

Δίκτυα Πρόσβασης Νέας Γενιάς, Τεχνολογίας WDM PON

Άρθρο του **Αλέξανδρου Ρούστα**
Δ/ντή Marketing & Τεχνολογίας Link A.E.
e-mail: a.roustas@linksa.gr

και του **Θρασύβουλου Ταμπακάκη**
Product Manager/Broadband Solutions Link A.E.
e-mail: t.tampakakis@linksa.gr

Οι υφιστάμενες λύσεις οπτικής δικτύωσης θα μπορούσαν να διαχωριστούν γενικά σε δύο μεγάλες κατηγορίες: την Οπτική Ίνα στο Σπίτι (FTTH) και τις «παραδοσιακές» τεχνολογίες TDM PON, όπως το Gigabit PON (GPON). Το μεγάλο πλεονέκτημα του FTTH είναι το πολύ υψηλό εύρος ζώνης που προσφέρει καθώς βέβαια και οι συμμετρικές ταχύτητες που επιτυγχάνονται διαμέσου μίας αφιερωμένης (dedicated) οπτικής ίνας στον κάθε χρήστη. Αντίθετα, το GPON βασίζει τη λειτουργία του στο διαμοιρασμό του διαθέσιμου εύρους ζώνης μεταξύ όλων των χρηστών, καθιστώντας ουσιαστικά ανέφικτες τις συμμετρικές ταχύτητες και περιορίζοντας ταυτόχρονα τις δυνατότητες κλιμάκωσης του δικτύου.

Με την πλατφόρμα Ethernet Access, η LG-Ericsson προτείνει ένα νέο μοντέλο παροχής υπηρεσιών Ethernet σημείο - προς - σημείο. Η εν λόγω πλατφόρμα αποτελείται αποκλειστικά από τον κόμβο δικτύωσης LG-Ericsson Ethernet Access Terminal 1100 και προσφέρει υπηρεσίες Ethernet τόσο διαμέσου αφιερωμένης οπτικής ίνας (dedicated fiber) όσο και μέσω τεχνολογίας WDM PON.

Η τεχνολογία Ethernet πάνω από WDM PON παρουσιάζει παρόμοια πλεονεκτήματα με ένα δί-

κτυο Ethernet τοπολογίας σημείου - προς - σημείο (point - to - point). Βασικά χαρακτηριστικά της είναι η υψηλή χωρητικότητα και οι συμμετρικές ταχύτητες, οι οποίες μάλιστα είναι κατά πολύ υψηλότερες από αντίστοιχες τεχνολογίες που βασίζονται στο TDM PON. Παράλληλα, εξομαλύνει σε πολύ μεγάλο βαθμό τα προβλήματα που υπάρχουν αναφορικά με τον αριθμό των διαθέσιμων οπτικών ινών καθώς και με το πλήθος των αντίστοιχων συγκολλήσεων ή/και τερματισμών που απαιτούνται.

Η πλατφόρμα Ethernet Access μπορεί να εξυπηρετήσει εξίσου καλά τόσο οικιακούς όσο και εταιρικούς πελάτες, ανεξαρτήτως από το πόσο υψηλές είναι οι ευρυζωνικές τους απαιτήσεις, προσφέροντας σχεδόν απεριόριστες δυνατότητες αναβάθμισης των αντίστοιχων υπηρεσιών. Η λύση που περιγράφεται στη συνέχεια βασίζεται στην τεχνολογία Ethernet πάνω από WDM PON (Ethernet over WDM PON), μια πραγματικά «άχρωμη» (colorless) τεχνολογία που προσφέρει ταχύτητες οι οποίες ξεκινούν από τα 100Mbps και φτάνουν ως το 1Gbps. Στο μέλλον μπορεί να αυξηθούν περαιτέρω, διευρύνοντας τις περιοχές κάλυψης των «παραδοσιακών» μητροπολιτικών δικτύων.

Συστήματα Πολυπλεξίας με Διαίρεση Μήκους Κύματος

Τα συστήματα Πολυπλεξίας με Πυκνή Διαίρεση Μήκους Κύματος (DWDM) προσφέρουν μεγάλη χωρητικότητα, με αυξημένο όμως κόστος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται συνήθως για την κατασκευή μητροπολιτικών δικτύων και όχι δικτύων πρόσβασης.

Σήμερα ωστόσο, είναι διαθέσιμες διάφορες τεχνολογίες οπτικής δικτύωσης ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.

