



Τηλεφωνία

Εισαγωγή



Τηλεφωνία

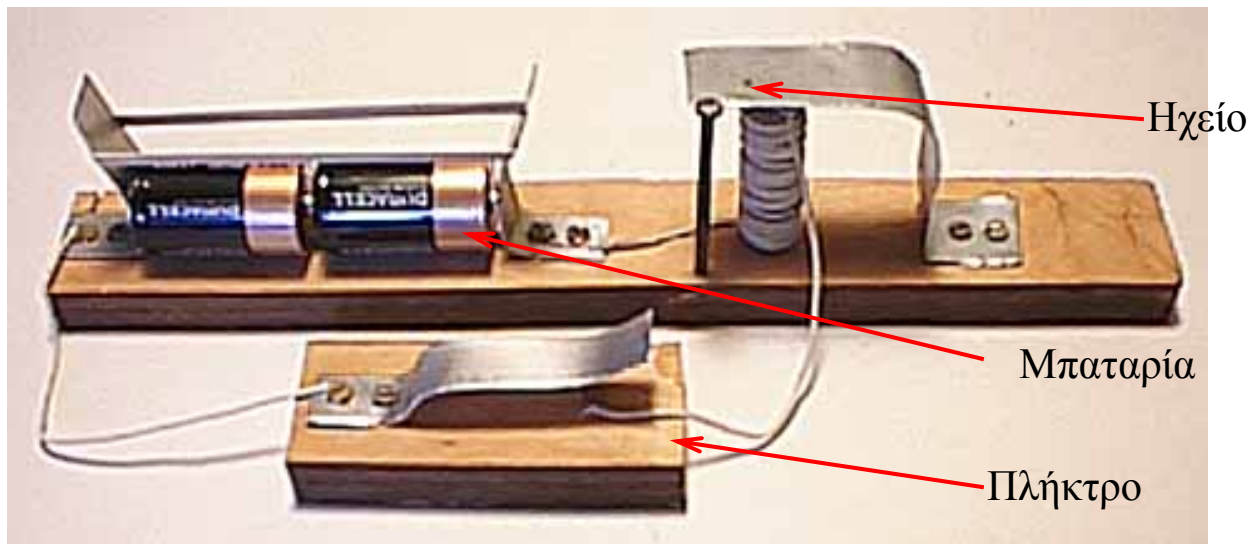
- Η μετάδοση ήχου μεταξύ απομακρυσμένων σταθμών, ειδικά, μέσω ασύρματης ή ενσύρματης ζεύξης
- Η τεχνολογία και η παραγωγή του τηλεφωνικού εξοπλισμού



Ιστορική αναδρομή

Τηλέγραφος

- 1837 Εφεύρεση του τηλέγραφου (Samuel Morse), επιδείχθηκε το 1844
 - “What hath God wrought?”





Τηλέγραφος

- Η θεωρητική βάση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων δεν ήταν πλήρως κατανοητή μέχρι το 1860
 - Ο Morse, ένας καλλιτέχνης όχι επιστήμων, πίστευε ότι το ηλεκτρικό σήμα ταξίδευε στιγμιαία από το πλήκτρο του τηλέγραφου μέχρι το ηχείο (στον δέκτη)
- 1850 Τηλεγραφικό καλώδιο στη Μάγχη



Τηλέγραφος

- 1858 Πρώτο υπερατλαντικό τηλεγραφικό καλώδιο (Καναδάς – Ιρλανδία, αστόχησε σε 26 ημέρες)
- 1861 Διηπειρωτική τηλεγραφία στις ΗΠΑ
- 1866 Δεύτερο υπερατλαντικό καλώδιο



Τηλέφωνο

- 1876 Εφεύρεση του τηλεφώνου από τον Alexander Graham Bell (λογοδιδάσκαλο και όχι επιστήμονα)
 - “Watson come here, I want you”
 - Το βασικό προσόν του τηλεφώνου ήταν ότι δεν απαιτείτο ειδική εκπαίδευση για τη χρήση του
 - Η ευκολία χρήσης είναι συχνά αποφασιστικής σημασίας για την επιτυχία μιας τεχνολογίας σε σχέση με μια άλλη



Τηλέφωνο

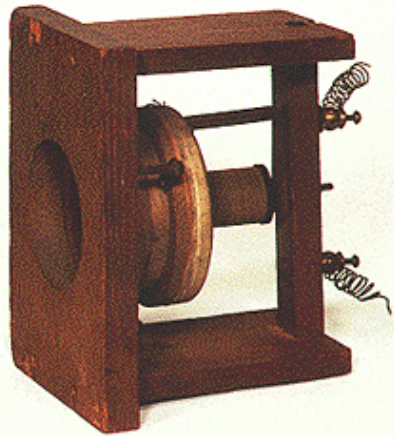
- Ο Bell χρηματοδοτήθηκε από τον εύπορο βιομήχανο πεθερό του, Gardiner G. Hubbard, που είχε μακρά ιστορία ανταγωνισμού με την τότε μεγάλη Western Union Telegraph Company
- Ο αρχικός σκοπός του Bell ήταν να στείλει πολλά ανεξάρτητα τηλεγραφικά σήματα πάνω από το ίδιο κύκλωμα
 - Σήμερα θα τα περιγράφαμε ως FDM διαμορφωμένων κατά πλάτος κωδικών Morse (αρμονικός τηλέγραφος)



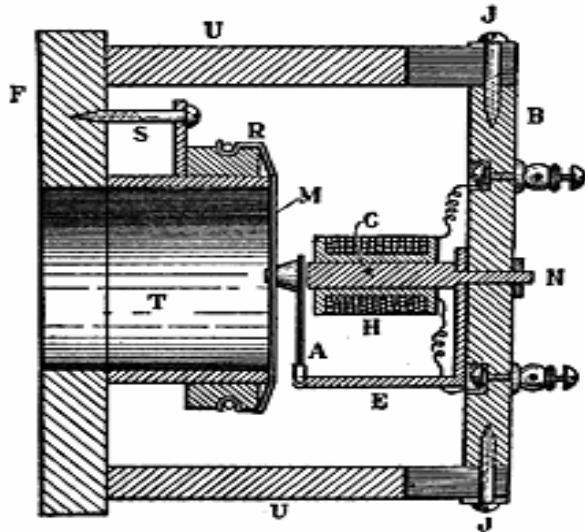
Τηλέφωνο

- Τυχαία ανακάλυψε ότι ο εξοπλισμός του μπορούσε να μεταδώσει φωνή
 - Πρόσθεσε τον ισχυρισμό αυτό στην πατέντα του
 - Όταν το τηλέφωνο έγινε εμπορικά σημαντικό, ακολούθησε δικαστική διαμάχη
- Οι Bell και Hubbard πρόσφεραν την πατέντα στην Western Union έναντι \$100.000
 - Για την εποχή εκείνη ήταν τεράστιο ποσό, περίπου 1.700 εκατομμύρια δολάρια σήμερα
 - Η WU απέρριψε την προσφορά διότι αντιπαθούσε τον Hubbard

Η πρώτη τηλεφωνική συσκευή



Ο Thomas Watson με το μοντέλο τηλεφωνικής συσκευής "Gallows"



Οι πρώτες τηλεφωνικές υπηρεσίες



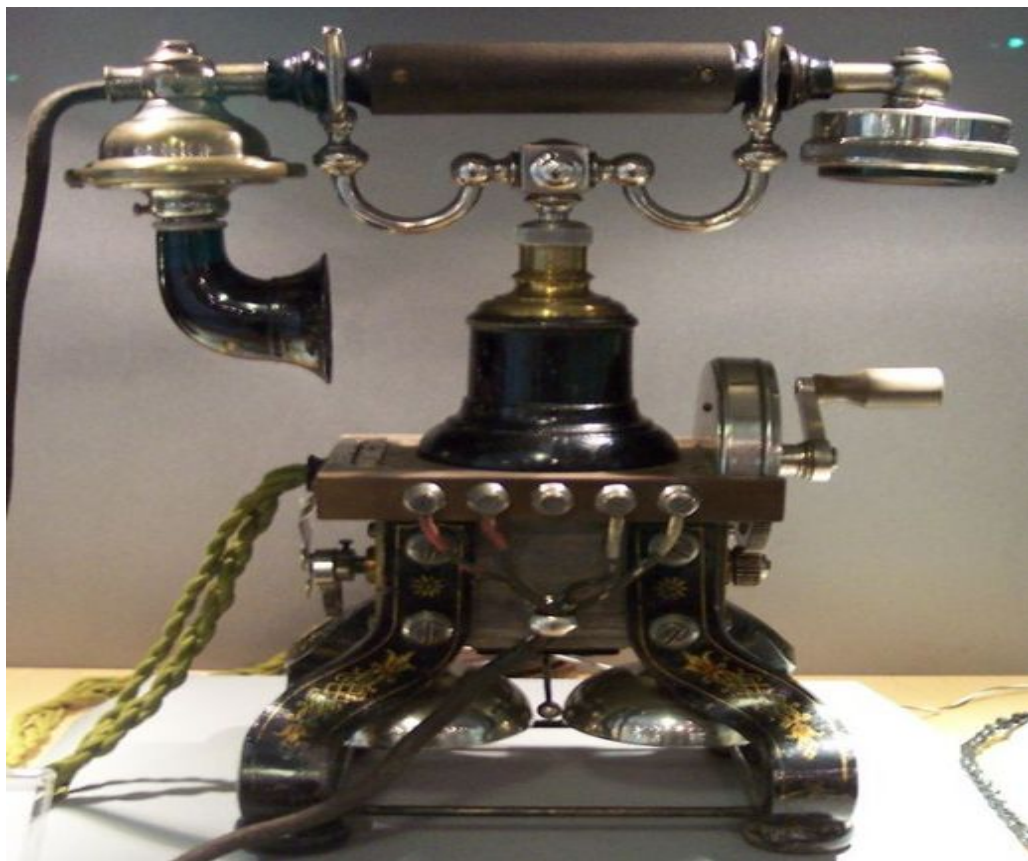
- 1877 οι Bell και Hubbard Ίδρυσαν την Bell Telephone Company
 - Άρχισε να παρέχει τηλεφωνικές υπηρεσίες στις ΗΠΑ (1878)
- 1878 Πρώτο τηλεφωνικό κέντρο (New Haven, Connecticut) με 21 συνδρομητές
- Όταν η WU ανεγνώρισε την ταχεία εξέλιξη του τηλεφώνου, εισήλθε στον ανταγωνισμό
 - Προσέλαβε τον Thomas Edison, ο οποίος εφεύρε ένα πιο αποδοτικό μικρόφωνο (1878)
 - μικρόφωνο άνθρακα
 - Το ακουστικό ήταν εφεύρεση του Elisha Gray



