



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.

Περιεχόμενα



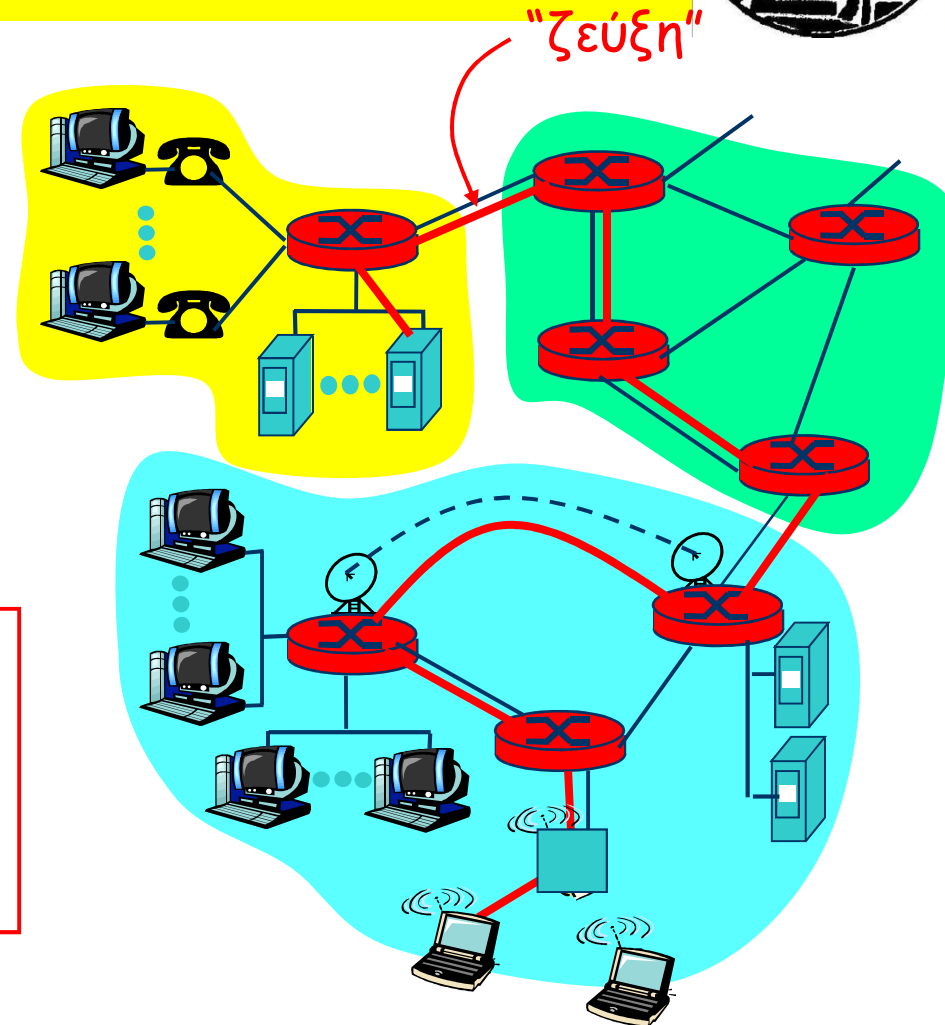
- Εισαγωγή
- Τύποι ζεύξεων
- Υπηρεσίες του στρώματος ζεύξης δεδομένων
- Έλεγχος ζεύξης σημείου προς σημείο
 - HDLC
 - SLIP
 - PPP
- ATM και MPLS
- Αρχιτεκτονικές ευρυζωνικής πρόσβασης

Εισαγωγή



Ορολογία:

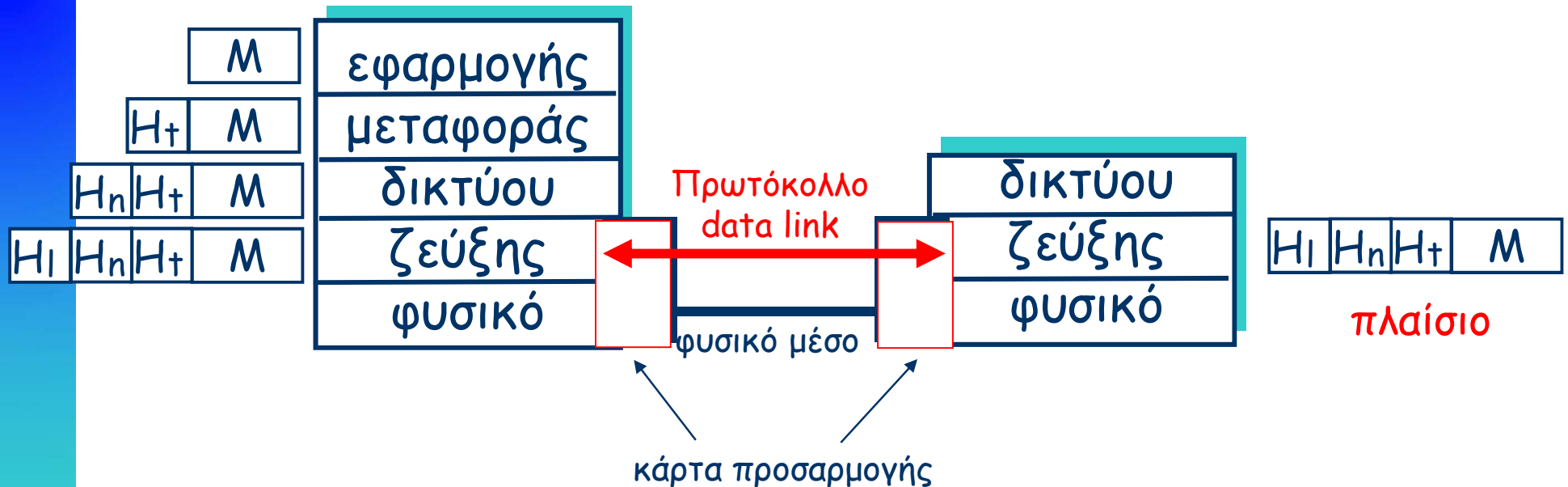
- Οι host και οι δρομολογητές είναι οι **κόμβοι** του δικτύου.
- Οι τηλεπικοινωνιακοί δίαυλοι που συνδέουν γειτονικούς κόμβους δικτύου αποκαλούνται **ζεύξεις**.
 - Ενσύρματες
 - Ασύρματες
 - LAN
- Το **στρώμα ζεύξης δεδομένων** (data link layer) έχει την ευθύνη να μεταφέρει δεδομενογράμματα από έναν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





Εισαγωγή

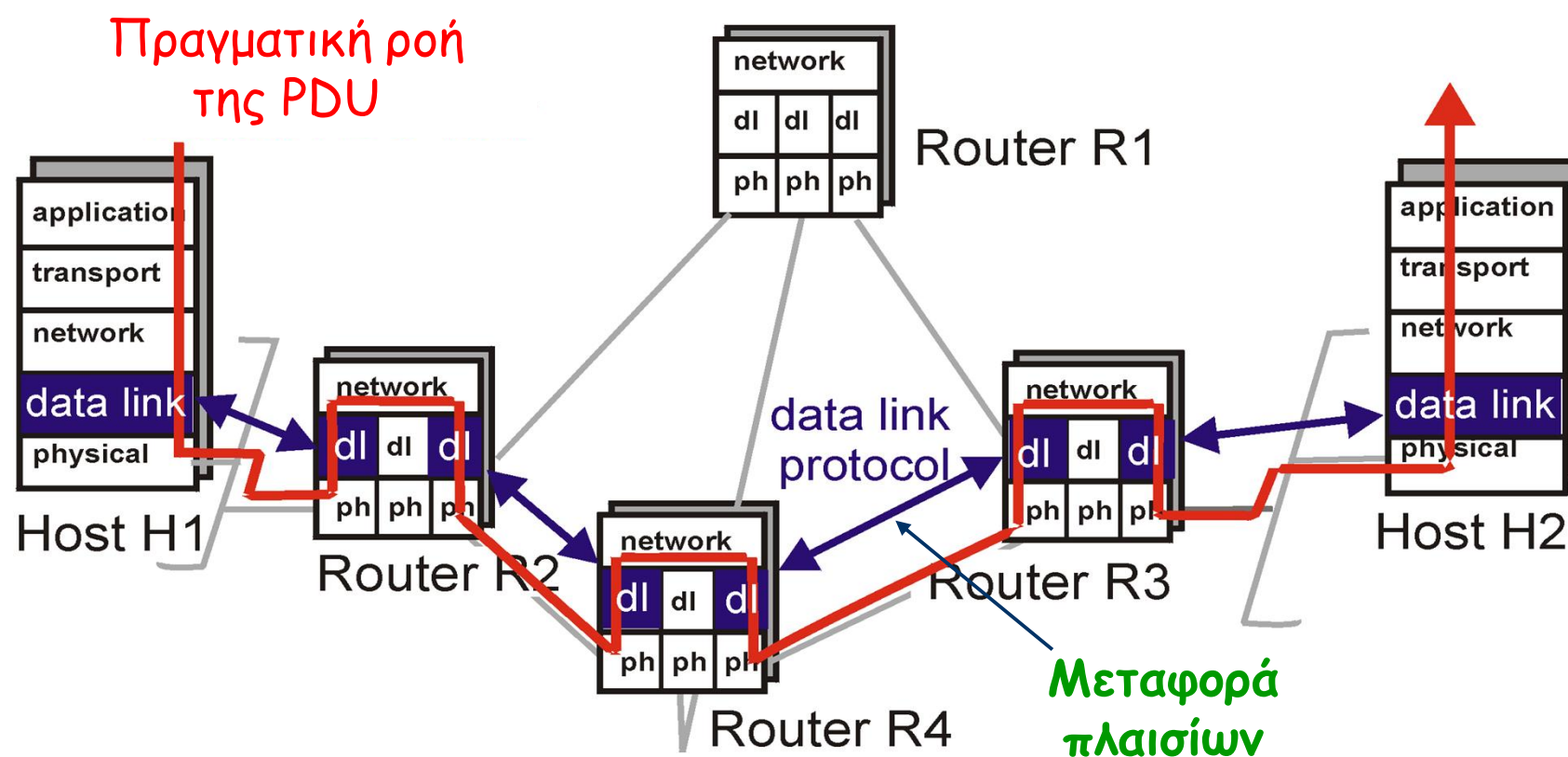
- Δύο κόμβοι **συνδεδεμένοι με φυσικό μέσο**:
 - host-router, router-router, host-host
- Μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου: **πλαίσιο (frame)**



Εισαγωγή



Γενικό πλαίσιο λειτουργίας





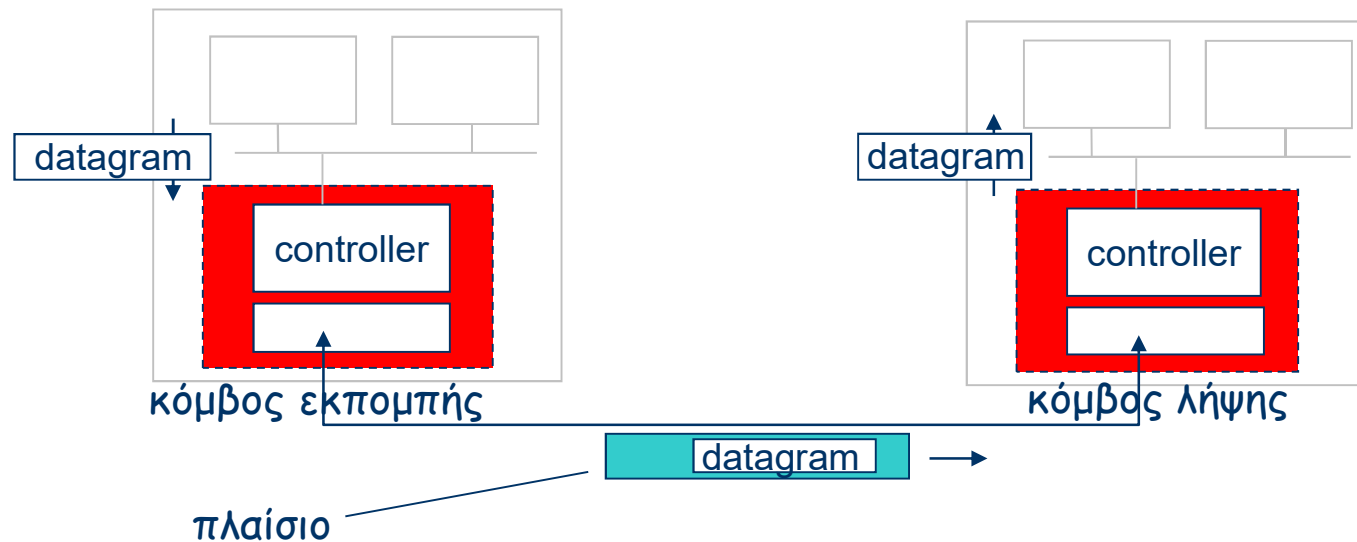
Γενικό πλαίσιο λειτουργίας

- Το δεδομένογραμμα μπορεί να 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 επιβάτη από Θεσσαλονίκη σε Πάτρα
 - Ταξί: σπίτι - αεροδρ. Θεσ/νίκης
 - Αεροπλάνο: Θεσ/νίκη - Αθήνα
 - Ταξί: Αερ. Αθηνών- ΚΤΕΛ Πελοπ.
 - Λεωφορείο: ΚΤΕΛ Πελοπ. -Πάτρα
- Επιβάτης: **δεδομένογραμμα**
- Τμήμα μετακίνησης: **επικοινωνιακή ζεύξη**
- Μέσο μεταφοράς: **πρωτόκολλο ζεύξης δεδομένων**
- Ταξιδιωτικός πράκτορας: **αλγόριθμος δρομολόγησης**



Εισαγωγή

Επικοινωνία καρτών προσαρμογής



➤ Πλευρά εκπομπής

- Ενθυλακώνει το δεδομένογραμμα σε ένα πλαίσιο.
- Προσθέτει bits για τον έλεγχο λαθών, αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων, έλεγχο ροής, κλπ.

➤ Πλευρά λήψης

- Ελέγχει για λάθη, αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων, έλεγχο ροής, κλπ.
- Εξάγει το δεδομένογραμμα και το περνά στο ανώτερο στρώμα της πλευράς λήψης.



Τύποι ζεύξεων

Τρεις τύποι "ζεύξεων":

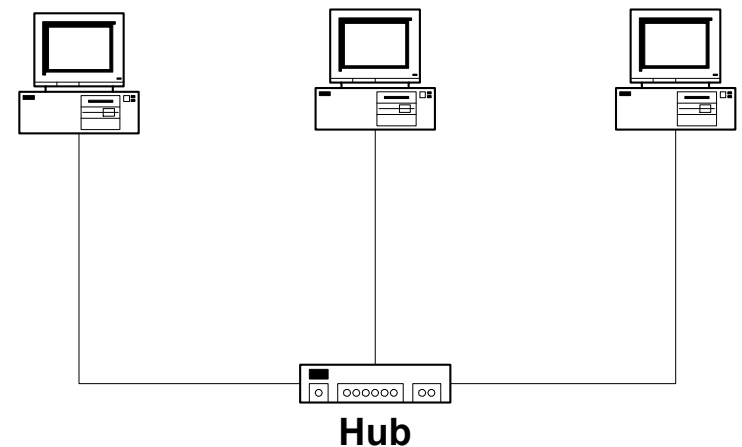
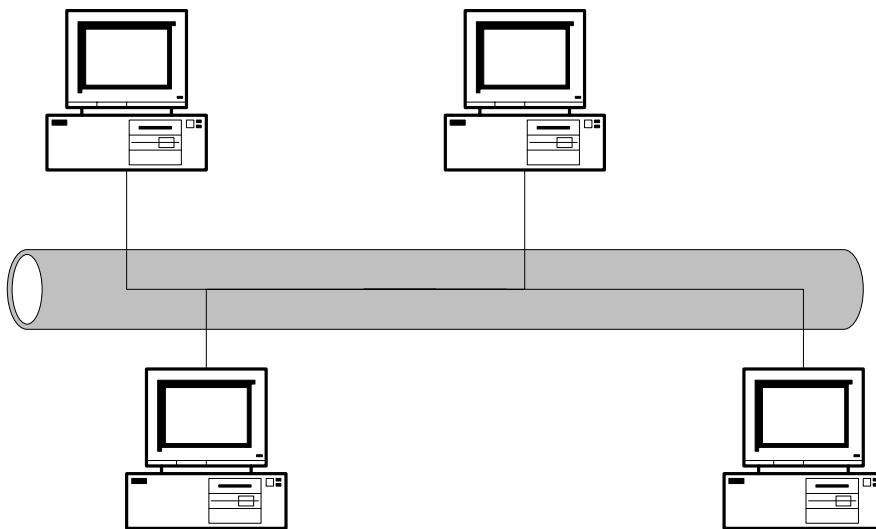
- **Εκπομπής** (κοινό μέσο μετάδοσης)
 - Παραδοσιακό Ethernet
 - Ασύρματο LAN 802.11
 - Καλωδιακά συστήματα τηλεόρασης
- **Σημείου προς σημείο**
 - Ζεύξη dialup ή DSL
 - Σειριακή γραμμή μεταξύ δρομολογητών
- **Με μεταγωγή**
 - ATM
 - MPLS



Τύποι ζεύξεων

Ζεύξεις εκπομπής

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





Τύποι ζεύξεων

Ζεύξεις εκπομπής

- **Medium Access Control (MAC)**
 - Χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα, όπως π.χ. Ethernet, IEEE 802.3, IEEE 802.11, 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.





