



# Τηλεφωνία

---

## Το τηλεφωνικό σύστημα



# Δομή τηλεφωνικού δικτύου

---

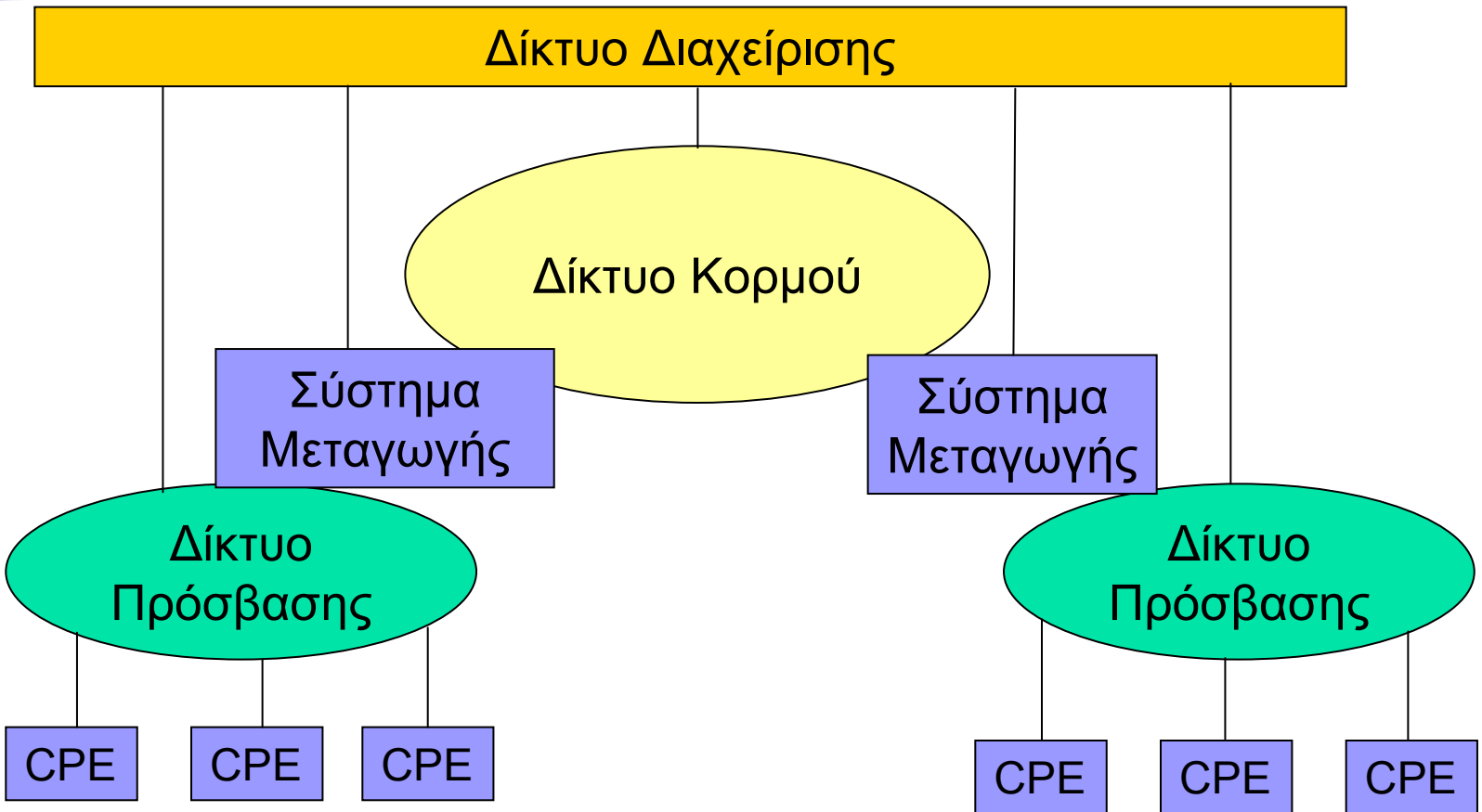


# Τηλεφωνικά κέντρα

---

- Εάν δεν υπήρχαν τηλεφωνικά κέντρα κάθε τηλέφωνο θα έπρεπε να συνδέεται με όλα τα άλλα
- Περίπου 250 εκατομμύρια τηλέφωνα (ΗΠΑ-Καναδά)
- Πλήρης συνδεσιμότητα
  - $N \times (N-1) / 2 = 3 \times 10^{16}$  ζεύγη
- Μέση διατομή ζεύγους 12,5 mm<sup>2</sup>
- Μέσο μήκος σύνδεσης 2000 km
- Μέσος όγκος χαλκού 750x10<sup>6</sup> km<sup>3</sup>
- Έκταση ΗΠΑ-Καναδά 12,5 km<sup>2</sup>
- Βάθος συρμάτωσης 60 km

# Public Switched Telephone Network (PSTN)



CPE: Customer Premise Equipment

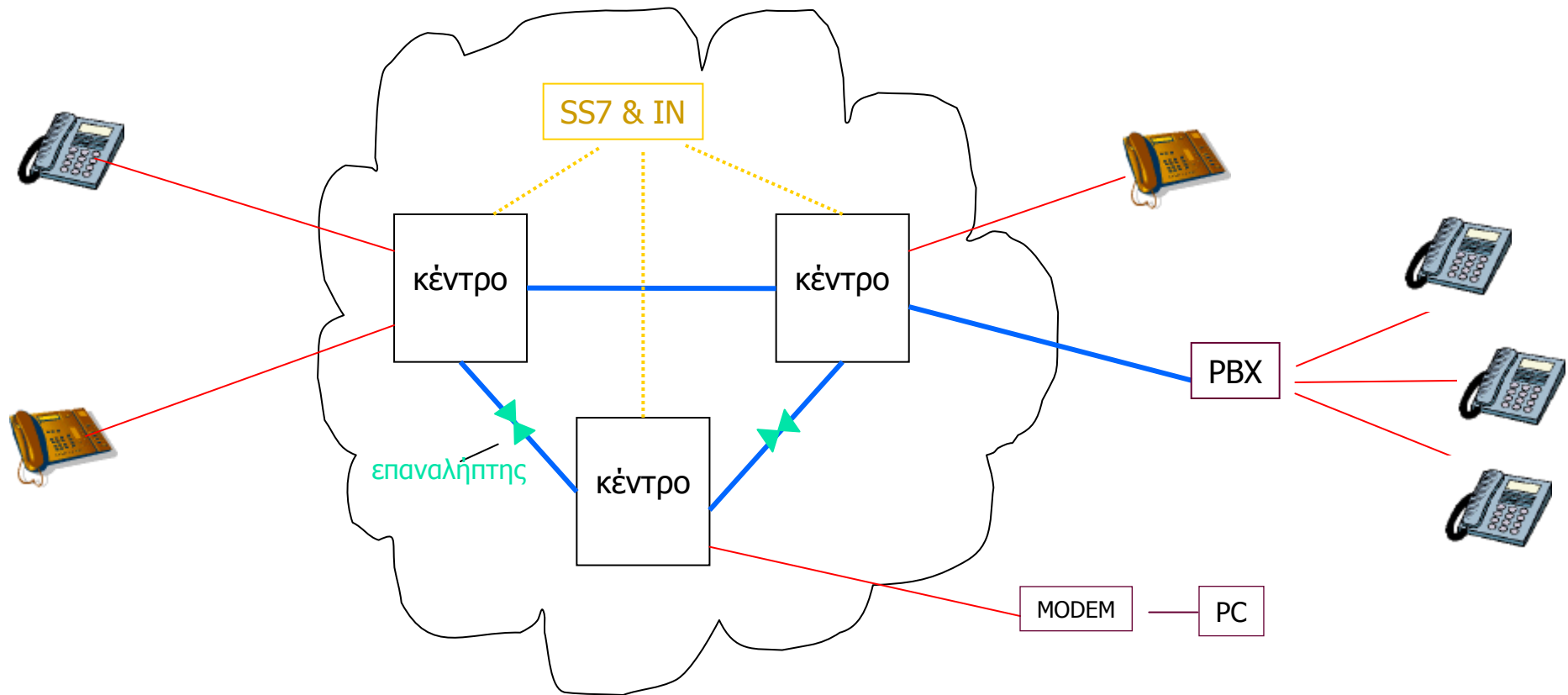


# Το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN)

---

- Αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά στοιχεία
  - τηλεφωνικά κέντρα
  - κυκλώματα
  - γραμμές
  - τερματικά (π.χ. τηλεφωνικές συσκευές, μόντεμ, φαξ, ...)
  - εξοπλισμό μετάδοσης (π.χ. επαναλήπτες, πολυπλέκτες, μεικτονομητές, ...)
  - σηματοδосία και έλεγχο (π.χ. SS7 και IN)