Για παράδειγμα, τα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων (long haul networks) υιοθετούν τεχνολογίες που, ως επί το πλείστον, χρησιμοποιούνται για την τηλεπικοινωνιακή ζεύξη Αστικών Κέντρων μεταξύ απομακρυσμένων πόλεων (οι ενδεικτικές αποστάσεις ξεπερνούν τα 600 χλμ.). Μια τυπική κατηγοριοποίηση των λύσεων αυτών μπορεί να πραγματοποιηθεί με βάση το δείκτη «Κόστος ανά Bit ανά Χιλιόμετρο» (Cost/Bit/Km), όπου το κόστος καθορίζεται ως συνάρτηση της απόστασης. Οι εν λόγω λύσεις αποτελούνται από τεχνολογικά προηγμένα οπτικά μέρη, εκμεταλλεύονται μεγάλο αριθμό μηκών κύματος και χρησιμοποιούν ενισχυτές υψηλής οπτικής ισχύος ώστε να επιτυγχάνουν ταχύτητες μεταφοράς της τάξης των 10G, 40G και 100G.

Η ιδέα της χρήσης συστημάτων WDM στα μητροπολιτικά δίκτυα κορμού (metro/regional

WDM systems) είναι σχετικά νέα. Όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των δικτύων μεγάλων αποστάσεων, τα εν λόγω δίκτυα χρησιμοποιούν επίσης προηγμένα ηλεκτρονικά και οπτικά στοιχεία, ενώ η συνεργασία τους με τα υπόλοιπα επίπεδα δικτύωσης είναι εξίσου ομαλή.

Οι λύσεις αυτές κατηγοριοποιούνται τυπικά με βάση το δείκτη «Κόστος ανά Σύνδεση» (Cost/Connectivity) και συνήθως χρησιμοποιούνται ως σημεία «φόρτωσης» και «εκφόρτωσης» μεγάλου όγκου δεδομένων από και προς τα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων. Όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιούν παρόμοια οπτική τεχνολογία με τα δίκτυα αυτά, λειτουργώντας όμως σε μικρότερες ταχύτητες της τάξης των 2.5G και 10G. Επίσης, μέσω του Ρυθμιζόμενου Οπτικού Πολυπλέκτη Προσθαφαίρεσης Μηκών Κύματος (Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer - R/OADM) προσφέρουν τη δυνατότητα απομακρυσμένης διαχείρισης των σημάτων που εισέρχονται και εξέρχονται από έναν οπτικό δακτύλιο μέσω του Κέντρου Λειτουργίας Δικτύου (NOC). Ωστόσο, οι εν λόγω λύσεις παραμένουν εξαιρετικά ακριβές και το κόστος τους είναι συγκρίσιμο με εκείνο των δικτύων μεγάλης απόστασης.

Εξάλλου, ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που χαρακτηρίζει τα συστήματα WDM είναι η ανάγκη προσεκτικού σχεδιασμού του δικτύου και των μηκών κύματος που θα χρησιμοποιούν σε κάθε ζεύξη (wavelength planning). Δεδομένου ότι τα εν λόγω συστήματα χρησιμοποιούν συσκευές που αντιστοιχούν ένα οπτικό σήμα της περιοχής των 1310nm σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος της μπάντας ITU G.694, η αντιστοίχιση θα πρέπει να είναι μοναδική και στα δύο άκρα της ζεύξης (πομπός/δέκτης). Το γεγονός αυτό τα καθιστά μάλλον ακατάλληλα για τα δίκτυα πρόσβασης.

