



ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Από τις φρυκτωρίες στο Internet of Things

Δρ. Αλέξανδρος Απόστολος Α. Μπουλογεώργος

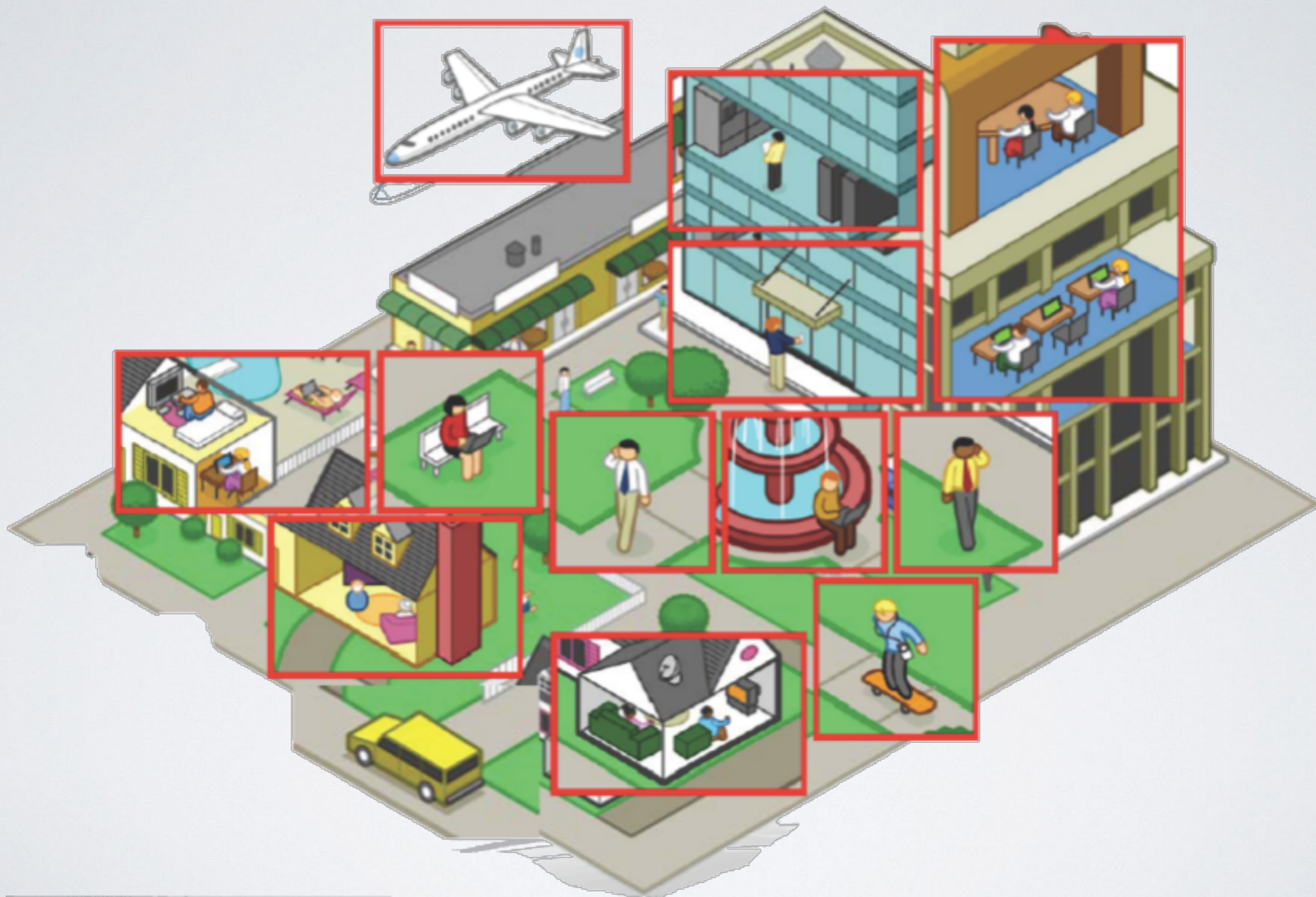
e-mail: ampoulog@uth.gr

URL: <https://ampoulog.wordpress.com/>

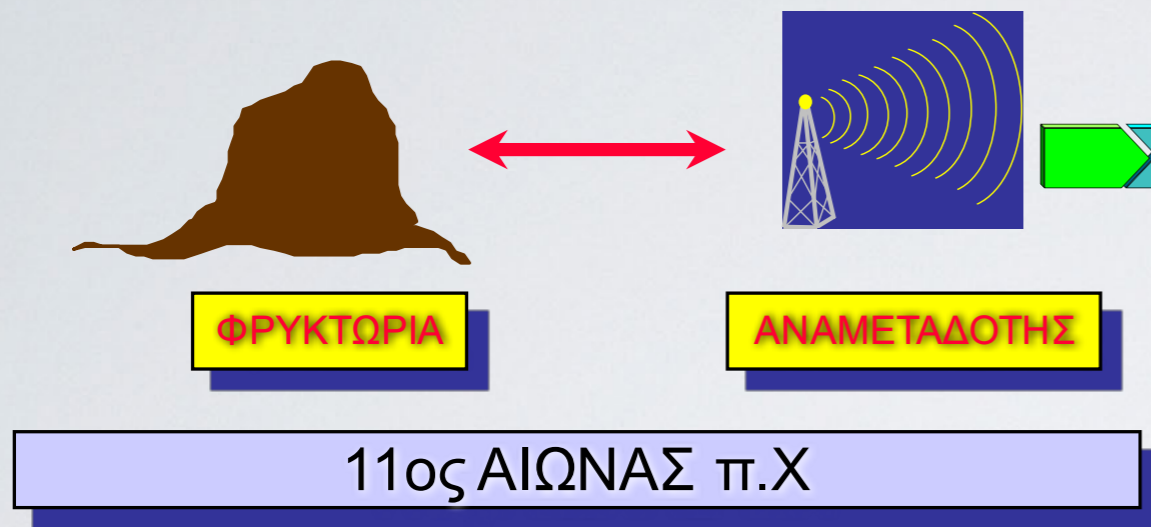
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Ιστορική Εξέλιξη
- Το Internet των πραγμάτων
- Low Power Wide Area Networks (LPWANs)
- Δίκτυα επικοινωνίας 5ης γενιάς (5G)

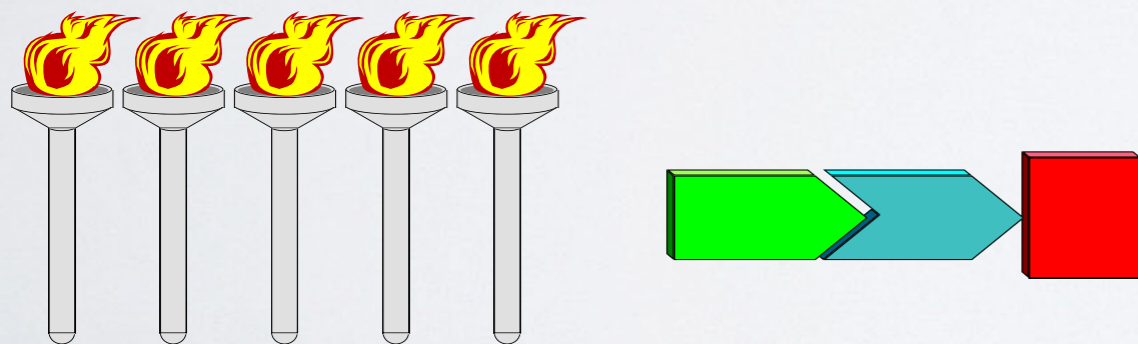
ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ



ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ



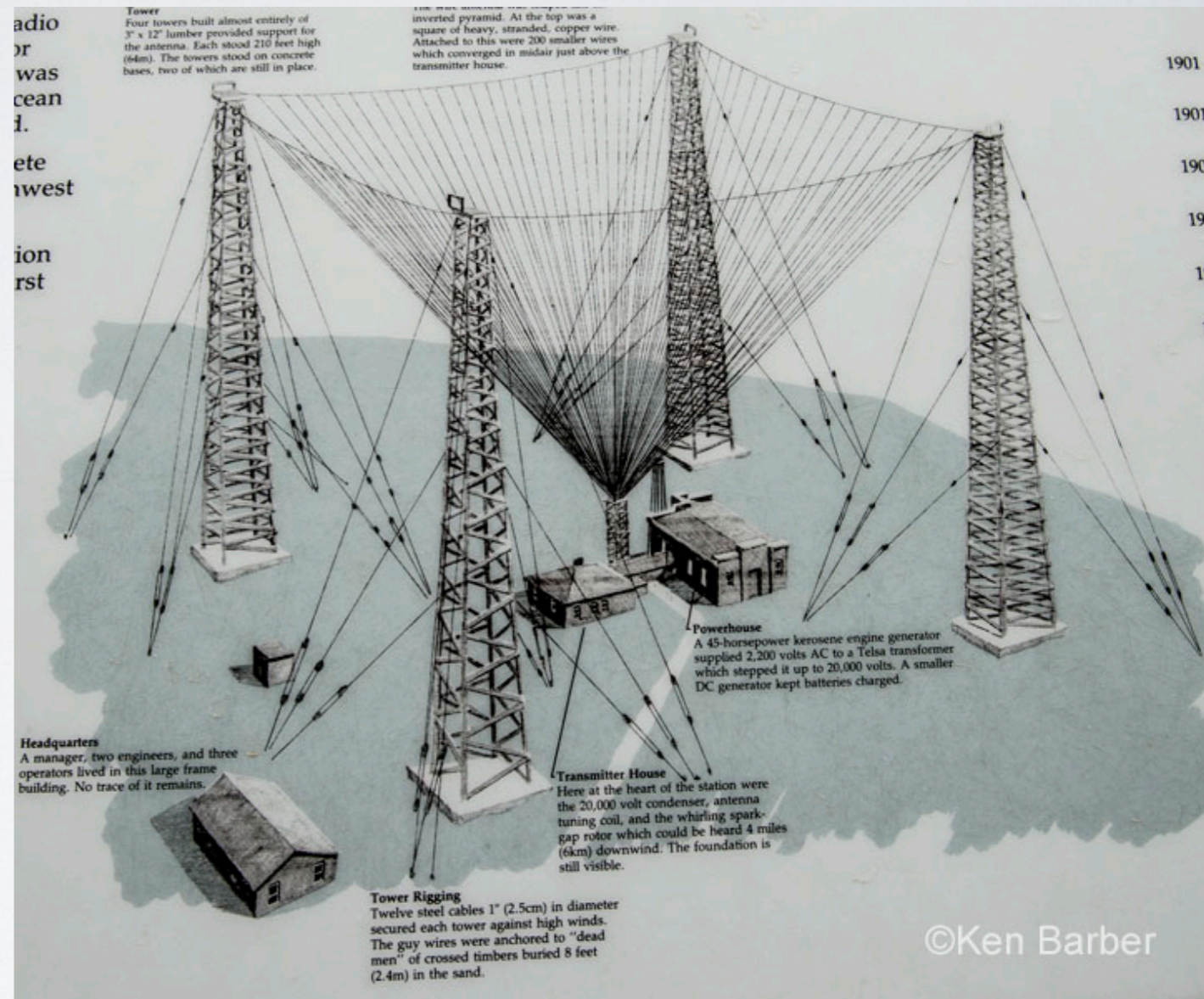
- Ομήρου Ηλιάδα
- Φρύκτος=Δάδα
- Η επιλογή της θέσης των Φρυκτωριών στην Ελλάδα συμπίπτει με τις σημερινές θέσεις των αναμεταδοτών του ΟΤΕ
- 11ος αιώνας π.Χ, ο Βασιλιάς των Μυκηνών Αγαμέμνων αναγγέλει την πτώση της Τρόιας από το Ίλιον, στην γυναίκα του Κλυταιμνήστρα, που βρισκόταν στις Μυκήνες



- Πολύβιου Κείμενα
- 150 π.Χ, Κλεόξενος και Δημόκλειτος εφεύραν την Πυρσεία, δηλαδή την οπτική αναμετάδοση σημάτων με φλόγες.
- Ο αριθμός των αναμμένων πυρσών παρίστανε το αντίστοιχο γράμμα της αλφαβήτου. Το μήνυμα μεταδιδόταν από Φρυκτωρία σε Φρυκτωρία.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

- Marconi
 - 1897
 - πρώτη ζεύξη ξηράς - πλοίου
 - Συχνότητα 2 MHz
 - Σύστημα αναλογικό



ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

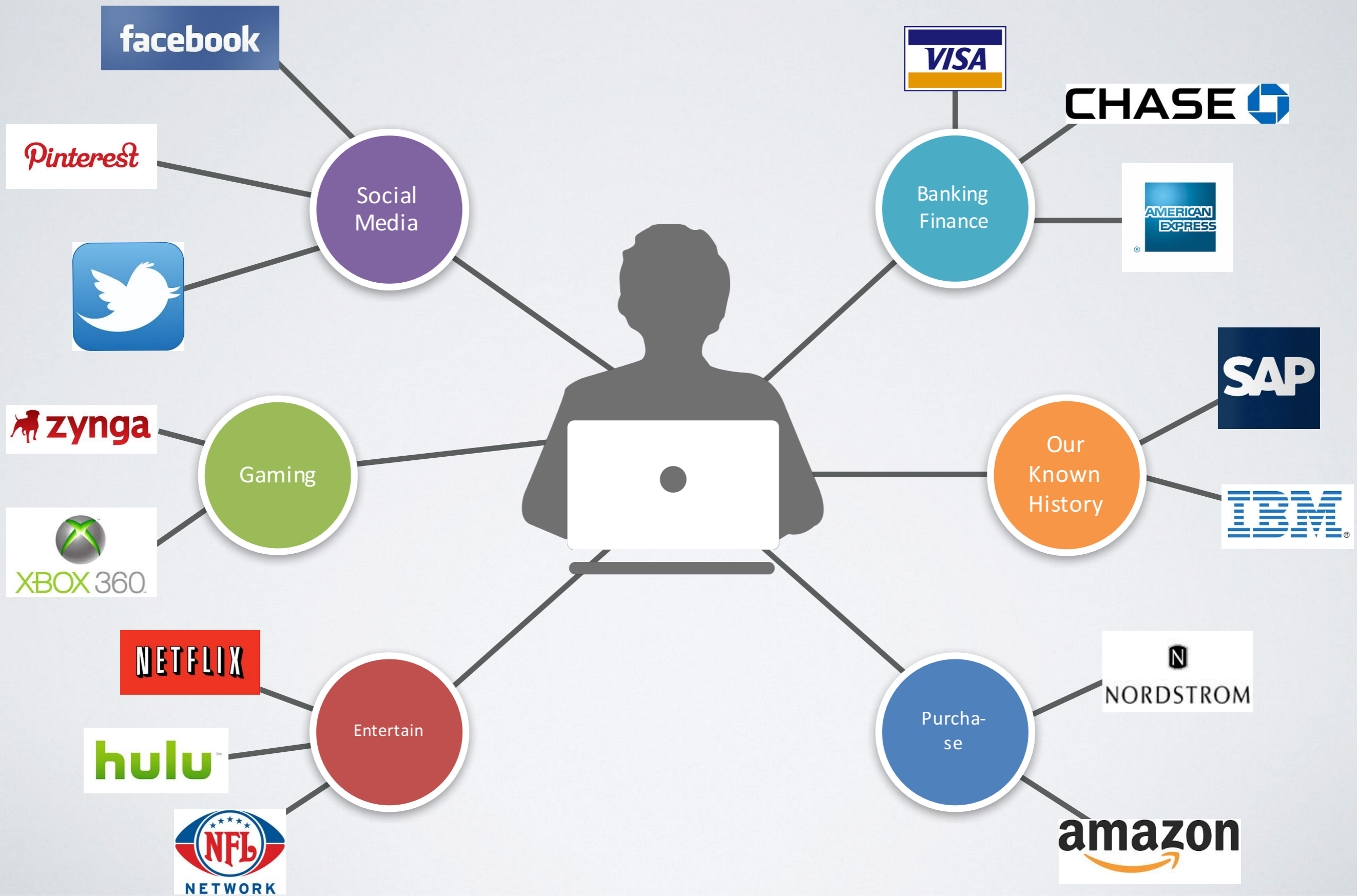


ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ





ΣΗΜΕΡΑ





1 **NEW** DEFINITION IS ADDED ON **URBAN**

1,600+ **READS ON Scribd**

13,000+ HOURS **MUSIC** STREAMING ON **PANDORA**

12,000+ **NEW ADS** POSTED ON **craigslist**

370,000+ MINUTES **VOICE CALLS ON skype**

98,000+ **TWEETS**



20,000+ **NEW** POSTS ON **tumblr.**

THE **LARGEST** SOCIAL READING PUBLISHING COMPANY

320+ **NEW** **twitter** ACCOUNTS



13,000+ **iPhone** APPLICATIONS DOWNLOADED

100+ **NEW** **Linked in** ACCOUNTS



QUESTIONS ASKED ON THE INTERNET...

100+ **Answers.com**
40+ **YAHOO! ANSWERS**

1 **NEW** ARTICLE IS PUBLISHED

THE **WORLD'S** LARGEST COMMUNITY CREATED CONTENT!



600+ **NEW** VIDEOS



6,600+ **NEW** PICTURES ARE UPLOADED ON **flickr**



25+ HOURS **TOTAL** DURATION



70+ **DOMAINS** REGISTERED

60+ **NEW** BLOGS

168 MILLION **EMAILS** ARE SENT

694,445 **SEARCH** QUERIES

1,700+ **Firefox** DOWNLOADS

50+ **WORDPRESS** DOWNLOADS

695,000+ **facebook** STATUS UPDATES



125+ **PLUGIN** DOWNLOADS

1,500+ **BLOG** POSTS



Google Search



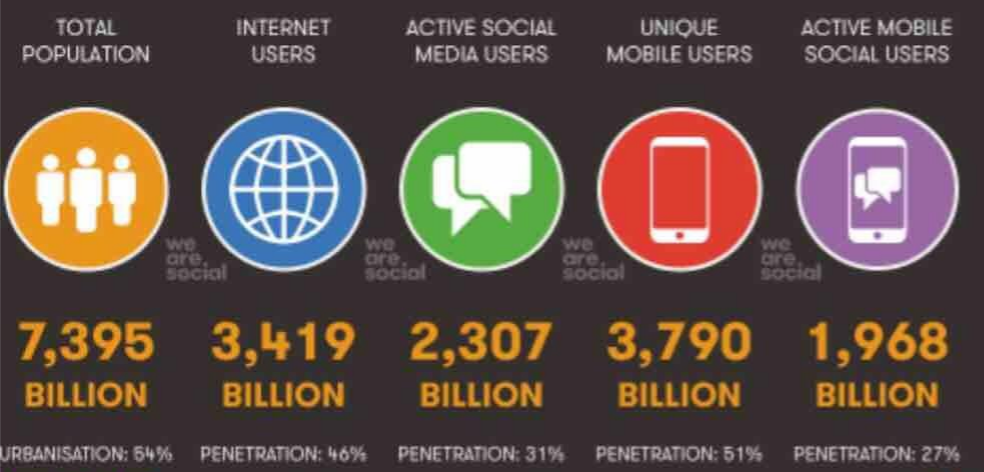
79,364 **WALL** POSTS

510,040 **COMMENTS**



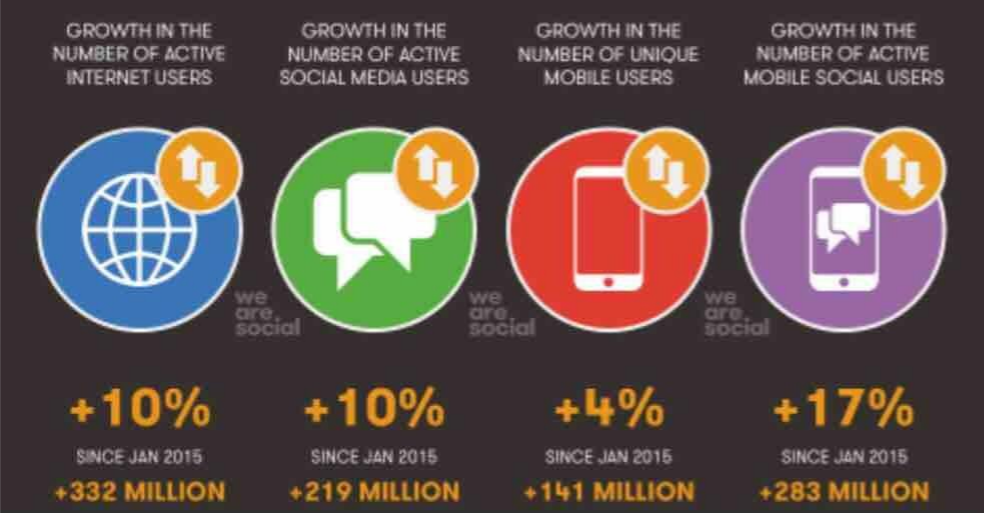
JAN 2016 GLOBAL DIGITAL SNAPSHOT

A SNAPSHOT OF THE WORLD'S KEY DIGITAL STATISTICAL INDICATORS



JAN 2016 ANNUAL GROWTH

YEAR-ON-YEAR GROWTH TRENDS FOR KEY DIGITAL STATISTICAL INDICATORS



JAN 2016 GLOBAL DIGITAL SNAPSHOT

A SNAPSHOT OF THE WORLD'S KEY DIGITAL STATISTICAL INDICATORS



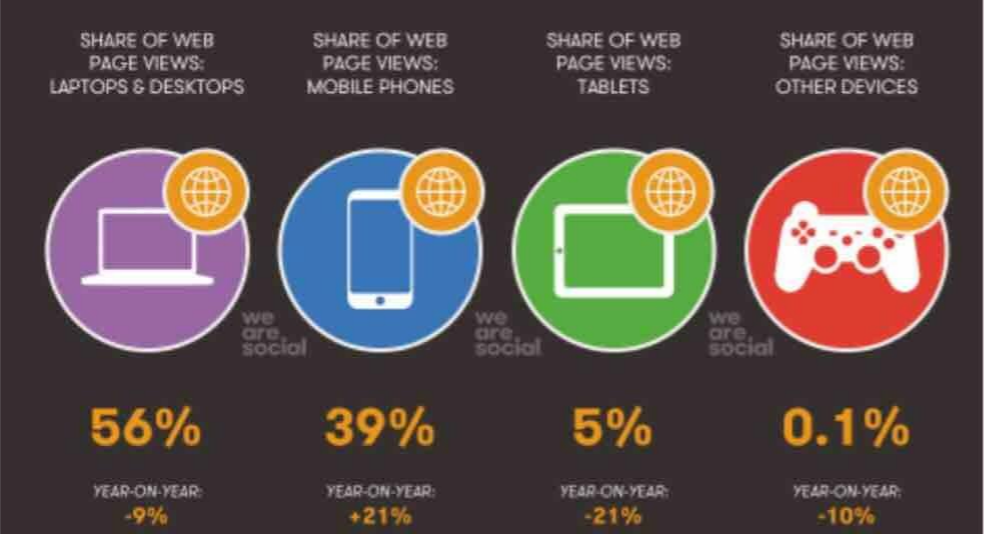
JAN 2016 INTERNET USE

REGIONAL INTERNET PENETRATION FIGURES



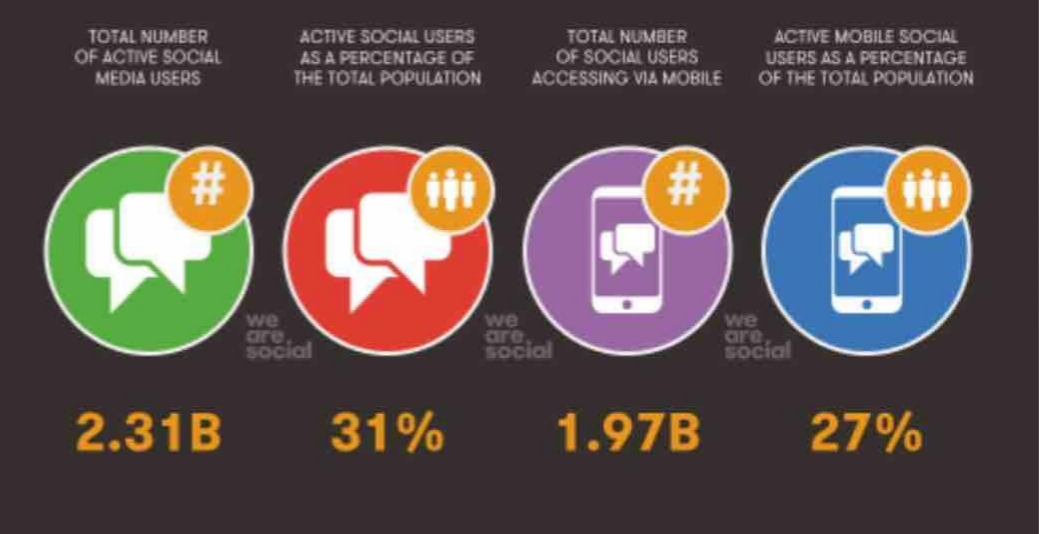
JAN 2016 SHARE OF WEB TRAFFIC BY DEVICE

BASED ON EACH DEVICE'S SHARE OF TOTAL WEB PAGES SERVED

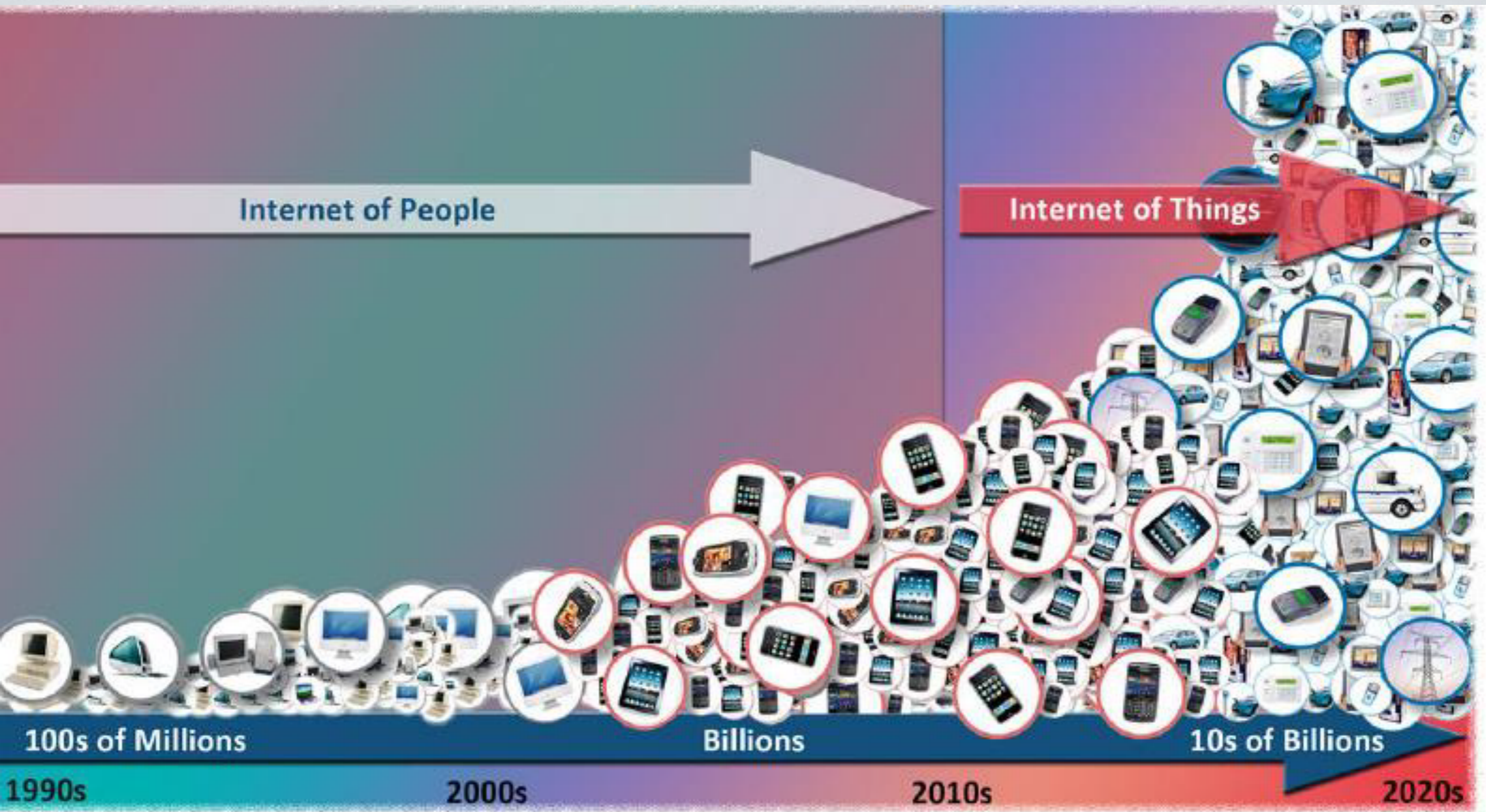


JAN 2016 SOCIAL MEDIA USE

BASED ON THE MONTHLY ACTIVE USER NUMBERS REPORTED BY EACH COUNTRY'S MOST ACTIVE PLATFORM



ΑΠΟ ΤΟ ΙΟΡ ΣΤΟ ΙΟΤ



ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΙΟΤ

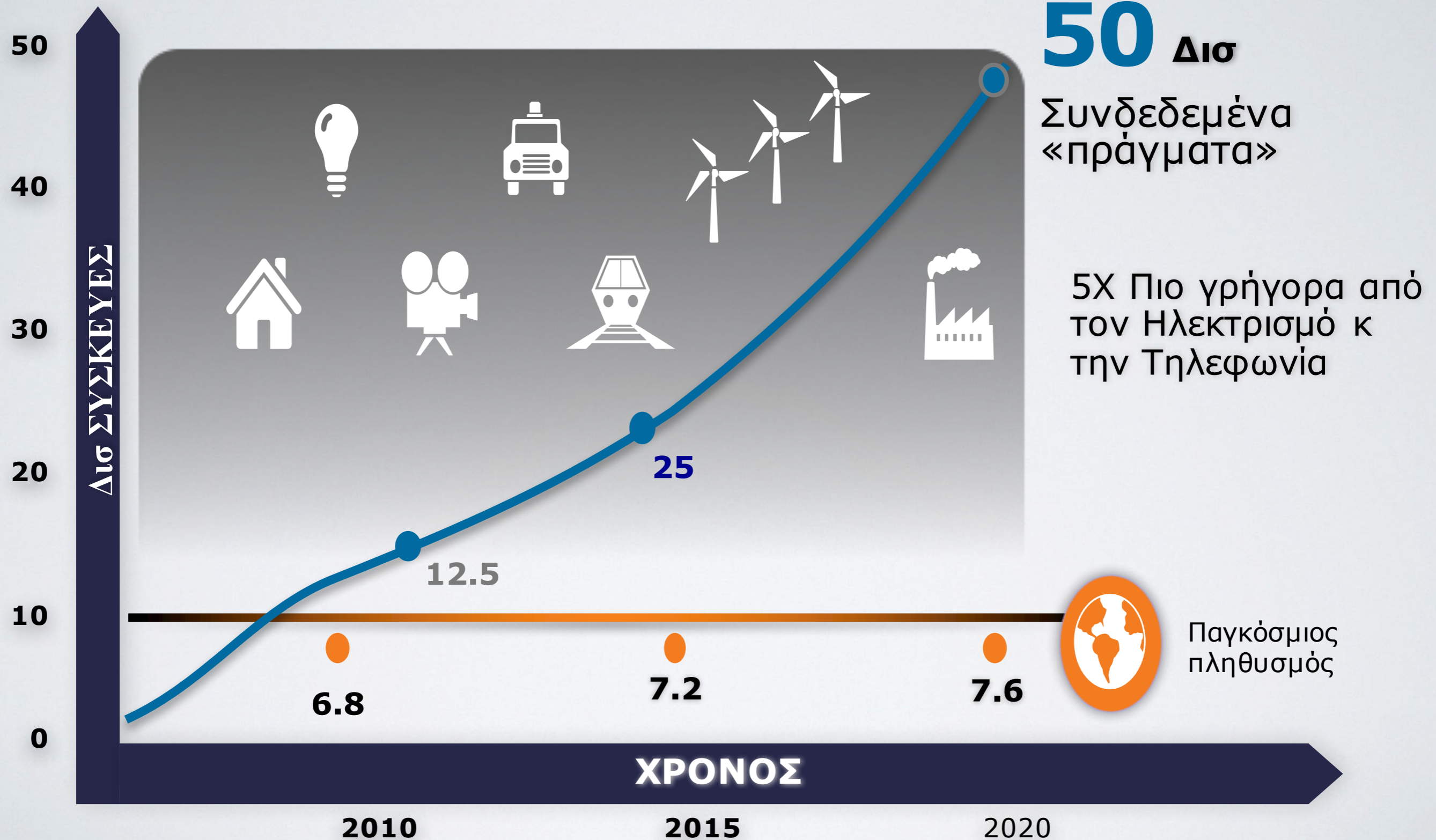
Είναι ένα δίκτυο “αντικειμένων”, έξυπνων ή όχι, (π.χ. αισθητήρες, μετρητές, έξυπνες συσκευές, κ.α.) που συλλέγουν δεδομένα και επικοινωνούν απευθείας ή μέσω του Internet μεταξύ τους, με σκοπό την ανταλλαγή δεδομένων και την ανάληψη αποφάσεων.

Κύρια χαρακτηριστικά

- Συνδεσιμότητα
- Υπηρεσίες σχετικές με τα “αντικείμενα”
- Διαφορετικά είδη “αντικειμένων”
- Δυναμική αλλαγή του δικτύου



Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΜΕ ΑΡΙΘΜΟΥΣ ...



ΑΙΤΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΙΟΤ



- Μείωση του κόστους του hardware



- Αύξηση της κάλυψης
- Αύξηση bandwidth με χρήση περιοχών μεγαλύτερων συχνοτήτων



- Δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων στο cloud.

ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΤΟ ΙΟΤ

Ενέργεια

Επικοινωνία
δεδομένων

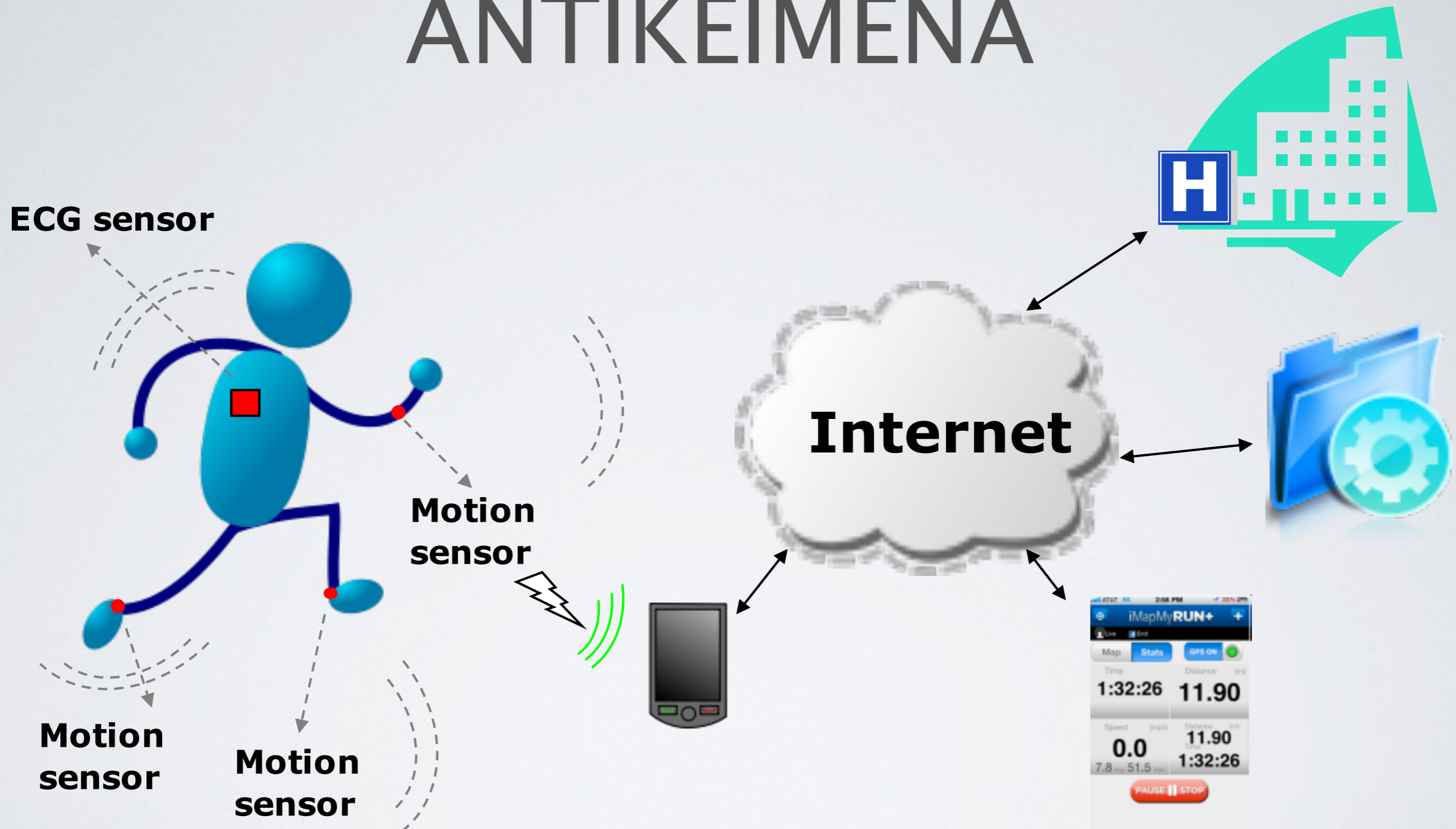
**TAKE
ACTION**

Επεξεργασία
δεδομένων

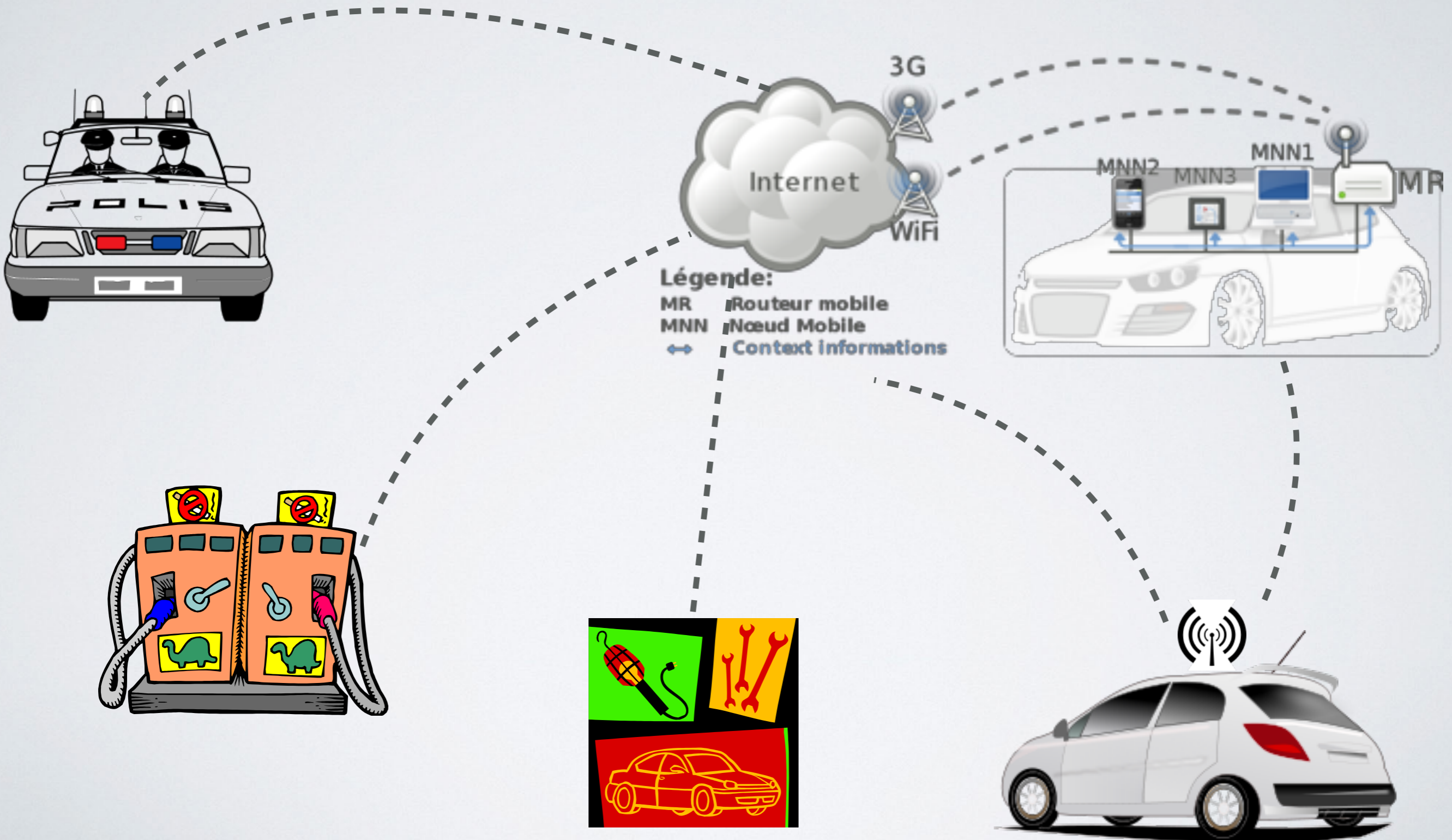
Συλλογή
δεδομένων



ΑΝΘΡΩΠΟΙ ΣΥΝΔΕΟΝΤΑΙ ΜΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ

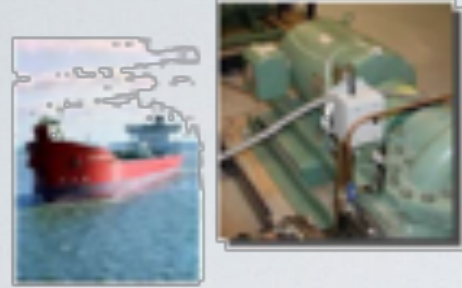


“ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ” ΣΥΝΔΕΟΝΤΑΙ ΜΕ “ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ”

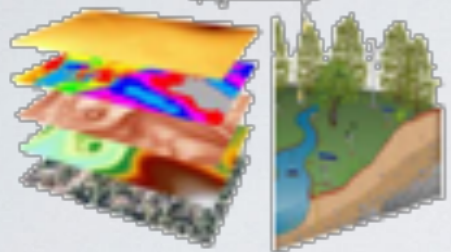


ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΙΟΤ

Energy Saving (I2E)



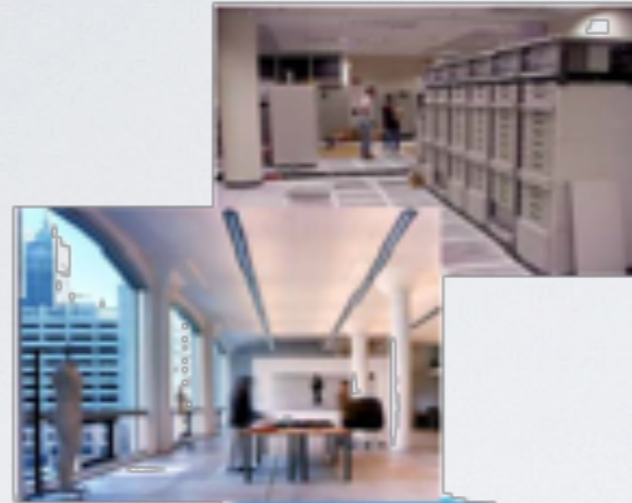
Predictive maintenance



Enable New Knowledge



Agriculture



Intelligent Buildings



Transportation and Connected Vehicles



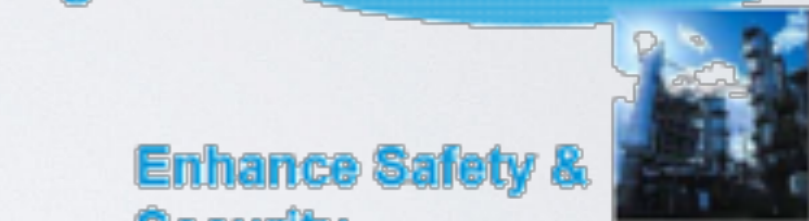
Healthcare



Defense



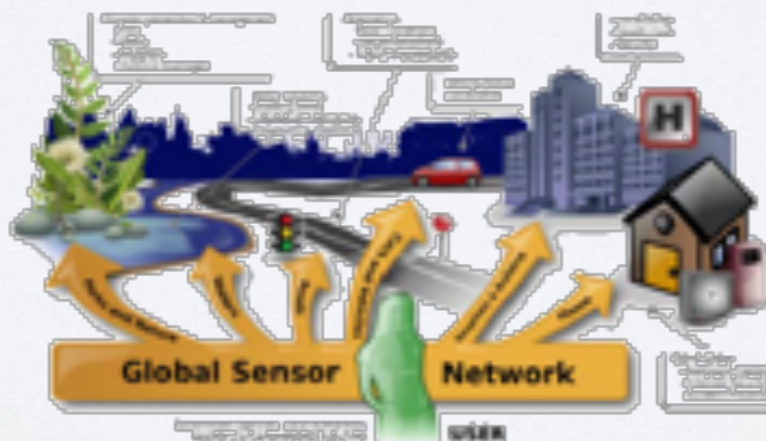
Industrial Automation



Enhance Safety & Security



Smart Home



Smart City



Smart Grid

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

(Precision Farming)



smart sensing
& monitoring



cloud-based event
and data
management



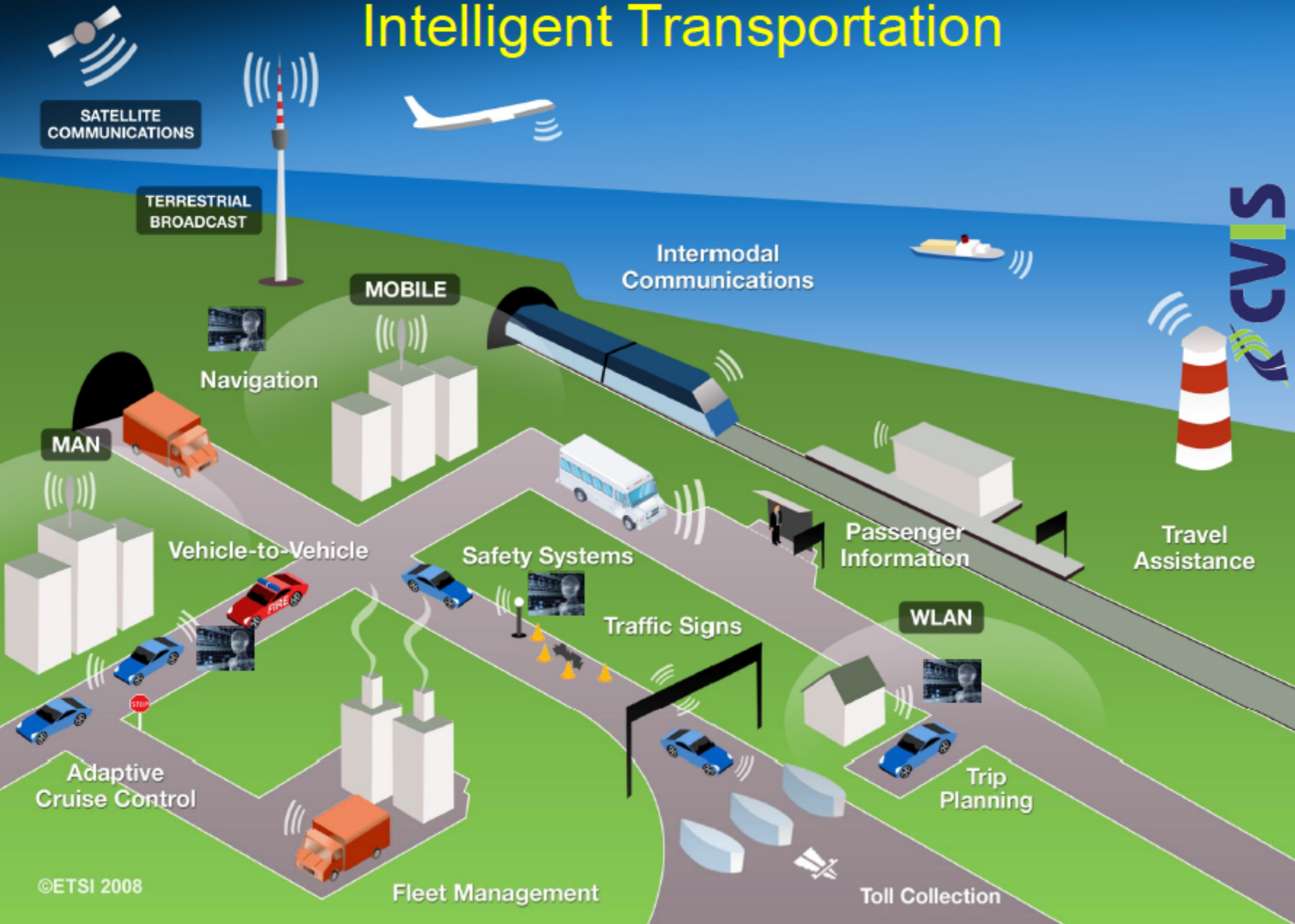
smart control



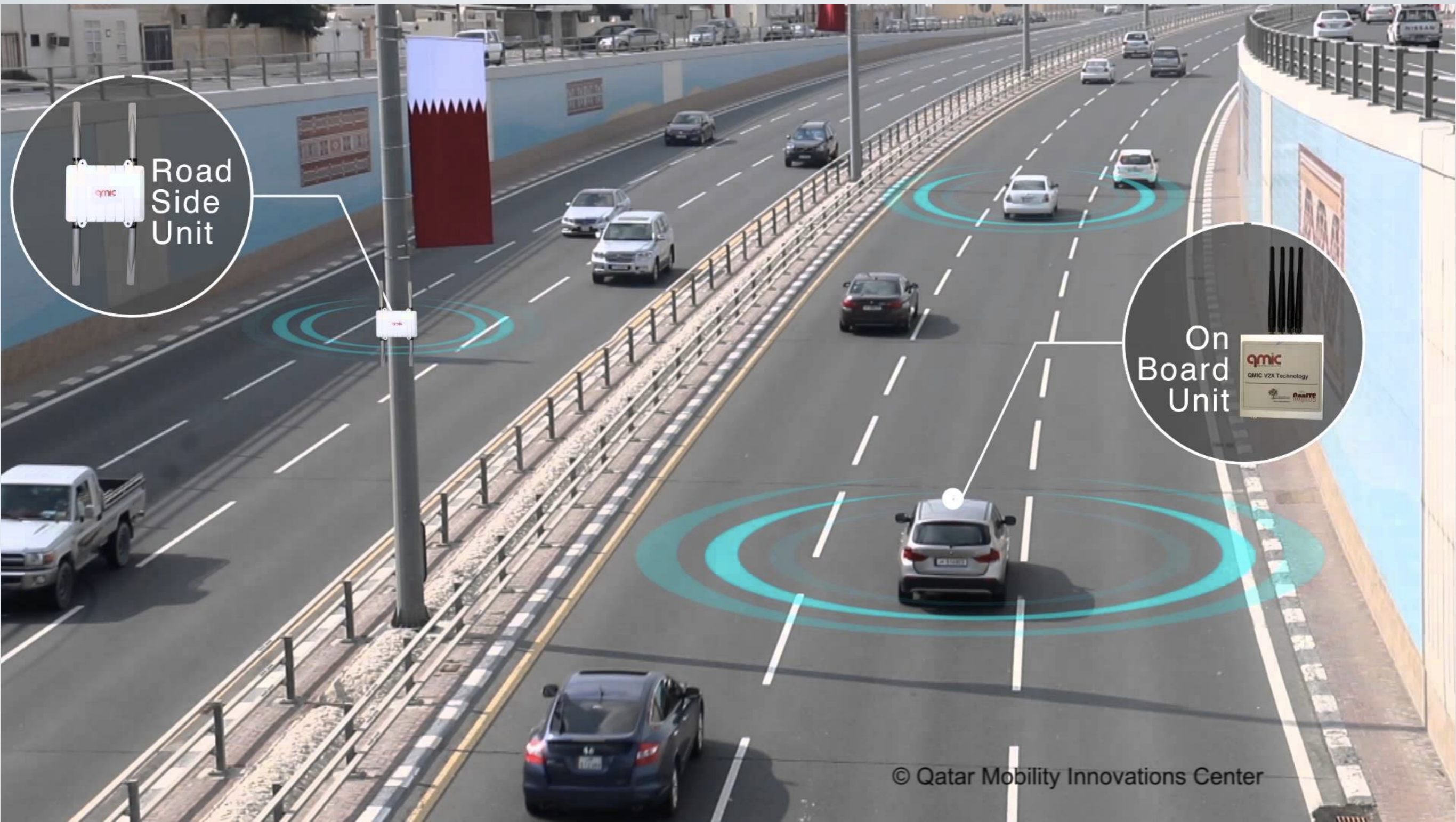
smart analysis
& planning



Intelligent Transportation

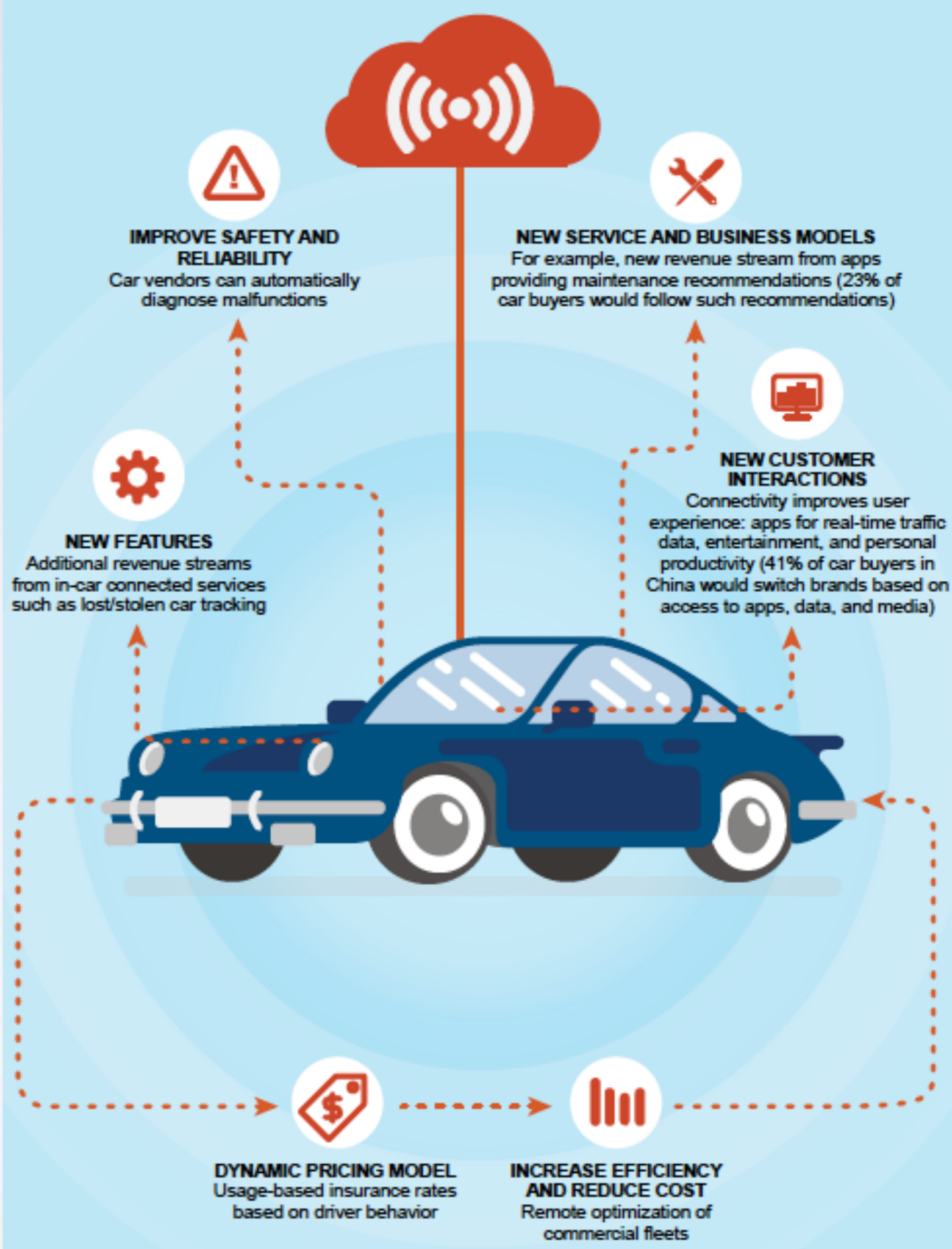


ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ



ΙΟΤ ΣΕ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

- Μείωση ατυχημάτων
- Βελτίωση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας
- Βελτιστοποίηση της συντήρησης
- Δυναμικά μοντέλα κοστολόγησης, ανάλογα με την οδηγική συμπεριφορά
- Προηγμένες υπηρεσίες για τους επιβάτες



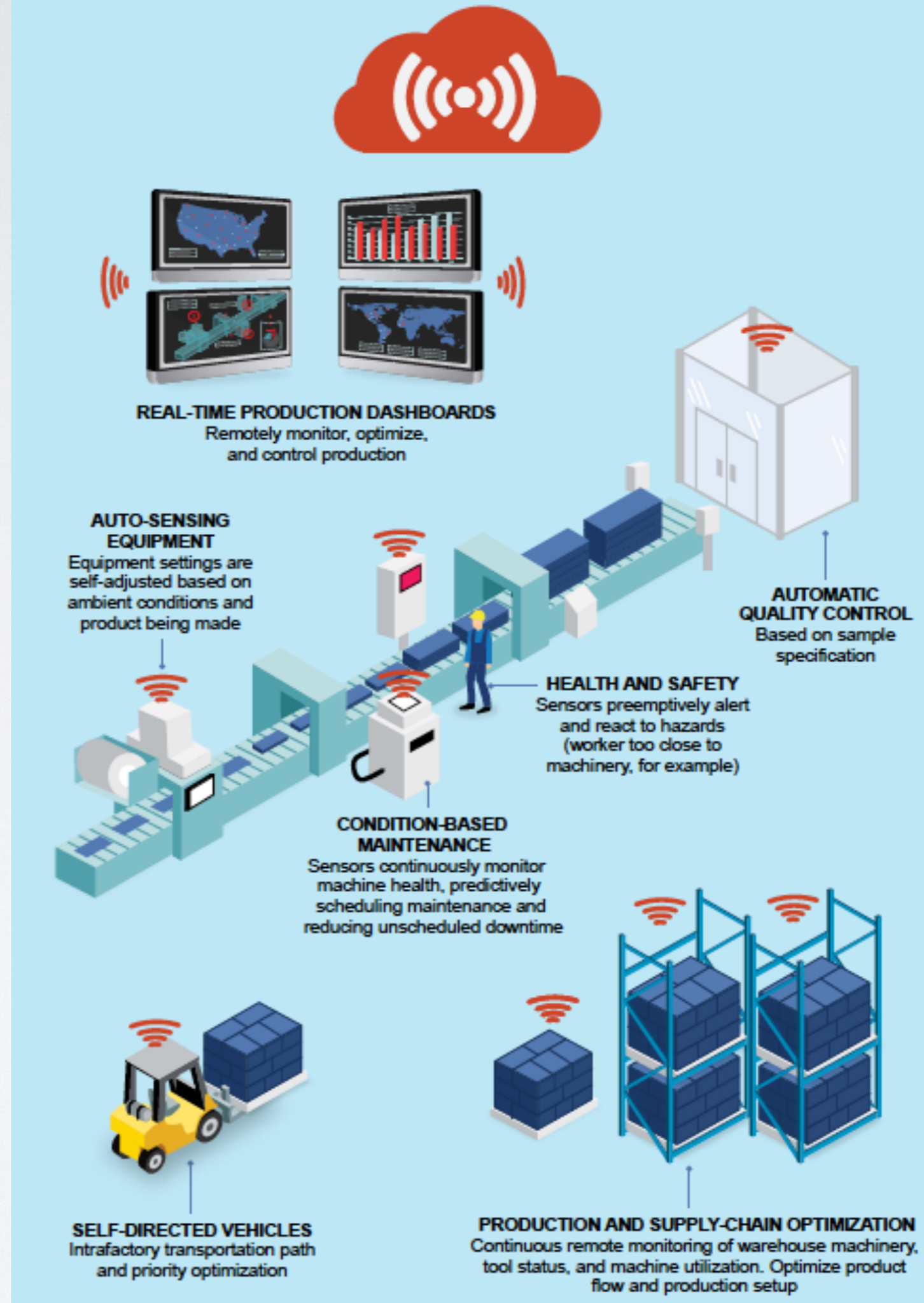
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΙΟΤ ΣΕ ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

1. Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας
2. Ανίχνευση διαρροών στο δίκτυο ύδρευσης
3. Έλεγχος κυκλοφορίας
4. Αυτόνομα οχήματα
5. Διαχείριση δρομολογίων
6. Παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα και του νερού
7. Πρόληψη και παρεμπόδιση του εγκλήματος



ΙΟΤ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

- Αυτόματος ποιοτικός έλεγχος
- Υγεία και ασφάλεια εργαζομένων
- Βέλτιστη διαχείριση της συντήρησης μηχανημάτων
- Αυτόνομα οχήματα
- Αυτοματοποίηση εφοδιαστικής αλυσίδας



ΙΟΤ ΣΤΟ ΛΙΑΝΕΜΠΟΡΙΟ

- Αυτόματη πληρωμή
- Βελτιστοποίηση της τοποθέτησης των προϊόντων
- Παρουσίαση εκπτώσεων σε πραγματικό χρόνο
- Ασφάλεια
- Αυτοματοποίηση αποθήκης



ΙΟΤ & ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ



Συστήματα άρδευσης



Κτηνοτροφία



Ιχθυοκαλλιέργειες



Αποθήκευση & μεταφορά αγαθών

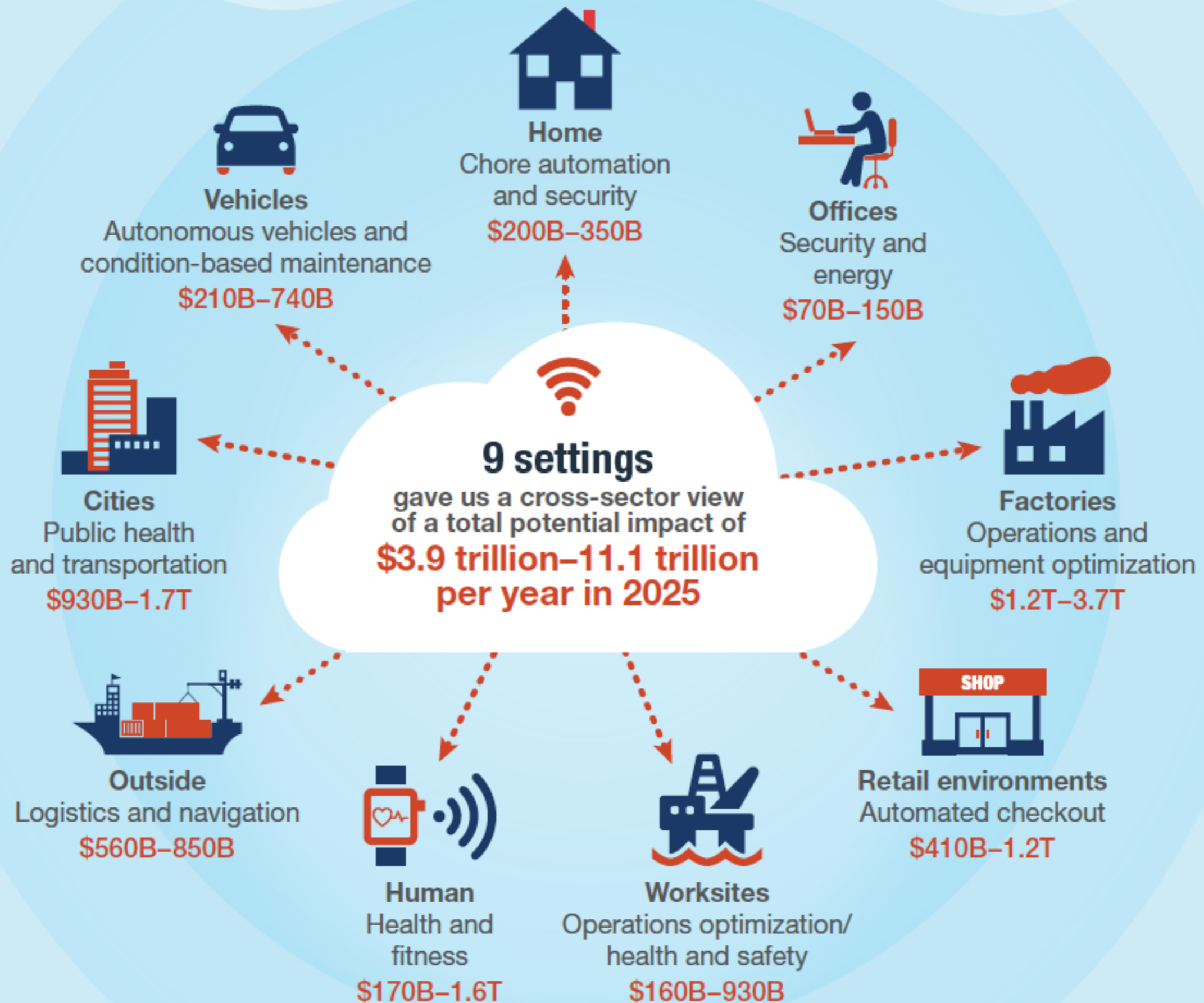


Γεωργία

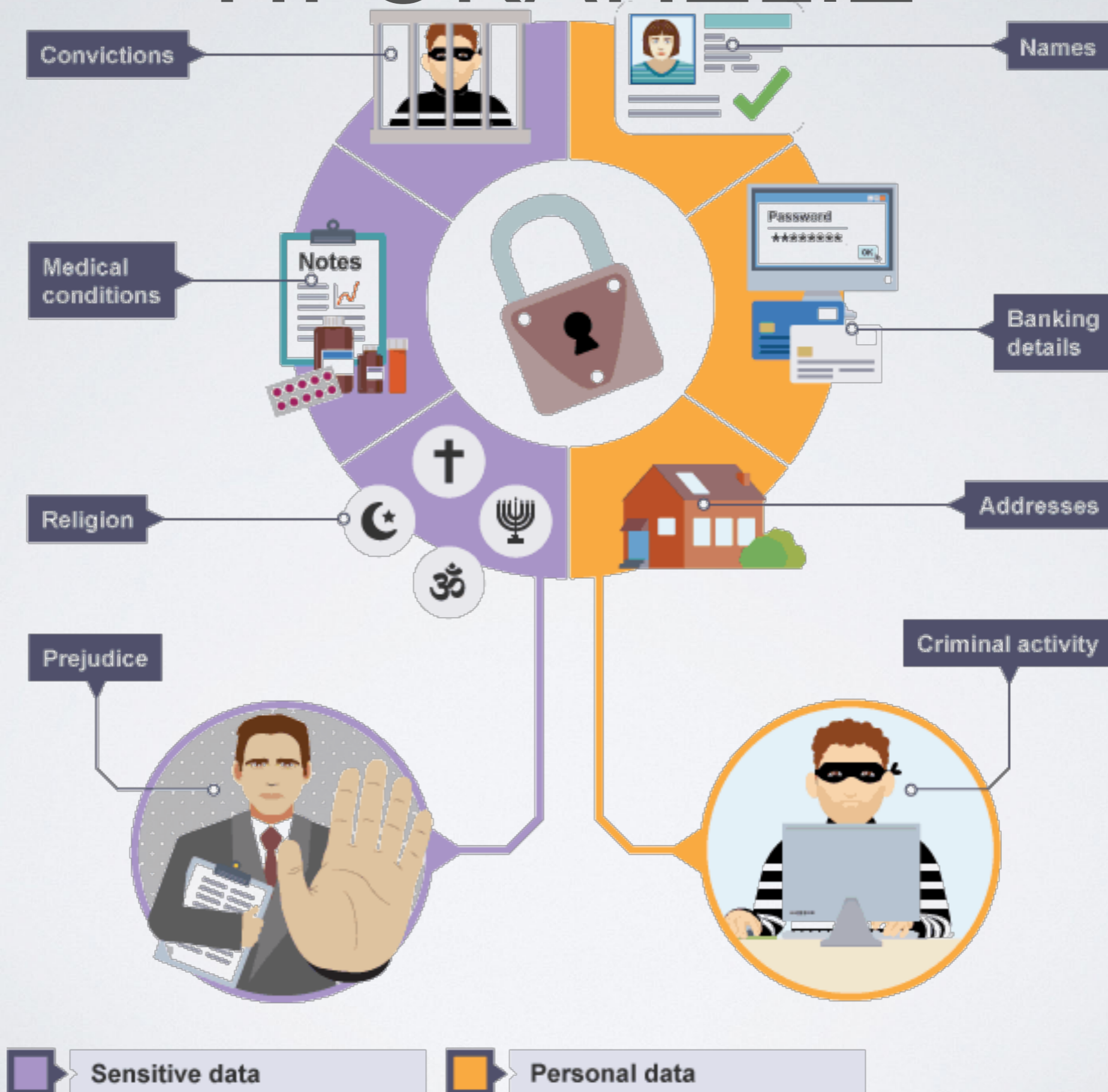


Καθαρό νερό

Η ΑΓΟΡΑ ΤΟΥ IOT



ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ



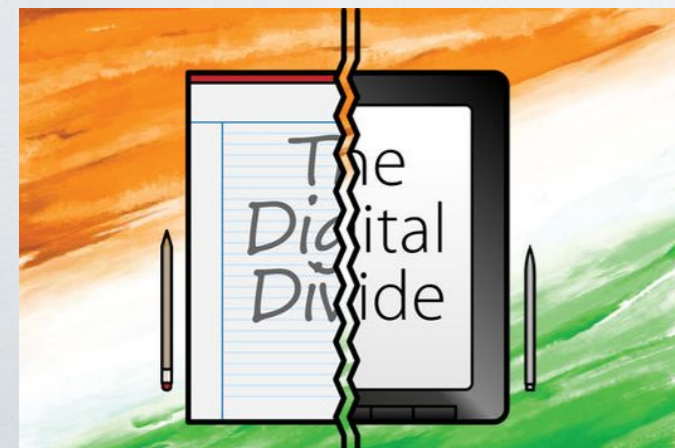
ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ



- Νομικό πλαίσιο σχετικά με το IoT (προστασία προσωπικών δεδομένων)



- Κοινωνικές επιπτώσεις
 - Χαρακτήρας της εργασίας
 - Ο ρόλος του εργαζόμενου



- Ψηφιακό χάσμα

ΟΓΚΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

12+ TBs
of tweet data
every day

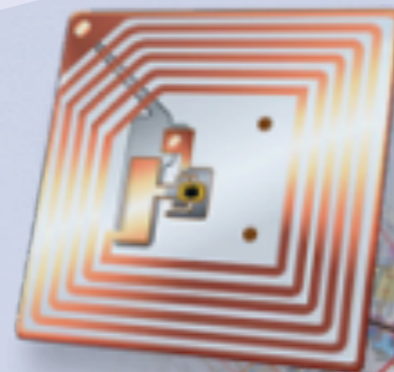


? TBs of
data every day

25+ TBs of
log data
every day



30 billion RFID
tags today
(1.3B in 2005)



4.6 billion
camera
phones
world wide



100s of millions
of GPS
enabled
devices sold
annually

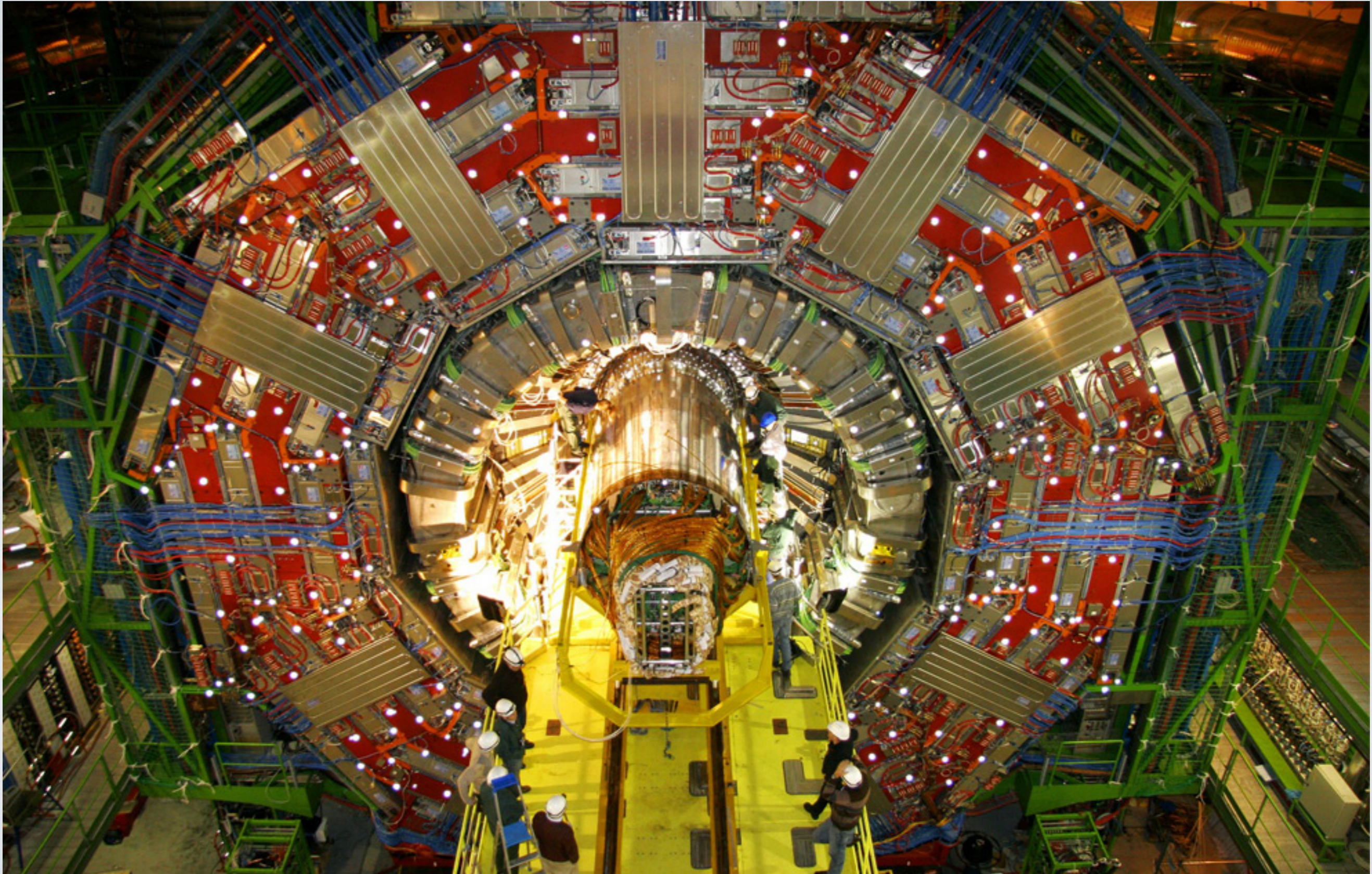


76 million smart meters
in 2009...
200M by 2014

2+ billion
people on
the Web
by end
2011



ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΜΕ ΝΟΥΜΕΡΑ

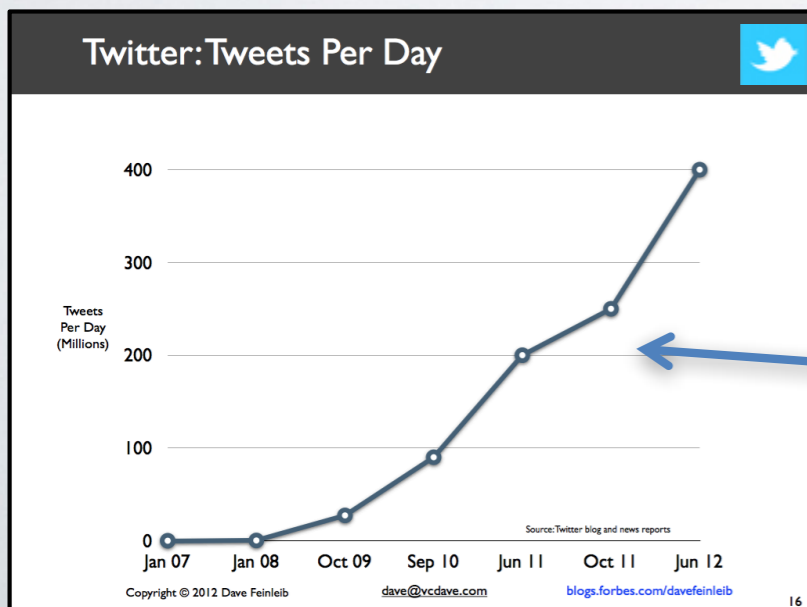
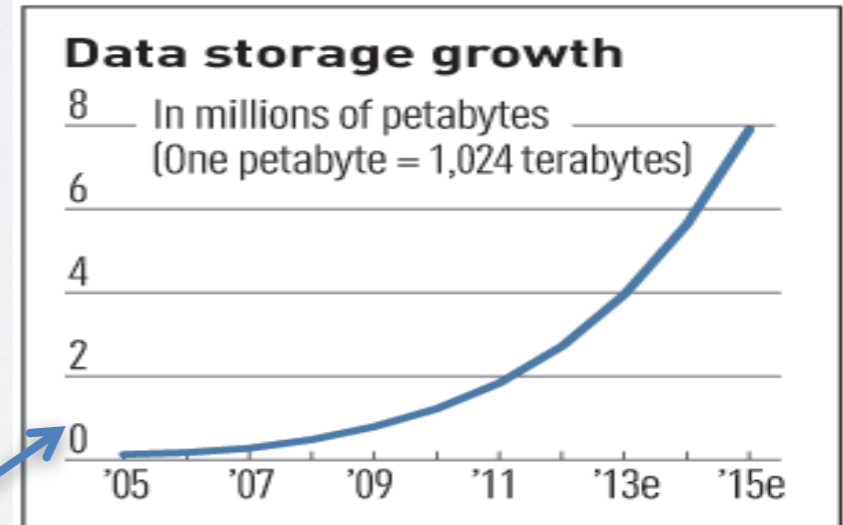
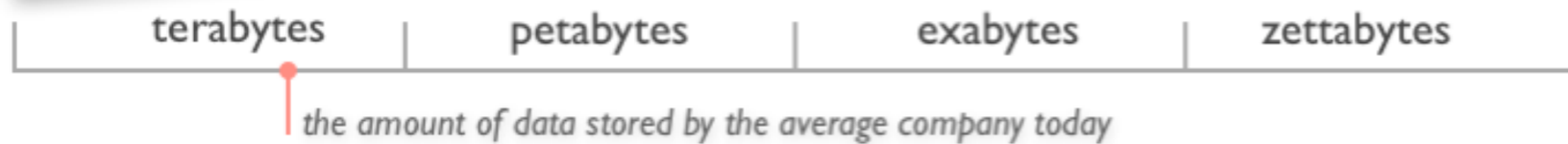
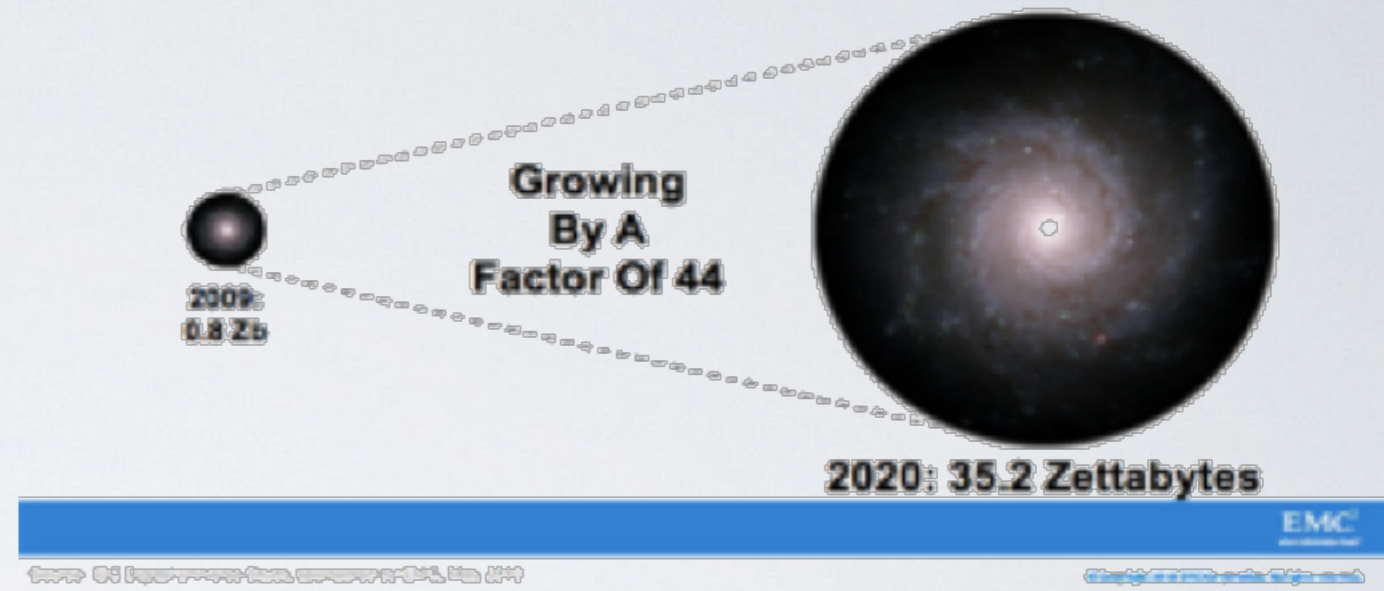


CERN's Large Hadron Collider (LHC) generates 15 PB a year

Ο ΟΓΚΟΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

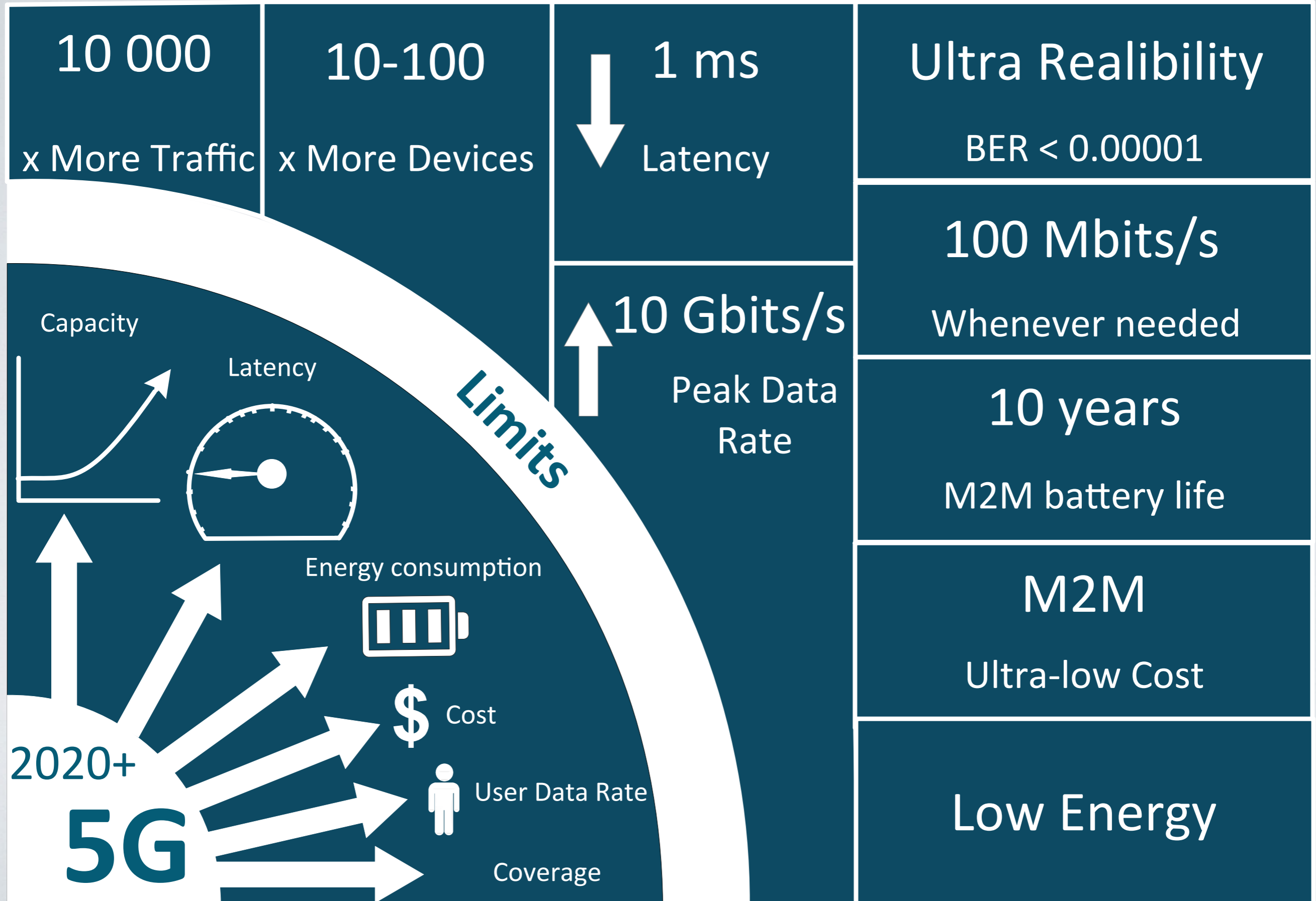
- Ογκος δεδομένων:
 - αύξηση κατά 44 φορές από το 2009-2020 (από 0.8 zb σε 34 zb)
 - αυξάνεται εκθετικά.

The Digital Universe 2009-2020



Exponential increase in collected/generated data

ΟΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G



ΟΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΙΟΤ

7 x
Extended
Coverage

26 Billion
Devices

1 ms
↓
Latency

Ultra Reliability

BER < 0.00001

Very High
Availability

↑
Quality of
Service

10 years
battery life

Ultra Low-Cost

Low Energy
Consumption

Limits

Reliability



Latency



Energy consumption



\$ Cost

Massive
conectivity

Coverage

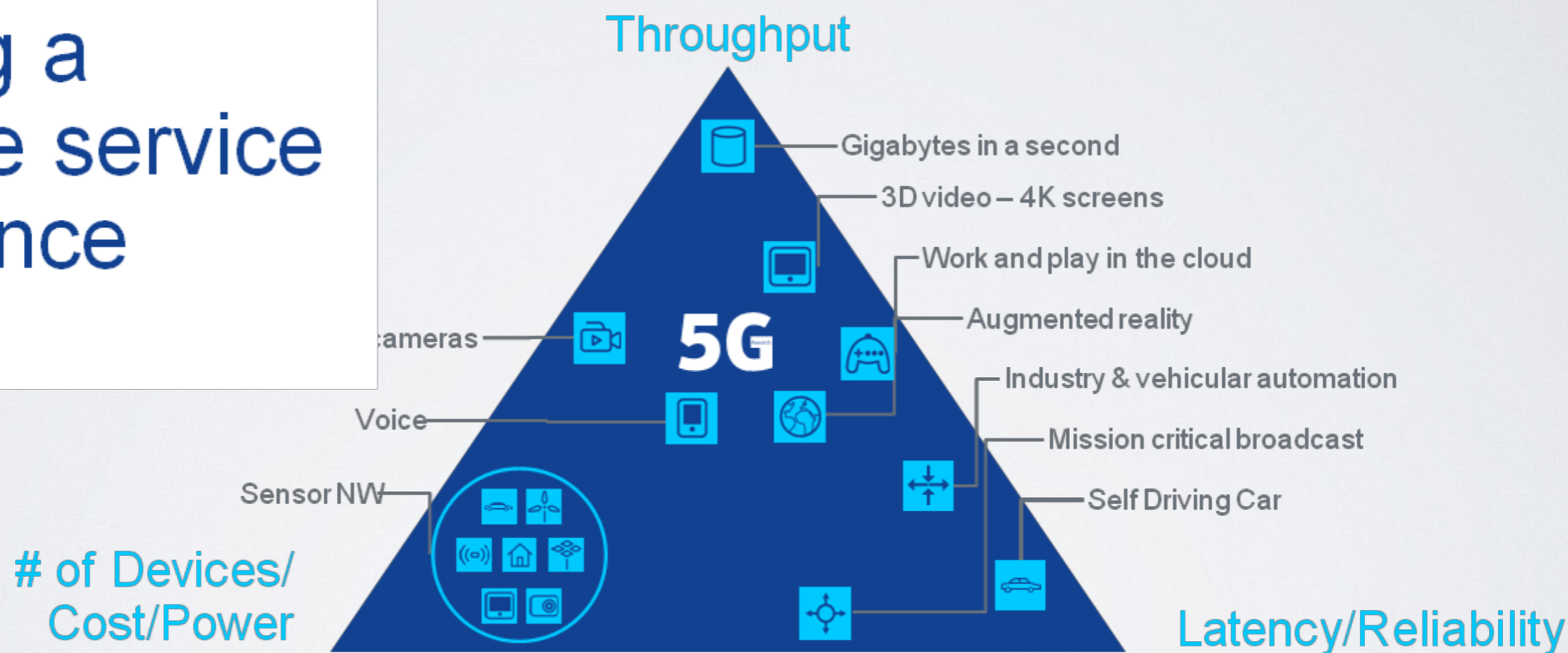
2020+

IoT

ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Diversity of services, use cases and (extreme) requirements

Building a
scalable service
experience



(Low power) Wide area

Crowd

Ultra-dense

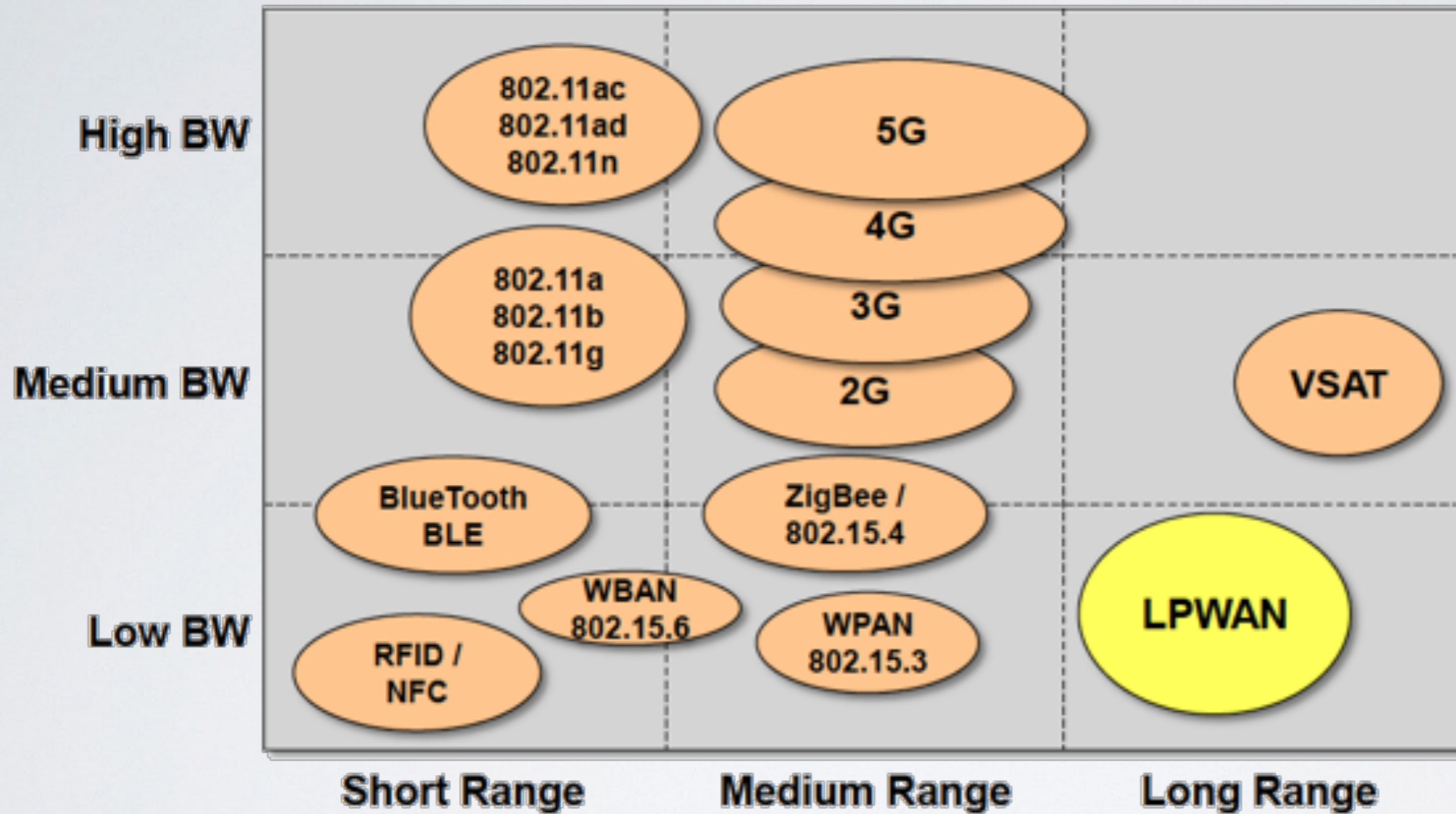
Outdoor

A trillion devices with different needs

GB transferred in an instant

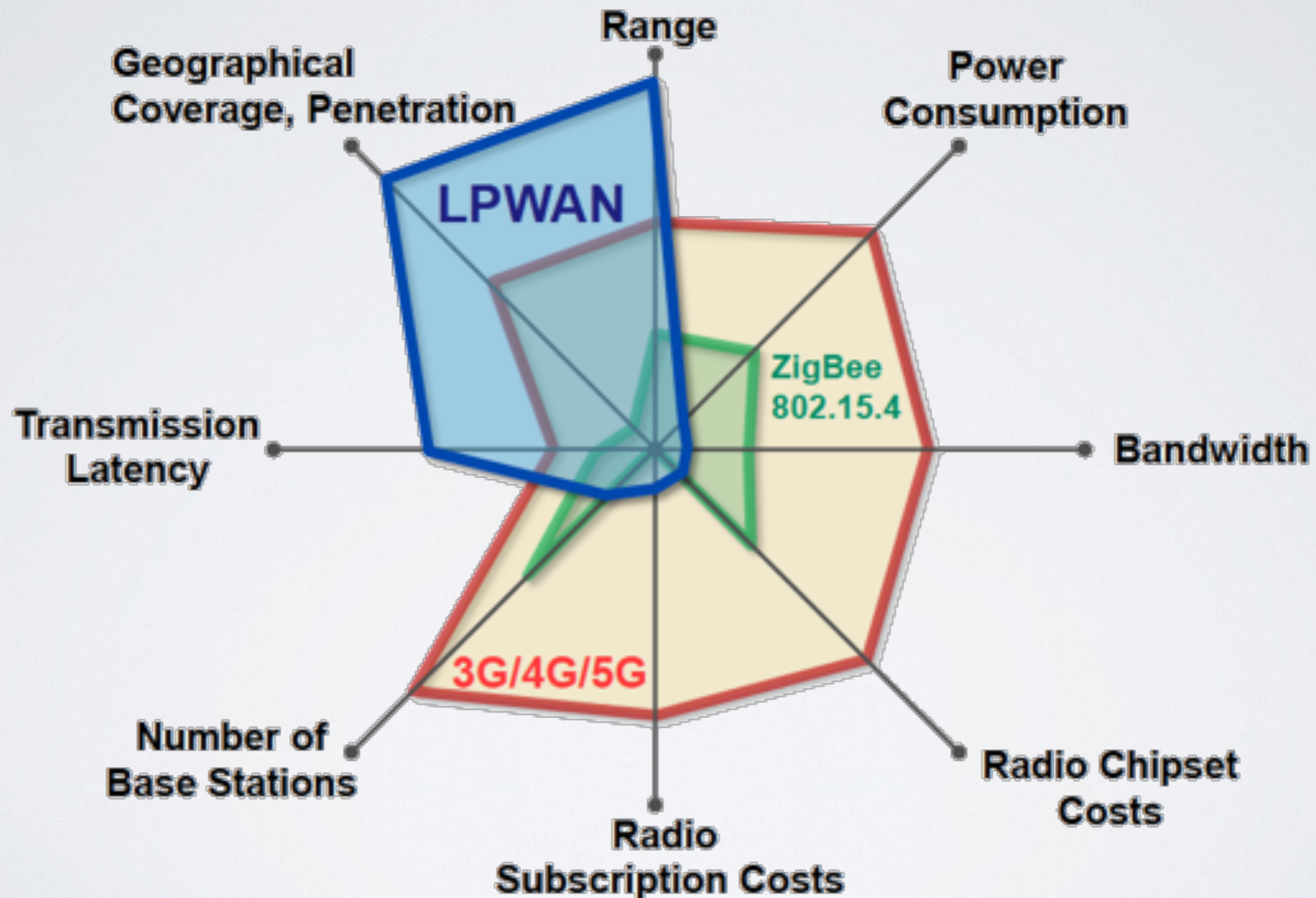
Mission-critical wireless control and automation

ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ




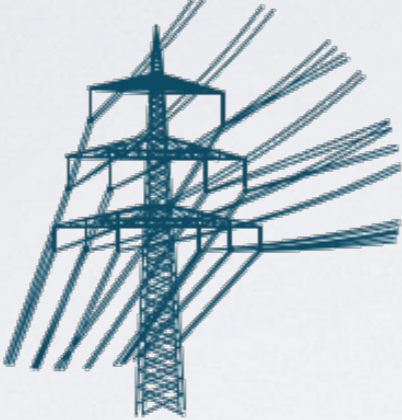





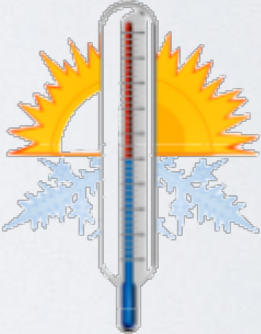
Key:
BW: Bandwidth
IoT: Internet of Things
M2M: Machine to Machine

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ



LOW POWER WIDE AREA NETWORKS

Massive IoT

<p>Transport & Logistics</p>  <p>Fleet management, Goods tracking</p>	<p>Utilities</p>  <p>Smart metering, Smart grid management</p>	<p>Smart cities</p>  <p>Parking sensors, Waste management, etc.</p>	<p>Smart building</p>  <p>Smoke detector, Home automation</p>
<p>Consumers</p>  <p>Wearables Kids/senior tracker</p>	<p>Industrial</p>  <p>Process monitoring & control, Maintenance monitoring</p>	<p>Environment</p>  <p>Food monitoring/alerts, Environmental monitoring</p>	<p>Agriculture</p>  <p>Climate/agriculture monitoring, Livestock tracking</p>

ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ LPWANS

Characteristic	Target Value for LPWAN Technologies
Long range	5 – 40km in the open field
Ultra low power	Battery lifetime of 10 years
Throughput	Depends on the application, but typically a few hundred bit / s or less
Radio chipset costs	\$2 or less
Radio subscription costs	\$1 per device and year
Transmission latency	Not a primary requirement for LPWAN. IoT applications are typically insensitive to latency.
Required number of base stations for coverage	Very low. LPWAN base stations are able to serve thousands of devices.
Geographic coverage, penetration	Excellent coverage also in remote and rural areas. Good in-building and in-ground penetration (e.g. for reading power meters).

