



ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Στρώμα ζεύξης δεδομένων



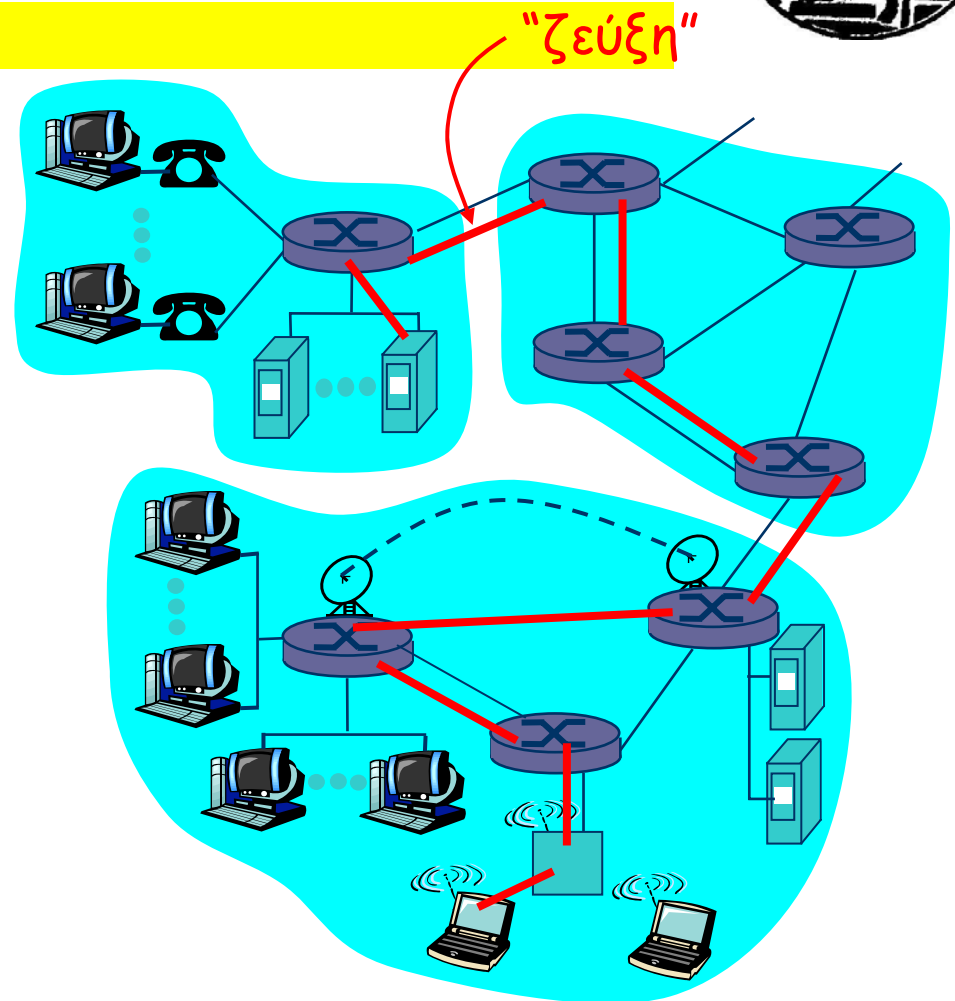
- Κατανόηση των βασικών αρχών που διέπουν τις υπηρεσίες του στρώματος ζεύξης δεδομένων
 - Ανίχνευση και διόρθωση λαθών
 - Διαμοιρασμός διαύλου εκπομπής: πολλαπλή προσπάθεια
 - Διευθυνσιοδότηση
 - Αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων και έλεγχος ροής
- Παρουσίαση διάφορων τεχνολογιών που υλοποιούν το στρώμα ζεύξης δεδομένων

Εισαγωγή



Ορολογία:

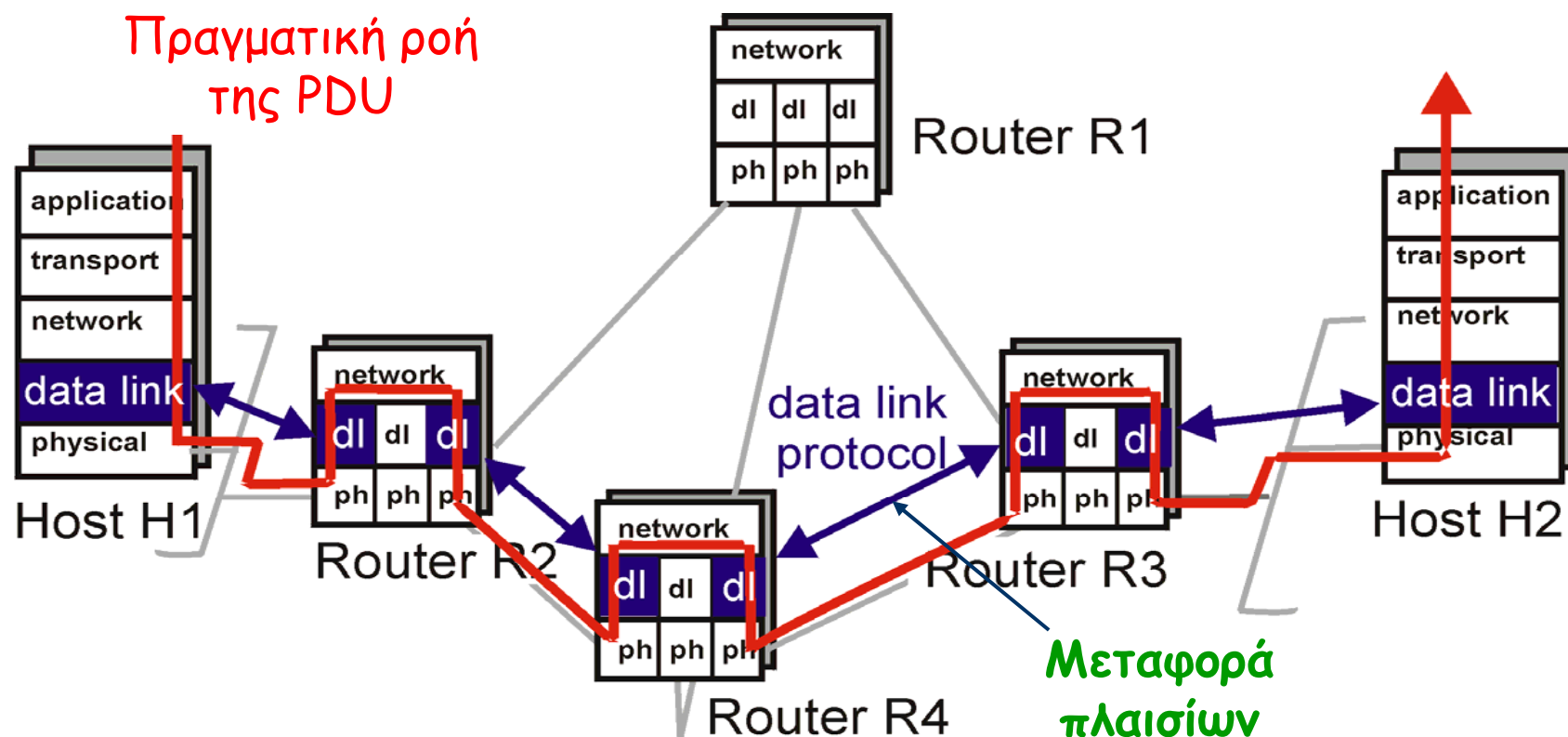
- Οι host, δρομολογητές, διακόπτες και γέφυρες είναι **κόμβοι**
- Οι επικοινωνιακοί δίαυλοι που συνδέουν γειτονικούς κόμβους αποκαλούνται **ζεύξεις**
 - ενσύρματες
 - ασύρματες
 - LAN
- Η PDU του στρώματος ζεύξης δεδομένων αποκαλείται **πλαίσιο** και ενθυλακώνει πακέτα
- Το στρώμα ζεύξης δεδομένων (DLC) μεταφέρει πλαίσια από ένα κόμβο σε ένα γειτονικό κόμβο πάνω από μια ζεύξη





Στρώμα ζεύξης δεδομένων

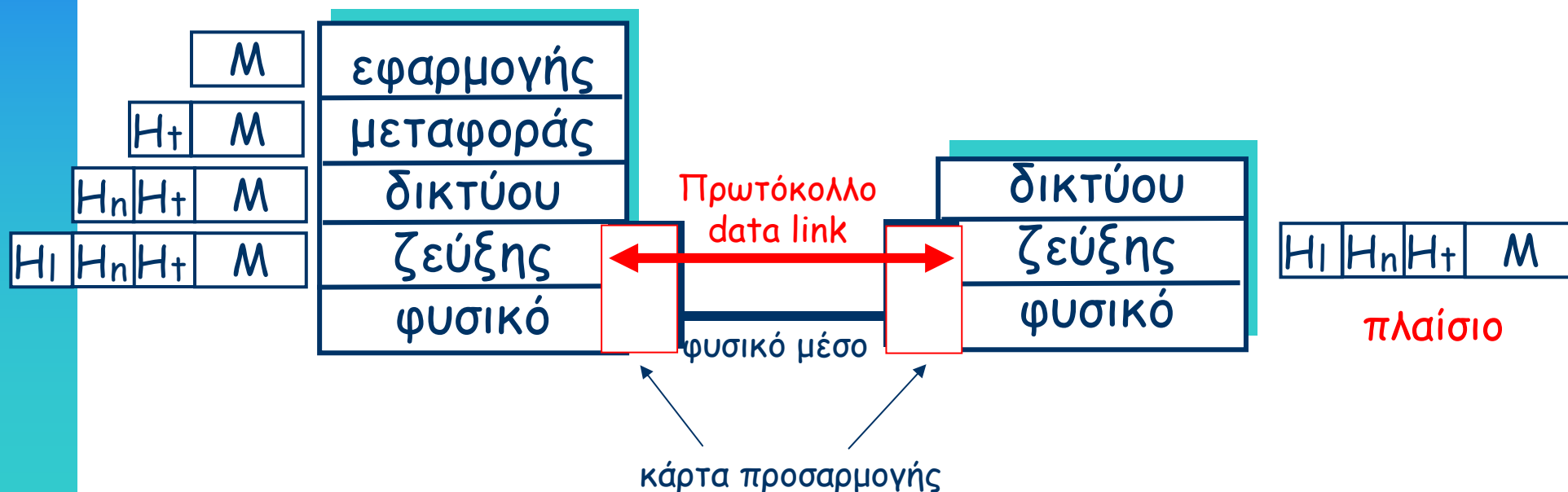
Γενικό πλαίσιο λειτουργίας





Στρώμα ζεύξης δεδομένων

- δύο συσκευές *συνδεδεμένες με φυσικό μέσο*:
 - host-router, router-router, host-host
- Μονάδα δεδομένων: *πλαίσιο (frame)*





Υλοποίηση του DLC

- “κάρτα προσαρμογής” (adapter)
 - π.χ., κάρτα Ethernet, PCMCIA, κάρτα 802.11
- τυπικά περιέχει: RAM, DSP chips, διεπαφή προς το bus του host, διεπαφή προς τη ζεύξη



- Η κάρτα λειτουργεί ημι-αυτόνομα
- Υλοποιεί και το φυσικό στρώμα (εκτός του DLC)

Αναλογία με τις μεταφορές



- Το πακέτο μεταφέρεται από διαφορετικά πρωτόκολλα ζεύξης δεδομένων πάνω από διαφορετικές ζεύξεις
 - Π.χ. Ethernet στη πρώτη ζεύξη, frame relay στην ενδιάμεση, 802.11 στην τελευταία
- Κάθε πρωτόκολλο ζεύξης δεδομένων παρέχει διαφορετικές υπηρεσίες
 - Π.χ. μπορεί να παρέχει ή να μη παρέχει αξιόπιστη μετάδοση
- Μετακίνηση από Θεσσαλονίκη σε Πάτρα
 - Ταξί: σπίτι - αεροδρόμιο
 - Αεροπλάνο: SAL-ATH
 - Μετρό: ATH-στ. Λαρίσης
 - Τραίνο: στ. Λαρίσης-PAT
- Επιβάτης: **πακέτο**
- Τμήμα μετακίνησης: **επικοινωνιακή ζεύξη**
- Μέσο μεταφοράς: **πρωτόκολλο ζεύξης δεδομένων**
- Ταξιδιωτικός πράκτωρ: **αλγόριθμος δρομολόγησης**



Υπηρεσίες στρώματος DLC (1)

- *Πλαισίωση (framing)*
 - Ενθυλακώνει το πακέτο στο πλαίσιο, προσθέτοντας επικεφαλίδα (frame) και ουρά (trailer)
 - "φυσικές διευθύνσεις" στην επικεφαλίδα για την πηγή και τον προορισμό
 - διαφορετικές από τις διευθύνσεις IP
- *Πρόσβαση στη ζεύξη (link access)*
 - Ρυθμίζει την πρόσβαση στο κοινό μέσο στην περίπτωση διαύλων εκπομπής (MAC)
 - Δεν απαιτείται για ζεύξεις σημείου προς σημείο



Υπηρεσίες στρώματος DLC (2)

- *Αξιόπιστη παράδοση*

- Διορθώνει τα λάθη μετάδοσης εάν αυτό απαιτείται
 - Σπάνιο για ζεύξεις με λίγα λάθη (οπτικές) ή ζεύξεις μικρού εύρους ζώνης (τηλεφωνικοί δίαυλοι)
 - Χρήσιμο για ζεύξεις με πολλά λάθη (ασυρματικές)
 - Γιατί έχουμε διόρθωση τόσο από άκρο-σε-άκρο όσο και από ζεύξη-σε-ζεύξη;

- *Έλεγχος ροής (flow control)*

- Ρυθμίζει την ταχύτητα αποστολής πομπού στην ικανότητα λήψης δέκτη



Υπηρεσίες στρώματος DLC (3)

- *Ανίχνευση λαθών*
 - Ο δέκτης ανιχνεύει την ύπαρξη λαθών (δημιουργούνται από την απόσβεση, θόρυβο, ...)
 - ειδοποιεί τον πομπό για επανάληψη ή απορρίπτει το πλαίσιο
- *Διόρθωση λαθών*
 - Ο δέκτης αναγνωρίζει *και διορθώνει* λάθη χωρίς να ζητήσει επανάληψη της μετάδοσης
- *Αμφίδρομη, ημιαμφίδρομη (full duplex, half duplex)*
 - με half duplex οι κόμβοι μεταδίδουν εναλλάξ

Τύποι ζεύξεων



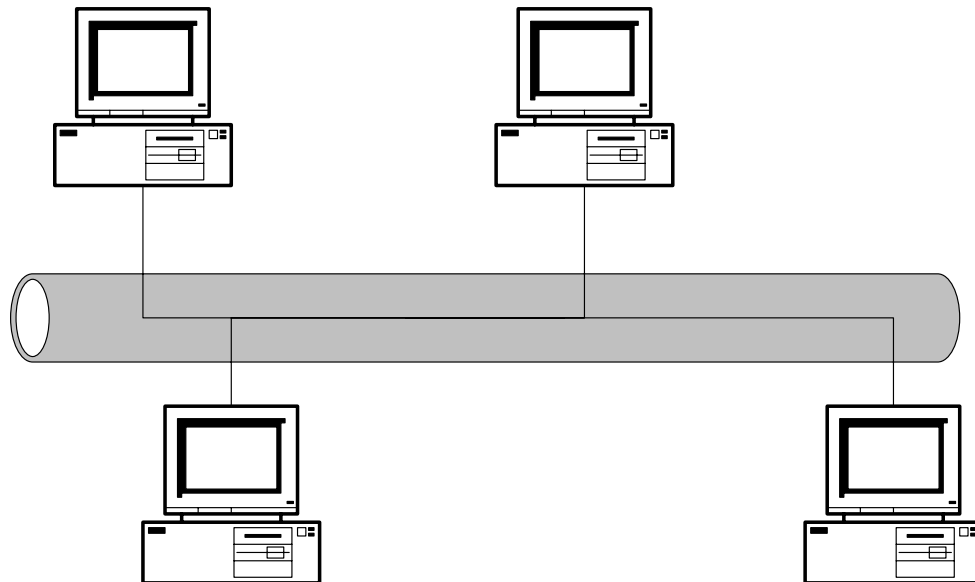
Τρεις τύποι "ζεύξεων":

- εκπομπής (κοινό μέσο μετάδοσης)
 - Παραδοσιακό Ethernet
 - Ασυρματικό LAN 802.11
 - Καλωδιακά συστήματα τηλεόρασης
- σημείου προς σημείο
 - PPP σε ζεύξη dialup
 - Ζεύξη μεταξύ διακόπτη Ethernet και PC
- με μεταγωγή
 - ATM
 - MPLS



