



Τηλεφωνία

Το τηλεφωνικό σύστημα



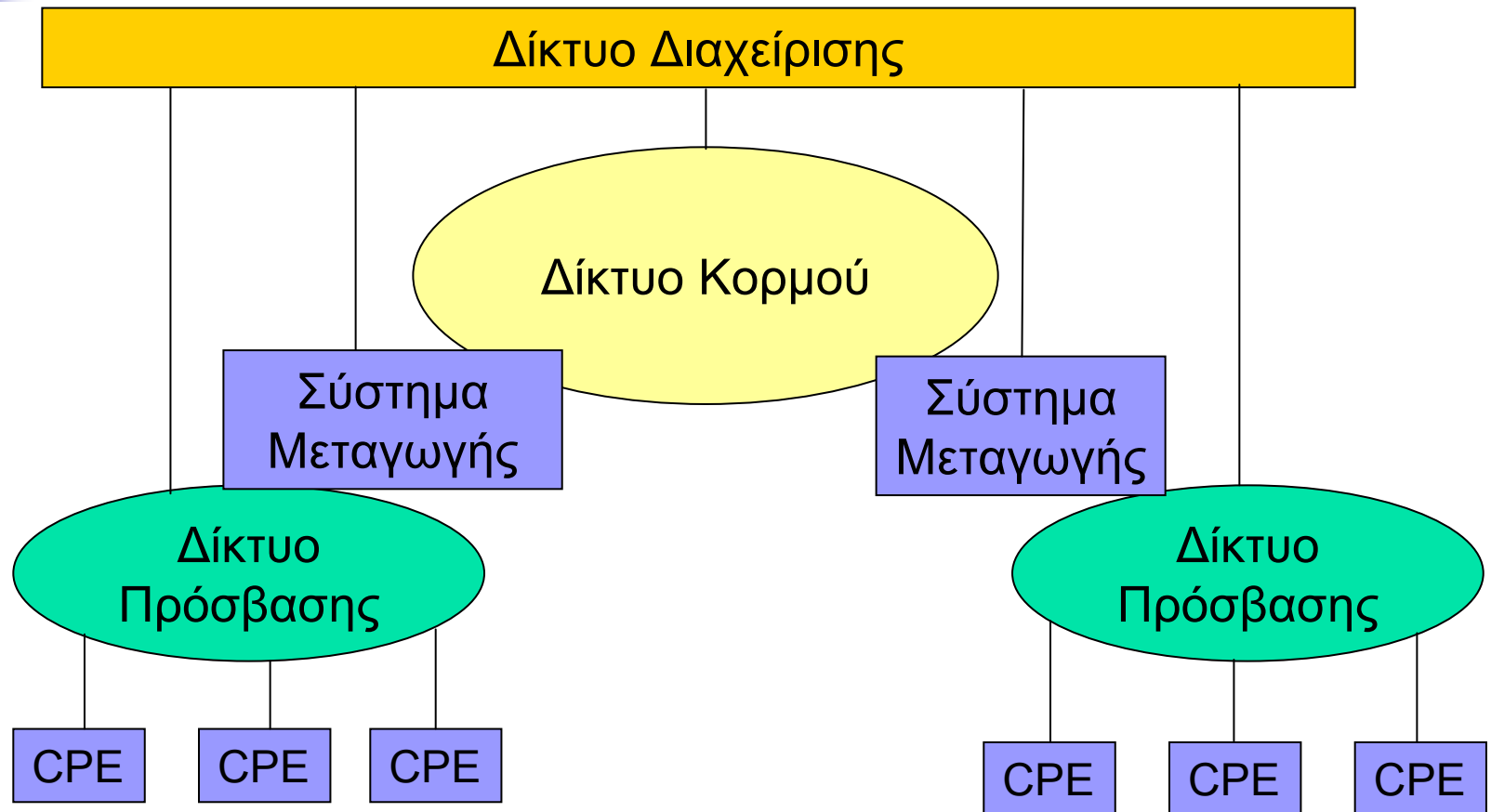
Δομή τηλεφωνικού δικτύου



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 0,410 mm²
- Μέσο μήκος σύνδεσης 2000 km
- Μέσος όγκος χαλκού 25×10^6 km³
- Έκταση ΗΠΑ-Καναδά $19,8 \times 10^6$ km²
- Βάθος συρμάτωσης 1,24 km

Public Switched Telephone Network (PSTN)



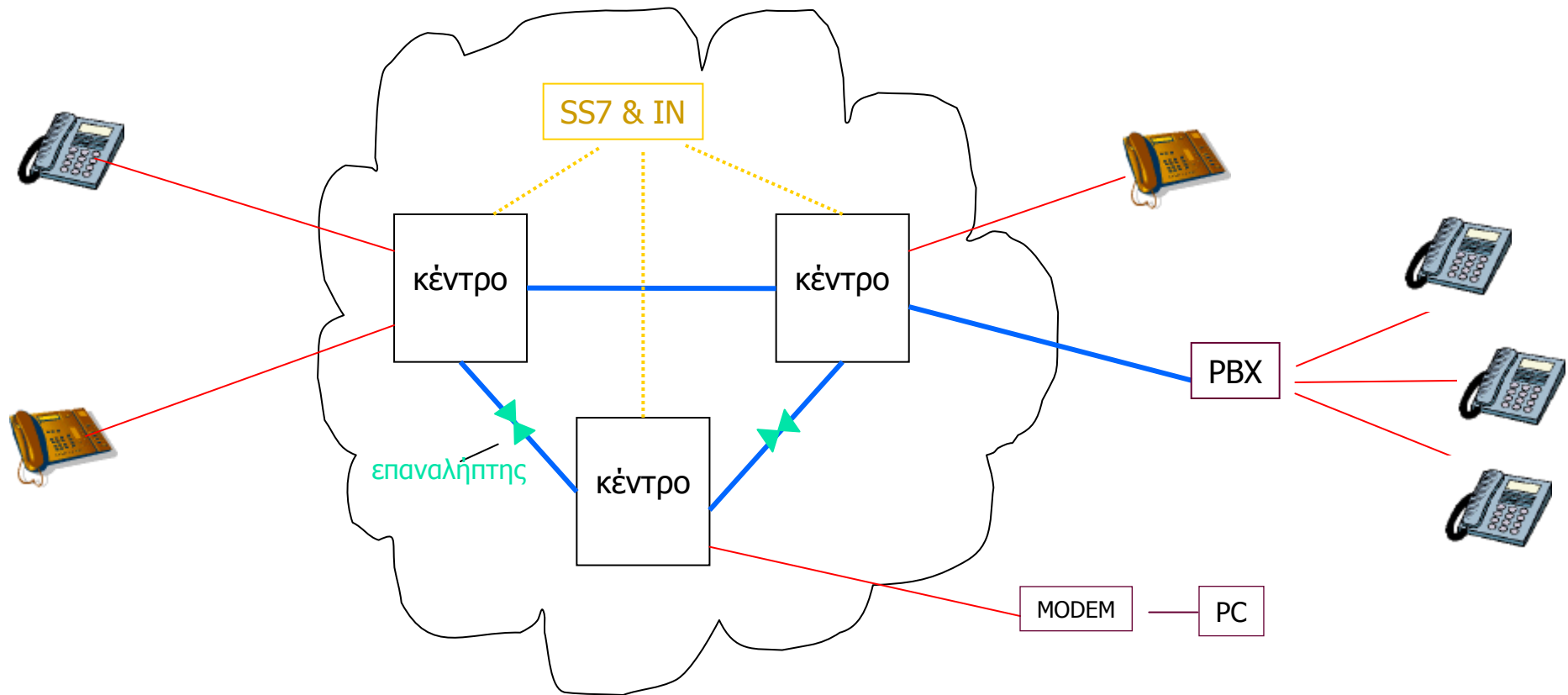
CPE: Customer Premise Equipment



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, ...)
 - σηματοδοσία και έλεγχο (π.χ. SS7 και IN)

Το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN)

