

# Τεχνικές Χρήσης Οπτικών Ινών στο Δίκτυο Πρόσβασης

## *Ethernet PON (EPON) – β' μέρος*



Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Τμήμα Επιστήμης & Τεχνολογίας Τηλ/νιών

## Μετάδοση & Πολυπλεξία EPON

- **Η λειτουργία του EPON βασίζεται σε μερικά βασικά χαρακτηριστικά**
  - ✓ Απόδοση αδειών προς μετάδοση στο κανάλι *upstream*
  - ✓ Αναγνώριση/αρχικοποίηση ONU (*discovery/ID assignment*)
  - ✓ Περιοδικός έλεγχος ενεργών ONU
  - ✓ Κατανομή εύρους ζώνης (*Bandwidth allocation*)
  - ✓ Ασφάλεια (*Security*)
    - Δεν προδιαγράφεται από το 802.3ah standard
  - ✓ Αντιμετώπιση σφαλμάτων (*Error handling*)
- **Για την λειτουργία του αναπτύχθηκε το πρωτόκολλο MPCP (Multipoint Control protocol) το οποίο προδιαγράφει συγκεκριμένα μηνύματα που μεταδίδονται ως εμβόλιμα στη ροή δεδομένων πλαίσια Ethernet σταθερού μεγέθους 64 Bytes**
  - ✓ Τα μηνύματα MAC μεταφέρονται όμοια με τα πακέτα δεδομένων

## EPON Μετάδοση Upstream

- Τεχνική TDMA (παρόμοια με GPON)
- Η ONU μεταδίδει Ethernet frames σε κάθε αφιερωμένη σε αυτή –από την OLT- σχισμή
  - ✓ Η OLT υποδεικνύει πότε μπορεί να ξεκινήσει μετάδοση (Gigabit Ethernet) στο οπτικό μέσο (burst transmission)
- Για να λειτουργήσει αυτός ο μηχανισμός ελέγχου πρόσβασης προβλέπεται η αναγκαία αποτίμηση της απόστασης (ranging) και η απόδοση σχισμών χρόνου για την είσοδο νέων ONU με τη μέθοδο του ανταγωνισμού (contention)
- Στατιστική πολυπλεξία επιτυγχάνεται με τη χρήση (απόδοση από την OLT) μεταβλητού μεγέθους σχισμών ανάλογα με τις απαιτήσεις (στατικά υπολογισμένες ή δυναμικά κατόπιν αιτήσεων) μετάδοσης δεδομένων

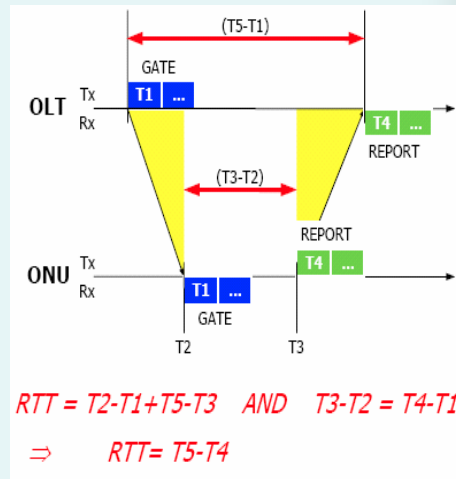
## Μηχανισμός Αιτήσεων (Reservation Scheme)

- Η πρόσβαση στο κανάλι upstream ελέγχεται από την OLT
- Χρησιμοποιούνται δύο ειδικά πακέτα/ τύποι μηνυμάτων (MAC control frames) που μεταφέρουν χρονική σήμανση (timestamp)
  - ✓ Άδειες (Grants) από την OLT στις ONU: προσδιορίζει τους κανόνες πρόσβασης
  - ✓ Αιτήσεις-ενημέρωση κατάστασης (Reports) από τις ONU στην OLT: αίτηση εύρους ζώνης
- Χρήση καναλιού upstream (φάσεις- regions)
  - ✓ Discovery regions: πρόσφατα ενεργοποιημένες ONUs για τις οποίες πρέπει να προηγηθεί η διαδικασία ranging
  - ✓ Contention regions: Μετάδοση με ανταγωνισμό για ONUs οι οποίες προηγουμένως δεν είχαν άλλη ανταλλαγή reports
  - ✓ Reserved regions: δεσμευμένες σχισμές ανά ONU)

