



# ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Στρώμα ζεύξης δεδομένων



- Κατανόηση των βασικών αρχών που διέπουν τις υπηρεσίες του στρώματος ζεύξης δεδομένων
- Τύποι ζεύξεων
- Παρουσίαση διάφορων τεχνολογιών που υλοποιούν το στρώμα ζεύξης δεδομένων



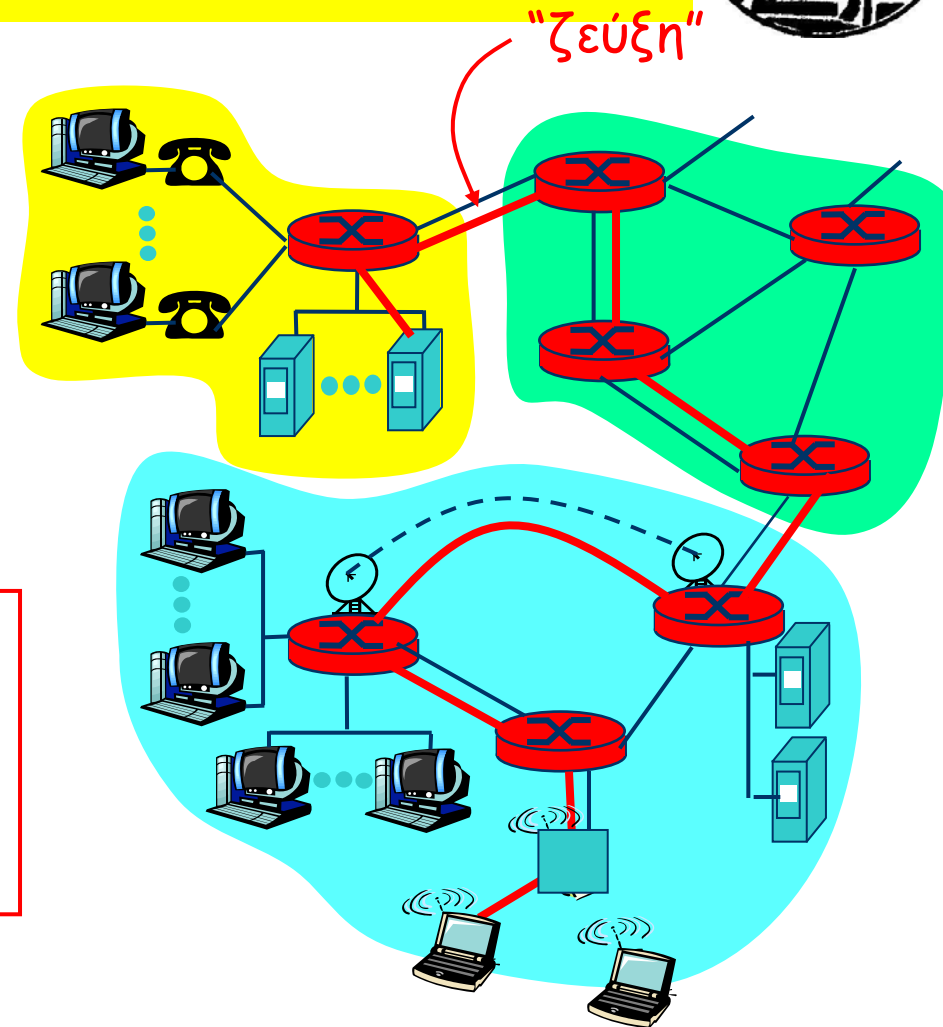
- Υπηρεσίες του στρώματος ζεύξης δεδομένων
- Τύποι ζεύξεων
- Έλεγχος ζεύξης σημείου προς σημείο
  - HDLC
  - SLIP
  - PPP
- ATM και MPLS
- Αρχιτεκτονικές ευρυζωνικής πρόσβασης

# Εισαγωγή



## Ορολογία:

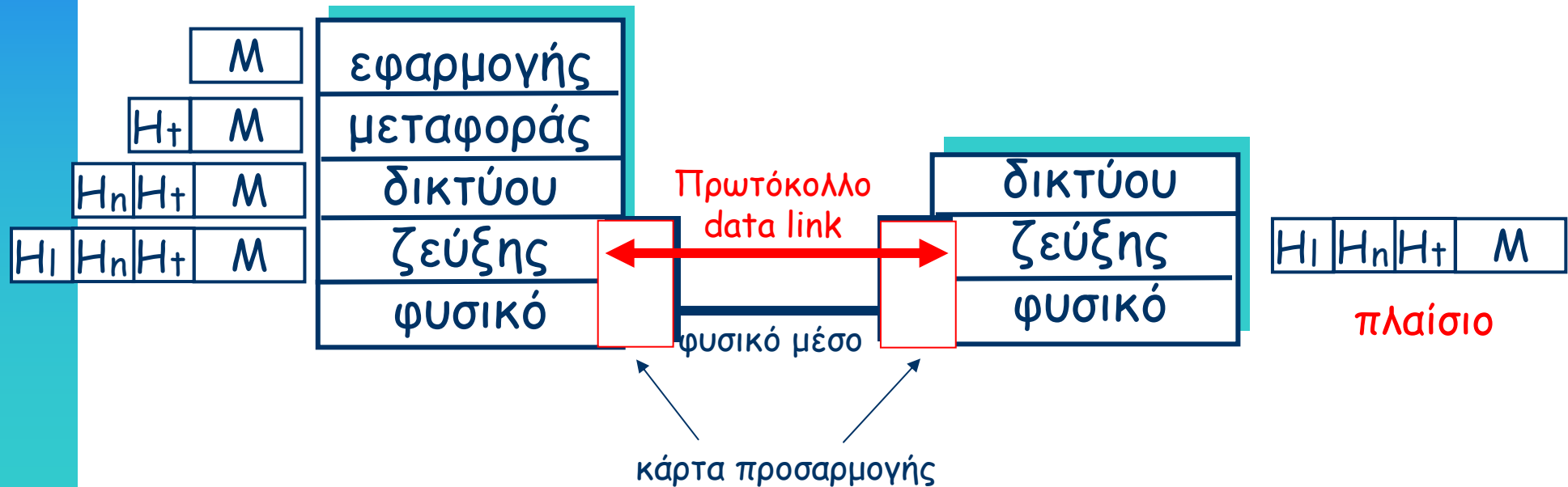
- Οι host και οι δρομολογητές είναι οι **κόμβοι** του δικτύου
- Οι τηλεπικοινωνιακοί δίαυλοι που συνδέουν γειτονικούς κόμβους δικτύου αποκαλούνται **ζεύξεις**
  - ενσύρματες
  - ασύρματες
  - LAN
- Το στρώμα ζεύξης δεδομένων (data link layer) έχει την ευθύνη να μεταφέρει δεδομενογράμματα από έναν κόμβο δικτύου σε έναν γειτονικό του κόμβο πάνω από μια ζεύξη
- Η PDU του στρώματος ζεύξης δεδομένων αποκαλείται **πλαίσιο** και ενθυλακώνει ένα δεδομένογραμμα



# Στρώμα ζεύξης δεδομένων



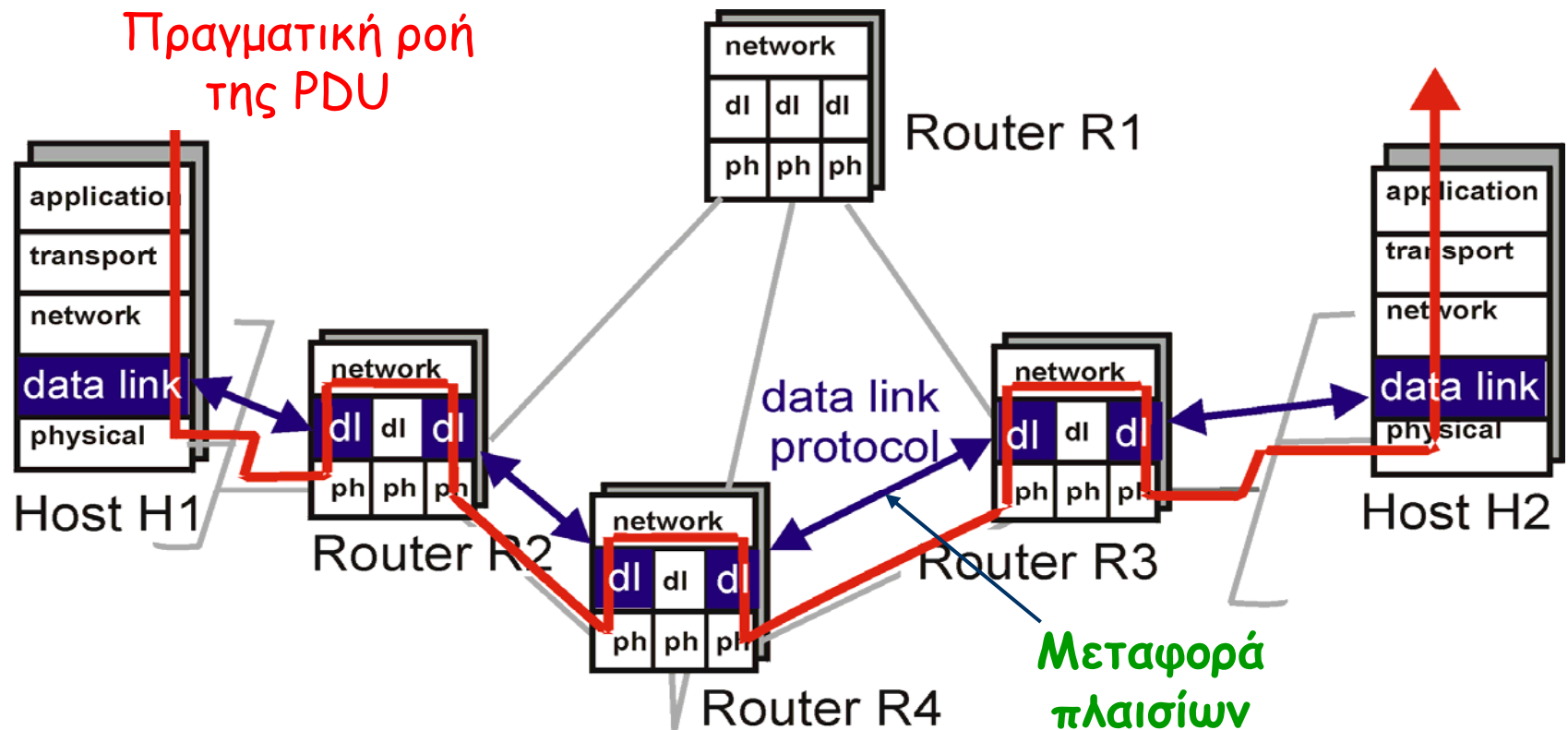
- δύο συσκευές *συνδεδεμένες με φυσικό μέσο*:
  - host-router, router-router, host-host
- Μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου: *πλαίσιο (frame)*



# Στρώμα ζεύξης δεδομένων



## Γενικό πλαίσιο λειτουργίας



# Στρώμα ζεύξης δεδομένων



- 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

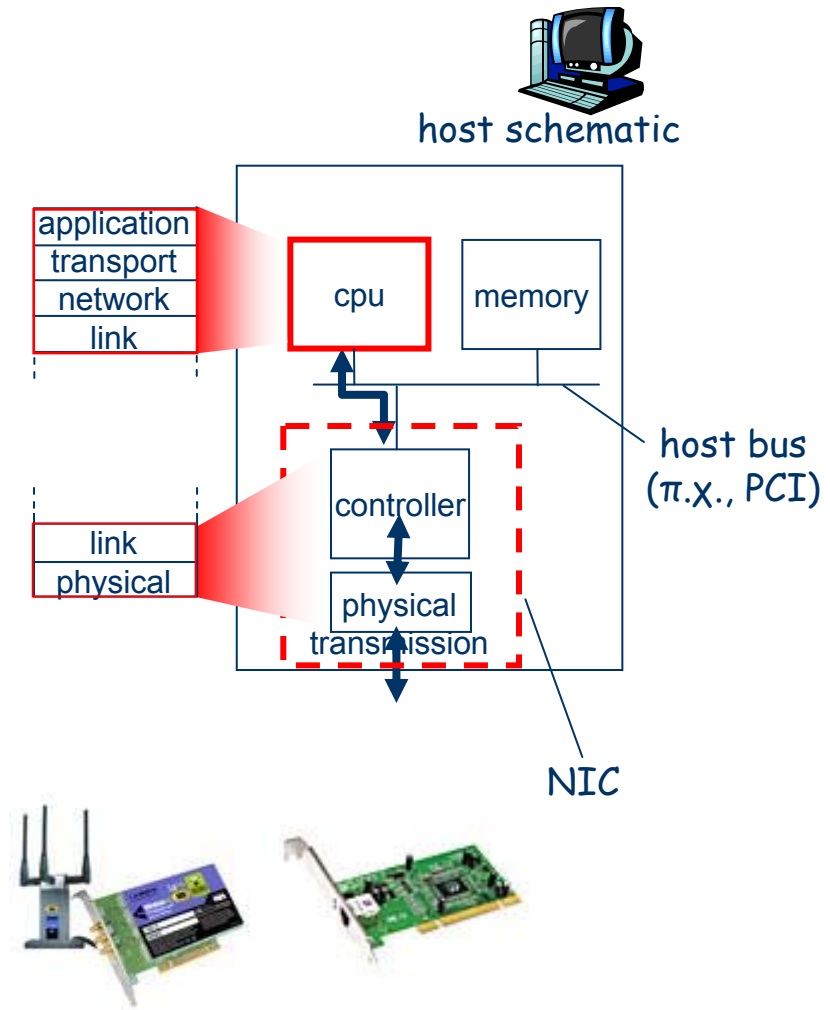
## Αναλογία με τις μεταφορές

- Μετακίνηση από Θεσσαλονίκη σε Πάτρα
  - Ταξί: σπίτι - αεροδρ. Θεσ/νίκης
  - Αεροπλάνο: Θεσ/νίκη - Αθήνα
  - Μετρό: Αερ. Αθηνών-Στ. Λαρίσης
  - Τραίνο: Στ. Λαρίσης-Πάτρα
- Επιβάτης: **πακέτο**
- Τμήμα μετακίνησης: **επικοινωνιακή ζεύξη**
- Μέσο μεταφοράς: **πρωτόκολλο ζεύξης δεδομένων**
- Ταξιδιωτικός πράκτωρ: **αλγόριθμος δρομολόγησης**

# Υλοποίηση του data link layer

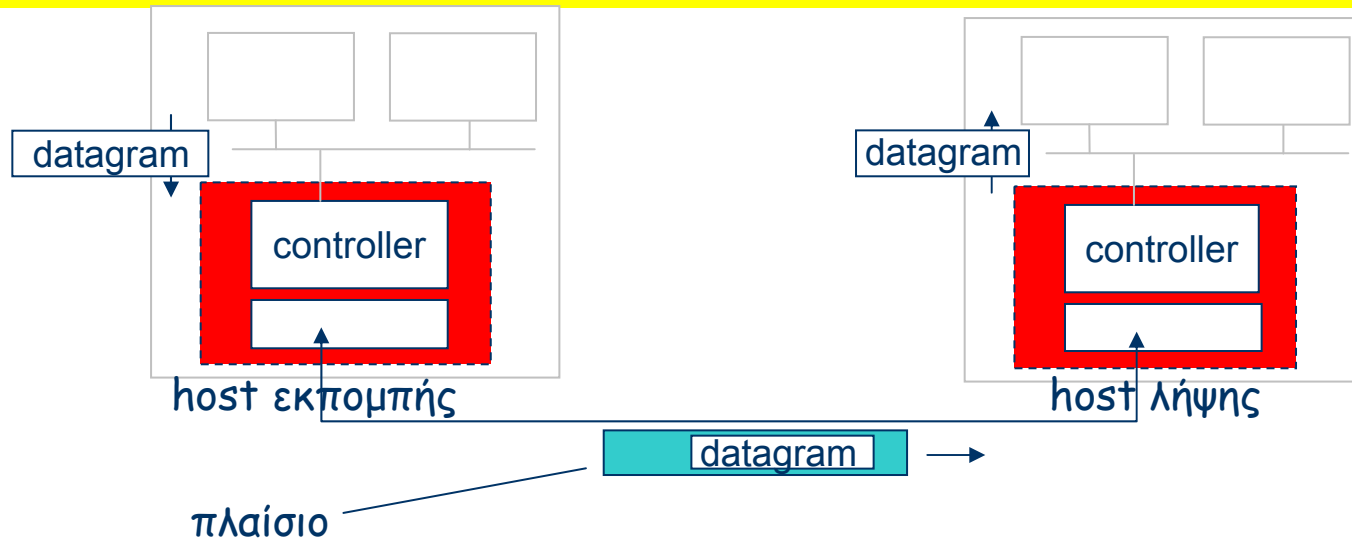


- Στην κάρτα "προσαρμογής" (network interface card, NIC)
  - π.χ., κάρτα Ethernet, PCMCIA, κάρτα 802.11
  - Υλοποιεί το στρώμα ζεύξης δεδομένων και το φυσικό
- Περιέχει: RAM, DSP chips, διεπαφή προς το bus του host, διεπαφή προς τη ζεύξη
- Η κάρτα λειτουργεί ημι-αυτόνομα





# Επικοινωνία καρτών προσαρμογής



## • Πλευρά εκπομπής:

- ενθυλακώνει το δεδομένογραμμα σε ένα πλαίσιο
- προσθέτει bits για τον έλεγχο λαθών, αξιοπίστη μετάδοση δεδομένων, έλεγχο ροής, κλπ.