Ζεύξεις εκπομπής

- Το ποιο διαδεδομένο είδος ζεύξης δεδομένων στο Internet είναι τα τοπικά δίκτυα (LAN)
 - πολλοί υπολογιστές σε ένα κτίριο
 - κοινόχρηστο επικοινωνιακό μέσο (συγκρούσεις)



Ζεύξεις εκπομπής



- **Medium Access Control (MAC)**

- χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα, όπως Ethernet, IEEE 802.3, WiFi, για τον έλεγχο πρόσβασης στο κοινό μέσο
- αποτελεί το κατώτερο μέρος του πρωτοκόλλου στρώματος ζεύξης δεδομένων

- **Logical Link Control (LLC)**

- εάν απαιτούνται λειτουργίες του ανώτερου μέρος του στρώματος ζεύξης δεδομένων



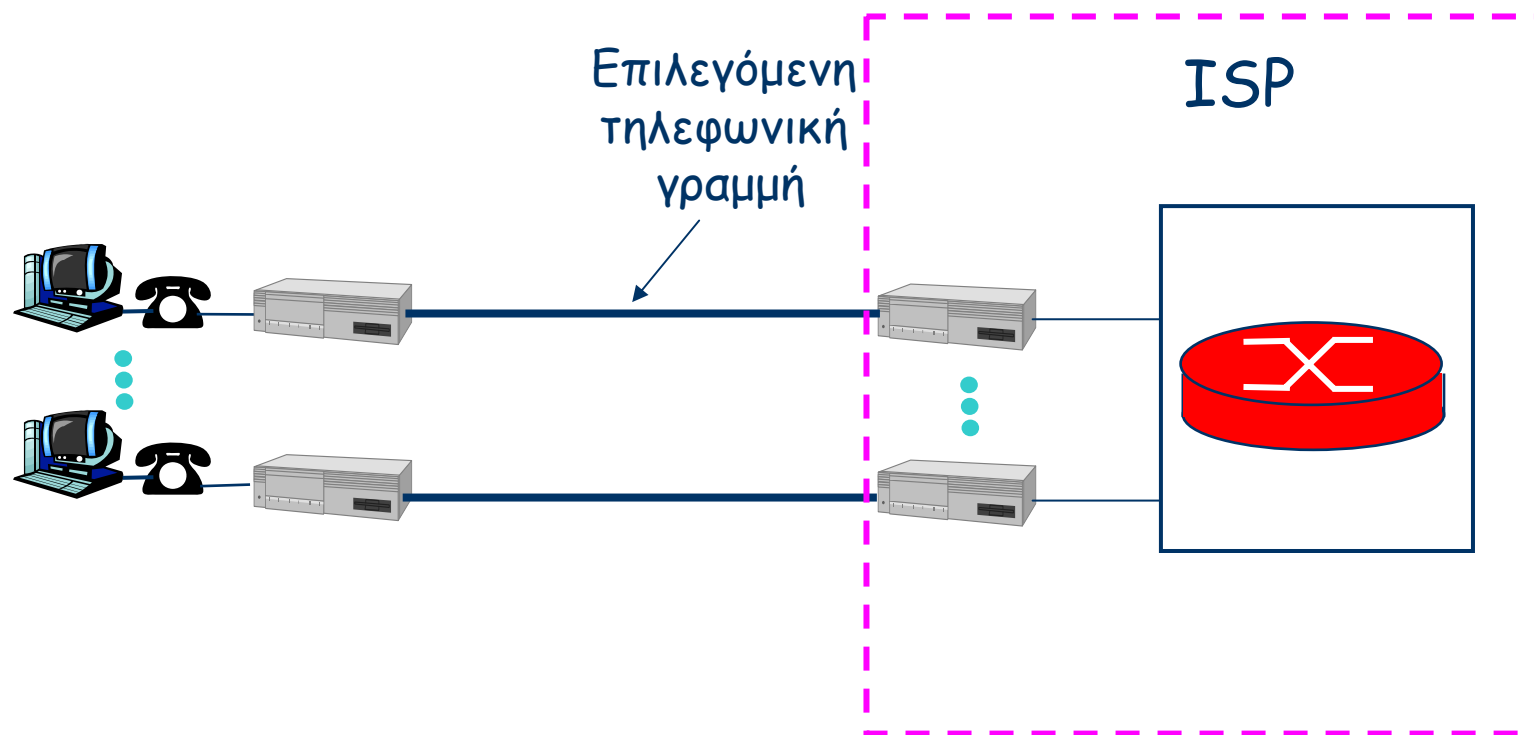
Ζεύξεις σημείου προς σημείο

- Στην πράξη, η επικοινωνία από σημείο σε σημείο στο Internet χρησιμοποιείται κυρίως σε δύο περιπτώσεις:
 - Επιλεγόμενες τηλεφωνικές γραμμές (dial-in) ή ψηφιακοί συνδρομητικοί βρόχοι (DSL) για σύνδεση υπολογιστών με δρομολογητές πρόσβασης
 - Σειριακές γραμμές υψηλής ταχύτητας για διασύνδεση δρομολογητών
- Τα πρωτόκολλα του στρώματος ζεύξης δεδομένων είναι απλά:
 - Ο κύριος ρόλος του είναι η ενθυλάκωση των πακέτων IP
 - Δεν απαιτείται MAC



Επιλεγόμενες γραμμές ή DSL

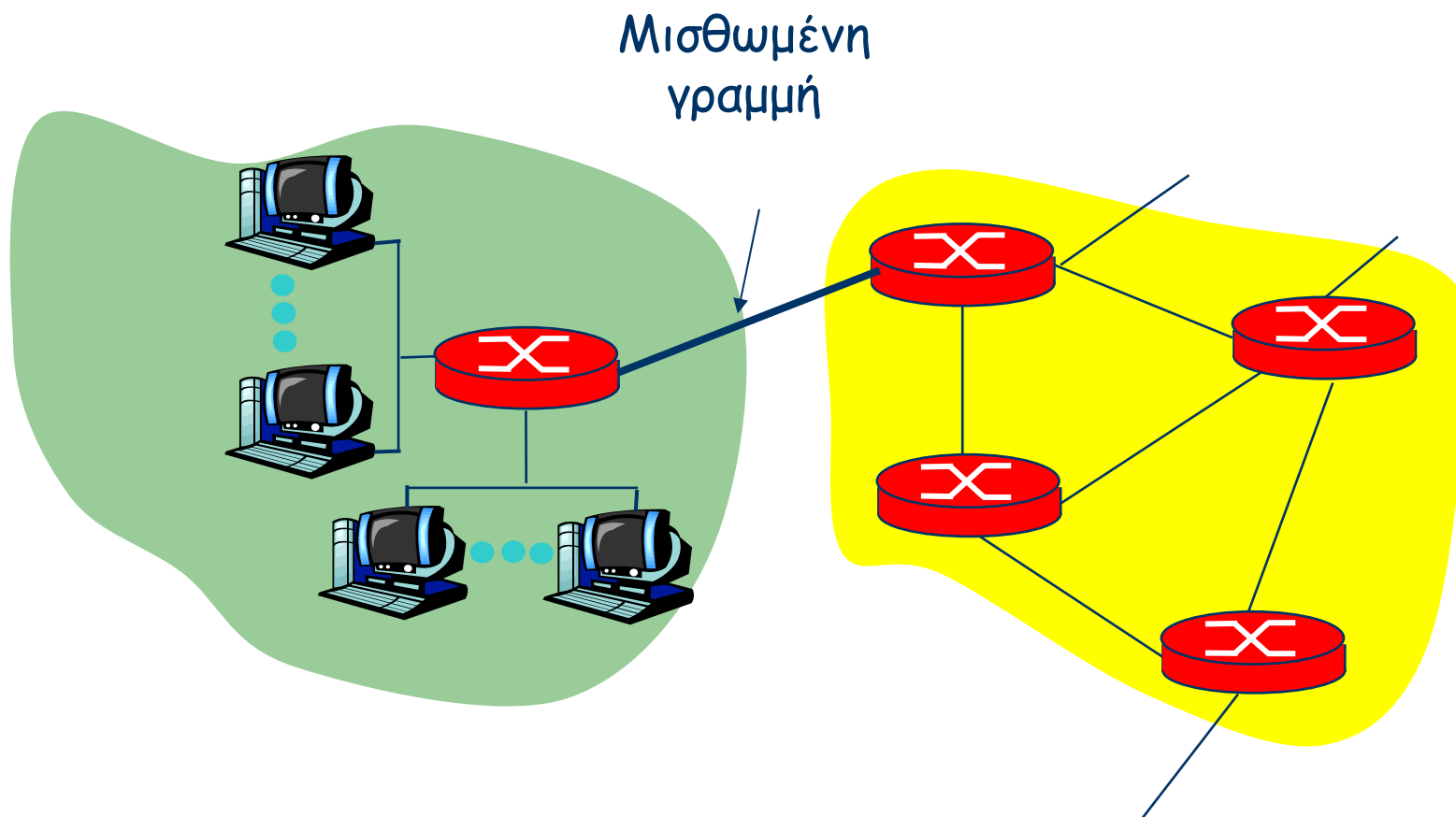
- Σύνδεση ιδιωτών από το σπίτι, μέσω modem, με κάποιον πάροχο υπηρεσίας Internet (Internet Service Provider, ISP)





Μισθωμένες γραμμές

- Σύνδεση LAN μέσω μισθωμένης γραμμής στο δίκτυο κορμού





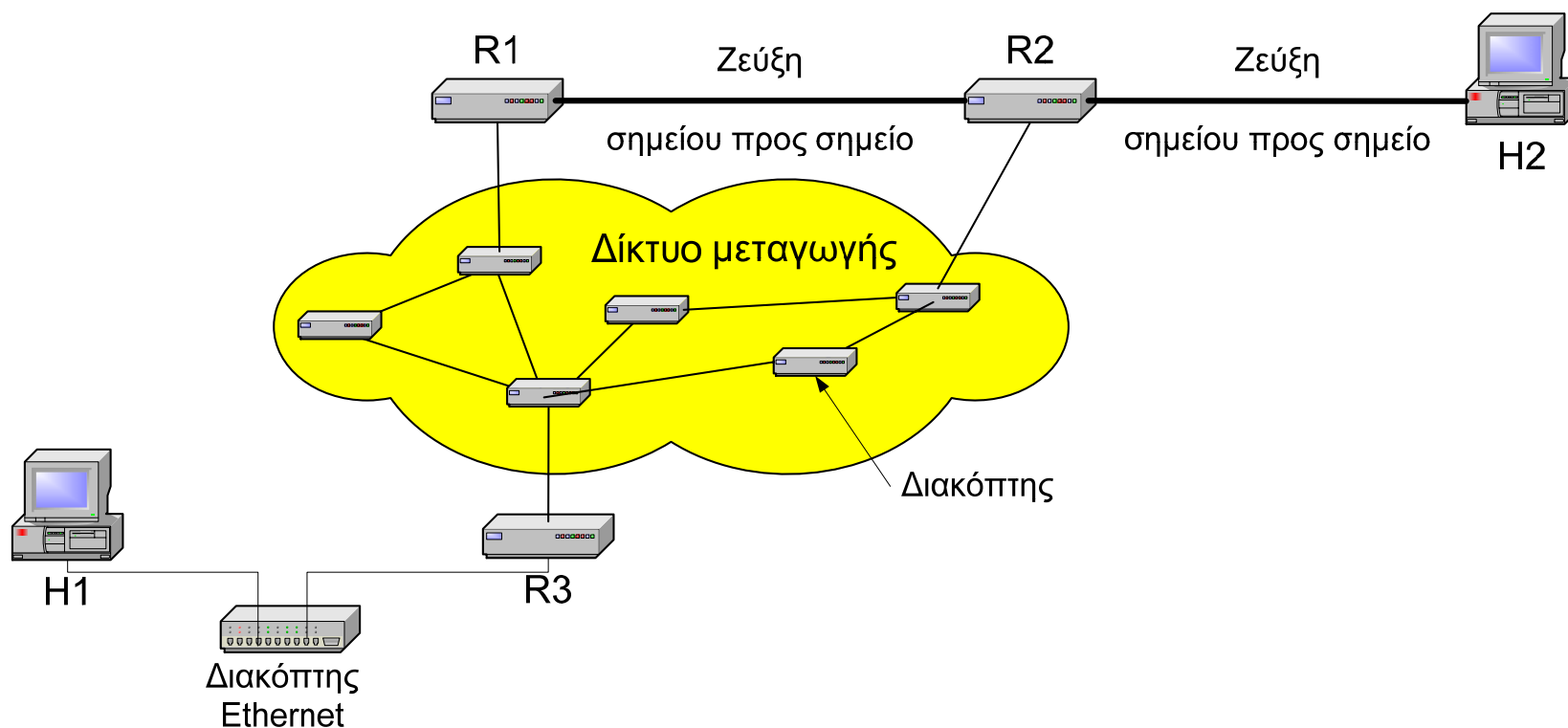
Ζεύξεις με μεταγωγή

- Μερικές τεχνολογίες (ζεύξης δεδομένων) επιτρέπουν τη δημιουργία πλήρων δικτύων
 - με δικές τους διευθύνσεις
 - τεχνικές δρομολόγησης, και
 - μηχανισμούς προώθησης
- Αυτά τα δίκτυα αποκαλούνται **δίκτυα μεταγωγής (switched networks)**



Ζεύξεις με μεταγωγή

- Για το στρώμα IP το δίκτυο μεταγωγής μπορεί να μοιάζει είτε με ζεύξη από σημείο προς σημείο είτε με ζεύξη εκπομπής





Έλεγχος ζεύξης σημείου προς σημείο

- ένας πομπός, ένας δέκτης, μία ζεύξη
 - ευκολότερος έλεγχος από εκείνον της ζεύξης εκπομπής
 - δεν υπάρχει MAC
 - δεν υπάρχει ανάγκη για διευθύνσεις όπως στο MAC
 - π.χ., ζεύξη dialup, γραμμή ISDN
- γνωστά πρωτόκολλα ελέγχου ζεύξης σημείου προς σημείο:
 - **HDLC**: High level Data Link Control
 - **SLIP**: Serial Line IP
 - **PPP** : Point-to-Point Protocol



HDLC: High level Data Link Control

- Χρησιμοποιείται ευρέως και είναι προτυποποιημένο από παλιά (1979)
 - Αποτελεί την συνήθη επιλογή για τις σειριακές γραμμές στους δρομολογητές της Cisco
 - Το PPP είναι μια απλοποιημένη παραλλαγή του



• Οικογένεια πρωτοκόλλων HDLC

- Synchronous Data Link Control (SDLC): IBM
- High-Level Data Link Control (HDLC): ISO
- Link Access Procedure-Balanced (LAPB): X.25
- Link Access Procedure for the D channel (LAPD): ISDN

• Όλα τα πρωτόκολλα βασίζονται στις ίδιες αρχές

- Είναι τύπου συρμού bit
- Χρησιμοποιούν παραγέμισμα bit (bit stuffing)

HDLC: Τύποι σταθμών



- Πρωτεύοντες
 - Ελέγχουν τη λειτουργία της ζεύξης
 - Τα πλαίσια που στέλνουν αποκαλούνται εντολές (commands)
 - Διατηρούν λογικές ζεύξεις με τους δευτερεύοντες σταθμούς
- Δευτερεύοντες
 - Ελέγχονται από τον πρωτεύοντα
 - Τα πλαίσια που στέλνουν αποκαλούνται απαντήσεις (responses)
- Μικτοί

HDLC: Διατάξεις ζεύξης

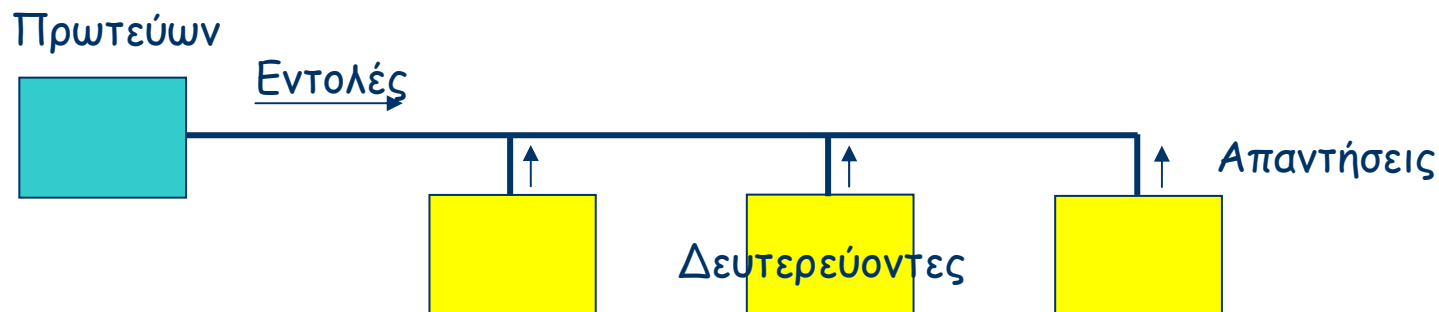


Ασύμμετρη διάταξη

- χρησιμοποιείται για λειτουργία σημείου προς σημείο και σημείου προς πολλαπλά σημεία
- αποτελείται από έναν **πρωτεύοντα** και έναν ή περισσότερους **δευτερεύοντες** σταθμούς
- υποστηρίζει και αμφίδρομη και ημιαμφίδρομη μετάδοση



