



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Οπτικά Δίκτυα Επικοινωνιών

Ενότητα 4: IP over WDM

Βλάχος Κυριάκος

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής

Σκοποί ενότητας

Σκοπός της ενότητας είναι η τριβή του σπουδαστή με το IP over WDM, την υλοποίησή του, τα μοντέλα του και την ασφάλειά του



Περιεχόμενα ενότητας

- Διαστρωμάτωση IP over WDM
- Δικτυακό Μοντέλο IP over WDM
- Μοντέλα Παροχής Υπηρεσιών IP over WDM
- Μοντέλα Διασύνδεσης IP over WDM
- Έλεγχος Οπτικού Δικτύου
- Multiprotocol Label Switching (MPLS)
- Multiprotocol Lambda Switching (MPLmS)
- Προστασία Δικτύου IP over WDM



IP over WDM

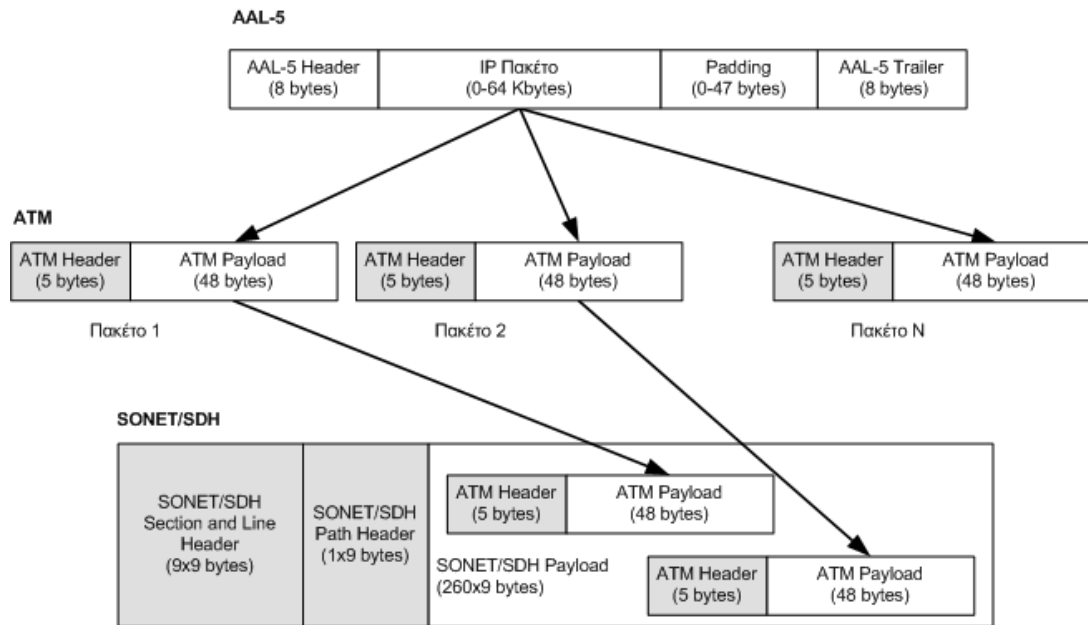
Εισαγωγή

- ❑ Το IP θα αποτελέσει το κοινό επίπεδο δικτύου για το μελλοντικό διαδίκτυο και ότι η κίνηση IP θα αποτελέσει την κύρια μορφή κίνησης σε αυτό
 - ⇒ Voice-over-IP (VoIP), τηλεδιασκέψεις, video-on-demand και διαδραστικές εφαρμογές διαδίδονται στο διαδίκτυο
- ❑ Η εμφάνιση του WDM έδωσε τη δυνατότητα για σημαντική αύξηση του εύρους ζώνης των τηλεπικοινωνιακών δικτύων
- ❑ Η τεχνολογία IP over WDM αποτελεί την πλέον ελπιδοφόρα τεχνολογία για το οπτικό διαδίκτυο επόμενης γενιάς
- ❑ Για την υποστήριξη του IP over WDM χρειάζεται περισσότερη ευφυΐα στο επίπεδο ελέγχου του οπτικού δικτύου, ώστε να είναι το πιο ευέλικτο, ελέγξιμο και βιώσιμο
- ❑ Πρότυπα επίπεδα ελέγχου βασισμένα σε MPLS:
 - ⇒ multiprotocol lambda switching (MPLmS)
 - ⇒ generalized multiprotocol label switching (G-MPLS)



Διαστρωμάτωση IP over WDM

IP over ATM over SONET/SDH over WDM



- ⇒ Κάθε IP πακέτο ενσωματώνεται σε AAL-5 PDU: 8 byte επικεφαλίδας, το IP πακέτο (0-64 Kbytes), padding και 8 byte πεδίο trailer του AAL-5
- ⇒ Η AAL-5 PDU τεμαχίζεται σε τμήματα των 48 bytes, τα οποία αποτελούν το φορτίο αντίστοιχων ATM πακέτων
- ⇒ Τα ATM πακέτα ενθυλακώνονται σε SONET/SDH πλαίσια

IP over ATM over SONET/SDH over WDM

Πλεονεκτήματα

- ✓ Υψηλές ταχύτητες μετάδοσης και η ταχεία αποκατάσταση του δικτύου (λόγω SONET/SDH)
- ✓ Ευελιξία στην παροχή εύρους ζώνης (λόγω ATM)

Μειονεκτήματα

- ✗ Μείωση της απόδοσης του δικτύου (διαθέσιμο εύρος ζώνης) κατά 4% λόγω πλαισίωσης από το SONET/SDH
- ✗ Μείωση της απόδοσης του δικτύου (διαθέσιμο εύρος ζώνης) κατά 18%-25% από την πλαισίωση στα AAL-5 και ATM
- ✗ Αυξάνει σημαντικά η πολυπλοκότητα και το κόστος της λειτουργίας και διαχείρισης του δικτύου λόγω της διαστρωμάτωσης τεσσάρων επιπέδων

IP over SONET/SDH over WDM

- ⇒ Τα IP πακέτα ενθυλακώνονται σε πακέτα PPP (Point-to-Point Protocol), τα οποία πλαισιώνονται σε πλαίσια HDLC (High-Level Data Link Control)
- ⇒ Τα HDLC πλαίσια τελικά μεταφέρονται με πλαίσια SONET/SDH

Πλεονεκτήματα

- ✓ Υψηλές ταχύτητες μετάδοσης και ταχεία αποκατάσταση (λόγω SONET/SDH)
- ✓ Μεγαλύτερο διαθέσιμο εύρος ζώνης από τη διαστρωμάτωση IP over ATM over SONET/SDH over WDM

Μειονεκτήματα

- ✗ Αδυναμία ευέλικτης παροχής εύρους ζώνης λόγω της απουσίας του ATM

IP over WDM

- ⇒ Εξαλείφονται πλήρως τα επίπεδα ATM και SONET/SDH και το IP εφαρμόζεται απευθείας πάνω από WDM
- ⇒ Τα πακέτα IP ενθυλακώνονται σε πλαίσια PPP/HDLC ή SDL, και η αποστολή των πλαισίων γίνεται απ' ευθείας σε οπτικά μήκη κύματος

