



# Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής



## Εργαστήριο Επεξεργασίας Σημάτων και Τηλεπικοινωνιών



### Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών

Μέρος Α :

*Τηλεπικοινωνιακά Θέματα:*

*Εισαγωγή*



# Ασύρματες Επικοινωνίες: Ιστορική αναδρομή

---



## **Before the ``Birth of Radio'', 1867-1896**

- 1820: Oersted demonstrated that an electric current produces a magnetic field
- 1831: Faraday showed that an induced current is produced by moving a magnet in the vicinity of a conductor (i.e. a changing magnetic field produces an electric field)
- 1867: Based on the above background Maxwell predicted existence of electromagnetic (EM) waves and formulated the basic theory
- 1887: Hertz proved existence of EM waves; a transmitter generated a signal in a receiver several meters away
- 1890: Branly developed *coherer* for detecting radio waves



## The Birth of Radio

- 1896: Guglielmo Marconi demonstrated wireless telegraph to English telegraph office
- 1897: Marconi awarded patent for wireless telegraph
- 1897: First "Marconi station" established on Needles island to communicate with English coast
- 1898: Marconi awarded English patent no. 7777 for tuned communication
- 1898: Wireless telegraphic connection between England and France established



## Transoceanic Communication

- 1901: Marconi successfully transmitted radio signal across Atlantic Ocean from Cornwall to Newfoundland
- 1902: First bidirectional communication across Atlantic
- 1909: Marconi awarded Nobel prize for physics



## Voice over Radio

- 1914: First voice over radio transmission
- 1920s: Mobile receivers installed in police cars in Detroit
- 1930s: Mobile transmitters developed; radio equipment occupied most of police car trunk
- 1935: Frequency modulation (FM) demonstrated by Armstrong
- 1940s: Majority of police systems converted to FM
- Developments in electronics (vacuum tube, transistor, IC)



## Cellular Mobile Telephony

- 1979: NTT/Japan deployed first cellular communication system
- 1983: Advanced Mobile Phone System (AMPS) deployed in US in 900 MHz band: supports 666 duplex channels
- 1989: Groupe Spéciale Mobile defined European digital cellular standard, GSM
- 1991: US Digital Cellular phone system introduced (IS-54)
- 1993: IS-95 code-division multiple-access (CDMA) spread- spectrum digital cellular system deployed in US
- 1994: GSM system deployed in US, relabeled ``Global System for Mobile Communications''

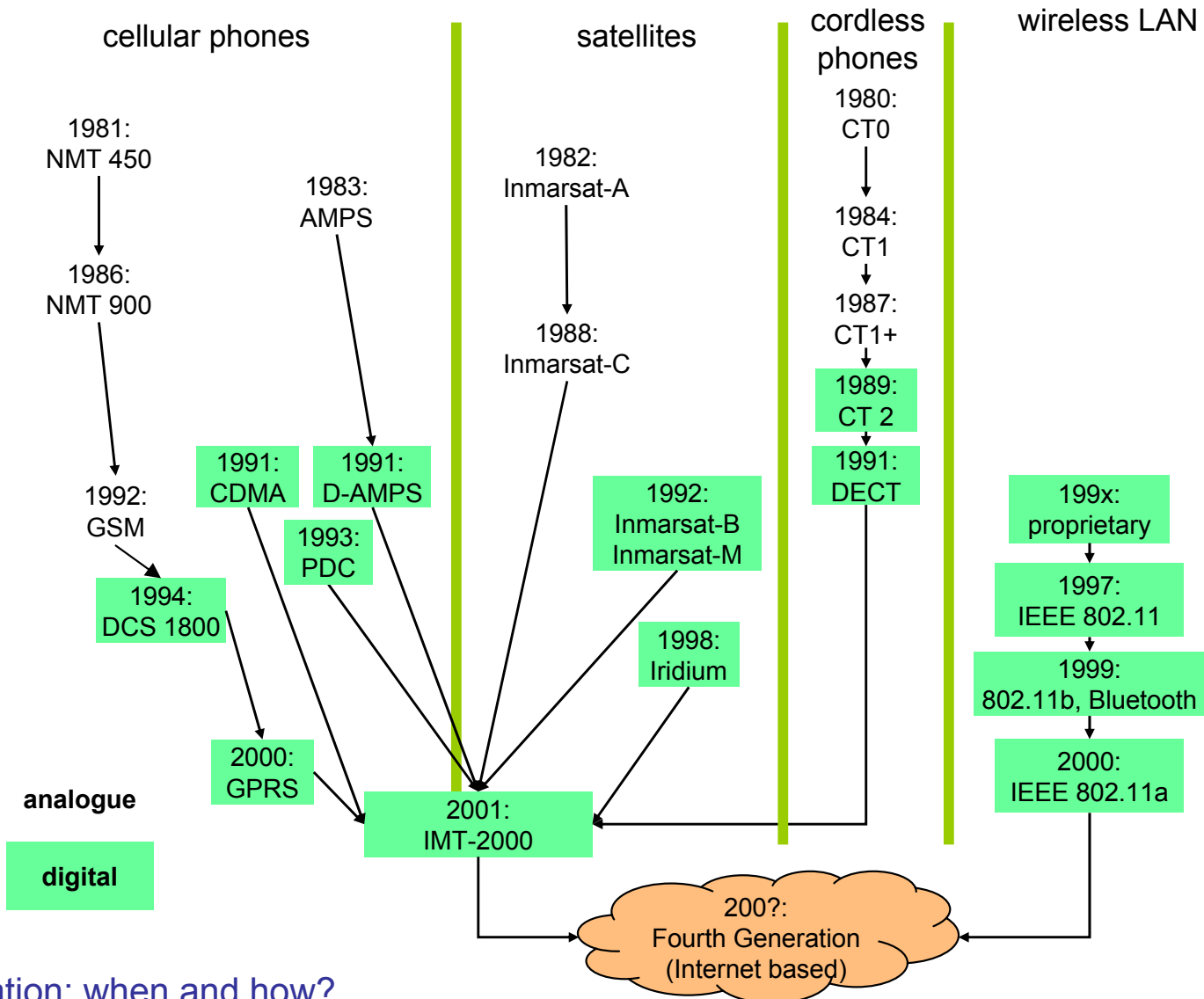


## **PCS and Beyond**

- 1995: International and national level boards auctioned off new frequency bands for Personal Communications Systems (PCS) at 1.8 GHz
- 2000: Third generation cellular system standards started being established
- 2005: Number of cellular telephone users more than 2B worldwide (10M in 1990)
- Today and in coming years : intensive research and technological efforts towards next generations



# Ασύρματες Επικοινωνίες : Ιστορική αναδρομή



4G – fourth generation: when and how?



