



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Τηλεπικοινωνιακά Ψηφιακά Δίκτυα

Ενότητα 8: Τεχνολογία Ethernet και τηλεφωνία IP

Βαρουτάς Δημήτρης

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών



IP over WDM Technologies Multiprotocol Label Switching

Γ. Νεοκοσμίδης & Δ. Βαρουτάς

Σύγχρονο Οπτικό Δίκτυο **Synchronous Optical NETWORK**

- ▶ Προτάθηκε από Bellcore, ANSI και ITU-T
- ▶ Είναι η Αμερικάνικη έκδοση της Σύγχρονης Ψηφιακής Ιεραρχίας (SDH) με την οποία είναι συμβατή
- ▶ Αποτελεί μια οικογένεια ρυθμών και συντακτικών δομών για την πληροφορία που ρέει στις διεπαφές των συστημάτων μετάδοσης οπτικών ινών
- ▶ Το SONET το κυρίαρχο πρότυπο για μεταδόσεις μεγάλων αποστάσεων σε οπτικά δίκτυα
- ▶ Το SONET ασχολείται τόσο με το πρόβλημα της πλαισίωσης όσο και με το πρόβλημα της κωδικοποίησης





Πλεονεκτήματα του SONET

- ▶ Υποστηρίζει ρυθμούς από 51.84 Mbps ως 2.488 Gbps και διευρύνεται μέχρι τα 13 Gbps → Δυνατότητα παροχής μελλοντικών υπηρεσιών ευρείας ζώνης
- ▶ Εύκολη πολυπλεξία και αποπολυπλεξία των καναλιών.
- ▶ Εισαγωγή και απομάστευση καναλιών χαμηλότερου ρυθμού μετάδοσης χωρίς την ανάγκη συνολικής πολυπλεξίας και αποπολυπλεξίας.
- ▶ Αυξημένες δυνατότητες διαχείρισης και ελέγχου του δικτύου.
- ▶ Εύκολη επέκταση και αναβάθμιση σε υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης.
- ▶ Διασφάλιση της απρόσκοπτης λειτουργίας του δικτύου (ανίχνευση σφαλμάτων, παρακολούθηση επιδόσεων κ.α.)
- ▶ Συμβατότητα με υπάρχοντα συστήματα PDH.
- ▶ Διαλειτουργικότητα Αμερικανικών και Ευρωπαϊκών συστημάτων
- ▶ Συνεργάζεται με τις επερχόμενες τεχνολογίες όπως το ATM → Τεχνολογία μετάδοσης για το παγκόσμιο επικοινωνιακό δίκτυο



Ρυθμοί Μετάδοσης του SONET

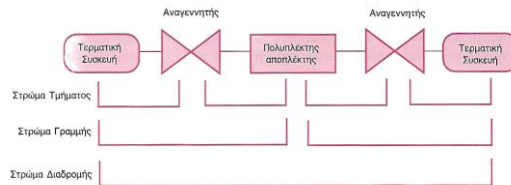
- ▶ Ο βασικός ρυθμός για το SONET είναι 51.84 Mbps
- ▶ Το επίπεδο αυτό ιεραρχίας από πλευράς ηλεκτρικού σήματος ονομάζεται STS-1 (Synchronous Transport Signal level 1) ενώ από πλευράς οπτικού σήματος ονομάζεται OC-1 (Optical Carrier level 1)

ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ SONET - SDH				
SONET		ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ (Mb/s)	SDH	
ΕΠΙΠΕΔΟ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ		ΕΠΙΠΕΔΟ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ
STS-1	OC-1	51,840		
STS-3	OC-3	155,520	1	STM-1
STS-9	OC-9	466,560		
STS-12	OC-12	622,080	4	STM-4
STS-18	OC-18	933,120		
STS-24	OC-24	1244,160		
STS-36	OC-36	1866,240		
STS-48	OC-48	2488,320	16	STM-16



Ιεραρχία Στρωμάτων του SONET

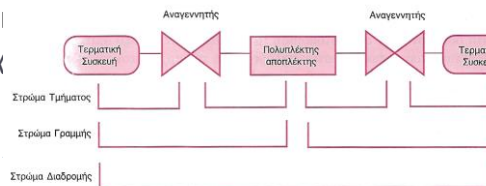
- ▶ **Φυσικό Στρώμα:** Αναλαμβάνει τη μετάδοση ηλεκτρικών και οπτικών σημάτων στο φυσικό μέσο
 - ▶ Ασχολείται με θέματα όπως οι μορφή των παλμών, τα επίπεδα ισχύος και ο κώδικας γραμμής
 - ▶ Δεν υπάρχει overhead που να σχετίζεται με αυτό το στρώμα
- ▶ **Στρώμα Τμήματος:** Είναι υπεύθυνο για την αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ στοιχείων δικτύου του SONET
 - ▶ Πληροφορίες ελέγχου: Πεδία πλαισίωσης, αναδιάταξη της σειράς των δυαδικών ψηφίων, έλεγχος λαθών



Ιεραρχία Στρωμάτων του SONET

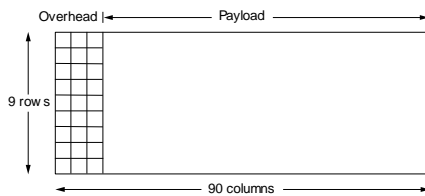
- ▶ **Στρώμα Γραμμής:** Είναι υπεύθυνο για την αξιόπιστη μεταφορά πληροφορίας μεταξύ συσκευών τερματισμού γραμμής SONET
 - ▶ Στις συσκευές τερματισμού λαμβάνει χώρα η πολυπλεξία και αποπολυπλεξία των σημάτων SONET
 - ▶ Παρέχονται λειτουργίες συγχρονισμού, πολυπλεξίας και αυτόματης προστασίας
 - ▶ Προβλέπεται η ενσωμάτωση καναλιών ελέγχου λειτουργίας → Ενοποιημένη διαχείριση δικτύου
- ▶ **Στρώμα Διαδρομής:** Στο στρώμα αυτό τερματίζεται η από άκρο σε άκρο

- ▶ Αντιστοιχία γραμμής

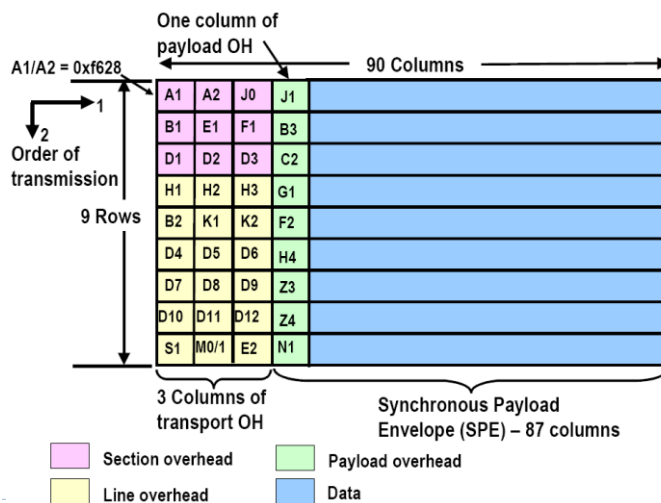


Το Βασικό Πλαίσιο του SONET – STS-1

- ▶ Το πλαίσιο STS-1 έχει διάρκεια 125μsec
- ▶ Ο ρυθμός του πλαισίου STS-1 είναι 51.84 Mbps
- ▶ Η δομή του πλαισίου STS-1 σχεδιάστηκε ώστε να μπορεί να μεταφέρει τουλάχιστον ένα σήμα χαμηλότερου ρυθμού DS3 των 44.736 Mbps
- ▶ Η δομή του πλαισίου STS-1 παριστάνεται από μια μήτρα από 810 bytes
- ▶ Κάθε byte αντιστοιχεί σε ένα κανάλι των 51.84/810 Mbps = 64 Kbps



Το Βασικό Πλαίσιο του SONET – STS-1

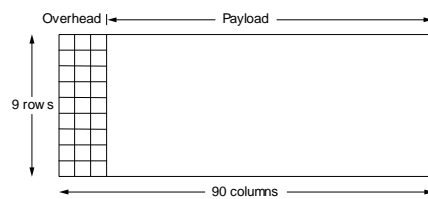


Το Βασικό Πλαίσιο του SONET – STS-1

- ▶ Δομή πλαισίου STS-1
 - ▶ Επικεφαλίδα μεταφοράς (Transport Overhead – TOH)
 - ▶ Επικεφαλίδα Τμήματος (Section Overhead – SOH)
 - ▶ Επικεφαλίδα Γραμμής
 - ▶ Σύγχρονος φάκελος περιεχομένου (Synchronous Payload Envelope – SPE)
- ▶ Η δομή της επικεφαλίδας επιτρέπει
 - ▶ επιλεκτική ανά στρώμα πρόσβαση και
 - ▶ επεξεργασία μόνο εκείνης της πληροφορίας που είναι απόλυτα απαραίτητη για τις λειτουργίες του συγκεκριμένου στρώματος
- ▶ Απλοποίηση του σχεδιασμού ορισμένων συσκευών του δικτύου
 - ▶ Δεν χρειάζεται όλες οι συσκευές να επεξεργάζονται όλη την επικεφαλίδα

