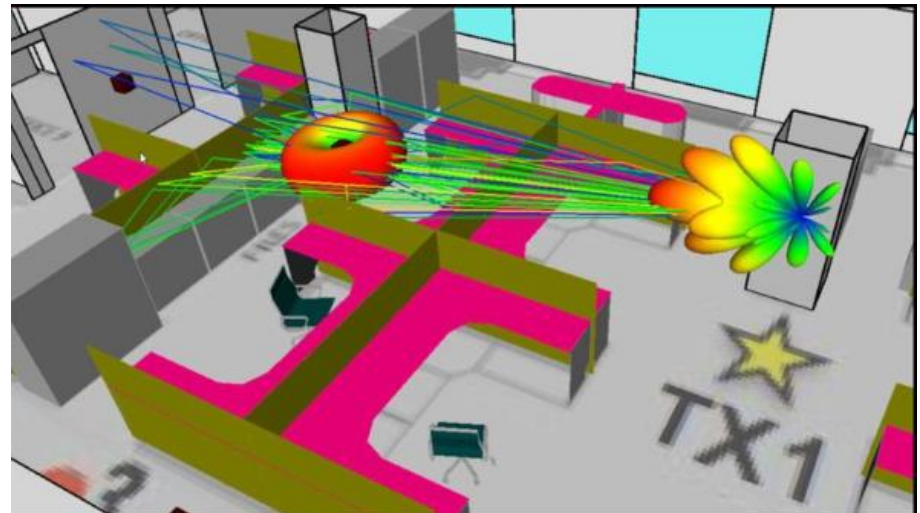
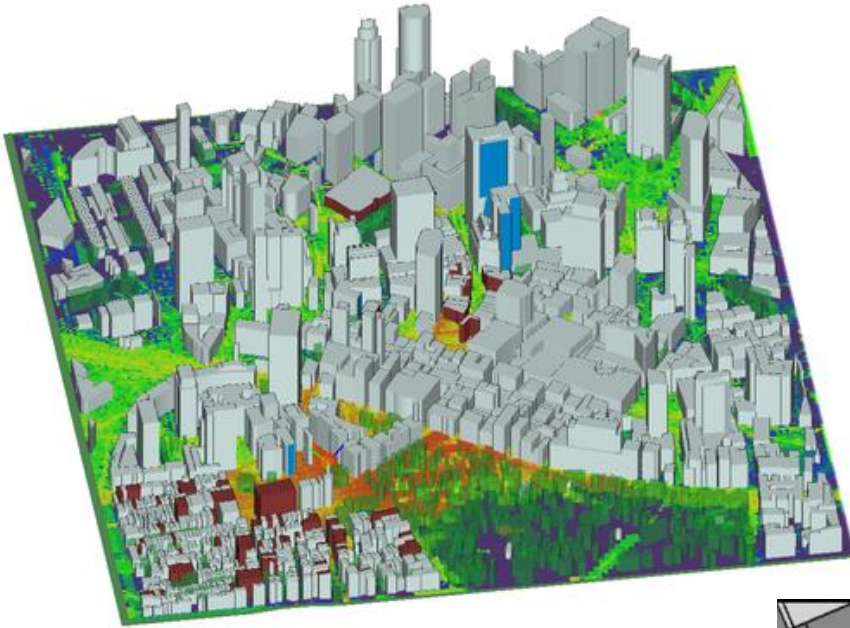


Ασύρματες Ζεύξεις

**Το ασύρματο περιβάλλον στις
κινητές επικοινωνίες**

<https://eclass.uoa.gr/courses/D72/>

Διάδοση Η/Μ σήματος



Βασικές ενότητες

- Βασικές αρχές διάδοσης ηλεκτρομαγνητικού σήματος
- Μοντέλα διάδοσης
- Διαλείψεις (μικρής και μεγάλης κλίμακας)
- Παρεμβολές (εντός και εκτός συστήματος)
- Εισαγωγή στα δίκτυα 4^{ης} γενιάς



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Αναλυτικά και Εμπειρικά Μοντέλα Απωλειών Διάδοσης

2.1	Εισαγωγή	47
2.2	Διάδοση Ραδιοκυμάτων	47
2.2.1	Ιδιότητες των Μέσων Μετάδοσης	52
2.2.2	Λύση της Κυματικής Εξίσωσης για Διάφορα Μέσα	55
2.2.3	Λύση της Κυματικής Εξίσωσης σε Σφαιρικές Συντεταγμένες	59
2.3	Απώλειες και Αναλυτικά Μοντέλα Διάδοσης	60
2.3.1	Μοντέλο Απωλειών Ελεύθερου Χώρου (Free Space Loss)	60
2.3.2	Η Εξίσωση του Radar	63
2.3.3	Ανάκλαση Επίπεδων Κυμάτων από Λείο Επίπεδο Έδαφος	63
2.3.4	Ανάκλαση Επίπεδων Κυμάτων από Απλή Διηλεκτρική Πλάκα	69
2.3.5	Μοντέλο Επίπεδης Γης (Plane Earth Model)	71
2.3.6	Ανάκλαση και Σκέδαση από Τραχιές Επιφάνειες	80
2.3.7	Περιθλαση	84
2.3.7.1	Η Αρχή του Huygens	84
2.3.7.2	Τα Ελλειψοειδή και οι Ζώνες Fresnel	87
2.3.7.3	Ζώνες Fresnel και το Μοντέλο Επίπεδης Γης	91
2.3.7.4	Περιθλαση από Ευθεία Ακμή (Knife Edge Diffraction)	93
2.3.7.5	Περιθλαση από Ευθεία Ακμή πάνω από Επίπεδο Έδαφος	97
2.3.7.6	Περιθλαση από Στρογγυλεμένο Εμπόδιο	101
2.3.7.7	Περιθλαση από Πολλαπλές Ευθείες Ακμές	103
2.3.7.8	Περιθλαση από Πολλαπλά Κτήρια σε Αστικό Περιβάλλον	110
2.4	Απώλειες και Εμπειρικά Μοντέλα Διάδοσης	115
2.4.1	Εκθετικό Μοντέλο Διάδοσης (Μοντέλο Απλής Κλίσης)	117
2.4.2	Μοντέλο Egli	118
2.4.3	Μοντέλο Okumura-Hata	118
2.4.4	Μοντέλο COST 231 – Hata	121
2.4.5	Μοντέλο COST 231 – Walfisch-Ikegami	121
2.4.6	Μοντέλο IEEE 802.16	127
2.4.7	Μοντέλο ITU-R P.1546	128
2.4.8	Μοντέλα ITU-R M.2135 ή Μοντέλα WINNER	129
2.4.9	Μοντέλα Εσωτερικών Χώρων	129
2.4.9.1	Μοντέλο Απλής Κλίσης	130
2.4.9.2	Keenan – Motley	131

