

Περιεχόμενα

Abstract.....	2
Σύντομη Περίληψη	3
1. Εισαγωγή.....	4
2. Βασικές αρχές της τεχνολογίας ATM	4
2.1. Ορισμός ATM.....	4
2.2. Πλεονεκτήματα ATM	6
2.3. Τεχνολογία ATM	7
3. Βασικές αρχές της τεχνολογίας WDM	9
3.1. Ορισμός WDM	9
3.2. Τεχνολογία WDM και πλεονεκτήματα σε σχέση με παλαιότερες τεχνολογίες πολυπλεξίας	10
3.3. Το οπτικό επίπεδο ως επίπεδο ενοποίησης	13
4. Ενοποίηση των τεχνολογιών ATM και WDM	14
4.1. Εισαγωγή	14
4.2. Τρέξιμο (Running) ATM πάνω από WDM	15

4.3. Δοκιμή (Testing) ATM πάνω από WDM

.....1
7

4.4. Προτάσεις- Συμπεράσματα

.....1
9

Βιβλιογραφία

.....2
1

Abstract

This present paper deals with the issues of the integration of Asynchronous Transfer Mode technology (ATM) and Wavelength Division Multiplexing technology (WDM).

Asynchronous transfer mode (ATM) is a high performance, cell- oriented switching and multiplexing technology that utilizes fixed- length packets to carry different types of traffic. ATM is used for high speed networks.

On the other hand, wavelength division multiplexing (WDM) is a technology that uses multiple lasers and transmits several wavelengths of light (lamdas) simultaneously over a single optical fiber.

The optical layer, in which WDM belongs as technology, has the ability to operate as a unifying layer and can accept any combination of interface rates, any type of network technology (ATM, IP and SONET) and any type of cargo through it.

The fundamental parameters in testing and monitoring ATM/WDM systems, which should be seriously considered, are the signal-to-noise ratio, the channel power, the channel center wavelength and spacing, the crosstalk, the total optical power, the chromatic dispersion and the polarization mode dispersion (PMD).

The most important properties and factors of success that ATM/WDM schemes (for Tbit/sec WDM-based switches) are required to possess are: maximal bandwidth utilization, contention-resolution, no speedup, non-blocking and single-stage constellation, large number of ports and finally simple implementation.

Concluding, ATM and WDM can together fulfill the ever-growing need of the telecommunications industry for bandwidth, even in transmission speeds of Tbit/sec. Of course, on the contrary, there will be a price for using these powerful technologies because they are really new and there will be some alteration costs from the old technologies to the new one.

Σύντομη Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τα ζητήματα της ενοποίησης των τεχνολογιών του ασύγχρονου τρόπου μετάδοσης δεδομένων (ATM) και της πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (WDM).

Ο ασύγχρονος τρόπος μετάδοσης (ATM) είναι μια τεχνολογία μεταγωγής κυψελίδας με δυνατότητα υποστήριξης υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης και ο οποίος επιτρέπει σε πακέτα καθορισμένου μεγέθους να μεταφέρουν διάφορους τύπους φορτίων.

Η πολυπλεξία στο πεδίο του μήκους κύματος (WDM/DWDM) είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί πολλαπλά lasers και μεταφέρει περισσότερα από ένα μήκη κύματος φωτός ταυτόχρονα πάνω από μια και μόνο οπτική ίνα.

Το οπτικό επίπεδο, στο οποίο ανήκει το WDM, έχει την ιδιότητα να λειτουργεί ως επίπεδο ενοποίησης, αφού από αυτό μπορούν να περάσουν πολλά διαφορετικά δίκτυα (όπως ATM, IP και SONET), αλλά και πολλοί συνδυασμοί πρωτοκόλλων.

Οι θεμελιώδεις παράμετροι σε σχέση με τη δοκιμή/ παρακολούθηση των συστημάτων ATM/WDM που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι η αναλογία σήματος/ θορύβου, η ισχύς του καναλιού, το κεντρικό μήκος κύματος και το μέγεθος κάθε καναλιού, η έγχυση θορύβου, η συνολική οπτική ισχύς, η χρωματική διάχυση και η διασπορά της πόλωσης.

Οι σημαντικότερες προδιαγραφές/ παράγοντες επιτυχίας που θα πρέπει να τηρούνται από σχήματα ATM/WDM τα οποία θα υποστηρίζουν πολύ υψηλές ταχύτητες μεταγωγής του επιπέδου Tbit/sec, είναι: μεγιστοποίηση της χρησιμοποίησης του εύρους ζώνης, βέλτιστη ανάλυση μήκους κύματος (Contention-resolution), μη ύπαρξη τεχνητών επιταχύνσεων (no speedups), σχηματισμός ενός σταδίου και μη μπλοκαρίσματος (Non-blocking, single-stage constellation), μεγάλος αριθμός εισόδων (ports) και απλός σχεδιασμός.

Συμπερασματικά, ο συνδυασμός των τεχνολογιών ATM και WDM μπορεί να προσφέρει πολλά στην αύξηση του εύρους ζώνης των σημερινών δικτύων, ακόμα και σε επίπεδα Tbit/sec, αν και θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα κόστη μετάβασης της τεχνολογίας στα νέα δεδομένα του παραπάνω συνδυασμού.

1. Εισαγωγή.

Ο σημερινός κόσμος της υψηλής τεχνολογίας και της κοινωνίας της πληροφορικής, έχει οδηγήσει σε μια κούρσα για την επίτευξη δικτύων ολοένα γρηγορότερων και πιο αξιόπιστων. Οι ανάγκες για μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης, πλατύτερο εύρος ζώνης και περισσότερο όγκο δεδομένων, συνεπάγονται περισσότερη ερευνητική δραστηριότητα σε όλο και καλύτερες δικτυακές τεχνολογίες. Δύο από τις τεχνολογίες που υπόσχονται πολλά, στον τομέα των δικτύων, είναι η τεχνολογία ATM (Asynchronous Transfer Mode ή Ασύγχρονος Τρόπος Μετάδοσης Δεδομένων) και η τεχνολογία WDM (Wavelength Division Multiplexing ή Πολυπλεξία στο Πεδίο του Μήκους Κύματος). Η προσπάθεια ενοποίησης των δύο παραπάνω τεχνολογιών δημιουργεί νέες υποσχέσεις για ακόμα γρηγορότερα δίκτυα.

Η συγκεκριμένη εργασία έχει ως αντικείμενο ακριβώς αυτή την ενοποίηση των τεχνολογιών ATM και WDM. Αρχικά, γίνεται αναφορά στις βασικές αρχές της τεχνολογίας ATM ώστε να διατυπωθούν και να διευκρινιστούν τα βασικά χαρακτηριστικά της. Στη συνέχεια, ακολουθεί αναφορά στις βασικές αρχές της τεχνολογίας WDM, όπου επίσης παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της ώστε να γίνει σαφής ως συγκεκριμένη τεχνολογία. Τέλος, στο τελευταίο τμήμα της εργασίας παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα της ενοποίησης των δύο τεχνολογιών καθώς και κάποιες τεχνικές, διαδικασίες και κριτήρια που απαιτούνται γι' αυτή.

2. Βασικές αρχές της τεχνολογίας ATM.

2.1. Ορισμός ATM.

Ο ασύγχρονος τρόπος μετάδοσης (ATM) είναι μια τεχνολογία μεταγωγής κυψελίδας και πολυπλεξίας με μεγάλες δυνατότητες που επιτρέπει σε πακέτα καθορισμένου μεγέθους να μεταφέρουν διάφορους τύπους φορτίων[23]. Η ATM δίνει τη δυνατότητα για LANs υψηλών ταχυτήτων, μεταφορά φωνής και βίντεο, αλλά και υποστήριξη των μελλοντικών απαιτητικών πολυμεσικών

εφαρμογών, τόσο στο επιχειρηματικό περιβάλλον βραχυπρόθεσμα, όσο και στο καταναλωτικό περιβάλλον των απλών ιδιωτών αργότερα.

