

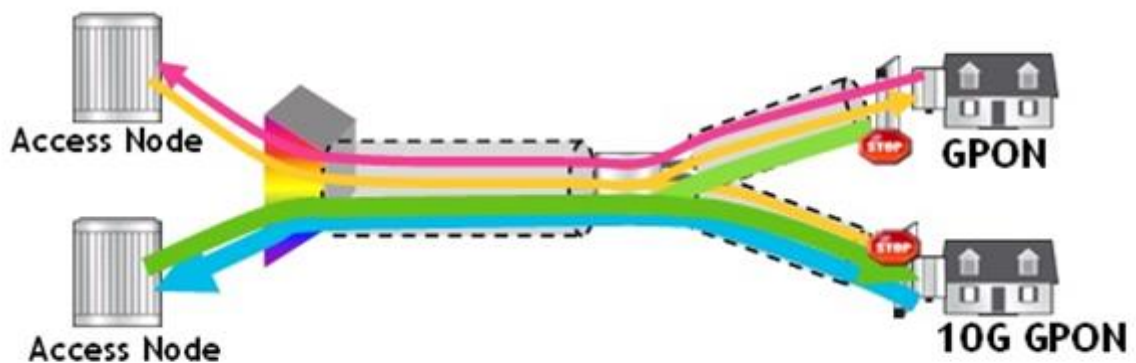


ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### Συγκριτική Μελέτη των Προτύπων XG-PON και GE-PON στα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα



Του φοιτητή  
Τρούμπουλου Αθανασίου

Επιβλέπων καθηγητής  
Σαρηγιαννίδης Παναγιώτης

Θεσσαλονίκη 2013



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παθητικό οπτικό δίκτυο καθίσταται ένα από τα πιο επικρατέστερα δίκτυα στο πεδίο της ευρυζωνικής πρόσβασης. Αυτό κατά κύριο λόγο οφείλεται στις πραγματικά απεριόριστες δυνατότητες που διαθέτει για αποτελεσματική παροχή εύρους ζώνης. Οι FTTx (Ίνα στο x) τεχνολογίες υλοποιούνται μέσω των PON, δημιουργώντας οπτικά μονοπάτια χωρίς να παρεμβάλλονται οπτικο-ηλεκτρονικές μετατροπές. Η παρούσα εργασία εστιάζει στα δύο κυρίαρχα PON πρότυπα: το XG-PON και το GPON. Επίσης, παρουσιάζεται η σύγκριση των δύο αυτών υποψήφιων τόσο στο φυσικό επίπεδο, όσο και στο επίπεδο σύνδεσης δεδομένων.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, γίνεται μια εισαγωγή προσέγγιση στον όρο της ευρυζωνικότητας, στην τεχνολογία των οπτικών ινών και αναλύεται ο όρος «παθητικό δίκτυο». Επίσης, αναλύονται τα οπτικά δίκτυα πρόσβασης FTTx.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφεται λεπτομερώς το πρότυπο της τεχνολογίας GPON, η αρχιτεκτονική της καθώς και τα πλεονεκτήματά της. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η νεοεισαχθείσα τεχνολογία XG-PON.

Τέλος, στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η συγκριτική ανάλυση της απόδοσης των τεχνολογιών 10G EPON και XG-PON1 και παραθέτονται τα αποτελέσματα απόδοσης στις διάφορες περιπτώσεις.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένας από τους πιο σημαντικούς λόγους που οδηγούν στην αναγκαιότητα για ευρυζωνικές επικοινωνίες, είναι οι συνεχείς αλλαγές των αναγκών και απαιτήσεων των χρηστών. Αυτό έγινε πιο ξεκάθαρο με την ανάπτυξη του διαδικτύου.

Μέχρι σήμερα, ως καλύτερη λύση στα μέσα μετάδοσης φαίνεται να είναι οι οπτικές ίνες. Αυτό ισχύει διότι τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι ιδιαίτερα σημαντικά σε σχέση με τα άλλα μέσα.

Αρχικά, τα PON είναι μια αξιόπιστη λύση για τα Δίκτυα Πρόσβασης (Access Networks – AN) αφού επιτρέπουν τη χρήση υπηρεσιών ευρείας ζώνης με πιο οικονομικούς όρους. Συνεπώς, καθίσταται εφικτή η πρόσβαση από μεμονωμένους χρήστες ή μικρές επιχειρήσεις οι οποίοι δεν έχουν τη οικονομική δυνατότητα να χρησιμοποιούν οπτικές ίνες αποκλειστικής χρήσης.

Επιπλέον, το GPON έχει μεγάλες δυνατότητες σε ότι αφορά τις λειτουργίες ανάπτυξης, πρόβλεψης και διαχείρισης του δικτύου, ενώ παράλληλα παρέχει ασφάλεια σε επίπεδο πρωτοκόλλου για την downstream κίνηση.

Ακόμη, το XG-PON1 επιτρέπει στους παρόχους υπηρεσιών να εξελίξουν τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα των πελατών τους, τόσο των βιομηχανικών όσο και των επιχειρήσεων οι οποίοι εξυπηρετούνται από τεχνολογίες GPON.

Συνεπώς, με την υπάρχουσα εγκατάσταση των οπτικών ινών και χωρίς να υπάρξει καμία παρέμβαση στη δομή εγκατάστασης του GPON μπορούν να επιτευχθεί η υλοποίηση του XG-PON1.

Η ανάπτυξη των υπηρεσιών στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, απαιτούν εύρος ζώνης. Αυτό αποτέλεσε στροφή για τις αρχιτεκτονικές και τις τεχνολογίες που εξασφαλίζουν πολύ υψηλό εύρος ζώνης.

Τέλος, πραγματοποιώντας συγκριτική μελέτη μεταξύ της τεχνολογίας 10G EPON και της τεχνολογίας XG-PON1 και ύστερα από ανάλυση της μελέτης αυτής προκύπτει το πολύ σημαντικό συμπέρασμα ότι για μικρότερο αριθμό ONU, η αποδοτικότητα του XG-PON1 είναι ελαφρώς υψηλότερη από αυτή του 10G EPON.



## ABSTRACT

One of the most important factors that lead to the need for broadband communications is the constant changes in the needs and demands of users. Given the evolution of the Internet, the need for broadband communications has become clear.

Fiber optics seem to be the best solution for the means of broadcasting today, since the advantages they present compared with other means are significant.

PON are one reliable solution for Access Networks – AN as they allow the use of broadband services under economical terms, so that access from separate users or small businesses, which cannot afford the usage of fiber optics of exclusive use, can be feasible.

Moreover, GPON has great capabilities concerning functions of development, anticipation and management of the network, while it simultaneously provides security on a protocol level for downstream traffic.

XG-PON1 has the capability of allowing service providers to develop the already existent networks of their customers as well as those of the industry and businesses that are provided service by technologies GPON. Therefore, taking advantage of the existent installation of fiber optics and without interfering with the structure of the installation of GPON, they can achieve the implementation of XG-PON1.

The development of services that require bandwidth, such as television on an IP (IPTV and High Definition IPTV, which require up to 20 Mbps), Web-TV (e.g. Youtube) as well as the increase in the popularity of social networks led to exchange of multimedia content that was required by recent telecommunication networks, a revolution concerning architectures and technologies, capable of achieving a very high bandwidth especially in terms of network access, where restrictions in the bandwidth.



## **Συγκριτική Μελέτη των Προτύπων XG-PON και GE-PON στα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα**

After comparing technology 10G EPON and technology XG-PON1, it can be concluded that for a smaller number of ONU, the efficiency of XG-PON1 is slightly higher than that of 10G EPON.



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας αυτή την πτυχιακή εργασία, ολοκληρώνεται επιτέλους και ένα μεγάλο κεφάλαιο της ζωής μου, μέσα από πολλά λάθη και αγώνες διδάσκοντάς με ότι τα αγαθά (και όχι μόνο, αφού η ηθική ικανοποίηση δεν συγκρίνεται με οποιοδήποτε αγαθό) κόποις κτώνται.

Θα ήθελα μέσα από αυτές τις λίγες γραμμές να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν να φτάσω εδώ και ελπίζοντας να επιτύχω τον σκόπο αυτό και την ολοκλήρωση του κύκλου σπουδών μου, παρέχοντας μου στήριξη και υπομονή απέναντί μου.

Ευχαριστώ την οικογένειά μου, για όλη την οικονομική, ηθική συμπαράσταση όλα αυτά τα χρόνια μη χάνοντας ούτε στιγμή την πίστη τους σε μένα, ακόμα κι όταν την είχα χάσει εγώ ο ίδιος και γνωρίζοντάς τους, ότι χωρίς αυτούς δεν θα είχα πετύχει τίποτα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Παναγιώτη Σαρηγιαννίδη για την υπομονή και την βοήθειά του όλο αυτόν τον καιρό στην επίτευξη της εργασίας, γνωρίζοντας πόσο δύσκολο ήταν αυτό, όταν και οι δυο μας εργαζόμαστε καθημερινά και η απόσταση και επικοινωνία στάθηκαν πολλές φορές τροχοπέδη στον σκοπό αυτό.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους δάσκαλους, καθηγητές της ζωής μου για ότι απλόχερα μου έδωσαν, κάνοντας με αυτόν τον άνθρωπο που είμαι σήμερα και με έμαθαν ότι η παιδεία είναι ίσως το μεγαλύτερο αγαθό μετά την υγεία στη ζωή μας.

*Αφιερώνεται στον εκλιπόντα Δάσκαλό μου...*

*Κώστα Τρομπούκη*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|   |      |
|---|------|
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....  | iii  |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....  | v    |
| ABSTRACT .....  | viii |
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....   | xi   |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....   | xii  |
| Ευρετήριο σχημάτων .....  | xiv  |
| Ευρετήριο πινάκων .....   | xiv  |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....  | xvi  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....  | 1    |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ .....                                  | 1    |
| 1.1 Ορισμός της Ευρυζωνικότητας .....                             | 1    |
| 1.2 Η ανάγκη για Ευρυζωνικότητα.....                              | 3    |
| 1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Οπτικών Ινών.....         | 6    |
| 1.4 Οπτικά Δίκτυα Πρόσβασης .....                                 | 7    |
| 1.5 Παθητικά Οπτικά Δίκτυα (Passive Optical Networks - PON) ..... | 11   |
| 1.6 Οπτική Ίνα μέχρι τους Τελικούς Χρήστες.....                   | 13   |
| 1.7 Δίκτυα Πρόσβασης Νέας Γενιάς .....                            | 14   |
| 1.8 Το PON είναι ο καλύτερος υποψήφιος.....                       | 16   |
| 1.9 WDM σε Δίκτυα Οπτικών Ινών .....                              | 18   |
| 1.10 Εισαγωγή στα FTTx Οπτικά Δίκτυα Πρόσβασης .....              | 19   |
| 1.10.1 Βασικά Σημεία των FTTx Δικτύων .....                       | 20   |
| 1.10.2 Παραλλαγές των FTTx Δικτύων .....                          | 21   |
| 1.10.3 Τεχνολογία FTTH Δικτύων .....                              | 23   |
| 1.11 Τεχνολογίες PON .....  | 24   |
| 1.11.1 APON .....   | 24   |
| 1.11.2 EPON.....  | 29   |
| 1.11.3 Οφέλη των EPON.....  | 31   |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....  | 33   |
| ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ GE-PON ΚΑΙ XG-PON.....                                 | 33   |

## Συγκριτική Μελέτη των Προτύπων XG-PON και GE-PON στα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα

|                                     |   |    |
|-------------------------------------|---|----|
| 2.1                                 | Σύγκριση Τεχνολογιών APON, EPON και GPON .....                            | 34 |
| 2.2                                 | Δίκτυα GPON .....   | 37 |
| 2.2.1                               | Γενικά Χαρακτηριστικά των Δικτύων GPON .....                              | 38 |
| 2.2.2                               | Το Στρώμα Σύγκλισης Μετάδοσης των Δικτύων GPON .....                      | 39 |
| 2.2.3                               | Τύποι Αναγνωριστικών και Αντικειμένων των Δικτύων GPON.....               | 41 |
| 2.3                                 | Υπόστρωμα Σύγκλισης Μετάδοσης (TC Layer) .....                            | 43 |
| 2.4                                 | Δυναμική Ανάθεση Εύρους Ζώνης.....  | 46 |
| 2.4.1                               | Λειτουργικές Απαιτήσεις και Μέθοδοι Δυναμικής Ανάθεσης Εύρους Ζώνης ..... | 52 |
| 2.4.2                               | Μαθηματικό Μοντέλο Δυναμικής Ανάθεσης Εύρους Ζώνης .....                  | 52 |
| 2.5                                 | Πρωτόκολλο MAC .....  | 53 |
| 2.6                                 | XG-PON.....   | 54 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....                    |   | 57 |
| ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ GE-PON ΚΑΙ XG-PON..... |   | 57 |
| 3.1                                 | Διαφορές GPON και GEPON.....  | 58 |
| 3.2                                 | 10G EPON (overhead identification).....                                   | 59 |
| 3.2.1                               | Ethernet Encapsulation Overhead .....                                     | 61 |
| 3.2.2                               | Line Coding, FEC και Burst Mode Overhead .....                            | 63 |
| 3.2.3                               | Downstream Line Coding και FEC Overhead.....                              | 63 |
| 3.2.4                               | Upstream Line Coding , FEC Burst Mode Overhead.....                       | 64 |
| 3.3                                 | Downstream XG-PON1 Overhead .....   | 66 |
| 3.4                                 | Upstream XG-PON1 Overhead .....   | 69 |
| 3.5                                 | Μέτρηση Συνολικού Overhead .....  | 70 |
| 3.5.1                               | 10GEPON .....   | 70 |
| 3.5.2                               | XG-PON1 Υπολογισμός Overhead.....   | 71 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....                  |   | 73 |
| ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....                      |   | 76 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....                  |   | 78 |

## Ευρετήριο σχημάτων

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Σχήμα 1  | " Σύγκριση Μηχανισμών Πρόσβασης στα Δίκτυα "                     | 10 |
| Σχήμα 2  | " Παθητικά Οπτικά Δίκτυα "                                       | 15 |
| Σχήμα 3  | " Βασική Δομή Τεχνολογίας WDM "                                  | 19 |
| Σχήμα 4  | " Παραλλαγές FTTx "  | 23 |
| Σχήμα 5  | " APON "   | 26 |
| Σχήμα 6  | " Ρεύμα Καθόδου Δικτύου EPON "                                   | 30 |
| Σχήμα 7  | " Ρεύμα Ανόδου Δικτύου EPON "                                    | 31 |
| Σχήμα 8  | " Η Διαδικασία Πολυπλεξίας της Ροής Καθόδου "                    | 40 |
| Σχήμα 9  | " Η Διαδικασία Πολυπλεξίας της Ροής Ανόδου "                     | 41 |
| Σχήμα 10 | " Το Πλαίσιο Σύγκλισης Μετάδοσης GPON Ροής Καθόδου "             | 43 |
| Σχήμα 11 | " Σύγκριση Στατικού και Δυναμικού Τρόπου Ανάθεσης Εύρους Ζώνης " | 48 |
| Σχήμα 12 | " Ιεραρχία TCONT "   | 49 |
| Σχήμα 13 | " Ο Μηχανισμός Δυναμικής Ανάθεσης Εύρους Ζώνης "                 | 51 |
| Σχήμα 14 | " Εξοπλισμός του XG-PON "  | 55 |
| Σχήμα 15 | " a) Μορφή Ethernet Frame - b)Μορφή 10GEPON Frame "              | 61 |
| Σχήμα 16 | " Εσωτερική Δομή του Καναλιού Upstream, Data Burst στο 10GEPON " | 65 |
| Σχήμα 17 | " Downstream XG-PON Layer Organization "                         | 67 |
| Σχήμα 18 | " Upstream XG-PON Layer Organization "                           | 69 |
| Σχήμα 19 | " 10GEPON Downstream Overhead "                                  | 70 |
| Σχήμα 20 | " 10GEPON Upstream Overhead "                                    | 71 |
| Σχήμα 21 | " XG-PON1 Downstream και Upstream Overhead "                     | 71 |
| Σχήμα 22 | " Downstream Αποδόσεις GEAPON και XG-PON "                       | 72 |
| Σχήμα 23 | " Upstream Αποδόσεις GEAPON και XG-PON "                         | 72 |

## Ευρετήριο πινάκων

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Πίνακας 1 | " Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα Οπτικών Ινών "                  | 7  |
| Πίνακας 2 | " Συνδυασμοί bit rate για upstream/downstream κανάλι στα GPON " | 34 |
| Πίνακας 3 | " Σύγκριση APON - EPON "  | 35 |
| Πίνακας 4 | " Σύγκριση EPON - GPON "  | 36 |
| Πίνακας 5 | " Εύρος Ζώνης TCOUNT "  | 50 |



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξέλιξη της τεχνολογίας των οπτικών ινών τα τελευταία χρόνια, είχε ως αποτέλεσμα η υποδομή των τηλεπικοινωνιών να παρουσιάσει μία τρομερή ανάπτυξη στη χωρητικότητα του εύρους ζώνης των δικτύων κορμού. Η ανάπτυξη αυτή ξεκίνησε με τα δίκτυα ευρείας περιοχής (WANs) τα οποία προσφέρουν συνδεσιμότητα μεταξύ πόλεων, εν μέσω των δικτύων μητροπολιτικής περιοχής (MANs) τα οποία συνδέουν τα τηλεπικοινωνιακά κέντρα των παρόχων υπηρεσιών. Ωστόσο, τα δίκτυα πρόσβασης, που εξυπηρετούν πληθώρα οικιακών χρηστών, μικρών επιχειρήσεων και οργανισμών, δεν έχουν ανάλογη ανάπτυξη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η πρόσφατη ανάπτυξη των πρωτοποριακών τεχνολογιών xDSL και CaTV έχει αναβαθμίσει σημαντικά τις απαιτήσεις για χωρητικότητα, παρόλο που οι τεχνολογίες αυτές είναι ακόμη ανεπαρκείς για να καλύψουν την ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση εύρους ζώνης των χρηστών. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, οι τεχνολογίες οπτικών ινών μέχρι το σπίτι, το πεζοδρόμιο, το κτίριο (Fiber To The Home, Curb, Building – FTTH, FTTC, FTTB) έχουν θεωρηθεί από καιρό ως μια συμφέρουσα λύση και τα παθητικά οπτικά δίκτυα (PONs) θεωρούνται ευρέως ως μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την εφαρμογή διάφορων λύσεων FTTx.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αρχικά εισάγει τις θεμελιώδεις έννοιες σχετικές με τις οπτικές ίνες. Στη συνέχεια, εξετάζει τα κύρια ζητήματα που σχετίζονται με τη διάθεση εύρους ζώνης του ανοδικού καναλιού (από τον τελικό χρήστη προς το τηλεπικοινωνιακό κέντρο) στα συστήματα EPONs και τελειώνοντας, παρουσιάζει μία επισκόπηση των πιο πρόσφατων αλγορίθμων δυναμικής διάθεσης εύρους ζώνης (Dynamic Bandwidth Allocation – DBA) για ανοδικές μεταδόσεις στα EPONs.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

#### 1.1 Ορισμός της Ευρυζωνικότητας

Η ευρυζωνικότητα, στις μέρες μας, πολλές φορές συγχέεται από πολλούς, είτε με κάποια συγκεκριμένη ταχύτητα σύνδεσης, είτε με ένα συγκεκριμένο σύνολο υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα το DSL ή τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (wLANs). Στην πραγματικότητα, όμως, η ευρυζωνικότητα είναι κάτι διαφορετικό. Μάλιστα, εξαιτίας των ευρυζωνικών τεχνολογιών που συνεχώς αλλάζουν και εξελίσσονται, ο ορισμός της ευρυζωνικότητας αλλάζει και εξελίσσεται συνεχώς και αυτός.

Στην παρούσα χρονική περίοδο, ο όρος ευρυζωνικότητα περιγράφει τις πρόσφατες συνδέσεις με το διαδίκτυο (Internet), οι οποίες είναι από 5 έως 2000 φορές πιο γρήγορες από τις παλαιότερες dial-up τεχνολογίες σύνδεσης. Παρόλα αυτά, ο όρος δεν αναφέρεται σε συγκεκριμένη ταχύτητα ή υπηρεσία. Η ευρυζωνικότητα συνδυάζει το εύρος ζώνης (χωρητικότητα) με την ταχύτητα μιας σύνδεσης. Σύμφωνα με τη σύσταση I.113 του τομέα πιστοποίησης της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU), ως ευρυζωνικότητα θεωρείται η ικανότητα μετάδοσης των δεδομένων με ρυθμούς γρηγορότερους κατά 1.5 ή 2.0 Mbps (Mbit ανά δευτερόλεπτο) από τα αρχικά ψηφιακά δίκτυα ενοποιημένων υπηρεσιών (ISDN). Οι ευρυζωνικές τεχνολογίες, από τηλεπικοινωνιακή άποψη, είναι η μετεξέλιξη των υπάρχοντων ISDN δικτύων, τα οποία καλούνται πλέον ISDN στενού εύρους ζώνης (narrow band ISDN).

Συμπληρωματικά του παραπάνω ορισμού της ITU από κοινωνική, πολιτική, οικονομική και τεχνολογική άποψη, ως ευρυζωνικότητα ορίζεται το προηγμένο, εφικτό και καινοτόμο περιβάλλον, το οποίο:

- Έχει τη δυνατότητα να παρέχει γρήγορες και αποδοτικές συνδέσεις με το διαδίκτυο.
- Διαθέτει την κατάλληλη δικτυακή υποδομή.
- Προσφέρει τη δυνατότητα πολλαπλών επιλογών στον πελάτη.
- Περιλαμβάνει το κατάλληλο ρυθμιστικό πλαίσιο.

Πιο συγκεκριμένα, οι συνδέσεις με το διαδίκτυο θα πρέπει να είναι, αρχικά, εφικτές για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο πλήθος χρηστών. Επιπλέον, θα πρέπει να έχουν τη μορφή ενός καταναλωτικού αγαθού. Δηλαδή να προσφέρονται σε ανταγωνιστικές τιμές χωρίς να υπάρχουν περιορισμοί στα συστήματα μετάδοσης καθώς και στον τερματικό εξοπλισμό των δύο άκρων που επιδιώκουν επικοινωνία.

Επιπρόσθετα, η δικτυακή υποδομή θα πρέπει να επιτρέπει την ομοιόμορφη ανάπτυξη των δικτυακών εφαρμογών και πληροφοριακών υπηρεσιών που ήδη υπάρχουν αλλά και αυτών που θα προκύψουν στο μέλλον. Ακόμα, θα πρέπει να δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης χωρίς διακοπές μεταξύ των χρηστών στις εφαρμογές που αναφέρθηκαν. Θα πρέπει να μπορεί να ικανοποιεί τις εκάστοτε ανάγκες εφαρμογών και χρηστών σε εύρος ζώνης, σε αναδραστικότητα και διαθεσιμότητα. Επιπλέον, θα πρέπει να αναβαθμίζεται συνεχώς με το ελάχιστο πάντα κόστους, το οποίο θα της επιτρέψει να παρακολουθεί τις εξελίξεις και τις ραγδαίες αλλαγές στο χώρο της τεχνολογίας και της πληροφορικής. Έτσι θα είναι πάντα σε θέση να ικανοποιεί τις υπάρχουσες ανάγκες.

Θα πρέπει να τονιστεί, όμως, ότι είναι ιδιαίτερα σημαντική η δυνατότητα του πελάτη να επιλέγει ανάμεσα σε εναλλακτικές προσφορές σύνδεσης ανάλογα με τον εξοπλισμό και τις απαιτήσεις του, σε διάφορες δικτυακές εφαρμογές και σε διάφορες υπηρεσίες πληροφόρησης και ψυχαγωγίας, όπως είναι οι διαδραστικές. Η δυνατότητα αυτή που έχει ο πελάτης είναι αρκετά σημαντική, γιατί αφενός δεν του περιορίζει τις επιλογές και αφετέρου επειδή του δίνει τη δυνατότητα να επιλέξει αυτός σύμφωνα με τις ανάγκες και την οικονομική του ευχέρεια.

Τέλος, για να γίνουν τα παραπάνω κατάλληλα προς εφαρμογή, θα πρέπει να υπάρξει ένα ρυθμιστικό πλαίσιο, που να διέπεται από μέτρα, πολιτικές, πρωτοβουλίες, άμεσες και έμμεσες παρεμβάσεις. Όλα αυτά είναι απολύτως αναγκαία για την ενδυνάμωση της καινοτομίας και την προστασία του υγιούς

ανταγωνισμός. Έτσι, θα εγγυάται η ισορροπημένη οικονομική ανάπτυξη, η οποία θα προέλθει από τη γενικευμένη συμμετοχή στην ευρυζωνικότητα και στην Κοινωνία της Πληροφορίας.

### 1.2 Η ανάγκη για Ευρυζωνικότητα

Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του '70 και του '80, οι εξελίξεις στα δημόσια δίκτυα εξαρτιόνταν αποκλειστικά από τις ανάγκες της τεχνολογίας. Όμως, οι πολύ γρήγορα αναπτυσσόμενες ανάγκες διακίνησης των δεδομένων, προκάλεσαν και τις αλλαγές στις ανάγκες και στις απαιτήσεις των χρηστών, σε ότι αφορά κυρίως την ταχύτερη ανταλλαγή δεδομένων των οποίων ο όγκος αυξανόταν με ραγδαίους ρυθμούς. Υπάρχουν κι άλλοι παράγοντες, ωστόσο, που οδήγησαν σε ξαφνικές και δραστικές αλλαγές, όπως είναι οι εξής:

- Το πιο χαμηλό κόστος των τηλεπικοινωνιών. Αυτό προέκυψε από την εισαγωγή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (Integrated Circuits - ICs) και μικροεπεξεργαστών χαμηλότερου κόστους και υψηλότερης απόδοσης.
- Ο ανταγωνισμός μεταξύ των εταιρειών παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.
- Η εισαγωγή των οπτικών ινών που είχαν χαμηλό κόστος και ήταν αξιόπιστες στη μετάδοση δεδομένων.
- Η εξάπλωση των προσωπικών υπολογιστών (PCs) και των τοπικών δικτύων (LANs), που προσφέρουν σύνδεση με το διαδίκτυο.

Είναι προφανές ότι το χαμηλό κόστος και η ενισχυμένη επεξεργαστική ισχύς των υπολογιστών βοήθησε εκατομμύρια χρήστες να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο μέσω των τοπικών δημόσιων δικτύων, των οποίων οι ανάγκες και οι απαιτήσεις για εφαρμογές να είναι τελείως διαφορετικές. Τη διαφορετικότητα αυτή σε εφαρμογές και απαιτήσεις έρχεται να επιλύσει η ευρυζωνικότητα μέσω ενός μεγάλου πλήθους υπηρεσιών που μπορεί να προσφέρει. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι η τηλεφωνία με εικόνα (video telephony), οι χαμηλού κόστους τηλεδιασκέψεις, η τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (High Definition TV), η διασύνδεση τοπικών δικτύων (LAN interconnection). (Hadjifotiou,2005)

Συμπληρωματικά, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που ενισχύουν την ανάγκη για ευρυζωνικότητα σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα τελευταία χρόνια η φύση των ζητούμενων υπηρεσιών έχει αλλάξει, καθώς οι χρήστες θέλουν ολοένα και πιο εξειδικευμένες υπηρεσίες με χαρακτηριστικά, όπως: η κινητικότητα (mobility), το εύρος ζώνης μετά από ζήτηση (bandwidth on demand), η ευελιξία στη δημιουργία κι εγκατάσταση συνδέσεων, οι συνδέσεις από άκρο σε άκρο (end - to - end connectivity), η διαχείριση κλπ.

Ένας ακόμη παράγοντας, που αξίζει να επισημανθεί, είναι οι ανταγωνιστικές αγορές, οι οποίες λειτουργούν με μεγαλύτερη απόδοση από ότι οι ρυθμιζόμενες. Στις ανταγωνιστικές αγορές, οι εταιρείες επιδιώκουν να αποκτήσουν περισσότερους πελάτες και άρα μεγαλύτερα κέρδη. Αυτό τις ωθεί στο να προσφέρουν ακόμη πιο σύγχρονες υπηρεσίες, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να ικανοποιηθούν μέσα από τα παλαιότερα δίκτυα επικοινωνιών. Συνεπώς, έτσι συμβάλλουν στη πολύ μεγάλη και γρήγορα αναπτυσσόμενη ανάγκη για ευρυζωνικότητα.

Τέλος, η συνεχής μείωση του κόστους του εξοπλισμού που είναι απαραίτητος για την επεξεργασία και τη διακίνηση των πληροφοριών, δίνει σε ολοένα και περισσότερο κόσμο τη δυνατότητα να αποκτήσει διαδικτυακές συνδέσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συμφόρηση των υπαρχόντων δικτύων και την ανάγκη για δίκτυα με χαρακτηριστικά όπως αυτά που καθορίζει η σύσταση I.113 της ITU.

Κάνοντας μια ιστορική διαδρομή, ήδη από τους ρωμαϊκούς χρόνους, το γυαλί έχει καταρτιστεί σε ίνες. Το 1790 οι Γάλλοι αδελφοί Charpe εφηύραν τον πρώτο οπτικό τηλεγράφο. Ο οπτικός τηλεγράφος ήταν ένα σύστημα που αποτελούταν από μια σειρά από φώτα τοποθετημένα σε πύργους.

Κατά τη διάρκεια του επόμενου αιώνα έγιναν μεγάλα βήματα στην οπτική επιστήμη. Στη δεκαετία του 1840, οι φυσικοί Daniel Collodon και Jacques Babinet έδειξαν ότι το φως θα μπορούσε να κατευθυνθεί κατά μήκος, όπως ακριβώς συνέβαινε με τους πίδακες νερού στα σιντριβάνια. Το 1854, ο Βρετανός φυσικός John Tyndall, έδειξε ότι το φως θα μπορούσε να ταξιδέψει μέσα από ένα κυρτό ρεύμα νερού. Με αυτό ήθελε να αποδείξει ότι ένα φωτεινό σήμα μπορεί να

στραβώσει. Το κατάφερε με τη δημιουργία μιας δεξαμενής νερού με ένα σωλήνα που άδειαζε νερό από τη μία πλευρά. Καθώς το νερό έρεε από τον αγωγό προς τα κάτω, το ακολούθησε ένα τόξο φωτός και ένα φως έλαμψε μέσα στη δεξαμενή.