- 2.1
- 2.2 (μόνο εισαγωγικό όχι υποενότητες)
- 2.3
- 2.4
- 3.1



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ		ix
2.4.9.3	Μοντέλο COST 231 – MWM (Μοντέλο Πολλαπλών Τοίχων)	132
2.4.9.4	Απλό Γραμμικό Μοντέλο	133
2.4.9.5	Μοντέλο ITU-R P.1238	133
2.4.10	Απώλειες από τη Διείσδυση σε Κτήριο	134
2.4.11	Απώλειες από το Ανθρώπινο Σώμα	135
2.5	Βιβλιογραφία	136

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Διαλείψεις και Χαρακτηρισμός Ραδιοδιαύλου

3.1	Διαλείψεις – Ένα Χωρικό Φαινόμενο	139
3.1.1	Είδη Διαλείψεων	142
3.1.2	Διαλείψεις Μικρής Κλίμακας (Small Scale Fading)	143
3.1.3	Διαλείψεις Μεγάλης Κλίμακας (Large Scale Fading)	146
3.1.4	Εμπειρικός Προσδιορισμός Παραμέτρων Μοντέλου Διάδοσης Απλής Κλίσης	151



- 5.2
- 5.7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Αρχές και Σχεδίαση Κυψελωτών Συστημάτων 371

5.1	Πρόσβαση στο Δίαυλο	371
5.1.1	Τεχνικές Προγραμματισμένης Πολλαπλής Πρόσβασης	372
5.1.1.1	Τεχνική FDMA	373
5.1.1.2	Τεχνική TDMA	374
5.1.1.3	Τεχνική CDMA	374
5.1.1.4	Τεχνική SDMA	376
5.1.1.5	Τεχνική OFDMA	377
5.1.2	Τεχνικές Τυχαίας Πρόσβασης	381
5.1.3	Υβριδικές Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης	384
5.1.4	Δυναμική Πρόσβαση στο Φάσμα και Γνωσικά Ραδιο-Δίκτυα	385
5.2	Η Έννοια της Κυψέλης και της Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων	387
5.2.1	Η Επιλογή των Εξαγωγικών Κυψελών	389
5.2.2	Σχεδίαση Κυψελωτών Συστημάτων	392
5.3	Τύποι Κυψελών	397
5.4	Τεχνικές Μεταπομπής	399
5.5	Τηλεπικοινωνιακή Κίνηση	402
5.5.1	Μοντέλο Erlang B	405
5.5.2	Μοντέλο Erlang C	409
5.5.3	Μοντέλο για Κίνηση Πακέτων Δεδομένων	412
5.6	Καθορισμός Περιοχής Κάλυψης	414
5.7	Οι Παρεμβολές και η Διαχείρισή τους	420
5.7.1	Παρεμβολές σε Κλασικά Κυψελωτά Συστήματα 2 ^{ης} και 3 ^{ης} Γενιάς	420
5.7.1.1	Ομοδιαυλικές Παρεμβολές και Θόρυβος	420
5.7.1.2	Καθορισμός Ελάχιστης Εκπεμπόμενης Ισχύος	421
5.7.1.3	Καθορισμός Απόστασης Επαναχρησιμοποίησης	424
5.7.1.4	Παρεμβολές Γειτονικών Διαύλων	427

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ		Xiii
5.7.2	Τεχνικές Βελτίωσης Φασματικής Απόδοσης	429
5.7.2.1	Τομεοποίηση Κυψελών	429
5.7.2.2	Διάσπαση Κυψελών	432
5.7.3	Τεχνικές Απόδοσης Διαύλων	437
5.7.3.1	Σταθερή Απόδοση Διαύλων	437
5.7.3.2	Δυναμική Απόδοση Διαύλων	438
5.7.3.3	Ελαστική Απόδοση Διαύλων	439
5.7.4	Συντονισμός και Ακύρωση Παρεμβολών στα Συστήματα 4 ^{ης} Γενιάς	439
5.7.5	Παρεμβολές στα Ετερογενή Δίκτυα	444
5.8	Βιβλιογραφία	446



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 Συστήματα LTE (Long Term Evolution) 751

11.1	Εισαγωγή	751
11.2	Αρχιτεκτονική δικτύου	753
11.2.1	Δίκτυο Ραδιο-Πρόσβασης (E-UTRAN)	754
11.2.2	Δίκτυο κορμού (EPC)	755
11.2.3	Λειτουργικός Διαχωρισμός E-UTRAN και EPC	757
11.2.4	Στοιβα πρωτοκόλλων	758
11.2.5	Κανάλια Μετάδοσης	760
11.2.5.1	Λογικά κανάλια (Logical Channels)	760
11.2.5.2	Κανάλια μεταφοράς (transport channels)	761
11.2.5.3	Φυσικά κανάλια δεδομένων (Physical Data Channels)	762
11.2.5.4	Πληροφορίες ελέγχου (Control Information)	763
11.2.5.5	Φυσικά κανάλια ελέγχου (Physical Control Channels)	764
11.2.5.6	Φυσικά σήματα (Physical Signals)	764
11.3	Φυσικό Στρώμα	766
11.3.1	Τεχνολογίες Φυσικού Στρώματος LTE	767
11.3.1.1	Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας, απλής φέρουσας (SC-FDMA)	768
11.3.1.2	Τεχνολογίες MIMO	771
11.3.2	Δομή πλαισίων	783
11.3.3	Κατεύθυνση άνω ζεύξης (Uplink)	785
11.3.4	Κατεύθυνση Κάτω Ζεύξης (Downlink)	789
11.3.5	Διαυλοποίηση	790
11.3.6	Κωδικοποίηση διαύλου	792
11.3.6.1	Συνελικτική κωδικοποίηση	793
11.3.6.2	Κωδικοποίηση Turbo	794

11.8	LTE-Advanced	803
11.8.1	Τεχνική συνάθροισης διαύλων (Carrier Aggregation – CA)	805
11.8.2	Εξελιγμένες τεχνικές πολλαπλών κεραιών	807
11.8.3	Κατηγορίες Τερματικών	814
11.8.4	Κόμβοι αναμετάδοσης (Relay Nodes – RN)	815
11.8.5	Συντονισμένη Μετάδοση από Πολλαπλούς Σταθμούς Βάσης (Coordinated MultiPoint – CoMP)	816

