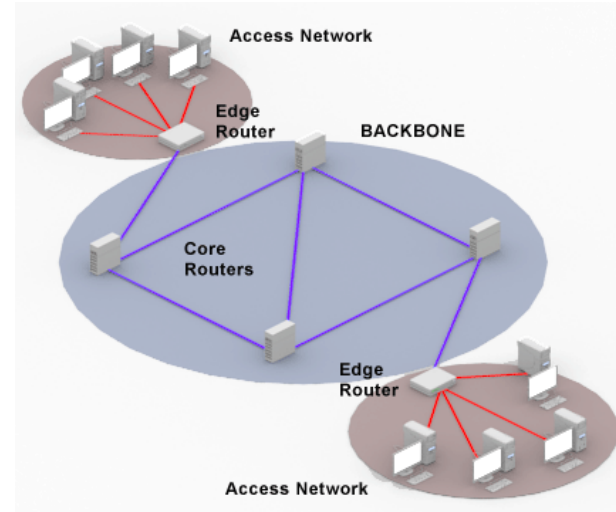


Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα Υψηλών Ταχυτήτων

Παθητικά Οπτικά Δίκτυα

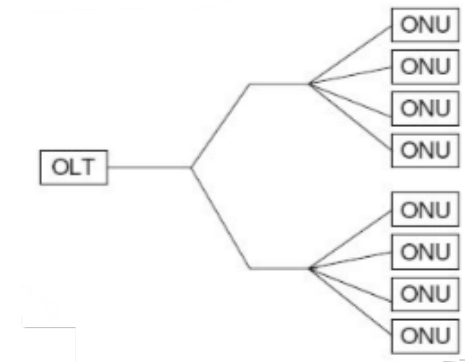
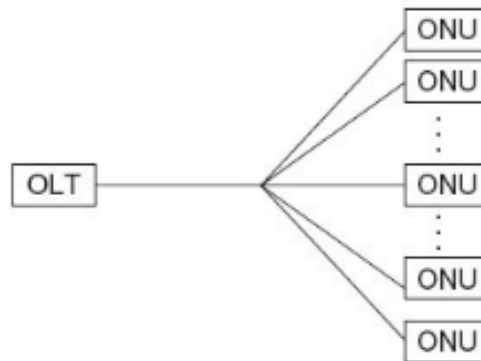
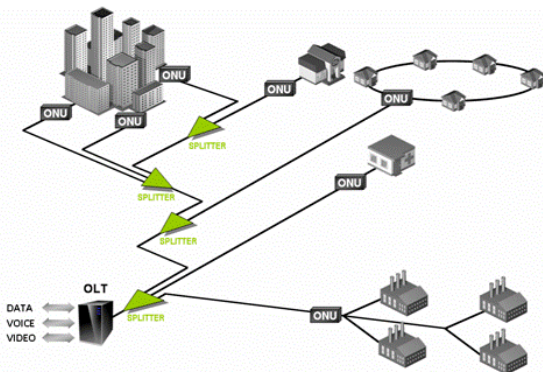
Ορισμός

- Η συνεχής αύξηση των διαδικτυακών υπηρεσιών (πολυμεσικά δεδομένα, VoIP, VoD) καθιστούν αναγκαία την ανάπτυξη δικτυακών υποδομών που θα καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών. Τα παθητικά οπτικά δίκτυα αναπτύχθηκαν για την παροχή επαρκούς εύρους ζώνης για την εξυπηρέτηση αντιστοιχων εφαρμογών.
- Ως παθητικά οπτικά δίκτυα (Passive Optical Networks – PONs) αναφέρουμε τα point-to-multipoint δίκτυα επικοινωνιών που καλύπτουν το τμήμα των last mile υποδομών (access networks), τα οποία αποτελούνται από οπτικές ίνες και παθητικά στοιχεία. Στα δίκτυα αυτά δεν υπάρχουν ενεργές συσκευές (ενισχυτές, επαναλήπτες, κτλ.) πέρα από τους τελικούς κόμβους.
- Στόχος των δικτύων αυτών είναι η ανάπτυξη οπτικής συνδεσμολογίας μέχρι το τερματικό του χρήστη (FTTx).
 - FTTC – Fiber To The Curb
 - FTTB – Fiber To The Building
 - FTTH – Fiber To The Home



Αρχιτεκτονική Παθητικών Οπτικών Δικτύων

- ❁ Μία τυπική συνδεσμολογία PON αποτελεί μια δενδρική δομή (point-to-multipoint) στην οποία το δικτυακό κέντρο του παρόχου βρίσκεται στην ρίζα και οι τερματικές συσκευές των χρηστών αποτελούν τα φύλλα. Ένα PON μπορεί να εξυπηρετήσει από 16 έως 128 διαφορετικούς χρήστες ανά ίνα σε απόσταση έως 20 km
- ❁ Η επικοινωνία διεξάγεται μέσω δύο διαφορετικού μήκους κυμάτων. Ένα στην downstream κατεύθυνση (προς τους χρήστες) και ένα στην upstream (από τους χρήστες). Στην downstream κατεύθυνση όλοι οι χρήστες λαμβάνουν το ίδιο σήμα. Στην upstream, για αποφυγή συγκρούσεων, οι χρήστες αποκτούν πρόσβαση στο κοινό μέσο (οπτική ίνα) διαδοχικά
- ❁ Συσκευές Παθητικών Οπτικών Δικτύων
 - ❁ Optical Line Terminator (OLT): Τερματικό σύνδεσης χρηστών στον πάροχο.
 - ❁ Optical Splitter (OS): Παθητικές οπτικές συσκευές που διαχωρίζουν το σήμα σε ένα πλήθος ίδιων σημάτων μικρότερης ισχύς
 - ❁ Optical Network Unit (ONU): Τερματικό σύνδεσης συσκευών δίπλα στο χρήστη.



