

# **Mobile and Wireless Networks**

## **Introduction**

# Scope of this course

- Study of the architecture and operations of mobile and wireless networks.
- This area is huge and cannot be covered in one course.
- Divided in two parts
  - Wireless/mobile Internet access
  - Mobile networks

<http://eclass.uoa.gr/courses/D211/>

# Parts of this course

## Wireless/mobile Internet access

- History, general principles of mobile communications
- Problems of IP over wireless networks
- Wireless communications – Modulation, transmission
- Wireless networks – WLANs
- Mobility support


## Mobile Networks

- 4G networks – LTE - LTE-A
- 5G architecture
- Quality of Service – Quality of Experience
- Radio resource management
- Interference management
- Mobility support

# Assignment

- **Students that will attend this course, will have to prepare a 15-minute presentation on a subject related to the course.**
- **A list of subjects will be proposed by mid-November, while the students will be allowed to propose a subject of their own choice.**
- **The presentations will be recorded and uploaded through eclass by the end of January 2025.**
- **The grade of the presentation will be 30% of the final grade.**
- **70% of the grade will be through the final examinations (language of your choice).**

# http://eclass.uoa.gr/courses/D211/



Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Ἀθηνῶν  
ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837

Αναζήτηση...

- Ενεργά εργαλεία
- Ανακοινώσεις
- Εγγραφα
- Εργασίες
- Μηνύματα **32**
- Ομάδες Χρηστών
- Ανενεργά εργαλεία
- Διαχείριση μαθήματος

Χαρτοφυλάκιο / Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα - Mobile and Wireless...

## Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα - Mobile and Wireless Networks (M121 - EN23/IC1)

Νίκος Πασσάς

Περιγραφή

The rapid development of wireless and mobile communications, that started in the 80's, mainly through WiFi and GSM, continues in our days with 4G and now with 5G mobile networks. The aim of this course is to describe the principles and architecture of modern wireless and mobile networks, focusing on their main functionalities. The course will cover:

**Wireless/mobile Internet access:**


- History, general principles of mobile communications
- Problems of Internet Protocol (IP) over wireless networks
- Wireless communications – Modulation, transmission
- Wireless networks – WLANS
- IP mobility support

**Mobile Networks:**


- 4G networks – Architecture and operation
- 5G architecture
- Quality of Service / Quality of Experience support in modern networks
- Radio resource management
- Interference mitigation/management
- Mobility support in mobile networks

The course also includes an individual assignment for the students, in the form of a 15-minute presentation on a relevant subject. A list of [Περισσότερα](#)


[Περίγραμμα](#)



<http://eclass.uoa.gr/courses/D211/>





Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών  
ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837

Αναζήτηση... 


Επιλογές Μαθήματος






- Ανακοινώσεις
- Εγγραφα**
- Εργασίες
- Μηνύματα 32
- Ομάδες Χρηστών

🏠 Χαρτοφυλάκιο / Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα - Mobile and Wireless... / Εγγραφα


Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα - Mobile and Wireless Networks (M121 - EN23/IC1)  

Εγγραφα

Αρχικός κατάλογος 

Τύπος	Αρχείο ▾	Μέγεθος	Ημερομηνία	
	Winter Semester 2023-2024		3/10/23	
	Χειμερινό εξάμηνο 2024-2025		30/9/24	

# http://eclass.uoa.gr/courses/D211/



Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών  
ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837

Αναζήτηση...

Ενεργά εργαλεία

- Ανακοινώσεις
- Εγγραφα**
- Εργασίες
- Μηνύματα 32
- Ομάδες Χρηστών
- Ανενεργά εργαλεία
- Διαχείριση μαθήματος

Χαρτοφυλάκιο / Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα - Mobile and Wireless... / Εγγραφα

## Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα - Mobile and Wireless Networks (M121 - EN23/IC1)

Έγγραφα


Ανέβασμα αρχείου

Αρχικός κατάλογος » Winter Semester 2023-2024

Επάνω

Τύπος	Αρχείο	Μέγεθος	Ημερομηνία	
	Διάλεξη 01 - Εισαγωγή	4.44 MB	16/10/23	
	Διάλεξη 02 - IP πάνω από ασύρματα/κινητά δίκτυα	2.28 MB	16/10/23	
	Διάλεξη 03 - Ασύρματη μετάδοση και πολλαπλή πρόσβαση	1.23 MB	20/10/23	
	Διάλεξη 04 - Ασύρματα τοπικά δίκτυα WiFi	3.14 MB	26/10/23	
	Διάλεξη 05 - Ασύρματα τοπικά δίκτυα WiFi (μέρος 2)	6.69 MB	3/11/23	
	Διάλεξη 06 - Ασύρματα τοπικά δίκτυα WiFi (μέρος 3)	807.88 KB	9/11/23	
	Διάλεξη 07 - Ασύρματα τοπικά δίκτυα WiFi (μέρος 4) - Εισαγωγή στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών	4.37 MB	22/12/23	
	Διάλεξη 08 - Long Term Evolution	2.62 MB	22/12/23	
	Διάλεξη 09 - Long Term Evolution - Advanced	4.53 MB	22/12/23	
	Διάλεξη 10 - 5G Mobile Communication System	4.63 MB	22/12/23	
	Διάλεξη 11 - 5G Mobile Communication System (μέρος 2)	4.61 MB	12/1/24	

# http://eclass.uoa.gr/courses/D211/



Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών  
ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837

Αναζήτηση...

Ενεργά εργαλεία

- Ανακοινώσεις
- Έγγραφα
- Εργασίες
- Μηνύματα **32**
- Ομάδες Χρηστών
- Ανεργά εργαλεία
- Διαχείριση μαθήματος

🏠 👤 npassas ☰

📄 Χαρτοφυλάκιο / Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα - Mobile and Wireless... / Ανακοινώσεις

## Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα - Mobile and Wireless Networks (M121 - EN23/IC1)

Ανακοινώσεις 📢

🔍 Προσθήκη ανακοίνωσης ⚙️

Εμφάνισε **10** αποτελέσματα

Ανακοίνωση	Ημερομηνία	Κατάσταση	⚙️
<p>Σημερινή εξέταση μαθήματος</p> <p>Υστερα από συνεννόηση με τους εξεταζόμενους, η σημερινή εξέταση θα γίνει εξ απόστάσεως μέσω τηλεδιάσκεψης. Αν κάποιος επιθυμεί να συμμετάσχει και δεν το έχει δηλώσει ήδη, ας μου στείλει μήνυμα στο npassas@di.uoa.gr</p> <p>περισσότερα</p>	Τετάρτη, 18 Σεπτεμβρίου 2024 - 1:57 μ.μ.	👁️ Ορατή	⚙️
<p>Αυριανή εξέταση μαθήματος</p> <p>καλησπέρα,</p> <p>Όποιος σκοπεύει να συμμετάσχει στην αυριανή εξέταση του μαθήματος, ας μου στείλει ένα μήνυμ...</p> <p>περισσότερα</p>	Τρίτη, 17 Σεπτεμβρίου 2024 - 3:27 μ.μ.	👁️ Ορατή	⚙️
<p>Skills2Scale Webinar "AI Applicability in 6G Systems for Trustworthiness Provision"</p> <p>Skills2Scale project is organizing an interesting online webinar about <b>"AI Applicability in 6G Systems for Trustworthiness Provision"</b>. Registration is free and open to everyone. We warmly welcome you to join us!&lt;...</p> <p>περισσότερα</p>	Παρασκευή, 12 Απριλίου 2024 - 10:37 π.μ.	👁️ Ορατή	⚙️
<p>Αποτελέσματα εξεταστικής Φεβρουαρίου 2024</p> <p>περισσότερα</p>	Τρίτη, 26 Μαρτίου 2024 - 3:09 μ.μ.	👁️ Ορατή	⚙️





Περιεχόμενο Αναζήτηση με λέξεις - κλειδιά σε καταγεγραμμένο περιεχόμενο   Θεματική περιοχή ▾ Τμήμα ▾ Εκδήλωση ▾

Ακαδημαϊκό Έτος: 2023-2024 ▾ [ Κάντε κλικ για αλλαγή ]

Ενεργές Επιλογές Αναζήτησης: Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα ✕ Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών ✕ Αφαίρεση Όλων ✕

Βρέθηκαν 34 αποτελέσματα

↓ Ημερομηνία ▾ ▢ Λεπτομερής ▾

### Φίλτρα Αποτελεσμάτων

Υπεύθυνος

Πασσάς Νικόλαος (34)

#### ▶ 1. Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα (2024-01-10-14:10:12) / Μέρος 1 (Πασσάς Νικόλαος, Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό)

Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Προγραμματισμένη Μετάδοση μαθήματος

Εξάμηνο: Μεταπτυχιακό | 2024-01-10 | 01:00:01 | 47

#### ▶ 2. Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα (2024-01-10-15:10:17) / Μέρος 2 (Πασσάς Νικόλαος, Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό)

Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Προγραμματισμένη Μετάδοση μαθήματος

Εξάμηνο: Μεταπτυχιακό | 2024-01-10 | 01:00:00 | 30

#### ▶ 3. Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα (2024-01-10-16:10:17) / Μέρος 3 (Πασσάς Νικόλαος, Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό)

Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Προγραμματισμένη Μετάδοση μαθήματος

Εξάμηνο: Μεταπτυχιακό | 2024-01-10 | 00:59:43 | 34

#### ▶ 4. Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα (2023-12-20-14:10:09) / Μέρος 1 (Πασσάς Νικόλαος, Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό)

Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Προγραμματισμένη Μετάδοση μαθήματος

Εξάμηνο: Μεταπτυχιακό | 2023-12-20 | 00:50:20 | 38



🔊 Ζωντανές Μεταδόσεις

Αναζήτηση με λέξεις - κλειδιά στις ζωντανές μεταδόσεις



Τμήμα ▾

📌 Επιλέξτε 'Τμήμα' για να περιορίσετε τα αποτελέσματα

Βρέθηκαν 5 αποτελέσματα RSS 2.0

#### Τμήμα

Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών (5)

#### Μάθημα

Διακριτά Μαθηματικά

Δικτύωση Βασισμένη στο Λογισμικό

Ειδικά Θέματα Κβαντικής Πληροφορίας και Υπολογιστικής

Ενισχυτική μηχανική μάθηση και Στοχαστικά παίγνια

Λειτουργικά Συστήματα

#### Υπεύθυνος

Αλωνιστιώτη Αθανασία

Καλουπτσίδης Νίκος

Μανδηλαρά Αικατερίνη

Χαμόδρακας Ιωάννης

Χατζηευθυμιάδης Ευστάθιος

### ▶ 1. Λειτουργικά Συστήματα (Χατζηευθυμιάδης Ευστάθιος, Καθηγητής)

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Εξάμηνο: 5ο | ⌚ 15:10 | ⌚ 2 Ωρες | 🎤 Αμφιθέατρο (μεγάλο), Τμήμα Πληροφ. και Τηλεπικ. | Πρόσβαση: Με Ιδρυματικό λογαριασμό

(🔴 LIVE) Ζωντανή Μετάδοση | REC AUTO Καταγραφή

### ▶ 2. Ειδικά Θέματα Κβαντικής Πληροφορίας και Υπολογιστικής (Μανδηλαρά Αικατερίνη, Συνεργάτης)

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Εξάμηνο: - | ⌚ 15:10 | ⌚ 2 Ωρες | 🎤 Αίθουσα Ε', Τμήμα Πληροφ. και Τηλεπικ. | Πρόσβαση: Με Ιδρυματικό λογαριασμό

(🔴 LIVE) Ζωντανή Μετάδοση | REC AUTO Καταγραφή

### ▶ 3. Δικτύωση Βασισμένη στο Λογισμικό (Αλωνιστιώτη Αθανασία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια)

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Εξάμηνο: Μεταπτυχιακό | ⌚ 15:10 | ⌚ 3 Ωρες | 🎤 Αίθουσα Γ', Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών | Πρόσβαση: Με Ιδρυματικό λογαριασμό

(🔴 LIVE) Ζωντανή Μετάδοση | REC AUTO Καταγραφή

### ▶ 4. Διακριτά Μαθηματικά (Χαμόδρακας Ιωάννης, Ειδικό Διδακτικό Προσωπικό)

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Εξάμηνο: 1ο | ⌚ 13:10 | ⌚ 4 Ωρες | 🎤 Αμφιθέατρο Α1, Τμήμα Πληροφ. και Τηλεπικ. | Πρόσβαση: Με Ιδρυματικό λογαριασμό