Η ATM έχει την ιστορία της στην ανάπτυξη του broadband ISDN τις δεκαετίες 1970 και 1980. Τεχνικά, μπορεί να προσδιοριστεί ως εξέλιξη της μεταγωγής πακέτου (packet switching). Η (τεχνολογία) ATM ενοποιεί τις λειτουργίες πολυπλεξίας και μεταγωγής, είναι κατάλληλη για κυκλοφορία καταιγισμού (bursty traffic) και επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ συσκευών που λειτουργούν σε διαφορετικές ταχύτητες. Αντίθετα με τη μεταγωγή πακέτου, η ATM είναι σχεδιασμένη για δικτυακή υποστήριξη πολυμεσικών εφαρμογών υψηλών απαιτήσεων. Η ATM τεχνολογία, επίσης, εφαρμόζεται σε ένα πολύ ευρύ φάσμα συνδεσμικών συσκευών (networking devices), από συνδέσεις για PC και workstation, μέχρι και ATM- backbone switches[11].

Η ATM αποτελεί ακόμα, μια δυνατότητα που μπορεί να προσφερθεί ως υπηρεσία για τον τελικό χρήστη από τις εταιρίες παροχής δικτυακών υπηρεσιών ή και ως δικτυακή υποδομή για την υποστήριξη διαφόρων άλλων υπηρεσιών. Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της ATM είναι τα νοητά κυκλώματα (virtual circuits), τα οποία είναι end-to-end συνδέσεις των οποίων τα τελικά σημεία και η διαδρομή καθορίζονται χωρίς όμως να δεσμεύεται εύρος ζώνης γι' αυτές. Το εύρος ζώνης κατανέμεται από το δίκτυο αναλόγως με τη ζήτηση, καθώς οι χρήστες του δικτύου επιθυμούν να καλύψουν τις κυκλοφοριακές τους απαιτήσεις. Ακόμα, η ATM καθορίζει διάφορες κλάσεις υπηρεσιών (classes of service) ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες μιας μεγάλης γκάμας εφαρμογών[16][19].

Η ATM αποτελεί και ένα σετ διεθνών στάνταρτς που καθορίστηκαν από την International Telecommunications Union- Telecommunications (ITU-T) Standards Sector (την πρώην CCITT). Ο ATM Forum είναι ένας διεθνής εθελοντικός οργανισμός που αποτελείται από προμηθευτές, παροχείς υπηρεσιών, ερευνητικούς οργανισμούς και χρήστες. Ο σκοπός του είναι να προωθήσει τη χρήση των ATM προϊόντων και υπηρεσιών στις σημερινές συνθήκες της παγκόσμιας δικτύωσης και διασύνδεσης. Έτσι, ο συγκεκριμένος οργανισμός έχει παίξει τον βασικό ρόλο στην αγορά της ATM, από το 1991 που ιδρύθηκε και έπειτα[5].

2.2. Πλεονεκτήματα ATM.

Τα, υψηλού επιπέδου, πλεονεκτήματα που έρχονται από τις υπηρεσίες της ATM και προκύπτουν από την τεχνολογία ATM (χρησιμοποιώντας τα διεθνή γι' αυτή στάνταρτς), μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω[17]:

- Υψηλή απόδοση και λειτουργία μέσω μεταγωγής υλικού (hardware switching) και μάλιστα με προοπτικές μεταγωγής terabit στον ορίζοντα (ήδη έχει προταθεί πειραματικά).
- Δυναμικό εύρος ζώνης για κυκλοφορία καταιγισμών το οποίο ικανοποιεί τις ανάγκες των εφαρμογών και συμβάλλει στην βελτιστοποίηση της χρήσης των δικτυακών πόρων (οι εφαρμογές δεδομένων είναι LAN-based και χαρακτηρίζονται από καταιγισμό, η μεταφορά φωνής είναι επίσης με καταιγισμό, καθώς και οι δυο πλευρές δεν μιλάνε μόνο μια φορά αλλά και ούτε όλη την ώρα, τέλος και το βίντεο μεταφέρεται με καταιγισμούς, καθώς η ποσότητα της κίνησης και η απαιτούμενη ανάλυση μεταβάλλεται με τον χρόνο)[7].
- Υποστήριξη κλάσης υπηρεσίας (class-of-service) για την κυκλοφορία πολυμέσων η οποία επιτρέπει σε εφαρμογές με μεταβλητή κυκλοφορία και απαιτήσεις στην καθυστέρηση να λειτουργούν σωστά σε ένα και μόνο δίκτυο.
- Ευελιξία (scalability) σε ταχύτητα και μέγεθος δικτύου, καθώς υποστηρίζονται ταχύτητες T1/E1 έως και OC-12 (622 Mbps), αλλά και ταχύτητες που φθάνουν σε επίπεδα αρκετών Gbps (π.χ δίκτυα που φθάνουν σε μέγεθος τηλεφωνικού δικτύου και που απαιτούνται για οικιακές δικτυακές εφαρμογές είναι μέσα στις δυνατότητες της ATM).
- Η συνηθισμένη LAN/WAN αρχιτεκτονική επιτρέπει στην ATM να λειτουργεί με συνέπεια από την μια πλατφόρμα στην άλλη. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί παραδοσιακά οι τεχνολογίες WAN και LAN ήταν πολύ διαφορετικές και παρουσίαζαν προβλήματα στην απόδοση και συνεργασία τους.
- Η ATM προσφέρει ευκαιρίες για απλοποίηση πολλών διαδικασιών μέσω της αρχιτεκτονικής μεταγωγής με νοητά κυκλώματα. Αυτό ισχύει κυρίως για την LAN-based κυκλοφορία που σήμερα είναι προσανατολισμένη στην χωρίς σύνδεση επικοινωνία. Οι απλοποιήσεις που είναι δυνατές μέσω των

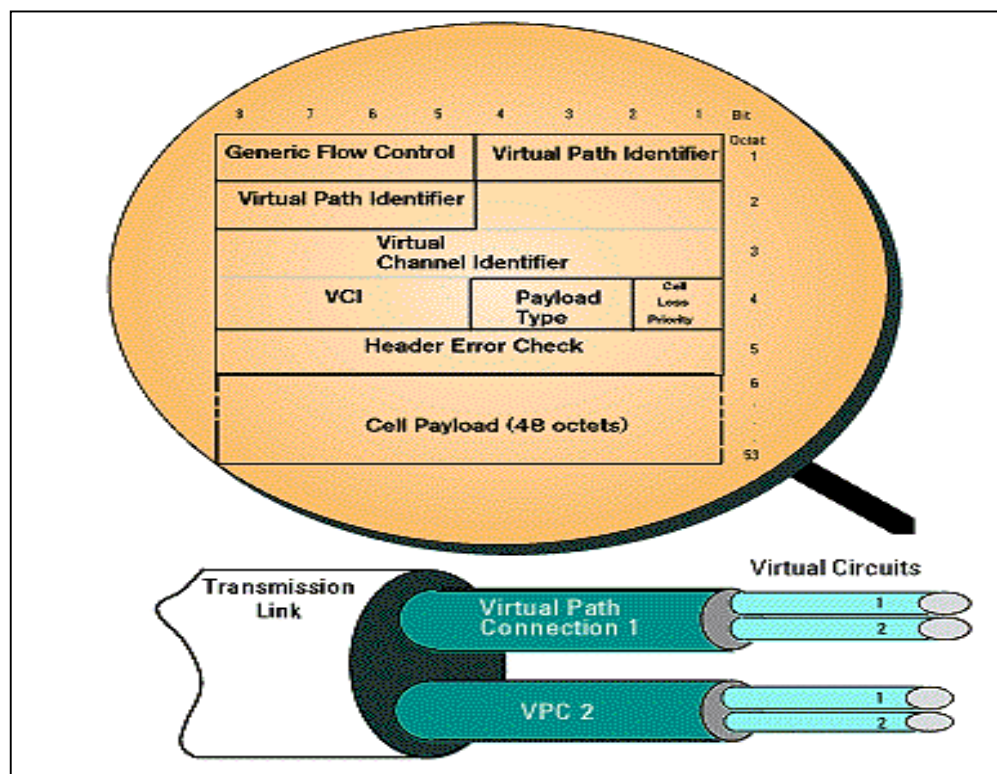
νοητών κυκλωμάτων της ATM μπορούν να τοποθετηθούν σε διαδικασίες όπως η διαχείριση της κυκλοφορίας, η ασφάλεια και η διαχείριση διαμόρφωσης (configuration management).