## Εκτίμηση Καθυστέρησης (RTT measurement)

- Η OLT στέλνει άδεια (μήνυμα GATE) στον (απόλυτο) χρόνο T1
- Η ONU το λαμβάνει στο χρόνο T2, and συγχρονίζει (reset) το ρολόι της στον χρόνο T1
- Η ONU στέλνει μήνυμα (REPORT) στο χρόνο T3 την ένδειξη (timestamp) T4
- Η OLT λαμβάνει το μήνυμα στον (απόλυτο) χρόνο T5 και υπολογίζει τον χρόνο διάδοσης μέχρι την ONU (μετ'επιστροφής, **RTT**)

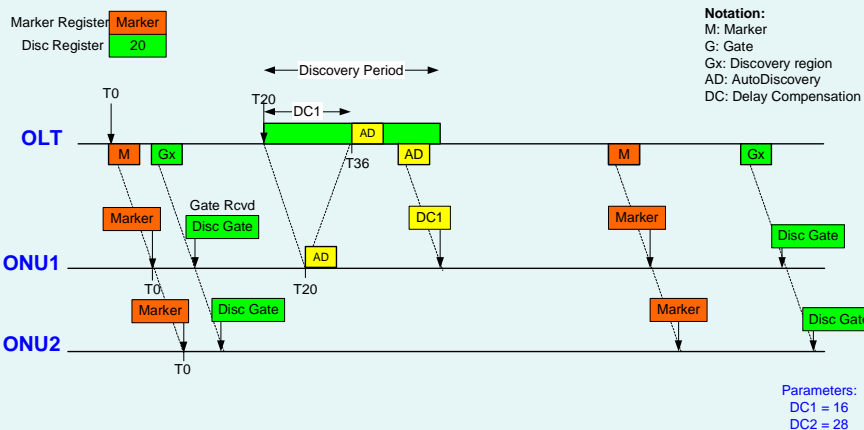
✓  $RTT = T5 - T4$



## Εξισορρόπηση Καθυστέρησης (ONU Ranging) (I)

- Η διαδικασία της εξισορρόπησης της καθυστέρησης μεταξύ των ONU (Ranging) απαιτείται σε όλα τα δενδροειδούς τοπολογίας δίκτυα
- Γίνεται κατά την αρχικοποίηση μιας νέας ONU στο δίκτυο με την εκτίμηση της καθυστέρησης λόγω απόστασης αυτής ( $t_d$ ) και εξισορρόπησή της έτσι ώστε όλες οι ONU να είναι συγχρονισμένες ως προς τον χρόνο μέτρησης της OLT
  - ✓ Κάθε ONU καθοδηγείται να εισάγει καθυστέρηση ( $t_{max} - t_d$ ) ως προς την μέγιστη καθυστέρηση  $t_{max}$  (μακρυνότερη ONU) σε όλο το δίκτυο
- Όλα τα μηνύματα ελέγχου μεταφέρουν χρονική σήμανση (timestamps), ώστε να είναι δυνατή η επανεκτίμηση κατά τη διάρκεια του χρόνου

