



# Τηλεφωνία

---

Ψηφιακή συνδρομητική γραμμή



# Εισαγωγή

---

- Ο συνδρομητικός βρόχος έχει πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης από ότι χρειάζεται η παραδοσιακή τηλεφωνία (POTS)
  - Οι περιορισμοί του εύρους ζώνης στο σήμα φωνής 300-3400 Hz προέρχονται από τον τρόπο υλοποίησης των τερματισμών στην πλευρά του κέντρου καθώς και τις ανάγκες πολυπλεξίας στα συστήματα μετάδοσης
- Το εύρος ζώνης των διπλαγωγών είναι κατά πολύ μεγαλύτερο
  - Στο ISDN έχουμε αμφίδρομη ψηφιακή μετάδοση με ρυθμό 160 kpbs
  - Στο PCM έχουμε ψηφιακή μετάδοση με ρυθμό 2 Mbps



# DSL (Digital Subscriber Line)

---

- Τεχνολογία για τη μετάδοση ψηφιακών δεδομένων πάνω από απλές συνδρομητικές γραμμές με παράλληλη χρήση τηλεφωνίας (POTS, ISDN)



# Κίνητρα για ψηφιακή πρόσβαση

- Η ανάγκη για πρόσβαση μεγάλης ταχύτητας στο Internet
  - Τα τηλεφωνικά μόντεμ παρέχουν πολύ χαμηλούς ρυθμούς (56 kb/s)
  - Τα καλωδιακά μόντεμ έχουν προβλήματα λειτουργίας για μεγάλους αριθμούς χρηστών
- DSL επιτρέπει ρυθμούς από 160 kb/s μέχρι 100 Mb/s στην κάθοδο ανάλογα με την τεχνολογία
- Στην ADSL μεταδίδονται ψηφιακά δεδομένα στο συνδρομητικό βρόχο σε συχνότητες πέρα από αυτές για τη φωνή



# Εξέλιξη της ψηφιακής πρόσβασης

---

- Μέσω αναλογικής φωνής
  - Σύνδεση με μόντεμ στη ζώνη φωνής (όπως V.90)
  - Δεν απαιτούνται αλλαγές στο τηλεφωνικό δίκτυο
- Μέσω ISDN
  - Στη 2B+D βασική πρόσβαση
  - Σταθερός ρυθμός 64 ή 128 kb/s
  - Απαιτείται αναβάθμιση των ψηφιακών κέντρων
- Μέσω διαχωριστή (POTS splitter)
  - Ο διαχωριστής επιτρέπει δύο διαύλους ένα για φωνή και ένα για DSL
  - Απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός, αλλά όχι αναβάθμιση των τηλεφωνικών κέντρων



# Σύντομο ιστορικό (1)

---

1985 Τα Bell Labs αναπτύσσουν την τεχνική διαμόρφωσης ορθογώνιας πολυπλεξίας συχνότητας (OFDM- Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ώστε να γίνει εφικτή η ψηφιακή μετάδοση πάνω από τους παραδοσιακούς συνδρομητικούς βρόχους με σκοπό την παροχή ψηφιακών υπηρεσιών και ειδικότερα video-on-demand (VoD)



## Σύντομο ιστορικό (2)

1990 Οι τηλεφωνικές εταιρείες ξεκίνησαν την εγκατάσταση υψηλής ταχύτητας ψηφιακών συνδρομητικών γραμμών (HDSL – High Speed Digital Subscriber Line ) για να προσφέρουν υπηρεσίες αντίστοιχες των E1/T1 (1.544/2.048 Mbps) σε μισθωμένες γραμμές χωρίς την παρεμβολή επαναληπτών

- Αρχικά για διασύνδεση μικρών τηλεφωνικών κέντρων και στη συνέχεια για διασύνδεση ολοένα και μικρότερων επιχειρήσεων
- Για οικιακούς πελάτες προωθείται η ασύμμετρη ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (Asymmetric Digital Subscriber Line - ADSL) σε αντίθεση με τη συμμετρική HDSL



## Σύντομο ιστορικό (3)

---

- 1993 Αξιολόγηση τριών τεχνικών διαμόρφωσης για ADSL: QAM, DMT και CAP
- 1994 Ιδρύεται το DSL Forum (<http://www.dslforum.org>)
- 1995 Νεωτεριστές αρχίζουν να βλέπουν το ADSL ως το μέσο για παροχή γρηγορότερης πρόσβασης στο διαδίκτυο





## Σύντομο ιστορικό (4)

- 1998 Η τεχνική διακριτών πολυ-τόνων (Discrete Multi-Tone) υιοθετείται από όλους τους κατασκευαστές σύμφωνα με το πρότυπο ANSI T1.413 - issue 2 σε αντίθεση με την διαμόρφωση πλάτους/φάσης χωρίς φέρον (Carrierless Amplitude/Phase - CAP) που εγκαταλείπεται
- 1998 Η ITU-T παράγει τη σύσταση G.991.1 για HDSL
- 1999 Η ITU-T παράγει τις συστάσεις G.992.1 (G.full: 8M/640k) και G.992.2 (G.lite: 1.5M/512k) για ADSL
- 2001 Η ITU-T παράγει τη σύσταση G.991.2 για SHDSL
- 2001 Ο αριθμός των συνδρομητών DSL ανέρχεται σε 18.7 εκατομμύρια παγκοσμίως



## Σύντομο ιστορικό (5)

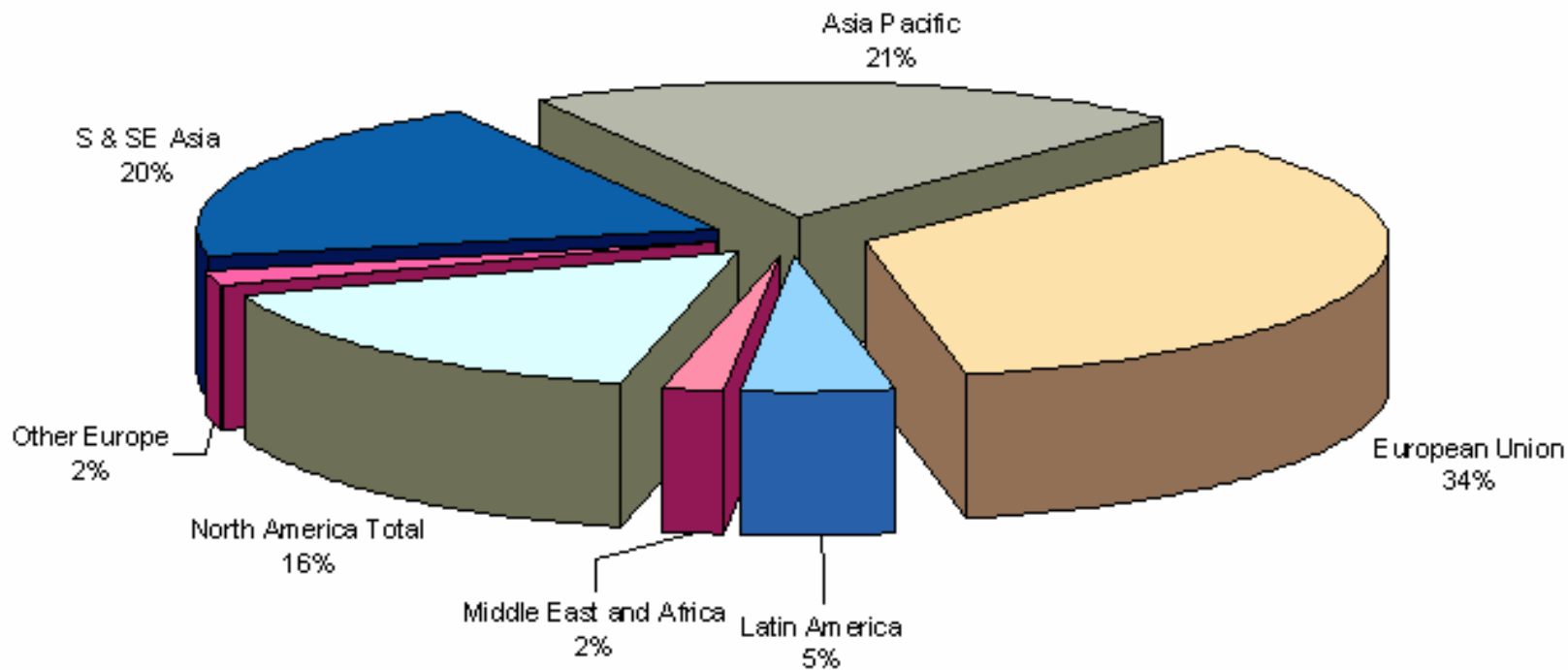
---

- 2002 Η ITU-T ολοκληρώνει τα πρότυπα G.992.3 και G.992.4 για ADSL2
- 2003 Εκδίδεται το πρότυπο G.992.5 για ADSL2+ (μέχρι 24 Mbps σε γραμμές μήκους 1.5 km)
- 2003 Ο αριθμός των συνδρομητών DSL ανέρχεται σε 30 εκατομμύρια παγκοσμίως
- 2004 Εγκρίνεται το πρότυπο G.993.2 του VDSL2 με ταχύτητες 100 Mbps
- 2004 Ο αριθμός των συνδρομητών DSL ανέρχεται σε 97 εκατομμύρια παγκοσμίως
- 2005 Ο αριθμός των συνδρομητών DSL ανέρχεται σε 139 εκατομμύρια παγκοσμίως