- Τέλος, η σαφής ύπαρξη των διεθνών στάνταρτς της ATM, τόσο σε κεντρικό- επιχειρησιακό επίπεδο, όσο και περιβάλλοντα καταναλωτών επιτρέπει την εξάπλωση της τεχνολογίας σε ευρύ πεδίο πωλήσεων.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, η τεχνολογία ATM προσφέρει πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα και μπορεί να προσδώσει τα μέγιστα στο σημερινό δικτυακό περιβάλλον των ολοένα και αυξανόμενων απαιτήσεων.

2.3. Τεχνολογία ATM.

Στα δίκτυα ATM, η πληροφορία τοποθετείται σε καθορισμένου μεγέθους κυψελίδες με 48 bytes (8 bits per byte) πληροφοριακού φορτίου και 5 bytes για την επικεφαλίδα της κυψελίδας [28](Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Καθορισμένου μήκους κυψελίδες των δικτύων ATM.

Το σταθερό μέγεθος της κυψελίδας βεβαιώνει ότι η time-critical πληροφορία όπως φωνή και βίντεο δεν επηρεάζονται αρνητικά από μεγάλα

πλαίσια ή πακέτα δεδομένων. Η επικεφαλίδα είναι οργανωμένη για αποδοτική μεταγωγή σε υψηλές ταχύτητες και μεταφέρει πληροφορία για τον τύπο του πληροφοριακού φορτίου, τους δείκτες των νοητών κυκλωμάτων και έλεγχο για λάθη στην κυψελίδα[17].

Η ATM είναι προσανατολισμένη στη σύνδεση. Με την οργάνωση διαφορετικών κυκλοφοριακών ροών σε ξεχωριστές κυψελίδες επιτρέπει στον χρήστη να καθορίσει τους απαιτούμενους πόρους και στο δίκτυο να καταναίμει τους πόρους με βάση τις συγκεκριμένες απαιτήσεις. Η πολυπλεξία πολλαπλών κυκλοφοριακών ροών σε κάθε φυσική υποδομή του δικτύου συνδυασμένη με τη δυνατότητα αποστολής των ροών σε πολλούς και διαφορετικούς προορισμούς, επιτρέπει την οικονομία σε κόστος μέσω της μείωσης του αριθμού των interfaces και των υποδομών που απαιτούνται για την κατασκευή ενός δικτύου[16].

Τα στάνταρτς της ATM καθορίζουν δυο τύπους συνδέσεων: συνδέσεις νοητών μονοπατιών (virtual path connections- VPCs) και συνδέσεις νοητών καναλιών (virtual channel connections- VCCs). Μια σύνδεση νοητού καναλιού (ή νοητού κυκλώματος όπως αναφέρθηκε νωρίτερα) είναι η βασική μονάδα που μεταφέρει μια μοναδική ροή κυψελίδων, σε σειρά, από χρήστη σε χρήστη. Μια ομάδα νοητών κυκλωμάτων μπορεί να αποτελέσει μια σύνδεση νοητού μονοπατιού. Μια σύνδεση νοητού μονοπατιού μπορεί να δημιουργηθεί από άκρη σε άκρη διαμέσου ενός ATM δικτύου. Σε αυτή την περίπτωση, το δίκτυο ATM δε δρομολογεί κυψελίδες που ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο νοητό κύκλωμα. Όλες οι κυψελίδες που ανήκουν σε κάποιο συγκεκριμένο νοητό μονοπάτι δρομολογούνται με τον ίδιο τρόπο μέσα στο ATM δίκτυο, με αποτέλεσμα το δίκτυο να ανακάμπτει γρήγορα σε περίπτωση μεγάλων απωλειών κυψελίδων[11].

Τα νοητά κυκλώματα μπορούν να είναι στατικά ως μόνιμα νοητά κυκλώματα (permanent virtual circuits- PVCs) ή δυναμικά ελεγχόμενα μέσω σηματοδότησης (signaling) ως νοητά κυκλώματα μεταγωγής (switched virtual circuits- SVCs). Επίσης τα νοητά κυκλώματα μπορούν να είναι από σημείο σε σημείο ή από σημείο σε πολλά σημεία, προσφέροντας με αυτό τον τρόπο ένα πλούσιο σετ προσφοράς υπηρεσιών. Τα SVCs είναι προτιμότερα από άποψη

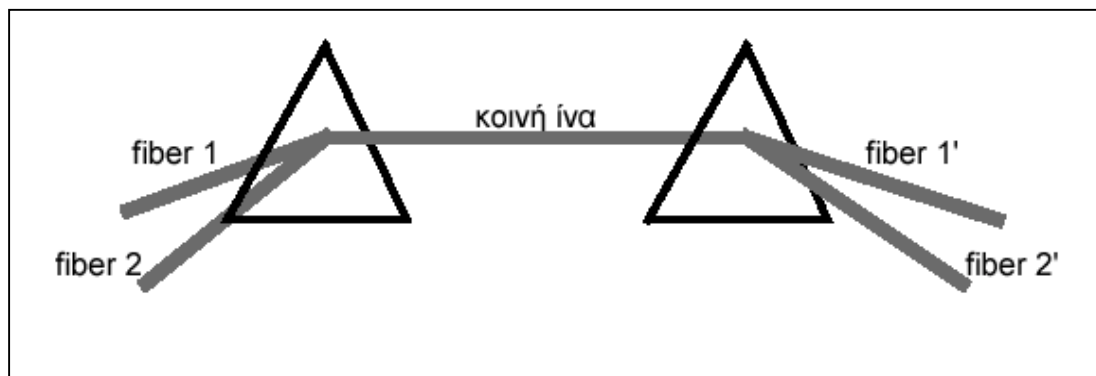
λειτουργικότητας διότι μπορούν να διαμορφωθούν δυναμικά, ελαχιστοποιώντας έτσι την πολυπλοκότητα επαναδιαμόρφωσης τους[16].

3. Βασικές αρχές της τεχνολογίας WDM.

3.1. Ορισμός WDM.

Η πολυπλεξία στο πεδίο του μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing- WDM) είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί πολλαπλά lasers και μεταφέρει περισσότερα από ένα μήκη κύματος φωτός ταυτόχρονα πάνω από μια και μόνο οπτική ίνα[28][30].

Ένας απλό παράδειγμα της πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος φαίνεται στο Σχήμα 2, όπου δυο ακτίνες φωτός περνούν μέσα από ένα πρίσμα και στην έξοδο τους από αυτό μοιράζονται την ίδια ίνα[10].



Σχήμα 2: Παράδειγμα πολυπλεξίας στο πεδίου του μήκους κύματος.