# Το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN)



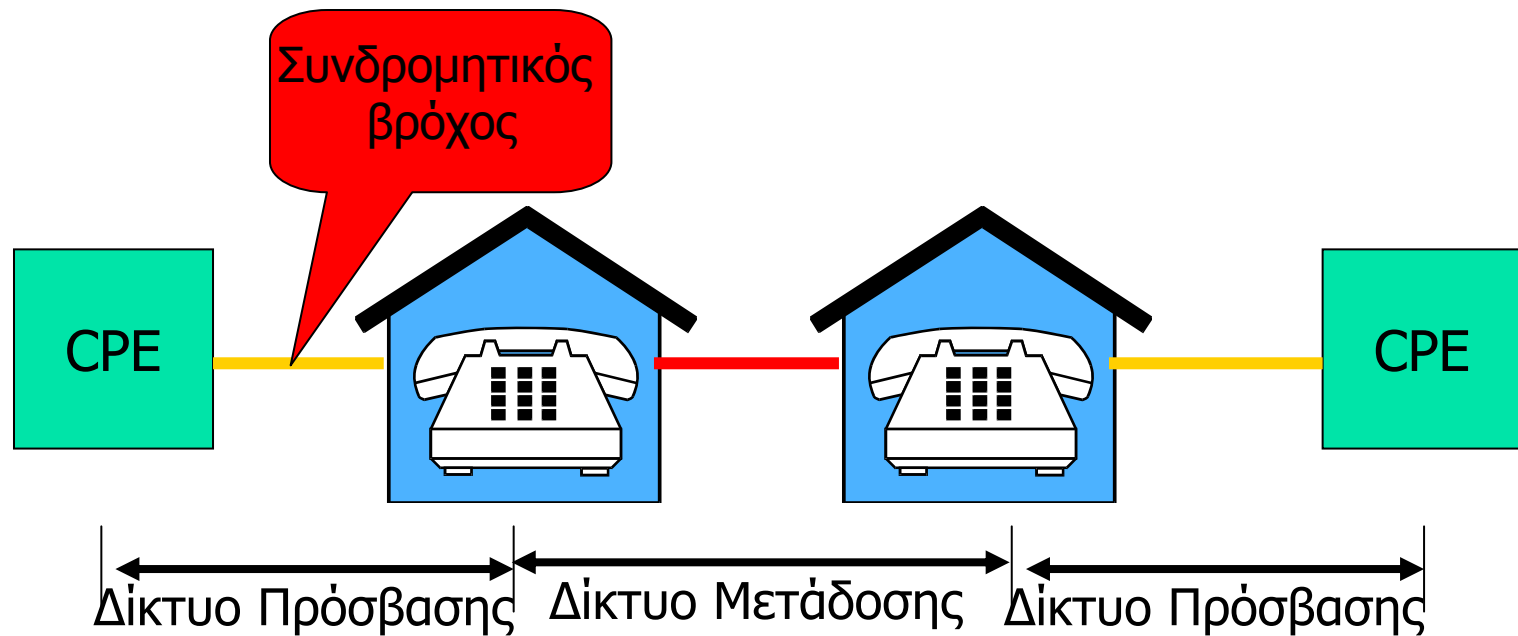
# Συνδρομητικός εξοπλισμός (CPE)



---

- Οποιοσδήποτε εξοπλισμός διατίθεται από τον συνδρομητή για σύνδεση στη διεπαφή με το PSTN. Π.χ.
  - Απλή τηλεφωνική συσκευή
  - Συνδρομητικό κέντρο (PBX)

# Πρόσβαση στο τηλεφωνικό κέντρο



CPE = Customer Premises Equipment = Συνδρομητικός εξοπλισμός



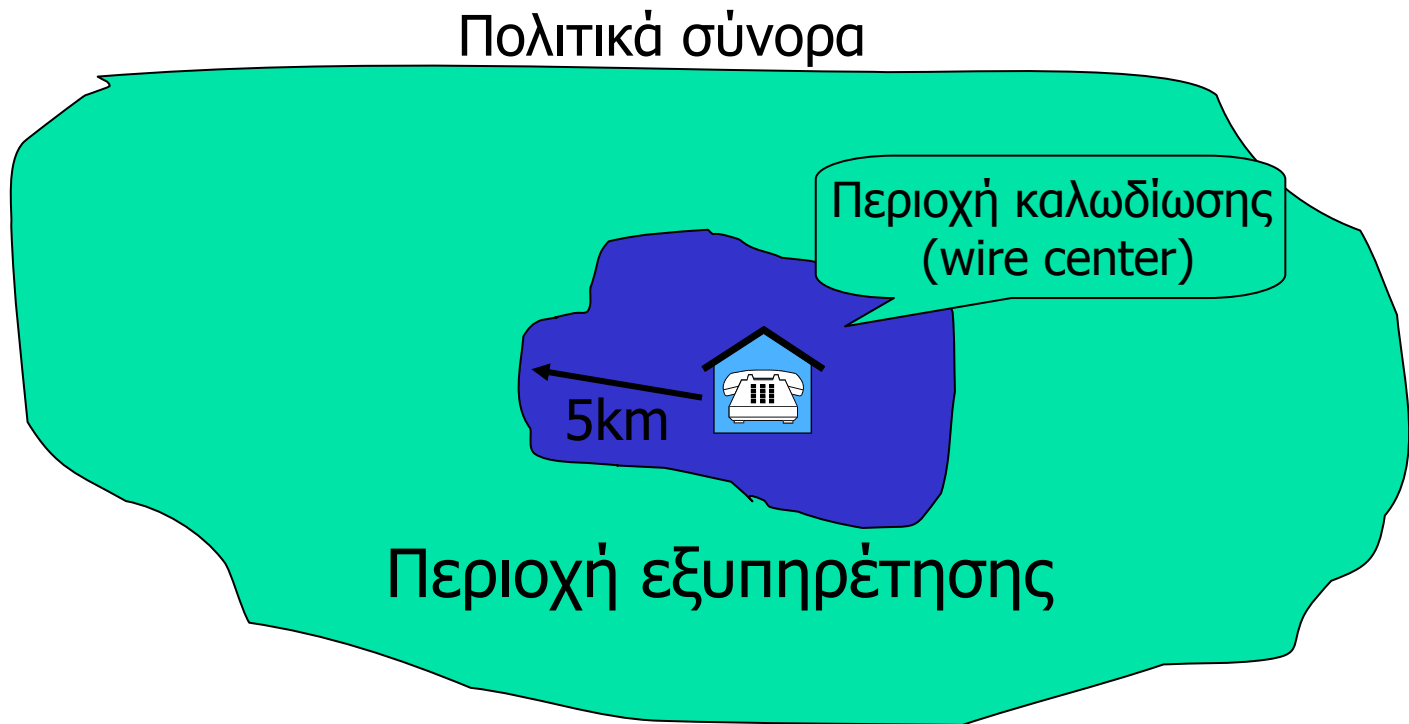


# Συνδρομητικός βρόχος

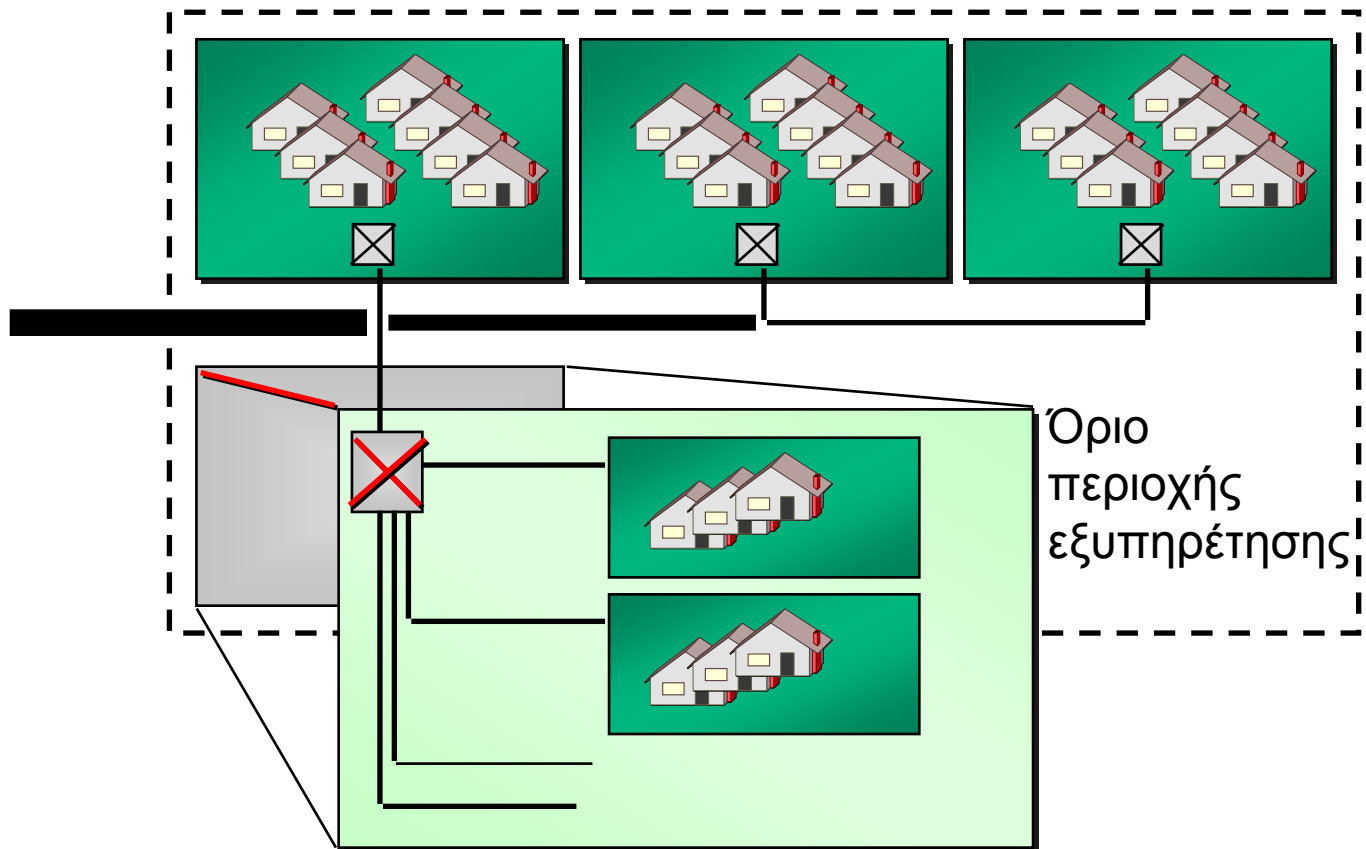
---

- Το τελευταίο χιλιόμετρο (last mile)
  - dc & ac
  - μεγάλο & μικρό ρεύμα
  - χαλκός
  - αναλογικός
  - ακριβός
  - Το μεγαλύτερο μέρος (50% ?) του ενεργητικού
  - Το μεγαλύτερο μέρος (30% ?) των εργασιών