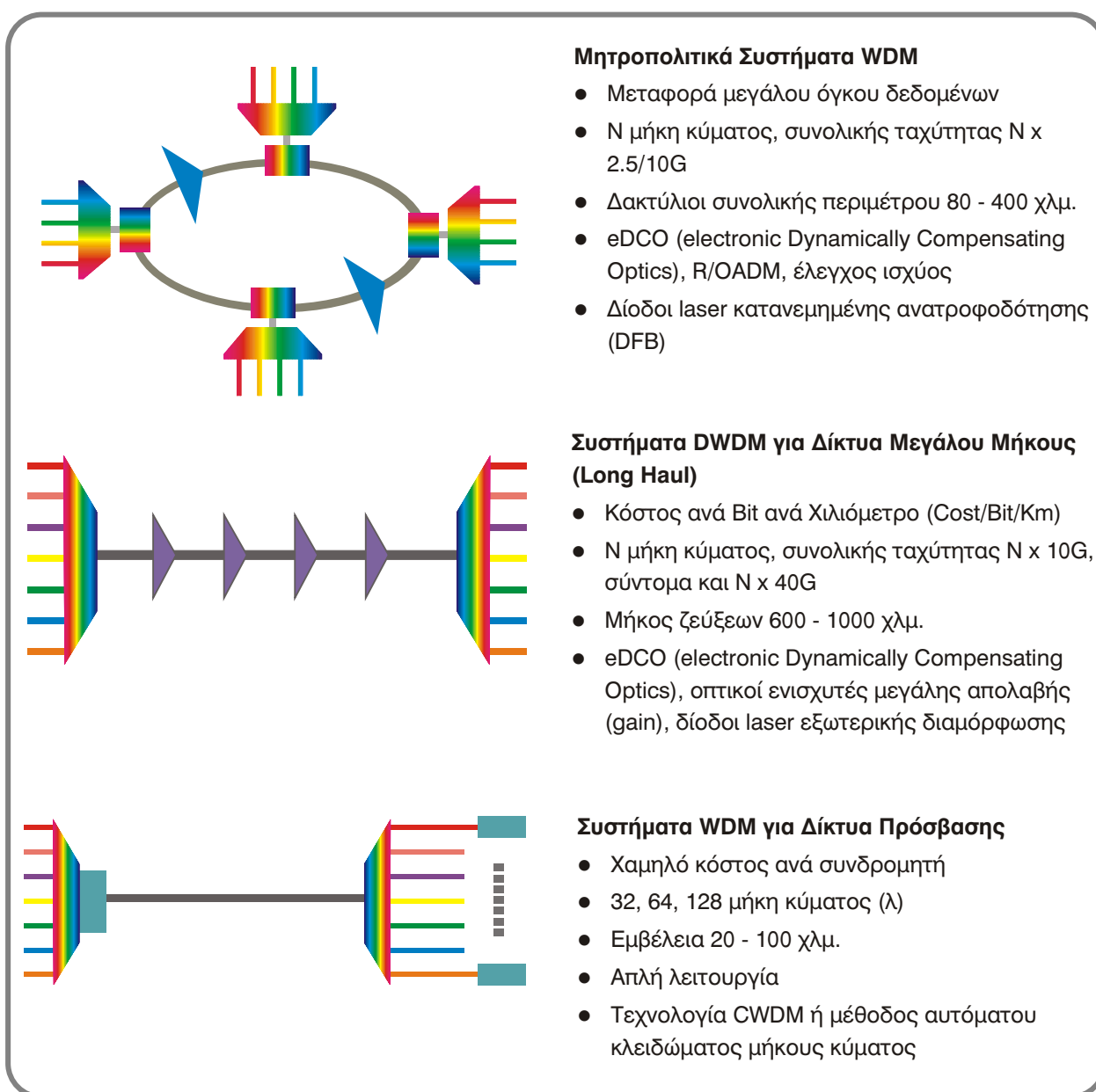
Ένας τρόπος παράκαμψης του προαναφερθέντος προβλήματος είναι η εγκατάσταση συντονιζόμενων διόδων laser (wavelength stabilized DFB laser) στις αντίστοιχες τερματικές συσκευές. Το κόστος όμως των διόδων αυτών είναι εξαιρετικά υψηλό, ενώ μπορούν να συντονίσουν μόνο σε συγκεκριμένα μήκη κύματος που ανή-

κουν σε συγκεκριμένες μπάντες. Το γεγονός λοιπόν ότι οι τελικές τερματικές συσκευές θα είναι «χρωματισμένες» (colored) δημιουργεί σοβαρούς προβληματισμούς αναφορικά με το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου (εγκατάσταση, διαχείριση, διατήρηση αποθεμάτων σε περίπτωση βλάβης κ.λπ.).

Ωστόσο, τα πρόσφατα τεχνολογικά επιτεύγματα της οπτοηλεκτρονικής εξαλείφουν ουσιαστικά την ανάγκη χρήσης περίπλοκων laser που λειτουργούν σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Οι νέες τεχνικές διαμόρφωσης που αναπτύχθηκαν

τα τελευταία χρόνια έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην άρση πολλών από τους περιορισμούς που υπήρχαν αναφορικά με τον πολύπλοκο σχεδιασμό εκχώρησης μηκών κύματος στις διόδους laser καθώς και τη διατήρηση εφεδρικών αποθεμάτων σε περίπτωση που η αντικατάστασή τους κριθεί αναγκαία.

