

# ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ 2

## ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΥΡΕΙΑΣ ΖΩΝΗΣ

Πανεπιστήμιο Πατρών

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Τομέας Τηλεπικοινωνιών και Τεχνολογίας Πληροφορίας

Εργαστήριο Ενσύρματης Τηλεπικοινωνίας



# ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

- ❑ ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΠΩΝ
- ❑ ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ
- ❑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ
- ❑ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ
- ❑ TDMA-PONs
- ❑ OCDMA-PONs
- ❑ WDM-PONs



# ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

## **□ ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΠΩΝ**

□ ▶ ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ

□ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

□ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

□ TDMA-PONs

□ OCDMA-PONs

□ WDM-PONs

# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΠΩΝ (1/9)

**Στα οπτικά δίκτυα δρομολόγησης μήκους κύματος, η σύνδεση διατηρείται ακόμα και όταν δεν υπάρχει μετάδοση δεδομένων**



Χαμηλός παράγοντας αξιοποίησης του εύρους ζώνης

+

Η κίνηση δεδομένων έχει το χαρακτήρα ριπής, καθώς η ποσότητα της κίνησης αυτής μεταβάλλεται σε μικρά χρονικά διαστήματα

=

**Optical Burst Switching-OBS**

# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΠΩΝ (2/9)

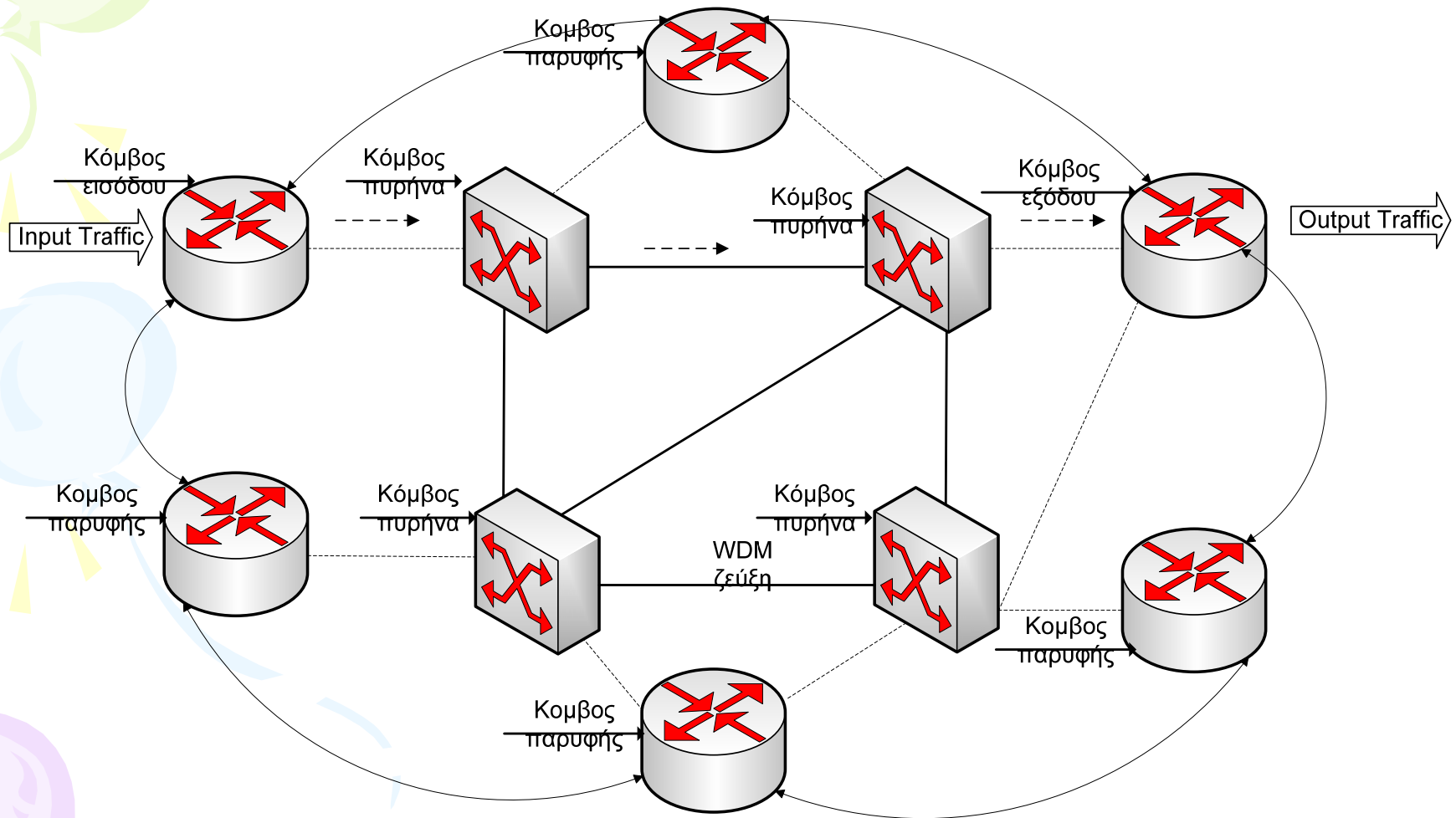
## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ OBS

- Δέσμευση των πόρων του συστήματος για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα
- Υψηλός παράγοντας αξιοποίησης (utilization) του διαθέσιμου εύρους ζώνης
- Η στατιστική πολυπλεξία επιτυγχάνεται σε πολύ υψηλό βαθμό
- Η μετάδοση μεγάλου μήκους οπτικών ριπών μειώνει τις απαιτήσεις για ταχύτατους οπτικούς μεταγωγείς

## ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑ

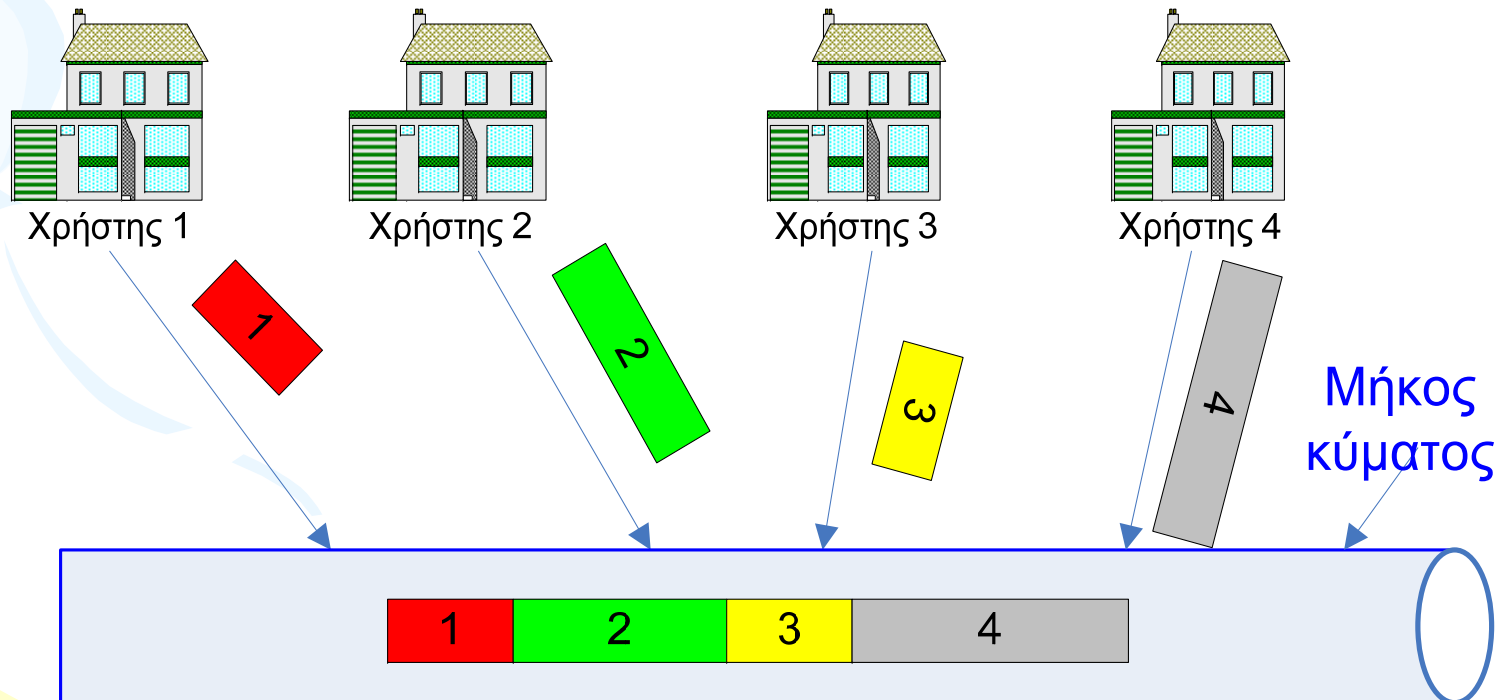
- Απαιτούνται ΟΕΟ διακόπτες στους κόμβους

# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΠΩΝ (3/9)



# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΠΩΝ (4/9)

Η βασική ιδέα της OBS αναφέρεται στην αμιγώς οπτική μετάδοση οπτικών ριπών, οι οποίοι αποτελούνται από ένα συγκεκριμένο αριθμό IP πακέτων



# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΠΩΝ (5/9)

- Πριν από τη μετάδοση των οπτικών ριπών, ένα πακέτο ελέγχου (control packet) αποστέλλεται από τον κόμβο προέλευσης, με σκοπό να διαμορφώσει τους μεταγωγείς κατά μήκος της διαδρομής της οπτικής ριπής
- Μία χρονική μετατόπιση (offset time) μεταξύ πακέτου ελέγχου και οπτικής ριπής, επιτρέπει τη διαμόρφωση των μεταγωγέων πριν την άφιξη της ριπής (δεν απαιτούνται μέσα αποθήκευσης στους ενδιάμεσους κόμβους)
- Οι διεργασίες δέσμευσης των απαραίτητων πόρων του συστήματος είναι one-way ή two-way

η οπτική ριπή αποστέλλεται  
μετά από τον προκαθορισμένο  
χρόνο μετατόπισης (χωρίς  
acknowledgement)