Τύποι ζεύξεων

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 τους είναι η ενθυλάκωση των πακέτων IP
 - Δεν απαιτείται MAC

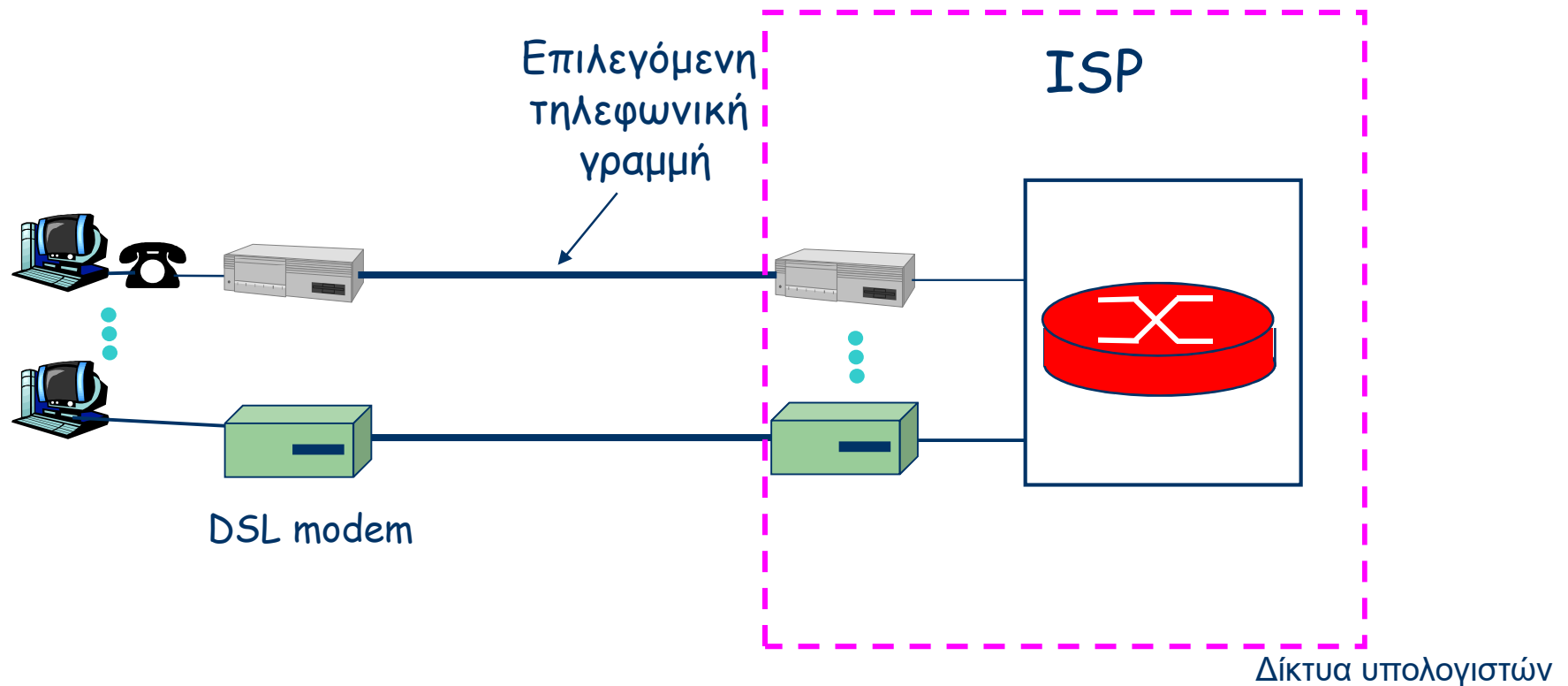




Τύποι ζεύξεων

Ζεύξεις σημείου προς σημείο: dial-up ή DSL

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

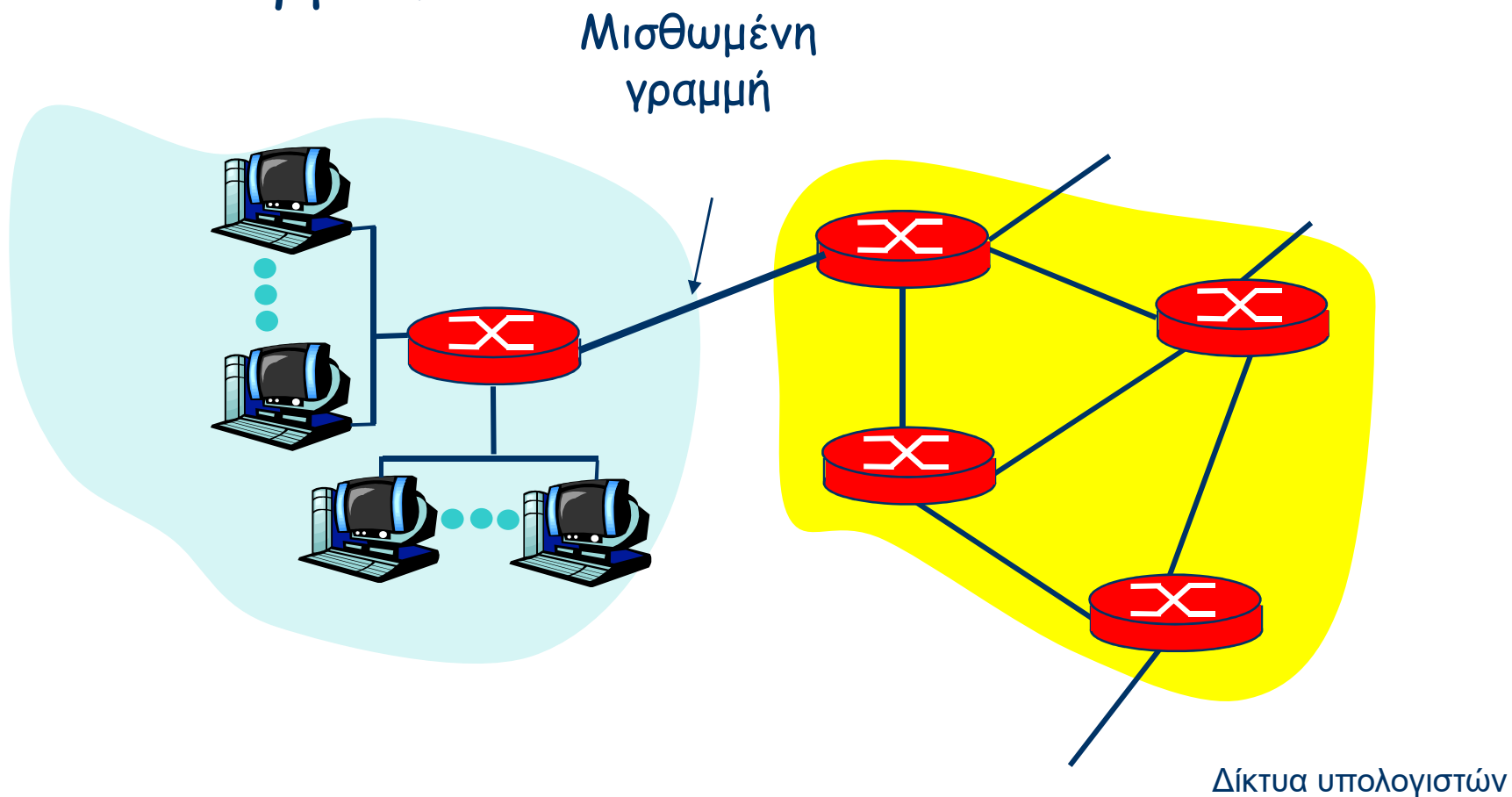




Τύποι ζεύξεων

Ζεύξεις σημείου προς σημείο: μισθωμένες γραμμές

- Σύνδεση LAN μέσω μισθωμένης γραμμής στο δίκτυο κορμού.





Τύποι ζεύξεων

Ζεύξεις με μεταγωγή

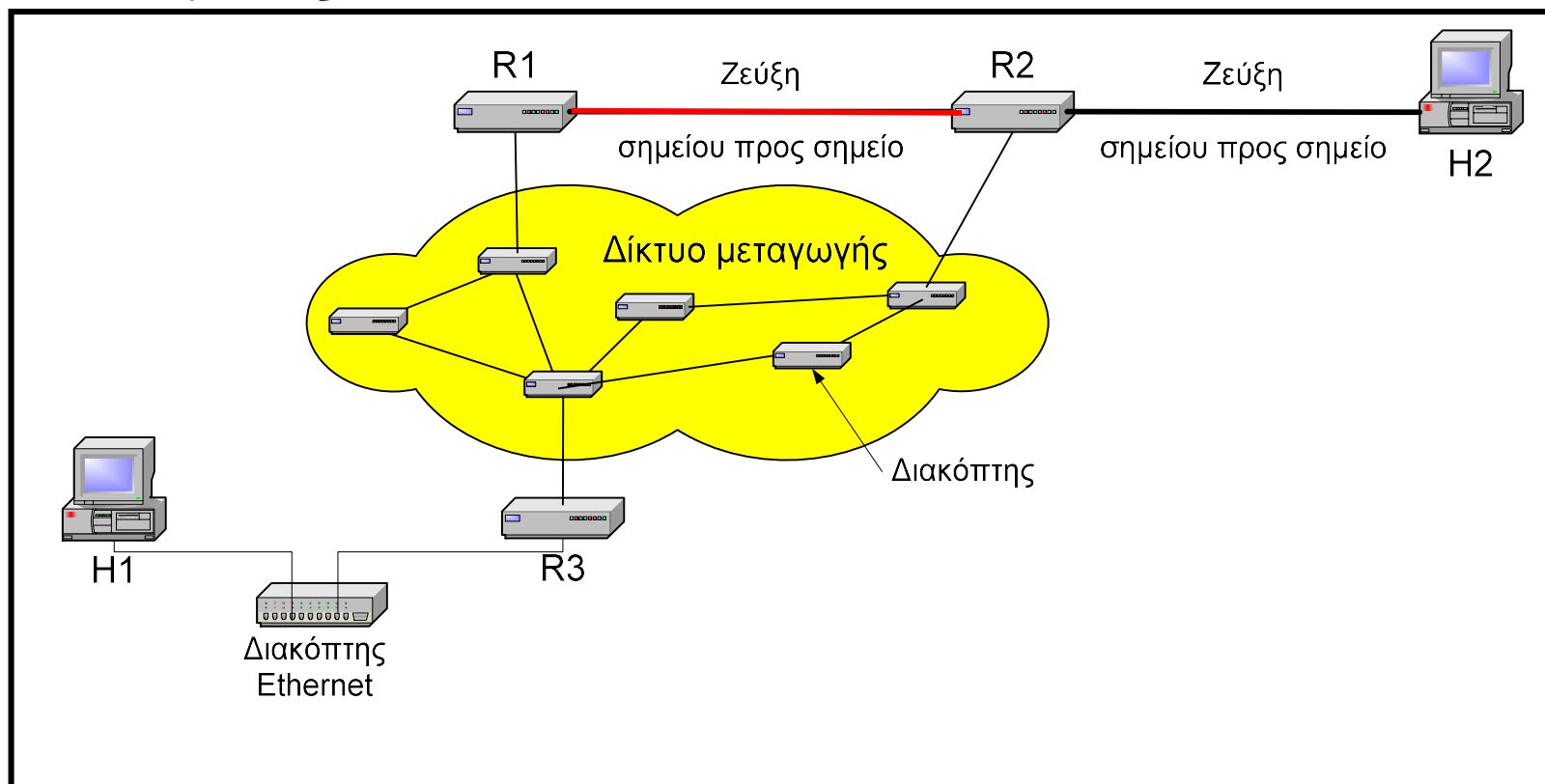
- Μερικές τεχνολογίες επιτρέπουν τη δημιουργία ζεύξεων δεδομένων πάνω από πλήρη δίκτυα, τα οποία έχουν δικές τους διευθύνσεις, τεχνικές δρομολόγησης και μηχανισμούς προώθησης.
- Αυτά τα δίκτυα αποκαλούνται **δίκτυα μεταγωγής (switched networks)**



Τύποι ζεύξεων

Ζεύξεις με μεταγωγή

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



Υπηρεσίες στρώματος ζεύξης δεδομένων



➤ 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.

Υπηρεσίες στρώματος ζεύξης δεδομένων



- **Αξιόπιστη μετάδοση μεταξύ διαδοχικών κόμβων**
 - Διορθώνει τα σφάλματα μετάδοσης, εάν αυτό απαιτείται.
 - Σπανίζει σε ζεύξεις με λίγα λάθη (οπτικές) ή ζεύξεις μικρού εύρους ζώνης (τηλεφωνικοί δίαυλοι).
 - Χρησιμοποιείται 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.

Υπηρεσίες στρώματος ζεύξης δεδομένων



➤ Ανίχνευση λαθών

- Ο δέκτης ανιχνεύει την ύπαρξη λαθών (δημιουργούνται από την εξασθένηση του σήματος, τον 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.

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.
 - Παραδείγματα: 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.

HDLC: High level Data Link Control



➤ 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).



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 τους πρωτεύοντες.
- Τα πλαίσια που στέλνουν αποκαλούνται απαντήσεις (responses).

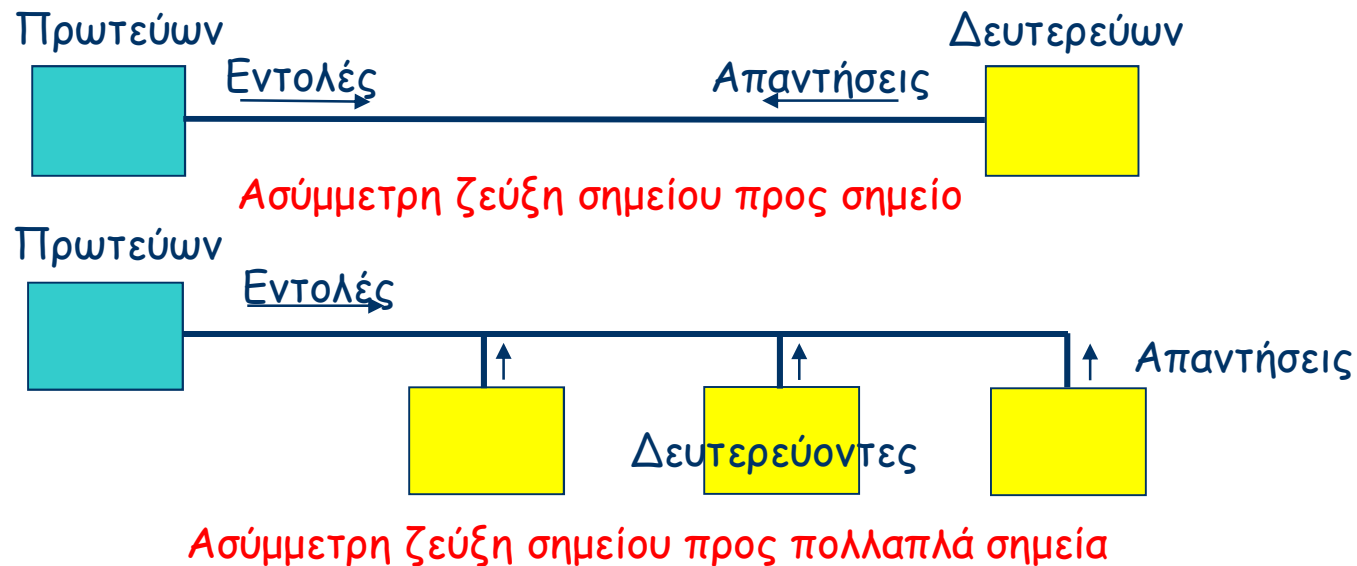
➤ Μικτοί



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





Διατάξεις ζεύξης

Συμμετρική διάταξη

- Χρησιμοποιείται μόνο για λειτουργία σημείου προς σημείο.
- Οι συνδεόμενοι σταθμοί είναι **ομότιμοι** (μικτοί σταθμοί).
- Υποστηρίζει και αμφίδρομη και ημιαμφίδρομη μετάδοση.



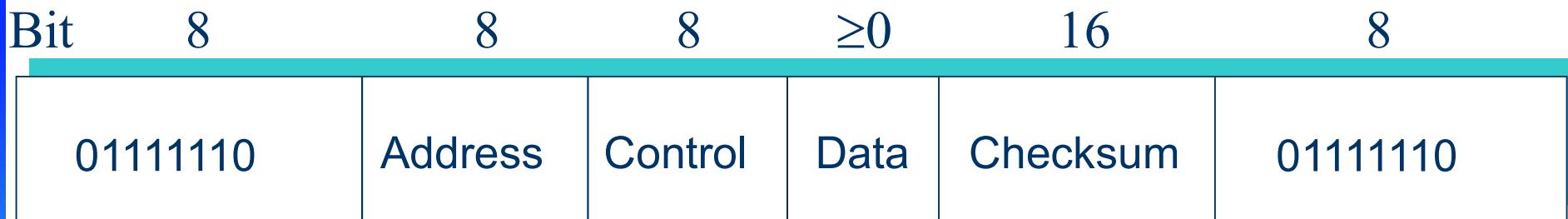
Συμμετρική ζεύξη σημείου προς σημείο

HDLC



Μορφή πλαισίου

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

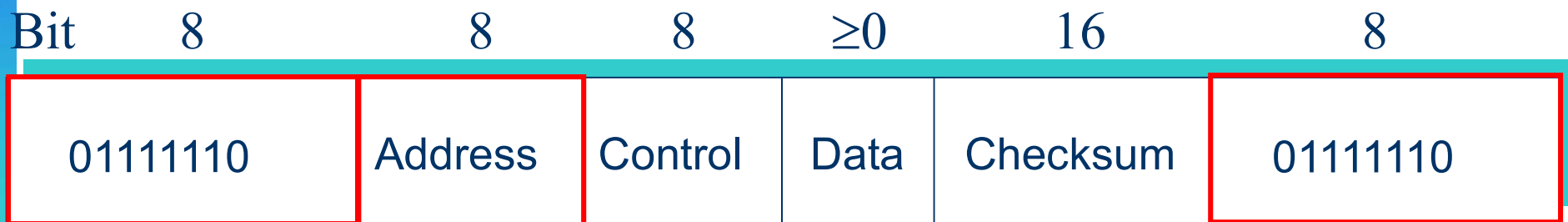


Η διάκριση των πλαισίων
γίνεται από το πεδίο ελέγχου



Μορφή πλαισίου

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

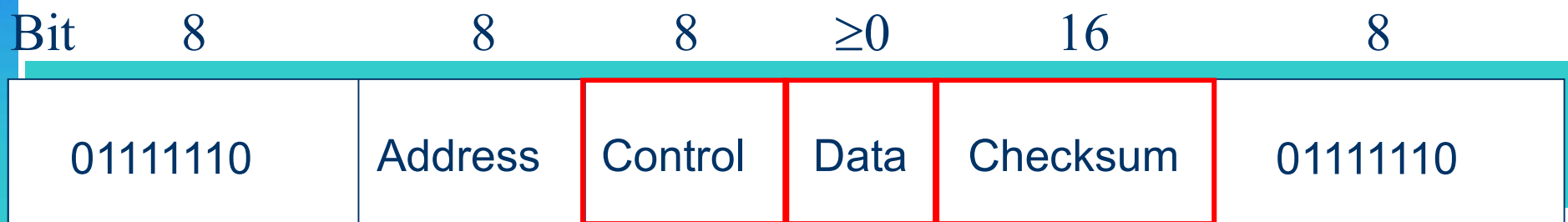




HDLC

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.



HDLC



Είδη πλαισίων

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

➤ Πληροφορίας (Information)



➤ Επίβλεψης (Supervisory)



➤ Αναρίθμητα (Unnumbered)



HDLC



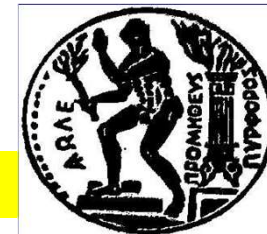
Πλαίσια επίβλεψης

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.