Η λύση της LG-Ericsson χρησιμοποιεί μια τεχνολογία που βασίζει τη λειτουργία της στο συντονισμό του laser με τη βοήθεια ενός απλού οπτικού παλμού (optical injection locking technique). Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα εγκα-

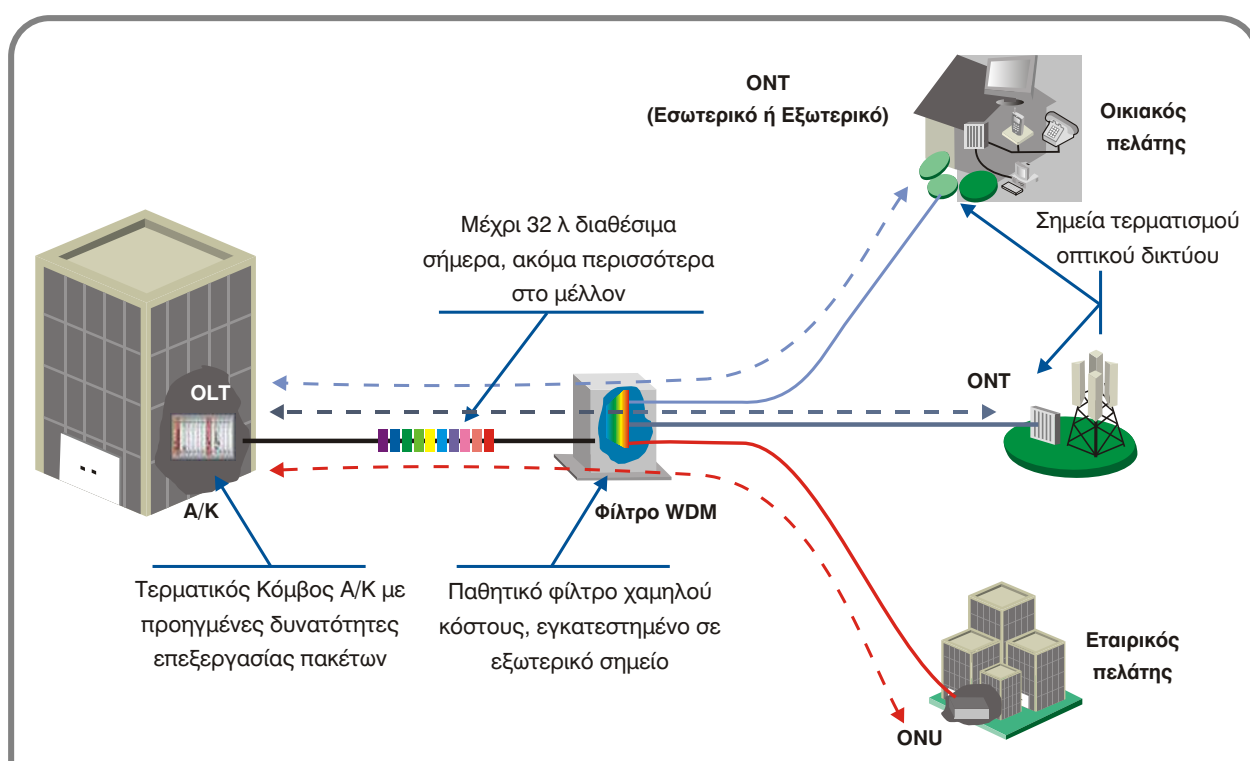


Εικόνα 1. Συστήματα Τεχνολογίας WDM

τάστασης απλών, φτηνών και πανομοιότυπων δίοδων laser σε όλες τις οπτικές τερματικές συσκευές του δικτύου (Optical Network Units ONUs), κάθε μία από τις οποίες συντονίζει σε διαφορετική συχνότητα. Παρόλο λοιπόν που όλοι οι πομποί είναι ίδιοι μεταξύ τους, κάθε ένας από αυτούς συντονίζει σε ένα διαφορετικό μήκος κύματος με τη βοήθεια μιας νέας τεχνικής διαμόρφωσης χαμηλού κόστους. Η χρησιμοποίηση αυτής της νέας τεχνολογίας οπτικής διαίρεσης καθώς και πολυπλέκτες / αποπολυπλέκτες τύπου AWG (Array Waveguide Grating), επιτρέπουν την επιτυχή εισαγωγή των συστημάτων WDM στα δίκτυα πρόσβασης.