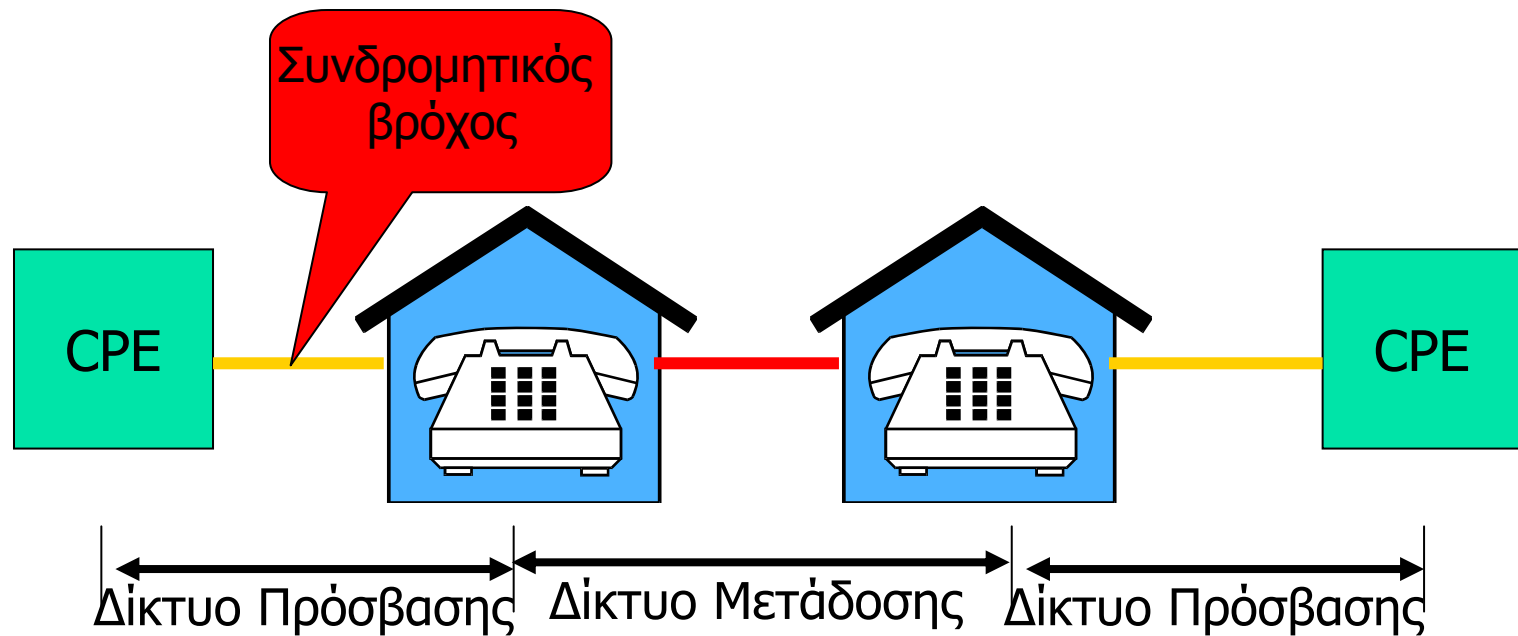


Συνδρομητικός εξοπλισμός (CPE)



- 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



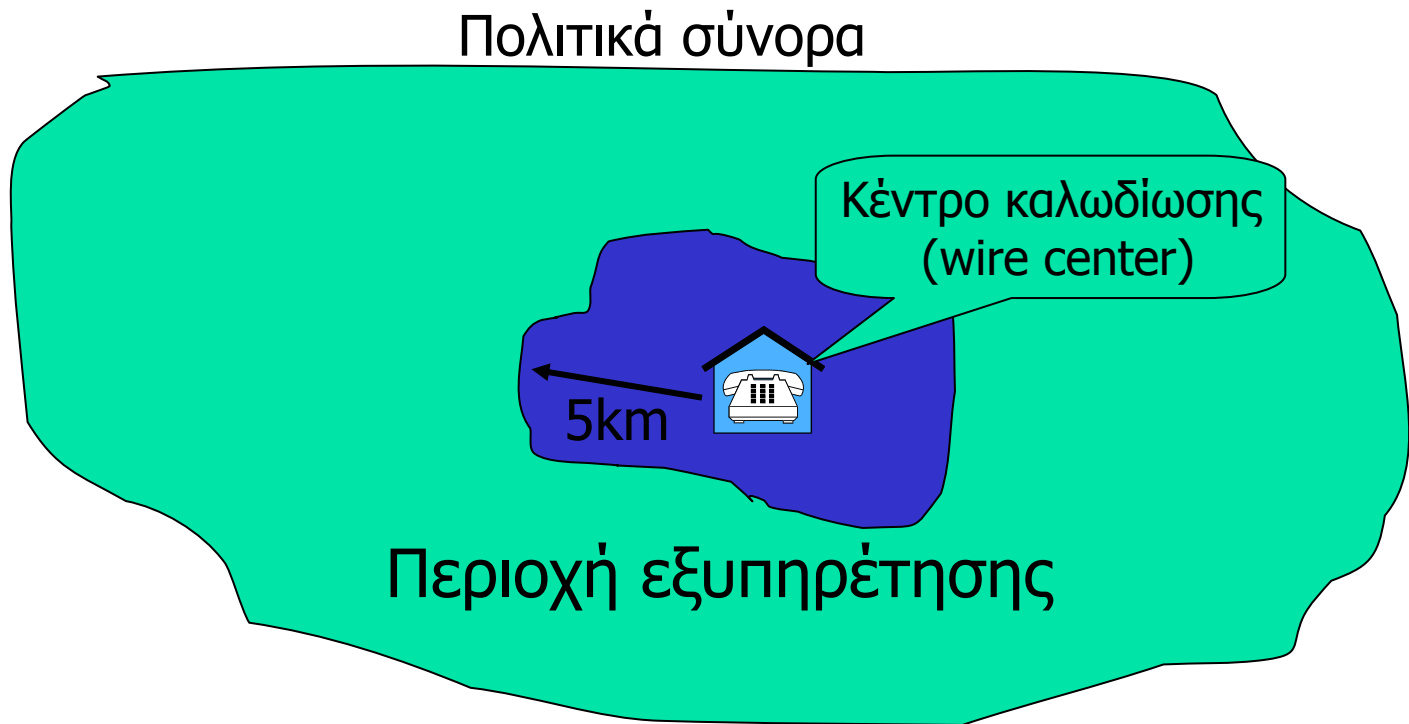
CPE = Customer Premises Equipment = Συνδρομητικός εξοπλισμός



Συνδρομητικός βρόχος

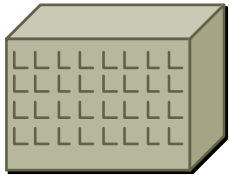
- Το τελευταίο χιλιόμετρο (last mile)
 - dc & ac
 - μεγάλο & μικρό ρεύμα
 - χαλκός
 - αναλογικός
 - ακριβός (6 € /Kg)
 - Το μεγαλύτερο μέρος (~50%) του ενεργητικού
 - Το μεγαλύτερο μέρος (~30%) των εργασιών

Περιοχή καλωδίωσης (cable plant)

