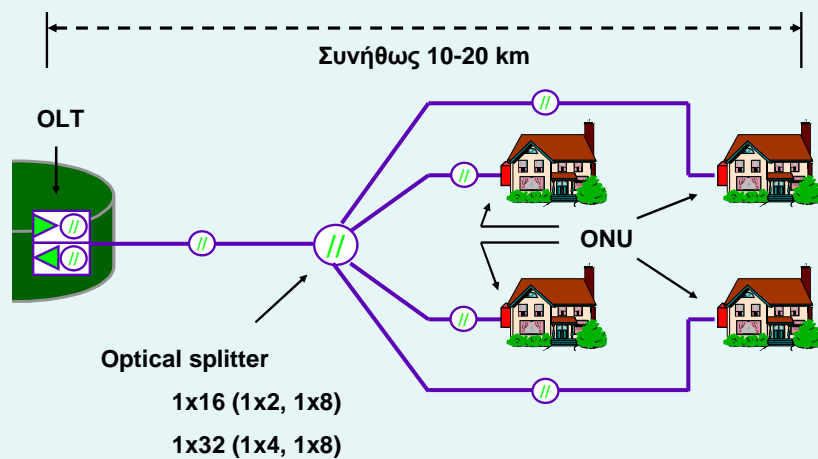
Αρχιτεκτονικές FTTH

- **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*

Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

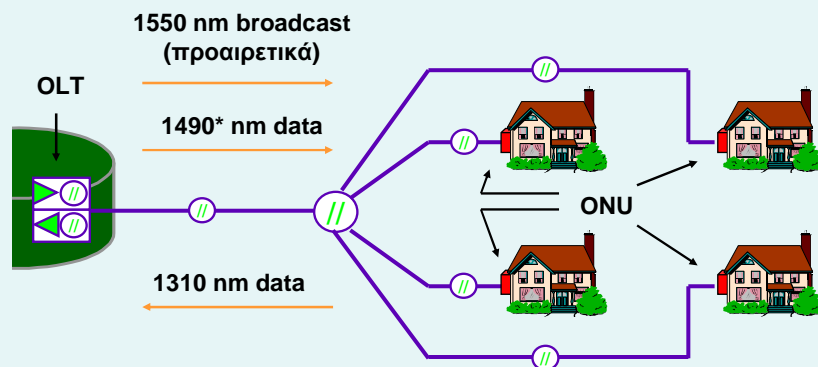
Αρχιτεκτονική PON (A-PON, E-PON, G-PON) (I)



Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

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

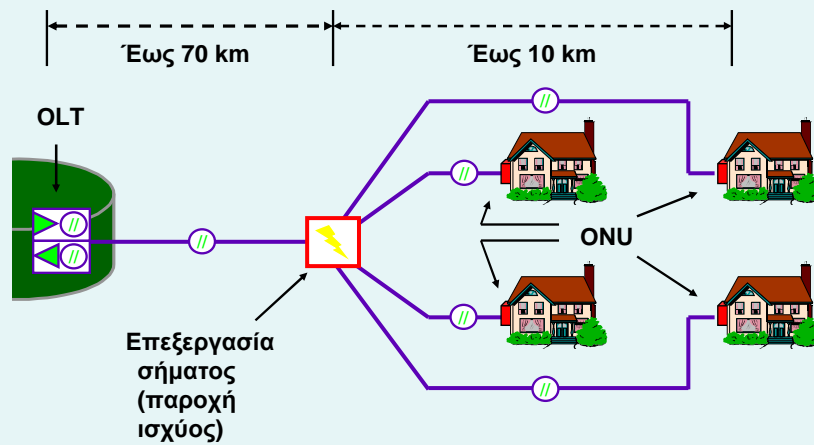


* Διαφορετικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί από data στα 1550 nm εάν δεν υφίσταται εκπομπή τηλεοπτικού σήματος

Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

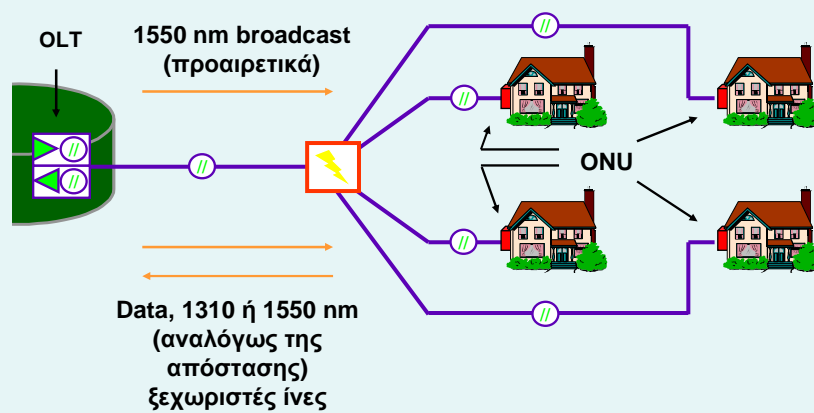
Αρχιτεκτονική Ενεργών Κόμβων (I)



Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

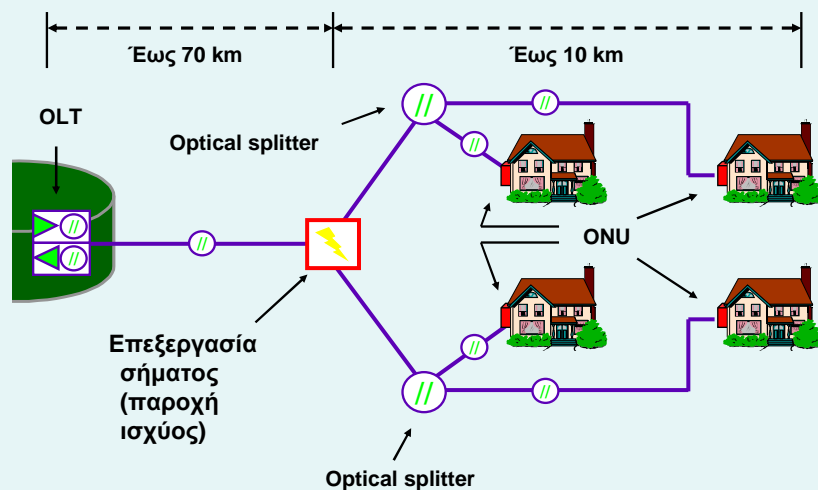
Αρχιτεκτονική Ενεργών Κόμβων (II)



Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

Αρχιτεκτονική Υβριδικών PON (I)

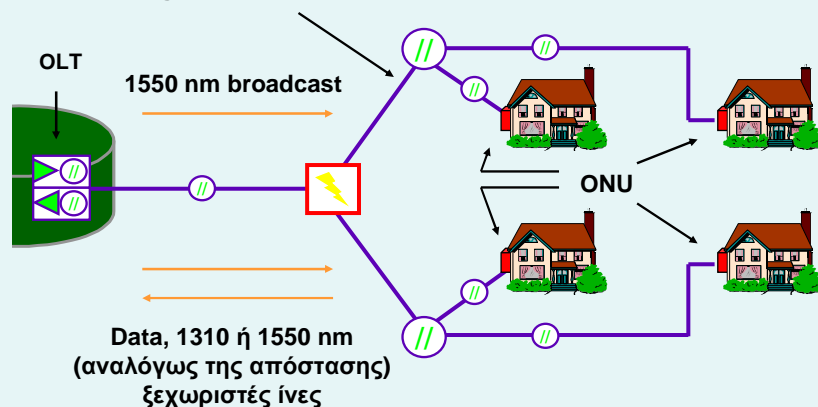


Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

Αρχιτεκτονική Υβριδικών PON (II)

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



Ορφανουδάκης Θεοφάνης

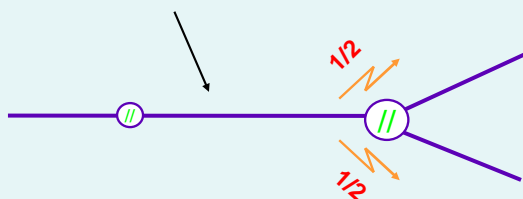
Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

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 μη 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 εξασθενεί 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



Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλ/νιών

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

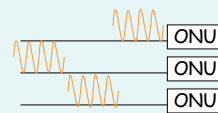
- **APON/BPON: ATM/Broadband PON (ITU-T G.983)**
 - ✓ Χρησιμοποιεί το ATM σαν μηχανισμό μεταφοράς δεδομένων
 - ✓ Υποστηρίζεται από τον οργανισμό FSAN
 - ✓ Εκδόσεις του εμφανίζονται την περίοδο 1998-2003
- **GPON: Gigabit-Capable PON (ITU-T G.984)**
 - ✓ Βασίζεται στην τεχνική Generic Framing Procedure (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