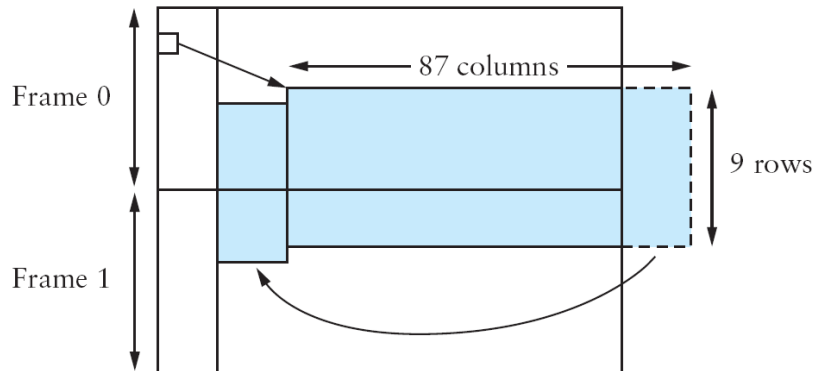
Το Βασικό Πλαίσιο του SONET – STS-1

- ▶ Τα δύο πρώτα 2 bytes περιέχουν μια ειδικό μοτίβο bits, επιτρέποντας στο δέκτη να προσδιορίζει την αρχή του πλαισίου
- ▶ Ο δέκτης ψάχνει για αυτό το μοτίβο επαναληπτικά με την ελπίδα να το δει να εμφανίζεται κάθε 810 bytes
 - ▶ Κάθε πλαίσιο έχει μέγεθος $9 \times 90 = 810$ bytes





Διαφορά Φάσης Μεταξύ Πλαισίων

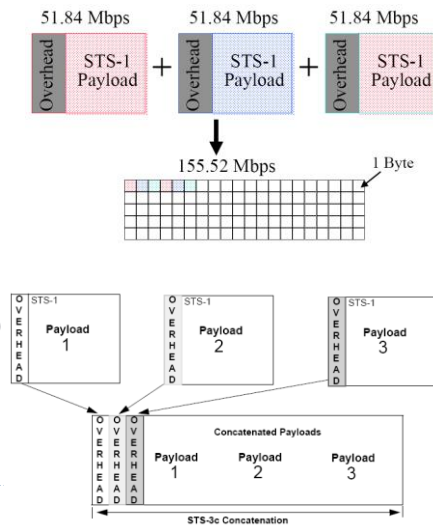


Χαρακτηριστικά του SONET

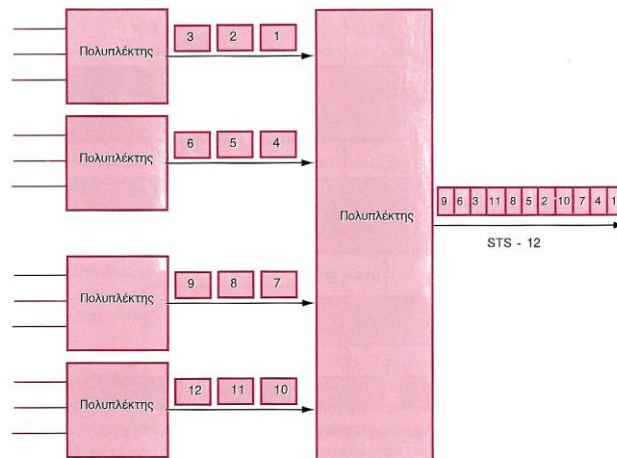
- ▶ Χρησιμοποιεί NRZ, αλλά με διαπλοκή (scramble) με σκοπό την αύξηση του πλήθους των μεταβάσεων
- ▶ STS-1 \leftrightarrow 810bytes \rightarrow STS-3 \leftrightarrow $3 \times 810 = 2430$ bytes
- ▶ Το SONET σχετίζεται και με την πολυπλεξία ζεύξεων χαμηλότερου ρυθμού σε ζεύξεις υψηλότερου ρυθμού
- ▶ Ένα πλαίσιο SONET μπορεί να περιέχει υπο-πλαίσια για πολλαπλά κανάλια χαμηλότερου ρυθμού

Πολυπλεξία στο SONET

- ▶ Τα bytes από το αρχικό πλαίσιο διαπλέκονται (τα πλαίσια χαμηλού ρυθμού είναι ευδιάκριτα και μπορούν να αποπολυπλεχθούν)
- ▶ Concatenation: Το φορτίο των αρχικών πλαισίων ενώνεται με σκοπό να δημιουργηθεί ένα μεγάλο ενιαίο φορτίο
 - ▶ Παροχή υπηρεσιών υψηλού εύρους ζώνης (ATM)
 - ▶ Απαιτούν μοναδικό περιεχόμενο σε έναν δεδομένο ρυθμό που είναι πολλαπλάσιο του STS-1
 - ▶ Οι δύο βασικοί ρυθμοί του B-ISDN UNI των 155.52 Mbps και 622.08 Mbps επιτυγχάνονται με συσσωρευμένα σήματα STS-3c και STS-12c



Πολυπλεξία Διαπλοκής σε 2 Επίπεδα





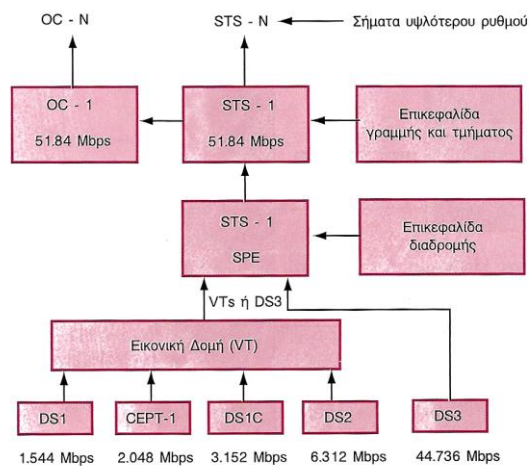
Πολυπλεξία Σημάτων με Ρυθμό Μικρότερο του Βασικού

- ▶ Το SONET παρέχει 4 τύπους Εικονικών Δομών (Virtual Tributaries, VT)
- ▶ Μέσω των VT καθίσταται δυνατή η μεταγωγή σημάτων με ρυθμό χαμηλότερο του βασικού

Εικονική Δομή	Ρυθμός (Mbps)	Σήμα	Ρυθμός Σήματος Mbps
VT1.5	1,728	DS1	1,544
VT2	2,304	CEPT-1	2,048
VT3	3,456	DS1C	3,152
VT6	6,912	DS2	6,312



Πολυπλεξία Σημάτων με Ρυθμό Μικρότερο του Βασικού





Πολυπλεξία Σημάτων με Ρυθμό Μικρότερο του Βασικού

- ▶ Κάθε στήλη ενός STS-1 παρέχει ένα ρυθμό των 0,576 Mbps (9 bytes των 64Kbps)
- ▶ Για να μεταφερθεί ένα σήμα DS2 των 6.312 Mbps απαιτείται μια εικονική δομή VT6 των 12 στηλών του STS-1 → 6,912 Mbps
- ▶ Για το DS1C απαιτείται μια VT3 των 6 στηλών
- ▶ Για το CEPT-1 μια VT2 των 4 στηλών
- ▶ Για το DS-1 μια VT1.5 των 3 στηλών
- ▶ Το ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιο των αριθμών 3, 4, 6 και 12 είναι το 12 →
 - ▶ Ο αριθμός στηλών ενός πλαισίου STS-1 πρέπει να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του 12 αν θέλουμε να μεταφέρει συνδυασμούς των σημάτων αυτών



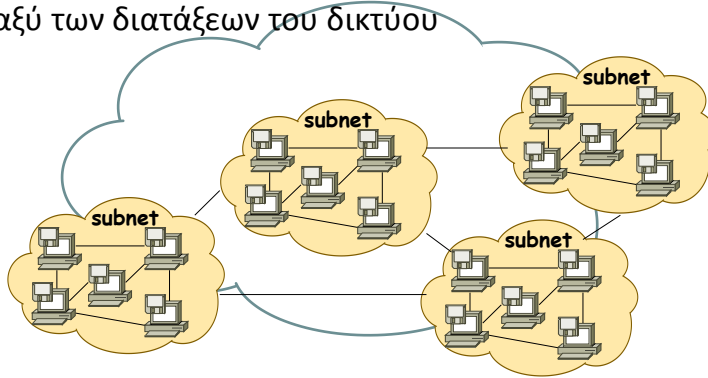
Πολυπλεξία Σημάτων με Ρυθμό Μικρότερο του Βασικού