Αργότερα, το 1880 ο William Wheeler επινόησε ένα σύστημα με φωτεινούς σωλήνες που ήταν επενδυμένοι με μια αντανάκλαστική επίστρωση. Χρησιμοποίησε το φως από μια ηλεκτρική λάμπα που είχε τοποθετήσει στο υπόγειο του και κατάφερε να κατευθύνει το φως γύρω από το σπίτι του με σωλήνες. Μετά από 8 χρόνια οι γιατροί Roth και Reuss, της Βιέννης, χρησιμοποίησαν γυάλινες λυγισμένες βέργες για να φωτίσουν κοιλότητες του σώματος τους. Ένας Γάλλος μηχανικός, ο Henry Saint – Rene, σχεδίασε ένα σύστημα με λυγισμένες ράβδους γυαλιού για την καθοδήγηση του φωτός. Αυτή ήταν και μια πρόωρη απόπειρα της τηλεόρασης. Τη δεκαετία του 1920, ο John Logie Baird κατάφερε να μεταδώσει εικόνες για την τηλεόραση χρησιμοποιώντας συστοιχίες διαφανών ράβδων.

Το 1951, ο Holger Moeller έκανε αίτηση ώστε να πάρει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τις οπτικές ίνες. Πρότεινε να επενδυθούν με γυαλί ή πλαστικό. Το 1958 το λέιζερ αναδείχτηκε ως αποτελεσματική πηγή φωτός. Το 1961 ο Snitzer δημοσίευσε μια θεωρητική περιγραφή της ενιαίας ίνας, η οποία θα μπορεί να μεταφέρει το φως με ένα μόνο τρόπο, κύμα-οδηγό. Το 1970, επιτεύχθηκε από τους επιστήμονες στο Corning Glass Works ο στόχος να υπάρξει ίνα με εξασθένιση λιγότερο από 20dB/km. Η πρώτη σύνδεση μέσω οπτικών ινών έγινε το 1975 από την αστυνομία του Dorset. Στα τέλη του 1970 και στις αρχές της δεκαετίας του '80, τηλεφωνικές εταιρείες άρχισαν να χρησιμοποιούν ίνες εκτενώς για να αποκαταστήσουν τις επικοινωνίες τους. Το 1991, οι Desurvire και Payne έφτιαξαν ενισχυτές οπτικών σημάτων, που ήταν ενσωματωμένοι στο καλώδιο οπτικής ίνας. Το all-optic σύστημα θα μπορούσε να φέρει 100 φορές περισσότερες πληροφορίες από το καλώδιο με ηλεκτρονικούς ενισχυτές. Τα πρώτα καλώδια οπτικών ινών TPC-5 με οπτικούς ενισχυτές χρησιμοποιήθηκαν το 1996.

Σήμερα, σε διάφορες βιομηχανίες, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται η ιατρική, ο στρατός, οι τηλεπικοινωνίες, η αποθήκευση δεδομένων, η δικτύωση και άλλες βιομηχανίες, είναι σε θέση να εφαρμόζεται και να χρησιμοποιείται η

τεχνολογία των οπτικών ινών σε ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών (Hadjifotiou,2005)

### 1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Οπτικών Ινών

Στις μέρες μας, οι οπτικές ίνες θεωρούνται ως η βέλτιστη λύση για τα μέσα μετάδοσης και αυτό γιατί τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν, σε σχέση με τα άλλα μέσα, είναι ιδιαίτερα σημαντικά.

Πρωτίστως, οι οπτικές ίνες διαθέτουν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων και αυτό τους επιτρέπει να επιτυγχάνουν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης (της τάξης των Gbps). Συνήθεις ταχύτητες μετάδοσης είναι αυτές των 2 και 10 Gbps, ενώ έχουν επίσης αναπτυχθεί συστήματα των 20, 40 και 50 Gbps. Σε περίπτωση πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος, οι ταχύτητες φθάνουν ακόμα και στα μερικά Tbps. Επιπλέον, πολύ σημαντικό είναι το χαρακτηριστικό τους ότι δεν επηρεάζονται από ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, με αποτέλεσμα η χρήση τους να συνίσταται σε βιομηχανικό περιβάλλον και σε χώρους με υψηλό θόρυβο. Στις οπτικές ίνες η εξασθένηση των σημάτων είναι μικρότερη από ότι στα χάλκινα και ομοαξονικά καλώδια και έτσι οι αποστάσεις μεταξύ ενισχυτών ή άλλων ενεργών στοιχείων κυμαίνονται από μερικά μέχρι και μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα, ανάλογα με τη τεχνική και το ρυθμό μετάδοσης.

Επίσης, ένα μεγάλο πλεονέκτημα των οπτικών ινών είναι ότι συνιστούν ένα πολύ ασφαλές μέσο μετάδοσης καθώς η υποκλοπή και η παρεμβολή της πληροφορίας είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθούν. Ακόμα, το βάρος και ο όγκος τους είναι κατά πολύ μικρότερα από τα αντίστοιχα μεγέθη των άλλων αγωγών. Αξίζει να αναφέρουμε, σαν παράδειγμα, ότι ένα χάλκινο καλώδιο με 1000 ζεύγη και μήκος 500 μέτρων ζυγίζει περίπου 4000 κιλά, ενώ μια οπτική ίνα του ίδιου μήκους, που περιέχει τον ίδιο αριθμό καναλιών, ζυγίζει μόνο 45 κιλά. Επιπλέον, δεν είναι καθόλου ευαίσθητη σε υγρό περιβάλλον, εκεί όπου τα χάλκινα καλώδια μπορεί να δημιουργήσουν βραχυκυκλώματα. Για το λόγο ότι η οπτική ίνα δεν μεταφέρει ηλεκτρικό σήμα, προτιμάται σε περιοχές υψηλού κίνδυνου εκρήξεων από σπινθήρες όπως είναι οι χώροι καυσίμων, εύφλεκτων αερίων κλπ.

Σαν συμπέρασμα, θα πρέπει να αναφέρουμε, ότι τα καλώδια οπτικών ινών γενικά παρουσιάζουν τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες με τα ομοαξονικά καλώδια, αλλά με τη διαφορά ότι είναι πιο ελαφριά σε βάρος, μικρότερα σε διάμετρο και οι αποστάσεις μεταξύ των επαναληπτών είναι μεγαλύτερες. Αντιθέτως, ένα από τα πιο βασικά μειονεκτήματα των οπτικών ινών, είναι η δυσκολία που έχουν στην υλοποίηση συνδέσεων. Αυτό συμβαίνει επειδή απαιτείται υψηλή προσαρμογή και ευθυγράμμιση της φωτεινής πηγής, ώστε να μην υπάρχει διασπορά και να έχουμε τις ελάχιστες δυνατές απώλειες. Όμως, η πρόοδος της τεχνολογίας που έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια στην περιοχή των οπτικών ινών, αντιμετώπισε με επιτυχία την παραπάνω δυσκολία, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η χρήση τους και για συνδέσεις ενός σημείου προς πολλά. Παρόλα αυτά, η χρήση τους σε τέτοιες συνδέσεις δεν είναι ακόμη ευρέως εξαπλωμένη, ιδιαίτερα λόγω του αυξημένου κόστους που παρουσιάζουν τέτοια συστήματα. (Κώτσος, 2001)

Πίνακας 1 " Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα Οπτικών Ινών "

| Πλεονεκτήματα   | Μειονεκτήματα   |
|---|---|
| Μεγάλη χωρητικότητα της τάξης των Gbps  | Δυσκολία στη σύνδεση, με συνέπεια την ανάγκη ύπαρξης επιδέξιων εγκαταστατών |
| Νέες τεχνικές πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing) επιτυγχάνονται ταχύτητες των Tbps | Δυσκολία διασύνδεσης πολλών χρηστών πάνω σε ένα καλώδιο                     |
| Μικρό μέγεθος και βάρος   | Ακριβές για μικρές αποστάσεις   |
| Χαμηλή εξασθένηση   |   |
| Απρόσβλητη σε περιβαλλοντολογικές συνθήκες  |   |
| Υψηλή ασφάλεια - δυσκολία στις υποκλοπές  |   |
| Μεγάλοι εγκαταστάτες μειώνουν το κόστος   |   |

#### 1.4 Οπτικά Δίκτυα Πρόσβασης

Τα δίκτυα πρόσβασης, γνωστά και ως δίκτυα του πρώτου μιλίου (first mile network), λέγονται τα δίκτυα που ως σκοπό έχουν να συνδέουν τους παρόχους υπηρεσιών (service providers) με τους τελικούς χρήστες, δηλαδή τις εταιρείες με



τους οικιακούς χρήστες. Οι χρήστες των δικτύων αυτών απαιτούν πρόσβαση στο διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες, υψηλή ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service – QoS) και όσο το δυνατόν πιο χαμηλό κόστος. Από την άλλη μεριά και με τον ίδιο τρόπο, οι εταιρίες επιθυμούν μια υποδομή που θα προσφέρει αξιόπιστη ευρυζωνική σύνδεση των τοπικών τους δικτύων με το διαδίκτυο. Οι πάροχοι υπηρεσιών επιθυμούν την ανάπτυξη αξιόπιστων και ταχύτατων λύσεων πρόσβασης, που θα είναι διαμορφωμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν σε μελλοντικές προκλήσεις και απαιτήσεις.

Τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στην ανάπτυξη των λεγόμενων δικτύων κορμού. Τα δίκτυα αυτά αναπτύχθηκαν ώστε να παρέχουν ζεύξεις υψηλής χωρητικότητας, της τάξης των 10 Gbps. Αντίθετα, τα δίκτυα πρόσβασης που ήδη υπάρχουν, όπως η ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (Digital Subscriber Line – DSL), παρέχουν χαμηλές ταχύτητες στο ανοδικό και καθοδικό κανάλι (upstream and downstream channel), της τάξης των μερικών εκατοντάδων Kbps.

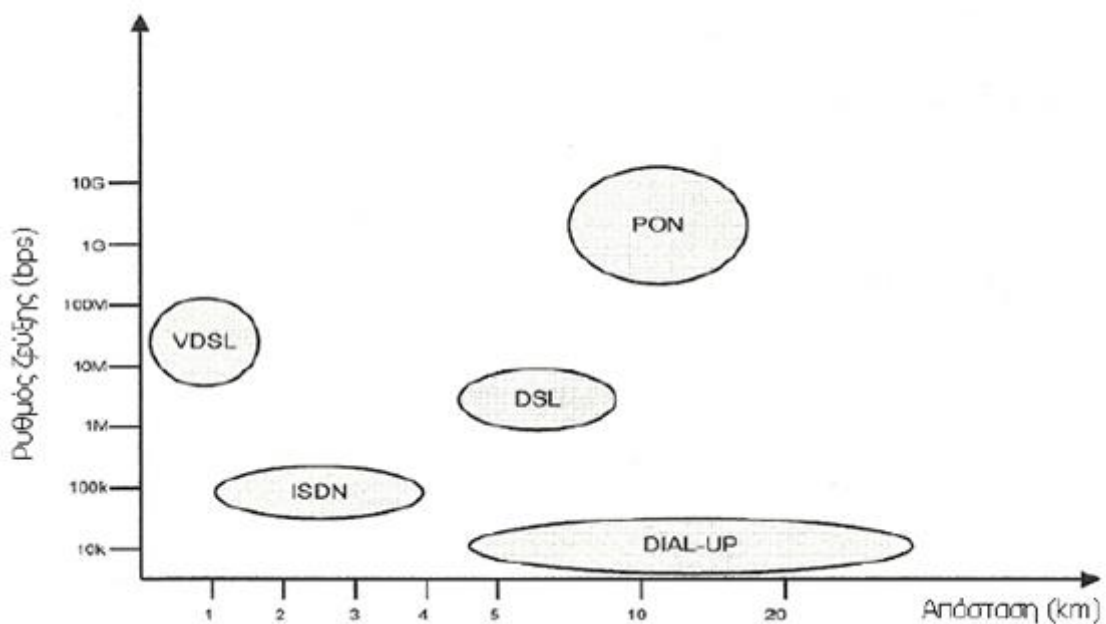
Αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι τα τοπικά δίκτυα (Local Area Network – LAN), που συνδέονται με τα δίκτυα πρόσβασης για σύνδεση με το διαδίκτυο, έχουν επίσης αναπτυχθεί αρκετά και απαιτούν όλο και μεγαλύτερες ταχύτητες πρόσβασης, εφόσον και τα τοπικά δίκτυα αναπτύσσονται με μεγαλύτερο ρυθμό από τα δίκτυα πρόσβασης. Επομένως, τα δίκτυα πρόσβασης αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες, όπως το βίντεο κατά απαίτηση (video on demand), τα διαδραστικά παιχνίδια (interactive games), η τηλεδιάσκεψη (videoconference) κτλ. Κάποιες λύσεις που ήδη υπάρχουν για ευρυζωνική πρόσβαση είναι η DSL και η καλωδιακή τηλεόραση (Community Antenna TeleVision – CATV). Πριν από αυτές τις τεχνολογίες γινόταν χρήση του αναλογικού dial-up modem, το οποίο παρείχε πολύ μικρότερο εύρος ζώνης. Αυτές οι τεχνολογίες, όμως, παρουσιάζουν και κάποια σημαντικά μειονεκτήματα, καθώς βασίζονται σε υποδομές που είχαν αρχικά κατασκευαστεί ώστε να μεταφέρουν φωνή και αναλογική τηλεόραση. Έτσι, δυσκολευόμαστε να τις θεωρήσουμε ευρυζωνικές, διότι δεν μπορούν να υποστηρίξουν τις εξελισσόμενες εφαρμογές φωνής, δεδομένων και βίντεο. (ChongFu,2007)

Στην DSL ένας περιοριστικός παράγοντας είναι η απόσταση που απέχει συνδρομητής από τον πάροχο. Η φυσική περιοχή που μπορεί να καλύψει ένα τηλεπικοινωνιακό κέντρο (Central Office – CO) με τη DSL περιορίζεται σε αποστάσεις μικρότερες των 5.5 km, απόσταση η οποία καλύπτει περίπου το 60% των πιθανών συνδρομητών. Στην περίπτωση που αυξηθεί η κάλυψη του DSL, τα απομακρυσμένα DSLAM (R-DSLAM) μπορούν να αναπτυχθούν πιο κοντά στους συνδρομητές. Γενικά, όμως, λόγω του αυξημένου κόστους ανάπτυξης και συντήρησης, οι φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου δεν παρέχουν υπηρεσίες DSL σε συνδρομητές που βρίσκονται σε απόσταση άνω των 3.6 km από ένα CO. Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται κάποιες παραλλαγές της DSL, όπως η πολύ υψηλής ταχύτητας DSL (Very high bit rate DSL – VDSL) που μπορεί να παρέχει ταχύτητες σύνδεσης έως τα 50 Mbps, αλλά σε κοντινή απόσταση που περιορίζεται περίπου στα 800 m.

Η καλωδιακή τηλεόραση προσφέρει πρόσβαση δεσμεύοντας κανάλια ραδιοσυχνότητας (Radio Frequency – RF), τα οποία αυτά κανάλια μεταδίδονται μέσω των ομοαξονικών καλωδίων που διαθέτει το δίκτυο. Από τα κανάλια ραδιοσυχνότητας (RF) μόνο λίγα χρησιμοποιούνται εξολοκλήρου για δεδομένα, ενώ το μεγαλύτερο μέρος του εύρους ζώνης χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την εξυπηρέτηση αναλογικού βίντεο παλαιού τύπου. Τα καλωδιακά δίκτυα δεν αποτελούν την καλύτερη επιλογή για την παροχή ποιότητας υπηρεσίας (QoS) και τη διάθεση του εύρους ζώνης στους τελικούς χρήστες, εξαιτίας του γεγονότος ότι έχουν φτιαχτεί ώστε να παρέχουν υπηρεσίες ευρυεκπομπής (broadcast). Σε περιπτώσεις ζήτησης υψηλού εύρους ζώνης, η απόδοση ενός τέτοιου δικτύου είναι σε σημαντικό βαθμό μειωμένη.

Καταλήγουμε, λοιπόν, στο συμπέρασμα ότι μια νέα λύση είναι απαραίτητη. Η λύση αυτή θα επικεντρώνεται στα δεδομένα, θα είναι οικονομική, απλή, κλιμακωτή και ικανή για απόδοση υπηρεσιών δέσμης φωνής, δεδομένων και βίντεο σε έναν τελικό χρήστη κατά μήκος ενός ενιαίου δικτύου. Έτσι, η νέα αρχιτεκτονική θα είναι βελτιωμένη σε ότι αφορά την μεταφορά δεδομένων πρωτόκολλου Ίντερνετ (IP), το οποίο αποτελεί μέχρι και σήμερα το κυρίαρχο πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Η επίλυση των προβλημάτων των υφιστάμενων δικτύων πρόσβασης μπορεί να γίνει με την εισαγωγή της οπτικής ίνας, η οποία αποτελεί ένα μέσο με πολλά πλεονεκτήματα και πολλές δυνατότητες. Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι οι πολύ χαμηλές απώλειες της ίνας και το τεράστιο εύρος ζώνης που αυτή μπορεί να προσφέρει. Τα νέας γενιάς δίκτυα πρόσβασης έχουν σκοπό να χρησιμοποιήσουν τις οπτικές ίνες σχεδόν παντού, αντικαθιστώντας τα υπάρχοντα καλώδια χαλκού σε πολύ μεγάλο βαθμό. Έτσι οπτική ίνα θα φτάνει μέχρι το χώρο εργασίας ή τους οικιακούς χρήστες. Από την άλλη, τα οπτικά δίκτυα πρόσβασης επιτρέπουν ταχύτητες της τάξης των Gbps, με κόστος που ανέρχεται στην ίδια τάξη με αυτό των DSL δικτύων [4]. Μια οπτική ζεύξη μπορεί να υποστηρίξει κάθε τύπο υπηρεσίας και εφαρμογής, άρα τα οπτικά δίκτυα πρόσβασης είναι αυτά που μπορούν να υποστηρίξουν μελλοντικές εφαρμογές και υπηρεσίες. Το Σχήμα 1 παρουσιάζει τους διάφορους μηχανισμούς πρόσβασης όσον αφορά το ρυθμό μετάδοσης που διαθέτουν καθώς και την απόσταση που αυτά μπορούν να υποστηρίξουν.



Σχήμα 1 " Σύγκριση Μηχανισμών Πρόσβασης στα Δίκτυα "

Στην περίπτωση όπου γίνεται αντικατάσταση των προηγούμενων δικτύων πρόσβασης ή εγκαθίσταται εξ αρχής ένα νέο, η οπτική ίνα τοποθετείται από το κέντρο πρόσβασης και φτάνει μέχρι το χώρο του τελικού χρήστη (Fiber To The Home – FTTH) ή το κτίριο (Fiber To The Building – FTTB) ή το πεζοδρόμιο (Fiber

Το The Curb – FTTC). Αν εφαρμόσουμε την οπτική ίνα να φτάνει ως το κτίριο ή το πεζοδρόμιο (FTTB ή FTTC), η υπόλοιπη απόσταση μέχρι το χώρο του τελικού χρήστη καλύπτεται συνήθως από χάλκινα καλώδια. Η επιλογή μεταξύ των τριών περιοχών που θα φτάνει η οπτική ίνα εξαρτάται από την οικονομικοτεχνική μελέτη που γίνεται, συνήθως, πριν την εγκατάσταση του οπτικού δικτύου πρόσβασης.

Ανάλογα ποια είναι η πιο συμφέρουσα λύση σε κάθε περίπτωση, γίνεται και η επιλογή της περιοχής μέχρι την οποία εγκαθίσταται η οπτική ίνα. Αυτό συμβαίνει επειδή κάθε φορά διαφορετικά αποτελέσματα της μελέτης καθορίζονται ως επιθυμητά, αφού αντιστοιχούν σε διαφορετικές απαιτήσεις των τελικών χρηστών και των παρόχων. Γενικά, η τοποθέτηση οπτικής ίνας έως το πεζοδρόμιο (FTTC) είναι στο σύνολο η πιο εφικτή περίπτωση. Αξίζει να σημειώσουμε ότι σε ορισμένες χώρες που ήδη γίνεται χρήση των οπτικών δικτύων πρόσβασης, όπως η Σουηδία, χρησιμοποιείται περισσότερο η λύση της τοποθέτησης της οπτικής ίνας μέχρι το πεζοδρόμιο (FTTC), ενώ στην Ιαπωνία προτιμάται περισσότερο η εγκατάσταση της οπτικής ίνας μέχρι το χώρο του τελικού χρήστη (FTTH). (ChongFu,2007)

### 1.5 Παθητικά Οπτικά Δίκτυα (Passive Optical Networks - PON)

Για τους διαχειριστές τηλεπικοινωνιών, το τμήμα της πρόσβασης στο δίκτυο παρέμενε πάντα το λεγόμενο “τελευταίο μίλι”. Το τελευταίο μίλι αντανakλούσε την περιφερειακή θέση του δικτύου στην περιοχή όλων των τηλεπικοινωνιακών πραγμάτων. Ήταν μια εικονική τηλεπικοινωνιακή “πίσω αυλή”, η οποία ποτέ δεν έλαβε την κατάλληλη προσοχή ή τις επαρκείς επενδύσεις και παρέμενε παραμελημένη και πάντα μη ορατή.

Αυτή η εγκατάλειψη του τμήματος της πρόσβασης και συγχρόνως, η απαίτηση των ανικανοποίητων συνδρομητών για νέες υπηρεσίες, προσέλκυσαν μια νέα γενιά ενδιαφερόμενων, που δεν ήταν άλλοι από εταιρείες οι οποίες παραδοσιακά ασχολούνταν με τις επικοινωνίες δεδομένων. Αυτές οι εταιρείες είχαν ως όραμα ένα περιβάλλον με παγκόσμια δικτύωση και πολλαπλές υπηρεσίες, όπως είναι η τηλεφωνία, το βίντεο, και τα δεδομένα, οι οποίες θα διαθέτουν πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά, που θα μεταφέρονται σε ψηφιακή μορφή μέσα σε ένα μεμονωμένο δίκτυο και με τη χρήση ενός μόνο πρωτοκόλλου. Για αυτές τις εταιρείες το δίκτυο πρόσβασης γίνεται το “πρώτο μίλι” στην επέκταση

της επικοινωνίας στον κόσμο των τηλεπικοινωνιών με δεδομένα. Η μετονομασία του τμήματος αυτού σε πρώτο μίλι έγινε σαφώς για να συμβολίσει την προτεραιότητα και τη μεγάλη σημασία που είχε. (Kramer,2002)

Το πρώτο μίλι συνδέει το τηλεπικοινωνιακό κέντρο (Central Office – CO) των παρόχων των υπηρεσιών με τις επιχειρήσεις και τους οικιακούς συνδρομητές. Αυτό το αναφέρουμε επίσης και ως δίκτυο πρόσβασης, αφού αποτελεί τη δικτυακή υποδομή σε επίπεδο γειτονιάς.

Τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα (Passive Optical Networks – PON) είναι οπτικά δίκτυα ενός σημείου προς πολλαπλά, τα οποία δεν περιέχουν ενεργά στοιχεία. Δηλαδή, δεν υπάρχει πουθενά από την πηγή μέχρι και τον προορισμό μετατροπή του σήματος από οπτικό σε ηλεκτρικό. Τα μόνα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι οι παθητικοί ζεύκτες (couplers), οι διαιρέτες (splitters) και οι συνδυαστές (combiners).

Τα PON αποτελούν μια πολύ αξιόπιστη λύση για τα Δίκτυα Πρόσβασης (Access Networks – AN) αφού επιτρέπουν τη χρήση υπηρεσιών ευρείας ζώνης με οικονομικούς όρους, ώστε να είναι εφικτή η πρόσβαση από μεμονωμένους χρήστες ή μικρές επιχειρήσεις οι οποίοι δεν έχουν τη οικονομική δυνατότητα να χρησιμοποιούν οπτικές ίνες για αποκλειστική χρήση. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης των PON σε Δίκτυα Πρόσβασης, είναι τα παρακάτω :

- Επιτρέπουν το κέντρο σύνδεσης και τον συνδρομητή να απέχουν μεταξύ τους μεγαλύτερες αποστάσεις. Μια ενσύρματη γραμμή που χρησιμοποιεί την τεχνολογία DSL επιτρέπει μέγιστη απόσταση 5,5 km μεταξύ του κέντρου και του συνδρομητή, ενώ ένας τοπικός βρόχος PON μπορεί να λειτουργήσει με αποστάσεις 20 km ή και μεγαλύτερες.
- Μειώνουν το πλήθος των οπτικών ινών στον τοπικό βρόχο και συνεπώς μειώνουν και το κόστος.
- Παρέχουν μεγάλο εύρος ζώνης αφού εγκαθίστανται οπτικές ίνες μέχρι το χρήστη. Αν και οι λύσεις ίνα - μέχρι - το - σπίτι (fiber-to-the-home – FTTH) και ίνα - μέχρι - το - κτήριο (fiber-to-the-building – FTTB) παρέχουν το μέγιστο εύρος ζώνης, εξαιτίας της μεγάλης διεισδυτικότητας της ίνας, ως πιο αποδοτική

από άποψη κόστους κρίνεται η λύση ίνα - μέχρι - το - πεζοδρόμιο (fiber-to-the-curve – FTTC).

- Επειδή είναι δίκτυα ενός σημείου προς πολλαπλά, είναι κατάλληλα για κοινοποίηση της πληροφορίας, όπως είναι η αναμετάδοση video (video broadcasting).
- Δεν έχουν την ανάγκη της χρήσης πολυπλεκτών και αποπολυπλεκτών στα σημεία διαχωρισμού. Έτσι οι διαχειριστές του δικτύου απαλλάσσονται από την επίπονη και ακριβή διαδικασία της συντήρησης και τροφοδότησης των στοιχείων αυτών. Στα σημεία διαχωρισμού εγκαθίστανται παθητικά αντί για ενεργά στοιχεία, τα οποία δεν χρειάζονται τροφοδοσία και μπορούν να θαφτούν στο έδαφος χωρίς να απαιτούν συντήρηση στο μέλλον.
- Επιτρέπουν την εύκολη αναβάθμιση σε υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων, καθώς και τη χρήση πολλαπλών μηκών κύματος.

Τα πλεονεκτήματα που έχει η χρήση τεχνολογίας PON σε Δίκτυα Πρόσβασης δείχνουν πόσο σημαντική είναι η σωστή σχεδίαση του δικτύου, αφού παίζει καθοριστικό ρόλο στην αποδοτικότητα των δικτύων αυτών. Συνοψίζοντας τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι εξαιτίας του γεγονότος ότι ο τοπικός βρόχος συσσωρεύει κίνηση ακόμη και με ένα μικρό αριθμό χρηστών, σε σύγκριση με ένα μητροπολιτικό δίκτυο, ως σημαντικότερη παράμετρο κατά τη σχεδίασή του καθίσταται το κόστος εγκατάστασης και χρήσης. (Kramer,2002)

### 1.6 Οπτική Ίνα μέχρι τους Τελικούς Χρήστες

Οι ευρυζωνικές λύσεις που ήδη υπάρχουν και είναι γνωστές δεν μπορούν να παρέχουν αρκετό εύρος ζώνης για να καλύψουν υπηρεσίες που ολοένα και αναπτύσσονται, όπως το βίντεο κατά παραγγελία (Video on Demand – VoD), τα διαδραστικά παιχνίδια και η τηλεδιάσκεψη.

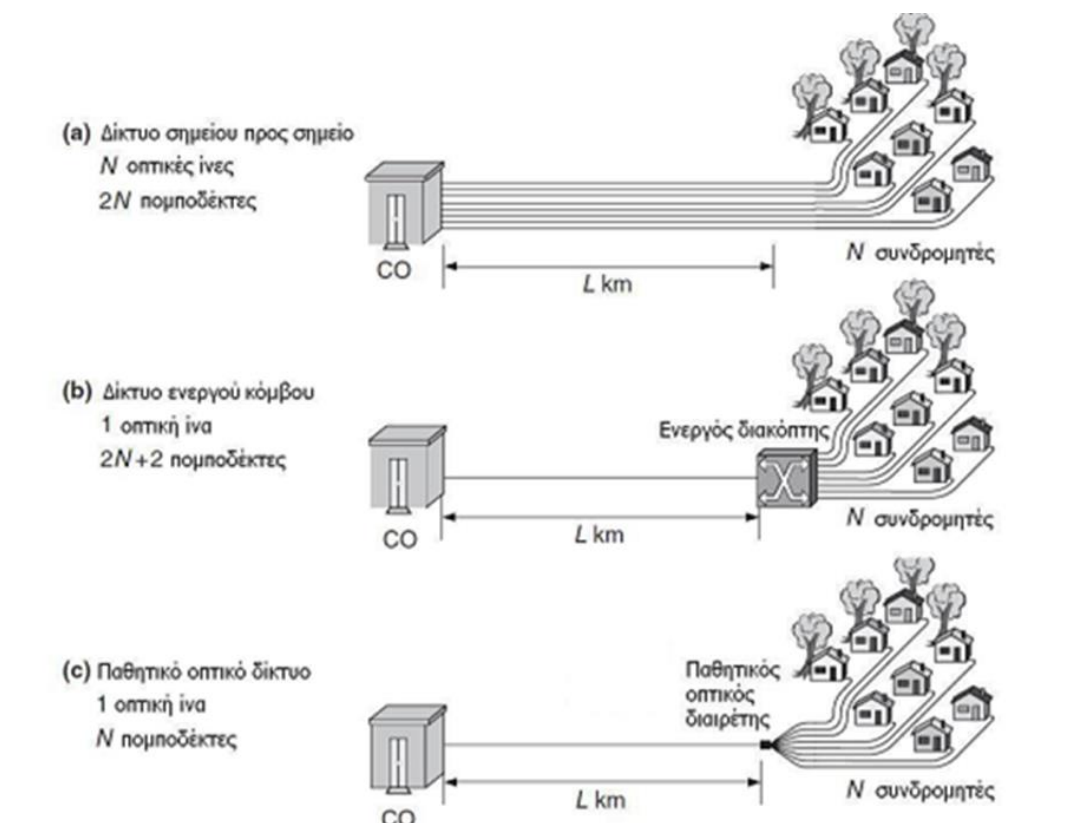
Προκειμένου να εμποδιστούν τα προβλήματα συμφόρησης που προκύπτουν λόγω του περιορισμένου εύρους ζώνης (bandwidth bottlenecks), οι οπτικές ίνες και συνεπώς οι οπτικοί κόμβοι διεισδύουν όλο και περισσότερο στο πρώτο μίλι. Αυτή η τάση συναντάται και στη χρήση DSL και στην καλωδιακή τηλεόραση. Στα δίκτυα πρόσβασης που βασίζονται στη DSL, πολλά απομακρυσμένα DSLAMs που αναπτύχθηκαν σε αυτόν τον τομέα χρησιμοποιούν

οπτικές ίνες ώστε να συνδεθούν με τα τηλεπικοινωνιακά κέντρα (CO). Στα δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης, οι οπτικοί κόμβοι αναπτύσσονται κοντά στους συνδρομητές.