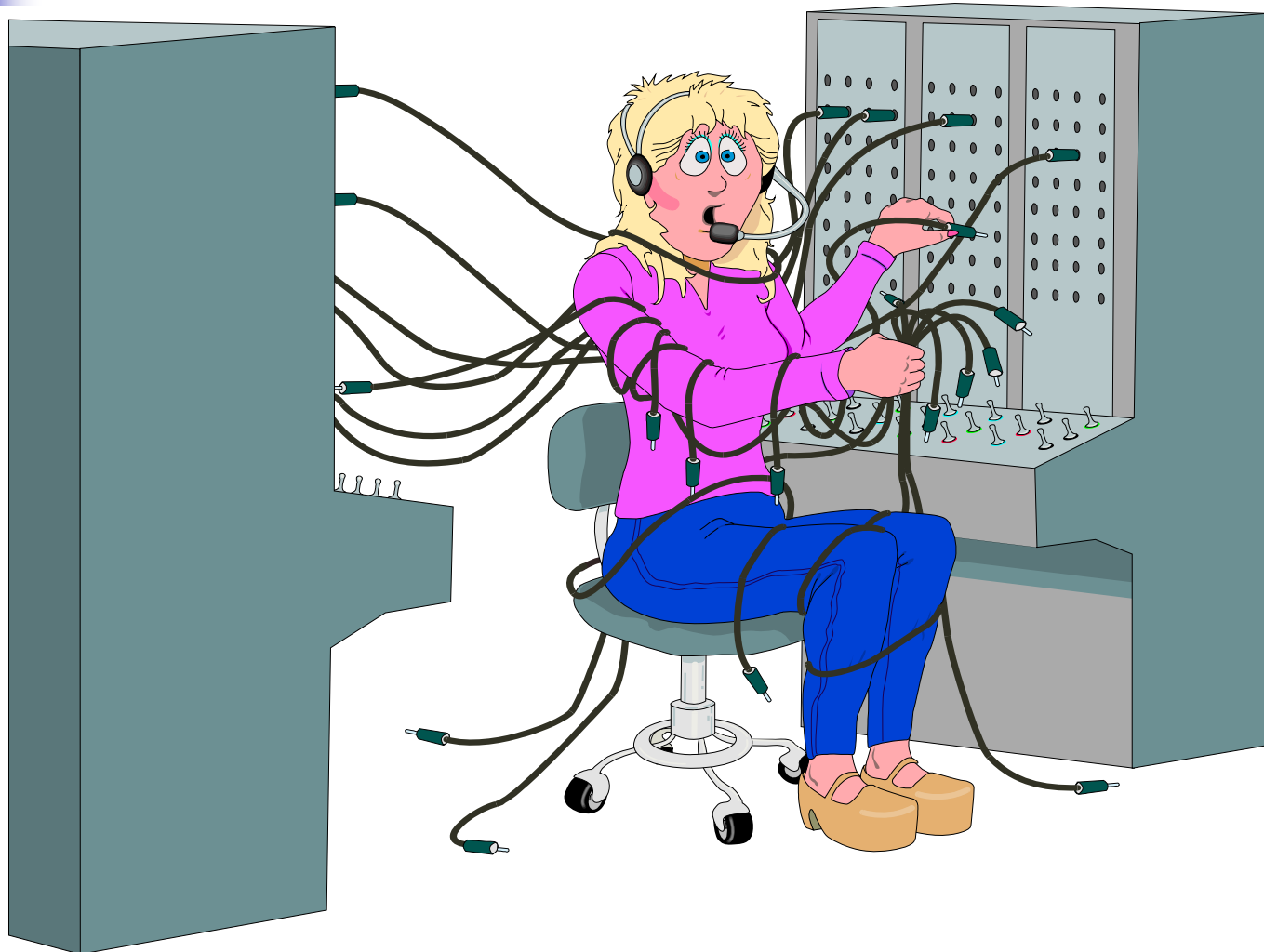
Οι πρώτες τηλεφωνικές υπηρεσίες

- Η βελτίωση στην ένταση του ακουστικού σήματος επέτρεψε την κάλυψη μεγαλύτερων αποστάσεων
 - Όμως η WU δε μπορούσε να λειτουργήσει τηλεφωνικά συστήματα χωρίς να παραβιάζει την πατέντα του Bell
 - Η Bell μήνυσε την WU και η αντιδικία έληξε το 1879
 - Η WU αναγνώρισε την ισχύ της πατέντας του Bell και συμφώνησε να μείνει εκτός της τηλεφωνίας
 - Η Bell εγκατέλειψε τα ενδιαφέροντά της στην τηλεγραφία

Ιστορική τηλεφωνική συσκευή



Χειροκίνητο τηλεφωνικό κέντρο



Υπάρχουν ακόμα?





Αυτόματο τηλεφωνικό κέντρο

- 1881 Υπεραστική γραμμή 45 μίλια Boston-Providence, Rhode Island
- 1885 Ίδρυση της AT&T στην Νέα Υόρκη
- 1889 Πρώτος δημόσιος κερματοδέκτης
- 1891 Πατέντα για τον μεταγωγέα Stowger
- 1893 Λήγουν οι πατέντες του Bell
 - Οποιοσδήποτε μπορεί να παρέχει υπηρεσίες
 - 6000 ανεξάρτητες (όχι Bell) τηλεφωνικές εταιρείες
- 1895 Εφεύρεση του ασύρματου τηλέγραφου (Marconi)

Μεταγωγέας Stowger





Τηλέφωνο με επιλογικό δίσκο

- 1896 Πρώτο τηλέφωνο με επιλογικό δίσκο
 - Δεν υπάρχουν ακόμα μεταγωγικά συστήματα
- 1901 Πρώτο υπερατλαντικό ασύρματο τηλεγραφικό μήνυμα από τον Μαρκόνη (England to Newfoundland)
- 1915 Πρώτο διηπειρωτικό τηλέφωνο (NY–SF)
- 1920 πρώτα αυτόματα κέντρα
- 1927 πρώτες εμπορικές ασύρματες υπερατλαντικές τηλεφωνικές κλήσεις
- 1936 Ομοαξονικό καλώδιο New York – Philadelphia

Τηλέφωνο με επιλογικό δίσκο





Ηλεκτρομηχανικά κέντρα

- 1938 Πρώτο ραβδεπαφικό τηλεφωνικό κέντρο (Brooklyn, New York)
- 1939 Ανάπτυξη του ηλεκτρονικού υπολογιστή
- 1941 Πάντρεμα υπολογιστών και επικοινωνιών
 - ανάγνωση από υπολογιστή διάτρητων ταινιών με τηλεγραφικό κώδικα
- 1941 Τηλεφωνική συσκευή με πληκτρολόγιο
- 1943 Πρώτο υπεραστικό ραβδεπαφικό τηλεφωνικό κέντρο (class 4)



Ηλεκτρομηχανικά κέντρα

- 1947 Εφεύρεση του τρανζίστορ (Bell Labs)
- 1950 Ανάπτυξη της πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου
- 1951 Υπεραστικές κλήσεις χωρίς τηλεφωνητή
- 1956 Υπερατλαντικό καλώδιο TAT-1 (40 κυκλώματα)
- 1957 Πρώτος βομβητής – pager
- 1958 Μόντεμ (Data-phone)



Ηλεκτρομηχανικά κέντρα

- 1960 Ανάπτυξη των Laser
- 1961 Ανάπτυξη των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων
- 1962 Εκτόξευση του Telstar I (πρώτος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος)
- 1962 Ψηφιακή μετάδοση (T1)



Ηλεκτρονικά κέντρα

- Το σύστημα πολυπλεξίας T1 οδήγησε στην πλήρη μετάβαση του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου από αναλογική σε ψηφιακή μετάδοση και τελικά σε ψηφιακή μεταγωγή
- Το T1 ήταν μια σπάνια και μοναδική επιτυχία:
 - Μικρότερο κόστος από την αναλογική FDM
 - Συμβατότητα προς τα πίσω με μεταγωγείς και προηγούμενα συστήματα μετάδοσης
 - Καλύτερη ποιότητα σήματος από ότι η FDM
 - Μεγαλύτερη χωρητικότητα (24 κανάλια φωνής έναντι 12)



Ηλεκτρονικά κέντρα

- 1963 Υπηρεσία DTMF (touch tone)
- 1964 Μετάδοση εικόνας (Picturephone)
- 1965 Πρώτο ηλεκτρονικό τηλεφωνικό κέντρο
- 1965 Πρώτος σοβιετικός τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος (Molniya 1, Σοβιετική Ένωση)
- 1966 Πρώτο άρθρο για οπτικές ίνες από Northern Telecom



Ψηφιακά κέντρα

- 1968 Εισαγωγή της υπηρεσίας 911 στις ΗΠΑ
- 1970 Διεθνής DDD (New York - London)
- 1970 Πρώτη οπτική ίνα από την Corning Glass
- 1974 Διαδίκτυο
- 1974 Westar Satellite για τηλεφωνική υπηρεσία στις ΗΠΑ
- 1975 Πρώτο ψηφιακό τηλεφωνικό κέντρο (Northern Telecom)
- 1977 Ψηφιακό κέντρο 4ESS της AT&T