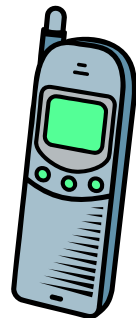
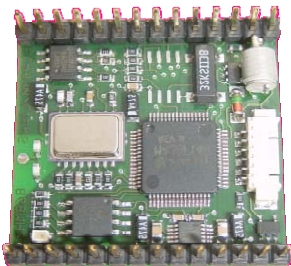


# Κινητές επικοινωνίες : Πληθώρα κινητών συσκευών

## Pager

- receive only
- tiny displays
- simple text messages

Sensors,  
embedded  
controllers

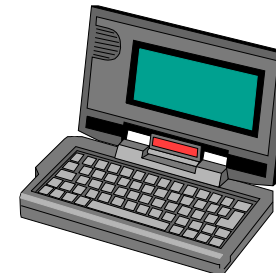


## Mobile phones

- voice, data
- simple graphical displays

## PDA

- graphical displays
- character recognition
- simplified WWW



## Palmtop

- tiny keyboard
- simple versions of standard applications

**performance**



# Κινητές επικοινωνίες :

## Συστήματα για εφαρμογές υψηλής κινητικότητας



- κινητή ασύρματη τηλεφωνία: υπηρεσία μετάδοσης φωνής, σύστημα GSM, DCS-1800 , 2.5 G, 3G...
  - πολυμεσικές υπηρεσίες (εικόνα, βίντεο ...)
  - απαίτηση για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης της τάξεως των μερικών Mb/s
  - ασύρματη μετάδοση: πολυδιόδευση του σήματος, διασυμβολική παρεμβολή, χειροτερεύει όσο αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης
  - Πολύπλοκη ψηφιακή επεξεργασία





## Κινητές Επικοινωνίες : Γενικά

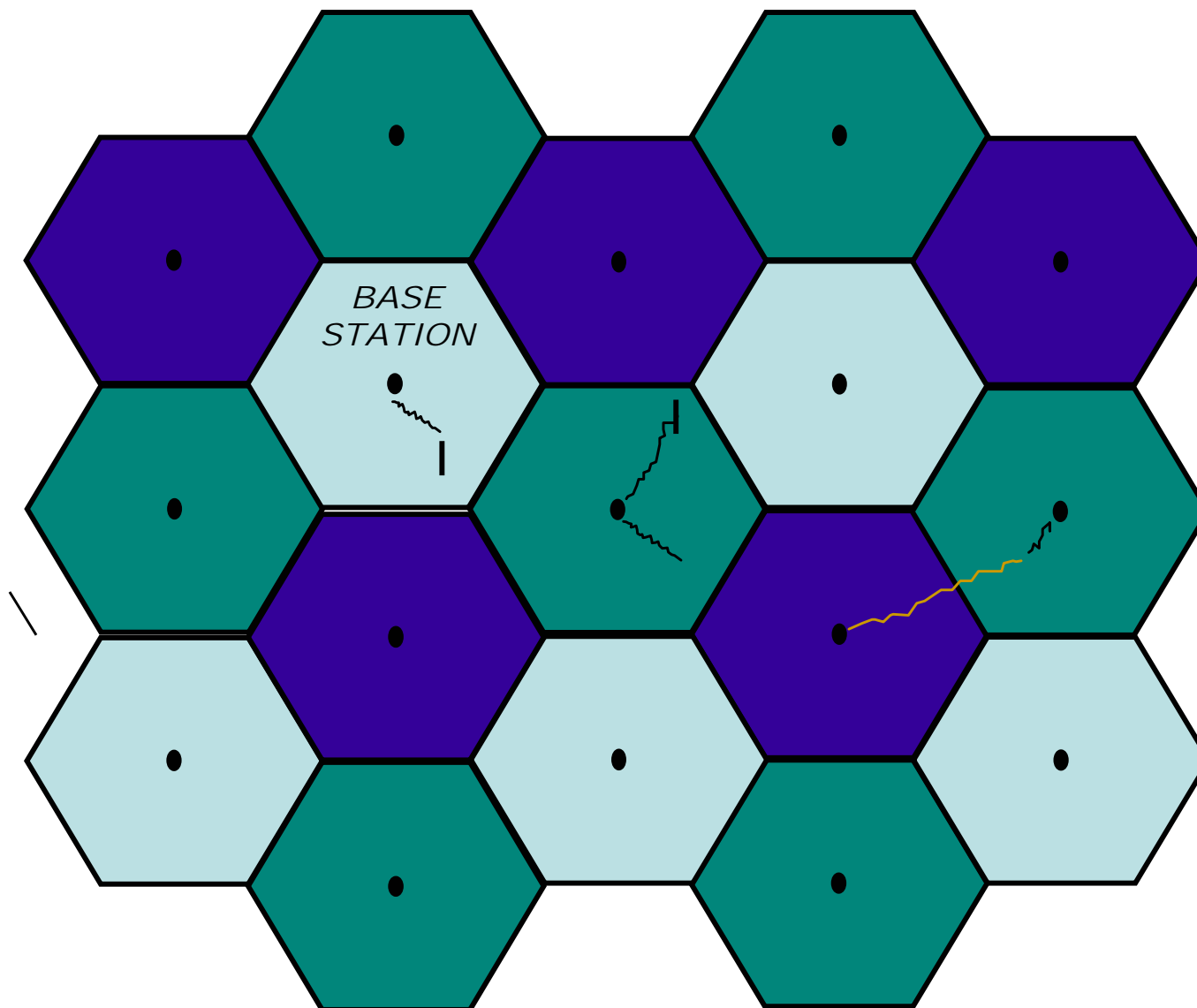
---



- Χρησιμοποιούνται πολλαπλοί αναμεταδότες με πομπούς χαμηλής ισχύος ( $P_t < 100W$ ) έως πολύ χαμηλής ισχύος
- Η όλη περιοχή ενδιαφέροντος υποδιαιρείται σε υποπεριοχές (κυψέλες)
- Σε κάθε κυψέλη (cell) αντιστοιχεί ένας αναμεταδότης ή σταθμός βάσης (base station) που περιλαμβάνει πομπό, δέκτη και ελεγκτή (για μια ομάδα από BS).
- Στην περιοχή ευθύνης του κάθε σταθμού βάσης ανατίθενται συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων. Επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων (Frequency reuse) σε παραγειτονικές κυψέλες.



