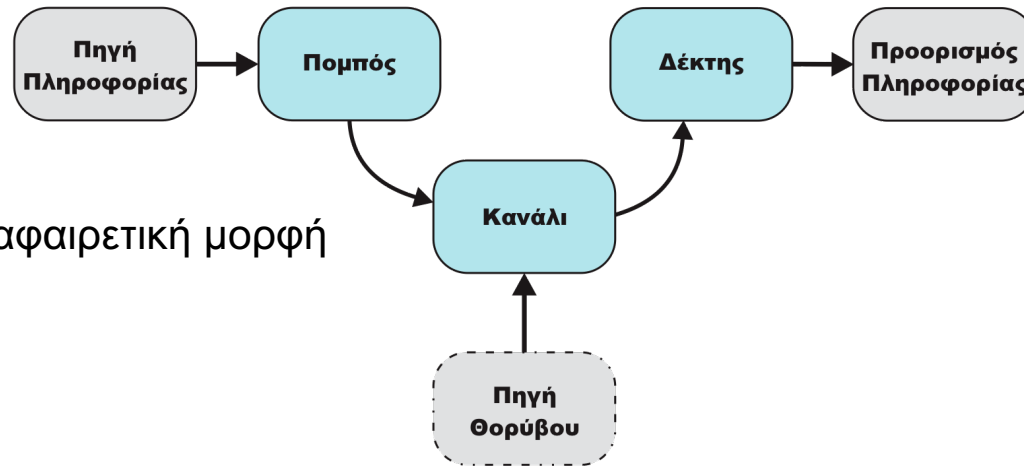


Ασύρματες Τηλεπικοινωνίες

«Από την Πρώτη γενιά (1G) στην
Πέμπτη γενιά (5G)»

Ι. Κρικήδης, FIEEE
Αν. Καθ. ΗΜΜΥ

Τι είναι ένα Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα ?



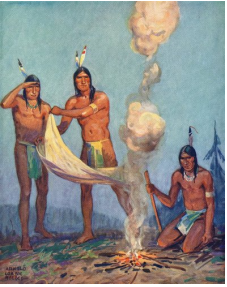
□ Απλούστερη/αφαιρετική μορφή

Σχήμα 1.1: Μοντέλο επικοινωνίας Shannon-Weaver

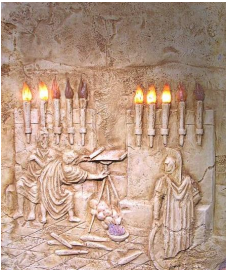
- Η πηγή παράγει το προς μετάδοση σήμα
- Ο πομπός μετατρέπει το σήμα εισόδου σε μορφή κατάλληλη για τη μετάδοση από το κανάλι (αναλογικό σήμα)
- Το κανάλι εισάγει παραμόρφωση, θόρυβο και παρεμβολή
- Ο δέκτης αποδιαμορφώνει και επεξεργάζεται το ληφθέν σήμα
- Ο μετατροπέας εξόδου μετατρέπει την έξοδο του δέκτη στην αρχική μορφή της πληροφορίας

Ιστορική Επισκόπηση

Συστήματα Καπνού



Φρυκτώρια
1900nX-1700nX



Σημαφόρος
Chappe, 1700



Πρώιμες (Οπτικές)
Τηλεπικοινωνίες

1820: Ο **Oersted** δείχνει ότι ηλεκτρικό ρεύμα παράγει μαγνητικό πεδίο

1831: Ο **Faraday** έδειξε ότι ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο παράγει ηλεκτρικό πεδίο

1867: ο **Maxwell** προέβλεψε την ύπαρξη των ηλεκτρομαγνητικών (ΗΜ) κυμάτων και διατύπωσε τη βασική θεωρία

1887: Ο **Hertz** απέδειξε την ύπαρξη των ΗΜ κυμάτων

1896: Ο **Guglielmo Marconi** κάνει επίδειξη του ασύρματου τηλέγραφου στη Βρετανική Υπηρεσία Τηλεγράφων (Νόμπελ Φυσικής το 1909)

1935: Ο **Armstrong** επιδεικνύει τη διαμόρφωση κατά συχνότητα (Frequency Modulation, FM)

1946: Ασύρματη Τηλεφωνία 0ης Γενιάς στις ΗΠΑ

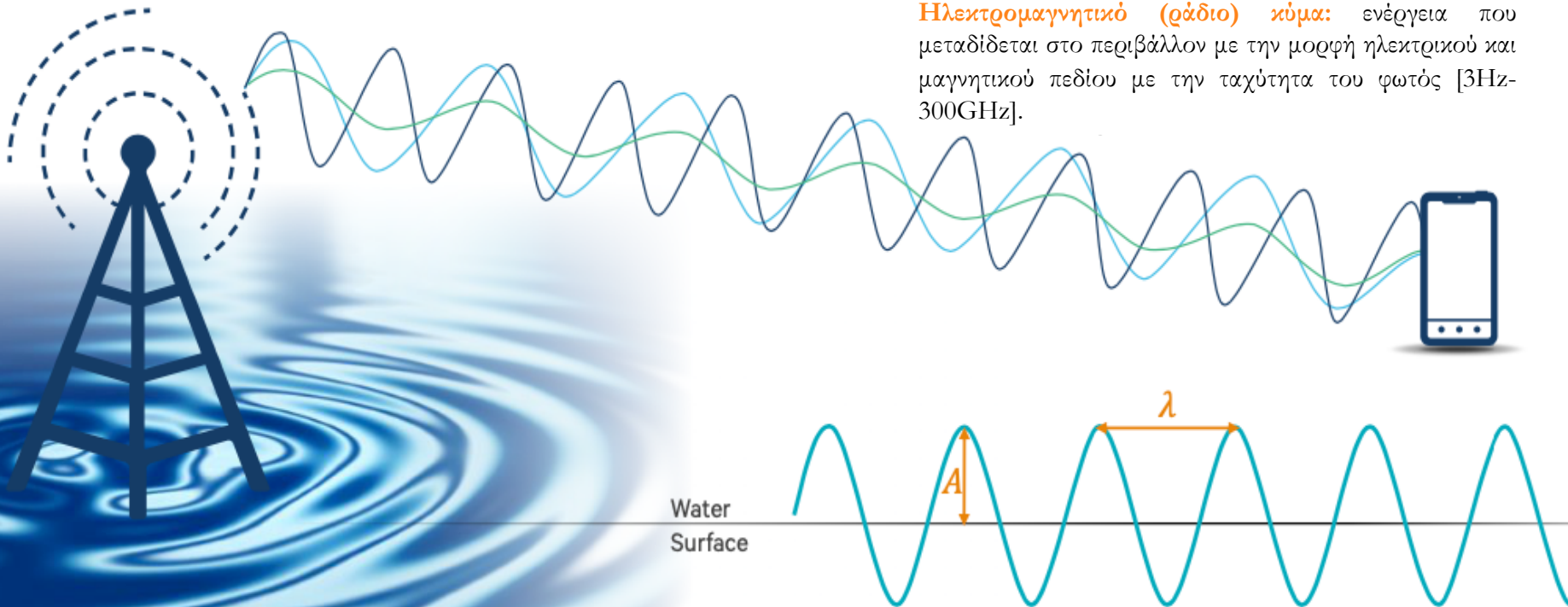
- Τοπολογία Δικτύου: Μια **πολύ “μεγάλη” κεραία** για κάθε μεγάλη αμερικανική πόλη

1949: Η **Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών** (FCC) αναγνωρίζει την ασύρματη ραδιοεπικοινωνία ως μια νέα κατηγορία υπηρεσιών

Κεραία και ραδιοκύματα

- **Κεραία** είναι ένας ηλεκτρικός αγωγός που μετατρέπει ένα ηλεκτρικό σήμα σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα και αντίστροφα.

Ηλεκτρομαγνητικό (ράδιο) κύμα: ενέργεια που μεταδίδεται στο περιβάλλον με την μορφή ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου με την ταχύτητα του φωτός [3Hz-300GHz].



Πλάτος (A): μέγεθος του κυματισμού

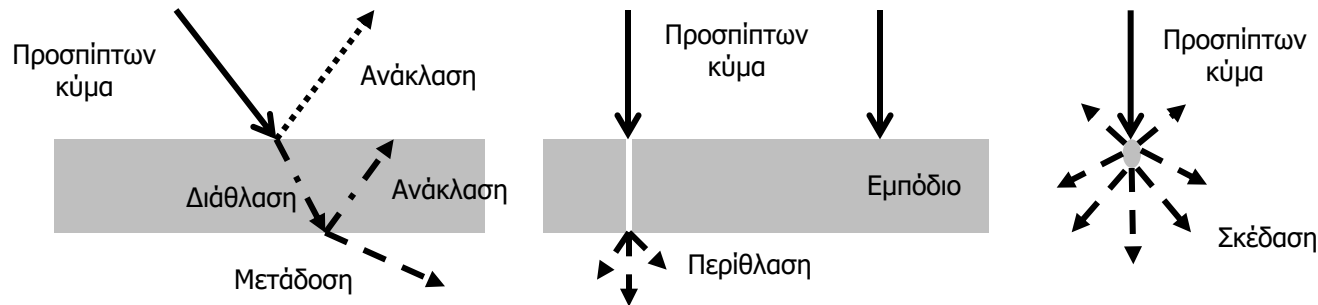
Μήκος κύματος (λ): απόσταση μεταξύ διαδοχικών κορυφών/κοιλιάδων

Συχνότητα ($f=1/\lambda$): Ίση με τον αριθμό των κύκλων (ταλαντώσεων, μηκών κύματος) ανά δευτερόλεπτο