Ψηφιακά κέντρα

- 1978 Κινητά τηλέφωνα στις ΗΠΑ
- 1980 Σύστημα Σηματοδοσίας #7 (out-of-band)
- 1982 Δορυφόροι IMMARSAT για τη ναυτιλία
- 1984 Divestiture – Απογύμνωση: χωρισμός της AT&T σε RBOCs
- 1988 Εμπορικό ISDN στις ΗΠΑ
- 1989 Εισαγωγή του SONET
- 1990 Ευφυές δίκτυο (IN)



Ψηφιακά κέντρα

- 1996 απόσυρση του τελευταίου ηλεκτρομηχανικού κέντρου στις ΗΠΑ



Ιστορική αναδρομή

- Για όσους ενδιαφέρονται για την ιστορία της εξέλιξης της τηλεφωνίας το <http://www.webbconsult.com/history.html> είναι ένας ιστότοπος με πολλές πληροφορίες



Σήμερα

- δισεκατομμύρια τηλέφωνα, υπολογιστές, φαξ συνδεδεμένα σε παγκόσμιο τηλεπικοινωνιακό σύστημα
- «Πήρε εκατό χρόνια για να συνδεθεί τηλεφωνικά το πρώτο δισεκατομμύριο ανθρώπων. Πήρε μόλις δέκα χρόνια για το επόμενο δισεκατομμύριο.»
 - National Geographic Magazine, December 2001



Σήμερα

- 1996 - 2002: θεαματική άνοδος και πτώση της βιομηχανίας επικοινωνιών
 - Κακές προβλέψεις και υπερβολικές επενδύσεις
- Ιστορικά, η τηλεφωνία μεγαλώνει 3% ετησίως
 - Δεύτερες γραμμές για Internet δημιούργησαν αύξηση 10-15%
 - Το Internet θεωρείτο ότι διπλασιάζεται κάθε 100 μέρες και θα ξεπερνούσε τα τηλεφωνικά δίκτυα



Σήμερα

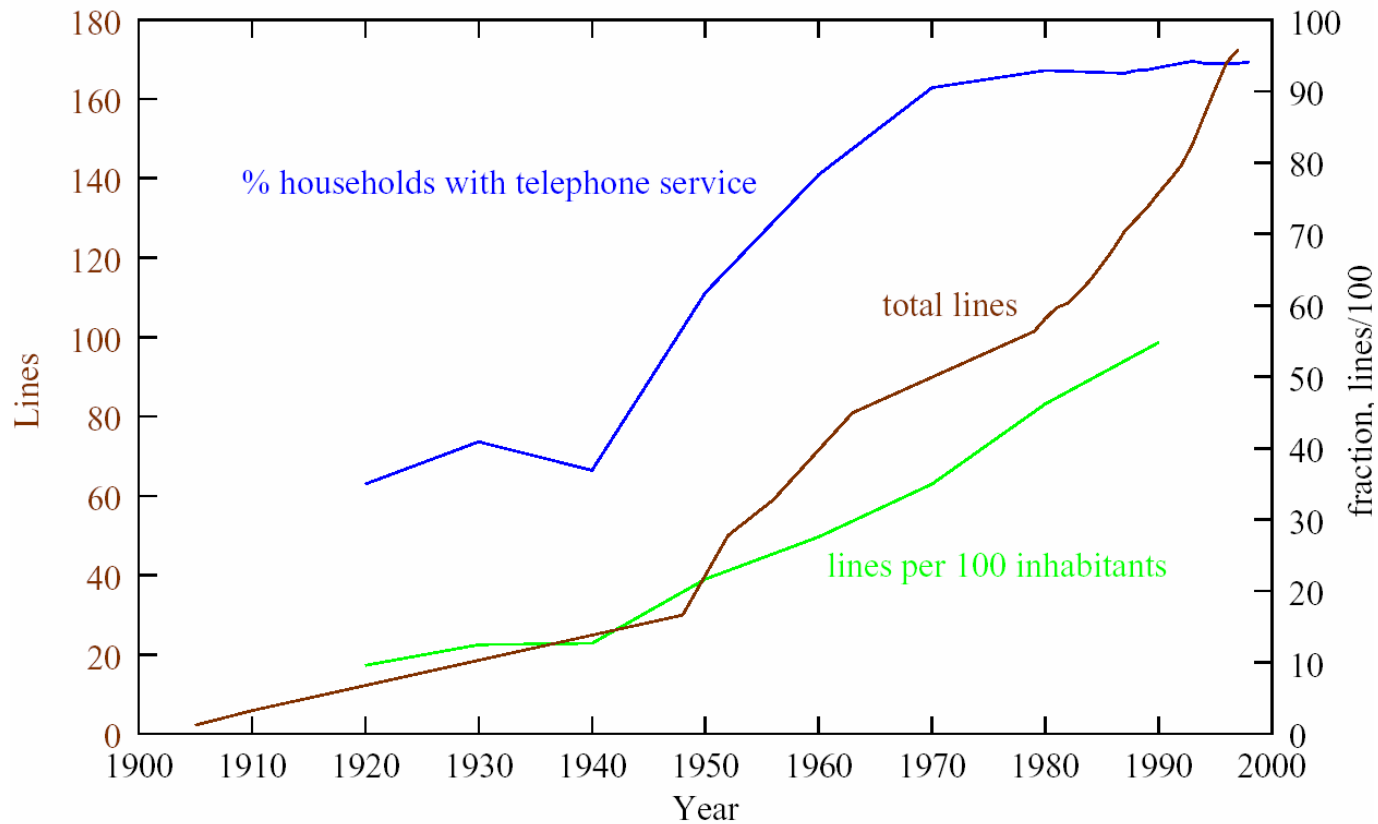
- Οι εταιρίες επικοινωνιών δανείσθηκαν ενόψει της τεράστιας αύξησης
 - Η ζήτηση για δεύτερη γραμμή σταμάτησε
 - Η ζήτηση για σταθερή τηλεφωνία μικραίνει
 - Η ζήτηση για κινητή τηλεφωνία αυξάνει αλλά με μικρότερο ρυθμό
 - Το Internet αυξάνει στην πραγματικότητα περί το 80% ετησίως
- Υπερβάλλουσα χωρητικότητα
 - Πτώση τιμών



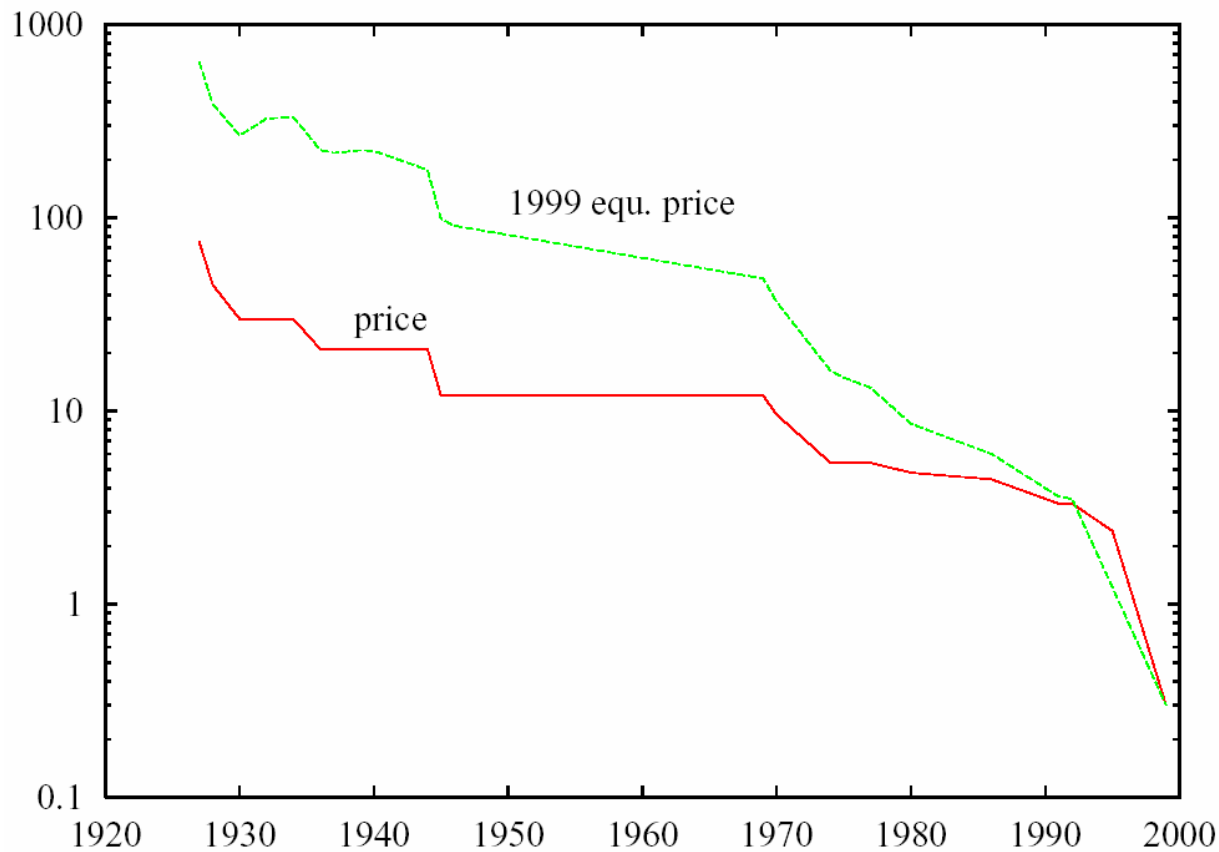
Υπερατλαντικά καλώδια

■ System 19xx		κόστος	κυκλώματα	\$/κύκλωμα	\$/λεπτό
■ TAT-1	56 C	\$49.6M	40	213,996	2.443
■ TAT-2	59 C	42.7M	44	167,308	1.910
■ TAT-3	63 C	50.6M	79	111,027	1.267
■ TAT-4	65 C	50.4M	62	140,238	1.601
■ TAT-5	70 C	70.4M	648	18,773	0.214
■ TAT-6	76 C	197.0M	3,200	10,638	0.121
■ TAT-7	83 C	180.0M	3,821	8,139	0.093
■ TAT-8	88 F	360.0M	6,048	10,285	0.117
■ TAT-9	92 F	406.0M	10,584	6,628	0.076
■ TAT-10	92 F	300.0M	18,144	2,857	0.033
■ TAT-11	93 F	280.0M	18,144	2,667	0.030
■ TAT-12	96 F	378.0M	60,480	1,080	0.012
■ TAT-13	96 F	378.0M	60,480	1,080	0.012
■ Gemini	98 F	520.0M	214,920	371	0.004
■ AC-1	98 F	850.0M	483,840	304	0.003
■ TAT-14	00 F	1500.0M	4x2.5M	<75	0.001