- ▶ Για τη μεταφορά και του DS3 οδηγούμαστε στον αριθμό $7 \times 12 = 84$
 - ▶ Σε αυτόν πρέπει να προσθέσουμε 1 στήλη για την επικεφαλίδα μονοπατιού και 3 στήλες για αυτήν της μεταφοράς
 - ▶ Οι 2 στήλες που απομένουν δεσμεύονται για μελλοντική επέκταση του πλαισίου
- ▶ Το SPE οργανώνεται σε 7 ομάδες των 12 στηλών με διαπλοκή bytes
- ▶ Κάθε ομάδα αναλαμβάνει να μεταφέρει μόνο ένα τύπο Εικονικής Δομής
- ▶ Ένα σήμα DS3 χρησιμοποιεί και τις 7 ομάδες του SPE
- ▶ Μια ομάδα μπορεί να μεταφέρει με πολυπλεξία διαπλοκής bytes 4 σήματα DS1 (VT1.5), 3 σήματα DS1C (VT3), 2 σήματα CEPT (VT2) ή 1 σήμα DS2 (VT6)

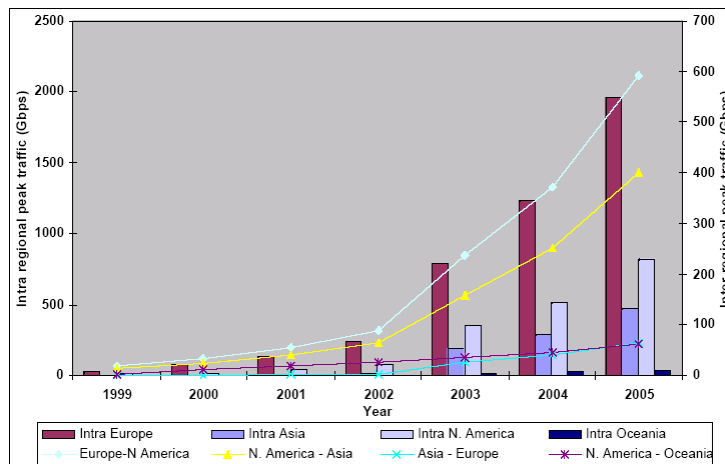


Τι είναι το IP;

- ▶ Το IP είναι ένα πρωτόκολλο που είναι βασικά υπεύθυνο για την διευθυνσιοδότηση και την δρομολόγηση των πακέτων μεταξύ των διατάξεων του δικτύου

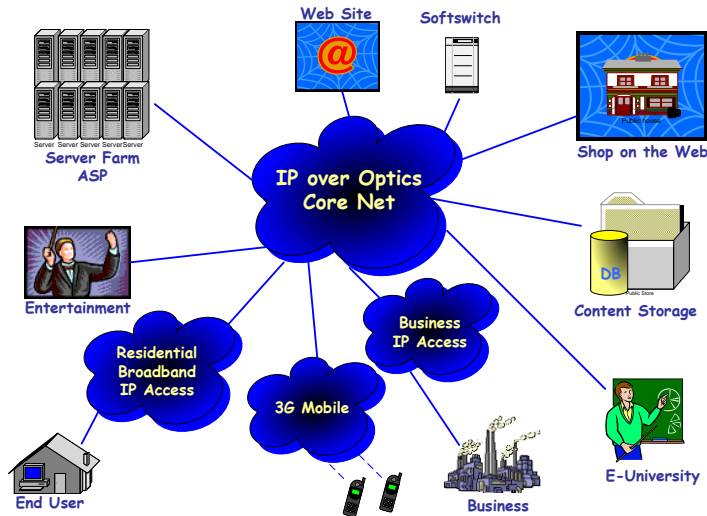


Γιατί IP; (1)

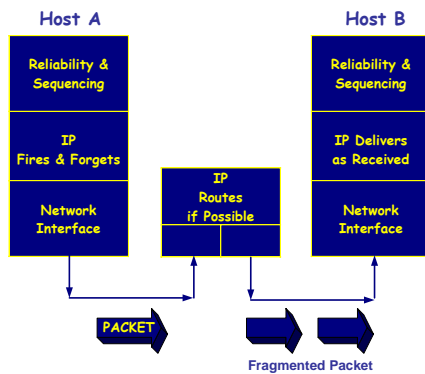




Γιατί IP; (2)



Τι κάνει το IP;



- ▶ Το IP χειρίζεται την κίνηση των πακέτων
- ▶ Παρέχει λογικές διευθύνσεις δικτύου των 32bits
- ▶ Δρομολογεί πακέτα δεδομένων
- ▶ Πρωτόκολλο που δεν απαιτεί κάποια σύνδεση (connectionless)
- ▶ Η αξιοπιστία είναι ευθύνη πρωτοκόλλων και εφαρμογών υψηλότερου επιπέδου
- ▶ Κατακερματίζει και επανασυναρμολογεί πακέτα

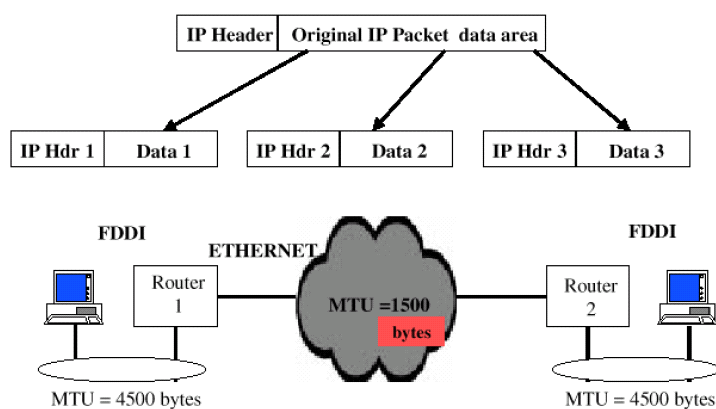


Επικεφαλίδα του IPv4

Vers	Length	Service Type	Packet Length		
Identification			DF	MF	Frag. Offset
TTL	Transport		Header Checksum		
32 bits Sending Address					
32 bits Destination Address					
Options					Padding

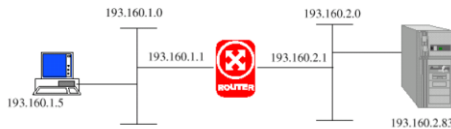


Κατακερματισμός (Fragmentation)





IP Διευθυνσιοδότηση



Binary Format	11000001 10100000 00000001 00000101
Dotted Decimal Notation	193.160.1.5

- ▶ Η IP διεύθυνση έχει μήκος 32bits (4 πεδία των 8bits)
- ▶ Πολύστικη δεκαδική σημειογραφία
- ▶ Κάθε οκτάδα παριστάνει έναν δεκαδικό αριθμό 0-255
- ▶ Αποτελείται από το network ID και το host ID



Κανόνες διευθυνσιοδότησης

- ▶ Network ID \neq 127 (το 127 έχει εκχωρηθεί για την λειτουργία loop-back)
- ▶ Network ID & Host ID \neq 255 (το 255 είναι διεύθυνση για ευρεκπομπή)
- ▶ Network ID & Host ID \neq 0
- ▶ Το host ID πρέπει να είναι μοναδικό στο δίκτυο

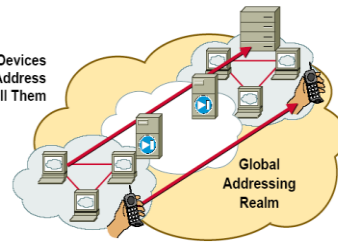




Γιατί IPv6;

- ▶ Περιορισμός διαθέσιμων διευθύνσεων του IPv4
 - ▶ Το IPv6 χρησιμοποιεί διευθύνσεις των 128bits
- ▶ Νέες εφαρμογές του Internet (video κλπ)
 - ▶ Για την διάδοση αυτών των εφαρμογών πρέπει να αποφεύγονται οι διακοπές και οι συχνές αλλαγές δρόμων
- ▶ Ανάγκη για:
 - ▶ Βελτιωμένο QoS και CoS σε πραγματικό χρόνο
 - ▶ Ασφάλεια (βελτιωμένη επικεφαλίδα)
 - ▶ Mobility
- ▶ Ανάπτυξη του Mobile Internet
 - ▶ UMTS, XDSL και Cable
- ▶ Επεκτασιμότητα

Always-on Devices
Need an Address
When You Call Them



Χαρακτηριστικά του IPv6 (1)