Στη συνέχεια περνούν από ένα άλλο πρίσμα στην έξοδο της ίνας από το οποίο χωρίζονται στην αρχική τους μορφή. Το συγκεκριμένο παράδειγμα είναι πολύ γενικό και αφορά απλώς την αρχή στην οποία στηρίζεται η τεχνολογία WDM. Στο παράδειγμα το σύστημα είναι σταθερό αφού η οπτική ίνα 1 στέλνει δεδομένα στην 1' και η οπτική ίνα 2 στην 2'. Βέβαια, στα σημερινά συστήματα WDM υπάρχει η δυνατότητα να γίνεται μεταγωγή με τέτοιο τρόπο ώστε τα δεδομένα οποιασδήποτε εισόδου να καταλήγουν σε οποιαδήποτε έξοδο απαιτείται. Η πολυπλεξία στο πεδίο του μήκους κύματος έχει ανέλθει ως το πιο αποδοτικό μέσο για την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων στον τομέα των επικοινωνιακών εφαρμογών[10].

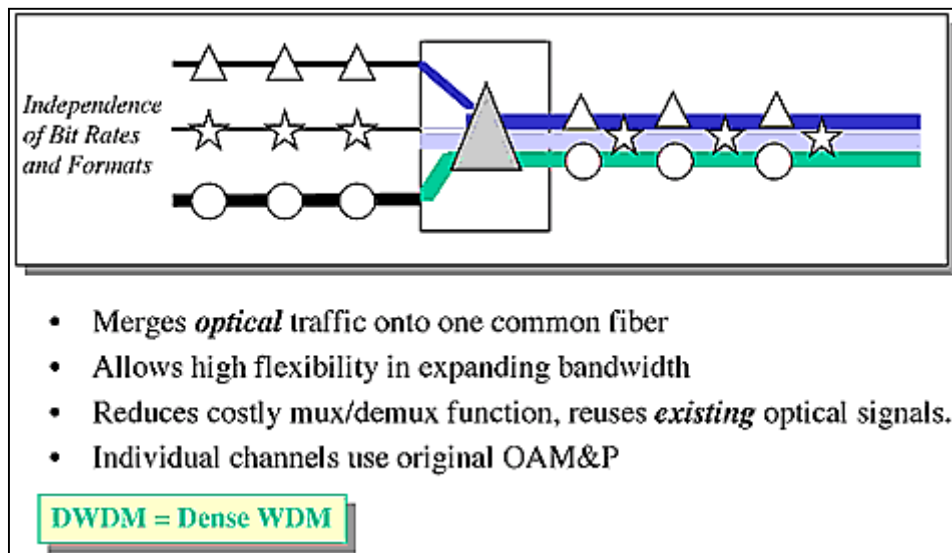
3.2. Τεχνολογία WDM και πλεονεκτήματα σε σχέση με παλαιότερες τεχνολογίες πολυπλεξίας.

Πριν την εμφάνιση του WDM, οι δύο πλέον συνήθεις τεχνολογίες πολυπλεξίας ήταν η πολυπλεξία με βάση το πεδίο της συχνότητας (Frequency Division Multiplexing- FDM) και η πολυπλεξία με βάση του πεδίου του χρόνου (Time Division Multiplexing- TDM)[23].

Η τεχνολογία FDM μεταφέρει πολλά σήματα ταυτόχρονα πάνω από ένα μέσο μετάδοσης, όπως καλώδιο ή ασύρματο σύστημα. Η διαφορά μεταξύ των πολλών ξεχωριστών σημάτων είναι ότι το καθένα απ' αυτά χαρακτηρίζεται από τη δική του συγκεκριμένη συχνότητα. Η FDM πρωτοεμφανίστηκε τη δεκαετία του 1930 στα πρώτα τηλεφωνικά συστήματα πολυπλεξίας, ενώ χρησιμοποιήθηκε πολύ και αργότερα από τις εταιρίες καλωδιακής τηλεόρασης ώστε να περάσει τα σήματα πολλών τηλεοπτικών καναλιών από το ίδιο καλώδιο[10][23].

Σε αντιστοιχία με την FDM, η τεχνολογία TDM μεταφέρει πολλά σήματα ταυτόχρονα πάνω από ένα μέσο μετάδοσης, αλλά εδώ στο κάθε σήμα ανατίθενται διαφορετικές χρονικές σχισμές (time slots). Σε ένα δίκτυο TDM, τα κανάλια εξετάζονται σειριακά και στο καθένα απ' αυτά διατίθεται στην κάθε περίοδο μια χρονική σχισμή για μετάδοση δεδομένων. Εάν δεν υπάρχουν δεδομένα προς μετάδοση η χρονική σχισμή μένει αχρησιμοποίητη και ο έλεγχος περνά κανονικά στο επόμενο κανάλι. Το πέρασμα από όλα τα κανάλια στη διάρκεια μιας περιόδου δημιουργεί το πλαίσιο δεδομένων (frame) το οποίο από άποψη μήκους είναι σταθερό, πράγμα που σημαίνει ότι όταν κάποια κανάλια δεν έχουν δεδομένα για μετάδοση υπάρχουν άχρηστα bits. Λόγω ότι τα πλαίσια φτάνουν σε συγκεκριμένους και αναμενόμενους χρόνους η τεχνική TDM χρησιμοποιείται εκτενώς στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος για μετάδοση φωνητικών μηνυμάτων. Τα βασικότερα μειονεκτήματα του TDM είναι ότι αλλαγές στην ταχύτητα μετάδοσης συνεπάγονται και αλλαγές σε δομικά συστατικά του δικτύου και ότι σήμερα η μέγιστη ταχύτητα σε δίκτυα TDM είναι στα 10Gbps, με επόμενο βήμα την αύξηση στα 40Gbps που σε σχέση με τις ταχύτητες του WDM είναι πάρα πολύ μικρές[10][16].

Στο σημείο αυτό έρχεται και η τρίτη τεχνολογία πολυπλεξίας, δηλαδή η WDM, που μπορεί να επιλύσει τα παραπάνω προβλήματα. Η τεχνολογία WDM είναι η αντίστοιχη της τεχνολογίας FDM αλλά για τα οπτικά δίκτυα. Η τεχνική αυτή διαχωρίζει το φως που περνά μέσα από μια ίνα σε μήκη κύματος. Το κάθε μήκος κύματος μπορεί να υποστηρίξει ταχύτητες ακόμα και της τάξης των 10 Gbps μέσα από την ίδια ίνα, ενώ στην περίπτωση της προηγούμενης τεχνικής θα απαιτούνταν διαφορετικές ίνες για το κάθε μήκος κύματος. Τα δίκτυα WDM μπορούν μέσα από τις ίνες τους να μεταδώσουν ταυτόχρονα διαφορετικά και ανεξάρτητα σήματα π.χ. OC-3 για ήχο/ φωνή σε ένα μήκος κύματος, σήματα αναλογικού βίντεο σε άλλο και OC12 ATM σε κάποιο άλλο μέσα στην ίδια ίνα. Στο σχήμα 3 φαίνεται σχηματικά ο τρόπος πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος[1][10].



Σχήμα 3: Πολυπλεξία στο πεδίο του μήκους κύματος (WDM).