Πρότυπα Παθητικών Οπτικών Δικτύων

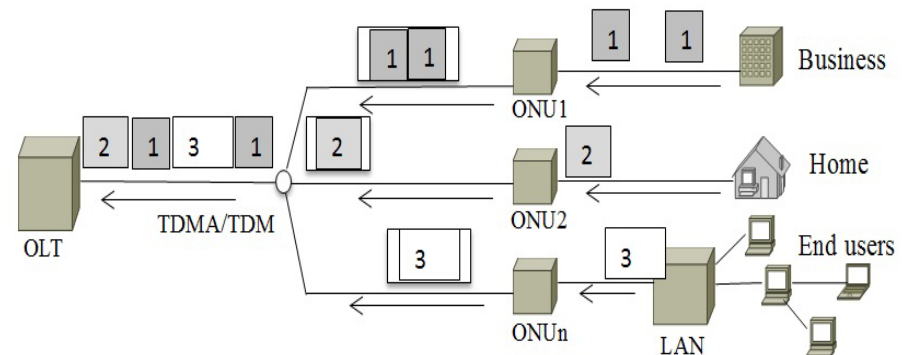
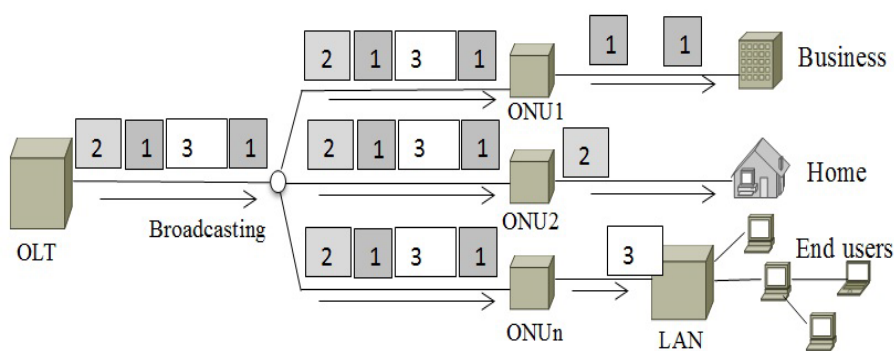
- Η υλοποίηση στη πράξη των PONs έχει προταθεί από διάφορα πρότυπα. Τα βασικότερα έχουν μοντελοποιηθεί τόσο από το Institute of Electrical Engineers (IEEE) όσο και από την International Telecommunications Union (ITU)
- IEEE Standards
 - 802.3ah – EPON/GEAPON (Ethernet PON/ Gigabit Ethernet PON)
 - 802.3av – 10G-EPON
- ITU – T Standards
 - G.983 – APON/BPON (ATM PON / Broadband PON)
 - G.984 – GPON (Gigabit-capable PON)
 - G.987 – 10G-PON / XGPON

Χαρακτηριστικά ΙΕΕΕ 802.3

- Το πρότυπο του EPON έχει σαν βασική αρχή του την επέκταση του Ethernet MAC layer frame, με σκοπό την επέκταση και επαναχρησιμοποίηση υπάρχοντος εξοπλισμού
- Τα βασικά χαρακτηριστικά που ορίζει το πρότυπο είναι
 - Στο GEPON (802.3ah) χρησιμοποιείται η ίδια οπτική ίνα τόσο για downstream όσο και για upstream μετάδοση δεδομένων στα 1490 nm και 1310 nm μήκος κύματος αντίστοιχα. Οι ρυθμοί μετάδοσης είναι 1.25 Gb/s και στις δύο κατευθύνσεις
 - Στο 10GE-PON (802.3av) επεκτείνονται τα μήκη κύματος σε συγκεκριμένο εύρος για κάθε κατεύθυνση ώστε να υποστηρίζεται και WDM πολυπλεξία. Οι τιμές είναι 1575 – 1580 στο downstream και 1260 – 1280 στο upstream. Στη συμμετρική εκδοχή, ο ρυθμός μετάδοσης είναι 10.3125 Gb/s, ενώ στην ασύμμετρη το upstream ορίζεται στο 1 Gb/s
- Το πρότυπο είναι πλήρως συμβατό με τα υπόλοιπα Ethernet πρότυπα. Τα πακέτα είναι μεταβλητού μήκους με μέγιστο μήκος 1518 bytes. Επιπλέον κάποια πακέτα είναι δυνατό να προορίζονται για όλες τις μονάδες ONU (broadcast packets) ενώ άλλα για μία δεδομένη ομάδα ONU (multicast packets). Καθώς το σήμα φτάνει στην ONU εκείνη ελέγχει εάν το πακέτο προορίζεται για το συγκεκριμένο τελικό χρήστη επομένως το δέχεται, ενώ σε αντίθετη περίπτωση το απορρίπτει