## • Πλευρά λήψης

- ελέγχει για λάθη, αξιοπίστη μετάδοση δεδομένων, έλεγχο ροής, κλπ
- εξάγει το δεδομένογραμμα και το περνά στο ανώτερο στρώμα της πλευράς λήψης



- **Πλαισίωση (*framing*)**

- Ενθυλακώνει το πακέτο στο πλαίσιο (frame), προσθέτοντας επικεφαλίδα (header) και ουρά (trailer)
- "φυσικές διευθύνσεις" στην επικεφαλίδα για την πηγή και τον προορισμό
  - διαφορετικές από τις διευθύνσεις IP

- **Πρόσβαση στη ζεύξη (*link access*)**

- Ελέγχει την πρόσβαση στο κοινό μέσο στην περίπτωση διαύλων εκπομπής (MAC)
- Δεν απαιτείται έλεγχος πρόσβασης για ζεύξεις σημείου προς σημείο



- **Αξιόπιστη μετάδοση μεταξύ διαδοχικών κόμβων**
  - Διορθώνει τα σφάλματα μετάδοσης, εάν αυτό απαιτείται
    - Σπάνια σε ζεύξεις με λίγα λάθη (οπτικές) ή ζεύξεις μικρού εύρους ζώνης (τηλεφωνικοί δίαυλοι)
    - Συχνά σε ζεύξεις με πολλά λάθη (ασυρματικές)
      - Γιατί έχουμε διόρθωση τόσο από άκρη-σε-άκρη όσο και από ζεύξη-σε-ζεύξη;
- **Έλεγχος ροής (flow control)**
  - Ρυθμίζει την ταχύτητα αποστολής πομπού στην ικανότητα λήψης δέκτη



- *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 μετάδοση (full duplex, half duplex)*

- με half duplex μετάδοση οι κόμβοι μεταδίδουν εναλλάξ

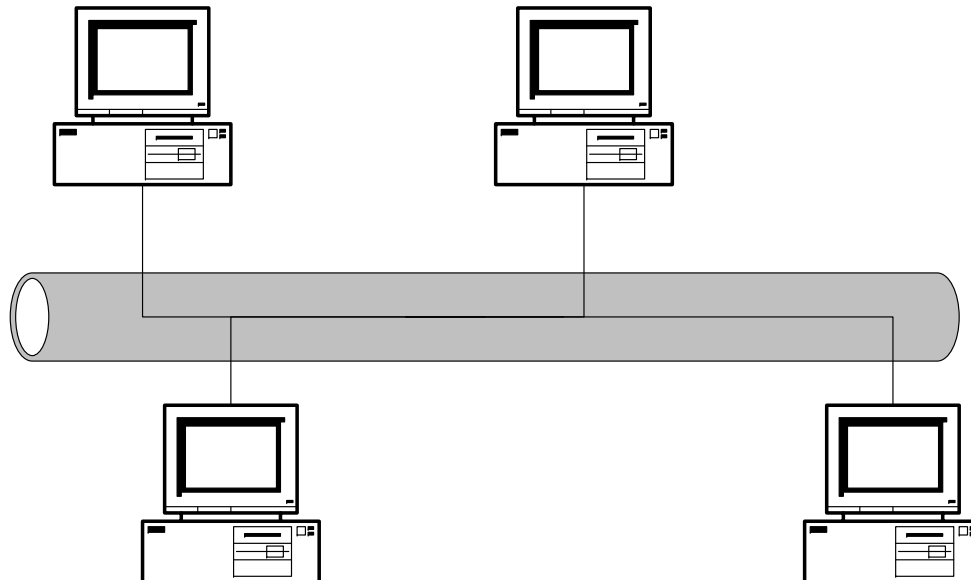


## Τρεις τύποι "ζεύξεων":

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



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





- **Medium Access Control (MAC)**

- χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα, όπως Ethernet, IEEE 802.3, IEEE 802.11 (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

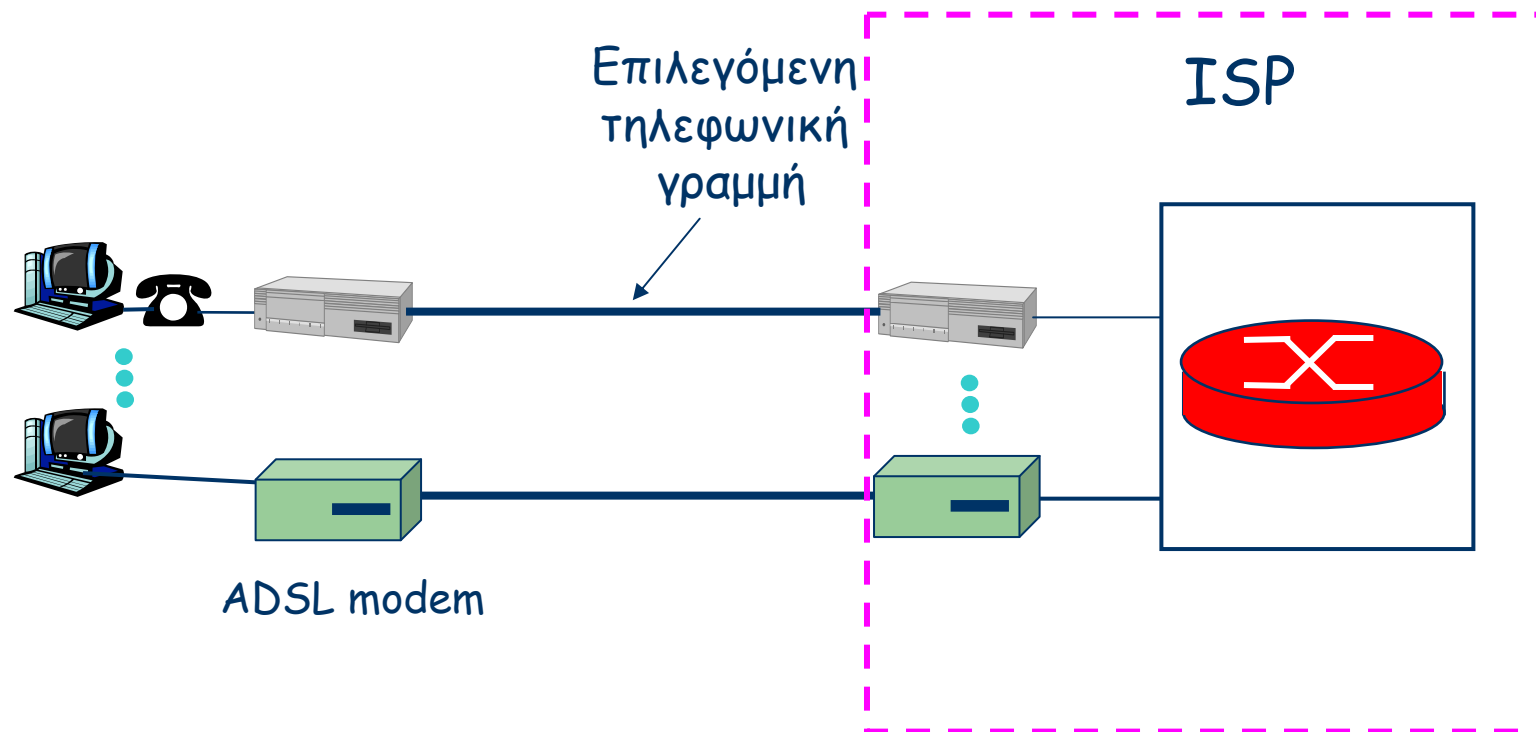
- Στην πράξη, η επικοινωνία από σημείο σε σημείο στο Internet χρησιμοποιείται κυρίως σε δύο περιπτώσεις:
  - Επιλεγόμενες τηλεφωνικές γραμμές (dial-up) ή ψηφιακοί συνδρομητικοί βρόχοι (DSL) για σύνδεση υπολογιστών με δρομολογητές πρόσβασης
  - Σειριακές γραμμές υψηλής ταχύτητας για διασύνδεση δρομολογητών
- 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



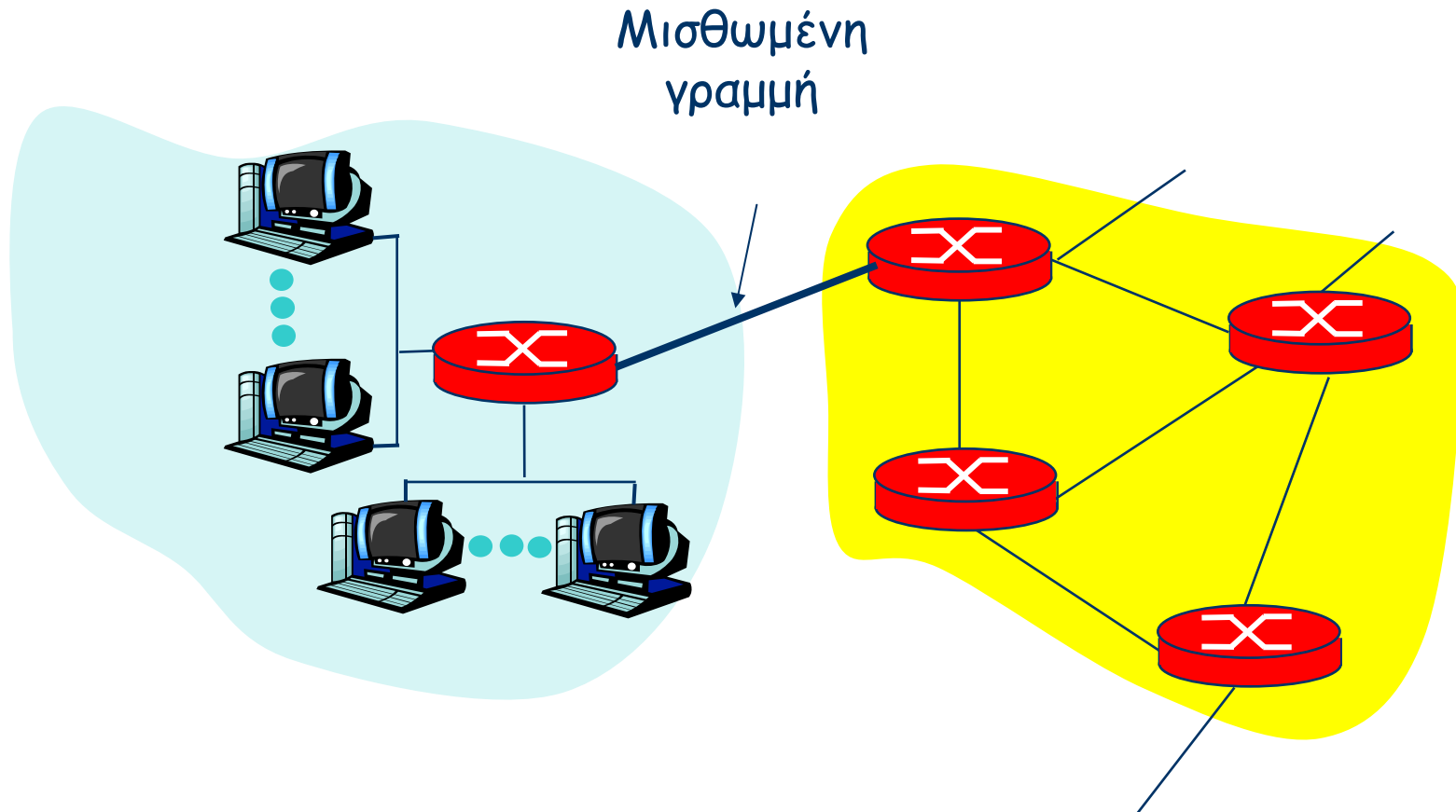
- Σύνδεση ιδιωτών από το σπίτι, μέσω modem, με κάποιον πάροχο υπηρεσίας Internet (Internet Service Provider, ISP)





# Μισθωμένες γραμμές

- Σύνδεση LAN μέσω μισθωμένης γραμμής στο δίκτυο κορμού



# Ζεύξεις με μεταγωγή

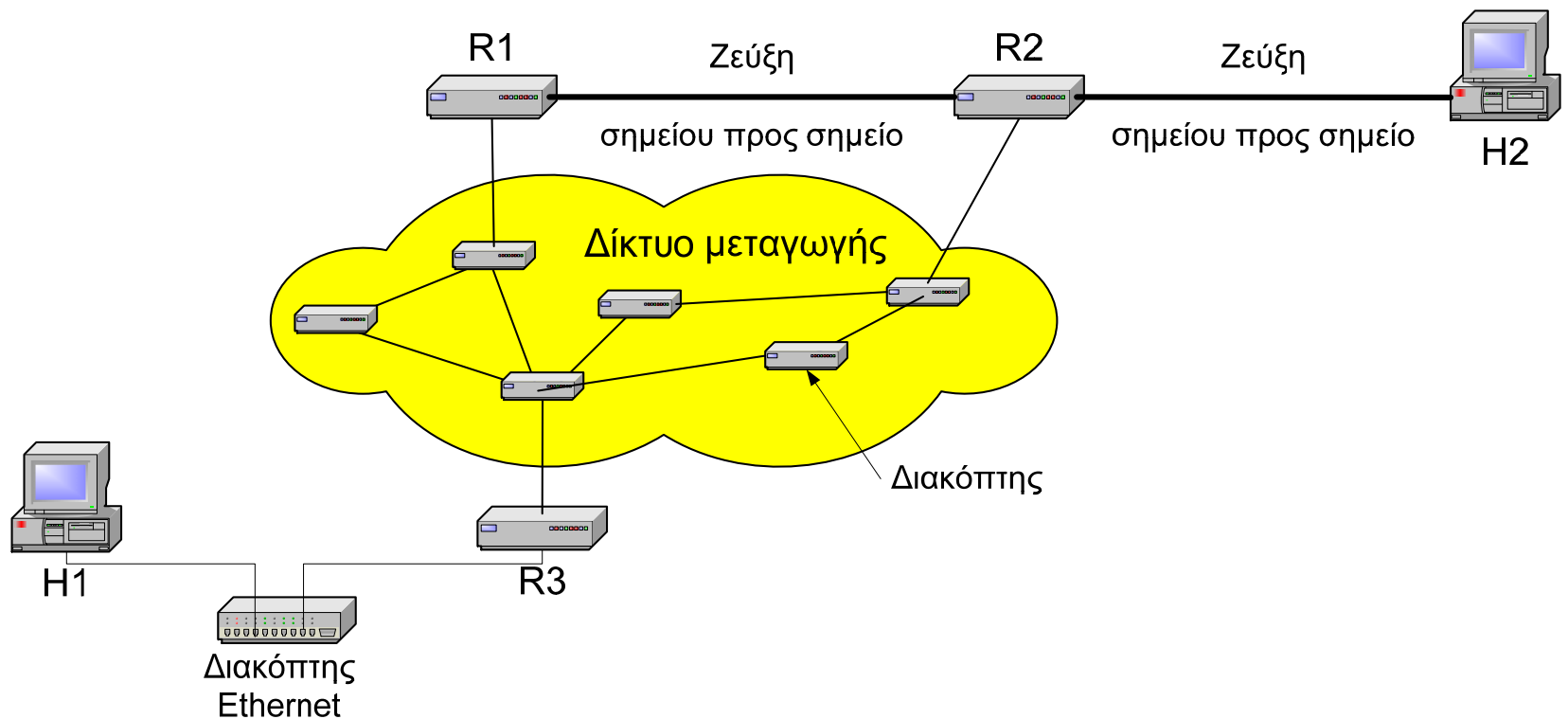


- Μερικές τεχνολογίες (ζεύξης δεδομένων) επιτρέπουν τη δημιουργία πλήρων δικτύων
  - με δικές τους διευθύνσεις
  - τεχνικές δρομολόγησης, και
  - μηχανισμούς προώθησης
- Αυτά τα δίκτυα αποκαλούνται **δίκτυα μεταγωγής (switched networks)**