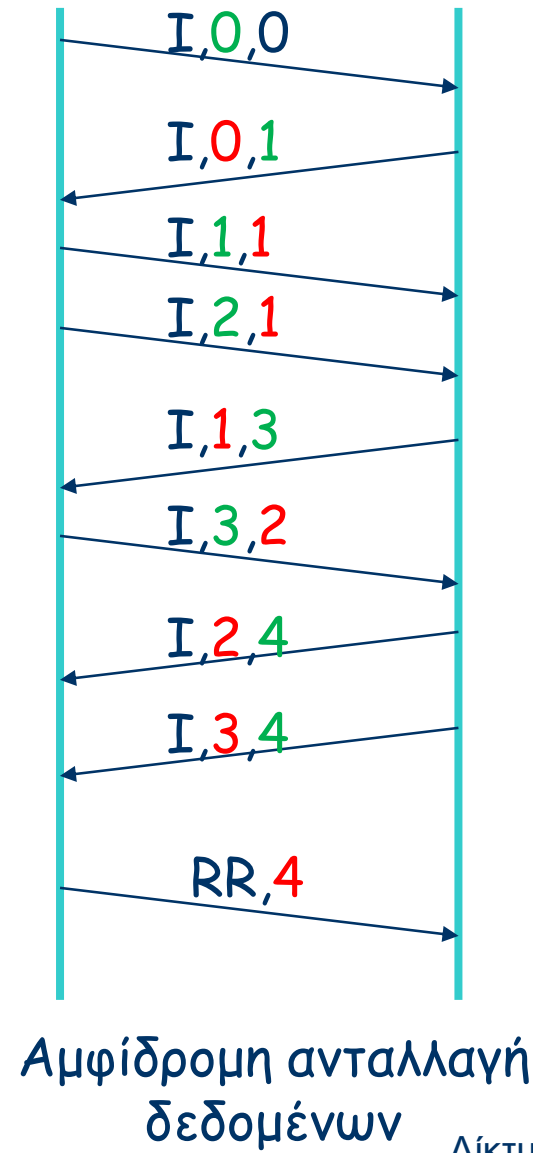
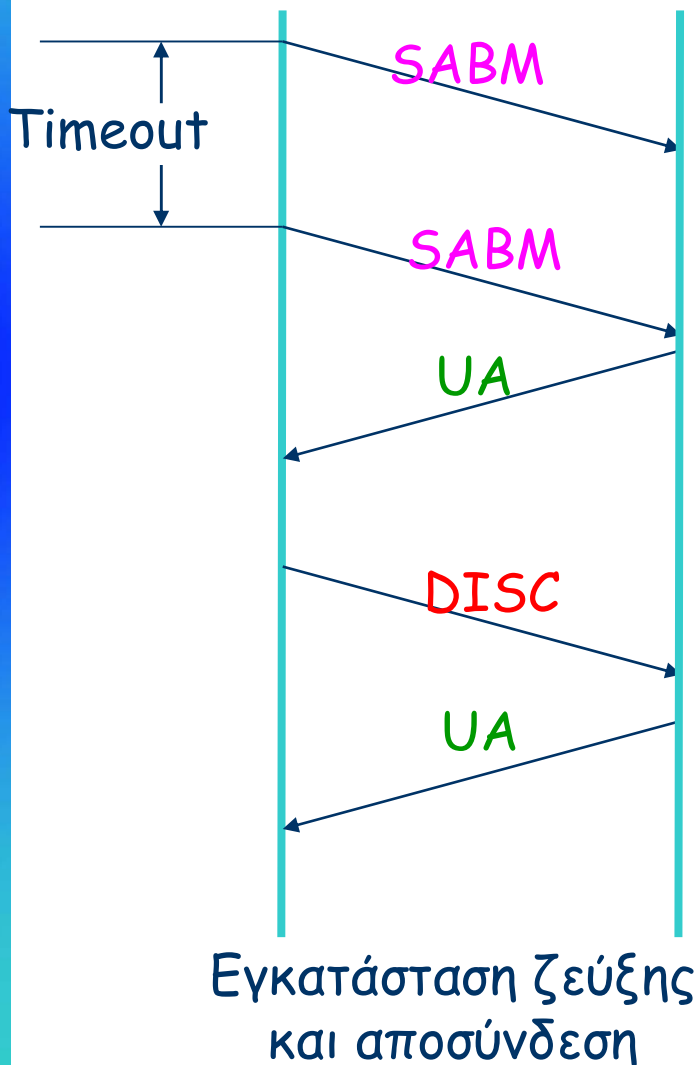
Αναρίθμητα πλαίσια

- 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**: Disconnected Mode



HDLC: Παραδείγματα

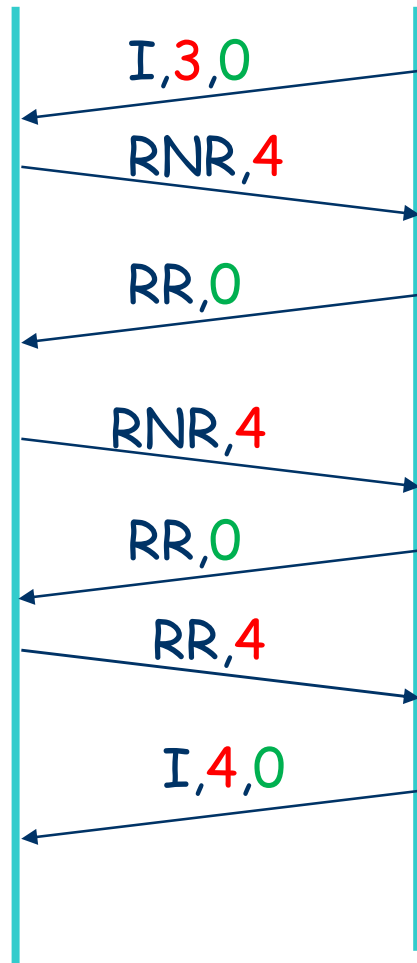
Παραδείγματα



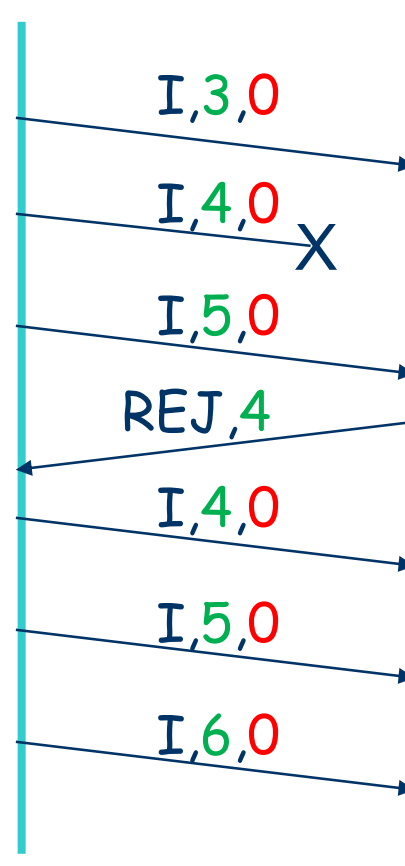
HDLC



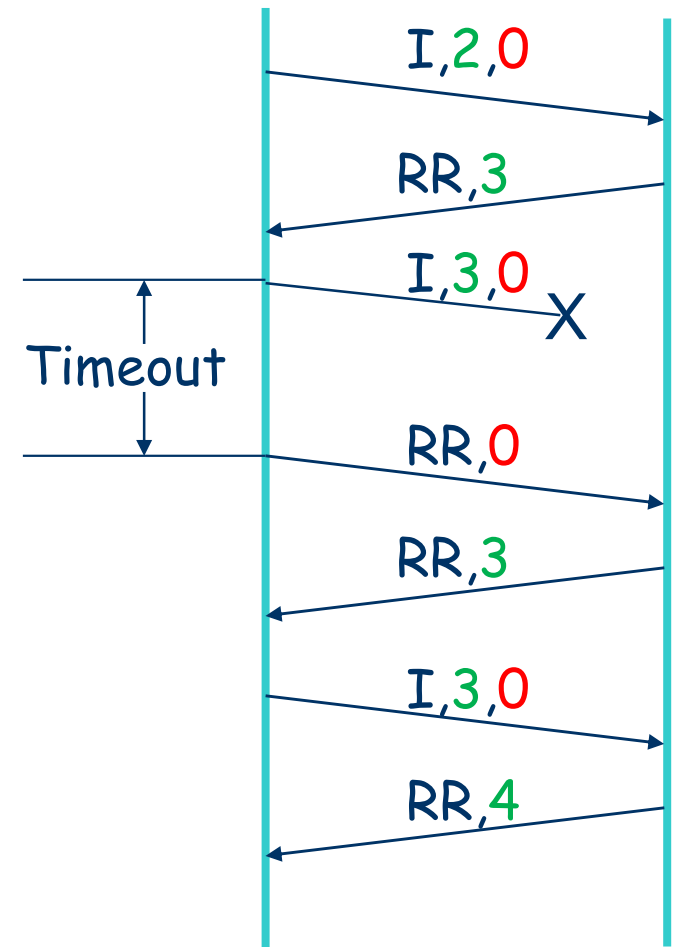
Παραδείγματα



Απασχολημένος δέκτης



Απόρριψη και
αποκατάσταση



Timeout και
αποκατάσταση

Δίκτυα υπολογιστών

SLIP (Serial Line IP)



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

SLIP



Ενθυλάκωση

- 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 (Van Jacobson: 40 byte σε 3-4).

IP packet



SLIP frame





Μειονεκτήματα

- 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



- 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 γραμμών διασύνδεσης δρομολογητών (σε υψηλές ταχύτητες).
- Χρησιμοποιείται σε πολλαπλά είδη τηλεπικοινωνιακών γραμμών, όπως π.χ., σειριακές γραμμές, τηλεφωνικές γραμμές, ειδικές ραδιοζεύξεις, οπτικές ζεύξεις.



Κύριες λειτουργίες (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.
 - 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 απόλυση της ζεύξης.
 - Επιτήρηση της ποιότητας ζεύξης.
 - RFC 1331



Κύριες λειτουργίες (2)

- **Ανίχνευση λαθών**
- **Έλεγχος διακοπής σύνδεσης (connection liveness):**
ανίχνευση απώλειας σήματος στη ζεύξη και αναφορά προς το στρώμα δικτύου.
- **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 (3)

- **Διάρθρωση των πρωτοκόλλων δικτύου**
 - Το PPP διαθέτει πρωτόκολλα ελέγχου δικτύου (Network Control Protocols, NCPs), επειδή υποστηρίζει 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 πρωτόκολλο δικτύου χρησιμοποιείται το IP.
 - Ικανότητα αποπολυπλεξίας προς τα πάνω.
 - RFC 1332



Κύριες λειτουργίες (4)

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!

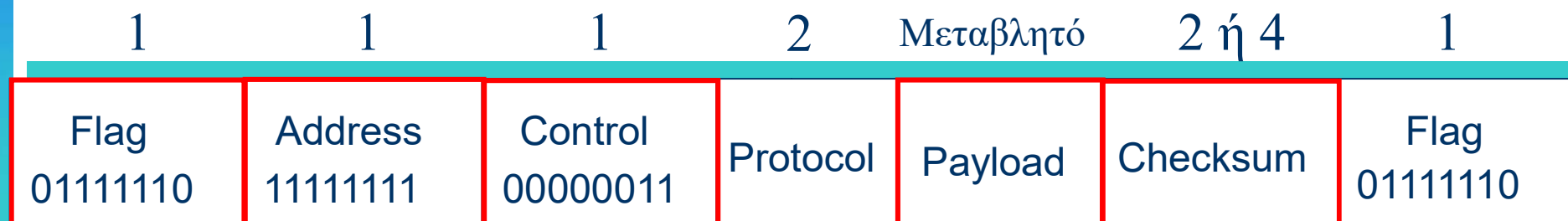


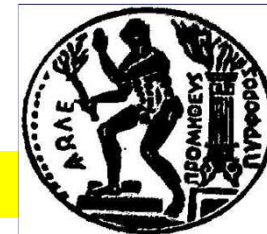
Μορφή πλαισίου

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





Μορφή πλαισίου

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

Byte

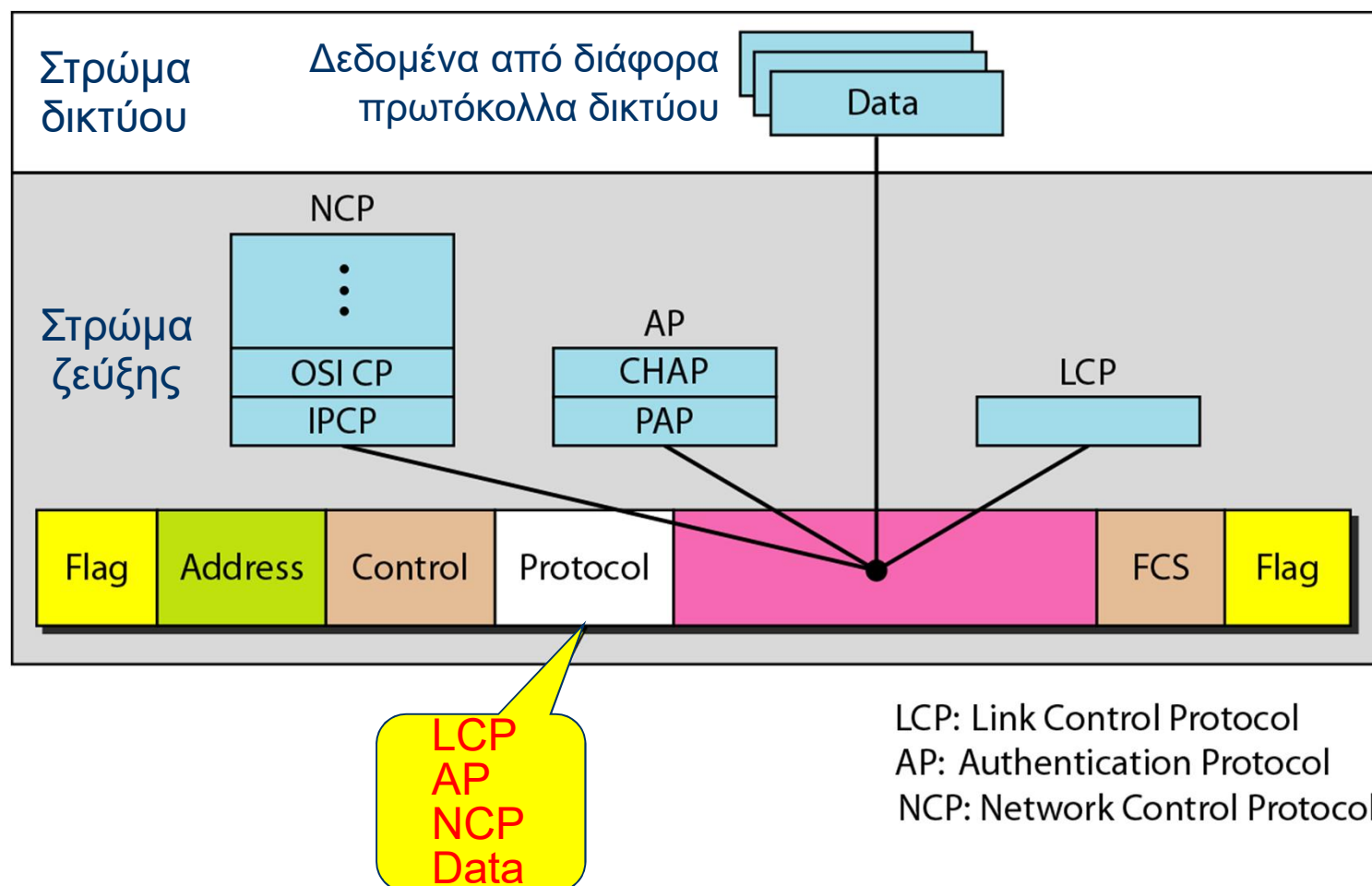
1 1 1 2 Μεταβλητό 2 ή 4 1

Flag 01111110	Address 11111111	Control 00000011	Protocol	Payload	Checksum	Flag 01111110
------------------	---------------------	---------------------	----------	---------	----------	------------------

PPP



Ενθυλάκωση



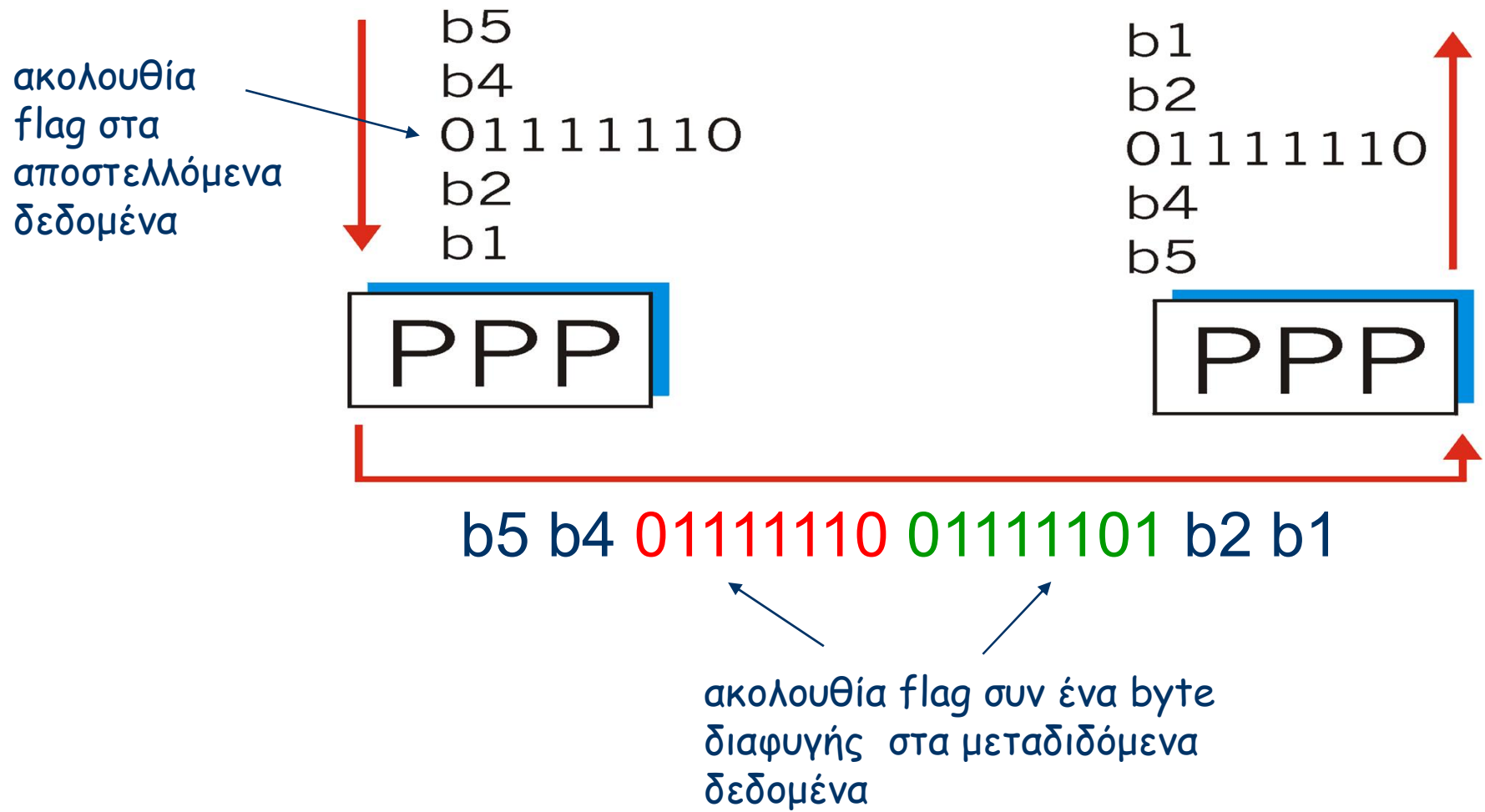


Παραγέμισμα με byte

- 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** που περιέχεται στα δεδομένα.
 - Προσθέτει ένα byte διαφυγής **01111101** πριν από κάθε byte διαφυγής **01111101** που περιέχεται στα δεδομένα.
 - 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



Παραγέμισμα με byte





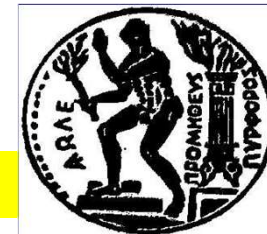
Πρωτόκολλα ελέγχου

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

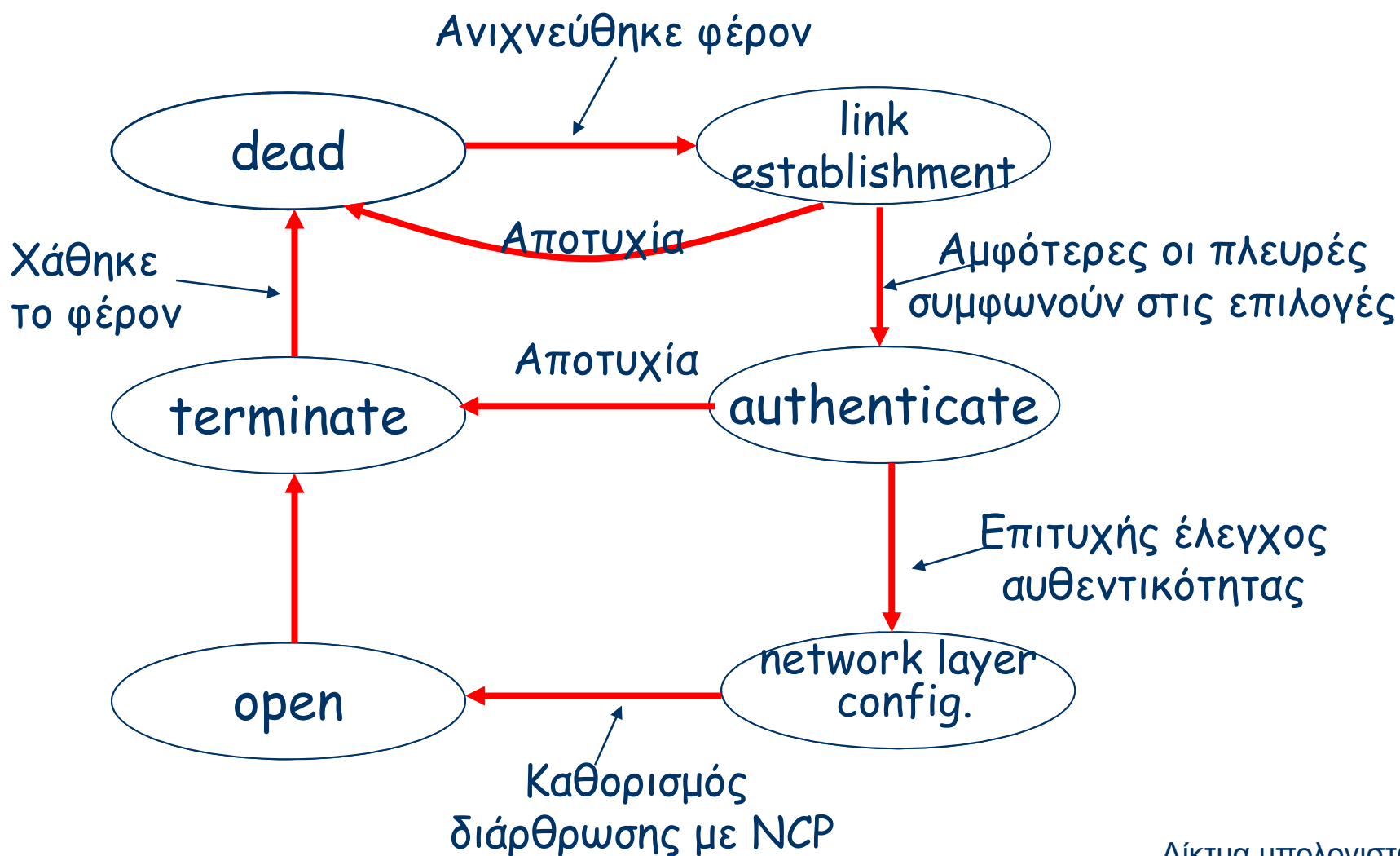
- διαρθρώσουν τη ζεύξη PPP (μέγιστο μήκος πλαισίου, πιστοποίηση αυθεντικότητας),
- μάθουν/διαρθρώσουν το στρώμα δικτύου.