Πλεονεκτήματα

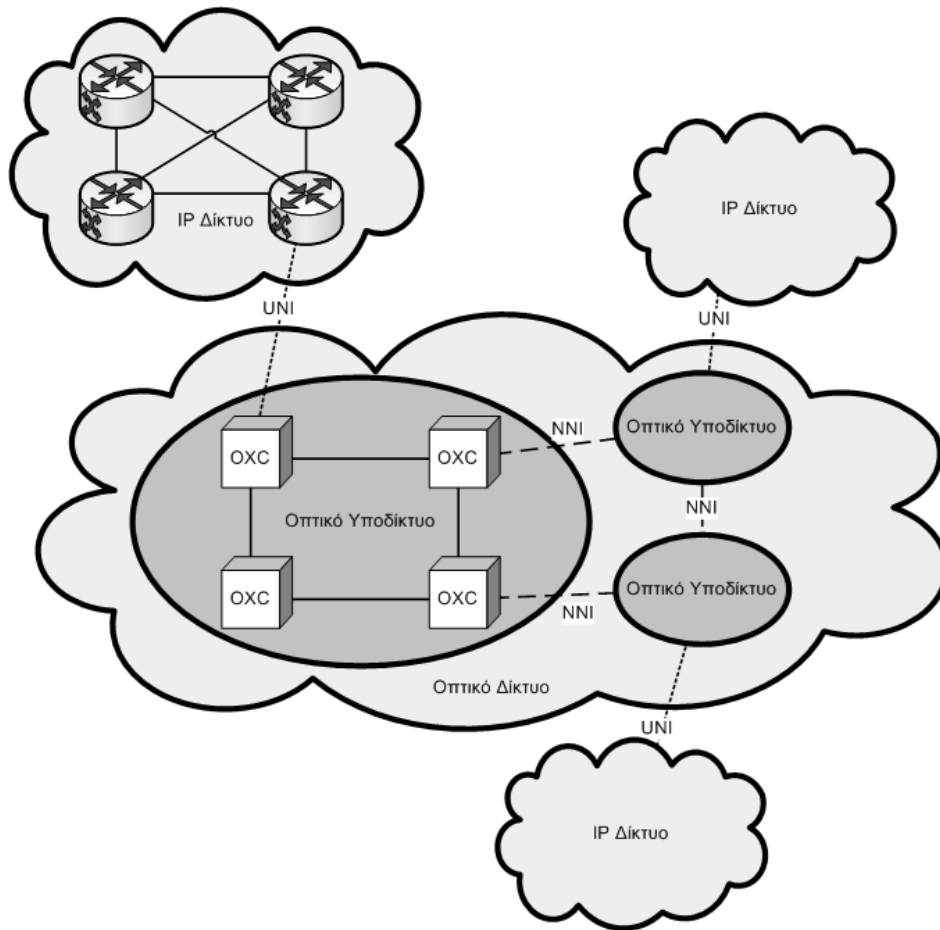
- ✓ Αποδοτικότερη αξιοποίηση του εύρους ζώνης
- ✓ Απλούστερη διαχείριση και λειτουργία του δικτύου

Μειονεκτήματα

- ✗ Δε υπάρχουν τα πλεονεκτήματα της ταχείας αποκατάστασης δικτύου και ευελιξίας στην παροχή εύρους ζώνης των SONET/SDH και ATM
- ⇒ Απαιτείται η βελτίωση του επιπέδου IP είτε του επιπέδου WDM για την παροχή των εν λόγω υπηρεσιών (MPLS, MPLmS και G-MPLS)

Δικτυακό Μοντέλο IP over WDM

Δικτυακό Μοντέλο IP over WDM (I)



- ❑ Το δικτυακό μοντέλο αποτελείται από IP δίκτυα-χρήστες τα οποία διασυνδέονται μέσω οπτικού δικτύου κορμού
- ❑ Οπτικό Δίκτυο:
 - ⇒ Αποτελείται από πολλαπλά οπτικά υποδίκτυα (WDM ζεύξεις και OXCs)
 - ⇒ Το οπτικό δίκτυο δεν έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας IP πακέτων
- ❑ IP Δίκτυο
 - ⇒ Οι IP δρομολογητές που έχουν πρόσβαση στο οπτικό επίπεδο καλούνται δρομολογητές άκρου
 - ⇒ Οι δρομολογητές άκρου επικοινωνούν με οπτικά μονοπάτια

Δικτυακό Μοντέλο IP over WDM (II)

Λογικές Διεπαφές

- ❑ Διεπαφή χρήστη-δικτύου (User Network Interface - UNI): αντιπροσωπεύει το όριο μεταξύ του οπτικού δικτύου και των ηλεκτρονικών δικτύων-χρηστών
- ❑ Διεπαφή δικτύου-δικτύου (Network Network Interface - NNI): αποτελεί το όριο μεταξύ των διάφορων οπτικών υποδικτύων

Φυσικές Διεπαφές UNI

- ❑ Άμεσες διεπαφές: Ένα IP κανάλι ελέγχου εντός ή εκτός ζώνης δημιουργείται μεταξύ του IP δρομολογητή και του ΟΧC στο οποίο διασυνδέεται. Το κανάλι χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή μηνυμάτων σηματοδοσίας και δρομολόγησης μεταξύ ΟΧC και δρομολογητή
- ❑ Έμμεσες διεπαφές: Ένα IP κανάλι ελέγχου εκτός ζώνης δημιουργείται μεταξύ του δικτύου-χρήστη και του οπτικού δικτύου. Το κανάλι χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή μηνυμάτων σηματοδοσίας και δρομολόγησης μεταξύ των συστημάτων ελέγχου και διαχείρισης του οπτικού δικτύου και του δικτύου-χρήστη

Μοντέλα Παροχής Υπηρεσιών IP over WDM

Domain Service Model

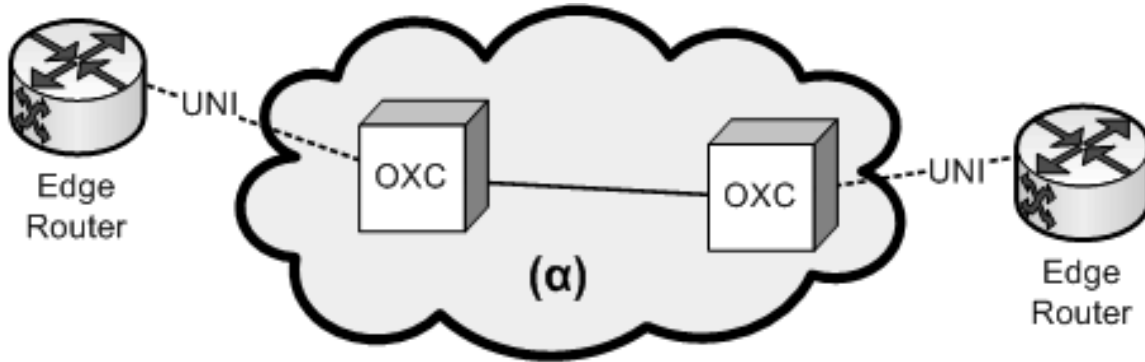
- ❑ Το οπτικό δίκτυο παρέχει διασύνδεση υψηλού εύρους ζώνης στα IP δίκτυα-χρήστες (δύο διαφορετικά δίκτυα) με τη μορφή οπτικών μονοπατιών
- ❑ Υπηρεσίες στα UNI σχετικές με τα οπτικά μονοπάτια
 - ⇒ Lightpath creation: δημιουργία οπτικού μονοπατιού
 - ⇒ Lightpath deletion: απεγκατάσταση ενός οπτικού μονοπατιού
 - ⇒ Lightpath modification: τροποποίηση παραμέτρων ενός οπτικού μονοπατιού
 - ⇒ Lightpath status query: ενημέρωση για τις παραμέτρους οπτικού μονοπατιού
- ❑ Υπηρεσίες στα UNI σχετικές με ανάκτηση διευθύνσεων
 - ❑ Client registration: Κατοχύρωση διεύθυνσης δικτύου-χρήστη
 - ❑ Client de-registration: Άρση κατοχύρωσης διεύθυνσης δικτύου-χρήστη
 - ❑ Address query: Ανάκτησης διεύθυνσης άλλου δικτύου-χρήστη
 - ❑ End-system discovery: Επαλήθευση διασυνδεσιμότητας του δικτύου χρήστη
 - ❑ Service discovery: Παροχή παραμέτρων σύνδεσης σε δίκτυο-χρήστη