Το ασύρματο κανάλι

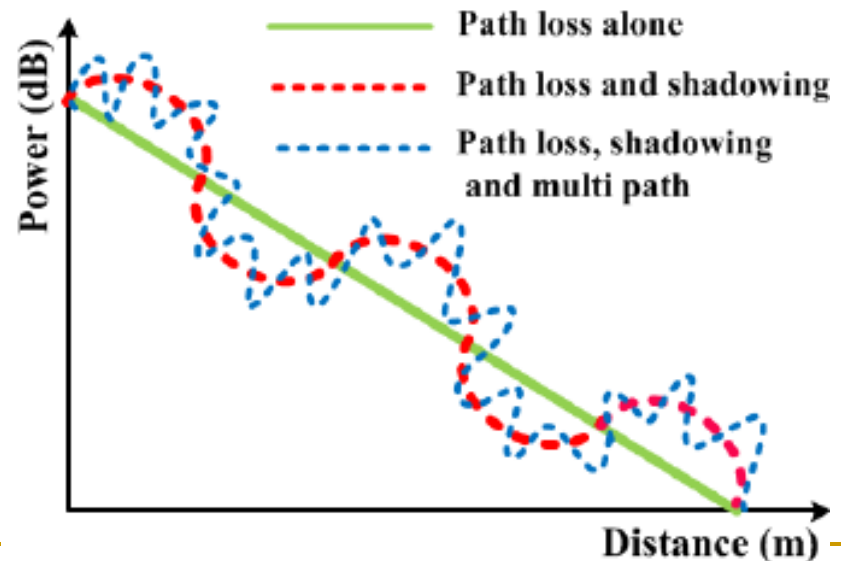
Διάδοση ραδιοκυμάτων: Ανάκλαση, Περίθλαση, Σκέδαση, Διάθλαση

Ασύρματη επικοινωνία ακόμη και όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή.



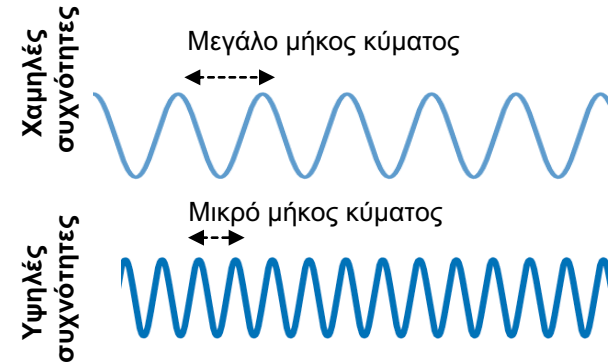
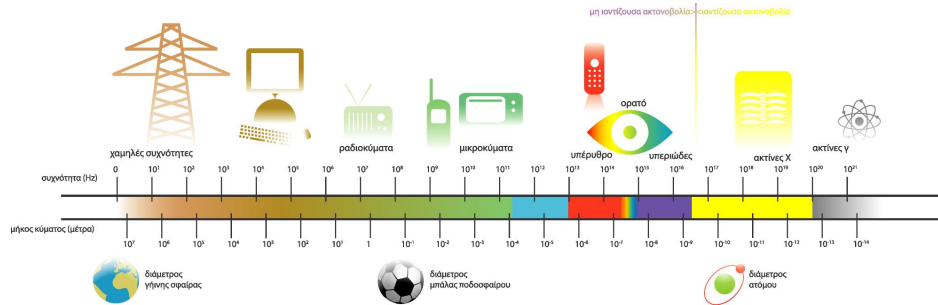
Διαλείψεις μεγάλης κλίμακας: Η λαμβανόμενη ισχύς μειώνεται με την απόσταση και εξαρτάται από την σκίαση από μεγάλα αντικείμενα.

Διαλείψεις μικρής κλίμακας: Ενισχυτική ή καταστροφική παρεμβολή που προκύπτει από πολλές διαδρομές σημάτων μεταξύ πομπού και δέκτη.



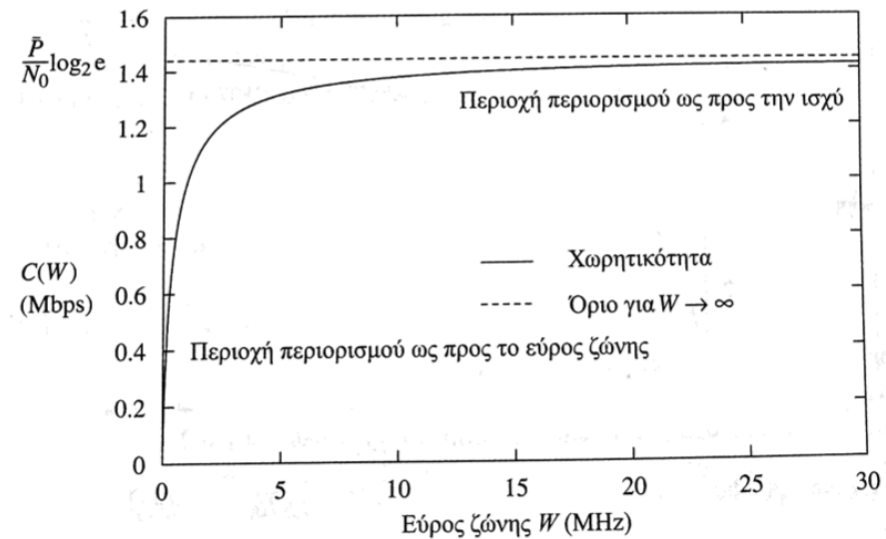
Το ραδιοφάσμα

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ονομάζεται το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. (Ραδιοφάσμα 3 Hz- 300 GHz)