Μελλοντικά το επόμενο βήμα στην ανάπτυξη του δικτύου πρόσβασης θα έχει τη δυνατότητα να φέρει τη δικτύωση μέσω οπτικών ινών μέχρι το γραφείο, τις πολυκατοικίες ή τις ιδιόκτητες οικίες. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες αρχιτεκτονικές, όπου η οπτική ίνα χρησιμοποιούνταν ως τροφοδότης για να μειωθεί το μήκος των ομοαξονικών και χάλκινων καλωδιώσεων, αυτές οι νέες καινοτομίες θα χρησιμοποιούν οπτικά καλώδια σε ολόκληρο το δίκτυο πρόσβασης. Έτσι, αναδύονται νέες αρχιτεκτονικές δικτύων οπτικών ινών, οι οποίες μπορούν να υποστηρίξουν ταχύτητες της τάξης των Gbps, με κόστος που είναι συγκρίσιμο με εκείνο των δικτύων DSL.

### 1.7 Δίκτυα Πρόσβασης Νέας Γενιάς

Οι οπτικές ίνες μπορούν να προσφέρουν στο δίκτυο πρόσβασης υπηρεσίες φωνής, δεδομένων και βίντεο, που απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης, σε αποστάσεις άνω των 20 km. Ένας γρήγορος τρόπος εγκατάστασης οπτικών ινών σε τοπικά δίκτυα πρόσβασης είναι η χρήση της τοπολογίας σημείου προς σημείο (Point to Point – P2P), όπου αφιερώνεται σε κάθε χρήστη μια οπτική ίνα η οποία τοποθετείται εξολοκλήρου από το CO μέχρι αυτόν το χρήστη (Σχήμα 2a). Φαινομενικά, αυτή είναι μια απλή αρχιτεκτονική, ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι οικονομικά απαγορευτική, επειδή απαιτεί ασύμφορη εξωτερική εγκατάσταση οπτικών ινών. Έστω ότι έχουμε  $N$  συνδρομητές σε μια μέση απόσταση  $L$  km από το CO. Μια τοπολογία P2P απαιτεί  $2N$  πομποδέκτες και  $N \times L$  km συνολικό μήκος ινών (υποθέτοντας ότι μια μονότροπη ίνα χρησιμοποιείται για μετάδοση διπλής κατεύθυνσης). Το κόστος, όμως, του εξοπλισμού του χρήστη που θα μετατρέψει το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό και αντίστροφα, καθώς και το κόστος εγκατάστασης της ίνας μέχρι την περιοχή του χρήστη, αποτρέπουν την επιλογή αυτής της λύσης.



Σχήμα 2 " Παθητικά Οπτικά Δίκτυα "

### Σενάρια εγκατάστασης δικτύου οπτικών ινών μέχρι την οικία (Fiber To The Home – FTTH)

Για να μειωθεί η εγκατάσταση μεγάλου μήκους οπτικών ινών, μπορούμε να εγκαταστήσουμε έναν απομακρυσμένο διακόπτη (συγκεντρωτή), δηλαδή έναν ενεργό κόμβο ο οποίος θα βρίσκεται κοντά στους τελικούς χρήστες. Αυτή είναι μια αρχιτεκτονική που ονομάζεται αρχιτεκτονική ενεργού αστέρα (Active Star architecture). Με τη χρήση αυτής της αρχιτεκτονικής η εγκατάσταση των οπτικών ινών θα μειωθεί σε μόλις  $L$  km (θεωρώντας ως αμελητέα την απόσταση μεταξύ του διακόπτη και των πελατών), αφού θα γίνει εγκατάσταση οπτικής ίνας μόνο στο τμήμα από το CO μέχρι τον ενεργό κόμβο. Στην πραγματικότητα, όμως, αυξάνεται ο αριθμός των πομποδεκτών σε  $2N+2$ , αφού υπάρχει ακόμα μια ζεύξη η οποία προστίθεται στο δίκτυο σε σχέση με την προηγούμενη τοπολογία (Σχήμα 2b). Επίσης, αυτή η αρχιτεκτονική προϋποθέτει την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος καθώς και αποθηκευμένη εφεδρική ενέργεια στο διακόπτη. Η παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας στον τοπικό ενεργό κόμβο και η συντήρησή της είναι μια από τις πιο σημαντικές λειτουργικές δαπάνες, που πρέπει να αναφερθεί. Οι τελικοί



χρήστες συνδέονται με τον ενεργό κόμβο είτε με χρήση χάλκινων καλωδίων ή οπτικής ίνας είτε με χρήση ασύρματης ζεύξης.

Επομένως, είναι φυσικό να αντικαθίσταται ο ενεργός διακόπτης “στην πλευρά του πεζοδρομίου” με ένα φθινό παθητικό οπτικό διαιρέτη (splitter) και έναν συνδυαστή (combiner). Δημιουργείται, με αυτό τον τρόπο, ένα παθητικό οπτικό δίκτυο (Passive Optical Network PON) που σαν τεχνολογία αποτελεί μια ελκυστική λύση για το πρόβλημα του πρώτου μιλίου. Ένα PON μειώνει τον αριθμό των οπτικών πομποδεκτών και την εγκατάσταση μεγάλου μήκους οπτικών ινών. Η ύπαρξη παθητικών διατάξεων σε ένα PON μειώνει στο ελάχιστο το κόστος παροχής ενέργειας στον κόμβο. Έτσι, τα PONs έχουν γίνει πολύ δημοφιλή και αποτελούν τη βέλτιστη λύση για την εισαγωγή οπτικής ίνας στα δίκτυα πρόσβασης.

Ένα PON είναι ένα οπτικό δίκτυο:

- σημείου προς πολλαπλά σημεία (Point-to-Multipoint – PtMP) στην κατερχόμενη κατεύθυνση (downstream), δηλαδή με φορά από το τηλεπικοινωνιακό κέντρο προς τους χρήστες.
- πολλαπλών σημείων προς σημείο (Multipoint-to-Point – MPtP) στην ανερχόμενη κατεύθυνση (upstream), δηλαδή με αντίθετη φορά από την προηγούμενη, όπως ακριβώς δηλαδή και για το δίκτυο ενεργού αστέρα.

Ένα PON διαθέτει μη ενεργά στοιχεία στο μονοπάτι του σήματος από την πηγή μέχρι τον προορισμό. Τα μόνα εσωτερικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στο PON είναι παθητικά οπτικά στοιχεία, όπως οι οπτικές ίνες, οι συνδέσεις (splices), διαιρέτες (splitters) και οι συνδυαστές (combiners). Ένα δίκτυο πρόσβασης που βασίζεται σε ένα PON μονότροπης οπτικής ίνας, απαιτεί μόνο  $N+1$  πομποδέκτες και  $L$  km οπτικής ίνας (Σχήμα 2c).

### 1.8 Το PON είναι ο καλύτερος υποψήφιος

Κατά γενική αποδοχή, η τεχνολογία PON θεωρείται από τον τηλεπικοινωνιακό κλάδο, ολοένα και περισσότερο, ως η λύση του “πρώτου μιλίου”

(first mile). Τα πλεονεκτήματα της χρήσης του PON για τα δίκτυα πρόσβασης είναι πολλά και αναλύονται στη συνέχεια.

Αρχικά, το PON είναι το πλέον κατάλληλο για να την κάλυψη μεγάλων αποστάσεων μεταξύ των τηλεπικοινωνιακών κέντρων (CO) και των εγκαταστάσεων των πελατών. Ένας τοπικός κόμβος που είναι βασισμένος σε PON μπορεί να λειτουργήσει σε αποστάσεις μήκους έως και 20 km, πράγμα το οποίο ξεπερνάει κατά πολύ την μέγιστη κάλυψη που παρέχει η DSL.

Επιπλέον, το PON μειώνει τη χρήση μεγάλου μήκους οπτικών ινών κατά την εγκατάσταση. Χρειάζεται μόνο μια ίνα στη ζεύξη και απαιτείται μόνο μία θύρα (port) ανά PON στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο (CO). Αυτό επιτρέπει τη χρήση πολύ πυκνού εξοπλισμού στο CO και αυτό συνεπάγεται χαμηλή κατανάλωση ισχύος .

Επίσης, το PON παρέχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης, της τάξης των Gbps, αφού οι οπτικές ίνες μπορούν να θαφτούν σε μεγαλύτερο βάθος. Ενώ οι λύσεις της ίνας μέχρι το κτίριο (FTTB), της ίνας μέχρι την κατοικία (FTTH) ή ακόμα και της ίνας μέχρι τον προσωπικό Η/Υ (FTTHPC) έχουν ως απώτερο σκοπό να φτάνει η ίνα μέχρι και τους χώρους των πελατών, η ίνα μέχρι το πεζοδρόμιο (FTTC) αποτελεί σήμερα την πιο οικονομική περίπτωση.( Effenberger, 2007)

Το PON, σαν δίκτυο ενός σημείου προς πολλαπλά, επιτρέπει την ευρεεκπομπή (broadcasting) βίντεο στην καθοδική κατεύθυνση (downstream) του δικτύου. Σε PON μπορούν να προστεθούν πολλαπλά κανάλια μήκους κύματος χωρίς τα ηλεκτρονικά των τερματικών συσκευών του δικτύου να δεχτούν ιδιαίτερες τροποποιήσεις.

Ακόμα, το PON περιορίζει την ανάγκη για εγκατάσταση πολυπλεκτών και αποπολυπλεκτών στα σημεία συνδυασμού και διαίρεσης των δεδομένων. Έτσι, αντί για ενεργές συσκευές σε αυτές τις περιοχές, το PON έχει παθητικά στοιχεία που μπορούν να θαφτούν στο έδαφος τη στιγμή της εγκατάστασης.

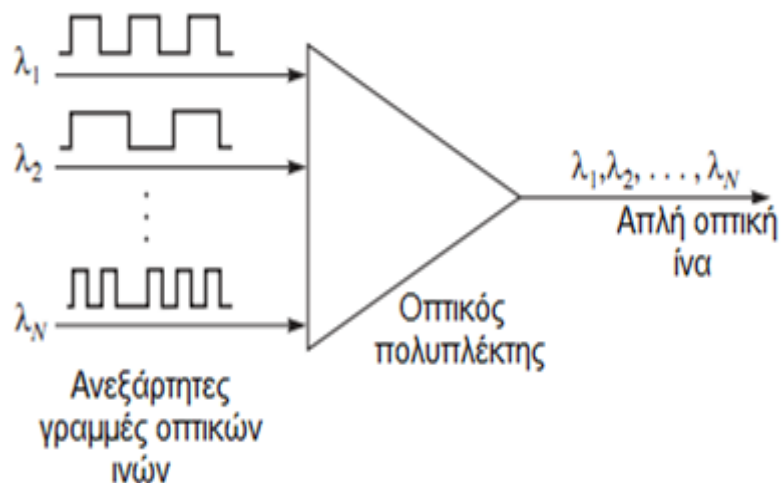
Τέλος, το PON επιτρέπει ενδεχόμενες μελλοντικές αναβαθμίσεις σε υψηλότερους ρυθμούς bit και την προσθήκη επιπλέον μηκών κύματος. Αυτό είναι γίνεται διότι οι παθητικοί διαιρέτες (splitters) και οι συνδυαστές (combiners)

παρέχουν πλήρη διαφάνεια στο μονοπάτι ανάμεσα του CO και των χρηστών.(Pesavento, 2001)

### 1.9 WDM σε Δίκτυα Οπτικών Ινών

Στα δίκτυα οπτικών ινών η χρήση της πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος (WDM) προσφέρει σημαντική αύξηση της χωρητικότητά τους και γι' αυτό θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική για τα δίκτυα κορμού και τα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων. Όπως δείχνει το Σχήμα 3 με την WDM επιτυγχάνεται η χρήση πολλαπλών οπτικών σημάτων, τα οποία έχουν μικρή διαφορά στα μήκη κύματος που χρησιμοποιούν για τη μετάδοση ανεξάρτητων ροών πληροφορίας ταυτόχρονα μέσα στην ίδια ίνα. Η μελέτη της WDM ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970. Στα επόμενα χρόνια, όμως, φάνηκε ότι ήταν πιο εφικτό να υλοποιηθούν ηλεκτρονικές και οπτικές διατάξεις με υψηλότερη ταχύτητα, από το να αναπτυχθούν συστήματα πιο πολύπλοκα που κάνουν χρήση WDM. Ωστόσο, η τεχνολογία WDM απέκτησε μεγάλη δημοτικότητα στις αρχές του 1990 καθώς οι ηλεκτρονικές διατάξεις έφτασαν σε κάποιο όριο διαμόρφωσης και γίνονταν ολοένα πολυπλοκότεροι και πιο ακριβοί οι εξοπλισμοί υψηλής μετάδοσης.

Ένα πολύ συνηθισμένο φαινόμενο στην υλοποίηση των WDM συστημάτων είναι μια στενή ζώνη εύρους να προσπαθεί να γεμίσει με όσο το δυνατόν περισσότερα και κοντινότερα μήκη κύματος και αυτό ονομάζεται «πυκνή» πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (DWDM). Οι κυματομορφές (ή οπτικές συχνότητες) σε ένα DWDM σύνδεσμο πρέπει να τοποθετούνται σε κατάλληλη θέση, ώστε να αποφεύγεται η παρεμβολή μεταξύ γειτονικών καναλιών, κάτι που οδηγεί σε θόρυβο στο οπτικό σήμα. Σε ένα οπτικό σύστημα, αυτή η παρεμβολή προέρχεται από το γεγονός ότι η κεντρική κυματομορφή της λέιζερ διόδου και τα άλλα λειτουργικά χαρακτηριστικά των οπτικών στοιχείων, μπορούν να αλλάξουν με τη θερμοκρασία και την πάροδο του χρόνου. Αυτό συνεπάγεται το οπτικό σήμα να απλώνει ή να παρασύρεται φασματικά.



Σχήμα 3 " Βασική Δομή Τεχνολογίας WDM "

### 1.10 Εισαγωγή στα FTTx Οπτικά Δίκτυα Πρόσβασης

Τα δίκτυα πρόσβασης αναπτύσσονται και επεκτείνονται ολοένα και περισσότερο. Αυτή τη στιγμή οι πιο συνηθισμένες τεχνολογίες που είναι υλοποιημένες είναι η DSL (Digital Subscriber line – Ψηφιακή συνδρομητική γραμμή) και η τεχνολογία καλωδιακών μόντεμ (cable modem). Επίσης, αρκετά ανεπτυγμένα είναι και τα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης. Το VDSL που αποτελεί την πιο πρόσφατη τεχνολογία DSL, υπόσχεται ασσύμετρες ταχύτητες 6 και 52 Mbps στην αποστολή και λήψη δεδομένων από το χρήστη ή συμμετρικές ταχύτητες μέχρι 26 Mbps. Ωστόσο, η τεχνολογία DSL περιορίζεται από την απόσταση, αφού για μεγάλες αποστάσεις η ταχύτητα μειώνεται. Από την άλλη, τα καλωδιακά μόντεμ με το νεότερο πρότυπό τους DOCSIS 2.0 μπορούν να παρέχουν ταχύτητες 30 και 40 Mbps για αποστολή και λήψη. Τέλος, στα ασύρματα δίκτυα πρόσβασης, η ταχύτητα μπορεί να είναι συμμετρική μέχρι 134.4 Mbps. Η τεχνολογία που χρησιμοποιούν τα δίκτυα αυτά είναι το WiMax, ωστόσο στο συγκεκριμένο πρότυπο επιβάλλεται η οπτική επαφή (line of sight). Στα ασύρματα δίκτυα όπου δεν υπάρχει οπτική επαφή, η ταχύτητα περιορίζεται στα 75 Mbps. και όπως και πριν, το εύρος μοιράζεται μεταξύ των ομάδων συνδρομητών. (Prat,2008)

Άμεσο επακόλουθο των παραπάνω είναι η εισαγωγή των FTTx δικτύων (Fiber to the x), όπως ονομάζονται τα δίκτυα πρόσβασης των πελατών με χρήση

οπτικών ινών, που παρέχουν ευρυζωνικές υπηρεσίες σε αρκετά μεγαλύτερες αποστάσεις σε σχέση με τις προηγούμενες τεχνολογίες. Κάποια επιπλέον κίνητρα για την ανάπτυξη των FTTx δικτύων αποτέλεσαν:

- Η διαθεσιμότητα και η ανεξαρτησία τους σε ότι αφορά το ξετύλιγμα τοπικού βρόχου (Local Loop Unbundling – LLU).
- Η βελτίωση και η σταθεροποίηση που χαρακτήριζαν τα δίκτυα πρόσβασης.
- Ο ανταγωνισμός απέναντι στις τεχνολογίες που διαθέτουν τα τωρινά παραδοσιακά δίκτυα πρόσβασης.
- Η ανάγκη για πολύ υψηλή και συμμετρική ταχύτητα στη μετάδοση δεδομένων.
- Το εύρος των σύγχρονων εφαρμογών. Για παράδειγμα, η τηλεδιάσκεψη απαιτεί αρκετά υψηλές ταχύτητες τόσο για τη λήψη (download) όσο και για την αποστολή (upload) των δεδομένων. Τα σημερινά δίκτυα υστερούν κυρίως ως προς την αποστολή κάτι που λύνεται με τη συμμετρικότητα των FTTx δικτύων.

### 1.10.1 Βασικά Σημεία των FTTx Δικτύων

Στα FTTx δίκτυα, το “x” αποτελεί το τελικό σημείο της οπτικής ίνας, δηλαδή εκεί όπου καταλήγει η οπτική ίνα. Το σημείο ουσιαστικά είναι η οπτικο-ηλεκτρονική διασύνδεση. Συνήθως βρίσκεται μέσα σε κάποιο είδος εξοπλισμού μετάδοσης, το οποίο ονομάζεται ή Οπτική Μονάδα Δικτύου (Optical Network Unit – ONU) και χρησιμοποιείται όταν η οπτική ίνα καταλήγει σε τηλεπικοινωνιακές καμπίνες (cabinets) ή Οπτικό Τερματικό Δικτύου (Optical Network Terminal – ONT) και χρησιμοποιείται όταν η ίνα φτάνει μέχρι μέσα στο κτίσμα του πελάτη. Άρα, για τα FTTH (οπτική ίνα μέχρι το σπίτι) μιλάμε πάντα για ONT στο άκρο της οπτικής ίνας του δικτύου. Το εναρκτήριο σημείο για τα δίκτυα πρόσβασης FTTx βρίσκεται μέσα στο Κεντρικό Γραφείο (CO), που πολλές φορές ονομάζεται και σημείο παρουσίας του FTTx (POP). Ουσιαστικά, ορίζοντας τις διάφορες παραλλαγές του FTTx, ορίζεται και το τελικό σημείο όπου φτάνει η οπτική ίνα. (Prat,2008)

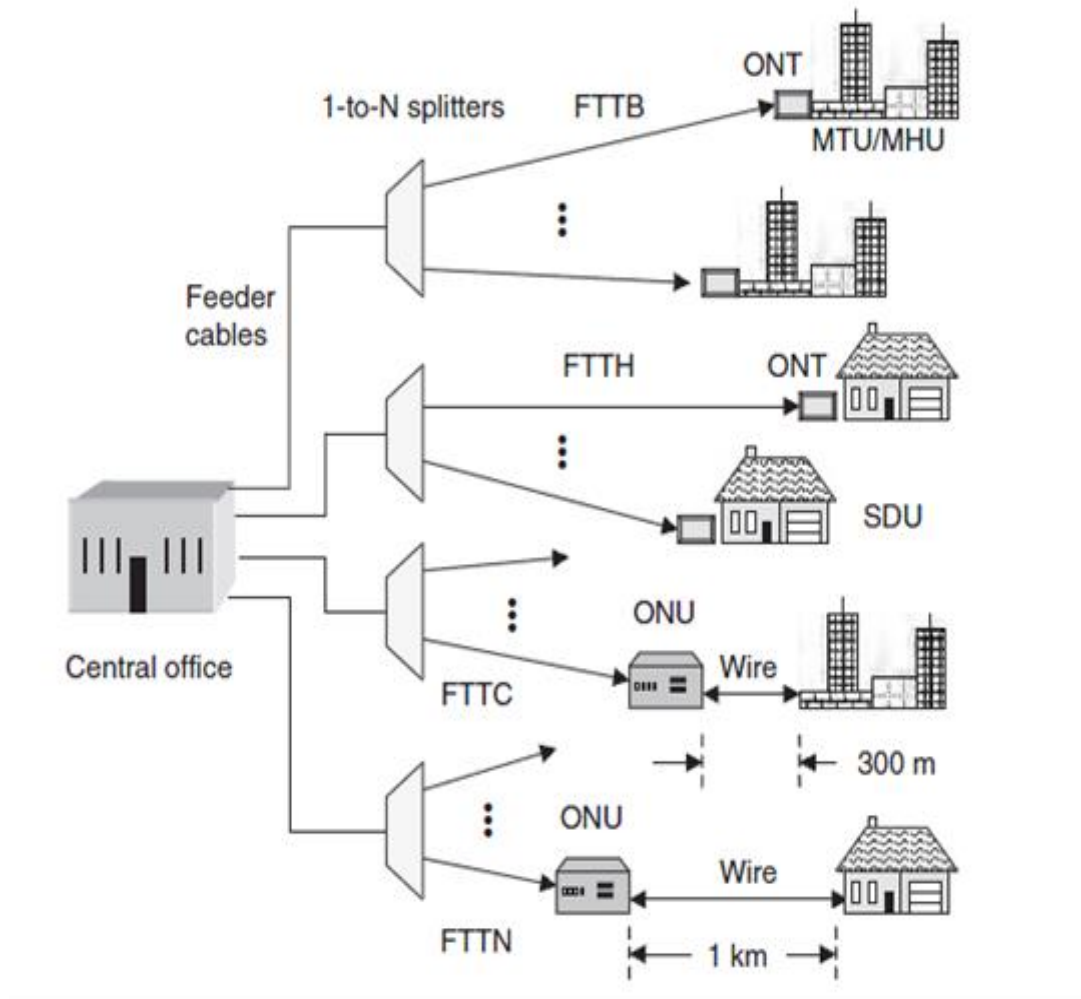
### 1.10.2 Παραλλαγές των FTTx Δικτύων

Τα FTTx δίκτυα εμφανίζονται με διάφορες παραλλαγές σε σχέση με το τελικό σημείο όπου καταλήγει η ίνα. Αυτά παρουσιάζονται παρακάτω και βρίσκονται σε αλφαβητική σειρά ως προς το “x”:

- FTTB (Fiber To The Business) – Οπτική ίνα μέχρι την επιχείρηση: Το τελικό σημείο της οπτικής ίνας βρίσκεται σε μια επιχείρηση.
- FTTB (Fiber To The Building) – Οπτική ίνα μέχρι το κτίριο: Το τελικό σημείο της οπτικής ίνας φτάνει στο όριο του κτιρίου, όπως παράδειγμα στο υπόγειο σε μια πολυκατοικία. Η τελική σύνδεση, όμως, των διαφορετικών κατοικιών να γίνεται με εναλλακτικούς τρόπους, όπως ομοαξονικό καλώδιο, συνεστραμμένα ζεύγη χαλκού ή ασύρματη ζεύξη.
- FTTC (Fiber To The Curb) – Οπτική ίνα μέχρι το ρείθρο: Το τελικό σημείο της οπτικής ίνας είναι μια καμπίνα στο δρόμο, συνήθως λιγότερο από 300 μέτρα από το κτίριο του πελάτη, με την τελική σύνδεση να είναι συνήθως χάλκινα καλώδια ή οπτική ίνα.
- FTTC (Fiber To The Cabinet) – Οπτική ίνα μέχρι την καμπίνα: Παραλλαγή συνώνυμη με αυτή για το Fiber To The Curb.
- FTTH (Fiber To The Home) – Οπτική ίνα μέχρι το σπίτι: Εδώ εκτείνεται μία επικοινωνιακή οδός που χρησιμοποιεί αποκλειστικά ένα οπτικό μέσο έως το χώρο διαμονής ή εργασίας κάθε χρήστη. Το τελικό σημείο της οπτικής ίνας βρίσκεται εντός του καθαυτού χώρου διαμονής ή εργασίας του καθενός από τους παραπάνω χρήστες. Η επικοινωνιακή οδός που αναφέρθηκε παρέχεται με σκοπό να εξυπηρετεί την τηλεπικοινωνιακή κίνηση για μία ή περισσότερες υπηρεσίες. ( Keiser,2006)

- FTTLA (Fiber To The Last Amplifier) – Οπτική ίνα μέχρι τον πρώτο ενισχυτή: Χρησιμοποιείται κυρίως για να αντικαταστήσει τα υπάρχοντα ομοαξονικά καλώδια που υπάρχουν στην αρχιτεκτονική CATV με οπτική ίνα.
- FTTN (Fiber To The Node) – Οπτική ίνα μέχρι τον κόμβο: Μοιάζει με το FTTC, με την καμπίνα όμως, όπου καταλήγει η οπτική ίνα, να βρίσκεται σε πιο μακρινή απόσταση από την κατοικία και συγκεκριμένα έως και αρκετά χιλιόμετρα.
- FTTN (Fiber To The Neighborhood) – Οπτική ίνα μέχρι τη γειτονιά: Είναι μια παραλλαγή συνώνυμη με την Fiber To The Node.
- FTTO (Fiber To The Office) – Οπτική ίνα μέχρι το γραφείο: Παρόμοια περίπτωση με το Fiber To The Business, όπου υπάρχει οπτική ίνα μέχρι το γραφείο κάποιου εταιρικού πελάτη μιας επιχείρησης.
- FTTP (Fiber To The Premises) – Οπτική ίνα μέχρι τα όρια ενός κτίσματος: Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται είτε σαν γενικός όρος για τα FTTH και FTTB, είτε σε δίκτυα πρόσβασης που περιλαμβάνουν σπίτια αλλά και μικρές επιχειρήσεις.
- FTТУ (Fiber To The User) – Οπτική ίνα μέχρι το χρήστη: Χρησιμοποιείται από την εταιρεία Alcatel για να περιγράψει τα προϊόντα της για εφαρμογές FTTH και FTTB.

Τα FTTH και FTTB (building) είναι αρκετά δύσκολο να διαχωριστούν. Για παράδειγμα, όταν ένα Οπτικό Τερματικό Δικτύου (ONT) βρίσκεται σε μια ενιαία μονάδα κατοικιών, τότε το FTTH συμπίπτει με το FTTB. Όταν όμως το ONT τοποθετείται μέσα σε ένα από τα διαμερίσματα, τότε έχουμε μόνο FTTB. Από όλα τα FTTx, εκείνα που είναι πιο συνηθισμένα είναι τα FTTB, FTTC, FTTH, FTTP. Κάποιες από τις παραπάνω παραλλαγές φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4 " Παραλλαγές FTTx "

### 1.10.3 Τεχνολογία FTTH Δικτύων

Οι αρχιτεκτονικές στα FTTH δίκτυα μπορούν να χωριστούν σε 2 βασικές κατηγορίες:

- Την αρχιτεκτονική Home Run, όπου υπάρχει μια αφιερωμένη ίνα μέχρι το κεντρικό γραφείο (CO) για κάθε κατοικία.
- Τις αρχιτεκτονικές αστέρα (star), όπου την ίδια οπτική ίνα τροφοδοσίας από το κεντρικό γραφείο μπορούν να τη μοιράζονται πολλά σπίτια. Αυτή η ίνα φτάνει μέχρι ένα σημείο στο οποίο γίνεται μεταγωγή, πολυπλεξία ή διαχωρισμός (μπορεί και συνδυασμός τους). Το σημείο αυτό βρίσκεται μεταξύ του κεντρικού γραφείου και των σπιτιών των πελατών. Η star αρχιτεκτονική μπορεί να είναι είτε



ενεργή (active) είτε παθητική (passive), ανάλογα με το αν ο απομακρυσμένος κόμβος τροφοδοτείται από ρεύμα (ενεργός) ή όχι (παθητική).

Πιο σπάνια, εκτός από τους δύο παραπάνω τύπους αρχιτεκτονικών, υπάρχει και η αρχιτεκτονική του δακτυλίου (ring), η οποία επιτρέπει την κοινή χρήση οπτικού μέσου το οποίο συνδέει χρήστες ή/και παρόχους ή/και εσωτερικούς κόμβους του δικτύου. Ο διαχωρισμός των κινήσεων μπορεί να γίνει είτε με παθητικές διατάξεις πολυπλεξίας στο φυσικό επίπεδο όπως WDM (passive rings) είτε με ενεργά στοιχεία (active rings).