Unified Service Model

- ❑ Το IP και το οπτικό δίκτυο αποτελούν ενιαίο δίκτυο το οποίο ελέγχεται και υφίσταται διαχείριση με ενιαίο τρόπο
- ❑ Από πλευράς δρομολόγησης και σηματοδοσίας δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ UNI, NNI και άλλων διεπαφών δρομολογητή με δρομολογητή
- ❑ Το επίπεδο ελέγχου σε αυτό το μοντέλο είναι βασισμένο σε MPLS
- ❑ MPLS πρωτόκολλα σηματοδοσίας χρησιμοποιούνται για να εκκινήσουν υπηρεσίες όπως *lightpath creation*, *lightpath deletion*, *lightpath modification* και *lightpath status query*, όμοιες με αυτές του *domain service model*

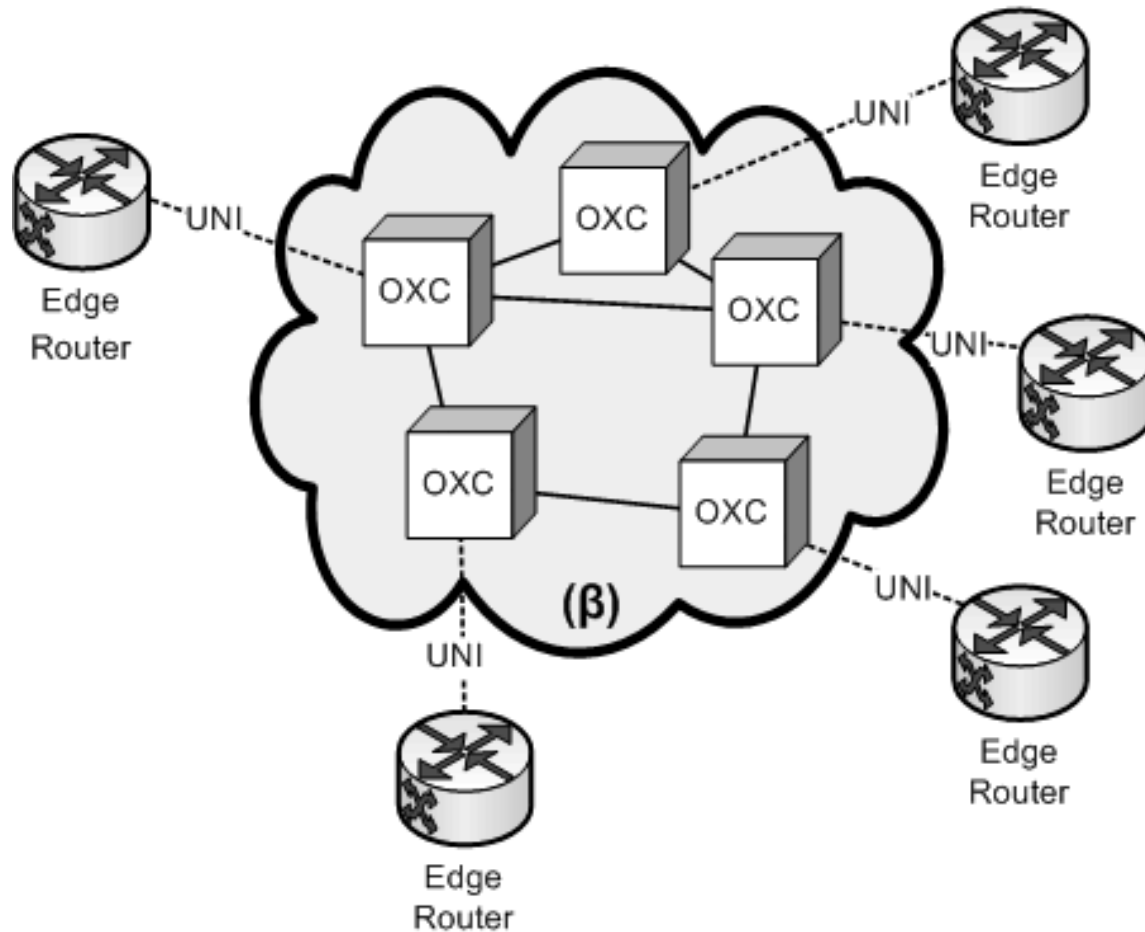
Μοντέλα Διασύνδεσης IP over WDM

Overlay Model



- ❑ Στο overlay model τα πρωτόκολλα δρομολόγησης και σηματοδότησης στο IP δίκτυο είναι διαφορετικά από αυτά του οπτικού δικτύου
- ❑ Το οπτικό επίπεδο παρέχει συνδέσεις σημείου προς σημείο στο IP επίπεδο: ο IP δρομολογητής έχει τη δυνατότητα να δει μόνο τα οπτικά μονοπάτια, αλλά η εσωτερική τοπολογία του δικτύου δεν είναι ορατή στο δρομολογητή
- ❑ Η διάδραση μεταξύ IP και οπτικού επιπέδου γίνεται στο UNI
- ❑ Το μοντέλο παρέχει δυνατότητες απομόνωσης σφαλμάτων, ασφάλεια και ανεξάρτητη εξέλιξη των τεχνολογιών IP και οπτικών δικτύων

Peer Model



- Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης και σηματοδοσίας είναι κοινά στο οπτικό και το IP επίπεδο
- Οι IP δρομολογητές είναι ομότιμες μονάδες (peers) με τους OXCs στο IP και το οπτικό επίπεδο
- Η πληροφορία της κατάστασης του δικτύου μεταφέρεται με IGP πρωτόκολλα (OSPF, IS-IS)
- Η δρομολόγηση γίνεται από τον IP δρομολογητή άκρου
- Σηματοδοσία: η εγκατάσταση LSP γίνεται με CR-LDP ή RSVP-TE

Augmented Model

- ❑ Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης στο IP δίκτυο είναι διαφορετικά από αυτά του οπτικού δικτύου, αλλά τα δύο επίπεδα επικοινωνούν μεταξύ τους ανταλλάσσοντας πληροφορίες σχετικές με τη δρομολόγηση
- ❑ Βασικό θέμα στο εν λόγω μοντέλο αποτελεί η ανταλλαγή πληροφορίας στα UNI:
 - ⇒ Χρήση του πρωτοκόλλου BGP (Border Gateway Protocol), τροποποιημένο κατάλληλα ώστε να ανταλλάσσεται πληροφορία δρομολόγησης μεταξύ IP και οπτικού δικτύου
 - ⇒ Χρήση πρωτοκόλλων OSPF και IS-IS για την ανταλλαγή πληροφορίας στα UNI
- ❑ Συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των overlay και peer model

Έλεγχος Οπτικού Δικτύου

Έλεγχος Οπτικού Δικτύου (I)

- Το επίπεδο ελέγχου αποτελείται από τα παρακάτω τέσσερα στοιχεία:
 - ⇒ Σχήμα διευθυνσιοδότησης
 - ⇒ Δίκτυο επικοινωνίας για την ανταλλαγή πληροφορίας δρομολόγησης και σηματοδοσίας μεταξύ των κόμβων του δικτύου
 - ⇒ Μηχανισμό δρομολόγησης για την ανταλλαγή πληροφορίας δρομολόγησης και για τη λήψη αποφάσεων δρομολόγησης
 - ⇒ Μηχανισμό σηματοδοσίας για την εγκατάσταση, συντήρηση και απεγκατάσταση οπτικών συνδέσεων
- Το επίπεδο ελέγχου στα παραδοσιακά δίκτυα έχει τα ακόλουθα μειονεκτήματα:
 - × Αποκρίνεται αργά σε δυσλειτουργία του δικτύου
 - × Αποκλείει την πιθανότητα χρήσης κατανεμημένου και δυναμικού ελέγχου
 - × Δυσχεραίνει τη διασύνδεση εξοπλισμού από διαφορετικούς κατασκευαστές

Έλεγχος Οπτικού Δικτύου (II)