# Περιοχή καλωδίωσης (cable plant)



# Περιοχή καλωδίωσης






# Περιοχή καλωδίωσης

---

- Η περιοχή καλωδίωσης χωρίζεται σε τρία μέρη:
  - Το καλώδιο τροφοδότης (feeder cable) συνδέει το τοπικό κέντρο με την περιοχή εξυπηρέτησης
  - Το καλώδιο διανομής (distribution cable) συνδέει την περιοχή εξυπηρέτησης με τα σπίτια
  - Το καλώδιο απόληξης (drop cable) συνδέει τα σπίτια

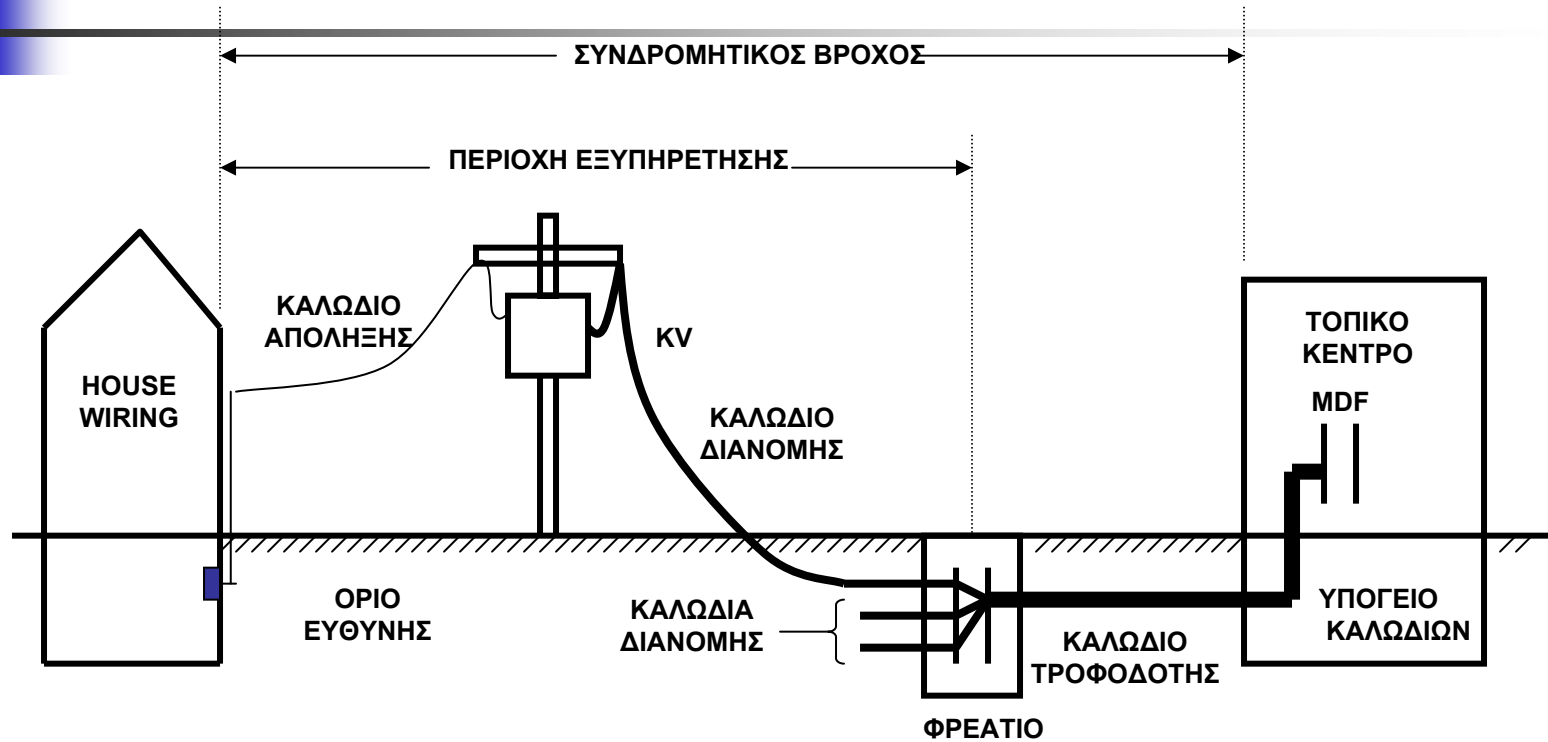


Feeder cable  
(λεπτότερο σύρμα)

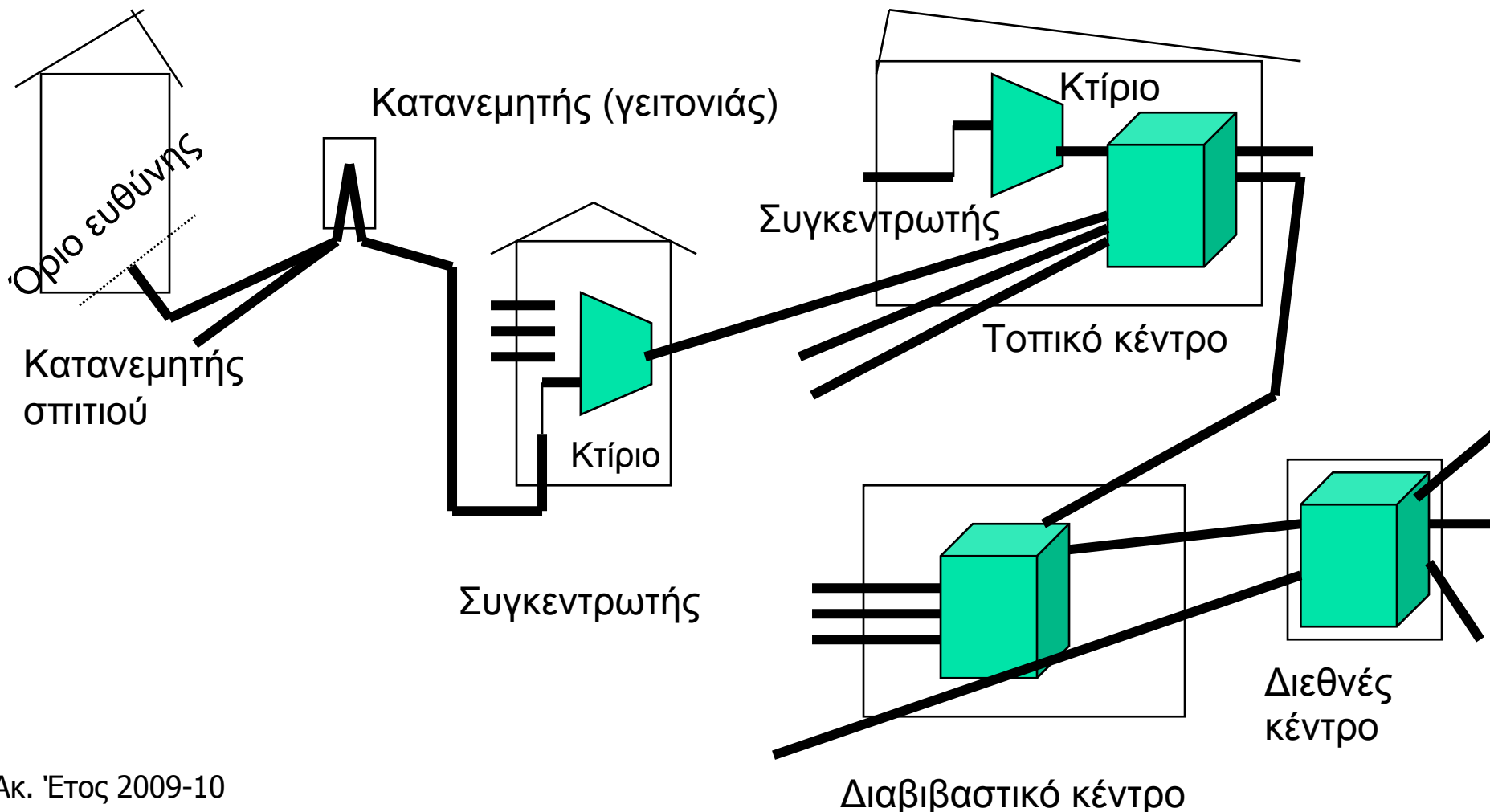
Distribution cable

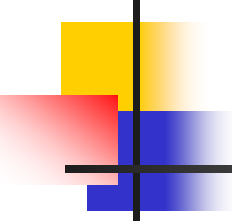
Drop cable  
(παχύτερο σύρμα)