Ανεξάρτητα από την αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται, τα καλώδια τροφοδοσίας οπτικών ινών (feeder cables) τερματίζουν στο κεντρικό γραφείο πάνω σε μια μονάδα τερματισμού οπτικών γραμμών (Optical Line Termination – OLT). Ο εξοπλισμός του κεντρικού γραφείου σχεδιάζεται για να υποστηρίξει διάφορους τύπου διασυνδέσεων, όπως 100FX Fast Ethernet, SONET, ATM, Gigabit Ethernet. Το κεντρικό γραφείο, όσον αφορά την σύνδεσή του, συνδέεται με IP δρομολογητές, ATM μεταγωγείς και άλλα δίκτυα κορμού, που παρέχουν PSTN και διάφορες άλλες υπηρεσίες σε αυτό. Από την πλευρά του χρήστη, υπάρχει ο εξοπλισμός του κτιρίου του πελάτη (CPE), που περιλαμβάνει την Οπτική Μονάδα Δικτύου (ONU) ή το Οπτικό Τερματικό Δικτύου (ONT). Τα καλώδια που φτάνουν μέχρι μέσα στο σπίτι (είτε σε ONT ή ONU) λέγονται τελικά καλώδια ή καλώδια πρόσβασης (drop cables), ενώ τα καλώδια που φτάνουν μέχρι ένα σημείο εκτός των σπιτιών λέγονται καλώδια διανομής (distribution cables) και ουσιαστικά κάνουν τη διανομή του δικτύου.

### 1.11 Τεχνολογίες PON

#### 1.11.1 APON

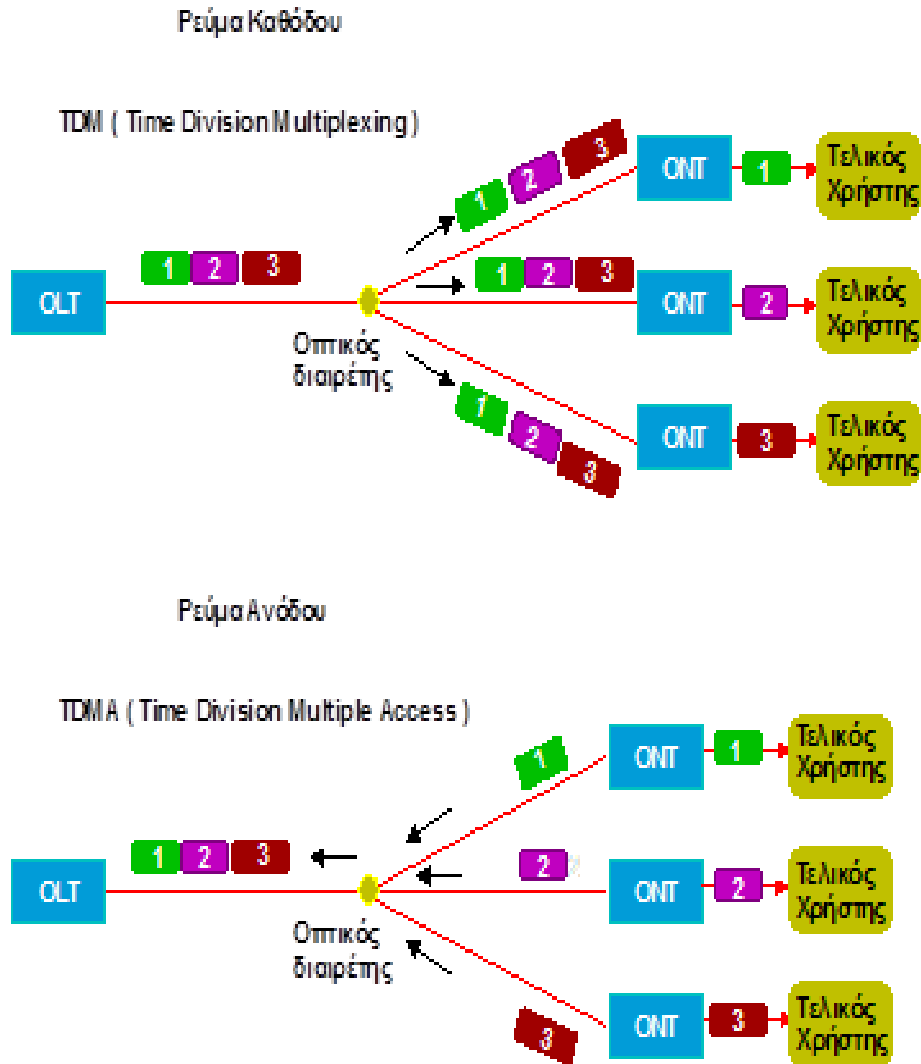
Το 1995 η FSAN ανέπτυξε έναν συνδυασμός της τεχνολογίας PON με τον ασύγχρονο τρόπο μεταφοράς (ATM), γιατί θεωρήθηκε τότε ως η τεχνολογία που θα βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις υπηρεσιών των διαφόρων χρηστών. Έτσι, δημιουργήθηκαν τα APON τα οποία υποστήριζαν

διάφορες αρχιτεκτονικές όπως η FTTH, η FTTB/C και η FTTH/CAB. Η θεώρηση αυτή στηρίχτηκε στο γεγονός ότι εκείνη την εποχή οι πιο λογικές και πιο συμφέρουσες επιλογές ήταν ο ATM για τον τρόπο μεταφοράς δεδομένων και τα δίκτυα PON για την τοπολογία των δικτύων πρόσβασης.

Ο ATM θεωρήθηκε ο πιο κατάλληλος για την υποστήριξη πολλαπλών πρωτοκόλλων και τα PON η πιο συμφέρουσα οικονομικά ευρυζωνική οπτική λύση. Η πρόταση της FSAN έγινε αποδεκτή ως πρότυπο από την ITU και περιγράφεται στο ITU-T Rec.G.983. Εκεί δίνονται οι προδιαγραφές για την αρχιτεκτονική, τον εξοπλισμό και τη διαστρωμάτωση του APON και συγκεκριμένα υπάρχει η περιγραφή του υποστρώματος όπου συγκλίνουν η μετάδοσης δεδομένων και το φυσικό υπόστρωμα.

Στο APON με βασικά κριτήρια την απλότητα και το κόστος επιλέχθηκε η TDM τεχνική για την προς τα κάτω ζεύξη (downstream) και η TDMA τεχνική για την πολλαπλή προσπέλαση στο μέσο για την προς τα άνω ζεύξη (upstream). Στο σχήμα 5 φαίνονται τα βασικά στοιχεία του δικτύου: το OLT, το ONU/ONT και ο παθητικός οπτικός διαιρέτης.

Στο APON μία οπτική ίνα μπορεί να διαιρεθεί παθητικά μέχρι και 64 φορές με αποτέλεσμα η χωρητικότητα να μοιράζεται από 64 ONU/ONT. Με την παθητική διαίρεση οι χρήστες μοιράζονται το εύρος ζώνης και κατ' επέκταση και το κόστος. Το κόστος μειώνεται με την ελάττωση του αριθμού των οπτο-ηλεκτρονικών στοιχείων που απαιτούνται για το OLT.



Σχήμα 5 " APON "

Το APON χρησιμοποιεί την τοπολογία διπλού αστέρα.

- Ο πρώτος αστέρας βρίσκεται στο OLT όπου η διεπαφή του δικτύου ευρείας ζώνης, που χρησιμοποιείται για τις υπηρεσίες, διαιρείται και οδηγείται στη διεπαφή ATM-PON.
- Ο δεύτερος αστέρας βρίσκεται στον διαιρέτη όπου η πληροφορία διαιρείται παθητικά και οδηγείται σε κάθε ONT.

Το OLT είναι το σημείο όπου συνδέονται το Δίκτυο Πρόσβασης και τα σημεία υπηρεσιών στο δίκτυο κορμού (backbone) και τοποθετείται στο κέντρο μεταγωγής. Όταν τα δεδομένα φτάνουν στο OLT τότε με την τεχνική TDM οδηγούνται στον παθητικό διαιρέτη. Το OLT λειτουργεί ως ATM τελικός

μεταγωγέας με ATM-σύγχρονη οπτική διεπαφή (SONET) από την πλευρά του δικτύου κορμού και με ATM-PON διεπαφή από την πλευρά του χρήστη.

Σκοπός του κάθε ONT είναι να φιλτράρει τα κελιά που φθάνουν σε αυτό και ανακτά μόνο αυτά που προορίζονται για αυτό. Κάθε κελί έχει ένα 28-bit πεδίο που καθορίζει τις τιμές που αφορούν τη διαδρομή και το δίαυλο αναφερόμενα ως VPI/VCI. Το ONT δέχεται μήνυμα από κάθε OLT για να προετοιμαστεί να δεχτεί κελιά με συγκεκριμένες τιμές VPI/VCI. Οι τιμές αυτές βρίσκονται στην επικεφαλίδα του πακέτου ATM και χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της πολυπλεξίας των πακέτων σε μια κοινή ζεύξη.

Κάθε ONT είναι απαραίτητο συγχρονίζεται χρονικά με κάθε άλλο ONT αφού στο upstream χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο TDMA. Αυτό πραγματοποιείται με μία διαδικασία που ονομάζεται αποστασιομέτρηση (ranging) των ONU. Η διαδικασία αυτή επιβάλλει το OLT να υπολογίσει πόσο μακριά του βρίσκεται το κάθε ONT έτσι ώστε να του παραχωρήσει τη βέλτιστη χρονική σχισμή μέσα στην οποία θα πρέπει να εκπέμψει για να αποφευχθούν προβλήματα συγκρούσεων μετάδοσης. Στη συνέχεια το OLT στέλνει μήνυμα παραχώρησης μέσω των κελιών διαχείρισης PLOAM του φυσικού επιπέδου για να αναθέσει στο κάθε ONT συγκεκριμένες χρονικές σχισμές. Τέλος το ONT προσαρμόζει τη διεπαφή υπηρεσιών σε ATM και στη συνέχεια για την επικοινωνία με το OLT θα χρησιμοποιήσει τη τεχνική TDMA.

Στο APON μία οπτική ίνα χρησιμοποιείται τόσο για το upstream όσο και για το downstream κανάλι άρα χρησιμοποιούνται δύο μήκη κύματος - 1550nm για το downstream κανάλι και 1310nm για το upstream κανάλι. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί ένα μήκος κύματος, αλλά η επιλογή για δύο παρέχει καλύτερη οπτική απομόνωση για τους πομπούς και τους δέκτες laser και δεν είναι απαραίτητοι ακριβοί διαιρέτες δέσμης φωτός.

Τα κελιά ATM μετατρέπονται απευθείας σε οπτικό κύμα και στέλνονται στο δίκτυο PON. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο ηλεκτροοπτικό εξοπλισμό, που είναι ειδικός για τη μετάδοση κίνησης σε ταχύτητες Mbit/sec. Επιπλέον δεδομένου ότι υπάρχουν καθοδικά κανάλια κοινοποίησης (broadcast channels) για να επιτευχθεί ασφάλεια στα PON, χρησιμοποιούνται τεχνικές κρυπτογράφησης.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα του APON είναι ότι δεν εξαρτάται από τις διάφορες υπηρεσίες. Συνεπώς, τόσο οι κλασικές όσο και μελλοντικές υπηρεσίες μπορούν να υλοποιηθούν χωρίς κανένα πρόβλημα. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι μπορεί να μεταφέρει πακέτα Ethernet και να υποστηρίζει και T1.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούμε στον όρο Broadband PON (BPON). Είναι ταυτόσημος με τον όρο APON αλλά με τη μοναδική διαφορά ότι εδώ περιγράφονται δίκτυα τα οποία έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίζουν επιπλέον ευρυζωνικές υπηρεσίες, όπως υπηρεσίες video.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα οφέλη των APON:

Στα APON η συντήρηση της οπτικής ίνας είναι σαφώς πιο οικονομική από τη συντήρηση των συστημάτων που βασίζονται στο χαλκό. Έτσι οι πάροχοι υπηρεσιών έχουν τη δυνατότητα να μειώνουν το κόστος και να έχουν πιο μεγάλο κέρδος ή ακόμα να χαμηλώνουν τις τιμές και να γίνονται πιο ανταγωνιστικοί.

Επιπλέον στα ATM-PON αφού οι οπτικές διεπαφές βρίσκονται στα OLT για αυτό χρησιμοποιείται μία μόνο ίνα για να εξυπηρετήσει μέχρι 64 τελικές τοποθεσίες χρηστών. Συνεπώς υπάρχει μείωση των οπτικών διεπαφών από 64 σε 1 σε σχέση με τα σημείο – προς – σημείο (point-to-point) οπτικά συστήματα.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι στα APON πραγματοποιείται στα OLT συσσώρευση κελιών ATM. Η συσσώρευση αυτή επιτρέπει στους παρόχους να εξυπηρετούν πολύ περισσότερους χρήστες από ότι στην περίπτωση που θα χρησιμοποιούνταν μόνο τεχνικές βασισμένες στο TDM. Έχει υπολογιστεί ότι η τεχνολογία APON μπορεί να είναι από 20% έως 40% οικονομικότερη από τα συστήματα πρόσβασης με κυκλώματα.

Επιπλέον επειδή τα ONT μοιράζονται την ίδια ίνα και τον ίδιο οπτικό διαιρέτη, μοιράζονται κατ' επέκταση και το εύρος ζώνης. Έτσι, με κατάλληλα πρωτόκολλα είναι δυνατό να εξυπηρετούνται ακόμη περισσότεροι χρήστες.

Το APON έχει ως πυρήνα την τεχνολογία ATM συνεπώς ένα απλό σύστημα διαχείρισης μπορεί να προβλέψει το απαιτούμενο εύρος ζώνης από άκρο σε άκρο. Ακόμα η αύξηση του εύρους ζώνης μιας δεδομένης ζεύξης μελλοντικά,

αποτελεί εύκολο γεγονός. Επιπλέον, APON το μπορεί να εξυπηρετήσει σχεδόν κάθε επιθυμητή υπηρεσία.

Τέλος, τα ενεργητικά εξαρτήματα του APON τοποθετούνται στο κτήριο του πελάτη ή στο κέντρο μεταγωγής και όχι σε εξωτερικά εγκατεστημένα τερματικά. Με τον τρόπο αυτό δεν υπάρχουν δαπάνες για συστήματα εφεδρικών μπαταριών ούτε ενεργητικά στοιχεία που πρέπει να είναι ανθεκτικά στις μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας .

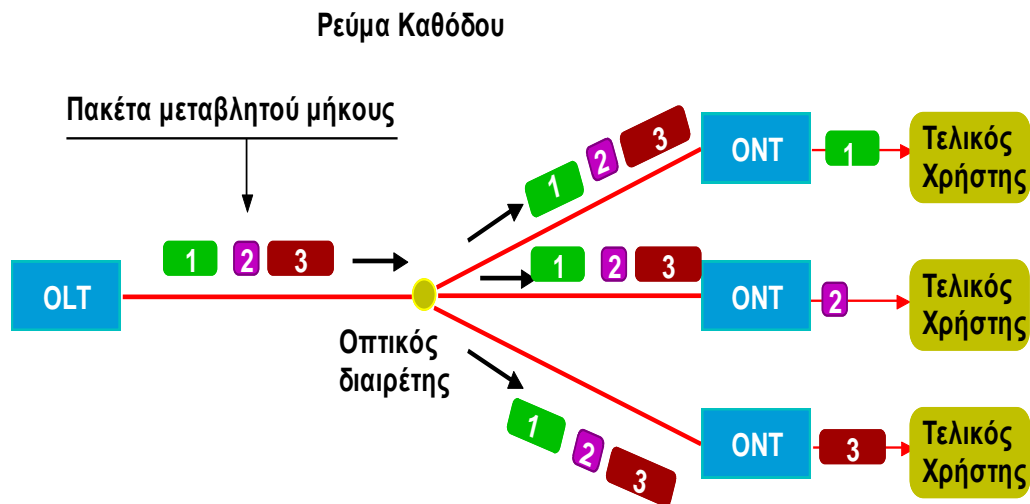
### 1.11.2 EPON

Δεδομένου ότι το APON υστερούσε στην υποστήριξη υπηρεσιών video, του εύρους ζώνης, της πολυπλοκότητά και το κόστος του ήταν ασύμφορο για τον τοπικό βρόχο, σιγά σιγά έπαψε να θεωρείται ως η καταλληλότερη λύση. Η όλο και περισσότερη χρήση του Ethernet δημιούργουσε την αίσθηση ότι η χρήση των Ethernet-PON (EPON) δεν θα είχε πλέον την ανάγκη της μετατροπής του ATM σε IP πρωτόκολλο στην σύνδεση WAN/LAN. Οι κατασκευαστές του EPON συγκέντρωσαν το ενδιαφέρον αρχικά στην ανάπτυξη λύσεων με FTTH και FTTC με στόχο την ανάπτυξη μίας FTTH λύσης για τη διανομή δεδομένων, video και φωνής πάνω από την ίδια πλατφόρμα. Τα πλεονεκτήματα που παρέχει το EPON είναι μεγαλύτερο εύρος ζώνης, ελάττωση του κόστους και ευρύτερες υπηρεσίες από το APON, ενώ η αρχιτεκτονική του έχει πολλά χαρακτηριστικά του G.983 που αφορά στα APON.

Η πιο σημαντική διαφοροποίηση του EPON από το APON συναντάται στο ότι τα δεδομένα στο EPON μεταφέρονται σε πακέτα μεταβλητού μήκους ως και 1518 bytes, ενώ στο APON μεταφέρονται σε κελιά ATM των 53 bytes όπως επιβάλλεται από το πρωτόκολλο ATM. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι αποδοτική η μεταφορά δεδομένων σε ένα δίκτυο APON κίνησης που βασίζεται στο IP, όπου αυτά χωρίζονται σε πακέτα μεταβλητού μήκους ως και 65535 bytes. Για να επιτευχθεί αυτό στο APON θα πρέπει τα πακέτα να χωριστούν σε κομμάτια των 48-bytes και στο κάθε ένα από αυτά να μπει επικεφαλίδα ATM των 5-bytes. Η διαδικασία αυτή, όμως, είναι χρονοβόρα, πολύπλοκη, προσθέτει επιπλέον κόστος στα ONT και OLT και για κάθε τμήμα δεδομένων των 48-bytes έχουμε σπατάλη

εύρους 5-bytes. Αντίθετα το Ethernet είναι εξ αρχής φτιαγμένο για να καλύπτει κίνηση IP και έτσι μειώνει δραστικά τις επικεφαλίδες σε σχέση με το ATM.

Στο EPON η διαδικασία της εκπομπής δεδομένων προς τα κάτω από το OLT στα ONU είναι διαφορετική από την αντίστοιχη προς τα πάνω. Οι διαφορετικές αυτές διαδικασίες φαίνονται στα σχήματα 6 και 7.



Σχήμα 6 " Ρεύμα Καθόδου Δικτύου EPON "

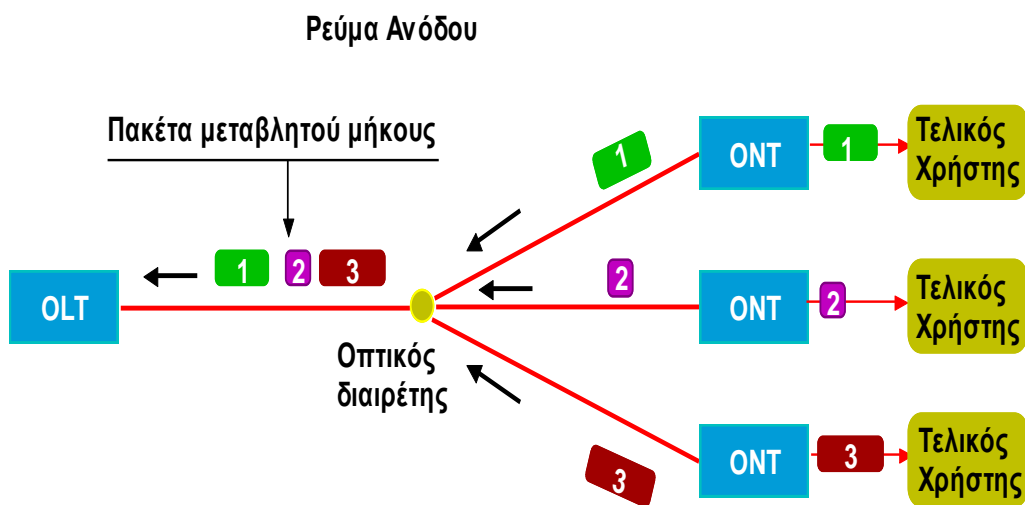
Συγκεκριμένα στο σχήμα 6 ισχύουν συνοπτικά τα παρακάτω:

- Τα δεδομένα εκπέμπονται από το OLT προς τα ONU σε πακέτα μεταβλητού μήκους με μέγιστο μήκος 1518 bytes, σύμφωνα με το πρωτόκολλο της IEEE 802.3.
- Κάθε πακέτο φέρει μία επικεφαλίδα που καθορίζει το ONU στο οποίο προορίζεται το πακέτο.
- Κάποια πακέτα είναι δυνατό να προορίζονται για όλα τα ONU (broadcast packets) ενώ άλλα για μία δεδομένη ομάδα ONU (multicast packets).
- Στο συγκεκριμένο σχήμα η κίνηση χωρίζεται στον διαιρέτη σε τρία διαφορετικά σήματα που κάθε ένα φέρει όλα τα πακέτα.
- Όταν τα πακέτα φτάσουν σε ένα ONU τότε αυτό δέχεται μόνο τα πακέτα που προορίζονται για αυτό ενώ απορρίπτει όλα τα υπόλοιπα πακέτα.

- Συγκεκριμένα στο παράδειγμά μας το ONU-1 δέχεται τα πακέτα 1,2 και 3 αλλά διανέμει στο τελικό χρήστη 1 μόνο, το πακέτο 1.

Όσον αφορά την προς τα άνω ζεύξη η λειτουργία της οποίας συνοψίζεται στο σχήμα 7 ισχύουν τα εξής:

- Χρησιμοποιείται τεχνική TDM, κατά την οποία χρονικές σχισμές εκπομπής ανατίθενται σε κάθε ONU.
- Οι χρονικές σχισμές είναι συγχρονισμένες έτσι ώστε να μην υπάρχουν συγκρούσεις όταν τα πακέτα από διαφορετικά ONU συνδυάζονται στην κοινή ίνα.
- Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το ONU-1 εκπέμπει το πακέτο 1 στην πρώτη χρονική σχισμή, το ONU-2 εκπέμπει το πακέτο 2 στη δεύτερη μη επικαλυπτόμενη με την πρώτη χρονική σχισμή και το ONU-3 εκπέμπει το πακέτο 3 στη τρίτη μη επικαλυπτόμενη με την δεύτερη χρονική σχισμή.



Σχήμα 7 " Ρεύμα Ανόδου Δικτύου EPON "

### 1.11.3 Οφέλη των EPON

Τα EPON την εποχή που προτάθηκαν χαρακτηρίστηκαν δικαιολογημένα ως πιο απλά, πιο αποδοτικά και λιγότερο δαπανηρά από οποιαδήποτε άλλη εναλλακτική λύση πολλαπλών υπηρεσιών δικτύου πρόσβασης. Σε σύγκριση με οποιοδήποτε άλλο δίκτυο PON, τα EPON προσέφεραν το υψηλότερο εύρος ζώνης



στους πελάτες. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μπορούν να εξυπηρετηθούν πιο πολλοί συνδρομητές από το EPON, σε κάθε συνδρομητή να διατίθεται περισσότερο εύρος, καλύτερο QoS και να υπάρχει η δυνατότητα υποστήριξης υπηρεσιών video.

Επιπλέον τα EPON επειδή δεν διέθεταν τα πολύπλοκα και ακριβά στοιχεία των ATM και SONET και ήταν πιο απλά στην αρχιτεκτονική τους οδηγούσαν σε σημαντική μείωση των δαπανών. Ακόμα, οδηγούσαν σε μείωση της συνολικής δαπάνης αφού δεν απαιτούσαν κόστος συντήρησης των εξωτερικών εγκαταστάσεων. Τέλος, οι Ethernet διεπαφές δεν είχαν την ανάγκη για επιπλέον DSL ή cable modems, γεγονός που οδηγούσε σε περαιτέρω μείωση του κόστους.

Σε ότι αφορά τη διαίρεση του σήματος της οπτικής ίνας στον οπτικό διαιρέτη μία συμφέρουσα υλοποίηση με βάση το κόστος είναι η διαίρεση 1:64, ενώ αποβλέποντας τις μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις το στρώμα TC πρέπει να μεριμνεί για διαίρεση 1:128. Επιπλέον το GPON έχει μεγάλες δυνατότητες όσον αφορά στις λειτουργίες ανάπτυξης, πρόβλεψης και διαχείρισης του δικτύου ενώ παρέχει και ασφάλεια σε επίπεδο πρωτοκόλλου για την downstream κίνηση. Συγκεκριμένα φροντίζει ώστε να μην είναι εύκολη η αποκωδικοποίηση των downstream δεδομένων από όλους τους χρήστες, παρά μόνο από αυτόν για τον οποίο προορίζονται τα δεδομένα και προς την κατεύθυνση αυτή επιτρέπει οικονομικά πιο αποδοτικές υλοποιήσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ GE-PON ΚΑΙ XG-PON

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το 2001 η FSAN ξεκίνησε μία προσπάθεια έτσι ώστε τα δίκτυα PON τα οποία λειτουργούσαν σε ταχύτητες μεγαλύτερες του 1Gbps να αναγνωριστούν ως standard. Εκτός από την ανάγκη να υποστηριχθούν υψηλότερα bit rates, το συνολικό πρωτόκολλο θα έπρεπε να είναι διαθέσιμο για επανεξέταση, έτσι ώστε η τελική μορφή που αυτό θα λάμβανε να είναι η βέλτιστη και η πιο αποδοτική όσον αφορά την υποστήριξη πολλαπλών υπηρεσιών και λειτουργιών διαχείρισης, συντήρησης και πρόβλεψης. Ως αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας της FSAN ήταν μία νέα λύση στα οπτικά δίκτυα πρόσβασης, τα GPON τα οποία προσφέρουν πολύ υψηλά bit rates, έως και 2,048 Gbps, ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζουν τη μεταφορά πολλαπλών υπηρεσιών, δεδομένων και TDM έχοντας μεγάλη αποδοτικότητα .

Το GPON έχει την ιδιότητα να διατηρεί τα χαρακτηριστικά των προηγούμενων τεχνολογιών, όπου αυτό είναι εφικτό, τα οποία περιγράφονται στα ITU-T G.982 και τη σειρά G.983.x Recommendations. Αυτό συμβαίνει προκειμένου να είναι συμβατά με όλες τις πιο παλιές τεχνολογίες PON. Τα GPON διαθέτουν μεγάλο εύρος ζώνης και μπορούν να υποστηρίξουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών που περιλαμβάνει και υπηρεσίες φωνής, TDM, video, Ethernet, 10/100BASE-T, μισθωμένες γραμμές καθώς και επεκτάσεις χωρίς καλώδιο. Επίσης, μπορούν να εξυπηρετήσουν αποστάσεις μεταξύ ONT/ONU και OLT του μεγέθους των 60 km, αλλά η συγκεκριμένη απόσταση υπολογίζεται χωρίς να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί του φυσικού μέσου και επιδεικνύει τη λογική απόσταση. Σε αντίθεση με την τιμή αυτή η μέγιστη φυσική απόσταση που είναι δυνατό να καλυφθεί είναι ίση με 20 km. Τα GPON υποστηρίζουν 7 διαφορετικά bit

rates χρησιμοποιώντας για όλα το ίδιο πρωτόκολλο (ITU,2003). Οι δυνατοί συνδυασμοί για το upstream και το downstream κανάλι δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2 " Συνδυασμοί bit rate για upstream/downstream κανάλι στα GPON "

| Upstream      | Downstream      |
|---------------|-----------------|
| 155 Mbit/s up | 1.2 Gbit/s down |
| 622 Mbit/s up | 1.2 Gbit/s down |
| 1.2 Gbit/s up | 1.2 Gbit/s down |
| 155 Mbit/s up | 2.4 Gbit/s down |
| 622 Mbit/s up | 2.4 Gbit/s down |
| 1.2 Gbit/s up | 2.4 Gbit/s down |
| 2.4 Gbit/s up | 2.4 Gbit/s down |

## 2.1 Σύγκριση Τεχνολογιών APON, EPON και GPON

Στην συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται οι συγκρίσεις, με βάση τη σειρά εμφάνισής τους, των τεχνολογιών που αναφέρθηκαν παραπάνω ώστε να γίνει όσο το δυνατόν πιο κατανοητή η μετάβαση από τη μία τεχνολογία στην άλλη, καθώς και οι ανάγκες που οδήγησαν στην εξέλιξη αυτή. Σε πρώτο στάδιο θα συγκριθούν οι τεχνολογίες APON και EPON ενώ σε ένα δεύτερο οι EPON και GPON. Ακόμα θα παρατεθούν συνοπτικά και τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών που αναφέρθηκαν (Pesavento,2007)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ GE-PON ΚΑΙ XG-PON

Πίνακας 3 " Σύγκριση APON – EPON "

|                          | EPON                             | APON             |
|--------------------------|----------------------------------|------------------|
| Εισηγητής                | EFM (Ethernet in the First Mile) | NTT,BC,etc.      |
| Χρονολογία               | -                                | 1995             |
| Πρωτόκολλο Επιπέδου 2    | Ethernet                         | ATM              |
| Μεταφορά                 | Frame                            | Fixed Cell       |
| Ταχύτητα                 | 1.25/1.25 Gbps                   | 155/622 Mbps     |
| Κύριοι Πάροχοι Υπηρεσιών | CLECs, ELECs, DLECs, MSOs, ILECs | FSAN ILECs       |
| Standard                 | IEEE 803.2ah                     | FSAN , ITU G.983 |
| Τεχνική Upstream Ζεύξης  | TDMA, κ.α.                       | TDMA             |
| IP Αποδοτικότητα         | Καλή                             | Μέτρια           |
| Αναβάθμιση               | Ναι στα 10 Gbps                  | Δύσκολη          |
| ONU λειτουργίες          | Δρομολόγηση , Μεταγωγή κ.α.      | -                |
| Κύρια Δαπάνη             | Ethernet Switch                  | ATM Switch       |
| Υπηρεσίες                | POTS, Data VOIP, IP Video        | POTS, Data       |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ GE-PON ΚΑΙ XG-PON

Πίνακας 4 " Σύγκριση EPON – GPON "

|  | EPON   | GPON   |
|--|--|--|
| Εισηγητής  | EFM (Ethernet in the First Mile)   | FSAN   |
| ODN classes<br>ODN = Optical Distribution Network = Οπτικό δίκτυο διανομής | A,B  | A , B , C<br>Η χρήση της ODN class C οδηγεί σε σημαντική μείωση του κόστους για την τοπολογία μέσω διπλασιασμού των end-users σε κάθε δένδρο PON   |
| Ταχύτητα   | 1.25/1.25 Gbps   | 1.25,2.5Gbps(d)/155,622 Mbps ή 1.25,2.5Gbps(u)   |
| Αναβάθμιση   | Μία επιλογή τα 10Gbps  | Πολλές επιλογές  |
| Ταχύτητα Upstream Ζεύξης   | 1.25Gbps πάντα → περιττό κόστος διότι δεν είναι αναγκαία πάντα τέτοια ταχύτητα για την upstream ζεύξη                                | Καθορίζεται ανάλογα με τις πραγματικές ανάγκες   |
| Απόδοση  | Μικρή → μεγάλες IP επικεφαλίδες φόρτωμα του δικτύου  | Μεγάλη   |
| Κόστος   | Η TDM τεχνική στα EPON και η μεταφορά φωνής υπαγορεύουν επιπλέον ανάγκες για Hardware/Software για τα VoIP schemes → Επιπλέον κόστος | Τα GPON υποστηρίζουν μεταφορά υπηρεσιών TDM (σε χαμηλούς E1/T1 και υψηλούς ρυθμούς STM1/OC3) στην πρωταρχική τους τυποποίηση και για αυτό τα standard για Jitter και καθυστερήσεις ικανοποιούνται χωρίς αύξηση του κόστους |

## 2.2 Δίκτυα GPON

Το GPON είναι ένα παθητικό οπτικό δίκτυο που επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων με ρυθμό της τάξης των Gbit/sec. Η τοπολογία που χρησιμοποιεί είναι αυτή του παθητικού δένδρου, η οποία αποδείχτηκε ότι συμφέρει περισσότερο οικονομικά. Προκειμένου να είναι δυνατή η μεταφορά δεδομένων με ρυθμό Gbit/sec το υπόστρωμα σύγκλισης μετάδοσης (Transmission Convergence) σχεδιάστηκε από την αρχή, καθώς και οι απαιτήσεις για το υπόστρωμα φυσικού μέσου έτσι ώστε να είναι δυνατή η μετάδοση σε τόσο μεγάλους ρυθμούς.