Οι ανωτέρω λειτουργίες υποστηρίζονται από βοηθητικά πρωτόκολλα:

- LCP (διαχείριση ζεύξης)
- PAP, CHAP (πιστοποίηση αυθεντικότητας)
- NCP (διάρθρωση πρωτοκόλλων δικτύου)
 - IPCP: μηνύματα με το πεδίο "protocol" = 8021, για τη διάρθρωση των IP διευθύνσεων

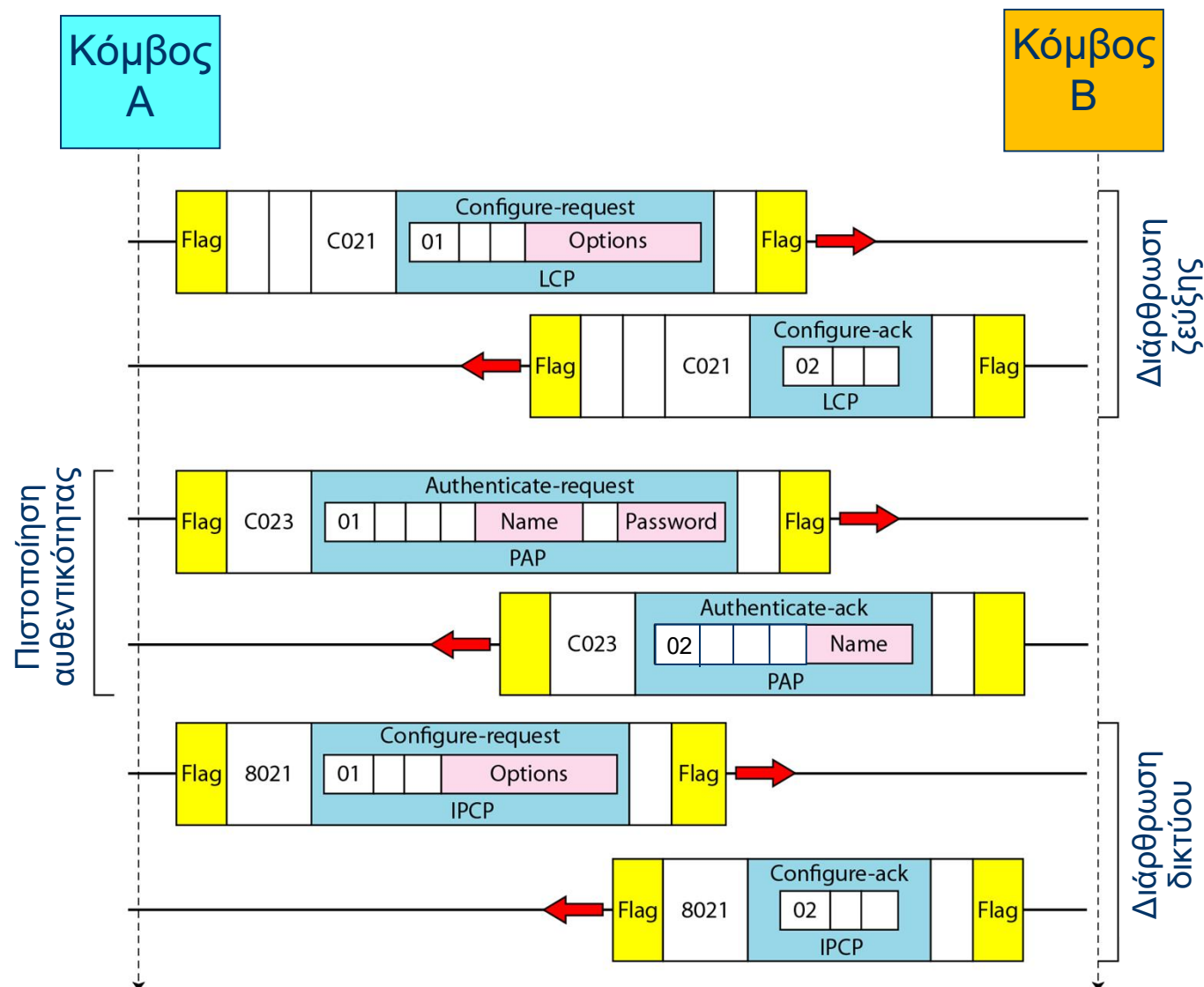


Πρωτόκολλα ελέγχου



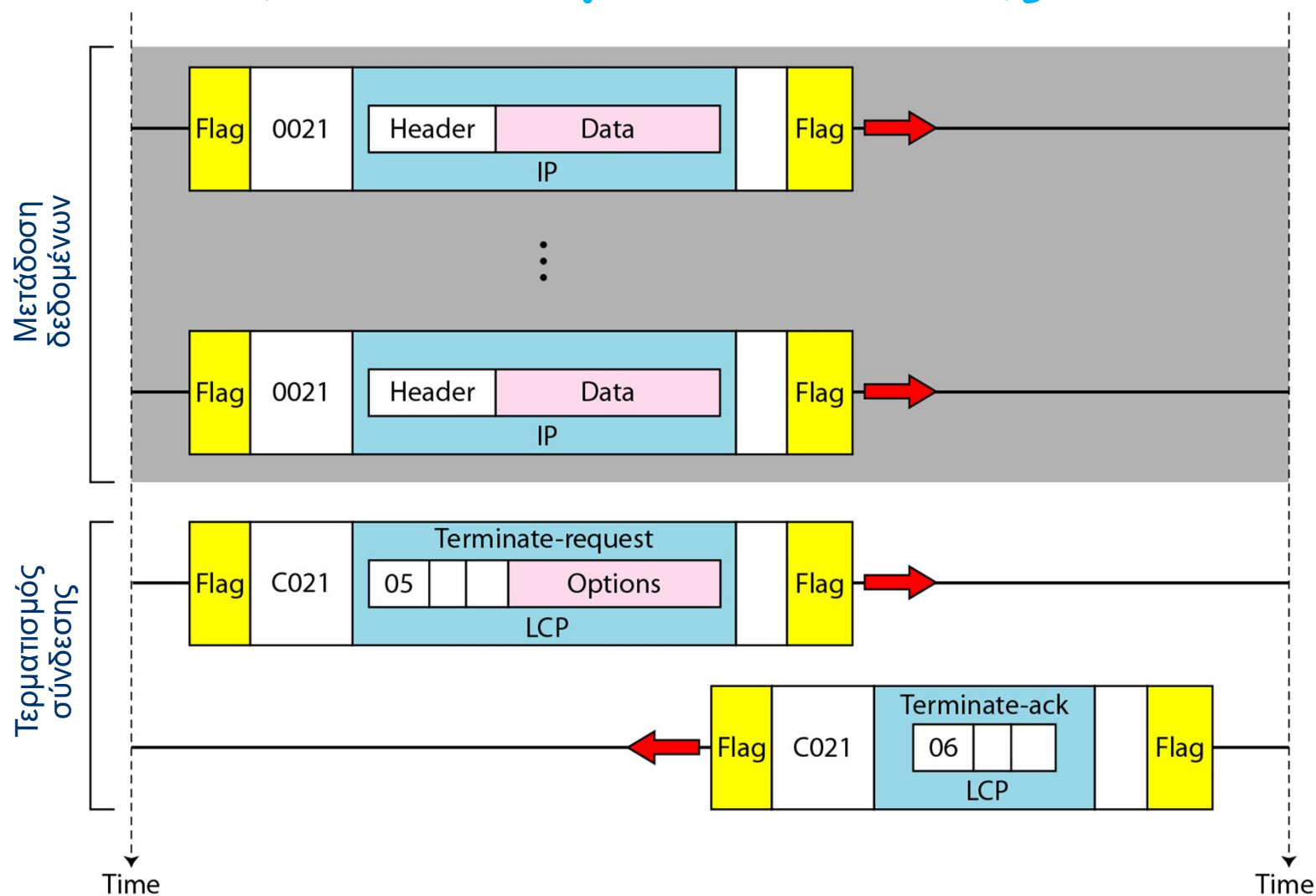


Μετάδοση πακέτου μέσω σύνδεσης PPP





Μετάδοση πακέτου μέσω σύνδεσης PPP





Τύποι πακέτων LCP

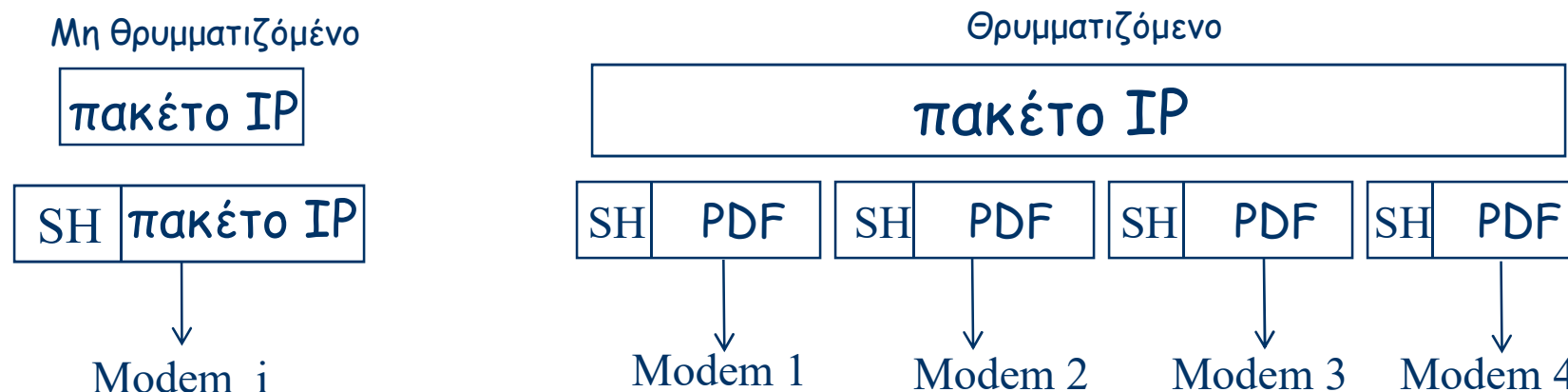
Όνομα	Κατεύθυνση	Περιγραφή
Configure-request	$I \rightarrow R$	Κατάλογος προτεινομένων επιλογών και τιμών
Configure-ack	$I \leftarrow R$	Γίνονται δεκτές όλες οι επιλογές
Configure-nak	$I \leftarrow R$	Μερικές επιλογές δεν είναι αποδεκτές
Configure-reject	$I \leftarrow R$	Μερικές επιλογές δεν είναι διαπραγματεύσιμες
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)

PPP



PPP Multilink (MP)

- Πρωτόκολλο του στρώματος ζεύξης δεδομένων που εφαρμόζει αντίστροφη πολυπλεξία (inverse multiplexing) στα πακέτα.
- Τα πακέτα IP ενθυλακώνονται σε πλαίσια PPP με αρίθμηση των θραυσμάτων.
- Ο θρυμματισμός των πακέτων εξαρτάται από τον αριθμό των διαθέσιμων ζεύξεων και τη χωρητικότητά τους, από το μέγεθος του πακέτου και το μέγεθος της MTU.



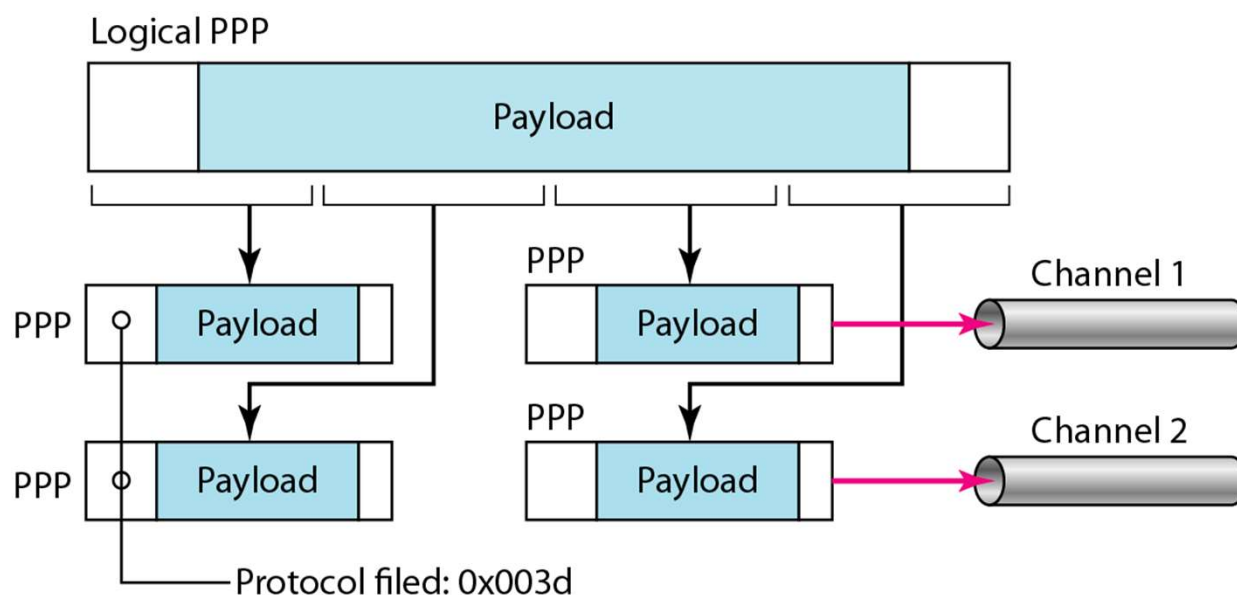
SH-Segment header; PDF- packet data fragment



PPP

PPP Multilink (MP)

- Συνδυάζει πολλές ζεύξεις σε έναν λογικό δίαυλο με εύρος ζώνης το άθροισμα των επί μέρους.
- Είναι ειδικά χρήσιμο στις διατάξεις ISDN BRI, όπου και τα δύο κανάλια B μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να επιτευχθεί διέλευση 128-kbps.



IEEE 802.2: Έλεγχος λογικής ζεύξης

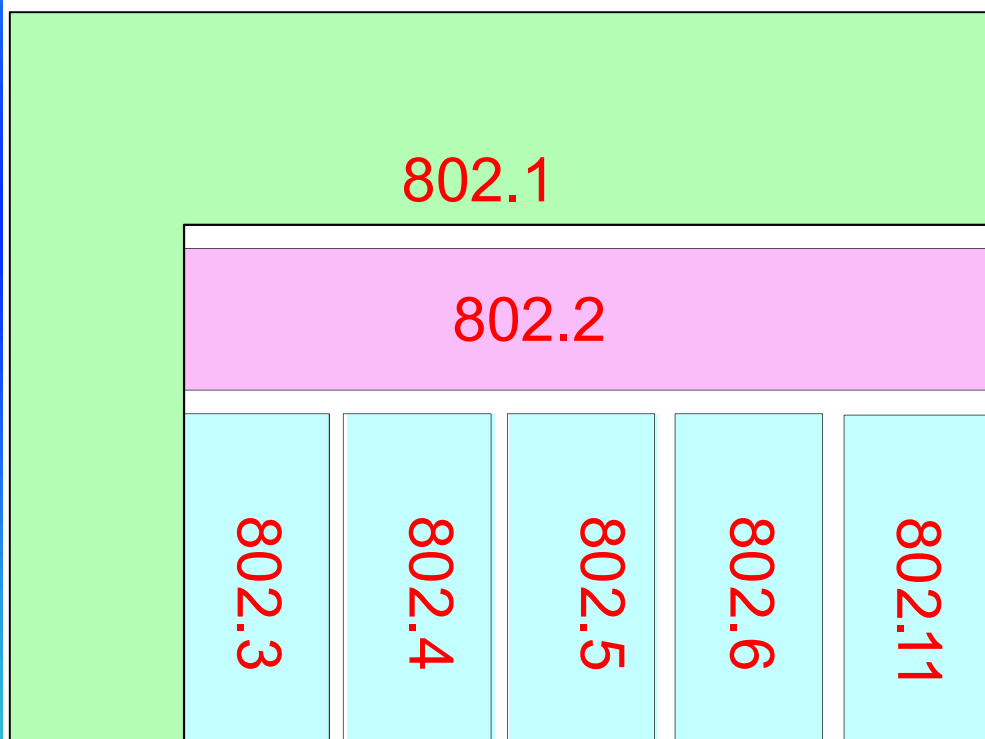


- Το ΙΕΕΕ έχει καθιερώσει ένα πρωτόκολλο στρώματος δεδομένων που μπορεί να τρέξει πάνω από τα πρωτόκολλα των 802 LAN και MAN.
- Επιπρόσθετα, το πρωτόκολλο αυτό, Έλεγχος Λογικής ζεύξης (Logical Link Control, LLC), κρύβει τις διαφορές μεταξύ των διαφόρων δικτύων 802, παρέχοντας μία μόνο δομή και διεπαφή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