# Περιοχή καλωδίωσης



# Δομή Τηλεφωνικού Δικτύου





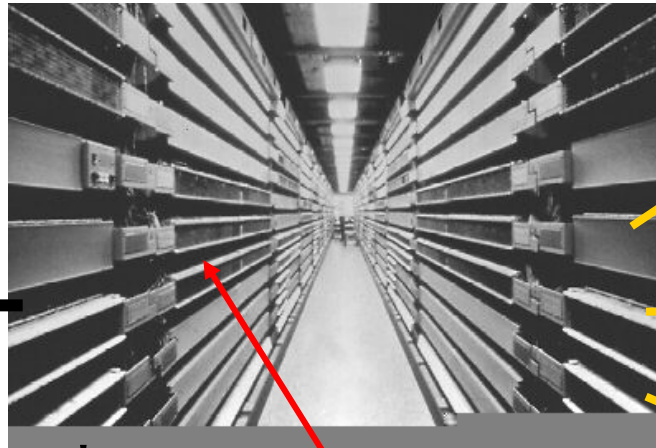
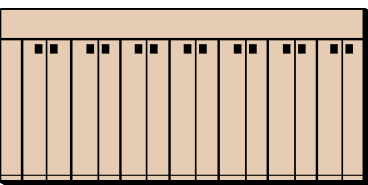
# Ακραίο δίκτυο

---

- Το ενσύρματο δίκτυο από το τοπικό κέντρο μέχρι τις συνδρομητικές συσκευές
- Υποψήφιο για αντικατάσταση από οπτικές ίνες
  - μερικές φορές το κόστος απαγορευτικό
- Κύριο πρόβλημα οι περιορισμοί μήκους λόγω:
  - της ωμικής αντίστασης και
  - απόσβεσης κατά μήκος της γραμμής

# Ακραίο δίκτυο

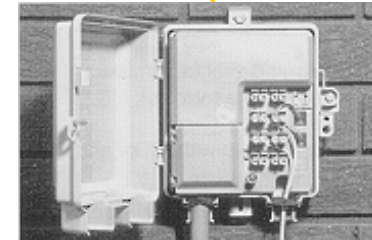
Ακραίος  
κατανομητής  
(Pedestal)



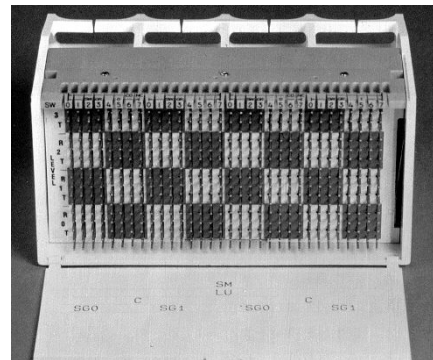
Κύριος Κατανομητής  
MDF (Main Distribution  
Frame)



Βρόχοι a/b



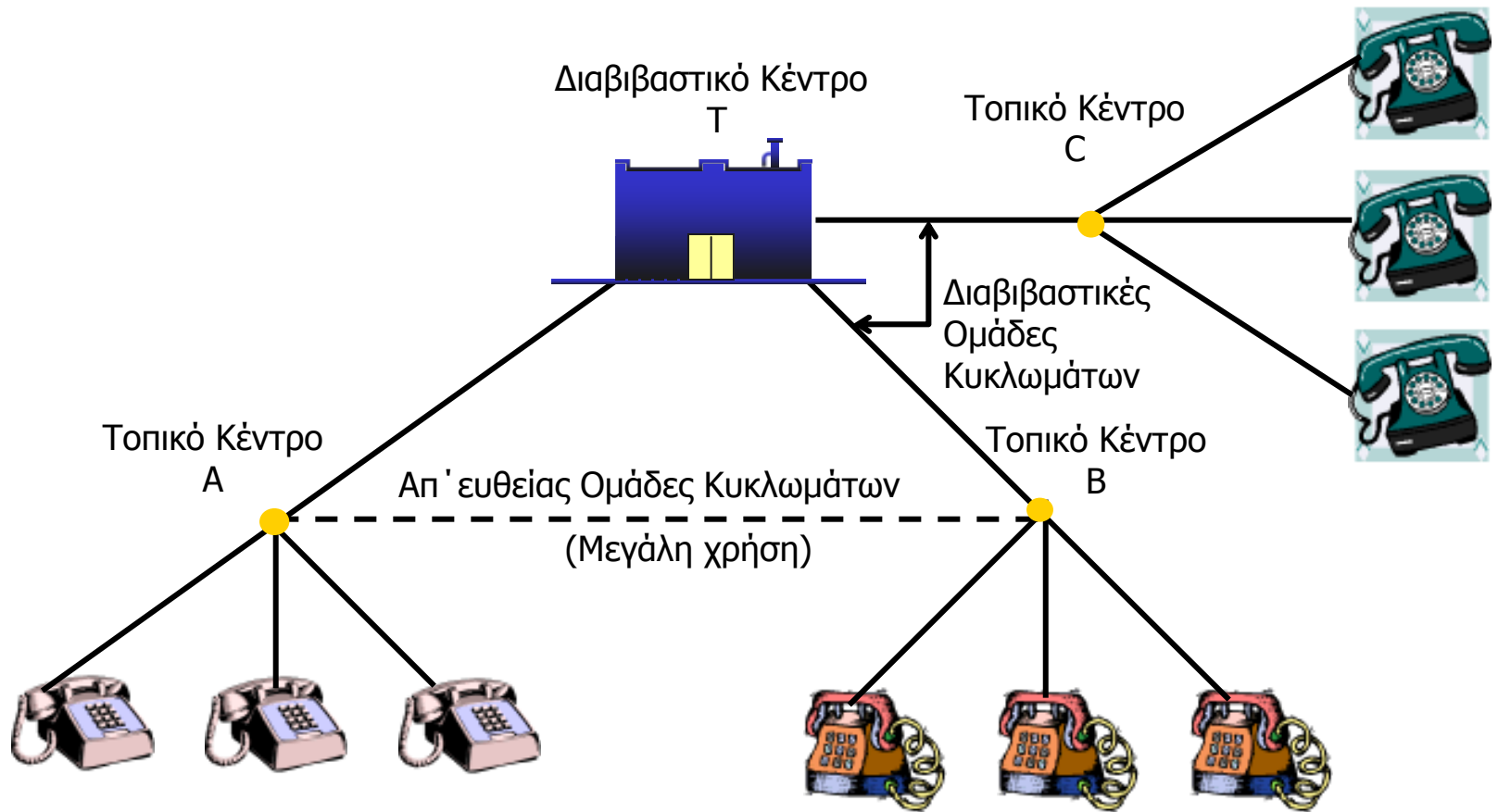
Κυτίο  
διασύνδεσης  
NID (Network  
Interface  
Device)



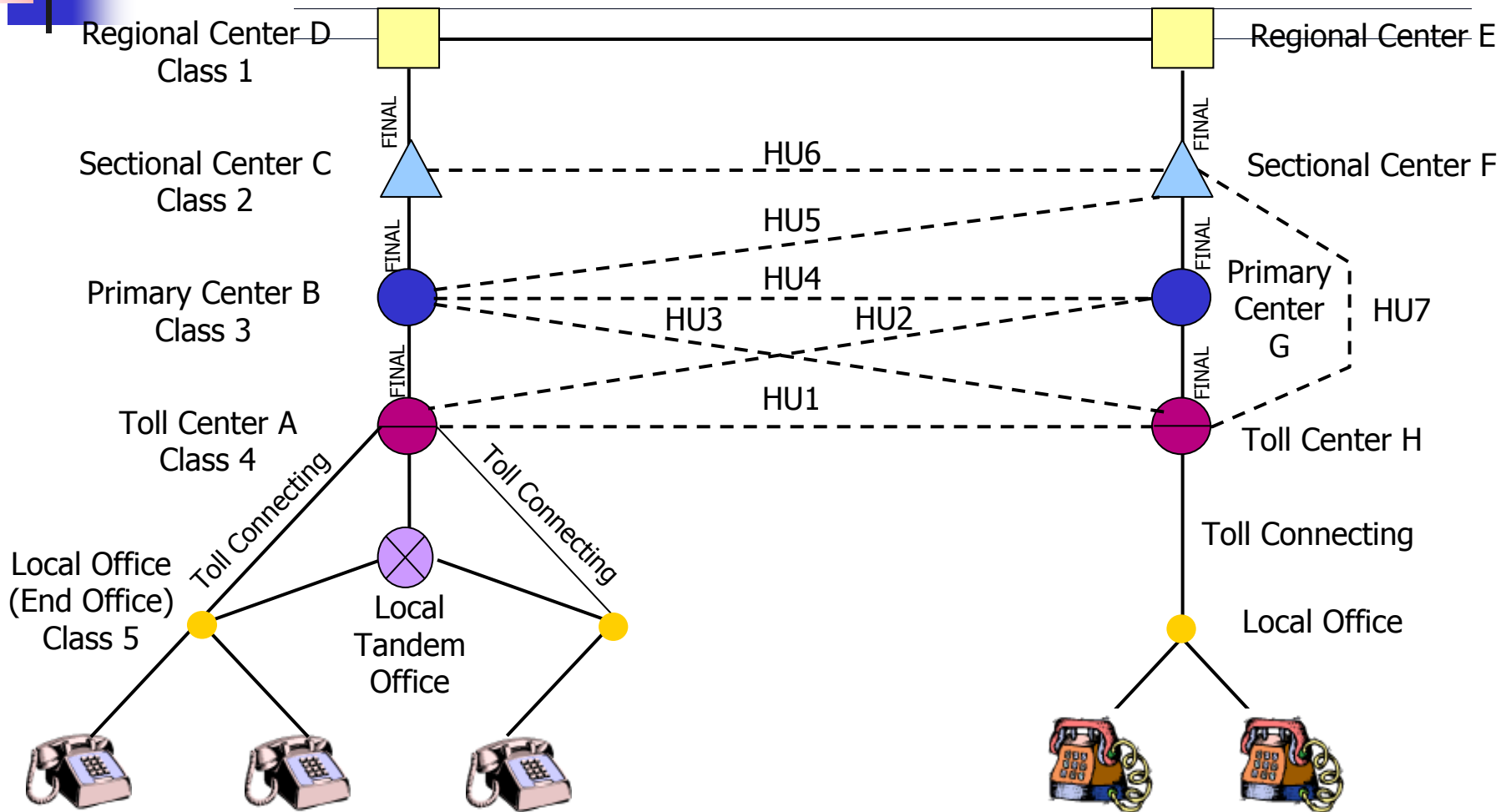
Μεικτονομητής  
(connecting  
block)