(🔴 LIVE) Ζωντανή Μετάδοση | REC AUTO Καταγραφή

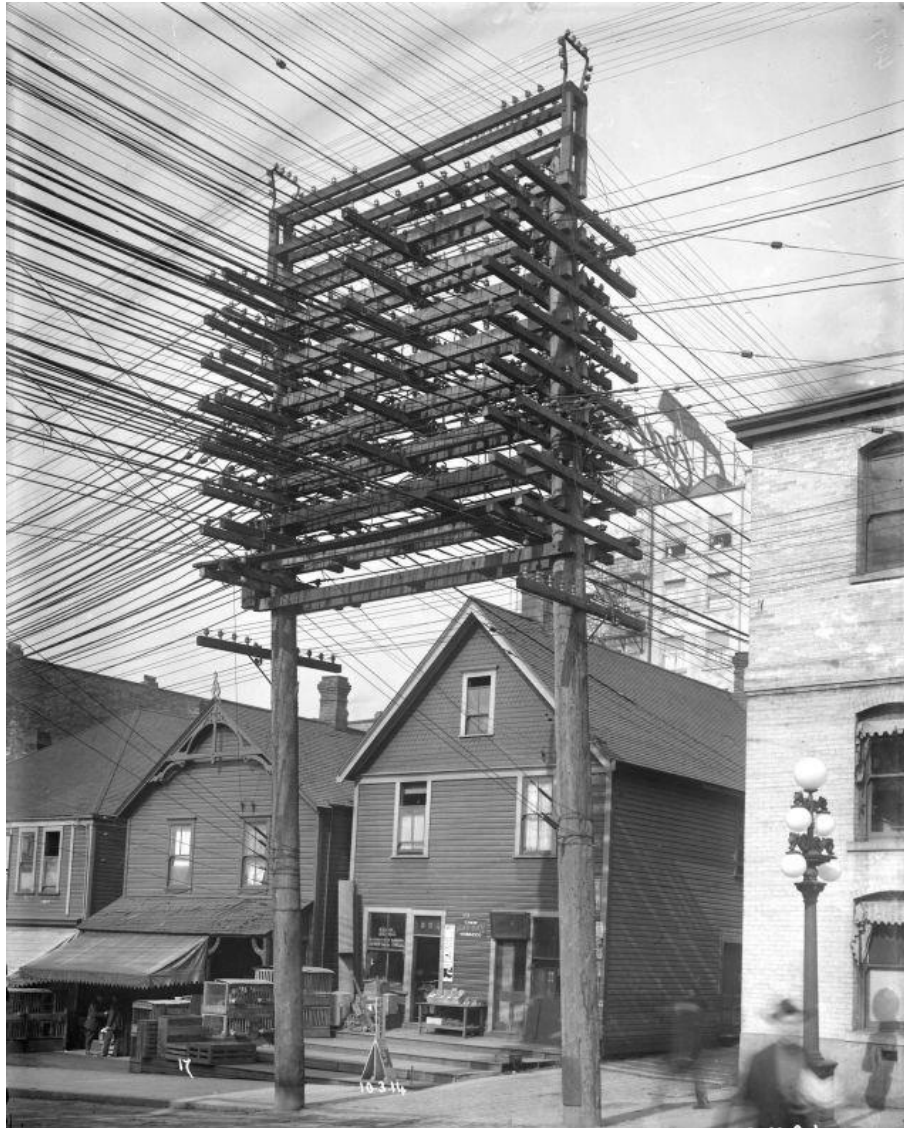


© National & Kapodistrian University of Athens | www.uoa.gr

00:46:22 / 01:00:01

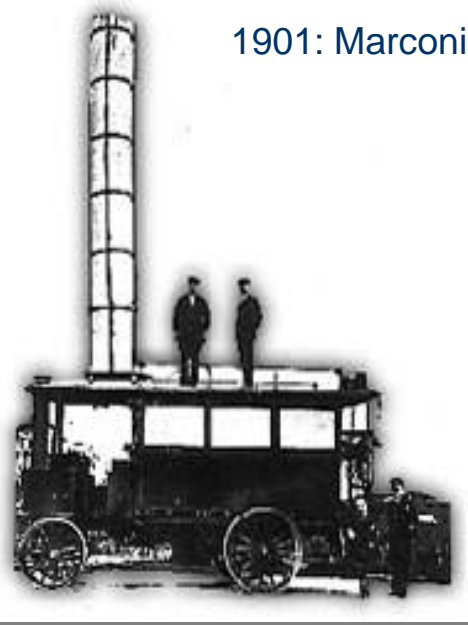
5

# Before wireless communications

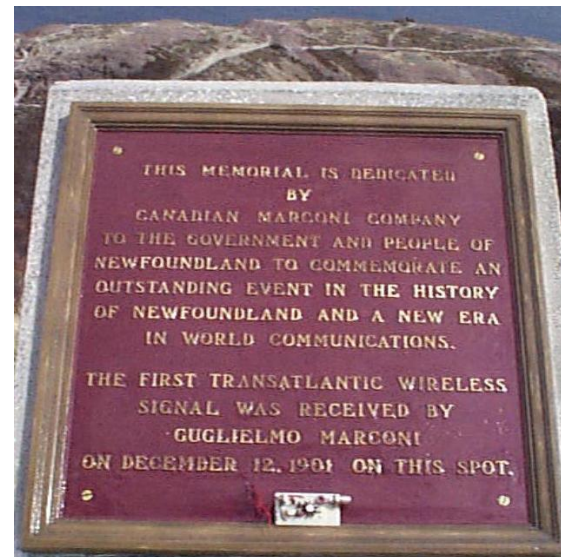


# Mobile communications start

1901: Marconi



"Are you ready"



"S"

# Mobile Communications at the beginning of the 20<sup>th</sup> century

1910: Ericsson & wife Hilda



1924: First mobile radio telephone

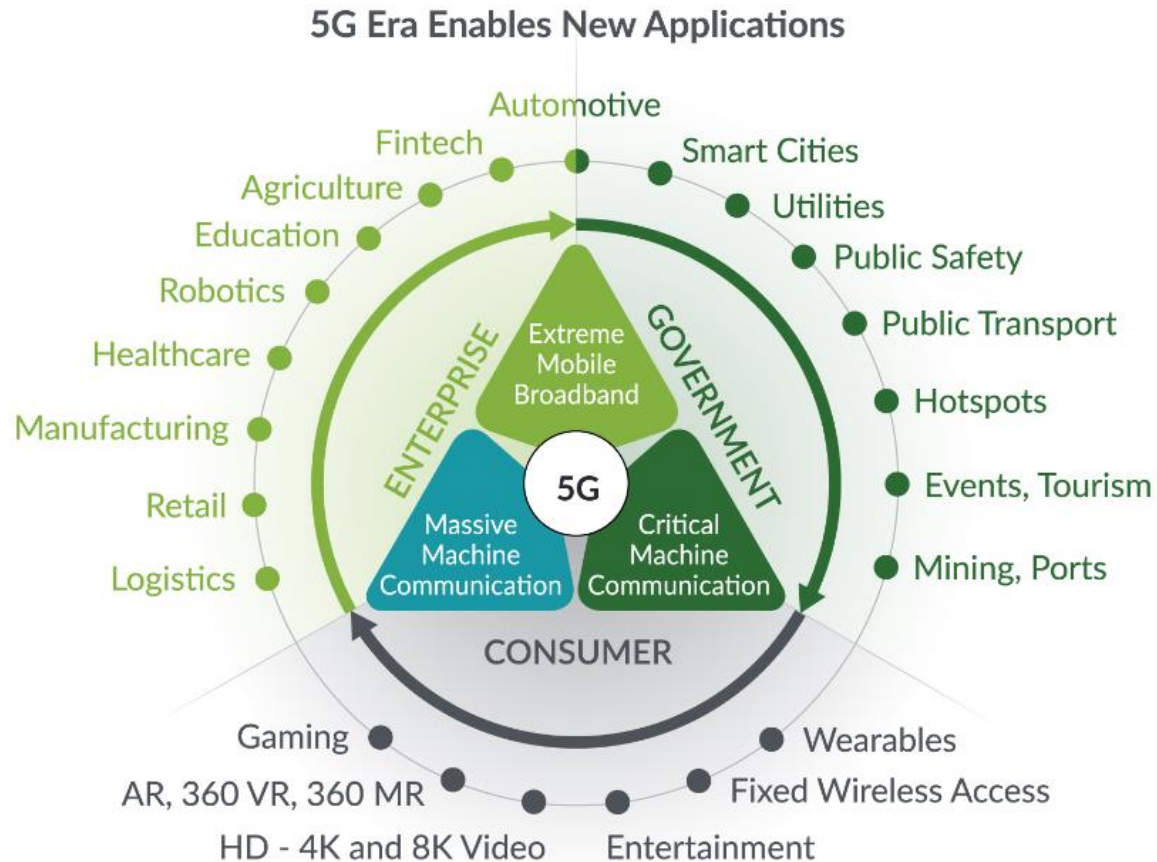


Courtesy of Rich Howard

# Generations of Mobile Networks

- **0G:** Briefcase-size mobile radio telephones
- **1G:** *Analog* cellular telephony (end '70s)
- **2G:** *Digital* cellular telephony (beg '90's)
- **3G:** *High-speed* digital cellular telephony (including *video telephony*) (beg '00)
- **4G:** IP-based “anytime, anywhere” voice, data, and multimedia telephony at *faster* data rates than 3G (beg '10)
- **5G:** 10-times faster data rates, much more flexible in mobility, Internet of Things (IoT) support (cheap, low energy, massive number of devices) (beg '20)

# New applications





# Through the years

- The first official mobile phone used in Sweden by the Swedish police in 1946; could make 6 phone calls before car's battery was drained
- development of first cell phone (creation of towers/cells at Bell Labs in 1947)
- 1983 Motorola DynaTAC 8000X made commercially available: 2 lbs (900gr), \$3,500
- 1991 Motorola MicroTac Lite (350gr) the lightest phone: \$1,000



# Through the years

## The Evolution Of Mobiles

1973 to 2020



CC@TechnicalDesk

### EVOLUTION OF THE MOBILE PHONE

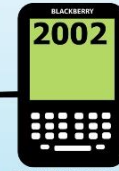
Cut Copy Define Replace...



**Motorola DynaTAC 8000X**  
\$3,995 [ ] 30 Minutes  
The first mobile phone ever sold, it takes 10 hours to recharge.



**Nokia 1011**  
\$1,045 [ ] 1.5 Hours  
The first ever mass-produced GPRS phone.  
**Unique Features:**  
Monochrome LCD screen  
Extensible antenna



**BlackBerry 5810**  
\$499 [ ] 3.5 Hours  
The first ever BlackBerry device with a phone.  
**Unique Features:**  
Checklist app  
Browser functionality



**Samsung Galaxy S4**  
\$629 [ ] 17 Hours  
Samsung's fastest and best selling smartphone with 28 million units sold. The S4's hardware was not only better than the iPhone 5, it also featured a bigger screen. The S4 also ditched a fingerprint sensor for an iris scanner.  
**Unique Features:**  
Large screen  
Iris scanner



**Apple iPhone**  
\$499 [ ] 8 Hours  
Apple's reinvention of the phone, this features a full touchscreen display with no keyboard. The iPhone project was a massive risk for Apple and it is hard to tell if it had been Apple would have went out of business.  
**Unique Features:**  
Full touchscreen display  
iOS 1.0



**Motorola RAZR V3**  
\$599 [ ] 3.3 Hours  
This is one of the best selling flip phones, it features a graphics, camera, keypad and even allowed users to use a custom wallpaper.  
**Unique Features:**  
Flip phone  
Lightweight  
Portable



**Google Pixel 2**  
\$799 [ ] 15 Hours  
Google's best generation Pixel features one of the best cameras in a smartphone. This single feature makes the phone a major competitor to the iPhone X.  
**Unique Features:**  
17 megapixel camera  
4K Video recording  
Snapdragon 821 chip  
Android 8.0



**Apple iPhone Xs**  
\$999 [ ] 24 Hours  
Apple's 10th anniversary of the phone features a controversial notch as well as a gesture-based UI, as well as no headphone jack. This is the top of the line of luxury smart phones.  
**Unique Features:**  
Notch notchless display  
iOS 12.0  
Face ID  
A12 Bionic chip  
Wireless charging

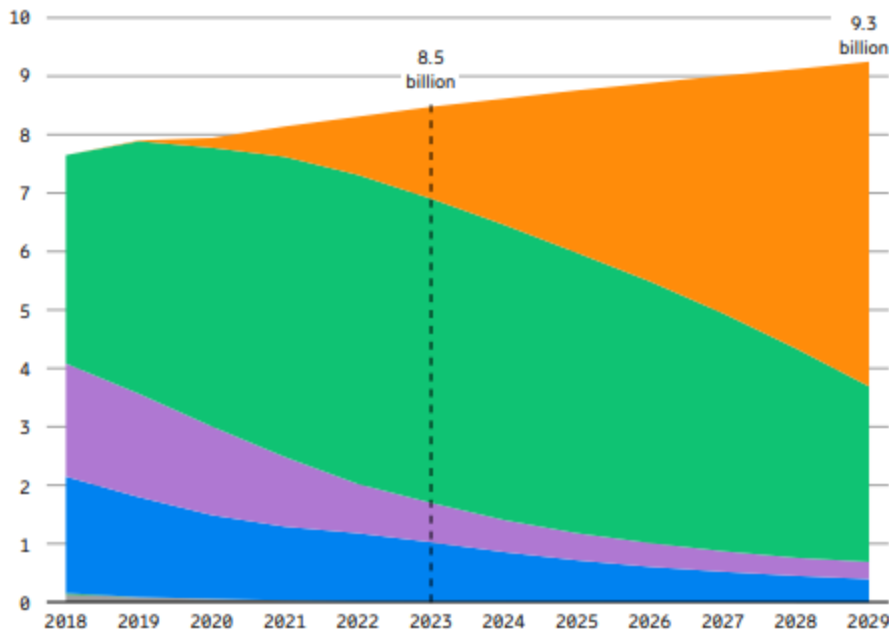


**Samsung Galaxy X**  
\$1499 [ ] 77 Hours  
Samsung's 10th anniversary of the Galaxy line will feature flexible display that allows the phone to expand into a tablet.  
**Unique Features:**  
Foldable display



# Αύξηση συνδρομητών ανά τεχνολογία

Figure 1: Mobile subscriptions by technology (billion)



5G subscriptions are forecast to reach 5.6 billion by the end of 2029.