# Παγκόσμια διείσδυση

DSL Regional Share  
31 December 2005

Πηγή: DSL Forum





# Παραλλαγές xDSL

---

- Ένας όρος με πολλές παραλλαγές (xDSL)
  - ADSL – Asymmetric DSL
  - HDSL – High bit-rate DSL
  - SHDSL – Symmetric HDSL
  - VDSL – Very high speed DSL



# ADSL

---

- Προσφέρει διαφορετικές ταχύτητες ανόδου και καθόδου
- Επιτρέπει τη μετάδοση φωνής και δεδομένων υψηλής ταχύτητας ταυτόχρονα πάνω από τις υπάρχουσες τηλεφωνικές γραμμές
- Καλή για πρόσβαση στο Internet και εφαρμογές όπου η ταχύτητα καθόδου είναι πιο σημαντική, όπως, video-on-demand.
- Προτυποποιημένη σύμφωνα με τη σύσταση G.992.1 της ITU-T ITU



# ADSL

---

- Ταχύτητα καθόδου 1.5 Mbps μέχρι 8 Mbps
- Ταχύτητα ανόδου 16 kbps μέχρι 640 kbps
- Βεληνεκές
  - 5400 m – 1.544 Mbps
  - 4800 m – 2.048 Mbps
  - 3600 m – 6.312 Mbps
  - 2400 m – 8.448 Mbps



# ADSL2

---

- Η ADSL2 της σύστασης G.992.3 προβλέπει διαγνωστικά, εξοικονόμηση ισχύος, μορφοποίηση φάσματος ισχύος και έχει ελαφρώς καλύτερες επιδόσεις
- Ταχύτητα καθόδου μέχρι 12 Mbps
- Ταχύτητα ανόδου μέχρι 1 Mbps
- Βεληνεκές
  - 2500 m



# ADSL2+

---

- Η ADSL2+ της σύστασης G.992.5 υποστηρίζει διπλάσιες ταχύτητες σε σχετικά μικρούς συνδρομητικούς βρόχους
- Ταχύτητα καθόδου μέχρι 24 Mbps
- Ταχύτητα ανόδου μέχρι 3,5 Mbps
- Βεληνεκές
  - 1500 m





# HDSL

---

- Για συμμετρικές υπηρεσίες με ταχύτητα μέχρι 2.3 Mbps και στις δύο κατευθύνσεις.
  - Διαθέσιμη σε 1.5 ή 2.3 Mbps
  - Δεν παρέχει τηλεφωνία
  - Χρησιμοποιεί 1, 2 ή 3 ζευγάρια χαλκού
  - Προτυποποιημένη από ETSI και ITU
  - Οικονομική αντικατάσταση των παραδοσιακών T1 ή E1



# SHDSL

---

- Υποστηρίζει ρυθμούς από 192 kbps μέχρι 5.7 Mbps
  - Λειτουργεί σε ένα ζεύγος συρμάτων
    - για μεγαλύτερες αποστάσεις απαιτούνται δύο ζεύγη
    - Π.χ. επιτυγχάνει ταχύτητα 1.2 Mbps σε απόσταση 7 km με δύο ζεύγη συρμάτων 26 AWG
  - Η SHDSL επιτυγχάνει περίπου 20% καλύτερη κάλυψη σε σχέση με παλαιότερες συμμετρικές DSL
  - Προκαλεί μικρότερη διαφωνία με άλλα συστήματα μετάδοσης στο ίδιο καλώδιο



# SHDSL

---

- Κατάλληλη κυρίως για εταιρικούς πελάτες
- Κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν υψηλές ταχύτητες ανόδου
- Δεν μεταφέρει αναλογική φωνή, όμως μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές πακετοποιημένης ψηφιακής φωνής
- Προτυποποιημένη σύμφωνα με την σύσταση G.991.2 της ITU, γνωστή και ως G.shdsl



# VDSL (Very high bit rate DSL)

---

- Μέχρι 52 Mbps σε μικρές αποστάσεις
  - Π.χ. σε βρόχους από οπτική μονάδα δικτύου μέχρι το σπίτι
  - Οι γραμμές VDSL ξεκινούν από τους υπαίθριους καταναμητές οι οποίοι θα συνδέονται στο τοπικό κέντρο με οπτικές ίνες
  - Χρήσιμο για βιομηχανικές περιοχές
- Μπορεί να υποστηρίξει συμμετρική λειτουργία
- Κυρίως για παροχή υπηρεσιών βίντεο



# VDSL

---

- Ταχύτητα καθόδου:
  - 13 Mbps μέχρι 52 Mbps (ασύμμετρη)
  - 6.5 Mbps μέχρι 26 Mbps (συμμετρική)
- Ταχύτητα ανόδου:
  - 3.2 Mbps μέχρι 6.5 Mbps (ασύμμετρη)
  - ίση με την ταχύτητα καθόδου (συμμετρική)
- Βεληνεκές
  - 1500 m – 12.96 Mbps
  - 1000 m – 25.92 Mbps (ασύμ.) ή 12.96 Mbps (συμ.)
  - 300 m – 51.84 Mbps (ασύμ.) ή 25.92 Mbps (συμ.)



# VDSL2 (second generation VDSL)

---

- Η σύσταση G.993.2 καθορίζει 8 προφίλ για μια ποικιλία εφαρμογών:
  - Μέχρι 100 Mbps συμμετρική μετάδοση σε βρόχους μέχρι 100 m (χρησιμοποιώντας εύρος ζώνης 30 MHz)
  - Συμμετρικοί ρυθμοί 10-30 Mbps σε βρόχους μικρού μήκους (χρησιμοποιώντας εύρος ζώνης 12 MHz)
  - Ασύμμετρη λειτουργία με ρυθμούς καθόδου 10-40 Mbps σε βρόχους από 1 μέχρι 3 km (χρησιμοποιώντας εύρος ζώνης 8.5 MHz)
  - Η VDSL2 περιλαμβάνει τα περισσότερα από τα προηγμένα χαρακτηριστικά της ADSL2
  - Η σχέση ρυθμού απόστασης της VDSL2 είναι καλύτερη της VDSL



# Λειτουργία της DSL

---

- Το φάσμα συχνοτήτων χωρίζεται σε δύο ή τρία **άνισα** μέρη
  - Το μεγαλύτερο μέρος χρησιμοποιείται για την μετάδοση κίνησης καθόδου (από το δίκτυο)
  - Το μικρότερο για κίνηση ανόδου (προς το δίκτυο)



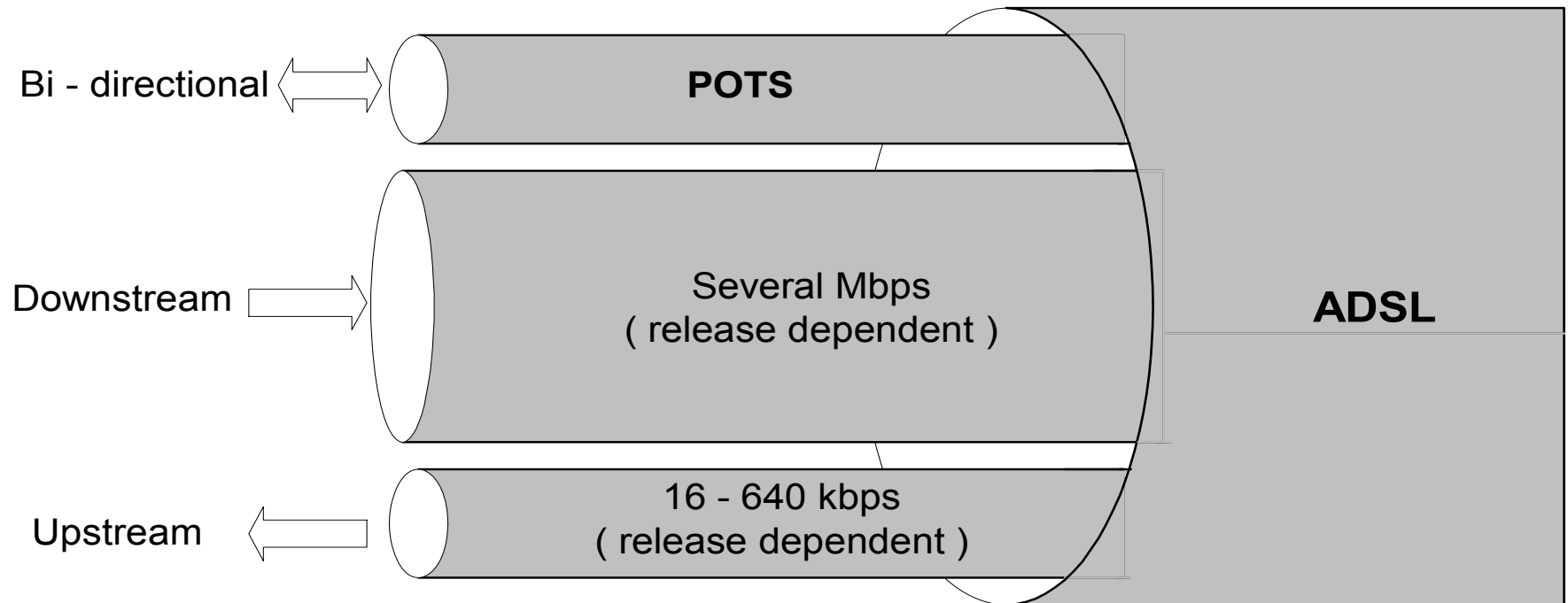
# Οργάνωση του φάσματος

---

- Κανάλι φωνής (PSTN)
- Κανάλια δεδομένων
  - Σε χωριστές περιοχές συχνοτήτων
  - Σε επικαλυπτόμενες περιοχές συχνοτήτων (με χρήση ακυρωτών ηχούς)