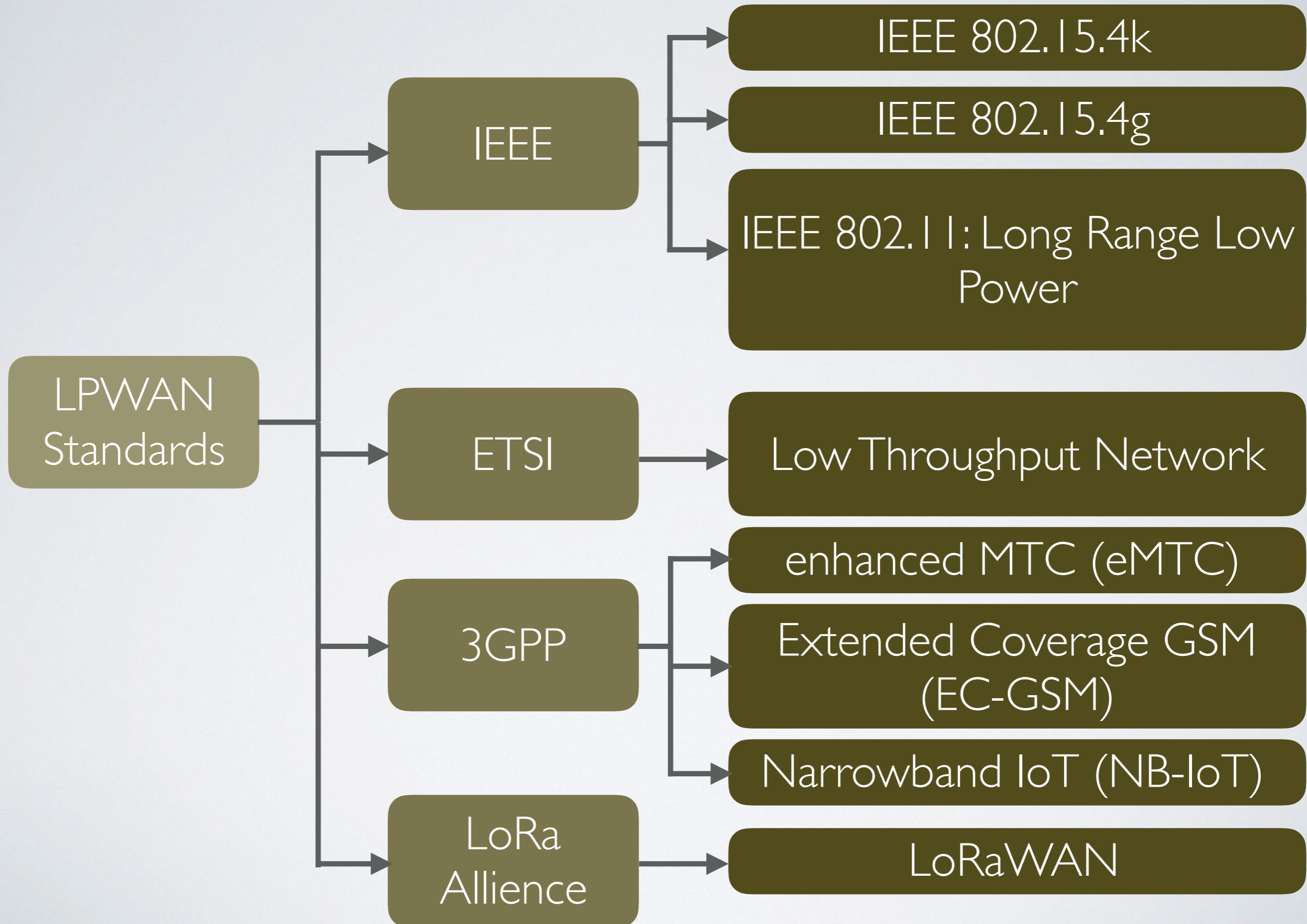
•Source: Indigoo.com

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ LPWANS

- Sigfox UNB
- LoRaWAN
- LTE-M
- EC-GSM
- NB-IoT

- Amber Wireless
- Nwave (Weightless N)
- Platanus (M2COMM-Weightless P)
- Telensa (Senaptic)
- IngenuNetworks (former OnRamp 2.4GHz, 10 Kbit/s)
- Weightless (W: whitespace, N: narrowband)
- DASH7 Alliance Protocol

STANDARDISATION



ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ LPWANS

Standard	IEEE		WEIGHTLESS-W	WEIGHTLESS-SIG	WEIGHTLESS-P	DASH7 Alliance DASH7
	802.15.4k	802.15.4g		WEIGHTLESS-N		
Modulation	DSSS, FSK	MR-(FSK, OFDMA, OQPSK)	16-QAM, BPSK, QPSK, DBPSK	UNB DBPSK	GMSK, offset-QPSK	GFSK
Band	ISM SUB-GHZ & 2.4GHz	ISM SUB-GHZ & 2.4GHz	TV white spaces 470-790MHz	ISM SUB-GHZ EU (868MHz), US (915MHz)	SUB-GHZ ISM or licensed	SUB-GHZ 433MHz, 868MHz, 915MHz
Data rate	1.5 bps-128 kbps	4.8 kbps-800 kbps	1 kbps-10 Mbps	30 kbps-100 kbps	200 bps-100kbps	9.6,55.6,166.7 kbps
Range	5 km (URBAN)	up to several kms	5 km (URBAN)	3 km (URBAN)	2 km (URBAN)	0-5 km (URBAN)
Num. of channels / orthogonal signals	multiple channels. Number depends on channel & modulation		16 or 24 channels(UL)	multiple 200 Hz channels	multiple 12.5 kHz channels	3 different channel types (number depends on type & region)
Forward error correction	✓	✓	✓	✗	✓	✓
MAC	CSMA/CA, CSMA/CA or ALOHA with PCA	CSMA/CA	TDMA/FDMA	slotted ALOHA	TDMA/FDMA	CSMA/CA
Topology	star	star, mesh, peer-to-peer (depends on upper layers)	star	star	star	tree, star
Payload length	2047B	2047B	>10B	20B	>10B	256B
Authentication & encryption	AES 128b	AES 128b	AES 128b	AES 128b	AES 128/256b	AES 128b

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ LPWANS

	LoRa	NWave	OnRamp	Platanus	SIGFOX	Telensa	Weightless -N	Weightless -P	Amber Wireless	M2M Spectrum
Range (km) (Caveat)	15-45 flat; 15-22 suburban; 3-8 urban	10	4 (but claims 25x competition)	Several hundred meters	50 rural; 10 urban	Up to 8	5+	2+ urban	Up to 20	
Band (MHz)	Spread; varies by region	Sub-GHz	2.4 GHz	Sub-GHz	868; 902	868/915 470 (China)	Sub-GHz	Sub-GHz	434, 868, 2.4 GHz	800/900
ISM?	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Symmetric up/down?	Depends on mode. Can be.	No	No (4:1)	No	No	Yes	Uplink only	Not yet determined		
Data rate (Caveat)	0.3-50 kbps (adaptive)	100 bps	8 bps – 8 kbps	500 kbps	100 bps	Low	30 kbps-100 kbps	Up to 100 kbps (adaptive)	Up to 500 kbps**	
Max nodes (Caveat)	Depends; millions/hub	Million/base	“10s of 1000s”	50,000	Millions/hub	150,000/Server (moving to 500,000)	No real claim (due to “it depends”)	32767 NWs, 65535 hubs each, 16M edge device per NW	255 networks of 255 nodes	
OTA upgrades?	Yes	Yes	Yes	Yes	Doubtful	Yes	No	Yes		
Handoff?	No; no node/hub association	No; it’s being considered	Yes	Yes	Doubtful	Yes	Yes	Yes		
Operational model	Public or private (expect 80% public)	Public or private	Public or private	Public or private	Public	Public	Public or private	Public or private		Public
Standard status (if any)	LoRa: No <u>LoRaWAN</u> : Yes	Weightless-N	No. Have taken to IEEE.	Weightless-P	No	No (perhaps in future)	Yes	In process; spec later this yr		

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

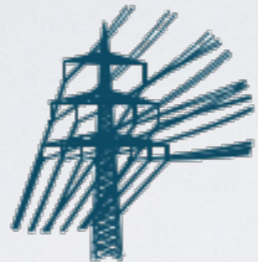
Application	Required data rate	Latency	Priority
Surveillance system	64,000 b/s	Small	Medium
Urgent notification	Small	Less than 1 s	High
Fleet management	Less than 500 B	Very small	High
Pay as you pay	Small	Very small	High
Smart metering	500-1000 B per	15 s – 15 min	Low
Grid automation	10-100 kps	0.1– 2 s	High
Monitoring vital	Less than 200 B per	Small	High
Monitoring in	Less than 200 B per	Small	High
Industrial	Small	Less than 5 ms	High

LTE-M (Rel. 12/13)



Voice services connected elevators

LTE-M (Rel. 13)



Smart grid management



Kids/elderly/
pet/VIP
tracking

EC-GSM



Environmental monitoring



Vehicle/asset
tracking

NB-IoT



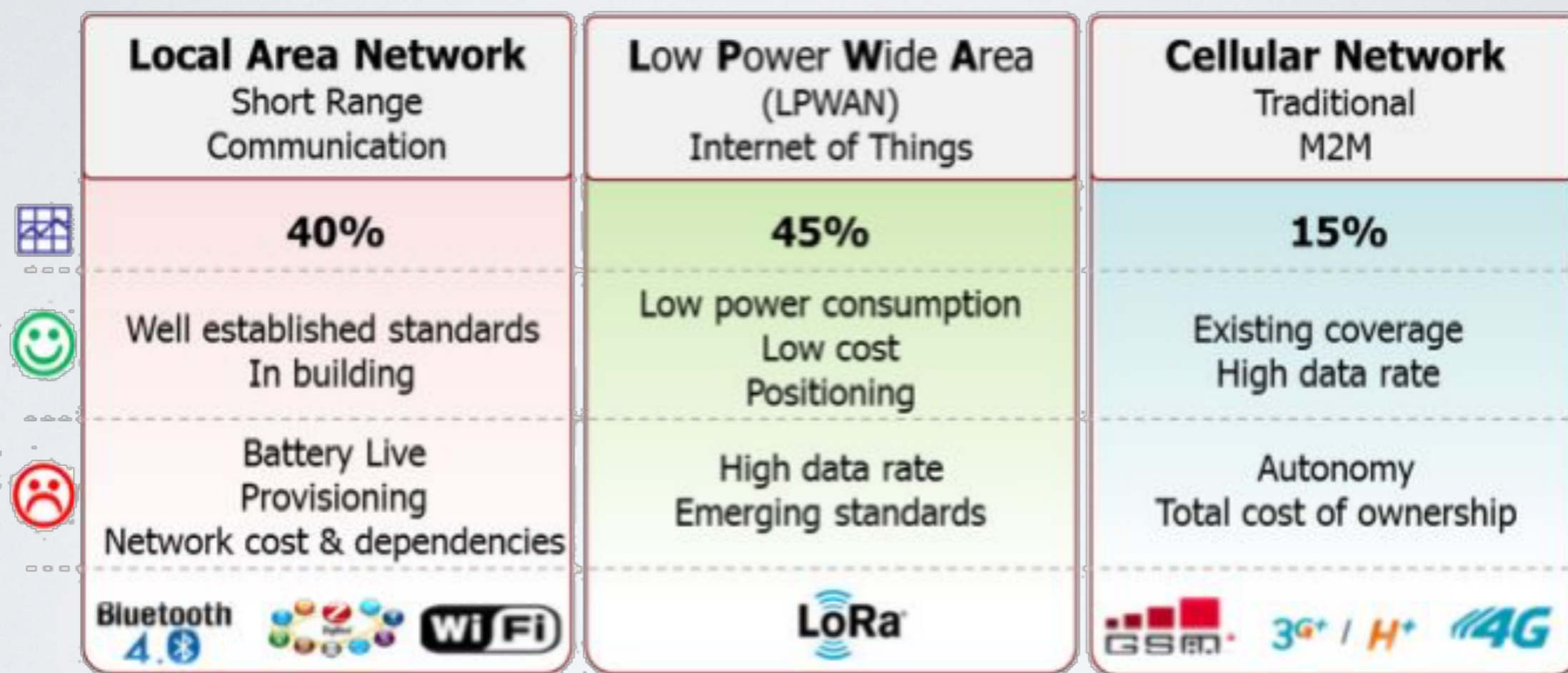
Smart city
lighting,
Waste
management



Smart metering,
Smart building,
Home
automation

Unlicensed LPWAN
(LoRA, UNB)

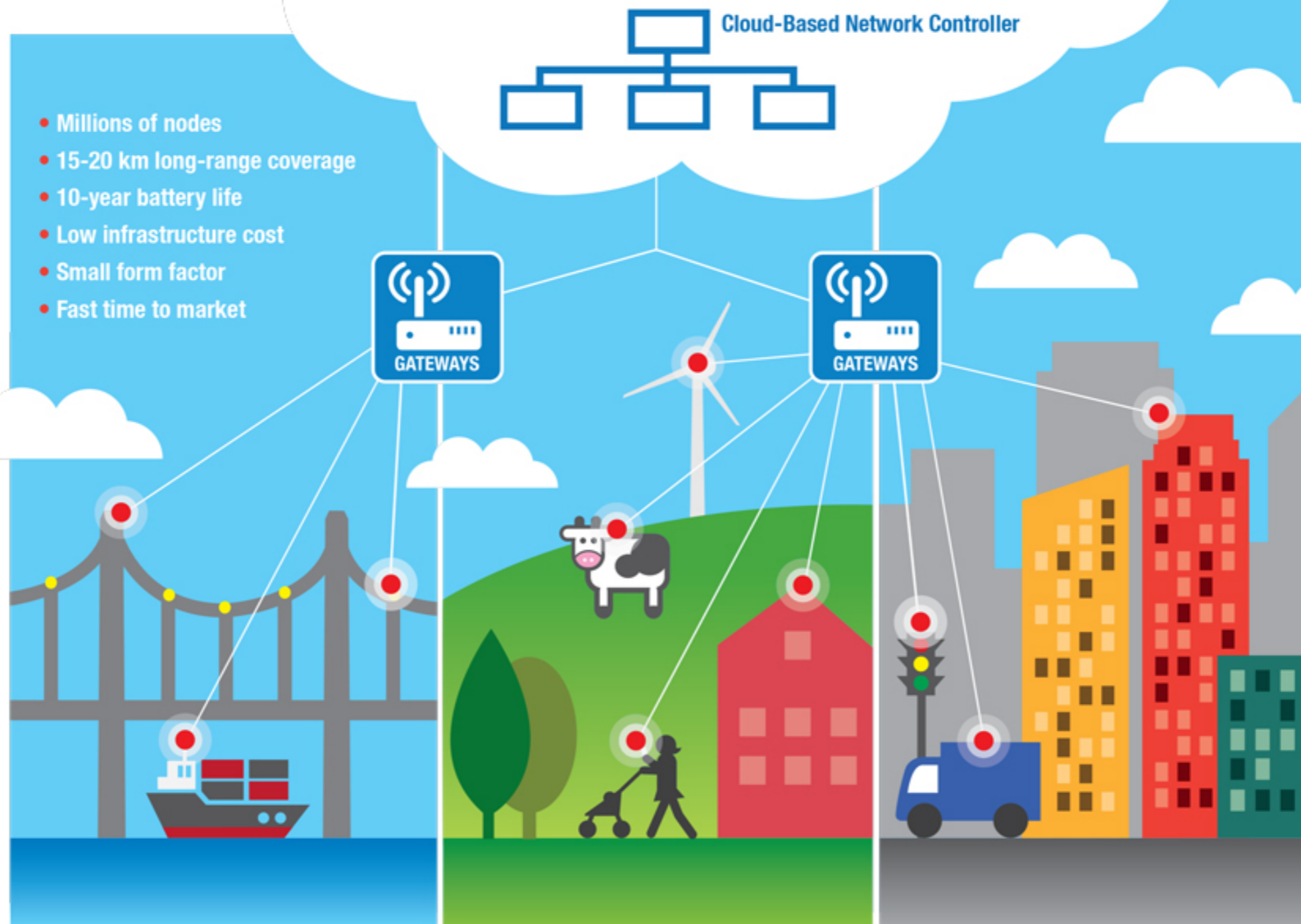
Η ΑΓΟΡΑ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΙΟΤ



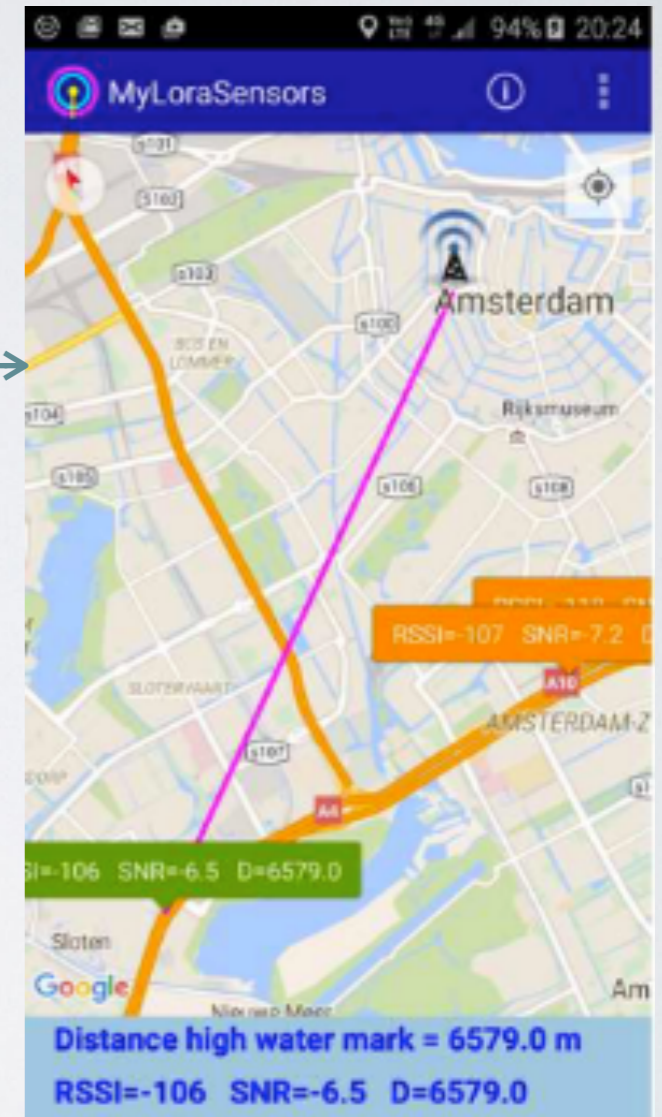
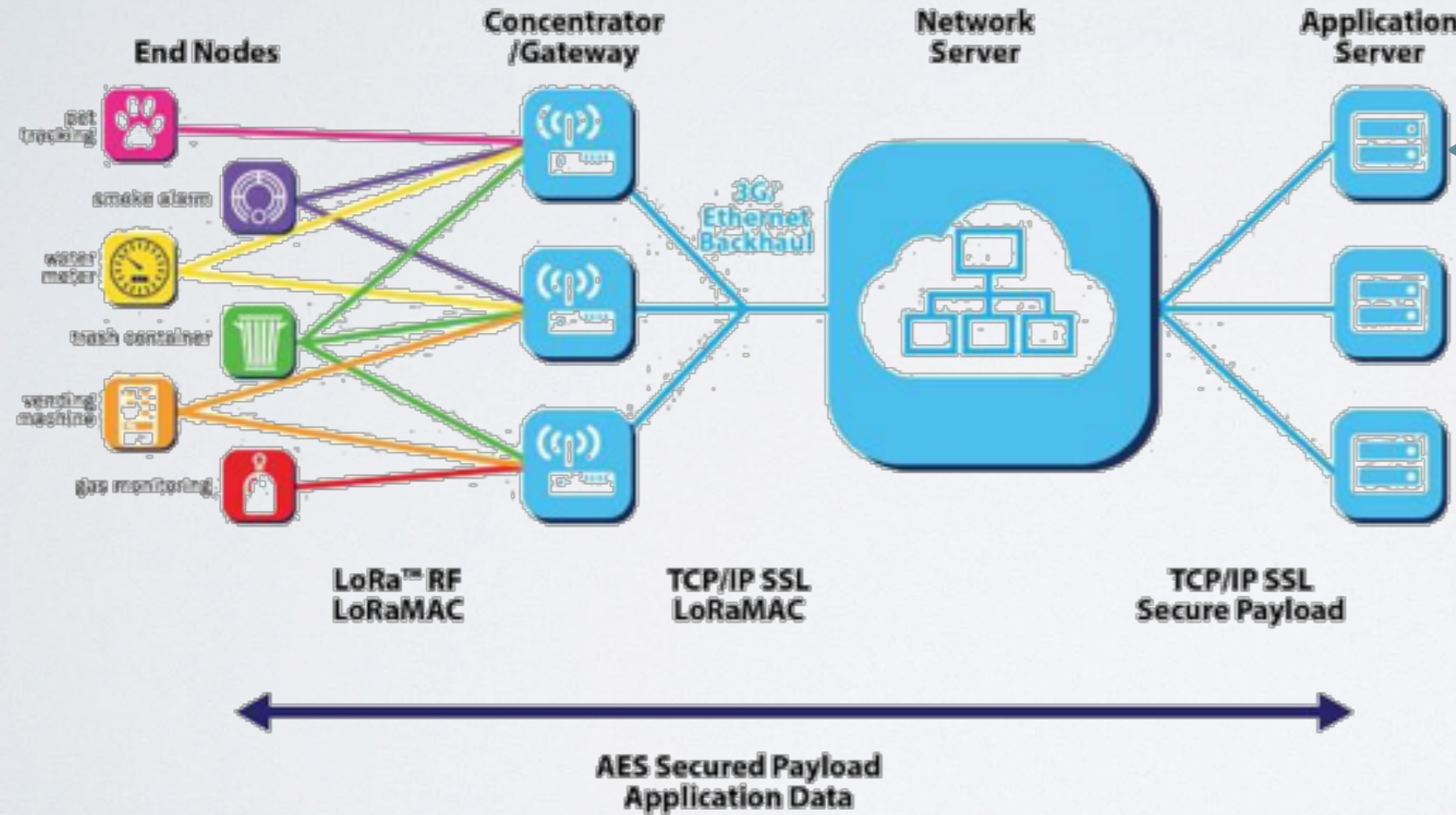
ΤΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΟΥ LORAWAN

LoRa™ End-Node Solution For Long Range and Low Power IoT Networks.

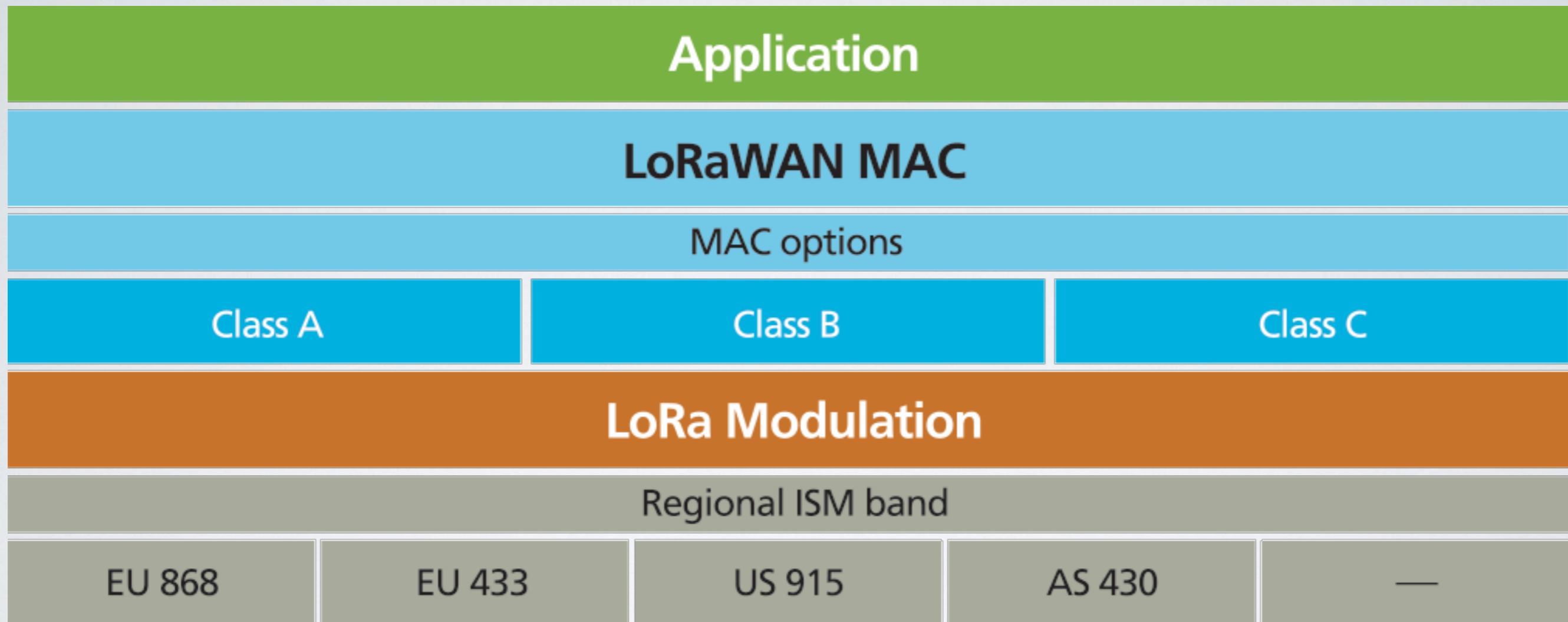
- Millions of nodes
- 15-20 km long-range coverage
- 10-year battery life
- Low infrastructure cost
- Small form factor
- Fast time to market



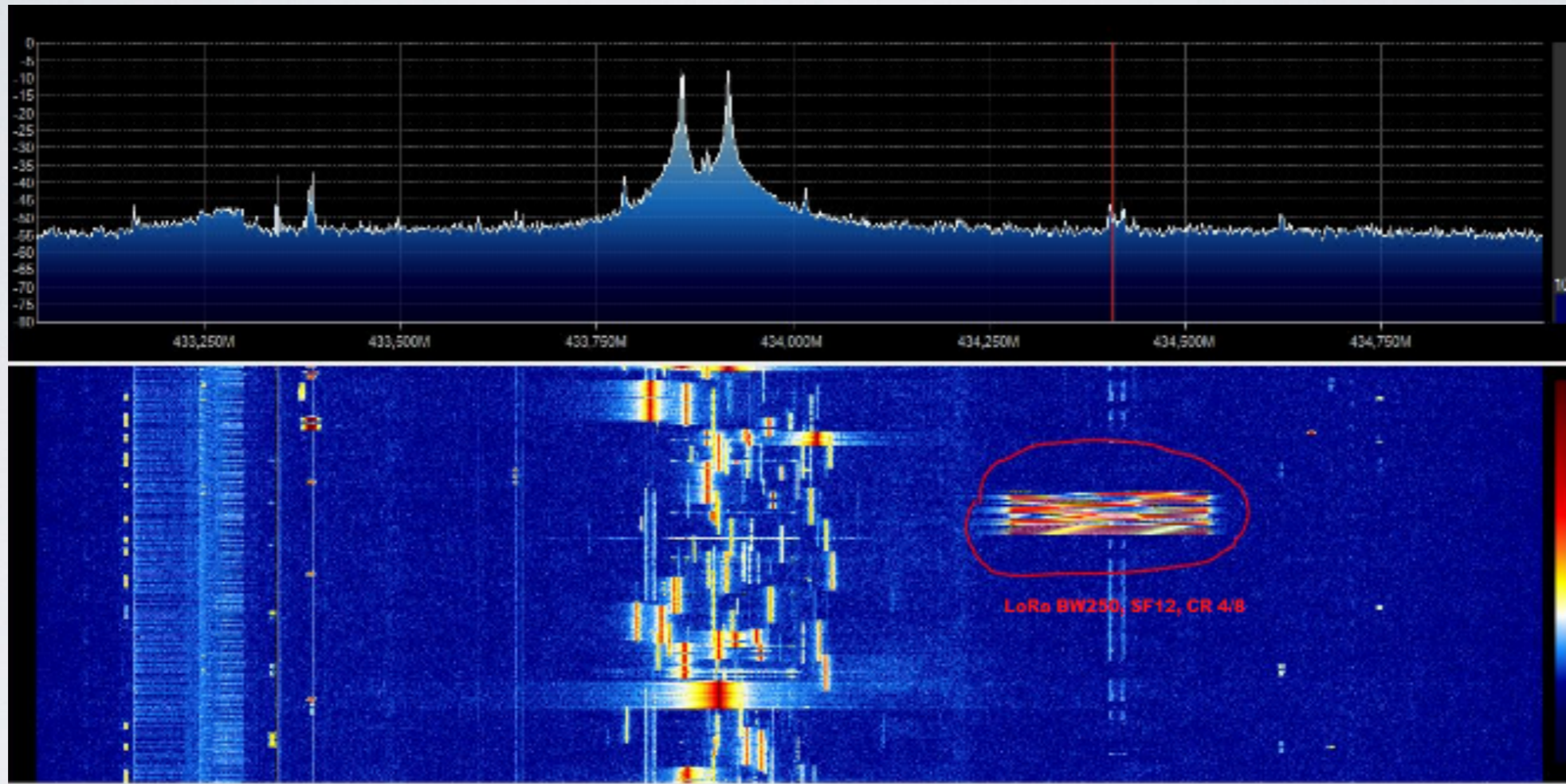
ARXITEKTONIKH TOY LORAWAN



LORAWAN PROTOCOL STACK



LORA PHYSICAL LAYER



- Frequencies: ISM bands

- EU: 868 MHz / 433 MHz
- North America: 902-928 MHz
- China: 779-787 MHz

- Bandwidth:

- 125 kHz
- 250 kHz
- 500 kHz

LORA PHYSICAL LAYER

- (De-)modulation
 - LoRa
 - Chirp Spread Spectrum
 - Χρησιμοποιούταν αρχικά σε συστήματα Radar.
 - Βελτιώνει την ευαισθησία του δέκτη
 - Χρησιμοποιεί όλο το εύρος ζώνης για να στείλει ένα σήμα
 - Το κάνει ανθεκτικό στο θόρυβο του καναλιού και στη μετατόπιση συχνότητας εξαιτίας των ατελειών των τοπικών ταλαντωτών.
 - Μπορεί να κάνει αποδιαμόρφωση σήματος έως και -19.5 dB κάτω από το κατώφλι θορύβου.
 - Μπορεί να υλοποιηθεί σε διαφορετικές τοπολογίες Star, Mesh, κ.ο.κ.
 - Frequency Shift Keying (FSK)
 - Το σήμα πρέπει να είναι 8-10 dB πάνω από το κατώφλι θορύβου για να αποδιαμορφωθεί.

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ LORA

- Modulated signal

Energy of the $s(t)$

$$s(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos \left(2\pi f_c t \pm \pi \left(u \left(\frac{t}{T_s} \right) - w \left(\frac{t}{T_s} \right)^2 \right) \right)$$

Symbol duration

Carrier frequency

Peak-to-peak

Sweep width

Frequency deviation

- Symbol period

$$T_s = \frac{1}{R_s}$$

Bandwidth

- Rate

$$R_s = \frac{BW}{2SF}$$

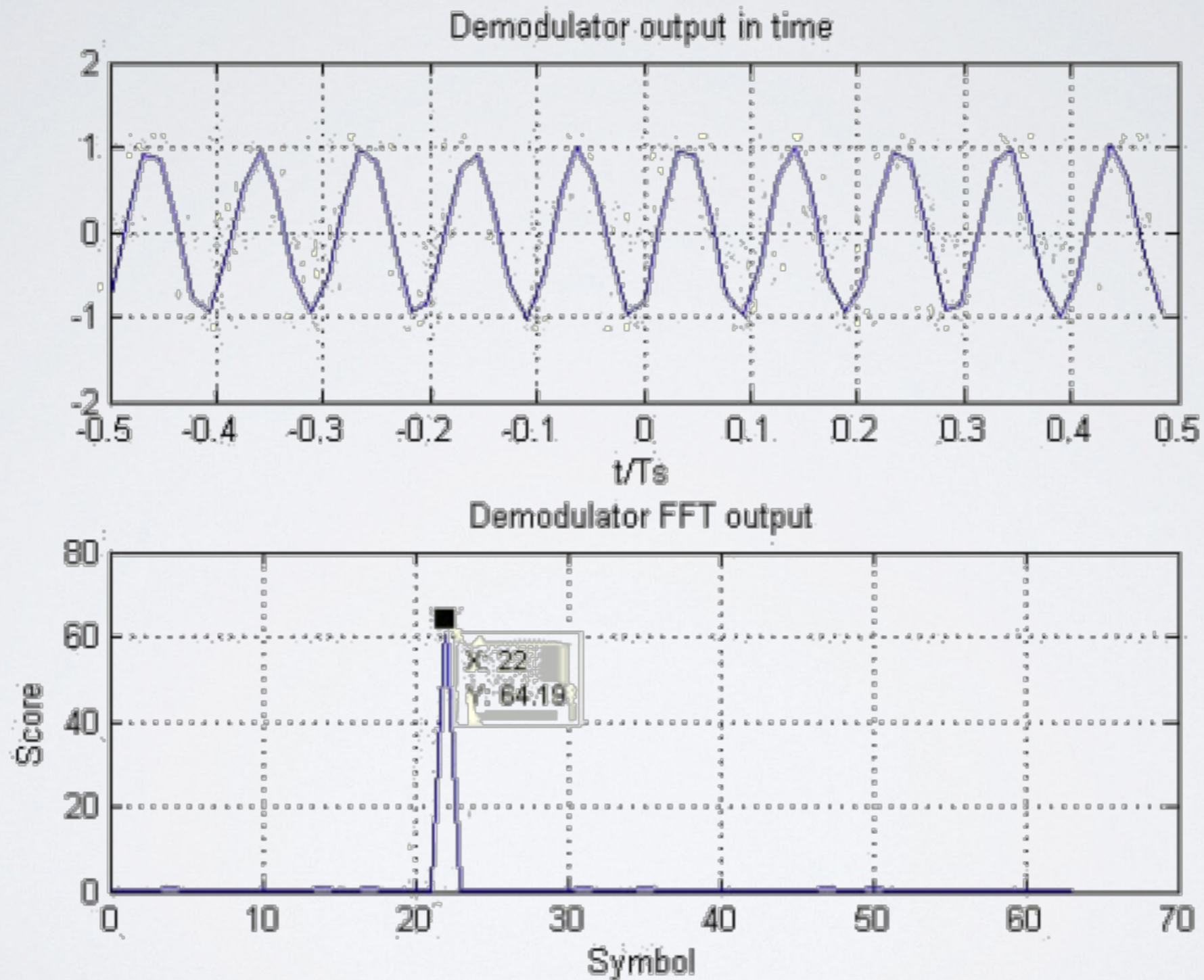
Spreading factor

SPREADING FACTOR

SF	Chirps/symbol	LoRa Demodulator SNR (dB)
6	64	-5
7	128	-7.5
8	256	-10
9	512	-12.5
10	1024	-15
11	2048	-17.5
12	4096	-20

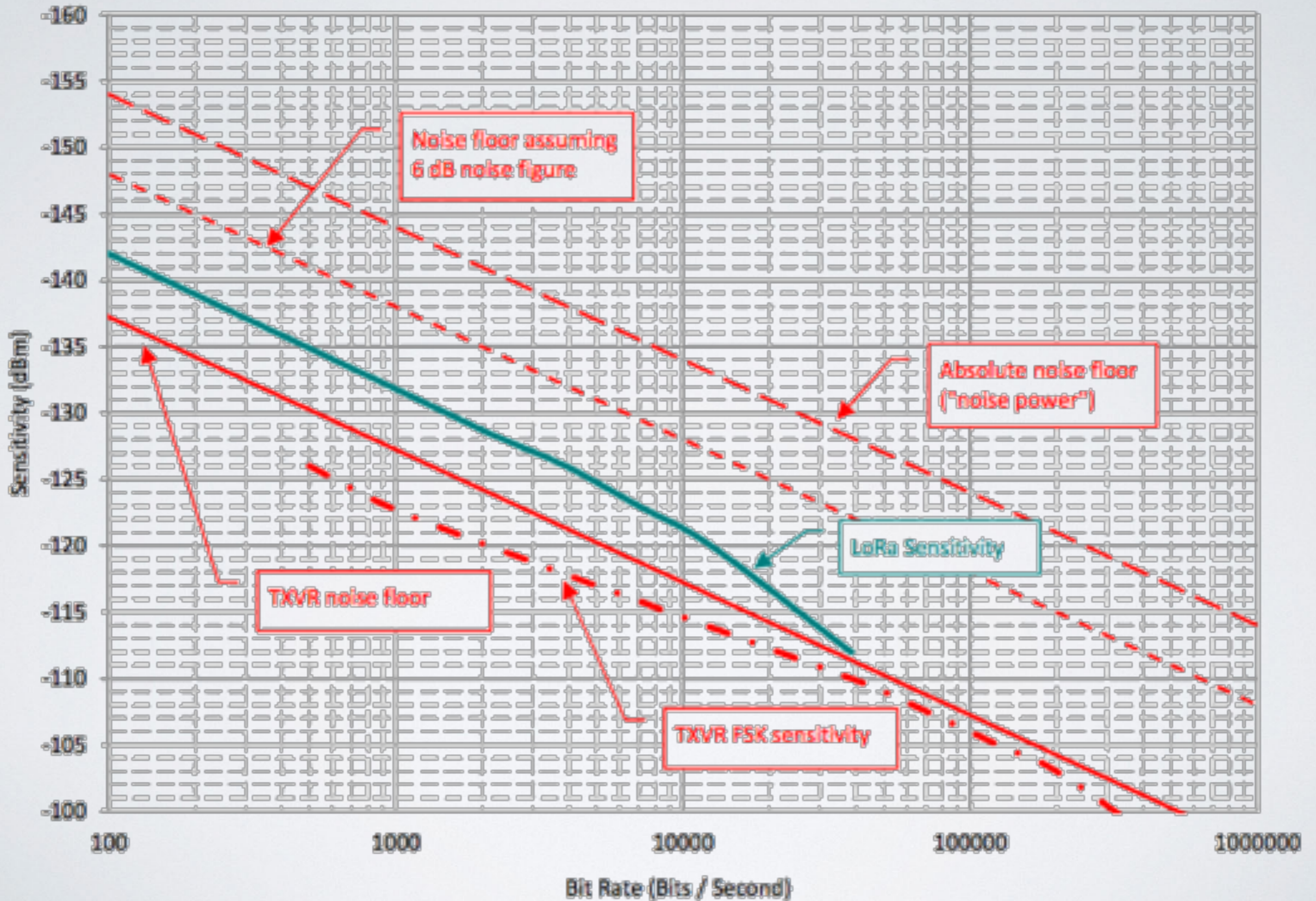
- Πρέπει να είναι γνωστοί εκ των προταίρον και σε πομπό και δέκτη.
- Σήματα με διαφορετικό SF είναι ορθογώνια μεταξύ του.

ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ LORA

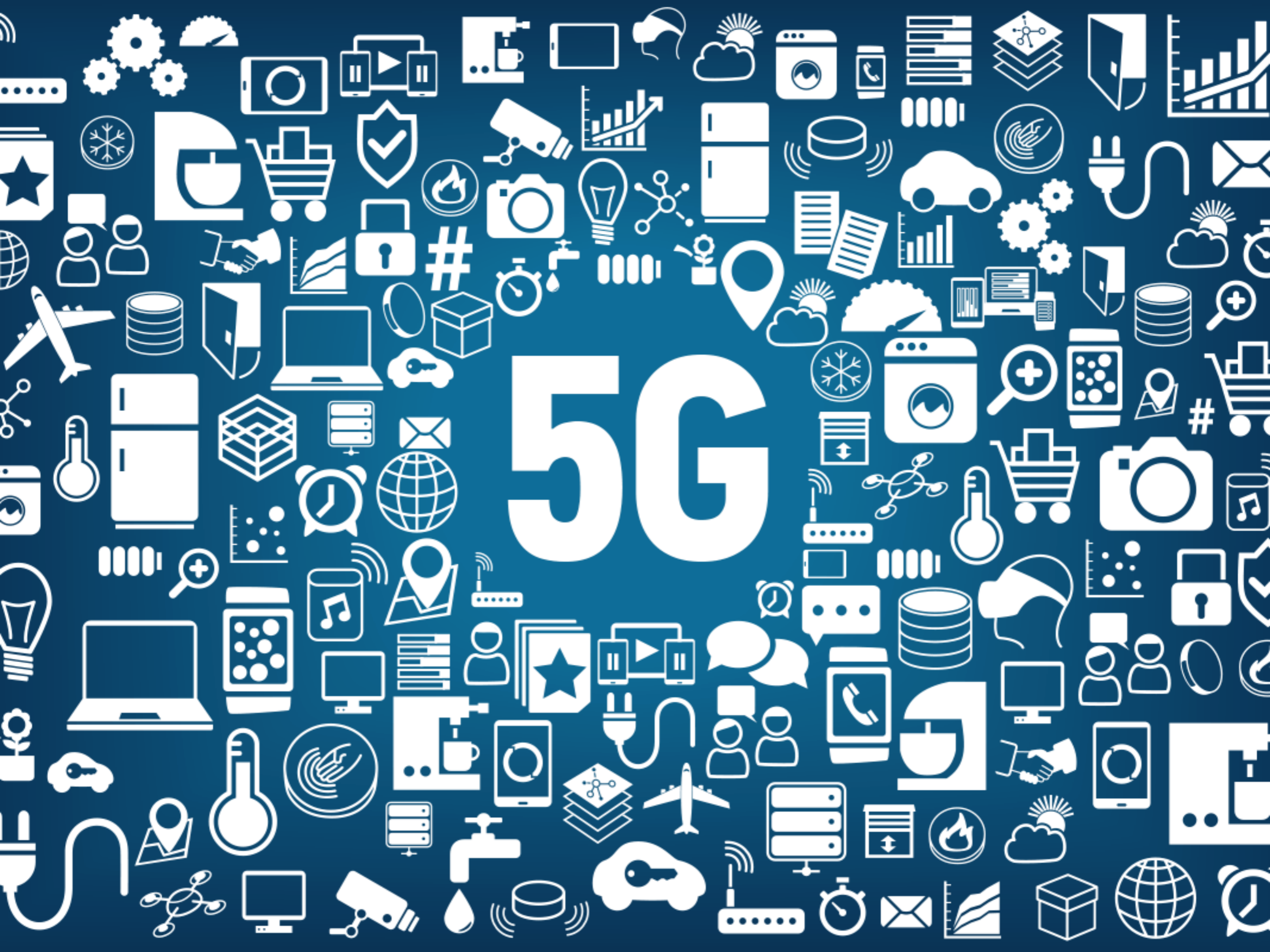


LORA VS FSK

LoRa vs. FSK Sensitivity Comparison



5G



1G



2G



3G



4G



5G



IoT



High Speed

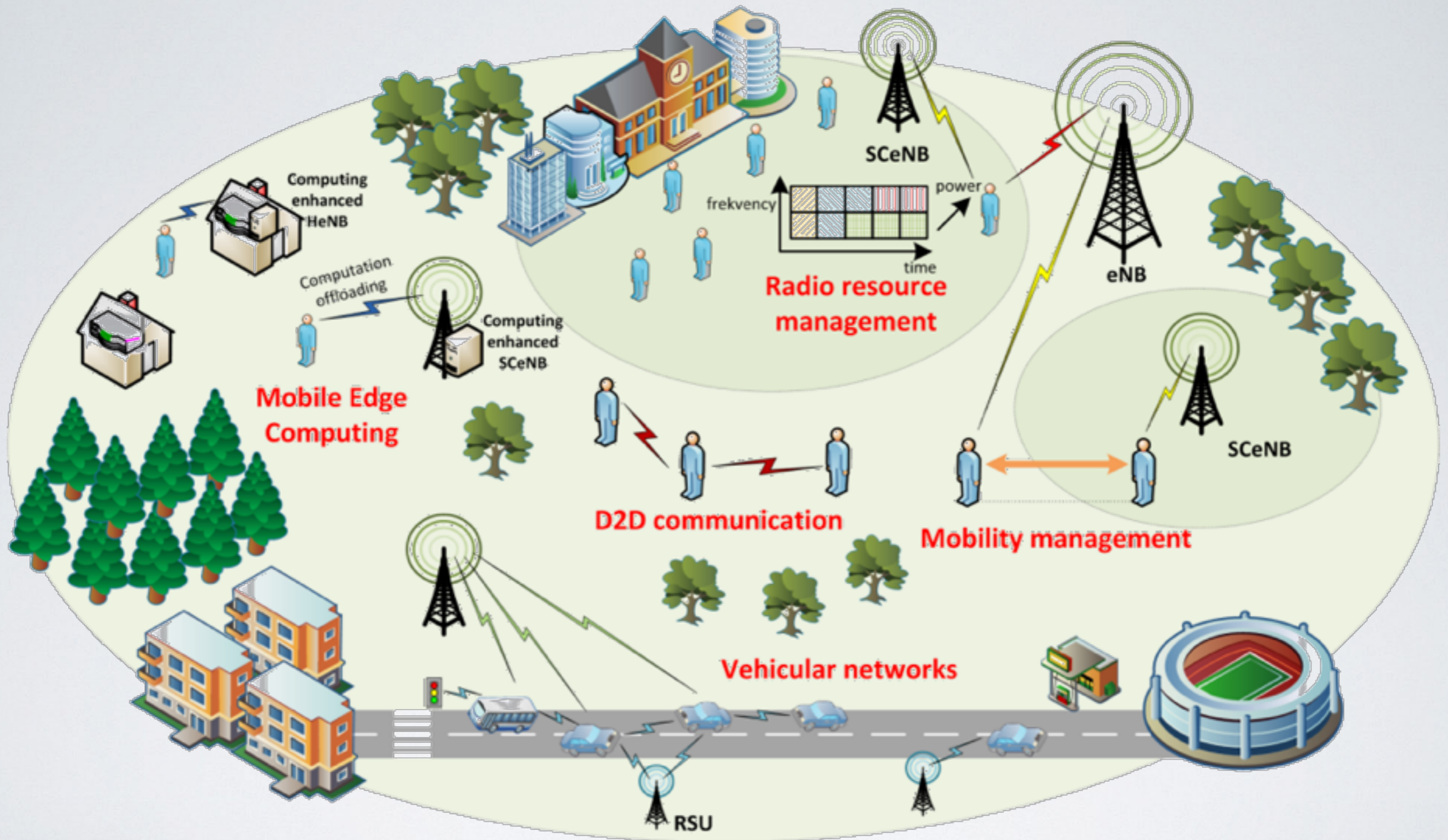


Ultra HD
3D Video

What 5G is about



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΤΕΡΟΓΕΝΟΥΣ ΔΙΚΤΥΟΥ 5G



D2D: device to device

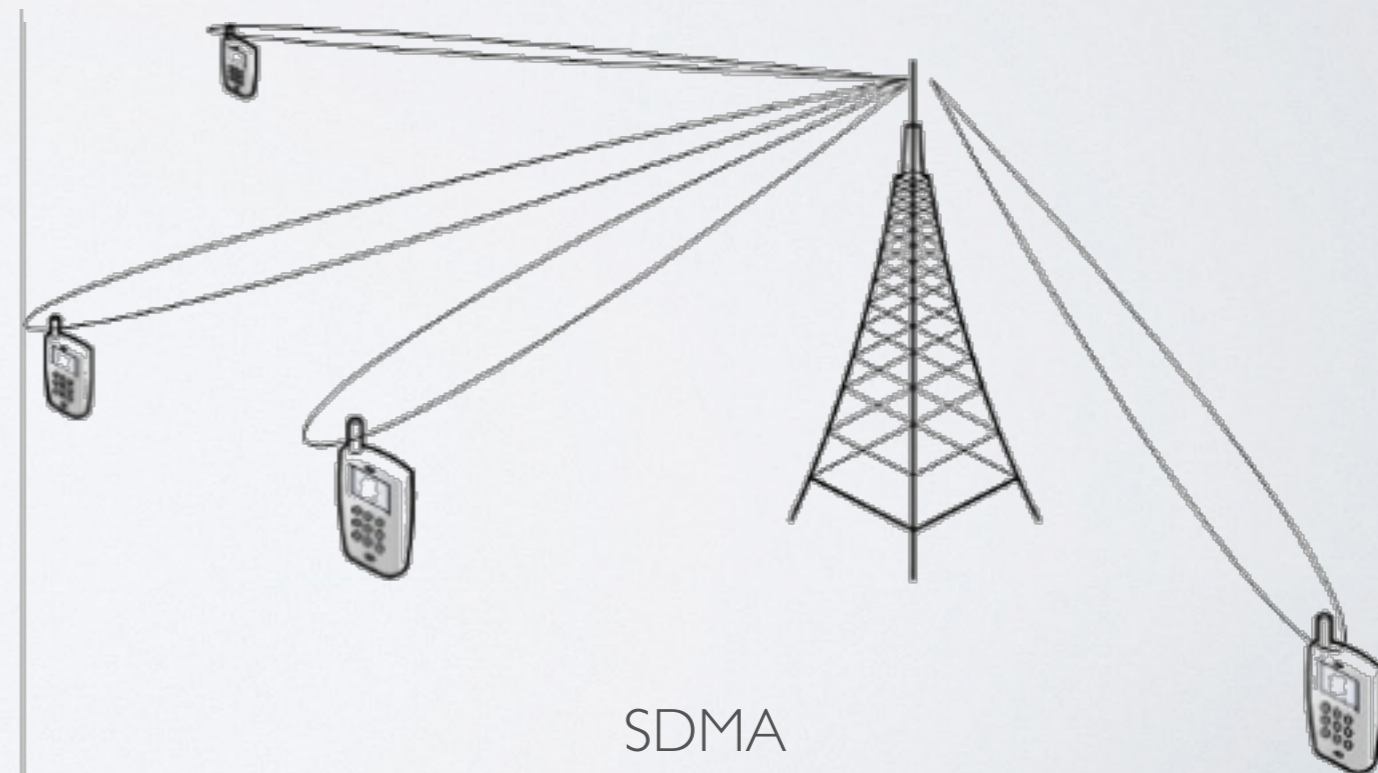
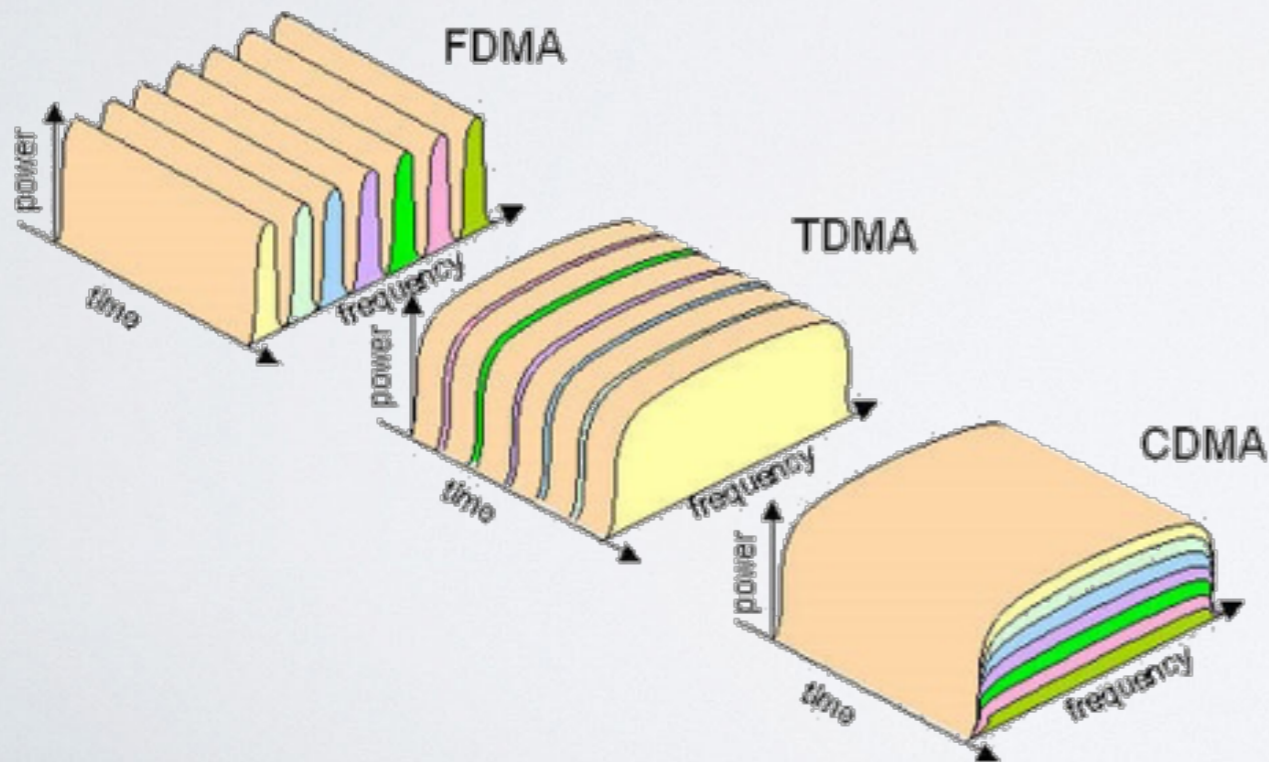
RSU: Road Side Units

HeNB: Home e-Node B

SCell: Small Cells e-Node B

ΚΑΝΑΛΙΑ

- Κάθε κανάλι μπορεί να αντιστοιχεί:
 - Σε διαφορετική συχνότητα (Frequency Division Multiple Access - FDMA)
 - Σε διαφορετική χρονική οπή (Time Division Multiple Access - TDMA)
 - Σε διαφορετικό κώδικα (Code Division Multiple Access - CDMA)
 - Σε διαφορετική θέση (Space Division Multiple Access - SDMA)

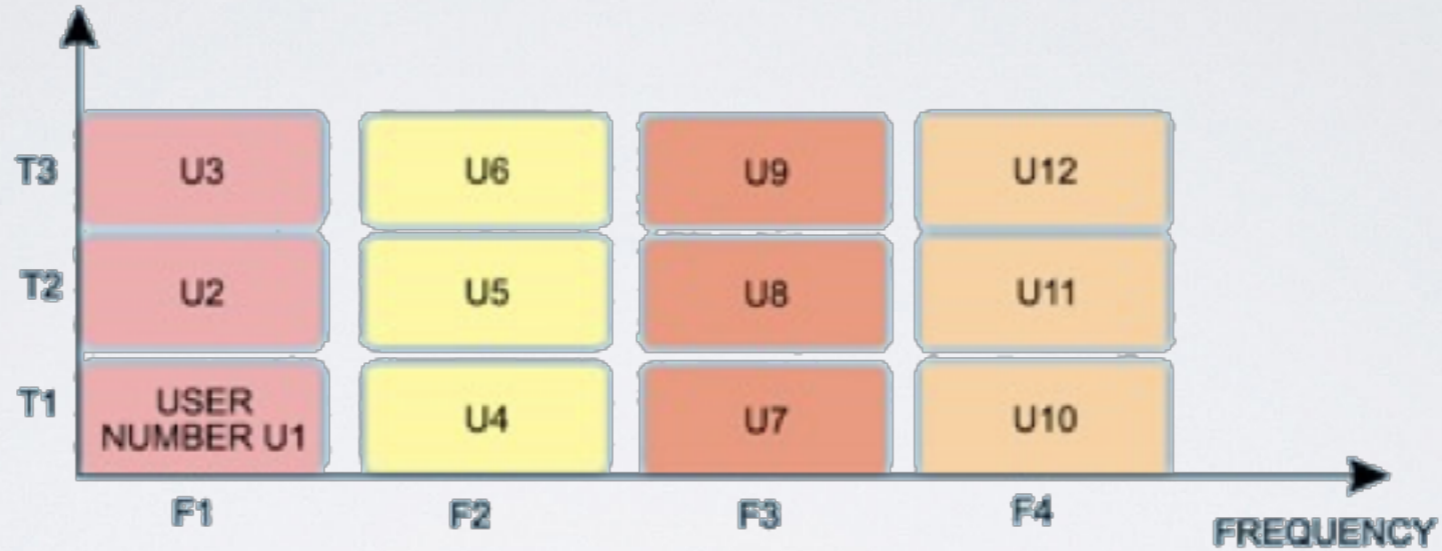


KANALIA

FREQUENCY-DIVISION MULTIPLE-ACCESS



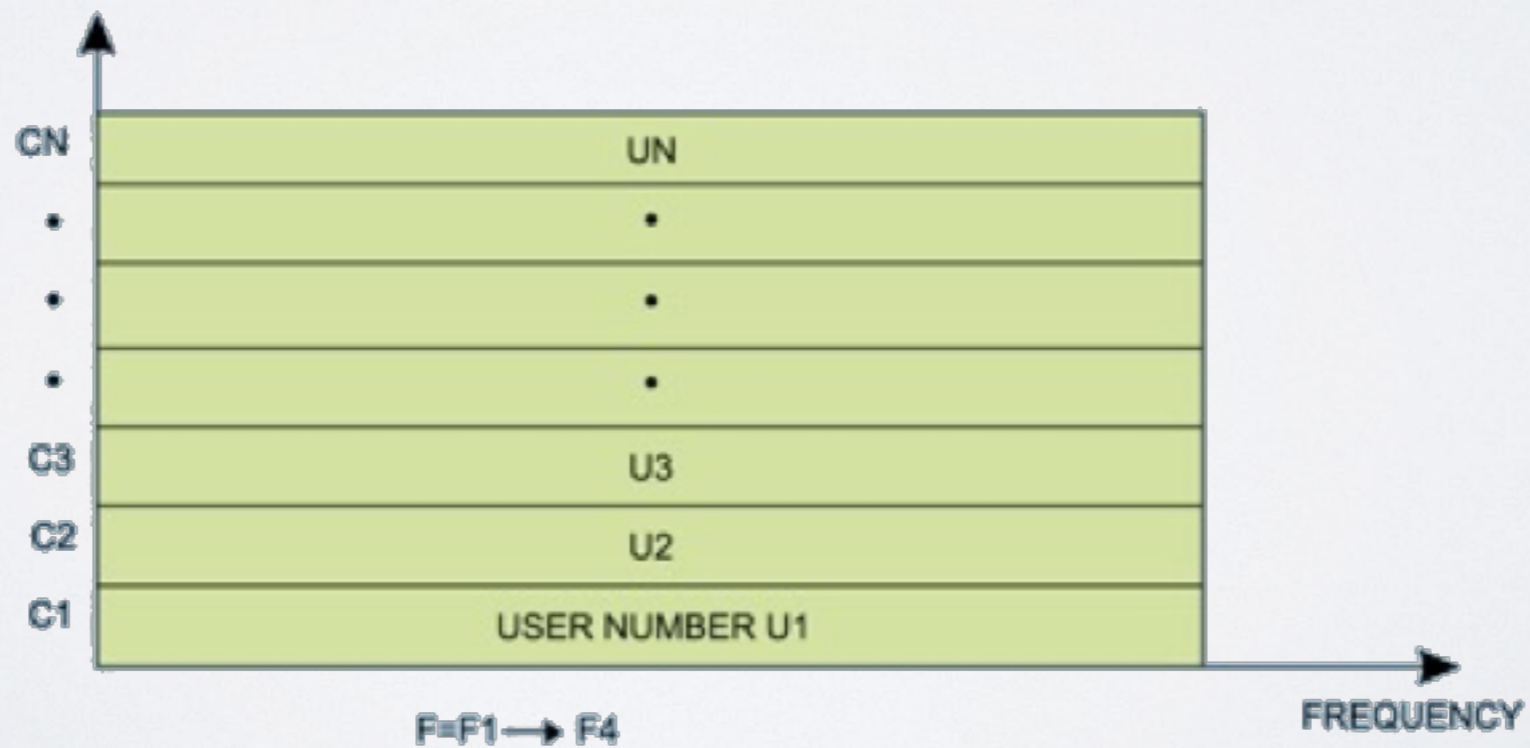
TIME-DIVISION MULTIPLE-ACCESS



PSEUDO RANDOM NOISE (PN CODES)

CHANNEL ID=FREQUENCY SLOT ID+TIME SLOT ID

CODE-DIVISION MULTIPLE-ACCESS

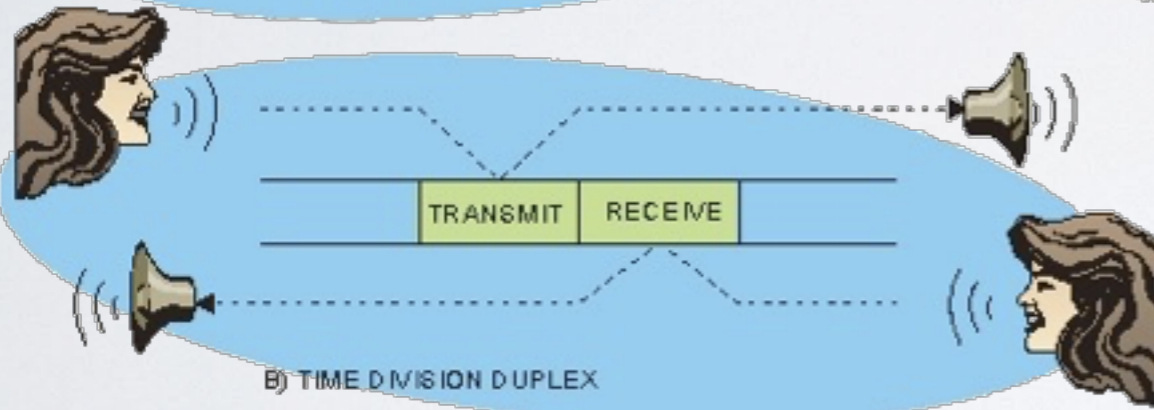


ΚΑΝΑΛΙΑ

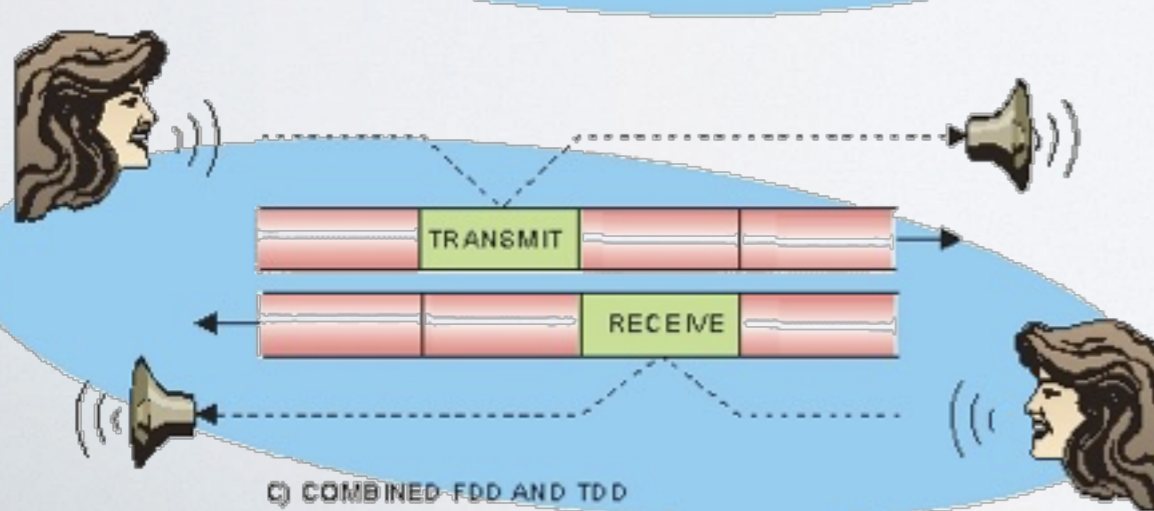
- Κάθε χρήστης χρειάζεται δύο κανάλια:
 - Ευθύ κανάλι (forward channel):
Επικοινωνία από το ΣΒ στο χρήστη.
 - Ανάστροφο κανάλι (reverse channel):
Επικοινωνία από το χρήστη στο ΣΒ.



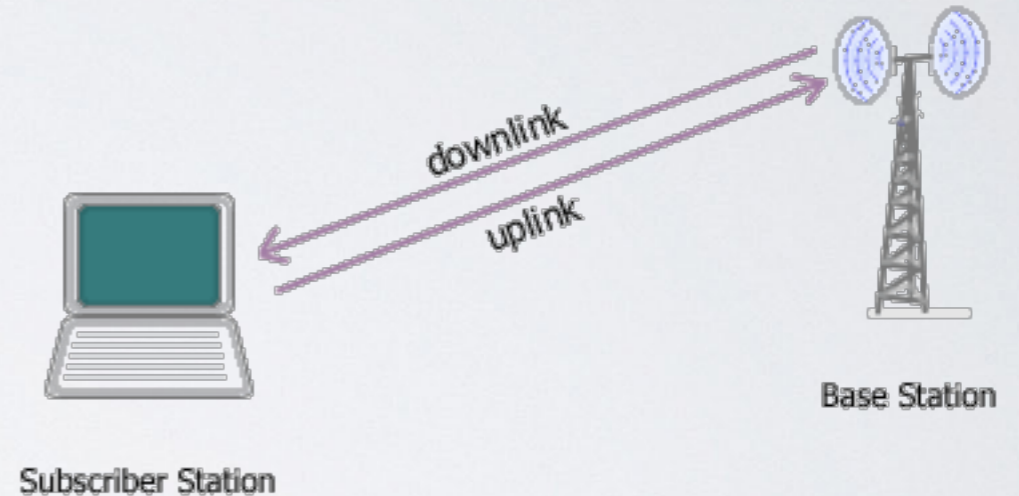
A) FREQUENCY DIVISION DUPLEX



B) TIME DIVISION DUPLEX



C) COMBINED FDD AND TDD



- Τα δύο κανάλια τοποθετούνται σε διαφορετικές συχνότητες (Frequency Division Duplexing) ή σε διαφορετικές χρονικές οπές (Time Division Duplexing)

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΥΨΕΛΩΤΗΣ ΙΔΕΑΣ

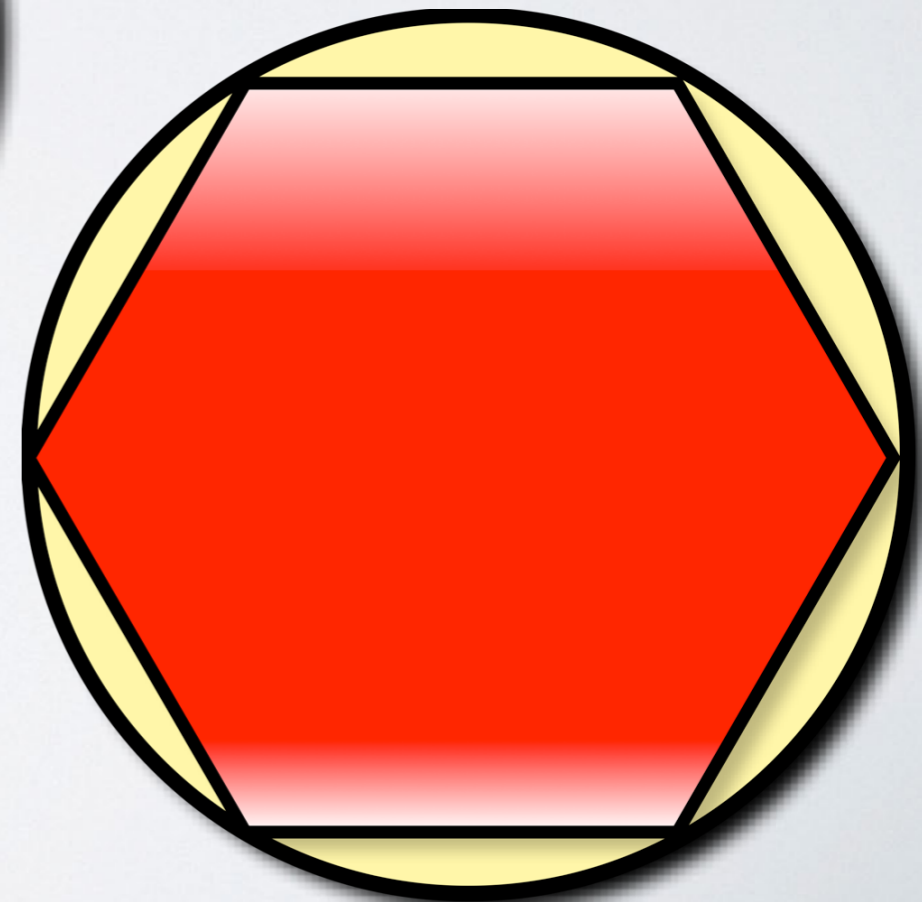
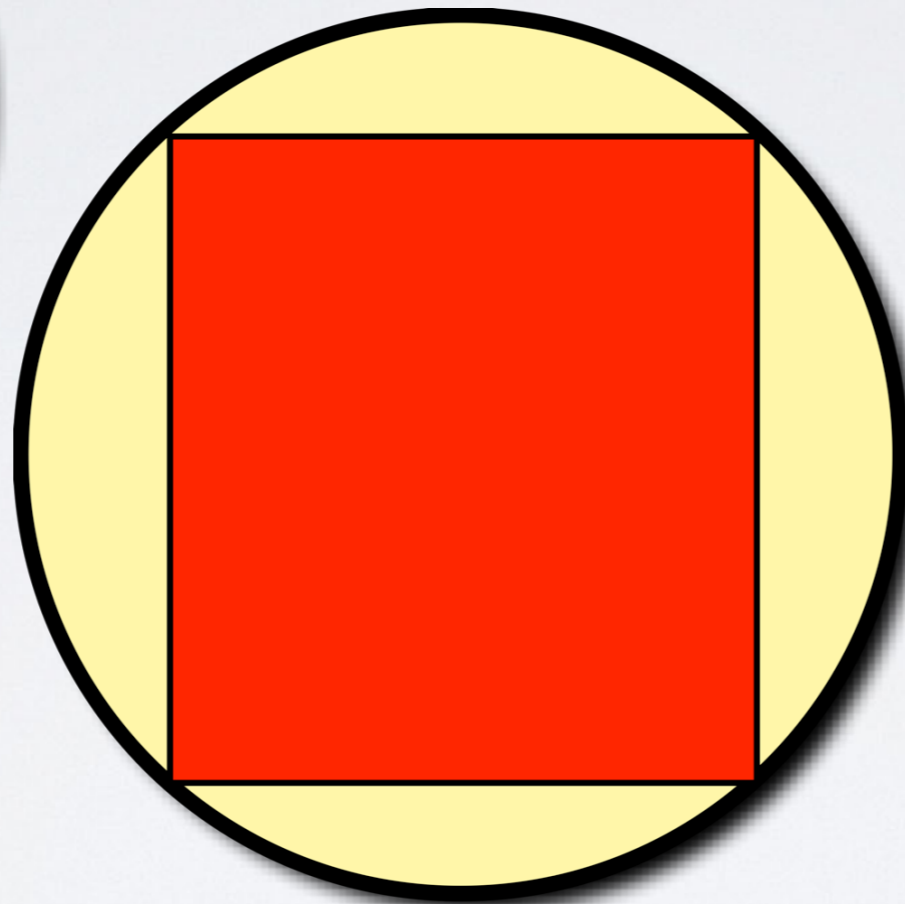
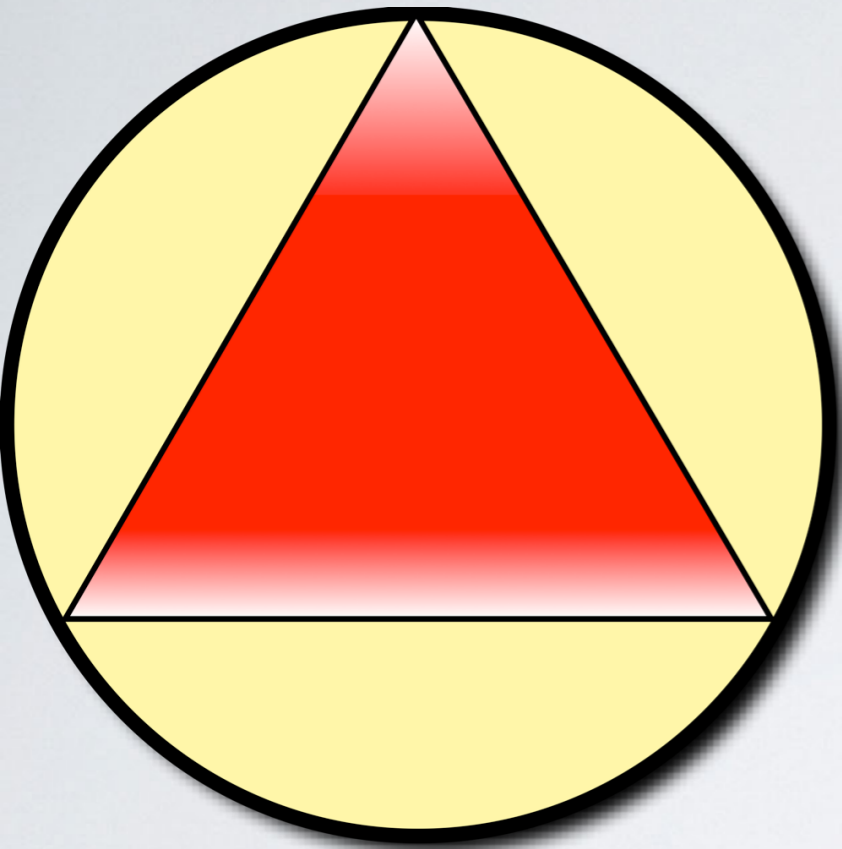
- Κυψέλη: είναι η γεωγραφική περιοχή που εξυπηρετείται επικοινωνιακά από ένα Σταθμό Βάσης (ΣΒ).