# 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 τη 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**

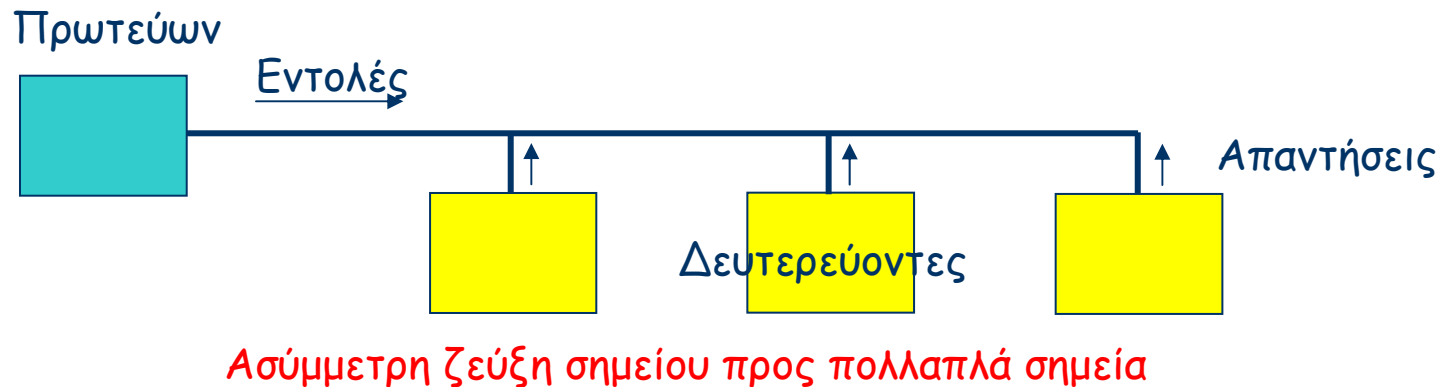


# HDLC: Διατάξεις ζεύξης



## 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



# HDLC: Διατάξεις ζεύξης



## Συμμετρική διάταξη

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

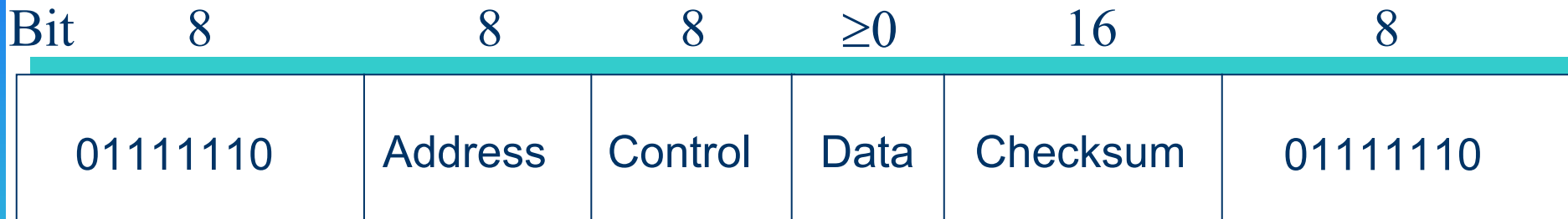


Συμμετρική ζεύξη σημείου προς σημείο

# HDLC: Μορφή πλαισίου



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



- Η διάκριση των πλαισίων γίνεται από το πεδίο ελέγχου

# HDLC: Μορφή πλαισίου



- **Flag** (01111110): οριοθέτης αρχής και τέλους (πλαisiώση). 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

$\geq 0$

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

$\geq 0$

16

8

01111110

Address

Control

Data

Checksum

01111110

# HDLC: Είδη πλαισίων



Υπάρχουν 3 είδη πλαισίων. Διακρίνονται από το πεδίο "control"

- **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

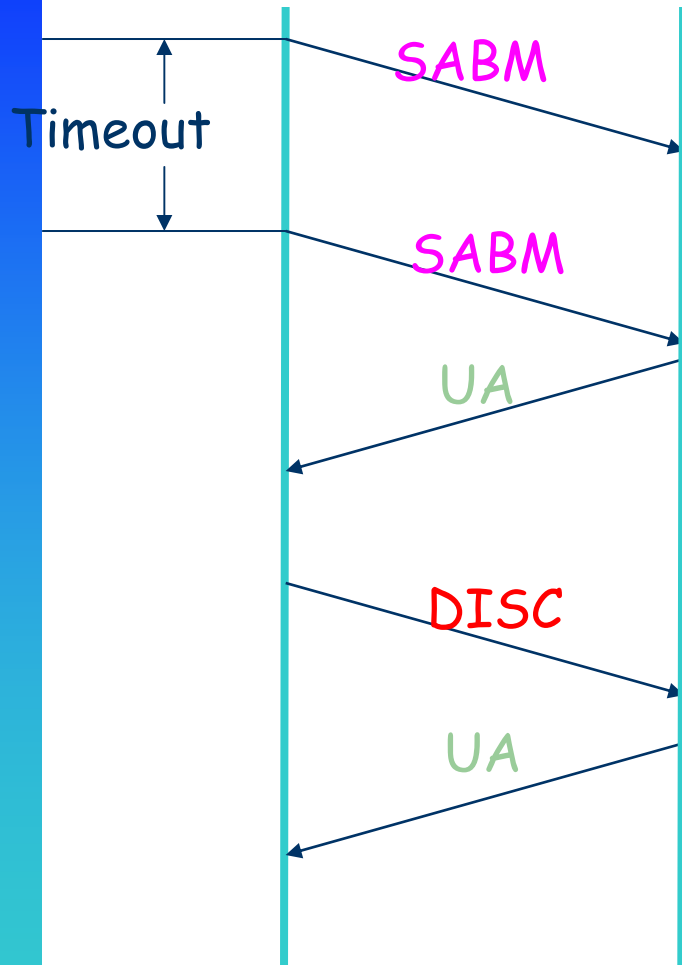


# HDLC: Αναρίθμητα πλαίσια

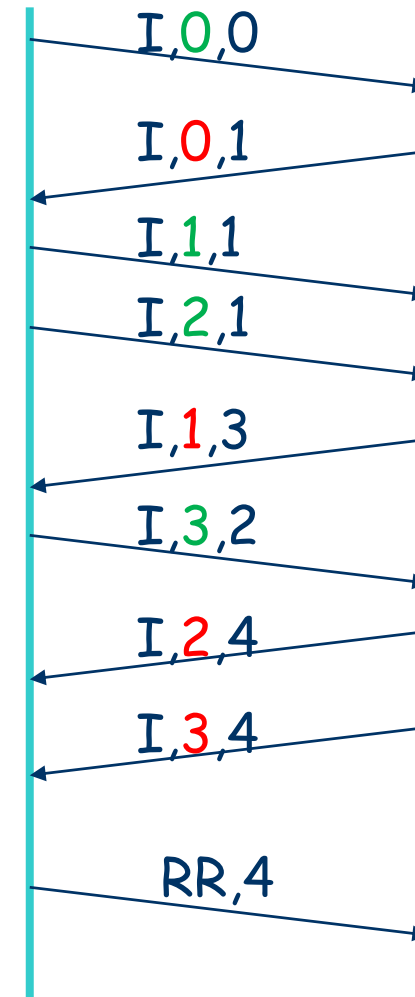


- **Αναρίθμητες εντολές**
  - **SNRM**: Set Normal Response Mode
  - **SABM**: Set Asynchronous Balanced Mode
  - **SARM**: Set Asynchronous Response Mode
  - **UI**: Unnumbered Information
  - **RSET**: Reset
  - **DISC**: Disconnect
- **Αναρίθμητες απαντήσεις**
  - **UA**: Unnumbered Acknowledgment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

# Παραδείγματα HDLC

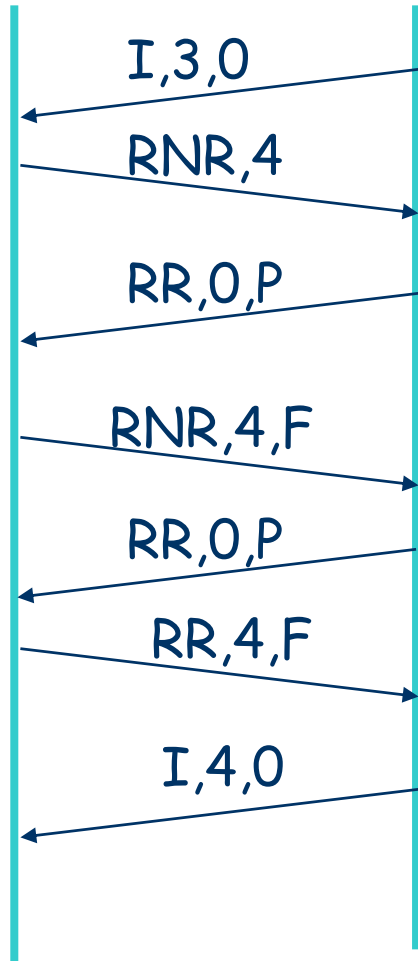


Εγκατάσταση ζεύξης  
και αποσύνδεση

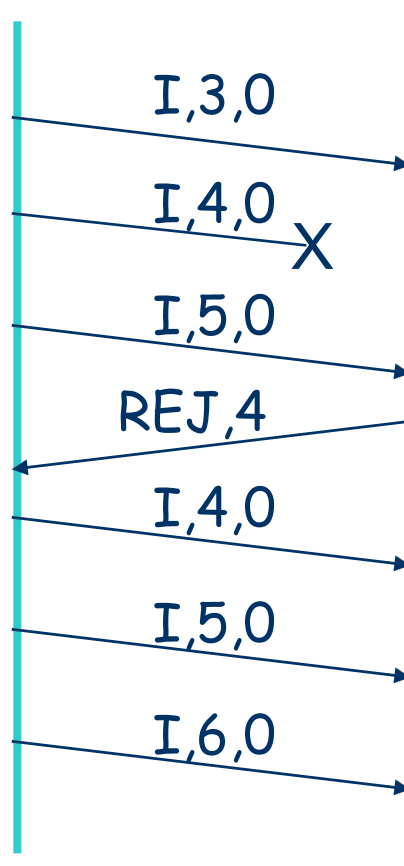


Αμφίδρομη ανταλλαγή  
δεδομένων

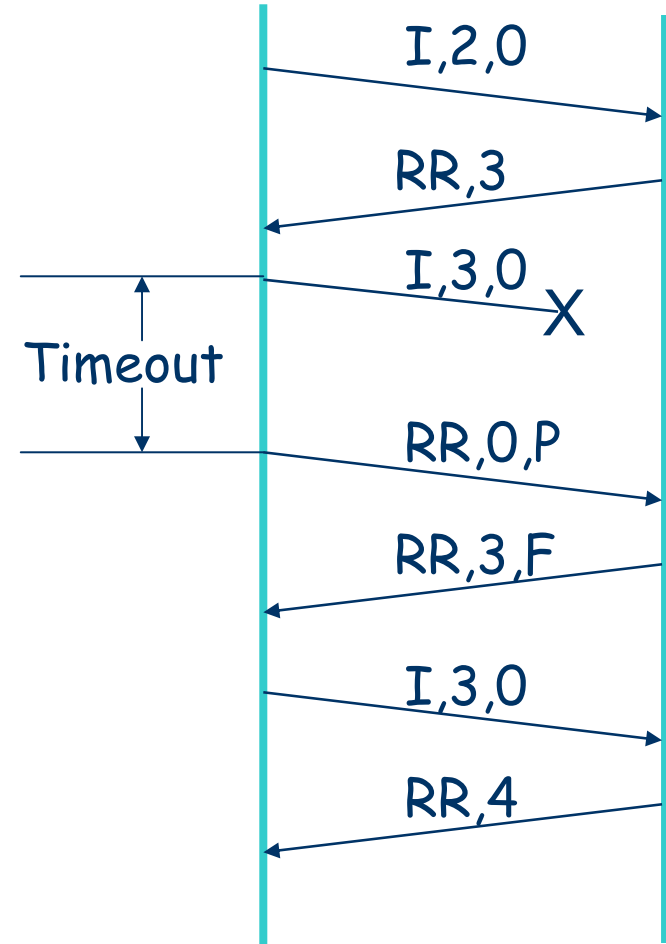
# Παραδείγματα HDLC



Απασχολημένος δέκτης



Απόρριψη και  
αποκατάσταση



Timeout και  
αποκατάσταση

# SLIP: Serial Line IP



- Επινοήθηκε 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 (0xCO) στο τέλος για πλαισίωση.
- Παραγέμισμα χαρακτήρων. Αν εμφανιστεί σημαία στέλνεται αντ' αυτής (0xDB, 0xDC). Αν εμφανιστεί (0xDB) παραγεμίζεται και αυτό επίσης.
- Συμπύεση 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 επιτρέπει δυναμική εκχώρηση διευθύνσεων
- Δεν παρέχει καμιά μορφή πιστοποίησης και ελέγχου αυθεντικότητας
- Δεν αποτελεί εγκεκριμένο πρότυπο του Internet και έτσι υπάρχουν πολλές και ασύμβατες εκδόσεις

# PPP: Point-to-Point Protocol



- Επινοήθηκε 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)



- **πλαisiώση πακέτων:** ενθουλακώνει 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 ύπαρξη πεδίου στο πλαίσιο που να διακρίνει τον τύπο 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 υποστηρίζει

- 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 της ζεύξης, διαπραγμάτευση των σχετικών επιλογών (encapsulation format, packet size, authentication) και απόλυσή της
- επιτήρηση της ποιότητας ζεύξης
- RFC 1331



- **Πιστοποίηση της αυθεντικότητας**
  - δεν είναι υποχρεωτική, υποστηρίζονται δύο πρωτόκολλα πιστοποίησης αυθεντικότητας:
    - με συνθηματικά (Password Authentication Protocol, PAP)
    - με πρόκληση χειραψίας (Challenge Handshake Authentication Protocol, CHAP)

# Κύριες λειτουργίες PPP (3)



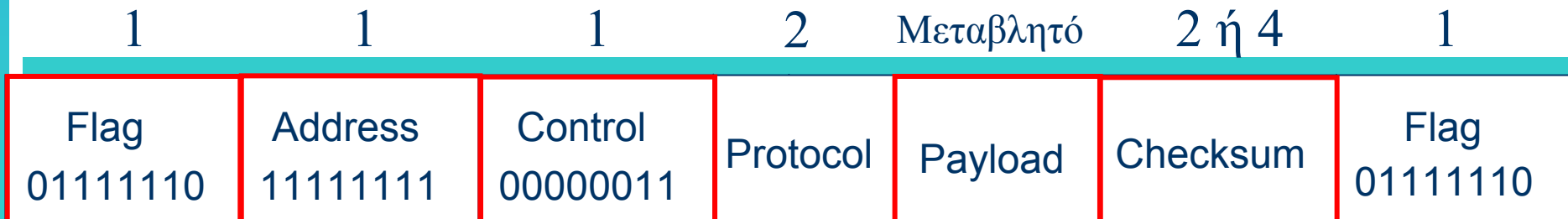
- **Διάρθρωση των πρωτοκόλλων δικτύου**
  - το PPP διαθέτει πρωτόκολλα ελέγχου δικτύου (Network Control Protocols, NCPs) για πολλά πρωτόκολλα στρώματος δικτύου
  - για κάθε υποστηριζόμενο πρωτόκολλο στρώματος δικτύου το αντίστοιχο NCP επιτρέπει την διαπραγμάτευση των σχετικών επιλογών
  - το IPCP (IP 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)
- **Payload**: μεταφερόμενα δεδομένα του ανώτερου στρώματος
- **Checksum**: κυκλικός κώδικας πλεονασμού για ανίχνευση λαθών

Byte



# Πλαίσιο δεδομένων PPP



- **Protocol**: το πρωτόκολλο του ανώτερου στρώματος στο οποίο παραδίδεται το πλαίσιο (π.χ., PPP-LCP, IP, IPCP, IPX, κλπ.)
  - "0---" έως "3---" για πρωτόκολλα στρώματος δικτύου
  - "8---" έως "b---" για ελέγχου δικτύου
  - "c---" έως "f---" για πρωτόκολλα ελέγχου ζεύξης