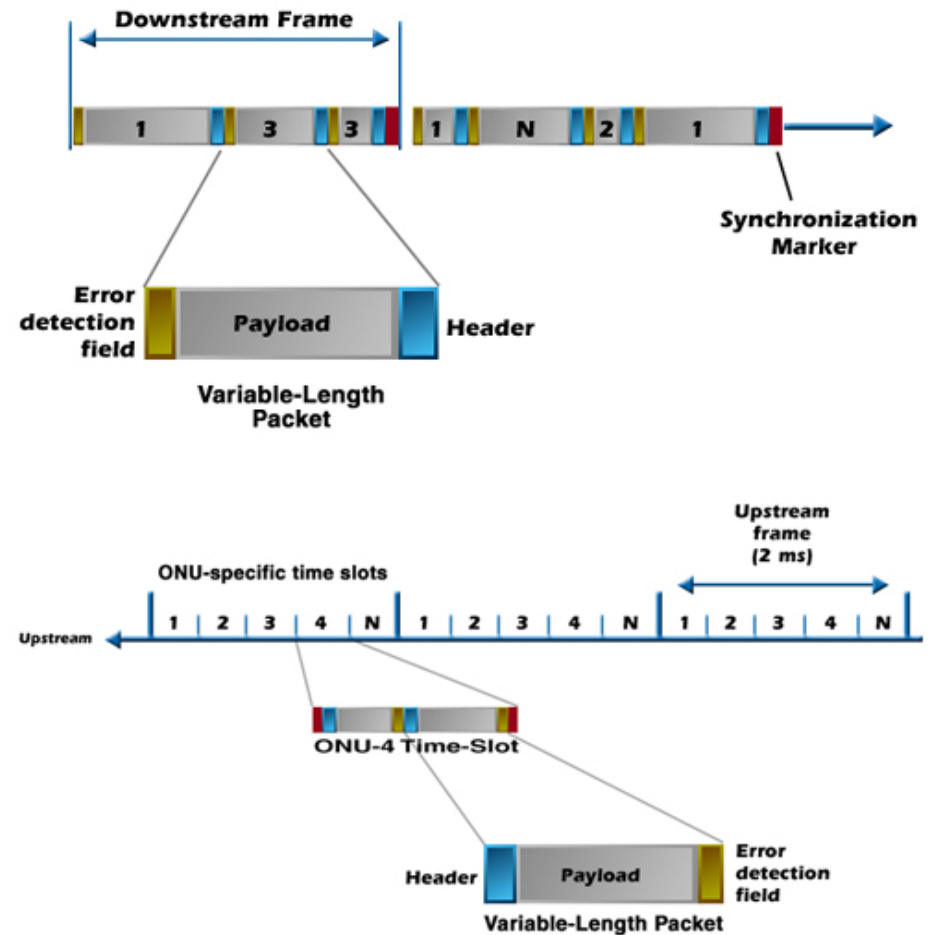
IEEE 802.3 - Λειτουργία

- Η λειτουργία των PONs οργανώνεται και συντηρείται από το OLT, το οποίο θα πρέπει να είναι πλήρως ενήμερο ως προς την συνδεδεμένη τοπολογία. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της διαδικασίας registration όπου σύμφωνα με το IEEE 802.3ah ανατίθεται ένα μοναδικό αναγνωριστικό ID σε κάθε ONU, γνωστό ως LLID (Link Layer Identifier). Το αναγνωριστικό θα πρέπει να περιλαμβάνεται στην αρχή κάθε πακέτου που πρόκειται να σταλεί από την συγκεκριμένη ONU
- Τόσο στην καθοδική όσο και στην ανοδική μετάδοση δεδομένων του πρωτοκόλλου EPON, εφαρμόζεται η γνωστή τεχνική της πολυπλεξίας με διαίρεση χρόνο. Ο σκοπός είναι να παραχωρηθούν διαφορετικές χρονοθυρίδες σε διαφορετικές ONUs ώστε να μοιράζονται από κοινού το εύρος ζώνης. Η κίνηση στην ανοδική πορεία καθορίζεται από το OLT το οποίο συντονίζει τις μεταδόσεις δεδομένων των ONUs
- Το OLT όσο και οι ONUs περιλαμβάνουν ρολόγια τα οποία είναι συγχρονισμένα μεταξύ τους. Ο λόγος είναι ότι μετά την εντολή ανάθεσης εύρους ζώνης από το OLT οι ONUs οφείλουν να στείλουν τα δεδομένα τους στο χρονικό πλαίσιο που τους έχει ανατεθεί. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται σειριακή μετάδοση πακέτων αποφεύγοντας το ενδεχόμενο συγκρούσεων πολλαπλών ONUs που συνδυάζονται στην κοινή οπτική ίνα.



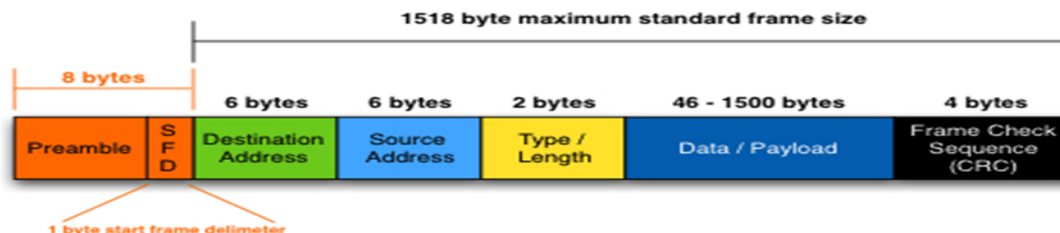
IEEE 802.3 – Δομή Πλαισίων

- Η πληροφορία αποστέλεται μέσω πλαισίων (frames) μεταβλητού μεγέθους τα οποία αποτελούνται από τα διαφορετικά πακέτα δεδομένων και αντίστοιχα πεδία απαραίτητα για συγχρονισμό και διευθυνσιοδότηση
- Στην downstream κατεύθυνση, στην αρχή κάθε frame, περιλαμβάνεται πληροφορία σχετικά με τον συγχρονισμό των ONUs με το OLT. Η πληροφορία σχετικά με το χρονικό διάστημα συγχρονισμού διαμορφώνεται πάντα ανάλογα με το μέγεθος του frame μετάδοσης. Σε κάθε πακέτο πληροφορίας του frame ένα μοναδικό αναγνωριστικό (συνήθως σειριακός αριθμός) προσδιορίζει την ONU προορισμού.
- Κατά το upstream τα frame δεδομένων ανόδου υποδιαιρούνται σε χρονοσχισμές (slots) αφιερωμένες σε κάθε μία από τις μονάδες ONU που είναι ενεργές στο δίκτυο. Κάθε μονάδα ONU μπορεί να μεταδώσει ένα ή και περισσότερα πλαίσια Ethernet στη διάρκεια της αντίστοιχης σχισμής



IEEE 802.3 – Δομή πακέτων

- ❁ Κάθε πακέτο δεδομένων περιλαμβάνει τα εξής πεδία
 - ❁ Preamble: η προδιαγραφή του πρωτοκόλλου 802.3 διαιρεί το πρόθεμα (preamble) σε δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα είναι ένα πεδίο των 56 bit (7 byte) συν ένα πεδίο το ενός 1 byte που ονομάζεται starting frame delimiter (SFD). Το πρόθεμα δεν χρησιμοποιείται συνήθως στα σύγχρονα δίκτυα ethernet, όμως η λειτουργία του είναι να παρέχει το κατάλληλο σήμα του χρόνου εκκίνησης για δίκτυα ethernet της τάξης των 10 Mb/s. Σε ταχύτητες δικτύων που παρέχονται σήμερα της τάξης των 100 Mb/s, 1000 Mb/s ή 10 Gb/s γίνεται χρήση της σταθερής σηματοδότησης, η οποία αποφεύγει την ανάγκη για το πεδίο preamble.
 - ❁ Destination and Source Address: τα συγκεκριμένα πεδία του frame περιλαμβάνουν πληροφορία σχετικά με την διεύθυνση MAC πηγής και διεύθυνση προορισμού των δεδομένων.
 - ❁ Type/Length: το πεδίο type/length ορίζει τον τύπο του πρωτοκόλλου, σε υψηλότερο επίπεδο, που μεταφέρεται μέσω του frame.
 - ❁ Data/Payload: το πεδίο δεδομένων (data) προσδιορίζει το πλήθος των δεδομένων που πρόκειται να μεταδοθούν. Το μέγεθος των δεδομένων ορίζεται μεταξύ των 64 bytes και 1500 bytes. Το ελάχιστο μέγεθος ωφέλιμου φορτίου ορίζεται στα 46 bytes (+18 bytes σηματοδότησης = 64 bytes)
 - ❁ Frame Check Sequence: το τέλος του πλαισίου περιέχει ένα πεδίο των 32 bit, το οποίο ονομάζεται CRC (Cyclic Redundancy Check). Πρόκειται για ένα μηχανισμό για να ελέγχει την ακεραιότητα του πλαισίου κατά την άφιξή τους στον προορισμό. Η ακολουθία των bits παράγεται στην πηγή αποστολής μέσω ενός πολυωνύμου, πριν από τη μετάδοσή του. Στην διεύθυνση προορισμού χρησιμοποιείται αντίστοιχο πολυώνυμο ώστε να επιβεβαιωθεί η ακέραιη λήψη του frame. Το τυποποιημένο πλαίσιο έχει μέγιστο μέγεθος της τάξης των 1518 bytes περιλαμβάνοντας όλα τα πεδία του πλαισίου