Παθητικά Οπτικά Δίκτυα Πολυπλεξίας με Διαίρεση Μήκους Κύματος (WDM PON)

Η τεχνολογία WDM PON είναι ότι πιο σύγχρονο υπάρχει σήμερα διαθέσιμο στον τομέα της οπτικής δικτύωσης. Με την τεχνολογία WDM PON εξοικονομείται μεγάλος αριθμός οπτικών ινών, ενώ παράλληλα εξαλείφονται οι διάφοροι περιορισμοί που συναντούνται στα αντίστοιχα συστήματα TDM PON. Εξάλλου, αυξάνεται σημαντικά η περιοχή κάλυψης του δικτύου, ενώ προσφέρονται αυξημένες δυνατότητες κλιμάκωσης και υψηλού επιπέδου ασφάλεια δεδομένων, από ένα πραγματικά ολοκληρωμένο δίκτυο οικιακών και εταιρικών υπηρεσιών.



Σημαντικότερα Πλεονεκτήματα

Απλός σχεδιασμός και ευκολία εγκατάστασης: Οι πραγματικά «άχρωμες» (colorless) οπτικές τερματικές συσκευές «τοποθέτησης και άμεσης λειτουργίας» (plug & play) εξασφαλίζουν την ανεξαρτησία της υποδομής από το αυξανόμενο πλήθος των συνδρομητών.

Ευελιξία: Δυνατότητα δημιουργίας ζεύξεων σημείου - προς - σημείο αλλά και πολυσημειακών συνδέσεων ικανών να υποστηρίξουν τόσο οικιακές όσο και εταιρικές υπηρεσίες πάνω από την ίδια υποδομή.

Αυξημένη Απόδοση: Συμμετρικό εύρος ζώνης και αφιερωμένα μήκη κύματος ανά χρήστη εξασφαλίζουν εξαιρετικές επιδόσεις σε όλες τις απαιτητικές εφαρμογές.

Εικόνα 2. Η Πλατφόρμα Ethernet Access

Σε ένα σύστημα WDM PON, ένα απλό μήκος κύματος ξεκινά από το Αστικό Κέντρο και ανακατευθύνεται προς τον τελικό χρήστη μέσω ενός παθητικού οπτικού δρομολογητή που βρίσκεται εγκατεστημένος εξωτερικά, κατά μήκος της ενδιάμεσης διαδρομής. Σε αντίθεση με τα συστήματα TDM PON, τα μήκη κύματος είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους καθώς εκχωρούνται κάθε φορά σαν να επρόκειτο για μοναδικές ζεύξεις σημείου προς σημείο. Με τον τρόπο αυτό, ένα μήκος κύματος μπορεί να χρησιμοποιείται για οικιακές υπηρεσίες και να έχει ταχύτητα 100 Mbps, ενώ ταυτόχρονα ένα άλλο μπορεί να λειτουργεί στο 1Gbps εξυπηρετώντας εταιρικές ανάγκες. Ο παθητικός οπτικός δρομολογητής μπορεί να χειριστεί σήμερα μέχρι και 32 μήκη κύματος, ενώ στο μέλλον ο αριθμός αυτός αναμένεται να αυξηθεί στα 128.

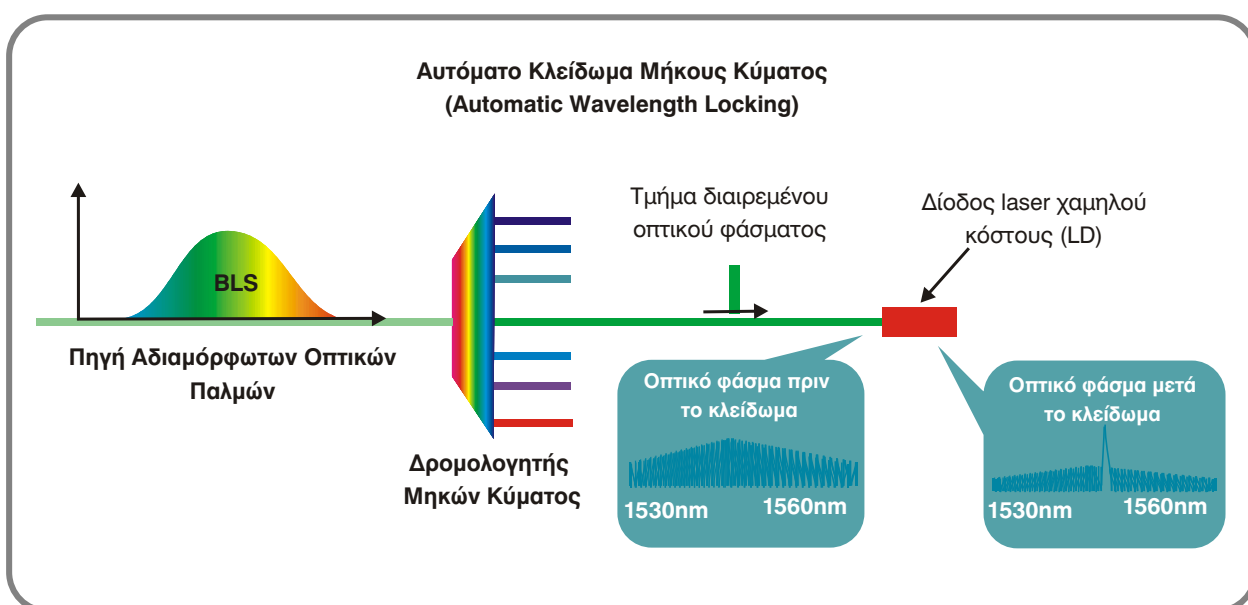
Γενικά, η τεχνολογία WDM PON υποστηρίζει συνδέσεις σημείο - προς - σημείο, διατηρώντας παράλληλα την ανεξαρτησία μεταξύ των μηκών κύματος κατά μήκος ολόκληρης της διαδρομής.