- Για την υλοποίηση δικτύων IP over WDM απαιτείται η οπτική υποδομή να είναι ευέλικτη, παραμετροποιήσιμη και να παρέχει μηχανισμούς προστασίας:
 - ⇒ Δυνατότητα ταχείας εγκατάστασης οπτικών μονοπατιών
 - ⇒ Υποστήριξη λειτουργιών διαχείρισης κίνησης
 - ⇒ Παροχή μηχανισμών προστασίας και αποκατάστασης
 - ⇒ Υποστήριξη διασυνδεσιμότητας δικτύων από διαφορετικούς κατασκευαστές
- Τα οπτικά δίκτυα θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν επίπεδα ελέγχου βασισμένα σε IP
 - ⇒ Υπάρχει δυνατότητα να τροποποιηθούν τα IP πρωτόκολλα δρομολόγησης και σηματοδοσίας ώστε να είναι κατάλληλα για το οπτικό επίπεδο
 - ⇒ Η χρήση ομοιόμορφου επιπέδου ελέγχου για το IP και οπτικό δίκτυο εξαλείφει την πολυπλοκότητα στον έλεγχο και τη διαχείριση υβριδικών συστημάτων
- ✓ Το επίπεδο ελέγχου του MPLS συνδυάζει το συμβατικό επίπεδο ελέγχου IP με λειτουργίες διαχείρισης κίνησης και έχει αποδειχθεί επεκτάσιμη και ευρείας εφαρμογής πλατφόρμα

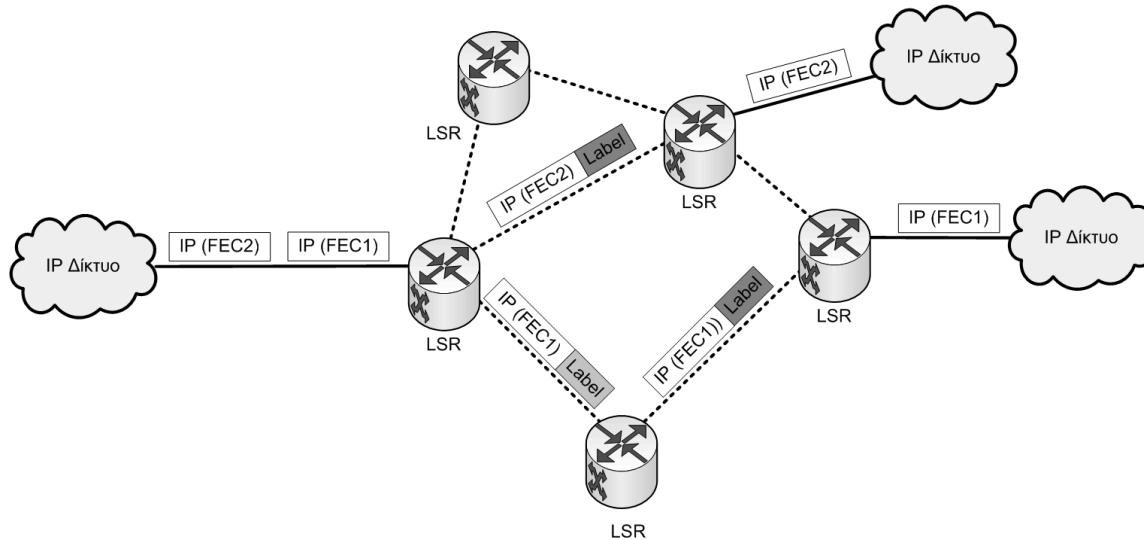
Multiprotocol Label Switching (MPLS)

Εισαγωγή

- ❑ Το MPLS προέκυψε από την ανάγκη
 - ⇒ Για βελτίωση της απόδοσης, επεκτασιμότητας και των δυνατοτήτων παροχής υπηρεσίας των IP δικτύων
 - ⇒ Για την αντιμετώπιση περιορισμών όπως η αδυναμία διαχείρισης κίνησης στα IP δίκτυα
- ❑ Το MPLS συνδυάζει την επιπέδου 3 λειτουργία δρομολόγησης με την επιπέδου 2 λειτουργία μεταγωγής
- ❑ Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης του MPLS παρέχουν υπηρεσίες με σύνδεση και χρησιμοποιούν label switched paths (LSPs) για τη μεταφορά IP πακέτων
- ❑ Το MPLS χρησιμοποιεί μηχανισμό αλλαγής ετικέτας (όπως το ATM), για την προώθηση πακέτων, ο οποίος απλοποιεί τη διαδικασία προώθησης και αυξάνει την ταχύτητά της



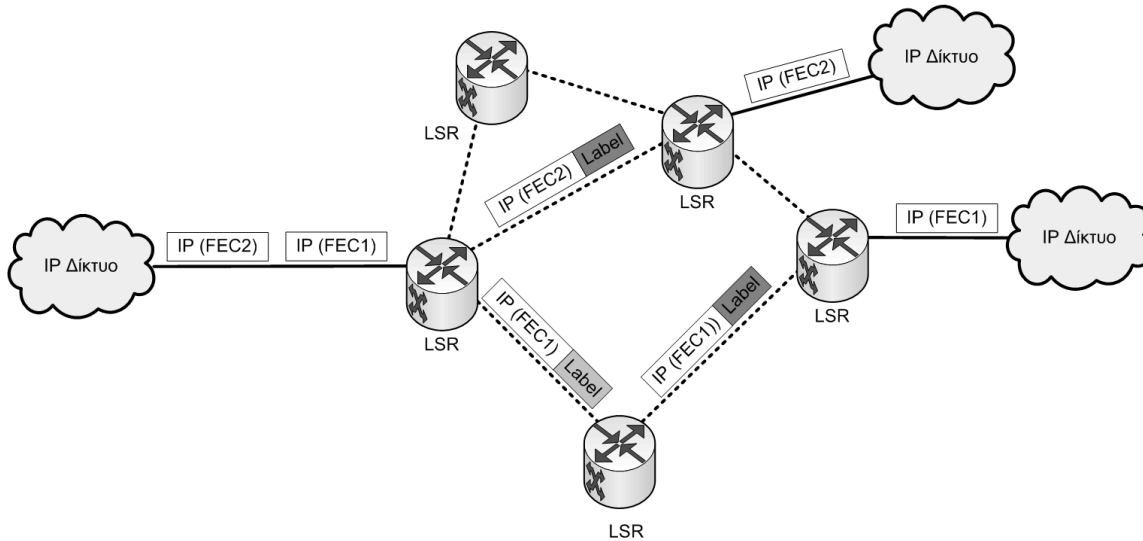
Προώθηση Πακέτων και Αλλαγή Ετικετών



- ❑ Το MPLS δίκτυο αποτελείται από διασυνδεδεμένους δρομολογητές μεταγωγής ετικέτας (Label Switched Routers - LSRs): edge-LSRs ή core-LSRs
- ❑ Τα IP πακέτα μεταφέρονται από τον ingress-LSR (αφετηρία) στον egress-LSR (προορισμού μέσω του) δικτύου MPLS με LSPs
- ❑ Στον ingress-LSR, τα πακέτα ανατίθενται σε συγκεκριμένο LSP ανάλογα με την ισοδύναμη κλάση προώθησης τους (Forward Equivalent Class - FEC): Η κλάση των πακέτων καθορίζεται από η IP διεύθυνση προορισμού και η παροχή QoS που απαιτούν



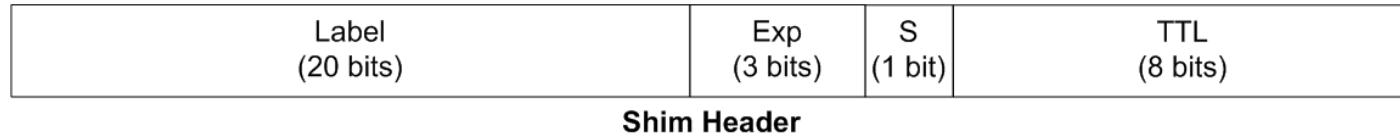
Προώθηση Πακέτων και Αλλαγή Ετικετών



- ❑ Σε κάθε FEC ανατίθεται μια ετικέτα, η οποία είναι μιας τοπικής σημασίας και μικρού μεγέθους αναγνωριστικό
- ❑ Κάθε core-LSR χρησιμοποιεί τις εισερχόμενες ετικέτες για να ανακτήσει την πληροφορία προώθησης από τον τοπικό πίνακα προώθησης ετικετών: η πληροφορία δρομολόγησης περιέχει την ετικέτα εξόδου, τη θύρα εξόδου και τη διεύθυνση του επόμενου κόμβου