- ▶ Μεγαλύτερος χώρος διευθύνσεων
- ▶ “Plug & Play”: Autoconfiguration
- ▶ Ασφάλεια “χωμένη” στον πυρήνα του πρωτοκόλλου (IPSec)
- ▶ Quality of Service (QoS) και Class of Service (CoS)
- ▶ Multicast: Το ίδιο πακέτο σε μια ομάδα προορισμών
- ▶ Anycast: Το ίδιο πακέτο σε έναν προορισμό μεταξύ της ομάδας

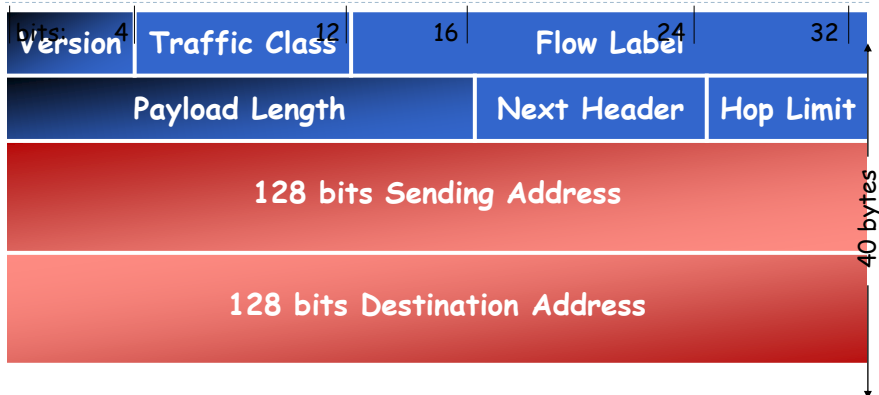


Χαρακτηριστικά του IPv6 (2)

- ▶ Απλούστερη επικεφαλίδα σταθερού μήκους
 - ▶ Το πεδίο options είναι τώρα σαν επέκταση και μοιάζει σαν ένα άλλο πρωτόκολλο
 - ▶ Μπορεί να βελτιώσει τον χρόνο επεξεργασίας στον δρομολογητή καθώς η επικεφαλίδα μοιάζει να περιέχει τα εντελώς απαραίτητα
- ▶ Ο κατακερματισμός και η επανασυναμολόγηση περιέχονται σε μια προέκταση της επικεφαλίδας
- ▶ Υποστηρίζει authentication και privacy



Επικεφαλίδα του IPv6





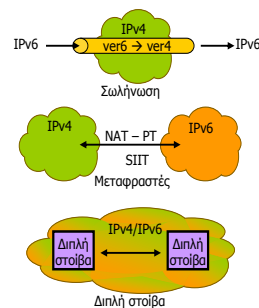
Διευθυνσιοδότηση στο IPv6

- ▶ Η συγγραφή αριθμών των 128 bits μπορεί να οδηγήσει σε σύγχυση, π.χ.:
 - ▶ 105.220.136.100.255.255.255.255.0.0.18.128.140.10.255.255
- ▶ Για να μειώσουμε τον αριθμό των χαρακτήρων οι διευθύνσεις του IPv6 γράφονται σε δεκαεξαδική μορφή στην οποία κάθε ομάδα των 16bits γράφεται σε δεκαεξαδική μορφή με το σύμβολο : να χωρίζει τις ομάδες. Έτσι ο παραπάνω αριθμός παίρνει την μορφή:
 - ▶ 69DC:8864:FFFF:FFFF:0:1280:8C0A:FFFF
- ▶ Επιτρέπεται η συμπίεση συνεχόμενων μηδενικών τα οποία συμβολίζονται με : δηλαδή:
 - ▶ FF0C:0:0:0:0:0:BI → FF0C::BI
- ▶ Τα μηδενικά που βρίσκονται στην αρχή μιας ομάδας μπορούν να αγνοηθούν, έτσι το 0123 μπορεί να γραφεί 123



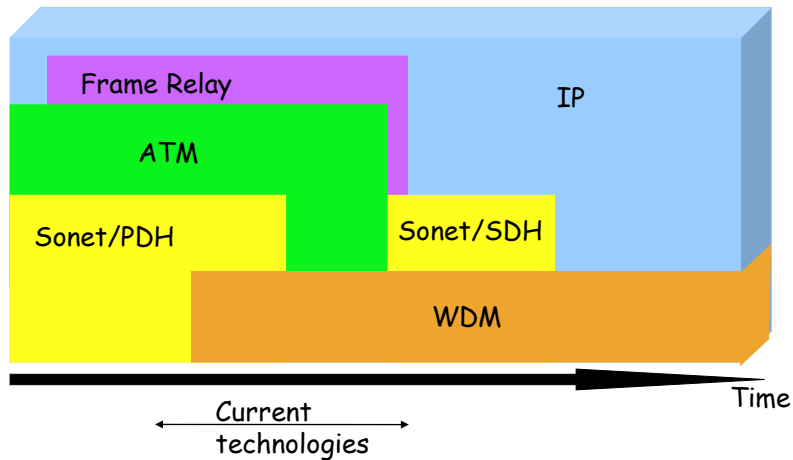
Τρόποι μεταβασης από το IPv4 στο IPv6

- ▶ Ο πρώτος τρόπος βασίζεται στην παροχή σωληνώσεων (tunnellings). Η σύνδεση δύο περιοχών που χρησιμοποιούν IPv6 γίνεται διαμέσου σύννεφων IPv4 με τη χρήση ειδικών σωληνώσεων.
- ▶ Ο δεύτερος τρόπος έχει να κάνει με τη χρήση translators (μεταφραστών) οι οποίοι αντιστοιχούν τις διευθύνσεις IPv6 σε IPv4 και αντιστρόφως. Κάθε διεύθυνση του IPv6 που ξεκινάει με 96 μηδενικά bits περιλαμβάνει μια IPv4 διεύθυνση στα τελευταία 32bits
- ▶ Ο τρίτος τρόπος πραγματοποιεί τη διασύνδεση του IPv4 με το IPv6 με τη χρήση μιας διπλής στοίβας ετικετών, η οποία περιέχει IPv4 και διευθύνσεις IPv6.
 - ▶ Το κάθε πακέτο τώρα διατηρεί τα χαρακτηριστικά τόσο του IPv4 όσο και του IPv6 και μεταφέρεται εντός του ενοποιημένου περιβάλλοντος IPv4/IPv6.





Εξέλιξη του IP over WDM (1)



Χαρακτηριστικά ATM

- ▶ Η συνολική υποδομή θα είναι βασισμένη στο ATM
- ▶ Υποστήριξη όλων των κλάσεων κίνησης και των απαιτήσεων για QoS
- ▶ Σταθερού μήκους κυψέλες → Γρήγορη μεταγωγή → Πέρασμα στο SONET
- ▶ Αρχικά δεν είχε προβλεφθεί η υποστήριξη του IP
 - ▶ Διαφορετικές δομές διευθυνσιοδότησης
 - ▶ Αξιοπιστία → Παρέχεται από το TCP ή Εγγενής
 - ▶ Connectionless και Connection oriented
 - ▶ ATM στη ραχοκοκαλιά και IP σαν επίπεδο υπηρεσιών
- ▶ Εγγυάται σταθερό εύρος ζώνης ανάμεσα σε ζεύγη δρομολογητών IP με τη χρήση VC → QoS
- ▶ Στατιστική πολυπλεξία για επιπλέον BW



Χαρακτηριστικά ATM

- ▶ Παρέχει ποικίλες QoS ανάλογα με τις εφαρμογές
 - ▶ Κίνηση απροσδιόριστου ρυθμού δεδομένων (UBR)
 - ▶ Κίνηση σταθερού ρυθμού δεδομένων (CBR)
 - ▶ Κίνηση μεταβλητού ρυθμού δεδομένων (VBR)
- ▶ Κατακερματισμός και επανασυναρμολόγηση → overhead + padding
- ▶ Ο αρχικός στόχος του ATM (παροχή μιας έξυπνης υποδομής μεταγωγής πακέτου για φωνή και δεδομένα) καταρρίφθηκε
 - ▶ Εμφάνιση IP δρομολογητών με γρηγορότερη και φθηνότερη επεξεργασία στο ρυθμό γραμμής