η οπτική ριπή αποστέλλεται  
μετά από τη λήψη  
acknowledgement για τη  
δέσμευση πόρων



# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΠΩΝ (6/9)

## ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ

- Στο πρωτόκολλο Just-In-Time (JIT), πραγματοποιείται δέσμευση του απαιτούμενου εύρους ζώνης από έναν κόμβο αμέσως μόλις ληφθεί το πακέτο ελέγχου, ενώ αυτό το εύρος ζώνης αποδεσμεύεται αμέσως μετά την εξυπηρέτηση της οπτικής ριπής.
- Στο πρωτόκολλο Just-Enough-Time (JET) η δέσμευση του εύρους ζώνης πραγματοποιείται κατά τη στιγμή της άφιξης της οπτικής ριπής στον κόμβο. Και στα δύο πρωτόκολλα η οπτική ριπή μεταδίδεται μετά από χρόνο ίσο με το χρόνο μετατόπισης, χωρίς να αναμένει κάποιο πακέτο επιβεβαίωσης (one-way reservation process)

# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΠΩΝ (7/9)

## Quality-of-Service

Ο καθορισμός της ποιότητας υπηρεσίας πραγματοποιείται με τον προσδιορισμό προτεραιοτήτων μεταξύ των διαφορετικών υπηρεσιών

**Real-time εφαρμογές → μεγάλη προτεραιότητα**

Στην περίπτωση που δεν βρεθούν οι απαραίτητοι πόροι, η εξυπηρέτηση της ριπής υψηλής προτεραιότητας μπορεί να επιτευχθεί, αλλά σε βάρος μίας ριπής χαμηλής προτεραιότητας

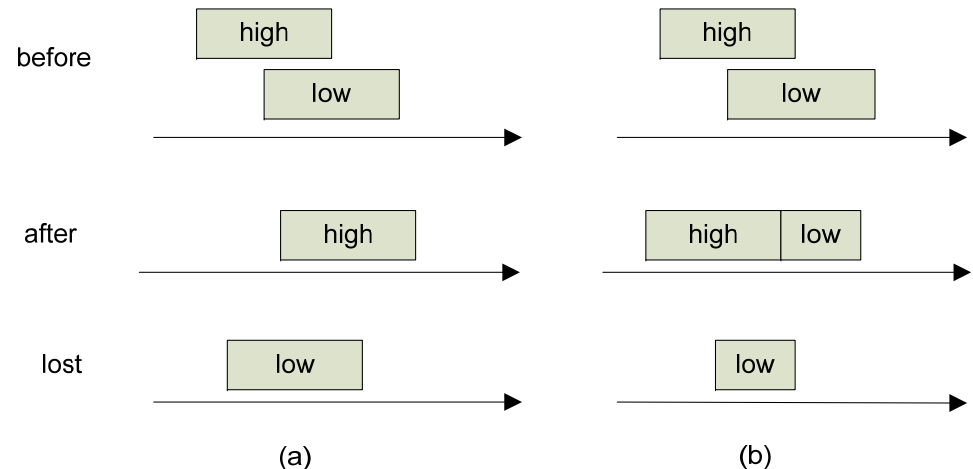
# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΠΩΝ (8/9)

## Quality-of-Service

Ο καθορισμός της ποιότητας υπηρεσίας πραγματοποιείται με τον προσδιορισμό προτεραιοτήτων μεταξύ των διαφορετικών υπηρεσιών

Στην περίπτωση που δεν βρεθούν οι απαραίτητοι πόροι, η εξυπηρέτηση της ριπής υψηλής προτεραιότητας μπορεί να επιτευχθεί, αλλά σε βάρος μίας ριπής χαμηλής προτεραιότητας

preemption  
technique



# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΠΩΝ (9/9)

## Quality-of-Service

Η παροχή ποιότητας υπηρεσίας σε διαφορετικές εφαρμογές μπορεί να εκφραστεί με τον ορισμό ορίων, σχετικών με την πιθανότητα απόρριψης ριπής

### Δύο μέθοδοι

#### **absolute QoS**

ορίζονται συγκεκριμένες εγγυήσεις σε κάθε υπηρεσία

#### **relative QoS**

οι εγγυήσεις ορίζονται συναρτήσει των εγγυήσεων άλλων υπηρεσιών

Για τη διατήρηση των εγγυήσεων υψηλών προτεραιοτήτων, οι ριπές χαμηλής προεραioτητας χάνονται



# ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

- ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΓΩΝ

- **ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ**

- ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

- ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

- TDMA-PONs

- OCDMA-PONs

- WDM-PONs

# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ (1/5)

**Τα οπτικά δίκτυα δρομολόγησης μήκους κύματος παρουσιάζουν 2 βασικά μειονεκτήματα:**

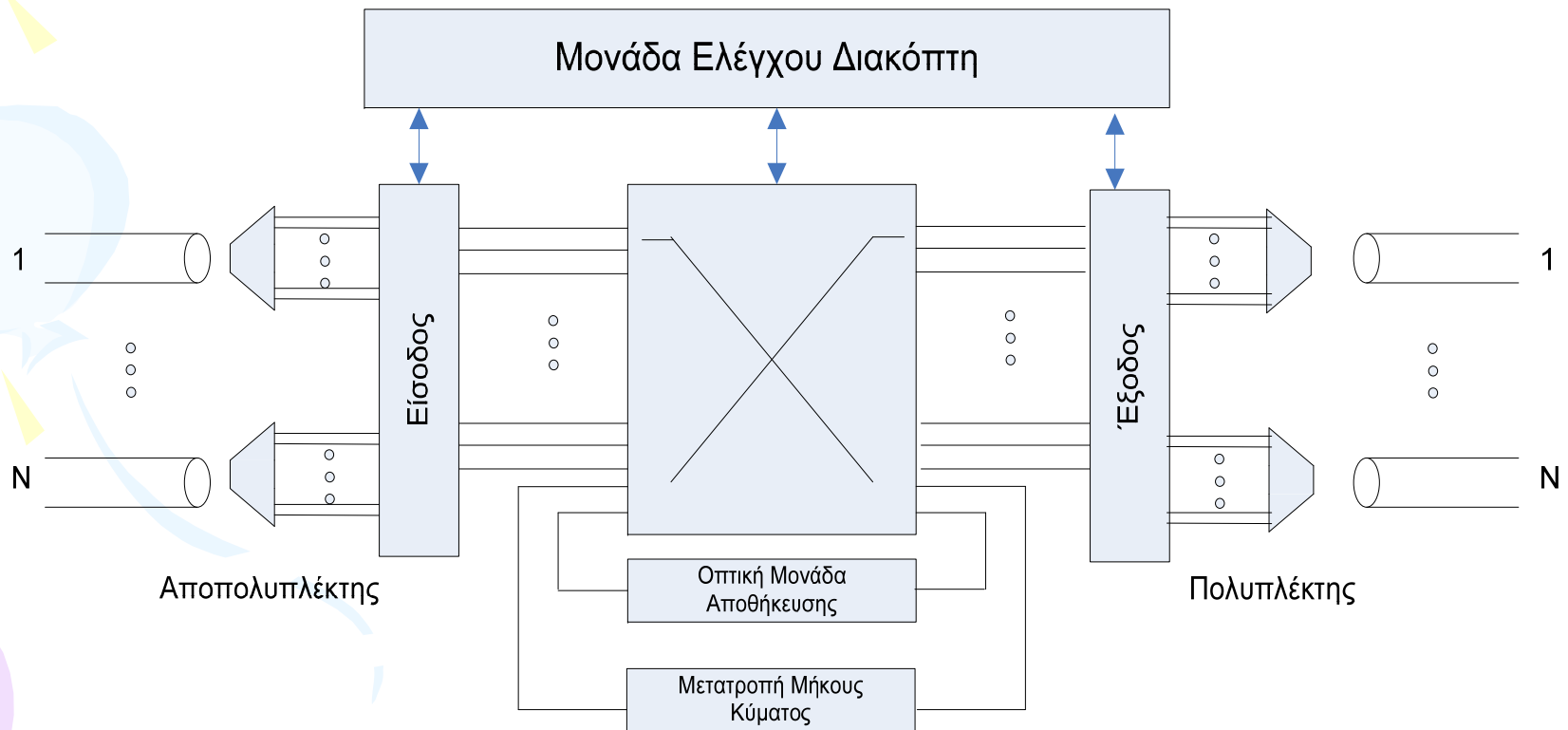
Ο μεγάλος αριθμός μηκών κύματος για την εξυπηρέτηση όλων των αιτήσεων σύνδεσης

Ο αυστηρά σταθερός ρυθμός μετάδοσης

- Η μεταγωγή οπτικών πακέτων (Optical Packet Switching-OPS) αποτελεί τη λύση για τη μεταγωγή δεδομένων αποκλειστικά στην οπτική περιοχή
- Στην OPS ένα lightpath διατηρείται αποκλειστικά στο οπτικό επίπεδο και οι πόροι του διαμοιράζονται και από τους ενδιάμεσους κόμβους

# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ (2/5)

## Αρχιτεκτονική κόμβου δικτύου OPS



# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ (3/5)

## Τεχνικές μείωσης του Packet Loss Ratio (PLR)

Χρήση FDLs, μετατροπείς μήκους κύματος

- Τα πακέτα που αδυνατούν να μεταδοθούν από ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος σε μία συγκεκριμένη χρονοθυρίδα, χρησιμοποιούν ένα άλλο ελεύθερο μήκος κύματος
- Τα πακέτα που αδυνατούν να μεταδοθούν από ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος σε μία συγκεκριμένη χρονοθυρίδα, τοποθετούνται σε γραμμή καθυστέρησης
- Τα πακέτα που αδυνατούν να μεταδοθούν από ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος σε μία συγκεκριμένη χρονοθυρίδα, μεταδίδονται μέσω άλλης οπτικής ίνας στο ίδιο μήκος κύματος και στην ίδια χρονοθυρίδα



# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ (4/5)

## Quality-of-Service

Η παροχή εγγύησης ποιότητας υπηρεσίας σε ένα OPS δίκτυο μπορεί να εκφραστεί μέσα από τον ορισμό κάποιων απόλυτων ορίων PLR για όλες τις προτεραιότητες (absolute guarantees), ή μέσα από τον ορισμό σχετικών ορίων μεταξύ των προτεραιοτήτων (relative guarantees)