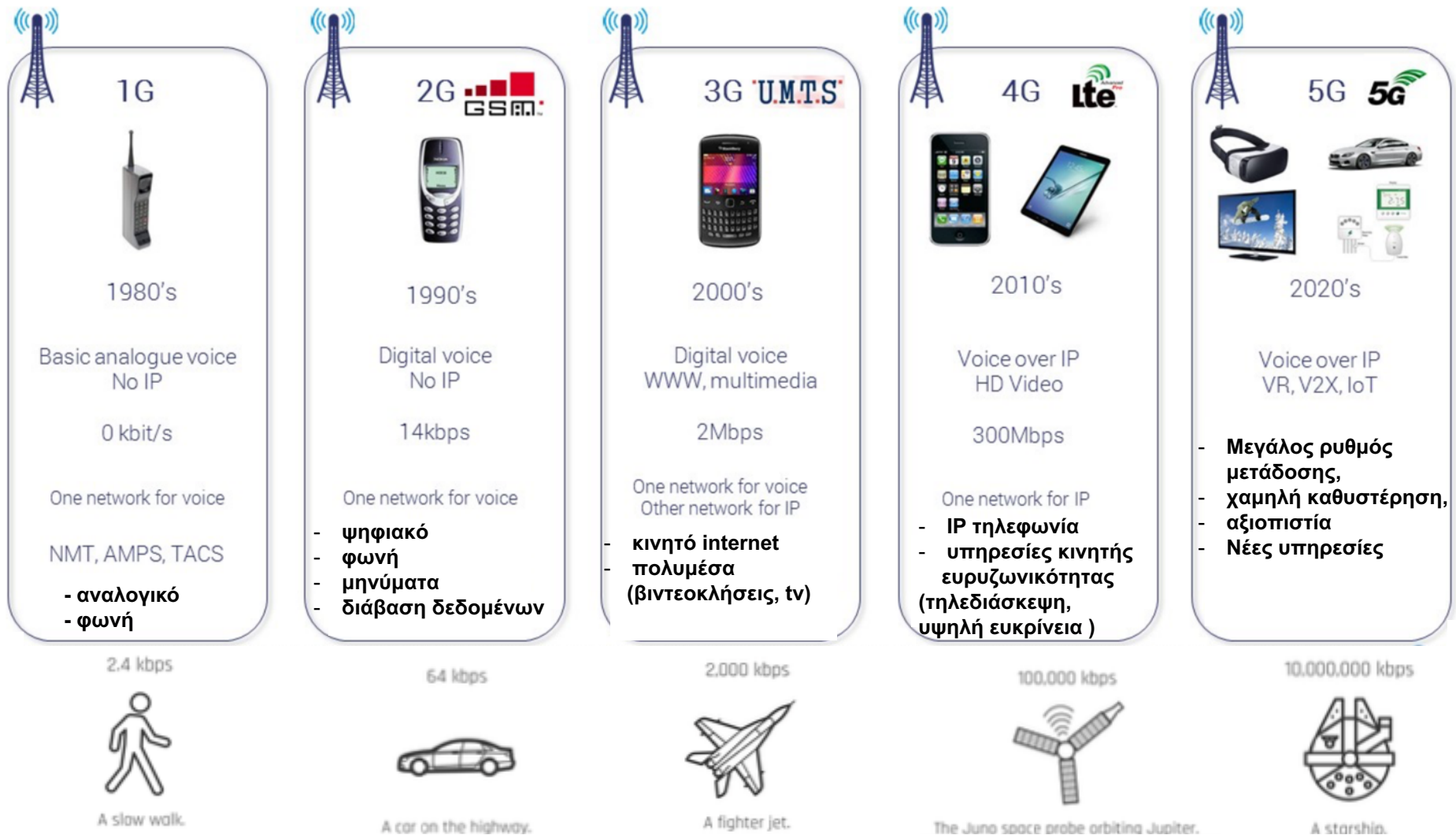


VHF (30-300 MHz): ραδιόφωνο, τηλεόραση
UHF (300-3000MHz): κινητή τηλεφωνία

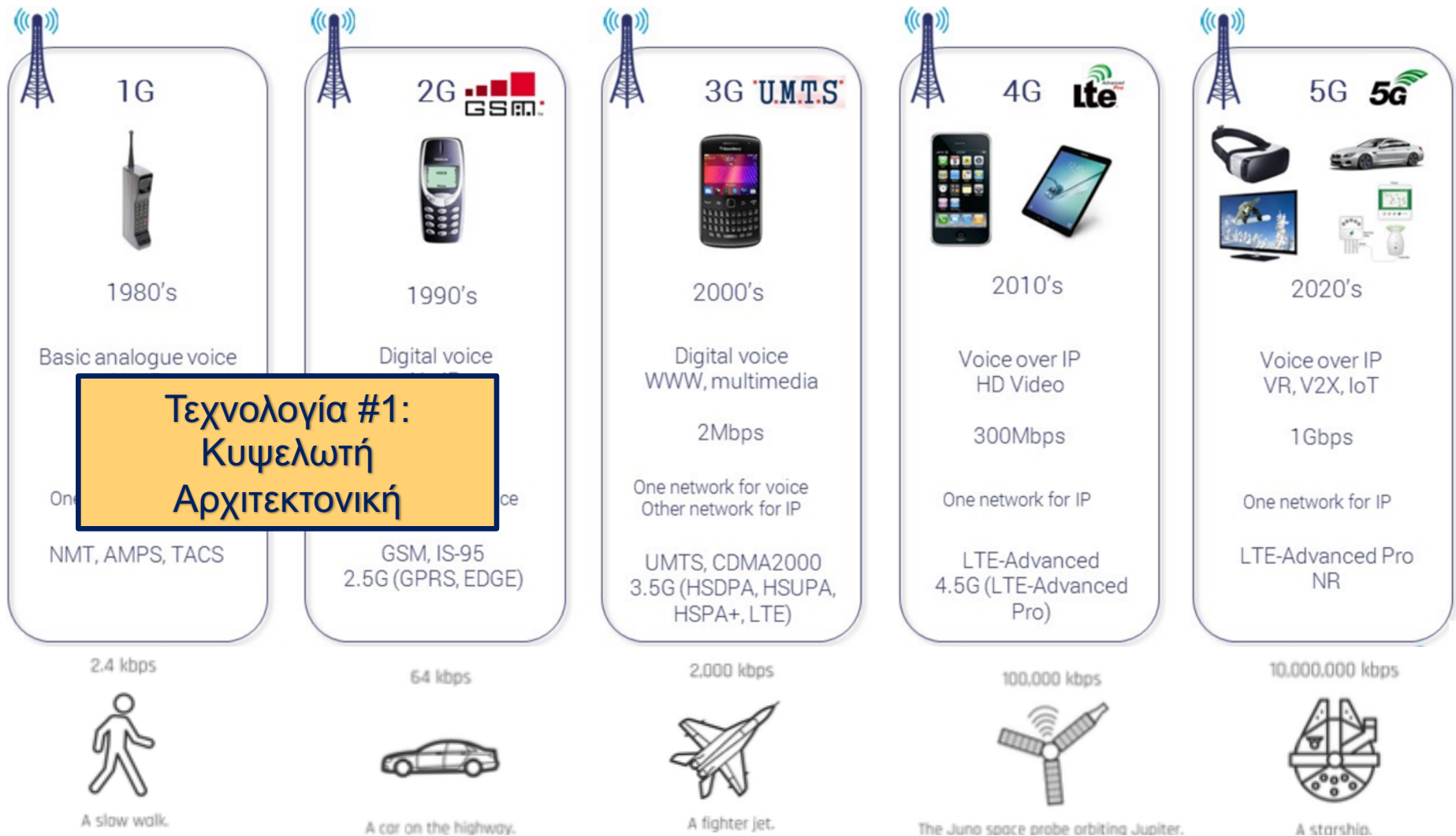
- Το φάσμα είναι πολύ ακριβό! Διαχείριση από οργανισμούς
[Κυπρος, Τμήμα Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών]
- Χαμηλές συχνότητες → μεγαλύτερες αποστάσεις, λιγότερο ευαίσθητες σε εμπόδια, προϋποθέτουν μεγάλες κεραιές.
- «συμφόρηση» συγκεκριμένες ζώνες



Κυψελωτά Δίκτυα- η εξέλιξη

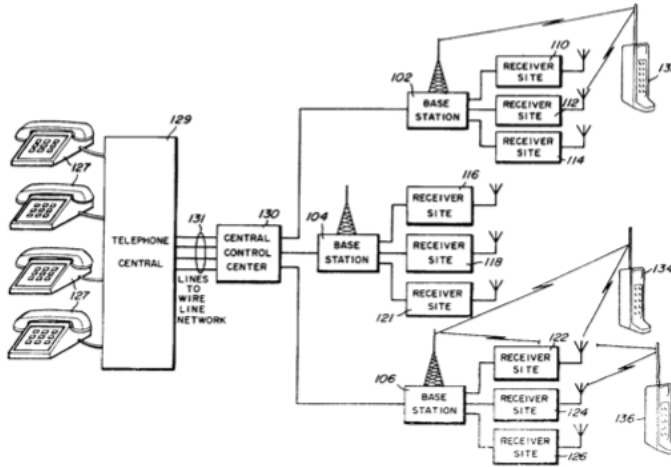


Κυψελωτά Δίκτυα- η εξέλιξη



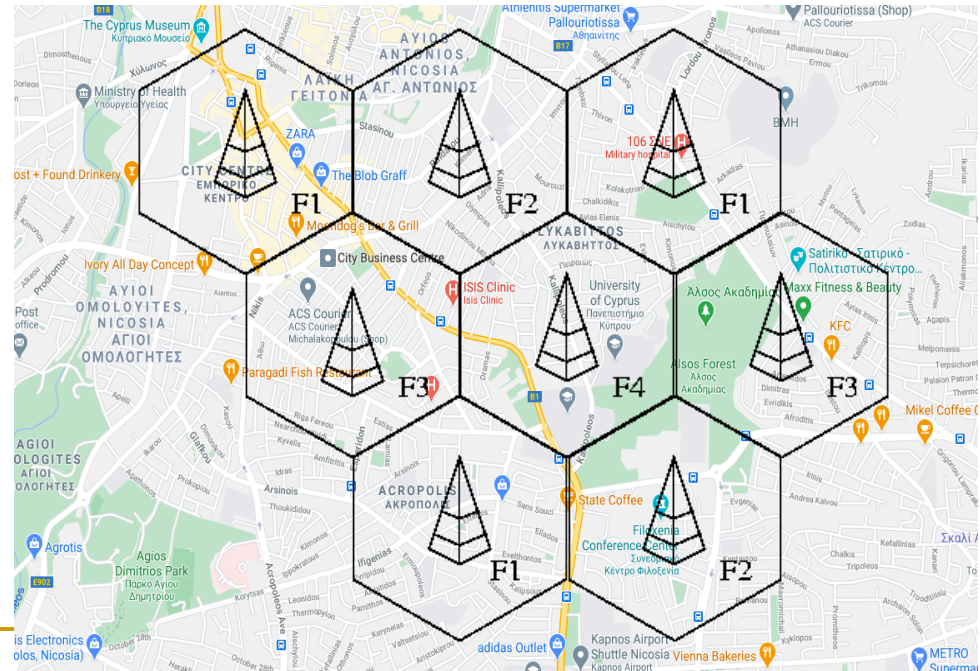
Τεχνολογία #1:
Κυψελωτή
Αρχιτεκτονική

Η κυψελωτή αρχιτεκτονική

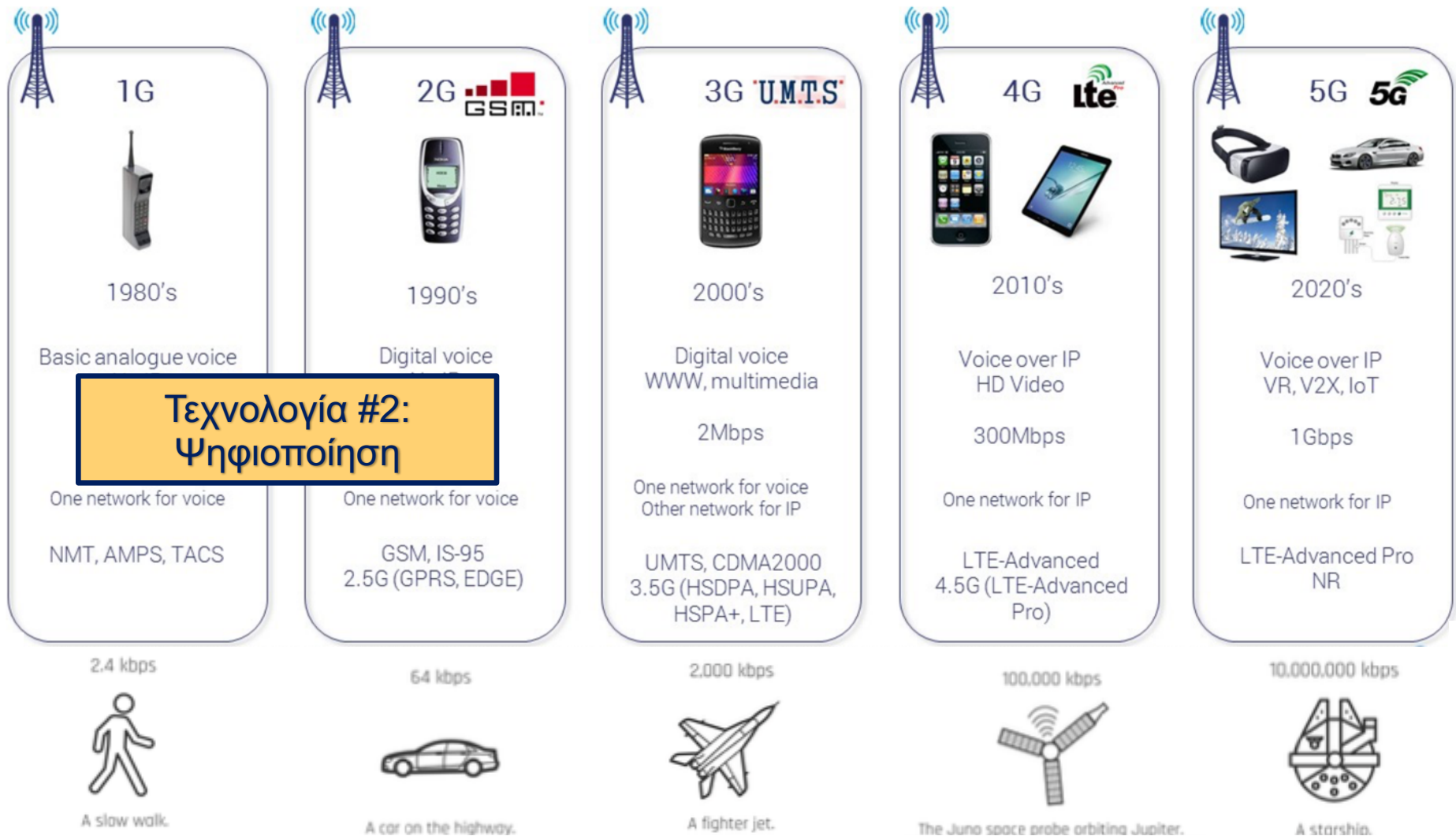


*"Radio Telephone System"
Patent, Motorola, Sept. 1975*

- ❑ Πολλαπλές κεραιές χαμηλής ισχύος (**σταθμοί βάσης**), η κάθε μία καλύπτει μια μικρή γεωγραφική περιοχή (**κυψέλη**).
- ❑ Σε κάθε ΣΒ κατανέμεται μια υποομάδα του διαθέσιμου φάσματος.
- ❑ Γειτονικοί σταθμοί βάσης διαχειρίζονται διαφορετικές υποομάδες για την μείωση της ομοκαναλικής παρεμβολής