Τηλεφωνία στις ΗΠΑ



Κόστος τηλεφωνικής κλήσης (NY-London)





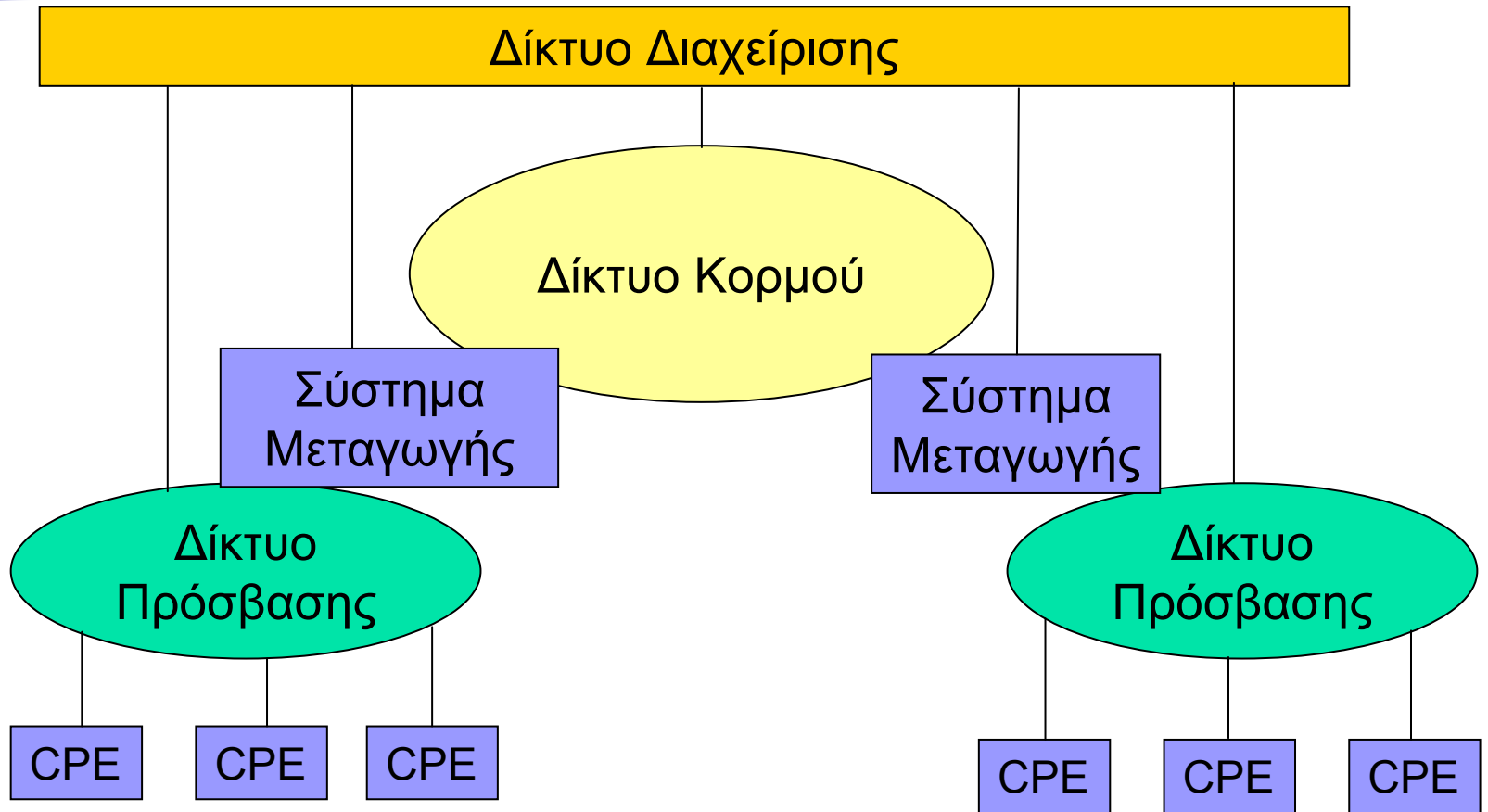
Δομή τηλεφωνικού δικτύου



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 mm²
- Μέσο μήκος σύνδεσης 2000 km
- Μέσος όγκος χαλκού 750x10⁶ km³
- Έκταση ΗΠΑ-Καναδά 12,5 km²
- Βάθος συρμάτωσης 60 km

Public Switched Telephone Network (PSTN)



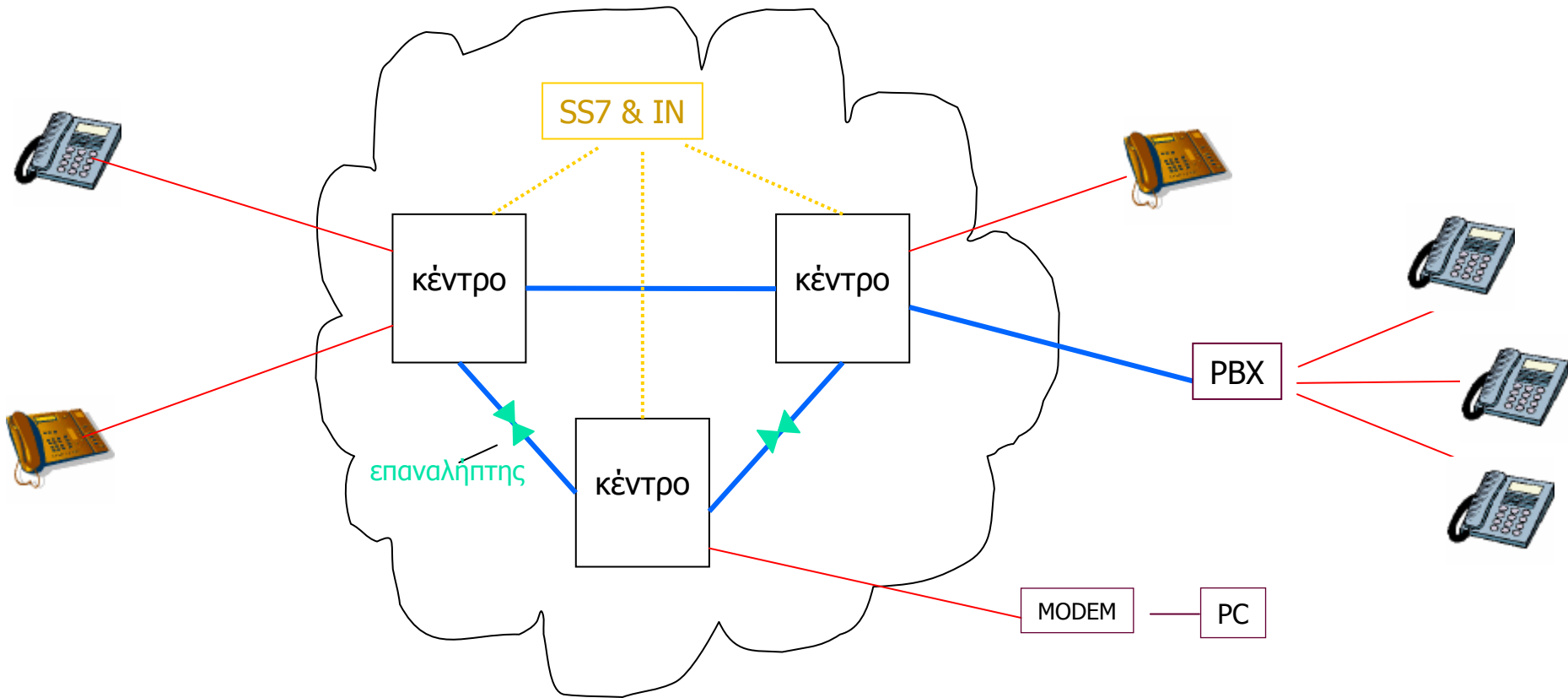
CPE: Customer Premise Equipment



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)