### absolute guarantees

περιορισμός πρόσβασης  
(access restriction)

δέσμευση πόρων  
(preemption)

απόρριψη πακέτων  
(packet dropping)

# ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ (5/5)

## Quality-of-Service

### Τεχνικές μείωσης του PLR

- Περιορισμός πρόσβασης ένα σύνολο από τους διαθέσιμους πόρους του δικτύου, όπως μήκη κύματος, μετατροπείς μήκους κύματος κ.τ.λ., δεσμεύονται αποκλειστικά για την κίνηση υψηλής προτεραιότητας
- Preemptive τεχνικές, όπου όταν όλοι οι πόροι είναι κατειλημμένοι, ένα πακέτο υψηλής προτεραιότητας μπορεί να δεσμεύσει τους πόρους ενός πακέτου χαμηλής προτεραιότητας, το οποίο και απορρίπτεται.
- Τεχνική απόρριψης πακέτων, όπου πακέτα χαμηλής προτεραιότητας απορρίπτονται πριν προσπαθήσουν να χρησιμοποιήσουν τους πόρους του δικτύου, με συγκεκριμένη πιθανότητα

# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΟΠΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ

Παράδειγμα Οπτικής Μεταγωγής	Αξιοποίηση Εύρους Ζώνης	Καθυστέρηση Διαμόρφωσης	Ταχύτητα Μεταγωγής	Επίβαρο Συγχρονισμού / Επεξεργασίας	Προσαρμοστικότητα σε μορφές κίνησης
Μεταγωγή Οπτικού Κυκλώματος	Χαμηλή	Υψηλή	Μικρή	Χαμηλό	Χαμηλή
Μεταγωγή Οπτικών Πακέτων	Υψηλή	Χαμηλή	Μεγάλη	Υψηλό	Υψηλή
Μεταγωγή Οπτικών Ριπών	Υψηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Χαμηλό	Υψηλή



# ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

- ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΓΩΝ
- ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ
- ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ**
- ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ
- TDMA-PONs
- OCDMA-PONs
- WDM-PONs

# ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ (1/2)

- Το δίκτυο πρόσβασης συνδέει τους παροχείς υπηρεσιών (service providers) με εταιρίες και οικιακούς χρήστες
- Οι χρήστες του αυτών των δικτύων επιζητούν την πρόσβαση σε υψηλές ταχύτητες, την προσφορά υψηλής ποιότητας υπηρεσιών διαδικτύου, ενώ το κόστος επιθυμούν να είναι χαμηλό
- οι εταιρικοί χρήστες επιζητούν μία ευρυζωνική υποδομή, μέσα από την οποία τα τοπικά τους δίκτυα να συνδέονται αξιόπιστα με το διαδίκτυο
- οι παροχείς υπηρεσιών επιθυμούν την ανάπτυξη αξιόπιστων και ταχύτατων λύσεων πρόσβασης, που θα διαθέτουν ταυτόχρονα και την κατάλληλη ευελιξία, ώστε να ανταποκριθούν σε μελλοντικές εφαρμογές

# ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ (2/2)

Προβλήματα στα δίκτυα πρόσβασης σήμερα:

συμφόρηση  
περιορισμένο εύρος ζώνης

σταθερά αυξανόμενος  
αριθμός χρηστών

Υπηρεσία	Εύρος ζώνης ανά χρήστη	Max Reach
ADSL	2 Mb/s (typical)	5.5 Km
VDSL	20 Mb/s (typical)	1 Km
Coax	2 Mb/s	0.5 Km
Wi-Fi	54 Mb/s (max)	0.1 Km
WiMax	28 Mb/s (max)	15 Km

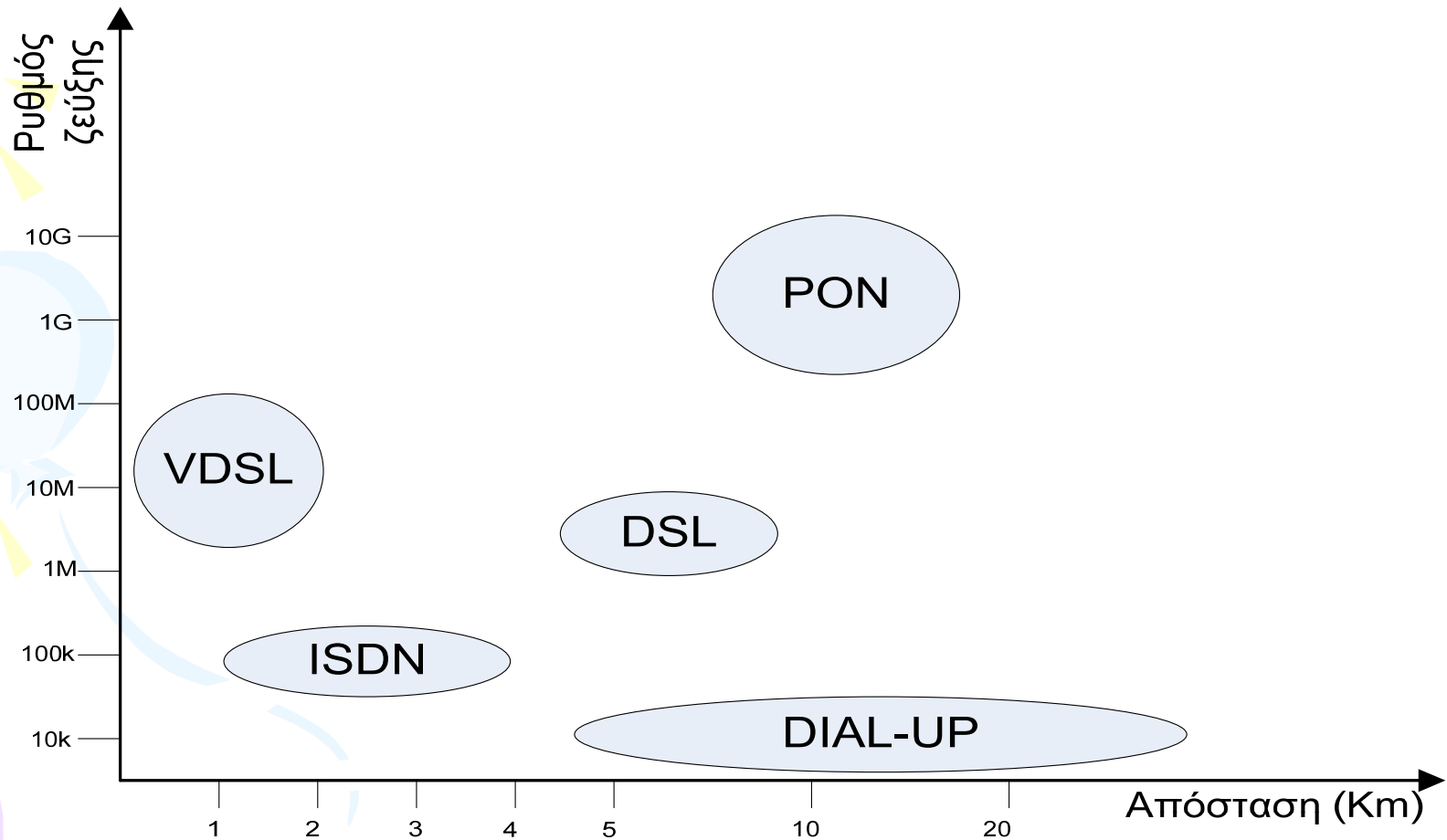
Εφαρμογή	Downstream	Upstream
HDTV (3 per home)	60 Mb/s	< 1 Mb/s
Online Gaming	2-20 Mb/s	2-20 Mb/s
VoIP Telephone (3 per home)	0.3 Mb/s	0.3 Mb/s
Data/ Email, etc.	10 Mb/s	10 Mb/s
DVD Download	14 Mb/sec	< 1 Mb/s
<b>Σύνολο</b>	~ 100 Mb/s	~ 30 Mb/s

# ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ (1/3)

- Η αντιμετώπιση των προβλημάτων των υπαρχόντων δικτύων πρόσβασης μπορεί να πραγματοποιηθεί με την εισαγωγή της οπτικής ίνας
- Τα οπτικά δίκτυα πρόσβασης υποστηρίζουν ταχύτητες της τάξεως των Gbps, με κόστος εφάμιλλο με το κόστος των DSL δικτύων
- Μία οπτική ζεύξη μπορεί να υποστηρίξει οποιαδήποτε μορφή κίνησης
- Η εγκατάσταση οπτικών δικτύων πρόσβασης θα πρέπει να ικανοποιεί οικονομικές παραμέτρους