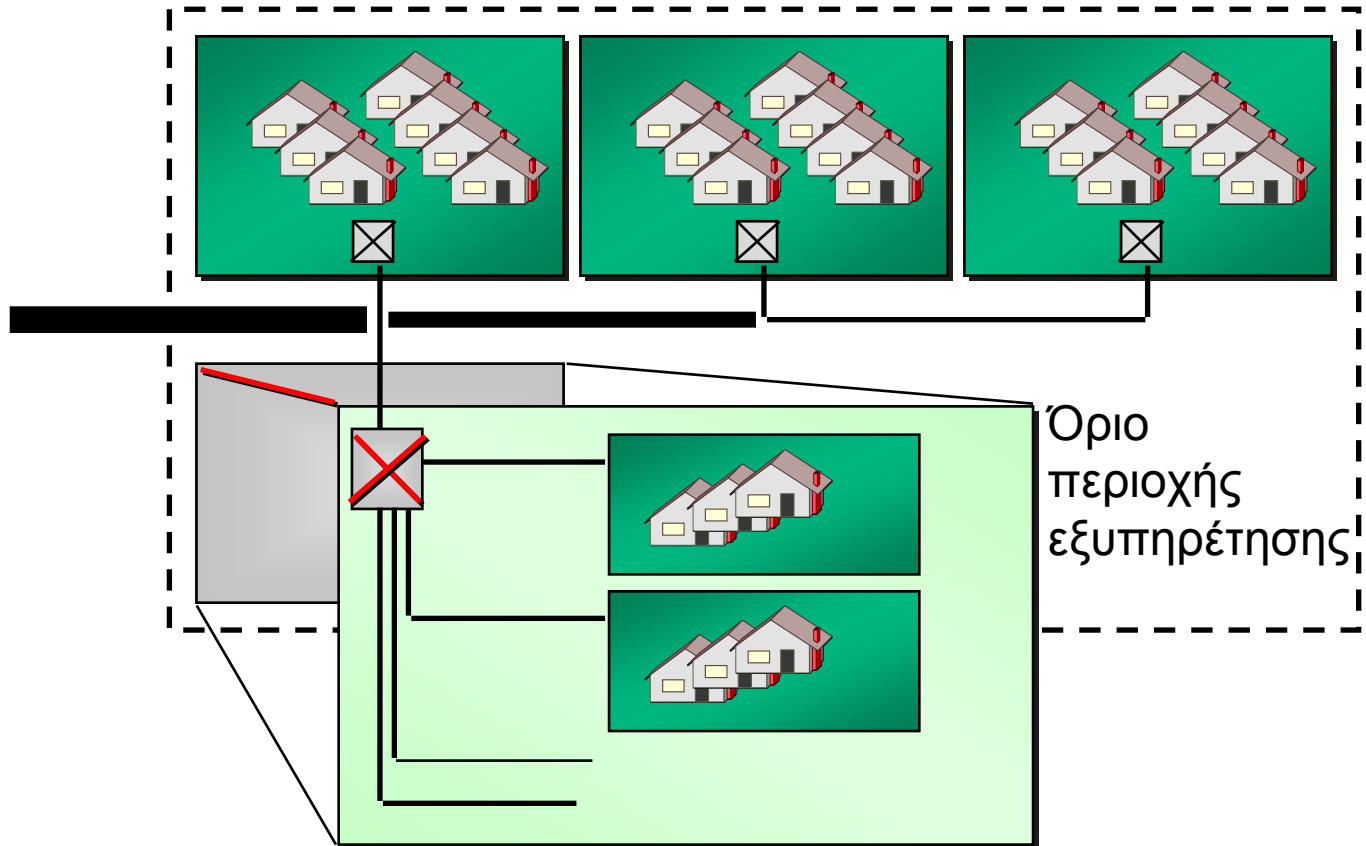


Περιοχή καλωδίωσης

Τηλεφωνικό
κέντρο




~30.000
γραμμές





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

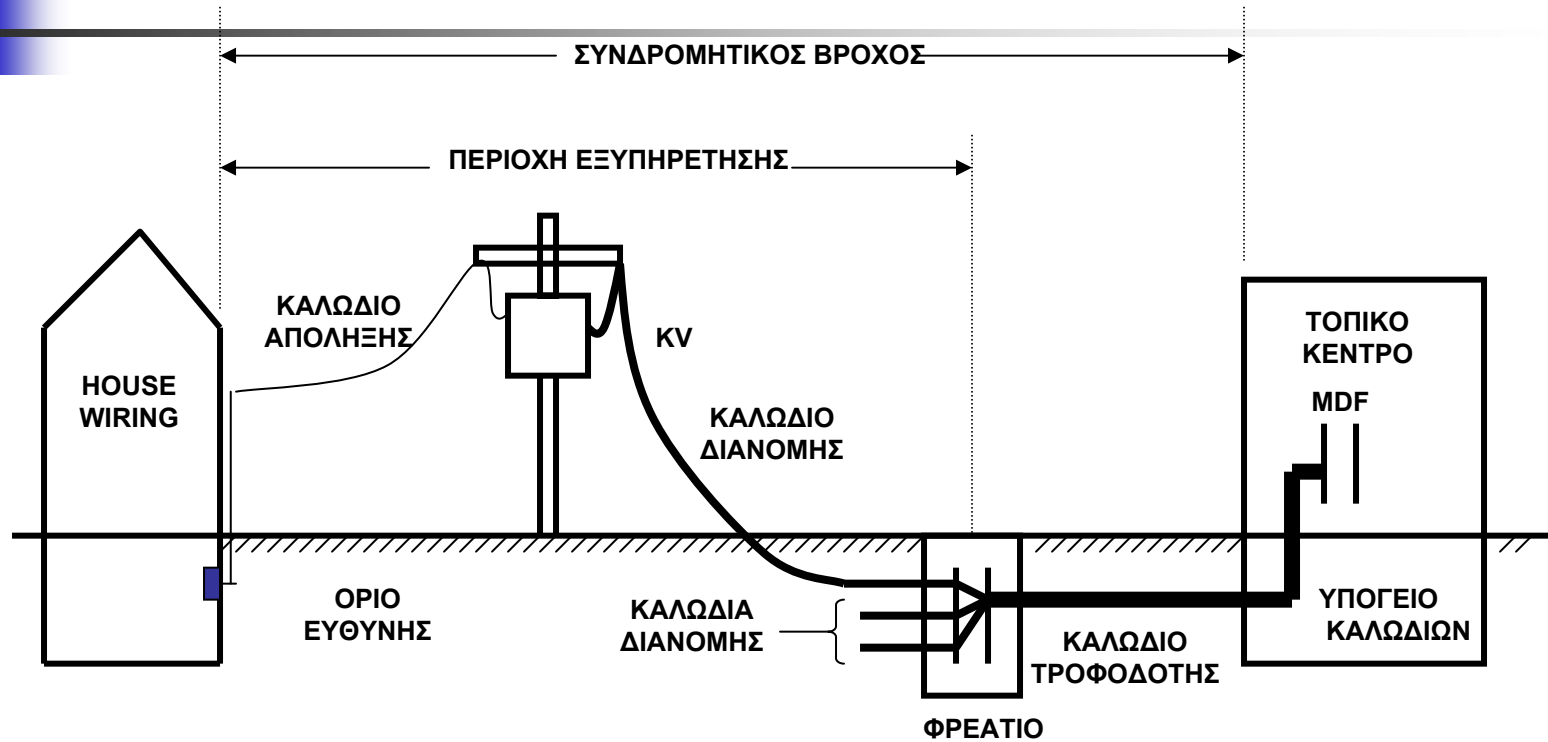


Feeder cable
(λεπτότερο σύρμα)

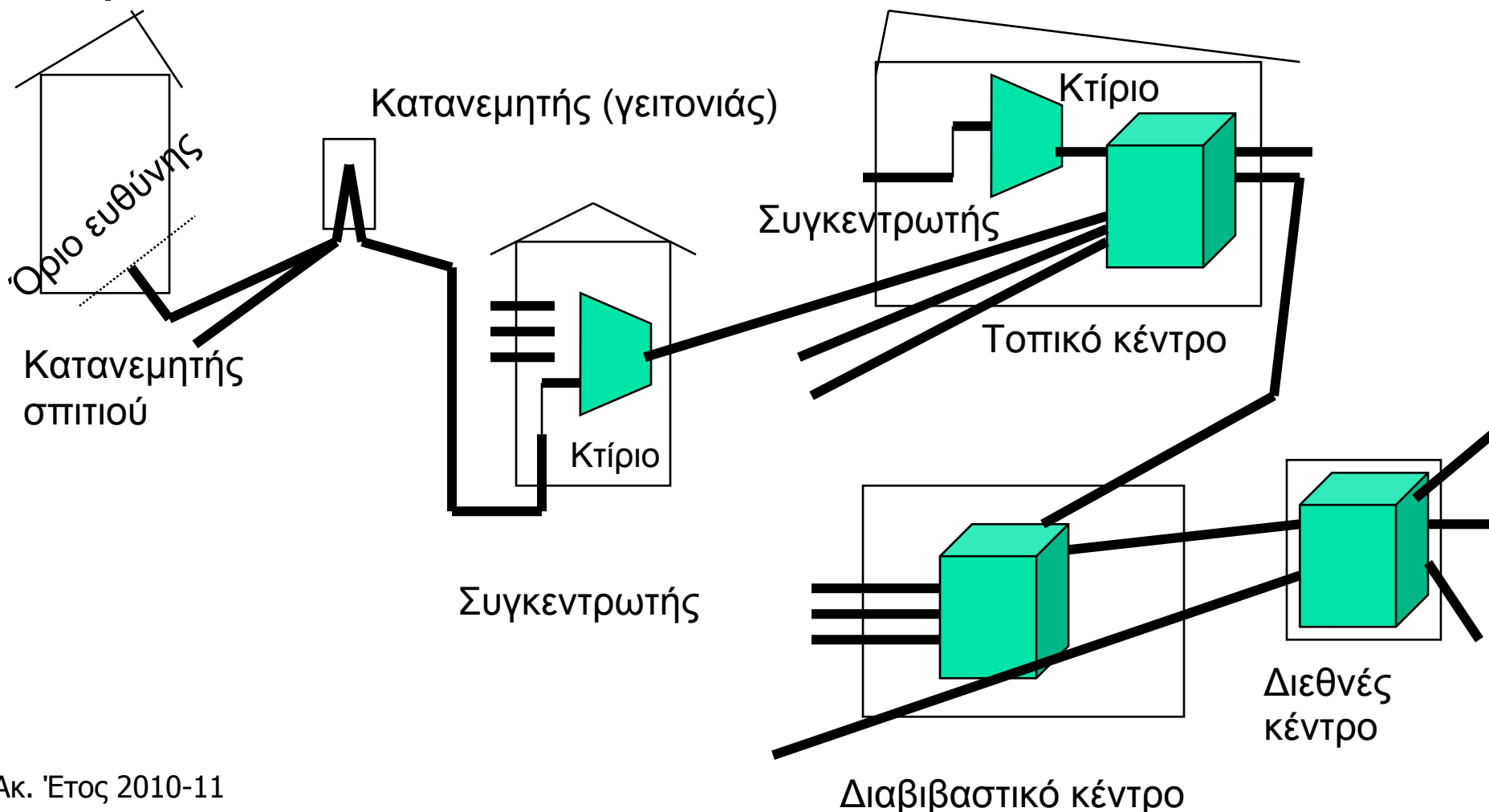
Distribution cable

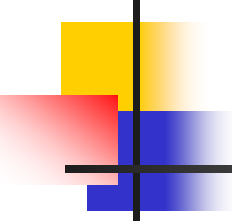
Drop cable
(παχύτερο σύρμα)