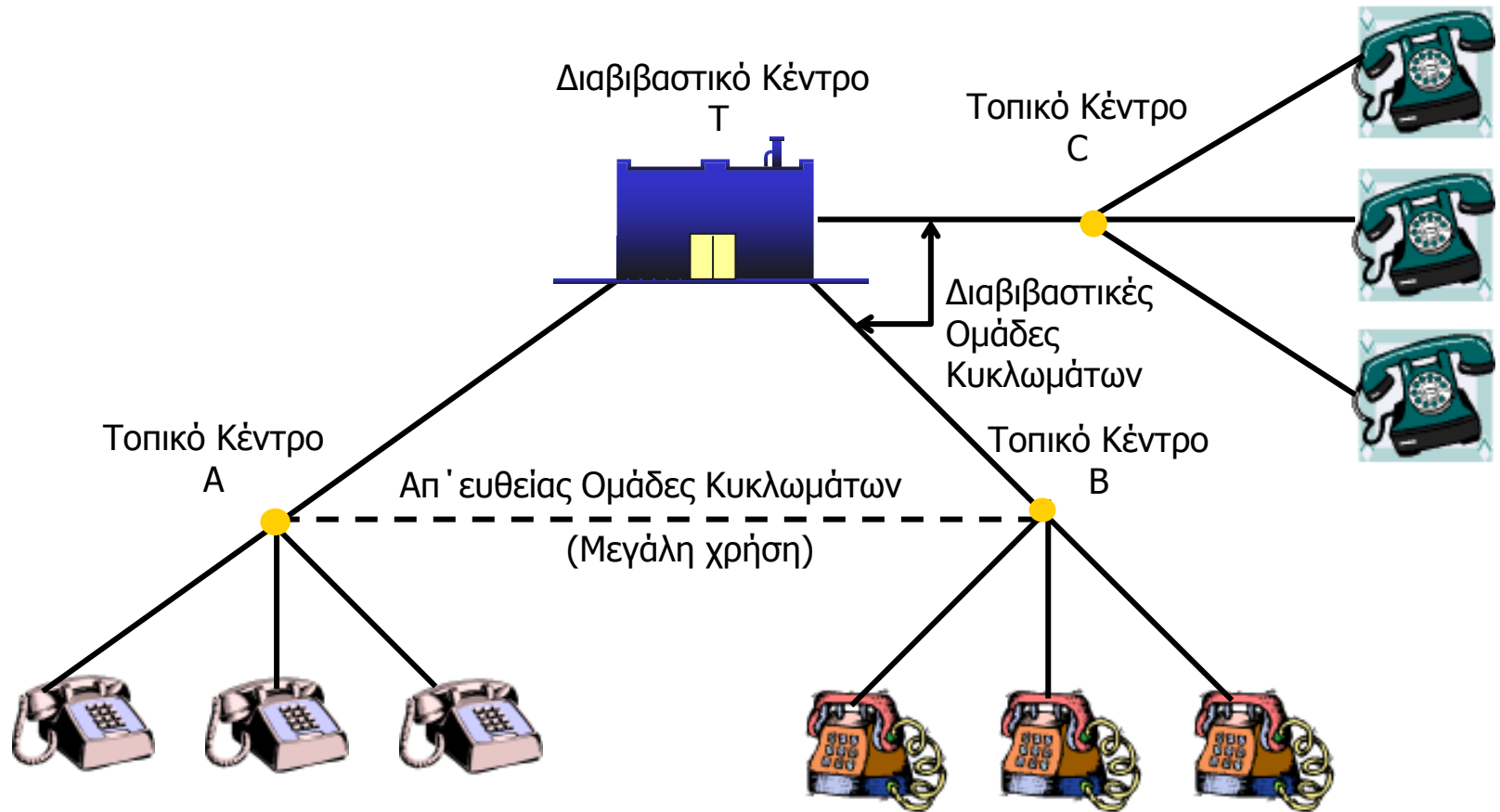


Συνδρομητικός εξοπλισμός (CPE)

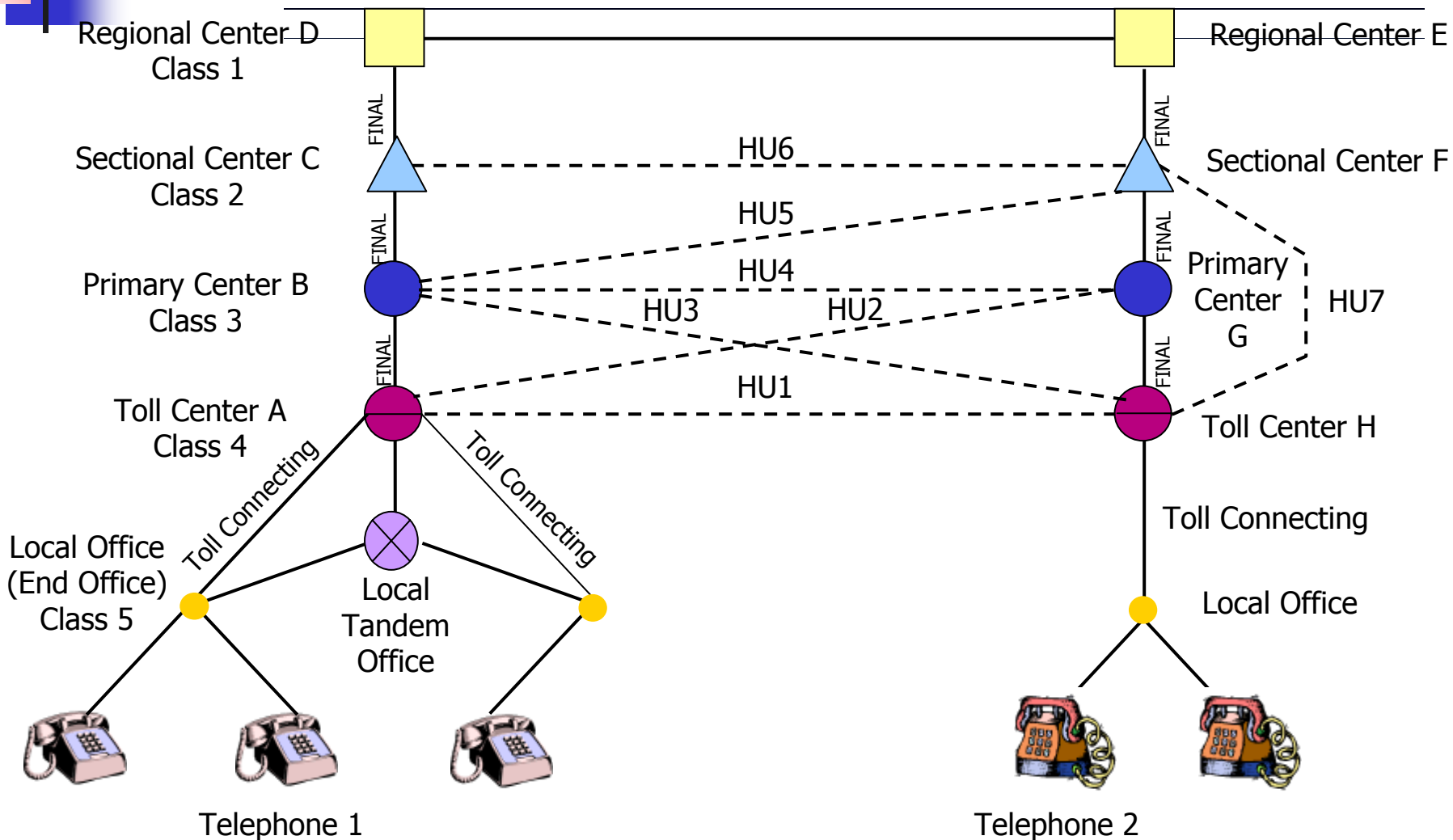


- Οποιοσδήποτε εξοπλισμός διατίθεται από τον συνδρομητή για σύνδεση στη διεπαφή με το PSTN. Π.χ.
 - Απλή τηλεφωνική συσκευή
 - Συνδρομητικό κέντρο (PBX)