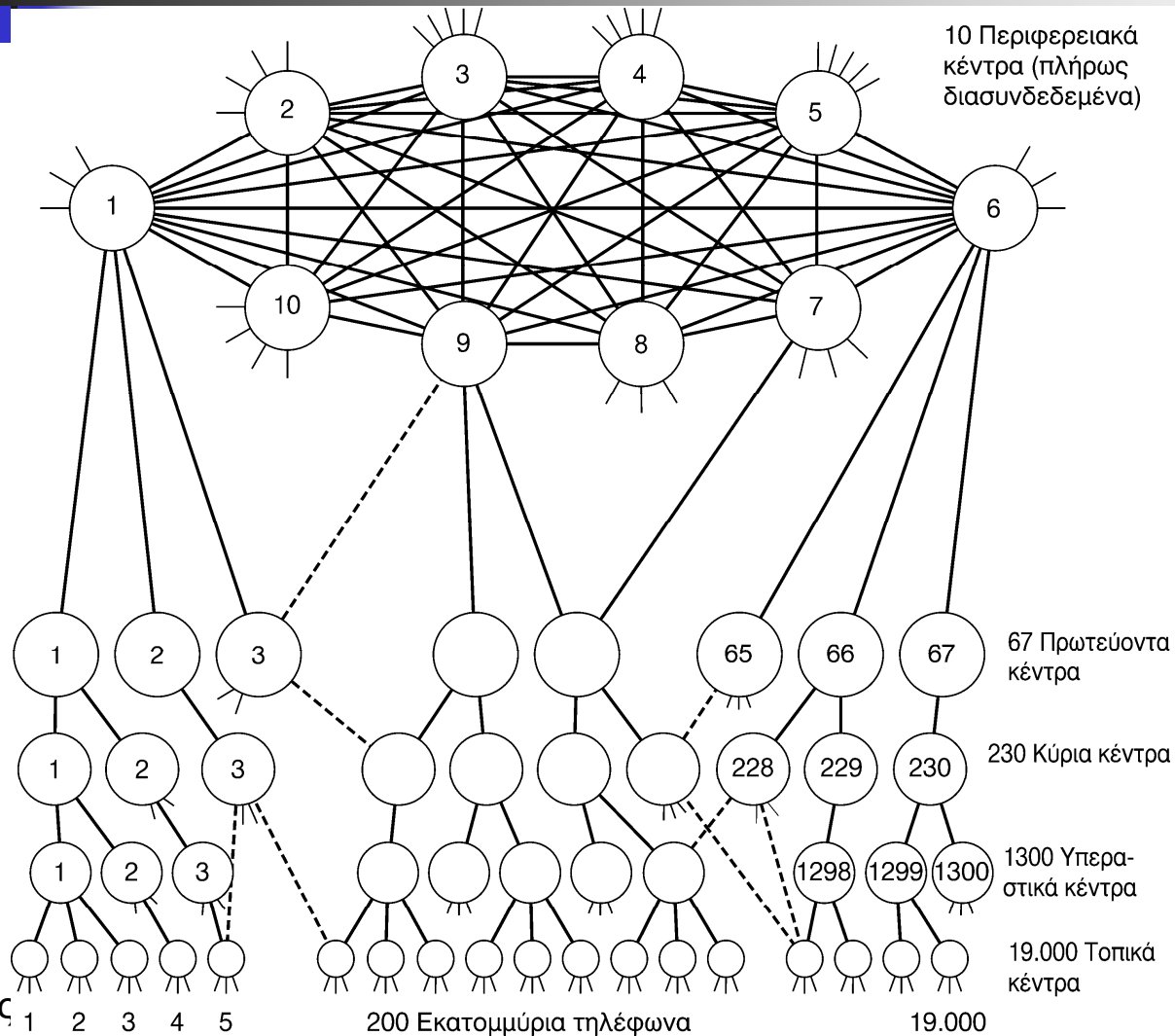
# Τοπική κλήση



# Υπεραστική κλήση



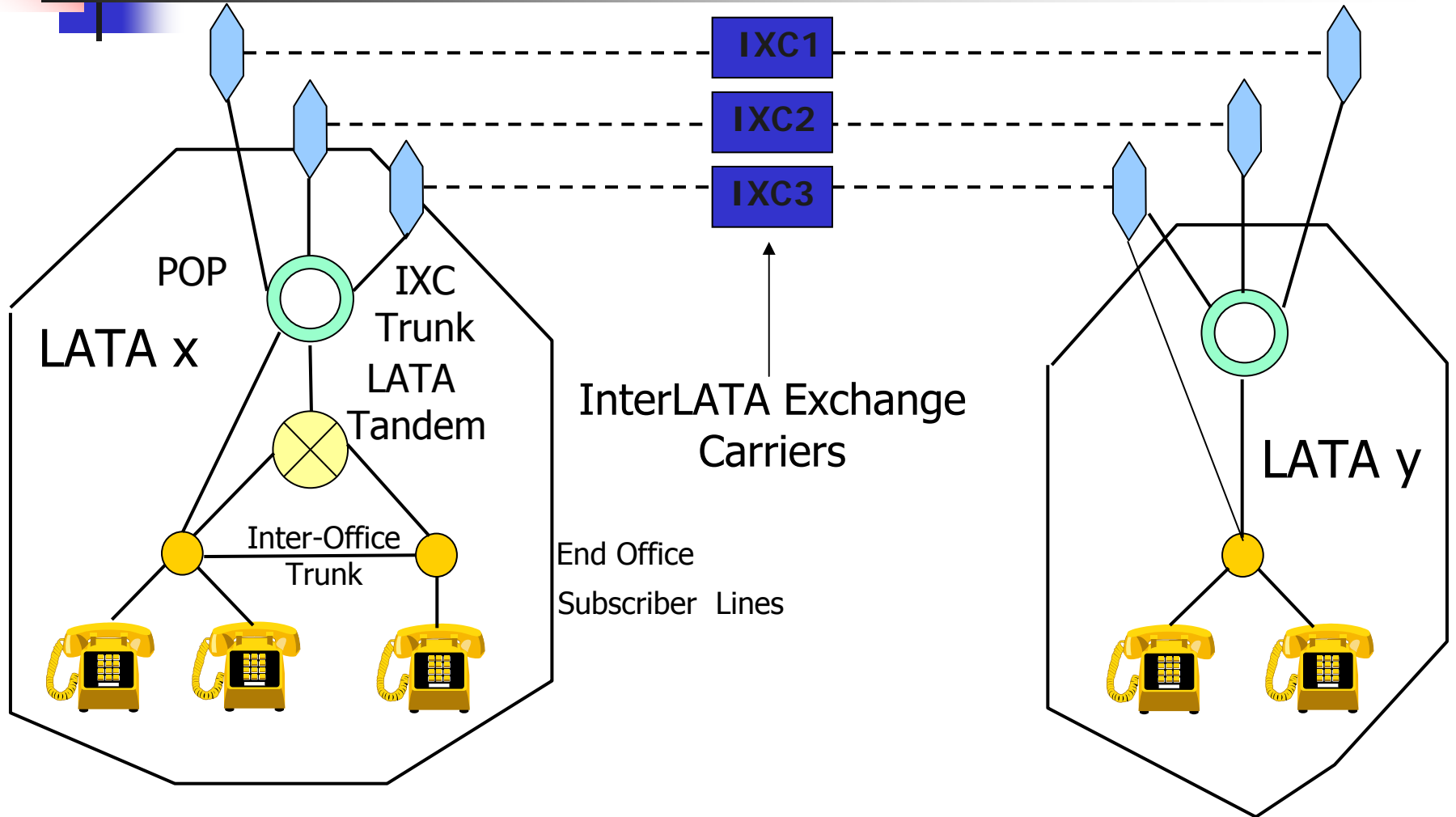
# Ιεραρχία τηλεφωνικού συστήματος στις ΗΠΑ



# Τηλεφωνικό σύστημα στις ΗΠΑ προ της απογύμνωσης

- Προ της απογύμνωσης (1984) η AT&T διατηρούσε
  - ένα ιεραρχικό σύστημα μεταγωγής (επαυξημένο, μη πλήρες -mesh- δίκτυο κυκλωμάτων υψηλής χωρητικότητας) για άμεσες υπεραστικές κλήσεις (Direct Distance Dialing - DDD)
  - πέντε επιπέδων μεταγωγής (τοπικά κέντρα class 5 μέχρι πρωτεύοντα κέντρα class 1)
  - όπου η κίνηση δρομολογείται από τη διαδρομή χαμηλότερου επιπέδου (διαδρομή 1<sup>ης</sup> επιλογής)
  - οι εναλλακτικές διαδρομές χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει αποκλεισμός στην 1<sup>η</sup> επιλογή
- τοπικές τηλεφωνικές υπηρεσίες παρείχαν και ανεξάρτητοι (1981, 23.5k non-Bell προς 20.8k Bell Class 5)