IEEE 802.2: Έλεγχος λογικής ζεύξης



Πρότυπο IEEE 802



Μοντέλο αναφοράς IEEE



Ανώτερα στρώματα

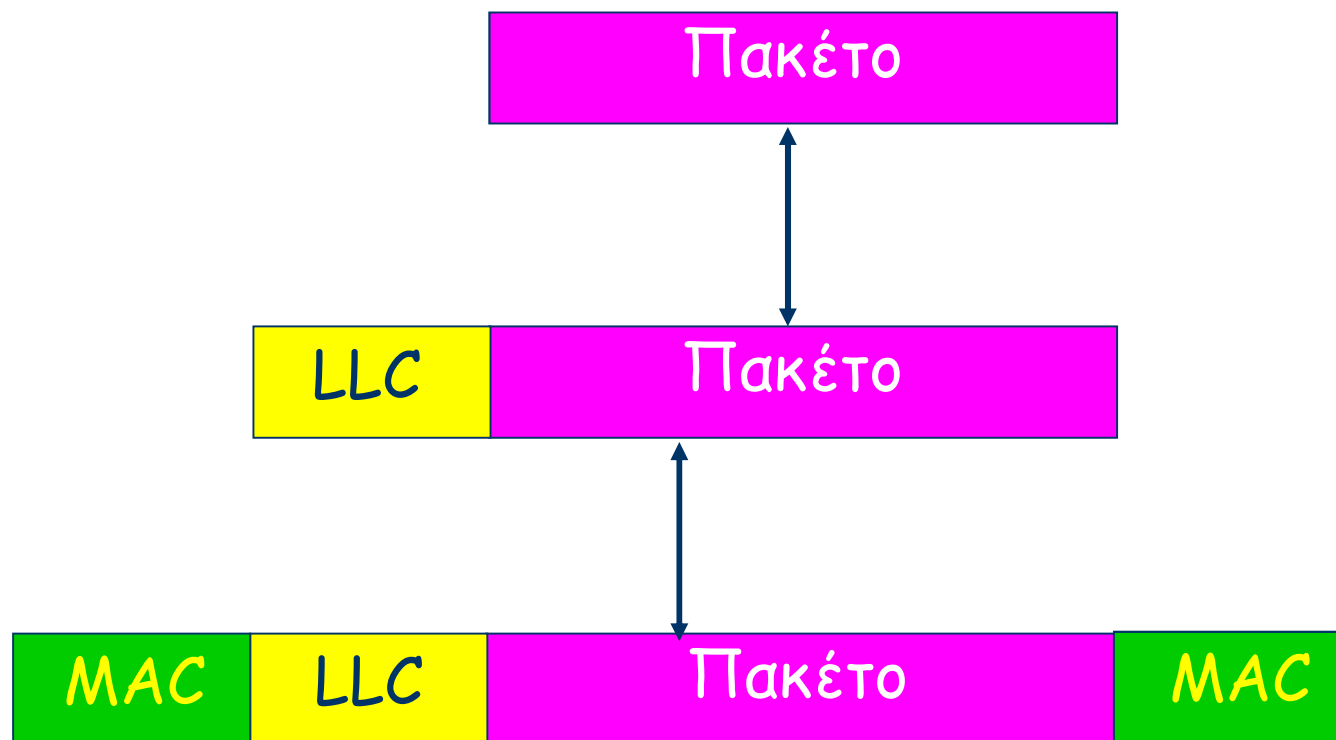
Στρώμα ζεύξης δεδομένων

Φυσικό στρώμα

IEEE 802.2: Έλεγχος λογικής ζεύξης



Τυπική χρήση



IEEE 802.2: Έλεγχος λογικής ζεύξης



Υπηρεσίες

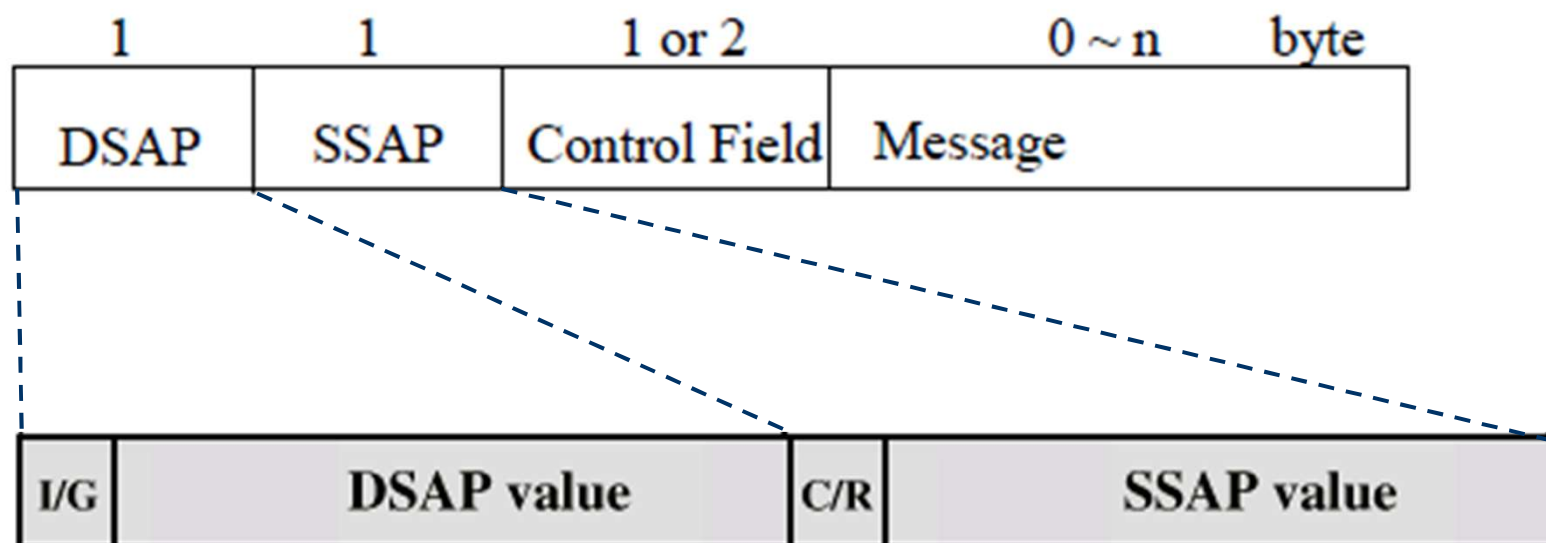
Το LLC παρέχει τρεις επιλογές υπηρεσίας:

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

IEEE 802.2: Έλεγχος λογικής ζεύξης



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		

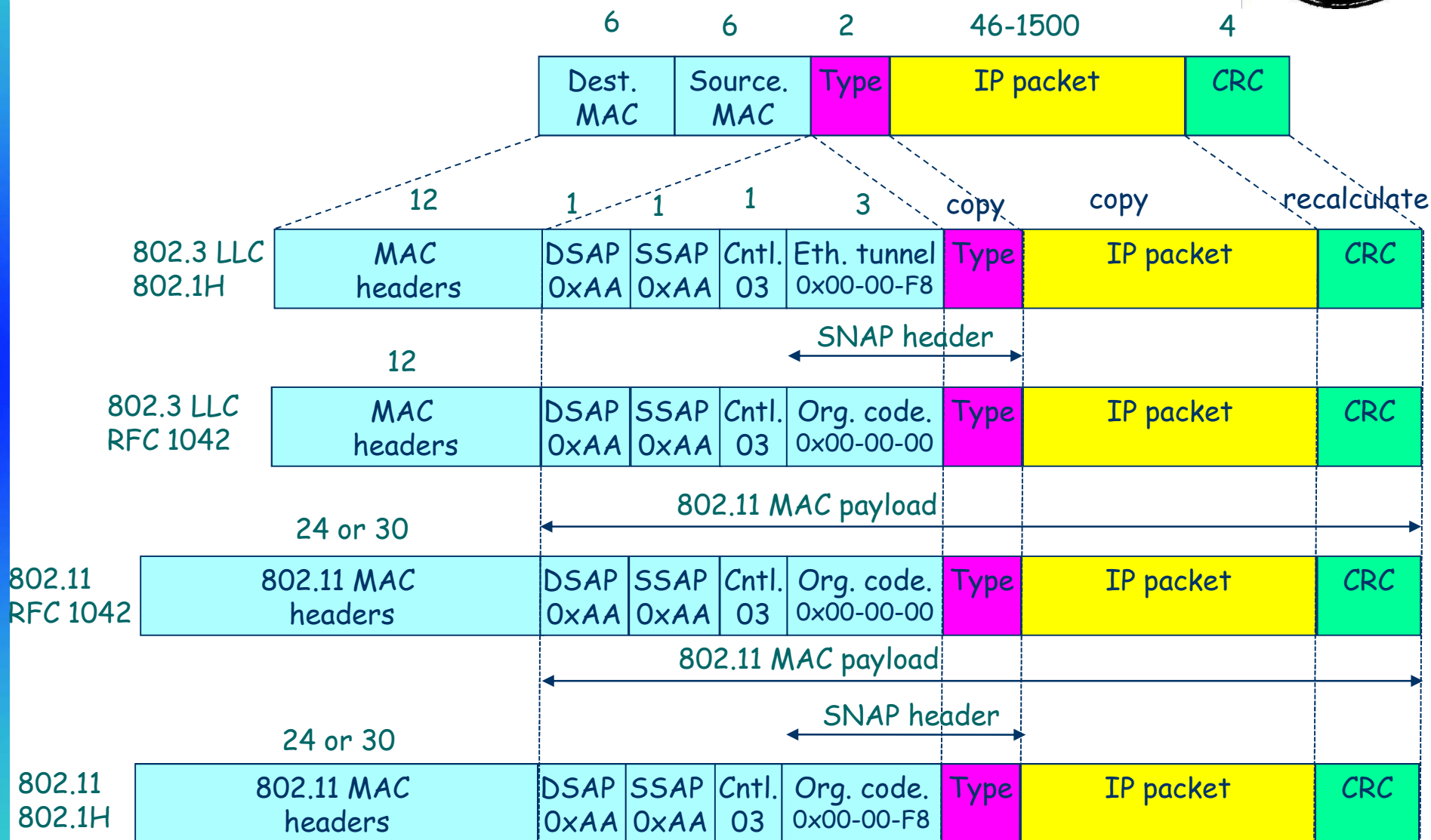
0x800	Πακέτο IP (38 -1492 byte)
-------	------------------------------

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

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

SNAP: Sub-Network Access Protocol

Ενθυλάκωση στο 802.11(RFC 1042, 802.1H)



Δίκτυα μεταγωγής



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

Δίκτυα μεταγωγής



ATM και MPLS

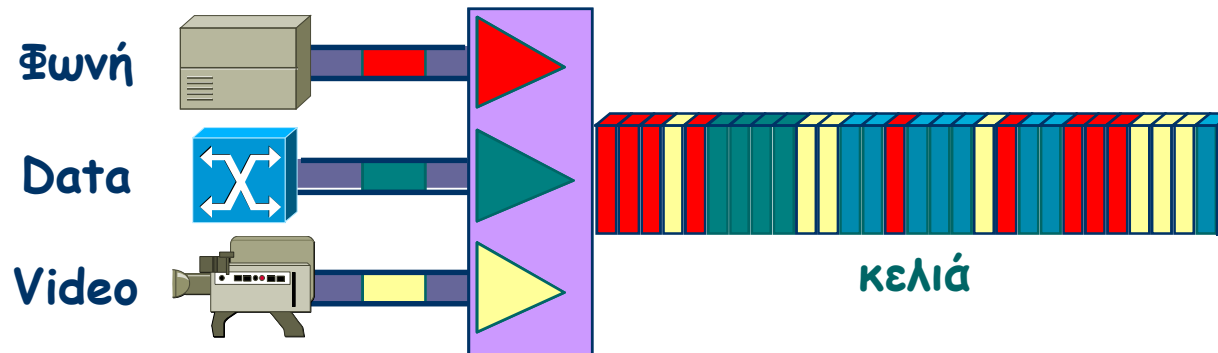
- Τα ATM και MPLS είναι πραγματικά δίκτυα από μόνα τους:
 - Διαφορετικά μοντέλα υπηρεσίας, διευθυνσιοδότησης, και δρομολόγησης από το Internet.
- Το Internet τα θεωρεί ως λογικές ζεύξεις που διασυνδέουν δρομολογητές IP.
 - Όπως ακριβώς οι επιλεγόμενες τηλεφωνικές γραμμές είναι μέρος ενός διαφορετικού 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

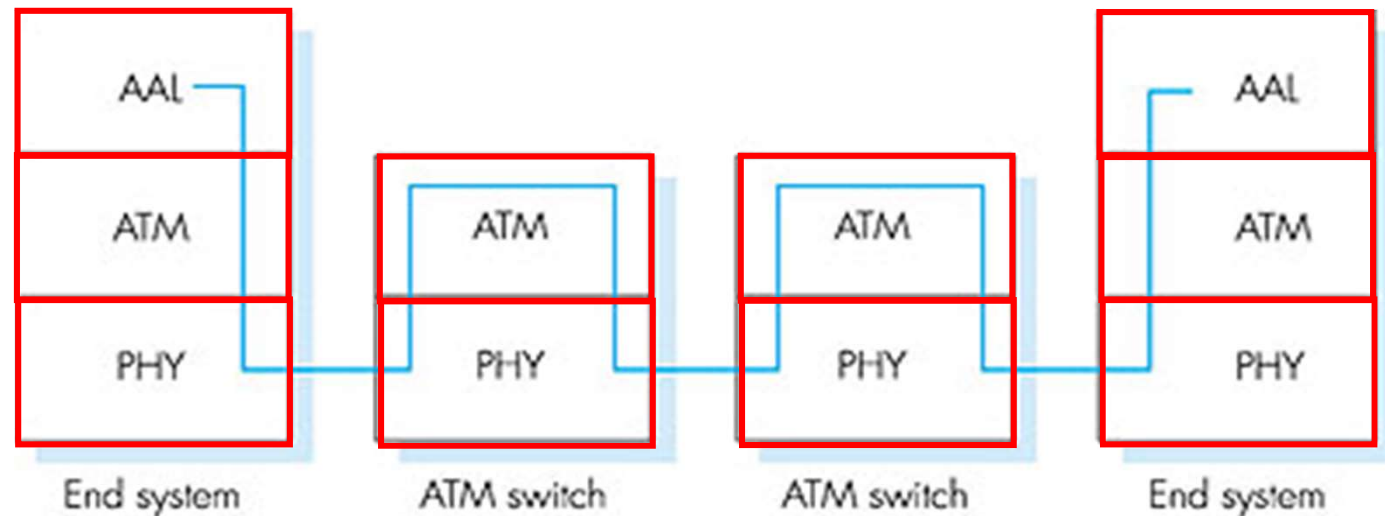


- Χρησιμοποιεί μικρά πακέτα σταθερού μήκους.
- Υπηρεσία με σύνδεση.
- Υποστηρίζει πολλούς τύπους υπηρεσιών.
- Εφαρμόσιμο σε LAN και WAN.

ATM

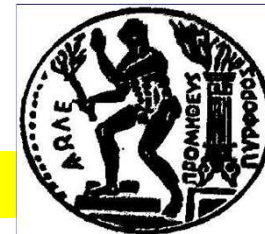


Αρχιτεκτονική



- **ATM Adaptation Layer (AAL):** 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**

ATM



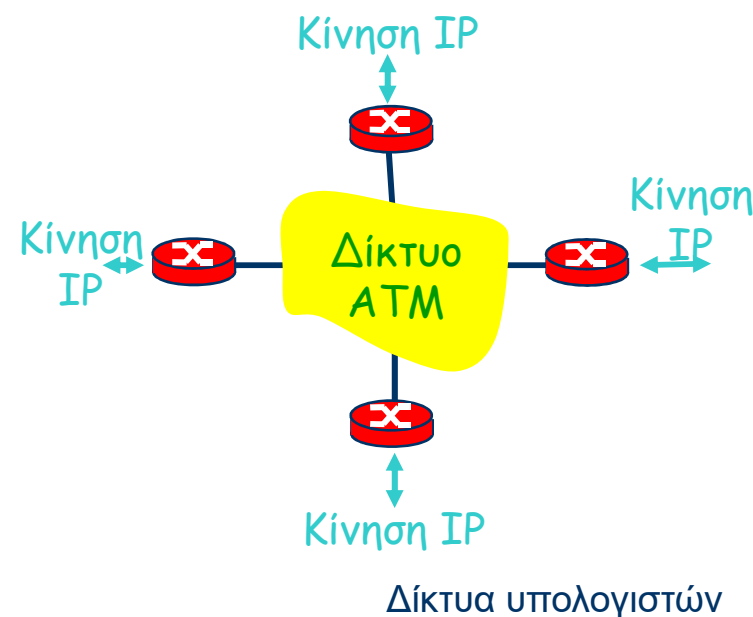
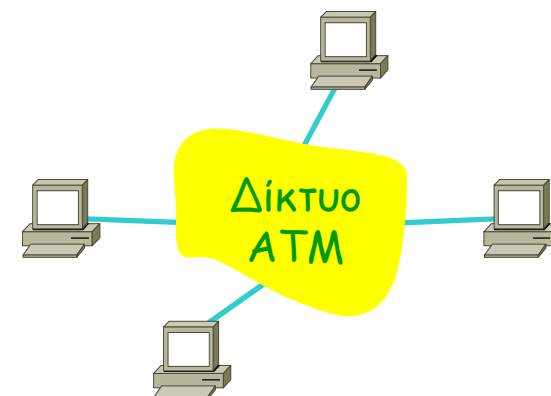
Στρώμα δικτύου ή ζεύξης δεδομένων;

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.





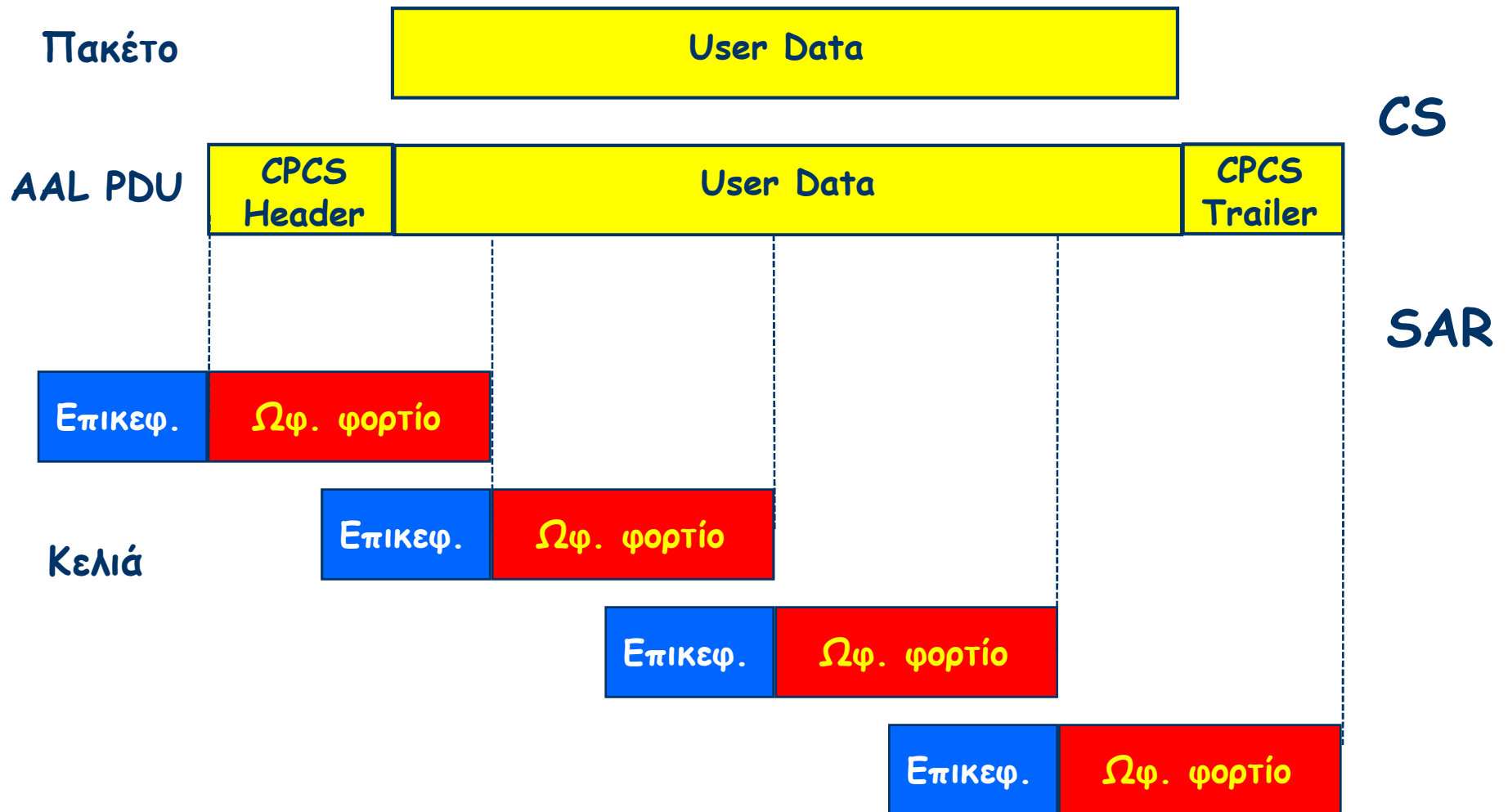
Στρώμα προσαρμογής (AAL)

- 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).

ATM



AAL: Δημιουργία κελιών από πακέτα





Στρώμα προσαρμογής (AAL)

Διάφοροι τύποι AAL, ανάλογα με την κατηγορία υπηρεσίας ATM:

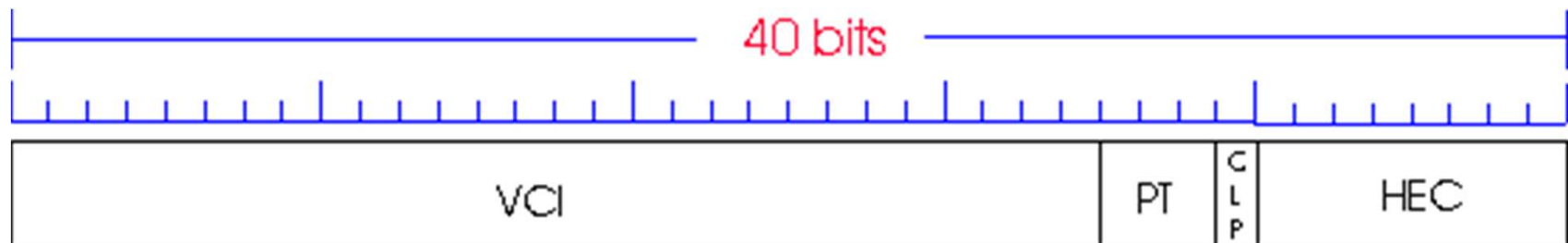
- **AAL1:** για υπηρεσίες CBR (Constant Bit Rate), π.χ. circuit emulation.
- **AAL2:** για υπηρεσίες VBR (Variable Bit Rate), π.χ., MPEG video.
- **AAL5:** για δεδομένα (π.χ. δεδομενογράμματα IP).