- Fiber To The Home-FTTH
- Fiber To The Curb-FTTC
- Fiber To The Building-FTTB

# ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ (2/3)

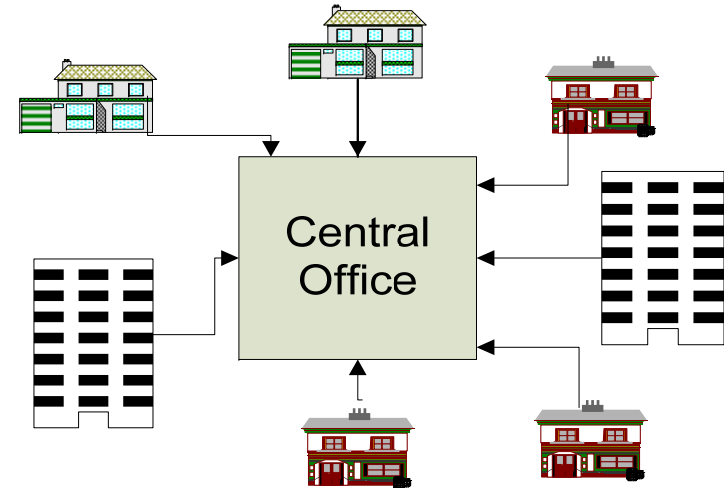




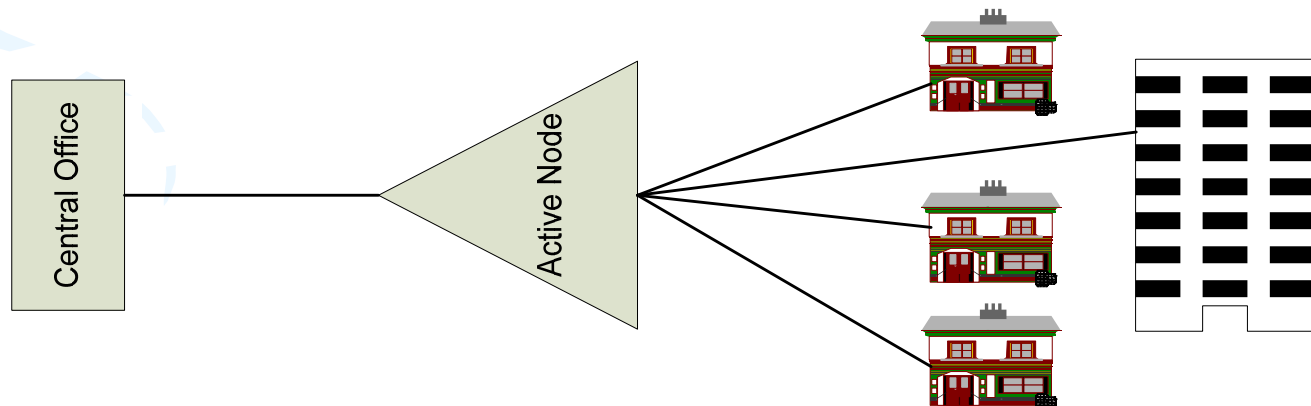
# ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ (2/3)

## ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Αρχιτεκτονική Point-to-point



Αρχιτεκτονική ενεργού κόμβου

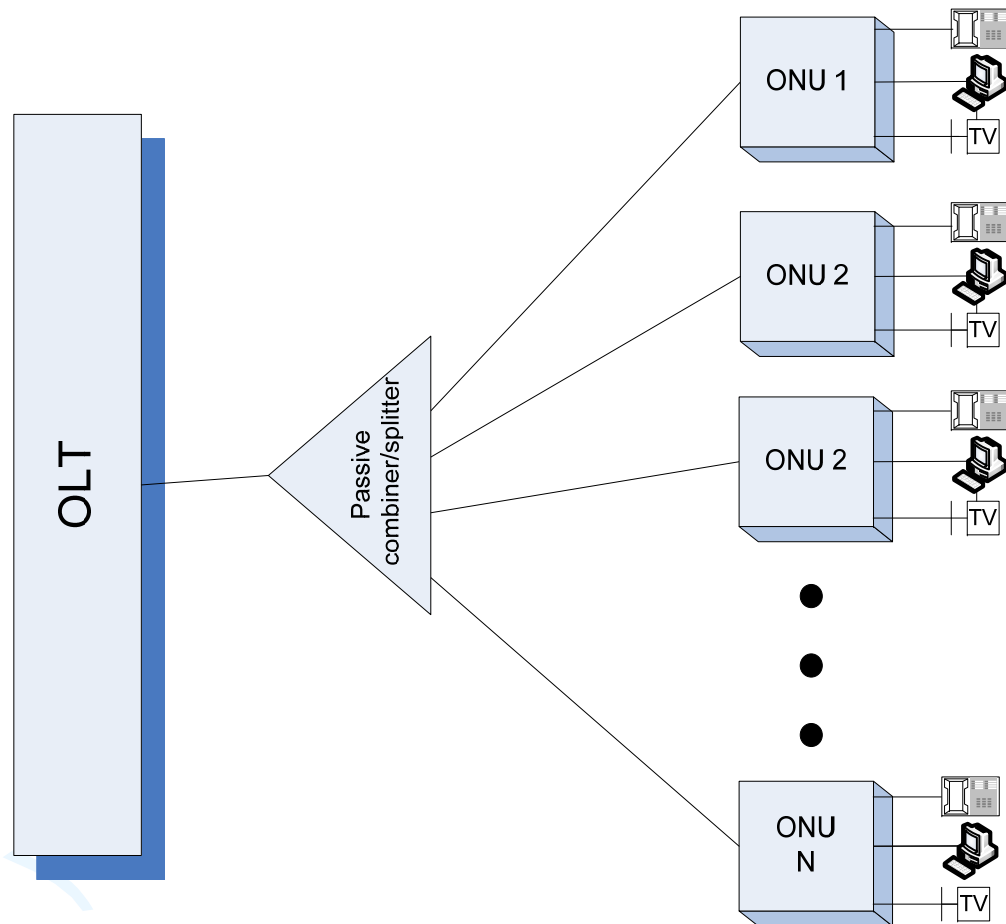




# ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

- ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΓΩΝ
- ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ
- ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ
- ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ**
- TDMA-PONs
- OCDMA-PONs
- WDM-PONs

# ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ



PASSIVE OPTICAL NETWORK (PON)

Optical Network Unit (ONU)

Optical Line Terminal (OLT)

# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

- Το συνολικό μήκος της ίνας που εγκαθίσταται στην περίπτωση της αρχιτεκτονικής Point-to-Point (PtP) είναι σημαντικά μεγαλύτερο από ότι στις άλλες δύο αρχιτεκτονικές (Point-to-Multi-Point – PtMP)
- Στην PtP το συνολικό εύρος ζώνης της οπτικής ίνας προσφέρεται σε κάθε χρήστη
- Το κόστος της χρήσης ενεργού συγκεντρωτή είναι σημαντικό (παροχή και διαχείριση της ηλεκτρικής ισχύος στον ενεργό κόμβο)
- Στην PtP και στην PtMP αρχιτεκτονική ενεργού αστέρα, σε κάθε οπτική ζεύξη πραγματοποιείται μετάδοση σήματος μεταξύ δύο οπτοηλεκτρονικών διατάξεων

# ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ PONs

- Τα PONs μπορούν να υλοποιηθούν σε οποιαδήποτε τοπολογία (bus, ring, tree, tree-and-brunch)
- Τα PONs επιτρέπουν τη σύνδεση χρηστών που βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις από το τηλεπικοινωνιακό κέντρο (πάνω από 20 Km)
- Τα PONs παρέχουν υψηλό εύρος ζώνης, λόγω της χρήσης οπτικής ίνας στα περισσότερα στάδια του δικτύου, παρέχοντας ταχύτητες της τάξεως των Gbps
- Λειτουργώντας ως δίκτυο ευρύ-εκπομπής στο κατερχόμενο επίπεδο, τα PONs επιτρέπουν τη μετάδοση video broadcasting
- Καθώς τα PONs είναι οπτικά διαφανή σε όλο το μήκος της μετάδοσης των δεδομένων, επιτρέπεται αναβάθμιση σε μεγαλύτερες ταχύτητες ή προσθήκη επιπλέον μηκών κύματος

# ΠΑΘΗΤΙΚΟΙ ΔΙΑΙΡΕΤΕΣ/ΣΥΖΕΥΚΤΕΣ

Σε ένα PON απαιτείται μία διάταξη για την διαίρεση της οπτικής ισχύος από μία οπτική ίνα σε πολλές ίνες και αντίστροφα, τη σύνδεση πολλών οπτικών σημάτων σε ένα σήμα



## OPTICAL COUPLER

- *Απώλεια διαχωρισμού (splitting loss)*: Ο λόγος της ισχύος εξόδου προς την ισχύ εισόδου. Για ένα ιδανικό 2x2 συζεύκτη ο λόγος αυτός είναι 3dB
- *Απώλεια παρεμβολής (insertion loss)*: Απώλειες ισχύος, οι οποίες οφείλονται σε τεχνικές ατέλειες του συζεύκτη κατά τη διάρκεια της κατασκευής του. Τυπικές τιμές μεταβάλλονται από 0.1 σε 1 dB
- *Κατευθυντικότητα (directivity)*: Ένα ποσοστό ισχύος μίας εισόδου προστίθεται στο ποσό ισχύος μίας δεύτερης εισόδου. Οι οπτικοί συζεύκτες είναι ισχυρά κατευθυντικές διατάξεις, με παράμετρο κατευθυντικότητας 40-50 dB



# ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

- ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΓΩΝ
- ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ
- ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ
- ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ
- **TDMA-PONs**
- OCDMA-PONs
- WDM-PONs

# TDMA-PONs

- Οι σημερινές PON διαμορφώσεις βασίζονται στην τεχνολογία της πολύπλεξης με διαίρεση χρόνου (Time Division Multiplexing (TDM))
- Η χρήση της TDM τεχνολογίας προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως το χαμηλό κόστος εξοπλισμού των χρηστών και τη χαμηλή πολυπλοκότητα
- Τα TDM-PONs έχουν επιδείξει σημαντική πρόοδο σε ότι αφορά την τυποποίηση (standardization), ενώ ήδη έχουν παρουσιαστεί εμπορικές εφαρμογές τα τελευταία χρόνια

## Time Division Multiple Access -PONs

**Asynchronous  
Transfer Mode  
PON (APON)**

**Broadband  
PON (BPON)**

**Ethernet PON  
(EPON)**

**Gigabit PON  
(GPON)**



# TDMA-PONs: ATM-PONs

- Παθητικά οπτικά δίκτυα που βασίζονται στον ασύγχρονο τρόπο μετάδοσης (Asynchronous Transfer Mode-ATM)
- Ο ρυθμός μετάδοσης στην κατερχόμενη κατεύθυνση είναι 155 ή 622 Mbps και στην ανερχόμενη κατεύθυνση 155 Mbps
- Το splitting ratio είναι 32 (με προοπτική να γίνει 64)
- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των ONUs και του OLT είναι τα 20 Km
- Για την επέκταση των ATM-PONs έχει πραγματοποιηθεί έρευνα σε ταχύτητες 622, 1244 και 2488 Mbps και για τις δύο κατευθύνσεις (splitting ratio 128 και 256)
- Καθώς τα APONs δεν υποστηρίζουν μόνο ATM υπηρεσίες, ο όρος μετατράπηκε σε Broadband PON (BPON) (ITU-T G.983.1)