Ασύμμετρη ζεύξη σημείου προς σημείο



Ασύμμετρη ζεύξη σημείου προς πολλαπλά σημεία

HDLC: Διατάξεις ζεύξης



Συμμετρική διάταξη

- χρησιμοποιείται μόνο για λειτουργία σημείου προς σημείο
- οι συνδεόμενοι σταθμοί είναι **ομότιμοι** (μικτοί σταθμοί)
- υποστηρίζει και αμφίδρομη και ημιαμφίδρομη μετάδοση



Συμμετρική ζεύξη σημείου προς σημείο



HDLC: Μορφή πλαισίου

- Σύγχρονη μετάδοση
- Όλες οι μεταδόσεις σε πλαίσια
- Η ίδια μορφή για δεδομένα και έλεγχο

Bit

8	8	8	≥ 0	16	8
01111110	Address	Control	Data	Checksum	01111110



HDLC: Μορφή πλαισίου

- **Flag** (01111110): οριοθέτης αρχής και τέλους (πλαισίωση). Σε αδρανείς ζεύξεις σημείου προς σημείο μεταδίδονται συνέχεια ακολουθίες σημαιών.
- **Address**: ιδιαίτερα σημαντικό σε γραμμές με πολλαπλά τερματικά. Χρησιμοποιείται μερικές φορές για να ξεχωρίσει τις ερωτήσεις από τις απαντήσεις σε γραμμές σημείου προς σημείο

Bit

8	8	8	≥ 0	16	8
01111110	Address	Control	Data	Checksum	01111110



HDLC: Μορφή πλαισίου

- **Data**: μπορεί να περιέχει αυθαίρετες πληροφορίες. Μπορεί να έχει αυθαίρετα μεγάλο μήκος, παρόλο που η απόδοση του checksum πέφτει.
- **Control**: χρησιμοποιείται για τους αύξοντες αριθμούς, τις επαληθεύσεις και για άλλους σκοπούς
- **checksum**: κυκλικός κώδικας πλεονασμού για ανίχνευση λαθών

Bit

8

8

8

≥ 0

16

8

01111110

Address

Control

Data

Checksum

01111110



HDLC: Είδη πλαισίων

Υπάρχουν 3 είδη πλαισίων. Διακρίνονται από το πεδίο ελέγχου

- **Πληροφορίας (Information)**



- **Επίβλεψης (Supervisory)**



- **Αναρίθμητα (Unnumbered)**





HDLC: Πλαίσια επίβλεψης

Bit	1	1	2	1	3
	1	0	Type	P/F	Next

Ξεχωρίζουν μεταξύ τους από το πεδίο **type**

- **00**: πλαίσιο επαλήθευσης (RECEIVE READY, RR)
- **01**: πλαίσιο αρνητικής επαλήθευσης (REJECT)
- **10**: επαληθεύει όλα τα πλαίσια μέχρι το Next, αλλά λέει στον πομπό να σταματήσει να στέλνει (RECEIVE NOT READY, RNR)
- **11**: καλεί την επανεκπομπή μόνο του πλαισίου που καθορίζεται (SELECTIVE REJECT μόνο στο HDLC)



HDLC: Αναρίθμητα πλαίσια

Bit	1	1	2	1	3
	1	1	Type	P/F	Modifier

Χρησιμοποιούνται για λειτουργίες ελέγχου αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν και για τη μεταφορά δεδομένων, όταν ζητηθεί υπηρεσία χωρίς σύνδεση. Δεν έχουν αύξοντες αριθμούς και δεν αλλάζουν την αρίθμηση των πλαισίων πληροφορίας. Μπορεί να είναι εντολές και απαντήσεις για:

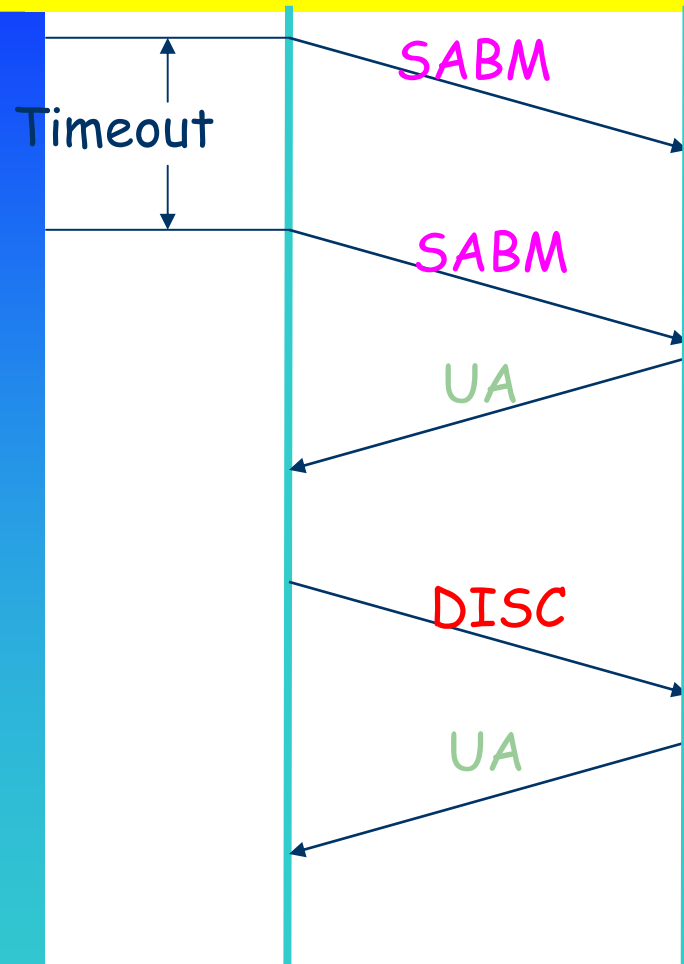
- τον τρόπο επικοινωνίας
- μετάδοση πληροφορίας
- αποκατάσταση
- άλλες λειτουργίες



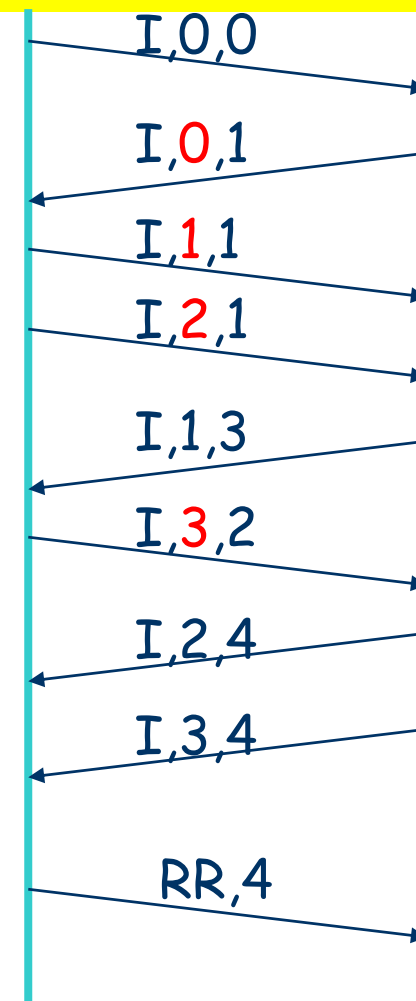
HDLC: Αναρίθμητα πλαίσια

- Αναρίθμητες εντολές
 - **SNRM**: Set Normal Response Mode
 - **SABM**: Set Asynchronous Balanced Mode
 - **SARM**: Set Asynchronous Response Mode
 - **UI**: Unnumbered Information
 - **RSET**: Reset
 - **FRMR**: Frame Reject
 - **DISC**: Disconnect
- Αναρίθμητες απαντήσεις
 - **UA**: Unnumbered Acknowledgment
 - **CDMR**: Command Reject
 - **FRMR**: Frame Reject
 - **DM**: Disconnect Mode

Παραδείγματα HDLC



Εγκατάσταση ζεύξης
και αποσύνδεση

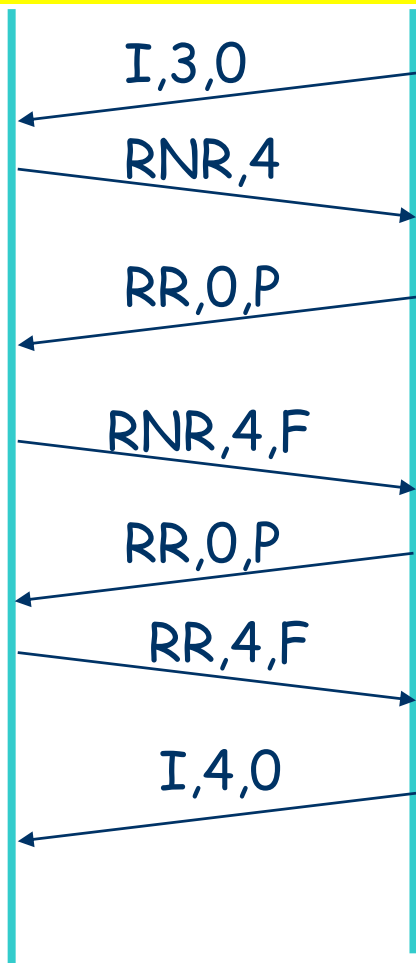


Αμφίδρομη ανταλλαγή
δεδομένων

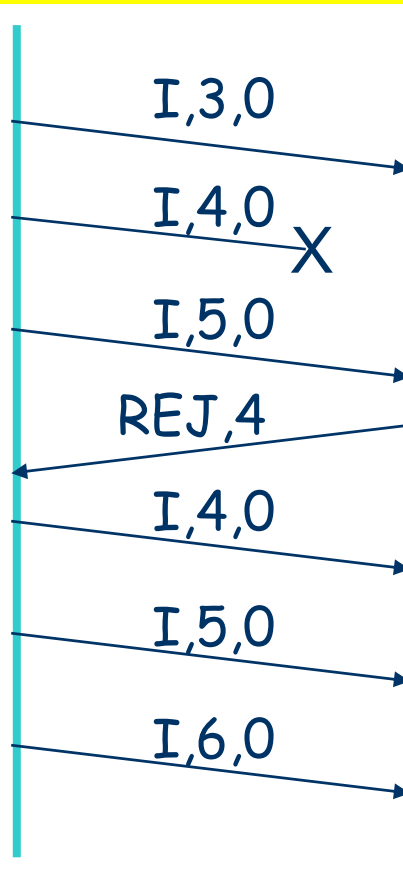
Δίκτυα υπολογιστών



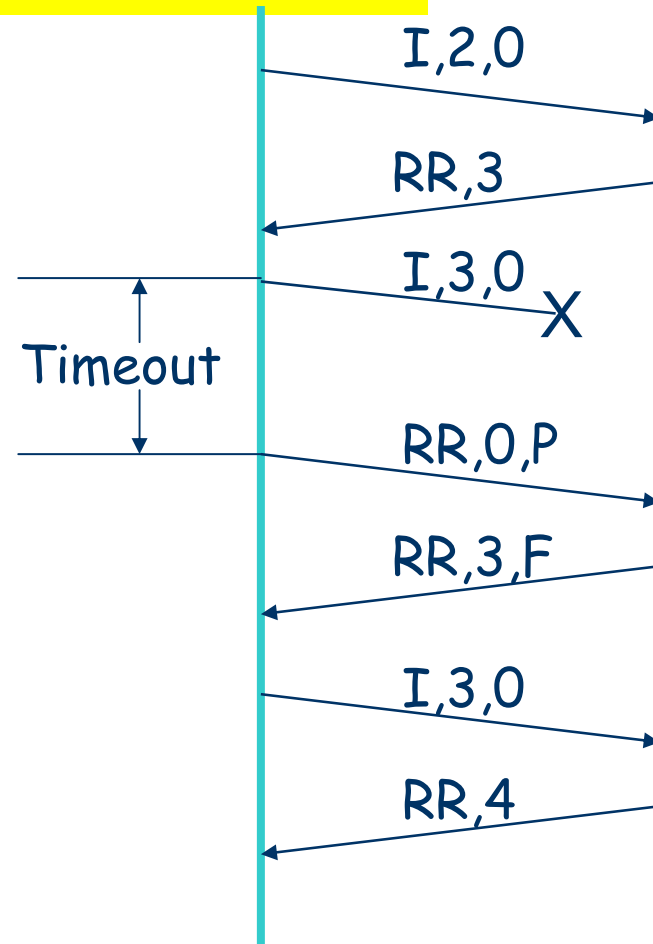
Παραδείγματα HDLC



Απασχολημένος δέκτης



Απόρριψη και
αποκατάσταση



Timeout και
αποκατάσταση

SLIP: Serial Line IP



- Επινόήθηκε για να συνδεθούν δύο σταθμοί εργασίας Sun στο Internet μέσω τηλεφωνικής γραμμής με χρήση modem (1988)
 - Βασική λειτουργία η ενθυλάκωση των πακέτων IP

Ενθυλάκωση στο SLIP



- Ο σταθμός στέλνει τα ακατέργαστα πακέτα IP μέσω της γραμμής, με ειδικό byte σημαία (0xC0) στο τέλος για πλαισίωση.
- Παραγέμισμα χαρακτήρων. Αν εμφανιστεί σημαία στέλνεται αντ' αυτής (0xDB, 0xDC). Αν εμφανιστεί (0xDB) παραγεμίζεται και αυτό επίσης.
- Συμπίεση στις επικεφαλίδες TCP και IP στις πρόσφατες εκδόσεις του SLIP.



Μειονεκτήματα του SLIP

- Δεν εκτελεί καμιά ανίχνευση/διόρθωση λαθών
- Υποστηρίζει μόνο IP
- Καθεμία πλευρά πρέπει να γνωρίζει τη διεύθυνση IP της άλλης εκ των προτέρων
- Δεν επιτρέπεται δυναμική εκχώρηση διευθύνσεων
- Δεν παρέχει καμιά μορφή πιστοποίησης και αυθεντικότητας
- Δεν αποτελεί εγκεκριμένο πρότυπο του Internet και έτσι υπάρχουν πολλές και ασύμβατες εκδόσεις

PPP: Point-to-Point Protocol



- Επινόήθηκε για να βελτιωθεί η κατάσταση που υπήρχε με το SLIP, όσον αφορά στις γραμμές σημείου προς σημείο (1992).
 - Προστέθηκαν αναγκαίες λειτουργίες για την υποστήριξη επιλεγόμενων τηλεφωνικών γραμμών και διασύνδεσης δρομολογητών (σε υψηλές ταχύτητες)



Το PPP υποστηρίζει (1)

- **πλαισίωση πακέτων:** ενθυλακώνει πακέτα στρώματος δικτύου σε πλαίσια στρώματος ζεύξης δεδομένων
- μπορεί να μεταφέρει **bit διαφανώς** : μπορεί να μεταφέρει οποιαδήποτε ακολουθία bit που υπάρχει στο πεδίο δεδομένων
- **πολλαπλά πρωτόκολλα δικτύου**
 - ταυτόχρονη μεταφορά δεδομένων στρώματος δικτύου οποιουδήποτε τύπου (όχι μόνο IP)
 - ικανότητα αποπολυπλεξίας προς τα πάνω
 - απαιτείται πεδίο τύπου πρωτοκόλλου
- **πολλαπλά είδη τηλεπικοινωνιακών γραμμών**



Το PPP υποστηρίζει (2)

- **ανίχνευση λαθών**
- **έλεγχο διακοπής σύνδεσης (connection liveness):**
ανίχνευση απώλειας σήματος στη ζεύξη και αναφορά προς το στρώμα δικτύου
- **πιστοποίηση αυθεντικότητας**
- **διαπραγμάτευση διευθύνσεων στρώματος δικτύου:** τα άκρα μπορούν να μάθουν τις διευθύνσεις της άλλης πλευράς



Το PPP δεν παρέχει

- διόρθωση λαθών
- έλεγχο ροής
- παράδοση δεδομένων με τη σειρά
- ζεύξεις πολλαπλών σημείων (π.χ., polling)

Διόρθωση λαθών, έλεγχος ροής, αναδιάταξη δεδομένων, όλα παραπέμπονται στα ανώτερα στρώματα!