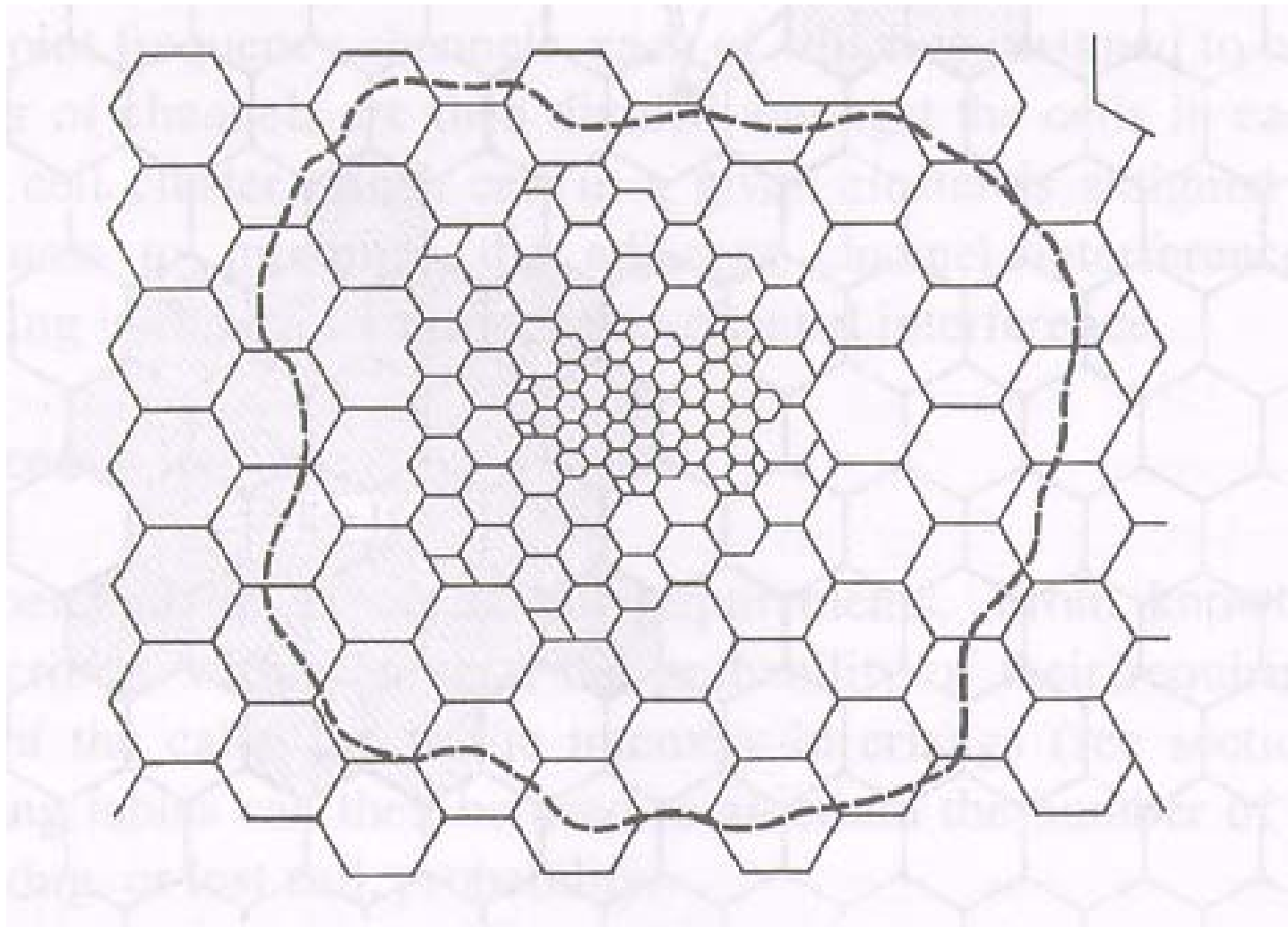
# Κινητές Επικοινωνίες : Η ιδέα της κυψέλης