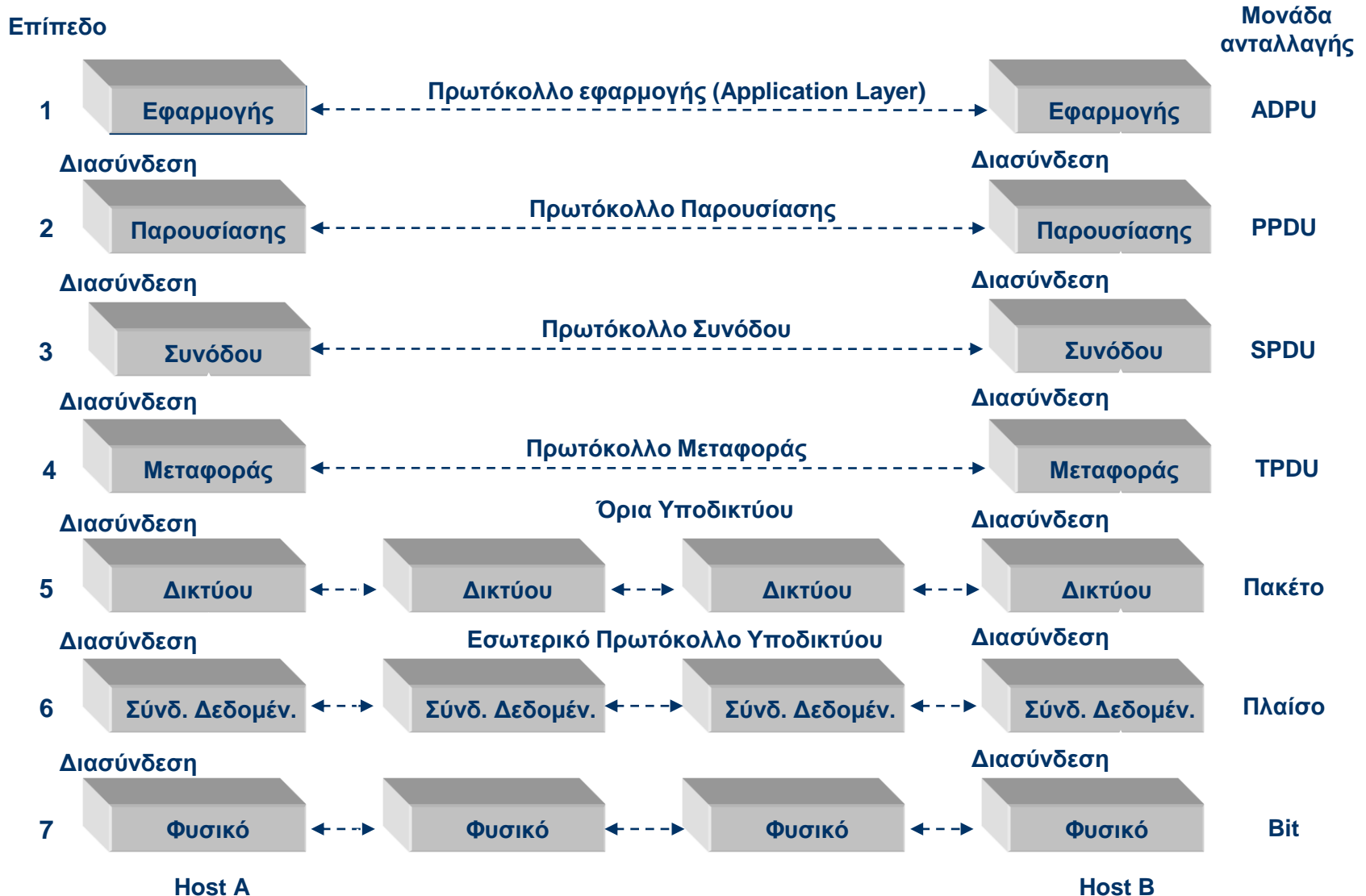
➤ 11.3

➤ 11.8

Ασύρματες Ζεύξεις – Εαρινό 2022-2023

Μάρπος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος
1 Τε Εισαγωγή	1 Σα	1 Δε	1 Πε
2 Πε	2 Κυ	2 Τρ	2 Πα
3 Πα	3 Δε Εμπειρικά μοντέλα	3 Τε Εμπειρικά μοντέλα	3 Σα
4 Σα	4 Τρ	4 Πε	4 Κυ
5 Κυ	5 Τε Εμπειρικά μοντέλα	5 Πα	5 Δε
6 Δε Φαινόμενα διάδοσης	6 Πε	6 Σα	6 Τρ
7 Τρ	7 Πα	7 Κυ	7 Τε
8 Τε Τεχνικές διάδοσης	8 Σα 2^η άσκηση	8 Δε Διαλείψεις	8 Πε
9 Πε	9 Κυ	9 Τρ	9 Πα
10 Πα	10 Δε	10 Τε Διαλείψεις	10 Σα
11 Σα	11 Τρ	11 Πε	11 Κυ
12 Κυ	12 Τε	12 Πα	12 Δε
13 Δε Αναλυτικά μοντέλα	13 Πε	13 Σα	13 Τρ
14 Τρ	14 Πα	14 Κυ	14 Τε
15 Τε Αναλυτικά μοντέλα	15 Σα	15 Δε Παρεμβολές	15 Πε
16 Πε	16 Κυ	16 Τρ	16 Πα
17 Πα	17 Δε	17 Τε Παρεμβολές	17 Σα
18 Σα	18 Τρ	18 Πε	18 Κυ
19 Κυ	19 Τε	19 Πα	19 Δε
20 Δε Αναλυτικά μοντέλα	20 Πε	20 Σα	20 Τρ
21 Τρ	21 Πα	21 Κυ	21 Τε
22 Τε Αναλυτικά μοντέλα	22 Σα	22 Δε Παρεμβολές	22 Πε
23 Πε	23 Κυ	23 Τρ	23 Πα
24 Πα 1^η άσκηση	24 Δε Εμπειρικά μοντέλα	24 Τε LTE / LTE-A(4G)	24 Σα
25 Σα	25 Τρ	25 Πε	25 Κυ
26 Κυ	26 Τε Εμπειρικά μοντέλα	26 Πα	26 Δε
27 Δε Αναλυτικά μοντέλα	27 Πε	27 Σα	27 Τρ
28 Τρ	28 Πα	28 Κυ	28 Τε
29 Τε Αναλυτικά μοντέλα	29 Σα	29 Δε LTE / LTE-A(4G)	29 Πε
30 Πε	30 Κυ	30 Τρ	30 Πα
31 Πα		31 Τε LTE / LTE-A(4G)	