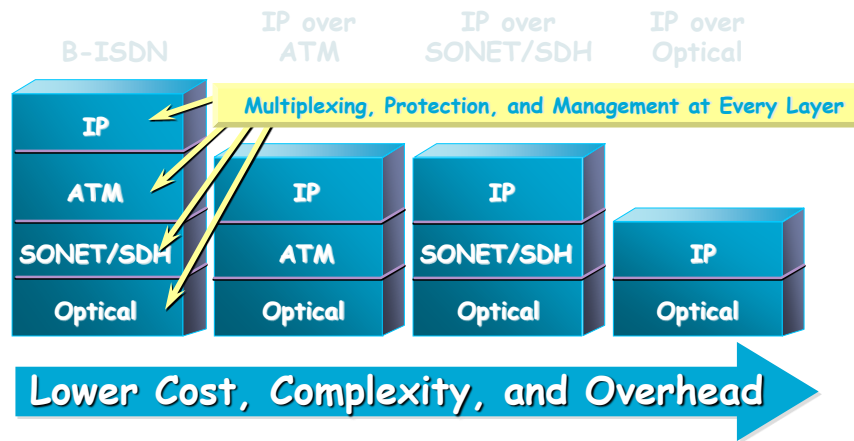


Χαρακτηριστικά SONET

- ▶ Ξεκίνησε με την παραδοχή ότι κάθε υποδομή θα είναι βασισμένη στη μεταγωγή κυκλώματος
 - ▶ Θα είναι βελτιστοποιημένη για ρυθμό 64kbps
 - ▶ Ο ρυθμός bit της ασυμπιεστές φωνής είναι 64kbps
 - ▶ Λόγω της περιορισμένης χωρητικότητας των δικτύων WAN, το εύρος ζώνης ήταν ένας ακριβός πόρος και επομένως ο κατακερματισμός του σε μικρότερα τμήματα ήταν σπατάλη
- ▶ Σήμερα περισσότερα bits στέλνονται σε πακέτα παρά σε κυκλώματα
- ▶ Ο κόσμος των πακέτων δεδομένων επωφελείται περισσότερο όσο μεγαλύτερος είναι ο διαμοιρασμός των πόρων



Εξέλιξη του IP over WDM (2)



Μειονεκτήματα των πολλών στρωμάτων (1)

- ▶ Η προσθήκη πληροφορίας κατά την εκπομπή αλλά και η αντίστροφη διαδικασία της επεξεργασίας των πακέτων από κάθε επίπεδο κατά τη λήψη οδηγεί σε καθυστερήσεις
 - ▶ «ρίχνει» τις συνδέσεις σε λανθάνουσα κατάσταση (ύπνωση).
- ▶ Λειτουργική αλληλοεπικάλυψη: Πολλά από τα επίπεδα κάνουν το ίδιο πράγμα
 - ▶ Δρομολόγηση (routing)
 - ▶ Προστασία (Protection)
- ▶ Χαμηλή ταχύτητα
 - ▶ Οι ηλεκτρονικές διατάξεις δεν διαθέτουν την απαραίτητη ταχύτητα μεταγωγής
 - ▶ Οπτικο-ηλεκτρονικές μετατροπές



Μειονεκτήματα των πολλών στρωμάτων (2)

- ▶ Πλεονασμός
 - ▶ Σε ένα IP over ATM over SONET over WDM δίκτυο, 22% του εύρους ζώνης χρησιμοποιείται για το overhead του πρωτοκόλλου
- ▶ Συχνά τα επίπεδα-στρώματα δεν λειτουργούν σε συμφωνία
 - ▶ Κάθε επίπεδο λειτουργεί με την δική του ταχύτητα. Έτσι διατάξεις με μικρή ταχύτητα δεν μπορούν να γεμίσουν το οπτικό εύρος ζώνης
 - ▶ Όταν ανιχνευτεί σφάλμα, τα διάφορα επίπεδα σταματούν για προστασία
 - ▶ Το οπτικό επίπεδο ανιχνεύει μια βλάβη σχεδόν αμέσως και αποκαθιστά το σφάλμα σε 2μs ως 60ms
 - ▶ Το επίπεδο SONET ανιχνεύει μια βλάβη σε 2.3-100μs και αποκαθιστά το σφάλμα σε 60ms



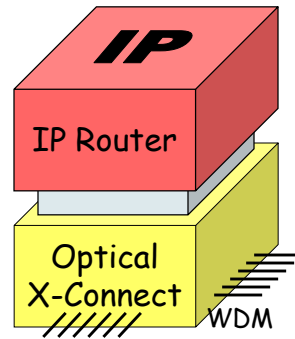
Ιστορικοί λόγοι για τα πολλά επίπεδα

- ▶ SONET over WDM
 - ▶ Η παραδοσιακή WDM ανάπτυξη χρησιμοποιεί το SONET σαν τυπική διεπαφή με τα ψηλότερα στρώματα (πλαίσια)
- ▶ IP over ATM
 - ▶ Τα IP πακέτα πρέπει να αντιστοιχηθούν σε ATM κυψέλες (ATM cells) πριν μεταφερθούν στο WDM επίπεδο χρησιμοποιώντας SONET πλαίσια (QoS)
- ▶ ΟΕΟ μετατροπές σε κάθε κόμβο είναι ευκολότερο να πραγματοποιηθούν παρά η αμιγώς οπτικές μεταγωγές

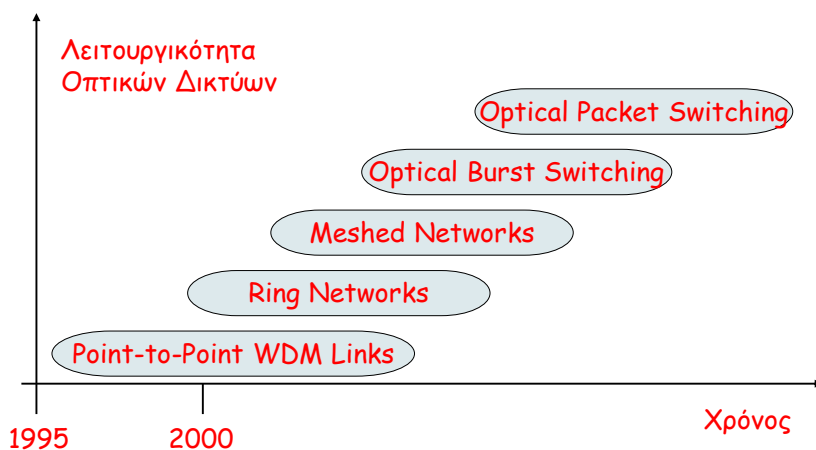


Προκλήσεις για τα δίκτυα IP over WDM

- ▶ WDM-aware Electronic layer
 - ▶ Reconfiguration and load balancing
 - ▶ Protection and restoration
 - ▶ Optical flow switching
 - ▶ Network management/control
 - ▶ Cross-layer optimization
- ▶ Αναμορφώσιμοι (εντός ms) OXC
- ▶ Μετατροπείς μήκους κύματος

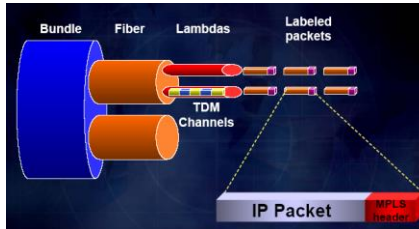
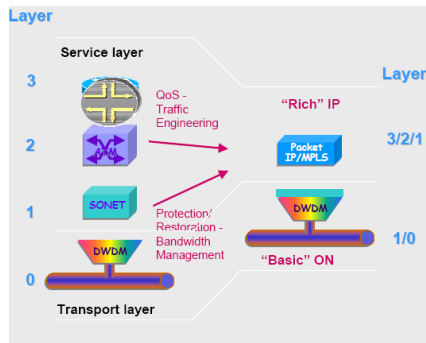


Τεχνολογίες οπτικής μεταγωγής





IP / MPLS

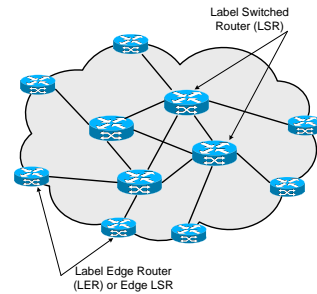


Multiprotocol Label Switching (MPLS)

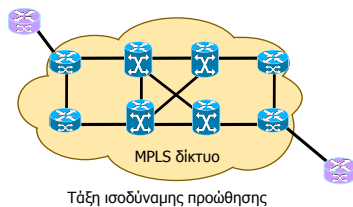
- ▶ Βελτιώνει τις επιδόσεις του Internet. Προσπαθεί να συνδυάσει:
 - ▶ Κάποιες από τις ιδιότητες των εικονικών κυκλωμάτων (VC)
 - ▶ Οι MPLS δρομολογητές προωθούν επίσης πακέτα ελέγχοντας μικρές, σταθερού μεγέθους ετικέτες οι οποίες έχουν τοπικό χαρακτήρα (όπως στο VPN)
 - ▶ Την ευελιξία και την στιβαρότητα των δεδομενογραμμάτων (datagrams)
 - ▶ Στηρίζεται στις IP διευθύνσεις και στα IP πρωτόκολλα δρομολόγησης για να κάνει τη δουλειά του
- ▶ Επιτρέπει IP δυνατότητες σε διατάξεις που δεν έχουν τη δυνατότητα να προωθήσουν IP datagrams σε κανονικές συνθήκες
- ▶ Προωθεί IP πακέτα κατά μήκος "explicit routes"— προϋπολογισμένες διαδρομές οι οποίες δεν ταυτίζονται απαραίτητα με αυτές που θα διάλεγαν τα πρωτόκολλα IP δρομολόγησης
- ▶ Υποστηρίζουν συγκεκριμένους τύπους υπηρεσιών εικονικού ιδιωτικού δικτύου