Τα συστήματα WDM μπορούν να μεταδώσουν μέχρι 24 κανάλια αλλά στο μέλλον όλα δείχνουν ότι η χωρητικότητα θα αυξηθεί στα 128 και παραπάνω μέσα από μια ίνα. Η τεχνολογία που επιτρέπει αυτή τη μετάδοση πληροφορίας με τόσο υψηλές ταχύτητες βρίσκεται μέσα στον οπτικό ενισχυτή (optical amplifier). Οι οπτικοί ενισχυτές λειτουργούν σε ένα συγκεκριμένο εύρος του φάσματος συχνοτήτων και είναι φτιαγμένοι ώστε να λειτουργούν με την υπάρχουσα οπτική ίνα με τέτοιο τρόπο που να προωθούν/ ενισχύουν τα σήματα φωτός και να επεκτείνουν παράλληλα την πορεία τους χωρίς να είναι απαραίτητο να μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα. Δοκιμές που έχουν

πραγματοποιηθεί με οπτικούς ενισχυτές πολύ μεγάλου εύρους ζώνης απέδειξαν ότι μπορούν να προωθούν σήματα φωτός σε περισσότερα από 100 κανάλια (wavelengths) φωτός. Ένα δίκτυο χρησιμοποιώντας έναν τέτοιο ενισχυτή θα μπορούσε κάλλιστα να χειριστεί ένα terabit πληροφορίας. Σε αυτό το επίπεδο ταχύτητας θα ήταν δυνατή η μετάδοση από το παραπάνω δίκτυο όλων των τηλεοπτικών σταθμών της υφηλίου ή η μετάδοση μισού εκατομμυρίου κινηματογραφικών ταινιών ταυτόχρονα[1][9].

Ας θεωρηθεί ένας αυτοκινητόδρομος με πολλές λωρίδες κυκλοφορίας στον οποίο αντιστοιχίζεται μια οπτική ίνα. Τα παραδοσιακά TDM συστήματα χρησιμοποιούν μια απλή λωρίδα του συγκεκριμένου αυτοκινητοδρόμου και αυξάνουν την χωρητικότητα τους κινούμενα πιο γρήγορα σε αυτή την απλή λωρίδα. Στα οπτικά δίκτυα, η χρήση τεχνολογίας WDM είναι ανάλογη με το να αποκτηθεί πρόσβαση στις αχρησιμοποίητες λωρίδες του αυτοκινητοδρόμου (αυξάνοντας τον αριθμό των καναλιών που περνούν από την οπτική ίνα) ώστε να επιτευχθεί μια απίστευτα μεγάλη αύξηση της «κρυμμένης» χωρητικότητας της οπτικής ίνας. Ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα των οπτικών δικτύων είναι ότι ο αυτοκινητόδρομος είναι «τυφλός» ως προς τον τύπο της κίνησης που φιλοξενεί. Έτσι, τα οχήματα που ταξιδεύουν πάνω σ' αυτόν είναι δυνατό να μεταφέρουν ATM ή SONET ή και IP[16].

Σήμερα, η τεχνική DWDM (Dense Wave Division Multiplexing ή πυκνή πολυπλεξία στο πεδίο του μήκους κύματος) έχει ενταχθεί στην τεχνική WDM. Τεχνικά είναι το ίδιο πράγμα αλλά όπως φαίνεται και από το όνομα η DWDM εμπεριέχει περισσότερα κανάλια και μεγαλύτερη χωρητικότητα σε εύρος ζώνης. Συνήθως, οι δύο αυτές τεχνικές αναφέρονται σαν μια χωρίς να διακρίνεται διαφορά τους. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται ως μια τεχνική. Σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων το κόστος εγκατάστασης WDM/DWDM είναι ελκυστικότερο απ' ότι για τις τεχνικές TDM ωστόσο για μικρές αποστάσεις δεν φαίνεται, μέχρι στιγμής, να είναι επιτακτική η αλλαγή από κυκλώματα TDM σε WDM/DWDM. Σήμερα σε δίκτυα MAN ή και WAN ο υπάρχον εξοπλισμός αφορά κυρίως συστήματα TDM γιατί αυτή η τεχνική αναπτύχθηκε πρώτη, παρά το γεγονός ότι η τεχνική WDM είναι πιο αποδοτική[10].

3.3. Το οπτικό επίπεδο ως επίπεδο ενοποίησης.

Εκτός από την τεράστια χωρητικότητα που προσφέρεται μέσω των οπτικών δικτύων, το οπτικό επίπεδο (optical layer) παρέχει τα μόνα μέσα για την ενοποίηση διαφορετικών τεχνολογιών που υπάρχουν σε διαφορετικά είδη δικτύων σε μια και μόνο υποδομή. Τα συστήματα WDM είναι μεταφοράς bit (bit-rate) και μάλιστα ανεξάρτητα από τη φόρμα (format) μεταφοράς. Έτσι μπορούν να υποστηρίξουν οποιονδήποτε συνδυασμό μεταφοράς (π.χ. σύγχρονη, ασύγχρονη, OC-3, OC-12, OC-48, ή OC-192) πάνω από την ίδια οπτική ίνα κατά την ίδια χρονική στιγμή. Εάν ένας μεταφορέας (carrier) λειτουργεί τόσο σε ATM όσο και σε SONET δίκτυα, το σήμα ATM δεν χρειάζεται να πολυπλεχθεί με αυτό του SONET ώστε να κυκλοφορήσει σε ένα WDM δίκτυο. Επειδή το οπτικό επίπεδο μεταφέρει σήματα χωρίς καμία πρόσθετη πολυπλεξία, είναι δυνατό οι μεταφορείς να παρουσιάσουν άμεσα ATM ή IP χωρίς να είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί ένα επικαλυπτόμενο δίκτυο (overlay network). Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των οπτικών δικτύων είναι ότι μέσω αυτών επιτρέπεται η διέλευση οποιουδήποτε τύπου φορτίου[22][24].

Πάντως η τεχνολογία WDM είναι μόλις το πρώτο βήμα προς την οδό της ολοκληρωμένης οπτικής δικτύωσης και της καθιέρωσης του οπτικού επιπέδου. Η έννοια ενός καθ' όλα οπτικού δικτύου (all-optical network) υπονοεί ότι ο παροχέας υπηρεσιών θα έχει οπτική πρόσβαση στην κυκλοφορία στους διάφορους κόμβους του δικτύου, όπως περίπου συμβαίνει με το επίπεδο SONET για την κυκλοφορία σε ένα SONET δίκτυο. Η τεχνολογία optical wavelength add/drop (OWAD) προσφέρει τη δυνατότητα πρόσθεσης ή αφαίρεσης καναλιών (wavelengths) προς ή από μια οπτική ίνα, χωρίς να απαιτείται ένα τερματικό SONET. Πάντως η απόλυτη ευελιξία στην διαχείριση του εύρους ζώνης είναι δυνατή με την δυνατότητα cross-connect στο οπτικό επίπεδο. Συνδυασμένη με την OWAD και την WDM, η τεχνολογία optical cross-connect (OXC) προσφέρει στους παροχείς υπηρεσιών την ικανότητα να δημιουργήσουν ένα ευέλικτο, μεγάλης χωρητικότητας και αποδοτικό οπτικό δίκτυο με ολοκληρωμένη διαχείριση του οπτικού εύρους ζώνης. Οι παραπάνω τεχνολογίες αντικατοπτρίζουν τη σημερινή πραγματικότητα: η WDM χρησιμοποιείται σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων

από το 1995, προϊόντα OWAD προσφέρονται από το 1998 και το πρώτο OXC επιδείχθηκε σε βιομηχανικές εκθέσεις το 1997[3][6].

4. Ενοποίηση των τεχνολογιών ATM και WDM.

4.1. Εισαγωγή.