Προώθηση Πακέτων και Αλλαγή Ετικετών



- Μορφή επικεφαλίδας (shim header) που χρησιμοποιείται ως ετικέτα
 - ⇒ Πεδίο ετικέτας με μέγεθος 20 bits
 - ⇒ Πειραματικό πεδίο μεγέθους 3 bits (χρησιμοποιείται για την παροχή QoS)
 - ⇒ 1 bit που υποδεικνύει αν η ετικέτα είναι η τελευταία στοίβας ετικετών (label stacking)
 - ⇒ 8-bit πεδίο time to live (TTL) για να αποφεύγεται η διάδοση των πακέτων σε βρόχους



Δρομολόγηση και Εγκατάσταση Διαδρομής

Hop-by-Hop

- ❑ Κάθε LSR αποφασίζει τον επόμενο LSR του LSP ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους
- ❑ Η απόφαση λαμβάνεται μέσω αλγορίθμου shortest-path και στοιχεία από τον πίνακα δρομολόγησης του LSR
- ❑ Οι LSR διατηρούν πίνακες δρομολόγησης με στοιχεία όπως τη δικτυακή τοπολογία και την κατάσταση των ζεύξεων
- ❑ Η ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης στους LSR γίνεται με πρωτόκολλα IGP (OSPF και IS-IS)
- ❑ Η εγκατάσταση του LSP γίνεται με το πρωτόκολλο διανομής ετικέτας (Label Distribution Protocol - LDP), το οποίο αναθέτει ετικέτες σε κάθε hop του LSP



Δρομολόγηση και Εγκατάσταση Διαδρομής

Άμεση

- ❑ Ο ingress-LSR αποφασίζει ολόκληρη τη διαδρομή του LSP, βασισμένος στην πληροφορία που διατηρεί σχετικά με τη δικτυακή τοπολογία και κατάσταση ζεύξεων
- ❑ Η εγκατάσταση του LSP και η ανάθεση ετικετών σε αυτή την περίπτωση γίνεται με χρήση δύο πρωτοκόλλων:
 - ⇒ RSVP-TE (Resource Reservation Protocol with Traffic Extensions)
 - ⇒ CR-LDP (Constraint Based LDP): παραλλαγή του LDP που υποστηρίζει και διαχείριση κίνησης
- ✓ Η άμεση εγκατάσταση δίνει τη δυνατότητα διαχείρισης κίνησης σε IP δίκτυα καθώς λαμβάνει υπόψιν
 - ⇒ Τη φυσική τοπολογία
 - ⇒ Τους διαθέσιμους δικτυακούς πόρους
 - ⇒ Πολιτικές διαχείρισης δικτύου



Διαχείριση Κίνησης (I)

- Η διαχείριση κίνησης αποσκοπεί
 - ✓ Στην εγγυημένη παροχή QoS
 - ✓ Στη βελτιωμένη αξιοποίηση των δικτυακών πόρων
 - ✓ Στην καλύτερη αποκατάσταση υπηρεσίας
- ✕ Η διαχείριση κίνησης είναι ιδιαίτερα δύσκολο έργο σε IP δίκτυα
- ✓ Το MPLS παρέχει τις παρακάτω δυνατότητες διαχείρισης κίνησης:
 1. Εύρεση τοπολογίας (topology discovery):
 - ⇒ Αποσκοπεί στην διάχυση πληροφορίας σχετικής με τη δικτυακή τοπολογία σε όλους του κόμβους του δικτύου
 - ⇒ Γίνεται με προσθήκη δυνατοτήτων διαχείρισης κίνησης στα πρωτόκολλα OSPF και IS-IS, οπότε προκύπτουν τα OSPF-TE (OSPF with Traffic Extensions) και IS-IS-TE (IS-IS with Traffic Extensions), τα οποία μεταφέρουν επιπλέον πληροφορία τοπολογίας πέραν της καταστάσεως των ζεύξεων των κόμβων



Διαχείριση Κίνησης (II)

2. Διάχυσης πληροφορίας κατάστασης (state information distribution):

- ⇒ Αποσκοπεί στην ενημέρωση των κόμβων του δικτύου σχετικά με την κατάσταση των ζεύξεων και τη διαθεσιμότητα των δικτυακών πόρων
- ⇒ Γίνεται με τα πρωτόκολλα OSPF-TE και IS-IS-TE, τα οποία μεταφέρουν επιπλέον πληροφορία για την κατάσταση του δικτύου

3. Επιλογή μονοπατιού (path selection):

- ⇒ Υπολογίζει με άμεσο τρόπο τη διαδρομή ενός LSP μεταξύ δύο LSRs
- ⇒ Γίνεται από αλγόριθμο δρομολόγησης με κριτήρια (τυπικά αλγόριθμο δρομολόγησης shortest-path με κριτήρια), ο οποίος αξιοποιεί την πληροφορία τοπολογίας και κατάστασης που διατηρείται στον Ingress-LSR

4. Διαχείριση μονοπατιού (path management):

- ⇒ Αποσκοπεί στην εγκατάσταση, συντήρηση και απεγκατάσταση των LSPs
- ⇒ Γίνεται με τα πρωτόκολλα RSVP-TE και CR-LDP



Ποιότητα Υπηρεσίας (I) - MPLS

Πλεονεκτήματα

- ❑ Οι LSRs μπορούν να προωθήσουν σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό πακέτων ανά δευτερόλεπτο (η προώθηση με βάση την ετικέτα μπορεί να γίνει εξολοκλήρου σε hardware)
- ❑ Το MPLS είναι η εισαγωγή της έννοιας των ιδεατών κυκλωμάτων (LSPs) στο IP δίκτυο (το IP υποστηρίζει μόνο μετάδοση αυτοδύναμων πακέτων)
 - ✓ Ο διαχειριστής του δικτύου έχει τη δυνατότητα να εγκαταστήσει διαδρομές με κριτήρια όπως η βελτιστοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης στο δίκτυο
 - ✓ Είναι εφικτή η ισοκατανομή της κίνησης ώστε να μην υπάρχει συμφόρηση σε τμήματα του δικτύου
 - ✓ Είναι δυνατόν να δεσμεύονται δικτυακοί πόροι (π.χ. εύρος ζώνης) κατά την εγκατάσταση μιας σύνδεσης και να παρέχονται εγγυήσεις QoS
- ❑ Ταχεία αποκατάσταση υπηρεσίας: MPLS τα πακέτα τα οποία ανήκουν σε κάποιο LSP αναδρομολογούνται ταχέως σε περίπτωση που κάποιος ενδιάμεσος(-οι) LSR τεθεί εκτός λειτουργίας

Ποιότητα Υπηρεσίας (II) - MPLS

Δρομολόγηση

- ❑ Η εγκατάσταση των LSPs το MPLS γίνεται με σκοπό τη βελτιστοποίηση αντικειμενικών κριτηρίων όπως ελάχιστη καθυστέρηση ή εγγυημένο εύρος ζώνης
- ❑ Η εγκατάσταση LSPs στο MPLS γίνεται με τα πρωτόκολλα RSVP (Resource Reservation Protocol) και CR-LDP (Label Distribution Protocol with Constrained Routing)
 - ⇒ Αμφότερα πρωτόκολλα στέλνουν μήνυμα εγκατάστασης (setup) από την αφετηρία του LSP στον προορισμό
 - ⇒ Οι ενδιάμεσοι LSR υπολογίζουν αν υπάρχουν οι διαθέσιμοι πόροι για την εγκατάσταση του LSP
 - ⇒ Αν όλοι οι LSR έχουν διαθέσιμους πόρους, ένα μήνυμα επιβεβαίωσης (acknowledgement) μεταδίδεται από τον προορισμό στην αφετηρία για να ολοκληρωθεί η εγκατάσταση σύνδεσης