# TDMA-PONs: EPONs

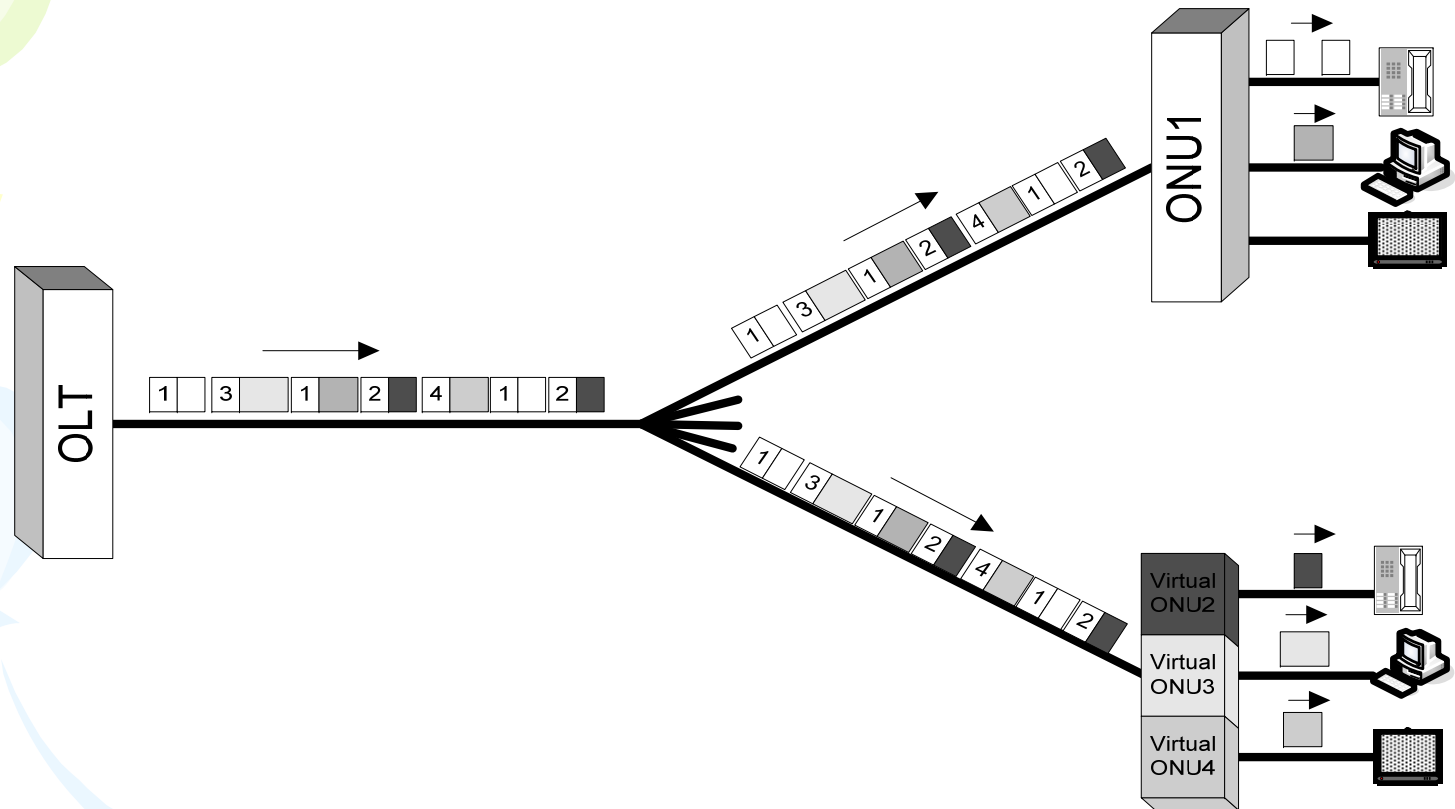
- Η τεχνολογία Ethernet παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως μικρό κόστος και αξιοπιστία
- QoS τεχνικές παρέχουν αξιόπιστη υποστήριξη φωνής, δεδομένων και βίντεο (prioritization- 802.1p, virtual LAN-VLAN tagging-802.1Q)



## **Ethernet PONs – EPONs**

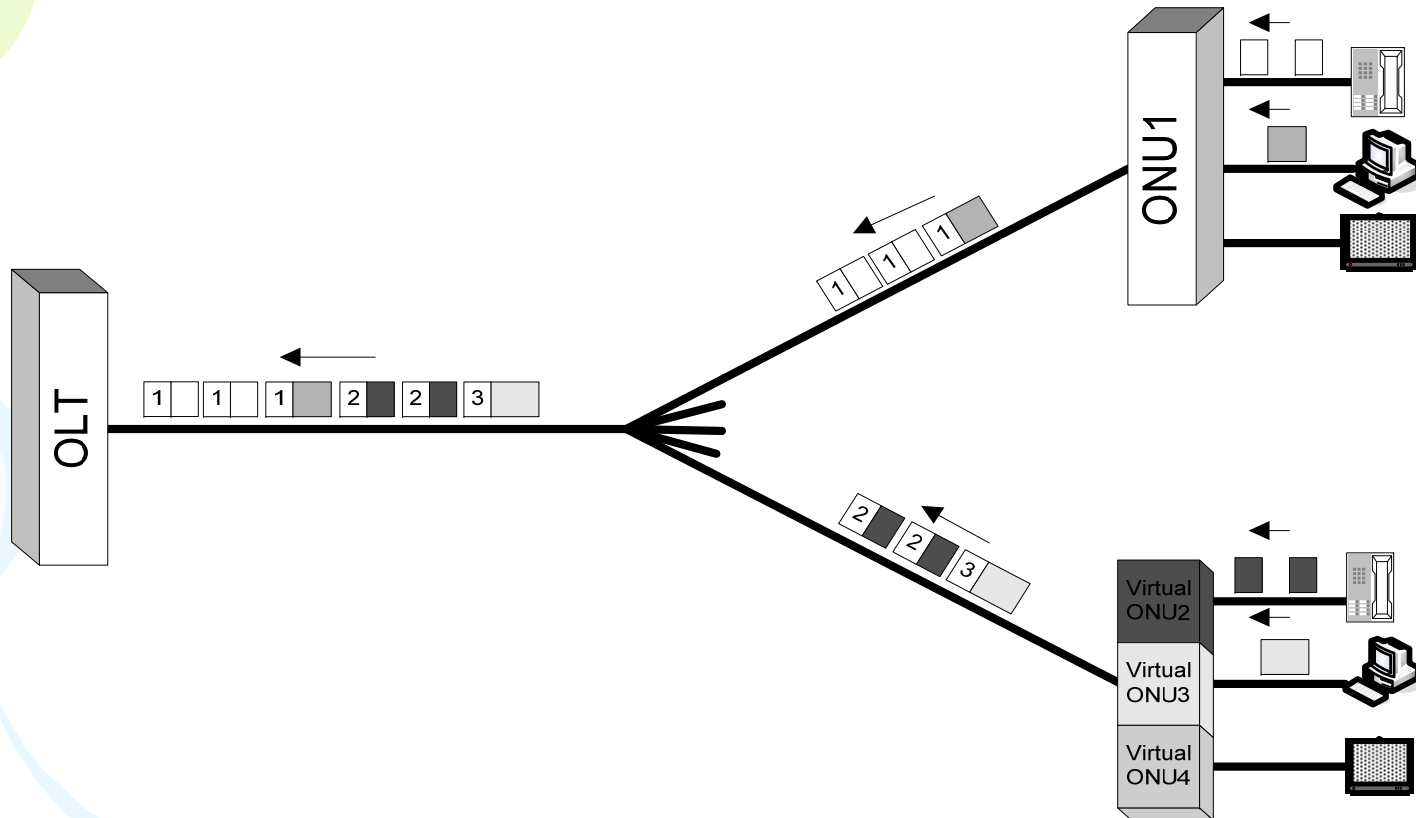
- Τα EPONs έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς πακέτων μεταβλητού μήκους, έως 1518 bytes, σε αντίθεση με τα πακέτα σταθερού μήκους των ATM-PONs
- Νεότερες εκδόσεις των EPONs έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς ATM πλαισίων μαζί με Ethernet πακέτα με μεγάλη αξιοπιστία
- Τα EPONs εμφανίζονται ως τα επικρατούντα μελλοντικά δίκτυα πρόσβασης σε σχέση με τα ATM-PONs (APONs)

# EPONs: ΚΑΤΕΡΧΟΜΕΝΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ



- Μετάδοση με ρυθμό 1.25 Gbps, με τη χρήση του πρωτοκόλλου 802.3ah, στα 1490  $\mu\text{m}$
- Τα πακέτα μεταβλητού μήκους τοποθετούνται σε πλαίσια σταθερής διάρκειας
- Κάθε ONU στέλνει πλαίσια σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή

# EPONs: ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ



- Στην ανερχόμενη (upstream) κατεύθυνση, δεδομένα από ένα χρήστη καταφθάνουν μόνο στο OLT και όχι σε άλλους χρήστες
- Απαιτείται ένας επιπρόσθετος μηχανισμός για την αποφυγή συγκρούσεων και τον δίκαιο καταμερισμό της χωρητικότητας του καναλιού

# QoS ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ EPONs (1/2)

- Στα EPONs, η ποιότητα υπηρεσίας αναφέρεται στην ικανότητα του δικτύου να παρέχει κάποια όρια σε παραμέτρους όπως το εύρος ζώνης, καθυστέρηση (latency), απόκλιση της καθυστέρησης (delay variation- jitter) και λόγος απώλειας πακέτων (packet loss ratio)
- Η διαφοροποίηση των υποστηριζόμενων υπηρεσιών είναι αναγκαία και πραγματοποιείται με την παροχή διαφορετικών εγγυήσεων QoS σε κάθε υπηρεσία
- Χρήση ουρών προτεραιοτήτων (priority queues). Τα πακέτα διαφορετικών προτεραιοτήτων τοποθετούνται σε διαφορετικές ουρές. Αν κατά την άφιξη ενός πακέτου υψηλής προτεραιότητας η αντίστοιχη ουρά είναι γεμάτη, τότε το πακέτο αυτό αντικαθιστά ένα πακέτο χαμηλής προτεραιότητας