Byte

1	1	1	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

IP →

0021

Πακέτο IP

LCP →

C021

δεδομένα ελέγχου ζεύξης

IPCP →

8021

δεδομένα ελέγχου δικτύου

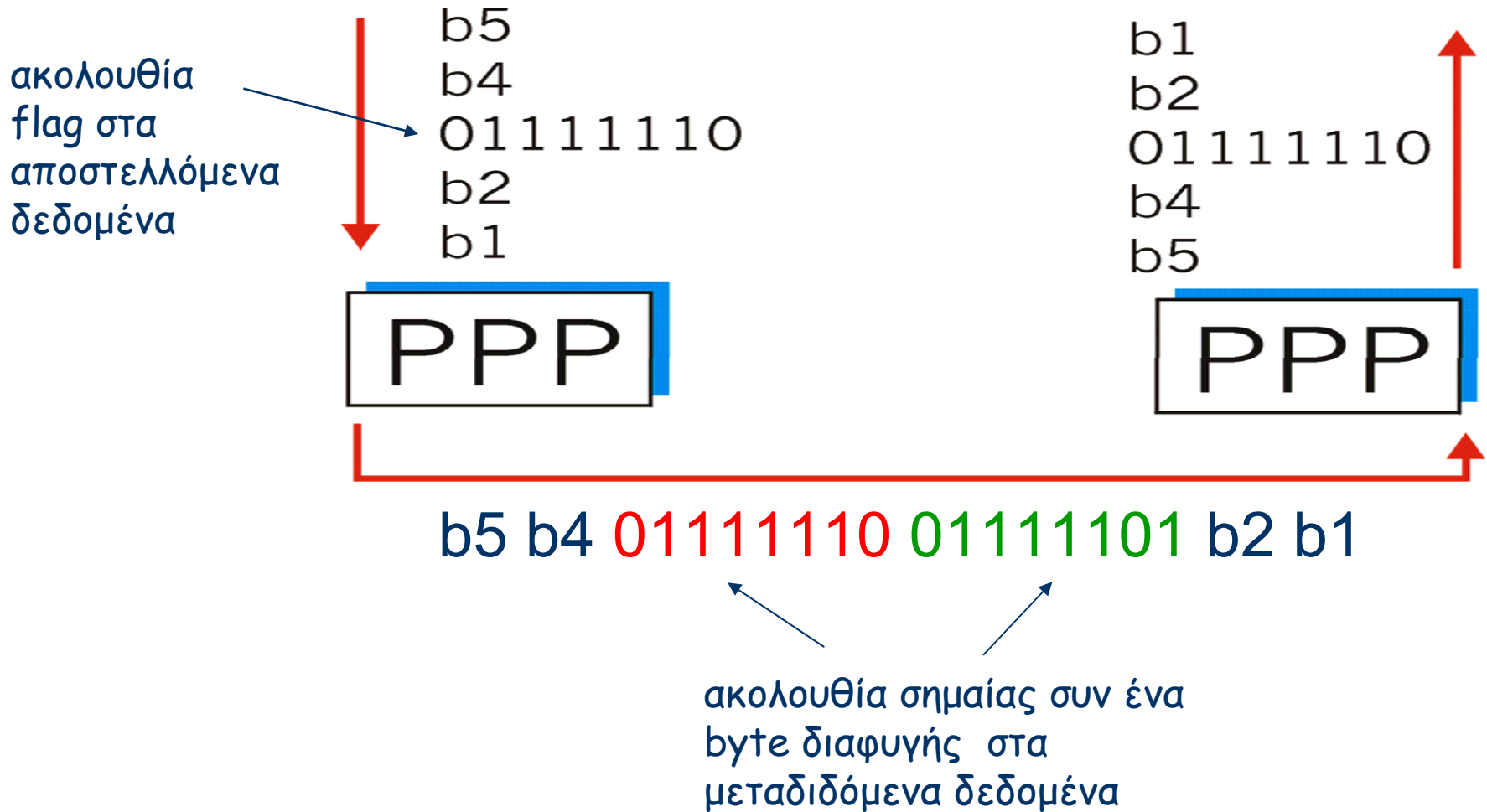


# PPP: Παραγέμισμα με byte



- Απαιτήση 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



# Πρωτόκολλα ελέγχου στο PPP



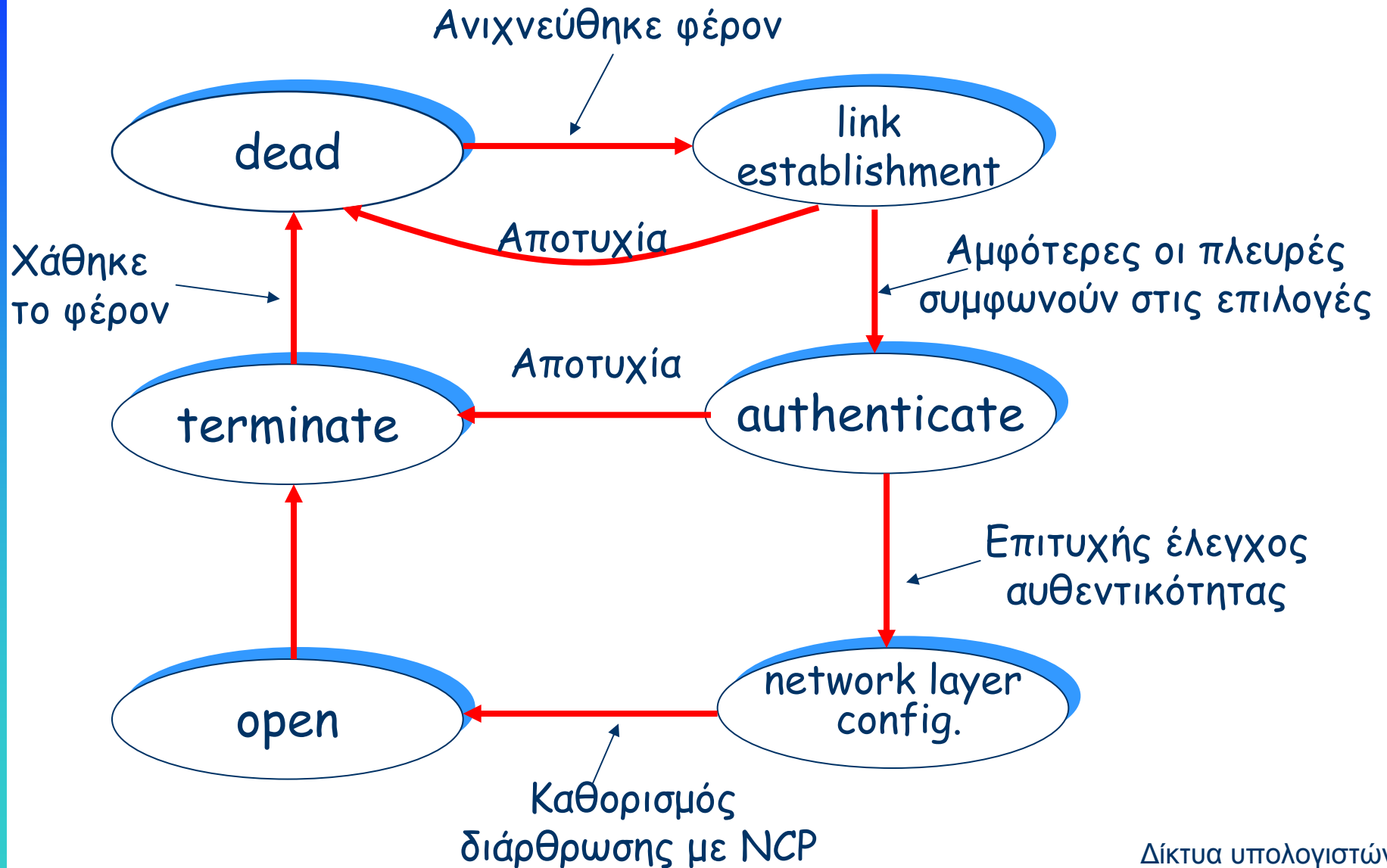
Πριν ανταλλάξουν δεδομένα του στρώματος δικτύου, οι ομότιμες οντότητες ζεύξης δεδομένων πρέπει να:

- **διαρθρώσουν τη ζεύξη PPP** (μέγιστο μήκος πλαισίου, πιστοποίηση αυθεντικότητας)
- **μάθουν/διαρθρώσουν το στρώμα δικτύου**

Οι ανωτέρω λειτουργίες υποστηρίζονται από βοηθητικά πρωτόκολλα

- LCP (διαχείριση ζεύξης)
- PAP, CHAP (πιστοποίηση αυθεντικότητας)
- NCP (διάρθρωση πρωτοκόλλων δικτύου)
- IPCP: μηνύματα με το πεδίο "protocol" = 0821, για τη διάρθρωση των IP διευθύνσεων