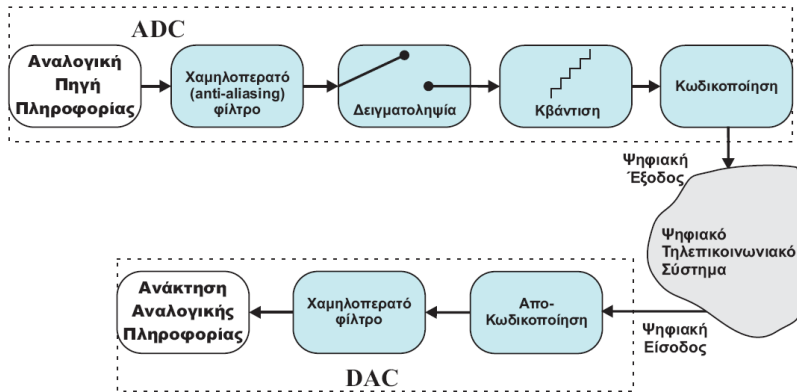


Κυψελωτά Δίκτυα- η εξέλιξη



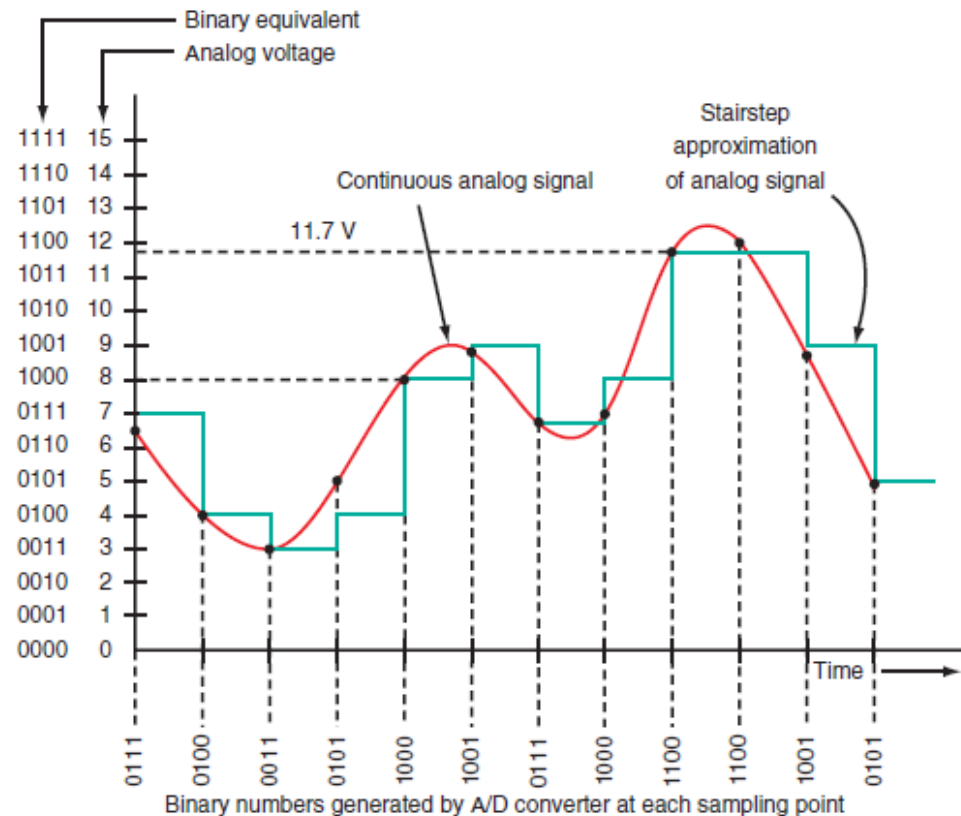
Τεχνολογία #2:
Ψηφιοποίηση

Ψηφιακό Σήμα

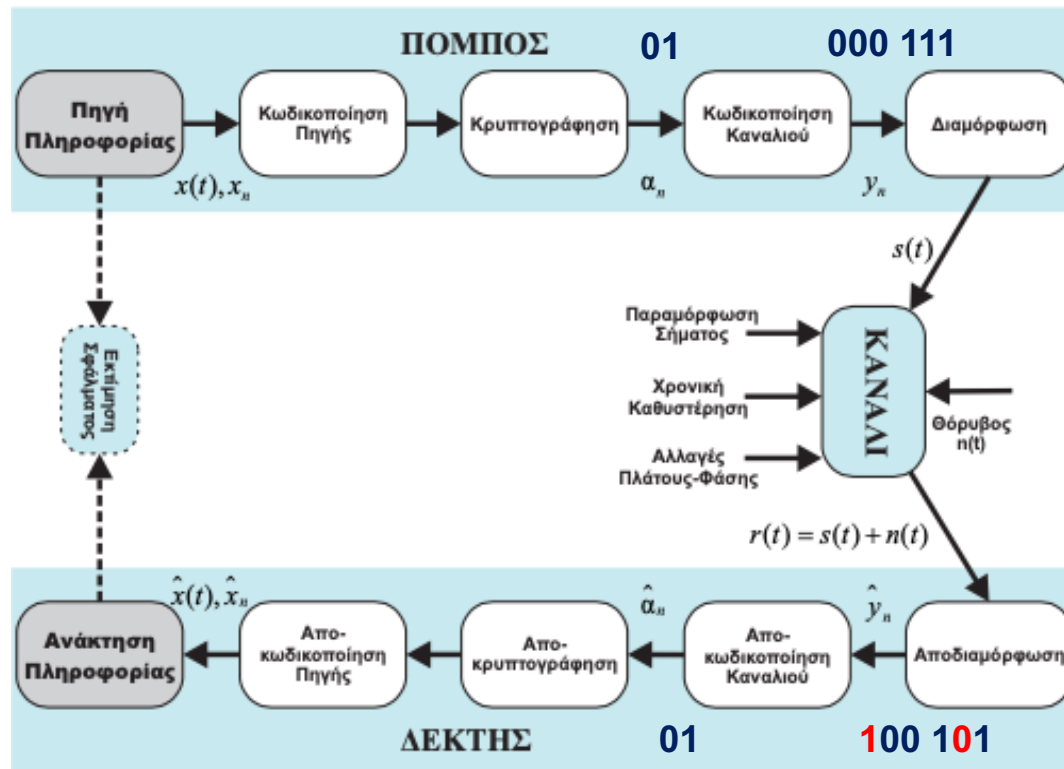


- Harry Nyquist (1889-1976)
- Claude Shannon (1916-2001)

- Η μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε δυαδική ακολουθία.
- 2G/GSM: φωνή 8 KHz και 13 bits/δείγμα (=8192 επίπεδα)
- Μουσικό CD: 44.1 KHz και 16 bits/δείγμα (=65536 επίπεδα)