# QoS ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ EPONs (2/2)

Στα EPONs η κατερχόμενη σύνδεση, δεν δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα, καθώς η συνολική κίνηση προς όλους τους χρήστες μεταδίδεται με τη μορφή ευρύ-εκπομπής και κάθε χρήστης αποπολυπλέκει μόνο τις χρονοθυρίδες που προορίζονται σε αυτόν με βάση τις MAC διευθύνσεις τους

Στην ανερχόμενη κατεύθυνση εμφανίζεται η πιθανότητα δύο ή περισσότεροι χρήστες να μεταδίδουν την ίδια χρονική στιγμή, γεγονός που οδηγεί στη σύγκρουση των πακέτων

Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time (IPACT): Το διαθέσιμο εύρος ζώνης κατανέμεται δυναμικά στους ONUs με βάση την αναφερόμενη κατάσταση των ουρών τους

Multi -Point Control Protocol (MPCP)

# EPONs: MPCP

## **Multi-Point Control Protocol-MPCP: δυναμικός μηχανισμός κατανομής του εύρους ζώνης στα EPONs**

- Μηχανισμός προγραμματισμού προγραμματισμό μεταξύ των ONUs (inter-ONU scheduling)
- Το MPCP αποτελείται από τρεις λειτουργίες:
  1. Διεργασία Ανίχνευσης (Discovery Processing): Σε αυτή τη λειτουργία ανιχνεύονται και καταχωρούνται οι χρήστες του δικτύου
  2. Διαχείριση Αναφορών (Report Handling): Οι ONUs δημιουργούν μηνύματα αναφοράς, με τα οποία μεταδίδονται οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης στο OLT
  3. Διαχείριση Πύλης (Gate Handling): Τα μηνύματα πύλης χρησιμοποιούνται από το OLT για τη δέσμευση χρονοθυρίδων

# Gigabit PON-GPON

- Η επέκταση της χωρητικότητας των PONs στην περιοχή των Gbps, πραγματοποιήθηκε με την τυποποίηση του GPON από την ITU στη σειρά πρωτοκόλλων G.984.x
- Ο μέγιστος λόγος διαχωρισμού είναι 128, και η μέγιστη απόσταση ενός ONU από το OLT είναι 20 Km
- Στην κατερχόμενη κατεύθυνση οι ρυθμοί μετάδοσης που υποστηρίζονται είναι 1244.16 ή 2488.32 Mbps, ενώ η φασματική περιοχή του καναλιού που χρησιμοποιείται σε αυτή την κατεύθυνση περιορίζεται στα 1480-1500 nm
- Στην ανερχόμενη κατεύθυνση, οι ρυθμοί μετάδοσης που χρησιμοποιούνται είναι 155.52, 622.08, 1244.16 και 2488.32 Mbps, ενώ το κανάλι λειτουργεί στην περιοχή των 1260-1360 nm
- Μεταδίδονται πλαίσια σταθερής διάρκειας (125  $\mu$ s), τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν διάφορες μορφές πακέτων (Ethernet, ATM, IP κ.τ.λ)





# ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

- ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΓΩΝ
- ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ
- ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ
- ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ
- TDMA-PONs
- **OCDMA-PONs**
- WDM-PONs

# Optical Code Division Multiple Access

## **Optical Code Division Multiple Access:**

μηχανισμός πρόσβασης ο οποίος παρέμεινε εκτός ερευνητικής δραστηριότητας για μεγάλο χρονικό διάστημα εξαιτίας της αδυναμίας κατασκευής κατάλληλων οπτικών διατάξεων

Η πολύπλεξη με διαίρεση οπτικού κώδικα (Optical Code Division Multiplexing-OCDM) είναι μία διαδικασία πολύπλεξης, όπου ο διαχωρισμός των τηλεπικοινωνιακών καναλιών καθορίζεται από διαφορετικούς οπτικούς κώδικες και όχι από διαφορετικά μήκη κύματος ή χρονοθυρίδες.

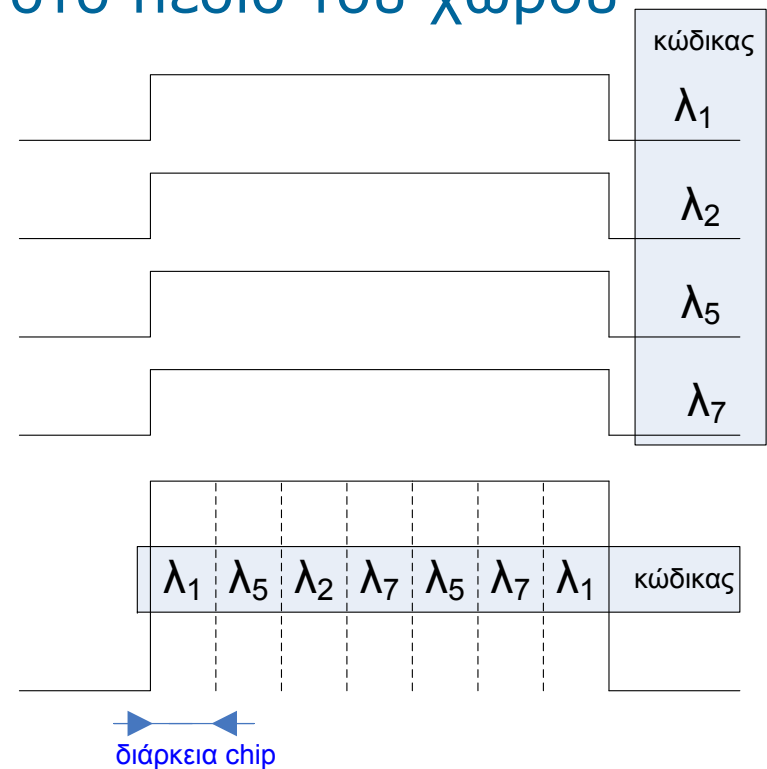
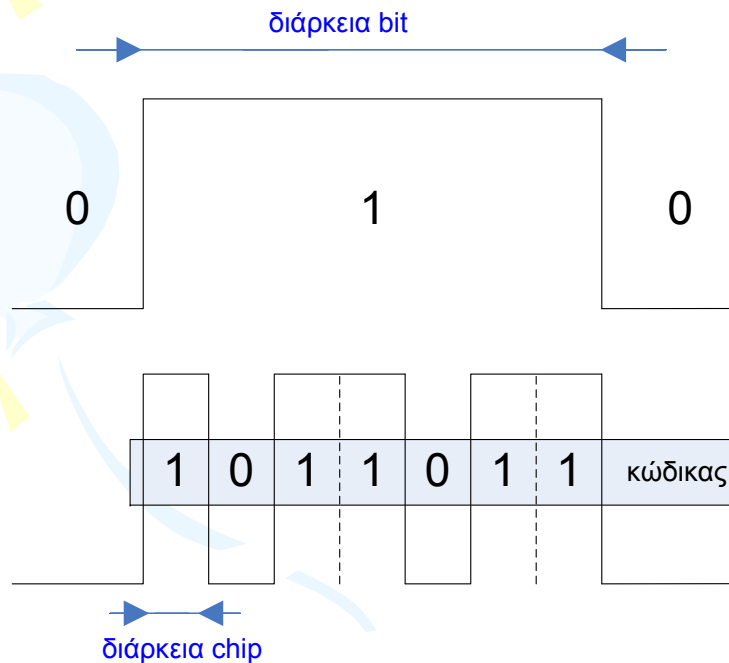
Στη διαδικασία μετάδοσης, κάθε bit δεδομένων υποβάλλεται σε μία διαδικασία εγκωδίκευσης (encoding)

στο δέκτη απαιτείται η διαδικασία αποκωδίκευσης (decoding) για την ανάκτηση των δεδομένων

Η OCDMA είναι η εφαρμογή της OCDM τεχνολογίας στον έλεγχο πρόσβασης πολλών χρηστών

# ΟΠΤΙΚΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Encoding: πολλαπλασιασμός των bits δεδομένων με μία αλληλουχία κώδικα, είτε στο πεδίο του χρόνου, είτε στο πεδίο του μήκους κύματος, είτε στο πεδίο του χώρου



**Συνδυασμός: 2-D OCDMA**

# OCDMA: ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ

- Σε ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί την OCDMA τα σήματα από διαφορετικούς χρήστες συνδυάζονται και κάθε σταθμός λήψης λαμβάνει αυτό το συνολικό σήμα
- Τα μη επιθυμητά σήματα σε ένα δέκτη εμφανίζονται ως θόρυβος και είναι γνωστά ως παρεμβολή πολλαπλής πρόσβασης (Multiple-Access Interference-MAI)
- Στα OCDMA συστήματα εμφανίζονται και άλλες πηγές θορύβου:

θερμικός θόρυβος  
(thermal noise)

θόρυβος κρούσης  
(shot noise)

θόρυβος ενίσχυσης αυθόρμητης  
εκπομπής (Amplifier  
Spontaneous Emission-ASE)

Αυτές οι μορφές θορύβου έχουν ελάχιστη επίδραση στην απόδοση των OCDMA συστημάτων, σε σύγκριση με την επίδραση της MAI