Κύριες λειτουργίες PPP (1)

- Πλαισίωση

- ενθυλάκωση του πακέτου του στρώματος δικτύου σε πλαίσιο του στρώματος ζεύξης δεδομένων
- RFC 1662

- Διαχείριση της ζεύξης

- πρωτόκολλο ελέγχου ζεύξης (Link Control Protocol, LCP)
- εγκατάσταση των γραμμών, διαπραγμάτευση των σχετικών επιλογών και απόλυσή τους
- επιτήρηση της ποιότητας ζεύξης
- RFC 1331

Κύριες λειτουργίες PPP (2)



- Πιστοποίηση της αυθεντικότητας

- δεν είναι υποχρεωτική, υποστηρίζονται δύο πρωτόκολλα
- πρωτόκολλο πιστοποίησης συνθηματικών (Password Authentication Protocol, PAP)
- πρωτόκολλο πιστοποίησης πρόκλησης-χειραψίας (Challenge Handshake Authentication Protocol CHAP)



Κύριες λειτουργίες PPP (3)

- **Διάρθρωση των πρωτοκόλλων δικτύου**
 - το PPP διαθέτει πρωτόκολλα ελέγχου δικτύου (Network Control Protocols, NCPs) για πολλά πρωτόκολλα στρώματος δικτύου
 - για κάθε υποστηριζόμενο πρωτόκολλο στρώματος δικτύου το αντίστοιχο NCP επιτρέπει την διαπραγμάτευση των σχετικών επιλογών
 - το IPCP (IP Control Protocol) επιτρέπει στα δύο άκρα να μαθαίνουν/τροποποιούν τις IP διευθύνσεις δικτύου τους (και άλλες παραμέτρους), όταν ως πρωτόκολλα δικτύου χρησιμοποιείται το IP
 - RFC 1332



Πλαίσιο δεδομένων PPP

- Το πλαίσιο του PPP είναι παρόμοιο με του HDLC
- **Flag**: οριοθέτης αρχής (πλαισίωση)
- **Address**: δεν κάνει τίποτε (πάντα την ίδια τιμή)
- **Control**: δεν κάνει τίποτε (πάντα την ίδια τιμή, αναρίθμητο πλαίσιο)

Byte

1	1	1	1 ή 2	Μεταβλητό	2 ή 4	1
Flag 01111110	Address 11111111	Control 00000011	Protocol	Payload	Checksum	Flag 01111110



Πλαίσιο δεδομένων PPP

- **Protocol**: το πρωτόκολλο του ανώτερου στρώματος στο οποίο παραδίδεται το πλαίσιο (π.χ., PPP-LCP, NCP, IP, IPCP, IPX, κλπ.)
 - αρχίζει από 0 για στρώμα δικτύου, από 1 για ζεύξη δεδομένων
- **Payload**: μεταφερόμενα δεδομένα του ανώτερου στρώματος
- **Checksum**: κυκλικός κώδικας πλεονασμού για ανίχνευση λαθών

Byte

1	1	1	1 ή 2	Μεταβλητό	2 ή 4	1
Flag 01111110	Address 11111111	Control 00000011	Protocol	Payload	Checksum	Flag 01111110

Ενθυλάκωση στο PPP



flag	addr	ctrl	protocol	data	CRC	flag
7E	FF	03				7E
1	1	1	2	≤ 1500	2	1

0021	Πακέτο IP
------	-----------

C021	δεδομένα ελέγχου ζεύξης
------	-------------------------

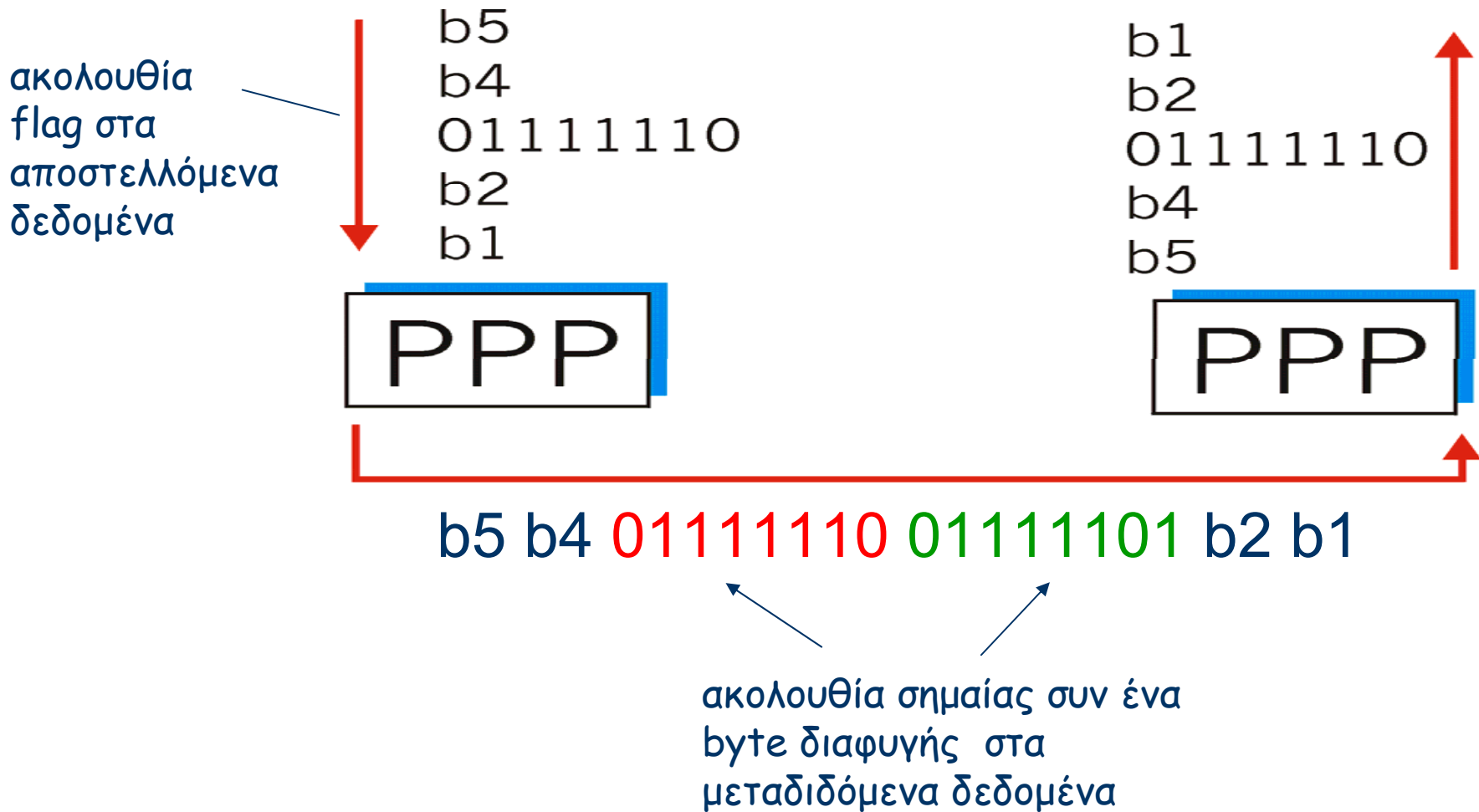
8021	δεδομένα ελέγχου δικτύου
------	--------------------------



PPP: Παραγέμισμα με byte

- Απαίτηση για "διαφάνεια δεδομένων": το πεδίο δεδομένων πρέπει να επιτρέπεται να περιέχει την ακολουθία σημαίας **01111110**
- Πομπός:
 - προσθέτει ένα byte διαφυγής **01111101** πριν από κάθε byte **01111110** δεδομένων
 - προσθέτει ένα byte διαφυγής **01111101** πριν από κάθε byte διαφυγής **01111101** δεδομένων
 - προσθέτει ένα byte διαφυγής **01111101** πριν από κάθε ASCII χαρακτήρα ελέγχου (ο οποίος γίνεται XOR με το 0x20)
- Δέκτης:
 - εάν δει το byte διαφυγής **01111101** το αγνοεί και κρατά το επόμενο byte
 - **01111101** προηγείται του **01111110**: το **01111110** είναι δεδομένα
 - **01111101** προηγείται του **01111101**: το **01111101** είναι δεδομένα

PPP: Παραγέμισμα με byte



Πρωτόκολλο ελέγχου ζεύξης στο PPP



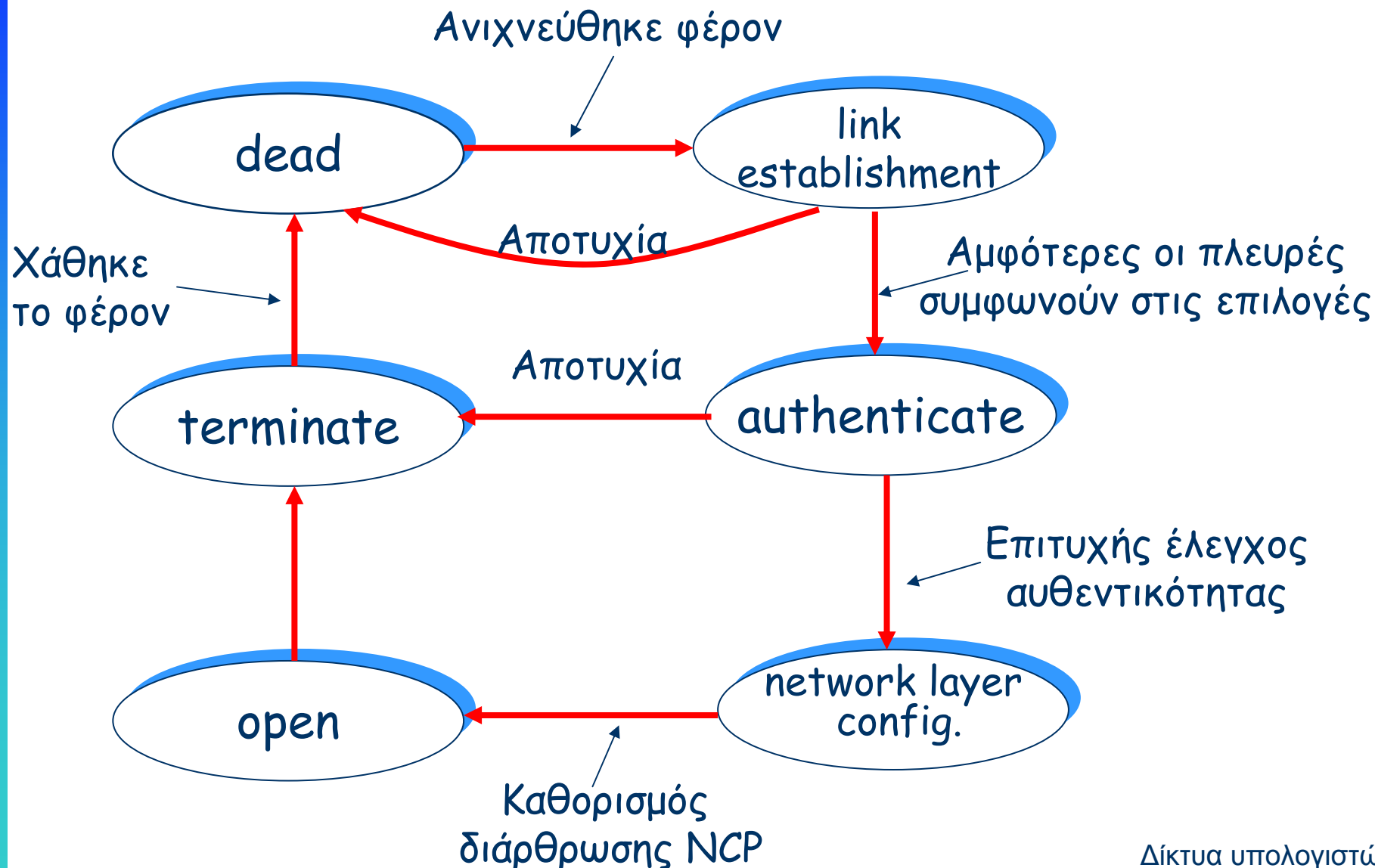
Πριν ανταλλάξουν δεδομένα του στρώματος δικτύου, οι ομότιμες οντότητες ζεύξης δεδομένων πρέπει να:

- **διαρθρώσουν τη ζεύξη PPP** (μέγιστο μήκος πλαισίου, πιστοποίηση αυθεντικότητας)
- **μάθουν/διαρθρώσουν την πληροφορία στρώματος δικτύου**

Οι ανωτέρω λειτουργίες υποστηρίζονται από βοηθητικά πρωτόκολλα

- LCP (διαχείριση ζεύξης)
- PAP, CHAP (πιστοποίηση αυθεντικότητας)
- NCP (διάρθρωση πρωτοκόλλων δικτύου)

LCP: Πρωτόκολλο ελέγχου ζεύξης



PPP: Τύποι πακέτων LCP



Όνομα	Κατεύθυνση	Περιγραφή
Configure-request	$I \rightarrow R$	Κατάλογος προτεινομένων επιλογών και τιμών
Configure-ack	$I \leftarrow R$	Γίνονται δεκτές όλες οι επιλογές
Configure-nak	$I \leftarrow R$	Μερικές επιλογές δεν είναι αποδεκτές
Configure-reject	$I \leftarrow R$	Μερικές επιλογές δεν είναι διαπραγματεύσιμες
Terminate-request	$I \rightarrow R$	Αίτηση να κλείσει η γραμμή
Terminate-ack	$I \leftarrow R$	ΟΚ, η γραμμή έκλεισε
Code-reject	$I \leftarrow R$	Λήφθηκε άγνωστη αίτηση
Protocol-reject	$I \leftarrow R$	Ζητήθηκε άγνωστο πρωτόκολλο
Echo-request	$I \rightarrow R$	Στείλε πίσω αυτό το πλαίσιο παρακαλώ
Echo-reply	$I \leftarrow R$	Να, επιστρέφεται
Discard-request	$I \rightarrow R$	Αγνόησε αυτό το πλαίσιο (για έλεγχο)

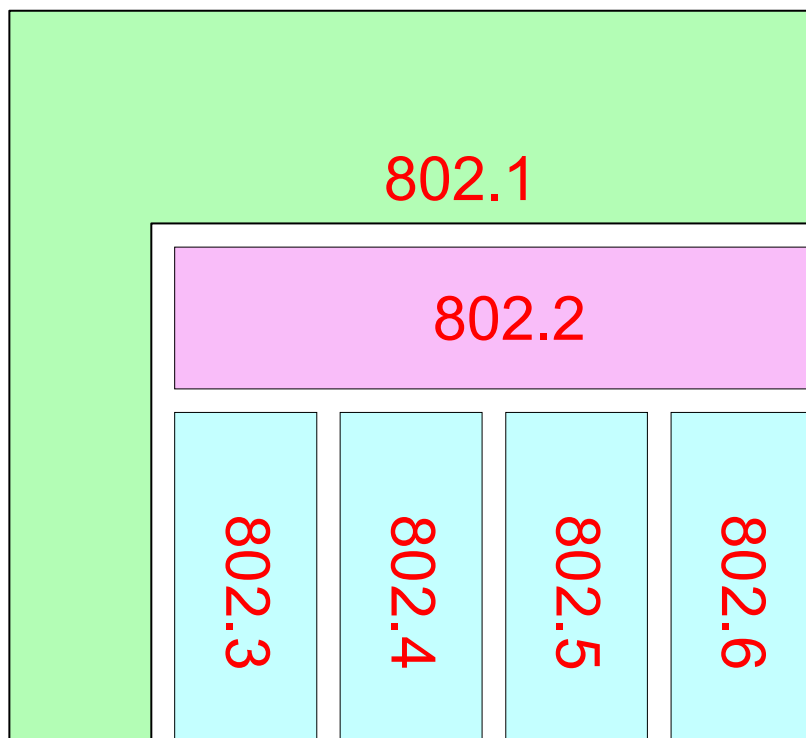
IEEE 802.2: Έλεγχος λογικής ζεύξης



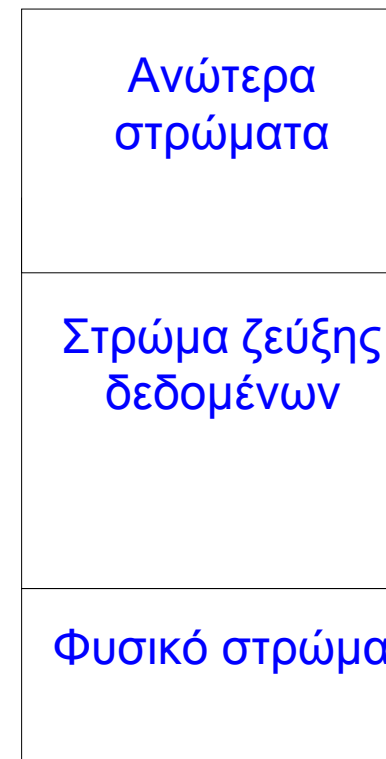
- Το ΙΕΕΕ έχει καθιερώσει ένα πρωτόκολλο στρώματος δεδομένων που μπορεί να τρέξει πάνω από τα πρωτόκολλα των 802 LAN και MAN.
- Επιπρόσθετα, το πρωτόκολλο αυτό, Έλεγχος Λογικής ζεύξης (Logical Link Control, LLC), κρύβει τις διαφορές μεταξύ των διαφόρων δικτύων 802, παρέχοντας μία μόνο δομή και διεπαφή προς το στρώμα δικτύου.
- Η δομή αυτή, η διεπαφή και το πρωτόκολλο βασίζονται στενά στο OSI.