# Πρωτόκολλα ελέγχου στο PPP



# 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)

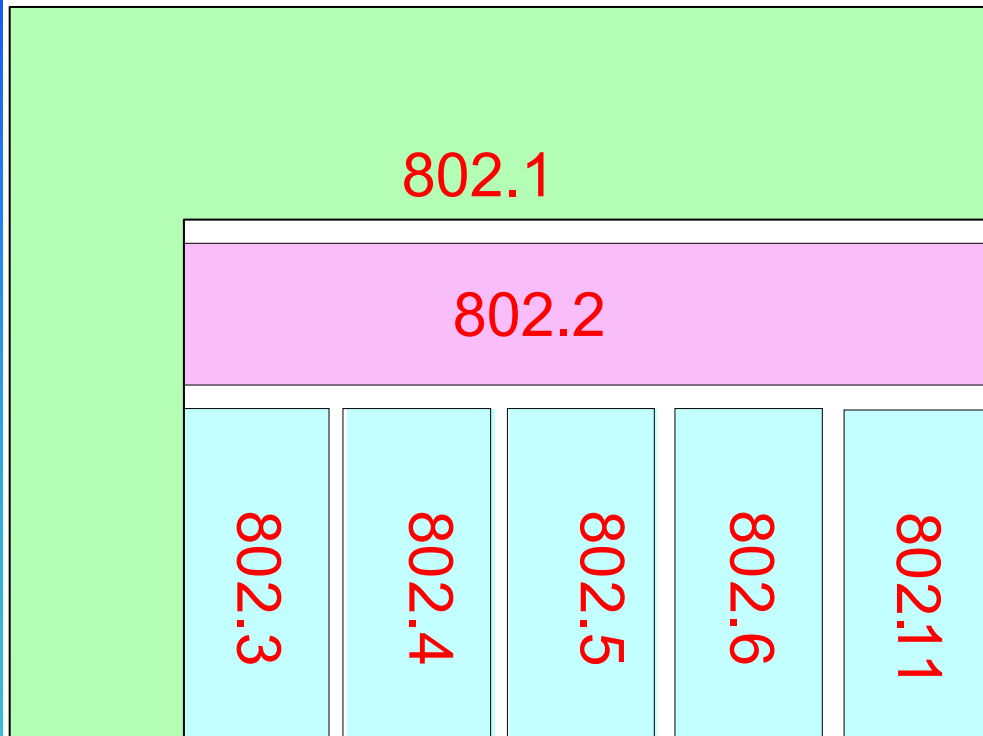
# IEEE 802.2: Έλεγχος λογικής ζεύξης



- Το IEEE 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 ΙΕΕΕ 802



## Μοντέλο αναφοράς ΙΕΕΕ

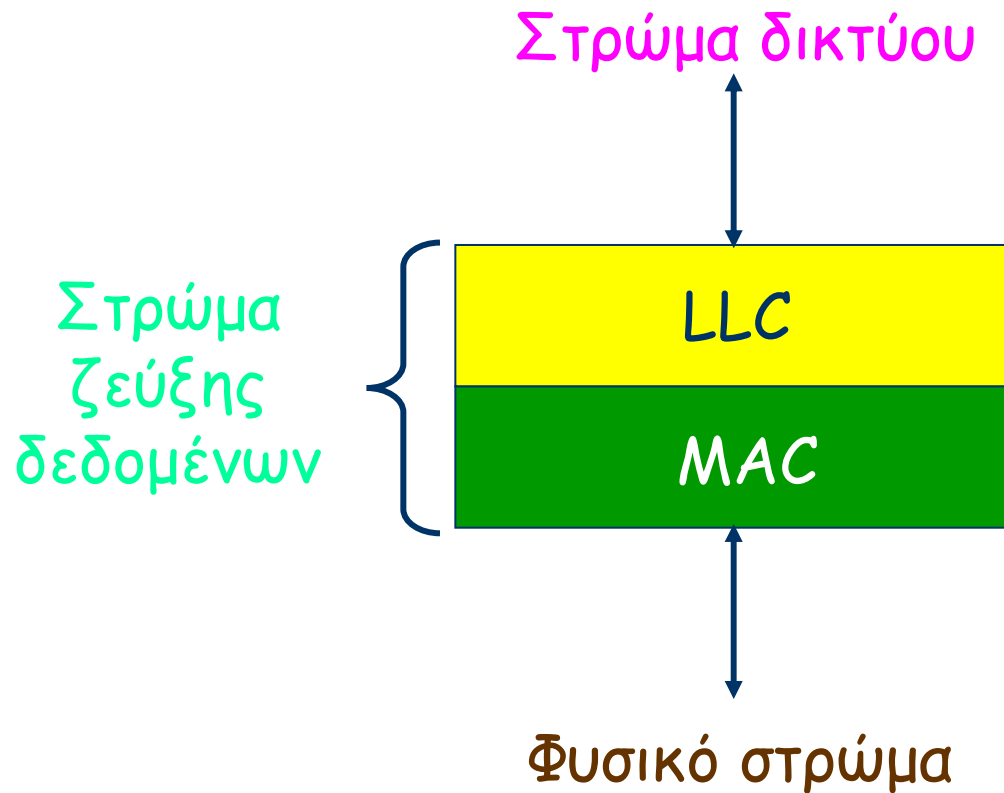


Ανώτερα στρώματα

Στρώμα ζεύξης δεδομένων

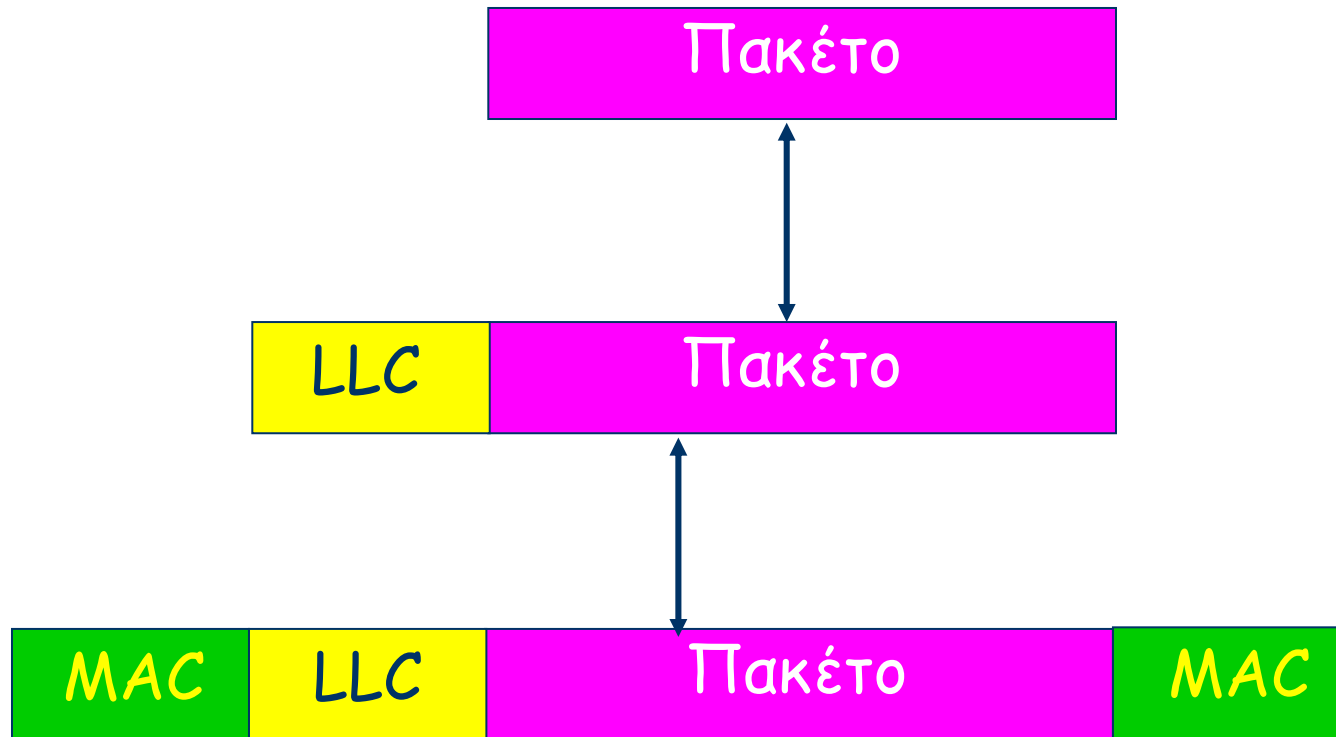
Φυσικό στρώμα

# Θέση του LLC





# Τυπική χρήση του LLC





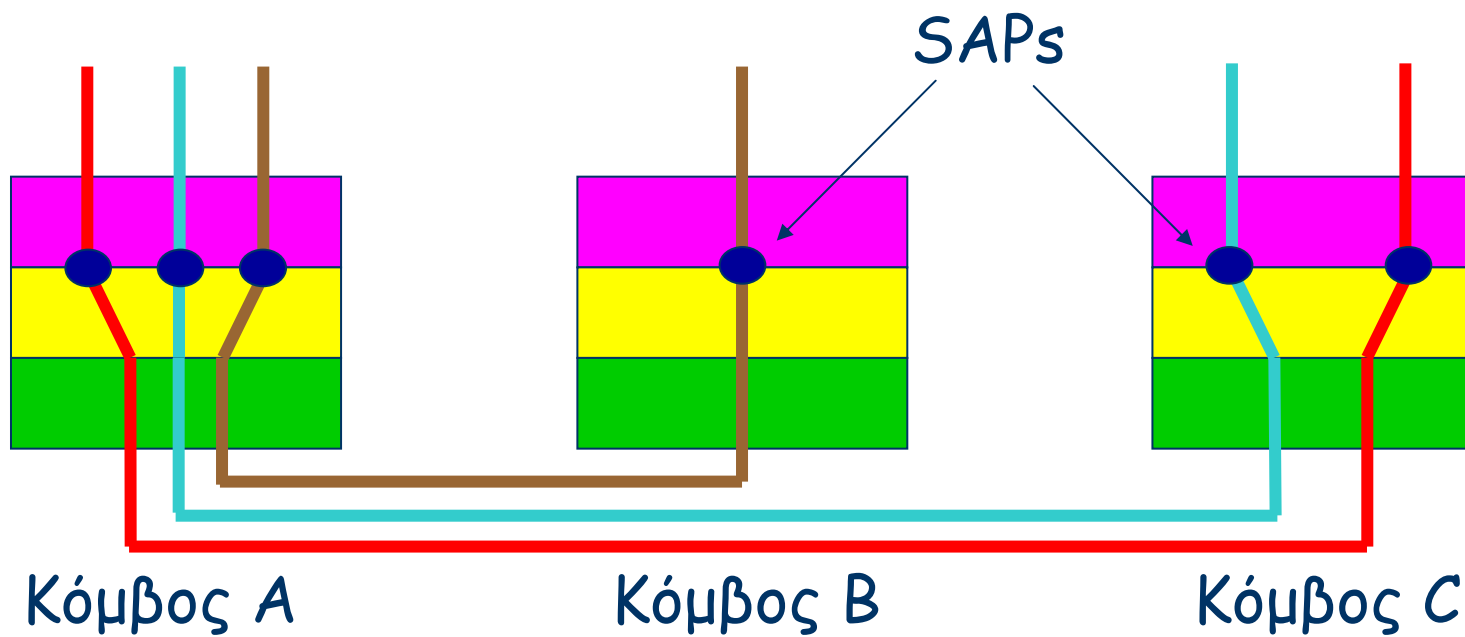
Το LLC παρέχει τρεις επιλογές υπηρεσίας:

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

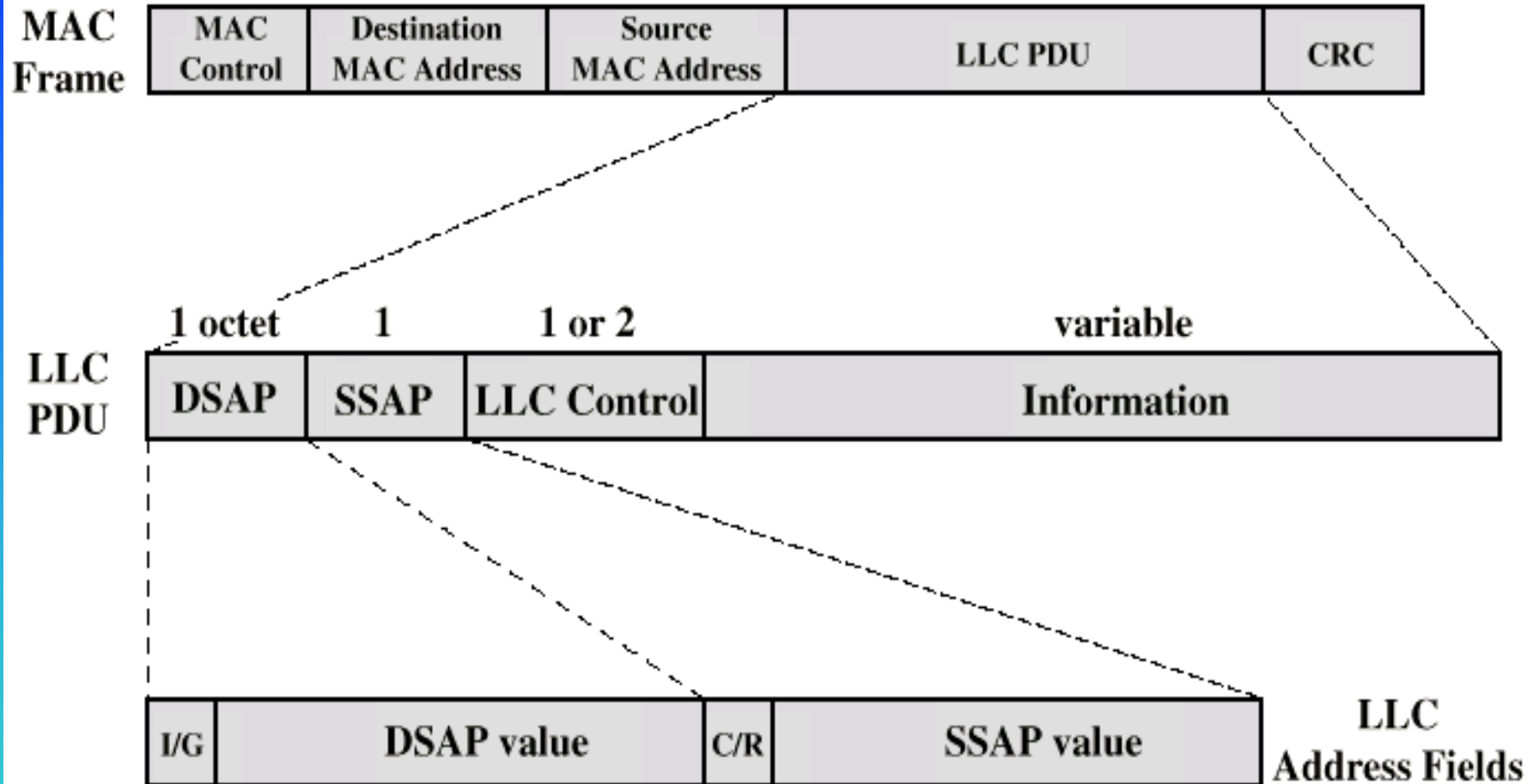
# LLC: Μορφή πλαισίου



Byte



# LLC: Μορφή πλαισίου



I/G = Individual/Group  
C/R = Command/Response

# Ενθυλάκωση στο Ethernet (RFC 894)



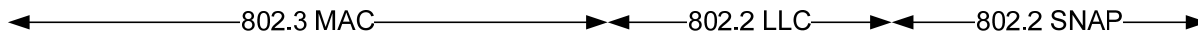
Προοίμιο (8 byte)	Διεύθυνση παραλήπτη (6 byte)	Διεύθυνση αποστολέα (6 byte)	Τύπος (2 byte)	Δεδομένα (46 -1500 byte)	CRC (4 byte)
----------------------	------------------------------------	------------------------------------	-------------------	-----------------------------	-----------------

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)



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)
-------	--------------------------	------------------

SNAP: Sub-Network Access Protocol



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

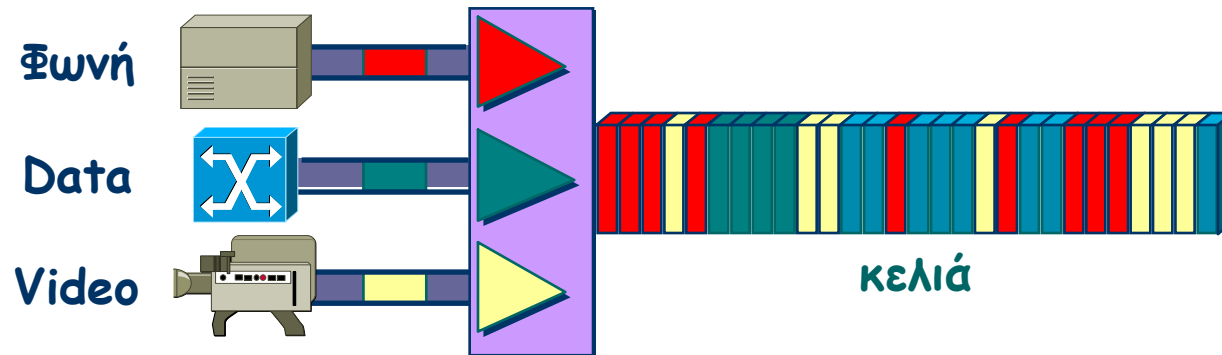


# ATM: Asynchronous Transfer Mode



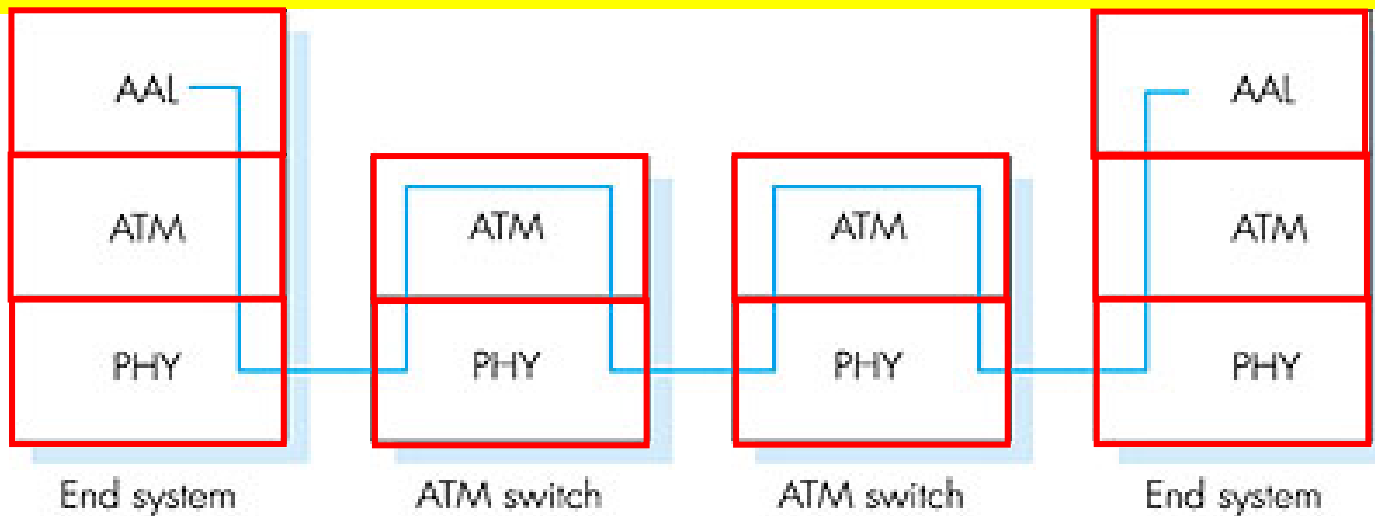
- Πρότυπο της δεκαετίας 1990 για υψηλές ταχύτητες (155Mbps, 622 Mbps και ανώτερες)
  - *B-ISDN (Broadband Integrated Service Digital Network)*
- **Στόχος: ενοποιημένη (ολοκληρωμένη), απ' άκρη σ' άκρη μεταφορά φωνής, βίντεο, δεδομένων**
  - επίτευξη των απαιτήσεων χρόνου/QoS για φωνή, βίντεο (αντί της καλύτερης προσπάθειας του Internet)
  - μεταγωγή πακέτου (πακέτα σταθερού μήκους, τα κελιά "cells") χρησιμοποιώντας νοητά κυκλώματα
  - η "νέα γενιά" της τηλεφωνίας (επηρεάστηκε 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
  - τεμαχισμός/συναρμολόγηση δεδομένων
  - χονδρικά ανάλογο με το στρώμα μεταφοράς του Internet
- **στρώμα ATM:** στρώμα "δικτύου"
  - μεταγωγή κελιών, δρομολόγηση
- **φυσικό στρώμα**

# Στρώμα δικτύου ή ζεύξης δεδομένων:

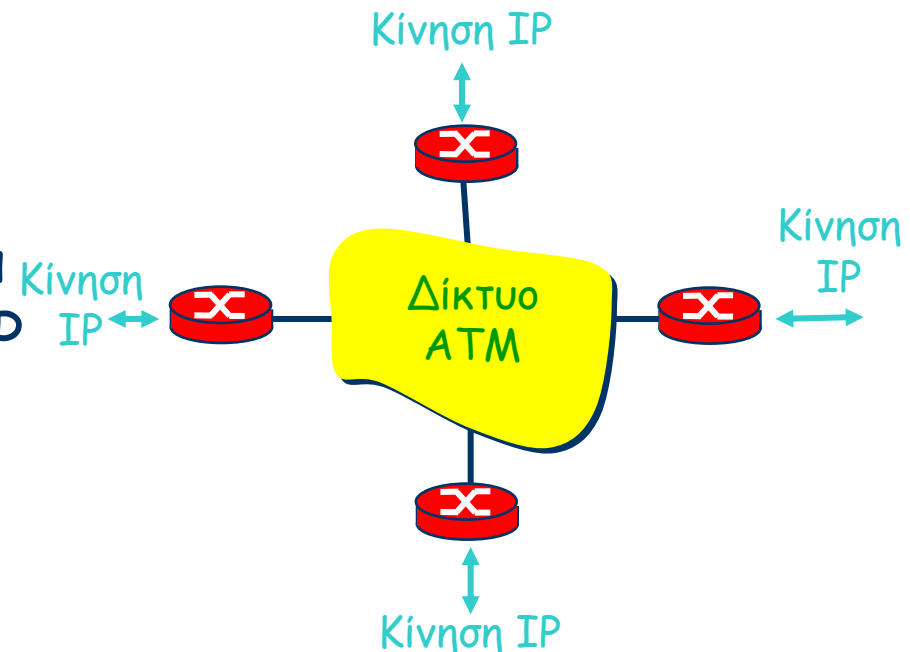


Όραμα: μετάδοση απ' άκρη σ' άκρη  
"ATM από υπολογιστή σε υπολογιστή"