Περιοχή καλωδίωσης



Δομή Τηλεφωνικού Δικτύου



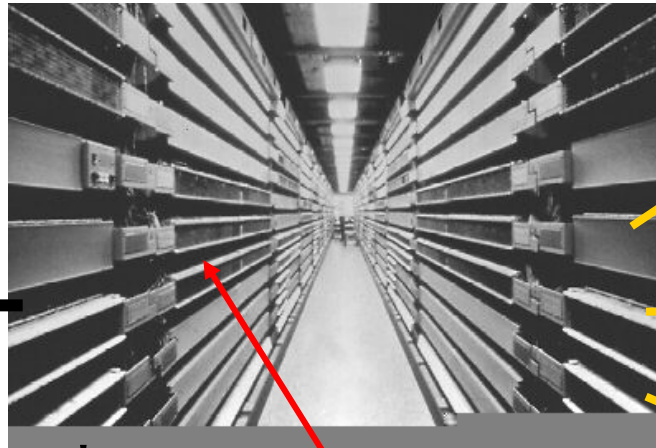
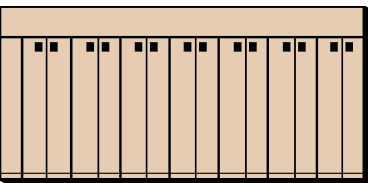


Ακραίο δίκτυο

- 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

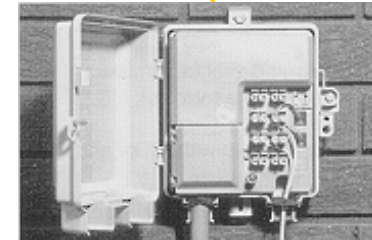
Ακραίος
κατανομητής
(Pedestal)



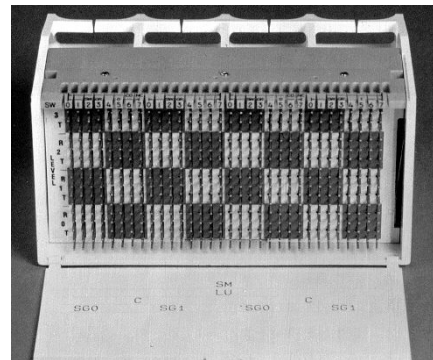
Κύριος Κατανομητής
MDF (Main Distribution
Frame)



Βρόχοι a/b

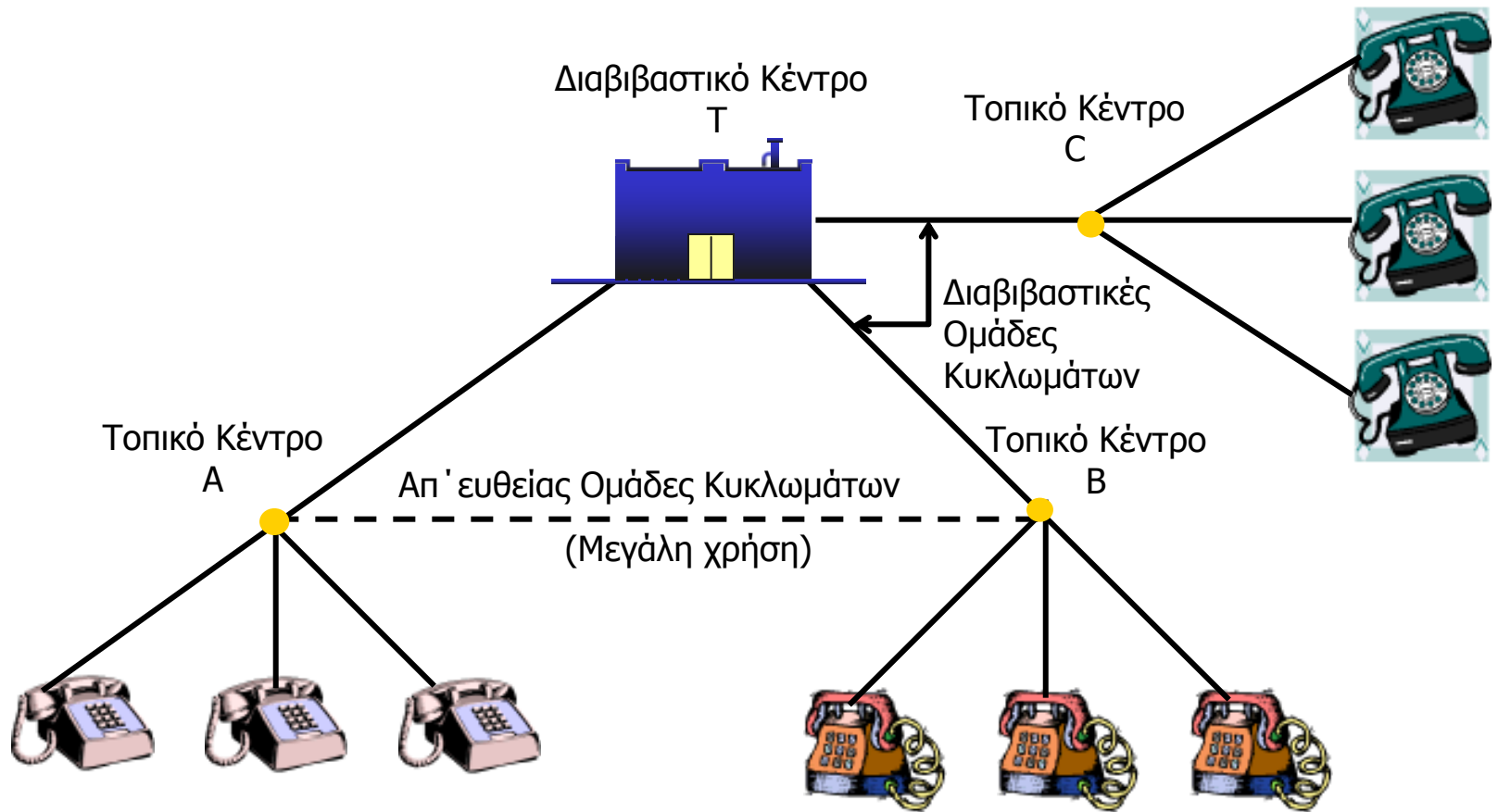


Κυτίο
διασύνδεσης
NID (Network
Interface
Device)