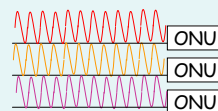
- **Τοπολογία Point-to-Multipoint**
- **Νέα τεχνική μετάδοσης πάνω από οπτικές ίνες**
 - ✓ Νέο φυσικό στρώμα (PHY)
 - ✓ Πλαισίωση
 - ✓ Εκτίμηση απόστασης (Ranging)
- **Νέα τεχνική πολλαπλής πρόσβασης (multiple access) στο κανάλι επιστροφής από τους χρήστες (upstream) με τεχνικές δυναμικής δέσμευσης εύρους 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

Τεχνικές Πολλαπλής Προσπέλασης

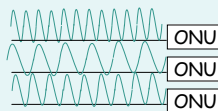
- Η μετάδοση των δεδομένων από τις ONU στο κανάλι upstream βασίζεται σε τεχνικές πολυπλεξίας όσο και σε πρωτόκολλα ελέγχου πολλαπλής πρόσβασης (Medium Access Control) στο κοινό μέσο
- Τεχνικές πολυπλεξίας:
 - ✓ TDM
 - ✓ WDM
 - ✓ SCM
 - Ίδια φιλοσοφία με την WDM, αλλά χρησιμοποιείται ένα μήκος κύματος και διαμόρφωση (του ηλεκτρικού σήματος) από κάθε ONU σε διαφορετικό φέρων



TDM: απλή, φθηνή



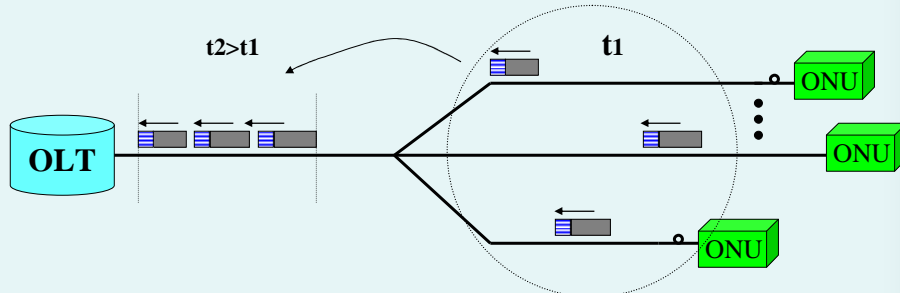
WDM: απλή, ακριβή



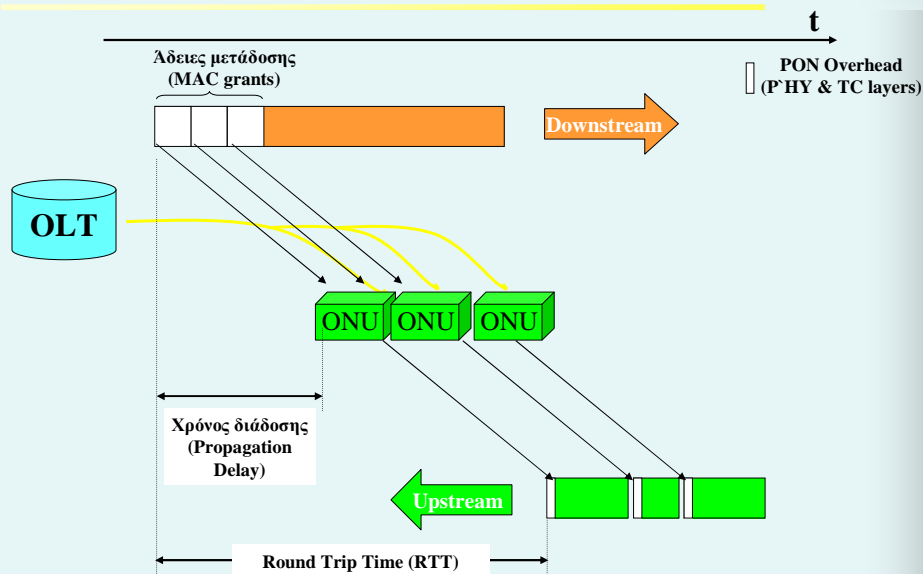
SCM: πολύπλοκη, ακριβή

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
 - ✓ Δεν υπάρχουν τυχαίες μεταδόσεις δεδομένων
 - ✓ Δεν υπάρχει πιθανότητα συγκρούσεων (collisions)



Έλεγχος Πρόσβασης (Medium Access Control)



Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

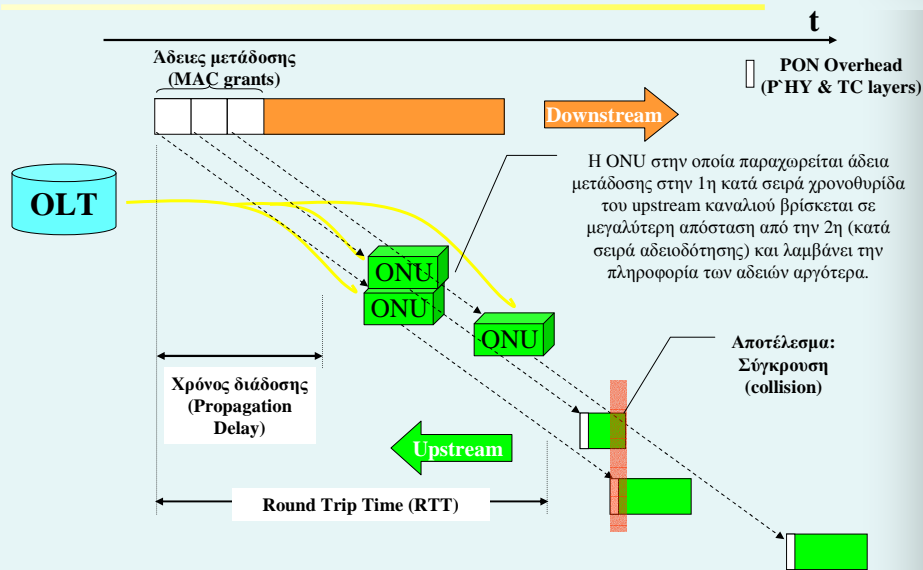
Το Πρόβλημα της Απόστασης των ONU (I)

- Λόγω της κατακευματισμένης αρχιτεκτονικής του PON οι ONU μπορεί να βρίσκονται σε τυχαίες αποστάσεις από την OLT
- Αυτό δημιουργεί προβλήματα στην TDMA τεχνική καθώς ο χρόνος διάδοσης της πληροφορίας ελέγχου (MAC) στις αποστάσεις αυτές δεν είναι αμελητέος (όπως θα ίσχυε ενδεχομένως σε ένα LAN)
- Επιπλέον οι αποστάσεις και οι ταχύτητες μετάδοσης αποκλείουν τη χρήση μηχανισμών επαναμετάδοσης σε περίπτωση συγκρούσεων

Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

Το Πρόβλημα της Απόστασης των ONU (II)



Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

Εξομάλυνση Απόστασης – Ranging (I)

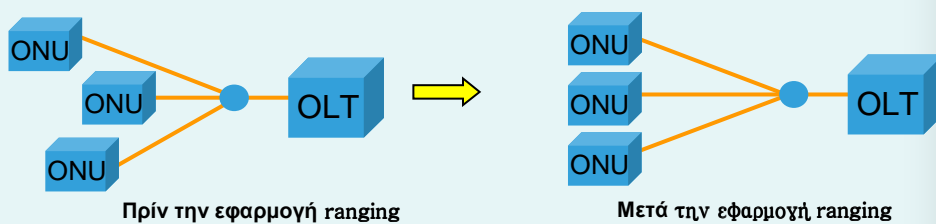
- Για να λειτουργήσει η τεχνική TDMA κατά συνέπεια απαιτείται μέθοδος εκτίμησης της κατάλληλης χρονικής απόστασης μεταξύ των μεταδόσεων των ανεξάρτητων ONU
 - ✓ Η μέγιστη δυνατή εξασφάλιση θα ήταν η χρήση διάκενου (guard-band) μεταξύ διαδοχικών μεταδόσεων ίση με τον μέγιστο χρόνο RTT
 - Η χρησιμοποίηση του καναλιού όμως σε αυτή την περίπτωση θα εκμηδενιζόταν καθώς στις προβλεπόμενες αποστάσεις ο χρόνος RTT είναι κατά πολύ μεγαλύτερος του χρόνου μετάδοσης (transmission time) των πακέτων (upstream bursts)

Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

Εξομάλυνση Απόστασης – Ranging (II)

- Συνεπώς απαιτείται ο συγχρονισμός των ONU με μια κοινή αναφορά του χρόνου έναρξης των σχισμών μετάδοσης στο upstream κανάλι
 - ✓ Αυτό γίνεται με την αρχική εκτίμηση της απόστασης (και αντίστοιχα της καθυστέρησης διάδοσης t_d) από κάθε ONU που συνδέεται στο δίκτυο
 - Τακτικά η μέτρηση επαναλαμβάνεται για τυχόν ολισθήσεις
 - ✓ Στη συνέχεια γίνεται ρύθμιση της μετάδοσης από κάθε ONU που βρίσκεται πλησιέστερα από την μακρυνότερη (t_{max}) ώστε να μεταδίδει με καθυστέρηση κατά την έναρξη ίση με $(t_{max} - t_d)$



Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

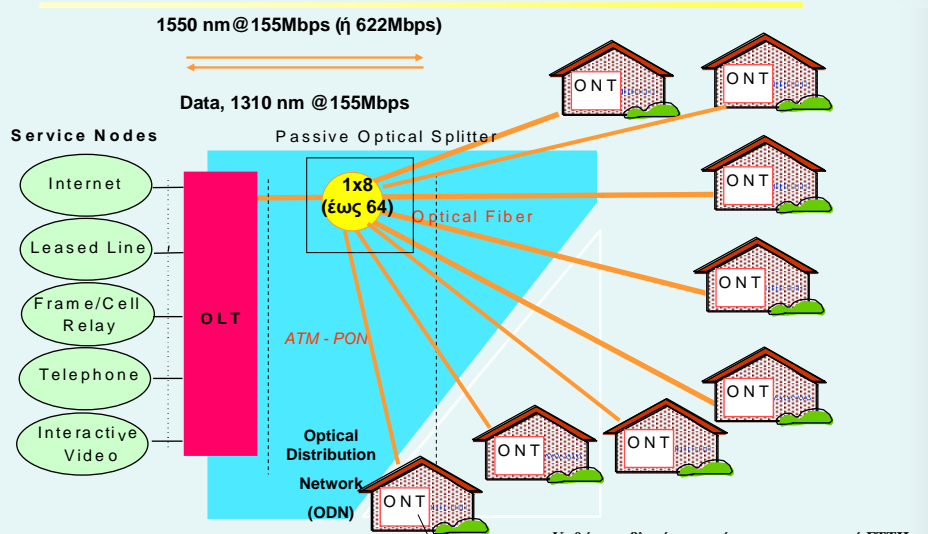
Τεχνικές Χρήσης Οπτικών Ινών στο Δίκτυο Πρόσβασης

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



Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλ/νιών

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



Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

Χαρακτηριστικά A-PON

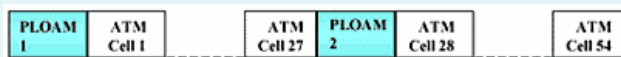
- Εφαρμόζει τις συνήθεις μεθόδους πολύπλεξης στα δίκτυα PON που παρουσιάστηκαν
- Η πολύπλεξη των δεδομένων υποστηρίζει μόνο την τεχνολογία ATM και ορίζονται αντίστοιχα μεγέθη σχισμών μετάδοσης και τεχνικές ανάθεσης διευθύνσεων (MAC)
 - ✓ Η τεχνική TDMA εφαρμόζεται σε χρονοθυρίδες διάρκειας 53Bytes (data payload)
 - ✓ Η διευθύνσεις στο επίπεδο MAC αναφέρονται στο αναγνωριστικό της ONT: Transmit Enable Address/Terminal Endpoint Address (TEA)
 - Μέχρι 64 ONT ⇔ 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

Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

APON Downstream Πλαίσιο

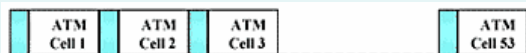
Downstream frame: 56 ATM cells (*53 Bytes) @155Mbps = 152,67μsec
(Ανάλογα στην περίπτωση ρυθμού 622Mbps)



- ✓ 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: $155 \cdot 54 / 56 = 149,97 \text{ Mbps}$
- ✓ 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)

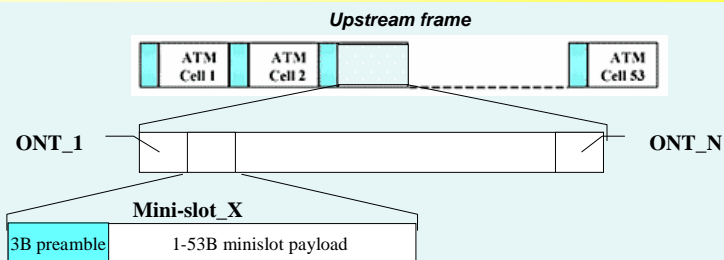
Upstream frame: 53 ATM cells (*56 Bytes) @155Mbps = 152,67μsec



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

- ✓ Η αξιοποιήσιμη χωρητικότητα καναλιού Downstream μειώνεται στα: $155 \cdot 53 / 56 = 149,19 \text{ Mbps}$
- ✓ 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