Multiprotocol Lambda Switching (MPLmS)

Εισαγωγή

- Το MPLmS παρέχει κατάλληλες επεκτάσεις στο MPLS ώστε να λαμβάνονται υπ' όψιν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των οπτικών δικτύων
 - ⇒ Παρέχει εργαλεία για τη διαχείριση του εύρους ζώνης στο οπτικό επίπεδο, καθώς και για τη δυναμική παροχή και αποκατάσταση οπτικών καναλιών στο δίκτυο
 - ⇒ Αξιοποιεί το επίπεδο ελέγχου του MPLS, επομένως δεν είναι αναγκαία η υλοποίηση νέων επιπέδων ελέγχου του οπτικού δικτύου, και καθιστά δυνατή την ταχεία σχεδίαση και υλοποίηση νέων κλάσεων OXCs
 - ⇒ Απλοποιεί τη διαχείριση δικτύου, παρέχοντας κοινή σημασιολογία για τον έλεγχο και τη διαχείριση του δικτύου τόσο στο οπτικό όσο και το ηλεκτρονικό πεδίο



Σύγκριση MPLmS και MPLS (I)

Αντιστοίχιση οπτικού και ηλεκτρονικού επιπέδου

- ❑ Η οπτική ίνα μεταξύ δύο OXCs αντιστοιχεί σε μία ζεύξη στην τοπολογία του οπτικού δικτύου
- ❑ Ένα μήκος κύματος ή ένα οπτικό κανάλι αντιστοιχεί σε μια ετικέτα
- ❑ Ένα οπτικό μονοπάτι αντιστοιχεί σε ένα LSP
- ❑ Η ανάθεση μήκους κύματος ισοδυναμεί με ανάθεση ετικέτας

Πρωτόκολλα

- ❑ Το MPLmS χρησιμοποιεί τα IGP πρωτόκολλα με διαχείριση κίνησης OSPF-TE και IS-IS-TE με επιπλέον επεκτάσεις, ώστε να ανταλλάσσεται πληροφορία σχετική με την τοπολογία του οπτικού δικτύου και τη διαθεσιμότητα μηκών κύματος
- ❑ Το MPLmS χρησιμοποιεί πρωτόκολλα σηματοδότησης όπως το RSVP-TE για την εγκατάσταση οπτικών μονοπατιών



Σύγκριση MPLmS και MPLS (II)

Διαφορές

- Δεν υπάρχει λειτουργία συγχώνευσης ετικέτα στο οπτικό πεδίο, δηλαδή δεν υπάρχει δυνατότητα να συγχωνευθούν περισσότερα του ενός μήκη κύματος
- Δεν υφίσταται δυνατότητα δημιουργίας στοίβας ετικετών στο οπτικό επίπεδο, καθώς OXCs δε μπορούν να εισάγουν (push) και εξάγουν (pop) μήκη κύματος με την υπάρχουσα οπτική τεχνολογία
- Οι LSR υποστηρίζουν αυθαίρετο αριθμό από LSPs με αυθαίρετο granularity όσον αφορά το εύρος ζώνης του καθενός - αντίθετα οι OXCs να υποστηρίζουν μικρό αριθμό από οπτικά μονοπάτια με εύρος ζώνης που αντιστοιχεί σε OC-48 ή OC-192



Επέκταση Πρωτοκόλλων

- ❑ Το MPLmS υποστηρίζει τόσο hop-by-hop δρομολόγηση όσο και άμεση δρομολόγηση
- ❑ Στη hop-by-hop δρομολόγηση η ενημέρωση της πληροφορίας σχετικά με μεταβολές του δικτύου γίνεται με τα IGP πρωτόκολλα OSPF και IS-IS
- ❑ Στην άμεση δρομολόγηση κριτήρια όπως η τοπολογία του δικτύου και η διαθεσιμότητα πόρων γνωστοποιούνται από κάθε κόμβο του δικτύου στους υπόλοιπους με τα τροποποιημένα πρωτόκολλα OSPF-TE και IS-IS-TE
- ❑ Το MPLmS είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσει τα πρωτόκολλα σηματοδότησης RSVP-TE και CR-LDP για την εγκατάσταση, συντήρηση και απεγκατάσταση άμεσων οπτικών μονοπατιών: αμφότερα υποστηρίζουν δρομολόγηση με κριτήρια για την εγκατάσταση LSPs
- ❑ Η υλοποίηση του MPLmS απαιτεί την δημιουργία μηχανισμού επικοινωνίας πληροφορίας ελέγχου μεταξύ OXCs καθώς και μεταξύ δρομολογητών και OXCs
 - ⇒ In-band μηχανισμός: χρησιμοποιεί το κανάλι που μεταφέρονται τα δεδομένα
 - ⇒ Out-band μηχανισμός: χρησιμοποιεί ξεχωριστό προκαθορισμένο κανάλι



Generalized Multiprotocol Label Switching (G-MPLS)

Εισαγωγή

- ❑ Το G-MPLS γενικεύει το MPLS, υποστηρίζοντας συσκευές οι οποίες εκτός από μεταγωγή πακέτου επιτελούν μεταγωγή στο πεδίο του χρόνου, του μήκους κύματος και του χώρου
- ❑ Το G-MPLS υποστηρίζει πρότυπα μεταγωγής, όπως μεταγωγή πακέτου, μεταγωγή χρονοσχισμών, μεταγωγή μήκους κύματος και μεταγωγή οπτικής ίνας
- ❑ Η υλοποίηση του G-MPLS απαιτεί την επέκταση του MPLS :
 - ⇒ Επέκταση των OSPF και IS-IS πρωτοκόλλων δρομολόγησης ώστε να μεταφέρουν πληροφορίας σχετικά με τους πόρους και τους περιορισμούς του οπτικού δικτύου
 - ⇒ Επέκταση των RSVP-TE και CR-LDP πρωτοκόλλων σηματοδότησης ώστε να επιτρέπεται σε LSPs να εγκαθίστανται άμεσα σε οπτικά δίκτυα
 - ⇒ Εισαγωγή εννοιών όπως ιεραρχία προώθησης, ομαδοποίηση ζεύξεων και μη-αριθμημένες ζεύξεις για την αύξηση της επεκτασιμότητας της δρομολόγησης στα οπτικά δίκτυα
 - ⇒ Ανάπτυξη νέου πρωτοκόλλου διαχείρισης ζεύξεων



Ιεραρχία Προώθησης (I) - Διεπαφές

- Η έννοια των LSRs του MPLS έχει επεκταθεί στο G-MPLS ώστε να περιλαμβάνει νέου τύπου LSRs (διεπαφές-interfaces LSR)
 - ⇒ Διεπαφές μεταγωγής πακέτου (Packet Switch Capable -PSCs): Οι διεπαφές προωθούν τα πακέτα με βάση την επικεφαλίδα τους, όπως ακριβώς οι LSRs μεταγουν με βάση το shim header και οι ATM μεταγωγείς μεταγουν με βάση την ATM επικεφαλίδα
 - ⇒ Διεπαφές πολυπλεξίας χρόνου (Time Division Multiplex Capable - TDM): Οι διεπαφές προωθούν τα δεδομένα με βάση χρονοσχισμές στις οποίες βρίσκονται, όμοια με SONET/SDH μεταγωγείς
 - ⇒ Διεπαφές μήκους κύματος (Lambda Switch Capable - LSC): Οι διεπαφές προωθούν τα δεδομένα με βάση το μήκος κύματος τους, όπως ακριβώς οι OXCs που λειτουργούν σε επίπεδο μεταγωγής ενός μήκους κύματος ή μιας μπάντας μηκών κύματος
 - ⇒ Διεπαφές μεταγωγής ίνας (Fiber Switch Capable - FSC): Οι διεπαφές προωθούν τα δεδομένα με βάση την ίνα που τα μεταφέρει, όπως οι OXCs που λειτουργούν σε επίπεδο οπτικής ίνας ή δέσμης οπτικών ινών