Multiprotocol Label Switching (MPLS)

- ▶ **Multiprotocol:** Βρίσκεται μεταξύ των επιπέδων 2 και 3 (γνωστό σαν επίπεδο 2,5)
- ▶ **Label:** Τα πακέτα προωθούνται χρησιμοποιώντας ετικέτες αντί IP διευθύνσεις
- ▶ **Switching:** Χρησιμοποιεί μεταγωγή αντί για δρομολόγηση (connection-oriented)
- ▶ Label Edge Router και Label Switching Router
- ▶ Ισοδύναμη τάξη προώθησης (Forwarding Equivalence Class, FEC)
 - ▶ Μια ροή πακέτων που αντιμετωπίζεται με τον ίδιο τρόπο
- ▶ Ετικέτα: αριθμός, χρονοθυρίδα, μήκος κύματος, ίνα... (GMPLS)
- ▶ Μονοπάτι Μεταγωγής Ετικέτας (Label Switched Path)
 - ▶ Το μονοπάτι που ενώνει δύο LERs
 - ▶ Καθορίζεται από την τιμή της αρχικής ετικέτας
- ▶ Αντιμετάθεση Ετικέτας (Label Swapping)
 - ▶ Η διαδικασία αλλαγής ετικέτας στους LSRs
- ▶ Βάση Πληροφοριών Ετικέτας (Label Information Base, LIB)
 - ▶ Πίνακας προώθησης που χρησιμοποιεί ετικέτες
- ▶ Πρωτόκολλο Διανομής Ετικέτας (Label Distribution Protocol, LDP)
 - ▶ Πρωτόκολλα για την «διαφήμιση» των ετικετών



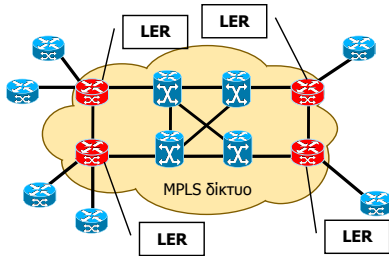
Τάξη ισοδύναμης προώθησης FEC



- ▶ Η τάξη ισοδύναμης προώθησης FEC (Forward Equivalence Class) είναι μια αναπαράσταση ενός συνόλου πακέτων με κοινές προδιαγραφές για μεταφορά.
- ▶ Η επιλογή του FEC ενός πακέτου γίνεται όταν το πακέτο εισέρχεται στο δίκτυο και στηρίζεται στις απαιτήσεις υπηρεσιών ενός συνόλου πακέτων.
- ▶ Κάθε δρομολογητής MPLS ονομάζεται δρομολογητής ετικετών (LSR - Label Switch Router).
- ▶ Κάθε LSR κατασκευάζει έναν πίνακα για να καθορίσει πώς πρέπει να προωθηθεί κάθε πακέτο, ο οποίος καλείται βάση πληροφοριών ετικετών LIB (Label Information Base).



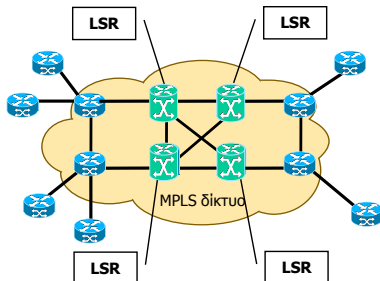
Ακραίος δρομολογητής ετικετών (LER-Label edge Router, ingress-egress)



- ▶ Ένας LER είναι μια συσκευή η οποία λειτουργεί στην άκρη του δικτύου πρόσβασης και του δικτύου MPLS
- ▶ Υποστηρίζει πολλαπλές θύρες που συνδέονται σε ανόμοια δίκτυα
- ▶ Οι LERs προωθούν την εισερχόμενη κίνηση στο δίκτυο MPLS αφού πρώτα καθορίσουν μια διαδρομή LSP (ingress LERs) και διανέμουν την κίνηση αυτή πίσω στα δίκτυα πρόσβασης (egress LERs)
- ▶ Οι LERs παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάθεση και αφαίρεση ετικετών



Δρομολογητής ετικετών (LSR-Label Switching Router)



- ▶ Ένας LSR είναι μια συσκευή πολύ γρήγορης δρομολόγησης που βρίσκεται στο εσωτερικό του δικτύου MPLS και συμμετέχει στον σχηματισμό LSPs χρησιμοποιώντας το κατάλληλο πρωτόκολλο σηματοδότησης ετικετών και μεταγωγή της κίνησης δεδομένων σε πολύ υψηλές ταχύτητες.

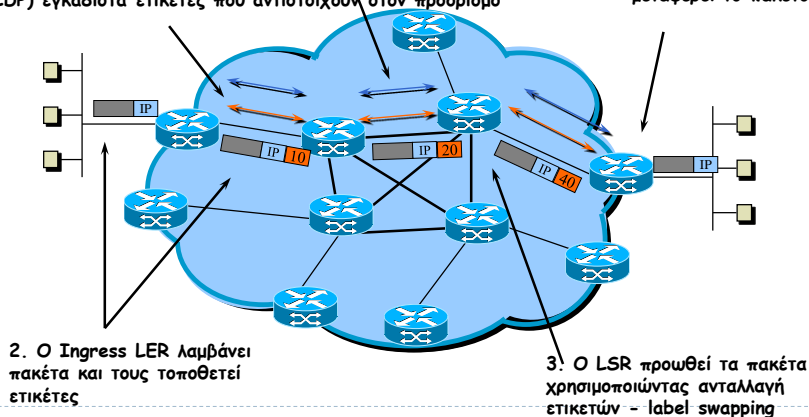


Μετάδοση δεδομένων στο MPLS

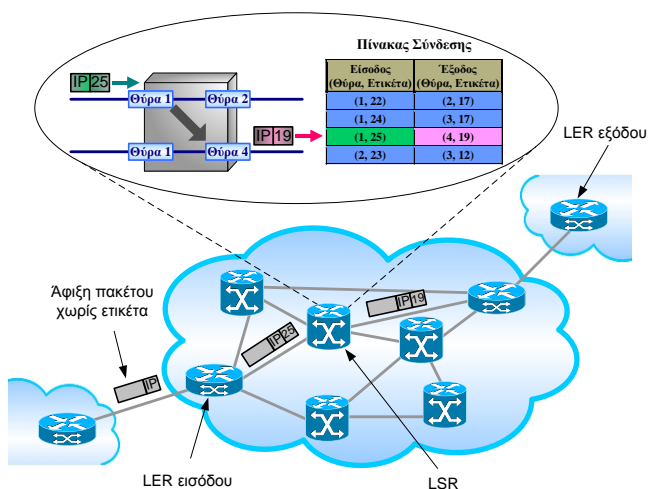
1α. Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης (e.g. OSPF-TE, IS-IS-TE) ανιχνεύουν την προσβασιμότητα των δικτύων προορισμού

1b. Το πρωτόκολλο διανομής ετικετών - Label Distribution Protocol (LDP) εγκαθιστά ετικέτες που αντιστοιχούν στον προορισμό

4. Ο egress LER απομακρύνει την ετικέτα και μεταφέρει το πακέτο

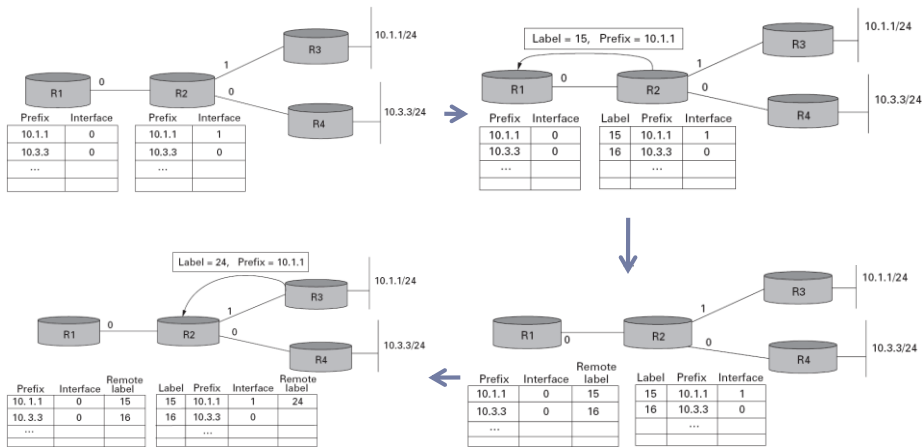


Πρώθηση Πακέτου





Πρωώθηση που Βασίζεται στον Προορισμό



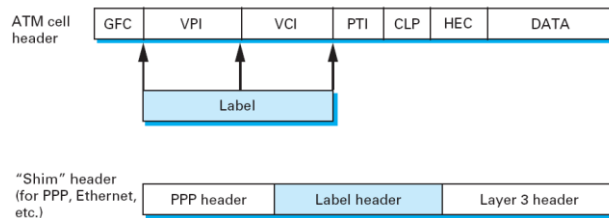
Πρωώθηση που Βασίζεται στον Προορισμό

- ▶ Μικρότερο υπολογιστικό κόστος: Εξέταση ετικετών (αλγόριθμος ακριβούς ταύτισης) αντί IP διευθύνσεων προορισμού (αλγόριθμος μακρύτερης ταύτισης -longest match algorithm, IP προθέματα (prefixes) μεταβλητού μήκους)
- ▶ Ωστόσο, χρησιμοποιεί κλασσικούς αλγόριθμους IP δρομολόγησης (π.χ., OSPF)
- ▶ Διατάξεις οι οποίες υπό κανονικές συνθήκες δεν γνωρίζουν πού να προωθήσουν τα IP πακέτα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα MPLS δίκτυο (π.χ. ATM μεταγωγείς)
- ▶ Εύκολη υλοποίηση: Απαιτούνται αλλαγές μόνο σε Software και όχι σε hardware
- ▶ Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS)