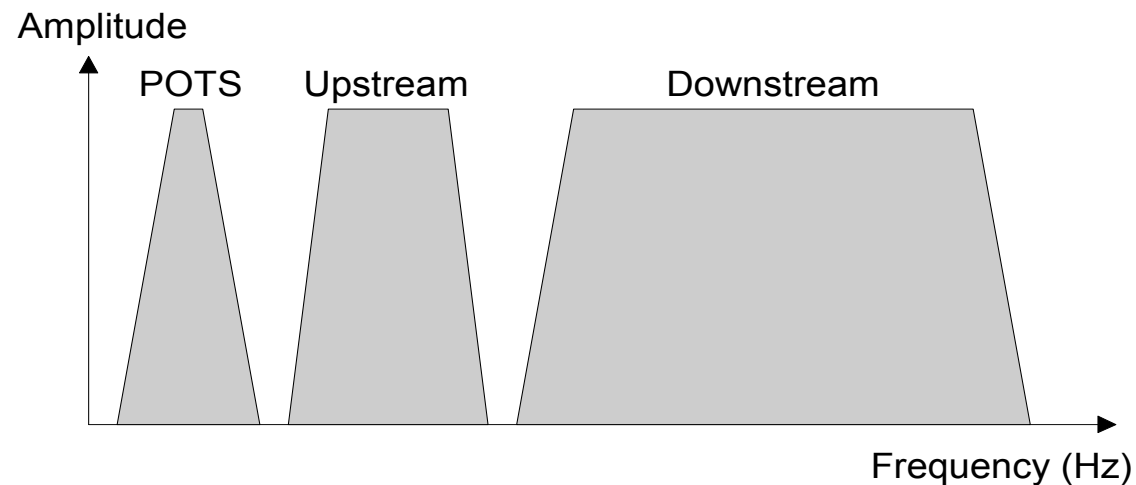


# Οργάνωση του φάσματος

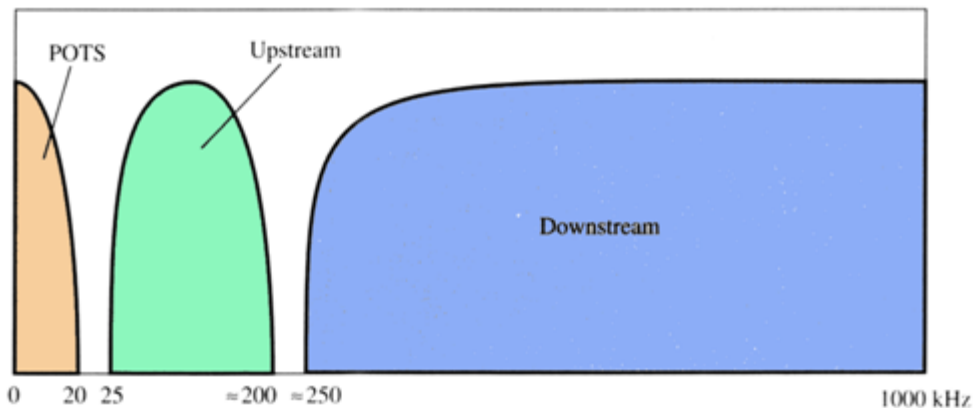


# Συχνότητες ADSL Μετάδοσης

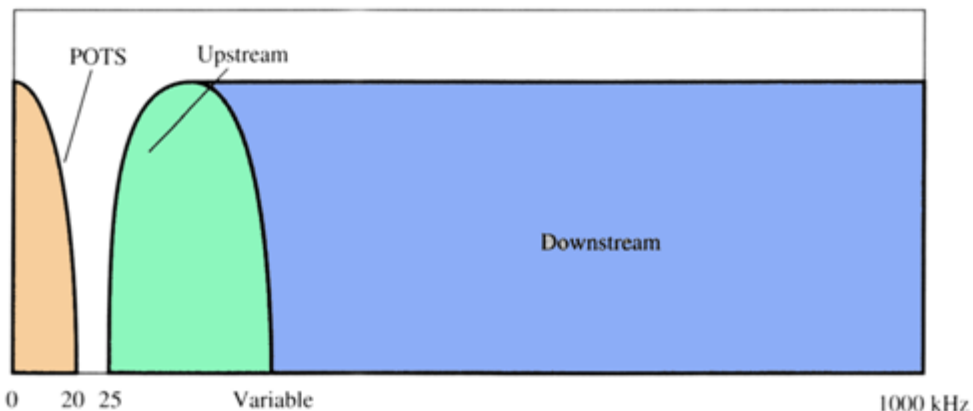
- POTS – Plain Old Telephone Service
- Upstream
- Downstream



# Διάθεση φάσματος για DSL



(a) Frequency division multiplexing

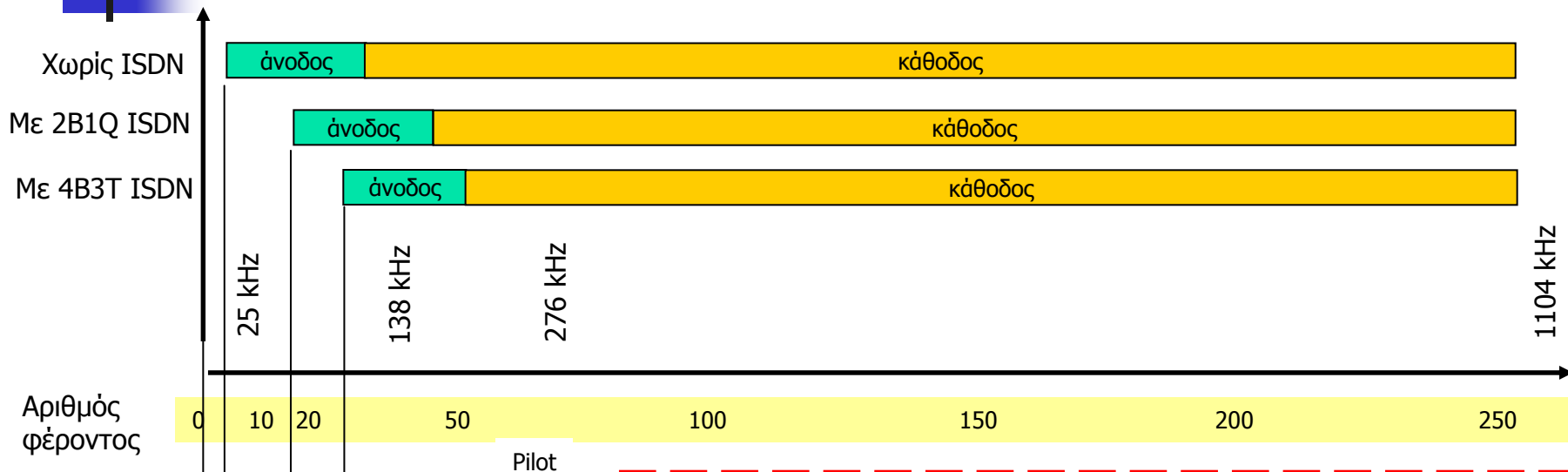


(b) Echo cancellation

Χωριστές περιοχές συχνοτήτων  
(Frequency Division Multiplexing)

Επικαλυπτόμενες περιοχές  
(χρήση ακυρωτών ηχούς)