# Κινητές Επικοινωνίες : Πρότυπα κυψελών σε κέντρα πόλεων

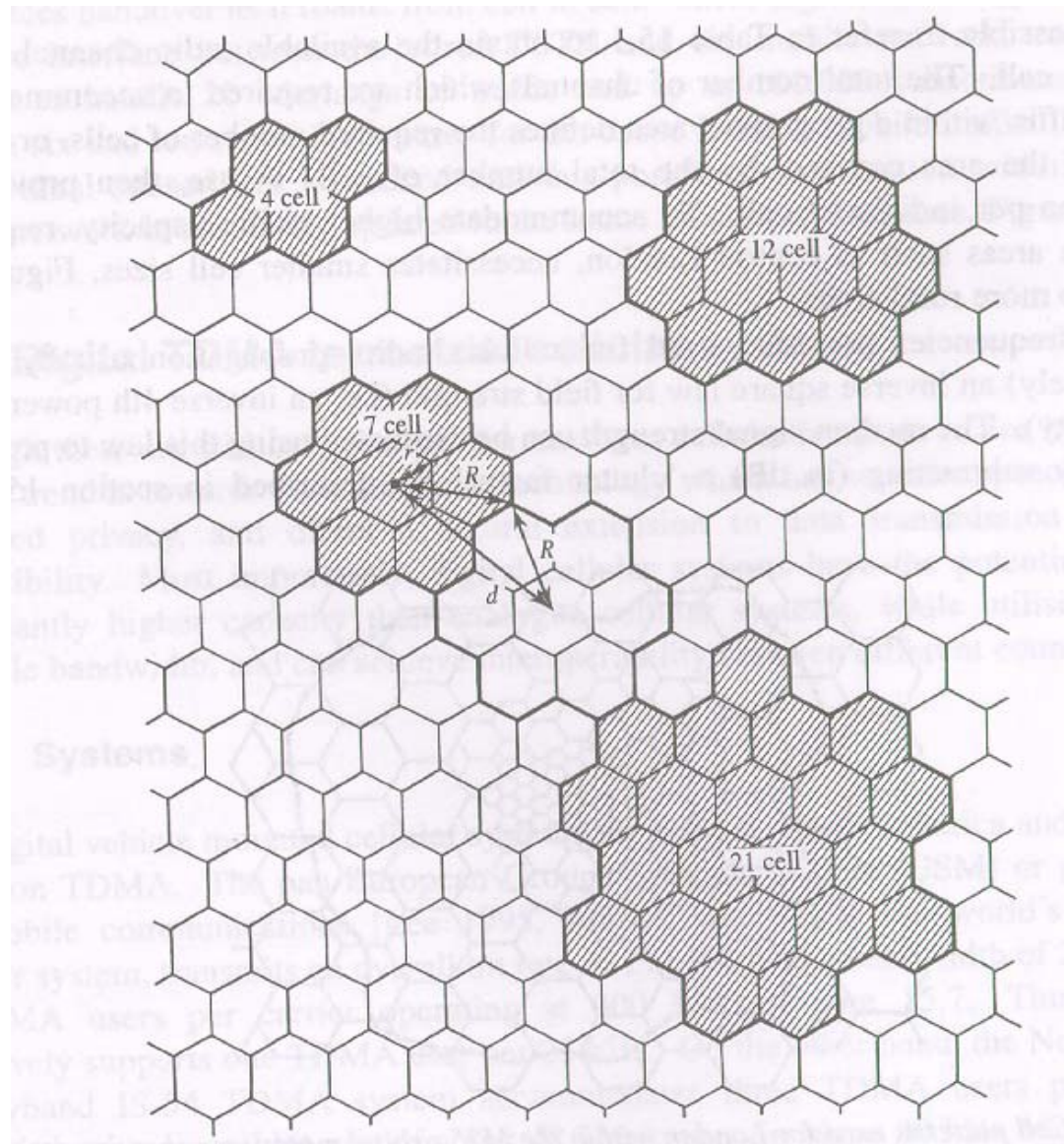
---







# Κινητές Επικοινωνίες : Cell clusters





## Κινητές Επικοινωνίες : Handoff (Handover)

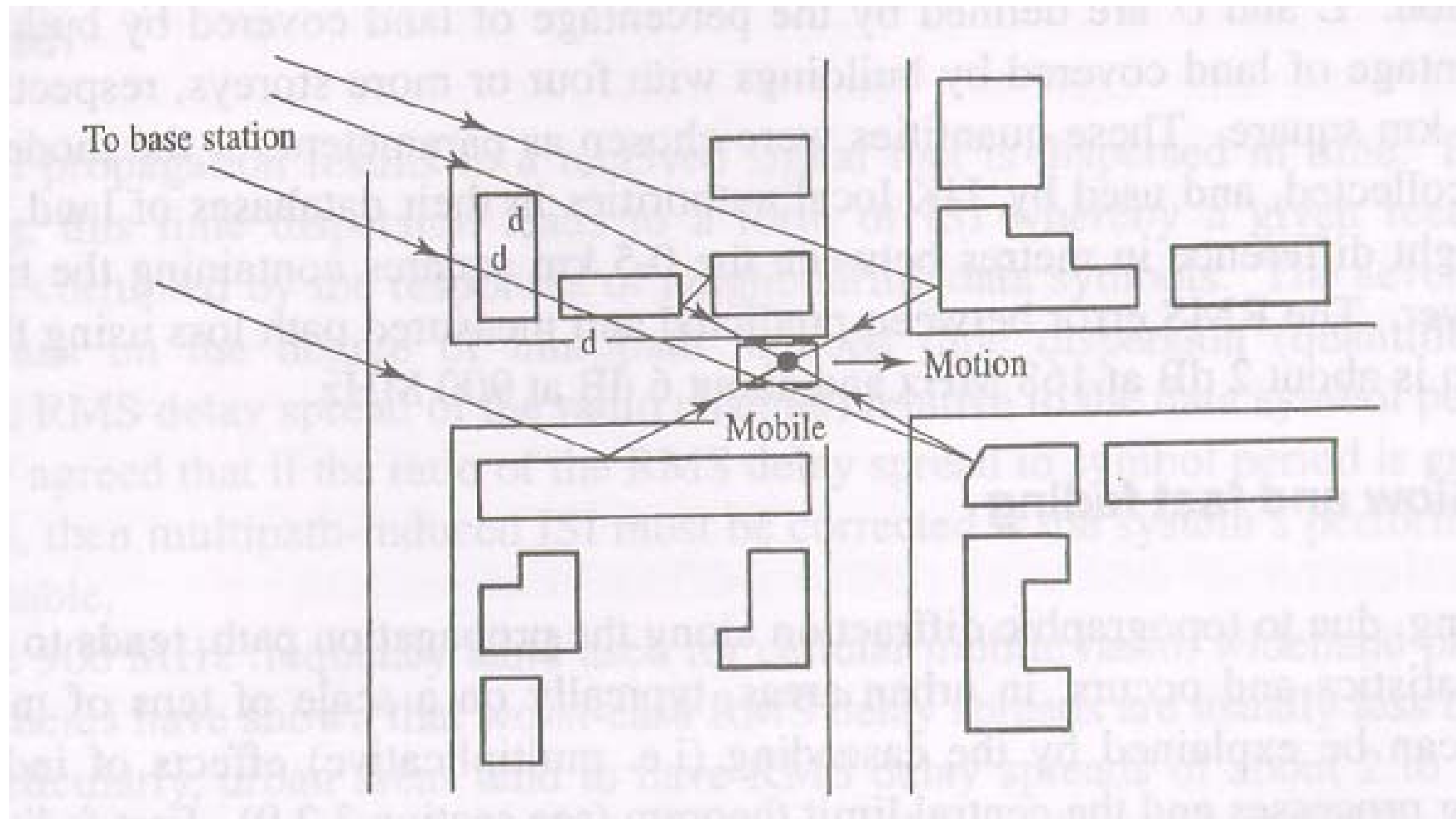
---



- Τι γίνεται όταν ένας χρήστης μετακινείται από μια κυψέλη σε μια άλλη κατά τη διάρκεια μιας κλήσης;
  - Ο γειτονικός σταθμός βάσης αναλαμβάνει την εξυπηρέτησή του.
- Η διαδικασία ονομάζεται handoff
- Προβλήματα που εμφανίζονται:
  - Ποιος αποφασίζει για το αν πρέπει να γίνει ή όχι (κινητό, BS, ή και οι δύο μαζί);
  - Πότε γίνεται ένα handoff; Αποφυγή συχνών και ανούσιων handoffs.
  - Πώς θα ειδοποιούνται το κινητό, το προηγούμενο BS και το επόμενο BS;