Το μοντέλο αναφοράς OSI*



*Open Systems Interconnection

Το μοντέλο αναφοράς OSI

Επίπεδο

1



2



Κρυπτογράφηση, συμπίεση, μετατροπή δεδομένων

3



Αρχικοποίηση και έλεγχος διαφορετικών ροών ανά εφαρμογή

4



Έλεγχος ροής, έλεγχος λαθών, επαναμεταδόσεις από άκρο σε άκρο

5



Διευθυνσιοδότηση, δρομολόγηση πακέτων

6



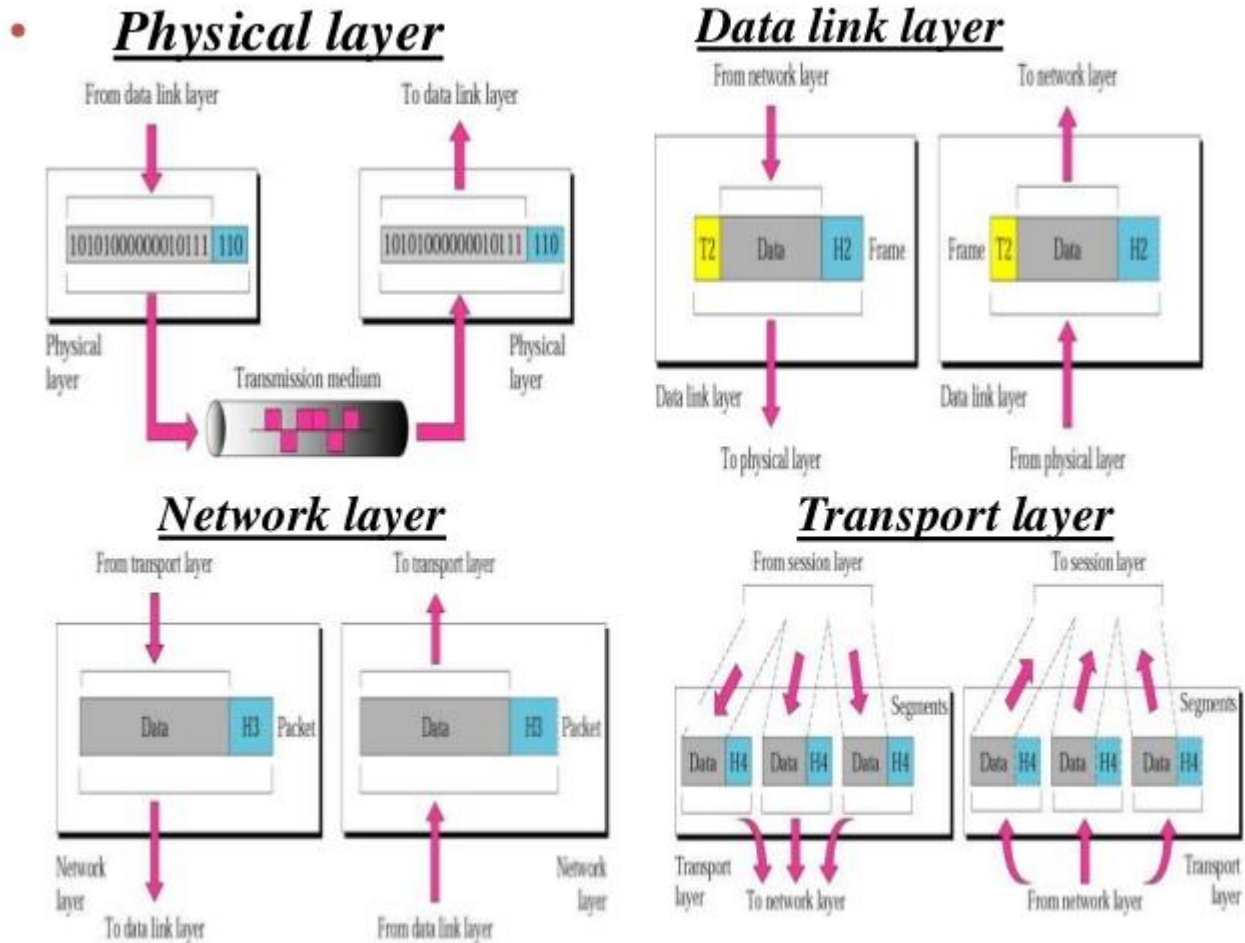
Έλεγχος πολλαπλής πρόσβασης, διόρθωση λαθών, ...