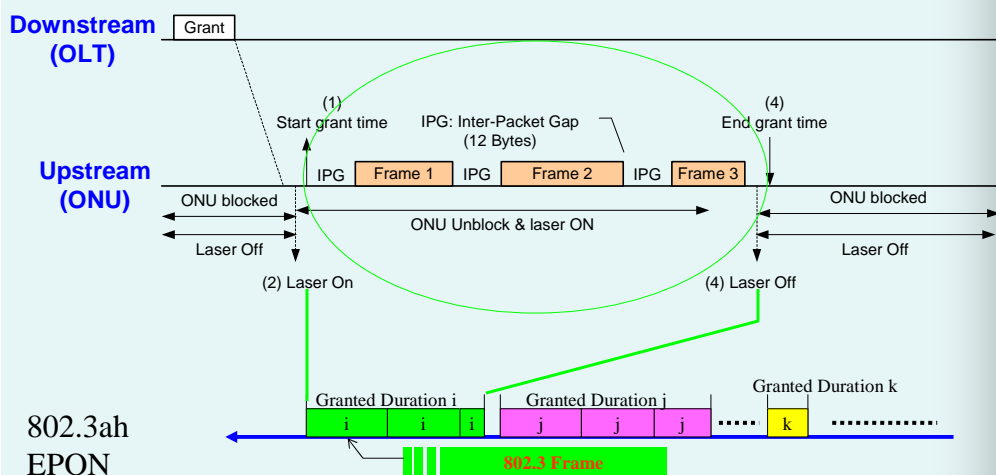
## Εξισορρόπηση Καθυστέρησης (ONU Ranging) (II)



Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

## Upstream Burst Mode

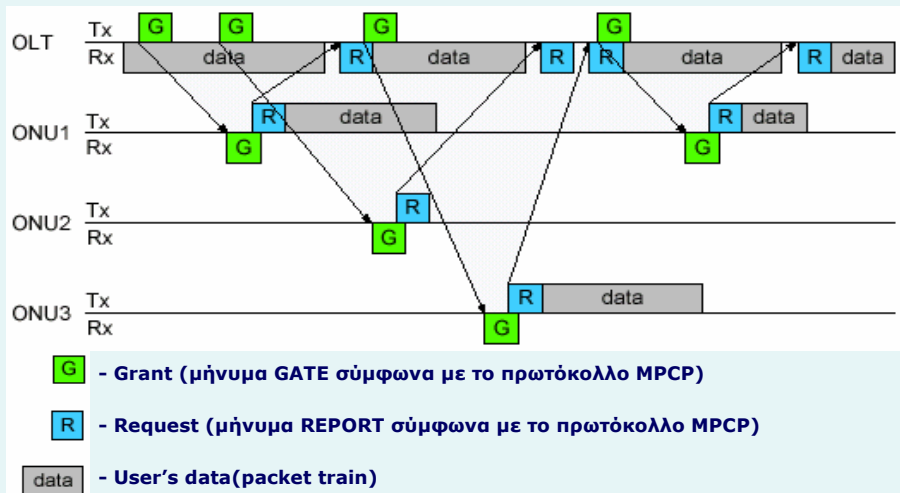


Ορφανουδάκης Θεοφάνης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

## Διαδικασία Αδειών/Συλλογής Αιτήσεων-Polling (I)

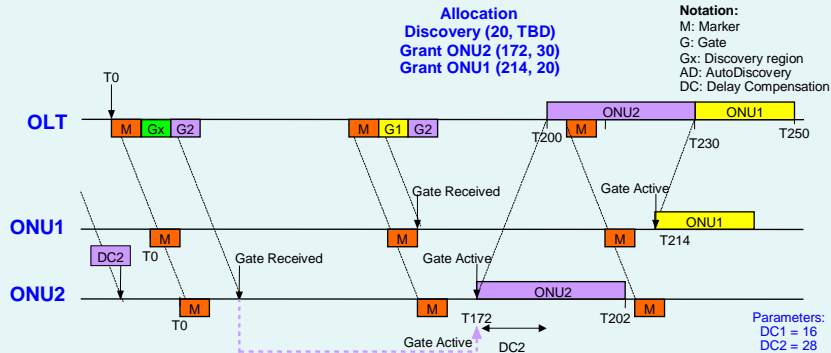
### Interleaved Polling



## Διαδικασία Αδειών/Συλλογής Αιτήσεων-Polling (II)

- Στο προηγούμενο παράδειγμα
  - ✓ Στο δίκτυο βρίσκονται 3 ενεργές ONU
    - Έχει προηγηθεί η φάση ανίχνευσης (discovery)
  - ✓ Η OLT έχει προγραμματίσει άδειες για κάθε μία
  - ✓ Η 1η έχει δεδομένα και αιτείται (μήνυμα REPORT) περισσότερου χρόνου μετάδοσης (επιπλέον σχισμές σε μελλοντικά upstream frames)
  - ✓ Η 2η δεν έχει δεδομένα (στένει κενό REPORT)
  - ✓ Η 3 έχει δεδομένα και αιτείται περισσότερου χρόνου μετάδοσης (επιπλέον σχισμές σε μελλοντικά upstream frames)

## Διαδικασία Αδειών



- **Οι άδειες υποδεικνύουν**
  - ✓ την ακριβή χρονική στιγμή έναρξης μετάδοσης (σύμφωνα με το τοπικό ρολόι της ONU) σχετικά με τον χρόνο αναφορά της OLT (global time) και
  - ✓ Το ακριβές μέγεθος του upstream burst (Bytes)

## Συνολικές Λειτουργίες OLT

- **Γέννηση μηνυμάτων με χρονικά σήμαντρα (timestamps) για καθολικό συγχρονισμό (global time reference)**
- **Κατανομή εύρους ζώνης (MPCP allocation)**
  - ✓ Γέννηση παραθύρων ανίχνευσης νέων ONUs (discovery windows) προς εξισορρόπηση καθυστέρησης (ranging)
  - ✓ Γέννηση παραθύρων αδειών προς τις registered ONUs
    - Ο χρόνος της άδειας προσαρμόζεται σύμφωνα με το προσδιορισμένη κατά την προηγούμενη φάση τιμή αντιστάθμισης (ONU delay compensation)
- **Εκτελεί εξισορρόπηση καθυστέρησης (ranging) και υπολογισμο της τιμής αντιστάθμισης (ONU delay compensation)**
- **Ελέγχει την καταγραφή (registration) των ONU**

## Συνολικές Λειτουργίες ONU

### 1. Συγχρονισμός

- ✓ Η ONU συγχρονίζεται με την OLT μέσω των μηνυμάτων (MAC-control frames) με χρονικά σήμαντρα (timestamps) στο κανάλι downstream

### 2. Η ONU περιμένει για τη φάση ανίχνευσης (discovery gate)

### 3. Η ONU εκτελεί τη διαδικασία αναγνώρισης (discovery process), που περιλαμβάνει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- ✓ Ranging
- ✓ Ανάθεση LLIDs
- ✓ Απονομή εύρους ζώνης για να λειτουργήσει
  - Απαιτείται κατ'ελάχιστον το εύρος ζώνης που θα επιτρέψει την επικοινωνία για λόγους διαχείρισης και δικαιώματος αποστολής νέων αιτήσεων για τη δυναμική δέσμευση επιπλέον εύρους ζώνης

### 4. Αναμονή αδειών προς μετάδοση

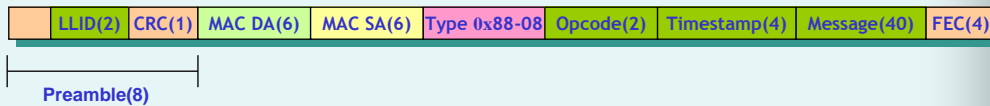
- ✓ Μετάδοση πλαισίων σύμφωνα με τις άδειες
- ✓ Πιθανόν αποστολή αιτήσεων (report frames) επιπλέον εύρους ζώνης