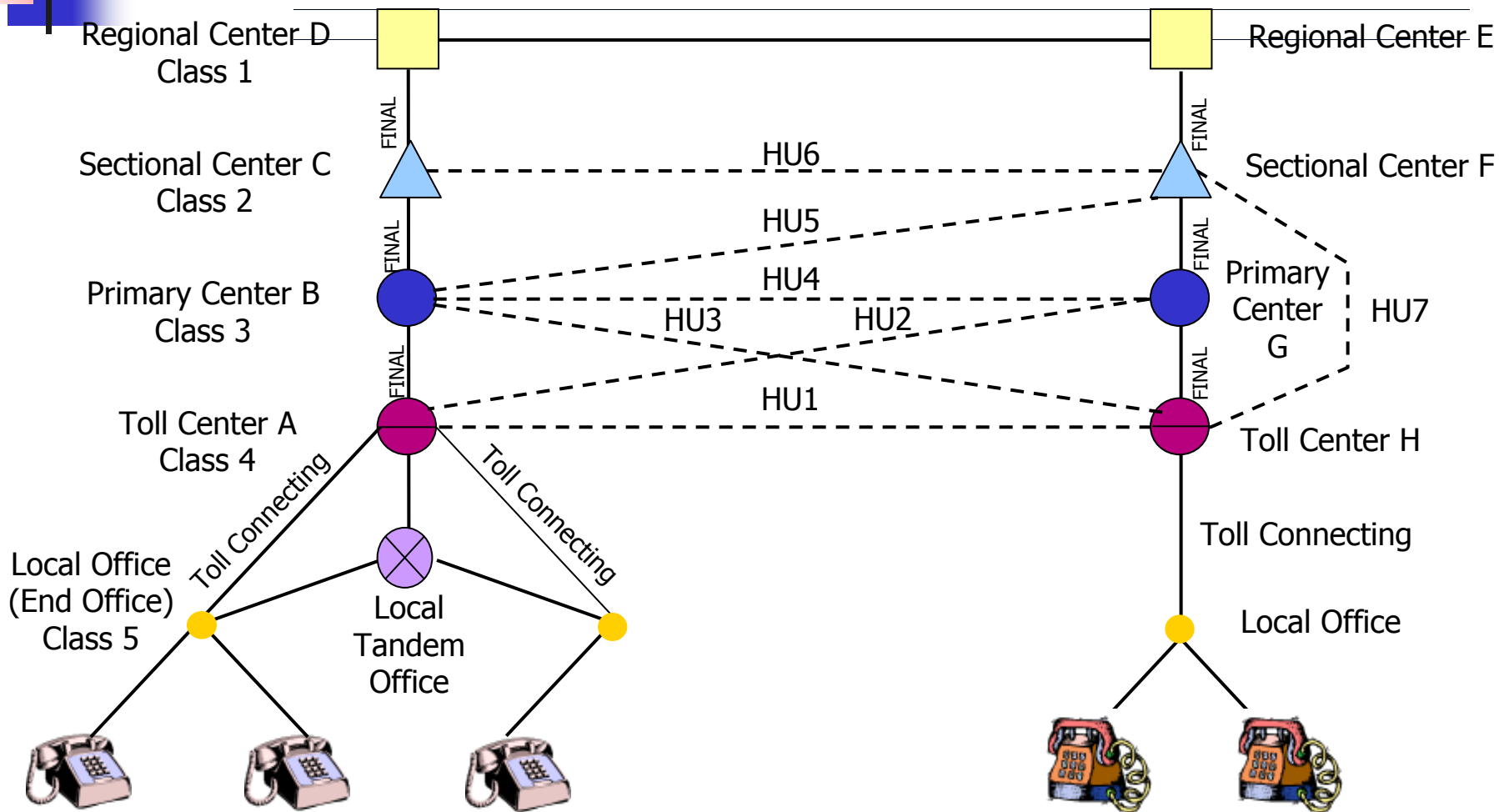


Μεικτονομητής
(connecting
block)

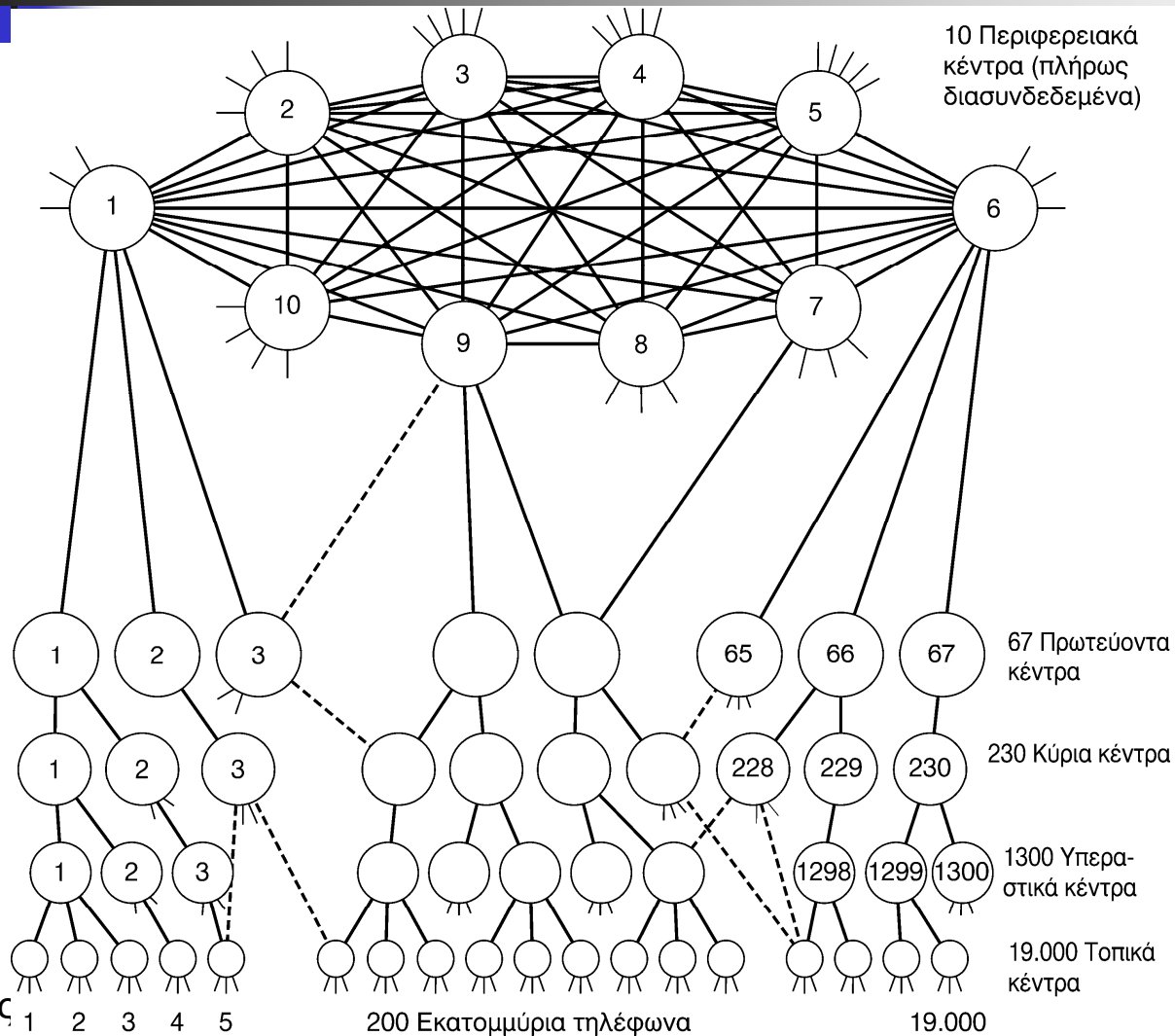
Τοπική κλήση



Υπεραστική κλήση



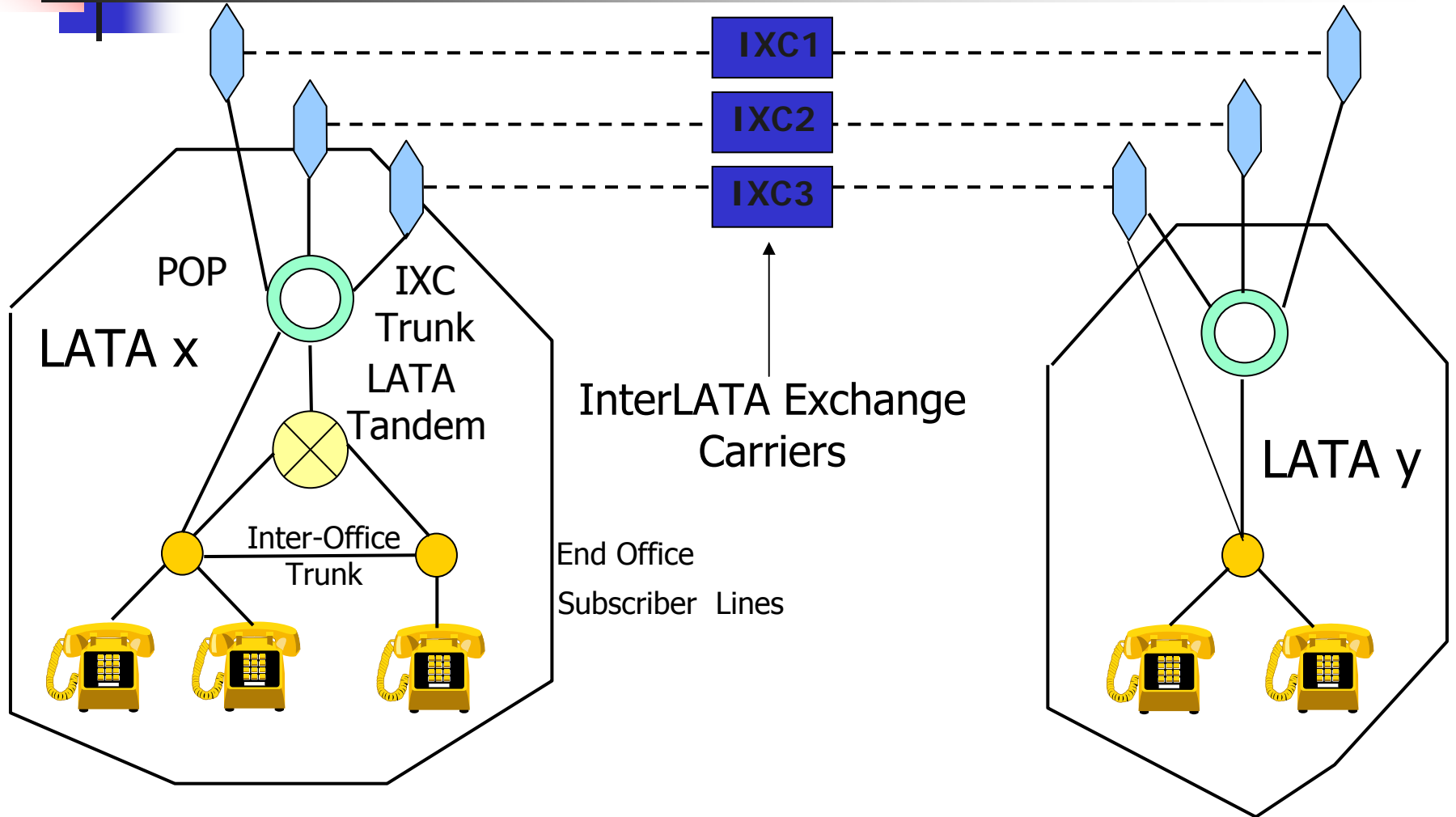
Ιεραρχία τηλεφωνικού συστήματος στις ΗΠΑ