# OCDMA: ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

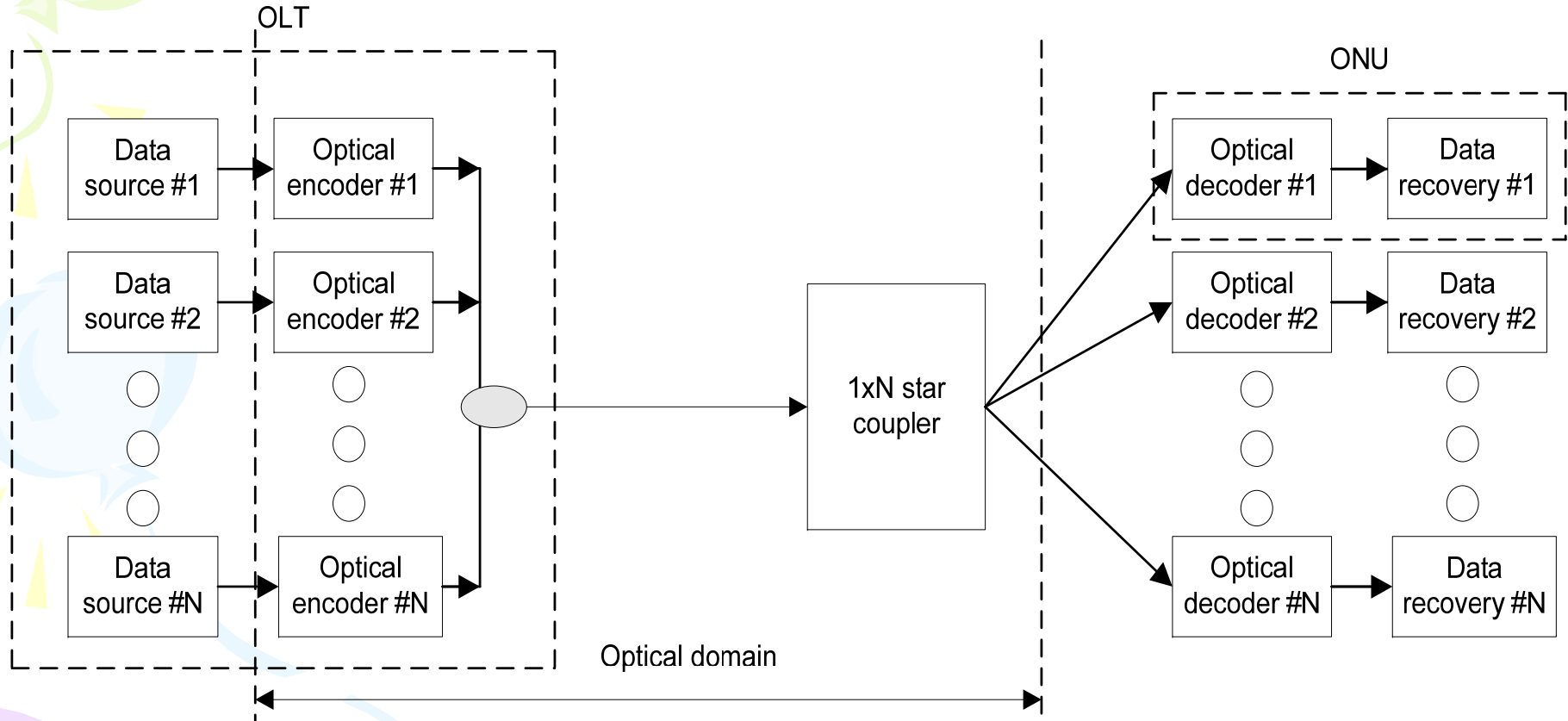
- Λειτουργία ασύγχρονης μετάδοσης, που απλοποιεί τον έλεγχο πρόσβασης στο μέσο σε σχέση με την TDMA, η οποία απαιτεί αυστηρό συγχρονισμό
- Η OCDMA προσφέρει μεγαλύτερο αριθμό καναλιών σε σχέση με την WDMA
- Η υποστήριξη επιπρόσθετων χρηστών στο δίκτυο πραγματοποιείται με πολύ μικρό κόστος και χωρίς να επηρεάζεται το εύρος ζώνης που έχει ανατεθεί σε άλλους χρήστες
- Ταυτόχρονη μετάδοση κίνησης που προέρχεται από διαφορετικές υπηρεσίες
- Η OCDMA τεχνολογία παρουσιάζει διαφάνεια και οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης και διαμορφώσεις
- Η OCDMA προσφέρει υψηλά επίπεδα ασφάλειας, σε σχέση με τις μεθόδους WDMA και TDMA



# ΟCDMA: ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

- Το κόστος των διατάξεων είναι σημαντικό, κυρίως στην 2D-ΟCDMA, όπου ο πομπός κάθε χρήστη θα πρέπει να λειτουργεί σε διαφορετικά μήκη κύματος
- Η αναπόφευκτη παρουσία της ΜΑΙ περιορίζει την αποδοτικότητα του δικτύου, κυρίως σε επίπεδο αριθμού χρηστών
- Η διασπορά λόγω του υψηλού εγκωδικοποιημένου ρυθμού μετάδοσης του σήματος περιορίζει την απόσταση των OLTs από το OLT
- Η φασματική εξάπλωση προκαλεί μειωμένη φασματική απόδοση σε σχέση με την WDMA
- Η σηματοδότηση είναι μονοπολική: Optical Orthogonal Coding-OOC), όπου οι κώδικες δεν είναι ακριβώς ορθογώνιοι, στοιχείο που μειώνει τον αριθμό των διαθέσιμων κωδικών

# OCDMA-PONs



Οι λειτουργίες coding και decoding πραγματοποιούνται αποκλειστικά στο οπτικό επίπεδο



# ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

- ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΡΙΓΩΝ
- ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ
- ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ
- ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ
- TDMA-PONs
- OCDMA-PONs
- **WDM-PONs**



# WDM-PONs (1/5)

## Βασικά μειονεκτήματα των TDMA-PONs και OCDMA-PONs

Το εύρος ζώνης περιορίζεται από το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης των οπτικών πομποδεκτών

Η εξασθένηση λόγω των απωλειών διαίρεσης περιορίζει τον αριθμό των ONUs σε 64

Η υλοποίηση της τεχνολογίας FTTx για την παροχή ενοποιημένων υπηρεσιών φωνής, δεδομένων και βίντεο, γνωστό ως “triple-play”, απαιτεί την προσφορά τεράστιου εύρους ζώνης



WDM-PONs: χρήση διαφορετικού μήκους κύματος για τη ζεύξη του OLT με κάθε ONU

# WDM-PONs (2/5)

Η χρήση της WDM τεχνολογίας στα δίκτυα πρόσβασης αρχικά θεωρήθηκε ως αναποτελεσματική λόγω του αυξημένου κόστους του εξοπλισμού

κάθε χρήστης έχει τη δυνατότητα μετάδοσης σε οποιοδήποτε από τα μήκη κύματος που υποστηρίζει το δίκτυο: αναγκαιότητα τοποθέτησης πομπών laser μεταβλητού μήκους κύματος



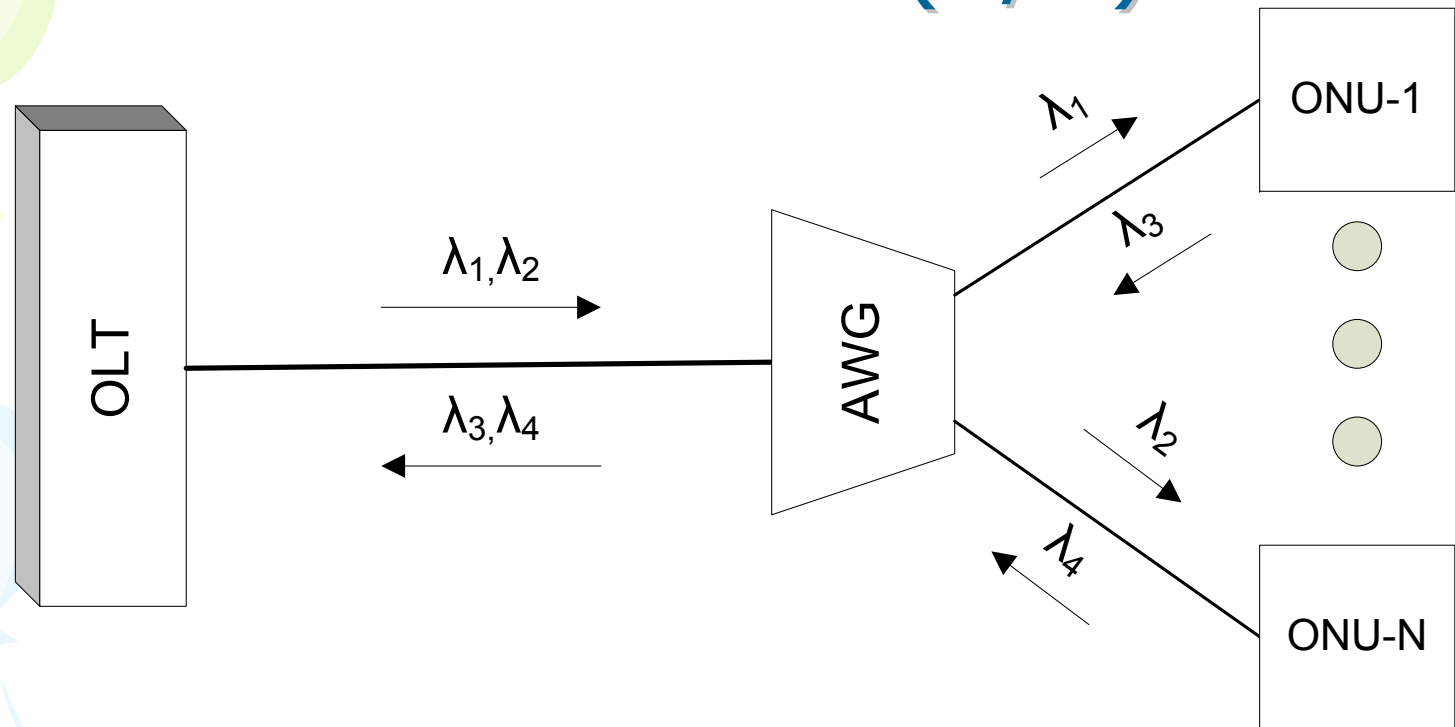
Εκπομπή ενός οπτικού σήματος συνεχούς φάσματος από το OLT. Κάθε χρήστης διαθέτει ένα οπτικό διαμορφωτή, ο οποίος διαμορφώνει μία συνιστώσα αυτού του σήματος, ενώ η ύπαρξη οπτικών ενισχυτών ημιαγωγού (Semiconductor Optical Amplifiers-SOAs) ενισχύει κατάλληλα το σήμα ώστε να ανακλαστεί πίσω στο OLT.