# Post-divestiture PSTN



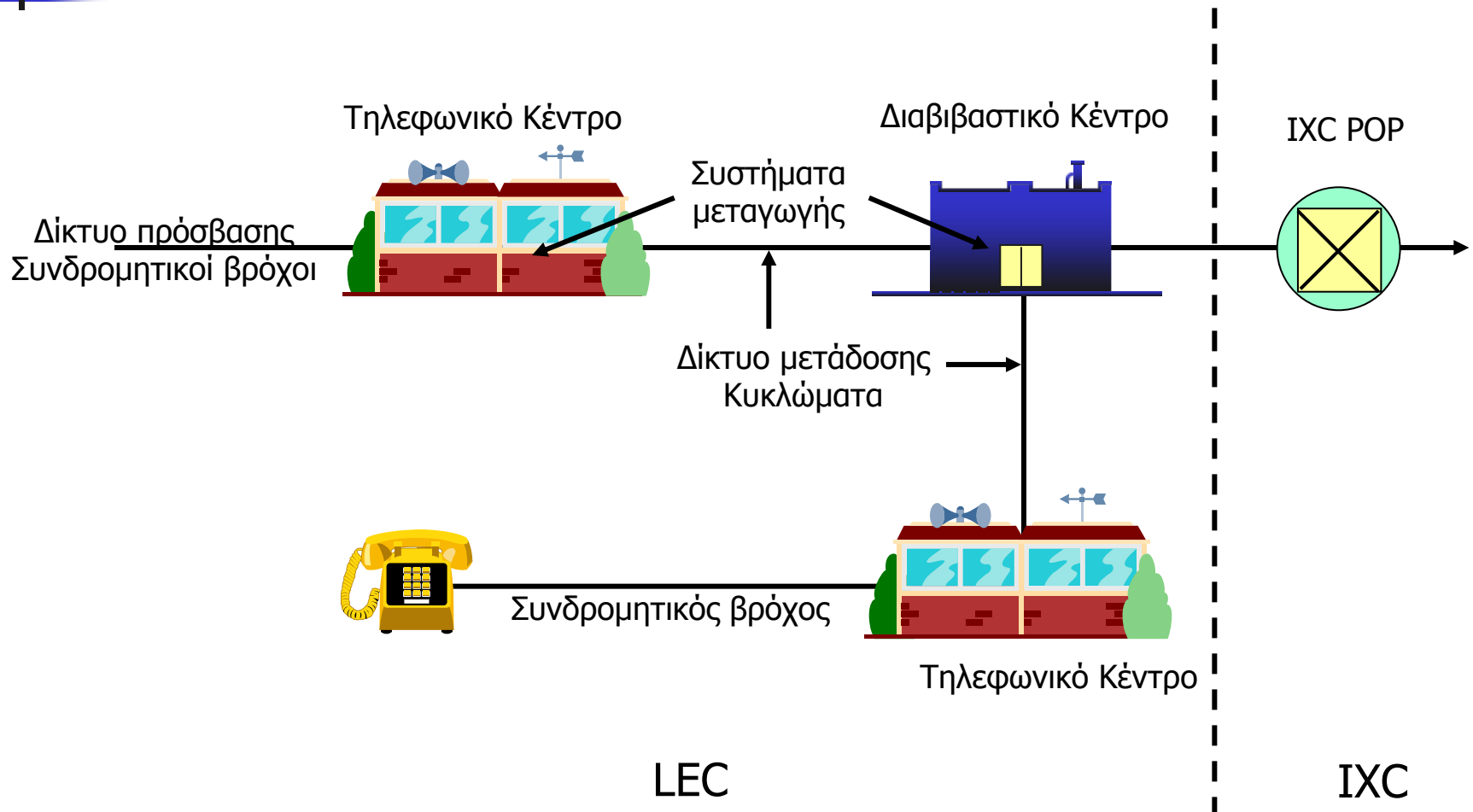


# PSTN μετά την απογύμνωση

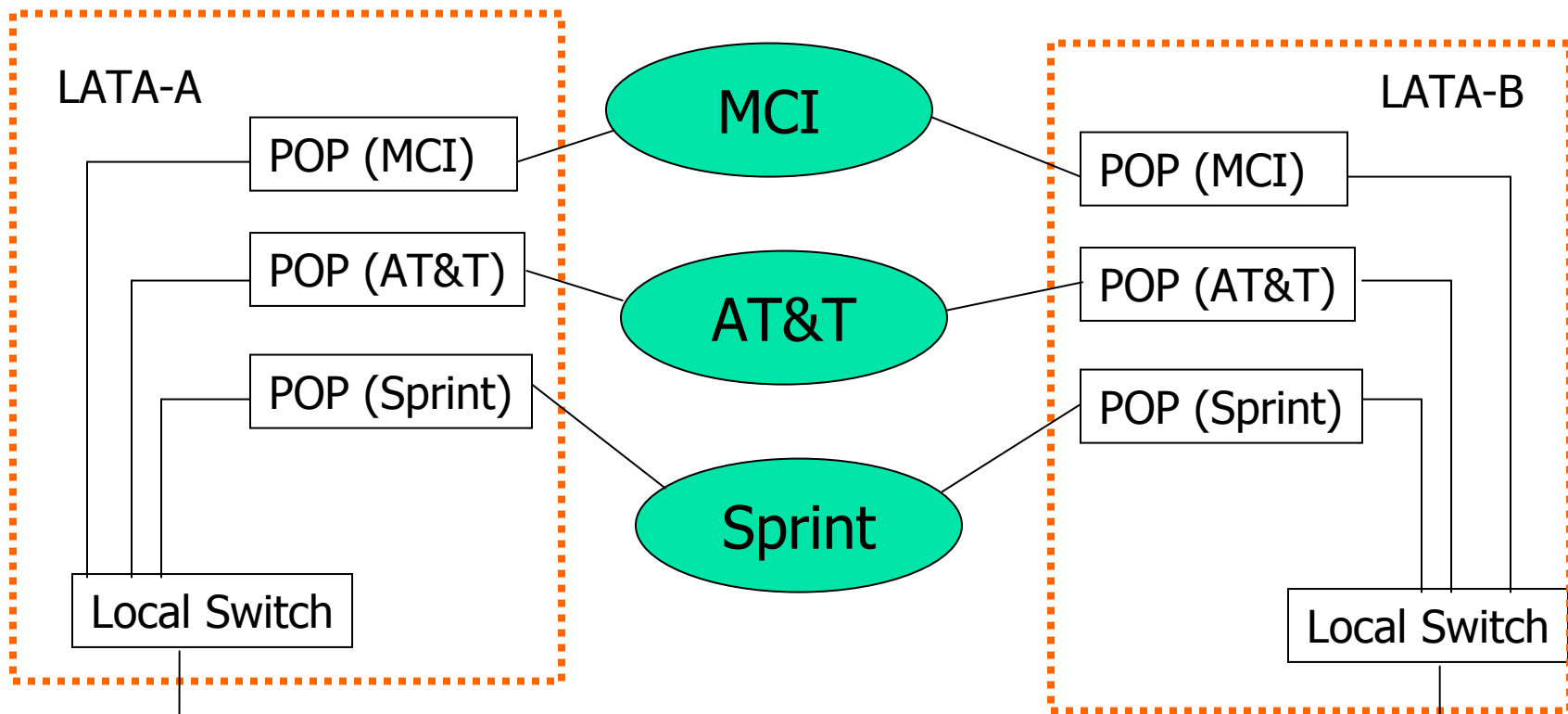
---

- IXC (Inter-Exchange Carrier): Παρέχουν υπεραστικές τηλεφωνικές υπηρεσίες
- LEC (Local Exchange Carrier): Παρέχουν τοπικές τηλεφωνικές υπηρεσίες
  - 100% των τοπικών κέντρων (class 5) και το 20% των υπεραστικών κέντρων (class 4 - LATA Tandem) δόθηκε στους LEC
- LEC οφείλουν να χρησιμοποιούν IXC για τη μεταφορά της κίνησης έξω από τα όρια της LATA (Local Access & Transport Area) (απαγορεύεται στους LEC να προσφέρουν υπεραστικές υπηρεσίες)
- LATA χωρίστηκαν σε πολλές LCA (Local Calling Areas), όπου οι κλήσεις εντός της LCA είναι αστικές, ενώ μεταξύ των LCA "τοπικές υπεραστικές - local toll"
- LEC πρέπει να παρέχουν στους IXC ίση πρόσβαση (equal access) στα σημεία παρουσίας POP (Point of Presence)
- Το δίκτυο των IXC τείνει να γίνει πιο επίπεδο (λιγότερο ιεραρχικό) με την πάροδο του χρόνου

# Τυπικό δίκτυο LEC



# Κλήση Inter-LATA







# Διαστασιολόγηση

---

## Traffic Engineering



# Διαστασιολόγηση

---

- Δισεκατομμύρια τηλέφωνα (φωνή) συν υπολογιστές, φαξ, κλπ)
- Φανταστείτε όλους τους χρήστες να θέλουν να μιλήσουν ταυτόχρονα
- Στην πραγματικότητα δεν συμβαίνει
  - Τυχαίες διάρκειες κλήσεων σε τυχαίες χρονικές στιγμές
- Ισορροπία κόστους και πρακτικότητας με αποδοχή μιας μικρής πιθανότητας αποτυχίας (αποκλεισμός)



# Γιατί χρειαζόμαστε την διαστασιολόγηση

---

- Οι χρήστες να ακούν το σήμα κέντρου (όταν σηκώσουν το ακουστικό)
  - Κατάληψη γραμμής
- Οι χρήστες να κάνουν τη κλήση (εγκατάσταση κλήσης)
  - Χωρητικότητα σηματοδοσίας
  - Χωρητικότητα μεταγωγέων
  - Χωρητικότητα γραμμών
  - Απόλυση γραμμής
- Για ποιους λόγους αποτυγχάνει η εγκατάσταση της κλήσης?
  - Συμφόρηση. Πού?