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗ
ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΑΠΟ ΕΝΑΝ
ΣΤΑΘΜΟ ΒΑΣΗΣ

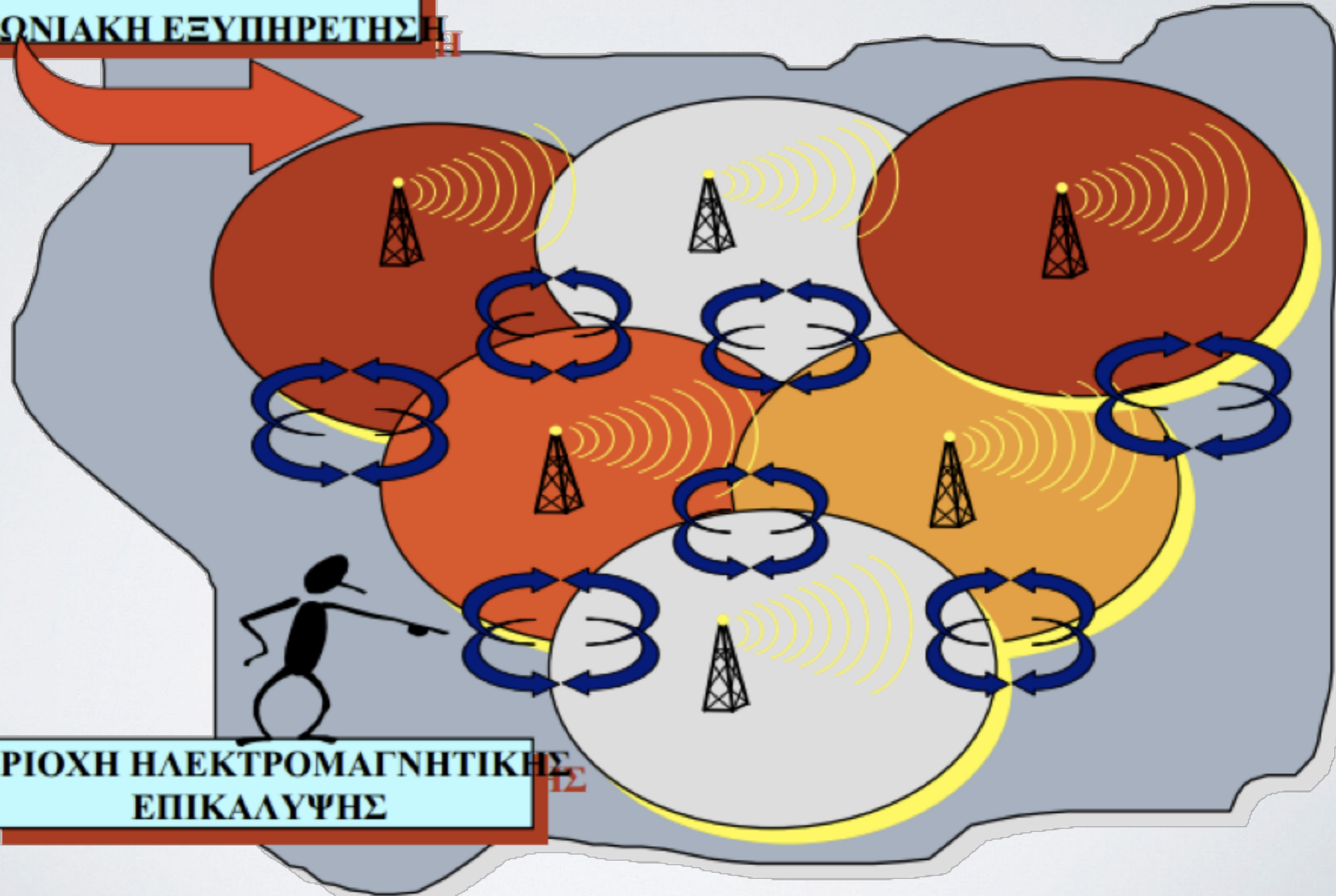


ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΨΕΛΩΤΗ ΚΑΛΥΨΗ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ



ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΚΥΨΕΛΩΝ ΟΤΑΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ Η ΚΥΚΛΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ

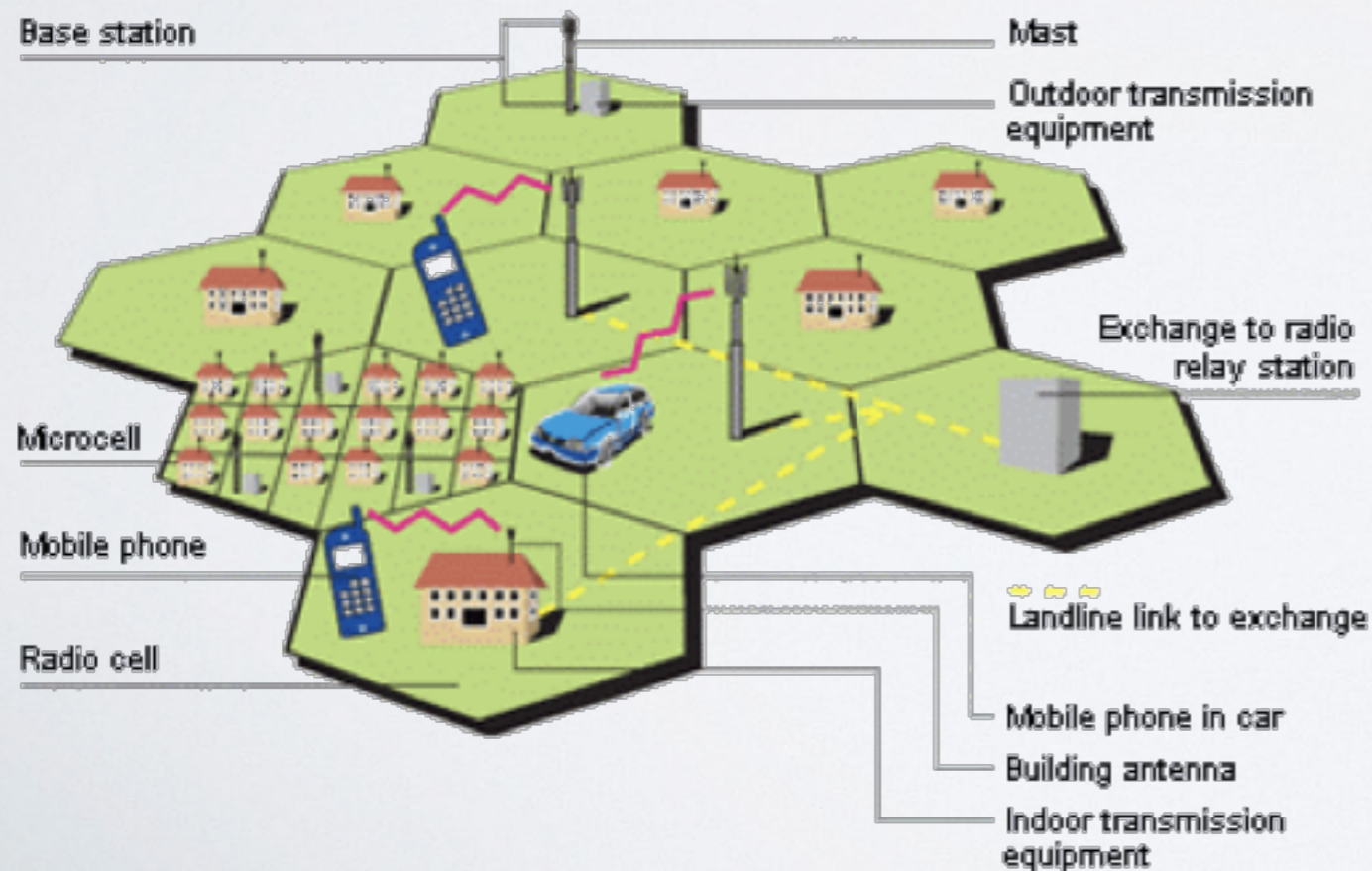
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΥΠΟ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ



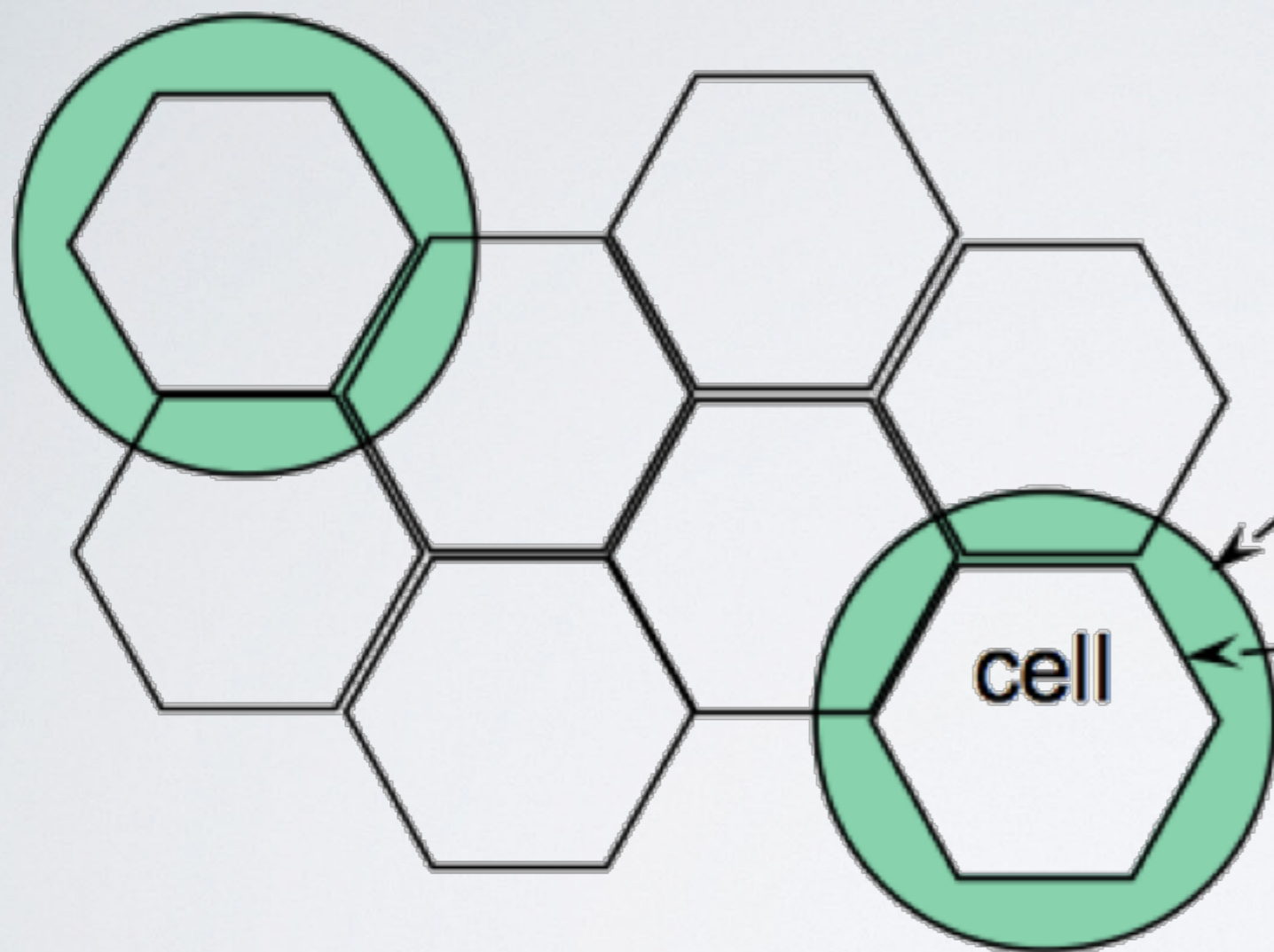
ΠΕΡΙΟΧΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ

ΚΥΨΕΛΩΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΜΙΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕ ΚΑΝΟΝΙΚΑ ΕΞΑΓΩΝΑ

- Γιατί επιλέγεται η χρήση κανονικών εξαγώνων;
- Το εξάγωνο έχει την ιδιότητα να καλύπτει πλήρως μία περιοχή χωρίς κενά.



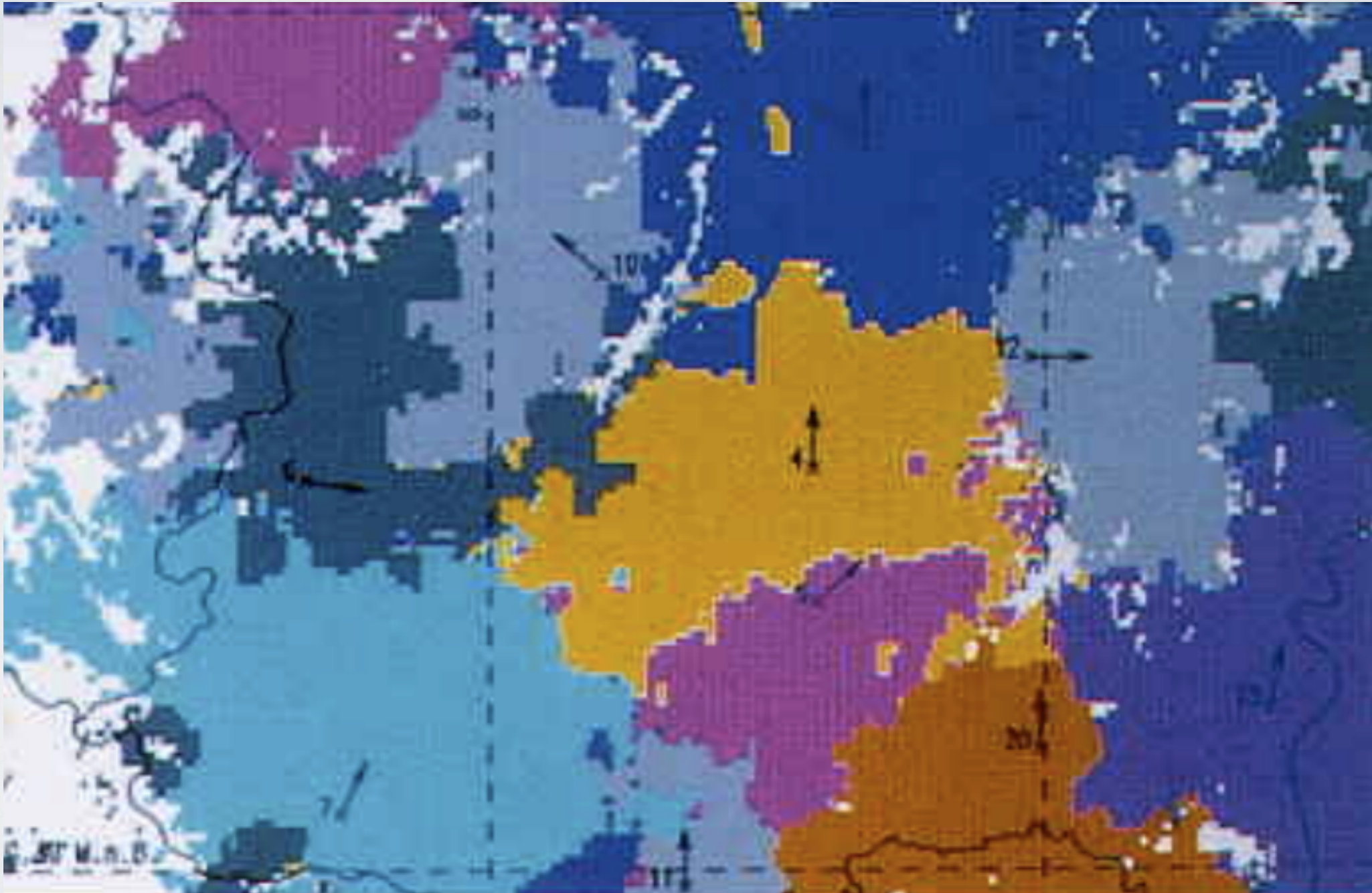
ΑΛΛΑ...



Πιθανό
πρακτικό
σχήμα-εξαιτίας
διαγράμματος
ακτινοβολίας

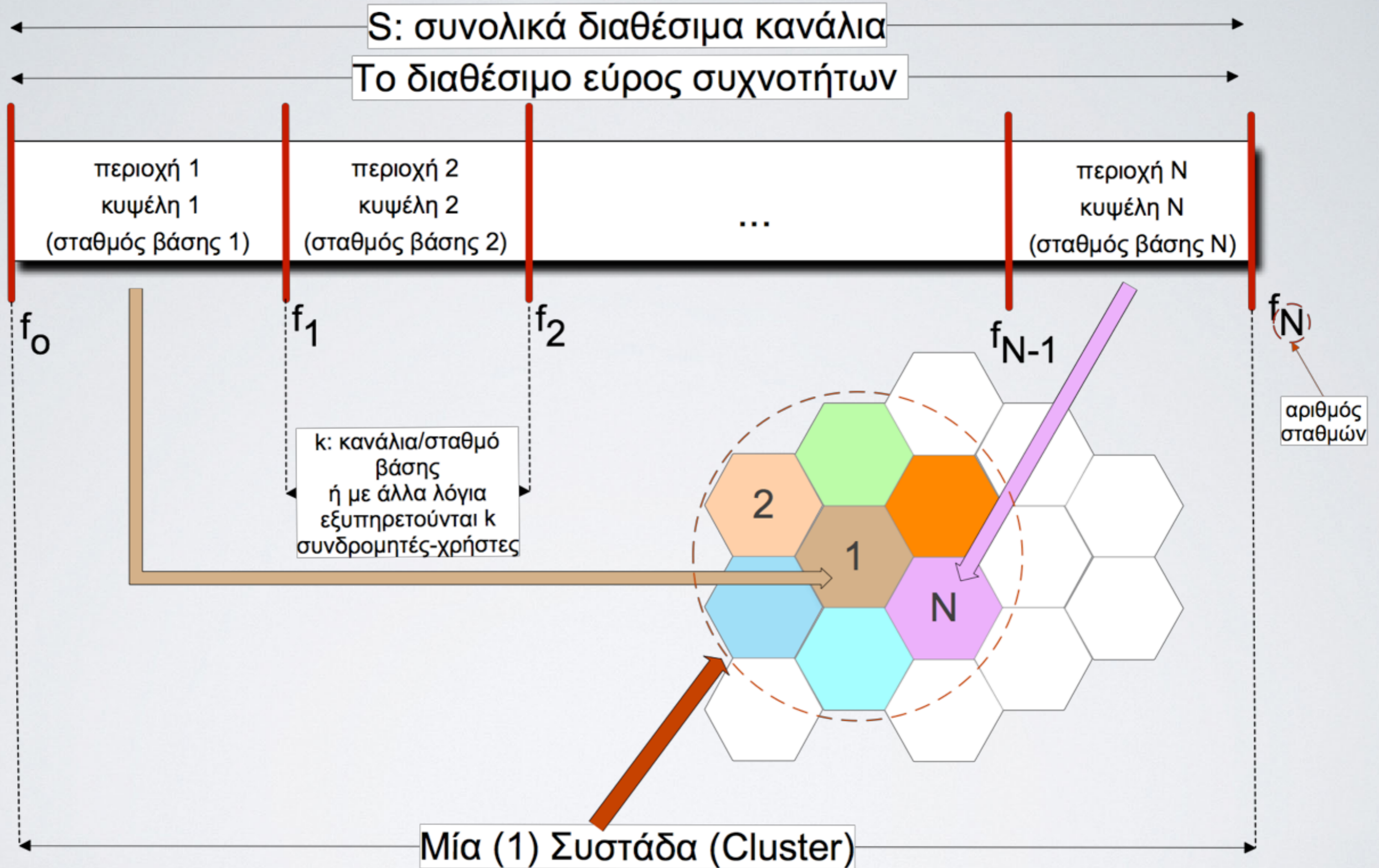
Ιδανικό σχήμα
κάλυψης

ΚΥΨΕΛΩΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΜΙΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ



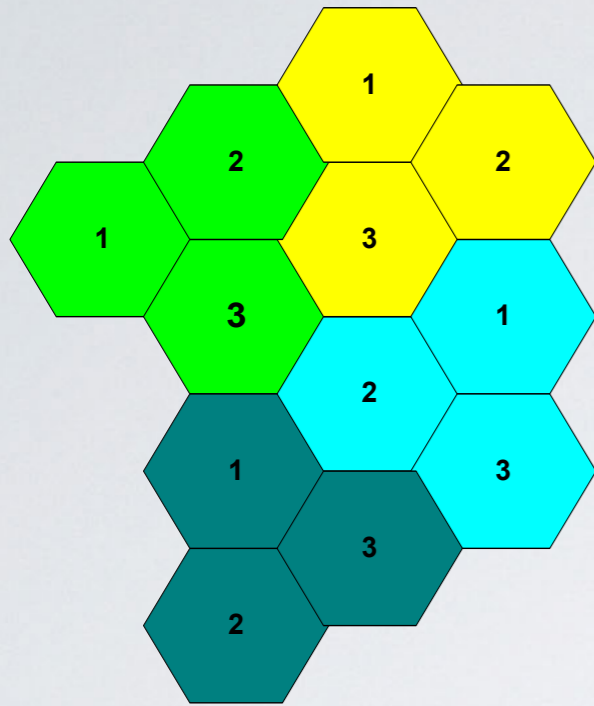
- Source: Siemens TORNADO D Cellular Planning Tool

ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

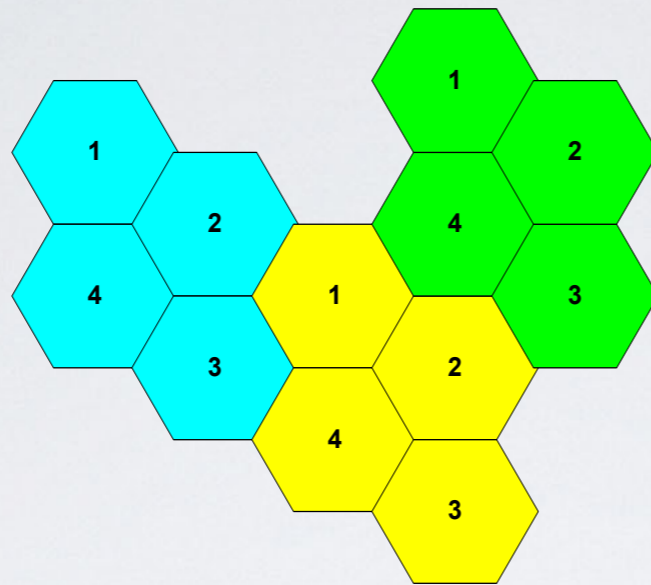


- Οι ίδιες συχνότητες επαναχρησιμοποιούνται σε διαφορετικές ζώνες (κυψέλες) της γεωγραφικής περιοχής, που θέλουμε να καλύψουμε.

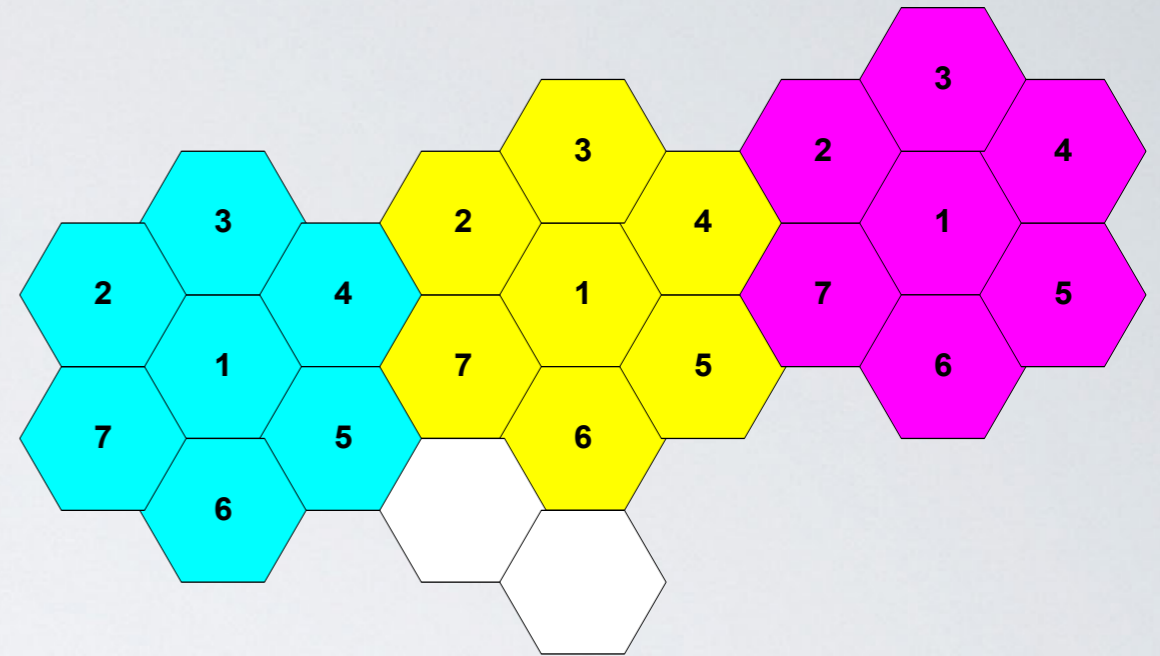
ΣΥΣΤΑΔΕΣ (CLUSTERS)



Τάξη Συστάδας: 3



Τάξη Συστάδας: 4

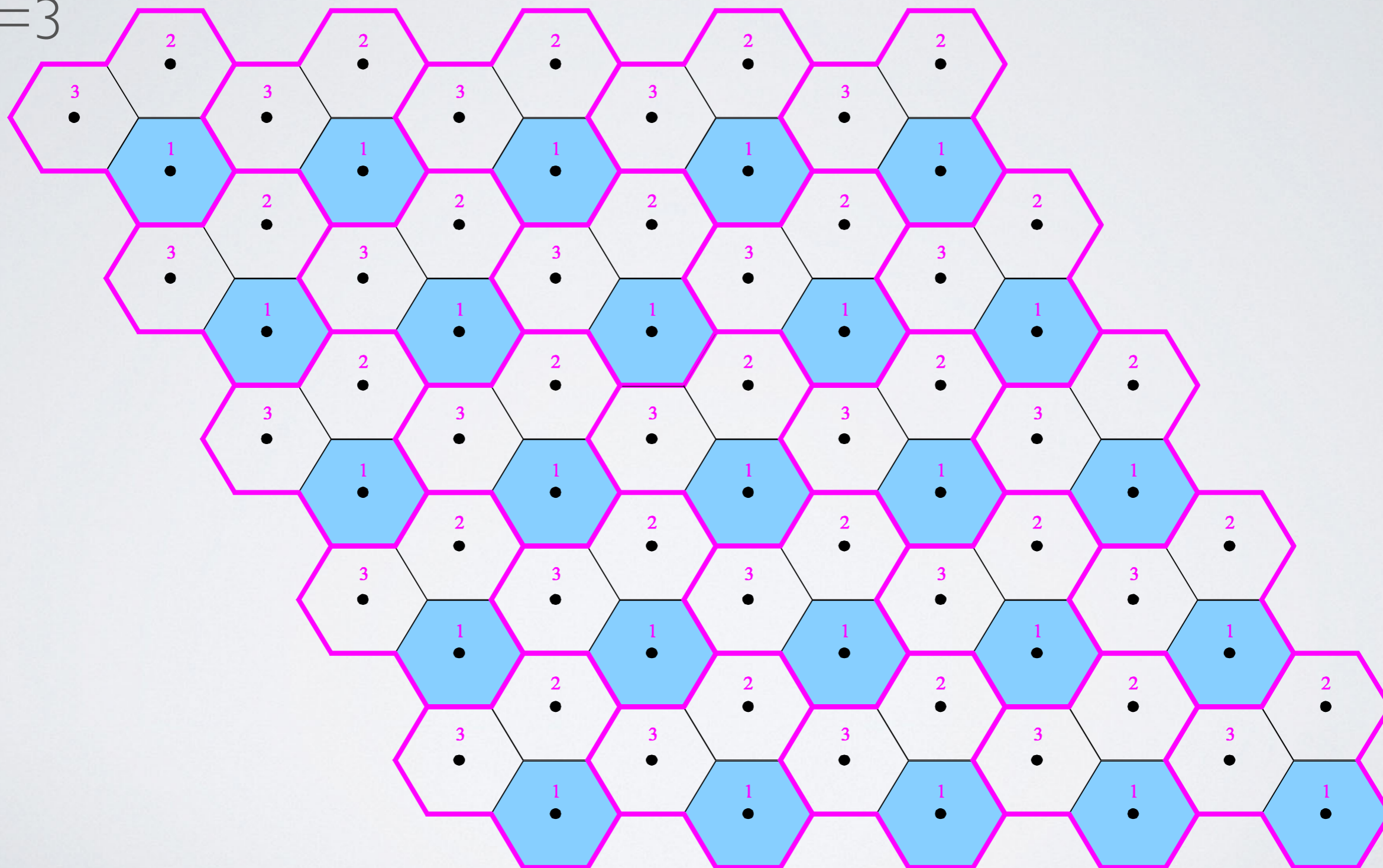


Τάξη Συστάδας: 7

- Η επαναχρησιμοποίηση των ίδιων συχνοτήτων σε μια γεωγραφική περιοχή, διασφαλίζεται με ειδικούς κανόνες, ώστε να αποφευχθεί η Ομοκαναλική Παρεμβολή.