## MPCP (Multipoint Control protocol)

- Το πρωτόκολλο Multi-Point Control Protocol (MPCP) προδιαγράφει ένα μηχανισμό ελέγχου μεταξύ δύο μονάδων που λειτουργούν ως Master & Slave συνδεδεμένοι σε μια τοπολογία σημείο-προς-πολλαπλά σημεία (Point-to-Multi-Point -P2MP) για την αποδοτική μεταφορά δεδομένων
- Το MPCP υλοποιείται στο MAC Control layer
- Το MPCP χρησιμοποιεί πέντε MAC Control messages
  - ✓ OLT → ONU
    - GATE , REGISTER
  - ✓ ONU → OLT
    - REPORT , REGISTER\_REQUEST , REGISTER\_ACK

## MPCP (II) -MAC Control frame format

### ✓ MAC Control frame



### ✓ MPCP Opcode

	opcode
GRANT	<b>00 02</b>
REPORT	<b>00 03</b>
REGISTER_REQ	<b>00 04</b>
REGISTER	<b>00 05</b>
REGISTER_ACK	<b>00 06</b>

## Δύο Καταστάσεις (Modes) Λειτουργίας

### • Auto Discovery mode

- ✓ Μηχανισμός αυτόματης ανίχνευσης ONUs που ενεργοποιήθηκαν πρόσφατα, εκτίμηση της απόστασης/καθυστερήσης (RTT) και της διεύθυνσης MAC

### • Normal mode

- ✓ Μηχανισμός κατανομής εύρους ζώνης (αδειών μετάδοσης) σε όλες τις αρχικοποιημένες ONU



## Auto Discovery mode (1/2)

- **Η OLT αφιερώνει συγκεκριμένες χρονοθυρίδες για αρχικοποίηση**
  - ✓ *Περίοδος χρόνος όπου όλες οι ONU που δεν έχουν αρχικοποιηθεί (και άρα η ύπαρξη τους δεν είναι γνωστή) έχουν το δικαίωμα να μεταδώσουν*
- **Η περίοδος αυτή χρόνου ανακοινώνεται με ένα μήνυμα αρχικοποίησης (initialization) GATE όπου καταγράφεται ο χρόνος έναρξης της αντίστοιχης χρονοθυρίδας και η διάρκειά της**
- **Μόνο ONU που δεν έχουν αρχικοποιηθεί έχουν το δικαίωμα να μεταδώσουν στο χρόνο που ορίζει το μήνυμα GATE**

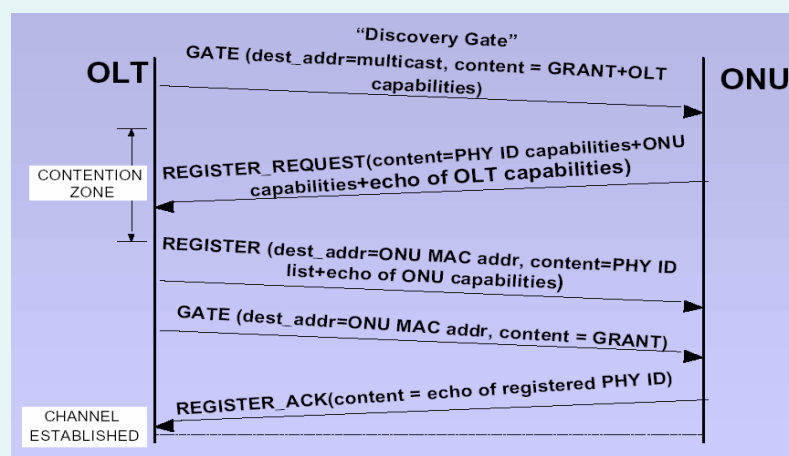
## Auto Discovery mode (2/2)