- το ATM **είναι** τεχνολογία δικτύου

Πραγματικότητα: χρησιμοποιείται για να συνδέει δρομολογητές IP στο δίκτυο κορμού

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

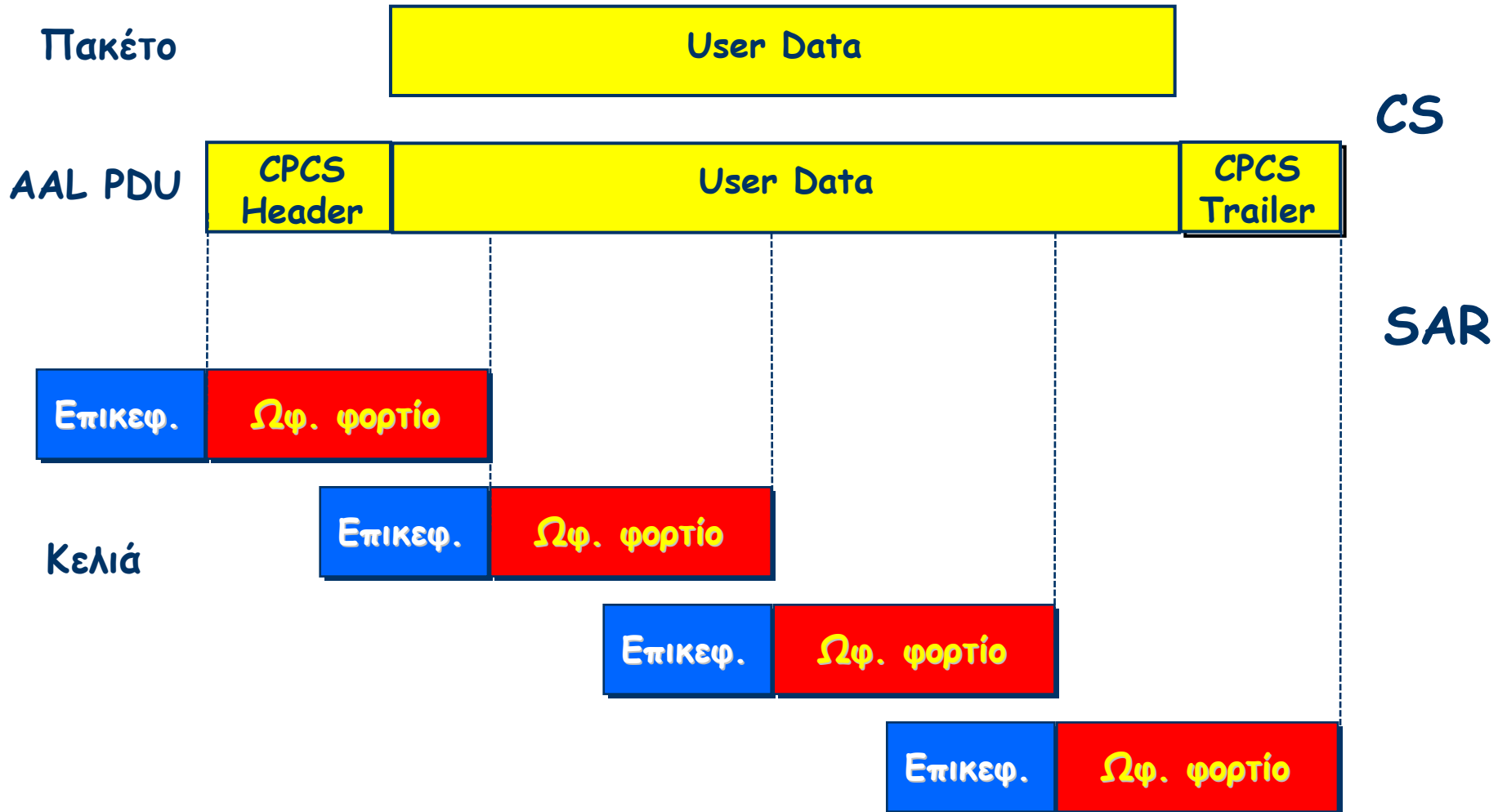


# ATM: Στρώμα προσαρμογής (AAL)



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

# Δημιουργία κελιών από πακέτα





# ATM: Στρώμα προσαρμογής (AAL)

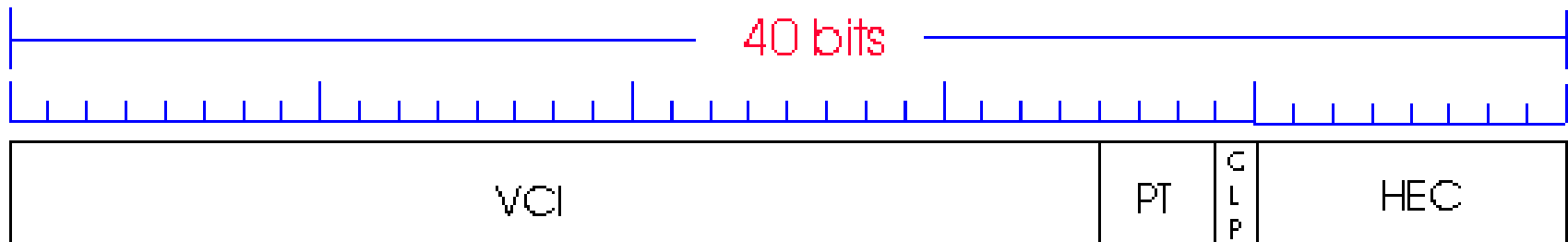
Διάφοροι τύποι AAL, ανάλογα με την κατηγορία υπηρεσίας ATM:

- **AAL1:** για υπηρεσίες CBR (Constant Bit Rate), π.χ. circuit emulation
- **AAL2:** για υπηρεσίες VBR (Variable Bit Rate), π.χ., MPEG video
- **AAL5:** για δεδομένα (π.χ. δεδομενογράμματα IP)

# Στρώμα ATM: κελί ATM



- Τα κελιά έχουν μήκος 53 byte
- 48-byte ωφέλιμο φορτίο
- 5-byte επικεφαλίδα κελιού ATM
  - **VCI**: virtual channel ID
  - **PT**: Payload type (π.χ. κελιά RM ή data)
  - **CLP**: Cell Loss Priority bit (1: low priority)
  - **HEC**: Header Error Checksum



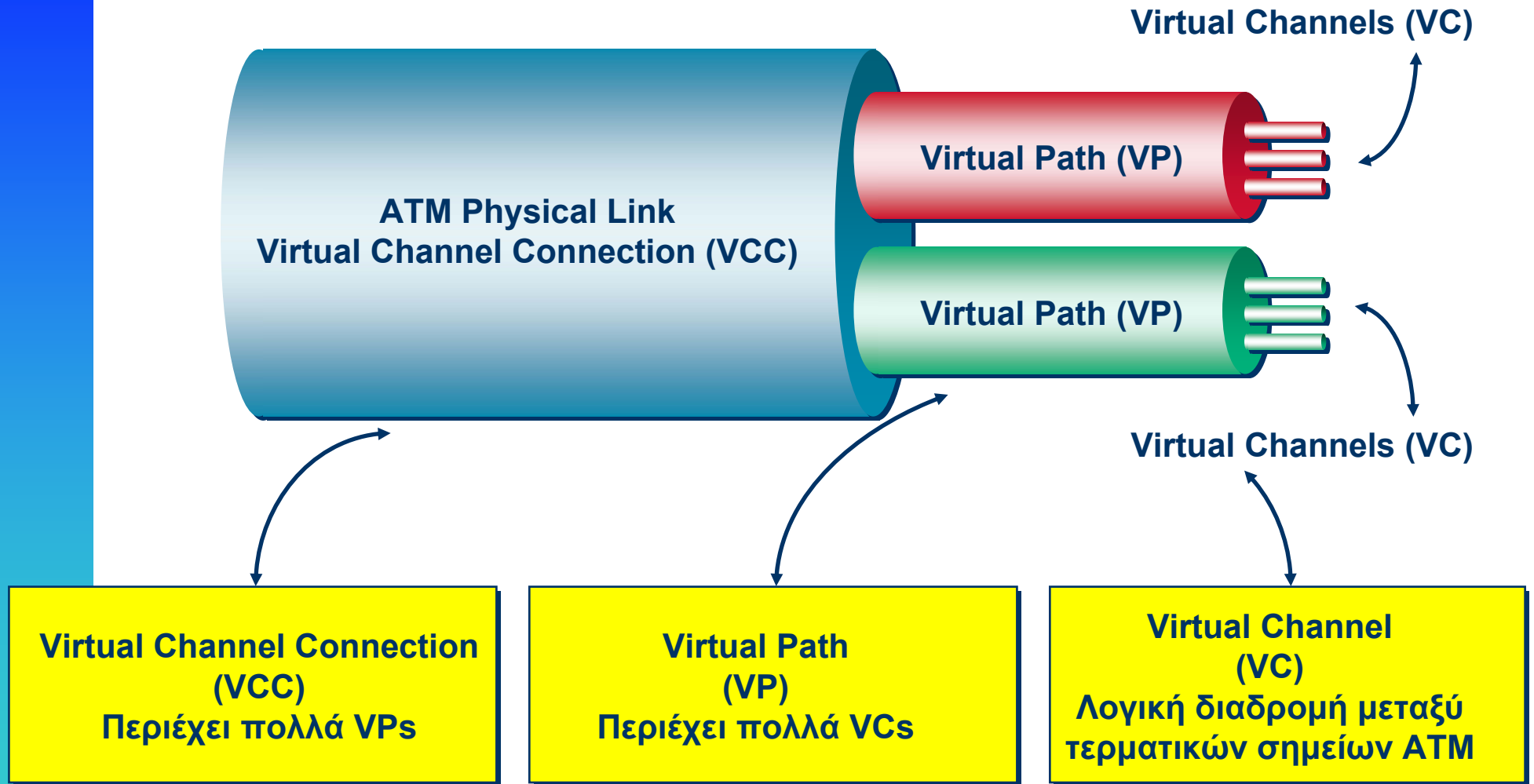


# Στρώμα ΑΤΜ: νοητά κυκλώματα



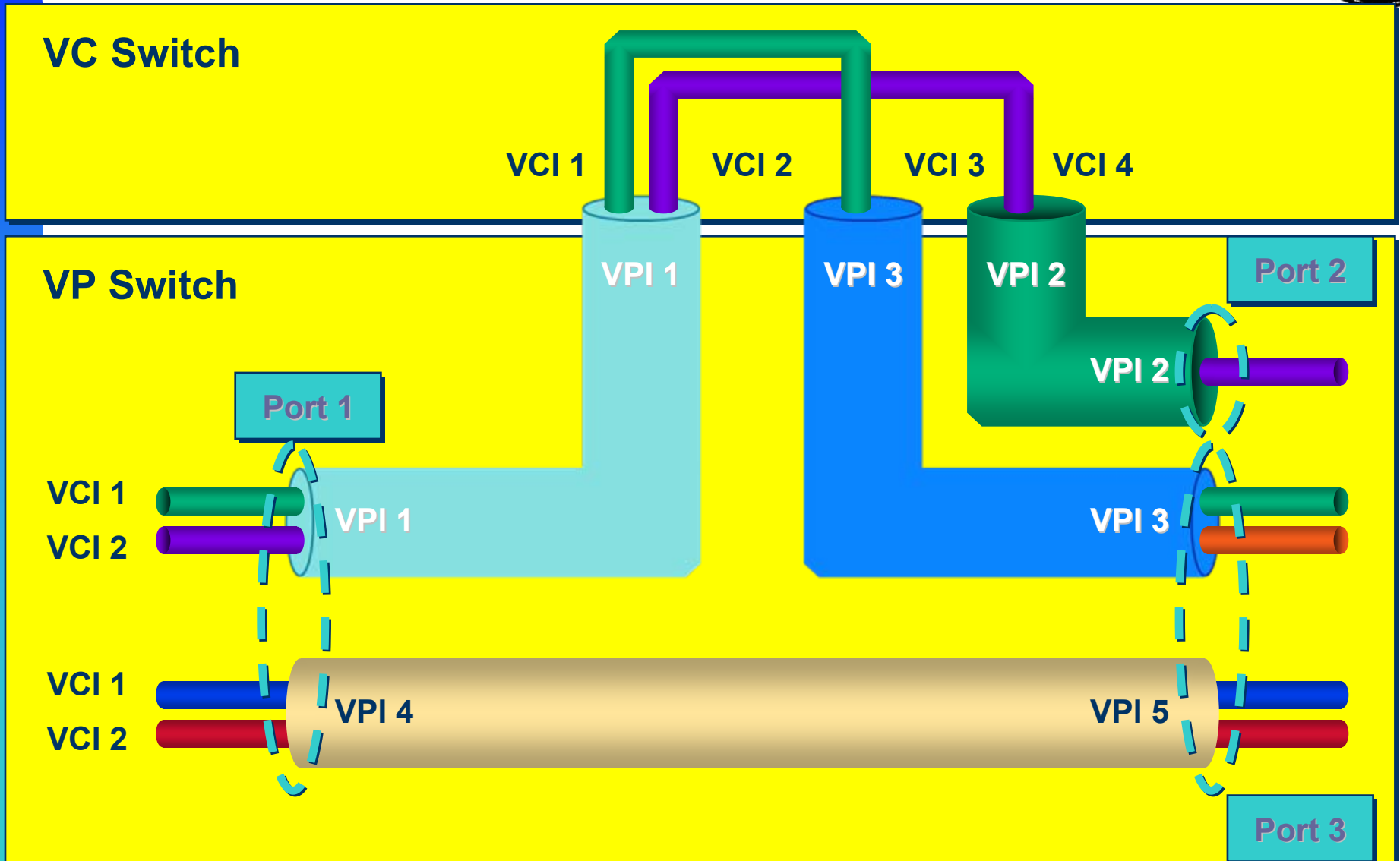
- **μετάδοση με VC:** τα κελιά μεταφέρονται μέσω νοητών κυκλωμάτων (VCs) από την πηγή στον προορισμό
  - εγκατάσταση/απόλυση VC πριν τη ροή δεδομένων
  - κάθε κελί μεταφέρει την ταυτότητα του VC (όχι ταυτότητα προορισμού)
  - *κάθε* κόμβος μεταγωγής στη διαδρομή πηγή-προορισμός διατηρεί πληροφορίες για κάθε διερχόμενη σύνδεση
  - μπορεί να διατίθενται στο VC πόροι στις ζεύξεις και στους κόμβους μεταγωγής (bandwidth, buffers) για να επιτύχουμε επίδοση ανάλογη του κυκλώματος.
- **Μόνιμα νοητά κυκλώματα (Permanent VCs, PVCs)**
  - συνδέσεις μακράς διάρκειας
  - τυπικά: "μόνιμη" διαδρομή μεταξύ δύο δρομολογητών IP
- **Μεταγόμενα νοητά κυκλώματα (Switched VCs, SVC):**
  - δυναμική εγκατάσταση για κάθε κλήση

# ATM: Νοητά κυκλώματα και διαδρομές

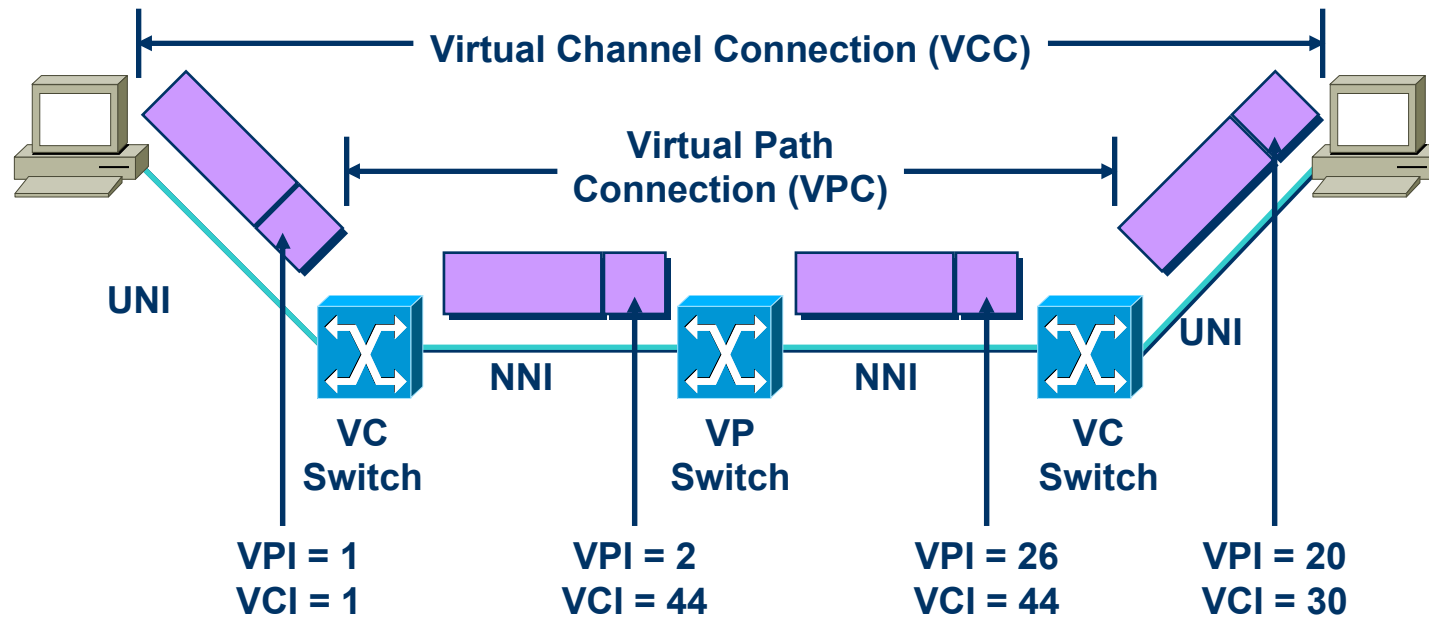


Connection Identifier = **VPI/VC**

# ATM: Μεταγωγή VP και VC



# ATM: cell relay



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



- **Πλεονεκτήματα**

- Εγγυημένη QoS για σύνδεση που αντιστοιχείται σε VC (bandwidth, delay, delay jitter)

- **Μειονεκτήματα**

- Μη αποτελεσματική υποστήριξη της κίνησης δεδομενογραμμάτων
- ένα PVC μεταξύ κάθε ζεύγους source/dest δεν βοηθά στην καλή κλιμάκωση (απαιτούνται  $N^2$  συνδέσεις)
- το SVC εισάγει καθυστέρηση εγκατάστασης, και επεξεργασίας για συνδέσεις μικρής διάρκειας ζωής