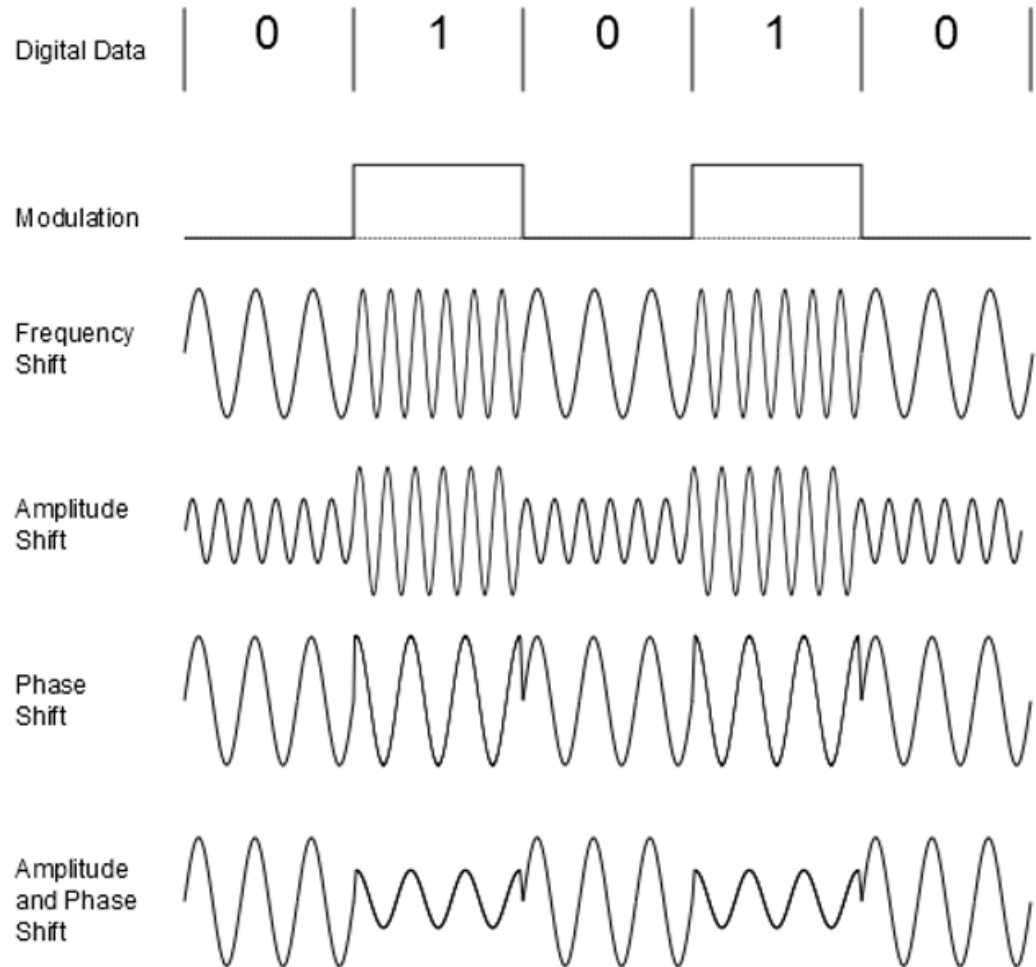
Κωδικοποίηση Πηγής/Καναλιού



- **Κωδικοποίηση Πηγής:** Απομάκρυνση πλεονασμού στην πληροφορία- αναπαράσταση της πληροφορίας με λιγότερα bits (Συμπίεση)
- **Κωδικοποίηση Καναλιού:** Ενίσχυση του σήματος με πλεονάζουσα πληροφορία η οποία χρησιμοποιείται από τον δέκτη για τον εντοπισμό και τη διόρθωση σφαλμάτων. (4G) Turbo codes; (5G) LDPC, polar codes.

Ψηφιακή Διαμόρφωση

- Αντιστοίχιση διαδικής ακολουθίας στα **χαρακτηριστικά ενός ΕΜ κύματος**- πλάτος ή/και συχνότητα ή/και φάση.
- Παράδειγμα: (2G) 2FSK; (3G) 4PSK; (4G) μέχρι $64=2^6$ QAM; (5G) μέχρι $256=2^8$ QAM
- Υψηλότερης τάξης διαμόρφωση
 - $\uparrow$ ρυθμός μετάδοσης
 - $\downarrow$ ανοχή στο θόρυβο



Κυψελωτά Δίκτυα- η εξέλιξη



Μεταγωγή Πακέτου

- Μεταγωγή Κυκλώματος (φωνή) → **Μεταγωγή Πακέτου** (δεδομένα)
- Πακέτο** αποτελεί τη βασική μονάδα πληροφορίας που μεταφέρεται μέσα στα δίκτυα.
 - πληροφορίες ελέγχου, δεδομένα του χρήστη.

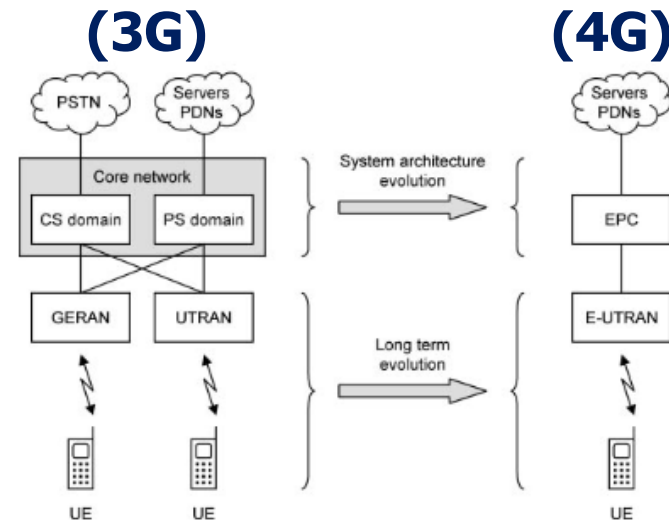
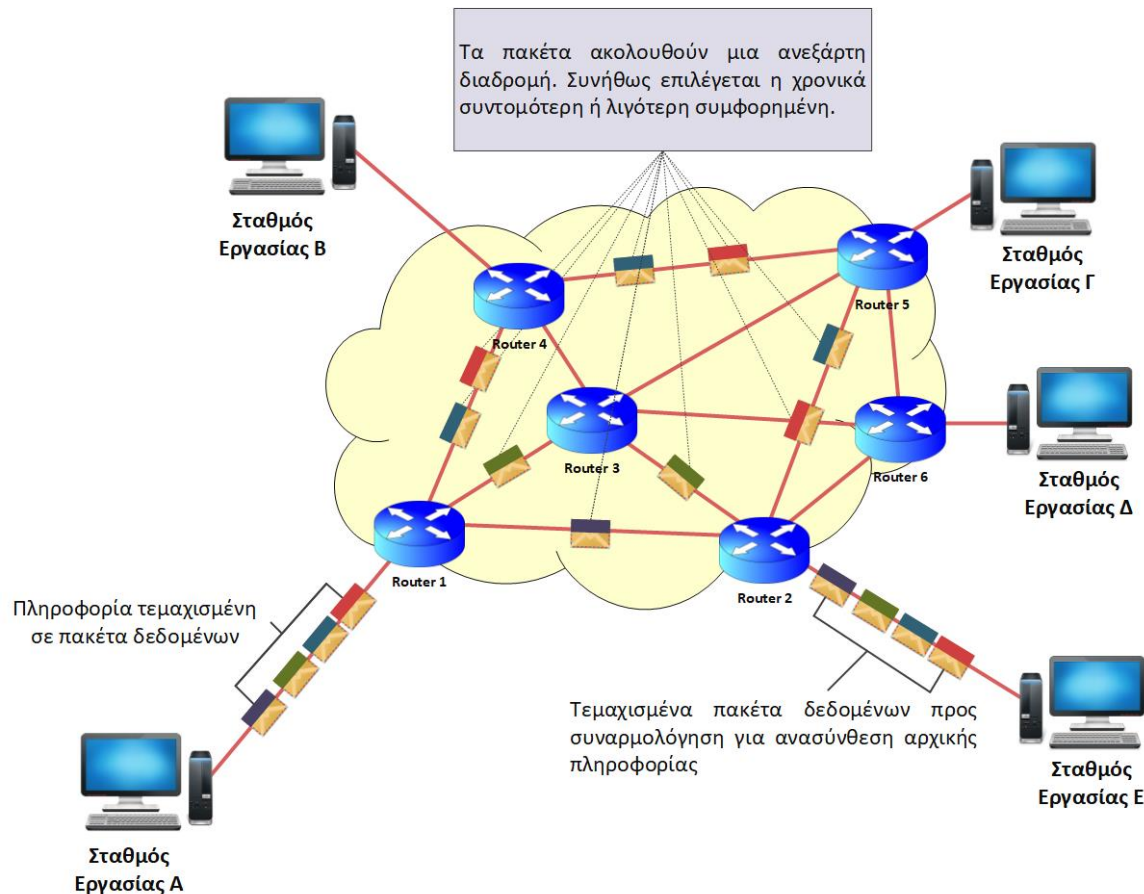
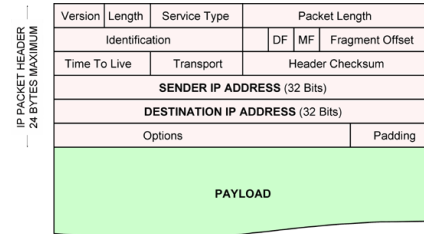
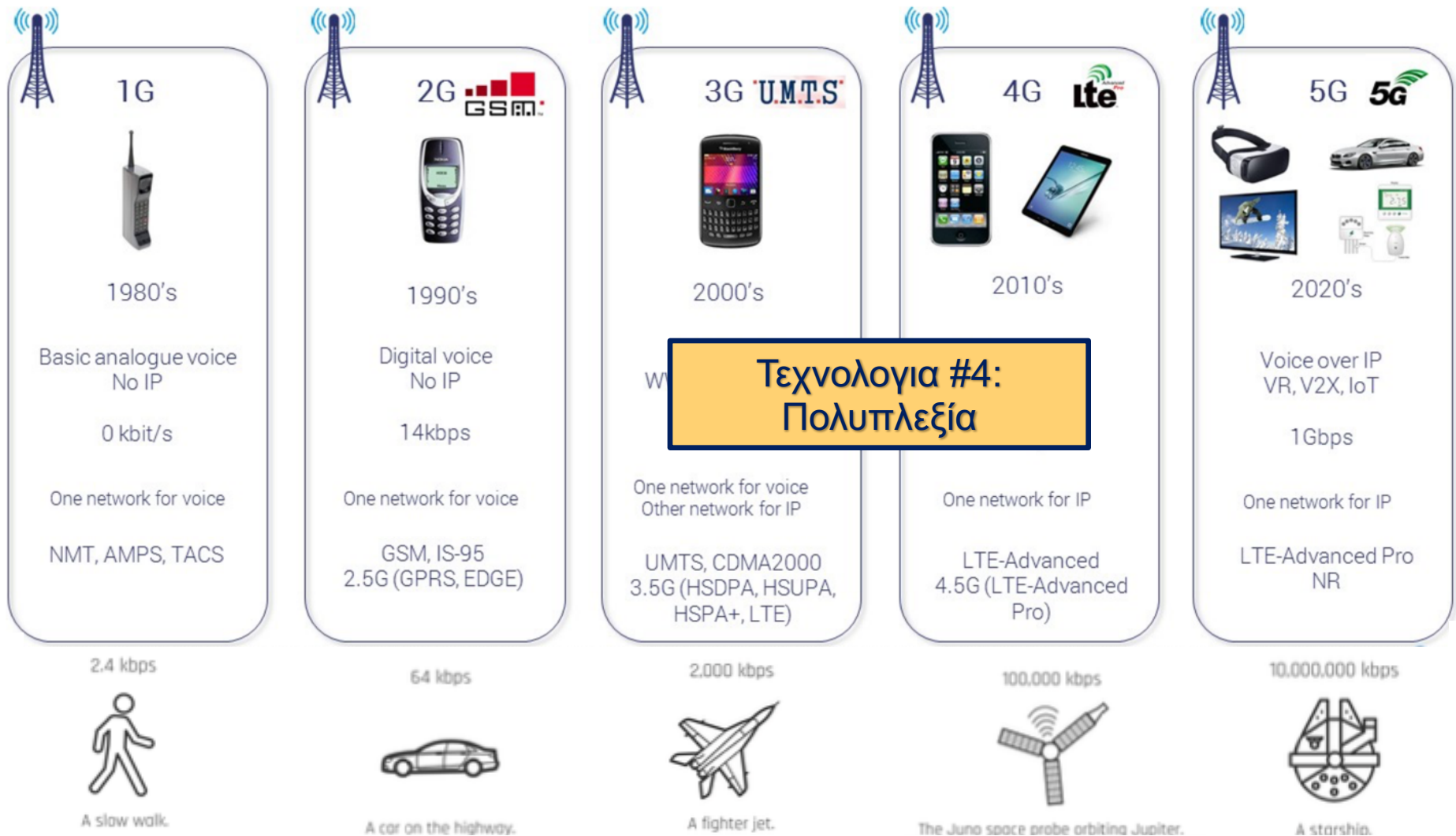