IEEE 802.3 – Συγχρονισμός Μεταδόσεων

- Με σκοπό τον έλεγχο και τον χειρισμό του MAC υποεπιπέδου, επεκτάθηκε το Multi-point Control Protocol (MPCP) για την εφαρμογή σε EPONs (Έλεγχος λειτουργίας, Αυτόματος εντοπισμός, Ανάθεση εύρους ζώνης). Τα MPCP μηνύματα έχουν μέγεθος 64 bytes
- Δύο σημαντικά MPCP μηνύματα που καθορίζουν την ανάθεση εύρους ζώνης από τον OLT και συντονίζουν τις μεταδόσεις των πακέτων από τις ONUs είναι τα GATE και REPORT
- Το μήνυμα GATE αποστέλλεται από την OLT προς κάθε ONU του δικτύου, με σκοπό να ενημερώσει για τον χρόνο έναρξης αποστολής των δεδομένων καθώς και το πλήθος τους. Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός GATE είναι η διεύθυνση πηγής (source address), η διεύθυνση προορισμού (destination address), το μέγεθος του μηνύματος (length/type), ο χαρακτηριστικός κωδικός (GATE – opcode) καθώς και η χρονοσφραγίδα (timestamp). Το πεδίο έναρξης της μετάδοσης (start time) και του πλήθους των δεδομένων μετάδοσης (length) ολοκληρώνουν την διάταξη του μηνύματος
- Τα REPORT μηνύματα μεταδίδονται από τις ONUs προς τη μονάδα OLT με στόχο να παρέχει ενημέρωση για το πλήθος των δεδομένων που περιμένουν προς μετάδοση στην μνήμη αποθήκευσης (ουρά). Τα σχετικά πεδία είναι: το πεδίο που ενημερώνει το πλήθος των ενεργών ουρών αποθήκευσης (number of queue sets) και τέλος πεδίο που ενημερώνει από ποια ουρά προέρχεται η απεσταλμένη πληροφορία (report bitmap)

OCTETS	Field
6	DESTINATION ADDRESS
6	SOURCE ADDRESS
2	LENGTH/TYPE (88-08)
2	OPCODE (00-02)
4	TIMESTAMP
1	FLAGS
1	NUMBER OF GRANTS
0/4	START TIME
0/2	LENGTH
0/4	START TIME
0/2	LENGTH
0/4	START TIME
0/2	LENGTH
0/4	START TIME
0/2	LENGTH
0/2	SYNC TIME
	PADDING
4	FRAME CHECK SEQUENCE

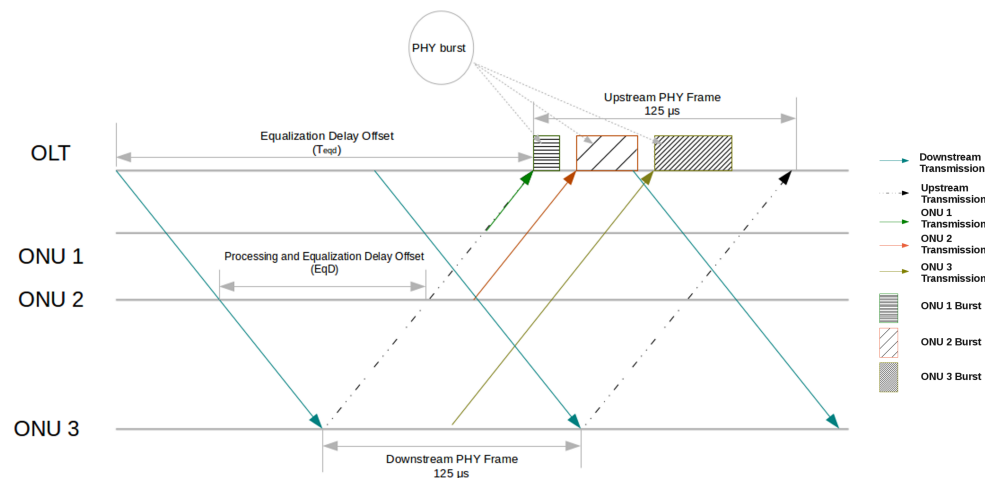
OCTETS	Field
6	DESTINATION ADDRESS
6	SOURCE ADDRESS
2	LENGTH/TYPE (88-08)
2	OPCODE (00-03)
4	TIMESTAMP
1	NUMBER OF QUEUE SETS
0/1	REPORT BITMAP
0/2	REPORT QUEUE 1
	⋮
0/2	REPORT QUEUE 8
0/1	REPORT BITMAP
0/2	REPORT QUEUE 1
	⋮
0/2	REPORT QUEUE 8
	PADDING
4	FRAME CHECK SEQUENCE