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^{ης} επιλογής)
 - οι εναλλακτικές διαδρομές χρησιμοποιούνται όταν υπάρχει αποκλεισμός στην 1^η επιλογή
- τοπικές τηλεφωνικές υπηρεσίες παρείχαν και ανεξάρτητοι (1981, 23.5k non-Bell προς 20.8k Bell Class 5)

Post-divestiture PSTN

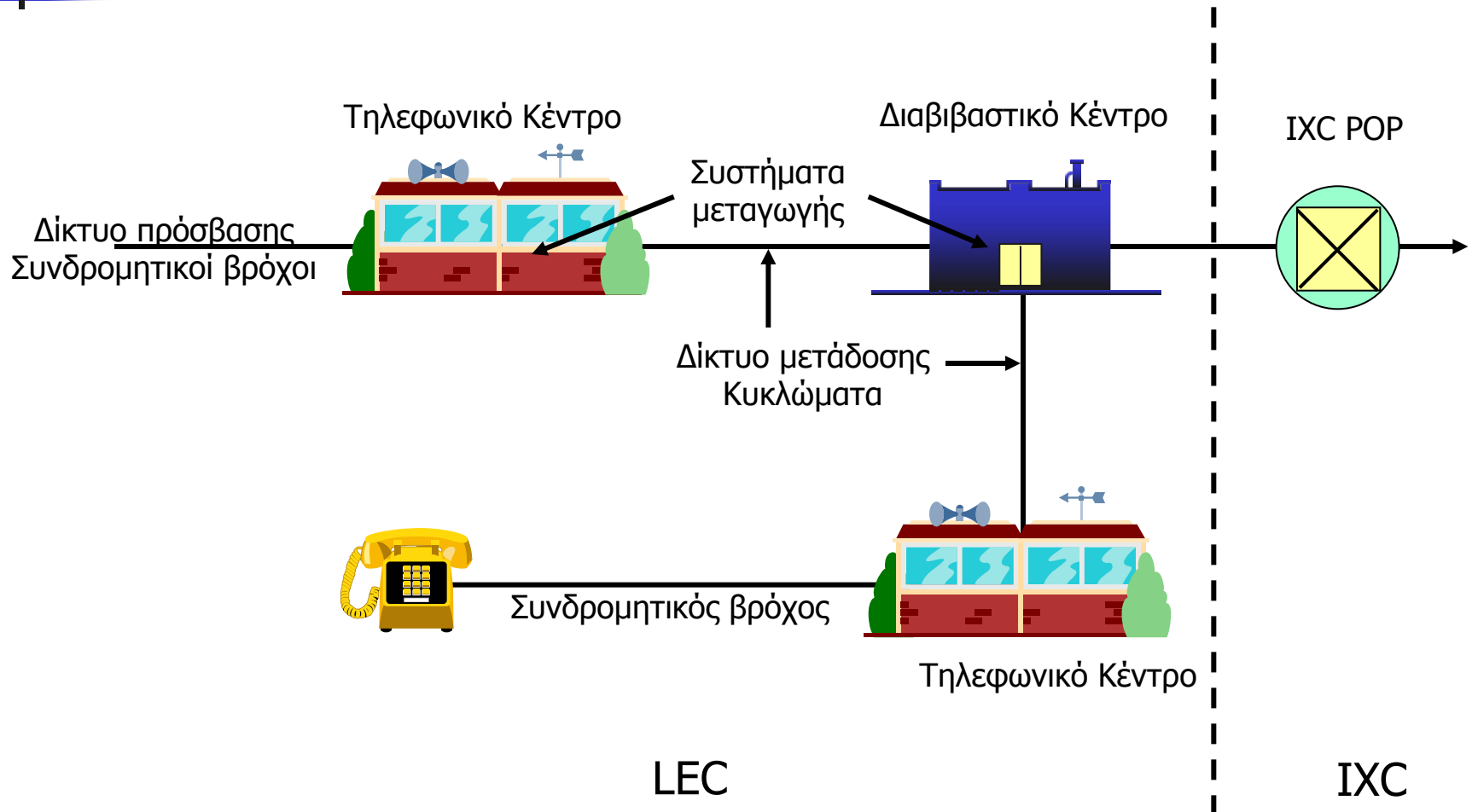




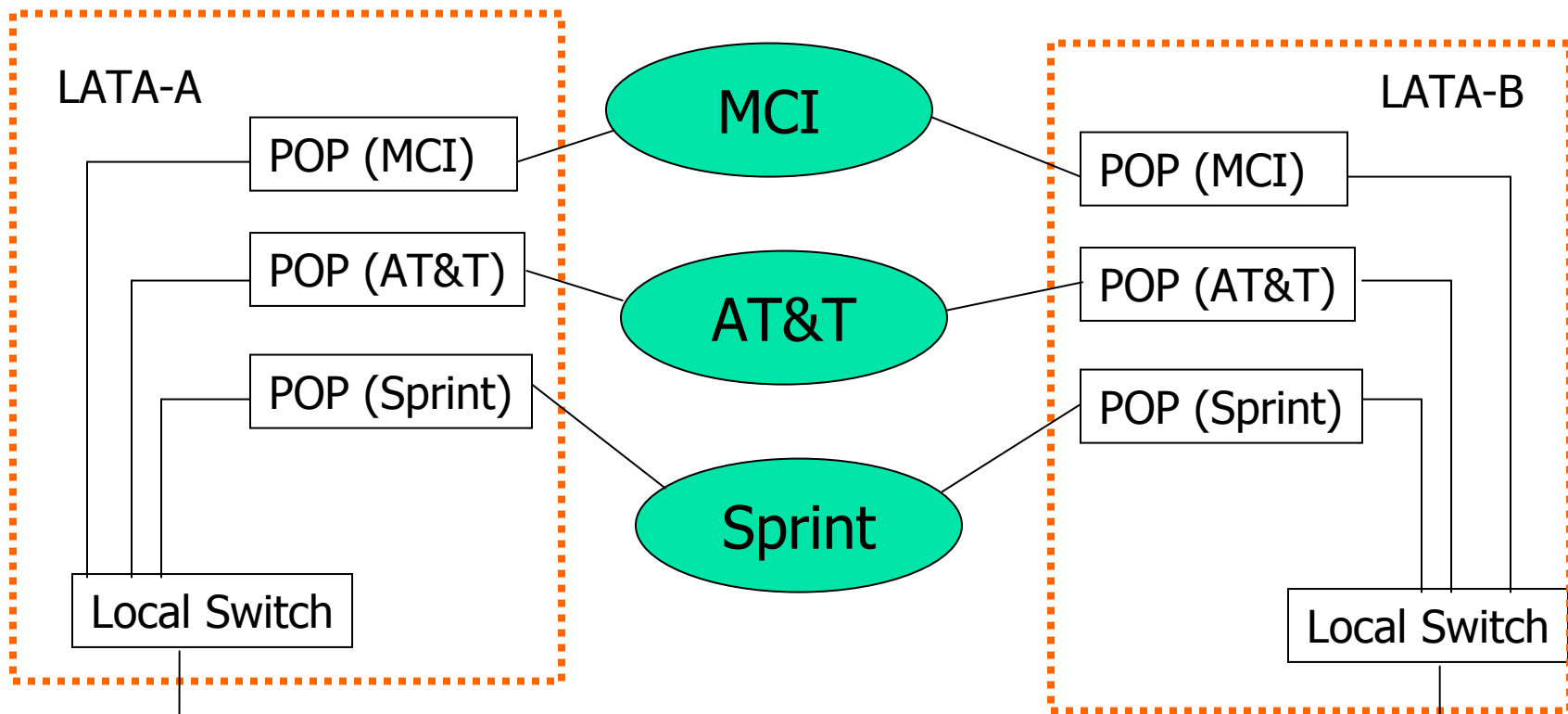
PSTN μετά την απογύμνωση

- 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

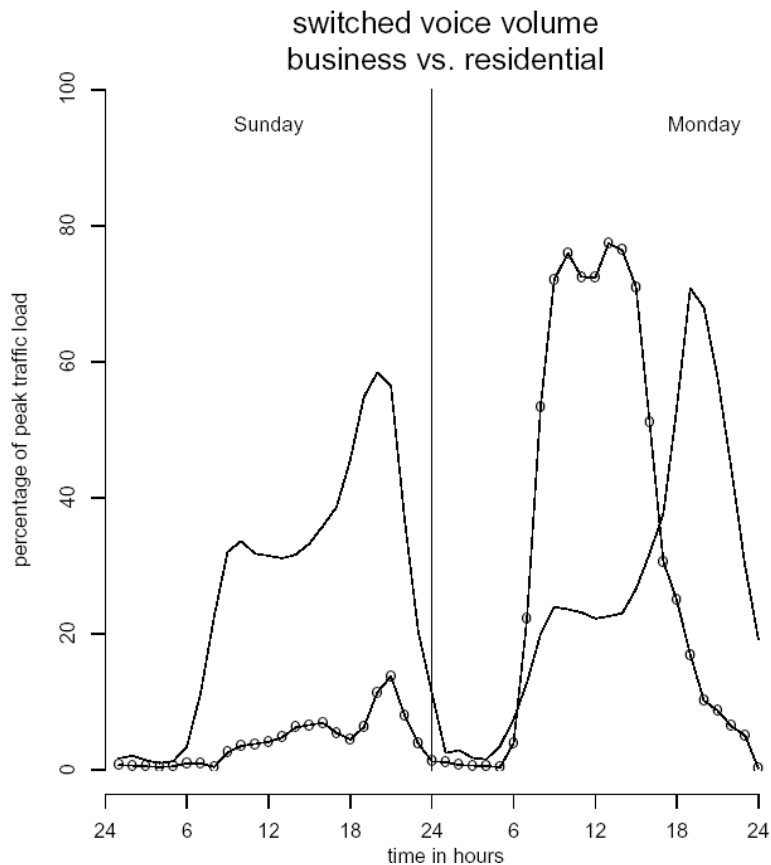
- Δίκτυο μετάδοσης
 - Πόσα κυκλώματα χρειάζονται
 - Πόσα παρέχονται
- Μεταγωγή
 - Πώς δρομολογούνται αποδοτικά οι κλήσεις;
- Τοπολογία
 - Αριθμός και θέση κόμβων
 - Αριθμός και θέση ζεύξεων
 - Επιβιωσιμότητα