Figure 1.8 Evolution of the system architecture from GSM and UMTS to LTE.

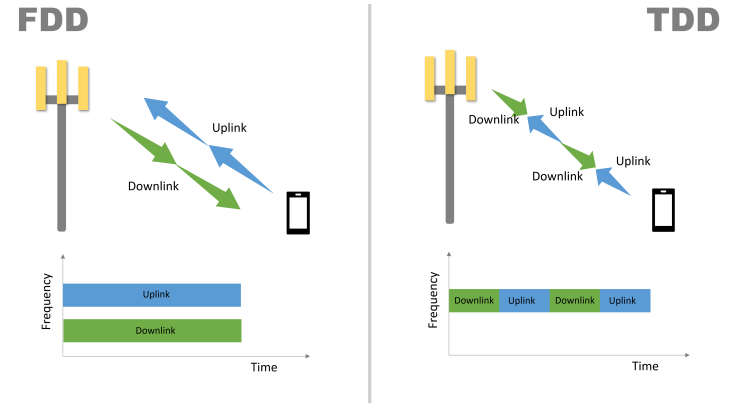
Κυψελωτά Δίκτυα- η εξέλιξη



Πολυπλεξία

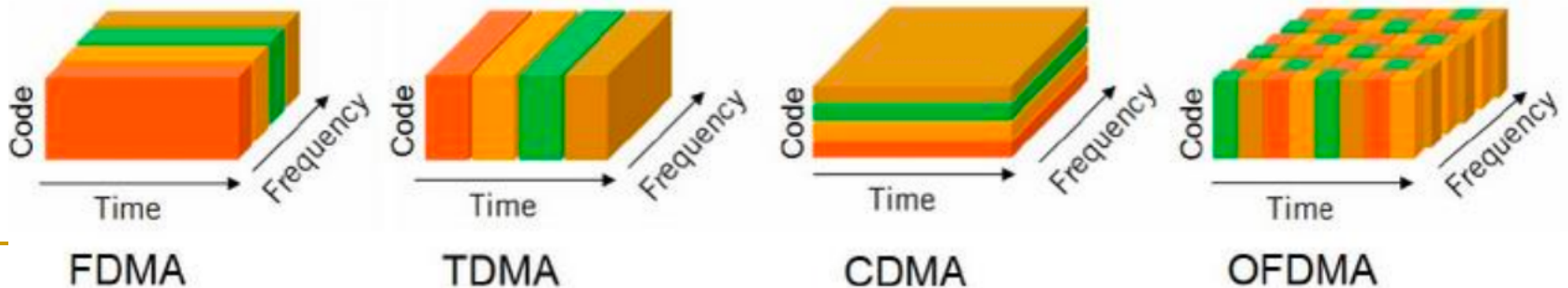
- **Αμφιδρόμηση (duplexing):**

- Διαφορετικές συχνότητες (FDD)
- Διαφορετικές χρονοθυρίδες (TDD)



- **Πολυπλεξία (multiplexing):** πολλαπλοί χρήστες μοιράζονται ταυτόχρονα το ασύρματο κανάλι

- Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας (FDMA)
- Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου (TDMA)
- Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα (CDMA)
- Ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας (OFDMA)

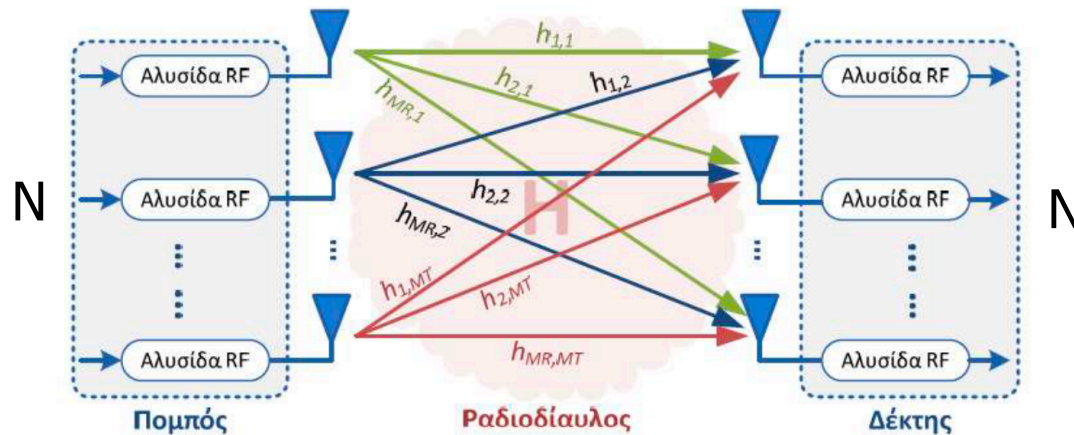


Κυψελωτά Δίκτυα- η εξέλιξη



Τεχνολογία #5:
Συστήματα Πολλαπλών
Κεραιών

Συστήματα MIMO (1/2)



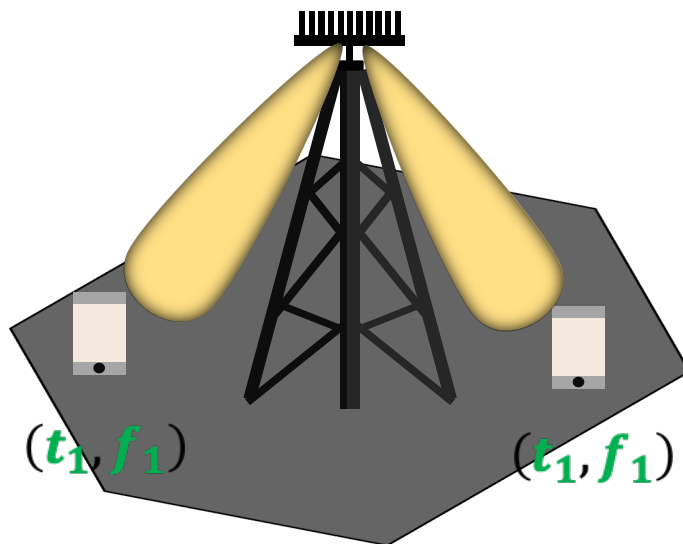
- MIMO → πολλαπλές κεραίες σε πομπό και δέκτη.
- Διανυσματική επεξεργασία σήματος.
- **Κέρδος πολυπλεξίας N**
- ή/και **Κέρδος ποικιλομορφίας** $P_e \propto SNR^{-N^2}$

Wireless standard	Antenna configurations
IEEE 802.11n (WiFi)	4×4
IEEE 802.16e (WiMAX)	4×4
HSPA+ (Enhanced HSPA)	2×2
LTE (3.9G)	4×4
LTE-Advanced (4G)	8×8
802.11ac (Enhanced 802.11n)	8×8

- Πολυπλοκότητα στον δέκτη (επεξεργασία, πολλαπλές κεραίες).
- Ανεξαρτησία στα κανάλια (π.χ. οπτική επαφή στην πράξη).