Αυτόματο Κλείδωμα Μήκους Κύματος

Στη Εικόνα 3 παρουσιάζεται ο μηχανισμός αυτόματου κλειδώματος μήκους κύματος σε ένα σύστημα WDM PON. Στο οπτικό τερματικό (OLT) που βρίσκεται εγκατεστημένο στο αντίστοιχο

Αστικό Κέντρο (CO), υπάρχει μία μονάδα παραγωγής αδιαμόρφωτων ευρυζωνικών οπτικών παλμών (Broadband Light Source). Οι παλμοί αυτοί κατευθύνονται στη συνέχεια προς τον απομακρυσμένο εξωτερικό κόμβο στον οποίο βρίσκεται το αντίστοιχο παθητικό φίλτρο και τελικά λειτουργούν ως «πιλότοι» για το κλείδωμα των τερματικών των χρηστών (ONUs) σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος.

Πιο συγκεκριμένα, το παθητικό φίλτρο διαιρεί το φάσμα του αδιαμόρφωτου ευρυζωνικού παλμού σε N κανάλια DWDM στενού φασματικού εύρους. Στη συνέχεια, κάθε κομμάτι του διαιρεμένου φάσματος μεταδίδεται διαμέσου μιας οπτικής ίνας προς το οπτικό τερματικό του τελικού χρήστη (ONT) το οποίο και είναι εξοπλισμένο με κατάλληλες διόδους laser (LDs). Όταν η διόδος laser οδηγείται από τα προς μετάδοση δεδομένα, τότε το λαμβανόμενο σήμα την εξαναγκάζει σε λειτουργία περιορισμένου φάσματος όπως αυτό προσδιορίζεται από τη ζεύξη DWDM στην οποία ανήκει. Η διαδικασία του αυτόματου κλειδώματος σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος γίνεται εύκολα κατανοητή αν θυμηθούμε πως μια διόδος laser λειτουργεί ουσιαστικά ως οπτικός ενισχυτής ο οποίος διαμορφώνει, ενισχύει και επιστρέφει το λαμβανόμενο BLS παλμό. Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται η μορ-



Εικόνα 3. Τεχνολογία WDM PON για Δίκτυα Πρόσβασης - Αυτόματο Κλείδωμα Μήκους Κύματος