# Διάθεση φάσματος για DMT



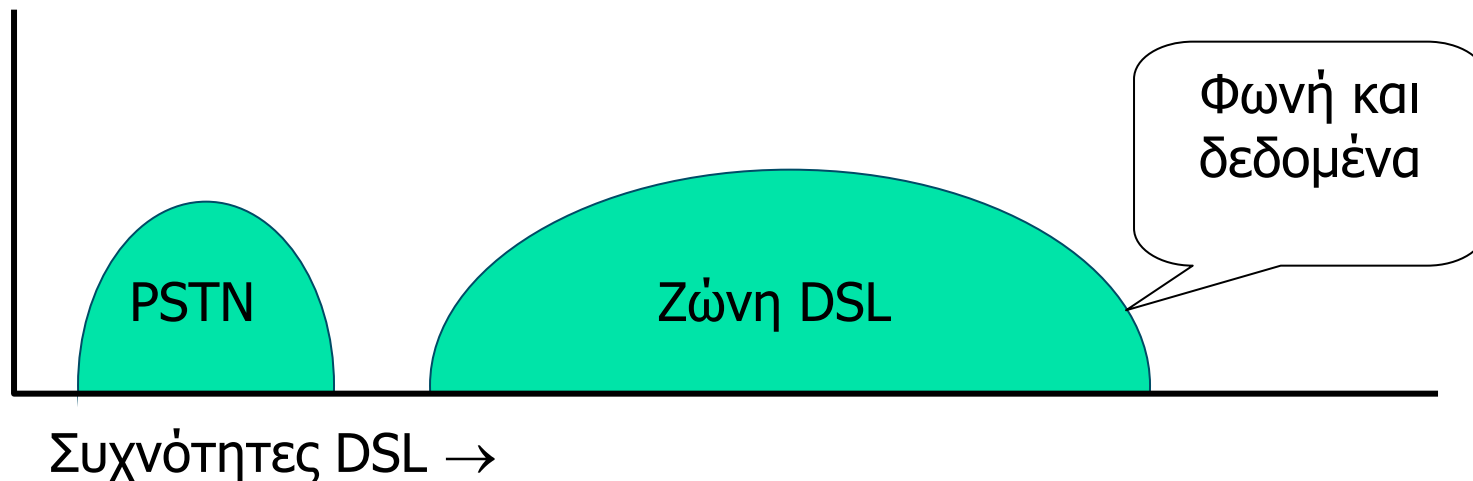
Η απόσταση των φερόντων είναι 4.3125 kHz (συνολικά 256 φέροντα)

Φέρον	Συχνότητα	Σημασία
0	0 Hz	DC (δεν χρησιμοποιείται για δεδομένα)
5	25 kHz	το κατώτατο όριο για δεδομένα ανόδου
8	80 kHz	Όριο για 2B1Q ISDN
28	120 kHz	Όριο για 4B3T ISDN
32	138 kHz	το μεγαλύτερο κατώτερο όριο για δεδομένα ανόδου
64	276 kHz	Πιλότος (δεν χρησιμοποιείται για δεδομένα)
256	1104 kHz	Nyquist (δεν χρησιμοποιείται για δεδομένα)

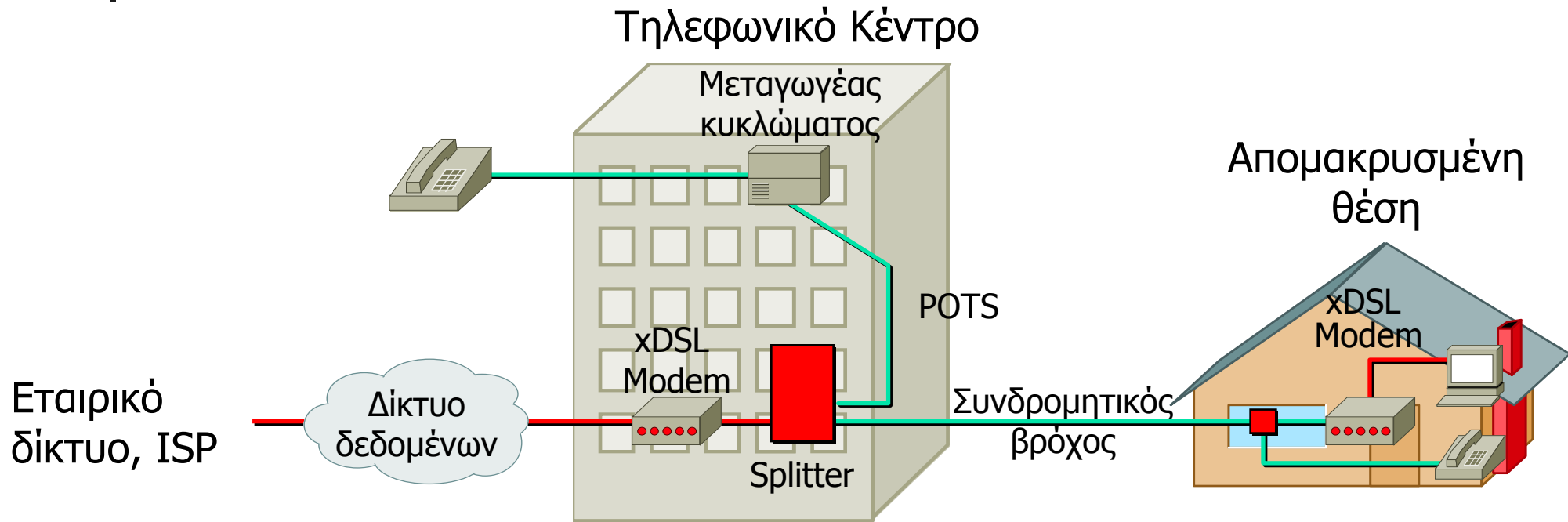
Τύποι κώδικα γραμμής

# Πακετοποιημένη φωνή

- Η μετάδοση πακετοποιημένης φωνής γίνεται μέσω των καναλιών δεδομένων DSL
- Η πακετοποιημένη φωνή δεν μεταφέρεται από το PSTN