7

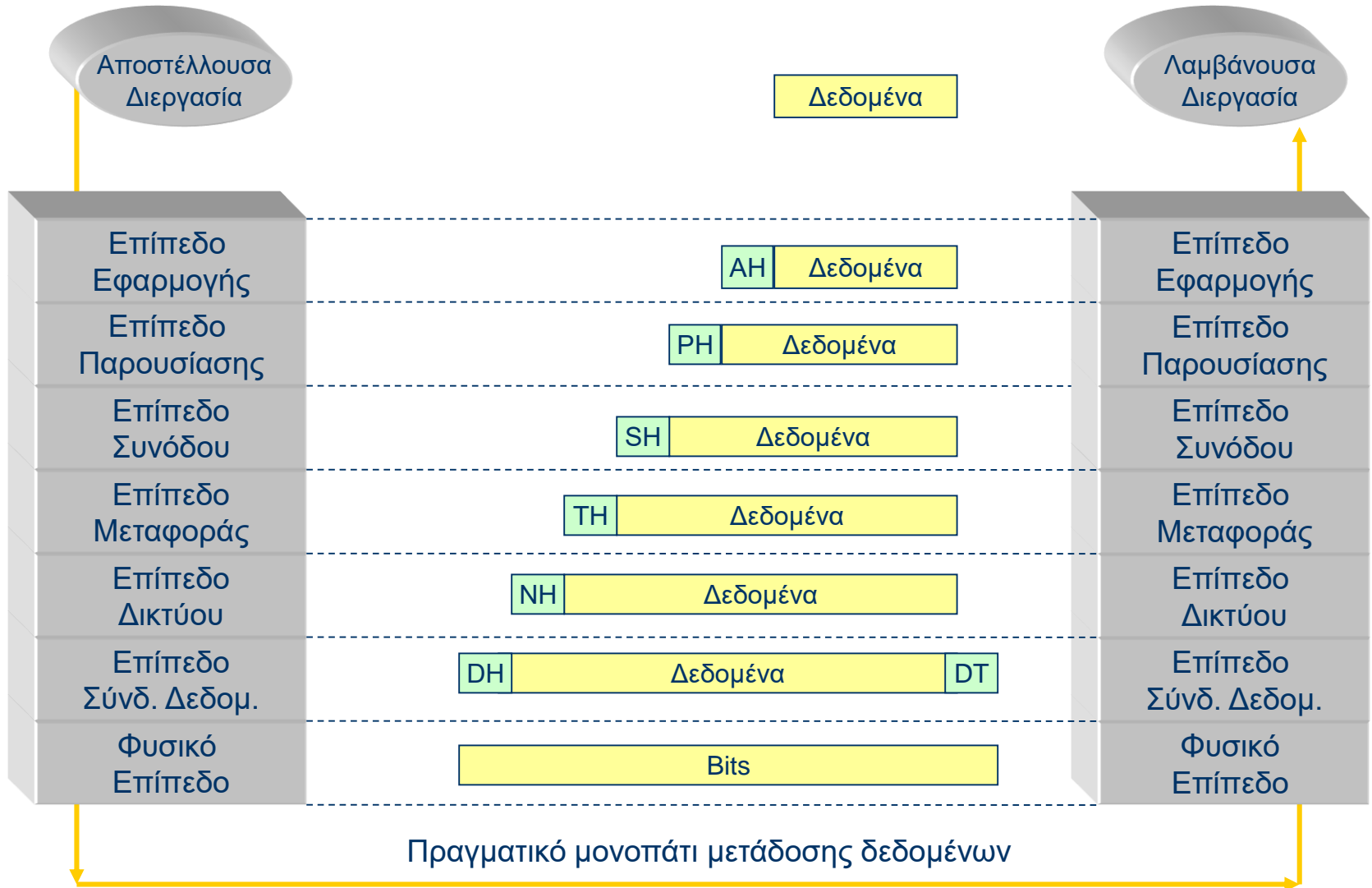


Μετάδοση στο φυσικό μέσο διαμόρφωση σήματος, επεξεργασία

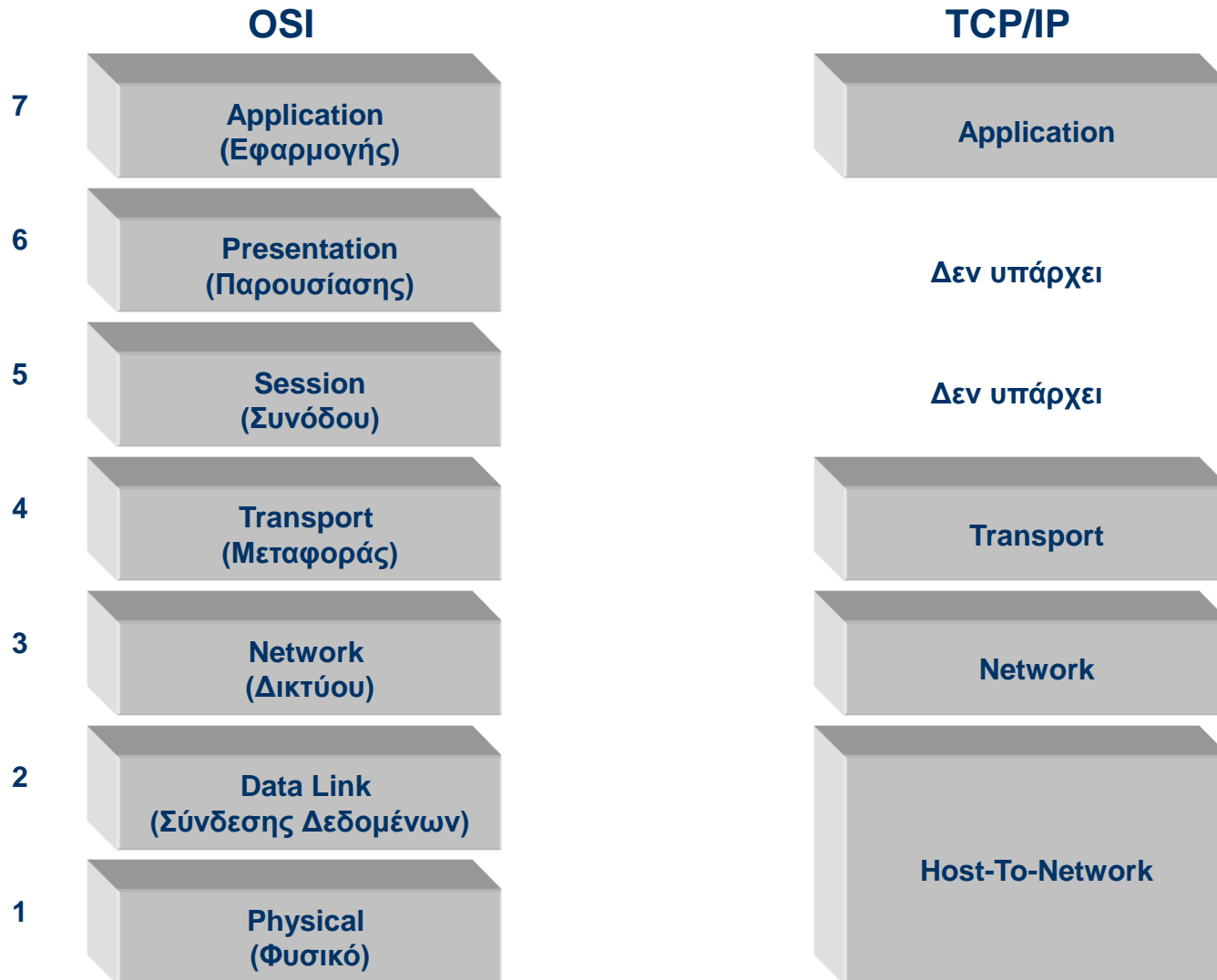
Μετάδοση πληροφορίας



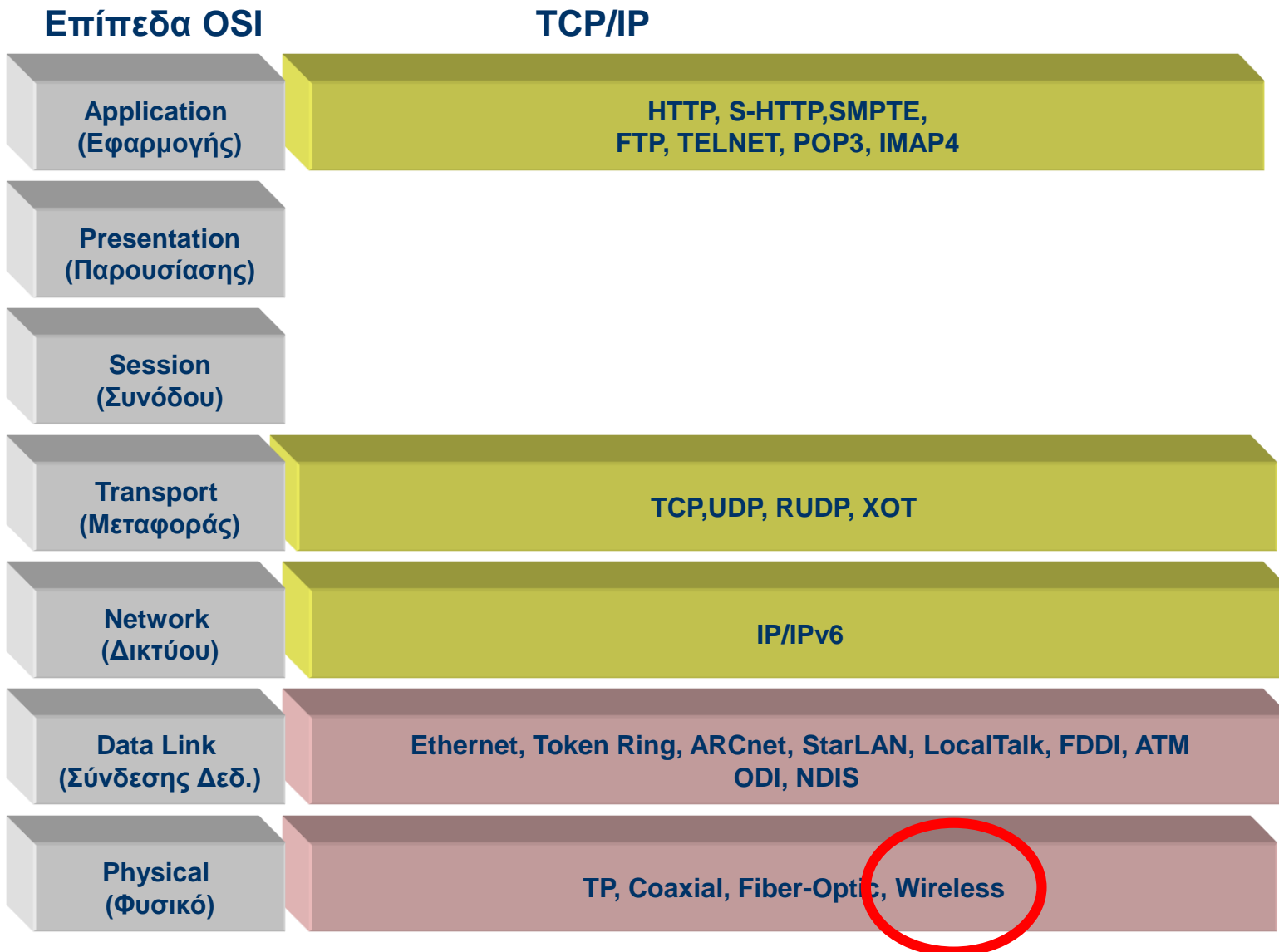
Μετάδοση Δεδομένων στο Μοντέλο OSI

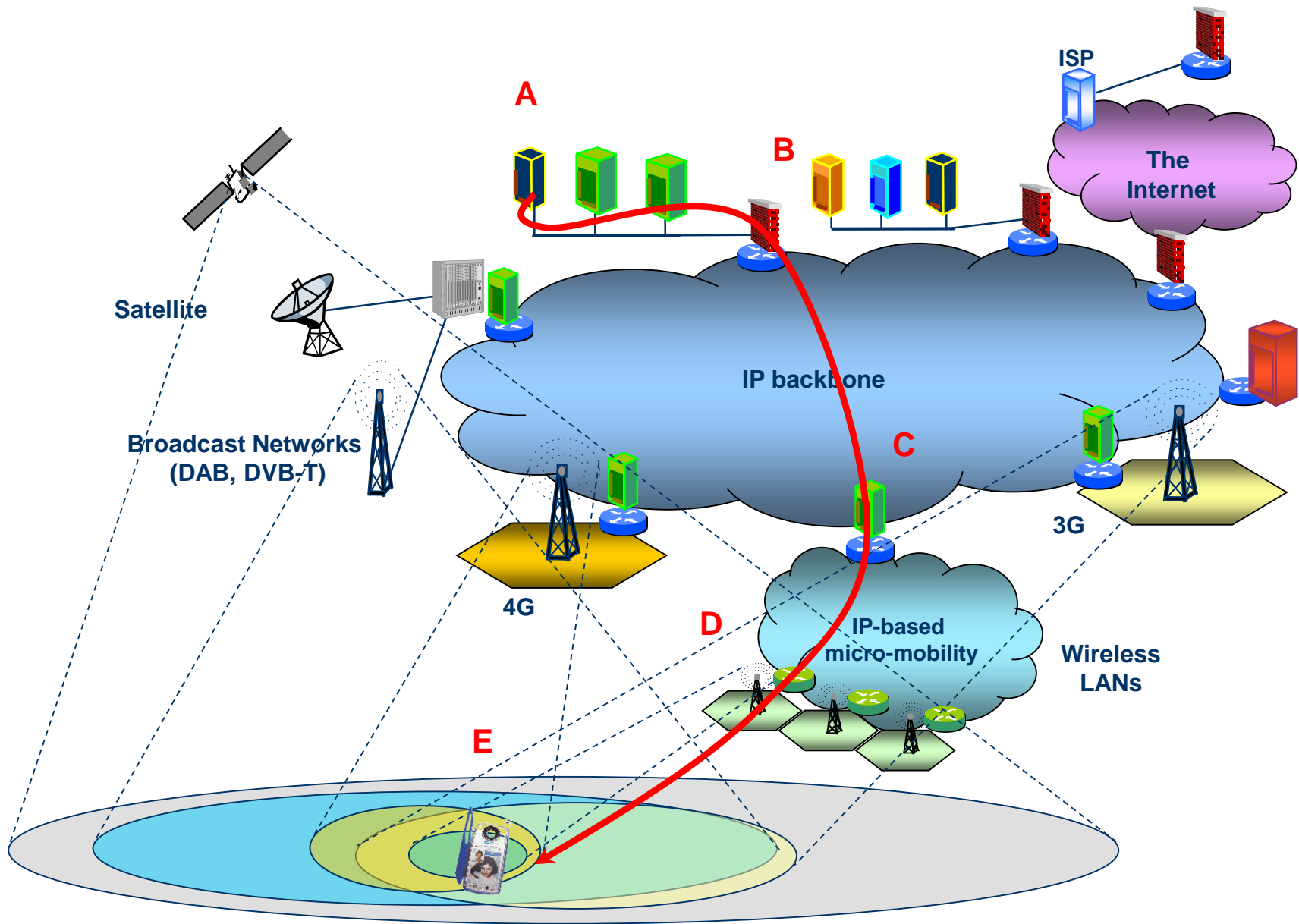


Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP



Τα πρωτόκολλα στο μοντέλο OSI



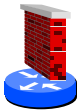