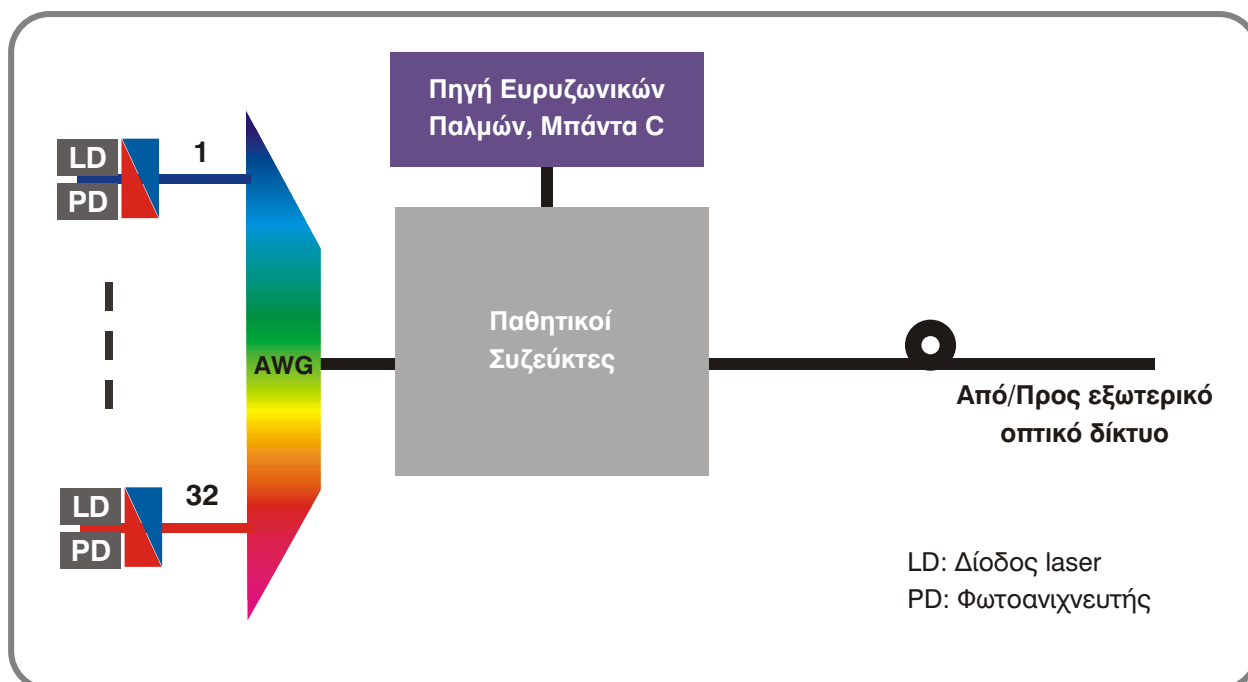
φή του οπτικού φάσματος στη δίοδο laser πριν και μετά το κλείδωμα σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος. Χωρίς την εισαγωγή του σήματος πιλότου (locking signal), η δίοδος laser θα εξεπεμπε σε περισσότερα μήκη κύματος καθιστώντας το αντίστοιχο φάσμα ακατάλληλο για μετάδοση σε ζεύξεις DWDM λόγω του αυξημένου θορύβου διασποράς τρόπου μετάδοσης (mode partition noise) που δημιουργείται από το φιλτράρισμα μέσω του δρομολογητή μηκών κύματος. Με τη βοήθεια του σήματος πιλότου το πολύτροπο φάσμα μετατρέπεται σε σχεδόν μονότροπο, παρόμοιο με εκείνο των διόδων laser κατανεμημένης ανατροφοδότησης (DFB lasers). Τελικά, το σήμα αυτό έρχεται σε πλήρη συμφωνία με το κανάλι DWDM που προσδιορίζεται από το επίπεδο μεταφοράς (transport layer). Η προαναφερθείσα διαδικασία αυτόματου κλειδώματος σε ένα μήκος κύματος μετατρέπει τις οπτικές τερματικές συσκευές (ONUs) σε δικτυακές συσκευές «τοποθέτησης και άμεσης λειτουργίας» (plug-and-play), αφού πλέον όλες είναι πανομοιότυπες μεταξύ τους λειτουργώντας, ωστόσο, σε διαφορετικό μήκος κύματος η κάθε μία.

Η πηγή του παλμού (BLS) βρίσκεται στην πλατ-

φόρμα OLT και χρησιμοποιείται ως ένας μηχανισμός συντονισμού όλων των απομακρυσμένων τερματικών συσκευών (ONUs). Συγκεκριμένα, πρόκειται για έναν υψηλής πιστότητας αδιαμόρφωτο Οπτικό Ενισχυτή Προσμίξεων Ερβίου (Erbium Doped Fiber Amplifier EDFA) ο οποίος παράγει αυθόρμητους οπτικούς παλμούς (Amplitude Spontaneous Emissions) χαμηλής ισχύος. Η σύζευξη μεταξύ της πηγής BLS και της οπτικής γραμμής γίνεται με διάφορα παθητικά στοιχεία τα οποία απαλλάσσουν το διαχειριστή από πολλές δυσκολίες και ιδιαιτερότητες που αφορούν στα οπτικά χαρακτηριστικά της ζεύξης. Το μόνο που απαιτείται είναι η σύνδεση της πλατφόρμας με την εξωτερική οπτική υποδομή. Στη συνέχεια, όλα τα τερματικά που βρίσκονται στα άκρα του δικτύου (ONUs) θα αναγνωρίσουν την πηγή και θα κλειδώσουν στο μήκος κύματος που τους υποδεικνύεται από το ενδιαμέσο φίλτρο AWG.