ATM



Κελί ATM

- Έχει 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



ATM



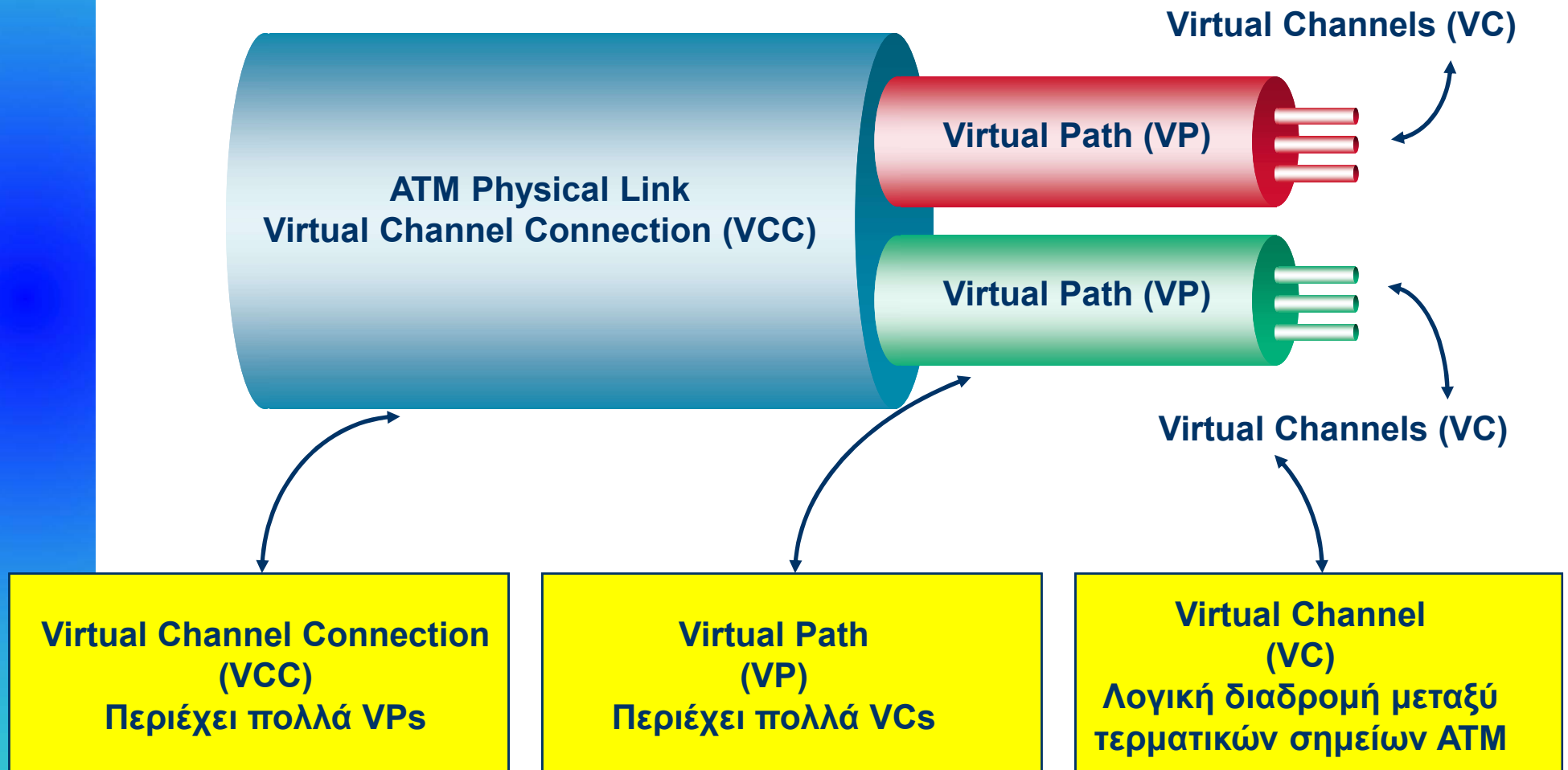
Στρώμα ATM

- **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 του 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



Στρώμα ATM: Νοητά κυκλώματα και διαδρομές



Connection Identifier = **VPI/VC**

Δίκτυα υπολογιστών



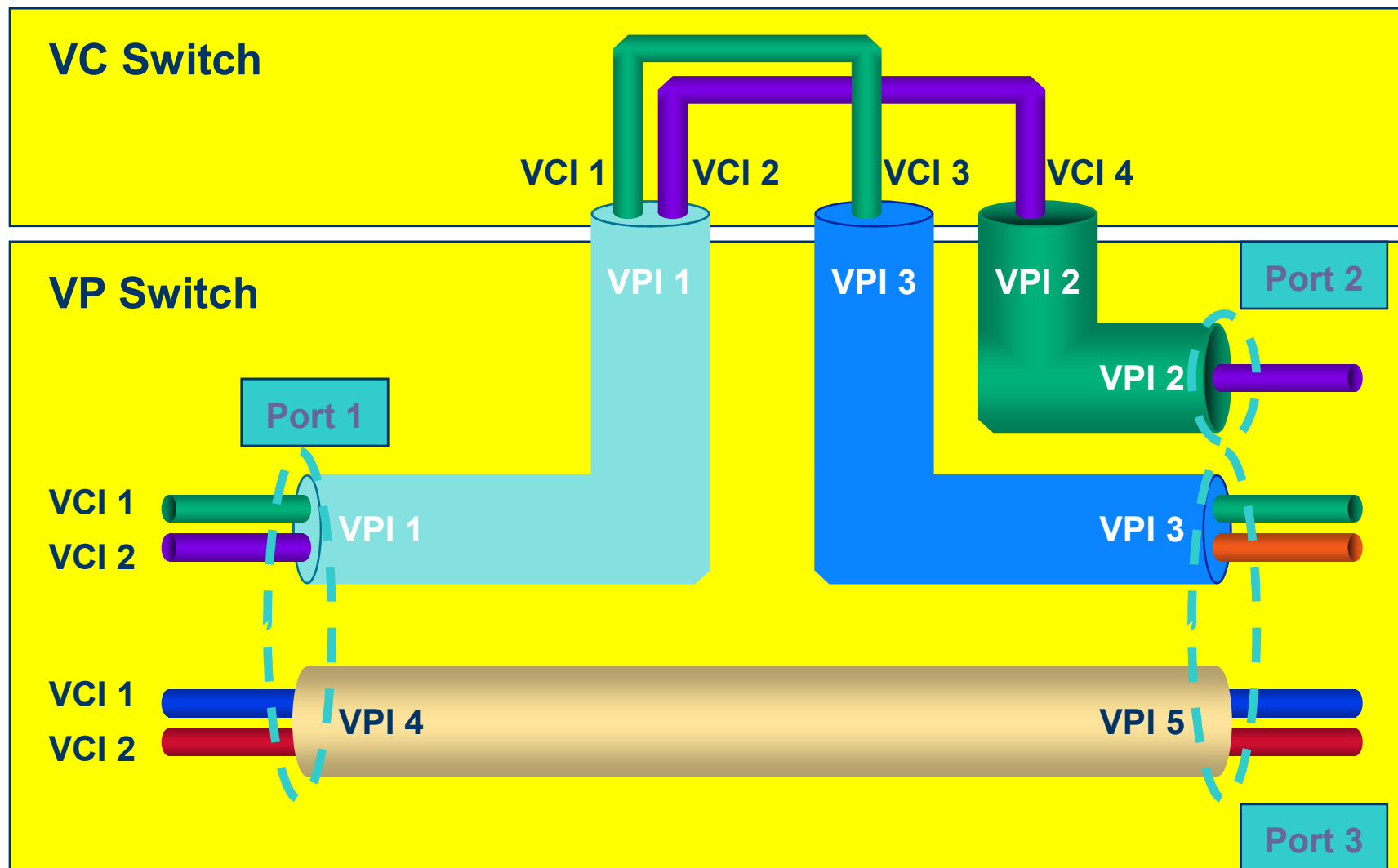
Μετάδοση με νοητά κυκλώματα

- **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.

ATM



Μεταγωγή VP και VC

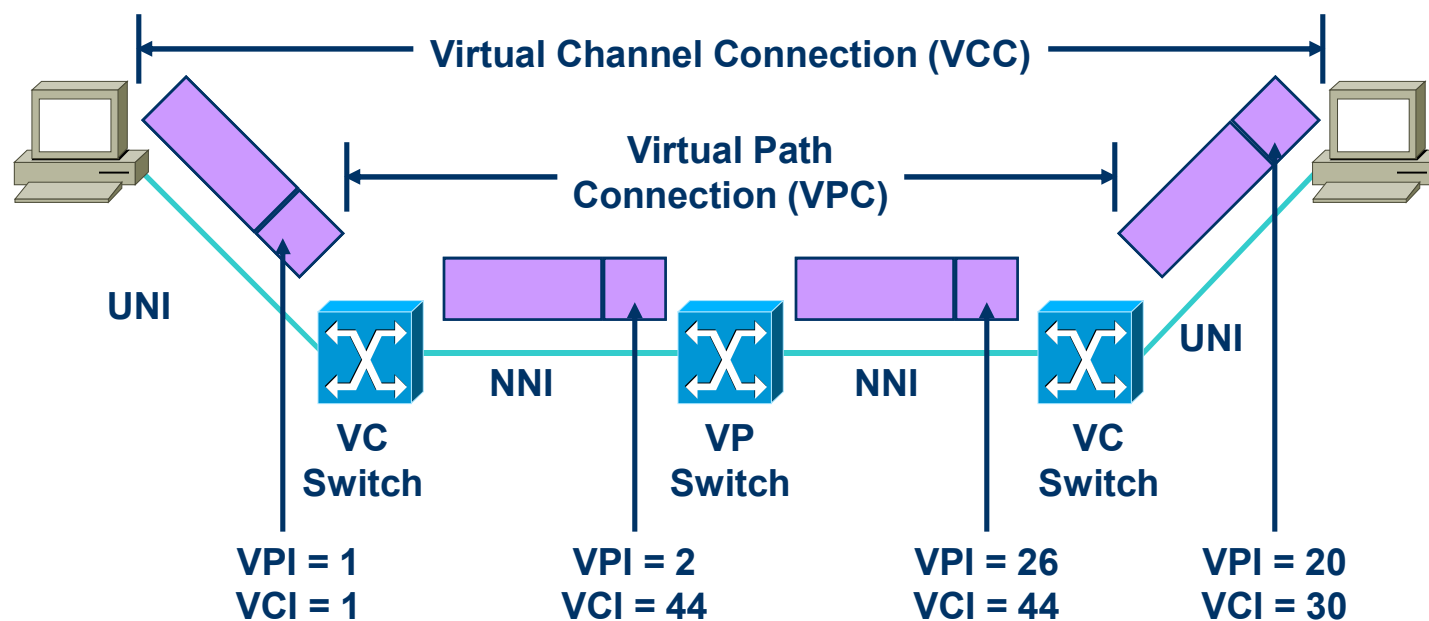


Δίκτυα υπολογιστών

ATM



Cell relay



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



Φυσικό στρώμα

Δύο υποστρώματα στο φυσικό στρώμα:

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

Λειτουργίες του TCS:

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



Φυσικό στρώμα

Υποστρώμα Physical Medium Dependent (PMD)

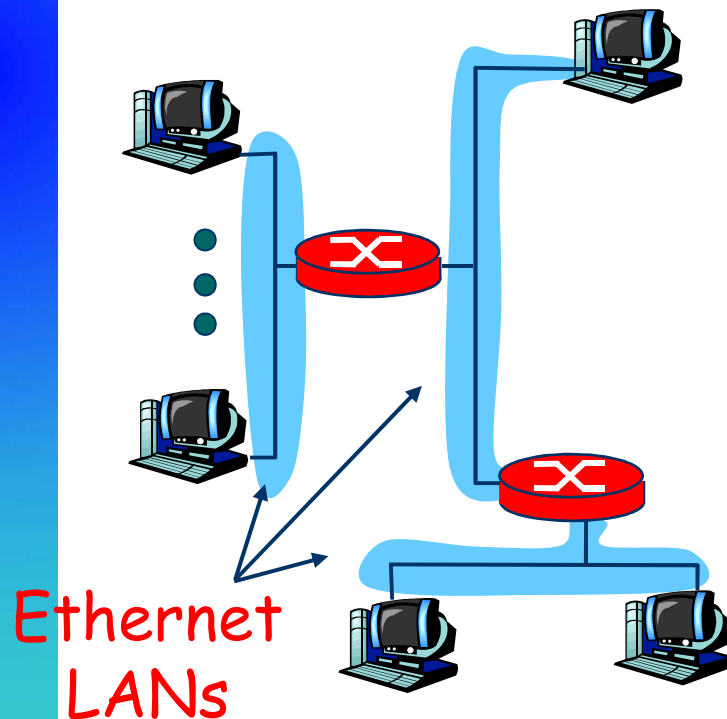
- **SONET/SDH:** μετάδοση δομημένη σε πλαίσια (όπως ένα container που μεταφέρει bit).
 - συγχρονισμός bit,
 - επιμερισμός εύρους ζώνης (TDM),
 - αρκετές ταχύτητες: OC3 = 155.52 Mbps, OC12 = 622.08 Mbps, OC48 = 2.45 Gbps, OC192 = 9.6 Gbps.
- **E1/E3:** μετάδοση δομημένη σε πλαίσια (παλιά τηλεφωνική ιεραρχία): 2.048 Mbps/ 34.368 Mbps.
- **αδόμητο:** μόνο κελιά (busy/idle).



IP-Over-ATM

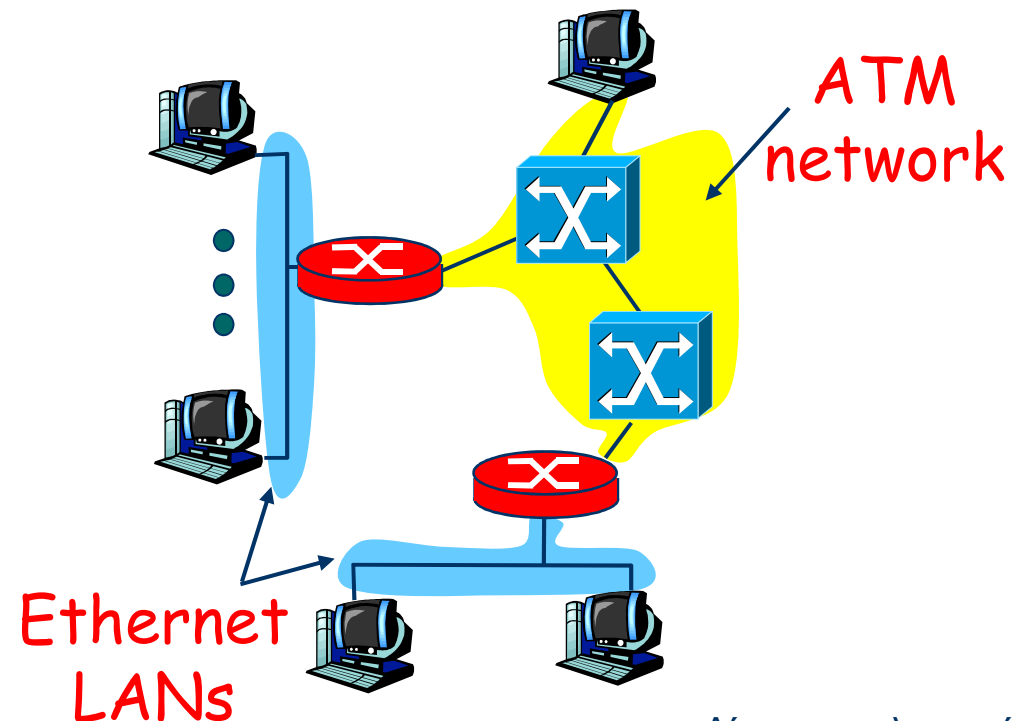
Κλασσικό IP

- 3 τμήματα LAN
- MAC (Ethernet) και διευθύνσεις IP.

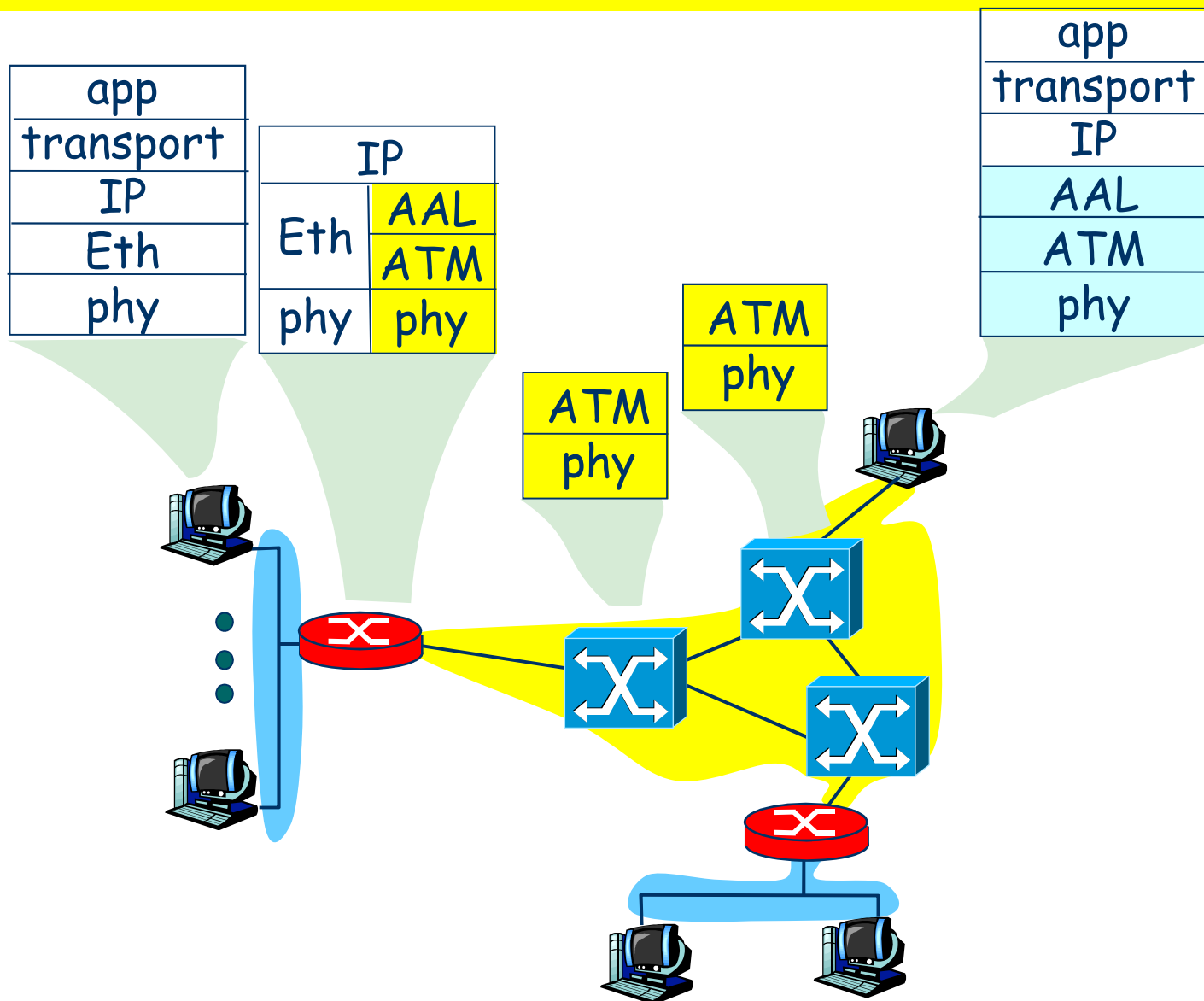


IP over ATM

- Αντικατάσταση του τμήματος LAN με δίκτυο ATM.
- Διευθύνσεις ATM, διευθύνσεις IP.