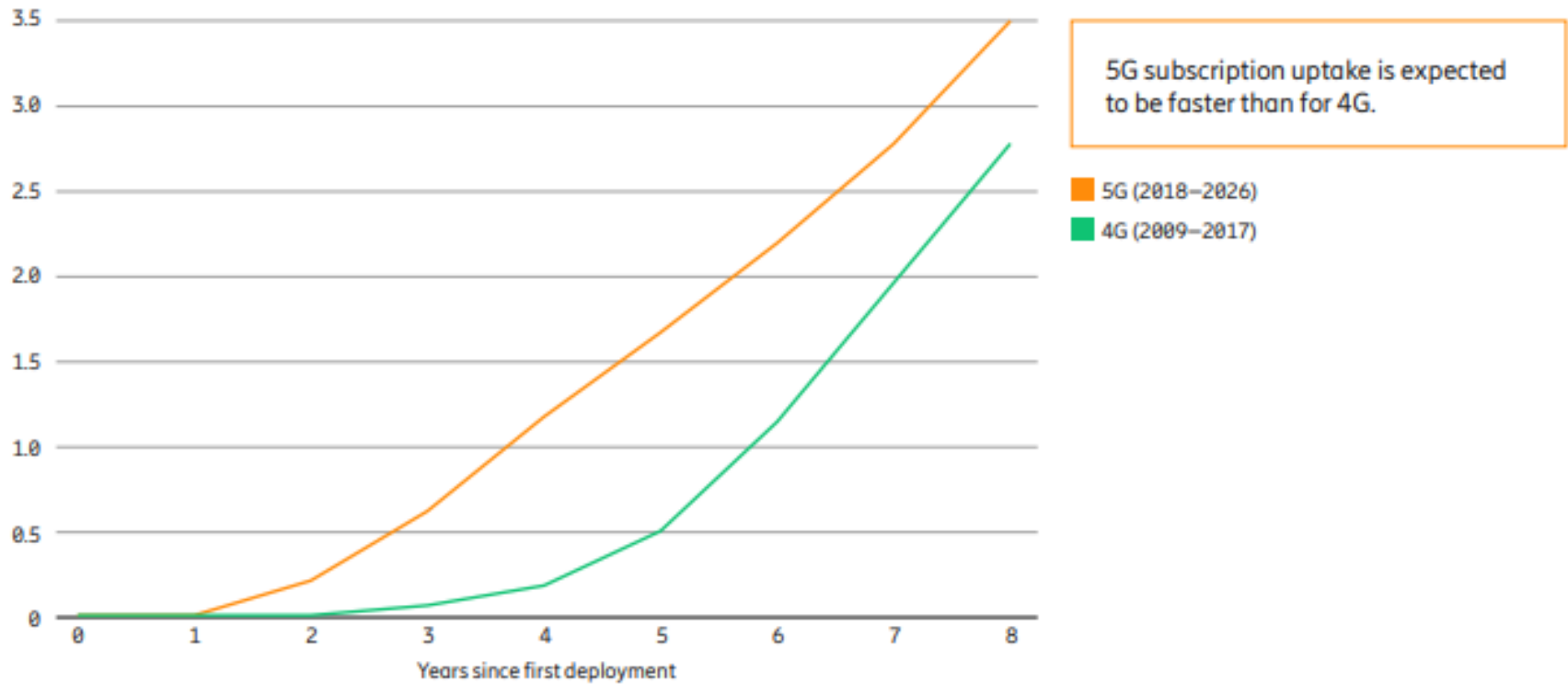
5.6bn

<sup>1</sup>A 5G subscription is counted as such when associated with a device that supports New Radio (NR), as specified in 3GPP Release 15, and is connected to a 5G-enabled network.

<sup>2</sup>GSA and Ericsson (May 2024).

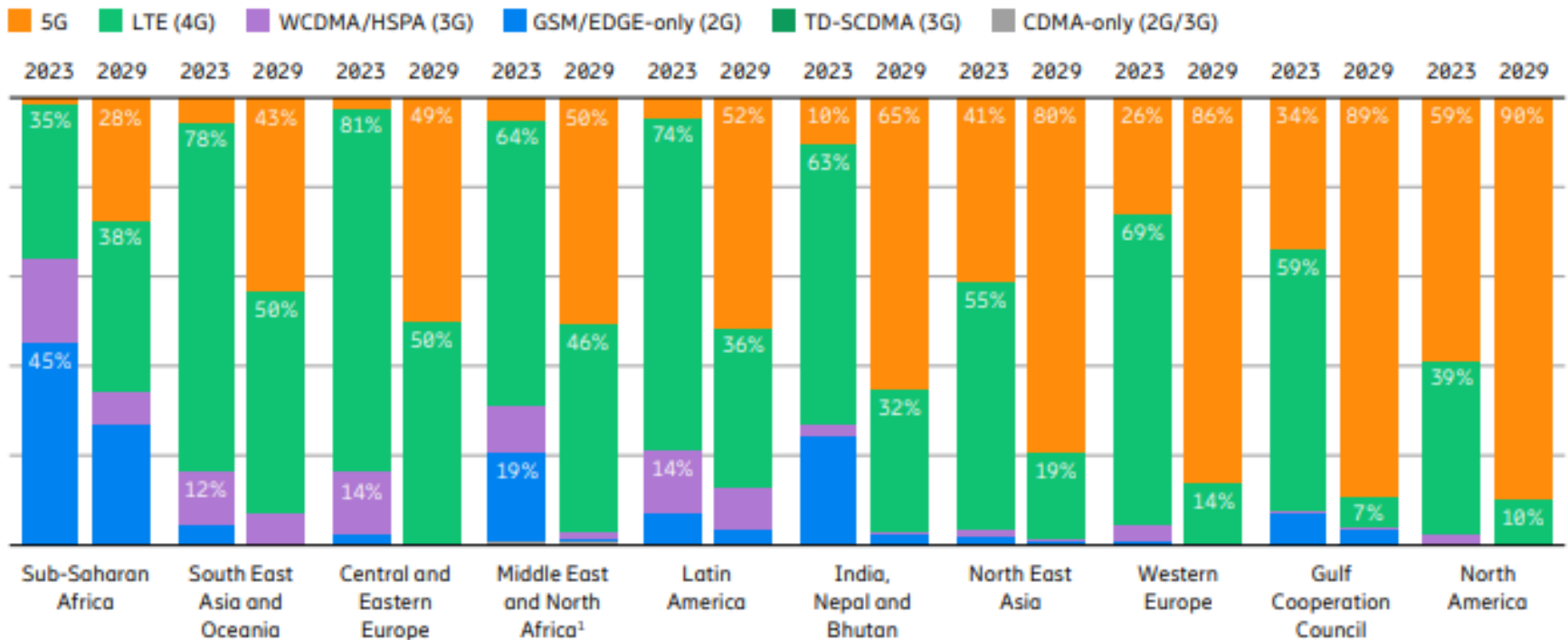
<https://www.ericsson.com/49ed78/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2024/ericsson-mobility-report-june-2024.pdf>

# Συνδρομητές 4G/5G



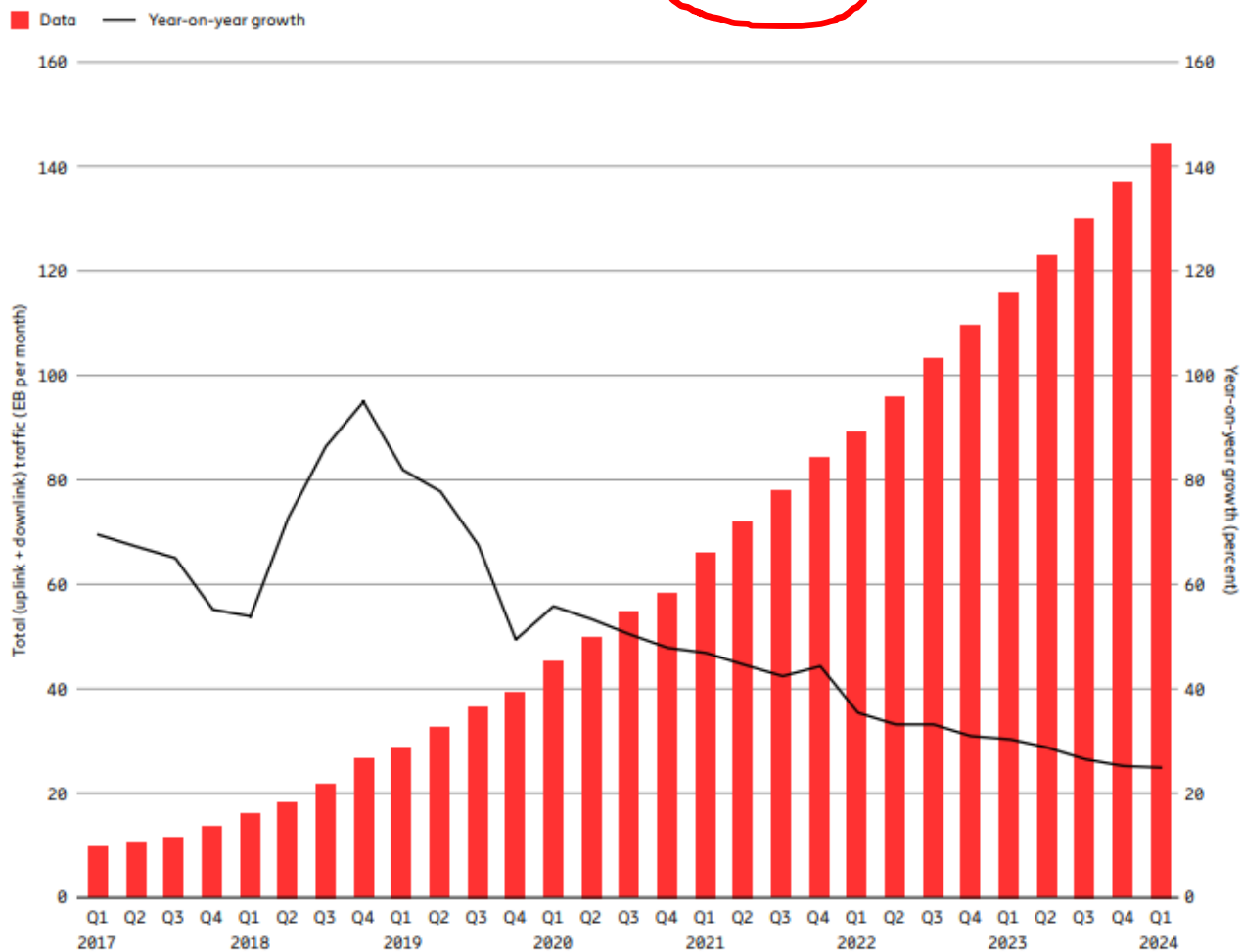
# Συνδρομητές ανά περιοχή

Figure 3: Mobile subscriptions by region and technology (percent)



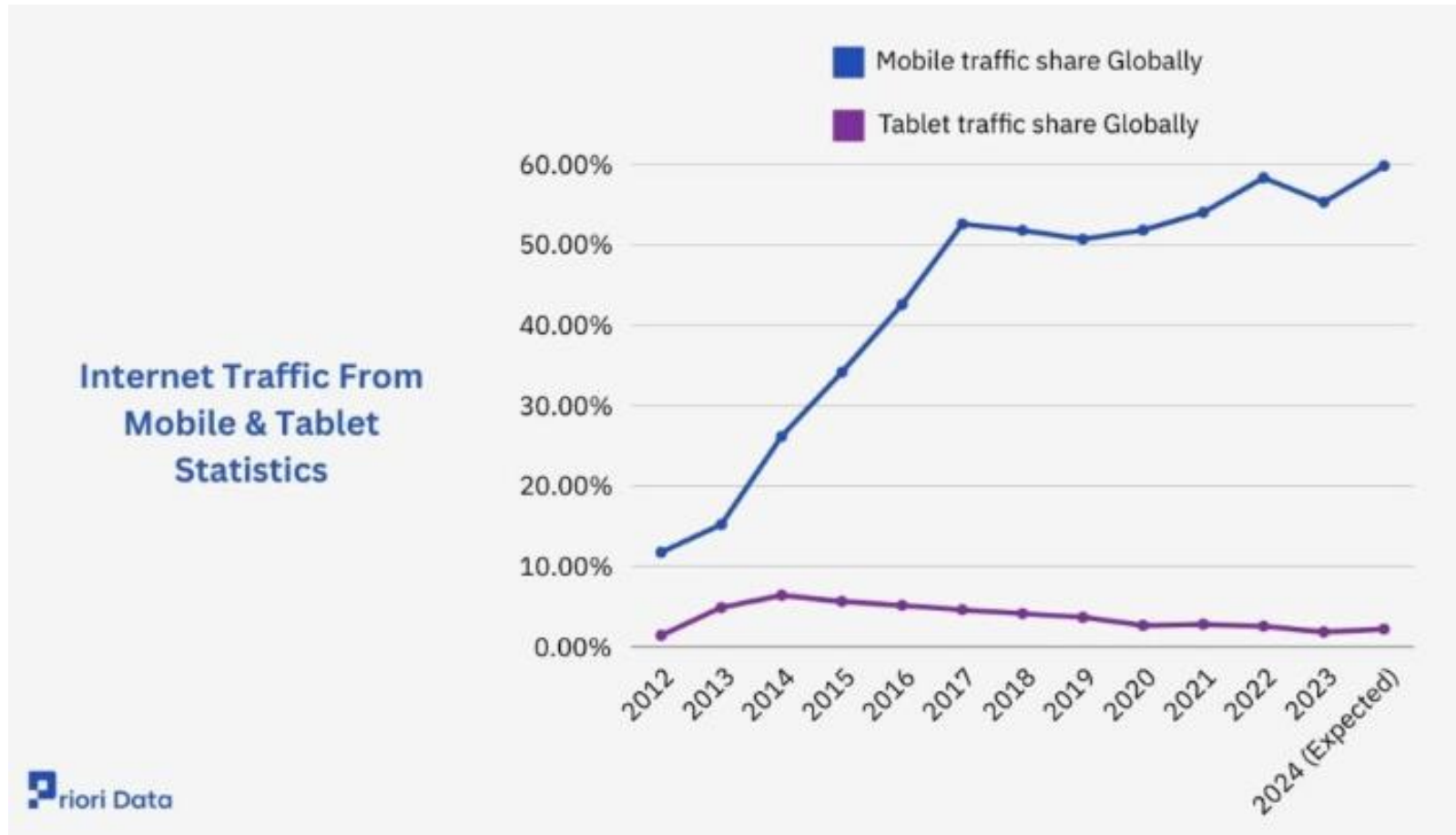
# Κίνηση δεδομένων

Figure 5: Global mobile network data traffic and year-on-year growth (EB per month)