ITU-T Προτυποποίηση

- Η ITU-T εδώ και αρκετά χρόνια έχει εκδόσει διάφορα εξελικτικά πρότυπα λειτουργίας PON δικτύων. Κύριο στόχος της είναι η συμβατότητά τους με εφαρμογές και προηγούμενα πρότυπα του οργανισμού που προορίζονται για φωνητική επικοινωνία
- Τα βασικά χαρακτηριστικά όπως ορίζονται από τα διάφορα πρότυπα είναι τα εξής:
 - Τα αρχικά πρότυπα, APON/BPON, ορίζουν ταχύτητες επικοινωνίας 622 Mb/s για downstream και 155 Mb/s για upstream. Ωστόσο, θεωρούνται αναχρονισμένα και χρησιμοποιούνται σπάνια πλέον
 - Στο νεότερο πρότυπο G-PON, η οπτική ίνα διαιρείται σε δύο μήκη κύματος. Στα 1490 nm για downstream και στα 1310 nm για upstream. Οι ρυθμοί μετάδοσης ορίζονται σε 2.488 Gb/s και 1.244 Gb/s αντίστοιχα
 - Εξέλιξη αυτού αποτελεί το XG-PON το οποίο χρησιμοποιεί τα 1577 nm για downstream και 1270 nm για upstream. Το πρότυπο αυτό προβλέπει δύο εκδοχές για τους ρυθμούς μετάδοσης. Μία συμμετρική με 10 Gb/s και ως προς τις δύο κατευθύνσεις και μια ασύμμετρη με 9.95328 Gb/s στο downstream και 2.48832 Gb/s στο upstream (η οποία είναι προς το παρόν υλοποιήσιμη).
- Τα πρότυπα καθορίζουν συγκεκριμένη ενθυλάκωση πακέτων ώστε να εξυπηρετείται κίνηση μεταξύ διαφορετικών πρωτοκόλλων όπως Ethernet, IP, TCP, UDP, VoIP

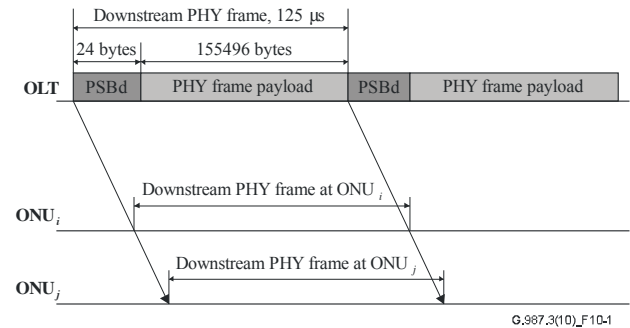
XG-PON - Λειτουργία

- Στο XG-PON το OLT επίσης αποτελεί τον ρυθμιστή της κίνησης του δικτύου. Αυτό καθορίζει τα δεδομένα που θα προωθηθούν στις ONUs, καθώς και τον χρόνο αλλά και την ποσότητα των δεδομένων που θα αποσταλούν από τις ONUs
- Το βασικό χαρακτηριστικό είναι πως τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω πλαισίων (frames) διάρκειας αυστηρώς 125 μ s. Κατά το downstream το ίδιο πλαίσιο λαμβάνεται από όλες τις ONUs και η πληροφορία από τα Alloc-IDs που βρίσκονται στις επικεφαλίδες και προσδιορίζουν μοναδικά τις ουρές (χρήστες) των ONUs
- Στο upstream τα δεδομένα από τις ONUs πολυπλέκονται χρονικά ώστε σε διαφορετικές χρονοσχισμές να αποστέλνουν διαφορετικές ONUs τα

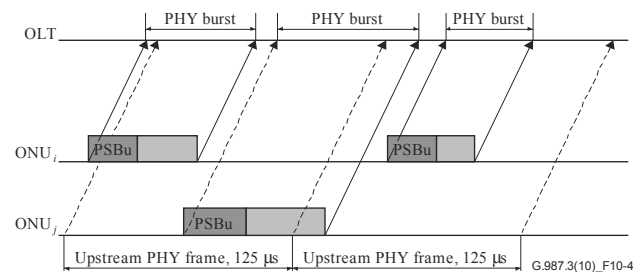


XG-PON – Δομή Πλαισίων

- Στην downstream αποστολή ο OLT μεταδίδει συνεχώς ένα πλαίσιο δεδομένων (downstream PHY frame) στο οποίο είναι ενθυλακωμένα τα πακέτα που προορίζονται για τις ONUs. Το πλαίσιο αυτό ξεκινάει με το ένα μπλοκ συγχρονισμού (PSBd) με το οποίο οι ONUs στοιχίζονται χρονικά. Σχετικές επικεφαλίδες επισυνάπτονται σε κάθε επίπεδο πακέτων ώστε αυτά να ξεχωρίζουν μεταξύ τους, αλλά και να μεταφέρονται πακέτα διαφορετικών πρωτοκόλλων άθικτα. Το συνολικό μέγεθός του είναι αυστηρά 155520 bytes (38880 words)



- Κατά το upstream οι ONUs μεταδίδουν την πληροφορία τους χρησιμοποιώντας διαφορετικές χρονοσχισμές σε πλαίσια μεταβλητού μεγέθους (upstream PHY burst), το σύνολο των οποίων δεν πρέπει να ξεπερνά το όριο των 125μs. Αυτό σημαίνει πως τα επιμέρους bursts κάθε ONU μπορούν είναι μεταβλητού μεγέθους, αλλά στο σύνολό τους δεν πρέπει να ξεπερνάν τα 38880 bytes

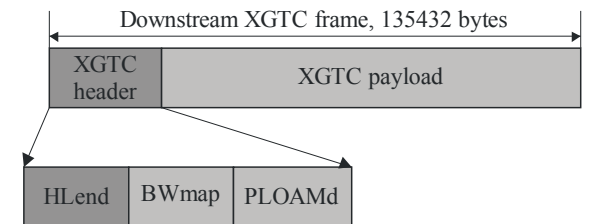
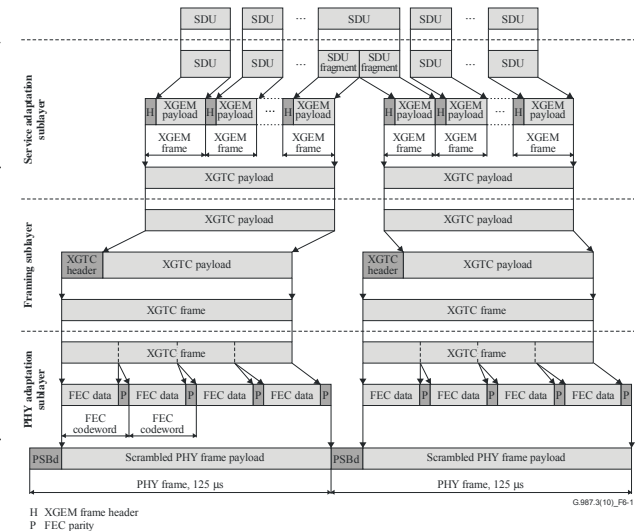


- Τα δύο πλαίσια διαφέρουν κυρίως ως προς τη δομή και την έννοια των επικεφαλίδων που μεταφέρουν