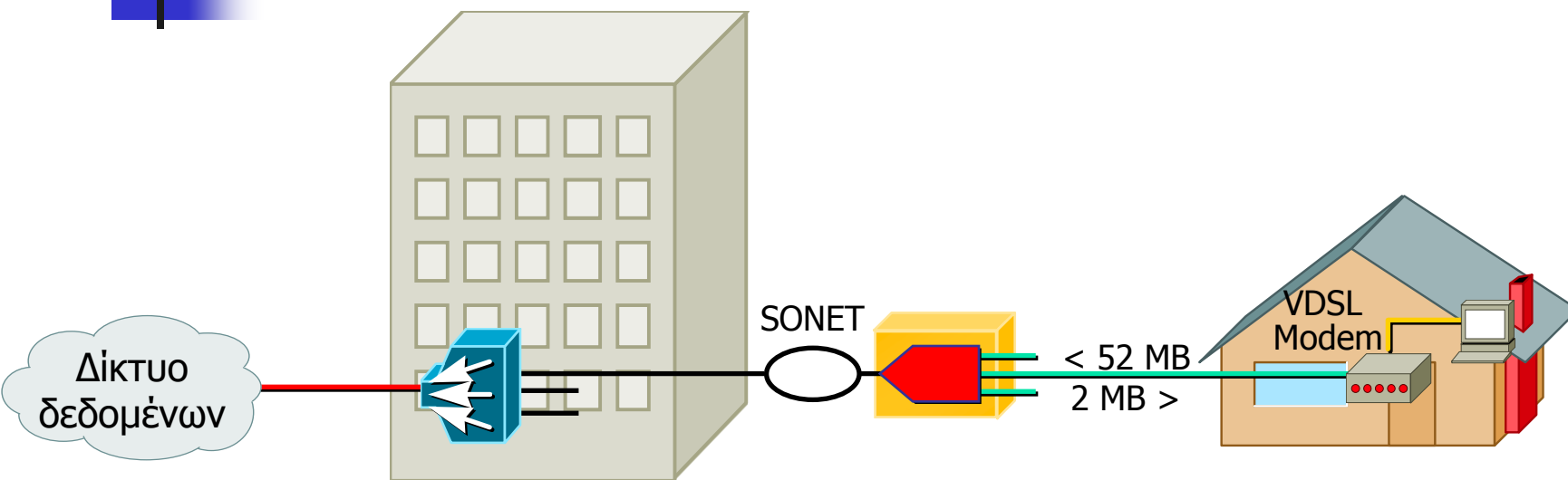


# Συνήθης υλοποίηση xDSL



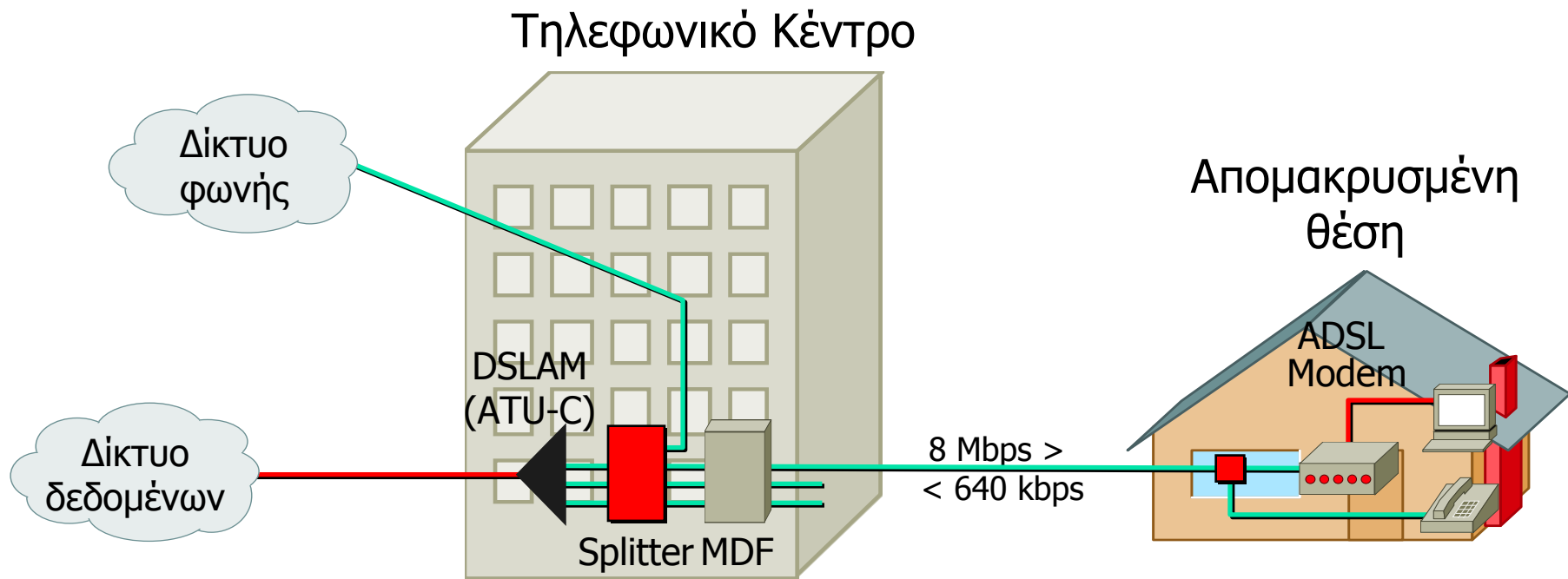
**Τεχνολογία πρόσβασης: συνδέει τον χρήστη στο τηλεφωνικό κέντρο με αφιερωμένο κύκλωμα**

# Υλοποίηση VDSL



Τεράστιες ταχύτητες. Χρήση οπτικού δικτύου πρόσβασης σε συνδυασμό με υπάρχοντα χαλκό. Παράκαμψη του τηλεφωνικού κέντρου.

# Υλοποίηση ADSL





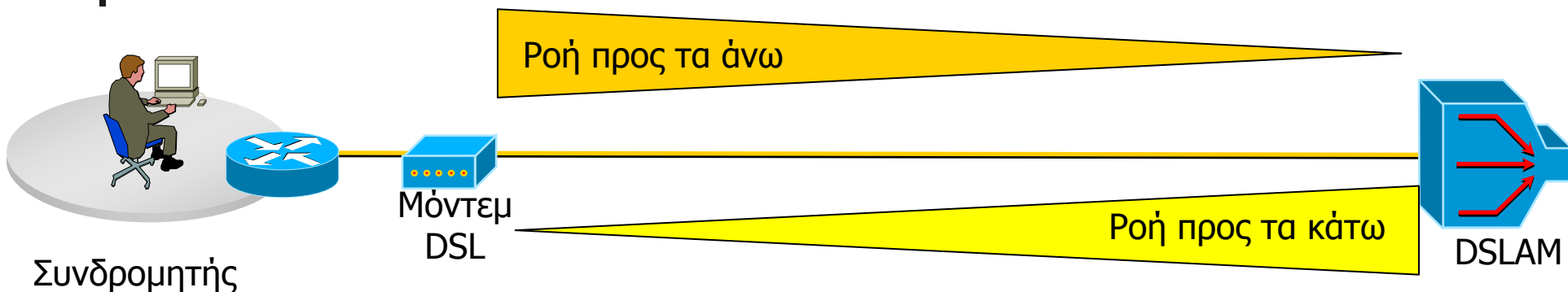


# Θέματα φυσικού στρώματος

---

- Η DSL επηρεάζεται από την απόσταση
- Το σήμα αποσβένεται σημαντικά λόγω της χωρητικότητας του βρόχου
- Η ισχύς μετάδοσης περιορίζεται από τη διαφωνία (cross-talk) και τις παρεμβολές (interference)
- Παρεμβολές εμφανίζονται λόγω συνύπαρξης με άλλες DSL στο ίδιο καλώδιο ή άλλες τεχνολογίες (π.χ., E1/T1)
- Η κατανάλωση ισχύος στο DSLAM μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα, συνήθως  $< 1$  watt ανά γραμμή

# Διαφωνία (Crosstalk)



- Η ισχύς του σήματος προς τα κάτω είναι μέγιστη στην πλευρά του DSLAM και ελάχιστη στην πλευρά του συνδρομητή
- Η ισχύς του σήματος προς τα άνω είναι μέγιστη στην πλευρά του συνδρομητή και ελάχιστη στην πλευρά του DSLAM
- Εάν αυτά τα σήματα καταλαμβάνουν διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων δεν θα υπάρξει διαφωνία, αλλιώς θα παρεμβάλλει το ένα το άλλο

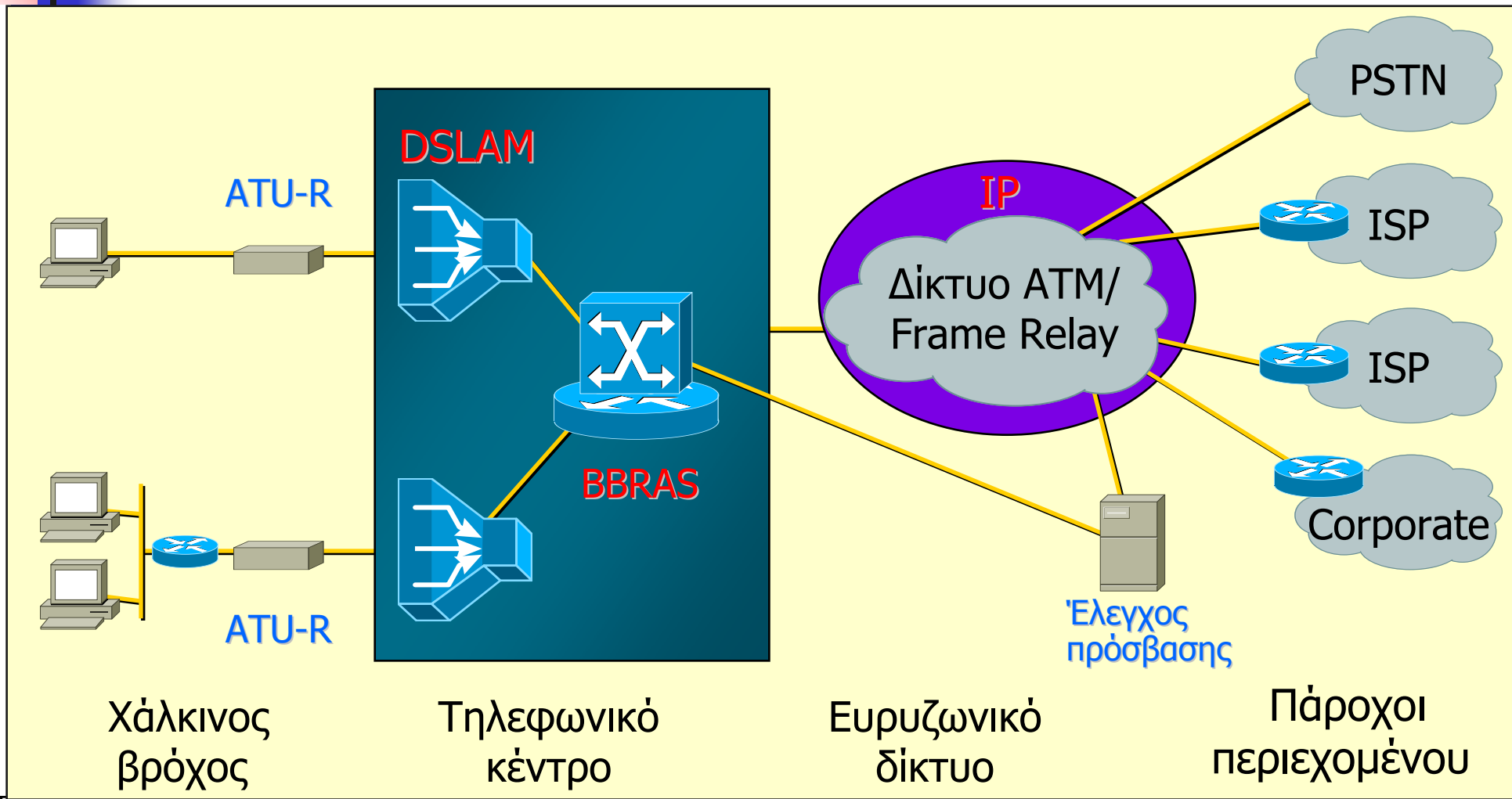


# Ασύμμετρη DSL (ADSL)

---

- Ο συνδρομητικός εξοπλισμός διατίθεται σε πολλές παραλλαγές
  - Γέφυρα Ethernet, συνήθως για οικιακούς πελάτες
  - Δρομολογητής Ethernet, συνήθως για μικρές επιχειρήσεις
- Ποικιλία αρχιτεκτονικών
  - Χρήση PPP πάνω από Ethernet (PPPoE) ή πάνω από ATM
  - Στατική ή δυναμική εκχώρηση διευθύνσεων IP