# Κινητές Επικοινωνίες : Τρόποι διάδοσης

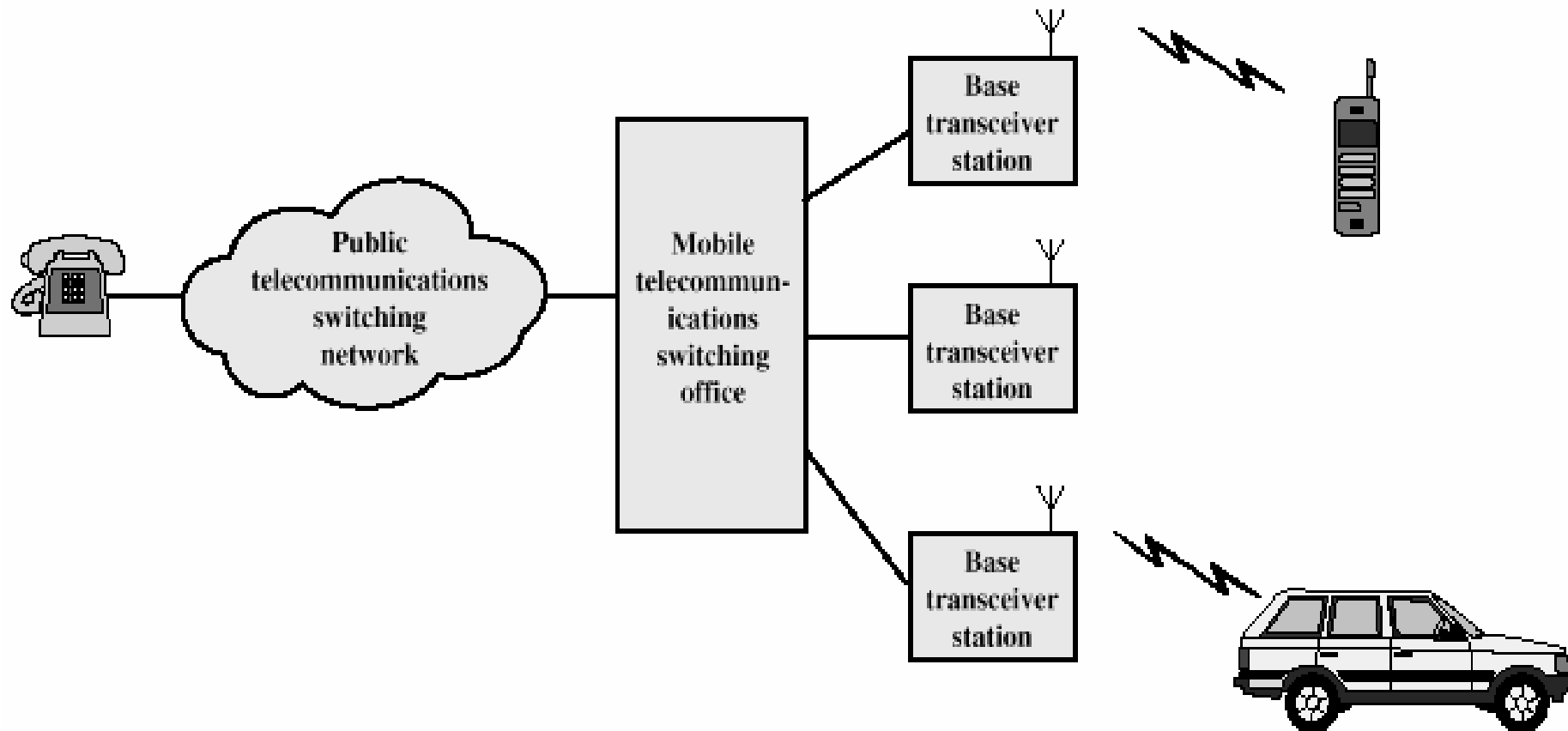


LOS, Reflection, Diffraction, Scattering



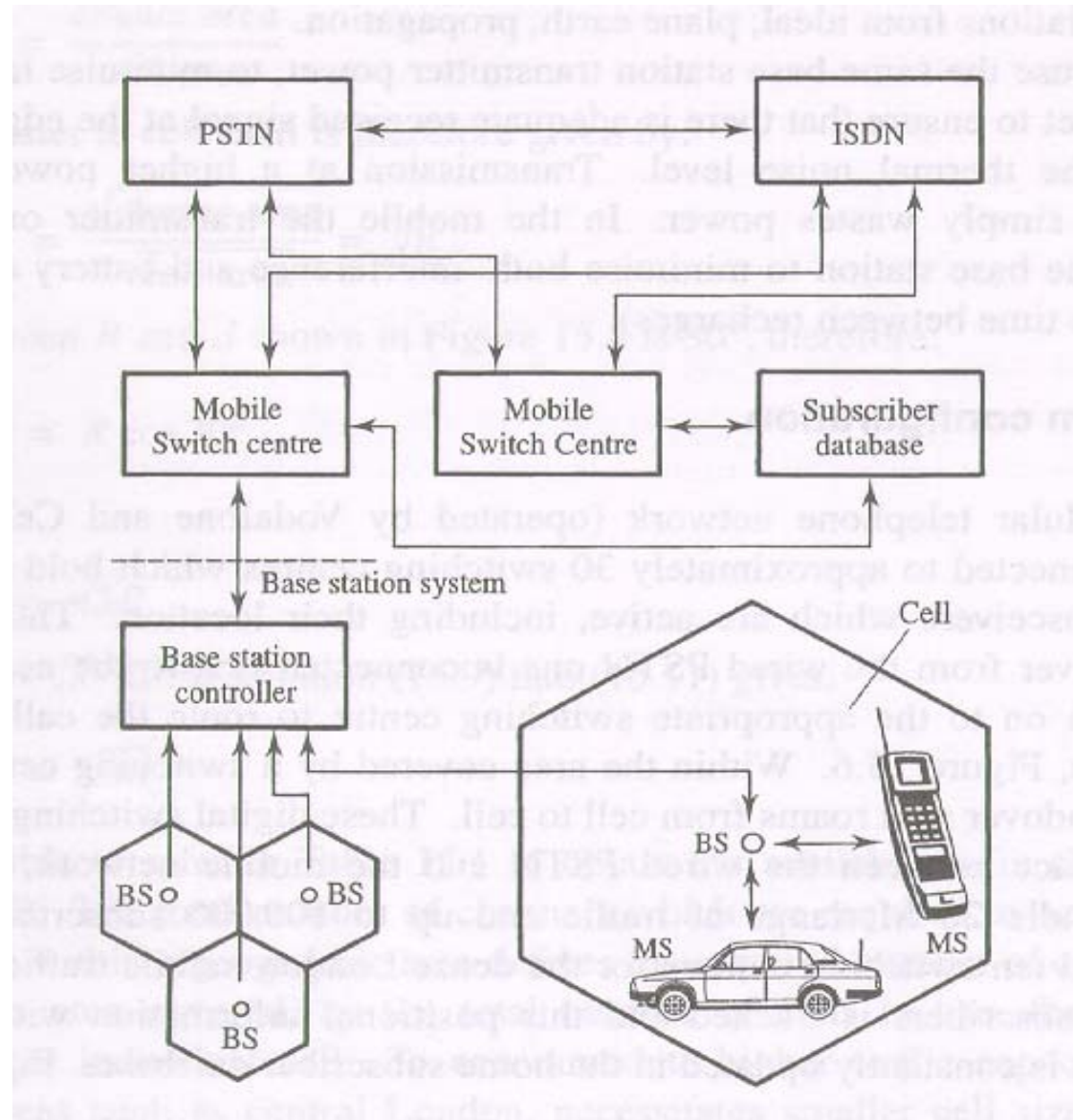


# Κινητές Επικοινωνίες: Γενική περιγραφή του συστήματος



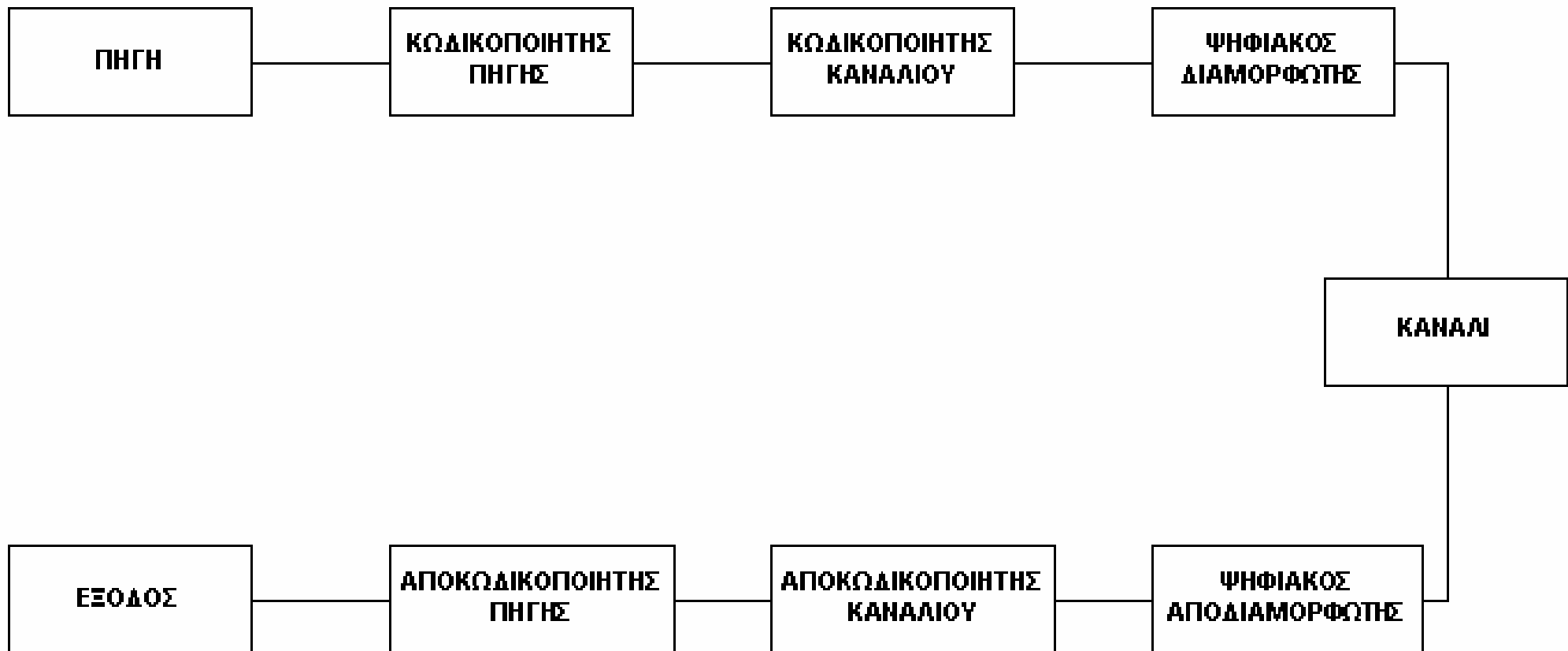


# Κινητές Επικοινωνίες: Λειτουργικό διάγραμμα





# Ψηφιακό Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα: Η Βασική Δομή





## Ψηφιακό Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα (2)



- **Πηγή:**
  - Αναλογικό σήμα (π.χ. ήχος, video)
  - Ψηφιακή (διακριτού χρόνου – διακριτών τιμών)
  - Ένα αναλογικό σήμα μπορεί να μεταδοθεί άμεσα με FM, AM, PM
  - Για ψηφιακή μετάδοση πρέπει να δειγματοληπτηθεί και να κβαντιστεί
  - Πλεονεκτήματα Ψηφιακής vs Αναλογικής Μετάδοσης:
    - Αναγέννηση σήματος σε μακρινές μεταδόσεις, μείωση του θορύβου
    - Απόρριψη της πλεονάζουσας πληροφορίας
    - Τα ψηφιακά συστήματα είναι γενικά φθηνότερα στην υλοποίησή τους



## Ψηφιακό Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα (3)



- **Κωδικοποίηση – Αποκωδικοποίηση Πηγής (Source Coding - Decoding)**
  - Η ακολουθία εξόδου της πηγής είναι ψηφιακή
  - Θέλουμε να την αναπαραστήσουμε με όσο λιγότερα bits γίνεται
  - Απορρίπτουμε την περιττή πληροφορία
- Μεγάλο μέρος της πληροφορίας που μεταδίδεται σε ασύρματα δίκτυα είναι φωνή, οπότε θα δώσουμε ιδιαίτερο βάρος σε αυτήν
  - Αναζητούμε κωδικοποιητές με μεγάλη συμπίεση (χαμηλά Bit rate) και καλή ποιότητα φωνής



# Ψηφιακό Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα (4)



- **Κωδικοποίηση – Αποκωδικοποίηση Καναλιού (Channel Coding - Decoding)**
  - Εισάγεται πλεονάζουσα πληροφορία με ελεγχόμενο και συστηματικό τρόπο