Το δίκτυο GPON βασίζεται και αυτός στη μεταφορά πακέτων αλλά με ένα τρόπο πιο γενικό σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους δικτύων (EPON, APON). Πιο συγκεκριμένα, το δίκτυο μπορεί να λειτουργεί ως EPON, αλλά μπορεί να μεταδίδει και γνήσια πακέτα IP με την προσθήκη μιας επικεφαλίδας MPLS (Multi Protocol Label Switching – Μεταγωγή Ετικέτας Πολλαπλών Πρωτοκόλλων) ή ακόμα και πακέτα ATM. Αυτό είναι δυνατό επειδή το πλαίσιο (frame) του στρώματος μετάδοσης σχεδιάστηκε χωρίς να βασιστεί σε κάποια δομή που αφορούσε σε προηγούμενο σύστημα (EPON, APON), με πρωταρχικό σκοπό την αποδοτική και οικονομική υποστήριξη πακέτων μεταβλητού μήκους με χρήση διαδοχικών σχισμών σταθερού μήκους. Η διαχείριση των πακέτων γίνεται από ένα πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC – Medium Access Protocol) που λειτουργεί με κριτήριο την Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS – Quality of Service). Έτσι, το GPON είναι ένα πλήρες δίκτυο πρόσβασης σε αντίθεση με το EPON που δεν υπολογίζει το QoS.

Αυτή η νέα σχεδίαση του πλαισίου προσφέρει πιο αποδοτική εκμετάλλευση του εύρους ζώνης για την παροχή υπηρεσιών πακέτου από παθητικά δίκτυα υψηλής ταχύτητας. Κατά τον σχεδιασμό αυτό λήφθηκαν υπόψη διάφοροι περιορισμοί όπως το επίπεδο ισχύος, η λήψη δεδομένων σε εκρηκτική μετάδοση (burst mode), ο συγχρονισμός των ρολογιών καθώς και η μειωμένη πολυπλοκότητα του συστήματος και ο περιορισμός του κόστους. Στο ρεύμα ανόδου (upstream – από ONU προς το OLT) χρησιμοποιείται μη γραμμική κωδικοποίηση συνδιαστικά με διόρθωση λαθών. Αυτό χρησιμοποιείται για πρώτη

φορά σε δίκτυο PON με λειτουργία burst mode στο ρεύμα ανόδου, ώστε να εξασφαλιστεί μεγαλύτερο απόθεμα ισχύος, απαραίτητο για να αυξηθεί η μέγιστη απόσταση καθώς και ο λόγος της διαίρεση του σήματος της οπτικής ίνας στον οπτικό διαιρέτη, για να εξυπηρετούνται από το δίκτυο περισσότεροι χρήστες (Tetsuro,2006).

### 2.2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά των Δικτύων GPON

Με βάση την προτυποποίηση του τομέα ITU-T για τα δίκτυα G-PON ισχύουν τα παρακάτω (ITUT, 2008) :

- Ρυθμός Μετάδοσης (Bitrate) : Τα δίκτυα G-PON στοχεύουν σε ρυθμούς μετάδοσης μεγαλύτερους ή ίσους των 1.24416 Gbit/s. Οι επιτρεπτοί συνδυασμοί ρυθμών μετάδοσης στην πράξη είναι 1.24416 Gbit/s στην άνοδο, 2.48832 Gbit/s στην κάθοδο και 2.48832 Gbit/s στην άνοδο, 2.48832 Gbit/s στην κάθοδο. Ο συνηθέστερο συνδυασμός ρυθμών μετάδοσης των συστημάτων G-PON είναι ο 1.24416 Gbit/s στην άνοδο και 2.48832 Gbit/s στην κάθοδο.
- Λογική Εμβέλεια (Logical Reach) : Ως λογική εμβέλεια ορίζεται η μέγιστη απόσταση μεταξύ των μονάδων ONU και του τερματικού OLT, χωρίς τους περιορισμούς του φυσικού στρώματος. Για τα δίκτυα G-PON, η μέγιστη λογική εμβέλεια είναι στα 60 km.
- Φυσική Εμβέλεια (Physical Reach) : Ως φυσική εμβέλεια ορίζεται η μέγιστη φυσική απόσταση μεταξύ των μονάδων ONU και του τερματικού OLT. Για Οπτικά Δίκτυα Διανομής κλάσης C, η φυσική εμβέλεια για τα δίκτυα G-PON είναι στα 20 km.
- Διαφορική Απόσταση Οπτικών Ινών (Differential Fiber Distance) : Για τα δίκτυα G-PON η μέγιστη διαφορική απόσταση οπτικών ινών ορίζεται στα 20 km.
- Μέγιστη Μέση Καθυστέρηση Μεταφοράς Σήματος (Maximum Mean Signal Transfer Delay) : Τα δίκτυα G-PON πρέπει να υποστηρίζουν υπηρεσίες με μέγιστη μέση καθυστέρηση μεταφοράς σήματος το 1.5 ms.
- Λόγος Διαχωρισμού (Split Ratio) : Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος διαχωρισμού που υποστηρίζεται από το δίκτυο G-PON, τόσο πιο ελκυστικό γίνεται για τον πάροχο. Ωστόσο ένας υψηλός λόγος διαχωρισμού μεταφράζεται σε υψηλότερο οπτικό διαχωρισμό, για τον οποίο απαιτείται αυξημένος

προϋπολογισμός ισχύος για την κάλυψη της φυσικής εμβέλειας. Για το φυσικό στρώμα αποδεικνύονται ρεαλιστικοί οι λόγοι διαχωρισμού μέχρι 1:64. Ωστόσο με τη διαρκή εξέλιξη των οπτικών μονάδων, το στρώμα σύγκλισης μετάδοσης οφείλει να υποστηρίζει λόγο διαχωρισμού μέχρι 1:128.

- Μήκος Κύματος Λειτουργίας : Στην κατεύθυνση ροής καθόδου, το εύρος μήκους κύματος λειτουργίας για συστήματα μονής οπτικής ίνας είναι 1480-1500 nm. Στην κατεύθυνση ροής ανόδου το αντίστοιχο εύρος είναι 1260-1360 nm.
- Κωδικοποίηση Γραμμής : Κωδικοποίηση NRZ και στην άνοδο και στην κάθοδο.

### 2.2.2 Το Στρώμα Σύγκλισης Μετάδοσης των Δικτύων GPON

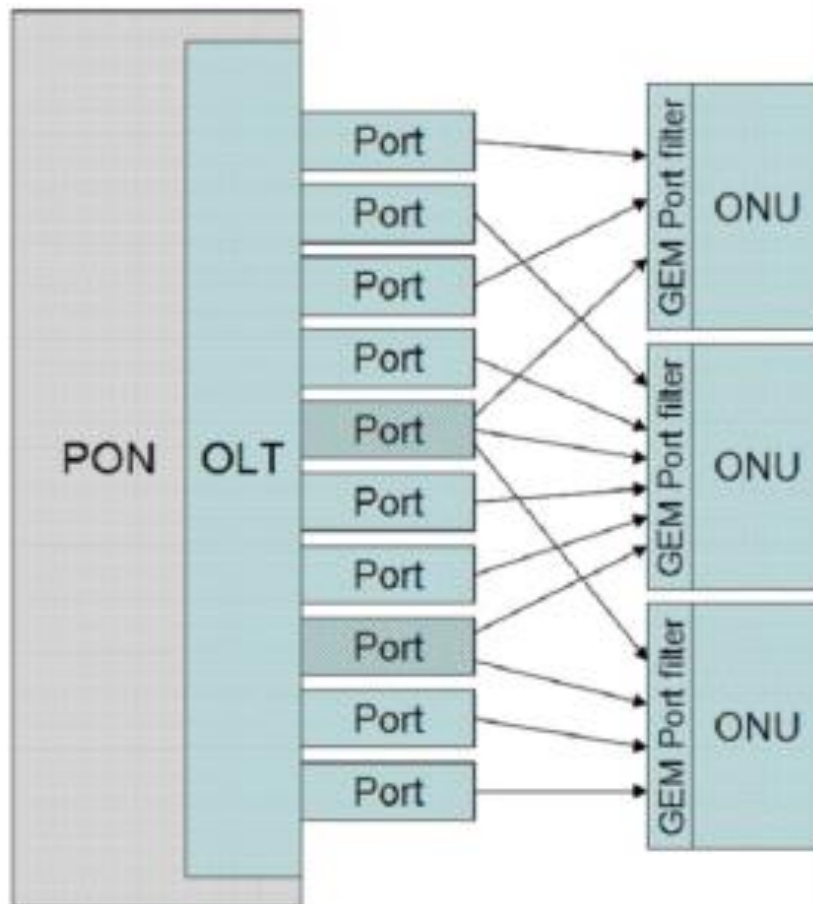
Στην ενότητα αυτή αναλύονται οι προδιαγραφές και οι συστάσεις που αναφέρονται στο στρώμα σύγκλισης μετάδοσης του δικτύου G-PON (G-PON Transmission Convergence layer, GTC layer), ανάμεσα στη διεπαφή κόμβου υπηρεσίας (SNI) και τη διεπαφή χρήστη-δικτύου (UNI). Επίσης, αναφέρονται οι προδιαγραφές σχετικά με τη μορφή των πλαισίων (frame format) και η μέθοδος που καθορίζει τον έλεγχο της πρόσβασης των μονάδων ONU στο μέσο (Medium Access Control).

Η σύσταση ITU-T G.984.3 αν και προέβλεπε δύο τρόπους λειτουργίας τόσο για υποστήριξη μεταφοράς πλαισίου (GEM) όσο και μεταφοράς κελιού (ATM), η υποστήριξη μεταφοράς ATM από το στρώμα GTC έχει εγκαταλειφθεί. Ο τρόπος μεταφοράς ATM δεν απαιτείται πλέον από καμία υπηρεσία. Επίσης, η σύσταση του τομέα ITU-T G.984.3, ως μοναδικό σχήμα μεταφοράς δεδομένων αναγνωρίζει τη μέθοδο ενθυλάκωσης G-PON (G-PON Encapsulation Method, GEM). Η μέθοδος GEM παρέχει ένα μηχανισμό πλαισίωσης μεταβλητού μήκους προσανατολισμένο στη λειτουργία με σύνδεση, για τη μεταφορά των δεδομένων των χρηστών στο δίκτυο G-PON. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός λειτουργεί ανεξάρτητα από τον τύπο της διεπαφής SNI του τερματικού OLT και τους τύπους των διεπαφών UNI στις μονάδες ONU.

Στην κατεύθυνση ροής καθόδου (downstream direction), η λειτουργία πολυπλεξίας κίνησης είναι συγκεντρωτική και πραγματοποιείται από το τερματικό OLT. Τα πλαίσια GEM πολυπλέκονται στο μέσο μετάδοσης και χρησιμοποιούν ως



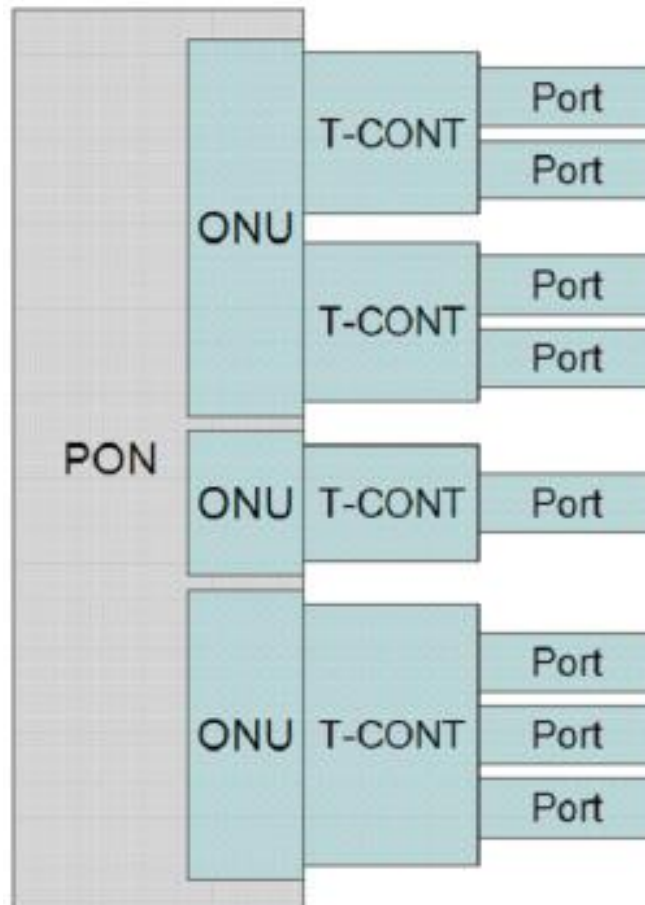
μοναδικό κλειδί το αναγνωριστικό θύρας GEM (GEM Port-ID) ώστε να αναγνωρισθούν τα πλαίσια που ανήκουν σε ξεχωριστές λογικές συνδέσεις της ροής καθόδου. Κάθε μονάδα ONU φιλτράρει τα πλαίσια GEM της ροής καθόδου ανάλογα με το αναγνωριστικό GEM Port-ID και επεξεργάζεται μόνο εκείνα που ανήκουν σε αυτή.



Σχήμα 8 " Η Διαδικασία Πολυπλεξίας της Ροής Καθόδου "

Στην κατεύθυνση ροής ανόδου (upstream direction), η λειτουργία πολυπλεξίας κίνησης είναι κατανομημένη και πραγματοποιείται ξεχωριστά από κάθε μονάδα ONU. Το τερματικό OLT παραχωρεί τη δυνατότητα για μετάδοση στη ροή ανόδου, ή ισοδύναμα «κατανομές εύρους ζώνης ροής ανόδου» (upstream bandwidth allocations), σε κάθε οντότητα που φέρει κίνηση εντός των μονάδων ONU που διαχειρίζεται. Οι οντότητες που παράγουν κίνηση σε κάθε μονάδα ONU αναγνωρίζονται μοναδικά από τα «αναγνωριστικά κατανομών» (Alloc-IDs) που τους έχουν ανατεθεί.

Οι κατανομές εύρους ζώνης ροής ανόδου των διαφόρων αναγνωριστικών Alloc-ID πολυπλέκονται στο χρόνο, με βάση τη «χαρτογράφηση εύρους ζώνης» (BWmap) που μεταδίδει το τερματικό OLT στη ροή καθόδου. Σε κάθε κατανομή εύρους ζώνης, η μονάδα ONU χρησιμοποιεί το αναγνωριστικό GEM Port-ID ως κλειδί πολυπλεξίας για να αναγνωρίσει τα πλαίσια GEM που ανήκουν σε ξεχωριστές λογικές συνδέσεις ροής ανόδου. (ITU-T, 2008)



Σχήμα 9 " Η Διαδικασία Πολυπλεξίας της Ροής Ανόδου "

### 2.2.3 Τύποι Αναγνωριστικών και Αντικειμένων των Δικτύων GPON

Τα αναγνωριστικά των δικτύων GPON είναι τα ακόλουθα :

- Αναγνωριστικό μονάδας ONU (ONU-ID) : Πρόκειται για ένα αναγνωριστικό που έχει μήκος 8 bit και ανατίθεται από το OLT σε κάθε μονάδα ONU στην ενεργοποίησή της. Είναι μοναδικό εντός του δικτύου PON και παραμένει έγκυρο μέχρι την απενεργοποίηση της μονάδας ONU από το OLT ή όταν αυτή μεταβαίνει σε μια ανενεργή κατάσταση. Το εύρος τιμών που είναι

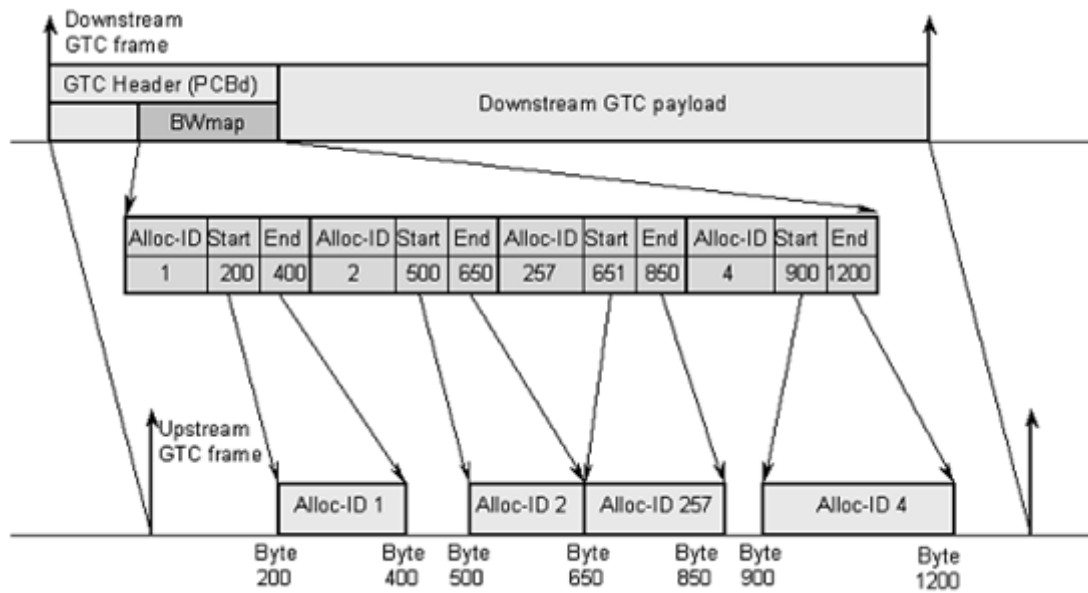
διαθέσιμο προς ανάθεση είναι [0...253], η τιμή 254 είναι κρατημένη, ενώ η τιμή 255 αντιστοιχεί στην πολλαπλή εκπομπή προς όλες τις μονάδες ONU (στη ροή καθόδου) ή δεν χρησιμοποιείται (στη ροή ανόδου).

- Αναγνωριστικό Κατανομής (Alloc-ID) : Το συγκεκριμένο αναγνωριστικό έχει μήκος 12 bit και ανατίθεται από το OLT σε μία μονάδα ONU, για να αναγνωριστεί μία οντότητα εντός της μονάδας ONU η οποία φέρει κίνηση και είναι αποδέκτης κατανομών εύρους ζώνης ροής ανόδου. Μία τέτοια οντότητα αντιπροσωπεύεται από μία κλάση υπηρεσίας T-Cont. Σε κάθε μονάδα ONU ανατίθεται τουλάχιστον το προκαθορισμένο αναγνωριστικό Alloc-ID, κατά τη διάρκεια της ενεργοποίησης, το οποίο είναι αριθμητικά ίσο με το αναγνωριστικό ONU-ID. Είναι πιθανό, αν κριθεί απαραίτητο από το τερματικό OLT, να ανατεθούν περισσότερα αναγνωριστικά Alloc-ID. Όλες οι αναθέσεις Alloc-ID μηδενίζονται όταν απενεργοποιηθεί η μονάδα ONU.

- Κλάση υπηρεσίας T-Cont (Transmission container) : Αυτή η κλάση είναι ένα αντικείμενο της μονάδας ONU το οποίο αντιπροσωπεύει μια ομάδα λογικών συνδέσεων, που εμφανίζονται ως μια μοναδική οντότητα στη λειτουργία ανάθεσης εύρους ζώνης ροής ανόδου. Για κάθε μονάδα ONU υπάρχει καθορισμένος αριθμός κλάσεων T-Cont που υποστηρίζονται. Το τερματικό OLT αναλαμβάνει να ανακαλύψει τον αριθμό των κλάσεων T-Cont που υποστηρίζουν οι μονάδες ONU και να δημιουργήσει μοναδικές αντιστοιχίες μεταξύ αυτών και των αναγνωριστικών Alloc-ID.

- Αναγνωριστικό θύρας GEM (GEM Port-ID) : Είναι ένας αριθμός με μήκος 12 bit, ο οποίος ανατίθεται από το τερματικό OLT σε κάθε ξεχωριστή λογική σύνδεση δεδομένων με προορισμό τις μονάδες ONU.

- Έλεγχος πρόσβασης στο μέσο : Σε αυτόν τον έλεγχο το τερματικό OLT ορίζει δείκτες στο πεδίο χαρτογράφησης εύρους ζώνης ροής ανόδου (upstream BWmap) της επικεφαλίδας του πλαισίου GTC καθόδου. Οι δείκτες υποδεικνύουν τη χρονική στιγμή στην οποία κάθε μονάδα ONU οφείλει να αρχίσει και να σταματήσει τη μετάδοση στην άνοδο. Με αυτόν τον τρόπο μόνο μία μονάδα ONU είναι δυνατό να αποκτήσει πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, άρα σε μια κανονική λειτουργία δεν εμφανίζονται προβλήματα για τη πρόσβαση στο μέσο.



Σχήμα 10 " Το Πλαίσιο Σύγκλισης Μετάδοσης GPON Ροής Καθόδου "

### 2.3 Υπόστρωμα Σύγκλισης Μετάδοσης (TC Layer)

Το υπόστρωμα σύγκλισης μετάδοσης δεδομένων (TC) , σύμφωνα με το OSI, αντιστοιχεί στο στρώμα 1.5 και 2 της διαστρωμάτωσης. Σχεδόν πάντα συναντάται ως μέρος του στρώματος ATM και γι' αυτό ορίζεται ως υπόστρωμα. Το υπόστρωμα μετάδοσης έχει σαν στόχο την επίτευξη κυρίως δύο λειτουργιών.

Η πρώτη λειτουργία, αποκρύπτει από τα ανώτερα στρώματα τη φυσική δομή του δικτύου. Στα παθητικά οπτικά δίκτυα, στο ρεύμα ανόδου υπάρχει μια δομή πολλαπλών σημείων προς σημείο που δημιουργεί πολλά ανεξάρτητα μονοπάτια από τους χρήστες προς το OLT και το οποίο επιθυμούμε να μην είναι ορατό στα ανώτερα στρώματα.

Η δεύτερη λειτουργία του υποστρώματος σύγκλισης μετάδοσης είναι να καθορίζει μια δομή πλαισίου η οποία να υποστηρίζει μεγάλο πλήθος με συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Ο ρόλος του TC είναι, επίσης, καθοριστικός και για την οικονομική αποδοτικότητα ενός συστήματος PON.

Μερικοί ορισμοί του TC, όπως αναφέρονται στα (Marconi,2004) και (Webtorials,2004), είναι :

- Στρώμα Μετάδοσης TC (Transmission Convergence) - Δημιουργεί και λαμβάνει πλαίσια μετάδοσης και είναι υπεύθυνο για την πληροφορία επικεφαλίδας που συνδέεται με το πλαίσιο μετάδοσης.
- Στρώμα Μετάδοσης - Ένα σύνολο διεργασιών που προετοιμάζουν τα κελιά ATM για μια μετάδοση στο φυσικό στρώμα. Το TC εξαρτάται και από το φυσικό στρώμα που χρησιμοποιείται.

Οι βασικές αρχές του υποστρώματος σύγκλισης είναι :

- Δημιουργία του πλαισίου μετάδοσης και επανάκτησή του.
- Προσαρμογή του πλαισίου μετάδοσης.
- Αποσυσχέτιση του ρυθμού των πακέτων.
- Δημιουργία αλληλουχίας ελέγχου λάθους επικεφαλίδας και επαλήθευση.
- Οριοθέτηση των πακέτων.

### Βασικές Αρχές Υποστρώματος Μετάδοσης GPON

Οι βασικές αρχές που υλοποιεί το υπόστρωμα μετάδοσης ενός δικτύου GPON είναι οι παρακάτω :

- Αντιστάθμιση της διαφορετικής απόστασης των ONU : Στο ρεύμα ανόδου ενός δικτύου PON, με αρχιτεκτονική πολλαπλών σημείων προς σημείο, τα δεδομένα στέλνονται από τους χρήστες στο OLT χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο TDMA. Τον έλεγχο όλων των μεταδόσεων τον έχει το OLT. Για να εμποδιστούν οι συγκρούσεις κατά την αποστολή δεδομένων από δύο διαφορετικά ONU και για να υπάρχει αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης, το OLT πρέπει να γνωρίζει με ακρίβεια τη θέση κάθε ONU και συγκεκριμένα την απόσταση ενός ONU από το OLT. Η μέγιστη απόσταση μεταξύ OLT και ONU μπορεί να είναι 60 km, ενώ η μέγιστη διαφορά μεταξύ δύο ONU μπορεί να είναι 20 km. Για μήκος οπτικής ίνας 20 km έχουμε μια καθυστέρηση διάδοσης μεταξύ του πιο κοντινού ONU και του πιο απομακρυσμένου περίπου ίση με  $2 \times 100 \mu\text{s}$ . Με δεδομένο ότι σε ρυθμό 1.24416 Gb/s η μετάδοση ενός byte διαρκεί 6.43 ns, υπάρχει μια διαφορά 31100 “byte slots” (σχισμών) μεταξύ του πιο κοντινού και του πιο απομακρυσμένου ONU. Για το λόγο αυτό το OLT πρέπει να γνωρίζει το χρόνο

μετάδοσης με επιστροφή για κάθε ONU. Αυτό γίνεται με τη διαδικασία της αποστασιομέτρησης (ranging). Το OLT γνωρίζει την καθυστέρηση με επιστροφή για κάθε ONU και ορίζει σε κάθε ONU μια συγκεκριμένη καθυστέρηση στην αποστολή δεδομένων. Η καθυστέρηση αυτή τηρείται από τη στιγμή που θα λάβει την άδεια για να στείλει δεδομένα (grant) έως ότου ξεκινήσει η αποστολή δεδομένων. Για κάθε ONU η καθυστέρηση είναι διαφορετική αφού εξαρτάται από τη θέση του στο δίκτυο.

- Ευθυγράμμιση bit/byte και συγχρονισμός εκρηκτικής (burst) κίνησης : Στο ρεύμα καθόδου η ακολουθία των bit που είναι κωδικοποιημένη με NRZ, επιτρέπει τον εύκολο συγχρονισμό για τα ONU. Ο συγχρονισμός των byte βασίζεται στην αναγνώριση της διάταξης του πλαισίου καθόδου. Στο ρεύμα ανόδου για το συγχρονισμό χρησιμοποιείται η επικεφαλίδα (upstream overhead) η οποία έχει μήκος 12 bytes στο GPON και χωρίζεται σε τρία πεδία ως εξής :

α. Χρόνος επιτήρησης : Σκοπός του είναι να παρέχει ικανοποιητική απόσταση μεταξύ δύο συνεχόμενων burst από δύο διαφορετικά ONU, ώστε να μην υπάρξει σύγκρουση.