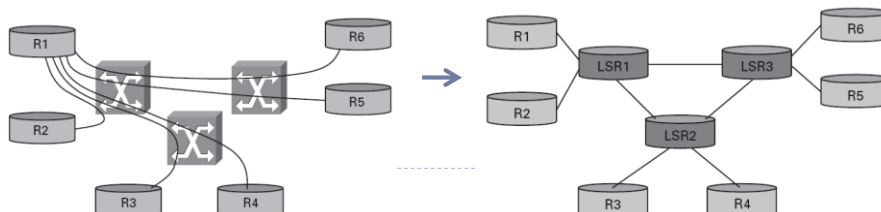
Που να Επισυνάψουμε μια Ετικέτα?

- ▶ Η θέση της ετικέτας εξαρτάται από τον τύπο της ζεύξης στην οποία μεταφέρονται τα πακέτα
 - ▶ Ανάμεσα στην επικεφαλίδα του επιπέδου 2 και σε αυτήν του IP (ή οποιουδήποτε άλλου πρωτοκόλλου επιπέδου 3) – Όταν τα IP πακέτα μεταφέρονται σαν πλήρη πλαίσια (Ethernet, token ring, και PPP)
 - ▶ Στην επικεφαλίδα της ATM κυψέλης, όπου ακριβώς θα έβρισκε κανείς τα πεδία VCI και VPI



Άλλα Πλεονεκτήματα του MPLS

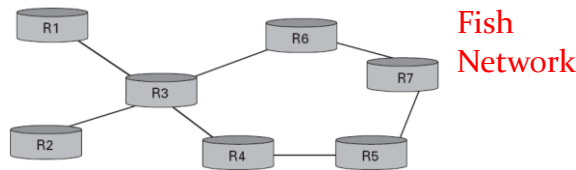
- ▶ “overlay” δίκτυο: Σύνολο δρομολογητών που διασυνδέονται με VC πάνω από ένα ATM δίκτυο
 - ▶ Ήδη εγκατεστημένοι ATM μεταγωγείς – Υψηλότερη ρυθμαπόδοση
 - ▶ Παροχή μιας περιοχής υπηρεσιών όπως εξομοίωση κυκλώματος και υπηρεσίες εικονικού κυκλώματος
- ▶ Η αντικατάσταση των ATM μεταγωγών με LSRs μειώνει:
 - ▶ Τους γείτονες
 - ▶ Το πλήθος των ανταλασσόμενων μηνυμάτων των πρωτοκόλλων δρομολόγησης
- ▶ Οι LSRs και οι δρομολογητές ακμής «τρέχουν» το ίδιο πρωτόκολλο δρομολόγησης → Οι δρομολογητές ακμής έχουν πλήρη εικόνα της τοπολογίας του δικτύου (πλεονέκτημα σε περιπτώσεις βλαβών- αποτυχιών)





Ρητή Δρομολόγηση (Explicit Routing)

- ▶ Το MPLS υποστηρίζει δυνατότητες παρόμοιες με την δρομολόγηση πηγής (source routing) στα IP δίκτυα, οι οποίες καλούνται “explicit routing”
 - ▶ Στην πραγματικότητα η διαδρομή δεν καθορίζεται από την πηγή αλλά από έναν ενδιάμεσο κόμβο
- ▶ Η κίνηση που ρέει από τον R1 στον R7 πρέπει να ακολουθήσει διαφορετικό μονοπάτι από την κίνηση από το R2 στο R7 (για λόγους χωρητικότητας)
- ▶ Αυτό δεν μπορεί να επιτευχθεί με την IP δρομολόγηση
 - ▶ Ο R3 δεν κοιτάει από πού έρχεται η κίνηση όταν παίρνει τις αποφάσεις προώθησης
- ▶ Ο R3 μπορεί να προωθεί πακέτα από τον R1 και τον R2 κατά μήκος διαφορετικών μονοπατιών αν ο R1 και ο R2 επισυνάψουν διαφορετικές ετικέτες στα πακέτα
- ▶ Ο καθορισμός των εισόδων του πίνακα μεταγωγής ετικετών κατά μήκος ολόκληρης της ρητής διαδρομής γίνεται με χρήση του Resource Reservation Protocol (RSVP)



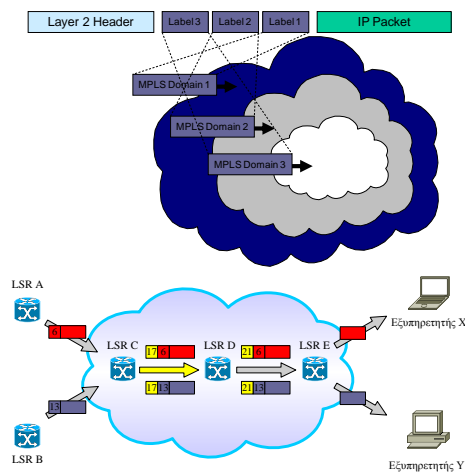
Πλεονεκτήματα της Ρητής Δρομολόγησης

- ▶ **Traffic Engineering:** Η μέριμνα για την εξασφάλιση της διάθεσης επαρκών πόρων σε ένα δίκτυο που να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις – ανάγκες του
 - ▶ Π.χ. Έλεγχος σε πια ακριβώς μονοπάτια θα ρέει η κίνηση
- ▶ **Ανεκτικότητα στις βλάβες – αποτυχίες: Γρήγορη επαναδρομολόγηση**
 - ▶ Προϋπολογισμός του εφεδρικού μονοπατιού
 - ▶ Σημαντική μείωση του χρόνου που απαιτείται για την επαναδρομολόγηση πακέτων γύρω από το σημείο της αποτυχίας
- ▶ **Οι ρητές διαδρομές δεν χρειάζεται να υπολογιστούν από κάποιον πάροχο ή κάποιον διαχειριστή**
 - ▶ Υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι δρομολογητές για να υπολογίσουν τις ρητές διαδρομές αυτόματα (most common → constrained shortest path first – CSPF)
 - ▶ Παρόμοιο με τους link-state αλγόριθμους με τη διαφορά ότι λαμβάνει και κάποιους περιορισμούς (π.χ. βρες μια διαδρομή από τον R1 στο R7 που μπορεί να μεταφέρει ένα φορτίο των 100 Mbps)



Label Stacking and Tunnels

- ▶ Το MPLS υποστηρίζει παράλληλα LSPs
- ▶ Η δρομολόγηση γίνεται με LSP σήραγγες υψηλότερου επιπέδου
- ▶ Στην είσοδο μιας σήραγγας υψηλότερου επιπέδου προστίθεται στα πακέτα μια επιπλέον ετικέτα
- ▶ Οι αρχικές ετικέτες διατηρούνται και χρησιμοποιούνται για την αποπολυπλεξία των σηράγγων
- ▶ Στοιβά ετικετών: Ενθυλάκωση ενός MPLS πακέτου μέσα σε ένα άλλο MPLS πακέτο
 - ▶ Προσθήκη μιας MPLS επικεφαλίδας “πάνω από” (για αυτό και στοιβά) την υπάρχουσα MPLS επικεφαλίδα