1 ExaByte =  $10^{18}$  bytes

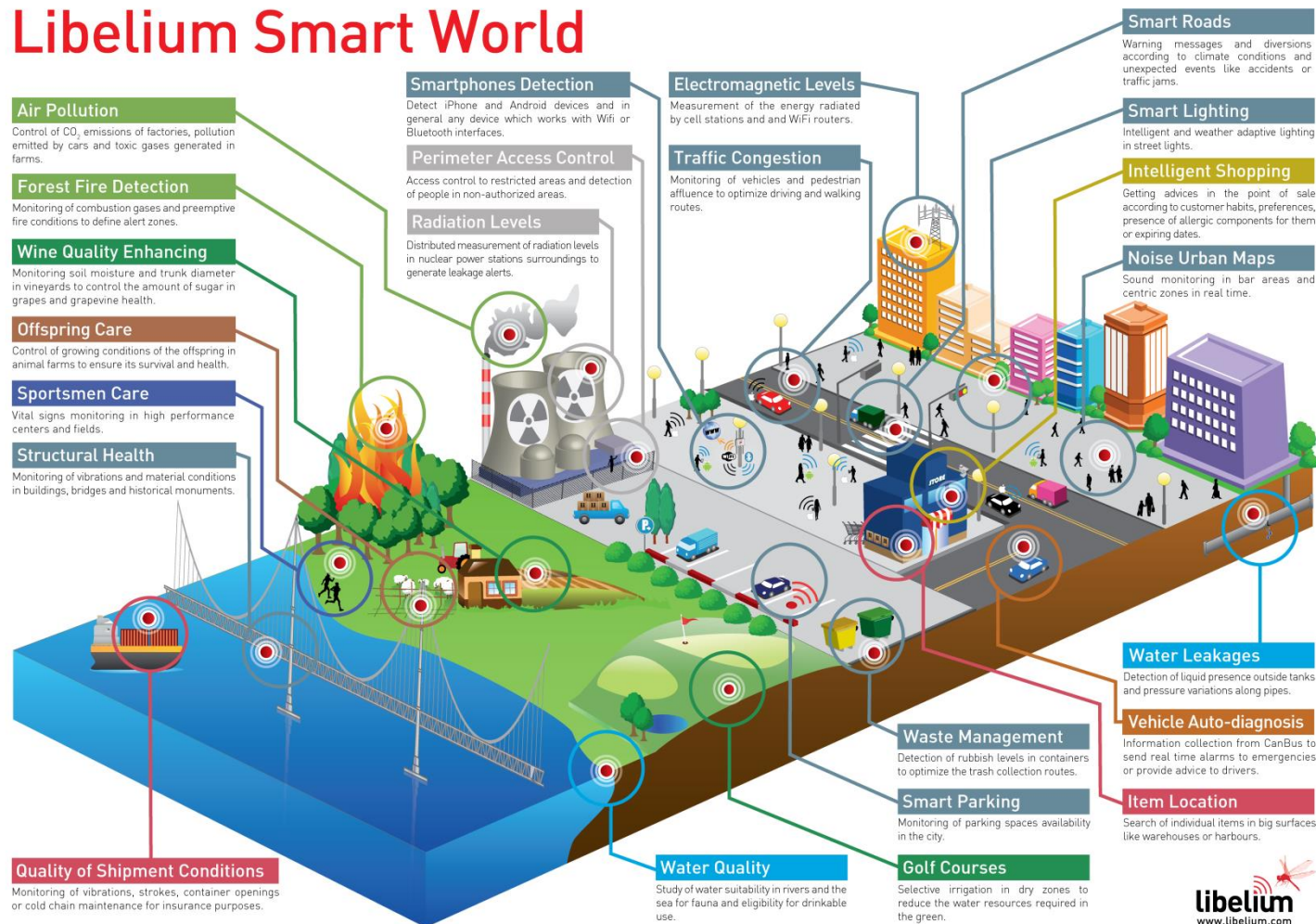
# Κίνηση δεδομένων από κινητές συσκευές



1 ExaByte =  $10^{18}$  bytes

# Internet of Things (IoT)

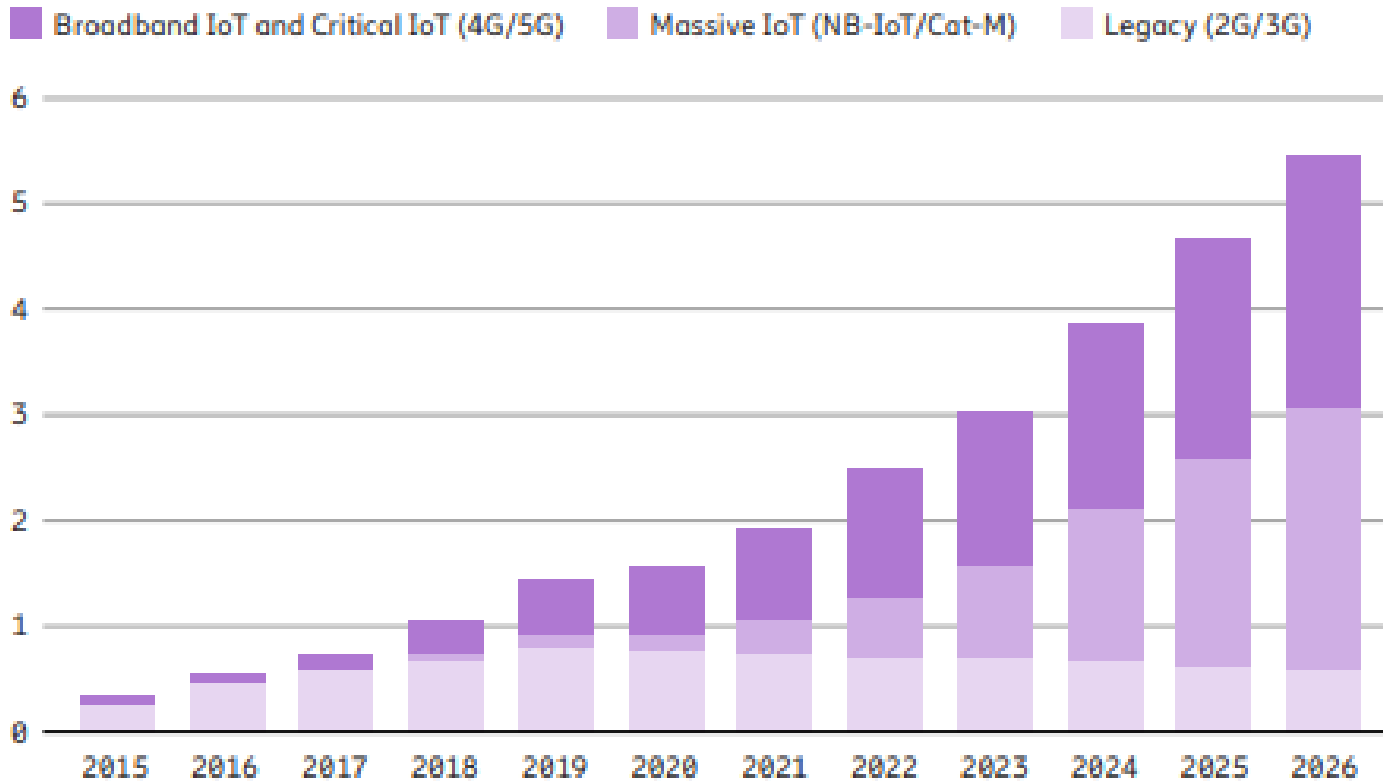
## Libelium Smart World







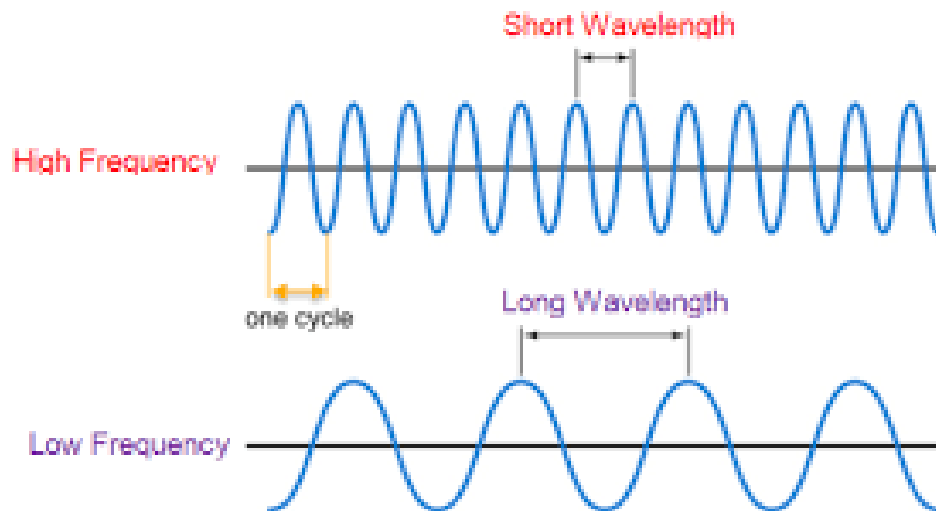
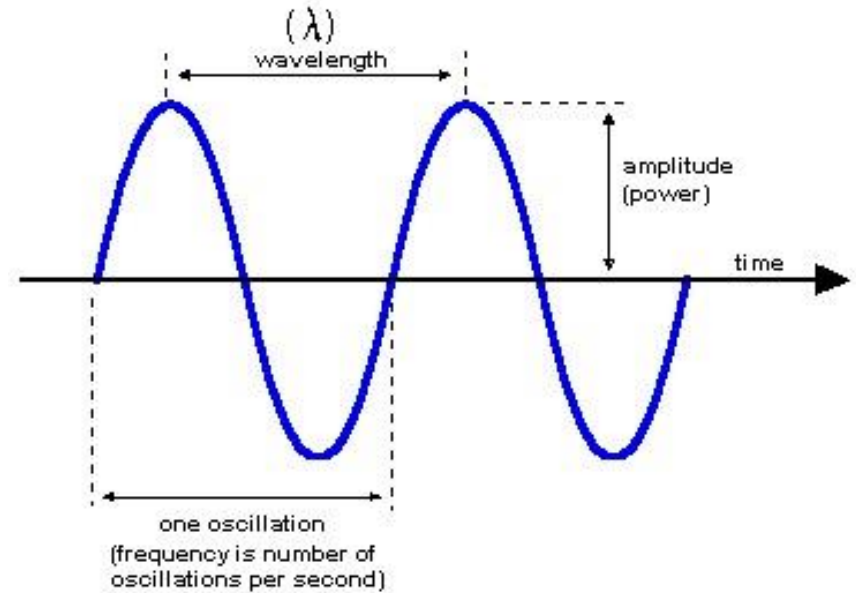
# IoT growth



IoT	2020	2026	CAGR
Wide-area IoT	1.7	5.8	23%
Cellular IoT <sup>2</sup>	1.6	5.4	23%
Short-range IoT	10.7	20.6	12%
<b>Total</b>	<b>12.4</b>	<b>26.4</b>	<b>13%</b>

# Frequency and Wave length

- Relationship:
- $\lambda = c/f$
- wave length  $\lambda$ ,
- speed of light  $c \cong 3 \times 10^8 \text{m/s}$ ,
- frequency  $f$



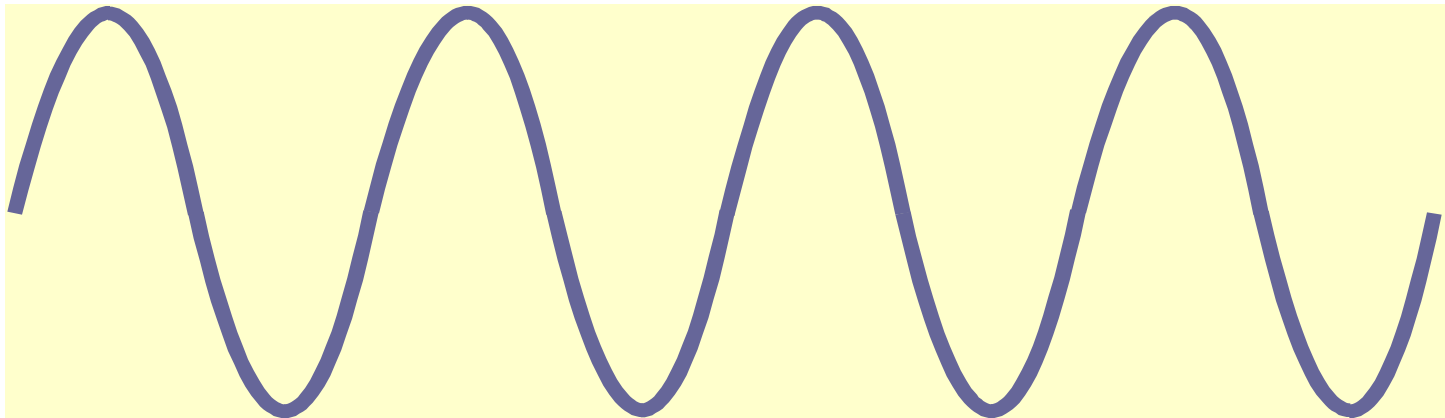
# Frequency of transverse waves

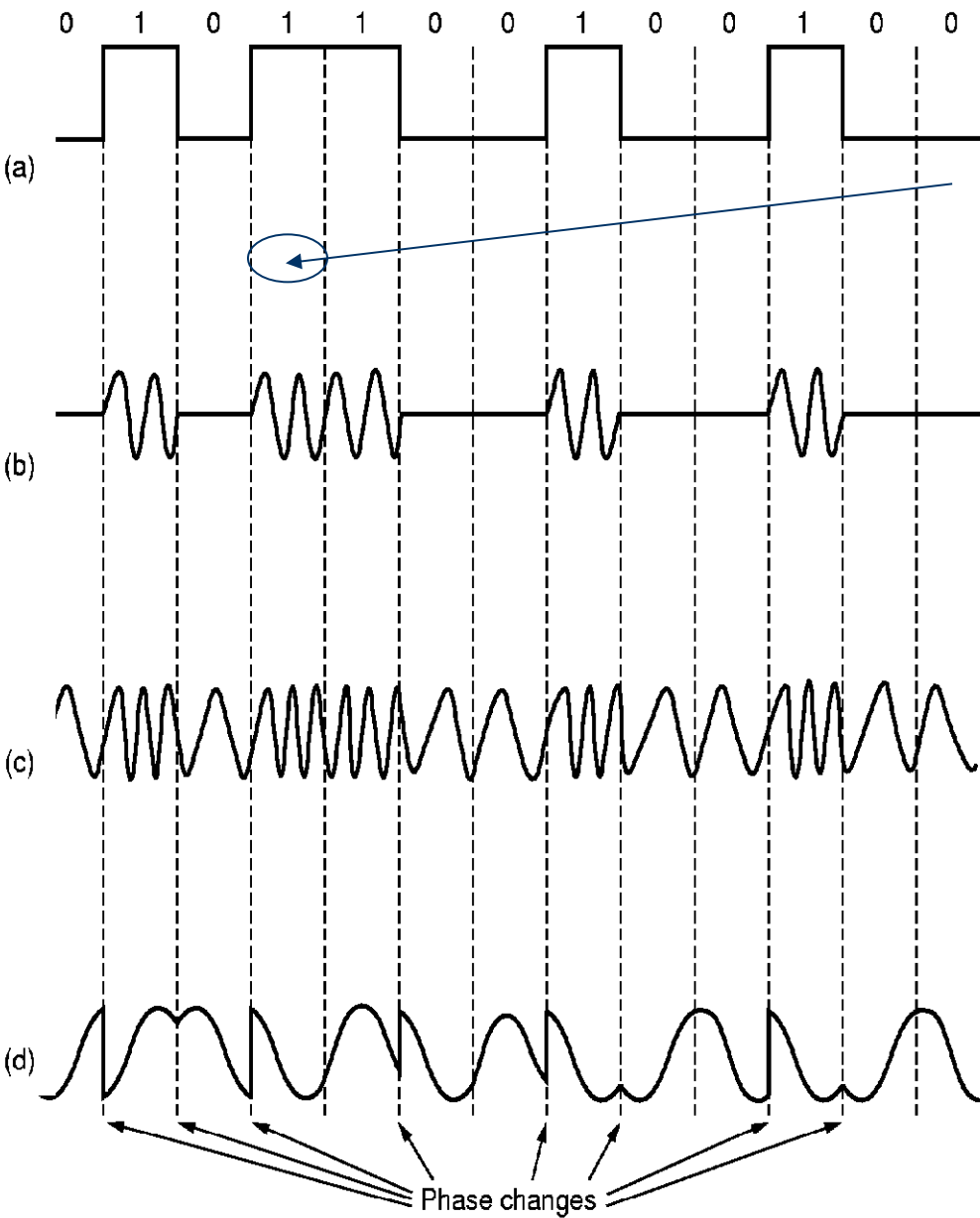
The **frequency** is the number of waves passing any point each second.