# Αρχιτεκτονική ADSL



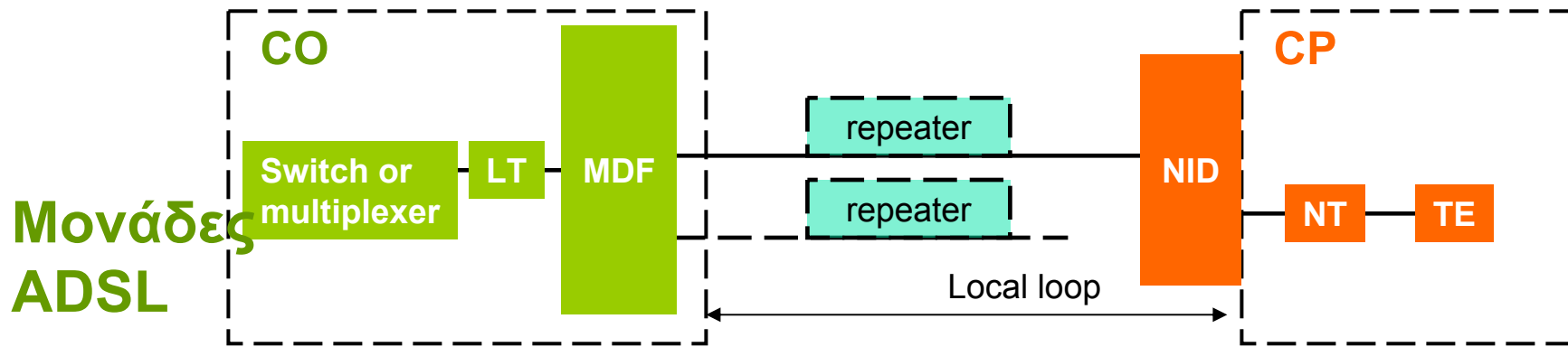


# Ορολογία ADSL

---

- **ATU-C: ADSL Transmission Unit, Central**
  - Μόντεμ στο σημείο τερματισμού ADSL στο τηλεφωνικό κέντρο
- **ATU-R: ADSL Transmission Unit, Remote**
  - Μόντεμ στη συνδρομητική εγκατάσταση (CPE)
- **DSLAM: DSL Access Multiplexer**
  - Στοιχείο στο τηλεφωνικό κέντρο όπου συγκεντρώνονται πολλές συνδέσεις ADSL σε ένα κύκλωμα (backhaul, trunk)
  - Το DSLAM περιέχει ATU-C
- **BBRAS: BroadBand Remote Access Server**
  - Τερματίζει τις λογικές συνδέσεις ADSL στο στρώμα 2

# Ορολογία ADSL



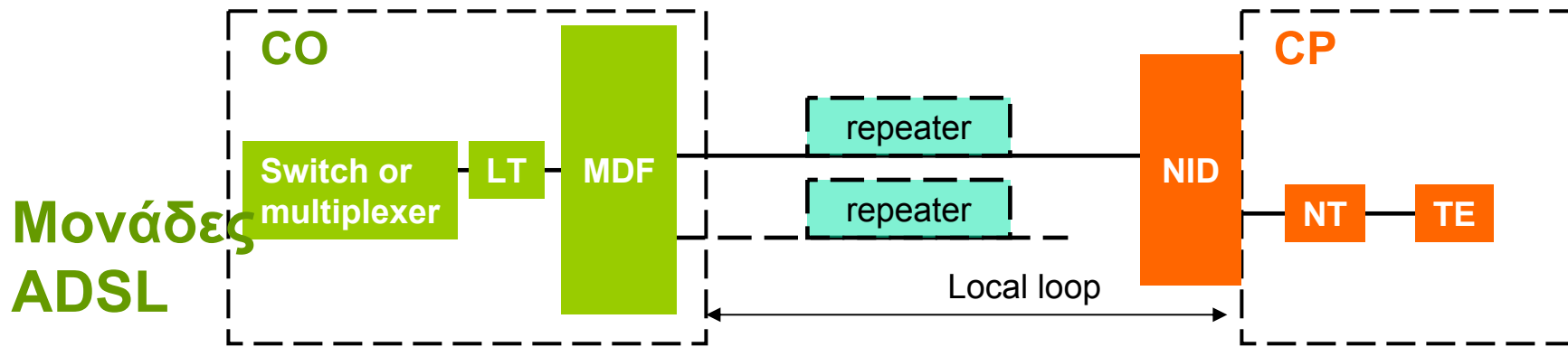
Μονάδες  
ADSL



ATU-C

- **CO**: Central office
- **MDF**: Main distribution frame – εκεί καταλήγουν οι συνδρομητικοί βρόχοι
- **LT**: Line termination – π.χ. του μόντεμ DSL
- **repeater**: επαναλήπτης
- **local loop**: διπλαγωγός μεταξύ CO and CP

# Ορολογία ADSL



Μονάδες  
ADSL

ATU-R

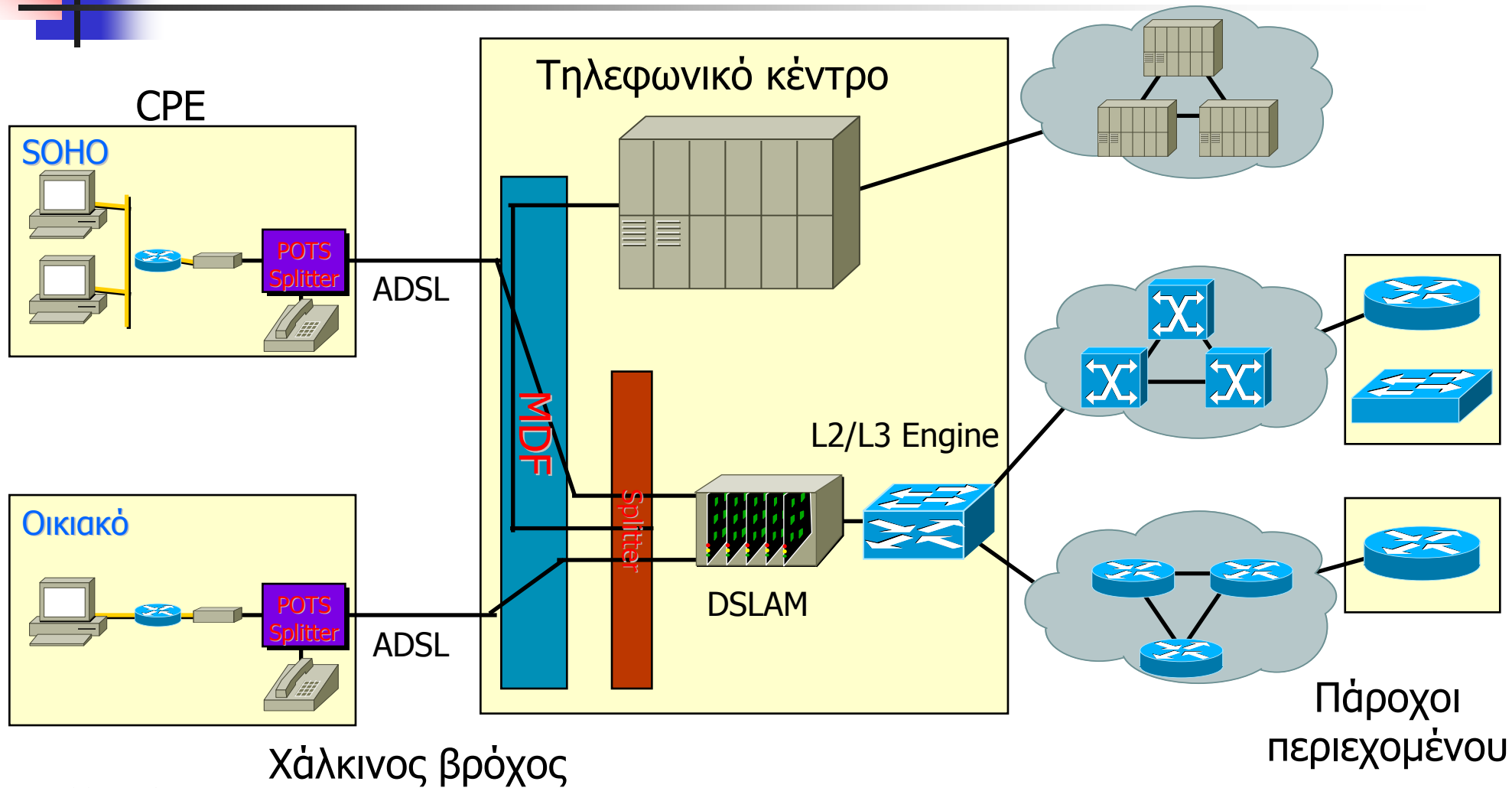
- **CP**: Customers premises
- **TE**: Terminal equipment - PC ή τηλέφωνο
- **NT**: Network terminal – μόντεμ DSL
- **NID**: Network interface device –ο συνδρομητικός εξοπλισμός στο διάγραμμα βρίσκεται δεξιά από το σημείο αυτό και ο εξοπλισμός του τηλεπικοινωνιακού φορέα αριστερά