Η ενοποίηση των WDM και ATM δεν είναι κάτι που επιδιώκεται και ερευνάται τυχαία. Το εύρος ζώνης που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της συγκεκριμένης ενοποίησης αποτελεί ένα πραγματικά πολύ ισχυρό κίνητρο που προωθεί τη συγκεκριμένη έρευνα. Καθώς όλο και περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούν φωνή και βίντεο ταυτόχρονα με ένα αυξανόμενο μέγεθος δεδομένων, η ανεπάρκεια εύρους ζώνης που αντιμετωπίζουν οι παραπάνω εφαρμογές γίνεται περισσότερο εμφανής. Οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης για το Ίντερνετ διπλασιάζονται κάθε χρόνο και το πρόβλημα αυτό είναι ιδιαίτερος μεγάλος στον κορμό του δικτύου. Ο τομέας των τηλεπικοινωνιών αναγκάζεται σε τεράστιες επενδύσεις, έτσι ώστε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις για χωρητικότητα/ εύρος ζώνης. Παράλληλα, οι τηλεπικοινωνίες καλούνται να παρέχουν αυξημένη Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service), να προβλέπουν για διάφορες κλάσεις υπηρεσιών να ανταποκρίνονται στις αυστηρές απαιτήσεις φωνής και βίντεο και τέλος να μπορούν να αντιμετωπίσουν τις τεράστιες ποσότητες δεδομένων στα δίκτυα τους. Τα καλά νέα, για τις συγκεκριμένες συνθήκες που έχουν διαμορφωθεί, είναι ότι η λύση των παραπάνω προβλημάτων είναι διαθέσιμη σήμερα. Ο συνδυασμός της τεχνολογίας πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (WDM) με την τεχνολογία ασύγχρονου τρόπου μετάδοσης (ATM) μπορεί να λύσει τα ζητήματα εύρους ζώνης και ποιότητας υπηρεσιών με έναν, τόσο αποδοτικό, όσο και οικονομικό τρόπο[19][20].

Η τεχνολογία DWDM κάνει βέλτιστη χρήση των υποδομών επιτρέποντας στις οπτικές ίνες να μεταφέρουν πολλά κανάλια ταυτόχρονα και παρέχοντας δυνατότητες μετάδοσης από τέσσερις μέχρι και δεκαέξι φορές περισσότερο από τα παραδοσιακά συστήματα τεχνολογίας πολυπλεξίας στο πεδίο του χρόνου (TDM). Η χρήση της WDM επίσης επιτρέπει στους παροχείς να

μεταφέρουν IP, ATM και SONET πάνω από το οπτικό επίπεδο. Αυτή η ενοποιητική ικανότητα παρέχει στον μεταφορέα (carrier) την ευελιξία να ανταποκρίνεται σταδιακά σε μεταβαλλόμενες απαιτήσεις πελατών πάνω από ένα μόνο δίκτυο. Επίσης με την WDM η ανάγκη για στοιχεία (elements) και υποδομές (facility) του δικτύου μειώνεται με αποτέλεσμα η αξιοπιστία του δικτύου να αυξάνεται. Η δοκιμή των WDM δικτύων πρέπει να συνοδεύεται από μεγάλη προσοχή σε έναν αριθμό περιοριστικών παραγόντων απόδοσης του δικτύου[19].

4.2. Τρέξιμο (Running) ATM πάνω από WDM.

Τα πλεονεκτήματα της ενοποίησης της τεχνολογίας ATM λειτουργώντας πάνω από την τεχνολογία WDM είναι πολύ σημαντικά, αλλά λίγα μόνο ζητήματα επ' αυτής παρουσιάζουν σημαντικό ενδιαφέρον. Ο καθορισμός του μεγέθους των καναλιών είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στα συστήματα ATM/WDM. Πολλά και διαφορετικά σχήματα (schemes) έχουν επιστρατευθεί για να μειώσουν τις επιδράσεις του φαινομένου της μίξης των τεσσάρων κυμάτων (four-wave mixing- FWM). Η μίξη των τεσσάρων κυμάτων συμβαίνει όταν κανάλια με ίσα μεγέθη αλληλεπιδρούν και δημιουργούν νέα οπτικά σήματα με συχνότητες που παρεμβάλλονται με τα κανάλια μήκους κύματος (wavelength channels). Η ελαχιστοποίηση, συνεπώς, του μήκους των καναλιών είναι απολύτως ζωτικής σημασίας στην τεχνολογία ATM/WDM και γι' αυτό το λόγο η ανάπτυξη μεθόδων ακριβούς μέτρησης των καναλιών μήκους κύματος είναι απαραίτητη[19].

Η οπτική ισχύς είναι ένα ακόμα ζήτημα θεμελιώδους ενδιαφέροντος στα συστήματα ATM/WDM. Η ισχύς του οπτικού σήματος μειώνεται καθώς αυτό μεταδίδεται μέσα από την οπτική ίνα. Η απόδοση ενός οπτικού δέκτη, όσον αφορά στην συχνότητα λήψης λαθεμένων bits, είναι απευθείας συσχετισμένη με την οπτική ισχύ του σήματος. Στην WDM συνεπώς, η οπτική ισχύς μετατρέπεται σε μια λειτουργία καθορισμού του αριθμού των καναλιών που μεταδίδονται μέσα από την οπτική ίνα. Προφανώς, όσα περισσότερα είναι τα κανάλια, τόσο μειώνεται η οπτική ισχύς σε καθένα απ' αυτά[20].

Καθώς τα 10 Gbps γίνονται ο μικρότερος δυνατός ρυθμός μετάδοσης στη WDM, οι μεταφορείς (carriers) εκτελούν τεχνικές διατήρησης των wavelenghts μέσα στο ίδιο το WDM σύστημα. Μια τέτοια τεχνική είναι η Forward Error Correction (FEC). Η συγκεκριμένη τεχνική επιτρέπει μια μοναδική αύξηση στην απόδοση του δικτύου. Δυο βασικοί τύποι FEC χρησιμοποιούνται στα δίκτυα σήμερα. Ο πρώτος, που λέγεται in-band FEC, κωδικοποιεί τα δεδομένα του στο τμήμα του SONET, που περνά από πάνω και δεν χρησιμοποιείται. Έτσι παρέχεται βελτίωση στο σύστημα, αλλά επειδή ο χώρος στο SONET είναι περιορισμένος, ως εκ τούτου και η παρεχόμενη βελτίωση στην απόδοση είναι περιορισμένη. Ο δεύτερος, και πιο ισχυρός, τύπος FEC είναι ο out-of-band FEC, ο οποίος δεν επιβαρύνει σχεδόν καθόλου την γραμμή μετάδοσης όταν κωδικοποιεί τα δεδομένα του[1].

Τέλος μια ακόμα τεχνική που έχει νόημα στην ενοποίηση των ATM και WDM, είναι η χρήση ενός «πιλοτικού φωτός» («pilot light») σε κάθε κανάλι ώστε να εκτελεστεί έλεγχος σε όλα τα οπτικά κανάλια. Με την παρακολούθηση ενός κύματος φωτός που θα εισαχθεί σε κάθε κανάλι, τα συστήματα διαχείρισης του δικτύου μπορούν να αναγνωρίσουν τυχόντα σφάλματα και να επιβεβαιώσουν την καλή διασύνδεση και την ποιότητα του σήματος σε καθένα από τα κανάλια. Αυτή η τεχνική απλοποιεί σε πολύ μεγάλο βαθμό την αντιμετώπιση προβλημάτων μέσα στο δίκτυο και είναι παρόμοια με τον τρόπο που η ATM χρησιμοποιεί τις δοκιμαστικές κυψελίδες σε συγκεκριμένα νοητά μονοπάτια/ κανάλια[19].

Σήμερα υπάρχουν διάφορες εταιρίες που ασχολούνται με το σχεδιασμό και την παραγωγή συσκευών με τεχνολογία ATM/WDM, όπως η Lucent Technologies, η Cisco Systems, η Wavesplitter και η Fore Systems[12][27][29]. Παράδειγμα μιας τέτοιας συσκευής αποτελεί το προϊόν ForeRunner ASX-4000 ATM switch της Fore Systems το οποίο περιλαμβάνει την τεχνολογία WDM και προορίζεται για δίκτυα μεγάλων αποστάσεων. Το ASX-4000 switch σχεδιάστηκε για μεγάλες επιχειρήσεις και δίκτυα παροχής υπηρεσιών και ο συνδυασμός των τεχνολογιών ATM και WDM που υποστηρίζει δίνει εύρος ζώνης του μεγέθους των 10 Gbps σε μια απλή οπτική ίνα. Το βασικό χαρακτηριστικό τέτοιων συσκευών είναι ο συνδυασμός της

WDM μετάδοσης (transmission) και της ATM μεταγωγής (switching), ο οποίος αυξάνει τις ταχύτητες μετάδοσης στα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων[15].