- frequency = number of waves past a point / time
- frequency is measured in hertz (Hz)
- 1 wave per second = 1 Hz

If this set of transverse waves pass a point in one second, what is the frequency?

**4 Hz**





Sample  
 Sample Rate=Samples/sec (Baud Rate)  
 During one Sample one **“symbol”** is sent  
 Symbol=piece of information=level of voltage

Στην απλούστερη περίπτωση:  
 1 symbol = 1 bit (0/1) = voltage/no voltage

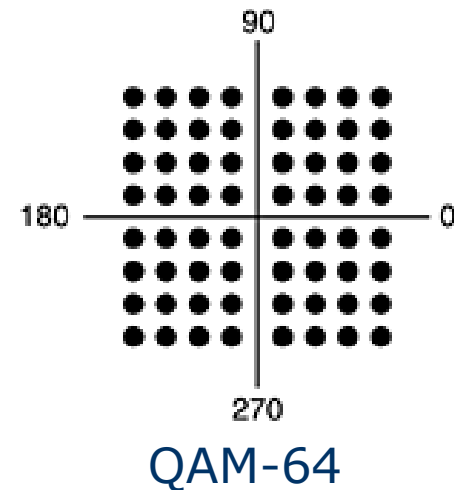
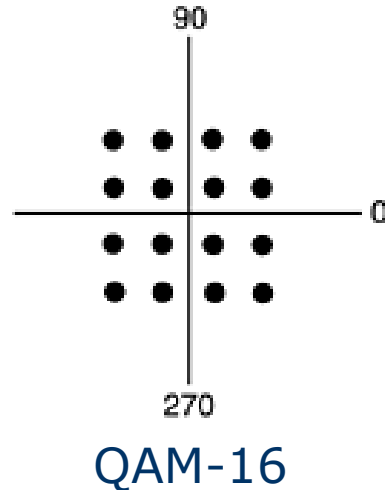
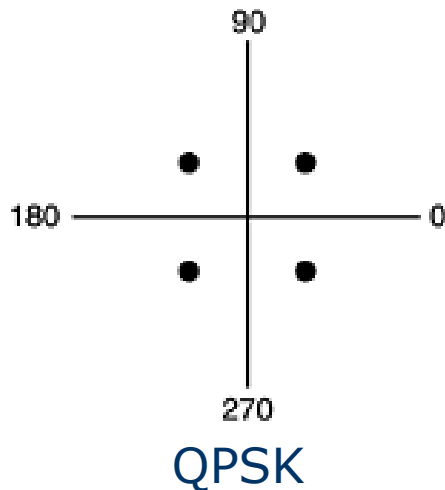
Για να αυξήσουμε την ταχύτητα μετάδοσης δε μπορούμε να μειώνουμε το sample επ' άπειρον.

Μπορούμε όμως να αυξάνουμε τον αριθμό των πιθανών symbols (επιπέδων έντασης μετάδοσης, δηλαδή εύρους σήματος)

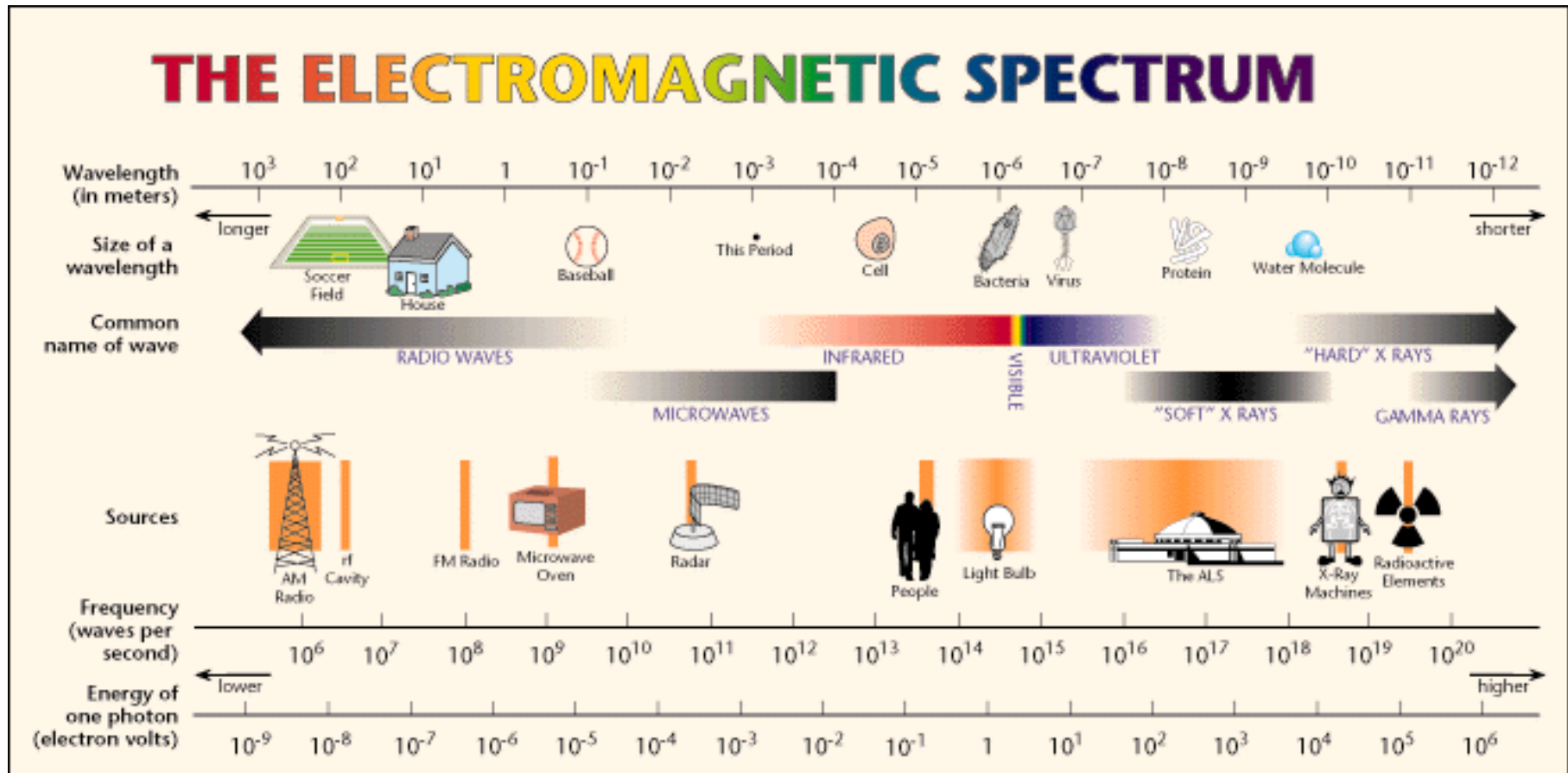
Συνηθέστερος συνδυασμός της τεχνικής αυτής με PSK.

# Multiple modulations

- QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) = 4 phase shifts, 1 amplitude level, 2 bits/symbol
- QAM-16 = 4 phase shifts, 4 amplitude levels, 4 bits/symbol
- QAM-64 = 4 phase shifts, 16 amplitude levels, 6 bits/symbol