Ιεραρχία Προώθησης (II)

- ❑ Ένα G-MPLS LSP μπορεί να εγκατασταθεί μεταξύ LSP διεπαφών του ίδιου τύπου, ενώ μεταξύ διεπαφών διαφορετικού τύπου υφίσταται ιεραρχία προώθησης
- ❑ Ιεραρχία προώθησης (ή ιεραρχίας LSP): Ένα LSP μπορεί να βρίσκεται εντός άλλου διαφορετικού τύπου LSP
- ❑ Στην κορυφή της ιεραρχίας βρίσκονται οι διεπαφές FSC, και ακολουθούν κατά σειρά προτεραιότητας οι διεπαφές LSC, TDM και PSC.
 - ⇒ Ένα LSP μεταξύ διεπαφών PSC είναι δυνατόν να βρίσκεται μαζί με άλλα όμοια LSPs εντός LSP μεταξύ διεπαφών TDM.
 - ⇒ TDM LSPs πολυπλέκονται σε LSC LSPs
 - ⇒ LSC LSPs πολυπλέκονται σε FSC LSPs
- ✓ Η ιεραρχία LSP αντιμετωπίζει περιορισμούς του MPLS: π.χ. ένας αριθμός MPLS LSPs μπορούν να συγκεντρωθούν σε κοινό οπτικό LSP (π.χ. οπτικό μονοπάτι), γεγονός το οποίο μειώνει τον αριθμό των μηκών κύματος του δικτύου
- ⇒ Τα πρωτόκολλα OSPF, IS-IS, RSVP-TE και CR-LDP θα πρέπει επίσης να επεκταθούν για να υποστηρίξουν πλήρως την ιεραρχία LSP



Ομαδοποίηση Ζεύξεων

- ✘ Ο αριθμός φυσικών ζεύξεων στο οπτικό δίκτυο θα είναι ιδιαίτερα μεγάλος, οπότε η πληροφορία της κατάστασης των ζεύξεων θα είναι αντίστοιχου μεγέθους
- ✓ Η ομαδοποίηση ζεύξεων συγκεντρώνει τα χαρακτηριστικά πολλών παράλληλων ζεύξεων μεταξύ γειτονικών κόμβων, και αναθέτει τα συγκεντρωμένα χαρακτηριστικά σε μία λογική ζεύξη
- Η λογική ζεύξη καλείται δέσμη (bundled link), ενώ οι φυσικές ζεύξεις καλούνται στοιχεία (component links)
- Στο G-MPLS απαιτείται όλα τα component links σε κάποιο bundled link να είναι μεταξύ κοινού ζεύγους κόμβων και να έχουν κοινά χαρακτηριστικά, όπως τύπος ζεύξης (π.χ. point-to-point), είδος πόρων (π.χ. οπτικές ίνες, μήκη κύματος ή TDM κανάλια), και τις ίδιες δυνατότητες πολυπλεξίας: ο περιορισμός χρειάζεται ώστε να περιοριστεί η απώλεια πληροφορίας κατά την ομαδοποίηση
- ⇒ Οι bundled links και είναι ήδη ορισμένες στα OSPF και IS-IS, αλλά το πρωτόκολλο σηματοδότησης απαιτεί τη δυνατότητα διαχωρισμού των component links



Μη-Αριθμημένες Ζεύξεις

- ✘ Στο MPLS δίκτυο όλες οι ζεύξεις έχουν διευθύνσεις IP: η ανάθεση IP διευθύνσεων σε κάθε ζεύξη είναι μη πρακτική λόγω του περιορισμένου αριθμού IP διευθύνσεων
- ✓ Το G-MPLS αντιμετωπίζει το πρόβλημα με τη χρήση μη-αριθμημένων ζεύξεων: αντί για IP η ζεύξη αναγνωρίζεται από ένα σύνολο της μορφής {αναγνωριστικό δρομολογητή, αριθμός ζεύξης}
- Η συγκεκριμένη προσέγγιση καθιστά εφικτή τη μείωση των IP διευθύνσεων στο δίκτυο, αλλά και τη διαδικασία διευθυνσιοδότησης
- ⇒ Τα πρωτόκολλα OSP-TE και IS-IS-TE έχουν αυτή τη δυνατότητα να υποστηρίζουν μη-αριθμημένες ζεύξεις
- ⇒ Είναι αναγκαία η επέκταση προς αυτή την κατεύθυνση των RSVP-TE και CR-LDP



Πρωτόκολλο Διαχείρισης Ζεύξης

- ✓ Η διαχείριση ζεύξης είναι χρήσιμη για την παροχή ζεύξεων και για τη συγκεκριμενοποίηση βλαβών μεταξύ γειτονικών κόμβων
- ❑ Στο G-MPLS υλοποιείται το πρωτόκολλο διαχείρισης LMP (Link Management Protocol) για να παρέχει τέσσερις βασικές λειτουργίες
 - ❑ Control Channel Management: Η λειτουργία χρησιμοποιείται για να εγκατασταθεί και διατηρηθεί η συνδεσιμότητα μεταξύ γειτονικών κόμβων
 - ❑ Link property correlation: Η λειτουργία συσχετίζει ιδιότητες ζεύξεων (αναγνωριστικά ζεύξης, μηχανισμοί προστασίας και προτεραιότητες) μεταξύ γειτονικών κόμβων
 - ❑ Link connectivity verification: Χρησιμοποιείται για να πιστοποιηθεί η συνδεσιμότητα των ζεύξεων δεδομένων (π.χ. ζεύξεις στοιχεία σε δέσμη) καθώς και για την ανταλλαγή των αναγνωριστικών ζεύξης που χρησιμοποιούνται από τα πρωτόκολλα RSVP-TE και CR-LDP
 - ❑ Fault localization: Η λειτουργία χρησιμοποιείται για τον άμεσο εντοπισμό βλαβών



Προστασία Δικτύου IP over WDM

Προστασία σε WDM Δίκτυα (I)

- Η προστασία σε WDM δίκτυα γίνεται με δύο βασικούς μηχανισμούς:
 - ⇒ Στατική προστασία: κατά την εγκατάσταση κάποιας σύνδεσης δεσμεύονται επιπλέον δικτυακοί πόροι που χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση υπηρεσίας όταν αυτή διακοπεί λόγω δικτυακής βλάβης στην πρωτεύουσα σύνδεση
 - ⇒ Δυναμική αποκατάσταση: δε δεσμεύονται επιπλέον δικτυακοί πόροι, αλλά το δίκτυο αναζητά διαθέσιμους πόρους μετά την εμφάνιση βλάβης για την αποκατάσταση των συνδέσεων



Προστασία σε WDM Δίκτυα (II)

Στατική Προστασία

- ❑ Προστασία μονοπατιού (path protection): Ένα υποστηρικτικό (backup) από-άκρο-σε-άκρο μονοπάτι δεσμεύεται για το πρωτεύον μονοπάτι κατά τη σύνδεσης
 - ❑ Αποκλειστική προστασία μονοπατιού (dedicated path protection): Το μήκος κύματος που δεσμεύεται σε κάθε ζεύξη του backup μονοπατιού παρέχεται αποκλειστικά και μόνο σε αυτό
 - ❑ Διαμοιρασμένη προστασία μονοπατιού (shared path protection): Το μήκος κύματος που δεσμεύεται σε κάθε ζεύξη του backup μονοπατιού διαμοιράζεται μεταξύ περισσότερων του ενός backup μονοπατιών
- ❑ Προστασία ζεύξης (link protection): Ένα υποστηρικτικό μονοπάτι δεσμεύεται για κάθε ζεύξη του πρωτεύοντος μονοπατιού κατά την εγκατάσταση της σύνδεσης
 - ❑ Αποκλειστική προστασία ζεύξης (dedicated link protection): Το δεσμευμένο μήκος κύματος παρέχεται αποκλειστικά στο συγκεκριμένο backup μονοπάτι
 - ❑ Διαμοιρασμένη προστασία ζεύξης (shared link protection): Το δεσμευμένο μήκος κύματος παρέχεται σε περισσότερα του ενός backup μονοπάτια