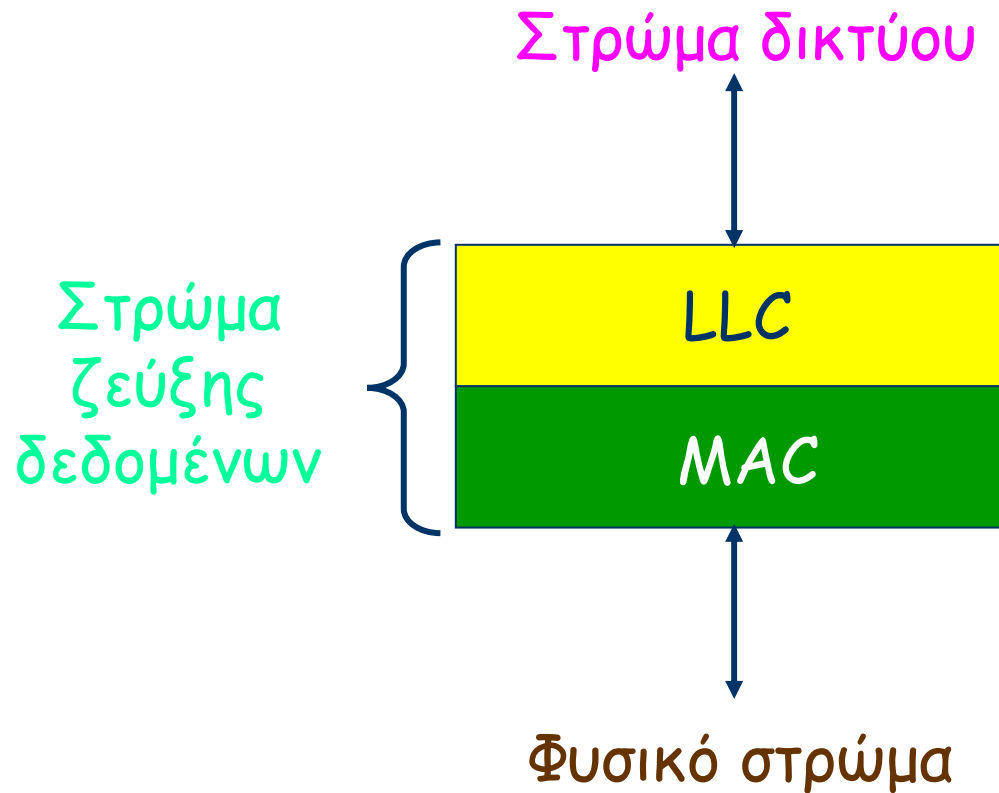
Πρότυπο IEEE 802



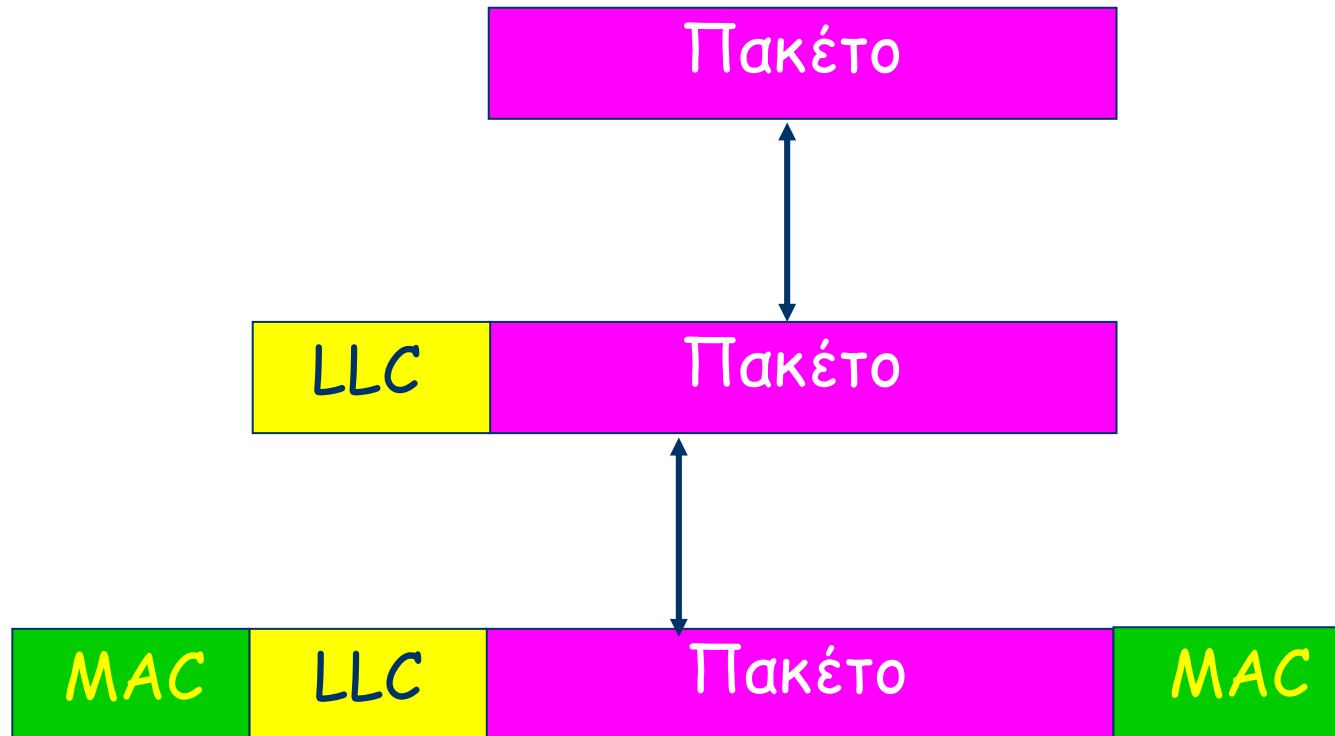
Μοντέλο αναφοράς IEEE



Θέση του LLC



Τυπική χρήση του LLC



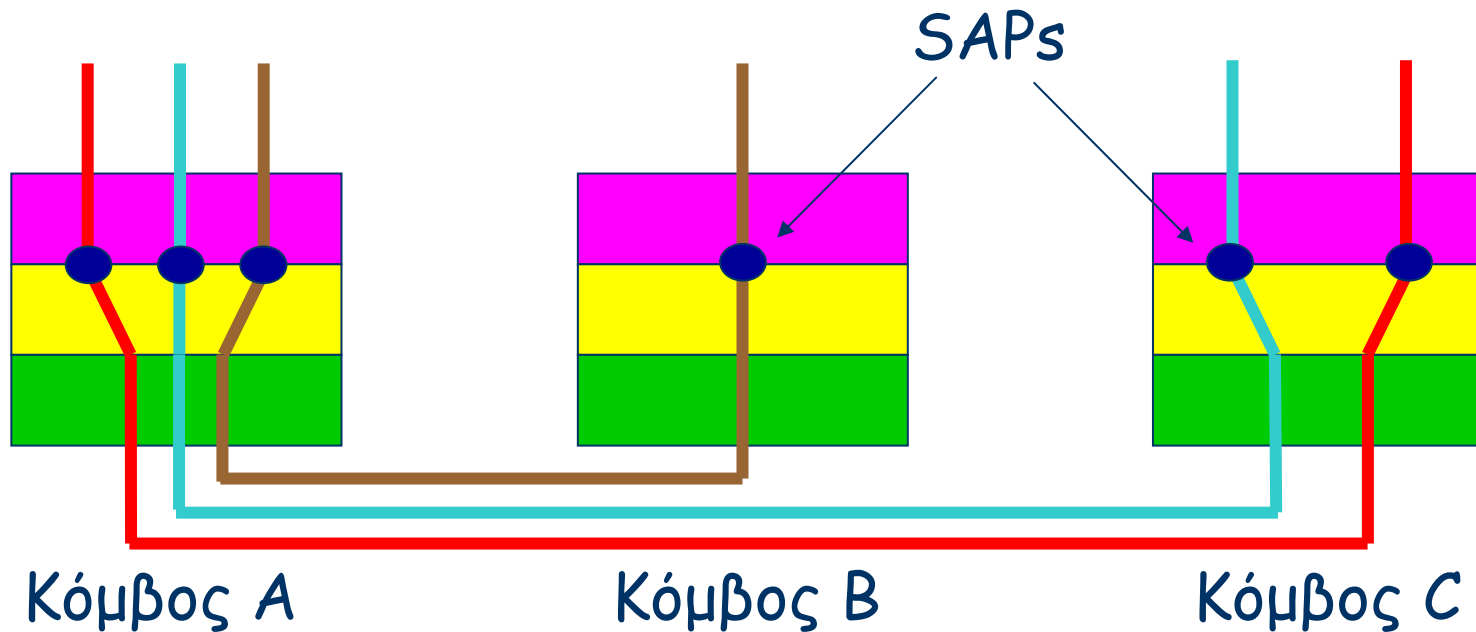
LLC: Υπηρεσίες



Το LLC παρέχει τρεις επιλογές υπηρεσίας:

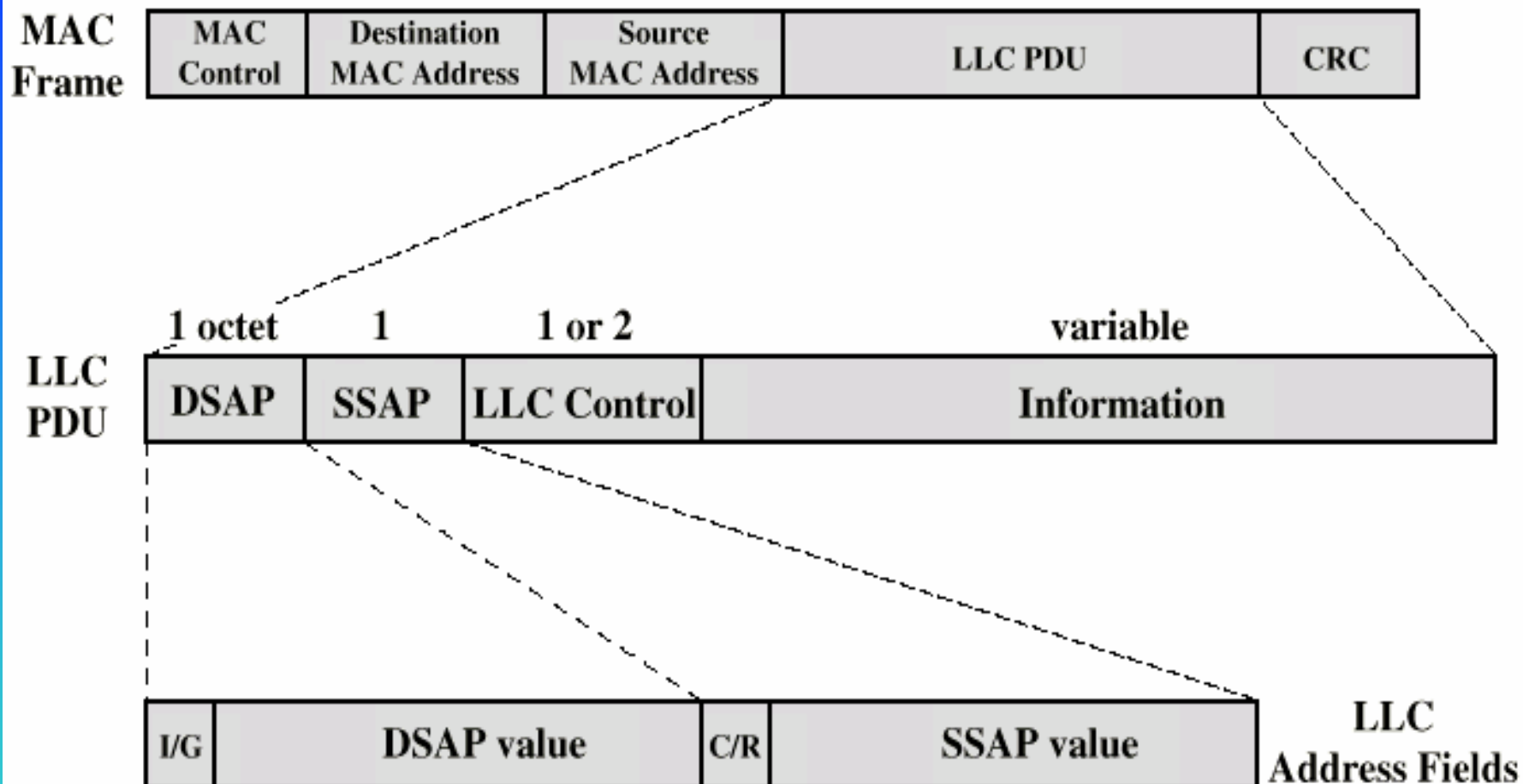
- Αναξιόπιστη υπηρεσία δεδομενογραμμάτων
- Υπηρεσία δεδομενογραμμάτων με επαληθεύσεις
- Αξιόπιστη υπηρεσία με σύνδεση

LLC: Μορφή πλαισίου





LLC: Μορφή πλαισίου



I/G = Individual/Group

C/R = Command/Response

Ενθυλάκωση στο Ethernet (RFC 894)



Προοίμιο (8 byte)	Διεύθυνση παραλήπτη (6 byte)	Διεύθυνση αποστολέα (6 byte)	Τύπος (2 byte)	Δεδομένα (46 -1500 byte)	CRC (4 byte)
----------------------	------------------------------------	------------------------------------	-------------------	-----------------------------	-----------------

0x800	Πακέτο IP (46 -1500 byte)
-------	------------------------------

0x806	Πακέτο ARP (28 byte)	PAD (18 byte)
-------	-------------------------	------------------

0x835	Πακέτο RARP (28 byte)	PAD (18 byte)
-------	--------------------------	------------------

Ενθυλάκωση στο 802.2 (RFC 1042)



← 802.3 MAC → 802.2 LLC → 802.2 SNAP →

Προοίμιο (8 byte)	Διεύθυνση παραλήπτη (6 byte)	Διεύθυνση αποστολέα (6 byte)	Μήκος (2 byte)	DSAP 0xAA	SSAP 0xAA	Cntl 03	Org code 0	Τύπος	Δεδομένα (38 -1492 byte)	CRC (4 byte)
----------------------	------------------------------------	------------------------------------	-------------------	--------------	--------------	------------	---------------	-------	-----------------------------	-----------------

1 1 1 3 2 byte

0x800	Πακέτο IP (38 -1492 byte)
-------	------------------------------

0x806	Πακέτο ARP (28 byte)	PAD (10 byte)
-------	-------------------------	------------------

0x835	Πακέτο RARP (28 byte)	PAD (10 byte)
-------	--------------------------	------------------

Δίκτυα μεταγωγής



- ATM (Asynchronous Transfer Mode)
- Frame Relay
- MultiProtocol Label Switching (MPLS)

ATM και MPLS



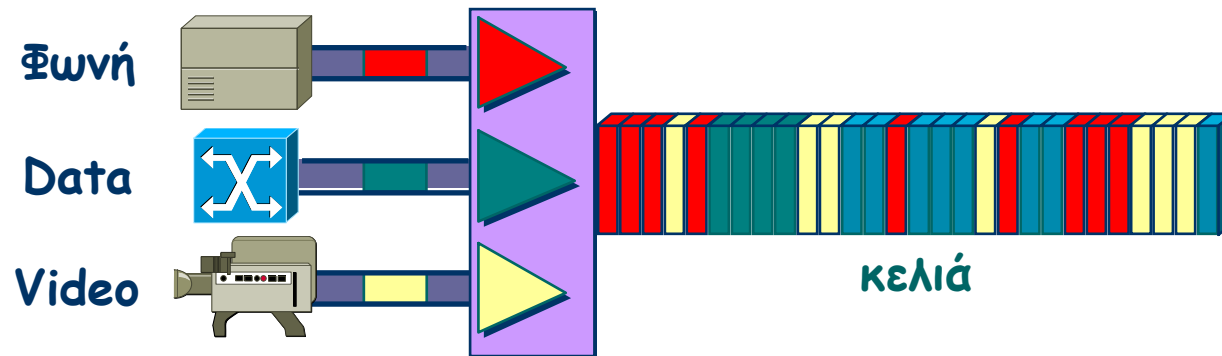
- Τα ATM και MPLS είναι πραγματικά δίκτυα αφ' εαυτού
 - διαφορετικά μοντέλα υπηρεσίας, διευθυνσιοδότησης, δρομολόγησης από ότι το διαδίκτυο
- Το διαδίκτυο τα θεωρεί ως λογικές ζεύξεις που διασυνδέουν δρομολογητές IP
 - όπως ακριβώς οι επιλεγόμενες τηλεφωνικές γραμμές είναι μέρος ενός διαφορετικού δικτύου
- Τα ATM και MPLS παρουσιάζουν τεχνικό ενδιαφέρον από μόνα τους