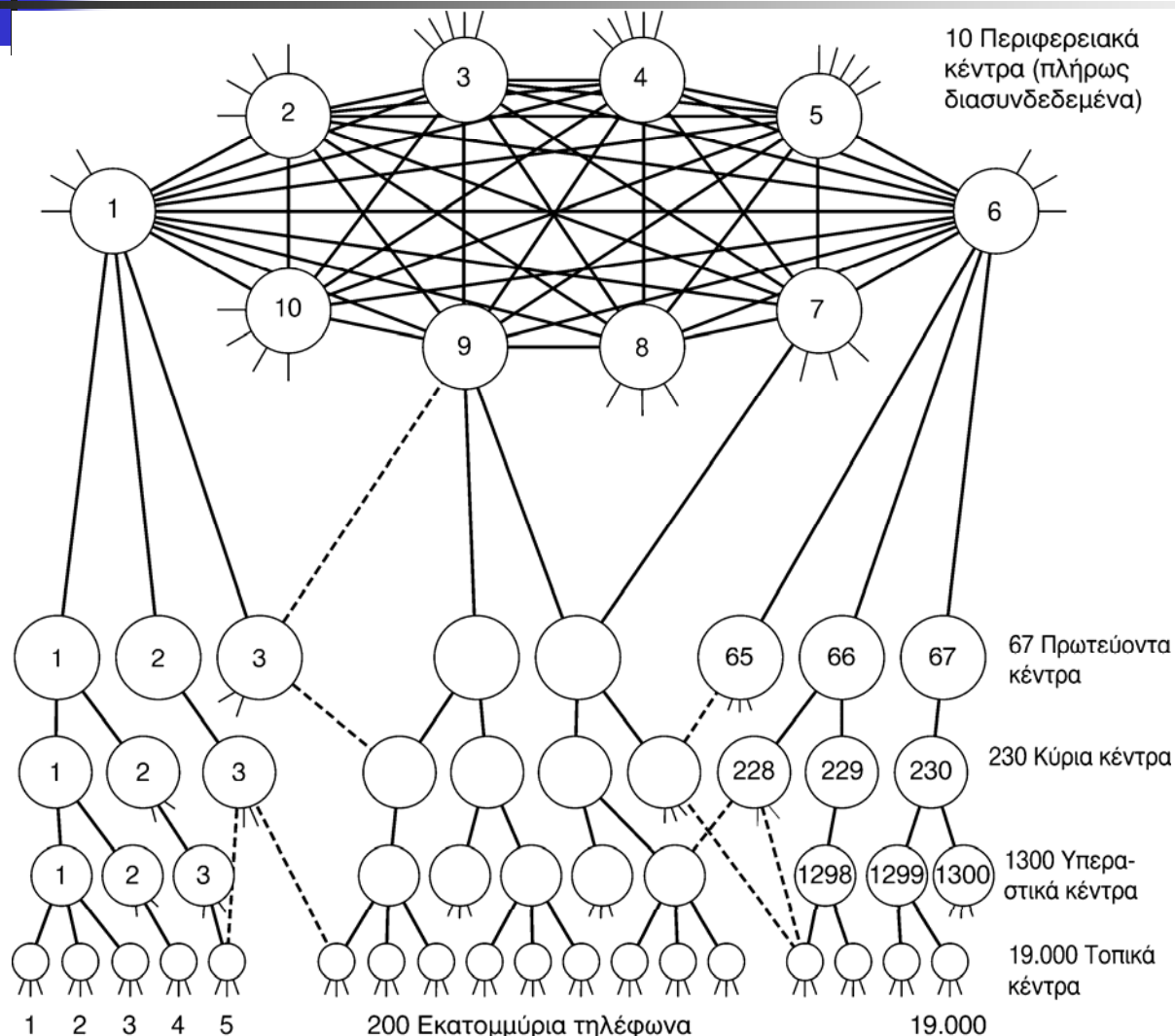
Τοπική κλήση



Υπεραστική κλήση



Ιεραρχία τηλεφωνικού συστήματος στις ΗΠΑ

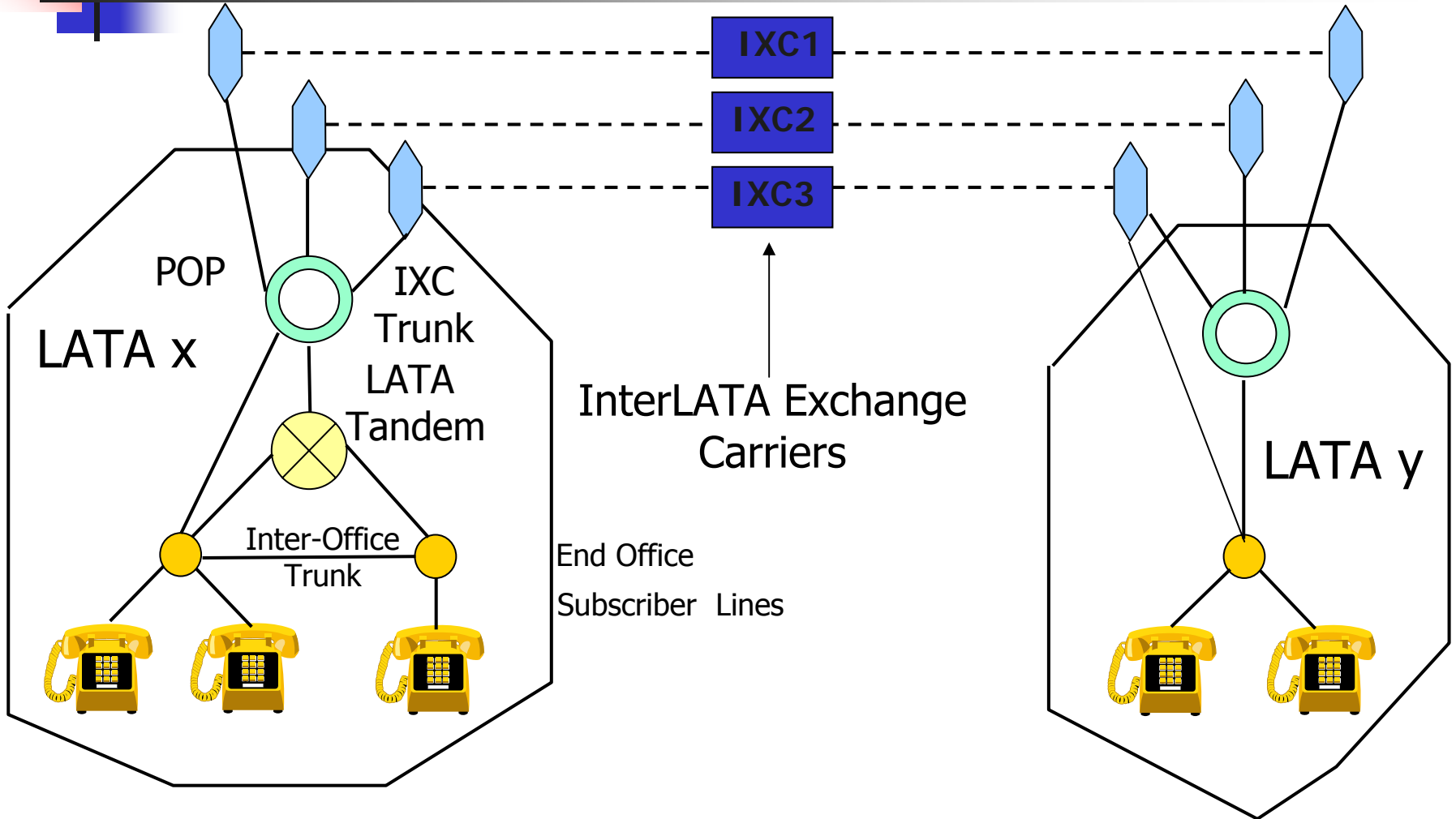




Τηλεφωνικό σύστημα στις ΗΠΑ προ της απογύμνωσης

- 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

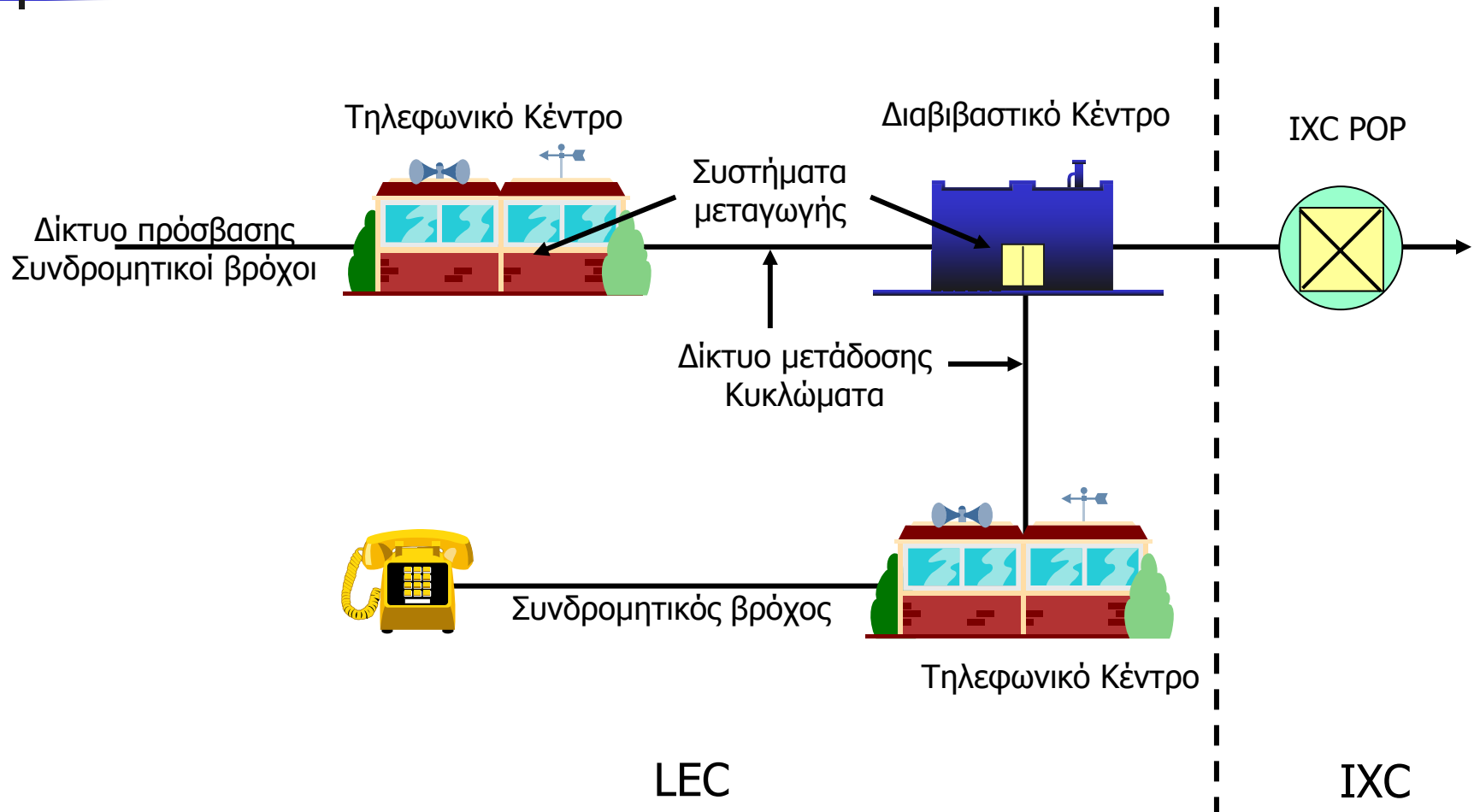




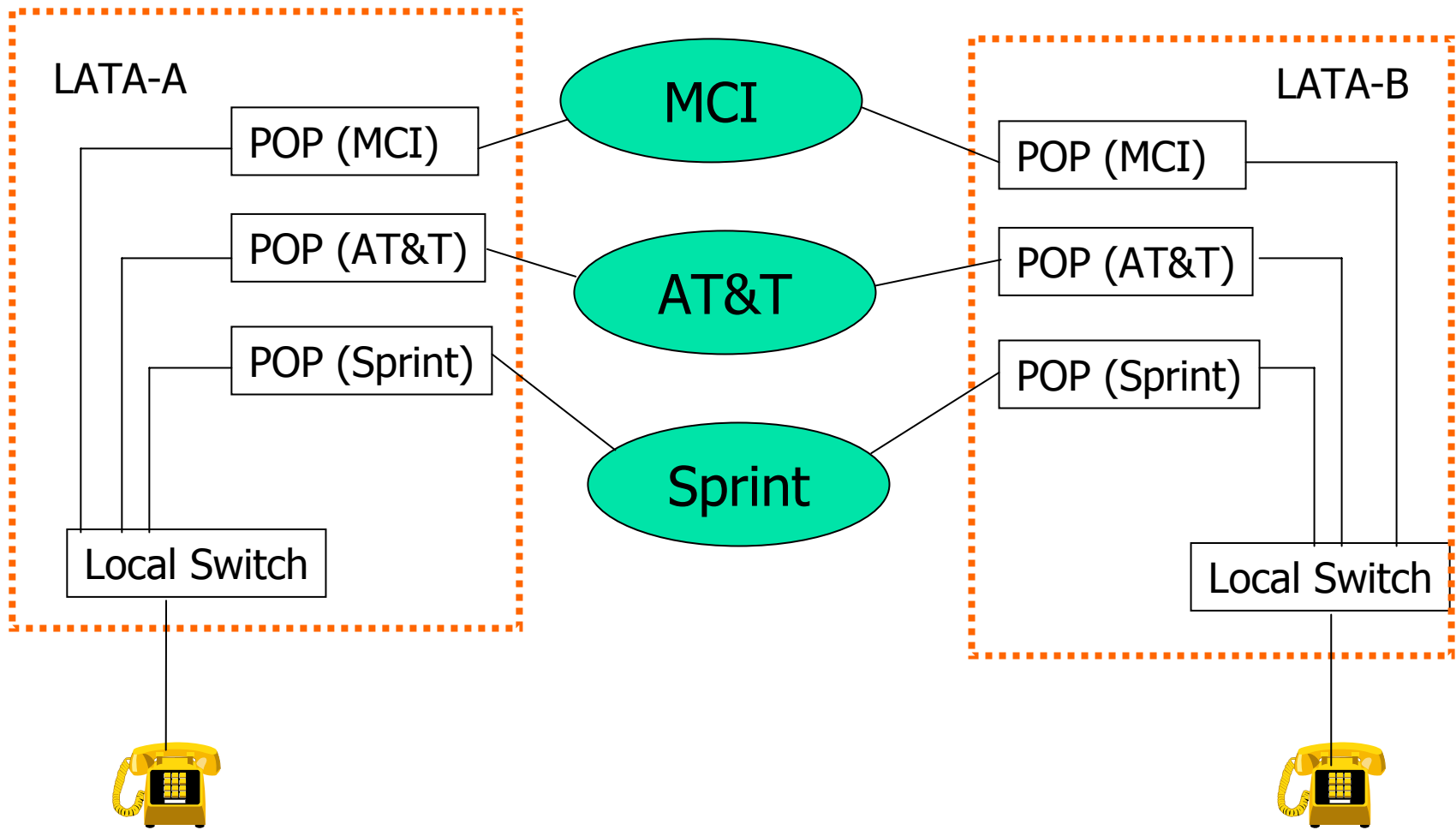