4.3. Δοκιμή (Testing) ATM πάνω από WDM.

Η δοκιμή της ATM πάνω από WDM αποτελείται από τις ίδιες περίπου αρχές που χρησιμοποιήθηκαν για την δοκιμή της ATM πάνω από το SONET. Κάποιος που θα την επιχειρήσει πρέπει να δοκιμάσει τη συνδεσιμότητα (connectivity) και τη γενικότερη απόδοση με βάση συγκεκριμένη συμφωνία ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service agreement). Στην περίπτωση του WDM οι συνθήκες είναι ακόμα πιο περίπλοκες επειδή υπάρχουν πολλαπλές παράλληλες συνδέσεις με την οπτική ίνα. Αυτές οι παράλληλες συνδέσεις θεωρητικά είναι αποκλειστικές και κλειστές μεταξύ τους, αλλά αυτό πρέπει να επιβεβαιωθεί και πρακτικά[20].

Η μεγαλύτερη νέα απαίτηση σε σχέση με τη δοκιμή και την παρακολούθηση των συστημάτων ATM/WDM είναι η ανάγκη να χαρακτηριστούν και να μετρηθούν οι διάφορες παράμετροι σε σχέση με το μήκος κύματος (wavelength). Οι βασικές/ θεμελιώδεις μετρήσεις που πρέπει να πραγματοποιηθούν είναι[19]:

- Αναλογία σήματος/ θορύβου (Signal-to-Noise Ratio): Είναι ο καλύτερος δείκτης της συνολικής απόδοσης ενός καναλιού.
- Ισχύς του καναλιού (Channel power): Η οπτική ισχύς κάθε καναλιού. Επιβεβαιώνει την ίση κατανομή της ισχύος σε ολόκληρο το εύρος ζώνης των οπτικών ενισχυτών που χρησιμοποιούνται.
- Κεντρικό μήκος κύματος και μέγεθος κάθε καναλιού (Channel center wavelength and spacing): Το κεντρικό μήκος κύματος κάθε καναλιού με το οποίο ανιχνεύονται οι κατευθύνσεις της κίνησης (drifts) από τις πηγές λείζερ.
- Έγχυση θορύβου (Crosstalk): Το επίπεδο του ανεπιθύμητου σήματος (δηλαδή του θορύβου και των παρεμβολών από τα άλλα κανάλια) που περνά από το υπό δοκιμή κανάλι.
- Συνολική οπτική ισχύς (Total optical power): Τα αρνητικά αποτελέσματα των μη γραμμικών φαινομένων στην οπτική ίνα εξαρτώνται από τη

συνολική ισχύ που μεταφέρεται. Στον τομέα αυτό πρέπει να δοθεί προσοχή, διότι οι μετρητές οπτικής ισχύος που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι ρυθμισμένοι για χαμηλά επίπεδα ισχύος συσχετισμένα με ένα μόνο κανάλι (+6dBm). Τα συστήματα WDM υποστηρίζουν περισσότερα κανάλια ταυτόχρονα. Έτσι, πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποιο συμβατό επίπεδο ισχύος.

- Χρωματική διάχυση (Chromatic Dispersion): Η διακύμανση του επιπέδου διάχυσης του φωτός μέσα στην ίνα που μεταφέρεται το μήκος κύματος (wavelength) και η οποία είναι απαραίτητο να ελέγχεται κατά μήκος του οπτικού μονοπατιού.
- Διασπορά της πόλωσης (Polarization Mode Dispersion- PMD): Διαφορετικές καταστάσεις πόλωσης του οπτικού σήματος μεταδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες. Η PMD επηρεάζει την ποιότητα μετάδοσης εκπέμποντας παλμούς σήματος και ανεβάζοντας τη συχνότητα λαθεμένων bits (bit error rate- BER).

Οι παραπάνω παράμετροι πρέπει να δοκιμαστούν μετά την εγκατάσταση διότι οι ίνες είναι δυνατό να καταστραφούν ή να αλλοιωθούν κατά τη συγκεκριμένη διαδικασία. Οι τακτικές δοκιμές κατά περιόδους κρίνονται, επίσης, απαραίτητες διότι οι ίνες μπορεί να αλλοιωθούν με το χρόνο, τη θερμοκρασία, την άσκηση πίεσης και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

4.4. Προτάσεις- Συμπεράσματα.

Οι προδιαγραφές/ προτάσεις που θα πρέπει να τηρούνται από σχήματα ATM/WDM, όπως αυτές έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές και επιστήμονες, και που θα υποστηρίζουν πολύ υψηλές ταχύτητες μεταγωγής του επιπέδου Tbit/sec, είναι οι παρακάτω[2]:

- Μεγιστοποίηση της χρησιμοποίησης του εύρους ζώνης (Maximal bandwidth utilization): Ο αλγόριθμος που θα χρησιμοποιηθεί για την διαχείριση της κυκλοφορίας και μεταγωγής θα πρέπει να μεγιστοποιεί τη

χρήση του εσωτερικού εύρους ζώνης μεταγωγής, ώστε να παρέχει τη μέγιστη κυκλοφορία μέσω αυτού.

- Βέλτιστη ανάλυση μήκους κύματος (Contention- resolution): Επειδή τα μήκη κύματος συνιστούν έναν αρκετά ακριβό πόρο, θα πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά ο αριθμός των εσωτερικών καναλιών που θα περιληφθούν. Δυο ή περισσότερες μεταδόσεις πάνω από το ίδιο μήκος κύματος έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία συγκρούσεων. Έτσι, η απώλεια πακέτων εξαιτίας οπτικών συγκρούσεων θα πρέπει να αποφεύγεται.
- Όχι τεχνητές επιταχύνσεις (No speedup): Στο οπτικό πλαίσιο, η επιτάχυνση των εσωτερικών μεταδόσεων είναι μια πράξη που δεν έχει όφελος. Σχήματα που δεν απαιτούν επιτάχυνση είναι πιο αποδοτικά σε ευέλικτα (scalable) δίκτυα όπως το ATM/WDM.
- Σχηματισμός ενός σταδίου και μη μπλοκαρίσματος (Non- blocking, single-stage constellation): Η τεχνολογία WDM πολλαπλών συνδέσεων (cross-connect) αναπτύσσεται συνήθως σε σχηματισμό (constellation) ενός σταδίου και μη μπλοκαρίσματος, όπου τα οπτικά σήματα δεν επαναδρομολογούνται ούτε και επαναμεταδίδονται μέσα στον πυρήνα μεταγωγής. Οι διαδικασίες πολύ γρήγορων αποφάσεων απαιτούν ότι τα στοιχεία πολλαπλών συνδέσεων πρέπει να συνεισφέρουν ελάχιστη καθυστέρηση στη μετάδοση.
- Μεγάλος αριθμός εισόδων (ports): Η ποικιλία των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και διαφορετικών γραμμών ταχυτήτων υπονοούν ότι στο άμεσο μέλλον τα συστήματα μεταγωγής ATM/WDM θα έχουν πυκνότητα εισόδων του μεγέθους δεκάδων ή ακόμα και εκατοντάδων εισόδων. Συνεπώς, μια καλή αρχιτεκτονική ενός συστήματος μεταγωγής πρέπει να υποστηρίζει έναν μεγάλο αριθμό μη συμμετρικών εισόδων (asymmetric ports).
- Απλός σχεδιασμός: Η απόδοση ενός συστήματος ATM/WDM με όρους ταχύτητας επηρεάζεται απευθείας από την απλότητα του σχεδιασμού του hardware του.