ATM: Asynchronous Transfer Mode



- Πρότυπο της δεκαετίας 1990 για υψηλές ταχύτητες (155Mbps, 622 Mbps και ανώτερες)
 - *B-ISDN (Broadband Integrated Service Digital Network)*
- **Στόχος:** *ενοποιημένη (ολοκληρωμένη), απ' άκρη σ' άκρη μεταφορά φωνής, βίντεο, δεδομένων*
 - επίτευξη των απαιτήσεων χρόνου/QoS για φωνή, βίντεο (αντί της καλύτερης προσπάθειας του Internet)
 - μεταγωγή πακέτου (πακέτα σταθερού μήκους, τα κελιά "cells") χρησιμοποιώντας νοητά κυκλώματα
 - η "νέα γενιά" της τηλεφωνίας (επηρεάσθηκε από τον κόσμο της τηλεφωνίας)

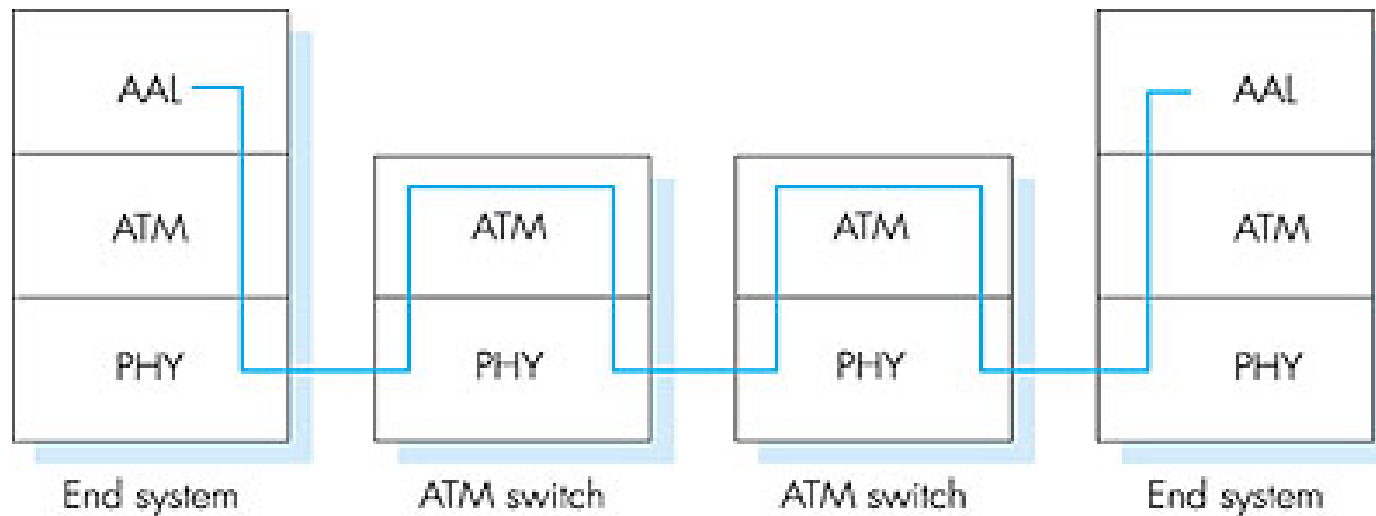
ATM: Asynchronous Transfer Mode



- Χρησιμοποιεί μικρά πακέτα σταθερού μήκους
- Υπηρεσία με σύνδεση
- Υποστηρίζει πολλούς τύπους υπηρεσιών
- Εφαρμόσιμο σε LAN και WAN



Αρχιτεκτονική ATM



- **στρώμα προσαρμογής:** μόνο στα άκρα του δικτύου ATM
- **στρώμα ATM:** στρώμα "δικτύου"
- **φυσικό στρώμα**



Στρώμα δικτύου ή ζεύξης δεδομένων:

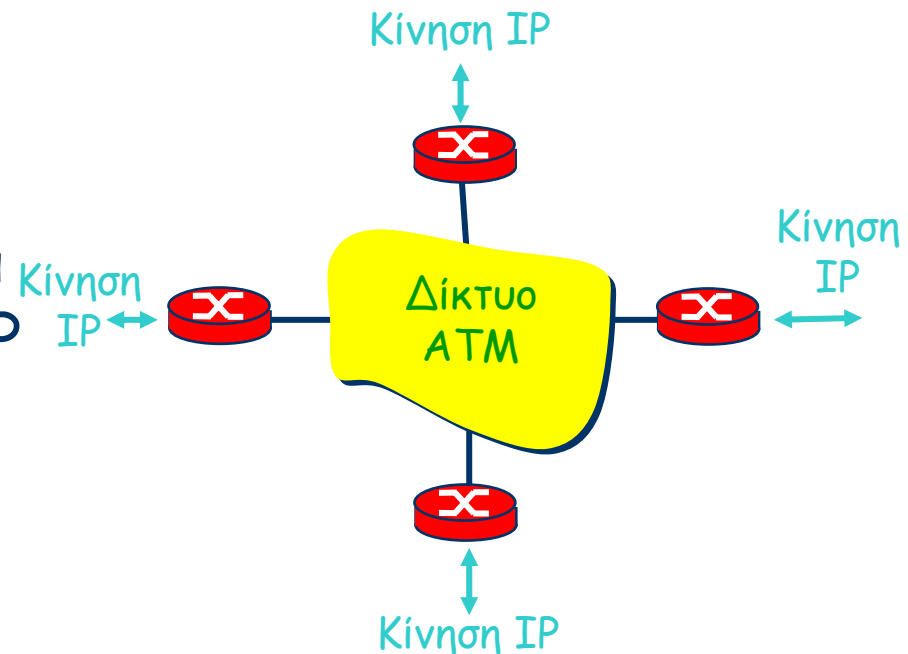
Όραμα: μετάδοση απ' άκρη σ' άκρη

"ΑΤΜ από υπολογιστή σε υπολογιστή"

- το ΑΤΜ **είναι** τεχνολογία δικτύου

Πραγματικότητα: χρησιμοποιείται για να συνδέει δρομολογητές IP στο δίκτυο κορμού

- "IP over ATM"
- ΑΤΜ ως στρώμα ζεύξης με μεταγωγή που συνδέει δρομολογητές IP



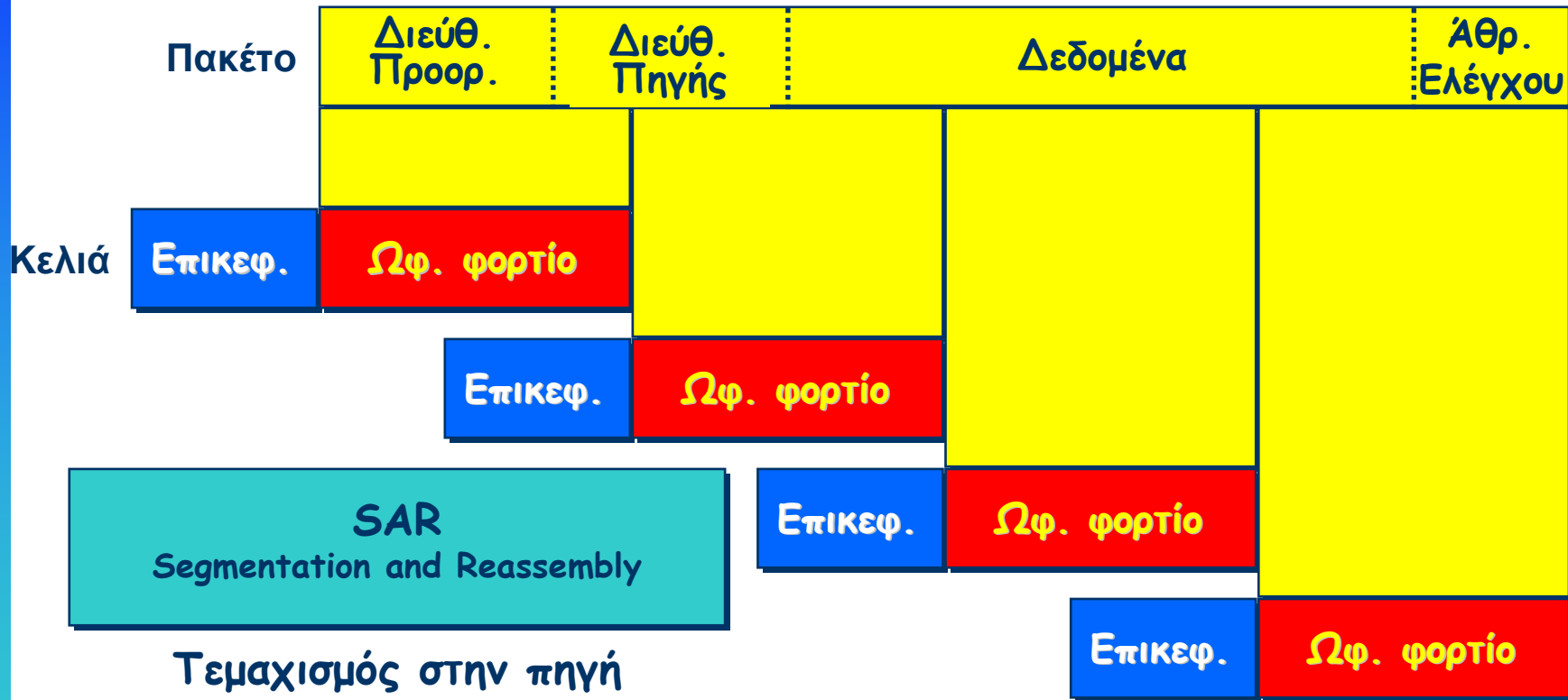


ΑΤΜ: Στρώμα προσαρμογής (AAL)

- Προσαρμόζει τα ανώτερα στρώματα στο στρώμα ΑΤΜ
- Υπάρχει μόνο στα άκρα του δικτύου, όχι στους μεταγωγείς
- Δύο υποστρώματα:
 - **σύγκλισης** (Convergence Sublayer, CS): παροχή τυποποιημένης διεπαφής
 - **Τεμαχισμού και συναρμολόγησης** (Segmentation And Reassembly, SAR)