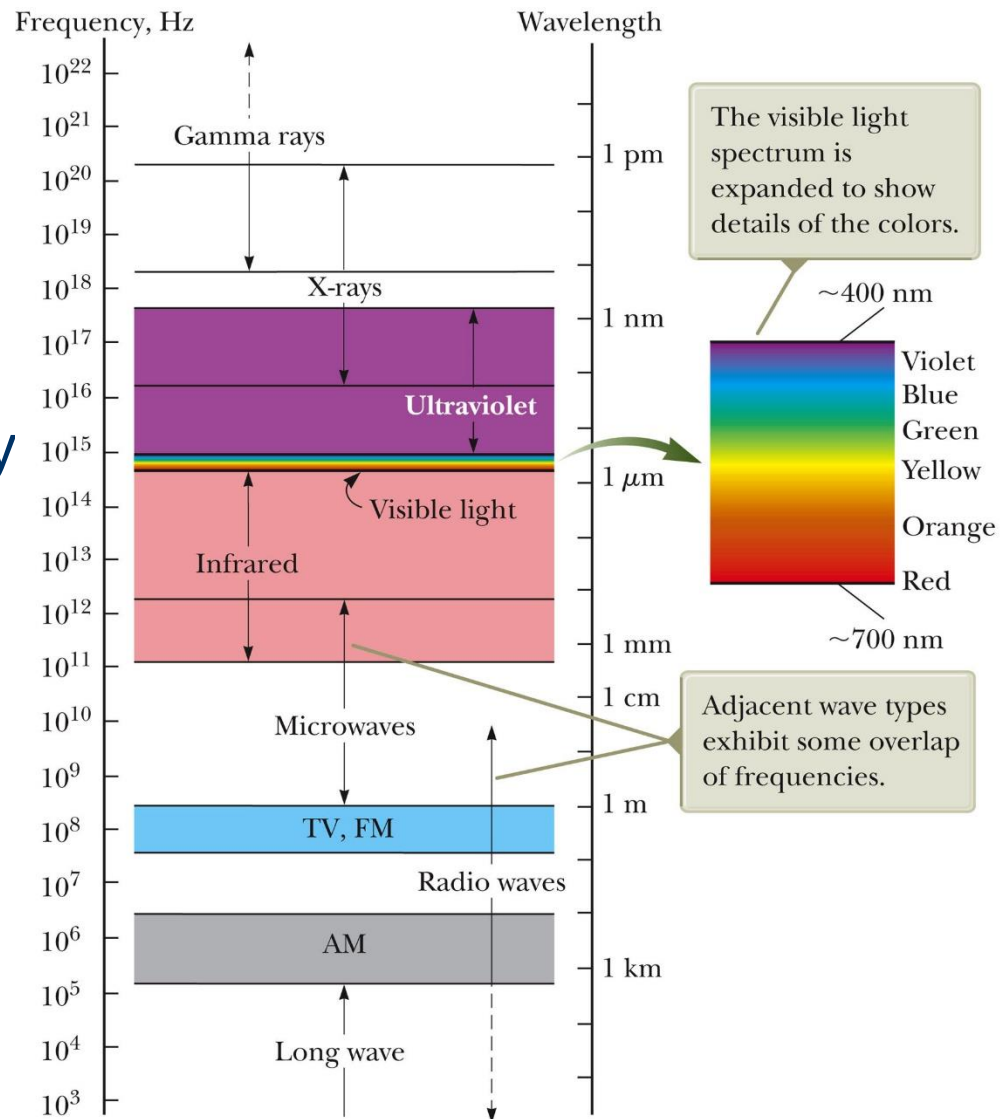


# Electromagnetic spectrum



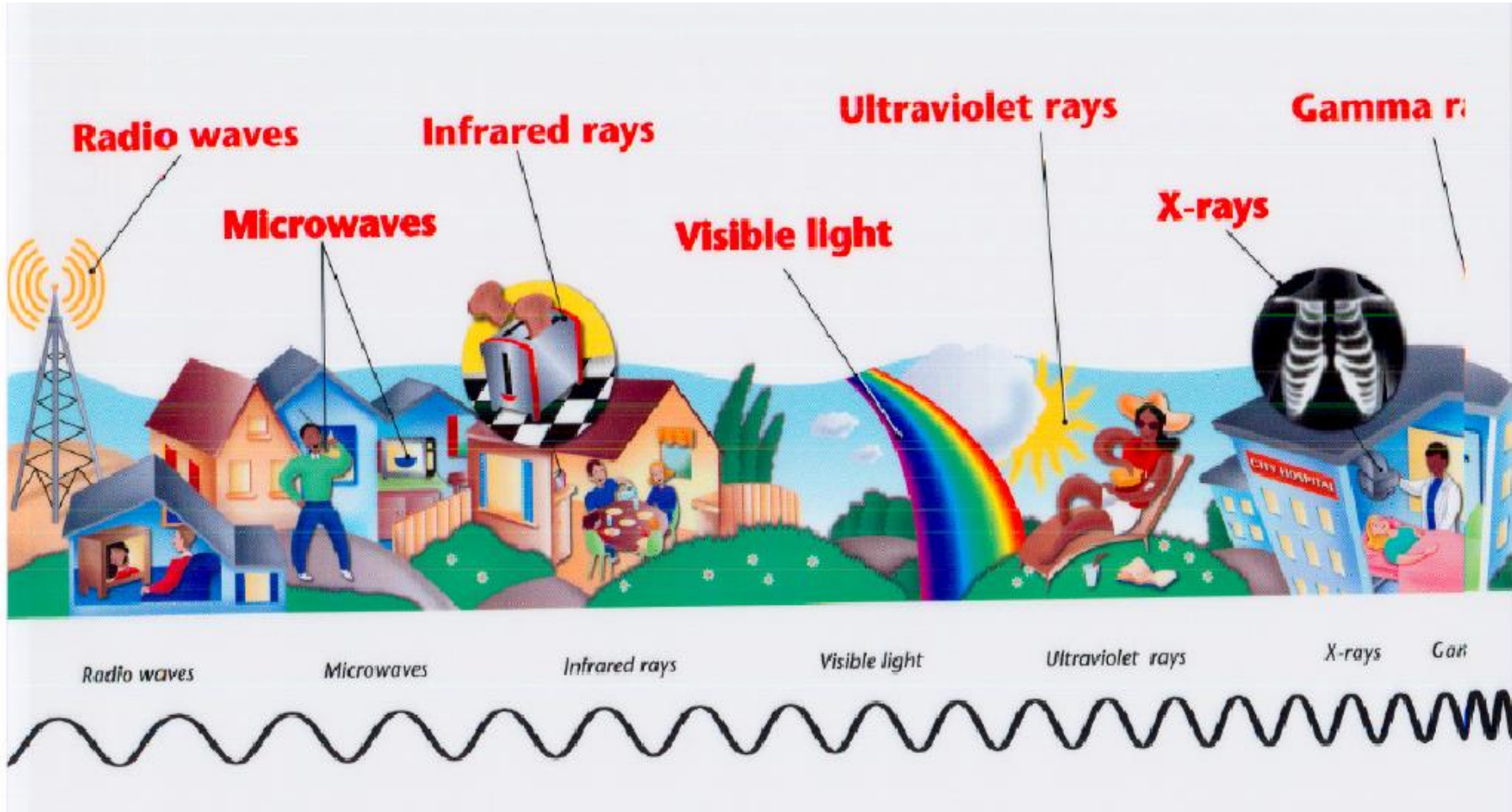
# The EM Spectrum

- Note the overlap between types of waves
- Visible light is a small portion of the spectrum.
- Types are distinguished by frequency or wavelength
- Signal behavior based on the frequency

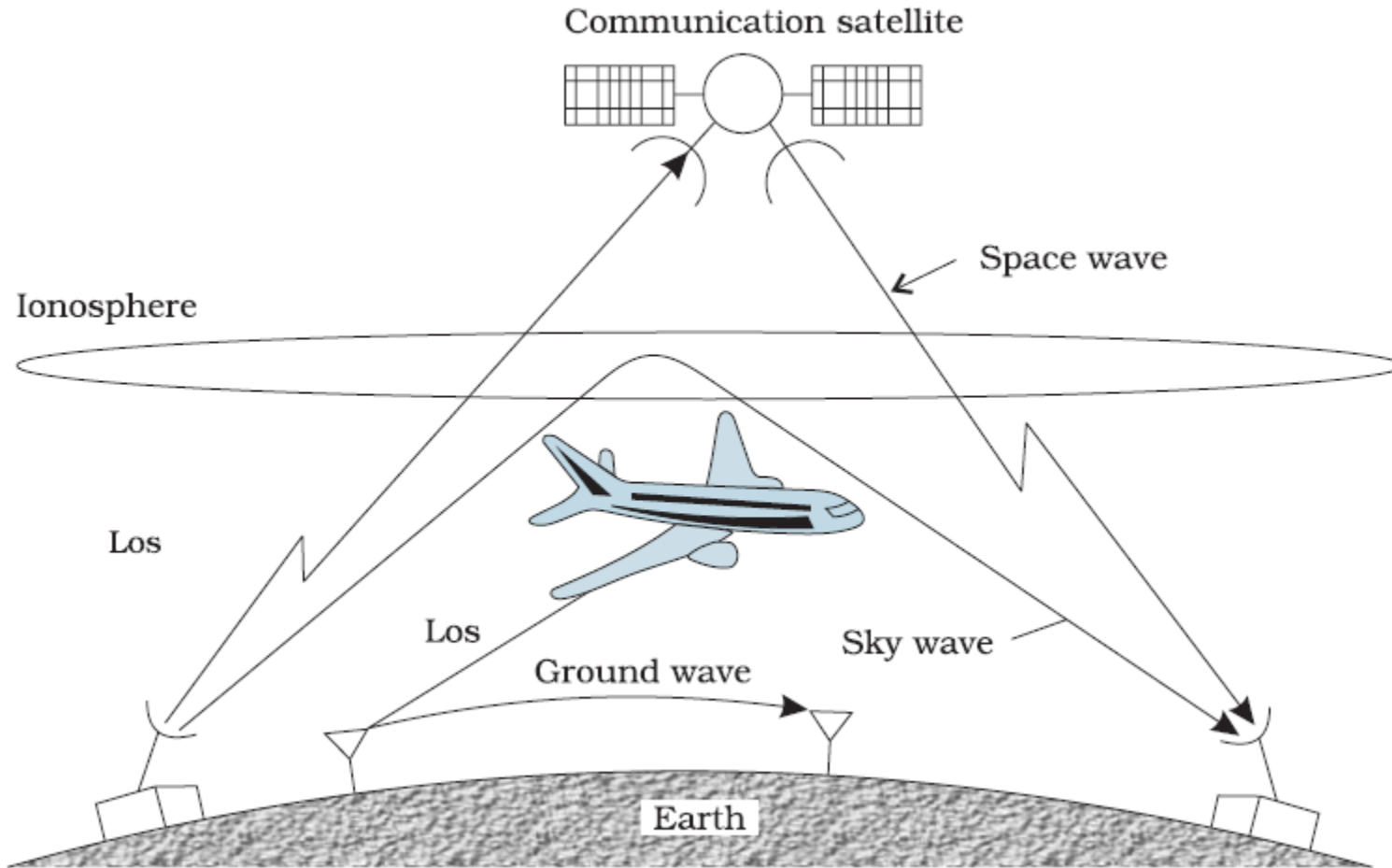




# Electromagnetic spectrum



# Signal propagation

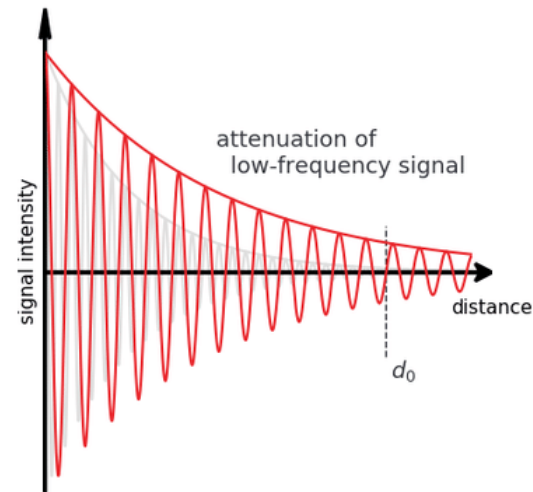
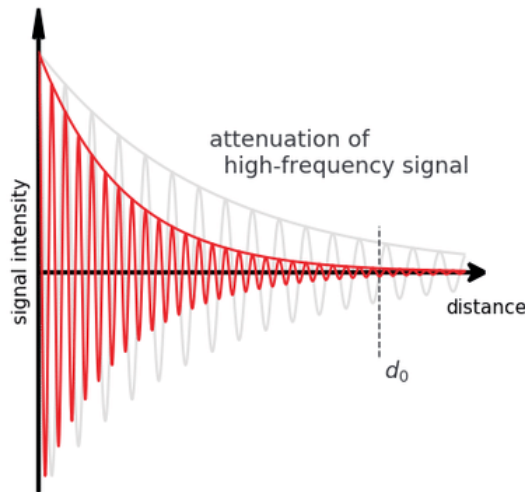
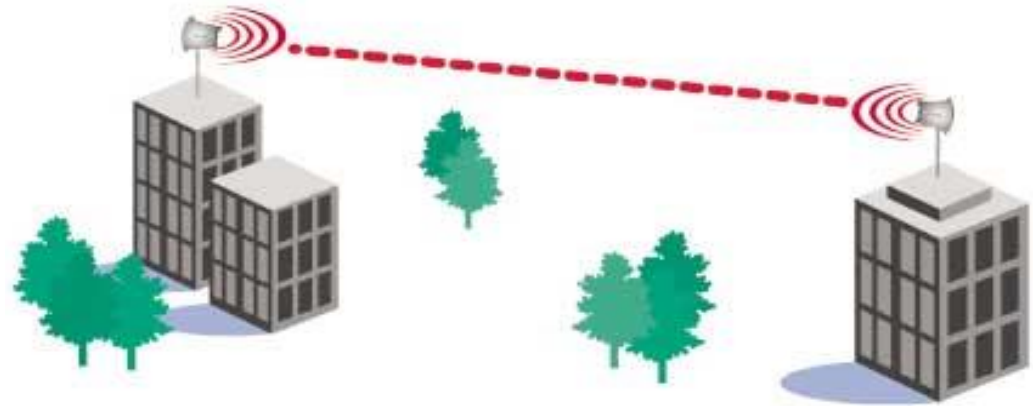


# Signal propagation

Classification Band	Initials	Frequency Range	Characteristics
Extremely low	ELF	< 300 Hz	Ground wave
Infra low	ILF	300 Hz - 3 kHz	
Very low	VLF	3 kHz - 30 kHz	
Low	LF	30 kHz - 300 kHz	
Medium	MF	300 kHz - 3 MHz	
High	HF	3 MHz - 30 MHz	Sky wave
Very high	VHF	30 MHz - 300 MHz	Space wave
Ultra high	UHF	300 MHz - 3 GHz	
Super high	SHF	3 GHz - 30 GHz	
Extremely high	EHF	30 GHz - 300 GHz	
Tremendously high	THF	300 GHz - 3000 GHz	

# Signal propagation

- Signal attenuation due to
  - Distance
  - Obstacles



# Signal propagation

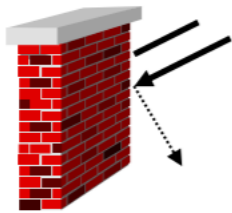
Propagation in free space always like light (straight line)

Receiving power proportional to  $1/d^2$

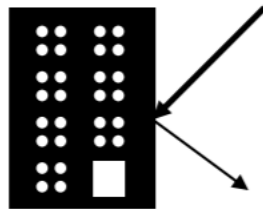
( $d$  = distance between sender and receiver)

Receiving power additionally influenced by

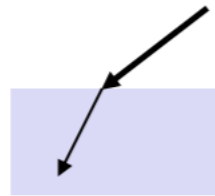
- ❑ fading (frequency dependent)
- ❑ shadowing
- ❑ reflection at large obstacles
- ❑ refraction depending on the density of a medium
- ❑ scattering at small obstacles
- ❑ diffraction at edges