- **Όταν το τοπικό ρολόι μιας τέτοιας ONU φτάσει την τιμή χρόνου που ξεκινά η χρονοθυρίδα αρχικοποίησης, τότε μεταδίδει το δικό της μήνυμα απόκρισης (initialization REPORT)**
- **Με την άφιξη του REPORT από μία μη αρχικοποιημένη ONU μαθαίνει την διεύθυνση MAC της και τον χρόνο RTT (η μέτρηση του χρόνου παρουσιάστηκε αναλυτικά προηγουμένως)**

## Discovery Protocol

- **Χρησιμοποιούνται τέσσερα μηνύματα MAC control**
  - ✓ *Discovery GATE: Ορίζει χρονοθυρίδες που δύνανται να μεταδώσουν μη-αρχικοποιημένες ONU*
  - ✓ *Register\_Request: Η απάντηση της ONU στο "Discovery Gate"*
  - ✓ *Register: Απάντηση της OLT στο Register\_Request*
  - ✓ *Register\_Ack: Τελική απόκριση ONU στο Register*
- **Ενδέχεται πολλαπλές ONU να ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα**
  - ✓ *Απαιτείται μηχανισμός που να αντιμετωπίζει το ενδεχόμενο ανταγωνισμού (contention) στα Register\_Requests*
- **Είναι δυνατό πολλαπλές ONU να αρχικοποιηθούν μέσα σε μία περίοδο Discovery**

## Auto Discovery



## Λειτουργία ONU στη Φάση Discovery

- **Με την ενεργοποίηση (Power-up/Reset) η ONU μπαίνει σε κατάσταση ανίχνευσης (Discovery State)**
  - ✓ *ONU που δεν έχουν αρχικοποιηθεί περιμένουν μήνυμα "Discovery Gate" από την OLT*
- **ONU που δεν έχουν αρχικοποιηθεί απαντούν μόνο σε μηνύματα με περιεχόμενο:**
  - ✓ *Logical Link ID(LLID)=discovery/default LLID*
  - ✓ *grant type=discovery*

## Λειτουργία OLT στη Φάση Discovery

- **Η OLT πρέπει να προβλέπει την απόδοση επαρκούς χρόνου περιοδικά για ανίχνευση (Discovery)**
  - ✓ *Η συχνότητα επανάληψης των αντίστοιχων χρονικών παραθύρων επιλέγεται σε συνάρτηση με την ανεκτή απώλεια πόρων (overhead)*
- **Καθώς τα αντίστοιχα μηνύματα απευθύνονται σε μη-αρχικοποιημένες ONU οι διευθύνσεις είναι άγνωστες**
  - ✓ *Τα μηνύματα "Discovery Gates" απευθύνονται σε όλες τις ONU (broadcast)*

## Αποτυχία Ολοκλήρωσης της Διαδικασίας

- **Η OLT υποθέτει ότι η ONU δεν έχει καταχωρηθεί εάν:**
  - ✓ Το μήνυμα REGISTER\_ACK δεν αφιχθεί μετά την αποστολή της πρώτης άδειας (GRANT)
  - ✓ Η ONU απαντά στα μηνύματα "Discovery GATE"
- **Η ONU υποθέτει ότι η δεν έχει καταχωρηθεί εάν :**
  - ✓ Μετά την αποστολή ενός μηνύματος REGISTER\_REQUEST λάβει μήνυμα "Discovery GATE" πριν από λήψη μηνύματος REGISTER
  - ✓ Μετά την αποστολή ενός μηνύματος REGISTER\_ACK λάβει μήνυμα "Discovery GATE" πριν από λήψη μηνύματος "Normal GATE"