PSTN μετά την απογύμνωση

- 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

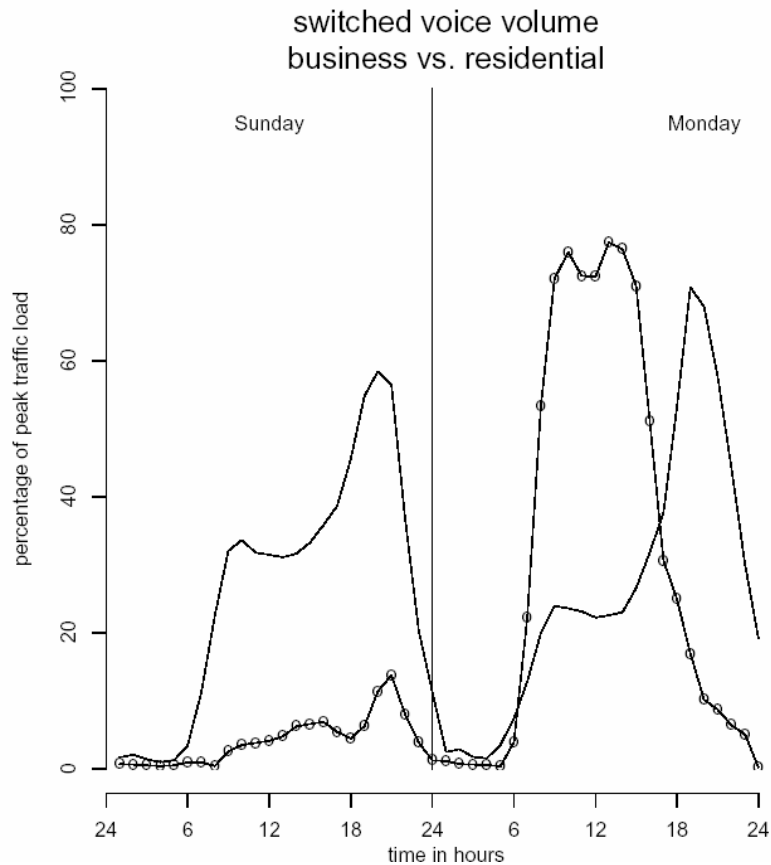
- Δίκτυο μετάδοσης
 - Πόσα κυκλώματα χρειάζονται
 - Πόσα παρέχονται
- Μεταγωγή
 - Πώς δρομολογούνται αποδοτικά οι κλήσεις;
- Τοπολογία
 - Αριθμός και θέση κόμβων
 - Αριθμός και θέση ζεύξεων
 - Επιβιωσιμότητα