  - Τα bits αυτά δε μεταφέρουν πληροφορία , αλλά δίνουν τη δυνατότητα στον αποκωδικοποιητή να ανιχνεύει ή και να διορθώνει λάθη
- **Κώδικες Διόρθωσης Τυχαίων Σφαλμάτων – Κώδικες Διόρθωσης Σφαλμάτων Καταιγισμού**
  - Block Κώδικες – Συνελικτικοί Κώδικες (Convolutional Codes)
- **Block κώδικες:**
  - Block  $k$  bits πληροφορίας αντιστοιχούνται σε  $n$  bits ( $n > k$ )
  - Το μέγεθος πλεονάζουσας πληροφορίας μετράται από το λόγο  $n/k$ .
  - Π.χ. Hamming, Hadamard, Golay, Cyclic Codes, BCH, Reed-Solomon
- **Συνελικτικοί Κώδικες:**
  - Η συνεχής ακολουθία πληροφορίας αντιστοιχίζεται σε συνεχή ακολουθία κωδικοποιημένων bits.
  - Κωδικοποίηση: δομή από καταχωρητές ολίσθησης (shift registers)
  - Αποκωδικοποίηση: χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος Viterbi



# Ψηφιακό Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα (5)



- **Ψηφιακή Διαμόρφωση - Αποδιαμόρφωση (Digital Modulation - Demodulation)**
  - Το φυσικό κανάλι δε μπορεί να στείλει bits, αλλά κυματομορφές
  - Η διαμόρφωση αντιστοιχεί κάθε bit σε μια κυματομορφή:
$$\begin{aligned} \text{'0'} &\rightarrow s_0(t), & 0 < t < T_s \\ \text{'1'} &\rightarrow s_1(t), & 0 < t < T_s \end{aligned}$$
  - Αυτό είναι *δυαδική διαμόρφωση (Binary Modulation)*
  - Μπορούμε να έχουμε ομάδες από  $b$  bits, και να αντιστοιχηθούν σε  $M=2^b$  κυματομορφές:
$$\begin{aligned} \text{'0'} &\rightarrow s_0(t), & 0 < t < T_s \\ \text{'1'} &\rightarrow s_1(t), & 0 < t < T_s \\ &\dots & \dots \\ \text{'M-1'} &\rightarrow s_{M-1}(t), & 0 < t < T_s \end{aligned}$$
  - Αυτό είναι *M-αδική διαμόρφωση (M-ary Modulation)*
- Η εξέλιξη σε VLSI και DSP βοήθησε ώστε η ψηφιακή διαμόρφωση να είναι αποδοτικότερη από την αναλογική