# ΑΤΜ: Φυσικό στρώμα



Δύο υποστρώματα στο φυσικό στρώμα:

- **Transmission Convergence Sublayer (TCS):** προσαρμόζει το στρώμα ΑΤΜ στο υποστρώμα ΡΜD
- **Physical Medium Dependent:** εξαρτάται από το φυσικό μέσο μετάδοσης που χρησιμοποιείται

Λειτουργίες του TCS:

- Δημιουργία του Header **checksum**: 8 bit CRC
- Cell **delineation**
- Με "αδόμητο" υποστρώμα ΡΜD, μεταδίδονται **idle cells** όταν δεν υπάρχουν cell δεδομένων προς αποστολή



## Υποστρώμα Physical Medium Dependent (PMD)

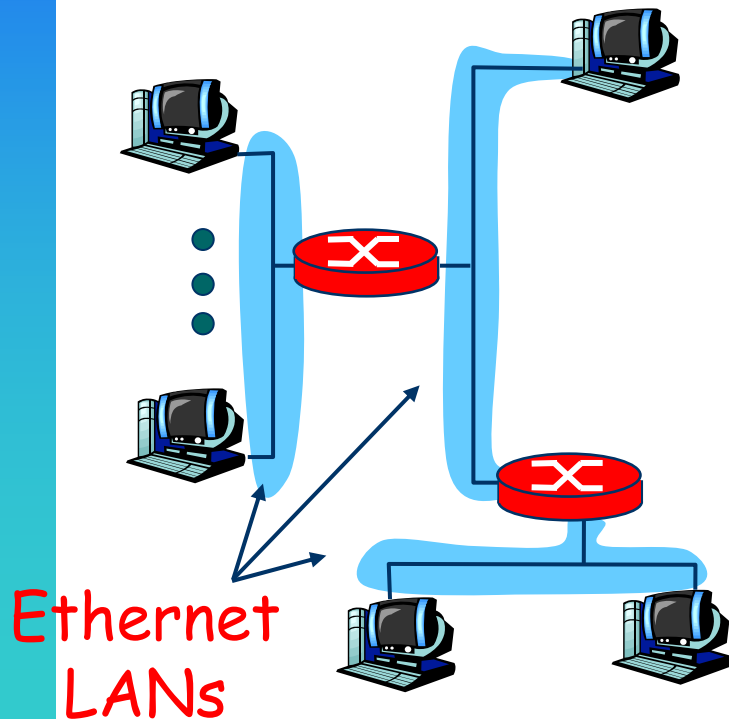
- **SONET/SDH:** μετάδοση δομημένη σε πλαίσια (όπως ένα container που μεταφέρει bit)
  - συγχρονισμός bit
  - επιμερισμός εύρους ζώνης (TDM)
  - αρκετές ταχύτητες: OC3 = 155.52 Mbps, OC12 = 622.08 Mbps, OC48 = 2.45 Gbps, OC192 = 9.6 Gbps
- **E1/E3:** μετάδοση δομημένη σε πλαίσια (παλιά τηλεφωνική ιεραρχία): 2.048 Mbps/ 36.368 Mbps
- **αδόμητο:** μόνο κελιά (busy/idle)

# IP-Over-ATM



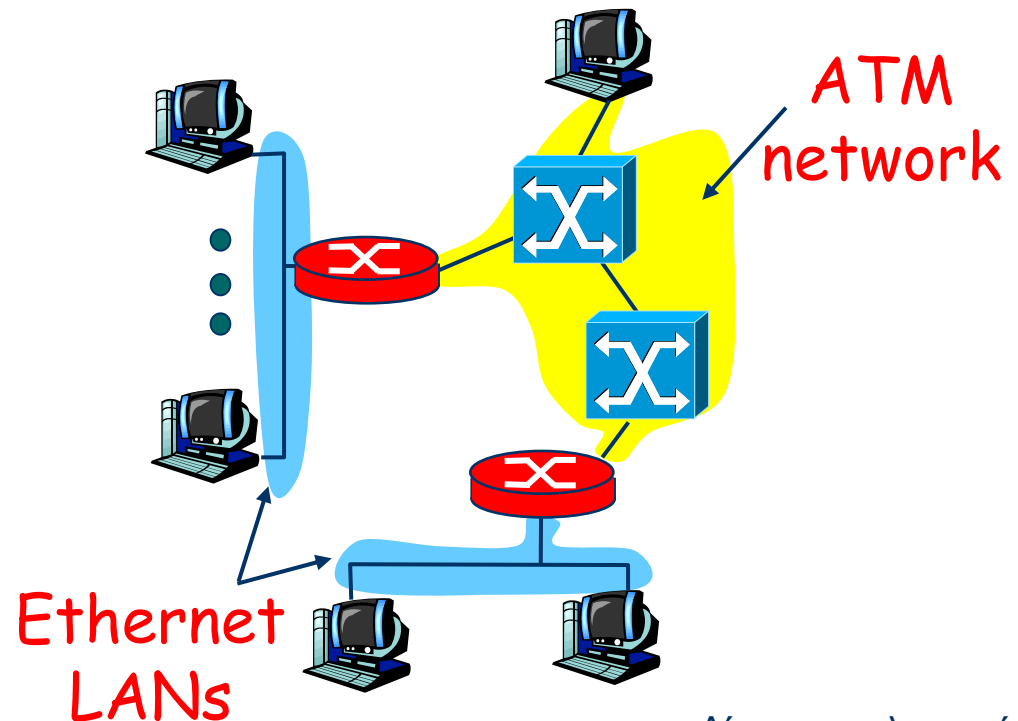
## Κλασσικό IP μόνο

- 3 τμήματα LAN
- MAC (802.3) και διευθύνσεις IP



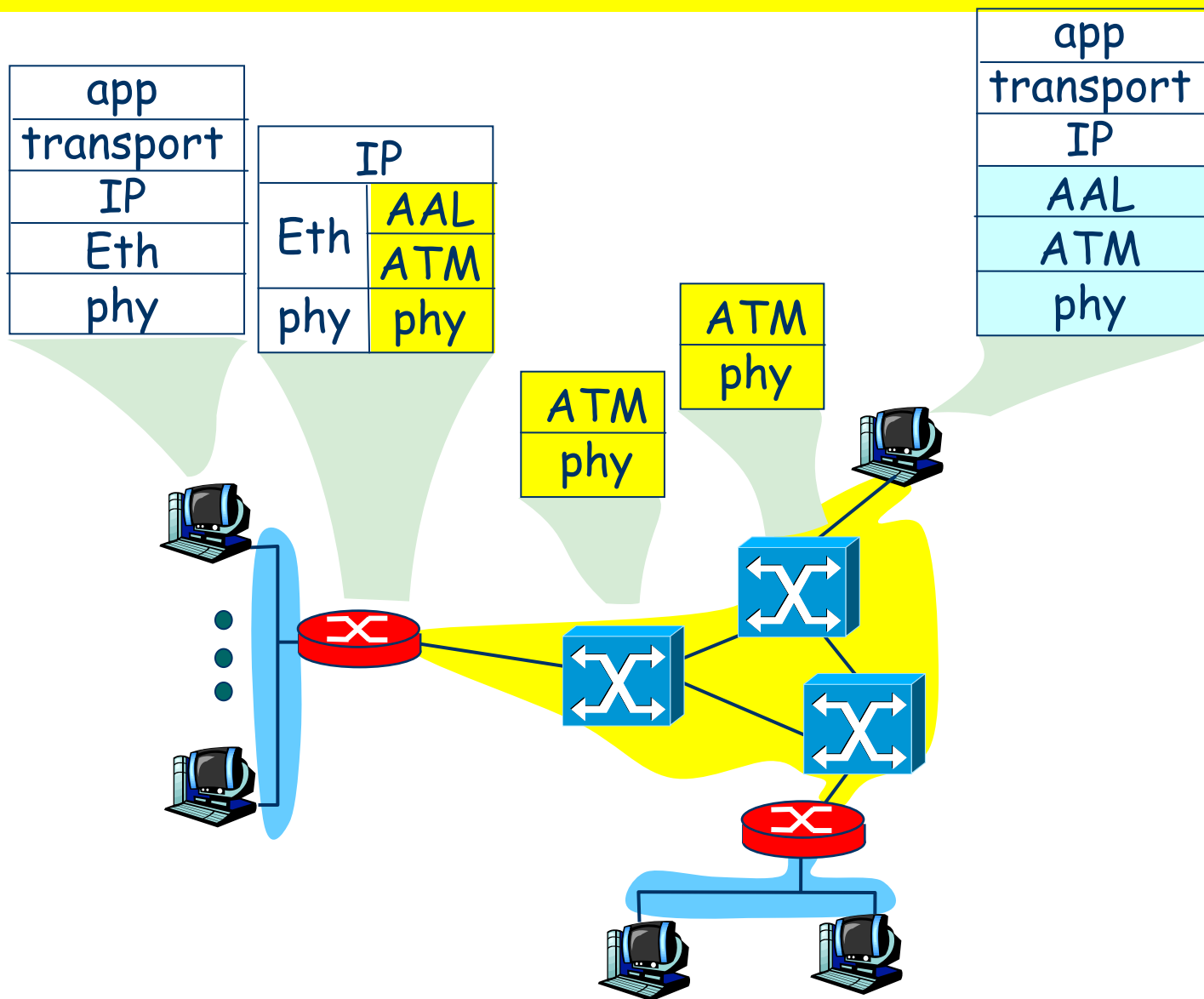
## IP over ATM

- αντικατάσταση του τμήματος LAN με δίκτυο ATM
- διευθύνσεις ATM, διευθύνσεις IP





# IP-Over-ATM



# IP-over-ATM Network



## Διαδρομή δεδομενογράμματος

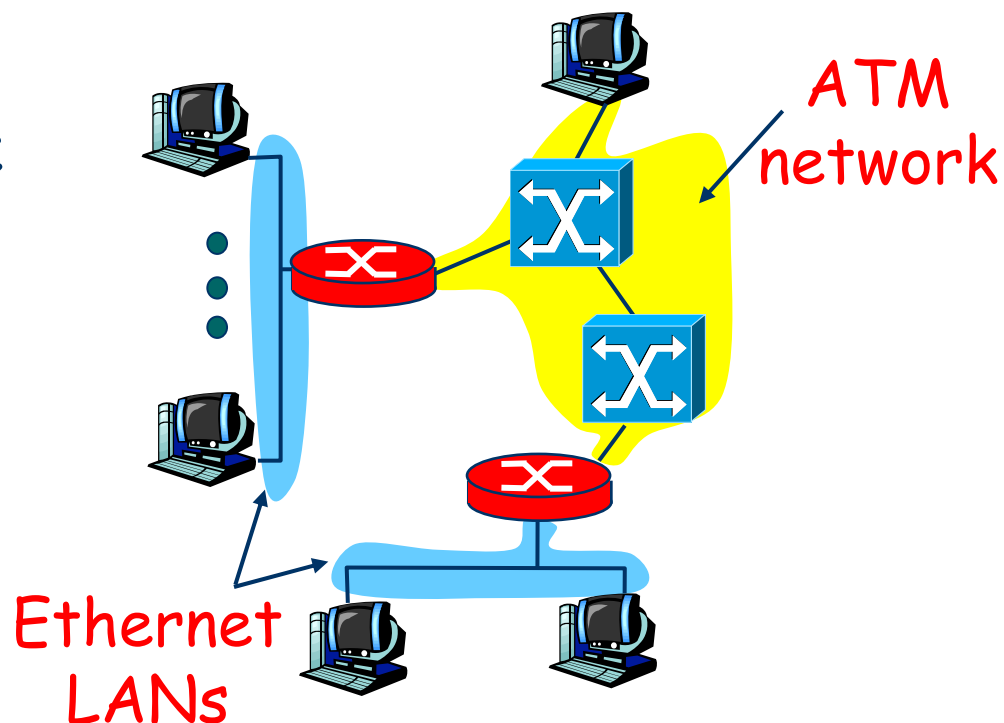
- **Host αποστολής:**
  - το στρώμα IP αντιστοιχεί IP με ATM dest address (χρησιμοποιώντας ATMARP)
  - διοχετεύει το δεδομένογραμμα στο AAL5
  - το AAL5 ενθυλακώνει τα δεδομένα, τα διαχωρίζει σε κελιά, τα στέλνει στο στρώμα ATM
- **Δίκτυο ATM:** μεταφέρει τα κελιά μέσω του VC στον προορισμό
- **Host προορισμού:**
  - το AAL5 επανασυναρμολογεί από τα κελιά το αρχικό δεδομένογραμμα
  - αν το CRC είναι σωστό, το δεδομένογραμμα περνάει στο στρώμα IP

# IP-Over-ATM



## Ζητήματα:

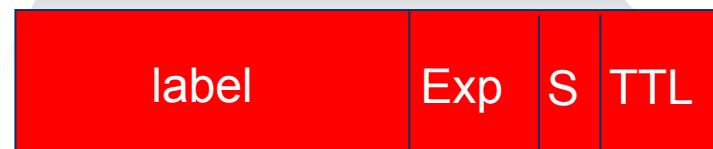
- ❑ IP δεδομενογράμματα σε ATM AAL5 PDUs
- ❑ από διευθύνσεις IP σε διευθύνσεις ATM
  - όπως ακριβώς διευθύνσεις IP σε διευθύνσεις 802.3 MAC



# 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!



20

3

1

8

Exp = πειραματικές λειτουργίες (Qos)  
S = Λειτουργίες stack  
TTL= Time to live

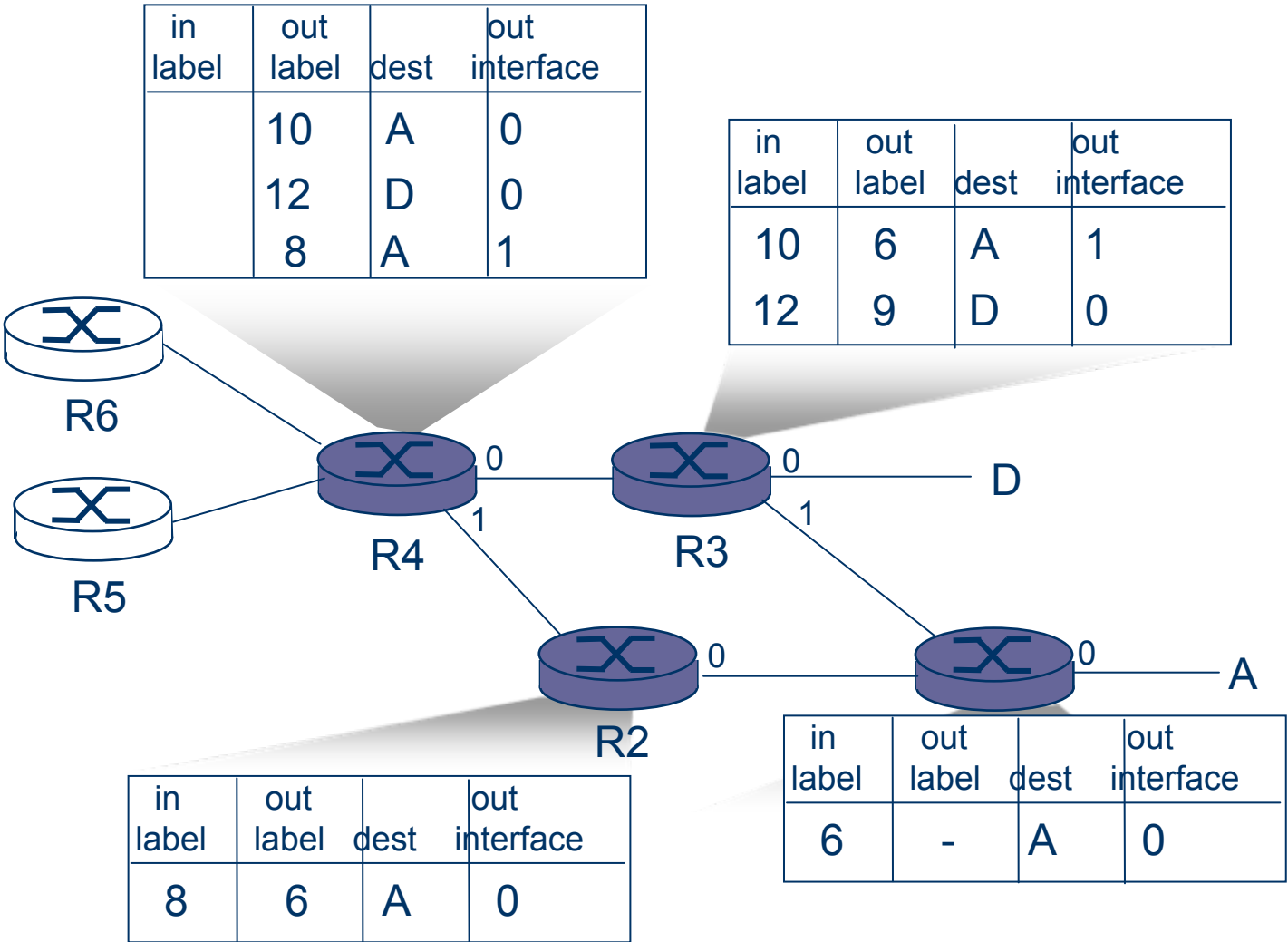
# Πώς λειτουργεί το MPLS



- 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 σηματοδοσίας για τη δημιουργία των πινάκων προώθησης MPLS
  - CR-LDP (Constrained-based Routing Label Distribution Protocol)
  - RSVP-TE (επέκταση του RSVP)
- Είναι δυνατή η προώθηση 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 (Label-Switched Path) 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 υποστηρίξουν και MPLS και IP.