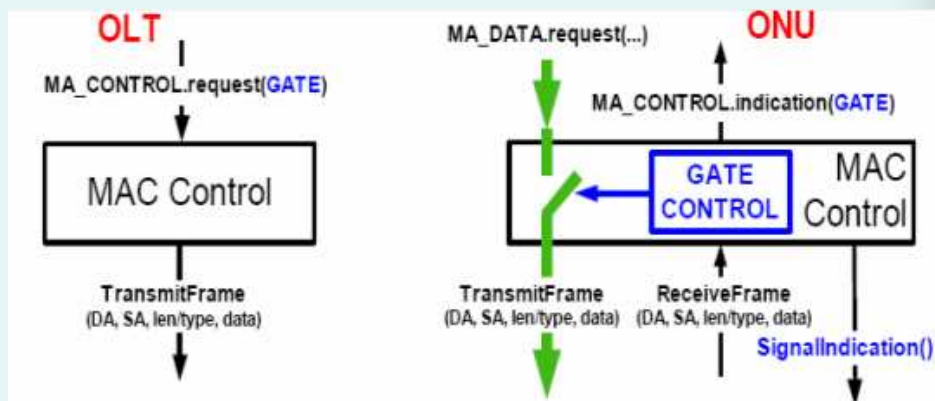
## Επίλυση Συγκρούσεων

- Καθώς η διαδικασία Discovery γίνεται με προσπέλαση πολλαπλών ONU ενδεχομένως απαιτείται κατάλληλα επιλεγμένη «τυχαία» διαδικασία πολλαπλής προσπέλασης, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι συγκρούσεις

## Χρήση Μηνυμάτων GATE/REPORT

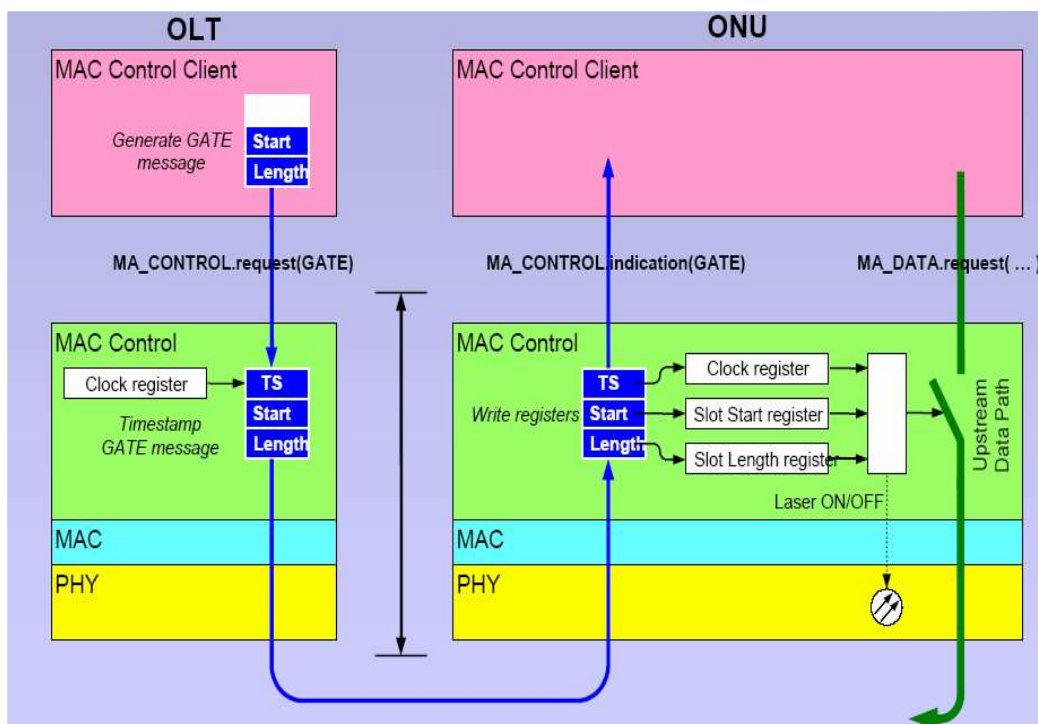
- Στο επίπεδο που λειτουργεί το πρωτόκολλο μεταφέρεται απλώς πληροφορία (δεν προσδιορίζεται ο τρόπος γέννησής της)
  - ✓ OLT → ONU απόδοση εύρους ζώνης
    - Εγγυημένα διαστήματα για μετάδοση χωρίς επικάλυψη
  - ✓ ONU → OLT αίτηση δέσμευσης εύρους ζώνης
- Σε ανώτερο επίπεδο (Service layer) πρέπει να ληφθούν αποφάσεις για τη γέννηση της σχετικής πληροφορίας
  - ✓ OLT κατανομή εύρους ζώνης
    - Κατανομή μεταξύ των αναγκαίων φάσεων για την ολοκλήρωση των απαραίτητων λειτουργιών και για την μετάδοση δεδομένων σύμφωνα με τις απαιτήσεις των εφαρμογών και υπηρεσιών
  - ✓ ONU αξιοποίηση εύρους ζώνης
    - Κατανομή του δεσμευμένου χρόνου στους εσωτερικούς προορισμούς (πελάτες/συνδέσεις/εφαρμογές)