β. Εισαγωγή : Η εισαγωγή έχει δύο λειτουργίες. Πρώτον, εξάγει τη φάση της ακολουθίας bit που φθάνει στο OLT, επιτρέποντας έτσι το συγχρονισμό των Bit. Δεύτερον, συντελλεί στην επαναφορά της ισχύος. Η διαφορά θέσης των ONU σε σχέση με το OLT έχει ως αποτέλεσμα τη διαφορετική εξασθένιση των οπτικών σημάτων όταν φθάνουν στο OLT.

γ. Αρχή : Υπάρχει ένα μοναδικό χαρακτηριστικό που υποδεικνύει την αρχή της ακολουθίας ανόδου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το συγχρονισμό των Byte.

- Ευθυγράμμιση Πλαισίου.
- Δομή Πλαισίου.
- Ανάθεση Σχισμών.
- Ανάθεση Εύρους Ζώνης - MAC : Το πρωτόκολλο MAC διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο στα δίκτυα PON, όπου υπάρχουν πολλές υπηρεσίες προς εξυπηρέτηση με διαφορετικές απαιτήσεις σε ποιότητα η καθεμία. Ο ελεγκτής MAC

δέχεται ως είσοδο διάφορες παραμέτρους σχετικές με το QoS, καθώς και στοιχεία από τα διάφορα ONU και εξασφαλίζει τη σωστή ανάθεση εύρους ζώνης σε κάθε ONU.

- Ακεραιότητα Πληροφοριών : Χρησιμοποιείται ένας μηχανισμός πρόβλεψης λαθών (FEC – Forward Error Detection), δηλαδή μια τεχνική κωδικοποίησης που επιτρέπει την εξασφάλιση του ίδιου ρυθμού λαθών ( Bit Error Rate) αλλά με μικρότερη ευαισθησία. Το FEC χρησιμοποιείται στη θέση ενός πρωτοκόλλου που ζητά την επανεκπομπή δεδομένων σε περίπτωση λάθους (πρωτόκολλο επανάληψης). Το FEC παρέχει επαρκή bit, ώστε να γίνει διόρθωση των λαθών μέχρι ενός αριθμού, όπου αυτό απαιτείται. Το μειονέκτημα του FEC είναι ότι υπάρχει μείωση στο ωφέλιμο εύρος ζώνης.

- Ασφάλεια : Επειδή η πληροφορία γίνεται γνωστή σε όλα τα ONU στο κανάλι καθόδου, υπάρχει η πιθανότητα κάποιο ONU να διαβάσει την πληροφορία η οποία να προορίζεται για άλλα. Για το λόγο αυτό η πληροφορία πρέπει να κρυπτογραφείται, με τη χρήση ενός κλειδιού κωδικοποίησης διαφορετικό για το κάθε ONU.

### 2.4 Δυναμική Ανάθεση Εύρους Ζώνης

Στα δίκτυα G-PON η δυναμική ανάθεση εύρους ζώνης (DBA) είναι η διαδικασία μέσω της οποίας το τερματικό OLT ανακατανέμει τις δυνατότητες μετάδοσης της ροής ανόδου, στις οντότητες οι οποίες φέρουν κίνηση εντός των μονάδων ONU που διαχειρίζεται. Η ανακατανομή πραγματοποιείται με βάση τη δυναμική υπόδειξη της κατάστασης λειτουργίας τους και τα καθορισμένα συμβόλαια κίνησης. Η υπόδειξη της κατάστασης λειτουργίας μπορεί να είναι είτε ρητή, μέσω αναφορών της κατάστασης των ενταμιευτών, είτε υπονοούμενη μέσω της μετάδοσης κενών πλαισίων GEM στη θέση των χορηγημένων δυνατοτήτων μετάδοσης.

Σε σύγκριση με τη στατική εκχώρηση εύρους ζώνης, ο μηχανισμός DBA βελτιώνει τη χρησιμοποίηση εύρους ζώνης στα δίκτυα G-PON. Τα πλεονεκτήματα του μηχανισμού αυτού είναι δύο:

- Μπορούν να εξυπηρετηθούν περισσότεροι χρήστες ανά δίκτυο, αφού έχουμε καλύτερη χρησιμοποίησή του.

- Οι χρήστες μπορούν να απολαμβάνουν εμπλουτισμένες υπηρεσίες οι οποίες απαιτούν μεταβλητό εύρος ζώνης και δε θα ήταν δυνατές με τη στατική μέθοδο ανάθεσης. (Luo,2008)

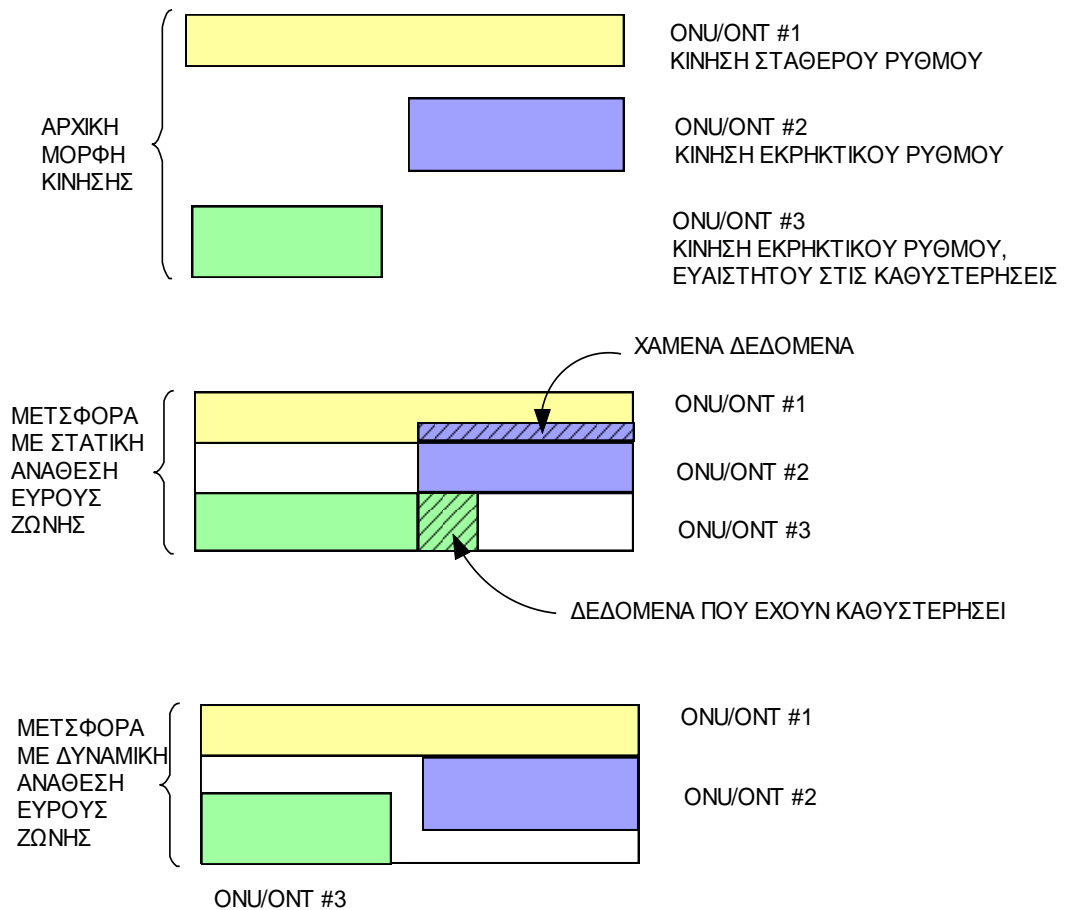
Ο πιο συνηθισμένος τρόπος ανάθεσης εύρους ζώνης που είχε χρησιμοποιηθεί στα περισσότερα οπτικά δίκτυα ήταν ο στατικός. Εκεί, το ρεύμα ανόδου αποτελείται από διαδοχικές χρονοσχισμές, όπου στην κάθε μία στέλνονται μερικά byte επικεφαλίδας και ένα κελί πληροφορίας. Οι χρονοσχισμές αυτές μοιράζονται από το OLT στα διάφορα ONU. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η κατανομή είναι μέσω των κελιών ελέγχου και διαχείρισης του φυσικού μέσου (PLOAM) που στέλνονται στο ρεύμα καθόδου. Μέσα σε ένα κελί PLOAM το OLT στέλνει μια άδεια (grant) σε κάποιο ONU να μεταδώσει σε κάποια χρονοσχισμή του ρεύματος ανόδου. Αυτό γινόταν με στατικό τρόπο, δηλαδή η διανομή των χρονοσχισμών γινόταν μια φορά και δεν μεταβαλλόταν ανάλογα με τις απαιτήσεις των ONU σε εύρος ζώνης.

Εξαιτίας, όμως, των απαιτήσεων για υπηρεσίες αληθινού χρόνου, καθώς και για εκρηκτική κίνηση δεδομένων, όπως το Internet, είναι αναγκαία η δυναμική ανάθεση του εύρους ζώνης η οποία παρέχει υψηλότερη απόδοση στη χρησιμοποίηση του δικτύου. Ένας μηχανισμός δυναμικής ανάθεσης του εύρους ζώνης βελτιώνει την απόδοση, επειδή μεταβάλλει με δυναμικό τρόπο το εύρος ζώνης που παρέχεται σε κάθε ONU ανάλογα με τις απαιτήσεις του.

Στο σχήμα 11 παρουσιάζεται η μετάδοση των ίδιων δεδομένων με στατικό και δυναμικό τρόπο ανάθεσης εύρους ζώνης. Είναι φανερό ότι με την στατική ανάθεση υπάρχει απώλεια πληροφορίας ή καθυστέρηση, ενώ με τη δυναμική ανάθεση εξυπηρετούνται όλα τα ONU κανονικά. Πιο συγκεκριμένα το ONU 1 απαιτεί σταθερό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, ενώ τα ONU 2 και 3 έχουν εκρηκτική μετάδοση δεδομένων. Επιπλέον το ONU 3 στέλνει δεδομένα που δεν πρέπει να έχουν καθυστέρηση (π.χ. real time video). Με τον στατικό τρόπο ανάθεσης εύρους ζώνης θα είχαμε απώλεια δεδομένων του ONU 2 και καθυστέρηση των δεδομένων του ONU 3, γεγονός που θα σήμαινε κακή ποιότητα υπηρεσιών. Αντίθετα με το δυναμικό τρόπο έχουμε τέτοια ανάθεση του εύρους ζώνης ώστε να μην έχουμε απώλεια ή καθυστέρηση δεδομένων.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ GE-PON ΚΑΙ XG-PON



Σχήμα 11 " Σύγκριση Στατικού και Δυναμικού Τρόπου Ανάθεσης Εύρους Ζώνης "

Ο μηχανισμός δυναμικής ανάθεσης εύρους ζώνης διαθέτει δύο διαφορετικούς τρόπους υλοποίησης. Ο πρώτος ονομάζεται “ρύθμιση άεργων κελιών” (idle cell adjustment). Εδώ το OLT παρακολουθεί τη χρησιμοποίηση του εύρους ζώνης που ανατίθεται στα ONU. Αν η χρησιμοποίηση υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο, τότε, εφόσον υπάρχει πλεόνασμα, θα ανατεθεί επιπλέον εύρος ζώνης. Σε αυτή τη προσέγγιση το OLT συμπεραίνει την ανάγκη κάθε ONU για εύρος ζώνης από την εκάστοτε χρησιμοποίηση. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η αργή αντίδραση στην απαίτηση ενός ONU για επιπλέον εύρος ζώνης. Ο δεύτερος τρόπος υλοποίησης ονομάζεται “αναφορά κατάστασης προσωρινής μνήμης” (buffer status reporting). Εδώ το ONU αναφέρει την κατάσταση της προσωρινής μνήμης και το OLT χρησιμοποιώντας τις αναφορές αυτές κάνει ανακατανομή του εύρους ζώνης.

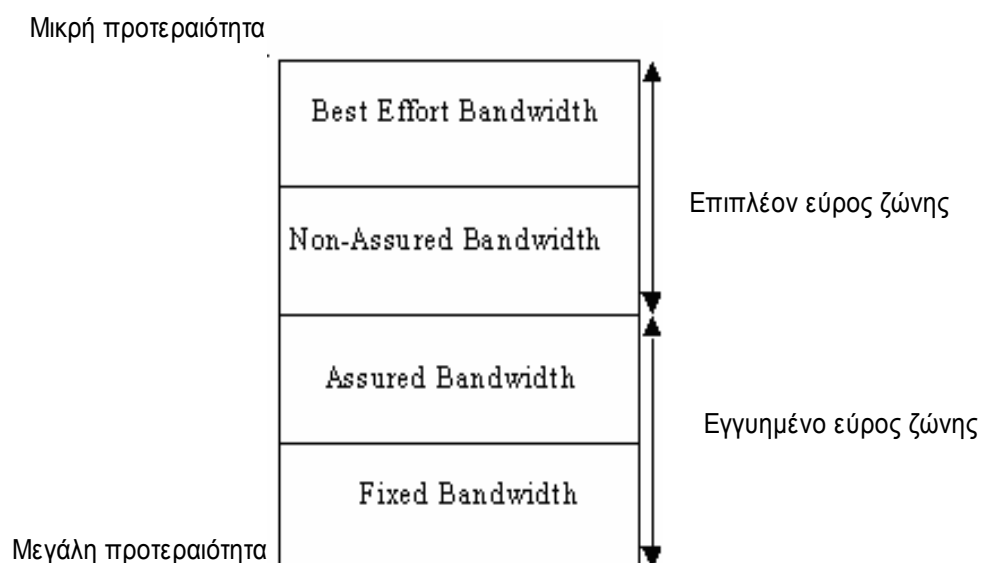
Το DBA έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετεί ορισμένες λειτουργίες. Οι λειτουργίες αυτές μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ GE-PON ΚΑΙ XG-PON

- Ανίχνευση κατάστασης συμφόρησης από το OLT ή/και το ONU.
- Αναφορά κατάστασης συμφόρησης στο OLT.
- Αναθεώρηση του εύρους ζώνης που έχει ανατεθεί σε κάθε ONU σύμφωνα με προκαθορισμένες παραμέτρους.
- Θέματα που αφορούν τις άδειες μετάδοσης που δίνει το OLT σύμφωνα με το αναθεωρημένο εύρος ζώνης και τα TCONT.
- Θέματα διαχείρισης για λειτουργίες DBA.

Άλλο χαρακτηριστικό του DBA είναι η ικανότητα που έχει να εξυπηρετεί διάφορα TCONT (Traffic Containers) σε ένα ONU τα οποία μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα το καθένα. Ο μηχανισμός DBA συνδέει κάθε τύπο TCONT με ένα είδος άδειας μετάδοσης δεδομένων (grant). Η κατηγοριοποίηση αυτή επιτρέπει τον καλύτερο χειρισμό ροών δεδομένων με παρόμοια χαρακτηριστικά.

Λαμβάνοντας υπόψη την ποιότητα υπηρεσιών (QoS) το DBA παρέχει την ίδια εγγύηση ποιότητας με το G.983.4, το οποίο έχει πέντε τύπους TCONT. Κάθε τύπος TCONT χαρακτηρίζεται από το είδος του ανατιθέμενου εύρους ζώνης που υποστηρίζει. Το εύρος ζώνης που ανατίθεται σε κάθε ONU μπορεί να ανήκει με μια από τις εξής κατηγορίες: σταθερό, εγγυημένο, μη εγγυημένο, το καλύτερο δυνατό και το μέγιστο. Η ιεραρχία των κατηγοριών αυτών φαίνεται στο σχήμα 12.



Σχήμα 12 " Ιεραρχία TCONT "

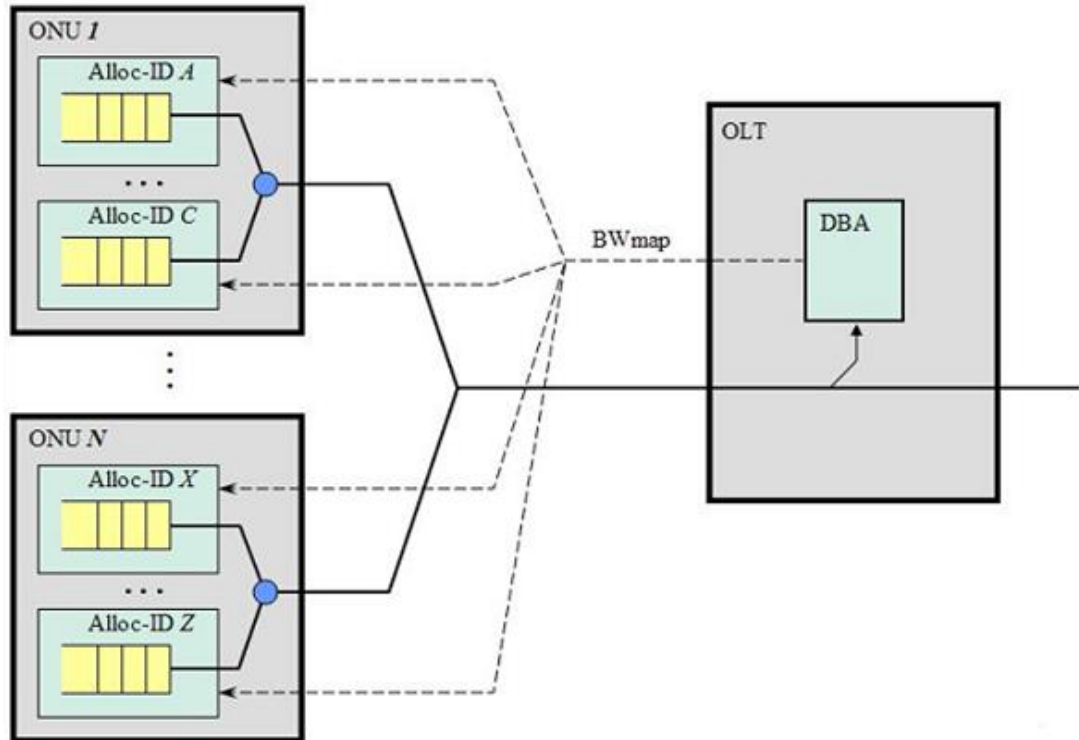
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ GE-PON ΚΑΙ XG-PON

Στον πίνακα 5 φαίνεται η σχέση μεταξύ της κάθε κατηγορίας εύρους ζώνης και των πέντε τύπων TCONT.

Πίνακας 5 " Εύρος Ζώνης TCOUNT "

|                 | Ευαισθησία στην καθυστέρηση | Τύπος ανάθεσης  | Τύποι TCONT |   |   |   |   |
|-----------------|-----------------------------|-----------------|-------------|---|---|---|---|
|                 |                             |                 | 1           | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Σταθερό         | Ναι                         | Προκαθορισμένος | ✓           |   |   |   | ✓ |
| Εγγυημένο       | Όχι                         | Προκαθορισμένος |             | ✓ | ✓ |   | ✓ |
| Μη Εγγυημένο    | Όχι                         | Δυναμικός       |             |   | ✓ |   | ✓ |
| Καλύτερο Δυνατό | Όχι                         | Δυναμικός       |             |   |   | ✓ | ✓ |

Για τους τύπους 3, 4 και 5 το άνω όριο του εύρους ζώνης είναι ίσο με το μέγιστο όριο και είναι προκαθορισμένο. Στον Πίνακα 5 ο τύπος ανάθεσης χαρακτηρίζει το επιπλέον εύρος ζώνης που μπορεί να ζητήσει ένα ONU. Στην ανάθεση εύρους ζώνης πρώτα εξυπηρετούνται όσοι έχουν σταθερό εύρος ζώνης, χρησιμοποιώντας και σχισμές για να μειωθεί η καθυστέρηση και η μεταβολή της καθυστέρησης ανά μετάδοση. Στη συνέχεια, εξυπηρετείται το εγγυημένο εύρος ζώνης, ενώ το υπόλοιπο εύρος ζώνης διανέμεται στο μη – εγγυημένο και το καλύτερο δυνατό. Το μη – εγγυημένο έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα εξυπηρέτησης έναντι του καλύτερου δυνατού.



Σχήμα 13 " Ο Μηχανισμός Δυναμικής Ανάθεσης Εύρους Ζώνης "

Στα δίκτυα G-PON, η οντότητα που γίνεται παραλήπτης μιας κατανομής εύρους ζώνης ροής ανόδου, εκπροσωπείται από ένα αναγνωριστικό Alloc-ID. Το τερματικό OLT μοντελοποιεί το σύνολο της κίνησης που σχετίζεται με κάθε αναγνωριστικό Alloc-ID σαν ένα ξεχωριστό λογικό ενταμιευτή, ανεξάρτητα από το πλήθος των αναγνωριστικών Alloc-ID που έχουν ανατεθεί σε κάθε μονάδα ONU, τον αριθμό των θυρών GEM που έχουν πολυπλεχθεί σε κάθε αναγνωριστικό Alloc-ID και τη φυσική και λογική δομή αναμονής που υλοποιείται από τη μονάδα ONU. Για τη λειτουργία της ανάθεσης εύρους ζώνης, το τερματικό OLT θεωρεί όλα τα αναγνωριστικά Alloc-IDs που έχουν προσδιορισθεί για το δίκτυο PON ως ανεξάρτητες ισάξιες οντότητες στο ίδιο επίπεδο λογικής ιεραρχίας.

Για τους λογικούς ενταμιευτές κάθε αναγνωριστικού Alloc-ID, η μονάδα λειτουργίας δυναμικής ανάθεσης εύρους ζώνης του τερματικού OLT εξάγει συμπέρασμα για τον όγκο των δεδομένων. Αυτό γίνεται είτε μέσω της συλλογής των εισερχόμενων αναφορών κατάστασης, είτε παρατηρώντας την άεργη μορφή της ροής ανόδου. Στη συνέχεια παρέχει τα δεδομένα στη μονάδα σχεδιασμού ροής ανόδου του τερματικού OLT, η οποία είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία της

χαρτογράφησης BWmap. Η χαρτογράφηση BWmap, αφού ενσωματωθεί στην κίνηση της ροής καθόδου, αποστέλλεται τελικά στις μονάδες ONU,.

### 2.4.1 Λειτουργικές Απαιτήσεις και Μέθοδοι Δυναμικής Ανάθεσης Εύρους Ζώνης

Η δυναμική ανάθεση εύρους ζώνης στα δίκτυα G-PON έχει τις ακόλουθες λειτουργίες, οι οποίες εφαρμόζονται σε επίπεδο ξεχωριστού αναγνωριστικού Alloc-ID:

- Εξαγωγή συμπεράσματος στο λογικό ενταμιευτή για τον όγκο των δεδομένων προς μετάδοση.
- Ενημέρωση του στιγμιαίου εκχωρούμενου εύρους ζώνης που προκύπτει.
- Έκδοση των κατανομών σύμφωνα με το ενημερωμένο στιγμιαίο εύρος ζώνης.
- Διαχείριση των λειτουργιών δυναμικής ανάθεσης εύρους ζώνης.
- Το τερματικό OLT του δικτύου G-PON οφείλει υποχρεωτικά να υποστηρίζει δυναμική ανάθεση εύρους ζώνης.

Ανάλογα με το μηχανισμό πληροφόρησης του όγκου δεδομένων των ενταμιευτών της μονάδας ONU, διακρίνονται δύο μέθοδοι δυναμικής ανάθεσης εύρους ζώνης :

- Δυναμική ανάθεση εύρους ζώνης με αναφορά κατάστασης: Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη ρητή αναφορά της κατάστασης των ενταμιευτών που ζητείται από το τερματικό OLT και αποστέλλεται από τις μονάδες ONU.
- Δυναμική ανάθεση εύρους ζώνης με παρακολούθηση κίνησης: Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην παρατήρηση από το τερματικό OLT των άεργων πλαισίων GEM και τη σύγκρισή τους με την αντίστοιχη χαρτογράφηση εύρους ζώνης. (Xie,2008)

### 2.4.2 Μαθηματικό Μοντέλο Δυναμικής Ανάθεσης Εύρους Ζώνης

Συμβολισμοί μαθηματικού μοντέλου:

- C (Mbps): η χωρητικότητα ροής ανόδου του παθητικού οπτικού δικτύου, η οποία ισούται με τον ονομαστικό ρυθμό μετάδοσης ζεύξης ανόδου με

αφαίρεση των επικεφαλίδων των πλαισίων και τις επιβαρύνσεις επικεφαλίδων του φυσικού στρώματος.

- B (bits): φόρτος κίνησης, ο όγκος των δεδομένων εντός του ενταμιευτή, προσθέτοντας 40 bits που αναλογούν στην επικεφαλίδα πλαισίου GEM για κάθε πακέτο.

- D : περιγραφείας κίνησης κατανομής
- RF (Mbps) : το πάγιο παρεχόμενο εύρος ζώνης
- RA (Mbps) : το καθορισμένο παρεχόμενο εύρος ζώνης
- RM (Mbps) : το μέγιστο παρεχόμενο εύρος ζώνης
- RNA (Mbps) : το επιπρόσθετο, μη εγγυημένο εύρος ζώνης
- RBE (Mbps) : το επιπρόσθετο εύρος ζώνης, καλύτερης προσπάθειας
- XAB (NA, BE, None): δείκτης εκλεξιμότητας για ανάθεση επιπρόσθετου εύρους ζώνης

- SNA (Mbps) : το δυναμικό πλεόνασμα εύρους ζώνης, διαθέσιμο για ανάθεση ως επιπρόσθετο μη-εγγυημένο εύρος ζώνης

- SBE (Mbps) : το δυναμικό πλεόνασμα εύρους ζώνης, διαθέσιμο για ανάθεση ως επιπρόσθετο εύρος ζώνης καλύτερης προσπάθειας

### 2.5 Πρωτόκολλο MAC

Οι τοπολογίες δέντρου, που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα GPON, έχουν το πλεονέκτημα να προσφέρουν οικονομική πρόσβαση σε δίκτυα πρόσβασης, αφού επιτρέπουν σε μεγάλο αριθμό χρηστών να μοιράζονται τον εξοπλισμό, και κατ' επέκταση το μεγάλο κόστος του. Σε τέτοια συστήματα η πολλαπλή πρόσβαση στο ρεύμα ανόδου επιτυγχάνεται μέσω της πολυπλεξίας TDMA. Για να επιτευχθεί η δίκαιη πρόσβαση είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός πρωτοκόλλου ελέγχου της πρόσβασης στο μέσο. Το πρωτόκολλο αυτό ρυθμίζει την πρόσβαση αναθέτοντας σχισμές στα τερματικά των χρηστών ανάλογα με τη ζήτηση.

Η τοπολογία δέντρου παρουσιάζει μια διαφορετική συμπεριφορά στη μεταφορά δεδομένων στο ρεύμα ανόδου από το ρεύμα καθόδου. Στο ρεύμα καθόδου η κοινοποίηση των δεδομένων σε όλους τους χρήστες επιβάλλει την δημιουργία πολλών αντιγράφων του εκπεμπόμενου σήματος. Αντίθετα το ρεύμα ανόδου λειτουργεί ως ένα κατανεμημένο σύστημα αναμονής το οποίο

χαρακτηρίζεται από το μεγάλο χρόνο που απαιτείται για τη μετάδοση της πληροφορίας ελέγχου από τα σημεία συσσώρευσης στον ελεγκτή του δικτύου που βρίσκεται στη «ρίζα» του δικτύου.

Ο ελεγκτής MAC συλλέγει τις αιτήσεις για πρόσβαση στο μέσο από τα διάφορα ONU/ONT και διανέμει τον αριθμό των χρονοθυρίδων του ρεύματος ανόδου ανάλογα με τα δεδομένα που έχει συλλέξει. Κύριος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη για την κατανομή του εύρους ζώνης είναι η διασφάλιση της QoS που έχει συμφωνηθεί ανάμεσα στο OLT και τα ONU/ONT. (Zheng,2009)

### 2.6 XG-PON

Οι κύριες απαιτήσεις ενός συστήματος NG-PON1 είναι να υποστηρίζονται 10 Gbps για κατέβασμα (downstream) και τουλάχιστον 2.5 Gbps χωρητικότητα για ανέβασμα (upstream). Το νέο σύστημα πρέπει να μπορεί να συνυπάρξει και να είναι συμβατό και με τα συστήματα GPON αλλά και με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα.

Η FSAN (Full Service Access Network Group) εξέτασε πολλούς υποψηφίους για το NG-PON1 συμπεριλαμβανομένων των TDM PONS, WDM PONS και υβριδικά συστήματα και των δύο τεχνολογιών, αλλά στο τέλος κατέληξε στο TDM 10 XG-PON ( GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK ) και αυτό λόγω της απλότητας του και της δυνατότητας του να μειώσει το κόστος υλοποίησής του. (Shweta,2011).

Το XG-PON έχει δύο εκδόσεις:

1. XG-PON1, το οποίο υποστηρίζει 10 Gbps downstream και 2.5 Gbps upstream
2. XG-PON2, το οποίο υποστηρίζει 10 Gbps και για downstream και για upstream

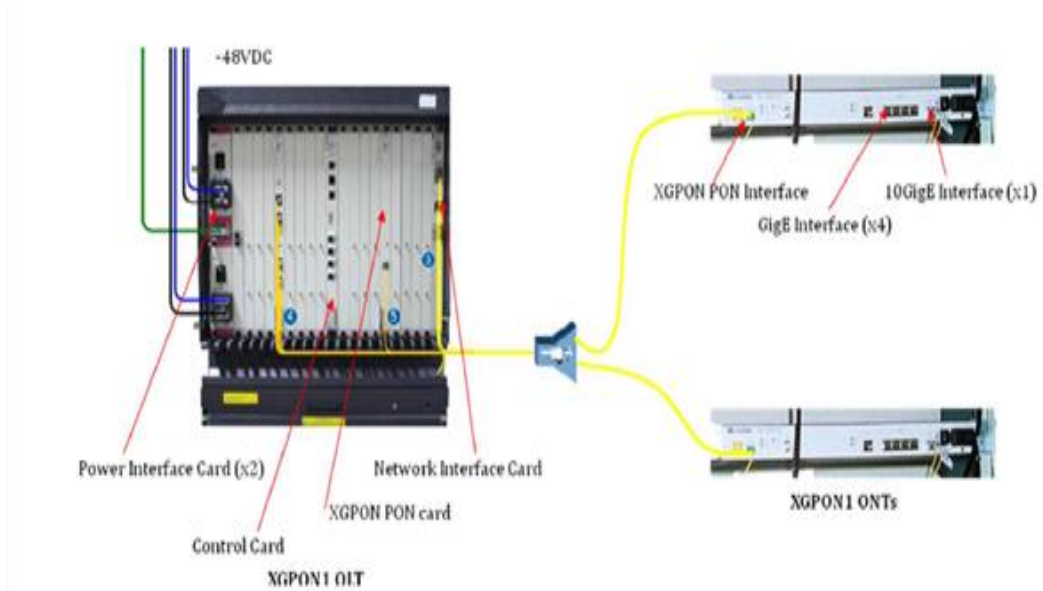
Το XG-PON1, επιτρέπει στους πάροχους υπηρεσιών να εξελίξουν τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα των πελατών τους και της βιομηχανίας και των επιχειρήσεων που εξυπηρετούνται από τεχνολογίες GPON.