IP-Over-ATM





IP-over-ATM

Διαδρομή δεδομενογράμματος

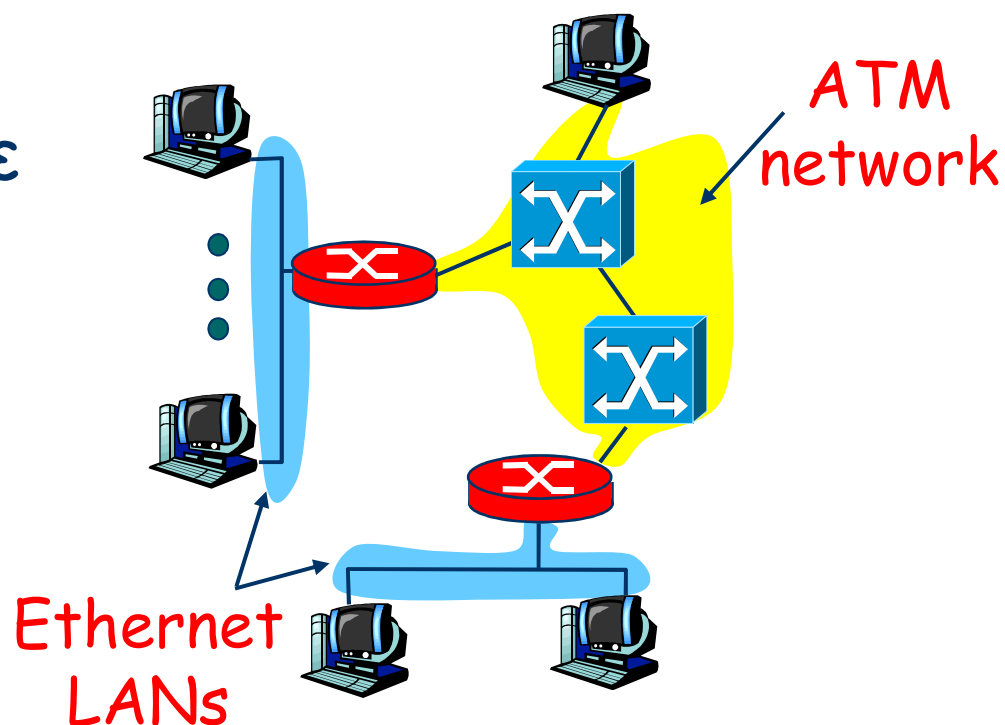
- **Host αποστολής:**
 - Το στρώμα IP αντιστοιχεί IP με ATM dest address (χρησιμοποιώντας ATMARP).
 - Διοχετεύει το δεδομένογραμμα στο AAL5.
 - Το AAL5 ενθυλακώνει τα δεδομένα, τα διαχωρίζει σε κελιά και τα στέλνει στο στρώμα ATM.
- **Δίκτυο ATM:** μεταφέρει τα κελιά μέσω του VC στον προορισμό.
- **Host 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:

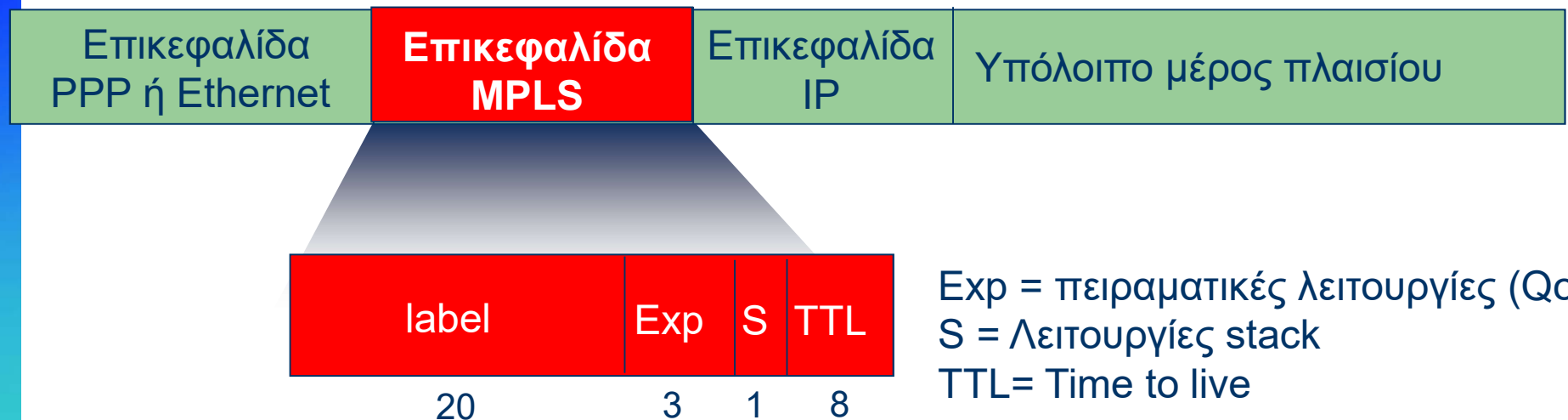
- IP δεδομενογράμματα σε ATM AAL5 PDUs.
- Από διευθύνσεις IP σε διευθύνσεις ATM.
 - Όπως ακριβώς διευθύνσεις IP σε διευθύνσεις MAC Ethernet.



MPLS: MultiProtocol Label Switching



- 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!



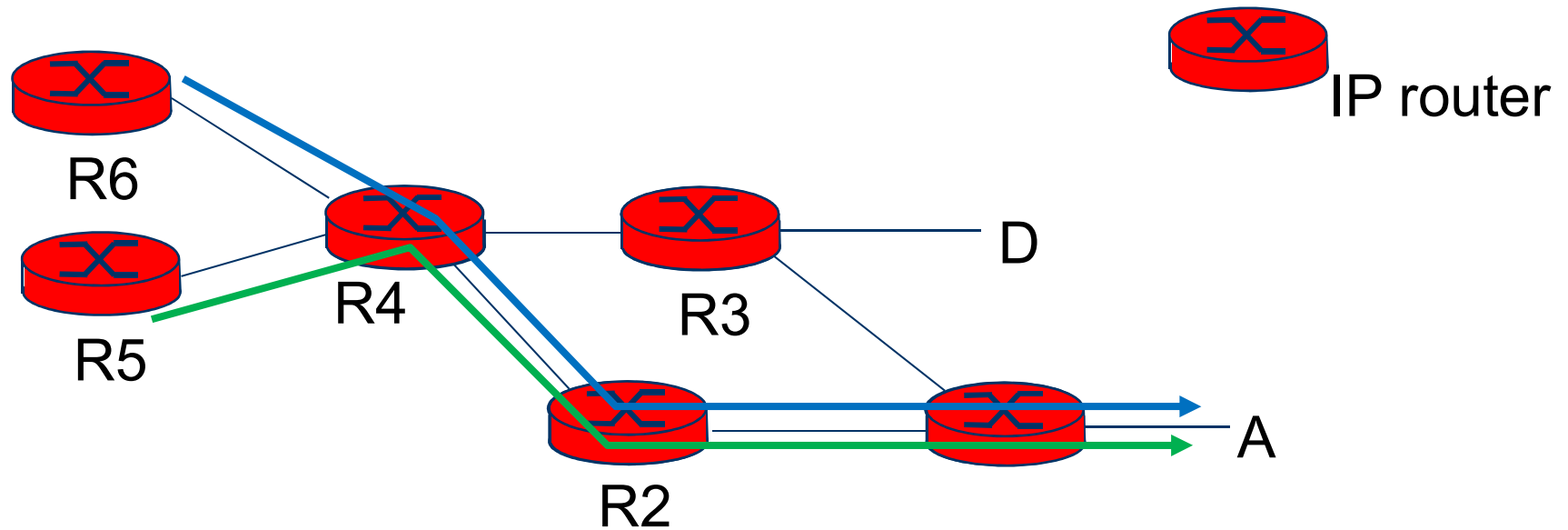


Πώς λειτουργεί

- **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 IP.
- 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.



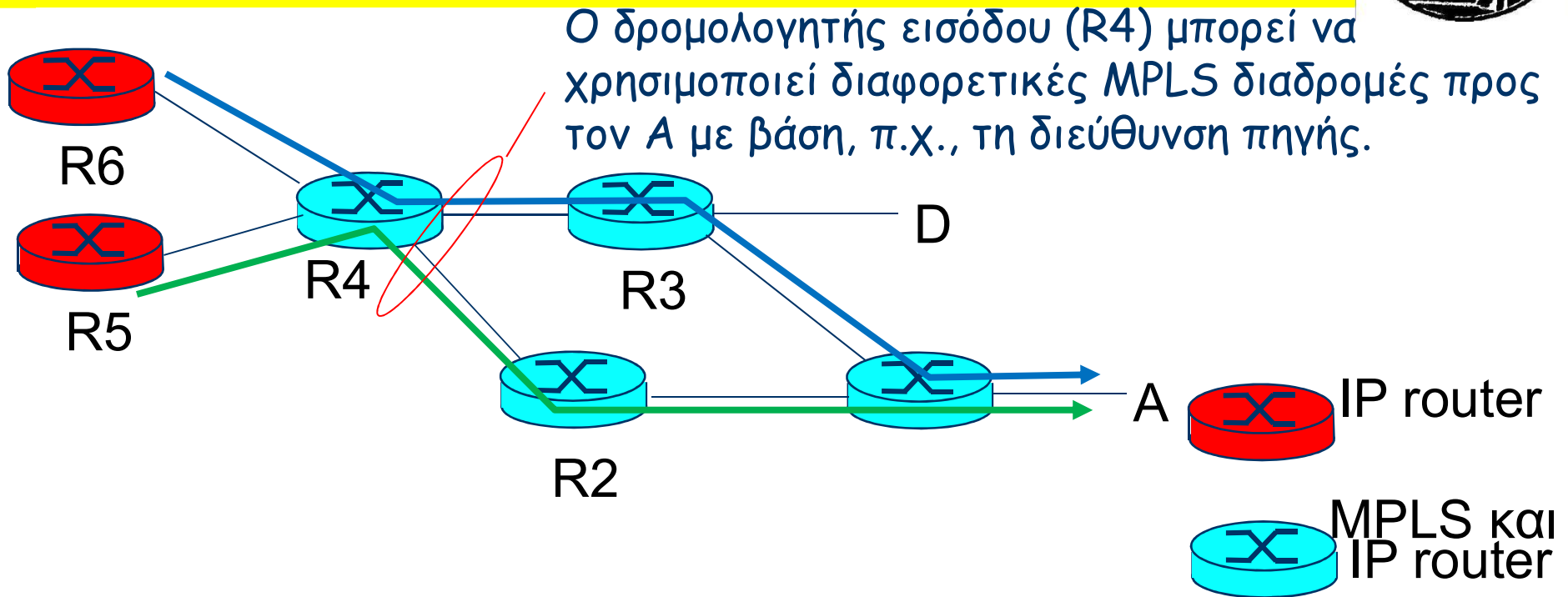
Διαφορά μεταξύ διαδρομών MPLS και IP



- **Δρομολόγηση IP:** η διαδρομή προς τον προορισμό καθορίζεται μόνο από τη διεύθυνση προορισμού.



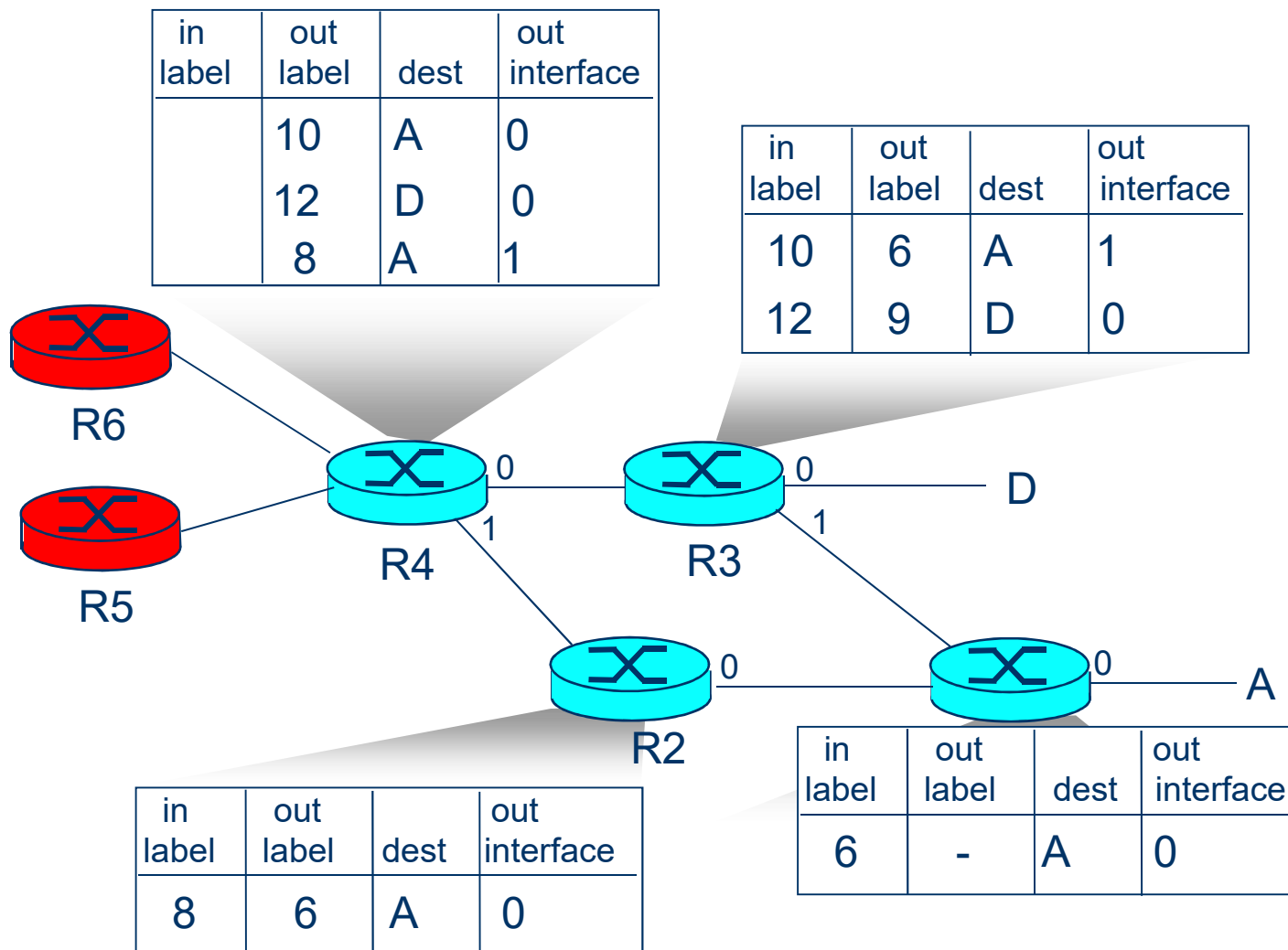
Διαφορά μεταξύ διαδρομών MPLS και IP



- **Δρομολόγηση MPLS:** η διαδρομή προς τον προορισμό μπορεί να καθορίζεται και από τη διεύθυνση πηγής και από την προορισμού.



Πίνακες προώθησης





Δημιουργία πινάκων προώθησης

- Υπάρχουν δύο πρότυπα πρωτόκολλα σηματοδότησης για τη δημιουργία των πινάκων προώθησης MPLS:
 - CR-LDP (Constrained-based Routing Label Distribution Protocol).
 - RSVP-TE (Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering, επέκταση του RSVP).
- Είναι δυνατή η προώθηση σε διαδρομές όπου το IP από μόνο του δεν θα επέτρεπε.
- Μπορούν να εφαρμοσθούν τεχνικές διαστασιολόγησης κίνησης (traffic engineering).

Σύγκριση MPLS και ATM



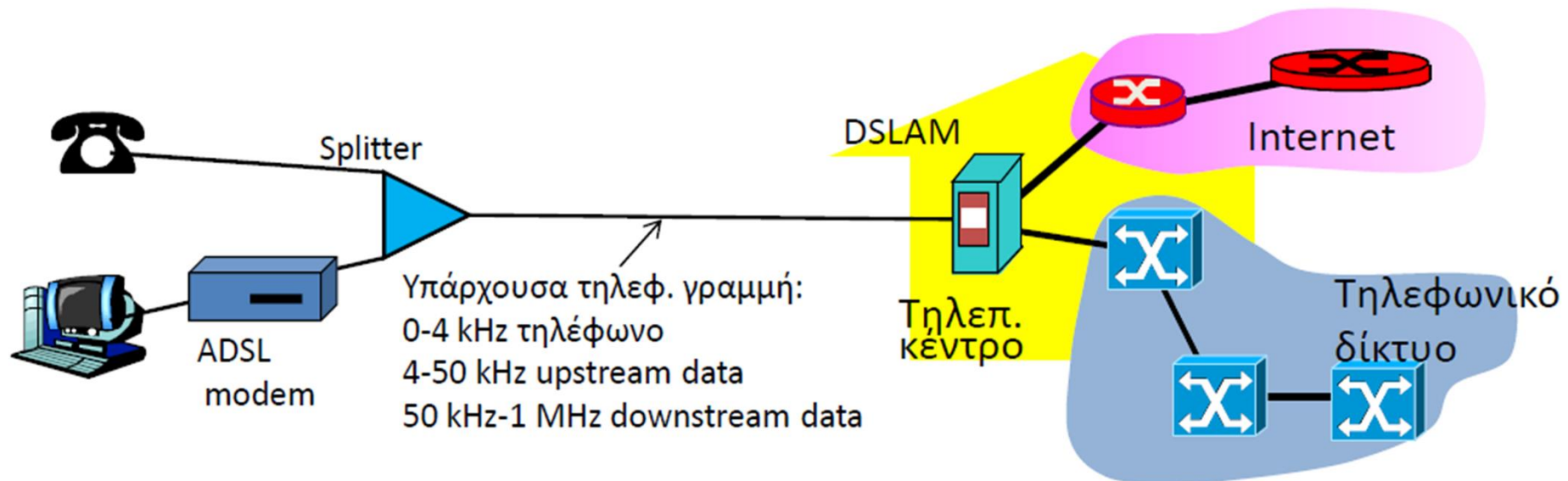
- Και τα δύο παρέχουν υπηρεσία με σύνδεση για μεταφορά δεδομένων σε δίκτυα υπολογιστών.
- Το MPLS μπορεί να λειτουργήσει με πακέτα μεταβλητού μήκους, ενώ το ATM με σταθερού μήκους 53 byte.
- Επειδή απαιτούνται 2 LSP (Label-Switched Path) ανά αμφίδρομη σύνδεση, στο MPLS μπορεί να ακολουθούν διαφορετικές 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.



Αρχιτεκτονικές ευρυζωνικής πρόσβασης

Οικιακή πρόσβαση: point to point

- **Σύνδεση ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)**
 - Παρέχεται από τηλεπικοινωνιακές εταιρίες.
 - Ταχύτητες μέχρι 24 Mbps downstream και 2.5 Mbps upstream.