## GATE – Συσχέτιση με Ανώτερα Στρώματα

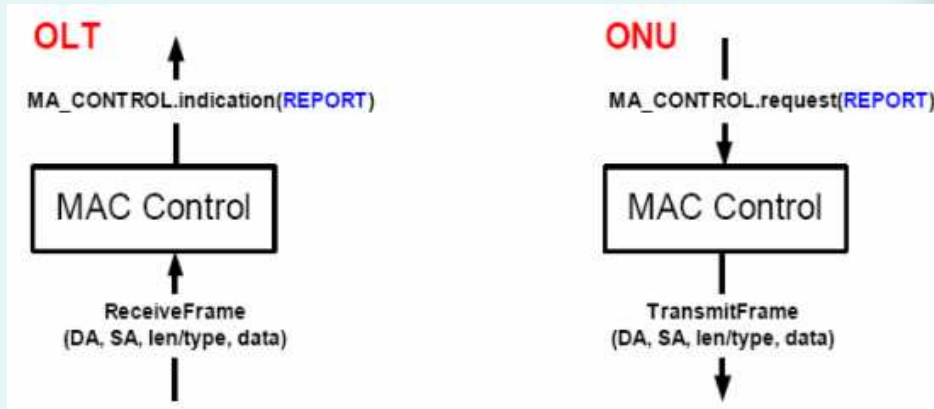


## Λειτουργία GATE

- Η ONU μεταδίδει μόνο κατά τη διάρκεια που υποδεικνύει το μήνυμα GATE
- Το επίπεδο ONU MAC-control επιτρέπει τη μετάδοση στο φυσικό στρώμα (ενεργοποίηση laser) στην έναρξη της χρονοσχισμής που υποδεικνύει το GATE και την καταργεί με τη λήξη αυτής
- Τα μηνύματα GATE μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο με περιεχόμενο χρονοσφραγίδων (timestamps)



## REPORT – Συσχέτιση με Ανώτερα Στρώματα



## Λειτουργία REPORT

- Τα μηνύματα REPORT δημιουργούνται στον MAC control client της ONU
  - ✓ Δίνουν αναφορά (REPORT) κατάστασης στην OLT
  - ✓ Μπορεί να δηλώνουν το μήκος των ουρών αναμονής
- Τα μηνύματα REPORT διέρχονται από το στρώμα MAC-control
- Η OLT πρέπει να επεξεργαστεί τα μηνύματα REPORT
- Η OLT μπορεί να λάβει υπόψη της την πληροφορία των μηνυμάτων REPORT στην κατανομή εύρους ζώνης
- Τα μηνύματα REPORT δεν είναι υποχρεωτικά μετά από κάθε GRANT αλλά η ONU πρέπει να στέλνει περιοδικά
- Τα μηνύματα REPORT μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο με περιεχόμενο χρονοσφραγίδων (timestamps)