Συγκρίνοντας τον ρυθμό μετάδοσης του XG-PON με αυτό του GPON παρατηρούμε ότι το XG-PON έχει 4 φορές μεγαλύτερο ρυθμό για «κατέβαση» (downstream) και 2 φορές μεγαλύτερο ρυθμό για «ανέβαση» (upstream).

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την πρώτη επίσημη δοκιμή/υλοποίηση του XG-PON1 κατασκευάστηκε από την εταιρία “Huawei Technologies” και παρουσιάζεται στην εικόνα 8.

Η κάρτα δικτύου του XG-PON1 τοποθετήθηκε σε πλαίσιο MA5600T, ενώ το ONT (Οπτικό Τερματικό Δικτύου) τοποθετήθηκε σε ένα πλαίσιο HG922.

Το ONT λαμβάνει 9.952 Gbps σήμα πάνω σε 1577nm μήκος κύματος από το OLT (Μονάδα Τερματισμού Οπτικών Γραμμών) και μεταδίδει 2.488 Gbps σε 1270nm μήκος κύματος προς το OLT.



Σχήμα 14 " Εξοπλισμός του XG-PON "



### Η Huawei Παρουσιάζει το Πρώτο Πρότυπο 40GPON στον Κόσμο

Η Huawei είναι ένας από τους πιο κορυφαίους προμηθευτές λύσεων πληροφορικής και επικοινωνιακής τεχνολογίας (ICT) παγκοσμίως και ανακοίνωσε την έναρξη λειτουργίας του πρώτου πρωτοτύπου 40G PON (Passive Optical Network). Το σύστημα 40G PON δοκιμάστηκε και πιστοποιήθηκε από κοινού από την Huawei και το China Telecom Beijing Research Institute.

Το σύστημα χρησιμοποιεί τεχνολογία πολυπλεξίας μήκους κύματος (wavelength division multiplexing –WDM), η οποία επιτρέπει ρυθμό μετάδοσης downstream 40 Gb/s και upstream 10 Gb/s, χωρίς να απαιτεί μεταβολή στα προϋπάρχοντα δίκτυα οπτικής διανομής GPON/XGPON (optical distribution networks - ODN).

Το σύστημα επίσης υποστηρίζει ρυθμό οπτικού διαμερισμού (optical splitting ratio) 1:512 και απόσταση μετάδοσης 20 Χλμ. Το σύστημα 40G PON της Huawei θα επιτρέψει στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους να ενσωματώσουν στα παρόντα σχέδια υλοποίησης GPON δικτύων τόσο τις μελλοντικές αναβαθμίσεις όσο και τις τεχνολογικές εξελίξεις, προσφέροντάς τους έτσι περισσότερο έλεγχο πάνω στα συνολικά λειτουργικά κόστη καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ GE-PON ΚΑΙ XG-PON

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πρόσφατα αναπτυσσόμενα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα η ανάπτυξη των υπηρεσιών που απαιτούν εύρος ζώνης, όπως είναι η τηλεόραση πάνω σε IP (IPTV και High Definition IPTV που απαιτούν μέχρι και 20 Mbps) και η Web-TV (π.χ. Youtube) αλλά και τα κοινωνικά δίκτυα που έγιναν πιο δημοφιλή, οδήγησαν στην συναλλαγή του πολυμεσικού περιεχομένου. Αυτό αποτέλεσε έναυσμα για τις αρχιτεκτονικές και τις τεχνολογίες, προκειμένου να εξασφαλιστεί πολύ υψηλό εύρος ζώνης ειδικά στην πρόσβαση δικτύου.

Με σκοπό να ξεπεραστεί το ζήτημα της ανάγκης για υψηλό εύρος ζώνης, έχει αναπτυχθεί ένας σημαντικός αριθμός διαφόρων τεχνολογιών πρόσβασης wideband δικτύων που είναι βασισμένες σε μια νέα δομή των ενσύρματων και των ασύρματων δικτύων.

Απ' όλες τις υπάρχουσες τεχνολογίες, μόνο το οπτικό μέσο έχει τις ικανότητες να ανταπεξέλθει στις μελλοντικές ανάγκες. Συνεπώς, η τεχνολογία οπτικών σε πρόσβαση τμημάτων (κάτω από την γενική έννοια των όρων FTTx-Οπτική ίνα στο x), αντιπροσωπεύουν τη μοναδική λύση, η οποία υποστηρίζει τεράστιο εύρος ζώνης. Σημειώνεται ότι οι τεχνολογίες όπως η xDSL, τα ενσύρματα δίκτυα, καθώς και οι ήδη υπάρχουσες ασύρματες τεχνολογίες δεν είναι ικανές να παρέχουν επαρκές εύρος ζώνης για τις επείγουσες υπηρεσίες. Έτσι, αδυνατούν να ξεπεράσουν τους περιορισμούς στην πρόσβαση των δικτύων.

Στην διαδικασία πρόσβασης δικτύου είναι απαραίτητο να υπάρξει αντικειμενική εκτίμηση των διαθέσιμων ρυθμών. Ωστόσο, ο πιο σημαντικός παράγοντας στην ανάλυση του συνολικού κόστους είναι ο παράγοντας της αποδοτικότητας ο οποίος παρέχει το συνολικό εύρος ζώνης που μπορεί να

προσφερθεί σαν υπηρεσία προς το σύστημα. Προκύπτει, λοιπόν, μια λεπτομερής αναφορά ανάλυσης των NGA λύσεων, δηλαδή των 10G EPON και XG-PON1, οι οποίες έχουν ως κύριο θέμα τη συγκριτική ανάλυση της αποδοτικότητας. (Pamela Begovic,2011)

Με την εισαγωγή των EPON και GPON τεχνολογιών έχει γίνει ένα μεγάλο βήμα μπροστά σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες πρόσβασης δικτύου, όπως το DSL ή τα ενσύρματα δίκτυα. Παρ' όλα αυτά, με την ανάπτυξη περισσότερων απαιτητικών υπηρεσιών (όπως είναι οι τηλεοράσεις 3D) αυτές οι ικανότητες σύντομα δεν θα επαρκούν για να προσφέρουν την επιθυμητή ποιότητα των υπηρεσιών στον τελικό χρήστη. Αυτές οι τάσεις, έχουν αναγνωριστεί ήδη από το 2006, όταν η IEEE και ITU άρχισαν να ετοιμάζουν τα πρότυπα των οπτικών NGA δικτύων.

Μέχρι σήμερα, το 10G EPON και η λύση του XG-PON1, έχουν προτυποποιηθεί σαν NGA λύσεις. Αυτό τους κάνει μοναδικούς υποψήφιους για τη συγκριτική ανάλυση. Οι δυο αυτές τεχνολογίες προσφέρουν το ίδιο εύρος ζώνης (10 Gbps για download) είναι, όμως, χτισμένες πάνω σε αρκετά διαφορετικές αρχές. Συνεπώς, η σύγκριση των τεχνικών χαρακτηριστικών τους καθώς και της αποδοτικότητας τους είναι μέγιστης σημασίας, ώστε να συμπεράνουμε ποια από τις δυο λύσεις είναι προτιμότερη.

#### **3.1 Διαφορές GPON και GEPON**

Ποιες όμως είναι οι διαφορές μεταξύ GPON και GEPON; Και γιατί το GEPON αποδεικνύεται καλύτερο;

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το PON προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Passive Optical Network (Παθητικό Οπτικό Δίκτυο) και είναι ένα δίκτυο point-to-multipoint (από ένα σημείο σε πολλά). Υπάρχουν δύο κατηγορίες που έγκειται στο PON και αυτές δεν είναι άλλες από το GPON (το οποίο αποτελεί την επανάσταση του broadband PON –BPON) και το EPON/GEPON. (Pamela Begovic,2011)

Μια σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο κατηγορίες έγκειται στην ταχύτητα λειτουργίας. Το BPON υποστηρίζει χαμηλές ταχύτητες με 155Mbps στο ανέβασμα και 622 Mbps στο κατέβασμα. Το GEPON λειτουργεί στα 2.5 Gbps συμμετρικής λειτουργίας. Το GPON υποστηρίζει 1Gbps ασύμμετρης λειτουργίας. Επίσης, διαφορά μεταξύ τους αποτελεί και το πρωτόκολλο που υποστηρίζεται για την μεταφορά πακέτων δεδομένων. Το BPON βασίζεται σε ATM , το GPON χρησιμοποιεί το τοπικό Ethernet και το GEPON υποστηρίζει ATM, Ethernet και WDM.

Το σύστημα GEPON βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη και απαιτεί ένα ποικιλόμορφο πρωτόκολλο για τις διάφορες μεταφράσεις που υφίσταται. Για παράδειγμα στην Ασία το GEPON αναπτύσσεται σε ευρύ φάσμα και ως τοπικό πρωτόκολλο χρησιμοποιείται το Ethernet. Το GEPON περιορίζει το χρόνο και το κόστος, χρησιμοποιώντας συμμετρικό ανέβασμα και κατέβασμα δεδομένων στα 2.5Gbps. Συνεπώς, η πολυπλοκότητά του είναι χαμηλότερη σε σχέση με το GPON και άρα το GEPON έχει ένα πλεονέκτημα όσον αφορά το κόστος εγκατάστασης.

Συγκρινόμενο με το GPON, το GEPON φαίνεται αρκετά πιο ευέλικτο. Παρέχει υπηρεσίες σε περισσότερους από 2300 συνδρομητές και χρησιμοποιείται σε υπηρεσίες τηλεπικοινωνίας. Επιπρόσθετα, το GEPON διαθέτει την απαραίτητη υποδομή προκειμένου να διευκολυνθεί η συνεργασία ανάμεσα σε επιστήμονες, διδάσκοντες κ.ά. και παρέχει συστήματα υποστήριξης για επαγγελματική ανάπτυξη.

Τέλος, το GEPON υποστηρίζει τη λειτουργία Class of Service (CoS) για τη μεταφορά δεδομένων που απαιτεί αρκετά μεγάλη ακρίβεια ως προς τον χρόνο μετάδοσης, όπως γίνεται στην περίπτωση μετάδοσης video.

### **3.2 10G EPON (overhead identification)**

Κάθε παθητικό δίκτυο TDMA (EPON, GPON, XG-PON1) όπως και το 10G EPON, έχει μια παρόμοια τοπολογία η οποία περιγράφεται ως πολλά σημεία – προς πολλά σημεία για «ανέβασμα» (upstream) και από ένα σημείο- προς πολλά

σημεία για «κατέβασμα» (download). Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του χαρακτήρα της αρχιτεκτονικής των παθητικών δικτύων.

Σύμφωνα με αυτήν την αρχιτεκτονική όλοι οι χρήστες του συστήματος, οι οποίοι αναπαρίστανται ως μονάδες ONU, μοιράζονται ένα κοινό κανάλι μετάδοσης μέσω μιας κεντρικής συσκευής την OLT (Optical Line Terminal) η οποία βρίσκεται στο κεντρικό γραφείο. Έτσι, είναι αναγκαίο να διανεμηθούν οι πόροι μεταξύ όλων των μονάδων ONU.

Η μετάδοση για upload πραγματοποιείται σε κατάσταση “burst” αφού, όμως, οι μονάδες ONU ενεργοποιήσουν τα laser τους ώστε να μεταδώσουν ένα burst πληροφορίας και στη συνέχεια τα απενεργοποιήσουν. Ανάλογα με τις απαιτήσεις, οι πολλαπλές μονάδες ONU παίρνουν σειρά που ορίζεται από τις δυναμικές αλλαγές που πραγματοποιούνται περιοδικά στο χρόνο.

Από την άλλη, η μετάδοση για download είναι broadcast. Όλη η μετάδοση γίνεται σε κάθε μονάδα ONU, αλλά μόνο μία ανταποκρίνεται στην διεύθυνση που πρέπει περάσει μέσω των άνω επιπέδων του μοντέλου ISO –OSI.

Είναι προφανές, ότι ορισμένη πληροφορία που σχετίζεται με την διάθεση των χρονικών περιόδων, όπως η διευθυνσιοδότηση συσκευών κ.τ.λ., είναι κάτι παραπάνω από χρήσιμη και αναγκαία για την μετάδοση μέσω συστήματος παθητικού δικτύου. Επιπλέον, για πλήρως λειτουργική μετάδοση, όπως σε κάθε άλλο δίκτυο, μέρος της πληροφορίας για τον συγχρονισμό, τη κωδικοποίηση κ.τ.λ. πρέπει επίσης να μεταδοθεί. Προφανώς, όλες οι προαναφερθείσες λειτουργίες είναι μέρος της συνολικής χωρητικότητας, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που είναι διαθέσιμος στους τελικούς χρήστες.

Συνεπώς, ο διαμοιραζόμενος ρυθμός μετάδοσης μειώνεται σημαντικά, σε σύγκριση με το θεωρητικό ρυθμό του 10,3125 Gbps (προτεινόμενη από το πρότυπο για συμμετρικά συστήματα 10G EPON). Για να εκτιμήσουμε τον αληθινό ρυθμό μετάδοσης που χρησιμοποιείται από τους χρήστες, πρέπει να πραγματοποιήσουμε εκτίμηση του συνολικού “overhead”.(Pamela Begovic,2011) Αν και αυτό το overhead εισάγεται με σκοπό να παρέχει ένα σύστημα με προϋποθέσεις, είναι αναγκαίο να διακρίνουμε όλα εκείνα τα στοιχεία που θα μας

οδηγήσουν στη μείωση της απόδοσης του εύρους ζώνης και στις δυο κατευθύνσεις μετάδοσης (upstream και downstream ).

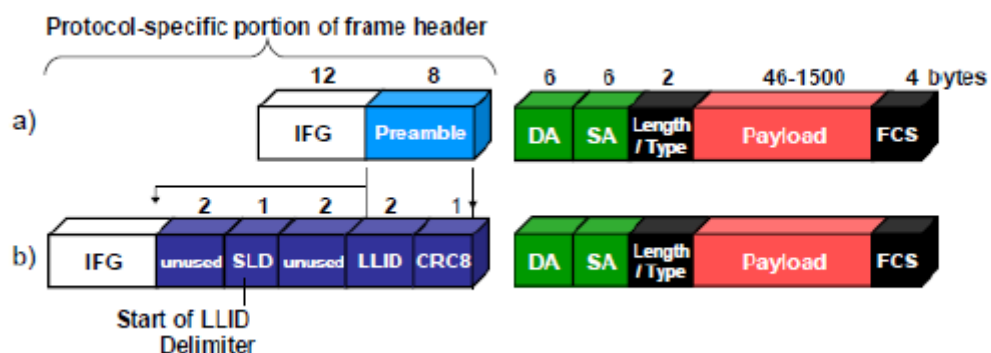
Συγκριτικά με τις άλλες ενεργές τεχνολογίες, η ιδέα των δικτύων 10G EPON βασίζεται στην ανακατεύθυνση των πληροφοριών συστήματος μέσω των επιπέδων του προτύπου 802.3av του αναφερόμενου μοντέλου. Έτσι, αν θέλουμε να υπολογίσουμε το overhead, είναι απαραίτητο να εντοπίσουμε όλα τα συμπεριλαμβανόμενα στοιχεία και να ελέγξουμε την συναλλαγή μηνυμάτων. Επίσης, έχοντας κατά νου ότι το πρότυπο 802.3av διακρίνει μόνο δυο χαμηλά επίπεδα του μοντέλου OSI, χρήσιμες πληροφορίες είναι αυτές που βρίσκονται στο δεύτερο επίπεδο. Με αυτές τις προϋποθέσεις στο σύστημα 10G EPON, μπορούν να διακριθούν τρεις διαφορετικοί τύποι overhead:

1. Ethernet Framing Overhead
2. Control Message & Line Coding
3. FEC & Burst Mode overhead

Παρακάτω, γίνεται η παρουσίαση του overhead στο 10 GEAPON ξεκινώντας από το υψηλότερο και τελειώνοντας στο χαμηλότερο επίπεδο.

### 3.2.1 Ethernet Encapsulation Overhead

Η τεχνολογία 10G EPON, έχει κληρονομήσει την ιδέα της ενσωμάτωσης πληροφοριών (μέσα στο Ethernet πλαίσιο) από τον προκάτοχό του, τον EPON. Κοιτώντας το επίπεδο πληροφοριών στο μοντέλο του OSI, στο φορτίο του Ethernet προστίθεται μια τυπική επικεφαλίδα Ethernet πλαισίου.



Σχήμα 15 " a) Μορφή Ethernet Frame - b)Μορφή 10GEPON Frame "

Σύμφωνα με το σχήμα 15 η επικεφαλίδα περιέχει περιόδους IFG (Inter Frame) οι οποίοι προετοιμάζουν τη συσκευή για τη λήψη του επόμενου πλαισίου. Μετά απ' αυτό, σειρά λαμβάνει ένα επόμενο πεδίο, το περιεχόμενο του οποίου έχει τροποποιηθεί στο πρότυπο 802.3av σε σχέση με το αρχικό 802.3 πεδίο. Αυτό το πεδίο αποτελείται από LLID (Link ID), αρχή από το LLid (SLD) και κατάλληλο CRC μέρος.

Το πεδίο LLID περιέχει πληροφορία για τη διεύθυνση της συσκευής EPON και χρησιμοποιείται σαν ένα μέσο PTP. Δουλειά του είναι να ξεχωρίσει τα πλαίσια Ethernet βάζοντας ταμπέλες σε κάθε ONU, κάνοντας έτσι την διαφοροποίηση από το αρχικό πεδίο του συγχρονισμού του πλαισίου Ethernet. Η μέθοδος διευθυνσιοδότησης, πριν από το επίπεδο MAC, είναι πολύ μεγάλης σημασίας. Αυτό συμβαίνει, επειδή, στην κατεύθυνση για download, στο επίπεδο MAC το πλαίσιο θα το περάσει μόνο το ONU που διαθέτει το κατάλληλο LLID.

Τα επόμενα πεδία του κάθε Ethernet πλαισίου, περιέχουν MAC διευθύνσεις του δέκτη (PA) και του μεταδότη (SA). Ακόμη, υπάρχει το πεδίο που δείχνει το μήκος και τον τύπο του Ethernet πλαισίου.

Το φορτίο του Ethernet ( $N_{pl}$ ), περιέχει επιλεκτικά από 46 μέχρι 1500 bytes, ακολουθούμενο από 4 bytes FCS Κώδικα για την περίπτωση που εντοπιστούν σφάλματα κατά τη διάρκεια της μετάδοσης. Το μήκος του φορτίου εξαρτάται από την κάθε φορά διαθέσιμη ποσότητα πληροφορίας που μεταδίδεται μέσα στο πλαίσιο, προκαλώντας το overhead (σαν αποτέλεσμα της Ethernet ενσωμάτωσης) να γίνει 2.47 της μέγιστης 45.24 συνολικής ποσότητας πληροφορίας που μεταδίδεται στο χαμηλό επίπεδο του MAC.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο διαμοιρασμός της overhead για  $N_{pl}$  bits σε συνολική ποσότητα μεταδιδόμενης πληροφορίας, μπορεί να εκφραστεί ως:

$$a_{Et} = \frac{38}{38 + N_{pl}} \cdot 100\%$$

Όμως, ενώ πολλά πλαίσια που έρχονται από (ή προς) κάθε μονάδα ONU, με διαφορετικό μήκος φορτίου και προωθούνται μαζί σε χαμηλότερο επίπεδο, η

αξία του overhead εξαρτάται από συγκεκριμένη διανομή των μεγεθών των πακέτων.

Έτσι, αν συμβολίσουμε το μήκος του φορτίου ως :

$$N_{pl1}, N_{pl2}, \dots, N_{pln}$$

Και συμβολίσουμε τις πιθανότητες που εμφανίζονται ως :

$$p_1, p_2, \dots, p_n$$

Συμπεραίνουμε ότι, το κατά μέσο όρο overhead που μοιράζεται σε συνολική ποσότητα μεταδιδόμενης πληροφορίας μπορεί να εκφραστεί ως :

$$\alpha_{Et} = \frac{38}{38 + p_1 \cdot N_{pl1} + p_2 \cdot N_{pl2} + \dots + p_n \cdot N_{pln}} \cdot 100\%$$

### 3.2.2 Line Coding, FEC και Burst Mode Overhead

Σύμφωνα με την ιδέα του 10G EPON , όλα τα buffered πλαίσια του Ethernet (ξεχωριστά για κάθε ONU) προωθούνται σε χαμηλότερο επίπεδο του ISO-OSI. Εκεί, επεξεργάζεται η επιπρόσθετη πληροφορία και διενεργείται η ενσωμάτωση. Επειδή, όμως, υπάρχουν διάφορες τοπολογίες για μεταδόσεις είτε downstream είτε upstream, τα overheads των δυο τεχνολογιών είναι λογικό να διαφέρουν. Έτσι, είναι σαφές ότι θα πρέπει να υπάρχει διαφορετική μεταχείριση.

### 3.2.3 Downstream Line Coding και FEC Overhead

Στην κατεύθυνση για downstream (από OLT σε ONUs) τα πακέτα Ethernet που μεταδίδονται από το OLT περνάνε μέσω ενός 1 x N παθητικού splitter και φθάνουν σε κάθε ONU.

Όμως, ένα buffered σύνολο των πλαισίων Ethernet, μεταδίδεται στο OLT και περνά σε χαμηλότερο επίπεδο. Η κωδικοποίηση γραμμής (line coding) για το 10G EPON είναι 64B/66B, με αποτέλεσμα το overhead να μειώνεται 20%, το οποίο αντιστοιχεί στο EPON σε μόλις 3.03 %.



Μετά τον κωδικοποιητή γραμμής, χρησιμοποιείται ένας σύγχρονος κωδικοποιητής για να εμποδίσει το φορτίο, με σκοπό να βοηθήσει στην τυχαία παραγωγή των bits. Όμως, αφού ο κωδικοποιητής δεν εισάγει κανένα overhead, δεν επηρεάζει με κανένα τρόπο την απόδοση του εύρους ζώνης. Στη συνέχεια, τα κωδικοποιημένα bits εισάγονται στην επόμενη κωδικοποίηση FEC (διόρθωση σφάλματος). Η κωδικοποίηση FEC, πραγματοποιείται ως εξής:

- Για κανάλια δεδομένων στην έξοδο του scrambler, ο FEC αθροίζει 27 από 66 bit blocks για να σχηματίσει την βάση μιας FEC κωδικολέξης. Αρχικά, αφαιρεί το περιττό πρώτο bit από κάθε κομμάτι.
- Στη συνέχεια, προσάπτει 29 bits σε 27 μπλοκ, ώστε να σχηματίσει 223-byte μιας κωδικολέξης FEC, η οποία συνδυάζεται με 223-byte φορτίο, σχηματίζοντας 255- byte κωδικολέξη Reed-Aolomon.
- Αφού υπολογιστεί και η κωδικοποίηση Reed-Solomon, η κωδικοποίηση FEC δημιουργεί την μεταδιδόμενη κωδικολέξη, μαζί με την αρχική ακολουθία των 2766 bit μπλοκ.

Σε αυτό το σημείο, είναι πολύ σημαντικό να τονίσουμε ότι το 10 G EPON είναι stream-based. Το γεγονός αυτό, κάνει την εκτίμηση του FEC να είναι ανεξάρτητη από τα μεγέθη πακέτου, στα υψηλά επίπεδα κάθε μπλοκ από τα 27 (64b/66B\_της μεταδιδόμενης πληροφορίας). Η κωδικοποίηση FEC προσθέτει 4 μπλοκ που δημιουργούν :

$$a_{FEC\_d} = 12.9\% \text{ overhead}$$

#### 3.2.4 Upstream Line Coding , FEC Burst Mode Overhead

Στην κατεύθυνση για upload (από ONUs σε OLT) κάθε ONU μεταδίδει στην χρονική στιγμή του που του έχει ανατεθεί . Αυτές οι χρονικές στιγμές για κάθε ONU εμφανίζονται περιοδικά και η περίοδος στην οποία όλες οι μονάδες ONU εξυπηρετούνται (συμπεριλαμβανομένης της ODN), ονομάζεται κυκλική περίοδος T. Επιπλέον, όπως και στην κατεύθυνση downstream, έτσι και στην κατεύθυνση upstream πραγματοποιείται κωδικοποίηση γραμμής 64B/66B. Αλλά, αντίθετα με την downstream κατεύθυνση, στην κατεύθυνση upstream 2 μπλοκ των 66 bit περιέχουν τον “idle” κώδικα.

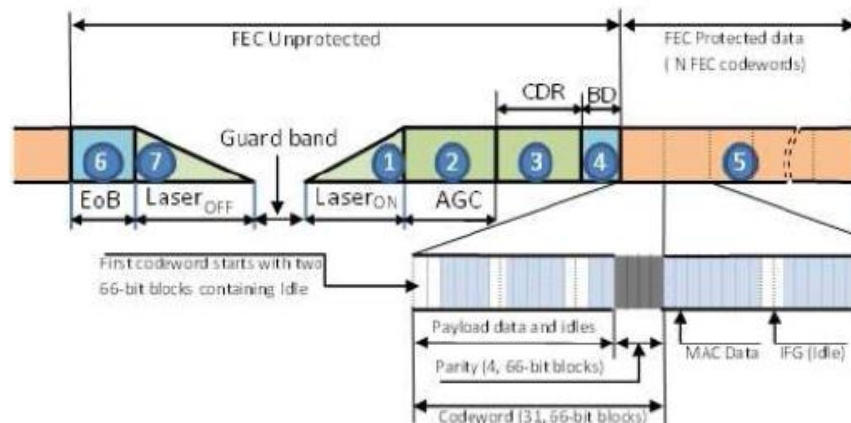
### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ GE-PON ΚΑΙ XG-PON

Επομένως, υποθέτοντας ρυθμό μετάδοσης 10.3125 Gbps, σε κάθε κυκλική περίοδο  $T$ , τα συνολικά  $10.3125 \cdot 10^9 \text{ bits}$ , μπορούν να μεταδοθούν.

Το overhead σε αυτήν την περίπτωση υπολογίζεται ως :

$$a_{idle} = \frac{2 \cdot 66 \cdot N}{10.3125 \cdot 10^9 \cdot T} \cdot 100\%$$

Σε αντίθεση με το download, τα κωδικοποιημένα FEC δεδομένα δεν μπορούν να μεταδοθούν απευθείας. Ενώ σε κάθε στιγμή, μόνο ένα ONU μπορεί να μεταδώσει πολυμέσα, πρέπει πρώτα να ενεργοποιήσει το laser του και στη συνέχεια να το απενεργοποιήσει. Με αυτόν τον τρόπο, όμως, πρέπει να εισαχθεί επιπρόσθετο overhead (γνωστό ως burst mode overhead) σε κάθε ONU μετάδοση.



Σχήμα 16 " Εσωτερική Δομή του Καναλιού Upstream, Data Burst στο 10GEPON "

Σύμφωνα με το σχήμα 8, πριν ξεκινήσει μια μετάδοση από κάθε ONU, πρέπει να δεσμευθεί μερική ποσότητα χρόνου (τον αναφερόμενο ως laser on time) όπου ενεργοποιείται το laser. Επίσης, είναι απαραίτητο να βρεθεί ορισμένος χρόνος για να ανακτηθεί ο έλεγχος (TAGC) και να πραγματοποιηθεί η ανάκτηση δεδομένων (TCDR). Πριν την αρχή του FEC πρέπει να προστεθεί επιπρόσθετο burst delimiter πεδίο (BD) με 66 bit. Αυτό το πεδίο χρησιμοποιείται για να ενεργοποιήσει το OLT, ώστε να αναγνωρισθεί με αξιοπιστία η αρχή της εισερχόμενης πληροφορίας, ακόμη και με την παρουσία σφαλμάτων bit.

Το burst mode overhead μπορεί να υπολογιστεί από :

$$a_{BM} = \left( L_{ON} + T_{AGC} + T_{CDR} + L_{OFF} + \frac{BD}{R} + \frac{E_{OB}}{R} + T_{GB} \right) \cdot \frac{N}{T} \cdot 100\%$$

Μέχρι σήμερα, το XG-PON1 είναι η μόνη προτυποποιημένη έκδοση των NGA λύσεων. Παρουσιάστηκε σαν ο διάδοχος του προτύπου GPON, επιτρέποντας μετάδοση 10 Gbps για download και 2.5 Gbps για upload. Γι ' αυτό το λόγο κληρονόμησε τις ιδέες GPON, εισάγοντας καινοτομίες (όπως για παράδειγμα, περισσότερη ασφάλεια).

Το XG-PON1, ως εκπρόσωπος του TDMA PON, έχει τις ίδιες τοπολογίες όπως και ο ανταγωνιστής του , ο 10G epon. Συμπεριλαμβάνει broadcast μετάδοση για «κατέβασμα» και δυναμική διάθεση χρονικών στιγμών για «ανέβασμα». Αντίθετα όμως με το 10 G EPON, δεν χρειάζεται να μεταδοθεί, μέσω δικτύου κανένας έλεγχος και κανένα μήνυμα αναγνώρισης. Ολόκληρο το overhead του XG-PON1, μπορεί να αναγνωρισθεί μέσω των πλαισίων.