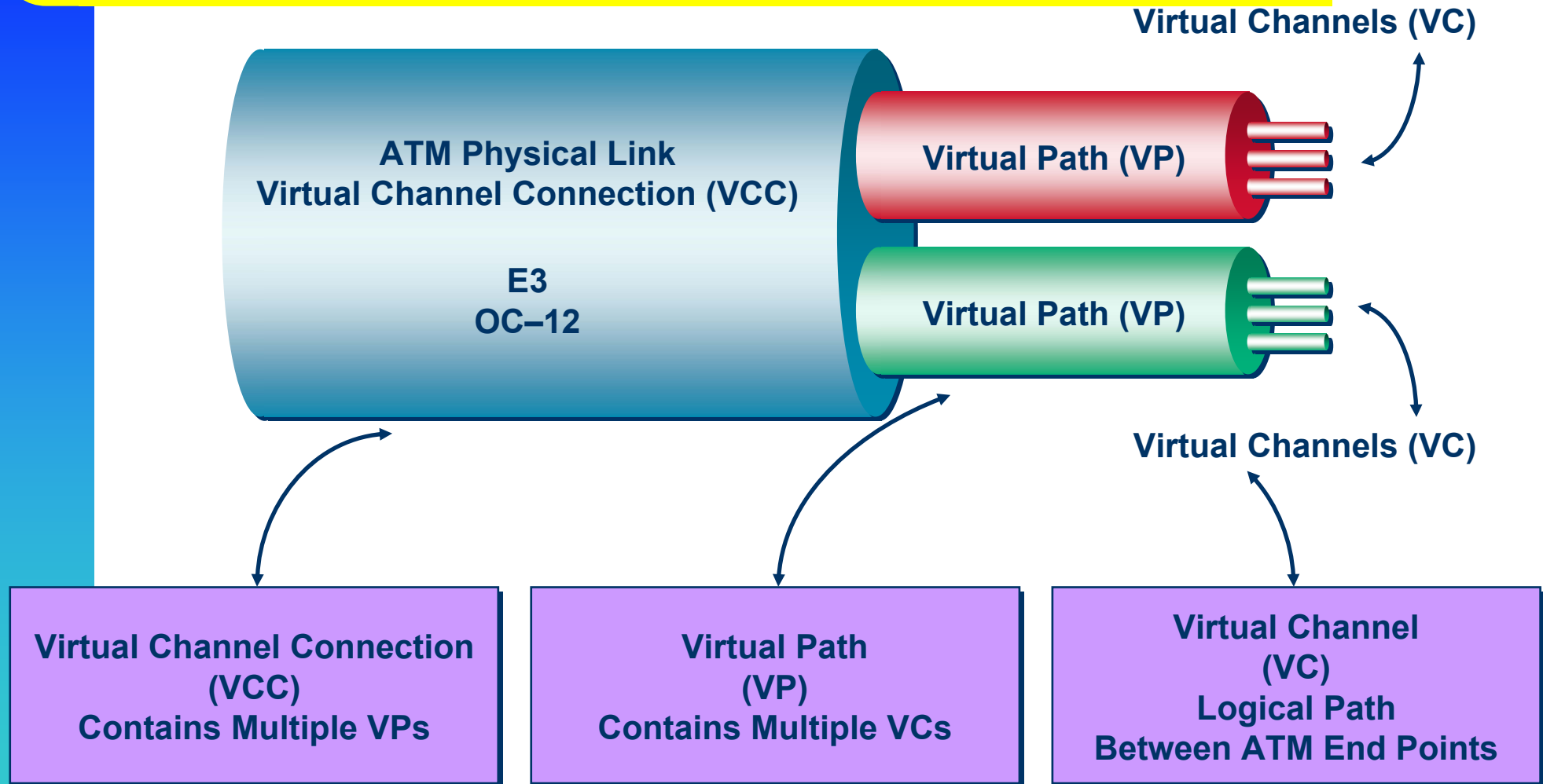
Δημιουργία κελιών από πακέτα



Τεμαχισμός στην πηγή
Συναρμολόγηση στον προορισμό

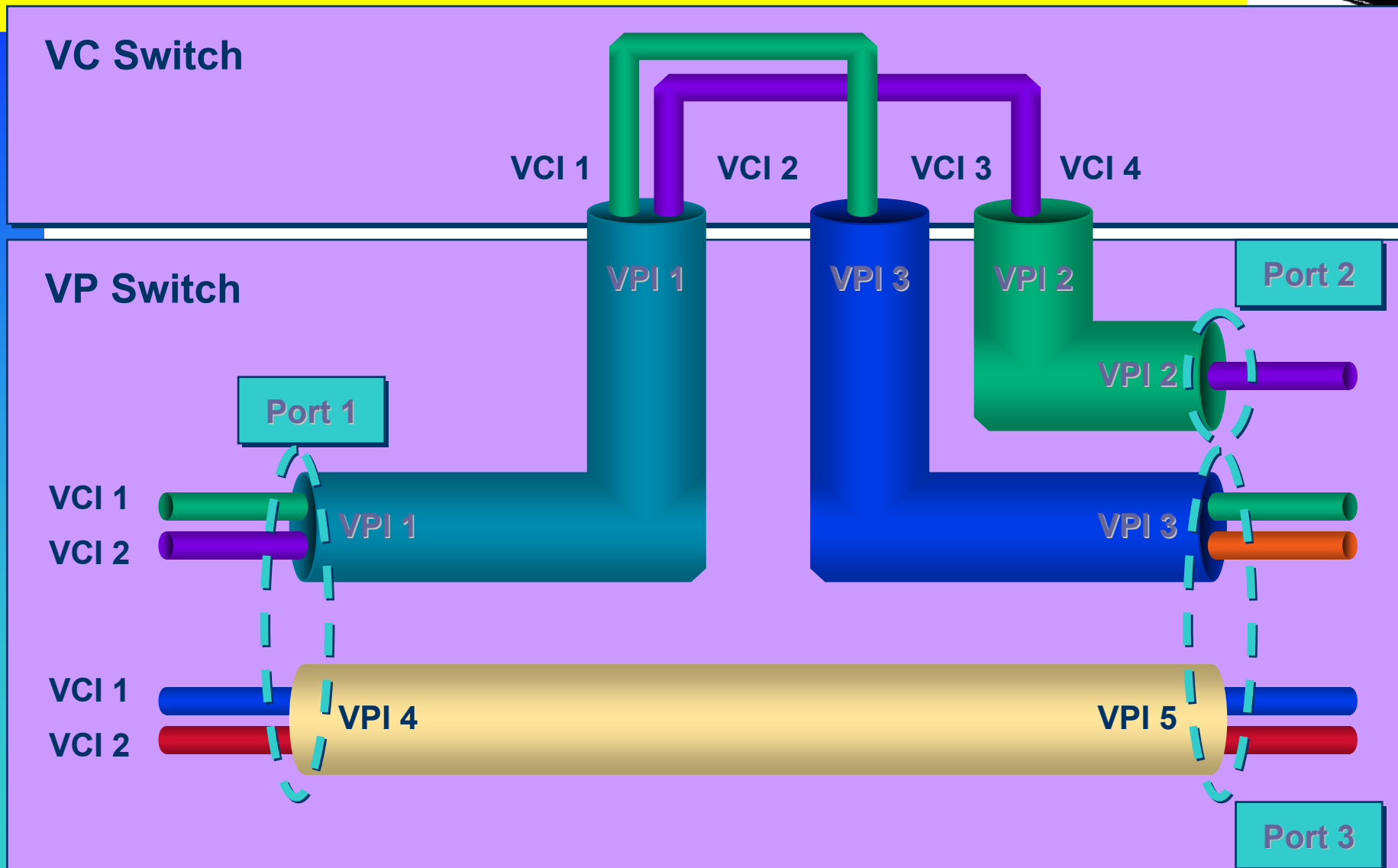


Νοητά κυκλώματα και διαδρομές

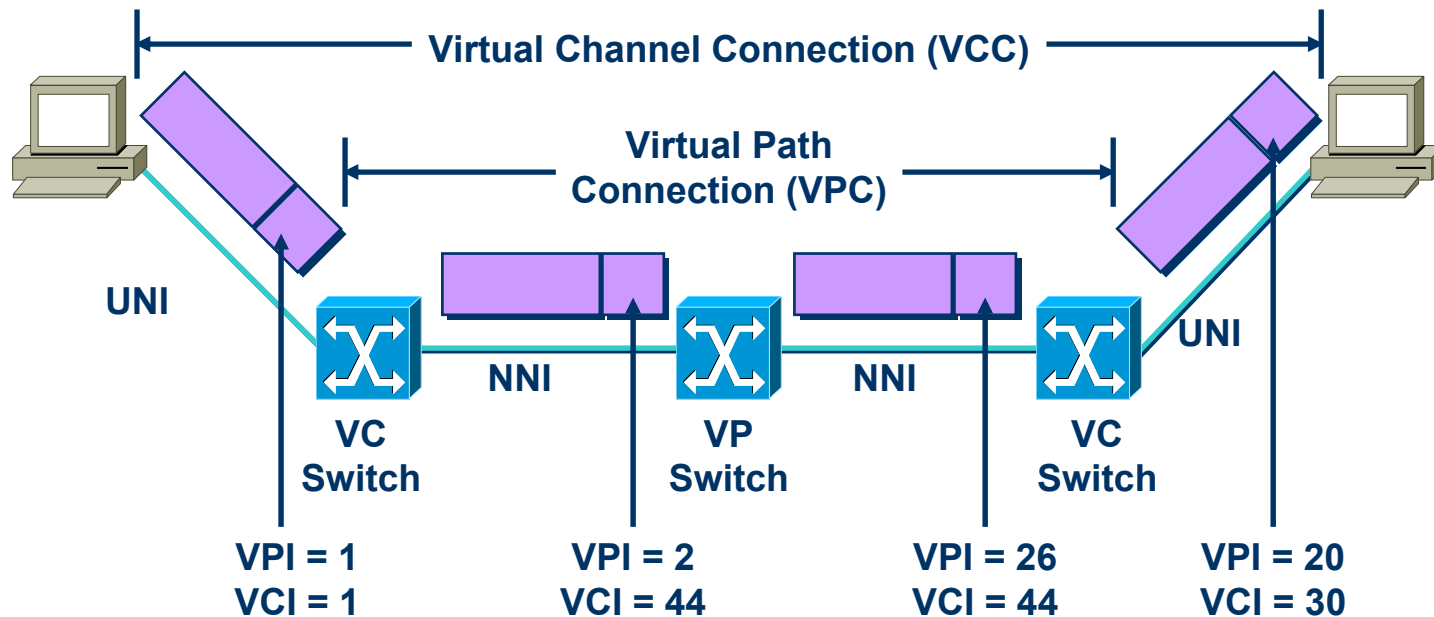


Connection Identifier = **VPI/VC**

Μεταγωγή VP και VC



Virtual Channels και Virtual Paths



- Αυτή η προώθηση βήμα-βήμα είναι γνωστή ως cell relay

Αρχιτεκτονικές ευρυζωνικής πρόσβασης

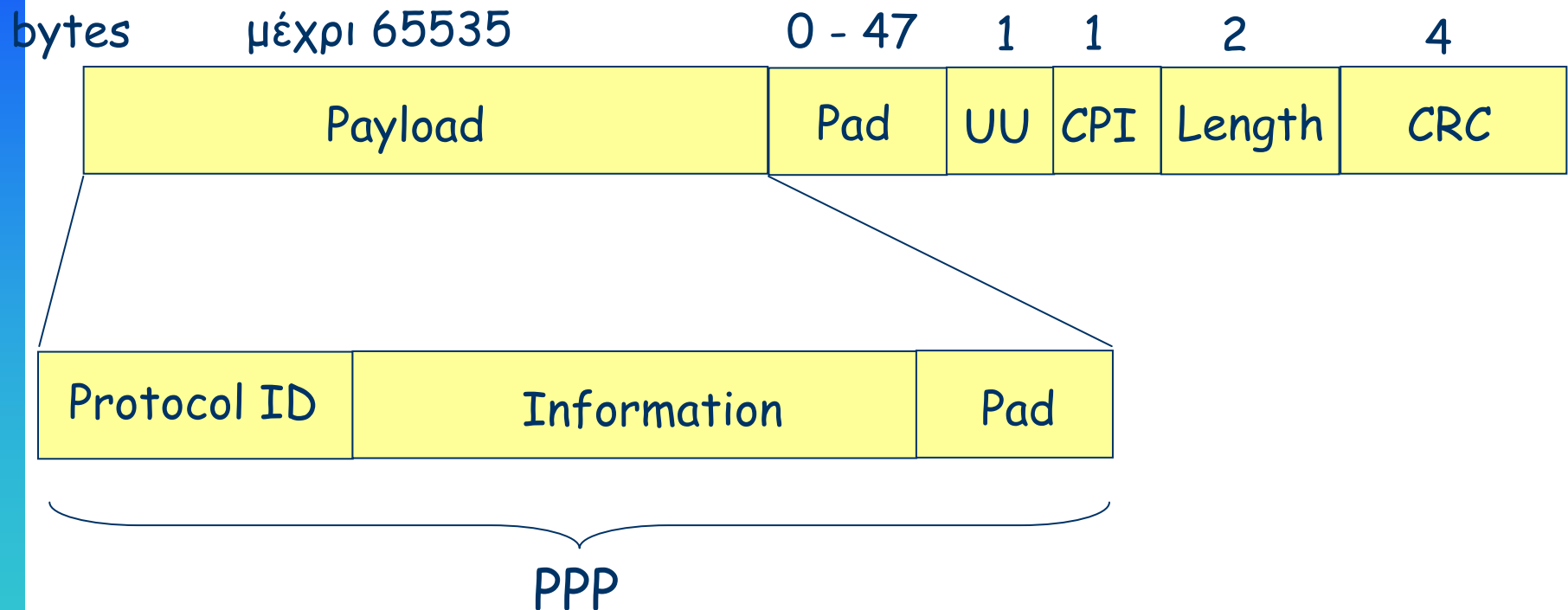


- Point-to-Point πάνω από ATM (PPPoA)
- Point-to-Point πάνω από Ethernet (PPPoE)

PPP over ATM



AAL5 CPCS-PDU

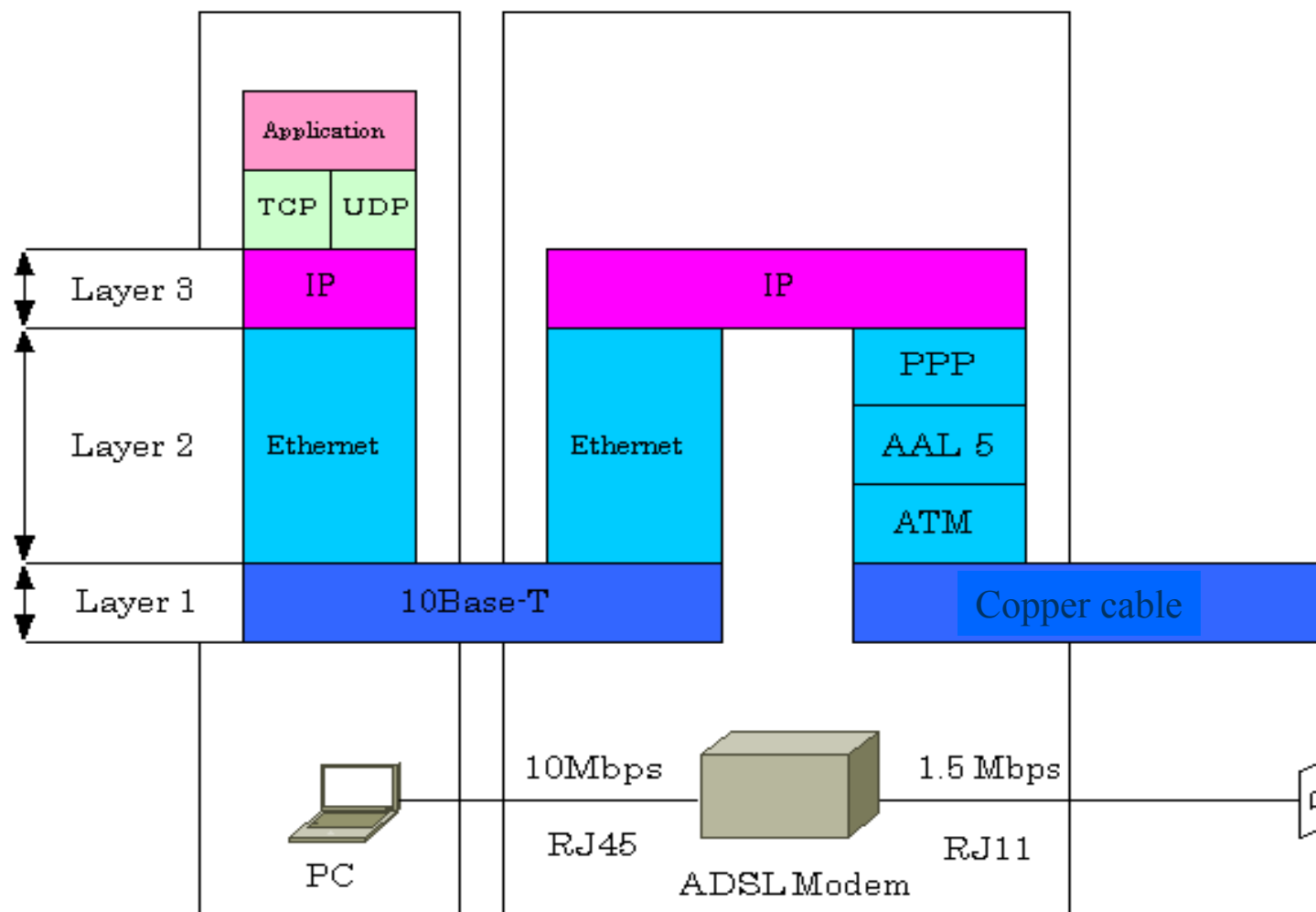


UU: user-to-user identification
CPI: common part indicator



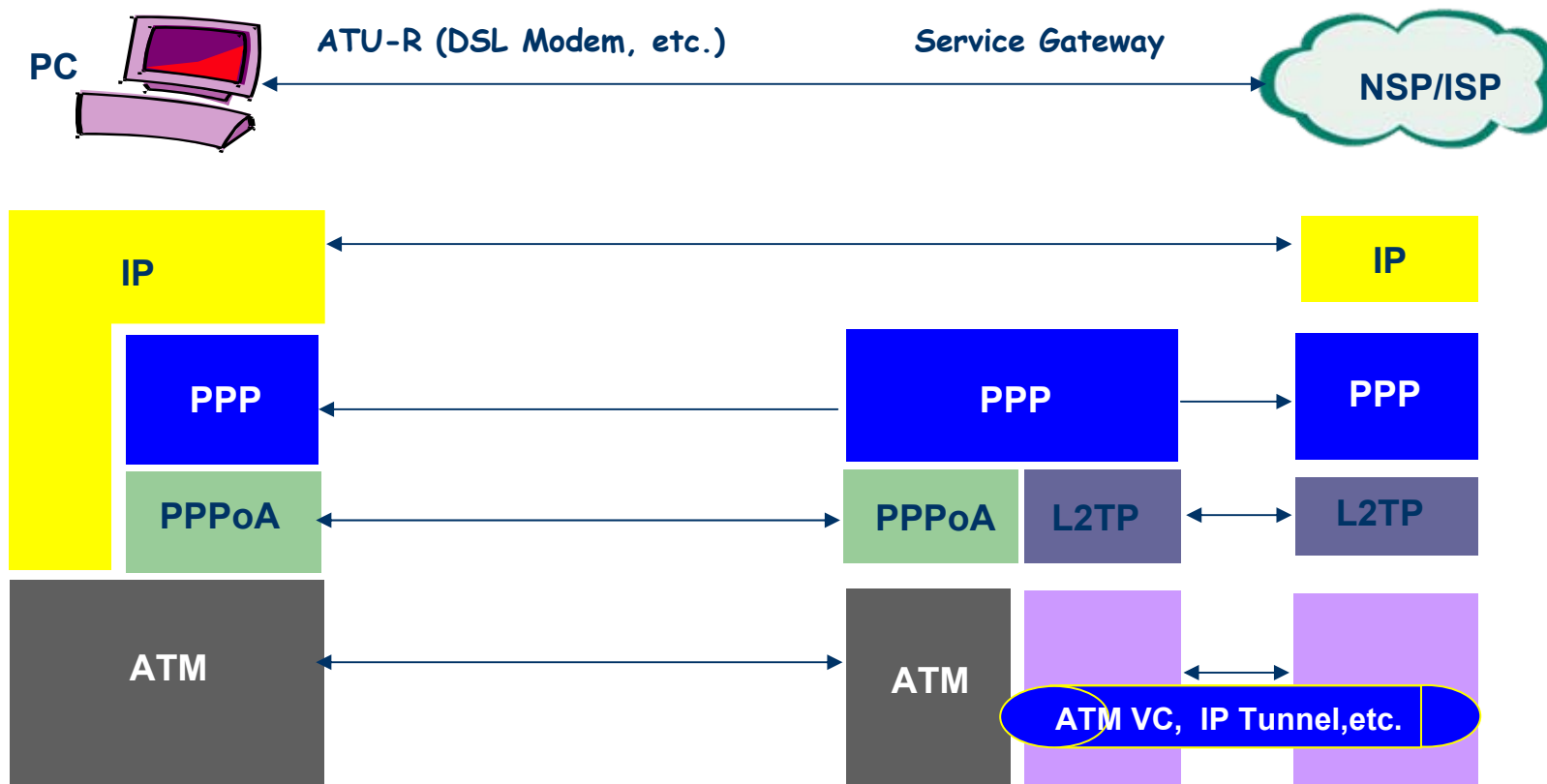
Αρχιτεκτονική PPP over ATM

PPPoA by ADSL Router Modem





Αρχιτεκτονική PPP over ATM



ATU-R: ADSL Terminal Unit - Remote



PPP over Ethernet

- Σύνδεση των host στο ADSL ή cable modem μέσω Ethernet
- Το Ethernet δεν παρέχει υπηρεσία με σύνδεση και τα χαρακτηριστικά του PPP δεν διατηρούνται μετά τη συσκευή πρόσβασης
- Η εγκατάσταση νέου πρωτοκόλλου πάνω από το Ethernet εισάγει μεγάλη πολυπλοκότητα στη συσκευή πρόσβασης
- Το PPP πάνω από το Ethernet στους host είναι πιο απλή λύση και απαιτεί ενημέρωση του λογισμικού μόνο στον host.
- Το PPPoE επινοήθηκε για να συνδυάζει και τα δύο.