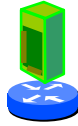
A



E



B



C



D

HTTP

HTTP

TCP

TCP

IP

IP

IP

IP

IP

Ethernet

Ethernet

ATM

ATM

Ethernet

Ethernet

802.11 MAC

802.11 MAC

Coaxial

Coaxial

Fiber-Optic

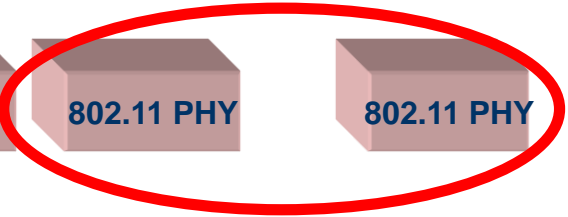
Fiber-Optic

Coaxial

Coaxial

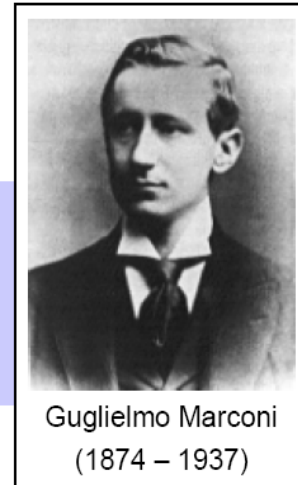
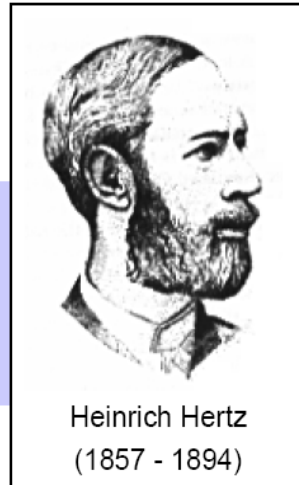
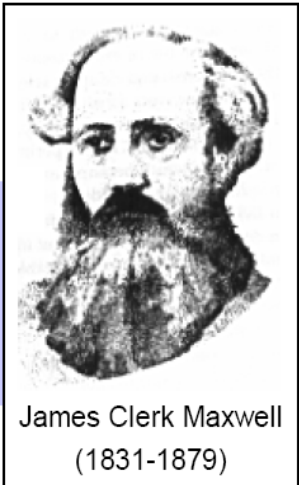
802.11 PHY