- **Γενικά πλεονεκτήματα:**
  - Μεγαλύτερη ευρωστία σε παραμορφώσεις καναλιού (θόρυβο)
  - Εύκολη πολυπλεξία διαφορετικής πληροφορίας
  - Μεγαλύτερη ασφάλεια
  - Ψηφιακές επεξεργασίες σήματος (κώδικες ανίχνευσης, συμπίεση, κρυπτογραφία, ισοστάθμιση) βελτιώνουν την απόδοση του καναλιού
  - S/W υλοποιήσεις





# Κανάλι ή Δίαυλος (1)



- **Κανάλι:**

- Το φυσικό μέσο μεταξύ πομπού και δέκτη
- Ατμόσφαιρα, νερό (υποβρύχιες επικοινωνίες), καλώδιο, οπτική ίνα

Υποβαθμίσεις:

- Προσθετικός θόρυβος, λευκός, Gaussian.
  - Εμφανίζεται στην είσοδο του δέκτη, λόγω του ενισχυτή.
  - Διάφορες πηγές θορύβου: θερμικός στο φυσικό μέσο και στα συστήματα εκπομπής-λήψης, ραδιο-ακτινοβολίες, κ.ά.
- Κρουστικός Θόρυβος
  - Μεγάλα ήρεμα διαστήματα και καταιγισμοί θορύβου μεγάλου πλάτους (π.χ. καταιγίδες)
- Διασυμβολική Παρεμβολή (InterSymbol Interference - ISI)



# Κανάλι ή Δίαυλος (2)



- **Ενσύρματο κανάλι:**
  - Σχετικά στάσιμο και προβλέψιμο
- **Ασύρματο κανάλι:**
  - τυχαίο, δύσκολη ανάλυση
  - ένα μονοπάτι μετάδοσης μπορεί να διαφέρει σημαντικά από LOS έως την περίπτωση που εμποδίζεται από βουνά, κτίρια, κ.λ.π.
  - γίνεται με στατιστικό τρόπο και βασίζεται σε μετρήσεις
- **Το κινητό κανάλι:** Ιδιαίτερα δύσκολο με σημαντικές και ποικίλες υποβαθμίσεις
- Τρόποι διάδοσης: LOS, Reflection, Diffraction, Scattering



# Multiple Access Schemes



- Πρόσβαση Πολλαπλών Χρηστών
- Το μοίρασμα του φάσματος είναι απαραίτητο για να αυξηθεί η χωρητικότητα ενός συστήματος
- Κάποιες από τις βασικές τεχνικές :
  - FDMA (Frequency Division Multiple Access)
  - TDMA (Time Division Multiple Access)
  - CDMA (Code Division Multiple Access)
  - SDMA (Space Division Multiple Access)
- Οι Multiple Access Τεχνικές δεν πρέπει να συγχέονται με τις Duplexing τεχνικές (δυνατότητα ταυτόχρονης ή μη εκπομπής και λήψης) που είναι οι:
  - Simplex
  - Half-Duplex
  - Full-Duplex
    - FDD (Frequency Division Duplexing)
    - TDD (Time Division Duplexing)
  - Μπορεί να έχω συνδυασμούς, π.χ. TDMA/FDD (GSM)



# Συγχρονισμός (Synchronization)



- Carrier – Phase Tracking
  - Χρειαζόμαστε ένα συμφασικό αντίγραφο της φέρουσας στο δέκτη
  - Υλοποιείται με PLL
- Symbol Synchronization
  - Η έξοδος του φίλτρου δέκτη δειγματοληπτείται ανά  $t_m = mT_s + \tau_0$
  - Πρέπει να γνωρίζουμε την περίοδο συμβόλου  $T_s$
  - Και την ακριβή χρονική στιγμή  $\tau_0$
- Τεχνικές Symbol Synchronization:
  - Master Clock
  - Το σήμα χρονισμού μεταδίδεται μαζί με τα δεδομένα
  - Το σήμα χρονισμού εξάγεται από τα δεδομένα



# Ισοστάθμιση (Equalization)



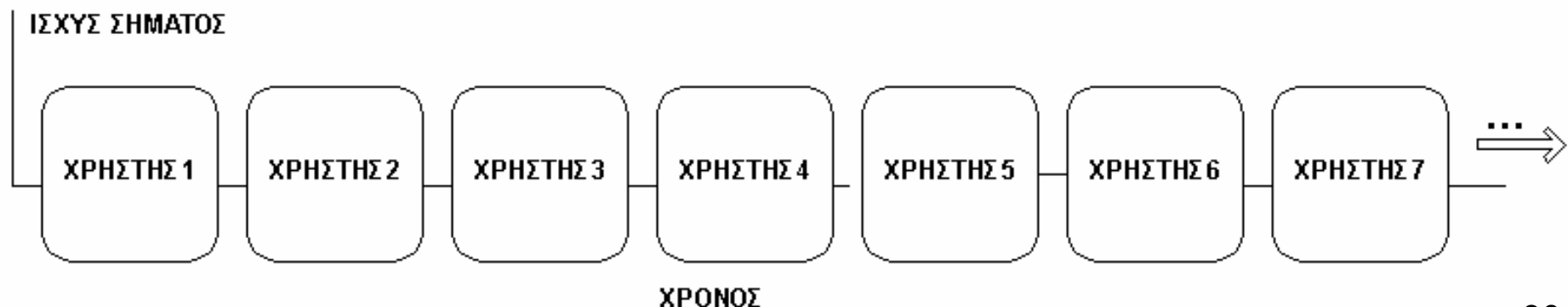
- Καθώς το σήμα διέρχεται από το κανάλι υφίσταται διασυμβολική παρεμβολή (intersymbol interference - ISI)
- Τα σύμβολα διαπλέκονται μεταξύ τους
- Κάθε σύμβολο επηρεάζει τα επόμενα και τα προηγούμενά του
- Ο ισοσταθμιστής (equalizer) είναι μια διάταξη που προσπαθεί να ακυρώσει το μπέρδεμα αυτό
- Στις ασύρματες επικοινωνίες, συχνά ο ισοσταθμιστής πρέπει να είναι προσαρμοστικός, εφόσον το κανάλι είναι άγνωστο και χρονικά μεταβαλλόμενο