# Ορισμός διαστασιολόγησης

---

- Η μαθηματική μοντελοποίηση της ζήτησης σε ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο και ο προσδιορισμός των αναγκαίων πόρων για την ικανοποίησή τους
  - Ζήτηση: πλήθος εισερχόμενων κλήσεων
  - Πόροι: αριθμός γραμμών/ζεύξεων



# Διαστασιολόγηση

---

- Δίκτυο μετάδοσης
  - Πόσα κυκλώματα χρειάζονται
  - Πόσα παρέχονται
- Μεταγωγή
  - Πώς δρομολογούνται αποδοτικά οι κλήσεις;
- Τοπολογία
  - Αριθμός και θέση κόμβων
  - Αριθμός και θέση ζεύξεων
  - Επιβιωσιμότητα

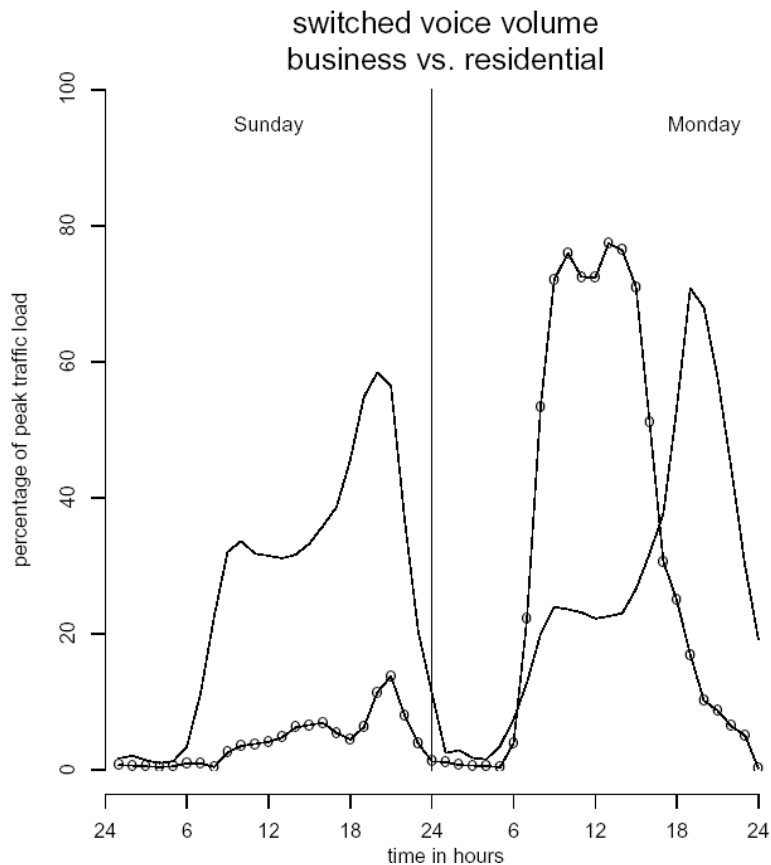


# Τηλεφωνική κίνηση

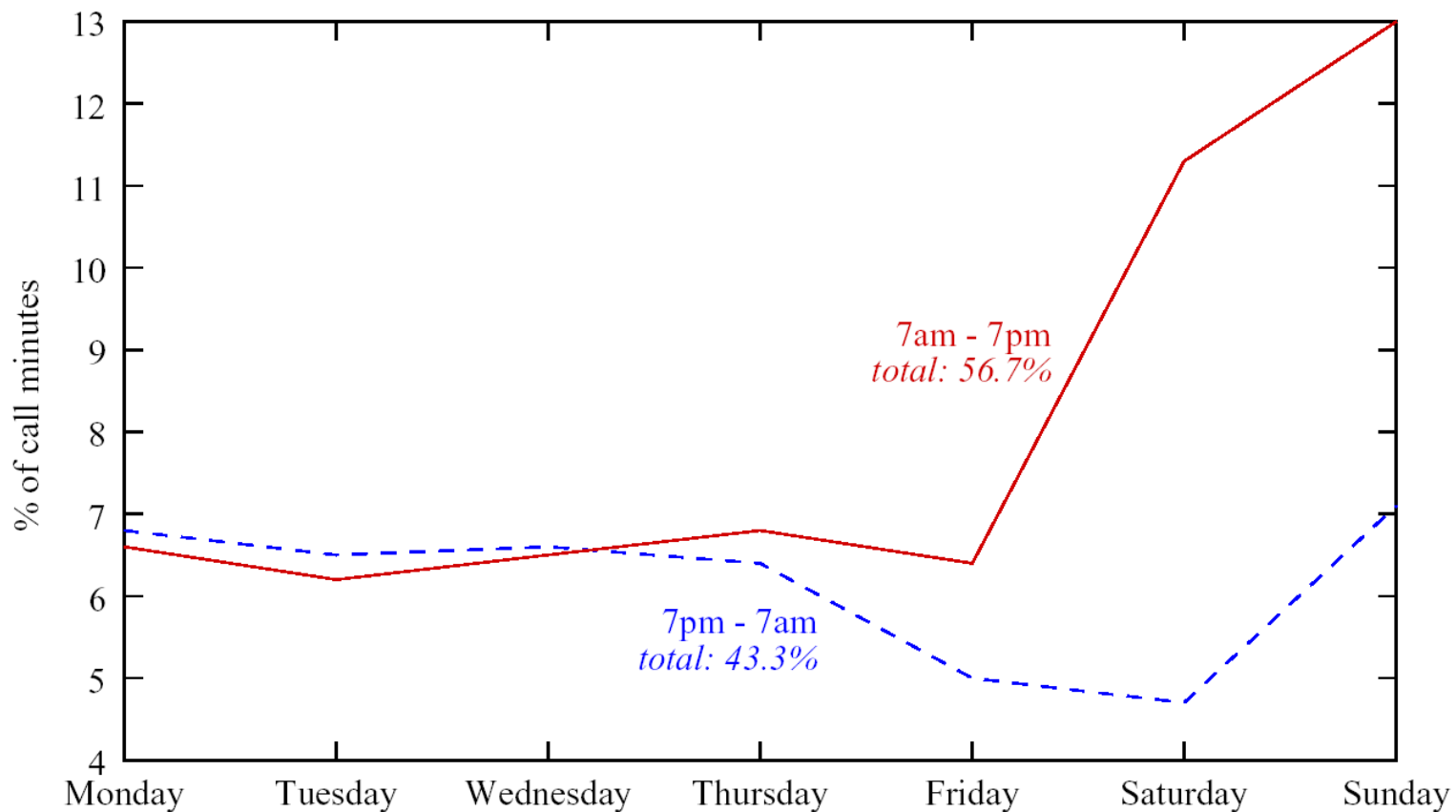
---

- 0.1 Erlang = μιλά το 10% του χρόνου
- CCS = εκατοντάδες δεπτερολέπτων ανά ώρα
- 36 CCS = 1 Erlang
- Σηματοδοσία: κλήσεις στη διάρκεια της ώρας αιχμής
  - BHCA = busy hour call attempts

# Ημερήσια μεταβολή της τηλεφωνικής κίνησης



# Εβδομαδιαία μεταβολή της τηλεφωνικής κίνησης





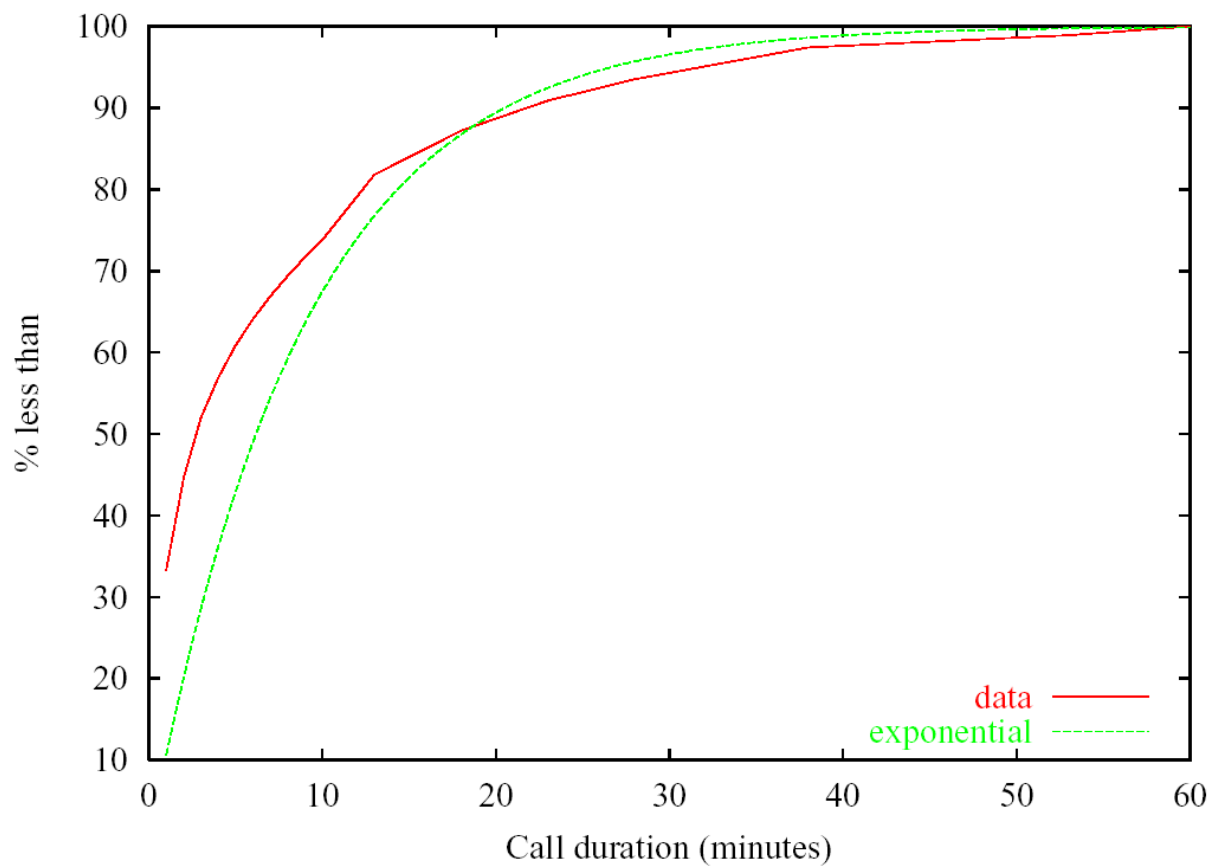


# Διάρκεια κλήσεων

---

- τοπικές κλήσεις: 2.4 min
- επιχειρηματικές κλήσεις: 3.5 min
- υπεραστικές: 8.9 min
- διεθνείς: 5.1 min