# WDM-PONs (3/5)

## Αρχιτεκτονικές για την υλοποίηση των WDM-PONs

- Μία προσέγγιση αναφέρεται στην ανάθεση ενός μήκους κύματος για την ανερχόμενη κατεύθυνση σε όλους τους ONUs και ένα μήκος κύματος ανά ONU για την κατερχόμενη κατεύθυνση
- Σε μία δεύτερη προσέγγιση, σε κάθε ONU ανατίθεται ένα μήκος κύματος, μέσω του οποίου μεταφέρονται δεδομένα από και προς τον ONU (είτε ένα μήκος κύματος για την ανερχόμενη και ένα για την κατερχόμενη κατεύθυνση ανά ONU, είτε ένα μήκος κύματος και για τις δύο κατευθύνσεις ανά ONU)
- Ανάλογα με τη συμπεριφορά των ONUs, ενδέχεται να χρησιμοποιηθεί ένας συνδυασμός των δύο παραπάνω προσεγγίσεων

# WDM-PONs (4/5)



**COARSE DWM (CDWM):**  
μικρός αριθμός μηκών  
κύματος (8-16) με channel  
spacing 20 nm, στην  
περιοχή των 1300-1600  
nm

**DENSE DWM (DDWM):**  
μεγάλος αριθμός μηκών  
κύματος με channel  
spacing 0.2 έως 0.8 nm ,  
στην περιοχή των 1300-  
1550 nm

# WDM-PONs (5/5)

## Ανάθεση των μηκών κύματος σε κάθε ONU

Στατική ανάθεση μηκών κύματος, όπου κάθε ONU χρησιμοποιεί ένα σταθερό μήκος κύματος, επομένως ο εξοπλισμός του περιλαμβάνει στατικούς πομποδέκτες.

Δυναμική ανάθεση μηκών κύματος, όπου σε κάθε ONU που επιθυμεί πρόσβαση στο δίκτυο ανατίθεται ένα από τα διαθέσιμα μήκη κύματος: (colorless ONUs)

## Ανάθεση των πόρων του κάθε μήκους κύματος στους τελικούς χρήστες των ONUs

Σε κάθε τελικό χρήστη ανατίθεται μία συγκεκριμένη χρονοθυρίδα, οπότε ο αριθμός των τελικών χρηστών καθορίζεται από τη χωρητικότητα του καναλιού

Δυναμική ανάθεση των χρονοθυρίδων, όπου με την αίτηση του χρήστη του ανατίθεται μία ή περισσότερες χρονοθυρίδες, εφόσον αυτές είναι διαθέσιμες

# ΑΝΑΦΟΡΕΣ (1/4)

1. B. Mukherjee, "Optical WDM Networks", Springer, 2006.
2. G. Kramer, "Ethernet Passive Optical Networks", McGraw Hill, 2005.
3. T. Koonen, "Fiber to the Home/Fiber to the Premises: What, Where, and When?", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 94, No. 5, pp. 911-934, May 2006.
4. N. J. Frigo, P. P. Iannone, and K. C. Reichmann, "A view of fiber to the home economics", *IEEE Communication Magazine*, Vol. 42, No. 8, pp. S16-S23, August 2004.
5. C. Lin, "Broadband Optical Access Networks and Fiber-to-the-Home", Wiley, 2006.
6. C. Sierens, D. Mestdagh, G. Van Der Plas, J. Vandewege, G. Depovere, and P. Debie, "Subcarrier multiple access for passive optical networks and comparison to other multiple access techniques," in *Proc. IEEE Global Telecommunications Conf., (GLOBECOM 1991)*, Vol. 1, pp. 619-623, 1991.
7. H. Ueda, K. Okada, B. Ford, G. Mahony, S. Hornung, D. Faulkner, J. Abiven, S. Durel, R. Ballart, and J. Erickson, "Deployment status and common technical specifications for a B-PON system", *IEEE Communication Magazine.*, Vol. 39, No. 12, pp. 134-141, Dec. 2001.
8. IEEE 802.3ah Ethernet in the first mile task force. [Online]. Available: <http://www.ieee802.org/3/efm/index.html>.
9. C.-J. Chae, E. Wong, and R. S. Tucker, "Optical CSMA/CD Media Access Scheme for Ethernet Over Passive Optical Network", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 14, No. 5, pp. 711-713, May 2002.
10. F. Effenberger, D. Cleary, O. Haran, G. Kramer, R. Ding Li, M. Oron, T. Pfeiffer, "An Introduction to PON Technologies", *IEEE Communications Magazine*, pp. S17-S25, March 2007.
11. G. Kramer, B. Mukherjee, and G. Pesavento, "IPACT: A Dynamic Protocol for an Ethernet PON (EPON)," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, No. 2, pp. 74-80, February 2002.

# ΑΝΑΦΟΡΕΣ (2/4)

12. A. Gumaste and I. Chlamtac, "A Protocol to Implement Ethernet Over PON", *In Proc., IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Vol. 2, pages 1345–1349, Anchorage, AK, May 2003.
13. M. Ma, Y. Zhu, and T. H. Cheng, "A Systematic Scheme for Multiple Access in Ethernet Passive Optical Networks", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 23, No. 11, pp. 3671–3682, November 2005.
14. M. P. McGarry and M. Reisslein, "WDM Ethernet Passive Optical Networks", *IEEE Communications Magazine*, pp. S18–S25, February 2005.
15. R. Davey, F. Bourgart, and K. McCammon, "Options for Future Optical Access Networks", *IEEE Communications Magazine*, October 2006.
16. K. Fouli and M. Maier, "OCDMA and Optical Coding: Principles, Application, and Challenges", *IEEE Communications Magazine*, August 2007.
17. T. Demeechai, "On noise-limited performance of noncomplementary spectral-amplitude coding optical CDMA systems," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 54, No. 1, pp. 29–31, January 2006.
18. A. E. Willner, P. Saghari, and V. R. Arbab, "Advanced Techniques to Increase the Number of Users and Bit Rate in OCDMA Networks", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol. 13, No. 5, pp. 1403–1414, September/October 2007.
19. K. Kitayama, X. Wang, and N. Wada, "OCDMA Over WDM PON-Solution Path Gigabit-Symmetric FTTH", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 24, No. 4, April 2006.
20. J-F. Huang, Y-T Chang, C-C Hsu, "Hybrid WDM and optical CDMA implemented over waveguide-grating-based fiber-to-the-home networks", *Optical Fiber Technology*, 13, pp. 215–225, 2007.
21. C. C. Yang, "Hybrid wavelength-division-multiplexing/spectral-amplitude-coding optical CDMA system", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 17, No. 6, pp. 1343–1345, 2005.

# ΑΝΑΦΟΡΕΣ (3/4)

22. J. Kani, K. Iwatsuki, and T. Imai, "Optical Multiplexing Technologies for Access-Area Applications", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol. 12, No. 4, pp.661-668, July/August 2006.
23. A. R. Dhaini, C. M. Assi, M. Maier and A. Shami, "Dynamic Wavelength and Bandwidth Allocation in Hybrid TDM/WDM EPON Networks", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 25, No. 1, pp.277-286, January 2007.
24. S. Park, C. Lee, K. Jeong, H. Park, J. Ahn and K. Song, "Fiber-to-the Home Services Based on Wavelength-Division Multiplexing Passive Optical Networks", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 22, No. 11, pp.2582-2591, November 2004.
25. C. Lee, W. V. Sorin, and Y. Kim, "Fiber to the Home Using a PON Infrastructure", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 24, No. 12, pp. 4568-4583, December 2006.
26. Z. ChongFu, Q. Kun, and X. Bo, "Passive optical networks based on optical CDMA: Design and system analysis", *Chinese Science Bulletin*, Vol. 52, No. 1, pp. 118-126, January 2007,
27. G. Kramer and G. Pesavento, "Ethernet Passive Optical Network (EPON): Building a Next-Generation Optical Access Network", *IEEE Communications Magazine*, pp. 66-73, February 2002.
28. G. Kramer, B. Mukherjee, S. Dixit, Y. Ye and R. Hirth, "Supporting Differentiated Classes in Ethernet Passive Optical Networks", *Journal of Optical Networking*, Vol. 1, Nos. 8&9, pp. 280-298, August and September 2002.
29. J. Zheng and H. T. Mouftah, "Media Access Control for Ethernet Passive Optical Networks: An Overview", *IEEE Communications Magazine*, pp. 145-150, February 2005.
30. Daniel J. Blumenthal, John E. Bowers, Lavanya Rau, Hsu-Feng Chou, Suresh Rangarajan, Wei Wang, and Henrik N. Poulsen, "Optical Signal Processing for Optical Packet Switching Networks", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 41, No. 2, S23-S28, February 2003.



# ΑΝΑΦΟΡΕΣ (4/4)

31. S. Ramasubramanian, and A. K. Soman, "Analysis of Optical Networks with Heterogeneous Grooming Architectures", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 12, No. 5, October 2004
32. K. Zhu and B. Mukherjee, "Traffic grooming in an optical WDM mesh network", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 20, No. 1, pp. 122-133, January 2002.
33. H. Jiang and C. Dovrolis, "Why is the Internet Traffic Bursty in Short (sub-RTT) Time Scales", *Proceedings of ACM SIGMETRICS 05*, Banff Canada, 2005.
34. Y. Sun, T. Hashiguchi, V. Q. Minh, X. Wang, H. Morikawa and T. Aoyama, "Design and Implementation of an Optical Burst-Switched Network Testbed", *IEEE Communications Magazine*, pp. S48-S55, November 2005.
35. B. Wu and K. L. Yeung, "Virtual Topology Design for OBS Optical Networks", *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2007.
36. T-W. Um, J. K. Choi, S. G. Choi and W. Ryu, "Performance of a Partial Burst Retransmission Mechanism in OBS Networks", 2006.
37. H. Øverby, N. Støl, and M. Nord. "Evaluation of QoS Differentiation Mechanisms in Asynchronous Bufferless Optical Packet-Switched Networks", *IEEE Communications Magazine*, pp. 52-57, August 2006.
38. S. Yao, B. Mukherjee, S.J. Ben-Yoo, and S. Dixit, "A Unified Study of Contention-Resolution Schemes in Optical Packet-Switched Networks", *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, Vol. 21, No. 3, pp. 672-683, 2003.
39. C. W. Tan, G. Mohan, and J. Chi-Shing Lui, "Achieving Multi-Class Differentiation in WDM Optical Burst Switching Networks: A Probabilistic Preemptive Burst Segmentation Scheme", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 24, No. 12, pp. 106-119, December 2006.
40. L. Yang and G. N. Rouskas, "Generalized Wavelength Sharing Policies for Absolute QoS Guarantees in OBS Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 25, No. 4, pp. 93-104, April 2007.