Προστασία σε WDM Δίκτυα (III)

Δυναμική Προστασία

- Αποκατάσταση μονοπατιού (path restoration): Οι κόμβοι αφετηρίας και προορισμού της σύνδεσης που εμφανίστηκε η βλάβη ψάχνουν δυναμικά για από-άκρο-σε-άκρο εναλλακτικό μονοπάτι
- Αποκατάσταση ζεύξης (link restoration): Οι τερματικοί κόμβοι της ζεύξης στην οποία εμφανίστηκε η βλάβη αναζητούν εναλλακτική διαδρομή γύρω από τη βλάβη για όλες τις διερχόμενες συνδέσεις



Προστασία σε WDM Δίκτυα (IV)

Σύγκριση

- ❑ Η στατική προστασία παρέχει ταχεία αποκατάσταση υπηρεσίας (50 ms) και μη αποδοτική χρήση των δικτυακών πόρων, ενώ η δυναμική αποκατάσταση χρησιμοποιεί αποδοτικά τους δικτυακούς πόρους αλλά παρέχει αργή αποκατάσταση υπηρεσίας (200 ms)
- ❑ Η προστασία και αποκατάσταση ζεύξης παρέχουν γρηγορότερη αποκατάσταση, ενώ η προστασία και αποκατάσταση μονοπατιού παρέχουν καλύτερη αξιοποίηση των δικτυακών πόρων
- ❑ Η αποκλειστική προστασία παρέχει γρήγορη αποκατάσταση υπηρεσίας για κάθε βλάβη και είναι μη αποδοτική στη χρήση πόρων, ενώ η διαμοιρασμένη προστασία είναι πιο αποδοτική και δεν μπορεί να διαχειριστεί βλάβες σε πρωτεύοντα μονοπάτια οι οποίες συμβαίνουν ταυτόχρονα και χρησιμοποιούν το ίδιο backup μονοπάτι



Προστασία σε IP Δίκτυα (I)

Προστασία IP

- ❑ Οποιαδήποτε βλάβη στο δίκτυο σημαίνει αλλαγή στην τοπολογία
- ❑ Η αλλαγή τοπολογίας μεταφέρεται σε όλους τους IP δρομολογητές με τη μέθοδο της πλημμύρας
- ❑ Κάθε δρομολογητής υπολογίζει νέα μονοπάτια προς τους κόμβους που επηρεάζονται από τη βλάβη και ανανεώνει τον πίνακα δρομολόγησης
- ⇒ Η προστασία του δικτύου γίνεται με την αναδρομολόγηση της κίνησης και είναι εν γένει best-effort
- ✓ Η προστασία δικτύου στο IP επίπεδο αποκαθιστά βέλτιστες (ελάχιστου κόστους) διαδρομές στο δίκτυο
- ✗ Η προστασία δικτύου στο IP επίπεδο είναι αργή (δεκάδες δευτερόλεπτα μέχρι μερικά λεπτά), καθώς απαιτείται αρκετός χρόνος για για την ενημέρωση όλων των κόμβων σχετικά με την αλλαγή τοπολογίας



Προστασία σε IP Δίκτυα (II)

Προστασία IP/MPLS

- ✓ Το MPLS δίνει τη δυνατότητα πιο γρήγορης αποκατάστασης υπηρεσίας στα IP δίκτυα χρησιμοποιώντας ταχεία άμεση επαναδρομολόγηση των LSPs
- ❑ Οι μηχανισμοί προστασίας του IP/MPLS χωρίζονται σε μηχανισμούς προστασίας (50-100 ms) και αποκατάστασης (εκατοντάδες ms)
- ❑ Η προστασία όσο και η αποκατάσταση είναι δυνατόν να παρέχονται σε τοπική και καθολική βάση



Πολυεπίπεδη Προστασία (I)

- Στα δίκτυα IP over WDM οι δυνατότητες προστασίας και αποκατάστασης παρέχονται από αμφότερα τα επίπεδα IP/MPLS και WDM:
 - ⇒ Το επίπεδο IP/MPLS παρέχει προστασία σε επίπεδο πακέτου ή LSP, όμως η αποκατάσταση υπηρεσίας είναι αργή και μη αποδοτική, ενώ το IP/MPLS δεν έχει τη δυνατότητα ανίχνευσης βλάβης σε επίπεδο κόμβου ή οπτικής ίνας
 - ⇒ Το WDM επίπεδο παρέχει προστασία μόνο σε επίπεδο μήκους κύματος ή ίνας, αλλά η αποκατάσταση είναι ταχεία και αποδοτική
- Οι βλάβες σε οπτικό επίπεδο αποκαθιστώνται σε επίπεδο WDM ή IP/MPLS, ενώ οι IP/MPLS βλάβες αποκαθιστώνται μόνο σε επίπεδο IP/MPLS
- Υπάρχουν δύο βασικές στρατηγικές για την αντιμετώπιση βλαβών στο φυσικό επίπεδο με χρήση των IP/MPLS και WDM επιπέδων: η παράλληλη και η σειριακή



Πολυεπίπεδη Προστασία (II)

Παράλληλη Προστασία

- Η διαδικασία αποκατάστασης ενεργοποιείται σε αμφότερα τα επίπεδα
- ✓ Η αποκατάσταση γίνεται ταχύτερα από το WDM επίπεδο, οπότε δεν είναι απαραίτητο να ξεκινήσει η διαδικασία αποκατάστασης από το IP/MPLS αν το WDM έχει τη δυνατότητα αποκατάστασης
- ✗ Η παράλληλη στρατηγική είναι δύσκολο να συντονιστεί και υπάρχει ενδεχόμενο να οδηγήσει σε μη αποδοτική αξιοποίηση του δικτύου ή/και αποτυχία στην αποκατάσταση

Σειριακή Προστασία

- Η διαδικασία αποκατάστασης ξεκινά σειριακά μεταξύ των επιπέδων
- ✓ Η πολυπλοκότητα του ελέγχου είναι μικρότερη από την παράλληλη στρατηγική
- ✗ Βασικό πρόβλημα είναι ο συντονισμός μεταξύ επιπέδων



Πολυεπίπεδη Προστασία (III)

Συντονισμός

- ❑ Χρησιμοποιείται μετρητής καθυστέρησης (hold-off timer) για να καθορίσει την απόσταση μεταξύ των χρονικών στιγμών έναρξης των διαδικασιών αποκατάστασης στα δύο επίπεδα
- ❑ Ο μετρητής παρέχει επαρκές χρονικό διάστημα ώστε η αποκατάσταση από το ένα επίπεδο να έχει αποτέλεσμα και να αποφεύγεται η παράλληλη αποκατάσταση
- ❑ Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για το συντονισμό της πολυεπίπεδης προστασίας:
 - ⇒ Bottom-up: Η διαδικασία αποκατάστασης ξεκινά από το WDM επίπεδο και αν το WDM επίπεδο δεν αποκαταστήσει τη βλάβη μέχρι να εκπνεύσει ο timer, τότε ενημερώνεται το IP/MPLS επίπεδο, το οποίο εκκινεί τη δική του διαδικασία αποκατάστασης
 - ⇒ Top-down: Το WDM επίπεδο ανιχνεύει τη βλάβη και αμέσως ενημερώνει το IP/MPLS επίπεδο. Αν το IP/MPLS επίπεδο δεν καταφέρει να αντιμετωπίσει τη βλάβη μέχρι να εκπνεύσει ο timer, τότε το WDM επίπεδο αναλαμβάνει εκκινώντας τη δική του διαδικασία αποκατάστασης



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Βλάχος Κυριάκος. «Οπτικά Δίκτυα Επικοινωνιών. IP over WDM». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Όλα τα σχήματα έχουν δημιουργηθεί από τον κ. Βλάχο Κυριάκο, εκτός αν αναγράφεται διαφορετικά. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1114/index.php>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