Συστήματα MIMO (2/2)

- **MU-MIMO** : Πολλαπλοί χρήστες εξυπηρετούνται ταυτόχρονα από ένα σταθμό βάσης με πολλαπλές κεραίες.
- Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χώρου (SDMA)
 - Χωρικό **κέρδος πολυπλεξίας** ακόμα και αν ο κάθε χρήστης έχει μία κεραία
 - Ανεξαρτησία των ασύρματων καναλιών (πχ. ακόμη και σε περίπτωση LOS)



- Γνώση του ασύρματου καναλιού (σταθμός βάσης, χρήστες)
- Μεγάλη πολυπλοκότητα όσο αυξάνεται το πλήθος των χρηστών (K) ή/και το πλήθος των κεραιών (M)



Η πρόκληση «1000x»

- Η ζήτηση για τηλεπικοινωνιακή κίνηση δεδομένων αυξάνεται κατά 26% κάθε χρόνο.
- Στα επόμενα χρόνια, θα απαιτηθούν **>1000 φορές υψηλότεροι** όγκοι τηλεπικοινωνιακών φορτίων (bits/sec/Hz/km²)

Mobile data traffic

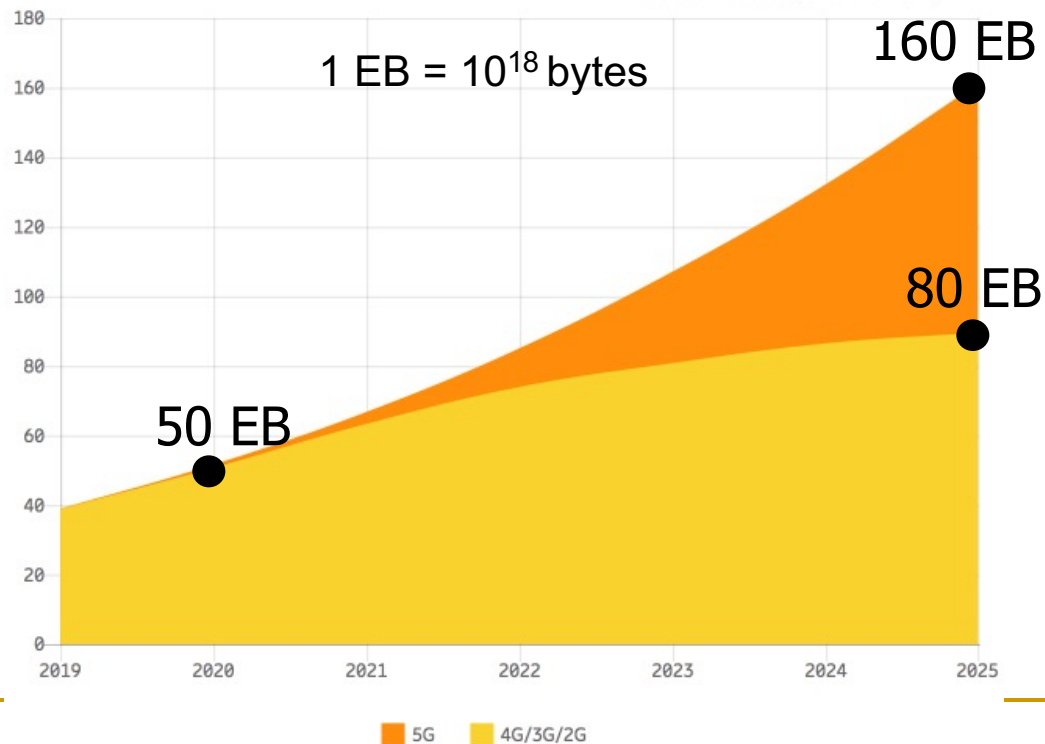
Unit: EB/month

5G | 4G/3G/2G

All devices

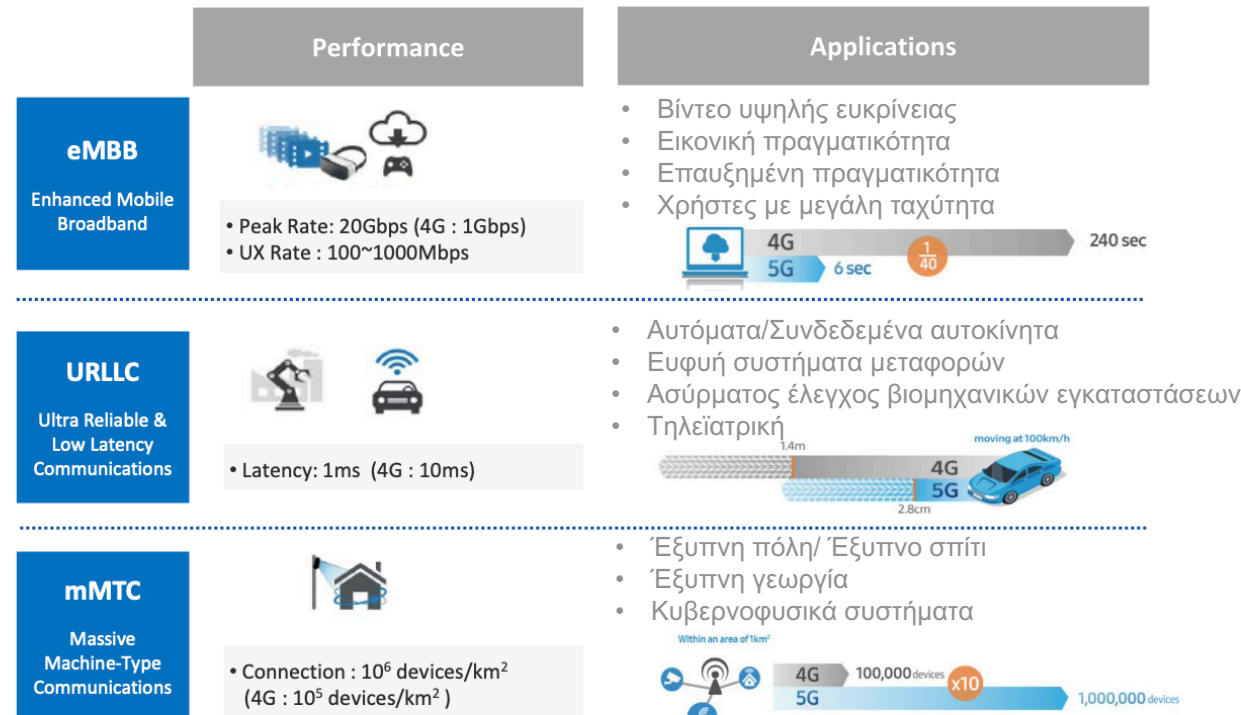
Year: 2019 - 2025

Source: Ericsson (November 2019)



5G Τεχνολογικές Απαιτήσεις

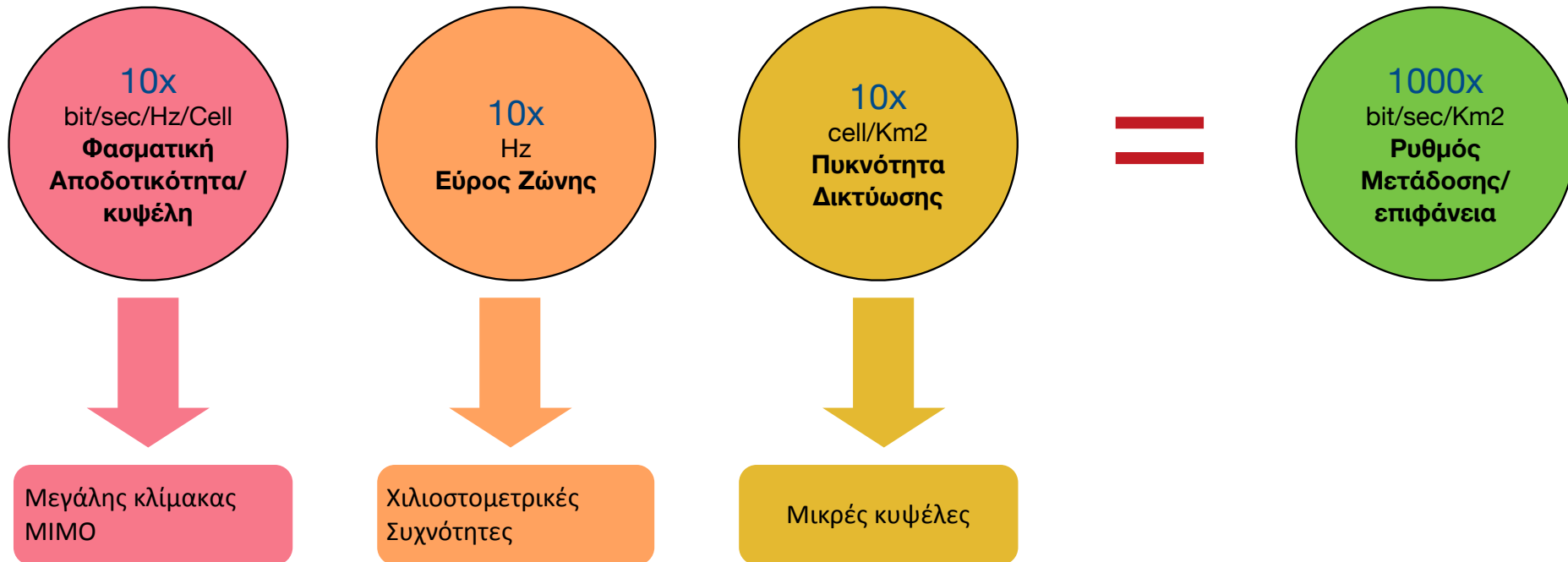
- ❑ Ρυθμός Μετάδοσης (1000x)
- ❑ Μικρή καθυστέρηση (1msec) & υψηλή αξιοπιστία
- ❑ Υποστήριξη ενός μεγάλου πλήθους συσκευών με χαμηλές απαιτήσεις δεδομένων ($>10^6$ συσκευές/Km²)
- ❑ Ενεργειακή αποδοτικότητα- (100x)



- Υπηρεσίες εμπλουτισμένης κινητής ευρυζωνικότητας (enhanced mobile broadband - eMBB)
- Υπηρεσίες εξαιρετικά αξιόπιστων επικοινωνιών μικρής καθυστέρησης (ultra-reliable and low latency communications - URLLC)
- Υπηρεσίες μαζικής επικοινωνίας μεταξύ μηχανών (massive machine type communications - mMTC)