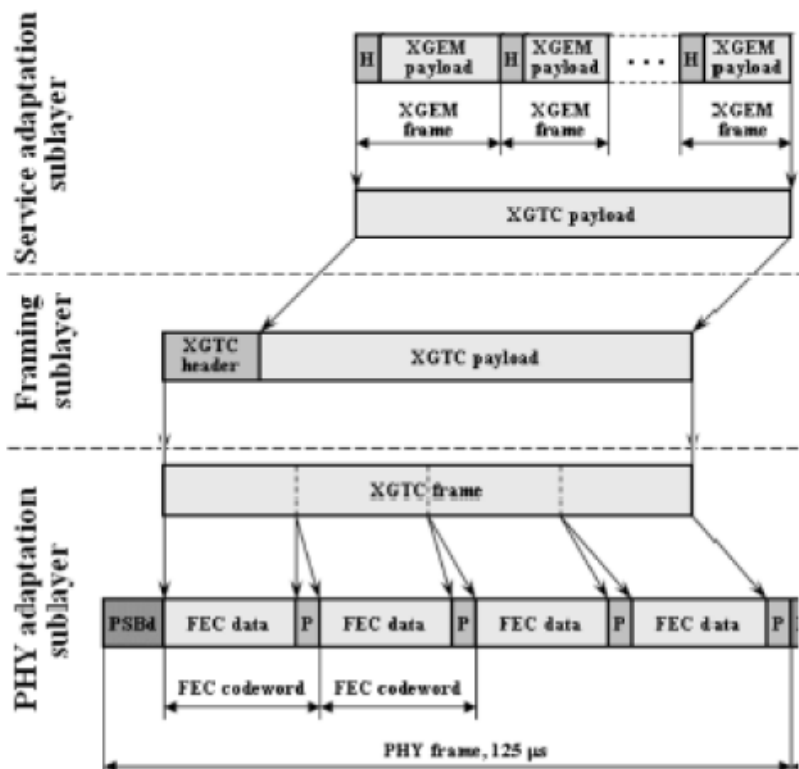
Επίσης, Αφού οι τοπολογίες διαφέρουν για τις δυο κατευθύνσεις, είναι λογικό να διαφέρουν και οι μορφές των πλαισίων τους. Η κατάλληλη στοίβα πρωτοκόλλων, που ορίζεται στο πρότυπο ITU-T G987.3 , δομείται με τρία διακριτά υποεπίπεδα :

1. PHY (Physical Adaption Layer)
2. FS (Framing Adaption Layer), κάνει την κύρια εργασία της μετάδοσης
3. CAS (Client Adaption Layer), κρατά τα σήματα των χρηστών

### 3.3 Downstream XG-PON1 Overhead

Στα δίκτυα XG-PON1, η μετάδοση downstream πραγματοποιείται με 125 μs PHY πλαίσια. Αυτά τα πλαίσια χρησιμοποιούνται σαν μεταφορείς των FEC κωδικοποιημένων μπλοκ, προερχόμενα από τα υψηλότερα OSI επίπεδα, μαζί με το overhead (PSBd). (Effenberger,2011)

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ GE-PON ΚΑΙ XG-PON



Σχήμα 17 " Downstream XG-PON Layer Organization "

Θεωρώντας μετάδοση ρυθμού 9.95328 Gbps, ορισμένο στο πρότυπο G.987 για κατεύθυνση download, μπορούν να μεταδοθούν 155520 bytes σε κάθε 125 μs PHY πλαίσια. Παρ' όλα αυτά, 24 από αυτά τα bytes πρέπει να δεσμευθούν για το PSBd overhead (Σχήμα 9). Στην κατεύθυνση download, το overhead αποτελείται από τα ακόλουθα :

- 8 bytes για σταθερό πλαίσιο που χρησιμοποιείται για να ενεργοποιήσει το δέκτη και να βρει την αρχή κάθε PHY πλαισίου.
- 8 bytes του μετρητή Superframe.
- 8 bytes τα οποία περιέχουν την ταυτότητα PON.

Επομένως, 155496 bytes σε κάθε PHY πλαίσιο, χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν κωδικολέξεις FEC. Το XG-PON1, χρησιμοποιεί Reed-Solomon διορθώσεις στην κατεύθυνση downstream.

Το overhead στο downstream , μπορεί να υπολογιστεί ως :

$$a_{PAS_d} = \frac{24 + 32 \cdot 627}{155520} \cdot 100\% = 12.92\%$$

Πριν από τον κωδικοποιητή FEC, η ομάδα των 135432 bytes, σχηματίζεται στο επίπεδο FS. Αυτήν η ομάδα μεταδίδεται μαζί με την επικεφαλίδα μετάδοσης XG-PON (XGTC).

Η επικεφαλίδα XGTC, αποτελείται από τρία μέρη :

1. Σταθερό μέγεθος της επικεφαλίδας, το οποίο κουβαλά τα μέρη των δυο επόμενων τμημάτων της επικεφαλίδας(11 bits).
2. Το Bwmap, το οποίο μεταφέρει N 8-Bytes upstream, παρέχοντας έτσι έλεγχο πρόσβασης.
3. Μηνύματα λειτουργιών φυσικού επιπέδου.

Αντίθετα με το GPON , στο XG-PON1 κανένα, ένα ή περισσότερα PLOAM μηνύματα (αποτελούμενα από 48 bytes το καθένα) μπορεί να μεταδοθούν στην κατεύθυνση download. Επίσης, μόνο ένα μήνυμα μπορεί να μεταδοθεί σε κάθε ONU.

Το overhead FS στο download μπορεί να υπολογιστεί ως εξής :

$$\alpha_{FS\_d} = \frac{4 + N \cdot 8 + P \cdot 48}{155520} \cdot 100\%$$

Το XGEM overhead , υπολογίζεται από:

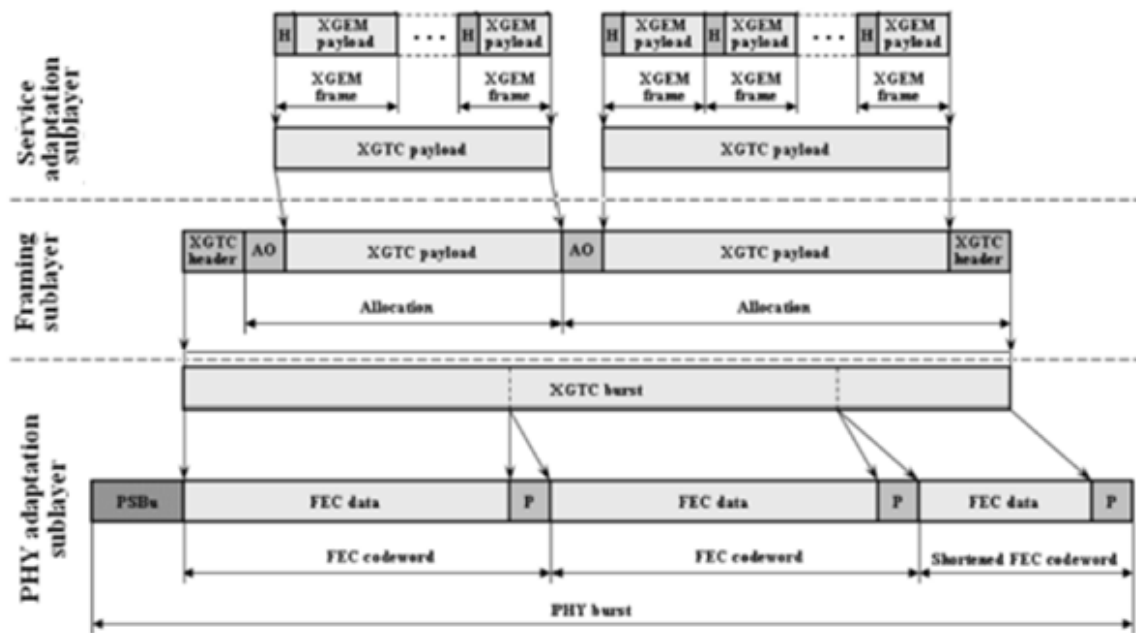
$$\alpha_{XGEM} = \frac{28}{28 + p_1 \cdot N_{pl1} + p_2 \cdot N_{pl2} + \dots + p_n \cdot N_{pln}} \cdot 100\%$$

Όπου,  $N_{pl1}, N_{pl2}, \dots, N_{pln}$  , τα διάφορα μήκη,

που εμφανίζονται με πιθανότητες,  $p_1, p_2, \dots, p_n$

### 3.4 Upstream XG-PON1 Overhead

Το ανέβασμα “upstream” του XG-PON είναι τύπου burst-mode και αποτελείται, όμοια με την κατεύθυνση downstream, από PSBw και FEC πεδία δεδομένων.



Σχήμα 18 " Upstream XG-PON Layer Organization "

Όμως, το πλαίσιο PHY έχει μερικές διαφορές από εκείνο που χρησιμοποιείται για downstream . Εάν υποθέσουμε ως 120 μs τη διάρκεια ανεβάσματος, το πλαίσιο PHY μπορεί να μεταδοθεί με ταχύτητα 2,48832 Gbps με μέγιστο πλαίσιο τα 38880 bytes.

Το overhead στην κατεύθυνση upstream είναι :

$$a_{PAS_u} = \frac{32 + 157 \cdot 16}{38880} \cdot 100\% = 6.54\%$$

Σύμφωνα με το σχήμα 10 μπορούμε να συμπεράνουμε ότι κάθε ΡΗΥ αποτελείται από μερικά φορτία ΧGTC και από εκείνα που συσχετίζονται με τα πεδία ΑΟ (Allocation Overhead) επικεφαλίδα ΧGTC και ΧGTC trailer.

### 3.5 Μέτρηση Συνολικού Overhead

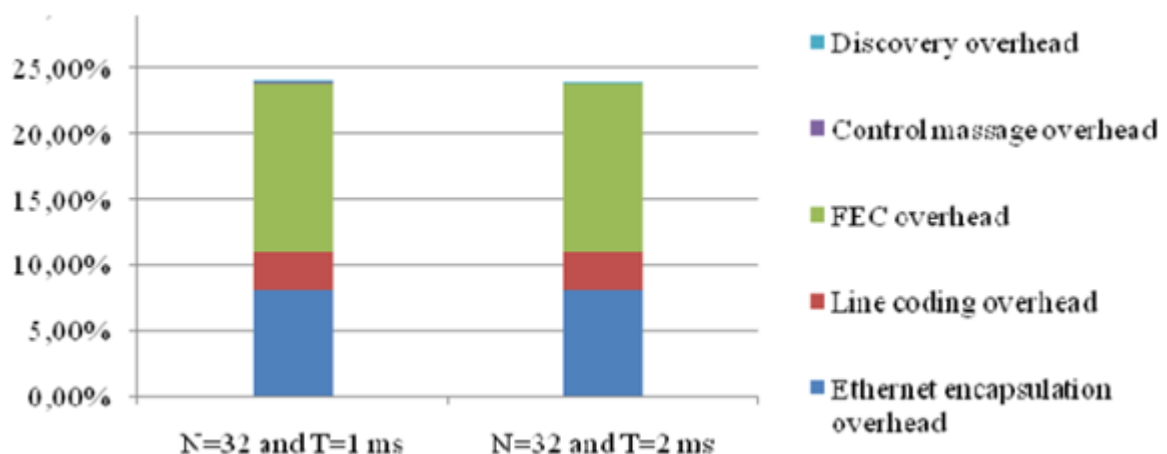
#### 3.5.1 10GEPON

Για να υπολογίσουμε την απόδοση του 10G EPON πρέπει να γίνουν μερικές γνωστές υποθέσεις:

1. Ο Αριθμός των ΟΝUS που υπάρχει στο PON.
2. Η κυκλική περίοδος- διάρκεια.
3. Η διανομή συμφόρησης.

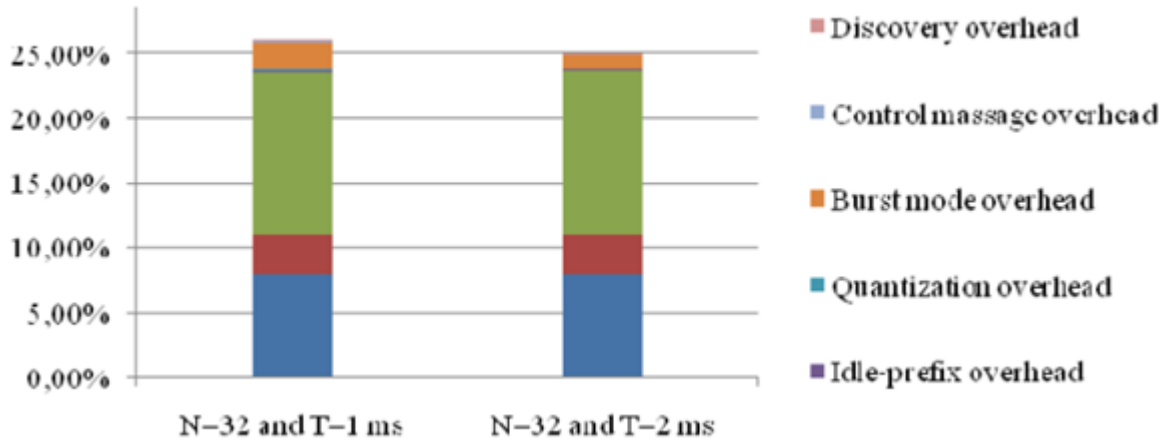
Για το παρακάτω παράδειγμα, θα χρησιμοποιηθεί ο αριθμός των 32 ΟΝUs. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, οι πιο κοινώς χρησιμοποιούμενες κυκλικές περίοδοι είναι είτε των 1 ms είτε των 2 ms.

Τα αποτελέσματα του 10G EPON overhead , για τα διάφορα σενάρια και τις διάφορες κατευθύνσεις παρουσιάζονται στα σχήματα 19 και 20.



Σχήμα 19 " 10GEPON Downstream Overhead "

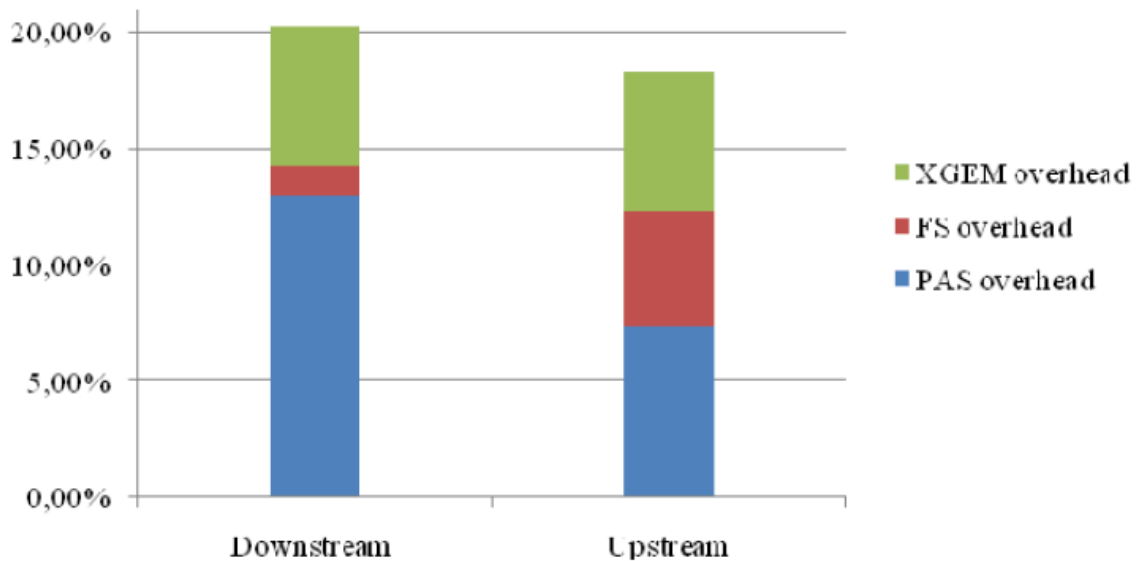
### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ GE-PON ΚΑΙ XG-PON



Σχήμα 20 " 10GEPON Upstream Overhead "

#### 3.5.2 XG-PON1 Υπολογισμός Overhead

Στο σχήμα 21, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του υπολογισμού του overhead του XG-PON1.



Σχήμα 21 " XG-PON1 Downstream και Upstream Overhead "

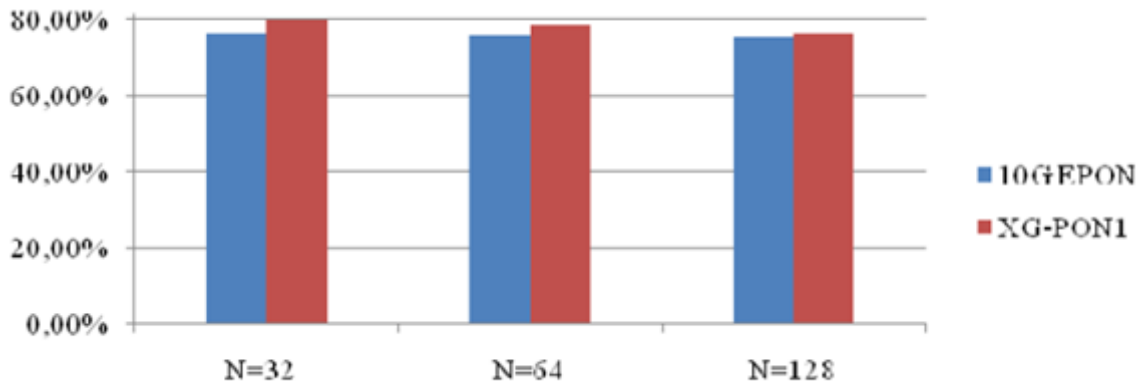
Όμως, η θεωρητική ανάλυση δεν επαρκεί ώστε να έχουμε ακρίβεια, επομένως, θα πρέπει να ελέγξουμε τα αποτελέσματα σε πραγματικό περιβάλλον δικτύου 10G EPON για τον υπολογισμό του overhead.

Υποθέτοντας 32 ONUs μέσα σε κάθε δίκτυο, η αποδοτικότητα του 10G EPON είναι περίπου 76% για downstream και 74% για upload. Οι αληθινοί διαθέσιμοι ρυθμοί για κάθε χρήστη είναι 245/238 Mbps. Στο XG-PON1, αυτές οι

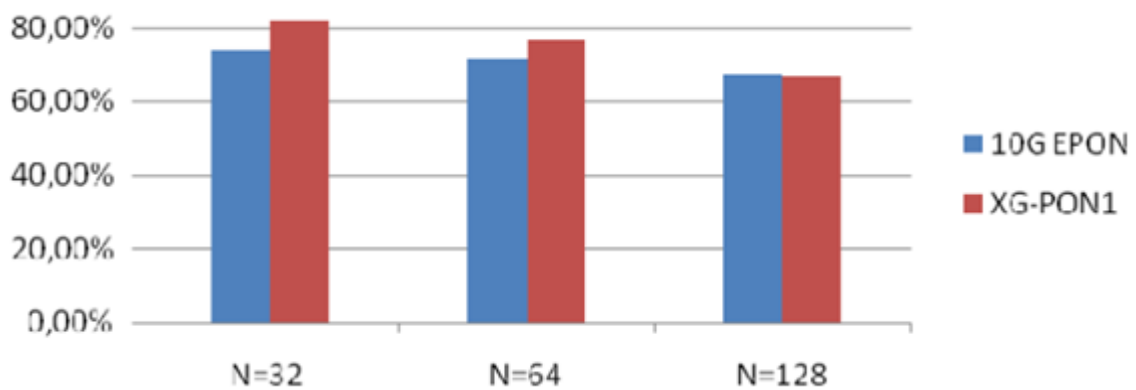


### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ GE-PON ΚΑΙ XG-PON

αποδόσεις είναι 80% και 82% αντίστοιχα, δίνοντας έτσι ρυθμούς για κάθε χρήστη ίσους με 249/64 Mbps. Επιπλέον, τα συγκριτικά αποτελέσματα των αποδόσεων για διαφορετικό αριθμό ONU, στο downstream και upstream, παρουσιάζονται στα σχήματα 22 και 23.



Σχήμα 22 " Downstream Αποδόσεις GEAPON και XG-PON "



Σχήμα 23 " Upstream Αποδόσεις GEAPON και XG-PON "

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αναφορικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο τεχνολογιών, μπορούμε να πούμε ότι και οι δύο αυτές τεχνολογίες, βασιζόμενες στις αρχές των οπτικών παθητικών δικτύων έχουν την ίδια τοπολογία (πολλά-προς-πολλά για upstream και ένα-προς-πολλά για downstream). Στη συνέχεια αξίζει να παρατηρήσουμε, ότι η νέα τεχνολογία XG-PON μπορεί να συνυπάρξει την GPON με αποτέλεσμα να μπορεί έτσι να βοηθήσει τους χρήστες να προσαρμοστούν σε αυτήν χωρίς επιπλέον κόστος και αλλαγές υλικού, σε αντίθεση με την 10G EPON. Αυτό επιτυγχάνεται από τα XG-PON χρησιμοποιώντας την τεχνολογία WDM στο downstream και την WDM στο upstream. Συνεπώς ο συνδυασμός των τεχνολογιών TDM και WDM, καθιστά το XG-PON ένα πανίσχυρο εργαλείο το οποίο θα μπορούσαμε να πούμε ότι κρατά τα απαραίτητα “εφόδια του παρελθόντος” και τα χρησιμοποιεί για ένα “πιο προσοδοφόρο μέλλον”. Επιπροσθέτως, όσον αφορά τις διαφορές τους ρυθμούς μετάδοσης των δύο τεχνολογιών, παρατηρούμε :

- 10G EPON : 1GBps(up) – 10GBps(down) “*asymmetric*”
- 10G EPON : 10GBps(up and down) “*symmetric*”
- XG-PON1 : 2,5GBps(up) – 10GBps(down) “*asymmetric*”
- XG-PON2 : 10GBps(up and down) “*symmetric*”

Ωστόσο στην πραγματικότητα η απόδοση των ρυθμών μετάδοσης διαφέρει αρκετά όπως παρουσιάστηκε αναλυτικά στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας. Επιπλέον η χιλιομετρική εμβέλεια των δικτύων XG-PON στο άμεσο μέλλον μπορεί να επεκταθεί στα 60Km σε αντίθεση με αυτήν των 10G EPON που στην πραγματικότητα δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 20Km

Σε σχέση με την απόδοση του συστήματος και βασιζόμενοι στα αποτελέσματα της ενότητας 3.5 είναι σωστό να συμπεράνουμε ότι για μικρότερο αριθμό ONU η αποδοτικότητα του XG-PON1 είναι ελαφρώς υψηλότερη από αυτή του 10G EPON. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρώντας το γράφημα των σχημάτων 22 και 23 είναι εύκολο να παρατηρήσει κανείς ότι όσο μειώνονται ο αριθμός των

ONUs τόσο αυξάνεται η διαφορά απόδοσης μεταξύ του 10G EPON και του XG-PON1, με “νικητή” την τεχνολογία που παρέχεται μέσω του XG-PON.

Από την άλλη πλευρά, με την αύξηση του αριθμού των ONU, αυτές οι τιμές τείνουν να εξισωθούν. Οι διαθέσιμοι ρυθμοί είναι συγκρίσιμοι μόνο για την κατεύθυνση downstream και είναι αρκετά ίδιες και για τις δυο τεχνολογίες, ανεξάρτητα από τον αριθμό των ONUs.

Τέλος, ενώ στην κατεύθυνση upstream του XG-PON1 βλέπουμε 4 φορές μικρότερους ρυθμούς σε σχέση με το 10G EPON, ωστόσο, οι διαφορές είναι αμελητέες σε σχέση με εκείνες τις διαφορές στον ρυθμό των bits στην γραμμή.



## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάστηκαν αναλυτικά οι σύγχρονες τεχνολογίες των οπτικών δικτύων και αναλύθηκαν σε βάθος τα παθητικά δίκτυα (PON) καθώς και οι διάφορες εκδόσεις τους όπως το APON, EPON, GPON, 10G EPON και XG-PON.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε μελέτη της αρχιτεκτονικής, των χαρακτηριστικών, των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των παραπάνω τεχνολογιών. Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν είναι ότι το XG-PON πρόκειται για ένα νέο τεχνολογικό πρότυπο που προσφέρει :

α) Συμβατότητα και συνύπαρξη με τα υπάρχοντα οπτικά δίκτυα, πράγμα που βοηθάει στη εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος όντας υλοποιήσιμο με τις υπάρχουσες οπτικές ίνες,

β) Υψηλότερες αποδόσεις τόσο στους ρυθμούς μετάδοσης, όσο και στην εμβέλεια των δικτύων σε χιλιομετρική απόσταση. Σύμφωνα με τις δυνατότες του XG-PON, καθώς και τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, μπορούμε να ελπίζουμε στο άμεσο μέλλον σε εκπληκτικούς ρυθμούς μετάδοσης της τάξεως των 40Gbps και εκμηδένιση των αποστάσεων.

γ) Το XG-PON δημιουργήθηκε με σκοπό την επίτευξη όλο και μεγαλύτερου εύρους ζώνης σε συνδυασμό με την υποστήριξη όλο και μεγαλύτερου αριθμού χρηστών σε όλο και μεγαλύτερες ταχύτητες επικοινωνίας και μετάδοσης δεδομένων και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό παράγοντα καινοτομίας στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] **Ιάκωβος Στ. Βενιέρης, «Δίκτυα Ευρείας Ζώνης», Εκδόσεις Τζιόλα, 2003**
- [2] **ΙΤΥ. Υπηρεσίες Προώθησης Ευρυζωνικότητας. Άρθρα για την ευρυζωνικότητα. Διαθέσιμο στο: <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/evrizonikotita.php>.**
- [3] **Ιάκωβος Στ. Βενιέρης, Ευγενία Νικολούζου, «Τεχνολογίες Διαδικτύου», Εκδόσεις Τζιόλα, 2003**
- [4] **T. Hadjifotiou, D. Grace, I. Tuomi. 2005. BROADBAND in Europe for All: A Multidisciplinary Approach. Second report on the multi-technological analysis of the ‘broadband for all’ concept, focus on the listing of multi-technological key issues and practical roadmaps on how to tackle these issues.**
- [5] **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**
- [6] **G. Kramer and G. Pesavento, “Ethernet Passive Optical Network (EPON)**
- [7] **Building a Next-Generation Optical Access Network”, IEEE Communications**
- [8] **Magazine, pp. 66- 73, February 2002**
- [9] **Frank Effenberger, Huawei Technologies IEEE Communications Magazine March 2007**

- [10] Gerry Pesavento : Ethernet Passive Optical Networks EPON, IEEE 802.3 Ethernet in the First Mile Study Group, 2001
- [11] G. Keiser. 2003. Optical Communication Essentials. New York: McGraw – Hill Professional.
- [12] G. Keiser. 2006. FTTX Concepts and Applications. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [13] Josep Prat, "EditorNext-Generation FTTH Passive Optical Networks", 2008
- [14] [http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/el/Optical\\_fiber#History](http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/el/Optical_fiber#History)
- [15] Κώτσος, Βασίλειος Α. «Συστήματα επικοινωνιών με οπτικές ίνες», εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα 2001
- [16] M. Kuran and T. Tugcu, "A survey on emerging broadband wireless access technologies", Elsevier, Computer Networks, vol. 51, no. 11, pp. 3013-3046, 2007.
- [17] Effenberger, F.J.; , "The XG-PON System: Cost Effective 10 Gb/s Access," Lightwave Technology, Journal of , vol.29, no.4, pp.403-409, Feb.15, 2011.
- [18] ITU Recommendations G.984.1 : Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics, 2003
- [19] Gerry Pesavento : Ethernet Passive Optical Networks EPON, IEEE 802.3 Ethernet in the First Mile Study Group, 2007
- [20] Broadlight ,Flexlight : Comparing Gigabit PON Technologies ITU-T G.984 GPON vs. IEEE 802.3ah EPON, 2008
- [21] Tetsuro Murase, Manabu Otshuka, "G-Pon System" , Fijitsu Science sc. J., 42,4p , pages 439-445 Stephen Smith, octomber 2006



**[22] Recommendation ITU-T G.984.1 (2008), Gigabit-capable passive optical networks (G-PON):General characteristics.**

**[23] Marconi : <http://www.marconi.com> 2004**

**[24] Yuanqiu Luo and Nirwan Ansari, New Jersey Institute of Technology, IEEE Optical Communications • February 2005**

**[25] Zheng and H. T. Mouftah, "Media Access Control for Ethernet Passive Optical Networks: An Overview", IEEE Communications Magazine, pp. 145-150, February 2009**

**[26] J. Xie, S. Jiang, Y. Jiang, "A dynamic bandwidth allocation scheme for differentiated services in EPONs", IEEE Communications Magazine, Vol. 42, August 2008, S32-S39.**

**[27] Shweta Jain, Frank Effenberger, " World's First XG-PON Field Trial" JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 29, NO. 4, FEBRUARY 15, 2011**

**[28] Pamela Begovic, "10G EPON vs. XG-PON1 efficiency Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2011 3rd International Congress on Nasuf Hadziahmetovic, Darijo Raca, October 2011.**

**[29] IEEE Computer Society: "IEEE standard 802.3av-2009", 2009**

**[30] Keiji Tanaka, Akira Agata, and Yukio Horiuchi: "IEEE 802.3av 10GEPON Standardization and Its Research and Development Status", Journal of Lightwave Technology, Vol. 28, Issue 4, 2010**

**[31] ITU-T, G.987.3: "10-Gigabit-capable passive optical networks (XGPON)**

**[32] Transmission convergence (TC) specification", October 2010**

**[33] Frank J. Effenberger, “The XG-PON System: Cost Effective 10 Gb/s Access”, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 29, NO. 4, FEBRUARY 15, 2011**