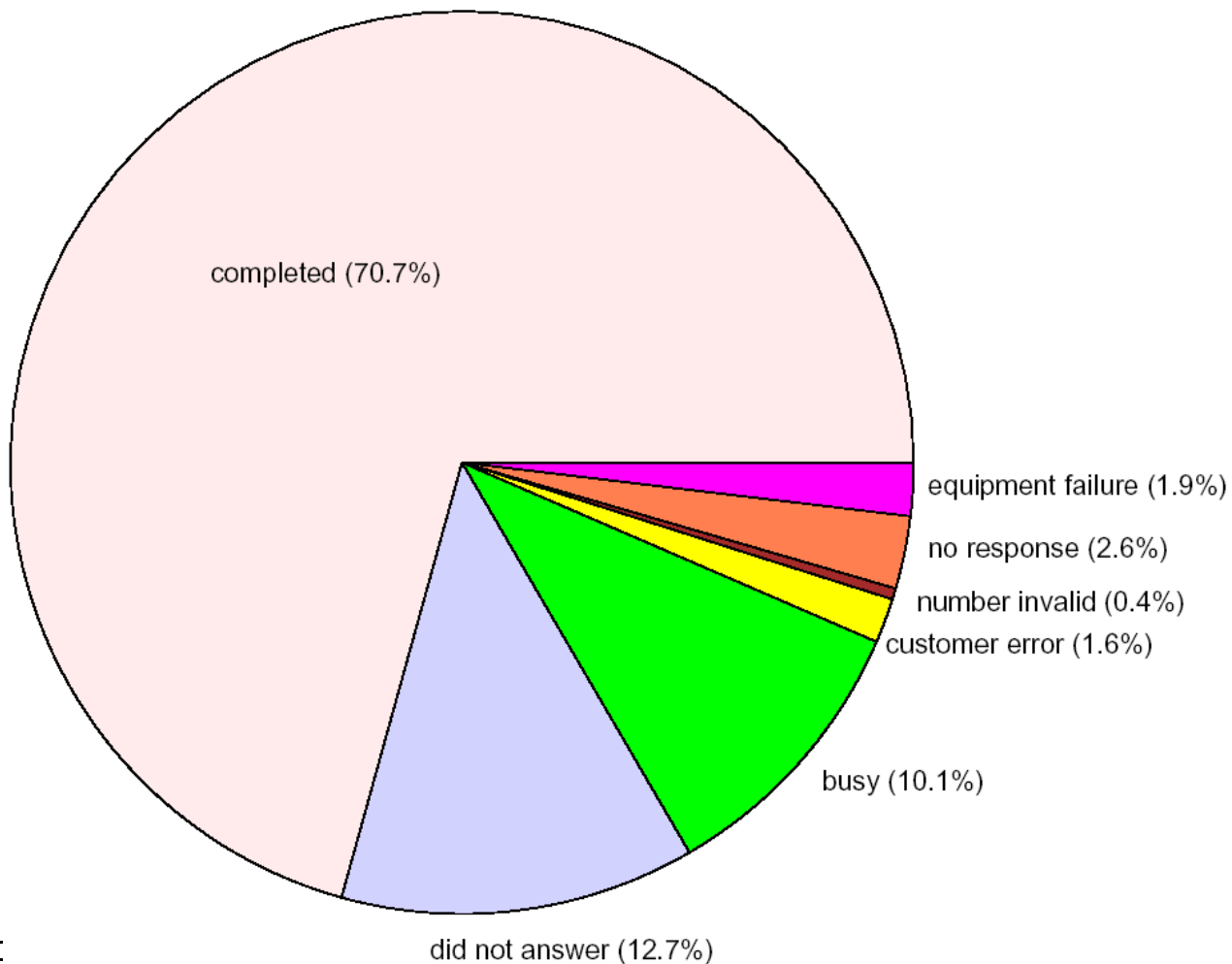
# Κατανομή διάρκειας κλήσεων



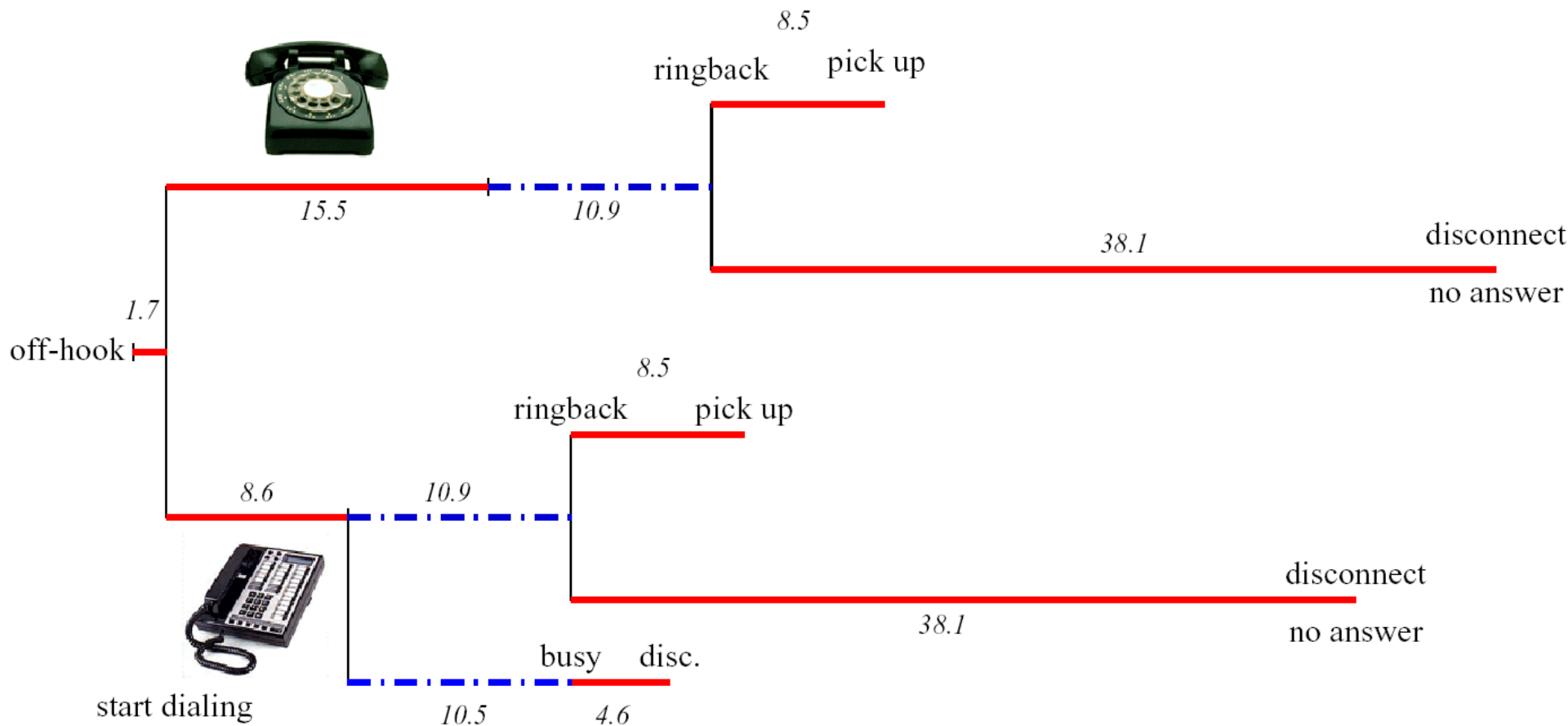
# Κατανομή διάρκειας υπεραστικών κλήσεων ως προς την απόσταση

distance (mi)	% calls	duration (min.)
1 – 10	5.1	4.6
11 – 22	20.2	5.1
23 – 55	23.2	5.9
56 – 124	13.3	7.7
125 – 292	12.1	9.4
293 – 430	4.6	10.4
431 – 925	9.7	11.9
926 – 1910	8.5	11.9
> 1910	3.2	11.2
average	310 mi.	7.8

# Απόπειρες κλήσεων



# Διάρκεια εγκατάστασης κλήσεων





# Αξιοπιστία

---

- “Εννιάρια”
- 90%                    36.5    ημέρες/έτος
- 99%                     3.65    ημέρες/έτος
- 99.9%                 8.8     ώρες/έτος
  - Καλός ISP
- 99.99%                53      min/έτος
- 99.999%              5        min/έτος
  - Τηλεφωνικό σύστημα
- 99.9999%            32      sec/έτος