shadowing



reflection



refraction

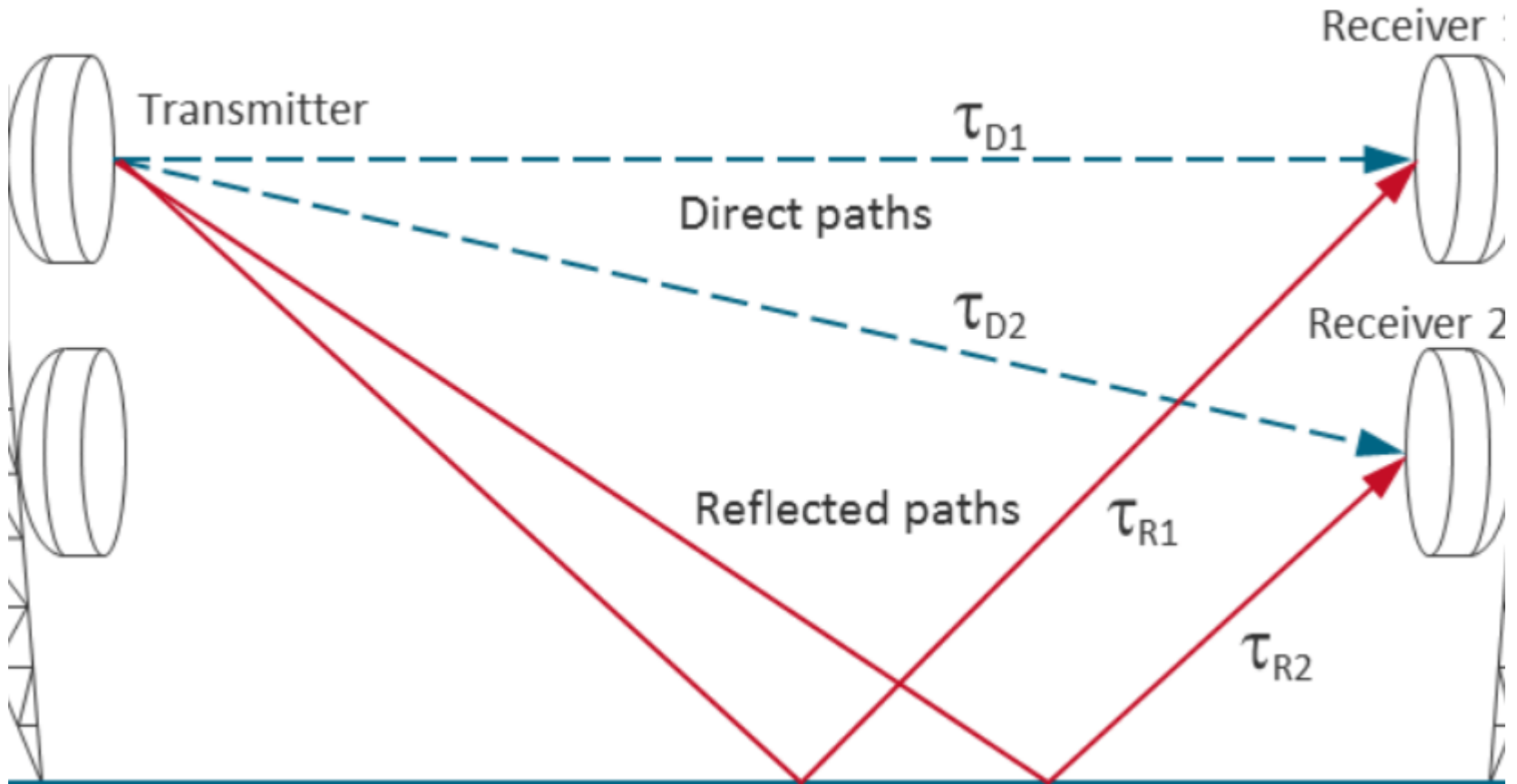


scattering



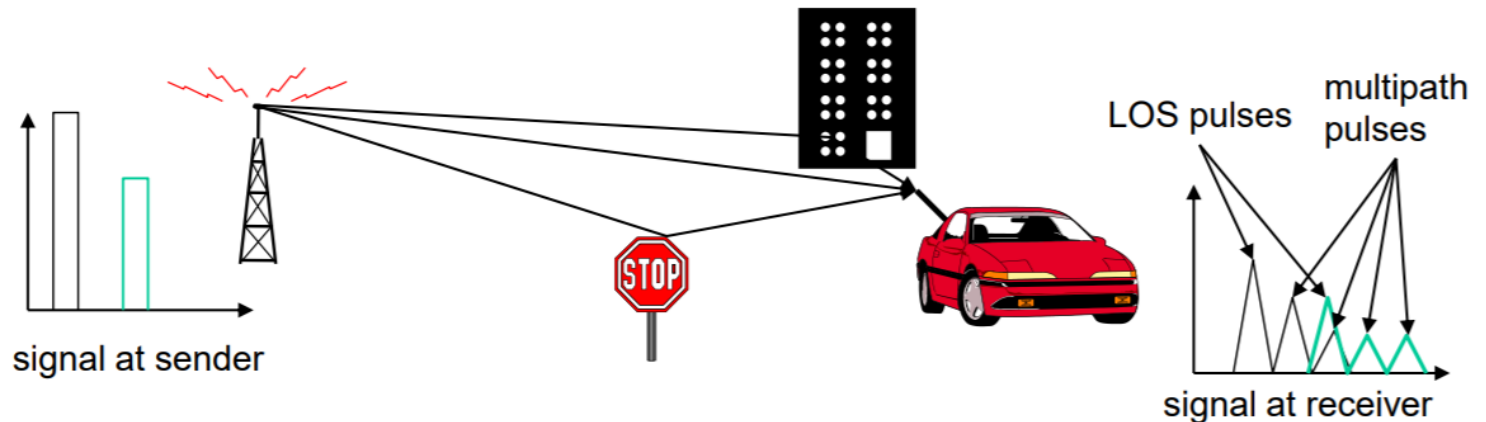
diffraction

# Multipath propagation



# Multipath propagation

Signal can take many different paths between sender and receiver due to reflection, scattering, diffraction



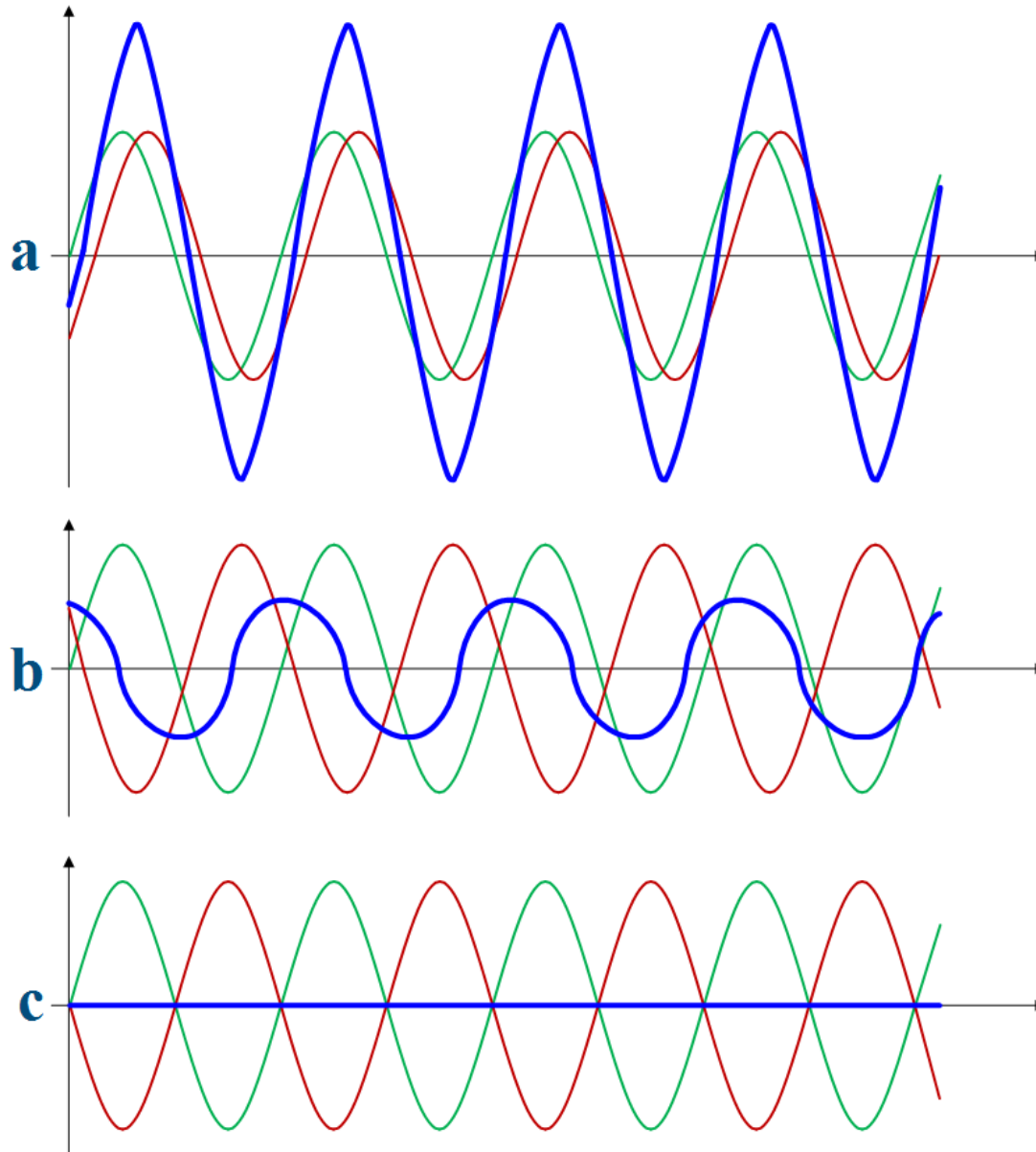
Time dispersion: signal is dispersed over time

→ interference with “neighbor” symbols, Inter Symbol Interference (ISI)

The signal reaches a receiver directly and phase shifted

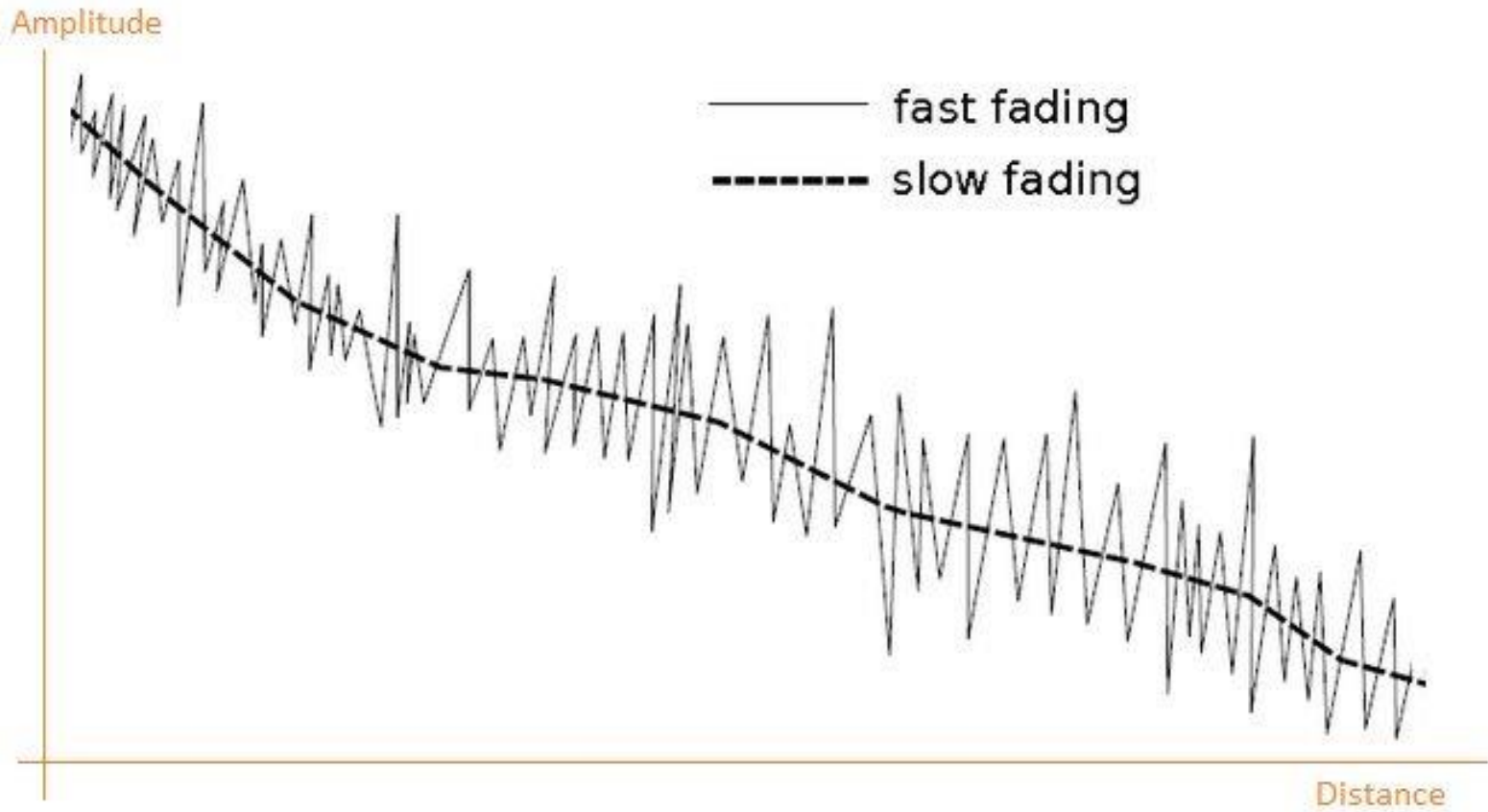
→ distorted signal depending on the phases of the different parts

# Multipath propagation





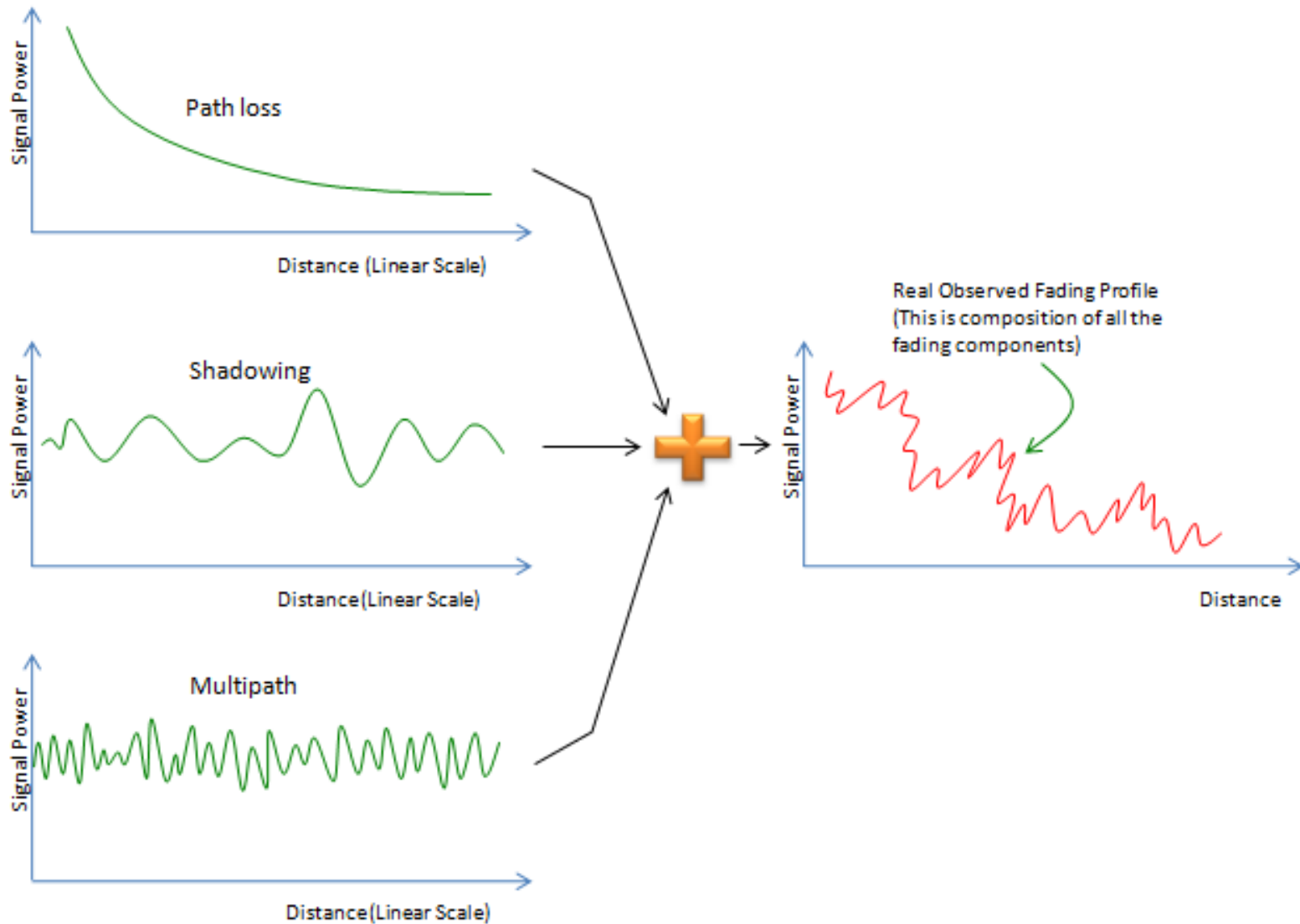
# Fading



# Fading

- **Large-scale fading (slow - shadowing)**
  - Long term variation in the mean signal level caused by the mobile unit moving into the shadow of surrounding objects
- **Small-scale fading (fast - multipath)**
  - Short term fluctuation in the signal amplitude caused by the local multipath