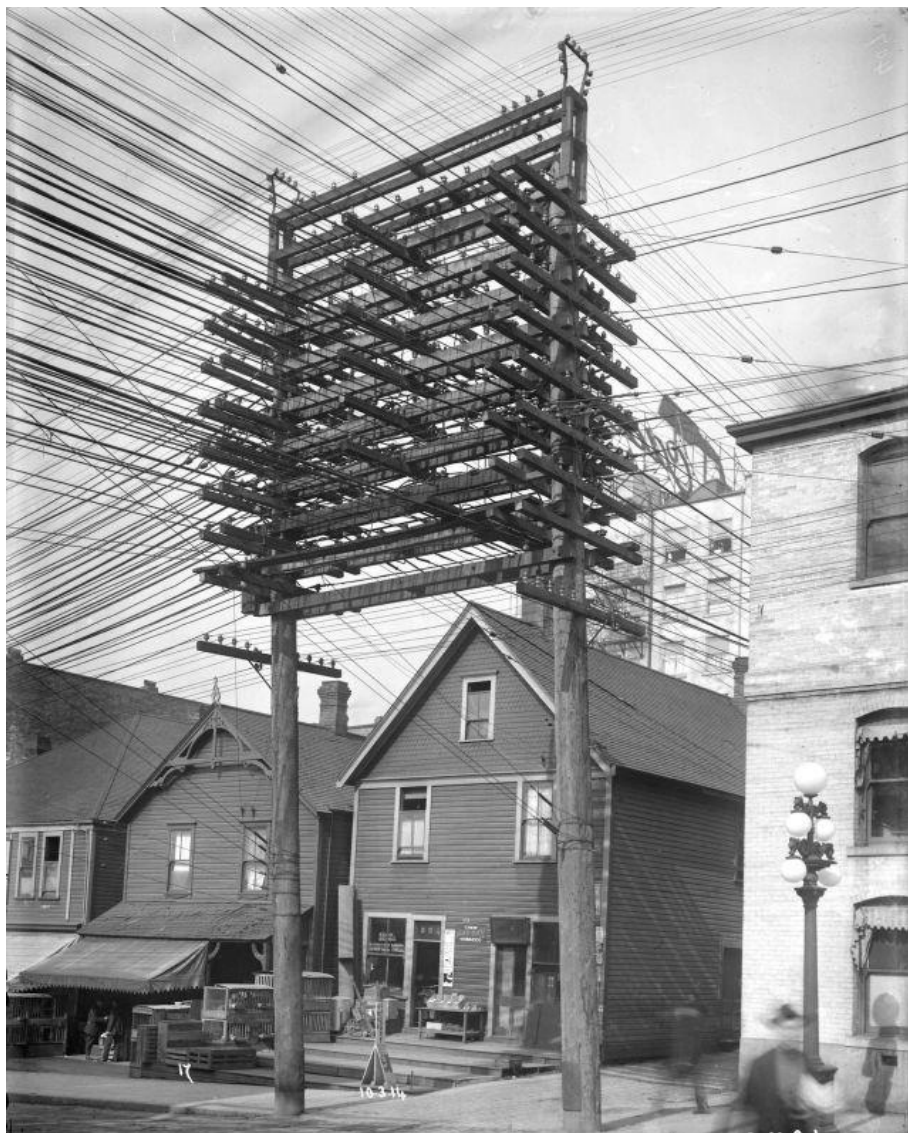
802.11 PHY



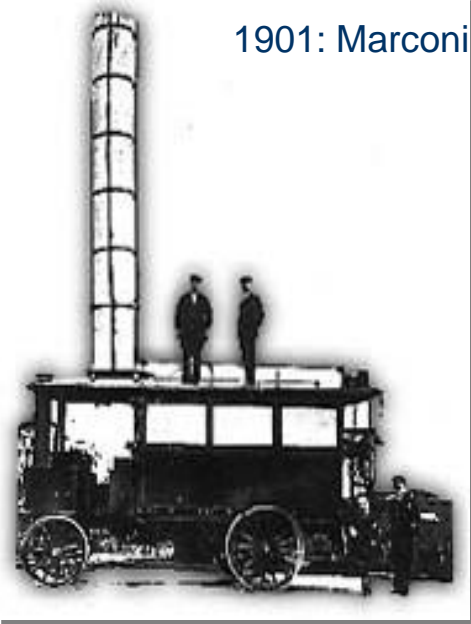
Λίγη ιστορία

- 1864 Theory of electromagnetic fields (J. C. Maxwell)
- 1886 Experimental demonstration of the wave character of electrical transmission in space (H. Hertz)
- 1896 Public demonstration of wireless telegraphy (G. Marconi)
- 1901 First transatlantic radio transmission (G. Marconi)

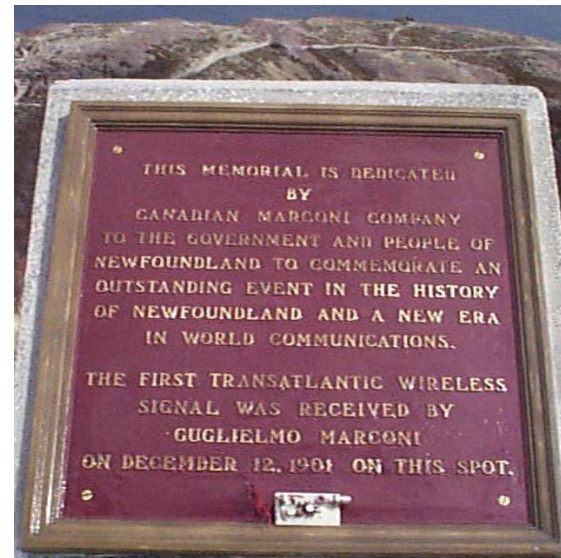




1901: Marconi



"Are you ready"



"S"

- 1906 Wireless transmission of human speech (R. A. Fessenden)
- 1909 First broadcast radio station in America
- 1921 Mobile receivers installed in Detroit police cars
- 1946 Interconnection of mobile users to public switched telephone network (AT&T)



Early version of a "mobile" phone (Bell Labs, 1924)



Wireless Telephone Set (Marconi, 1920)

Εξέλιξη των ασυρμάτων επικοινωνιών φωνής

- ❑ Υπηρεσία κινητών τηλεφώνων πρώτη η AT&T το 1946.
- ❑ Κινητή αλλά όχι κυψελοειδής. Ο σταθμός βάσης είχε εμβέλεια περίπου 100 km.
- ❑ Τα πρώτα συστήματα, βασισμένα στο FM, απαιτούσαν φάσμα εύρους 120 kHz για μετάδοση φάσματος φωνής 3 kHz.
- ❑ Ογκώδεις συσκευές (εγκατεστημένες σε αυτοκίνητα).
- ❑ Μικρή χωρητικότητα: 50 χρήστες
- ❑ Μέθοδος πολλαπλής προσπέλασης FD (διαίρεση συχνότητας)

Εξέλιξη των ασυρμάτων επικοινωνιών φωνής

- ❑ Το επόμενο βήμα ήταν η χρήση μεθόδων συγκανάλωσης (trunking – trunk=κορμός)
- ❑ Χαλαρώνοντας τον περιορισμό της απαίτησης ενός καναλιού αποκλειστικά δεσμευμένου για κάθε χρήστη.
- ❑ Έτσι αναπτύχθηκαν πομποδέκτες γρήγορου συντονισμού για ανεύρεση ελευθέρων καναλιών.