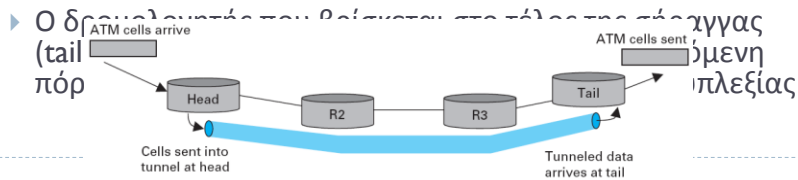
Virtual Private Networks and Tunnels

- ▶ Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα (Virtual Private Networks – VPNs) δημιουργούνται με τη χρήση σηράγγων
 - ▶ VPN “επιπέδου 2”: Το MPLS χρησιμοποιείται για να δώσει δίοδο μέσω σηράγγων (tunnel) σε δεδομένα επιπέδου 2 (όπως πλαίσια Ethernet ή ATM κυψέλες) κατά μήκος ενός δικτύου με δρομολογητές που υποστηρίζουν το MPLS
 - ▶ VPN “επιπέδου 3”: Το MPLS χρησιμοποιείται για να δώσει δίοδο μέσω σηράγγων (tunnel) σε δεδομένα ενός IP δικτύου
- ▶ Τι γίνεται όμως όταν μη-IP κίνηση φτάνει στα άκρα της σήραγγας?
 - ▶ Μεταφορά κάποιου είδους προσδιοριστή (identifier) αποπολυπλεξίας στο φορτίο της σήραγγας



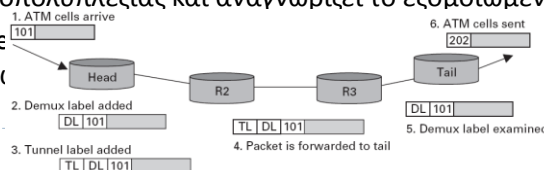
VPN “επιπέδου 2”

- ▶ Παροχή διόδου μέσω σήραγγας (Tunnel) σε ATM κυψέλες από έναν δρομολογητή σε έναν άλλο σε ένα δίκτυο με δρομολογητές που υποστηρίζουν MPLS → Εξομοίωση ενός ATM εικονικού κυκλώματος
- ▶ Configuring the “head” and “tail” routers as follows:
 - ▶ Ο δρομολογητής που βρίσκεται στην αρχή της σήραγγας (head router) πρέπει να ρυθμιστεί με την πόρτα εισόδου, το εισερχόμενο VCI, την ετικέτα αποπολυπλεξίας για το κύκλωμα που εξομοιώνεται καθώς επίσης και τη διεύθυνση του δρομολογητή που βρίσκεται στο τέλος της σήραγγας (tunnel)



VPN “επιπέδου 2”

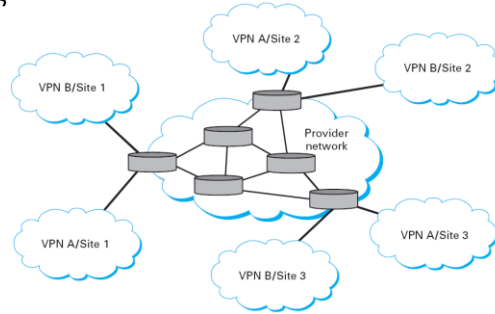
- ▶ Μια ATM φτάνει σε μια «εκλεγμένη» πόρτα εισόδου με την κατάλληλη τιμή VCI (101 για το παράδειγμα αυτό).
- ▶ Ο head router επισυνάπτει την ετικέτα αποπολυπλεξίας που ταυτοποιεί το εξομοιωμένο κύκλωμα
- ▶ Ο head router επισυνάπτει στη συνέχεια μια δεύτερη ετικέτα, που είναι η ετικέτα της σήραγγας η οποία θα παραδώσει το πακέτο στον tail router.
- ▶ Οι δρομολογητές μεταξύ του head και του tail προωθούν το πακέτο χρησιμοποιώντας μόνο την ετικέτα της σήραγγας
- ▶ Ο tail router απομακρύνει την ετικέτα της σήραγγας, βρίσκει την ετικέτα αποπολυπλεξίας και αναγνωρίζει το εξομοιωμένο κύκλωμα
- ▶ Ο tail router απομακρύνει την ετικέτα αποπολυπλεξίας και αναγνωρίζει το εξομοιωμένο κύκλωμα 2 σε αυτή την περίπτωση



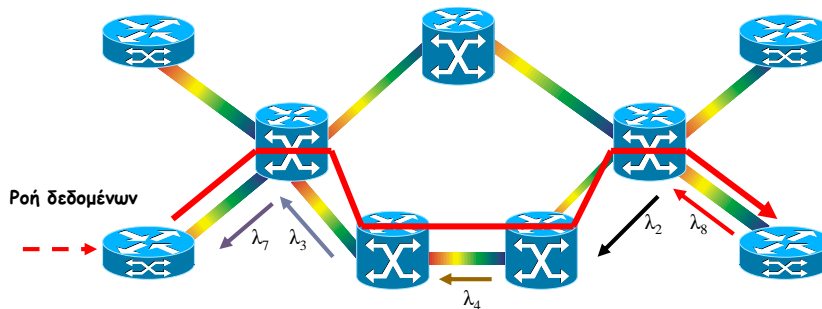


VPN “επιπέδου 3”

- ▶ Χρησιμοποιείται η στοίβαξη των MPLS ετικετών
- ▶ Υπάρχει η αυταπάτη ότι κάθε πελάτης είναι απομονωμένος από τους άλλους πελάτες σε όρους δρομολόγησης και διευθυνσιοδότησης
- ▶ Οι IP διευθύνσεις μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε διαφορετικά VPNs
- ▶ Ένας πελάτης σε ένα VPN μπορεί να στέλνει πακέτα απευθείας σε ένα πελάτη ενός άλλου VPN



MultiProtocol Lambda Switching (MPλS)





MPLS Εισαγωγή

- ▶ Νέα τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί από πολλά μελλοντικά δίκτυα κορμού
- ▶ Δεν αντικαθιστά την IP δρομολόγηση
- ▶ Λειτουργεί παράλληλα με τις τεχνολογίες δρομολόγησης για την πολύ γρήγορη προώθηση δεδομένων
- ▶ Δεσμεύει **BW** για ροές κίνησης με διαφορετικές απαιτήσεις σε **QoS**
- ▶ Εμπλουτίζει τις υπηρεσίες που μπορούν να παρασχεθούν από τα **IP** δίκτυα
 - ▶ Traffic Engineering, εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών και εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (VPNs)



Λειτουργία MPLS

- ▶ Το **MPLS** χρησιμοποιεί μια τεχνική γνωστή ως μεταγωγή ετικέτας για να προωθήσει τα δεδομένα μέσα στο δίκτυο
- ▶ Μια ετικέτα μικρού μεγέθους και καθορισμένης μορφής εισάγεται μπροστά από κάθε πακέτο στην είσοδο του **MPLS** δικτύου
- ▶ Σε κάθε άλμα μέσα στο δίκτυο, το πακέτο δρομολογείται βάσει της τιμής της ετικέτας
 - ▶ Αποστέλλεται σε μια διεπαφή εξόδου με μια νέα τιμή ετικέτας
- ▶ Το μονοπάτι που διασχίζουν τα δεδομένα μέσα στο δίκτυο καθορίζεται από τις αλλαγές στις τιμές των ετικετών σε κάθε κόμβο
- ▶ Μονοπάτι μεταγωγής ετικέτας (**Label Switched Path**): Το μονοπάτι που καθορίζεται από την τιμή της αρχικής ετικέτας
 - ▶ Η αντιστοιχία μεταξύ των ετικετών είναι σταθερή για κάθε κόμβο



Λειτουργία MPLS

- ▶ Στον κόμβο εισόδου κάθε πακέτο εξετάζεται για τον καθορισμό του LSP που θα χρησιμοποιήσει →
 - ▶ Ποια ετικέτα θα του εκχωρηθεί?
 - ▶ Η απόφαση έχει τοπική σημασία και βασίζεται σε παράγοντες όπως:
 - ▶ Η διεύθυνση προορισμού
 - ▶ Οι απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσιών (QoS)
 - ▶ Παρούσα κατάσταση του δικτύου
 - ▶ Ισοδύναμη Τάξη Προώθησης (Forwarding Equivalence Class (FEC))
 - ▶ Μια ή περισσότερες FECs μπορούν να αντιστοιχηθούν σε ένα LSP
-



Λειτουργία MPLS





Θέση της Ετικέτας



Διανομή Ετικετών

- ▶ Εγκαθίδρυση LSP (setup) ή Διανομή Ετικέτας (Label Distribution): Ενημέρωση των πινάκων προώθησης με τα ζευγάρια {διεπαφή εισόδου, τιμή ετικέτας} και {διεπαφή εξόδου, τιμή ετικέτας}



Τέλος

IP over WDM Technologies Multiprotocol
Label Switching

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 Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Βαρουτάς Δημήτρης, Σφηκόπουλος Θωμάς. «Τηλεπικοινωνιακά Ψηφιακά Δίκτυα. Τεχνολογία Ethernet και τηλεφωνία IP». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/DI122/>.



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.