XG-PON – Δομή Downstream Πακέτων

- Σε ένα downstream πλαίσιο (PHY frame), εάν αφαιρέσουμε το PSBd πλαίσιο συγχρονισμού, έχουμε τα πλαίσια με την ουσιαστική πληροφορία (downstream XGTC frame). Αποτελείται από την επικεφαλίδα (XGTC header) και τα πακέτα δεδομένων για όλες τις ONUs (XGTC Payload)
- Η επικεφαλίδα αποτελείται από 3 σημαντικά πεδία που καθορίζουν τη λειτουργία του δικτύου

 - Hlend: είναι μια δομή των 4 bytes που ελέγχει το μέγεθος των τμημάτων μεταβλητού μεγέθους μέσα στην επικεφαλίδα XGTC
 - BWmap (Bandwidth Map): είναι μια σειρά από δομές ανάθεσης (allocation structures) των 8 bytes (allocation structures). Ο αριθμός των δομών ανάθεσης στο BWmap δίνεται στο πεδίο BWmap length της δομής Hlend. Το μήκος του τμήματος BWmap είναι $8 \times N$ bytes.
 - PLOAM μπορεί να περιέχει κανένα, ένα ή περισσότερα μηνύματα PLOAM. Το μήκος κάθε μηνύματος PLOAM είναι 48 bytes. Ο αριθμός των μηνυμάτων PLOAM στο τμήμα PLOAMd δίνεται από το πεδίο PLOAM count της δομής Hlend.



XG-PON – Δομή Upstream Πακέτων

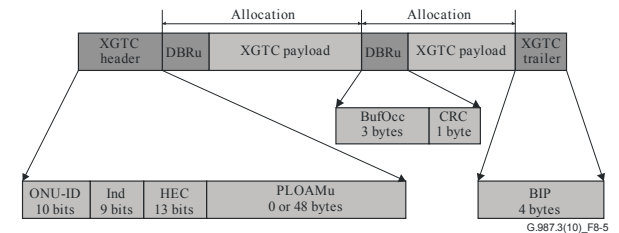
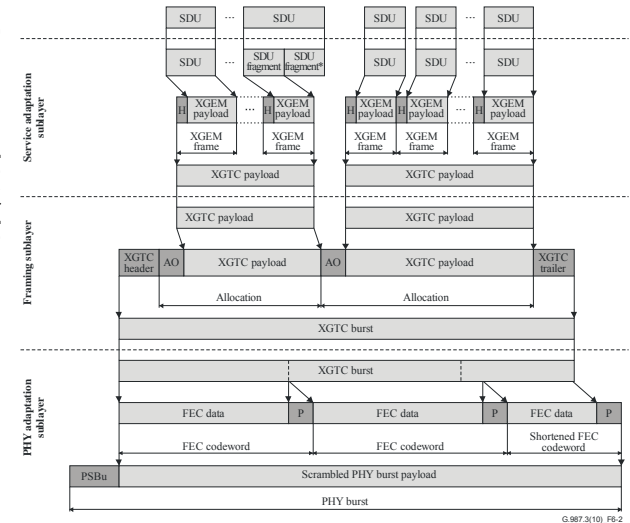
Σε ένα upstream πλαίσιο (PHY burst), εάν αφαιρέσουμε το PSBu πλαίσιο συγχρονισμού, ξεχωρίζουμε τις ριπές XGTC (XGTC burst). Η ριπή XGTC που κατευθύνεται στην άνω ζεύξη και εκπέμπεται από μια δεδομένη ONU έχει μέγεθος που καθορίζεται δυναμικά και αποτελείται από την επικεφαλίδα ριπής XGTC, ένα ή περισσότερα διαστήματα χορήγησης εύρους ζώνης (bandwidth allocation interval), κάθε ένα από τα οποία συνδέεται με ένα συγκεκριμένο Alloc-ID, ένα πεδίο DBRu αναφοράς κατάστασης μνήμης καθώς και το πεδίο εξόδου XGTC (trailer).

Η XGTC επικεφαλίδα περιλαμβάνει:

- Το ONU-ID πεδίο που καθορίζει τον αποστολέα
- Το πεδίο ind έχει 9 bits που παρέχουν γρήγορη αυτόκλητη σηματοδότηση της κατάστασης της ONU
- Το πεδίο PLOAMu περιέχει κανένα ή ένα μήνυμα PLOAM. Η παρουσία του μηνύματος PLOAM ελέγχεται από το OLT με τη σημαία PLOAMu της πρώτης δομής χορήγησης στη σειρά χορήγησης ριπής. Το μήκος του μηνύματος PLOAM είναι 48 bytes

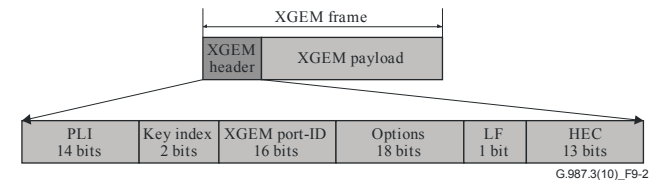
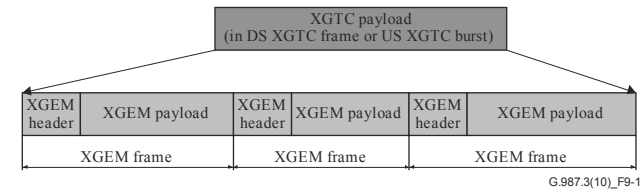
Εάν υπάρχει, η επιβάρυνση χορήγησης αποτελείται από τη δομή DBRu. Η παρουσία του DBRu ελέγχεται από το OLT με τη σημαία DBRu της αντίστοιχης δομής χορήγησης εντός της δομής BWmap. Η δομή DBRu μήκους 4-byte φέρει μια αναφορά κατάστασης μνήμης buffer που σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο Alloc-ID.

Το πεδίο εξόδου ριπής XGTC περιέχει ένα πεδίο εύρους 4-byte πολυπλεγμένου σε πεδίο bit με άρτια ισοτιμία BIP (Bit-Interleaved even Parity) υπολογισμένο σε ολόκληρη τη ριπή XGTC. Ο δέκτης στην OLT επαληθεύει τη BIP για την εκτιμήσει το ρυθμό σφαλμάτων BER στην οπτική άνω ζεύξη.