# Πολυπλέκτης πρόσβασης DSL (DSLAM)

- Το DSLAM συγκεντρώνει πολλές γραμμές
  - Τερματίζει τους βρόχους (ATU-C)
  - Εξάγει τα πλαίσια του στρώματος 2
    - ATM συνήθως, Ethernet, ή Frame relay
- Συναθροίζει τα δεδομένα στρώματος 2 από πολλούς συνδρομητές σε κύκλωμα (backhaul trunk)
  - Συνήθως το στοιχείο συνάθροισης είναι τα PVC του ATM



# Παράκαμψη δεδομένων ADSL



Χάλκινος βρόχος



# Διακόπτης ATM

---

- Χειρίζεται τα κυκλώματα PVC μεταξύ
  - των DSLAM και
  - της θύρας όπου παραδίδεται κίνηση IP στον CLEC
- Οι διακόπτες ATM σχηματίζουν δίκτυο
  - Οι συνδέσεις μπορούν να παραδοθούν σε οποιονδήποτε CLEC

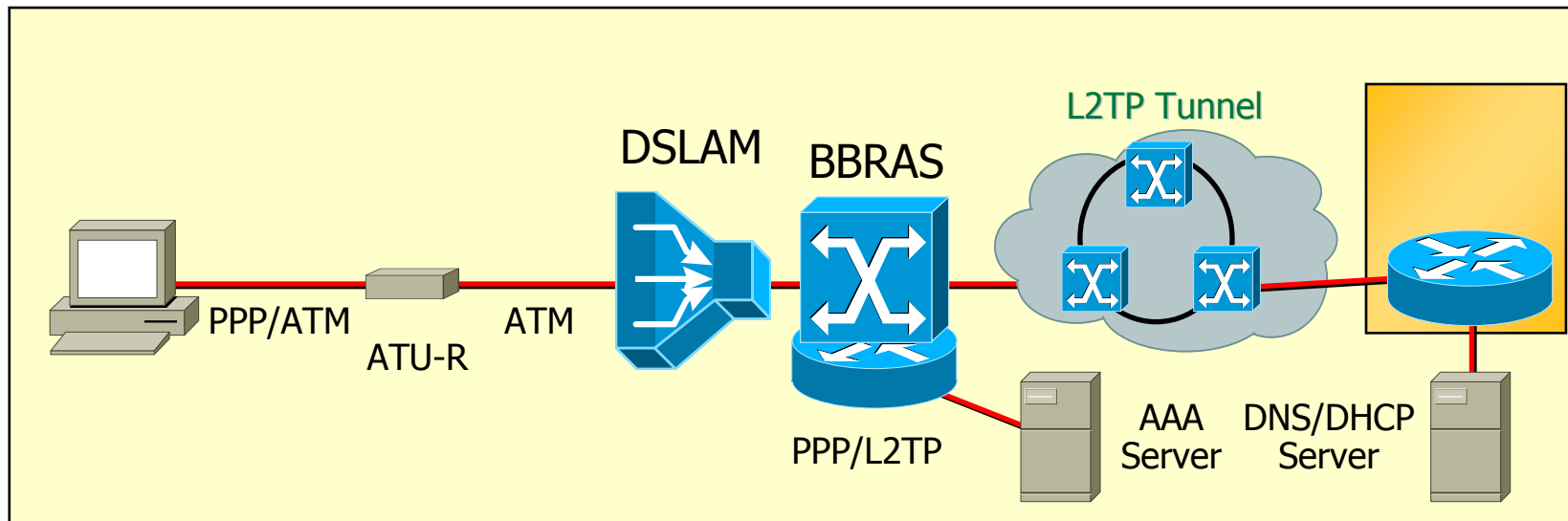


# BBRAS

---

- Ο ευρυζωνικός εξυπηρετητής απομακρυσμένης πρόσβασης τερματίζει το στρώμα 2
  - PVC του ATM (συνήθως)
  - PPP πάνω από Ethernet
  - PPP πάνω από ATM
- Διαχειρίζεται τους συνδρομητές
  - Χρησιμοποιεί RADIUS
    - Έλεγχο ταυτότητας χρηστών
- Αποδίδει διευθύνσεις IP
  - Διάρθρωση υπηρεσιών

# PPP over ATM



- Βασικές λειτουργίες παρέχονται μέσω ιδιοτήτων των καθιερωμένων πρωτοκόλλων PPP/L2TP, όπως:
  - Πιστοποίηση ταυτότητας (PAP, CHAP, κλπ)
  - Αυτό-διάρθρωση Layer 3 (DHCP, DNS, κλπ)
  - Επιλογή πολλαπλών προορισμών (πολλαπλές σύνοδοι PPP)
  - Κρυπτογράφηση