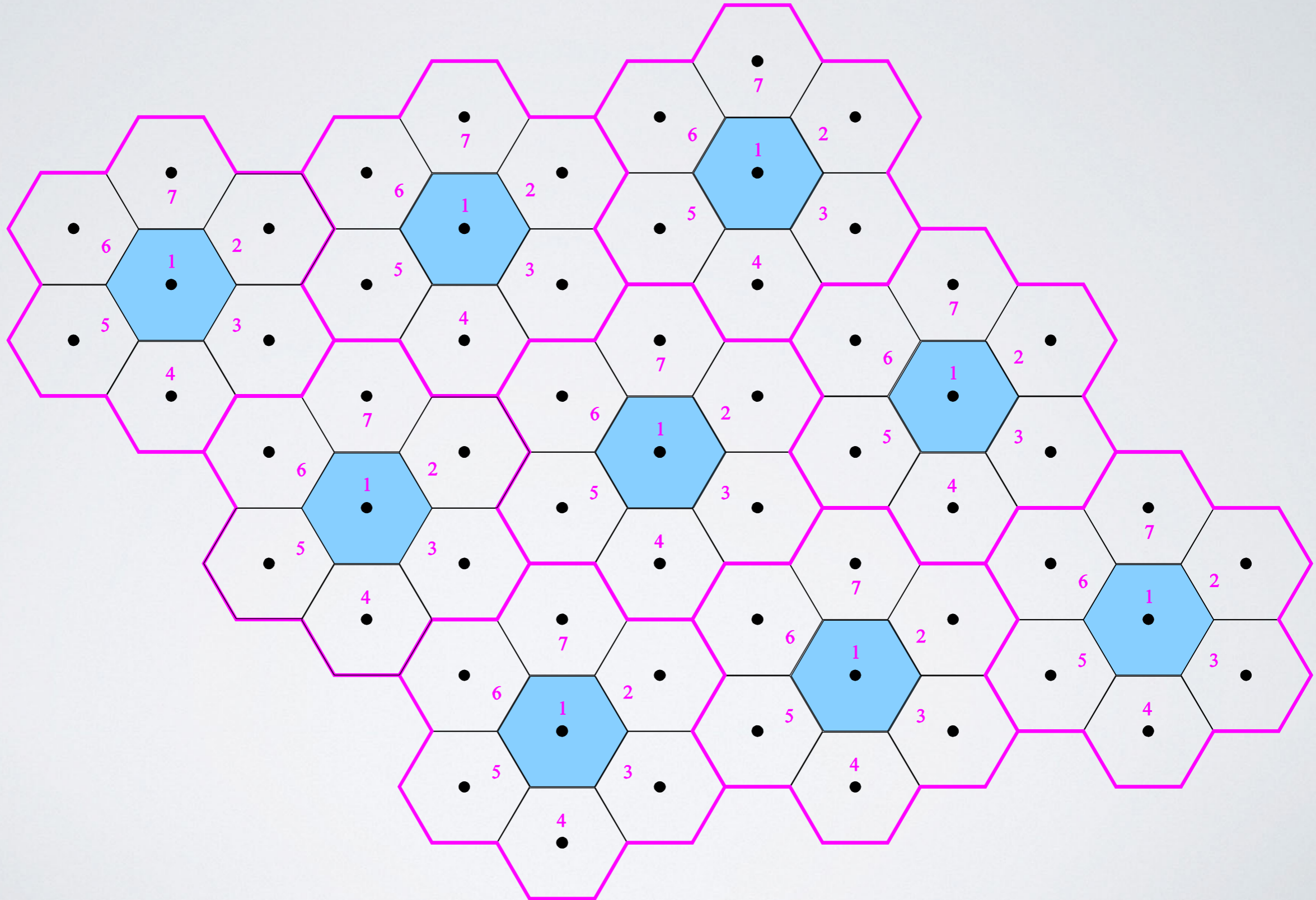
ΣΧΗΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

• $N=3$



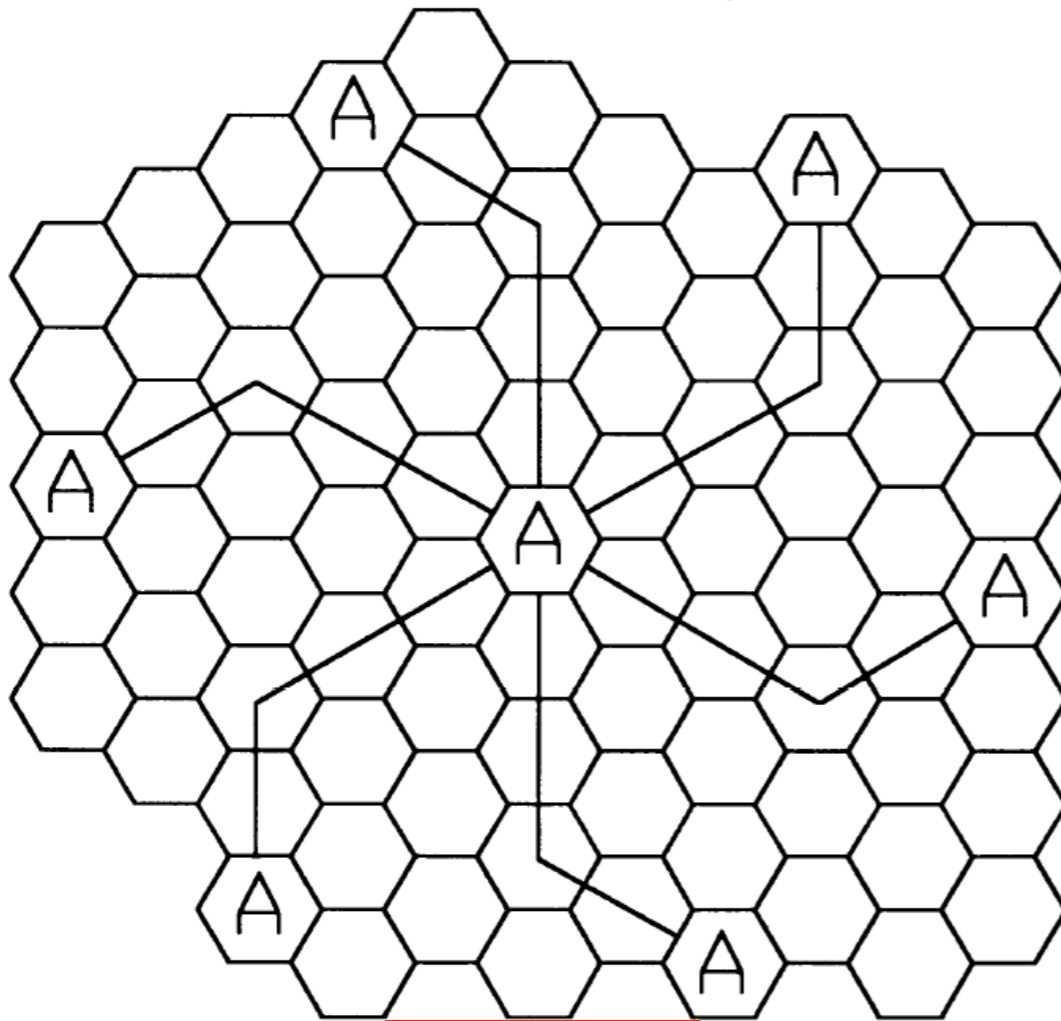
ΣΧΗΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

• $N=7$



ΠΟΙΕΣ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΕΠΙΤΡΕΠΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ Ν;

Ερώτημα: ποιες είναι οι επιτρεπτές τιμές για το Ν;



Όλες οι τιμές της μορφής $N=i^2+ij+j^2$ $i \geq j$

• Ομοκαταλκικοί γείτονες

- Μετακίνηση κατά i κυψέλες
- Στροφή κατά 60°
- Μετακίνηση κατά j κυψέλες

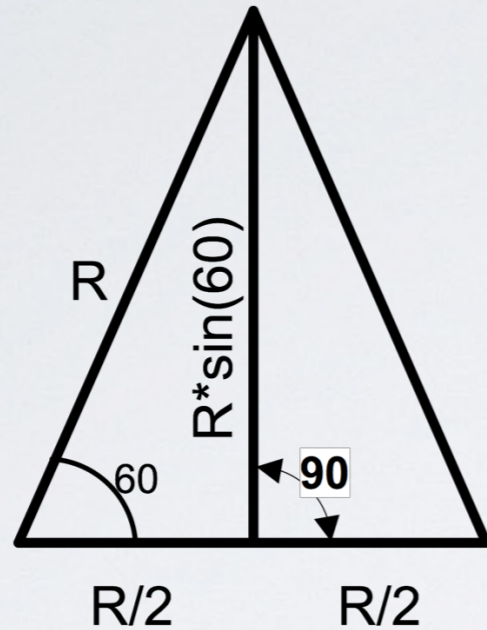
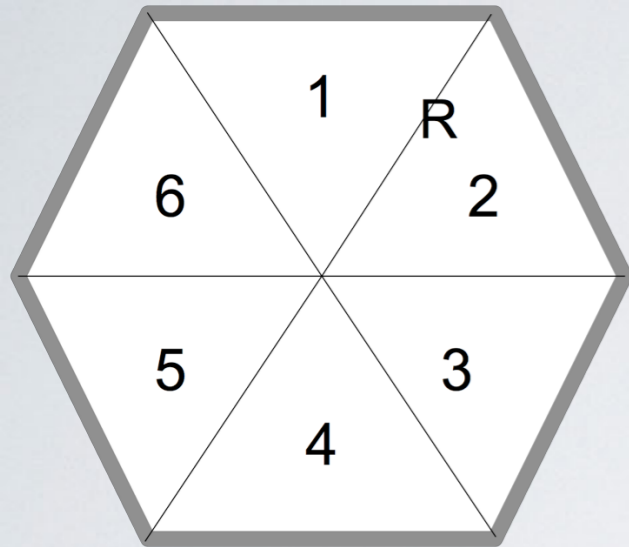
Παράδειγμα

$$i=3$$

$$j=2$$

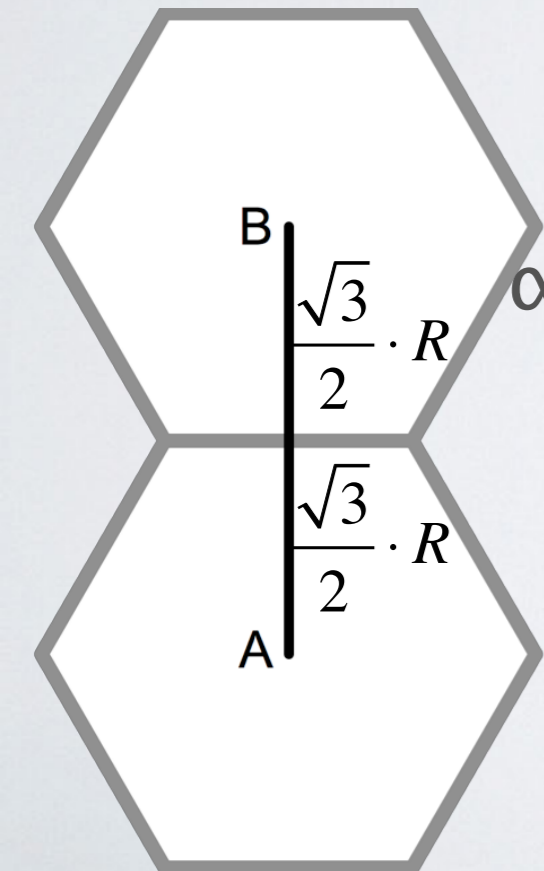
$$N=19$$

ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΤΟΥ $N = i^2 + ij + j^2$



$$S_{\text{ισοπλευρου-τριγωνου}} = \frac{1}{2} R \frac{\sqrt{3}}{2} R = \frac{\sqrt{3}}{4} R^2$$

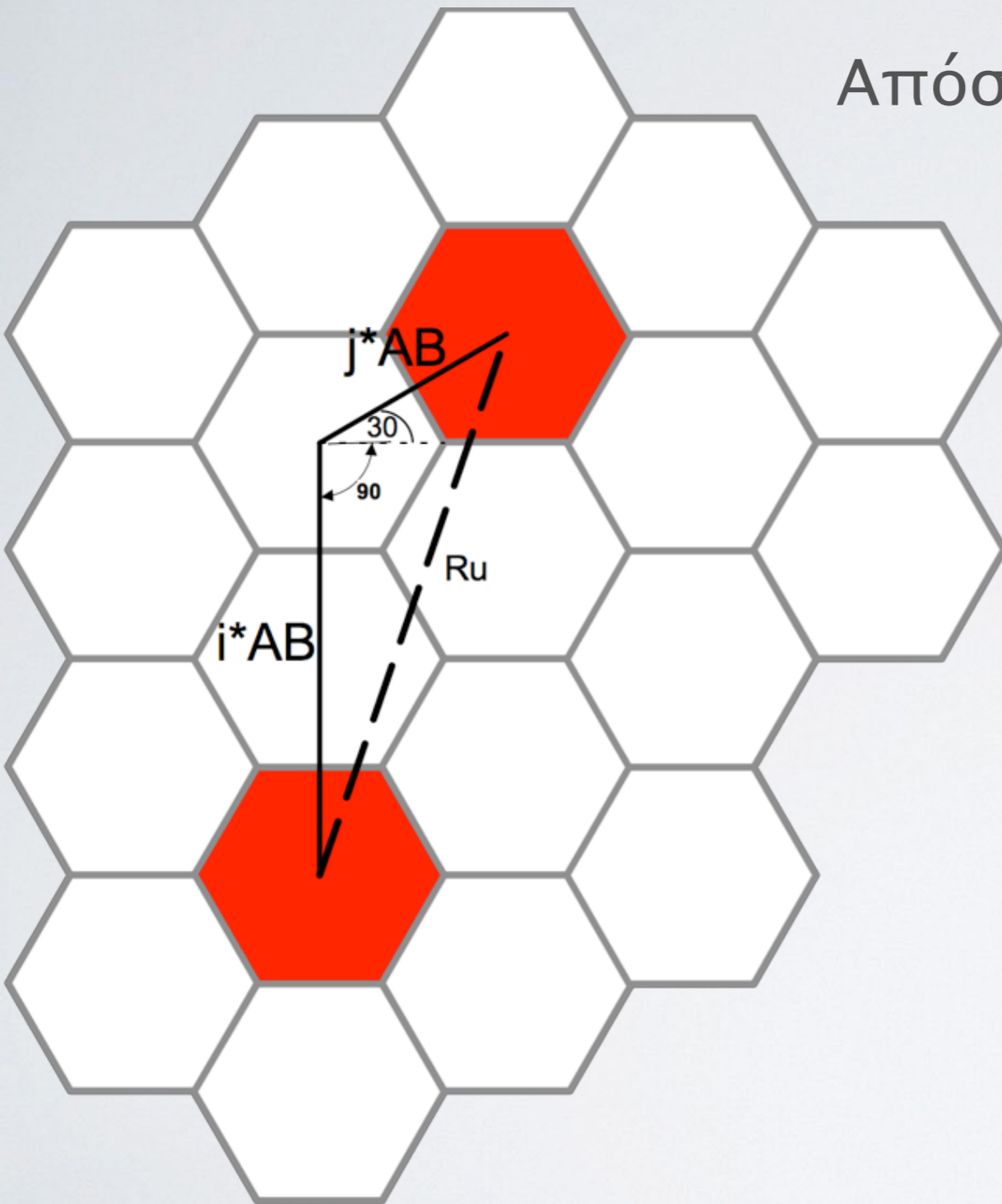
$$S_{\text{εξαγωνου}} = 6 \cdot S_{\text{ισοπλευρου-τριγωνου}} = \frac{6\sqrt{3}}{4} R^2$$



απόσταση μεταξύ των κέντρων των γειτονικών κυψέλων

$$AB = 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot R = \sqrt{3}R$$

ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΤΟΥ $N = i^2 + ij + j^2$



Απόσταση μεταξύ κέντρων ομοκαταλικών
κυψελών (R_u)

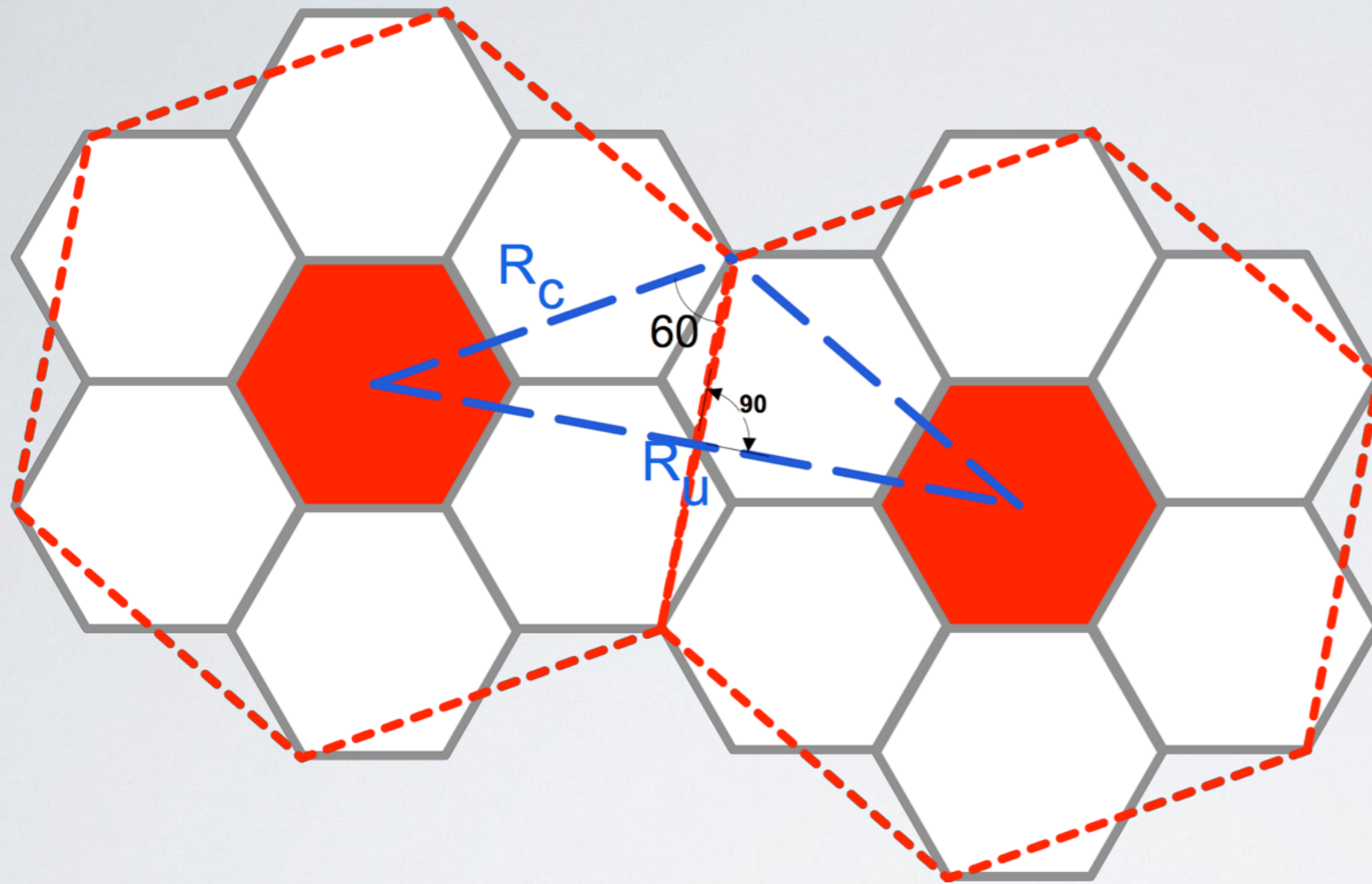
Από νόμο συνημιτόνου:

$$R_u = \sqrt{i^2 + j^2 - 2ij \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right)} \cdot AB$$

$$R_u = \sqrt{i^2 + j^2 + 2ij \cos\left(\frac{\pi}{3}\right)} \sqrt{3}R$$

$$R_u = \sqrt{i^2 + j^2 + ij\sqrt{3}}R$$

ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΤΟΥ $N = i^2 + ij + j^2$



Ακτίνα συστάδας (R_c):

$$\frac{\frac{1}{2} R_u}{R_c} = \sin(60^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow$$

$$R_c = \frac{R_u}{\sqrt{3}}$$

$$R_c = \sqrt{i^2 + ij + j^2} R$$

Επιφάνεια συστάδας που αποτελείται από N κυψέλες:

$$S_c = N \cdot S_{\text{εξαγωνου}} = N \frac{6\sqrt{3}}{4} R^2 \quad (1)$$

Επιφάνεια συστάδας (με την προσέγγιση του 6-γωνου):

$$S_c = \frac{6\sqrt{3}}{4} R_c^2 = \frac{6\sqrt{3}}{4} (i^2 + ij + j^2) R^2 \quad (2)$$

Από σύγκριση των (1) και (2):

$$N = i^2 + ij + j^2$$

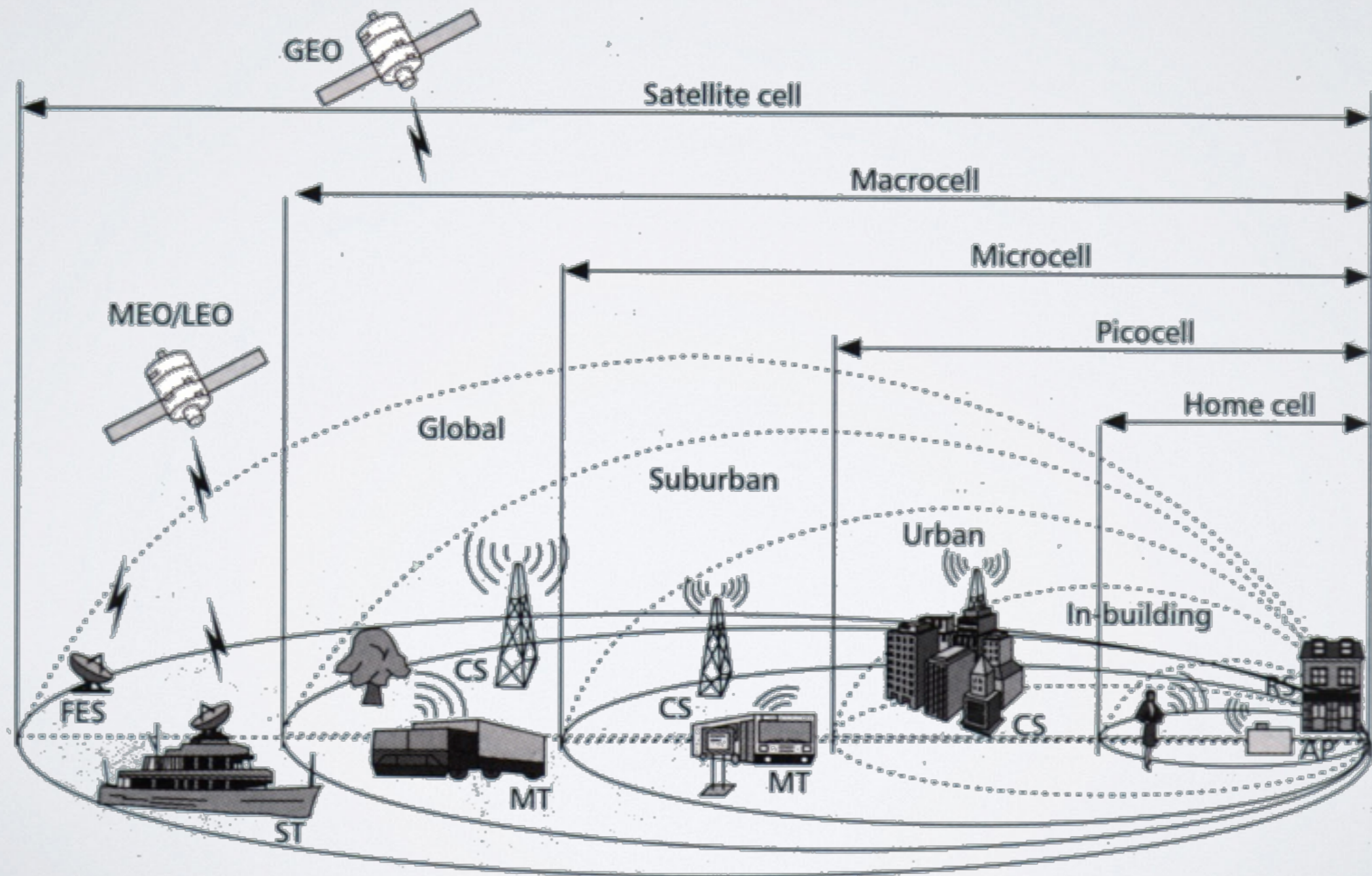
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ
ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ
ΚΥΨΕΛΗΣ

R	Όνομα
1-30 [km]	Macro-cellular
200-2000[m]	Micro-cellular
4-200[m]	Pico-cellular

ΣΥΝΗΘΕΙΣ
ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ N:

N	i	j
1	1	0
3	1	1
4	2	0
7	2	1
9	3	0
12	2	2

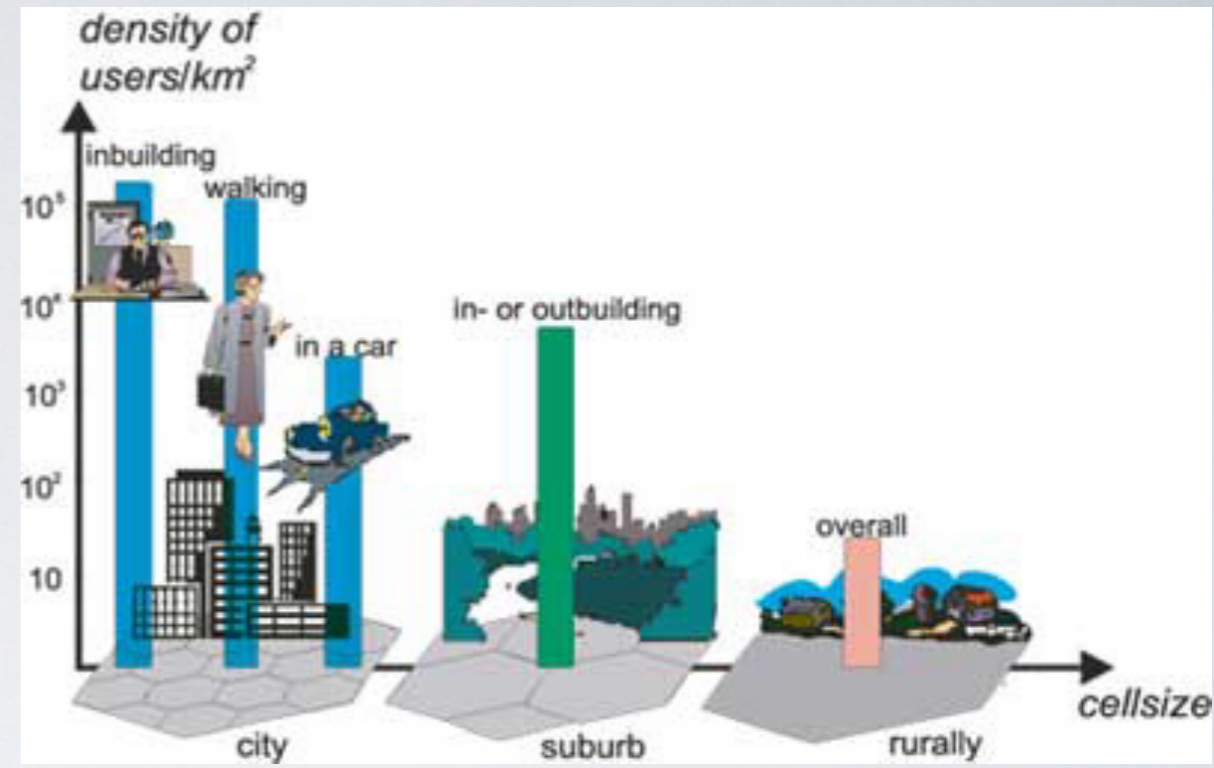
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΚΥΨΕΛΗΣ



ΠΟΙΕΣ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΙΑ ΤΟ Ν

- Καθώς το Ν μεγαλώνει:
 - Οι **συχνότητες** που είναι διαθέσιμες σε κάθε σταθμό βάσης μειώνονται, και συνεπώς μπορούν να εξυπηρετηθούν λιγότεροι χρήστες ανά σταθμό.
 - Οι παρεμβολές μειώνονται (ομοκαναλικές)
- Η σωστή επιλογή του Ν δεν είναι απλή υπόθεση:
 - Τα συστήματα **CDMA** συχνά επιλέγουν **$N=1$** .
 - Τα συστήματα **TDMA/FDMA** συχνά επιλέγουν **$N=4,7,9,12$**

ΧΡΗΣΤΕΣ ΑΝΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ



- Έστω A η επιφάνεια μιας κυψέλης. Οι χρήστες ανά επιφάνεια είναι k/A .
- Μπορούμε να έχουμε απεριόριστα υψηλό αριθμό χρηστών, επιλέγοντας απεριόριστα μικρό μέγεθος κυψέλης.
- Δύο προβλήματα:
 - Οι μεταπομπές γίνονται πιο συχνές για μικρές κυψέλες
 - Όσο μικραίνουν οι κυψέλες, το σχήμα τους γίνεται ολοένα και πιο απρόβλεπτο.

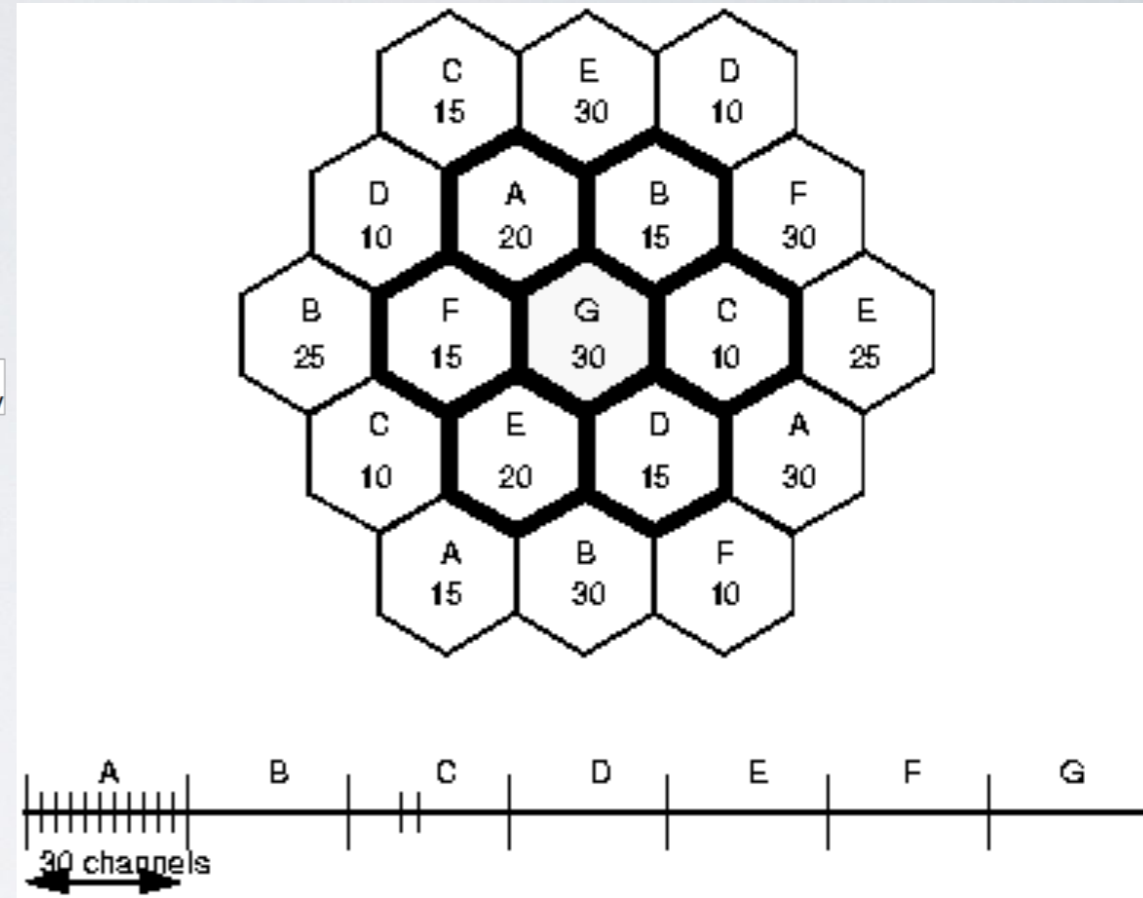
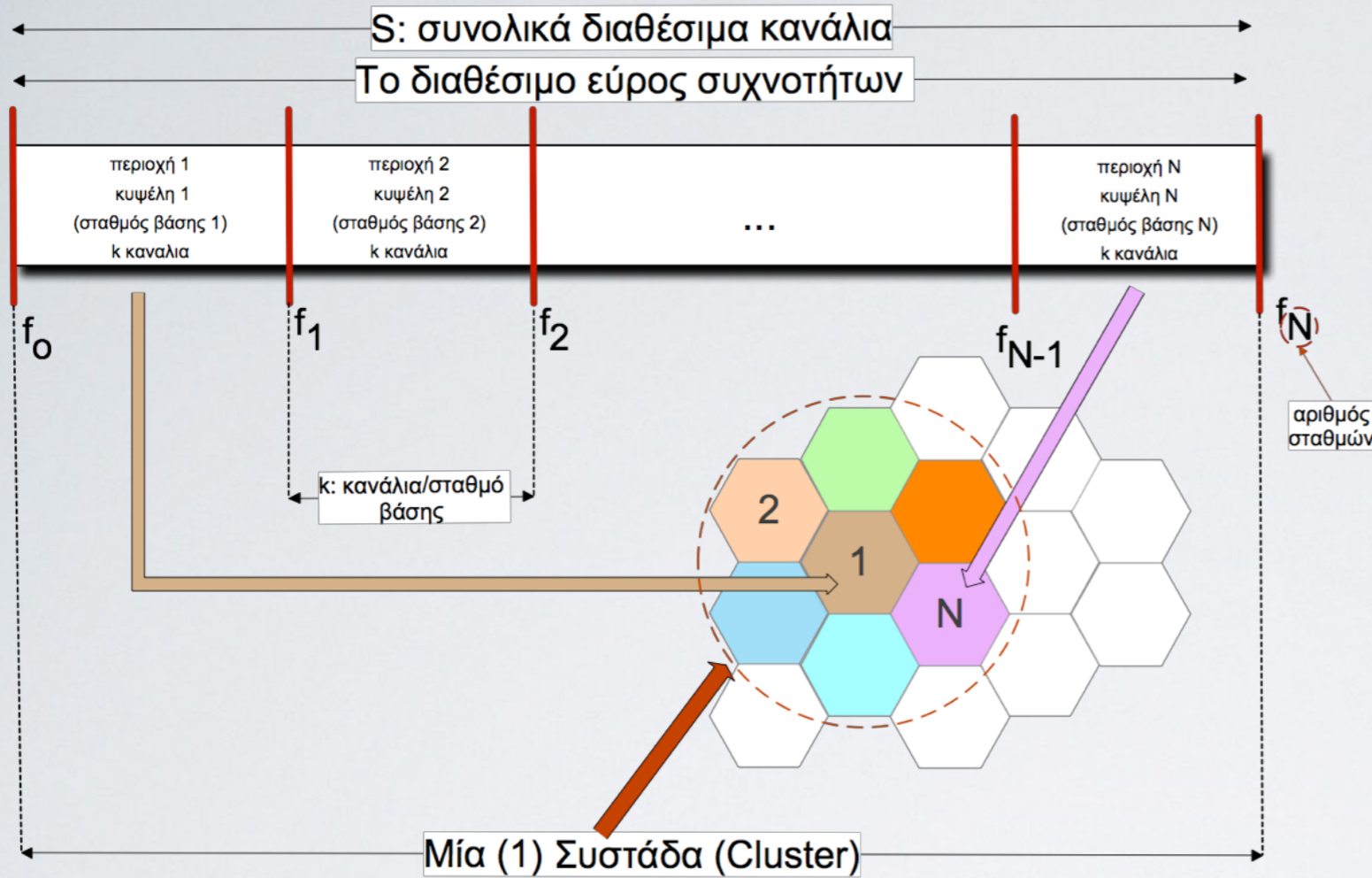
ΕΚΧΩΡΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

```
graph TD; A(ΕΚΧΩΡΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ) --> B(Σταθερή (Fixed Channel Allocation)); A --> C(Δυναμική (Dynamic Channel Allocation));
```

Σταθερή
(Fixed Channel
Allocation)

Δυναμική
(Dynamic Channel
Allocation)

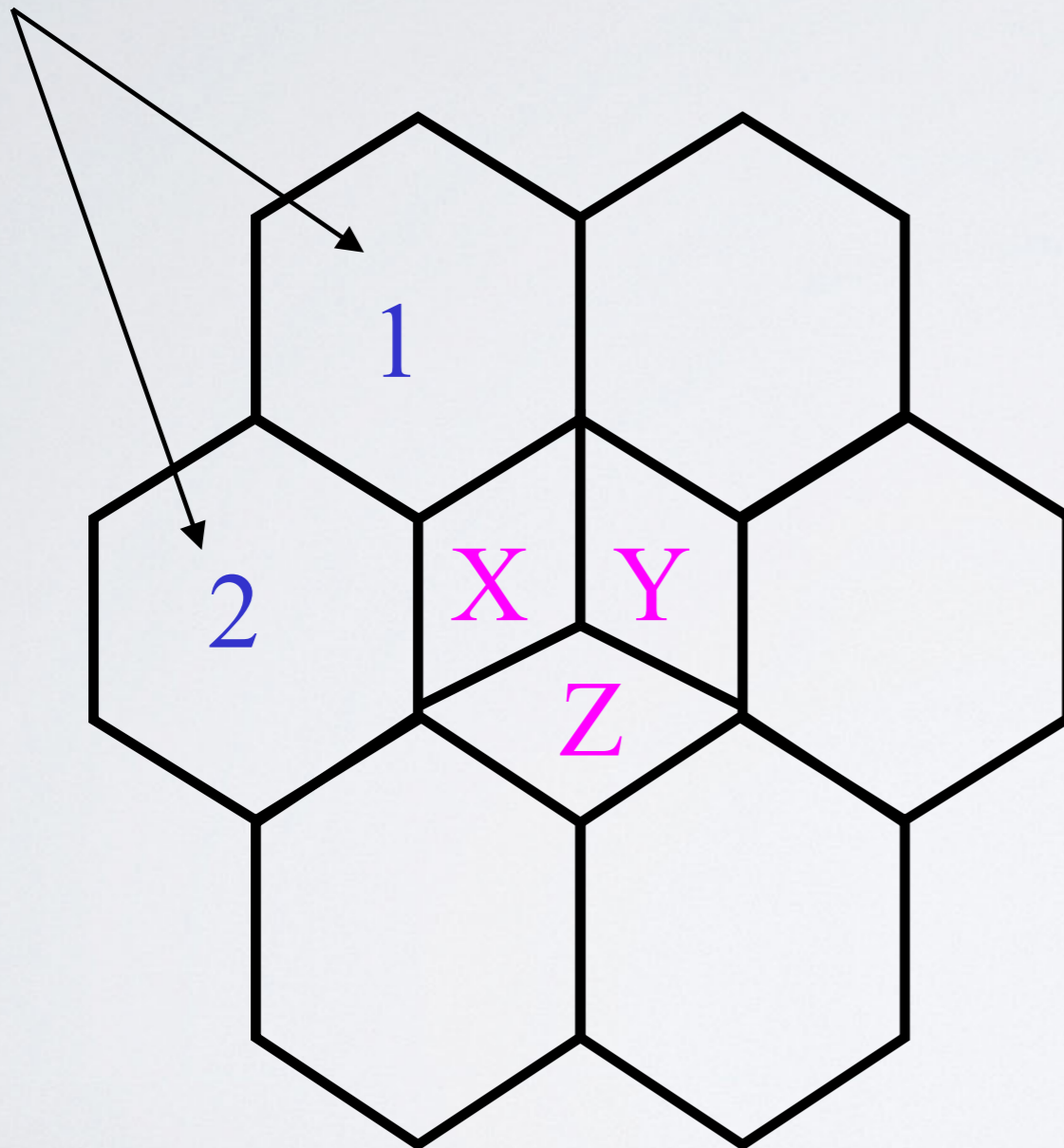
ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΚΧΩΡΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ



- Κάθε ΣΒ λαμβάνει συγκεκριμένο υποσύνολο των διαθέσιμων καναλιών.
- Όταν όλα τα διαθέσιμα κανάλια ενός ΣΒ χρησιμοποιούνται, οι επιπλέον χρήστες, που βρίσκονται στην περιοχή κάλυψης του, δεν εξυπηρετούνται, ακόμη και αν γειτονικοί ΣΒ έχουν διαθέσιμα κανάλια.
 - Βελτίωση: Γειτονικοί ΣΒ μπορούν να δανείζονται/δανείζονται κανάλια.
 - Αυξάνεται ο κίνδυνος παρεμβολών
 - Ο σχεδιασμός του δικτύου περιπλέκεται.