XG-PON – Δομή Ωφέλιμου Φορτίου

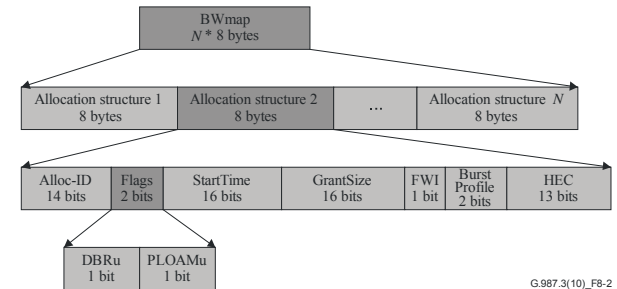
- Το τμήμα ωφέλιμου φορτίου XGTC μεταφέρεται στα πλαίσια κάτω ζεύξης XGTC και στις ριπές άνω ζεύξης XGTC. Το μέγεθος του ωφέλιμου φορτίου XGTC σε ένα δεδομένο πλαίσιο κάτω ζεύξης XGTC είναι ίσο με το μέγεθος του πλαισίου XGTC (το οποίο είναι σταθερό και ίσο με 135432 bytes) μείον το μέγεθος του δεδομένου πλαισίου επικεφαλίδας XGTC. Το μέγεθος του κάθε τμήματος ωφέλιμου φορτίου XGTC σε μια δεδομένη ριπή άνω ζεύξης είναι ίσο με το μέγεθος της αντίστοιχης χορήγησης μείον την επιβάρυνση χορήγησης. Το ωφέλιμο φορτίο XGTC περιέχει ένα ή περισσότερα πλαίσια XGEM. Κάθε πλαίσιο XGEM περιέχει μια επικεφαλίδα XGEM σταθερού μεγέθους και ένα πεδίο ωφέλιμου φορτίου XGEM μεταβλητού μεγέθους.



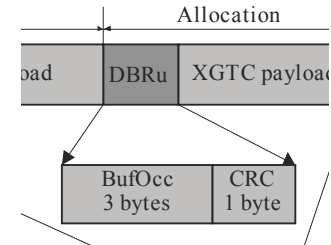
- Το μέγεθος της επικεφαλίδας XGEM είναι 8 bytes και περιέχει κατάλληλα πεδία καθορισμού του αποστολέα, του μεγέθους πακέτου και εύρεσης σφαλμάτων

XG-PON – Συγχρονισμός Μεταδόσεων

Σε ένα σύστημα XG-PON, η πρόσβαση μέσου για την κυκλοφορία άνω ζεύξης ελέγχεται από το OLT. Το OLT δίνει εντολή σε κάθε ONU πότε να μεταδώσει στην κατεύθυνση άνω ζεύξης μέσω της δομής χάρτη εύρους ζώνης (BWmap) σε κάθε πλαίσιο PHY κάτω ζεύξης. Μεταδόσεις στην κατεύθυνση άνω ζεύξης συνδέονται με τη λήψη του πλαισίου PHY κάτω ζεύξης που μεταδίδεται από την OLT κάθε 125 μ s.



- Κάθε δομή ανάθεσης (Allocation structure) προδιαγράφει μία ανάθεση εύρους ζώνης σε ένα συγκεκριμένο Alloc-ID. Μία σειρά από μία ή περισσότερες δομές ανάθεσης που σχετίζονται με τα Alloc-IDs που ανήκουν στην ίδια ONU και προορίζονται για συνεχόμενη ανοδική μετάδοση, σχηματίζουν μία σειρά ανάθεσης ριπής (burst allocation series).
- Το πεδίο Allocation ID περιέχει τον 14-bit αριθμό που δείχνει τον αποδέκτη της ανάθεσης εύρους ζώνης, δηλαδή ένα συγκεκριμένο T-CONT (Transmission Container) ή ένα ανοδικό OMCC (ONT Management and Control Channel) μέσα σε μία ONU
- Το πεδίο StartTime περιέχει ένα αριθμό μήκους 16 bit που υποδεικνύει τη θέση του πρώτου byte της ανοδικής ριπής XGTC μέσα στο ανοδικό PHY πλαίσιο. Το StartTime μετριέται από την αρχή του ανοδικού πλαισίου και έχει ακρίβεια μίας λέξης (1 word = 4 bytes). Η τιμή StartTime = 0 αντιστοιχεί στην πρώτη λέξη του ανοδικού PHY πλαισίου· η τιμή StartTime = 9719 αντιστοιχεί στην τελευταία λέξη του ανοδικού PHY πλαισίου.
- Το πεδίο GrantSize περιέχει έναν αριθμό μήκους 16-bit που προσδιορίζει το συνδυασμένο μήκος των δεδομένων ωφέλιμου φορτίου (payload) XGTC με την επιβάρυνση (overhead) DBRu που έχει εκπεμφθεί μέσα στη δεδομένη ανάθεση (σημειώνεται ότι το GrantSize δεν συμπεριλαμβάνει την επικεφαλίδα XGTC, το πεδίο εξόδου (trailer) XGTC ή την επιβάρυνση FEC).



Προκειμένου το OLT να εκτιμήσει το εύρος ζώνης που απαιτείται από κάθε ONU, θα πρέπει κάθε ONU να αναφέρει την κατάσταση στο buffer της. Η αντίστοιχη τιμή προστίθεται στο πεδίο BuffOcc του DBRu

Ανάθεση Bandwidth στις ONUs

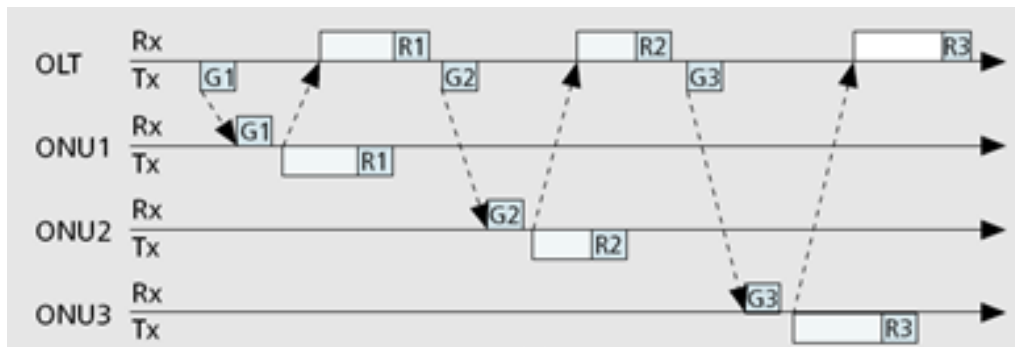
- Δομικές Αδυναμίες των PONs:
 - Κοινό μέσο μετάδοσης:
 - Πολλά μήκη κύματος διαθέσιμα για downstream, ένα για upstream.
 - Ανάγκη δημιουργίας στρατηγικής διαμοίρασής του.
 - Υπεύθυνος το OLT.
 - Εγγενείς καθυστερήσεις:
 - Διάδοση από την ONU στον OLT.
 - Διάδοση μηνυμάτων από το OLT στις ONUs.
 - Ασφαλής εναλλαγή μεταξύ διαδοχικών ONUs (guard time).
 - Αυθαίρετη άφιξη πακέτων στις ουρές
 - Ανάγκη στατιστικής πολυπλεξίας – προσαρμογή στις στιγμιαίες απαιτήσεις.