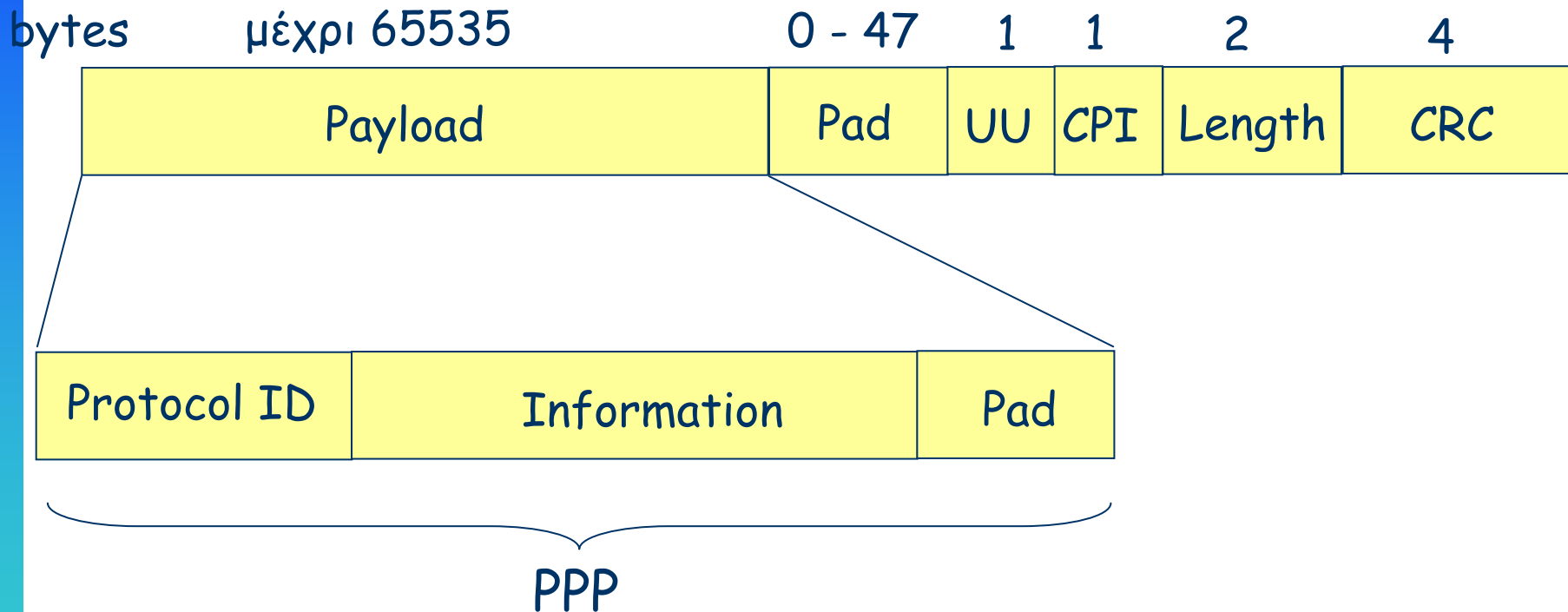


- Point-to-Point πάνω από ATM (PPPoA)
- Point-to-Point πάνω από Ethernet (PPPoE)

# PPP over ATM



## AAL5 CPCS-PDU

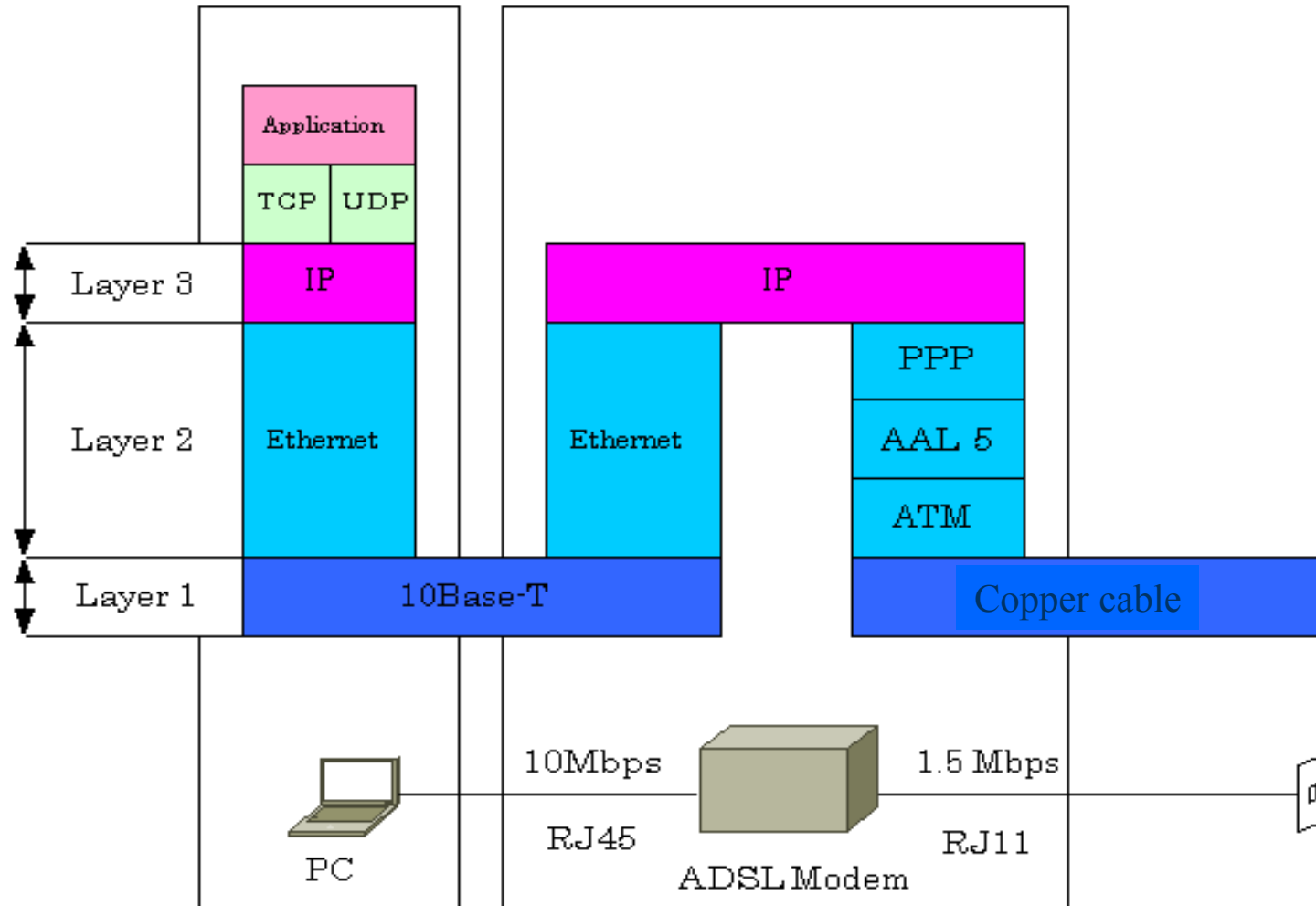


UU: user-to-user indication  
CPI: common part indicator

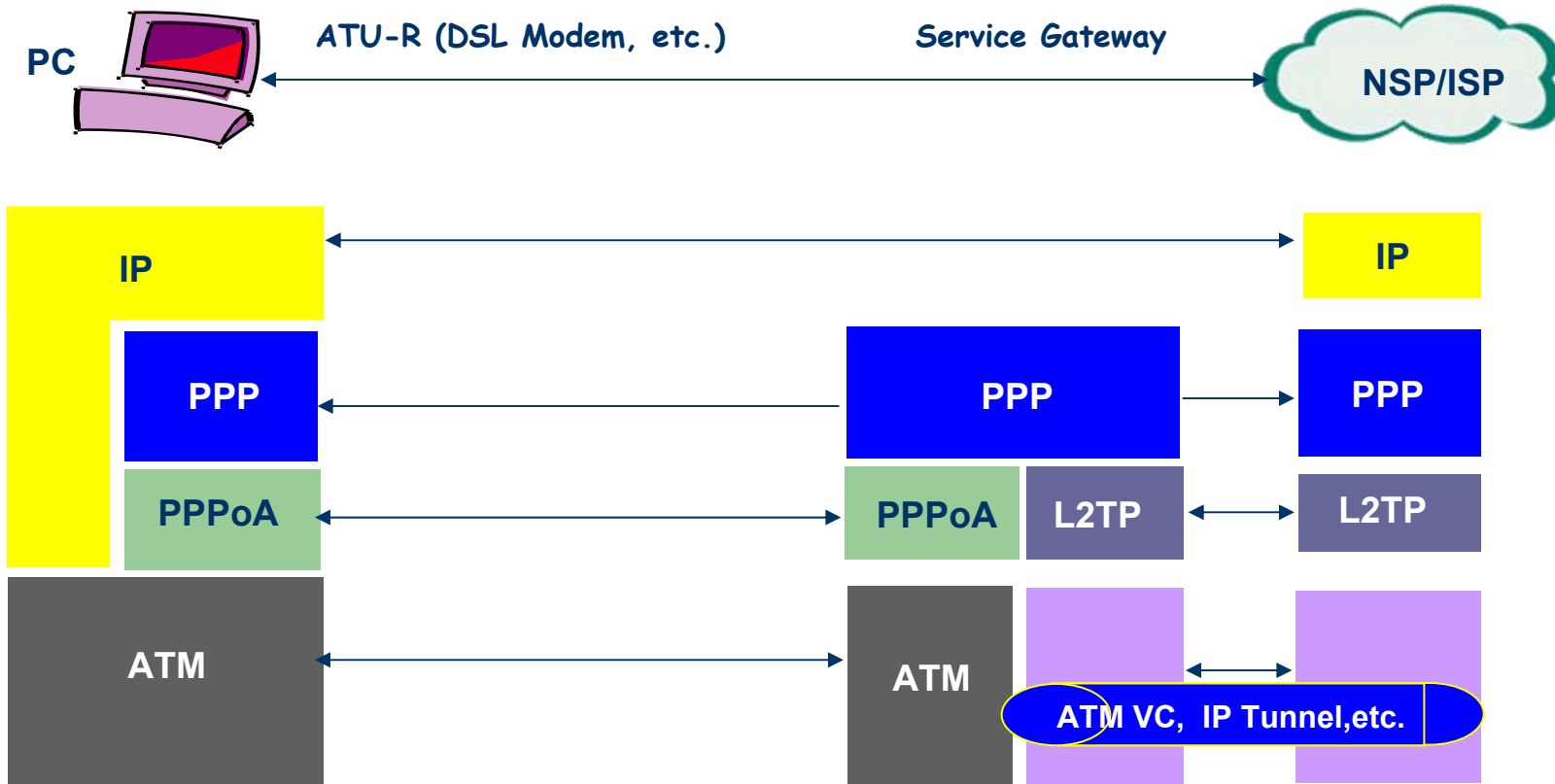
# Αρχιτεκτονική PPP over ATM



PPPoA by ADSL Router Modem



# Αρχιτεκτονική PPP over ATM



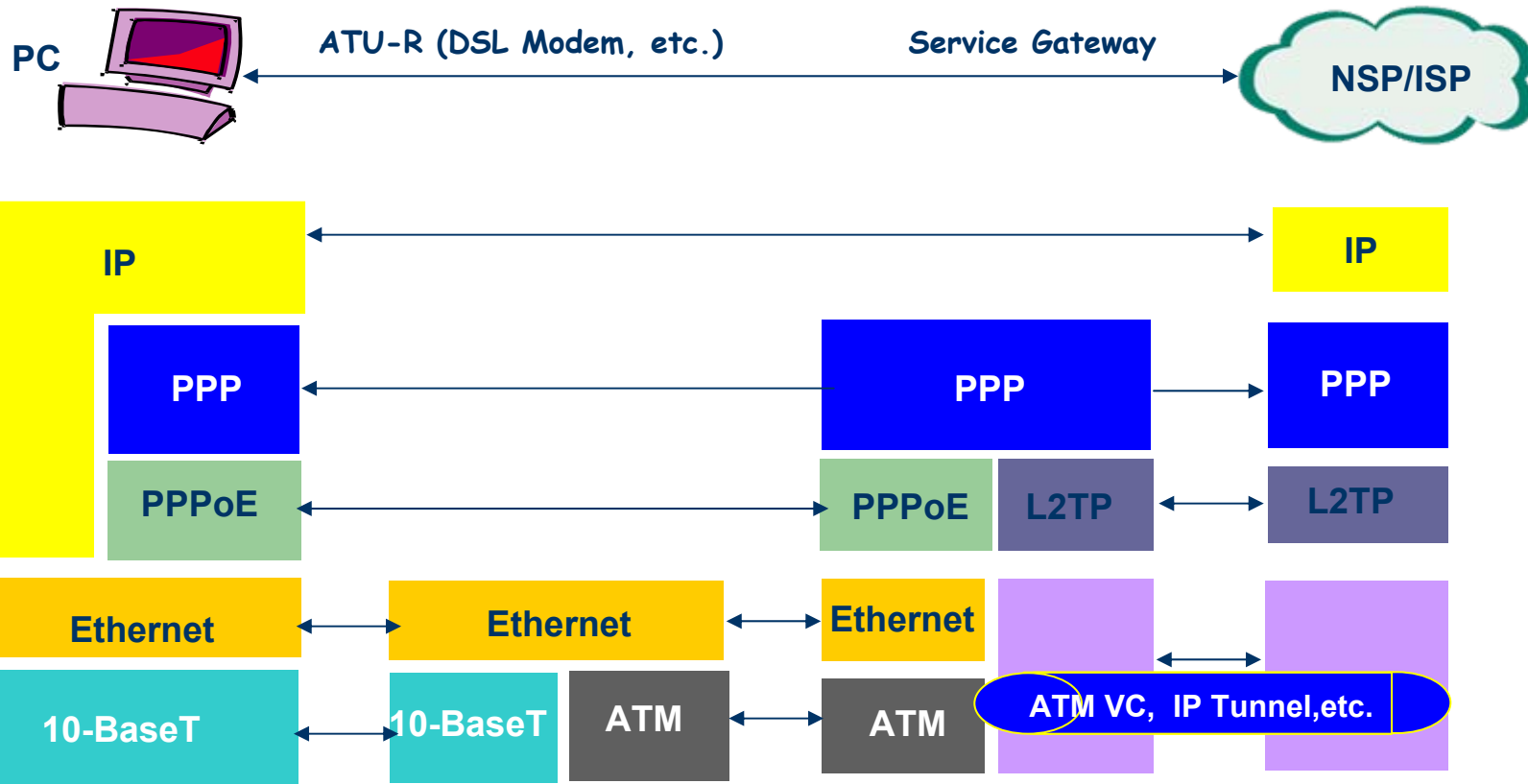
ATU-R: ADSL Terminal Unit - Remote

# PPP over Ethernet



- Σύνδεση των host στο ADSL ή cable modem μέσω Ethernet αντί σειριακής γραμμής
- Το Ethernet δεν παρέχει υπηρεσία με σύνδεση και δεν υποστηρίζει χαρακτηριστικά του PPP, όπως πιστοποίηση αυθεντικότητας, κλπ
- Το PPPoE επινοήθηκε για να συνδυάζει τη δυνατότητα σύνδεσης σε παρόχους χρησιμοποιώντας τη συνηθισμένη διεπαφή του PPP
- Όμως το πρωτόκολλο μέσα στα τηλεφωνικά δίκτυα παραμένει ATM οπότε τα πακέτα PPPoE ενθυλακώνονται σε κελιά ATM

# Αρχιτεκτονική PPPoE



ATU-R: ADSL Terminal Unit - Remote



- 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.

# 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.