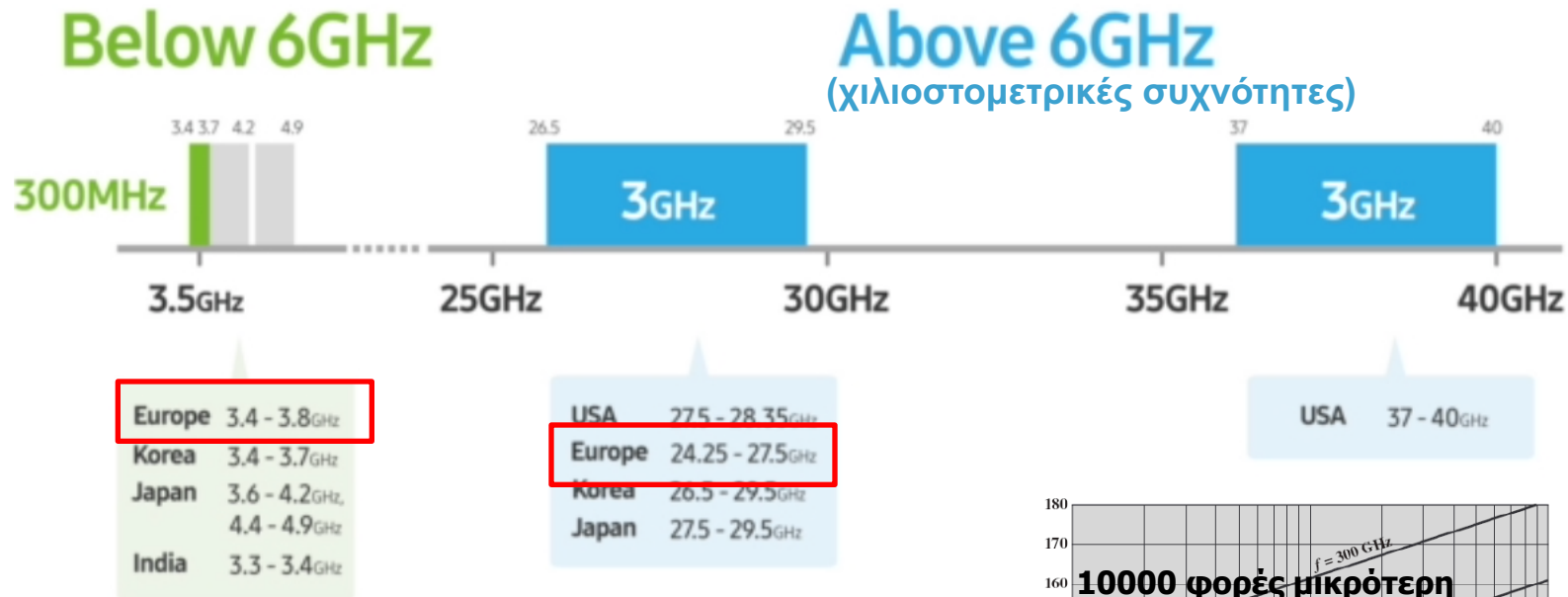
Η τεχνολογία 5G

□ Ρυθμός μετάδοσης/επιφάνεια



5G Φάσμα

- Οι συχνότητες πάνω από τα 6 GHz, είναι το νέο φάσμα για τα συστήματα 5G.

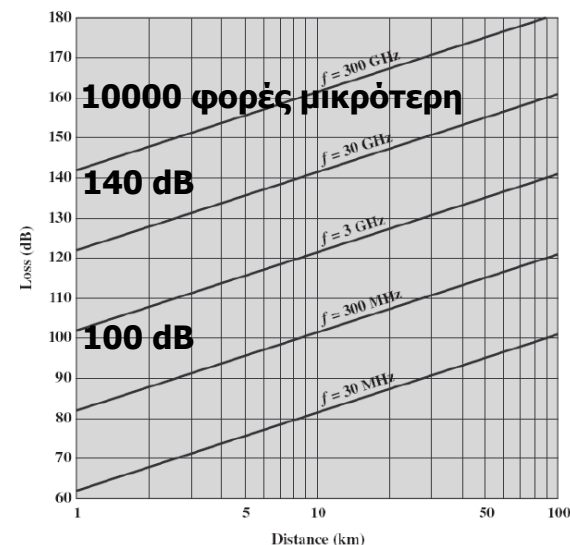


*Πλειστηριασμός/αδειοδότηση-
Δεκέμβριος 2020, Κύπρος*

- Φασματική ζώνη 700 MHz (60 MHz)
- Φασματική ζώνη 3,6 GHz (400 MHz)

[€41,6 εκατομμύρια

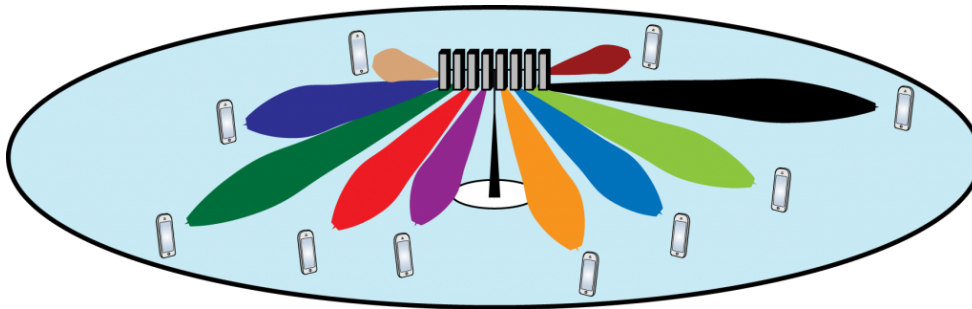
Πλειοδότες: Αρχή Τηλεπικοινωνιών Κύπρου, Epic ,
Cablenet, και Primetel]



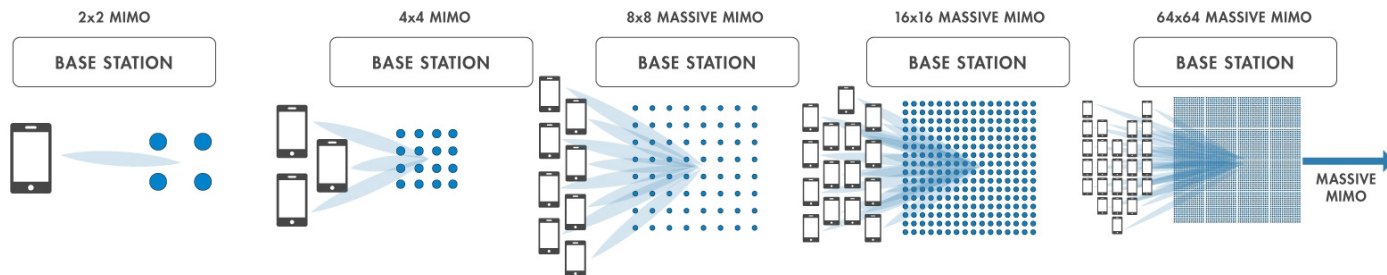
MIMO μεγάλης κλίμακας

❑ Μεγάλης κλίμακας MIMO – Massive MIMO

- Ο σταθμός βάσης χρησιμοποιεί ένα μεγάλο πλήθος κεραιοστοιχείων $M \gg K$
- TDD αμφιδρόμηση



- Γραμμική διανυσματική επεξεργασία σήματος
- Γνώση του ασύρματου καναλιού μόνο στον σταθμό βάσης (χαμηλή πολυπλοκότητα σηματοδοσίας K)

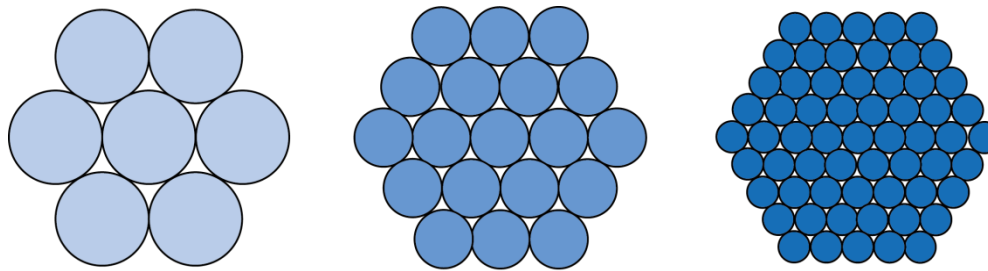


- ✓ Εξάλειψη διαλείψεων μικρής κλίμακας (σκλήρυνση καναλιού)
- ✓ Βελτίωση της φασματικής και ενεργειακής απόδοσης
- ✓ Αύξηση αξιοπιστίας
- ✓ Εξομάλυνση παρεμβολών
- ✓ Χρήση απλών τεχνικών χρονοδρομολόγησης



Πυκνή δικτύωση

- Παραδοσιακός τρόπος αύξησης της χωρητικότητας σε κυψελωτά δίκτυα.
- Μειώνουμε την ακτίνα κυψέλης κατά ένα παράγοντα k
 - Αυξάνουμε τον αριθμό κυψελών κατά ένα παράγοντα k^2 .
 - Μειώνουμε την εκπεμπόμενη ισχύ κατά k^n .



Ιεραρχικό Επίπεδο	Χαρακτηριστικά	Στόχευση
Macro	Ακτίνα κάλυψης: 500 m – 10 km Ισχύς Εκπομπής: Έως μερικές δεκάδες Watt Τοποθέτηση: Σε ειδικές κατασκευές σε εξωτερικό χώρο (radio towers/masts)	Παροχή ευρείας γεωγραφικής & πληθυσμιακής κάλυψης.
Στοχευμένες Κυψέλες Μικρής Εμβέλειας (Small-Cells)		
Micro	Ακτίνα κάλυψης: 150 – 200m Ισχύς Εκπομπής: 1 – 10W Τοποθέτηση: Σε εξωτερικό χώρο	Περιοχές δημοσίου ενδιαφέροντος (στάδια, πάρκα). Καλύπτουν και εσωτερικούς χώρους.
Pico	Ακτίνα κάλυψης: Μερικές δεκάδες μέτρα Ισχύς Εκπομπής: Έως 1 W, τυπικά 250 mW Τοποθέτηση: Σε εσωτερικό χώρο	Απαιτητικοί χώροι ή χώροι δημοσίου ενδιαφέροντος, όπως πολυ-όροφες εγκαταστάσεις, σταθμοί τραίνων κλπ.
Femto	Ακτίνα κάλυψης: Μερικές δεκάδες μέτρα Ισχύς Εκπομπής: Έως 100 mW Τοποθέτηση: Σε εσωτερικό χώρο	Οικιακοί χώροι βάσει «κλειστού» μοντέλου πρόσβασης.