- ❑ Η έννοια της **κυψελοειδούς κάλυψης** εμφανίζεται στην αρχή της δεκαετίας του 1970.
- ❑ Η κυψελοειδής κάλυψη δεν είναι μια νέα τεχνολογία αλλά μια νέα οργάνωση των πόρων για κάλυψη μεγάλης περιοχής.
- ❑ Η έννοια της κυψελοειδούς κάλυψης οδήγησε στην έννοια της **επαναχρησιμοποίησης** της συχνότητας.
- ❑ Απαιτεί πολύπλοκους αλγορίθμους ελέγχου κυρίως για την υποστήριξη της μεταπομπής (handoff) δηλαδή την μεταγωγή από ένα σταθμό βάσης σε άλλο.
- ❑ Στην αρχή των 1990s γίνεται ψηφιακή μετάδοση της φωνής - συστήματα 2^{ης} γενιάς (2G).
- ❑ Αναπτύσσονται μικρότερες και με μεγαλύτερη διάρκεια μπαταρίες. Σμίκρυνση των κινητών συσκευών.

1988 Σχεδίαση του GSM

1988 Ανάπτυξη του IS-54 (ΗΠΑ)

1988 Ανάπτυξη του CDMA (ΗΠΑ)

1991 Ανάπτυξη του GSM

1993 Ανάπτυξη του IS-95 (ΗΠΑ)

1998 Αρχίζει η σύνταξη κανονισμών (standards) για το 3G

1999 Η ITU επιλεγεί 5 τεχνολογίες για το IMT-2000

2001 Η NTT DoCoMo εγκαθιστά το πρώτο W-CDMA

2009 Πρώτη εμπορική εγκατάσταση 4G στη Νορβηγία

Mobile 1G

AMPS, NMT, TACS



Mobile 2G

D-AMPS, GSM/GPRS,
cdmaOne



Mobile 3G

CDMA2000/EV-DO,
WCDMA/HSPA+, TD-SCDMA



Mobile 4G LTE

LTE, LTE Advanced



N/A

Analog Voice



<0.5 Mbps¹

Digital Voice + Simple Data



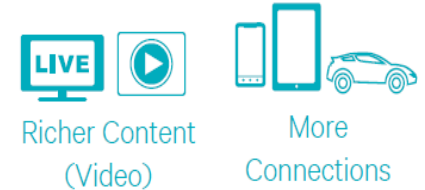
63+ Mbps²

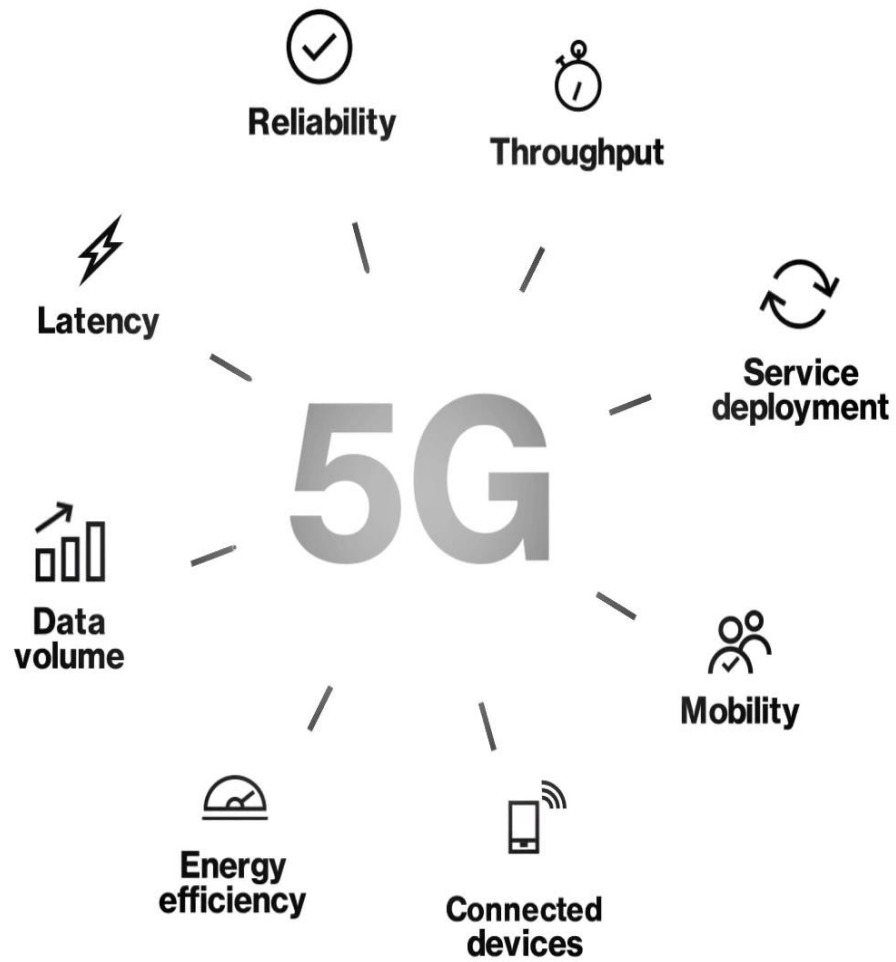
Mobile Broadband



300+ Mbps³

Faster and Better





Λίγη ακόμα ιστορία

Εξέλιξη ασυρμάτων δικτύων μετάδοσης δεδομένων

1983 ARDIS – Ιδιωτικό δίκτυο Motorola/IBM

1990 Αρχίζει η σύνταξη του **IEEE 802.11**

1992 Αναπτύσσεται το HIPERPLAN στην Ευρώπη

1997 Απελευθερώνονται οι ζώνες φάσματος U-NII (5.8GHz), ολοκληρώνεται η προδιαγραφή IEEE 802.11, ξεκινά το **GPRS**

1998 Εμφανίζονται το **Bluetooth** and το **IEEE 802.11b** (2.4GHz, 11Mbps)

1999 Εμφανίζονται τα **IEEE 802.11a** (5GHz, 54Mbps) και HIPERPLAN-2.

2003 Εμφανίζεται το **IEEE 802.11g** (2.4GHz, 54Mbps)

2004 Εμφανίζεται το **IEEE 802.16a (WiMAX)** (2.4-11GHz, 75Mbps, 50 km)

Ασύρματες Ζεύξεις

- Ως «ασύρματες ζεύξεις» ή «ραδιοζεύξεις», χαρακτηρίζονται οι ζεύξεις που, για τη μετάδοση πληροφορίας (φωνής, εικόνας, δεδομένων κλπ.), χρησιμοποιούν **ηλεκτρομαγνητικά κύματα (30 kHz – 300GHz)**
- Κύριο χαρακτηριστικό των ζεύξεων αυτών είναι η απουσία φυσικής σύνδεσης (γραμμή μεταφοράς κυματοδηγός) μεταξύ πομπού και δέκτη και η **χρήση της ατμόσφαιρας ή του διαστήματος** ως μέσου μετάδοσης

Διάδοση σήματος