Δυναμική Ανάθεση Εύρους Ζώνης

- Αναγκαία η ανάπτυξη αλγορίθμων δυναμικής ανάθεσης του εύρους ζώνης – Dynamic Bandwidth Allocation (DBA)
 - Εκτέλεση του DBA στον OLT.
 - Καθορίζει εικονικούς κύκλους εξυπηρέτησης.
 - Καθορίζει πότε θα στείλει κάθε ONU (grant scheduling) και για πόσο (grant size).
 - Κάθε ONU γνωστοποιεί στο OLT τις απαιτήσεις της από τον προηγούμενο κύκλο.
 - Πρέπει να εξασφαλίζεται κάθε φορά μετάδοση χωρίς συγκρούσεις.
 - Απαραίτητος ο συγχρονισμός ONUs και OLTs.
- Αλγόριθμοι Δυναμικής Ανάθεσης Bandwidth
 - TDM – Time Division Multiplexing
 - IPACT - Interleaved Polling with Adaptive Cycle time
 - WDM – Wavelength Division Multiplexing
 - OCDMA – Optical Code Division Multiplexing

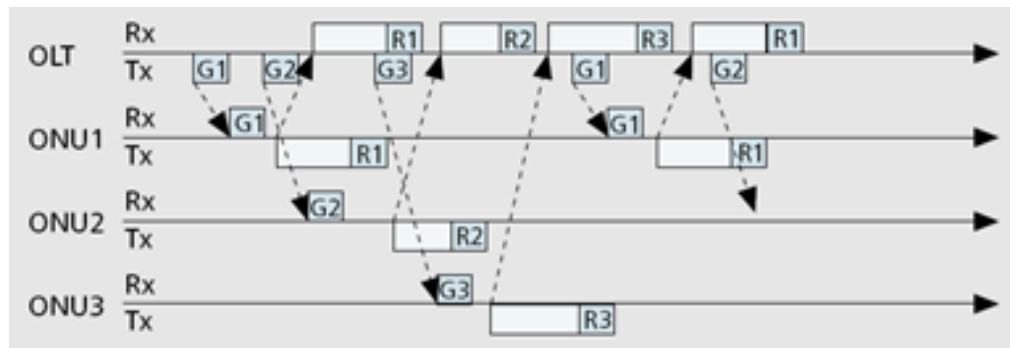
Τεχνικές Polling

- Στους polling αλγορίθμους ο OLT γνωρίζει τις απαιτήσεις κάθε ONU και αφού αποφασίσει πότε και πόσο θα στείλει μια ONU της αναθέτει μια χρονοσχισμή στέλνοντας το αντίστοιχο GRANT μήνυμα στην ONU.
 - Το μήνυμα ορίζει το μέγεθος του παραθύρου.
- Όταν η ONU το λάβει αρχίζει να στέλνει τα δεδομένα, όπως έχει οριστεί στο GRANT και τελειώνει την αποστολή με ένα REPORT μήνυμα στο οποίο αναφέρει το μέγεθος των δεδομένων που έχει στην ουρά.
- Θα πρέπει μεταξύ διαδοχικών ONUs να υπάρχει κενό διάστημα ασφάλειας.
- Οι ONUs εξυπηρετούνται διαδοχικά και σε ένα κύκλο πρέπει να έχουν εξυπηρετηθεί όλες τουλάχιστον μια φορά.



IPACT – Interleaved Polling with Adaptive Cycle time

- Ο IPACT αποτελεί μια βελτιωμένη έκδοση των τεχνικών polling προσανατολισμένη κυρίως σε EPON. Στοχεύει στην εξαλείψιση των κενών μετάδοσης που παρατηρούνται στον απλοϊκό polling και κατά συνέπεια στην αποδοτικότερη χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης στο upstream. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διαδοχική αποστολή μηνυμάτων GATE από το OLT πριν το τέλος της τρέχουσας μετάδοσης από κάποια ONU, ώστε η επόμενη μετάδοση να ξεκινήσει σε ασφαλή χρονική στιγμή για αποφυγή συγκρούσεων αλλά τα δεδομένα να ληφθούν με μικρή χρονική διαφορά (guard band) από τα προηγούμενα
- Για να το επιτύχει αυτό ο IPACT, εισάγεται μια επιπλέον λειτουργία αρχικοποίησης στο OLT ώστε να έχει μια ακριβή εκτίμηση του χρόνου διάδοσης (απόσταση) από κάθε ONU



IPACT - Grant Sizing

- Ο OLT πρέπει σε κάθε κύκλο να αποφασίζει το μέγεθος του παραθύρου για κάθε ONU.
- Πέντε βασικοί τρόποι
 - **Fixed** – Ο OLT ορίζει ένα σταθερό παράθυρο το οποίο ισχύει για όλες τις ONUs για όλους τους κύκλους.
 - **Gated** – Το παράθυρο είναι ίσο με αυτό που ζήτησε (ανέφερε) η ONU στον προηγούμενο κύκλο.
 - **Limited** – ορίζεται ένα μέγιστο μέγεθος που μπορεί να ανατεθεί σε μια ONU. Εάν οι απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες ανατίθεται αυτό το μέγιστο. Διαφορετικά όπως στο Gated.
 - **Limited with Excess Distribution** – Σε κάθε ONU ανατίθεται το μέγιστο που έχει οριστεί στη Limited. Αν κάποιες ONU δημιουργούν πλεόνασμα (οι απαιτήσεις είναι μικρότερες) τότε αυτό μοιράζεται στους υπόλοιπους.
 - **Exhaustive Service System Using Queue Size Prediction** – Στο REPORT των ONUs χρησιμοποιείται τεχνική πρόβλεψης για δεδομένα που μπορεί να έρθουν στο διάστημα από το τελευταίο REPORT μιας ONU μέχρι το επόμενο GRANT σε αυτή.