Συμπερασματικά, ο συνδυασμός των τεχνολογιών ATM και WDM είναι δυνατό να οδηγήσει σε τεχνολογικές λύσεις που θα ανταποκρίνονται στη

διαρκώς αυξανόμενη ανάγκη των τηλεπικοινωνιών και των δικτύων για μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Βέβαια υπάρχει και κάποιο αντίτιμο για τη χρήση αυτών των υπέροχων τεχνολογιών. Οι απαιτήσεις και ο εξοπλισμός για δοκιμές (testing requirements) είναι πολύ πιο μπροστά από αυτές που χρειάζονταν για τα δίκτυα παλαιότερων γενεών. Πολύπλοκες δοκιμές πρέπει να εκτελούνται επί τόπου. Τέλος, ειδικά όσον αφορά στην διάσταση του φάσματος του φωτός, που παλαιότερα εξεταζόταν μόνο από ερευνητές, τώρα αυτή πρέπει να εκτιμάται σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του δικτύου, από το σχεδιασμό και την εγκατάσταση μέχρι και τη διατήρηση και την επίλυση των τεχνικών προβλημάτων[19].

Βιβλιογραφία

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]**Acambora,A.** (1994): An Introduction to Broadband Networks. Seidel-Chatelier: Plenum Press.
- [2]**Elhanany,I. & Sadot,D.** (2000): “A Contention-Free Tbit/sec Packet Switching Architecture for ATM Over WDM Networks”. IEICE TRANS. COMMUN. Vol. E83-B No2, February.
- [3]**Hudgings,J. & Nee,J.** (1996): “WDM All-Optical Networks”. EE228A Project Report.
- [4]**Killat,U.** (1996): Access to B-ISDN via PONs. John Wiley & Sons.
- [5]**Kumar,B.** (1995): Broadband Communications: A Professional's Guide to Atm, Frame Relay, Smds, Sonet and Bisbn. McGraw-Hill.
- [6]**McFarlane,J., Morin,P., Roorda,P. & Scott,M.** (1996): “Highways Of Light: Toward an All-Optical Network”. Telesis.
- [7]**Reid,A. & Sexton,M.** (1997): Broadband Networking ATM, SDH, and SONET. Artech House.
- [8]**Stallings,W.** (1995): ISDN and Broadband ISDN with Frame Relay and ATM. New York: Prentice Hall.
- [9]**Tucker,R. & Zhong,W.** (1999): “Photonic Packet Switching: An Overview”. IEICE TRANS. COMMUN. Vol. E82-B No2, February.
- [10]**Παντελίδου,Ο.** (2000): Εργασία: Wavelength Division Multiplexing. Θεσσαλονίκη: Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.
- [11]**Πομπόρτσας,Α.** (1997): Εισαγωγή στις Νέες Τεχνολογίες Επικοινωνιών. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.

Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις

- [12]Cisco Connection Online by Cisco Systems, Inc. <http://www.ieng.com/> (To site της εταιρίας Cisco, η οποία ασχολείται με την παραγωγή προϊόντων για δίκτυα και με δικτυακές τεχνολογίες).

- [13]Converge! Network Digest <http://www.convergedigest.com/> (Site με νέα, άρθρα και forums για οπτικά δίκτυα).
- [14]CORDIS IST Home Page <http://www.cordis.lu/ist/> (Site της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικό με τα projects για την έρευνα και την τεχνολογική ανάπτυξη μέσα στα όρια της Κοινότητας ενταγμένο στο πλαίσιο του 5^{ου} RTD Framework Programme –1998-2002).
- [15]Fore Systems www.fore.com (Εταιρία υψηλής τεχνολογίας που ασχολείται με την παραγωγή προϊόντων και συσκευών για δίκτυα μεγάλων ταχυτήτων, συμπεριλαμβανομένων και δικτύων ATM/WDM).
- [16]IEC Consortium Programs <http://www.iec.org/> (Εκπαιδευτικό site για τα δίκτυα με forums, μαθήματα και tutorials σχετικά με δίκτυα).
- [17]IEICE TOP PAGE <http://www.ieice.org/eng/index.html> (To site του Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, το οποίο παρέχει εκπαιδευτικό υλικό για τις νέες τεχνολογίες, την πληροφορική και τα δίκτυα).
- [18]IT training, telecoms training & call centre training - IIR Training <http://www.telecomstraining.co.uk/> (Άλλο ένα εκπαιδευτικό site για τις τεχνολογίες των τηλεπικοινωνιών που παρέχει και τηλεφωνική υποστήριξη).
- [19]Protocols for WAN, LAN, ATM data communications and telecommunications <http://www.protocols.com/> (Site παροχής εκπαιδευτικών tutorials για δίκτυα και πρωτόκολλα).
- [20]RADCOM WAN, LAN, ATM Protocol Analyzers <http://www.radcom-inc.com/> (Η Radcom είναι μια εταιρία παραγωγής υλικού και μηχανημάτων για LAN's WAN's και ATM δίκτυα).
- [21]Search Dictionary of PC Hardware and Data Comm. Terms <http://www.oreilly.com> (Site- λεξικό για όρους σχετικούς με hardware ηλεκτρονικών υπολογιστών και τεχνολογίες δικτύων).
- [22]SPIE--The International Society for Optical Engineering The Optics, Photonics, Fibers, and Lasers Resource <http://www.spie.org/> (Site που πραγματεύεται τον σχεδιασμό οπτικών δικτύων και εφαρμογών).
- [23]TechEncyclopedia <http://www.techweb.com/encyclopedia/> (To site TechEncyclopedia είναι ένα λεξικό ορολογίας που άπτεται των νέων τεχνολογιών και πληροφορικής).

[24]Telecommunications Online <http://208.220.133.42/> (Online περιοδικό τηλεπικοινωνιών και νέων τεχνολογιών με ελεύθερη πρόσβαση στα άρθρα του).

[25]TONEX Technologies Inc. - Telecommunications and Internet Training <http://www.tonex.com/> (Η Tonex είναι μια εταιρία παροχής εκπαίδευσης, συμβουλευτικών υπηρεσιών και ενοποίησης συστημάτων για τους τομείς των τηλεπικοινωνιών και των πληροφοριακών συστημάτων).

[26]VII - Virtual Institute of Information – Index <http://www.vii.org/> (Μη κερδοσκοπικό online site έρευνας αφιερωμένο στους τομείς των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής).

[27]WaveSplitter Technologies, Inc. <http://www.wavesplitter.com> (Η εταιρία WaveSplitter αναπτύσσει multiplexers και εξαρτήματα σχετικά με την ικανότητα μεταγωγής δεδομένων σε οπτική ίνα).

[28]Webopedia Online Computer Dictionary for Internet Terms and Technical Support. <http://www.webopedia.com/> (Λεξικό ορολογίας για τους υπολογιστές και το Ίντερνετ).

[29] Welcome to Lucent <http://www.lucent.com/> (Η Lucent Technologies είναι μια εταιρία που στοχεύει στο να είναι πρώτη στο χτίσιμο ευρυζωνικής καθώς και κινητής υποδομής για το Ίντερνετ, ώστε να αλλάξει προς το καλύτερο τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των ανθρώπων. Μέσα στις δραστηριότητες της περιλαμβάνονται και τα οπτικά δίκτυα WDM).

[30]Whatis.com <http://whatis.techtarget.com/> (Online εγκυκλοπαίδεια όρων για την πληροφορική και τις τεχνολογίες της).