PPP over Ethernet

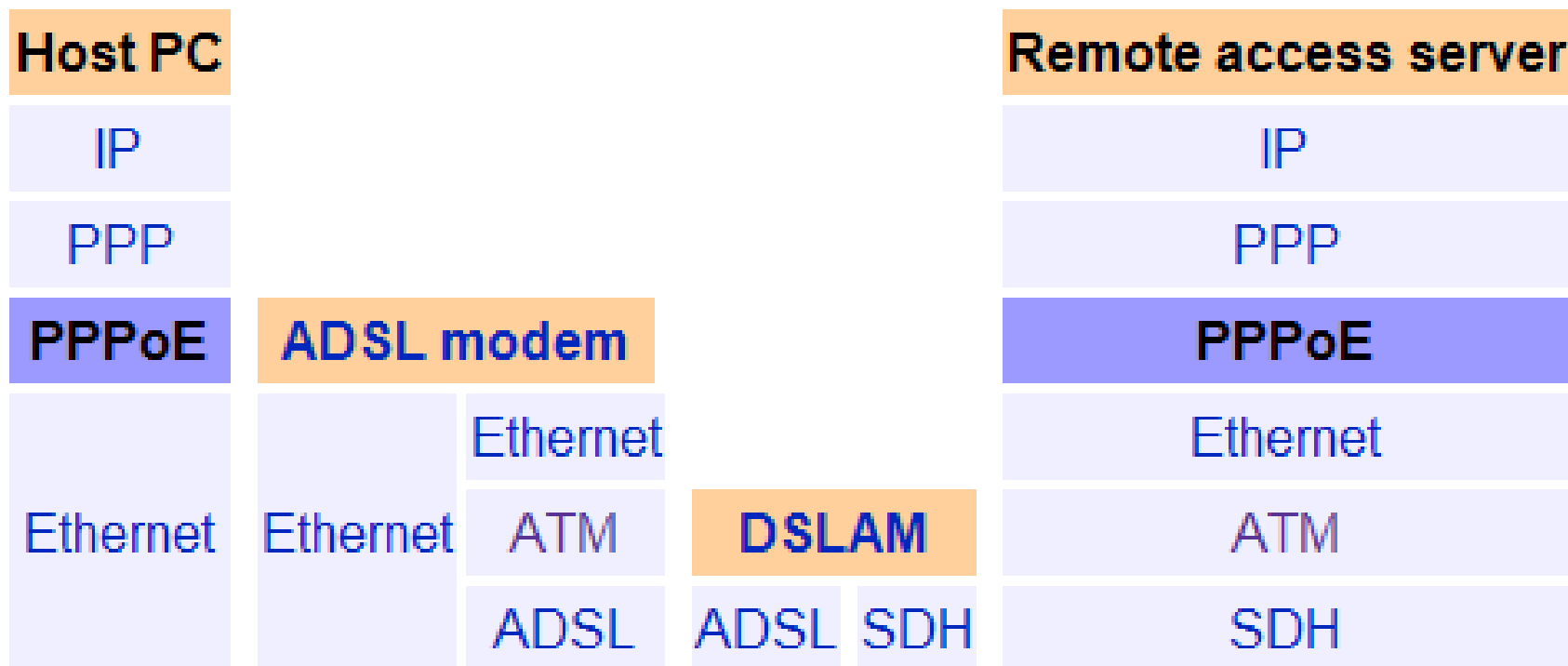


- Δύο διακεκριμένες καταστάσεις
- PPPoE Discovery
 - Πριν την ανταλλαγή πακέτων PPP για την εγκατάσταση σύνδεσης πάνω από το Ethernet, πρέπει να γίνουν γνωστές οι MAC addresses των δύο άκρων, ώστε να συμπεριληφθούν στα πακέτα ελέγχου. Αυτό επιτυγχάνεται στην κατάσταση αυτή καθώς και ο ορισμός μιας Session ID για την ανταλλαγή πακέτων
- PPP Session
 - Μόλις γίνουν γνωστές οι MAC addresses των άκρων και ορισθεί η Session ID υπάρχει όλη η πληροφορία πλέον για την εγκατάσταση σύνδεσης σημείου προς σημείο και την ανταλλαγή πακέτων πάνω από τη σύνδεση αυτή.

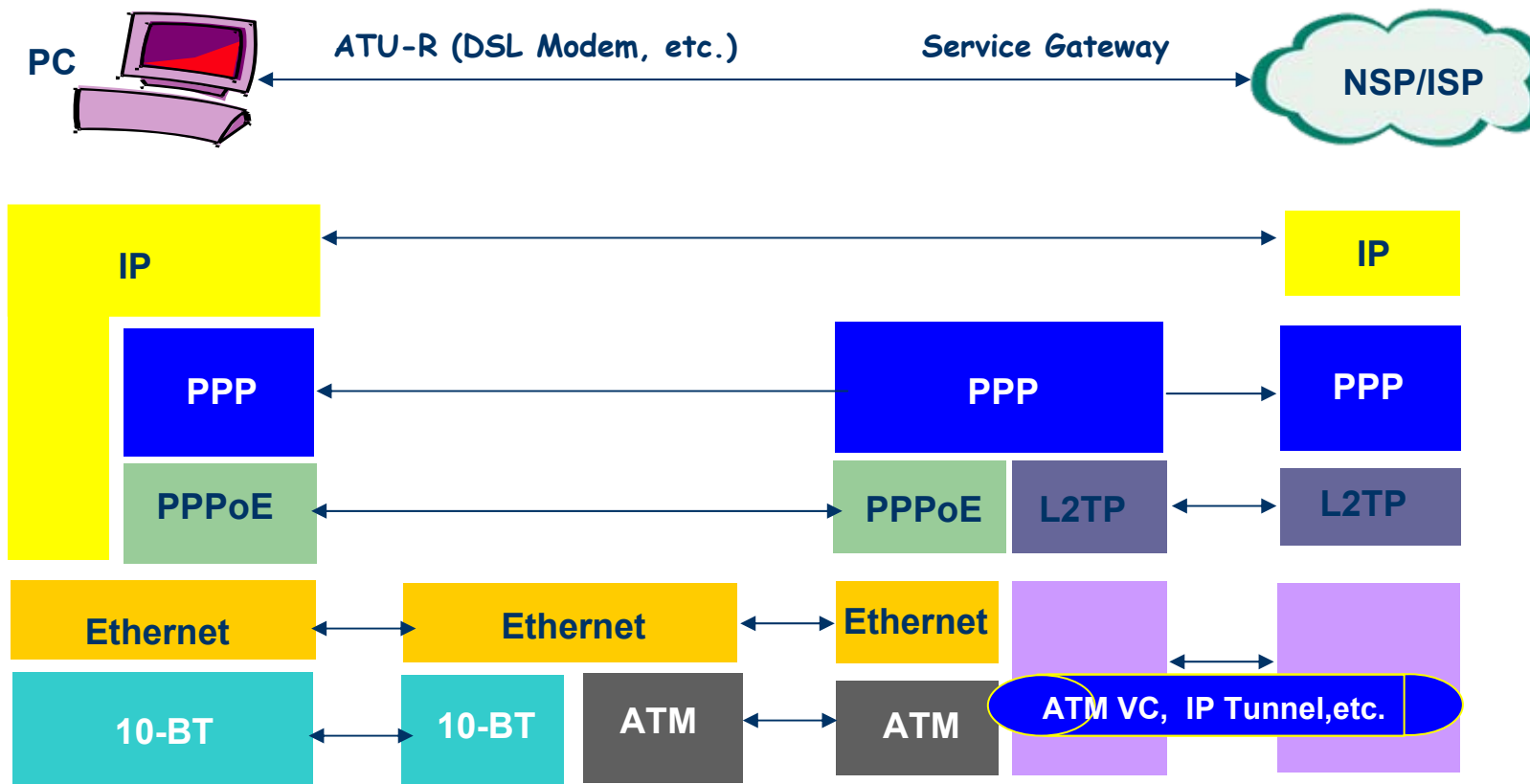


Αρχιτεκτονική PPP over Ethernet

ADSL internet access architecture



Αρχιτεκτονική PPPoE



ATU-R: ADSL Terminal Unit - Remote

PPPoE: Ethernet Payload



Ethernet payload για PPPoE

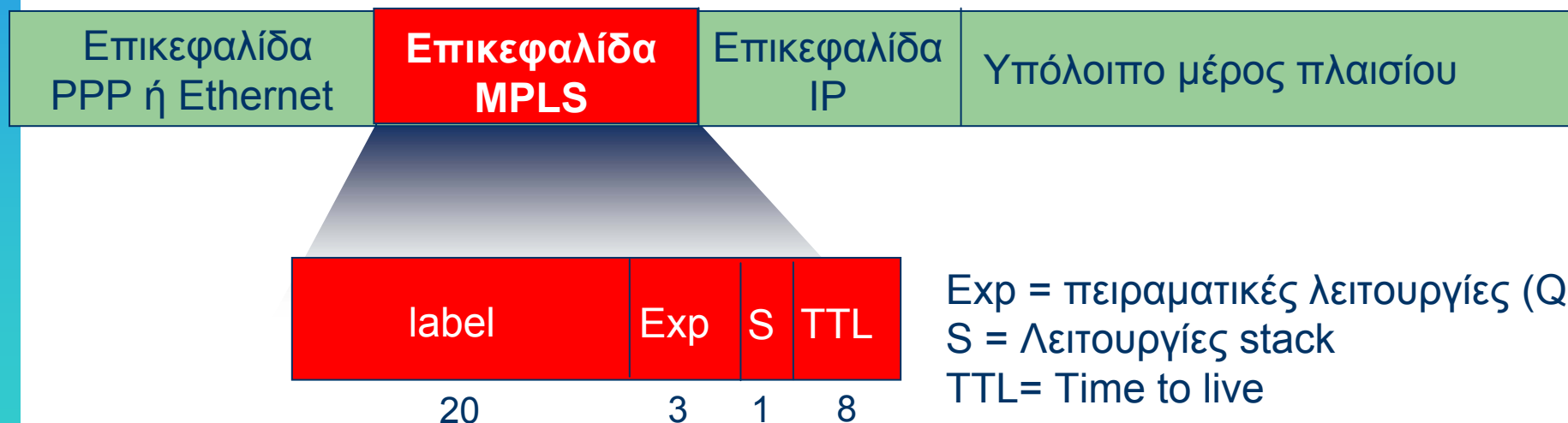
VER	TYPE	CODE	SESSION_ID
LENGTH			payload

- Το πεδίο Type στο πλαίσιο Ethernet έχει την τιμή 0x8863 για την κατάσταση discovery και 0x8864 για την κατάσταση PPP session.



Multiprotocol label switching (MPLS)

- Αρχικός σκοπός: η επιτάχυνση της προώθησης πακέτων IP μέσω της χρήσης ετικέτας (label) σταθερού μήκους αντί της διεύθυνσης IP
 - δανείζεται την ιδέα του νοητού κυκλώματος
 - αλλά το πακέτο διατηρεί την IP διεύθυνσή του!



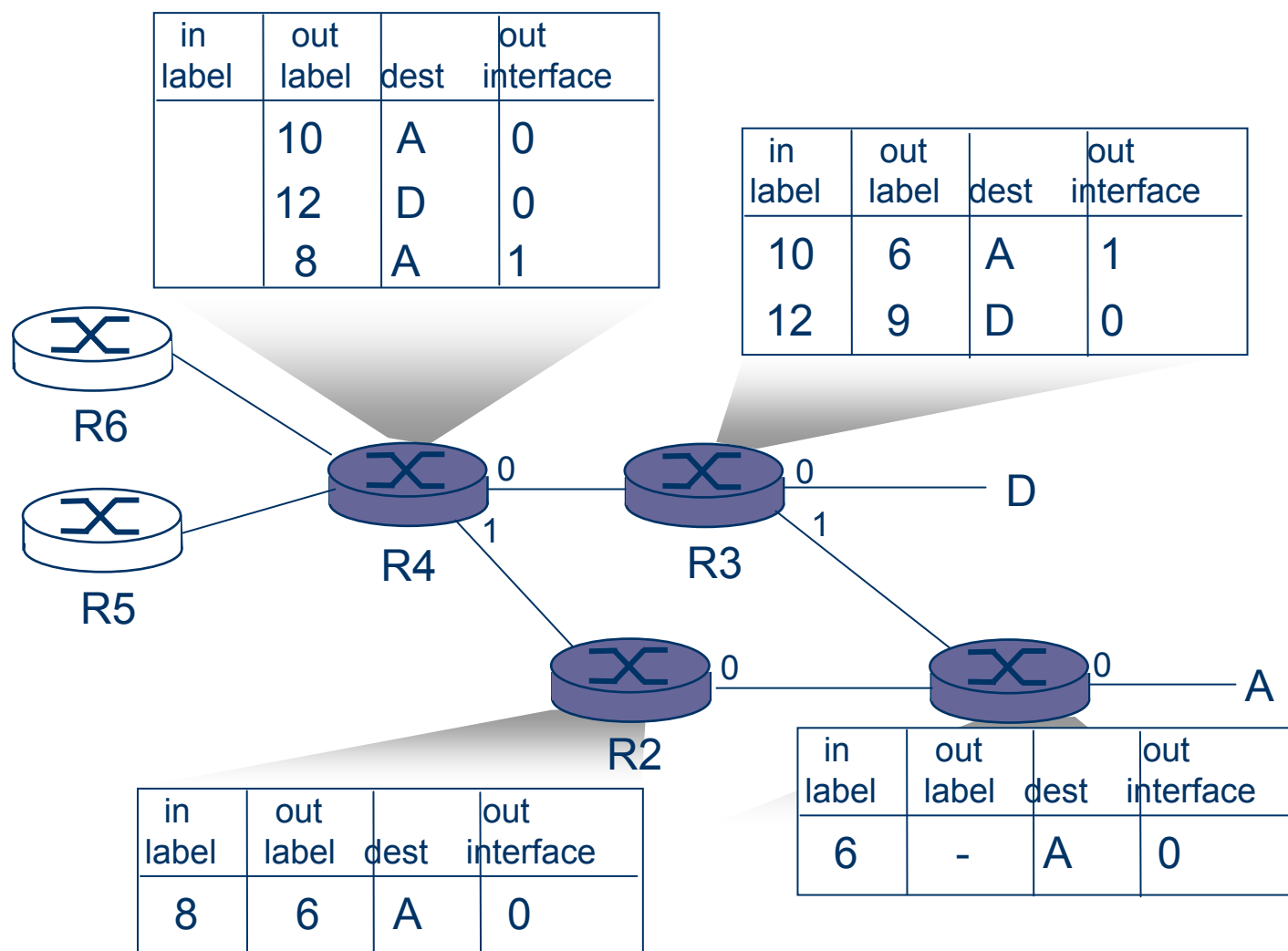


Πώς λειτουργεί το MPLS

- Label Edge Router (LER): εισάγει ετικέτα στο εισερχόμενο πακέτο
- Label Switch Router (LSR): πραγματοποιεί προώθηση με βάση μόνο την ετικέτα
- Οι πίνακες προώθησης MPLS είναι διαφορετικοί από τους πίνακες δρομολόγησης
- Οι ετικέτες κατανέμονται μεταξύ των LER και LSR με τη χρήση του LDP (Label Distribution Protocol)
- Οι δρομολογητές MPLS πρέπει να συνυπάρχουν με απλούς δρομολογητές IP



Πίνακες προώθησης MPLS





Δημιουργία πινάκων προώθησης MPLS

- Υπάρχουν δύο πρότυπα πρωτόκολλα για τη δημιουργία των πινάκων προώθησης MPLS
 - CR-LDP (Constrained-based Routing Label Distribution Protocol)
 - RSVP-TE (επέκταση του RSVP)
- Η προώθηση μπορεί να γίνει σε διαδρομές που το IP από μόνο του δεν θα επέτρεπε
- Μπορούν να εφαρμοσθούν τεχνικές διαστασιολόγησης κίνησης (traffic engineering)

Σύγκριση MPLS και ATM



- Και τα δύο παρέχουν υπηρεσία με σύνδεση για μεταφορά δεδομένων σε δίκτυα υπολογιστών.
- Το MPLS μπορεί να λειτουργήσει με πακέτα μεταβλητού μήκους, ενώ το ATM με σταθερού μήκους 53 byte.
- Επειδή απαιτούνται 2 LSP ανά αμφίδρομη σύνδεση, στο MPLS μπορεί να ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές ενώ στο ATM όχι.
- Το κυριότερο πλεονέκτημα του MPLS ως προς το ATM είναι ότι σχεδιάστηκε εξ αρχής να είναι συμπληρωματικό του IP. Οι μοντέρνοι δρομολογητές μπορούν να υποστηρίζουν και MPLT και IP.