# Στρώματα

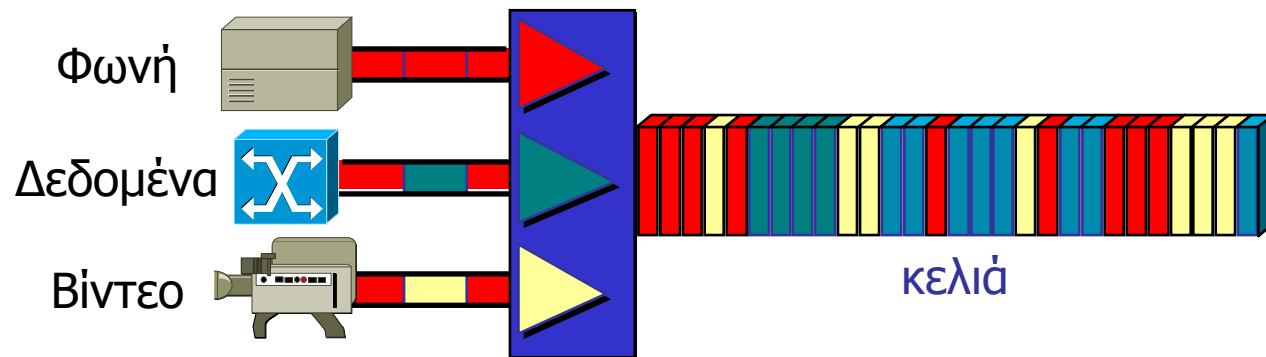
---

- Φυσικό στρώμα DSL
- ATM
- PPP
- IP

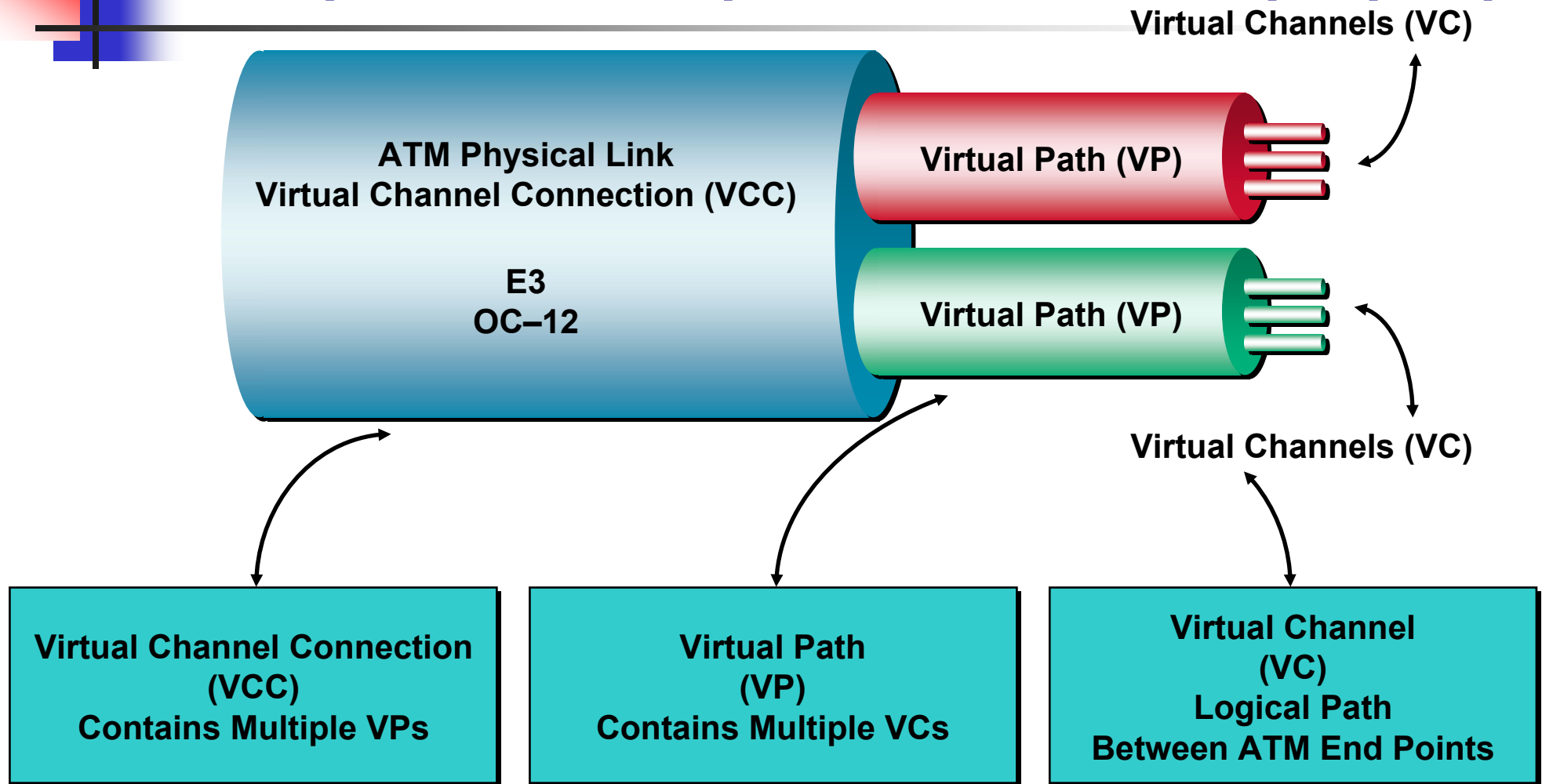
# Asynchronous Transfer Mode (ATM)

- Πρότυπο δεκαετίας 1980 για την αρχιτεκτονική του *B-ISDN* (*Broadband Integrated Service Digital Network*)
  - Υψηλές ταχύτητες (155Mbps έως 622 Mbps και άνω)
- Στόχος: *ενοποιημένη (ολοκληρωμένη), απ' άκρη σ' άκρη μεταφορά φωνής, βίντεο, δεδομένων*
  - μεταγωγή "κελιών" (cells - πακέτα σταθερού μήκους) χρησιμοποιώντας νοητά κυκλώματα

# Κελιά ATM



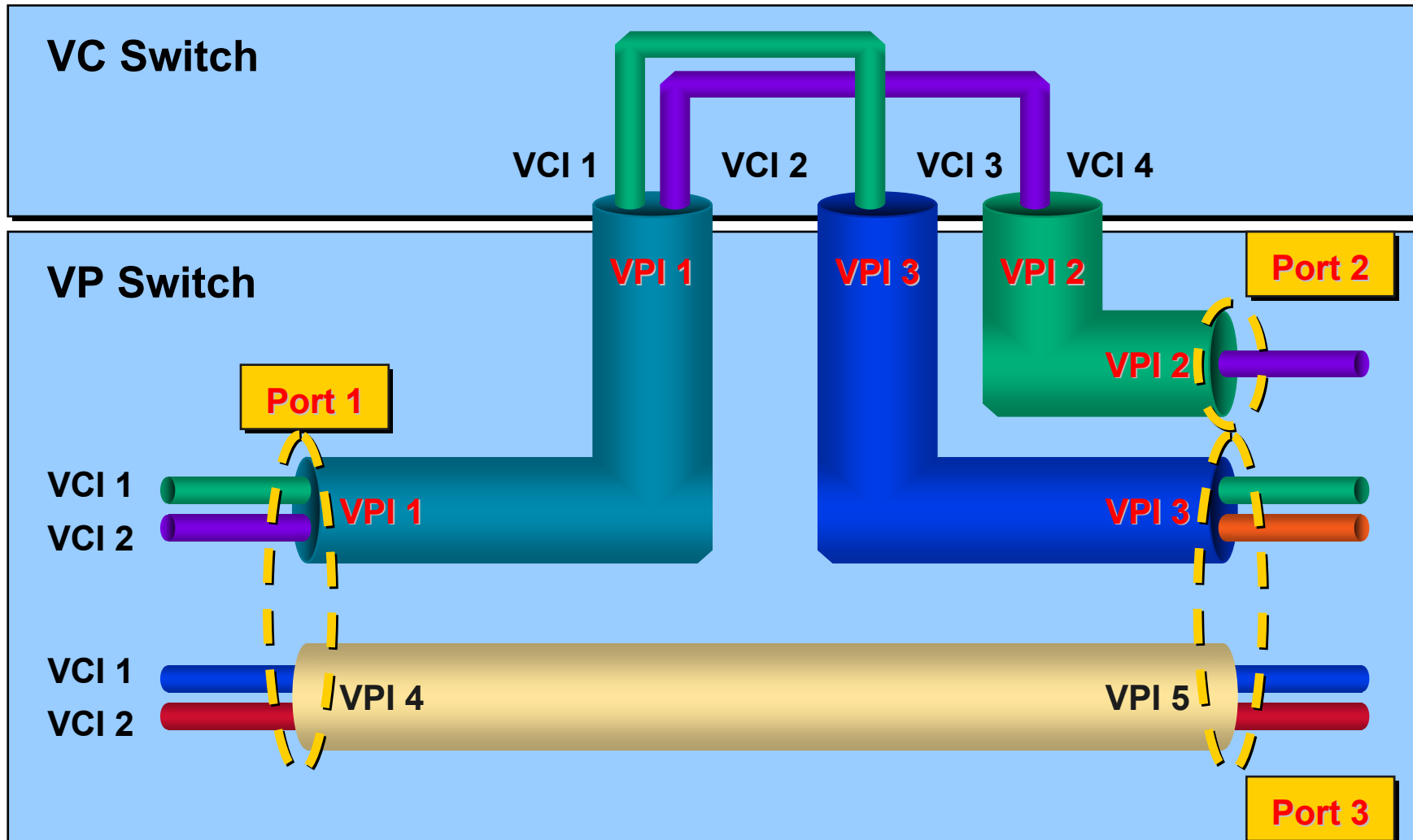
# Νοητά κυκλώματα και διαδρομές



Connection Identifier = **VPI/VCI**



# Μεταγωγή VP και VC





# Στρώμα ATM

---

- Τα κελιά ATM μεταφέρονται πάνω στο φυσικό στρώμα DSL
  - Συνήθως διατίθεται ένα μοναδικό PVC VPI=0/VCI=35
    - UBR ή VBR-nrt μέσω AAL5
  - Δυνατότητα για πολλά PVC
    - Διαφορετικό QoS ανά PVC



# Στρώμα PPP

---

- PPP over Ethernet
  - Για οικιακούς ή μικρούς πελάτες
  - Τερματίζει στο PC ή στην οικιακή πύλη
  - Ο τερματικός εξοπλισμός συνήθως είναι μια γέφυρα
- Διαλειτουργία με εξυπηρετητή AAA στον BBRAS
  - Εκχώρηση διευθύνσεων IP
  - Επίλυση ονομάτων με DNS
  - Χρέωση μέσω RADIUS



# Τερματισμός PPP

---

- Το PPPoE προορίζονταν να τερματίσει στο PC
  - Σε μερικές περιπτώσεις είναι ακόμη αλήθεια
  - Προσδιορίζει ένα μοναδικό PC
  - Πολλά PC σημαίνουν πολλαπλές συνόδους PPPoE στο ίδιο ATM PVC του βρόχου DSL
- Οι οικιακές πύλες και οι δρομολογητές DSL το τροποποίησαν
  - Χειρίζονται τον τερματισμό PPPoE
  - Πίσω τους κρύβονται πολλά PC



# Στρώμα IP

---

- Το στρώμα IP γεφυρώνει τον τερματικό εξοπλισμό με το PoP IP
  - Το PC ενθυλακώνει πακέτα IP στο PPP
  - Το ADSL μόντεμ ενθυλακώνει τα πλαίσια PPP σε AAL5/ATM
  - Μετάδοση μέσω του δικτύου ATM
  - Ο BBRAS εξάγει τα πακέτα IP από ATM και PPP
- Ο BBRAS μετέχει στο δίκτυο IP του παρόχου (ISP)
  - Στο μοντέλο χονδρικής (wholesale) διάθεσης υπηρεσιών στρώματος 3 ο BBRAS ανήκει στο πάροχο πρόσβασης
  - Στο μοντέλο χονδρικής διάθεσης υπηρεσιών στρώματος 2 ο BBRAS ανήκει στον πελάτη χονδρικής

# Τερματισμός κίνησης IP σε υπηρεσία DSL