# Fading



# Noise and interference

- Transmissions from other sources
  - Many devices transmitting in the same frequency
  - E.g., 2.4 GHz wireless telephone, Bluetooth and Wi-Fi use the same frequency band
  - Electromagnetic noise (e.g., microwave oven)



# Effects of mobility

Channel characteristics change over time and location

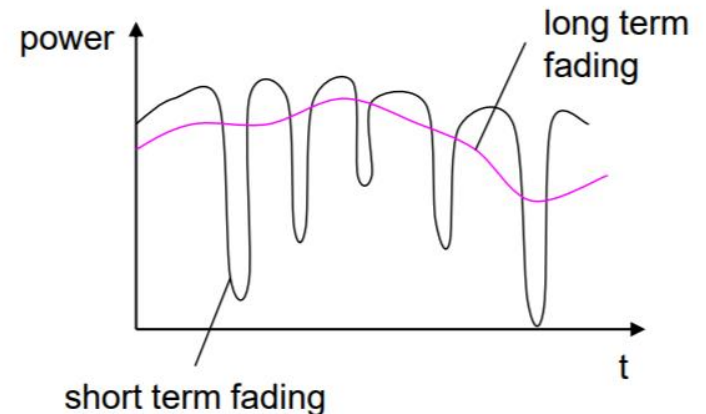
- ❑ signal paths change
- ❑ different delay variations of different signal parts
- ❑ different phases of signal parts

→ quick changes in the power received (short term fading)

Additional changes in

- ❑ distance to sender
- ❑ obstacles further away

→ slow changes in the average power received (long term fading)



# How we handle errors

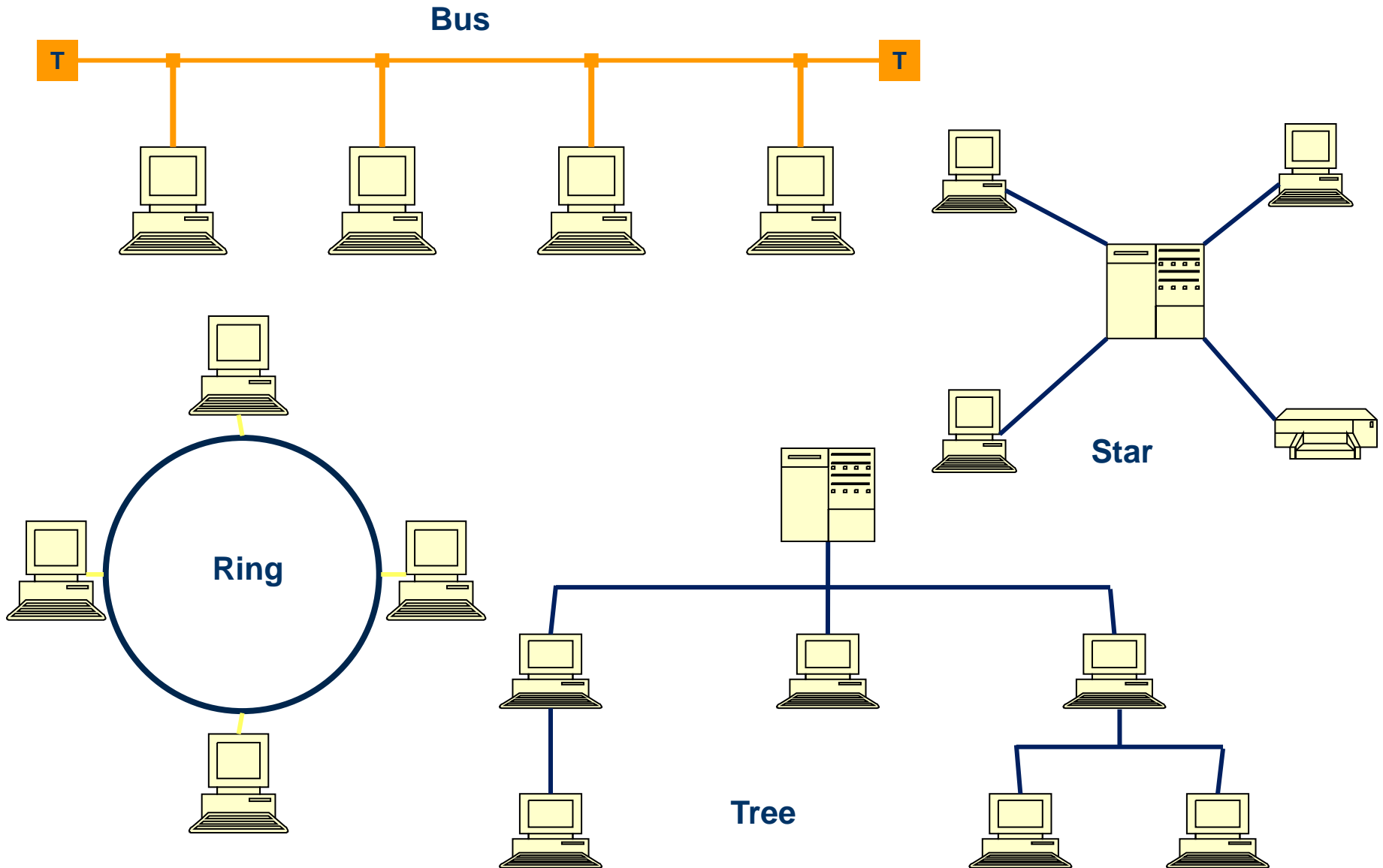
## ➤ Fixed vs. Wireless

- Fixed: Errors due to congestion
- Wireless: many different reasons

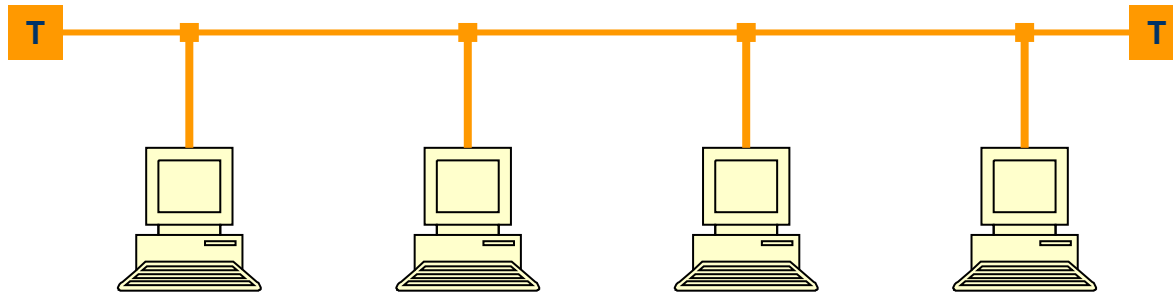
## ➤ What to do

- Increase of transmitting power
  - Increased power consumption (bad for the battery)
  - Increased interference to other receivers
- Error detection and correction
  - More powerful codes (processing, channel overhead)
  - retransmissions (power consumption, channel overhead)

# Network Topologies



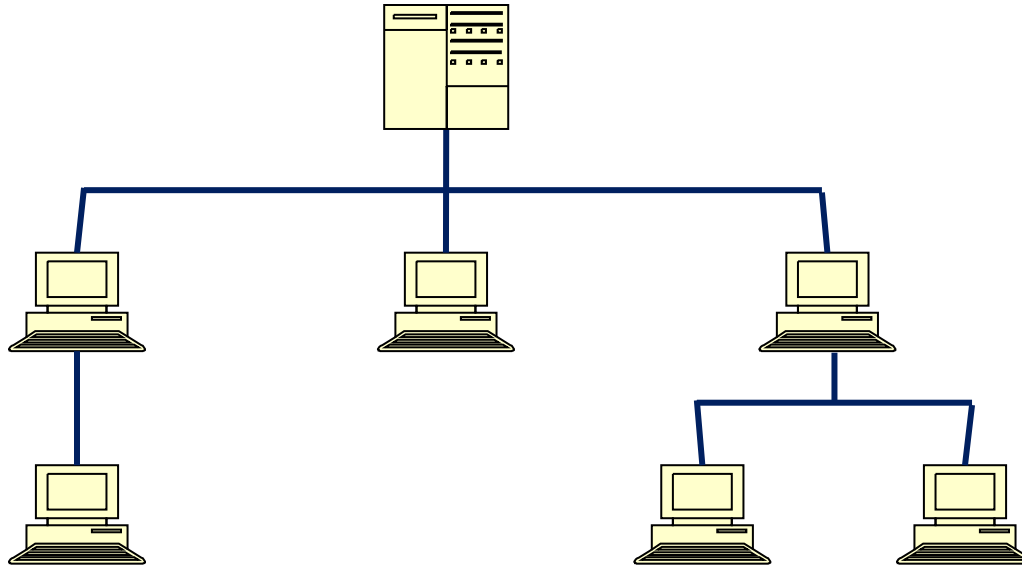
# Bus



- All terminals on the bus
- Terminals can be connected/disconnected seamlessly
  - End points
- Only one message at a time
  - Low cable cost

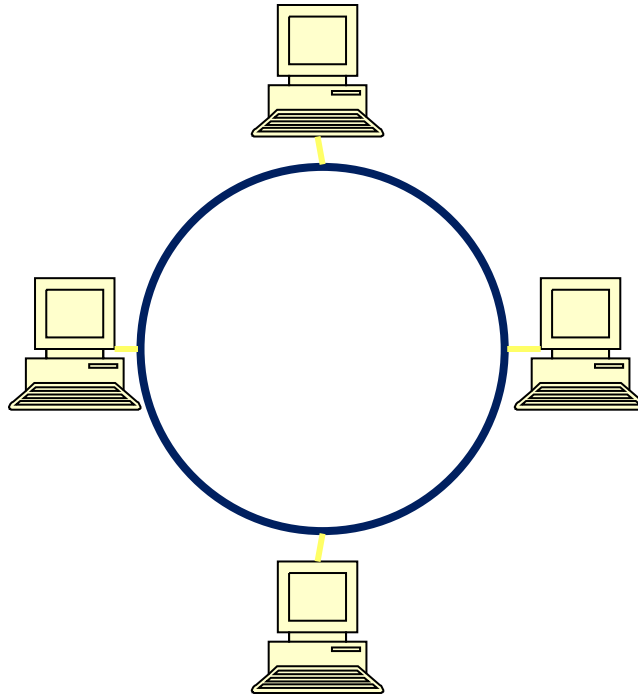


# Tree



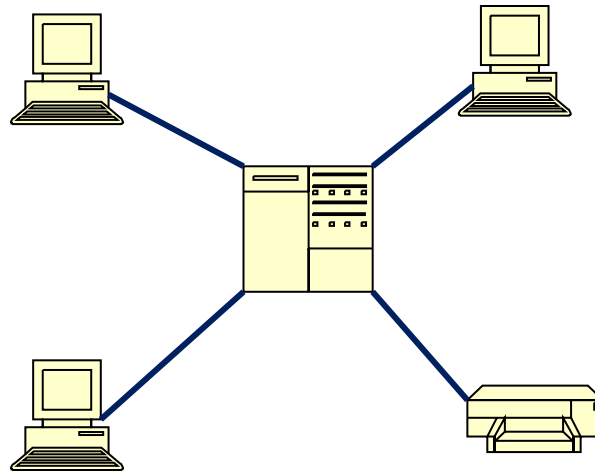
- Parent node can be a bottleneck
- Parent node out of order -> all tree out of order
- Add nodes at the lowest level

# Ring



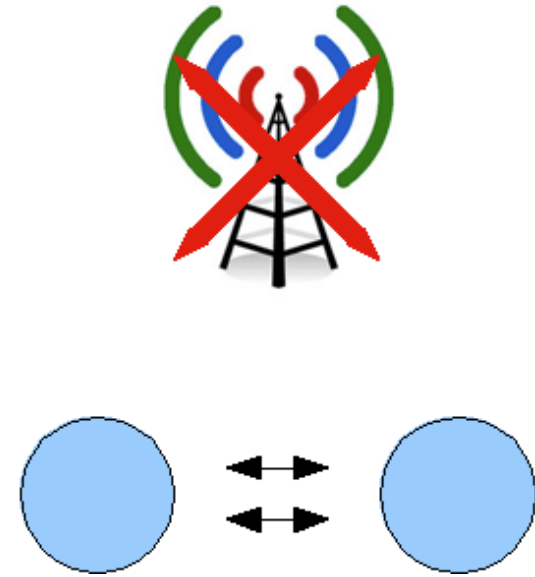
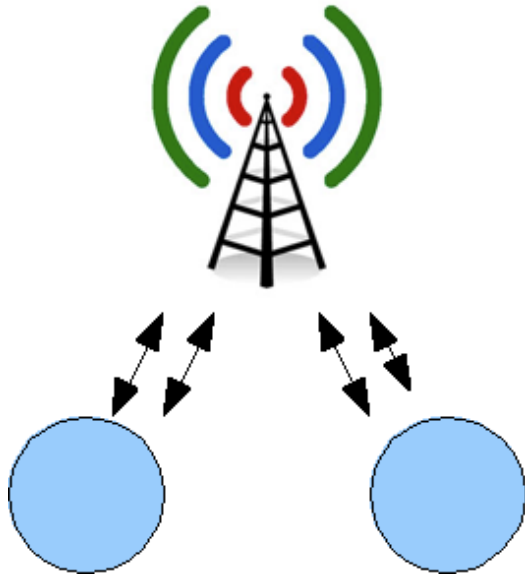
- Hop by hop transmissions
- Transmit/receive/check/forward
- Networks keep working on node errors

# Star



- All nodes connected in a central node
- Single point of failure

# Mobile network topologies



- Cellular or Ad-hoc
- Common medium (bus)
- All traffic through a node (star)
- Hop-by-hop transmissions (ring)
- Multiple access control
- Error control
- Mobility