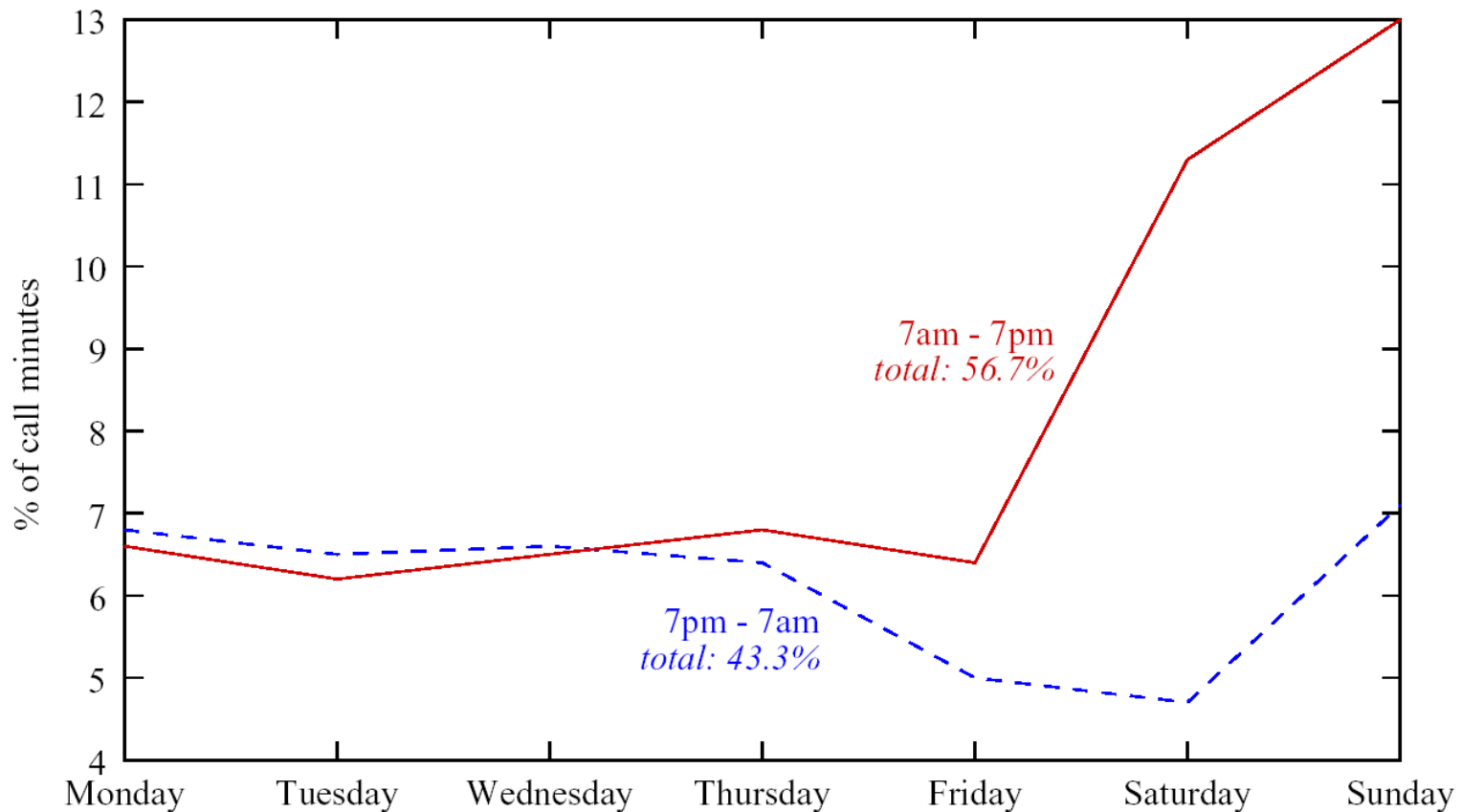
Τηλεφωνική κίνηση

- 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

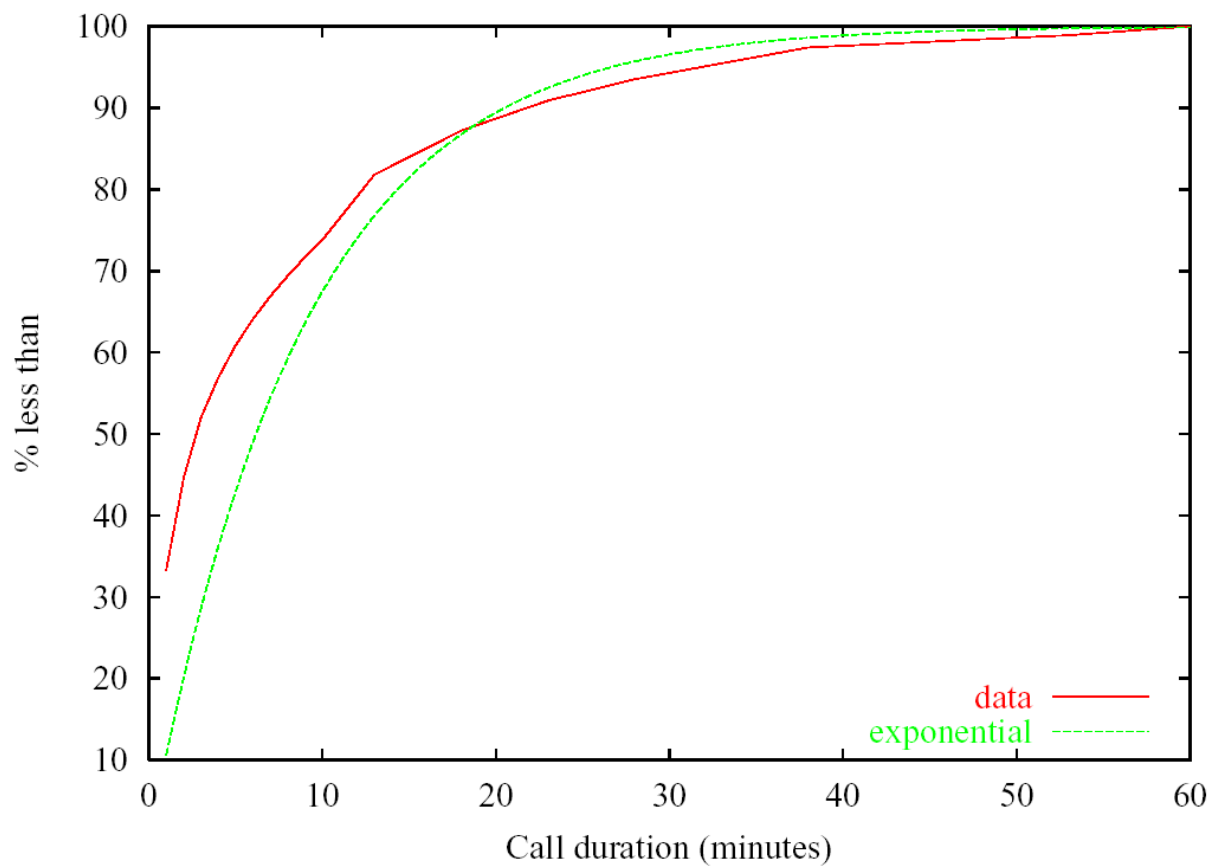




Διάρκεια κλήσεων

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