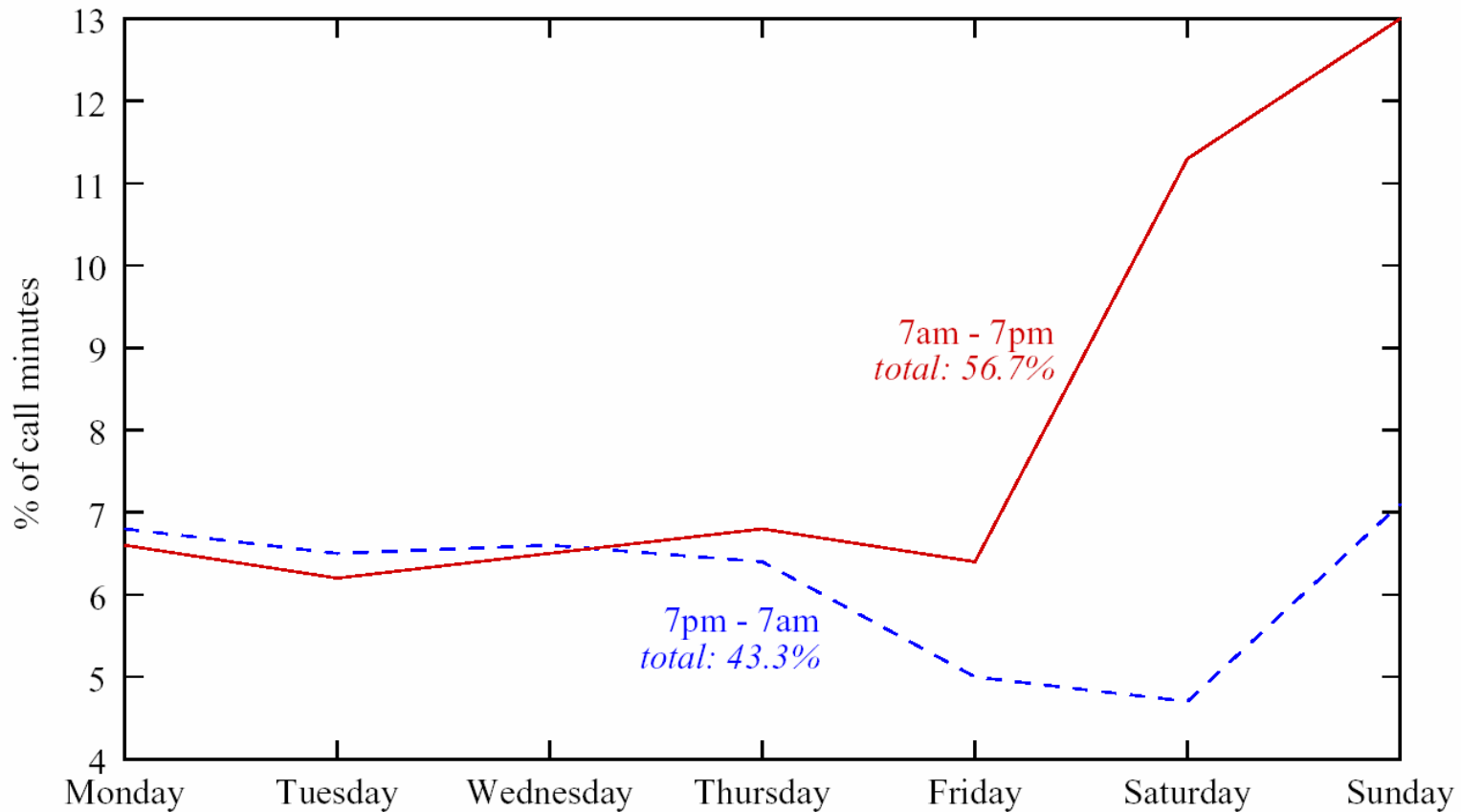
Τηλεφωνική κίνηση

- 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

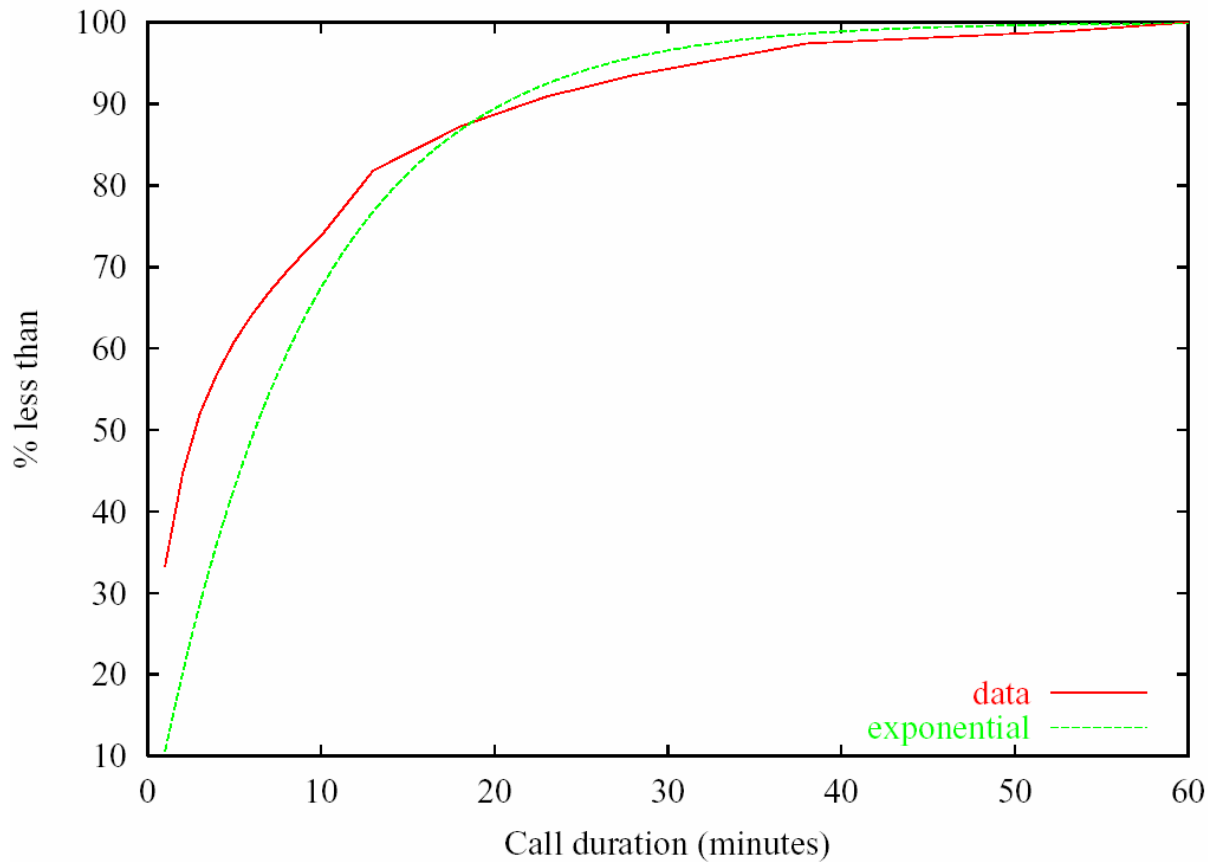




Διάρκεια κλήσεων

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

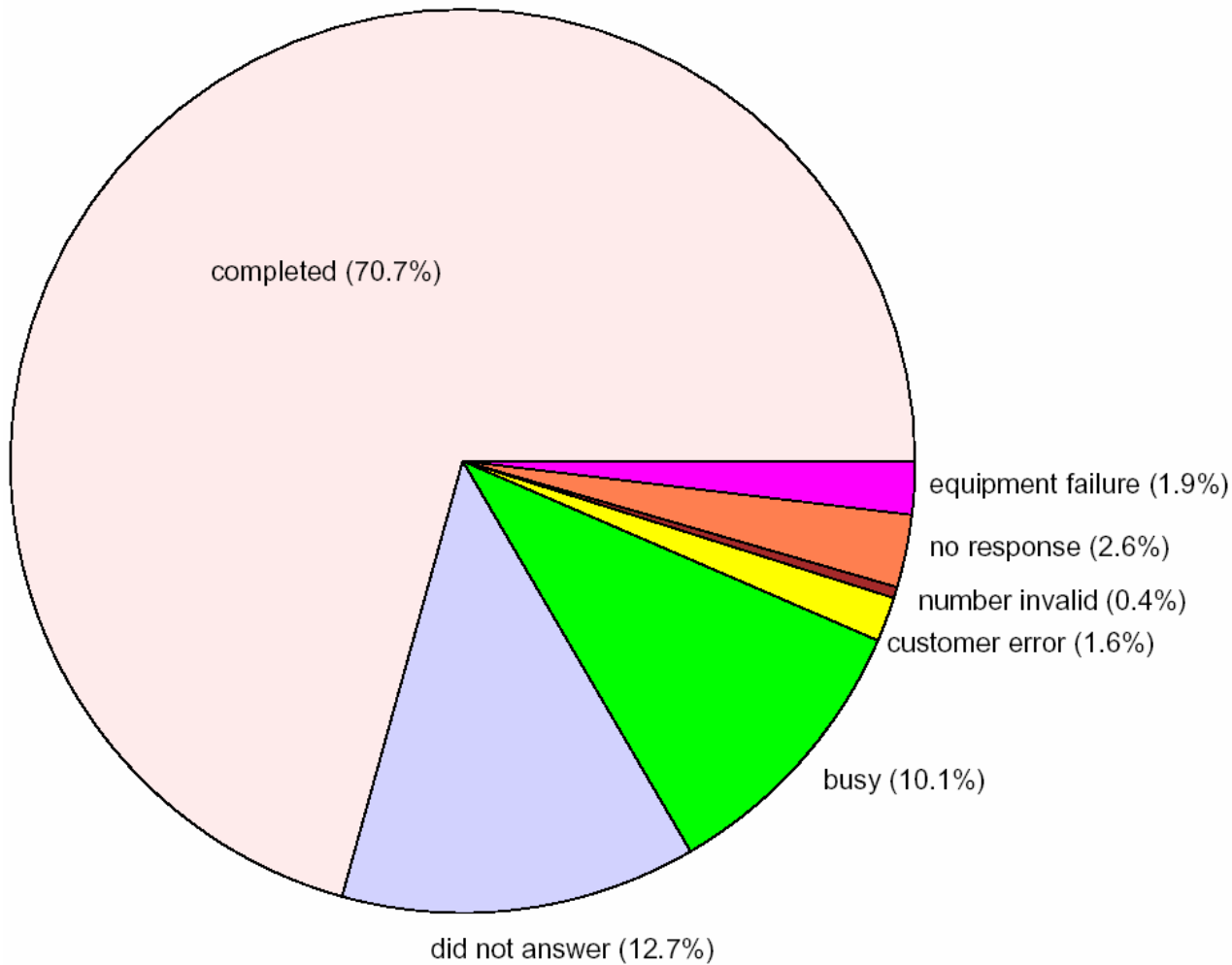
Κατανομή διάρκειας κλήσεων



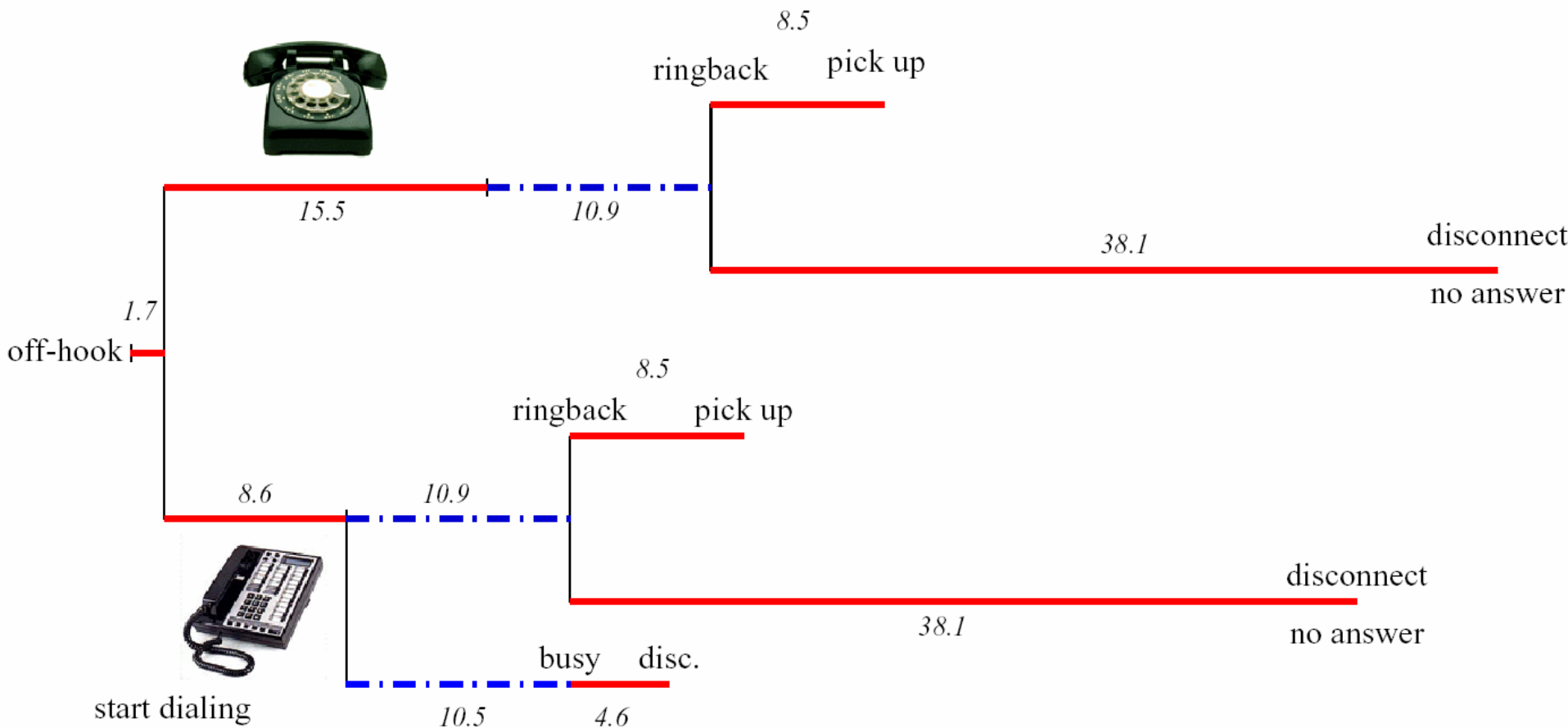
Κατανομή διάρκειας υπεραστικών κλήσεων ως προς την απόσταση

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