# GSM ως παράδειγμα

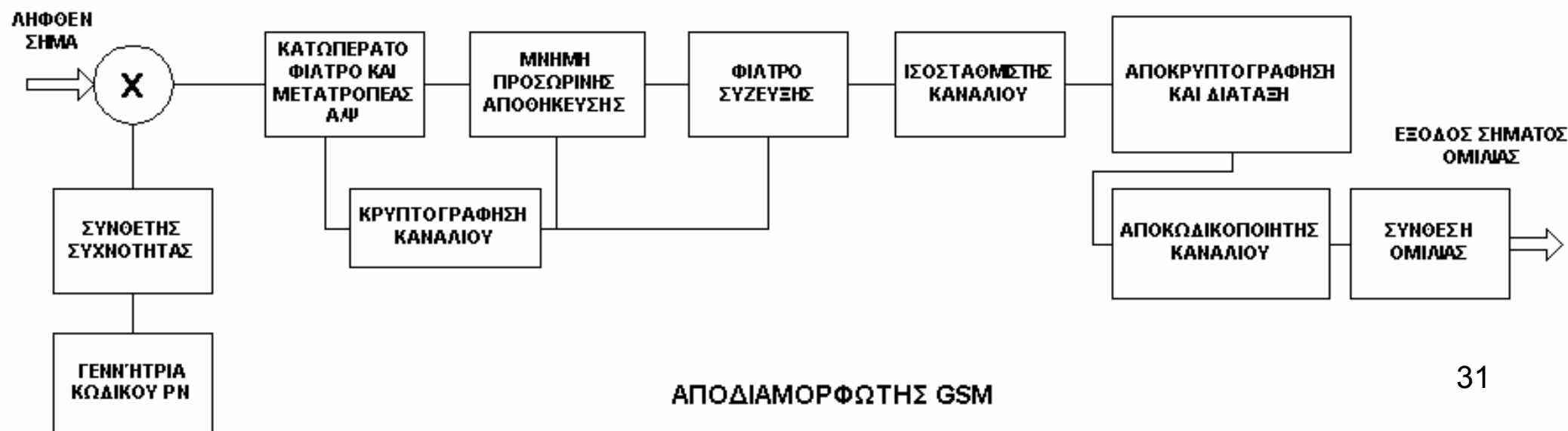


- Ζώνες:
  - 890-915 MHz (uplink channel)
  - 935-960 MHz (downlink channel)
- Σε κάθε ζώνη είναι 125 κανάλια με εύρος ζώνης 200 KHz το καθένα
- Χρησιμοποιούνται clusters και επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων ανά κυψέλη
- Μέγιστη ακτίνα κυψέλης 35 Km
- Κάθε κανάλι εξυπηρετεί 8 χρήστες με TDMA και συνολικό ρυθμό 270 Kbps





# GSM ως παράδειγμα (2)







# Σύστημα GSM



**Table 15.1** *Comparison of European digital cordless and cellular telephony systems.*

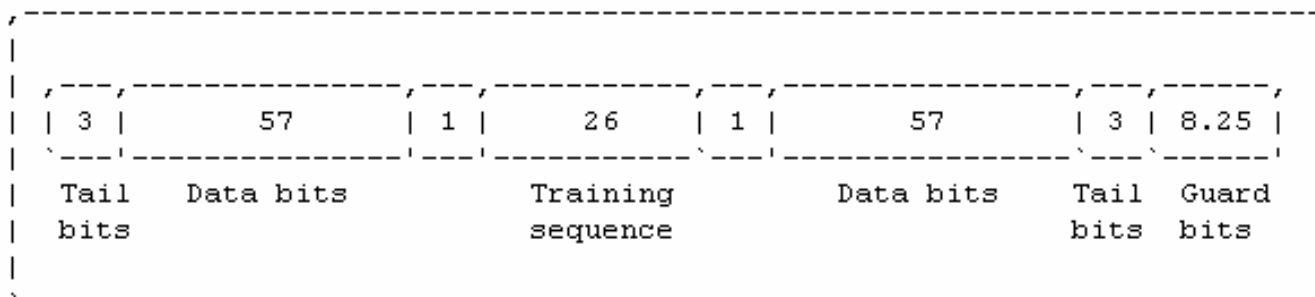
	<i>CT2</i>	<i>DECT</i>	<i>GSM 900</i>	<i>DCS 1800</i>
Operating band (MHz)	864 – 868	1880 – 1900	890 – 960	1710 – 1880
Bandwidth (MHz)	4	20	$2 \times 25$	$2 \times 75$
Access method	FDMA	MF-TDMA	TDMA	TDMA
Peak data rate (kbit/s)	72	1,152	270	270
Carrier separation (kHz)	100	1,728	200	200
Channels per carrier	1	12	8	8
Speech coding	32 kbit/s	32 kbit/s	22.8 kbit/s	22.8 kbit/s
Coding/equalisation	no	no	yes	yes
Modulation	FSK	Gaussian FSK	GMSK	GMSK
Traffic channels/MHz	10	7	19	19
Mobile power output (W)	0.01	0.25	0.8 – 2.0	0.25 – 1
Typical cell size	50 – 200 m	50 – 200 m	0.3 – 35 km	0.02 – 8 km
Operation in motion	walking pace	walking pace	> 250 km/h	> 130 km/h
Capacity (erlangs/km <sup>2</sup> )	N/A	10,000+	1,000	2,000





# Σύστημα GSM

- Χρονοθυρίδα 0.577 ms για κάθε χρήστη, μια ομάδα 8 χρονοθυρίδων καλείται TDMA frame και μεταδίδεται κάθε 4.615 ms



- Συνολικά μεταδίδονται 156.25 bit στα 0.577 ms, gross bit rate 270.833 kbps
- Η ακολουθία εκμάθησης των 26 bit χρησιμοποιείται για την ισοστάθμιση
- Η ισοστάθμιση λειτουργεί διερευνώντας το πώς η γνωστή εκπαιδευτική ακολουθία επηρεάζεται από την πολυδιόδευση
- Η υλοποίηση του ισοσταθμιστή δεν προσδιορίζεται στις προδιαγραφές του GSM



# Σύστημα GSM



UMTS

GPRS, EDGE

“General packet radio services”  
“Enhanced data rate for GSM evolution”

GSM, DCS



## Επόμενες γενιές: Νέες προκλήσεις

---



- Συστήματα **MIMO** (Multiple-Input Multiple-Output)
- Ενιαία αντιμετώπιση των διαδικασιών: Διαμόρφωση – Ισοστάθμιση – Κωδικοποίηση Διαύλου
- Προσαρμοστικές διαμορφώσεις. Αντιμετώπιση των μη γραμμικοτήτων.
- Θέματα υλοποιήσεων (απαιτήσεις πραγματικού χρόνου, περιορισμένη κατανάλωση)



## Επόμενες γενιές: Νέες προκλήσεις

---



- Βελτιστοποιήσεις με συνεργασία επιπέδων (αύξηση ολικής χωρητικότητας, εύρεση θέσης κλπ)
- ‘Καιροσκοπικές’ και συνεργατικές επικοινωνίες
- Software radio (reconfigurable transceiver)
- Software Defined Radio
- Cognitive Radio / Green Radio



# Προβλήματα στα οποία θα εστιάσουμε

---

- Δίαυλος Κινητής Επικοινωνίας :
  - Ιδιαίτερα Χαρακτηριστικά
  - Μοντελοποίηση
- Τεχνικής Κωδικοποίησης Πηγής: Έμφαση στην περίπτωση της Φωνής
- Αποδοτικές Τεχνικές Ψηφιακής Διαμόρφωσης
- Ισοστάθμιση (Εξίσωση) Διαύλου
- Διαφορετικότητα λήψης και εκπομπής (diversity)