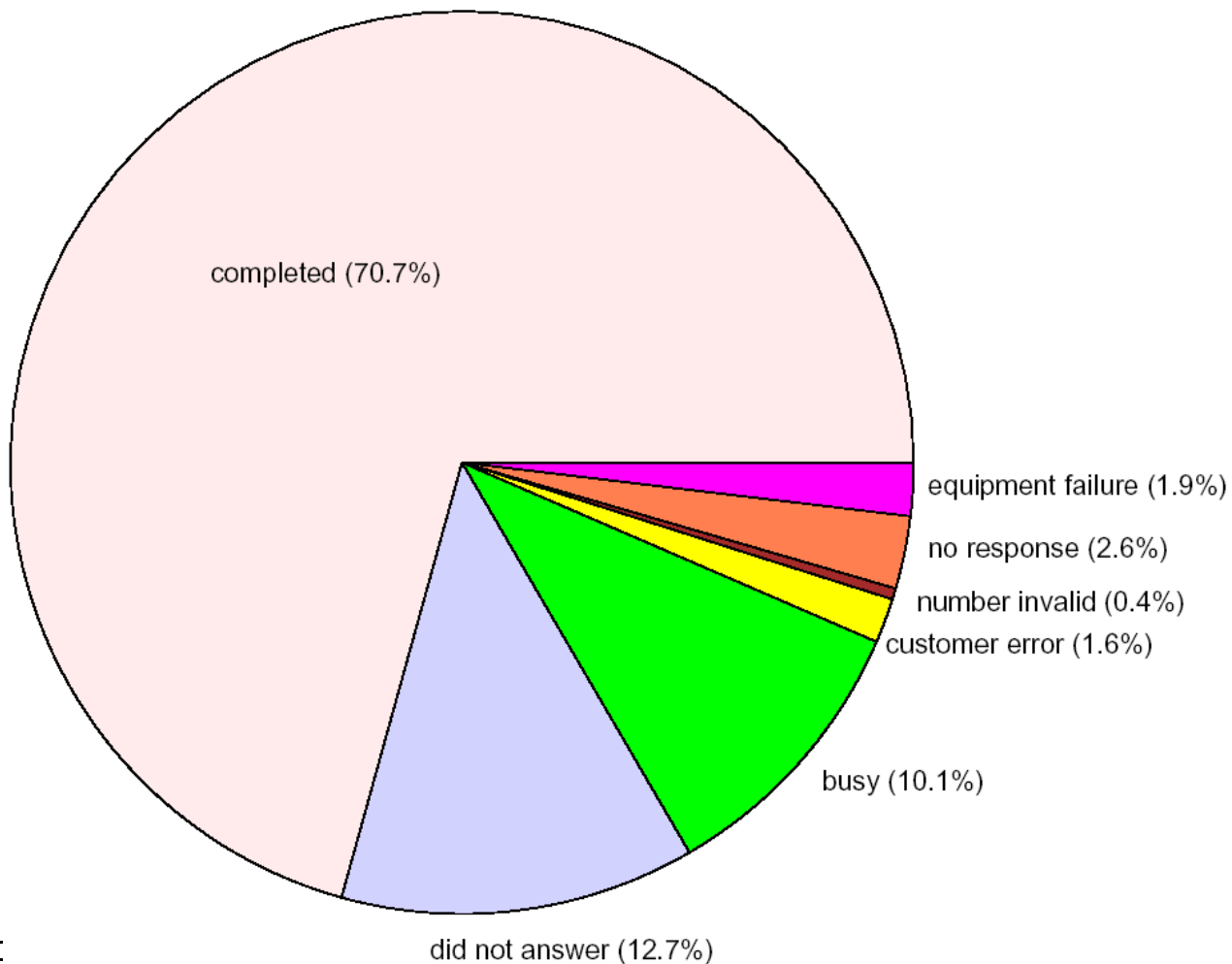
Κατανομή διάρκειας κλήσεων



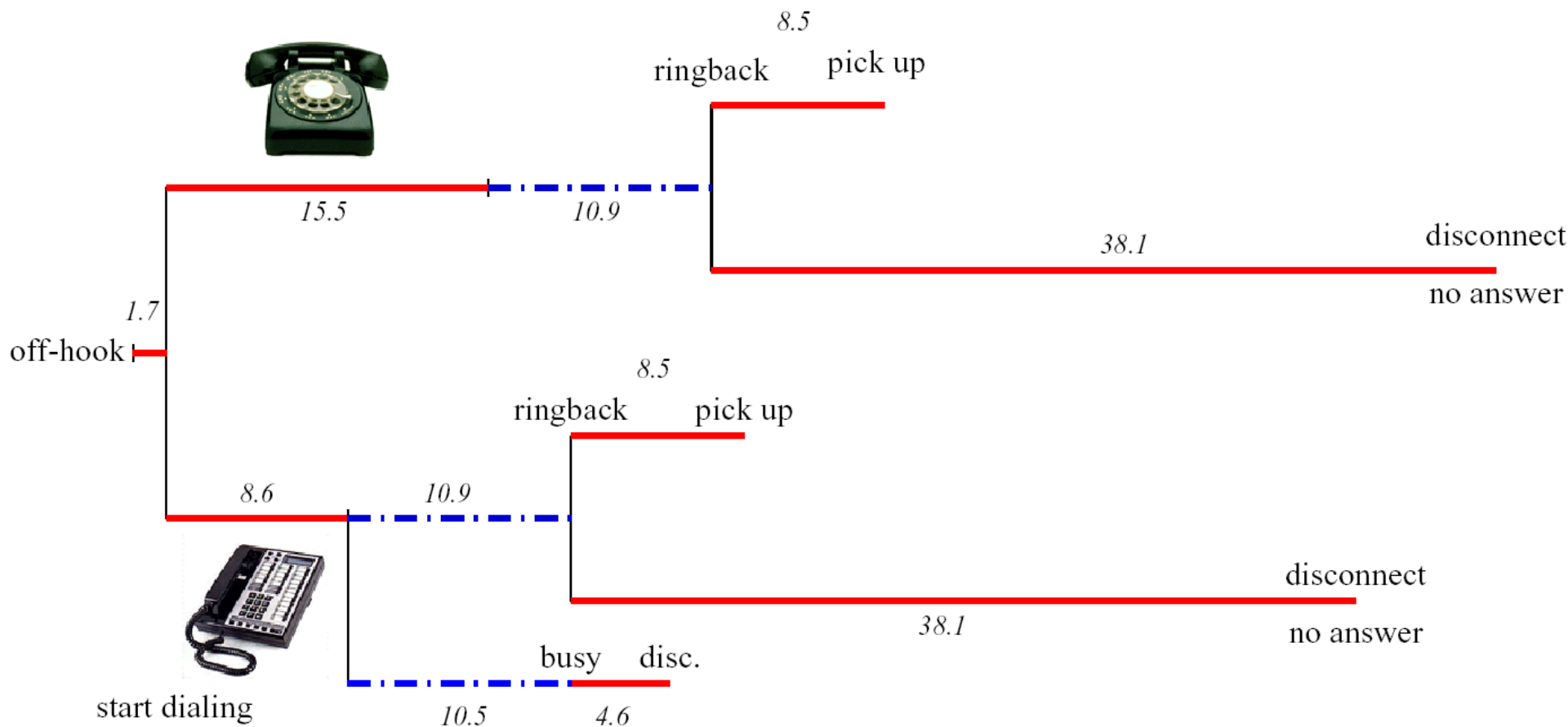
Κατανομή διάρκειας υπεραστικών κλήσεων ως προς την απόσταση

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