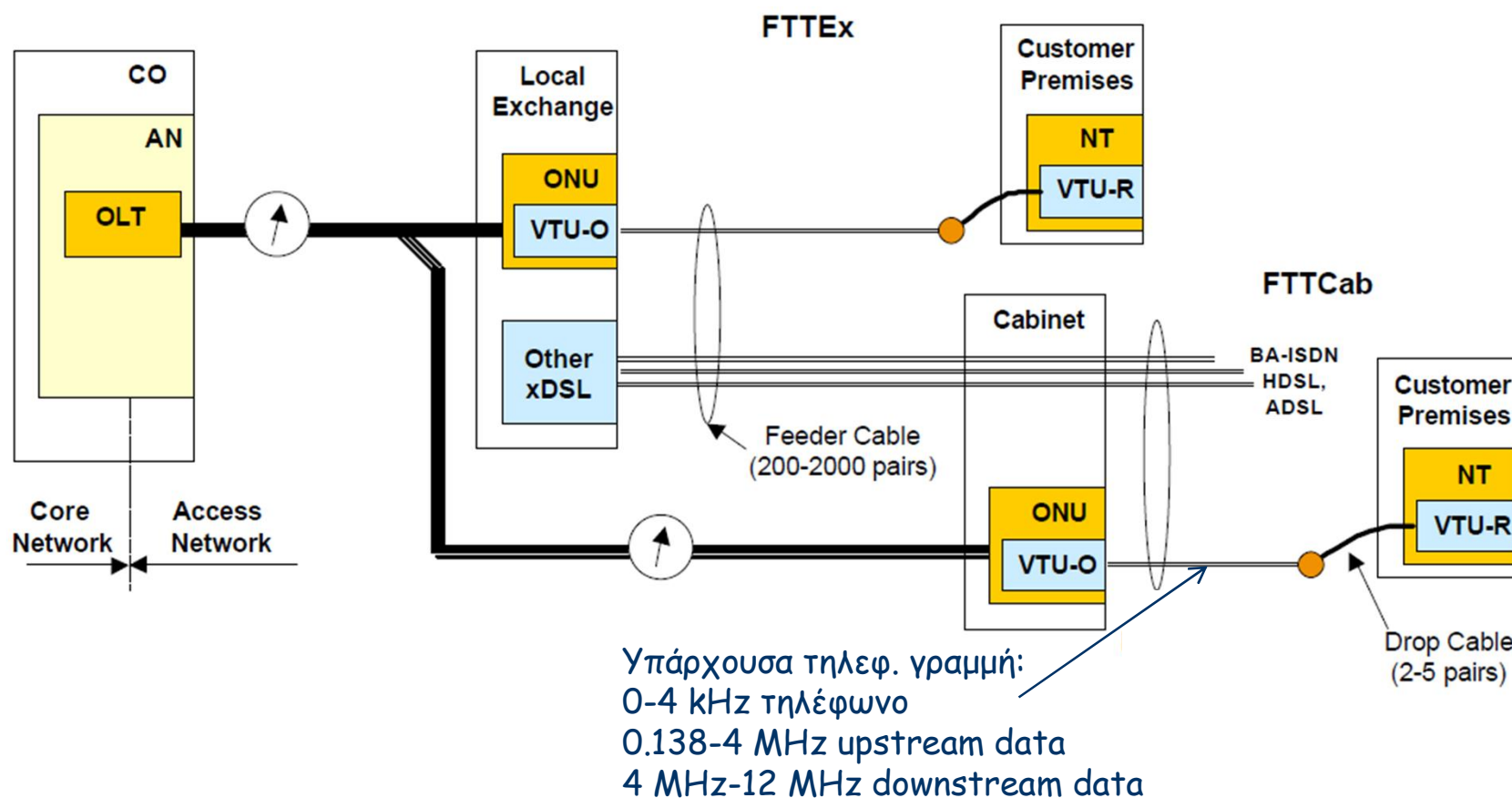


Αρχιτεκτονικές ευρυζωνικής πρόσβασης



Οικιακή πρόσβαση: point to point

- **Σύνδεση VDSL (Very high speed Digital Subscriber Line)**
 - Παρέχεται από τηλεπικοινωνιακές εταιρίες.
 - Ταχύτητες μέχρι 52 Mbps downstream και 5 Mbps upstream.



Αρχιτεκτονικές ευρυζωνικής πρόσβασης



Σύνδεση οικιακού δικτύου με τον ISP

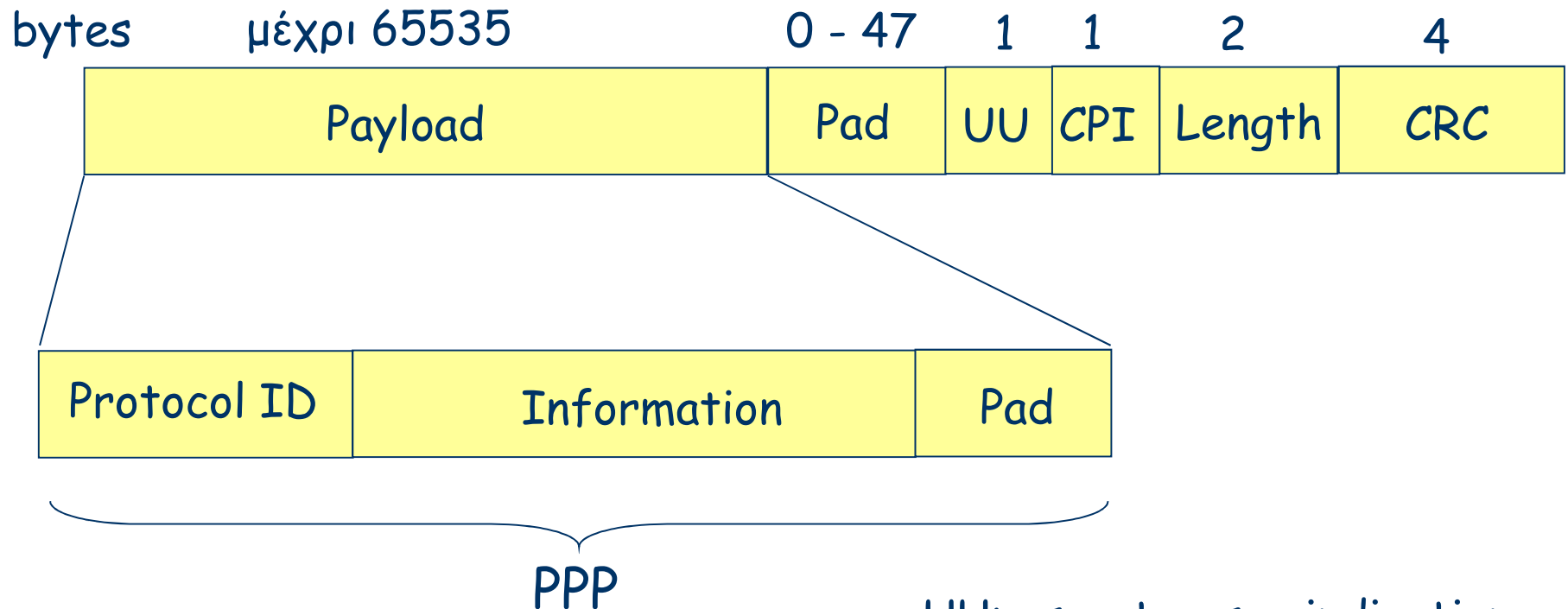
- PPPoA: Point-to-Point Protocol over ATM
- PPPoE: Point-to-Point Protocol over Ethernet

Αρχιτεκτονικές ευρυζωνικής πρόσβασης



PPP over ATM

AAL5 CPCS-PDU



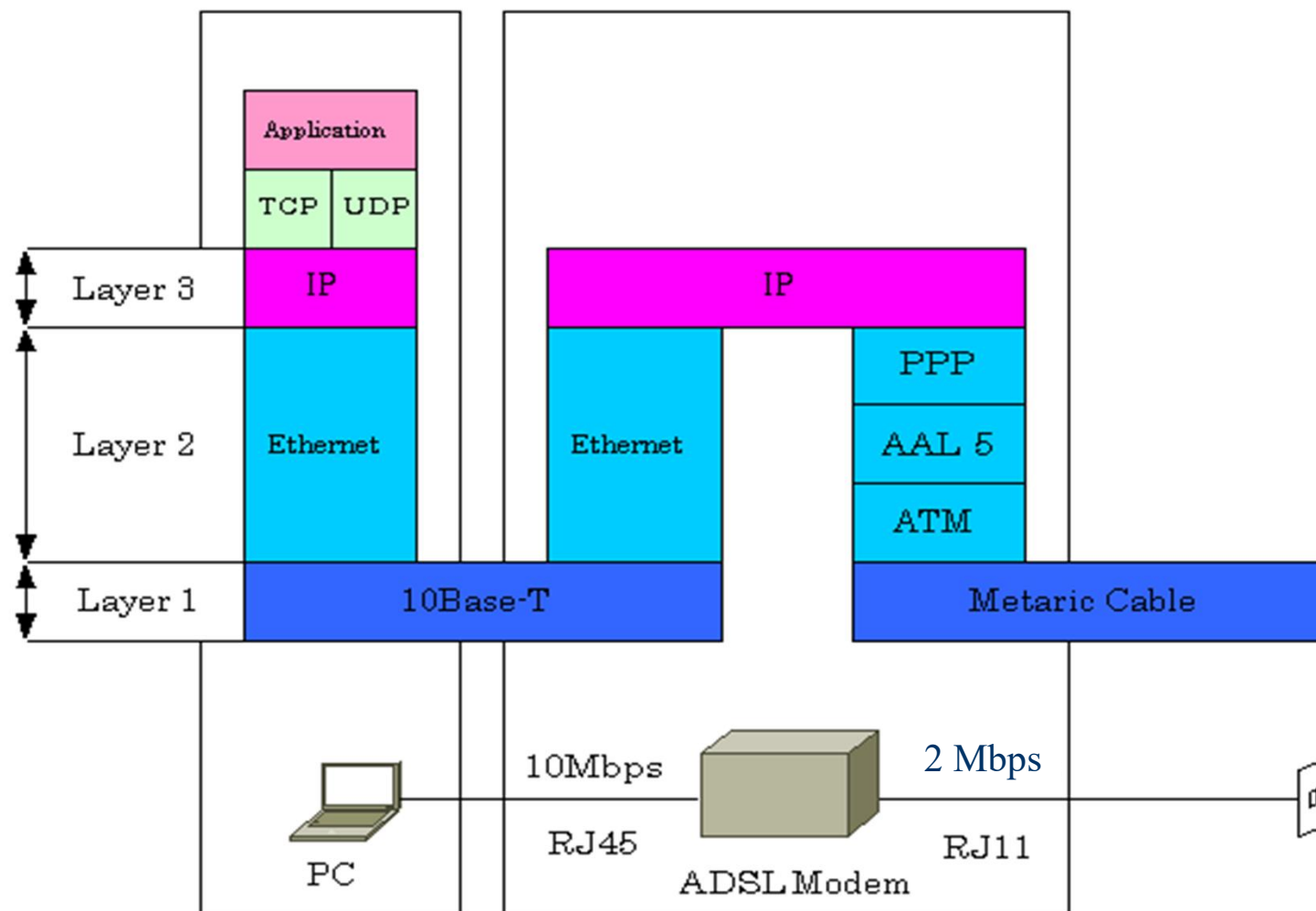
UU: user-to-user indication
CPI: common part indicator

Αρχιτεκτονικές ευρυζωνικής πρόσβασης



PPP over ATM: αρχιτεκτονική

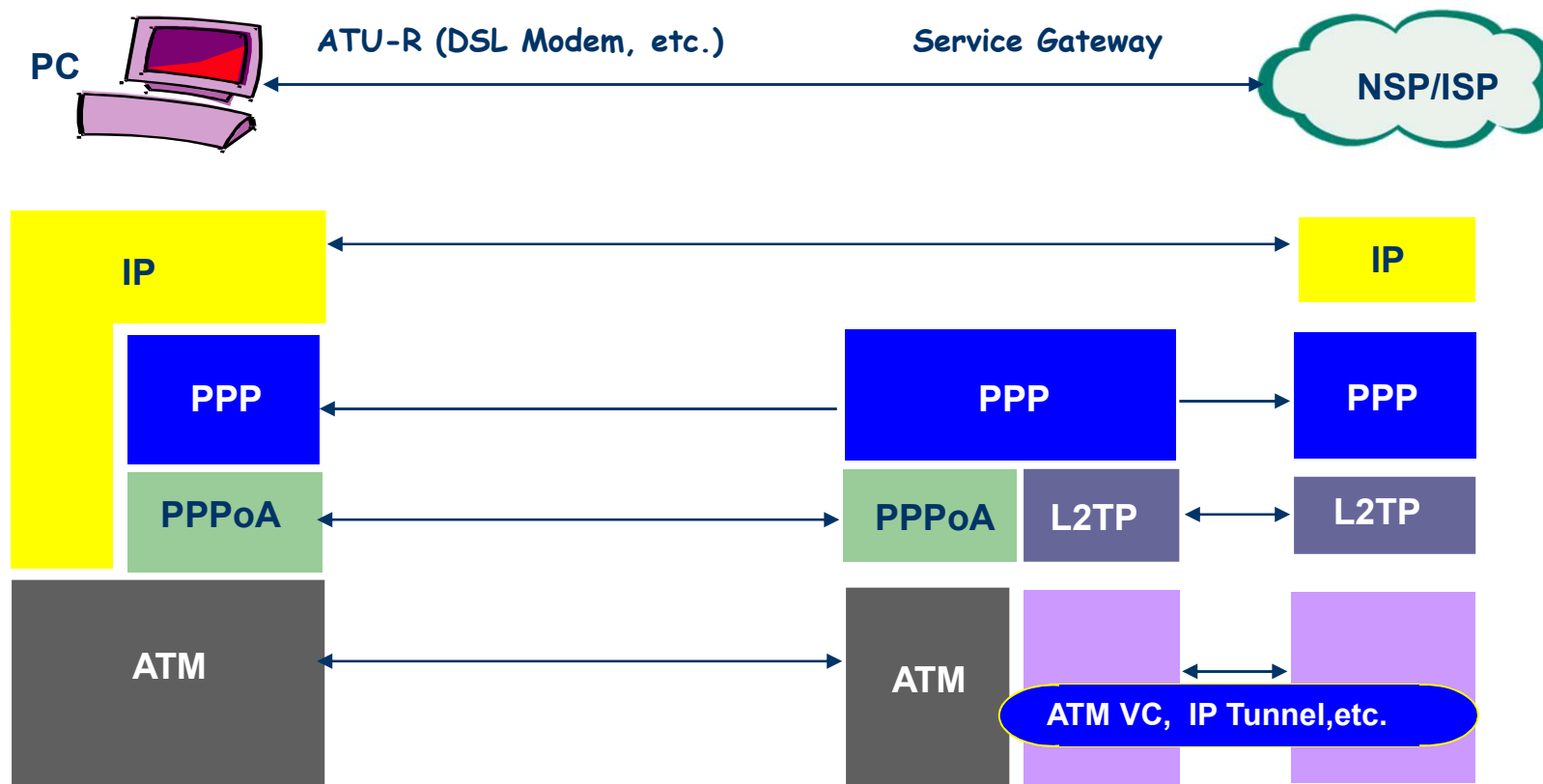
PPPoA by ADSL Router Modem



Αρχιτεκτονικές ευρυζωνικής πρόσβασης



PPP over ATM: αρχιτεκτονική



ATU-R: ADSL Terminal Unit - Remote

Αρχιτεκτονικές ευρυζωνικής πρόσβασης



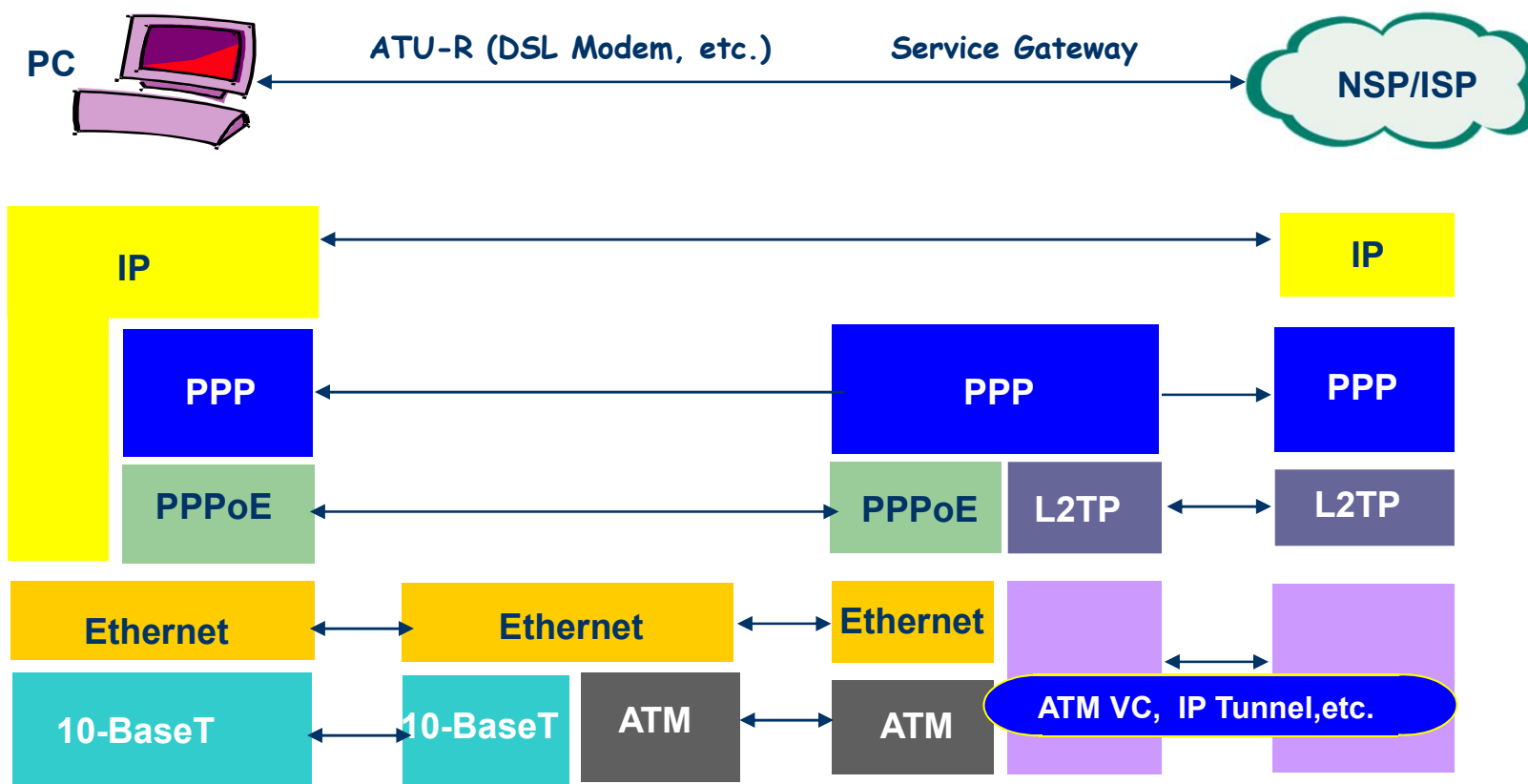
PPP over Ethernet

- 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 δημιουργίας πολλών συνόδων πάνω από την ίδια γραμμή, χρησιμοποιώντας τη συνηθισμένη διεπαφή του PPP.
- Όμως το πρωτόκολλο μέσα στα τηλεφωνικά δίκτυα παραμένει ATM, οπότε τα πακέτα PPPoE ενθυλακώνονται σε κελιά ATM.

Αρχιτεκτονικές ευρυζωνικής πρόσβασης



PPPoE: αρχιτεκτονική



ATU-R: ADSL Terminal Unit - Remote

Αρχιτεκτονικές ευρυζωνικής πρόσβασης



PPPoE; Καταστάσεις σύνδεσης

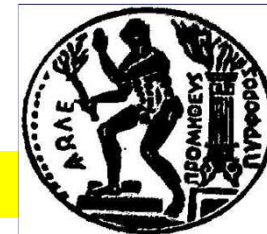
➤ PPPoE Discovery

- 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 πλέον όλη η πληροφορία για την εγκατάσταση σύνδεσης σημείου προς σημείο και την ανταλλαγή πακέτων πάνω από τη σύνδεση αυτή.

Αρχιτεκτονικές ευρυζωνικής πρόσβασης



PPPoE: Ethernet Payload

0x1	0x1		
VER	TYPE	CODE	SESSION_ID
PAYLOAD LENGTH		payload	

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

	Code	Session ID
PPoE Active Discovery Indication (PADI)	0x09	0x0000
PPoE Active Discovery Offer (PADO)	0x07	0x0000
PPoE Active Discovery Request (PADR)	0x19	0x0000
PPoE Active Discovery Session-Conf. (PADS)	0x65	unique
Session Termination (PADT)	0xa7	Session ID