Συμπεράσματα

Όλοι οι πάροχοι αναγνωρίζουν σήμερα πως η προσφορά υπηρεσιών 'triple play' (υπηρεσιών φωνής, video και δεδομένων) είναι ζωτικής σημασίας προκειμένου να παραμείνουν ανταγω-



Εικόνα 4. Τεχνολογία WDM PON για Δίκτυα Πρόσβασης

νιστικοί και να διατηρήσουν ή να διευρύνουν την υφιστάμενη συνδρομητική τους βάση. Εξάλλου, η διαθεσιμότητα ενός ολοκληρωμένου πακέτου επικοινωνίας και διασκέδασης προς τους συνδρομητές έχει τη δυνατότητα να μειώσει τα αντίστοιχα λειτουργικά κόστη, αυξάνοντας παράλληλα το μέσο έσοδο ανά πελάτη. Παρόλο που τα τηλεπικοινωνιακά προϊόντα διαφέρουν από πάροχο σε πάροχο ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή και τον ανταγωνισμό, σίγουρα υπάρχουν κάποιες συγκεκριμένες τάσεις που έχουν αρχίσει να διαμορφώνονται αναφορικά με τη μορφή αυτών των προϊόντων. Η ιστορία έχει άλλωστε αποδείξει ότι όσο οι πάροχοι αυξάνουν τις ταχύτητες των υπηρεσιών που προσφέρουν, τόσο αυξάνονται και οι απαιτήσεις των τελικών χρη-

στών. Το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαία την αναβάθμιση της υποδομής του δικτύου σε φυσικό επίπεδο με απώτερο σκοπό τη διασφάλιση της παροχής καινοτόμων υπηρεσιών στο εγγύς μέλλον.

Η πλατφόρμα Ethernet Access προσφέρει αυξημένη ευελιξία, μεγάλες δυνατότητες κλιμάκωσης καθώς και εξασφαλισμένο εύρος ζώνης για εφαρμογές τύπου FTTH/FTTB/FTTP. Με τη λύση αυτή δίνεται στους παρόχους η δυνατότητα να δημιουργήσουν ένα ολοκληρωμένο δίκτυο παροχής οικιακών και εταιρικών υπηρεσιών, το οποίο μπορεί κάλλιστα να λειτουργήσει και ως δίκτυο κορμού για την υποστήριξη ασύρματων υποδομών (wireless backhauling).

Λίγα λόγια για τους αρθρογράφους

Ο κ. **Ρούστας Αλέξανδρος** είναι απόφοιτος του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π. και κάτοχος μεταπτυχιακού τίτλου MBA. Έχει εκτεταμένη πείρα στην ανάπτυξη ευρυζωνικών δικτύων με ιδιαίτερη έμφαση στα δίκτυα οπτικών ινών. Εκτελεί χρέη διευθυντή Marketing και Τεχνολογίας στη Link A.E. ενώ κατά το παρελθόν έχει εργαστεί στο τμήμα ανάπτυξης δικτύων και υπηρεσιών των Αττικών Τηλεπικοινωνιών και ως σύμβουλος σε διάφορα project ανάπτυξης και λειτουργίας ευρυζωνικών οπτικών υποδομών (ΚτΠ Πρόσκληση 93, Δ.Ε.Η./Tellas κ.α.).

Ο κ. **Θρασύβουλος Ταμπακάκης** είναι Πτυχιούχος Ηλεκτρονικός Μηχανικός και κάτοχος του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στα Συστήματα Επικοινωνιών και Δίκτυα του Εθνικού και Καποδιστριακού Παν/μίου Αθηνών. Έχει διακριθεί με τρία βραβεία και ισάριθμες υποτροφίες από το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών, ενώ πρόσφατα έλαβε τις ακαδημαϊκές πιστοποιήσεις CCNA και CCNA Security από τη Cisco Networks. Στο δυναμικό της Link A.E. εντάχθηκε αρχικά με την ιδιότητα του Μηχανικού Δικτύων υποστηρίζοντας σε δεύτερο επίπεδο μεγάλους τηλ/κούς παρόχους. Σήμερα ανήκει στο Τμήμα Marketing και Τεχνολογίας της εταιρείας έχοντας αναλάβει τη θέση του Product Manager και το χαρτοφυλάκιο Broadband Solutions.

Εάν επιθυμείτε το COMMUNICATION SOLUTIONS να δημοσιεύσει περισσότερα άρθρα για την τεχνολογία **WDM PON** κυκλώστε το **No 20** στην **κάρτα αναγνωστών**