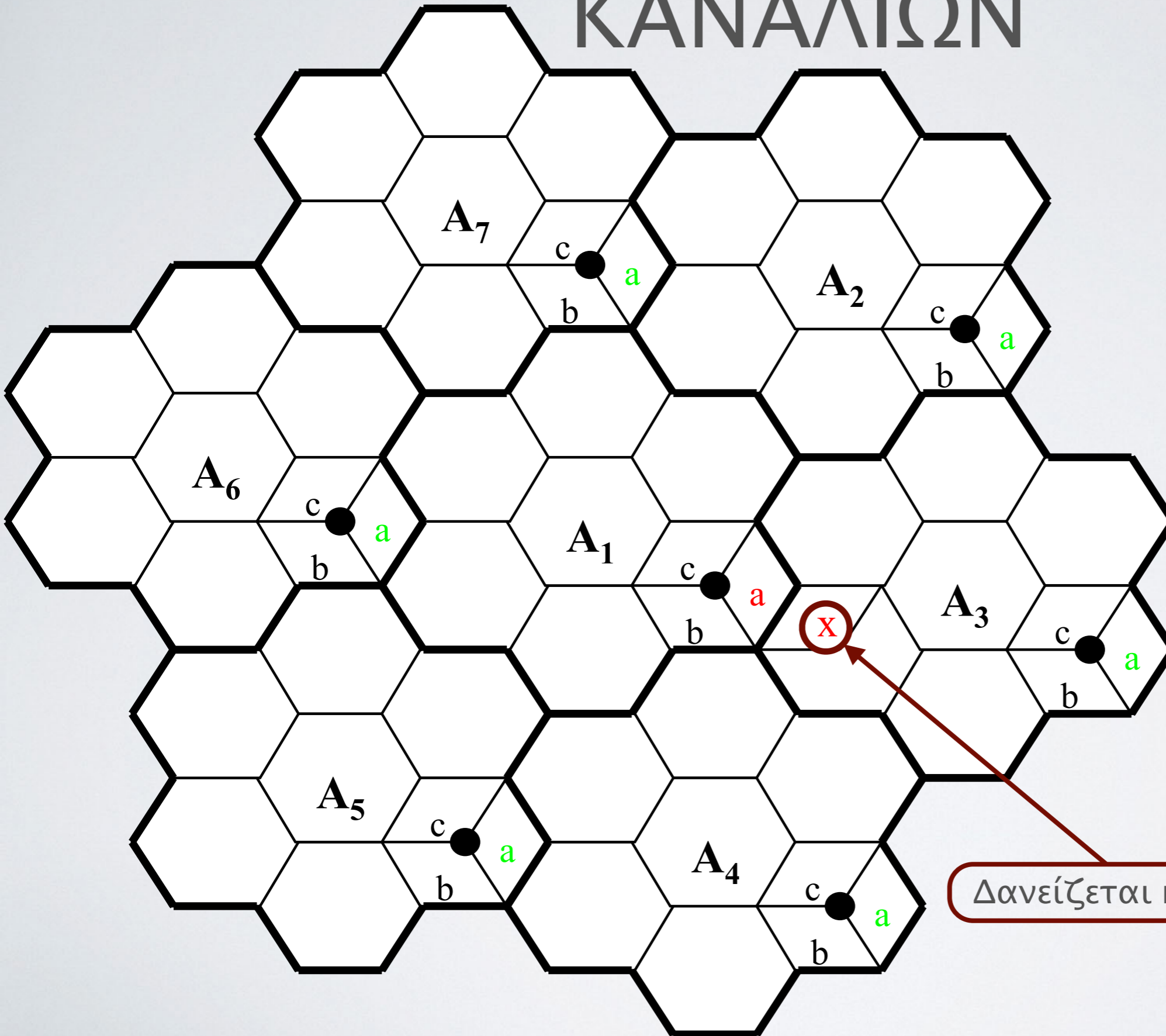
ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΑΝΕΙΣΜΟΥ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Κυψέλες που επιτρέπουν δανεισμό



- Έστω ότι γίνεται αίτημα σύνδεσης από τερματικό που βρίσκεται στην περιοχή X, αλλά δεν υπάρχει διαθέσιμο κανάλι στην X.
- Τότε η X μπορεί να δανειστεί κανάλια από τις κυψέλες 1 και 2.

ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΑΝΕΙΣΜΟΥ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ



Δανείζεται κανάλια από το a

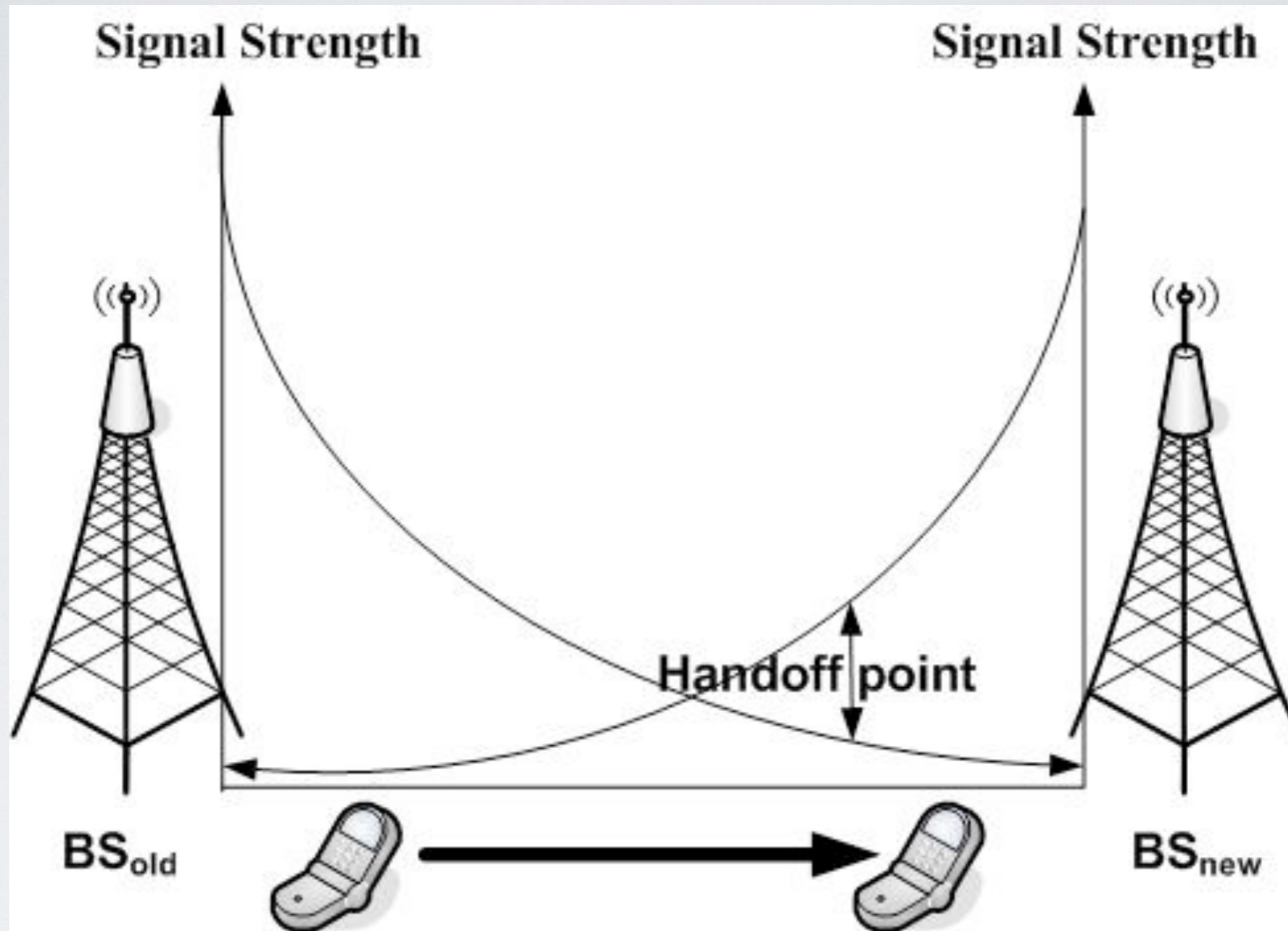
ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΑΝΕΙΣΜΟΥ ΓΕΙΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Όνομα Τεχνικής	Περιγραφή
Απλός δανεισμός (Simple Borrowing - SM)	Αν όλα τα κανάλια που έχουν ανατεθεί σε μία κυψέλη χρησιμοποιούνται, τότε η κυψέλη αυτή, όταν δεχτεί νέο αίτημα σύνδεσης μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποιο κανάλι από γειτονική κυψέλη.
Δανεισμός από τον “πλουσιότερο” (Borrowing from the richest - SBR)	Στην περίπτωση αυτή η κυψέλη δανείζεται από την γειτονική κυψέλη που έχει τα περισσότερα διαθέσιμα κανάλια.
Βασικός αλγόριθμος (Basic Algorithm - BA)	Είναι μία βελτιωμένη έκδοση του SBR, η οποία λαμβάνει υπόψιν την ύπαρξη διαθέσιμων καναλιών γειτονικών κυψελών που οι τελευταίες δεν είναι “διατεθημένες” να δανείσουν. Τα κανάλια αυτά ορίζονται σαν κλειδομένα. Η τεχνική αυτή στοχεύει στο να μειώσει την μελλοντική πιθανότητα μπλοκαρίσματος που οφείλεται κατά κύριο λόγο στον δανεισμό καναλιών.
Βασικός αλγόριθμος με δυνατότητα ανακατανομής (Basic algorithm with reassignment - BAR)	Ο αλγόριθμος αυτός επιτρέπει την μεταφορά του αιτήματος από κανάλι που ο ΣΒ έχει δανειστεί από γειτονικό ΣΒ, σε κανάλι του ΣΒ, όταν ένα από τα κανάλια του απελευθερωθεί.
Δανεισμός του πρώτου διαθέσιμου (Borrow First Available - BFA)	Χρησιμοποιεί το πρώτο διαθέσιμο υποψήφιο για δανεισμό κανάλι που βρίσκει.

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΚΧΩΡΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (DYNAMICAL CHANNEL ALLOCATION - DCA)

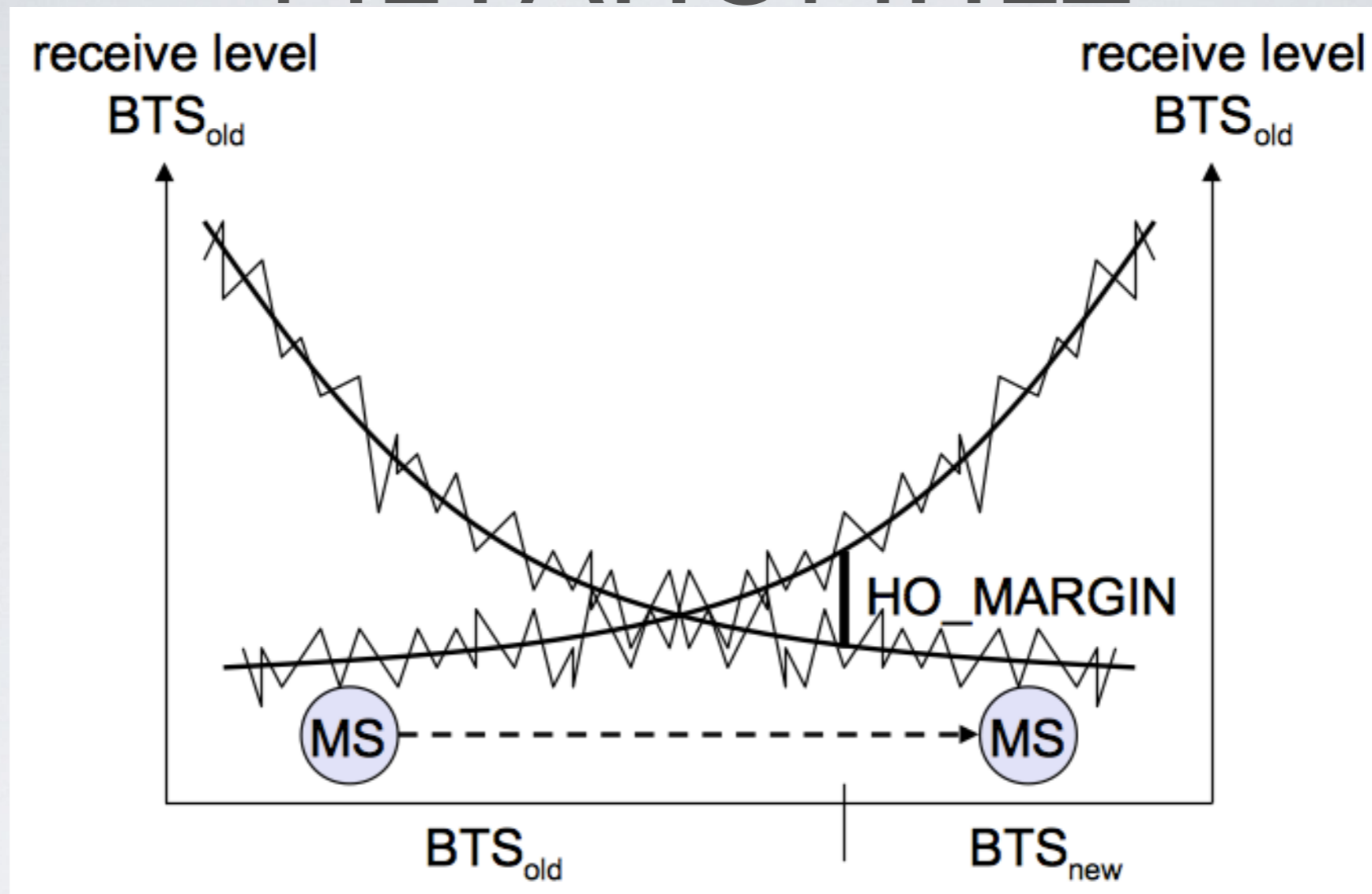
- Τα διαθέσιμα κανάλια δεν αντιστοιχούν σε ΣΒ.
- Όποτε έρχεται ένας χρήστης, το σύστημα προσπαθεί να βρει ένα κανάλι.
- Πιο ευέλικτη μέθοδος, αλλά και πολύ πιο δύσκολη στην υλοποίηση.
- Είδη τεχνικών DCA:
 - Συγκεντρωτικές (centralized)
 - Ένας ελεγκτής επιλέγει σε ποια κυψέλη θα εκχωρήσει το κάθε κανάλι τη στιγμή που υπάρχει ένα νέο αίτημα.
 - Κατανεμημένες (distributed)
 - Χρησιμοποιούν ένα πλήθος ελεγκτών που είναι διασκορπισμένοι στο δίκτυο.
 - Τον ρόλο των ελεγκτών αυτών των παίζουν συνήθως τα Mobile Switching Centers (MSC).
- Γενικά οι centralized DCA μπορούν να παρέχουν τις βέλτιστες επιδόσεις, αλλά εξαιτίας της υπολογιστικής πολυπλοκότητας κατά την επικοινωνία των ΣΒ, θεωρούνται μη πρακτικοί.

ΜΕΤΑΠΟΜΠΕΣ (HANDOFF-HANDSOVER)



- Η διαδικασία μεταφοράς μιας κλήσης ή δεδομένων από έναν σταθμό βάσης σε έναν άλλον, με σκοπό την αποφυγή του τερματισμού της επικοινωνίας.

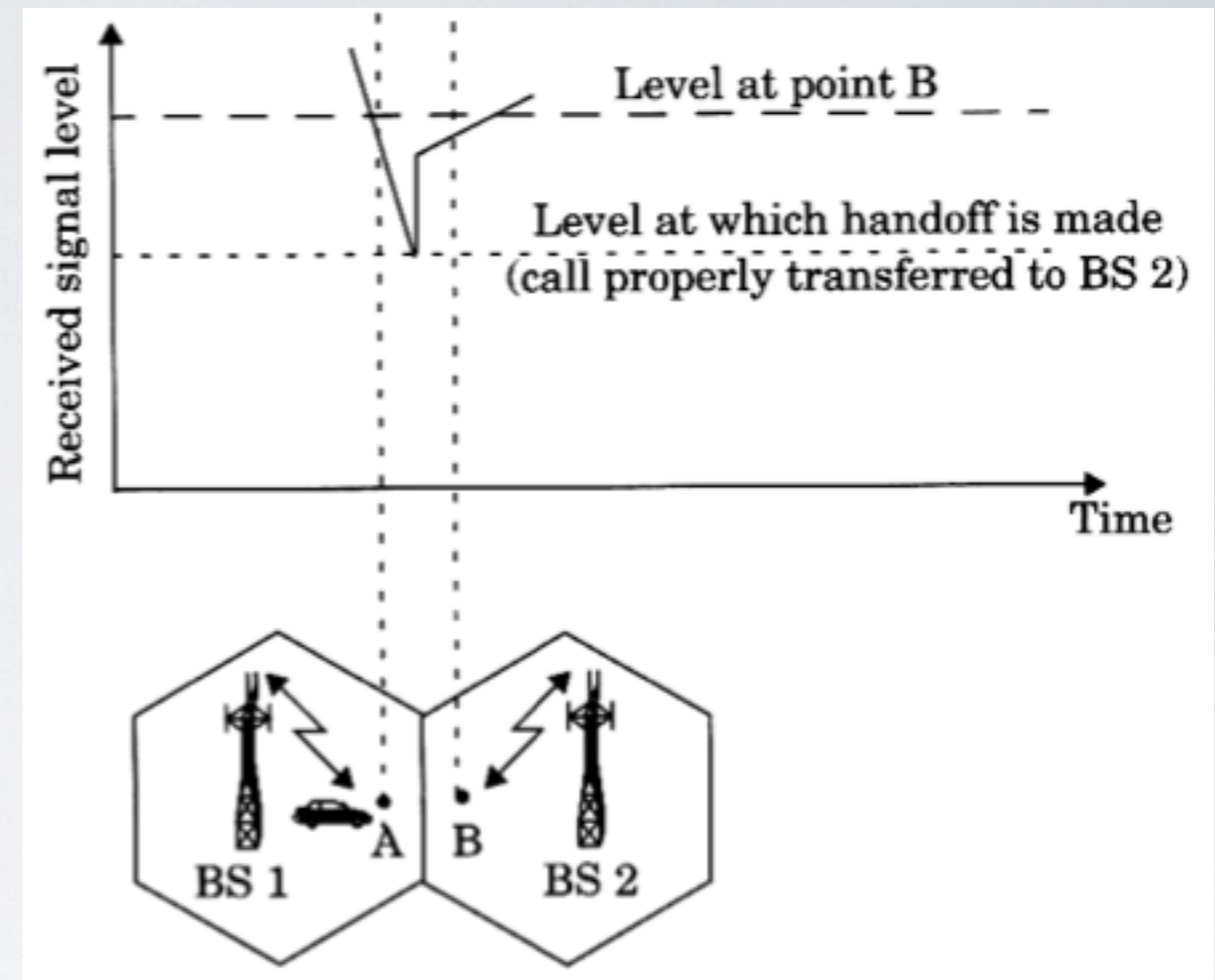
ΜΕΤΑΠΟΜΠΕΣ



- Καθώς οι χρήστες κινούνται, είναι απαραίτητο να μπορούν να αλλάζουν το σταθμό βάσης με τον οποίο επικοινωνούν, ώστε να μην διακοπεί η επικοινωνία.
- Άλλες αιτίες μεταπομπών είναι:
 - οι διαλείψεις,
 - η χωρητικότητα της κυψέλης είναι κορεσμένη και το νέο αίτημα συνδέεται στο γειτονικό ΣΒ,
 - παρεμβολές στα κανάλια
- Η διαδικασία πρέπει να γίνεται γρήγορα ώστε να μην διακοπεί η επικοινωνία.
 - Δύσκολο όταν ο συνδρομητής κινείται με υψηλές ταχύτητες.
- Η διάρκεια μεταπομπής σε σύγχρονα συστήματα είναι της τάξης των 1-2 δευτερολέπτων.

ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ ΜΕΤΑΠΟΜΠΩΝ

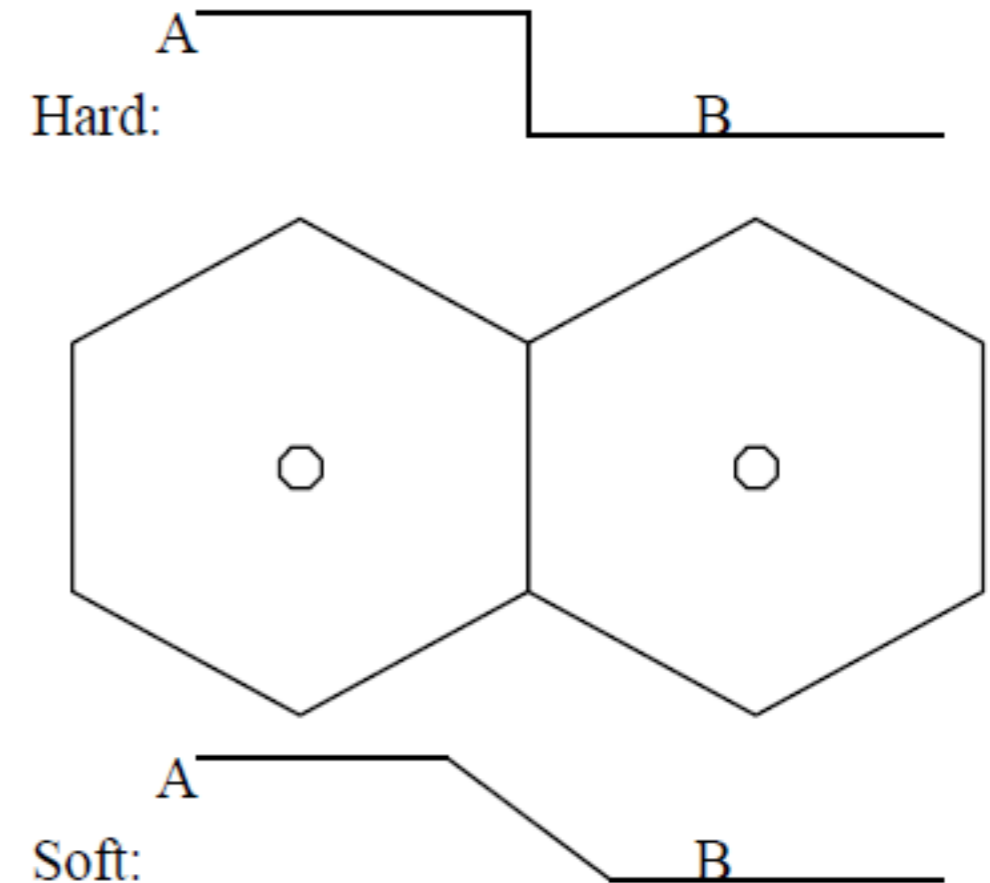
- Έστω P_{min} η ελάχιστη ισχύ που απαιτείται για ορθή λήψη του σήματος.
- Όταν η ισχύ του λαμβανόμενου σήματος πέσει κάτω από P_{HO} , αρχίζουμε να ψάχνουμε για νέο ΣΒ.
- Για ορθή λειτουργία πρέπει $P_{HO} > P_{min}$, αλλιώς η κλήση τερματίζεται πριν γίνει η μεταπομπή.



- Αν $P_{HO} - P_{min}$ επιλεγεί πολύ μεγάλο, οδηγούμαστε σε πολλές μεταπομπές
- Αν $P_{HO} - P_{min}$ επιλεγεί πολύ μικρό, υπάρχει κίνδυνος τερματισμού της κλήσης πριν γίνει μεταπομπή.

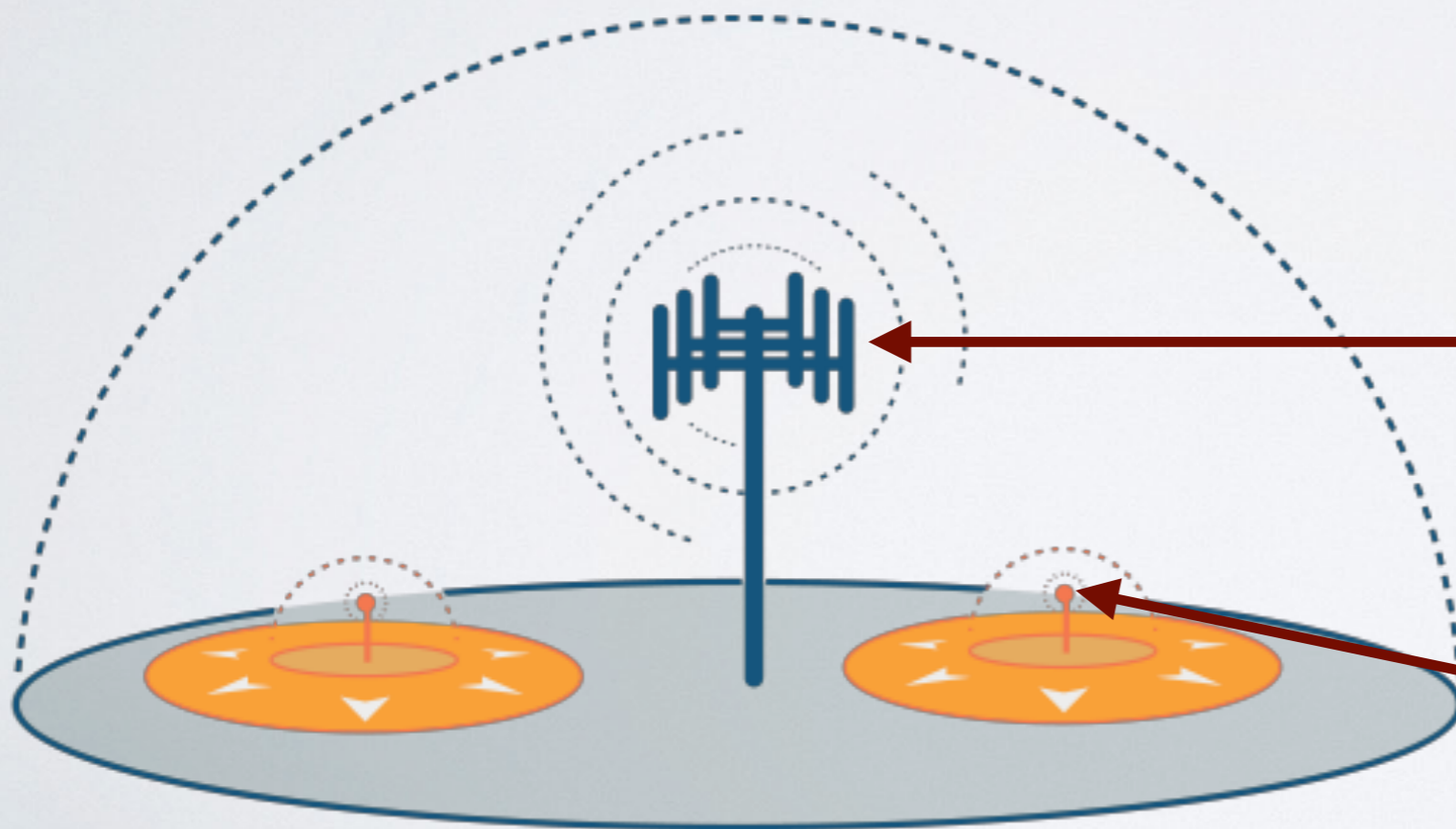
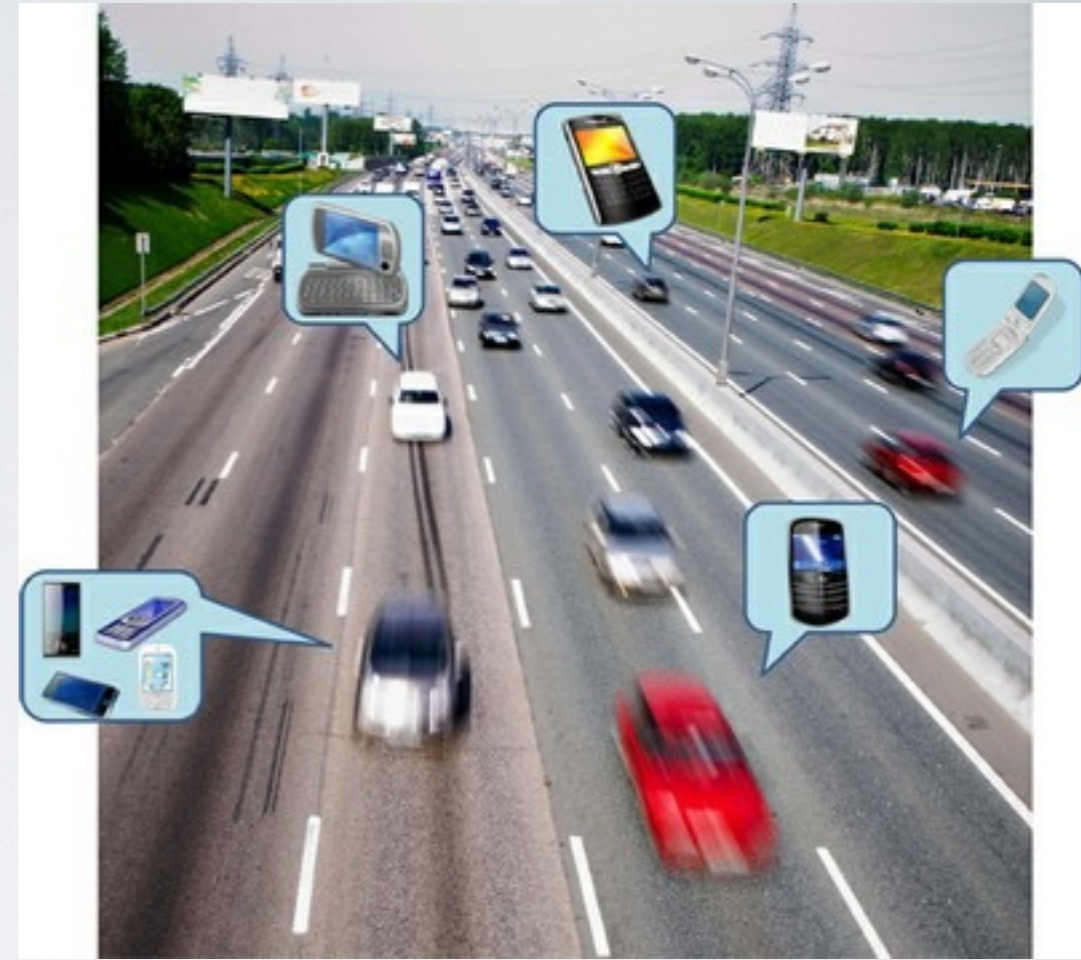
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΠΟΜΠΩΝ

- Hard handover (“break before make”)
 - Η “παλιά” σύνδεση διακόπτεται πριν γίνει ανέθεση καναλιού από τον νέο ΣΒ.
 - Αυτό μπορεί να προκαλέσει διακοπή της σύνδεσης.
- Soft handover (“make before break”)
 - Η νέα σύνδεση γίνεται πριν διακοπή η παλιά.
 - Αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε συστήματα CDMA.



ΤΙ ΓΙΝΕΤΑΙ ΟΜΩΣ ΑΝ ...

- Χρήση κυψέλης “ομπρέλλα” για την εξυπηρέτηση συσκευών που κινούνται με υψηλές ταχύτητες.



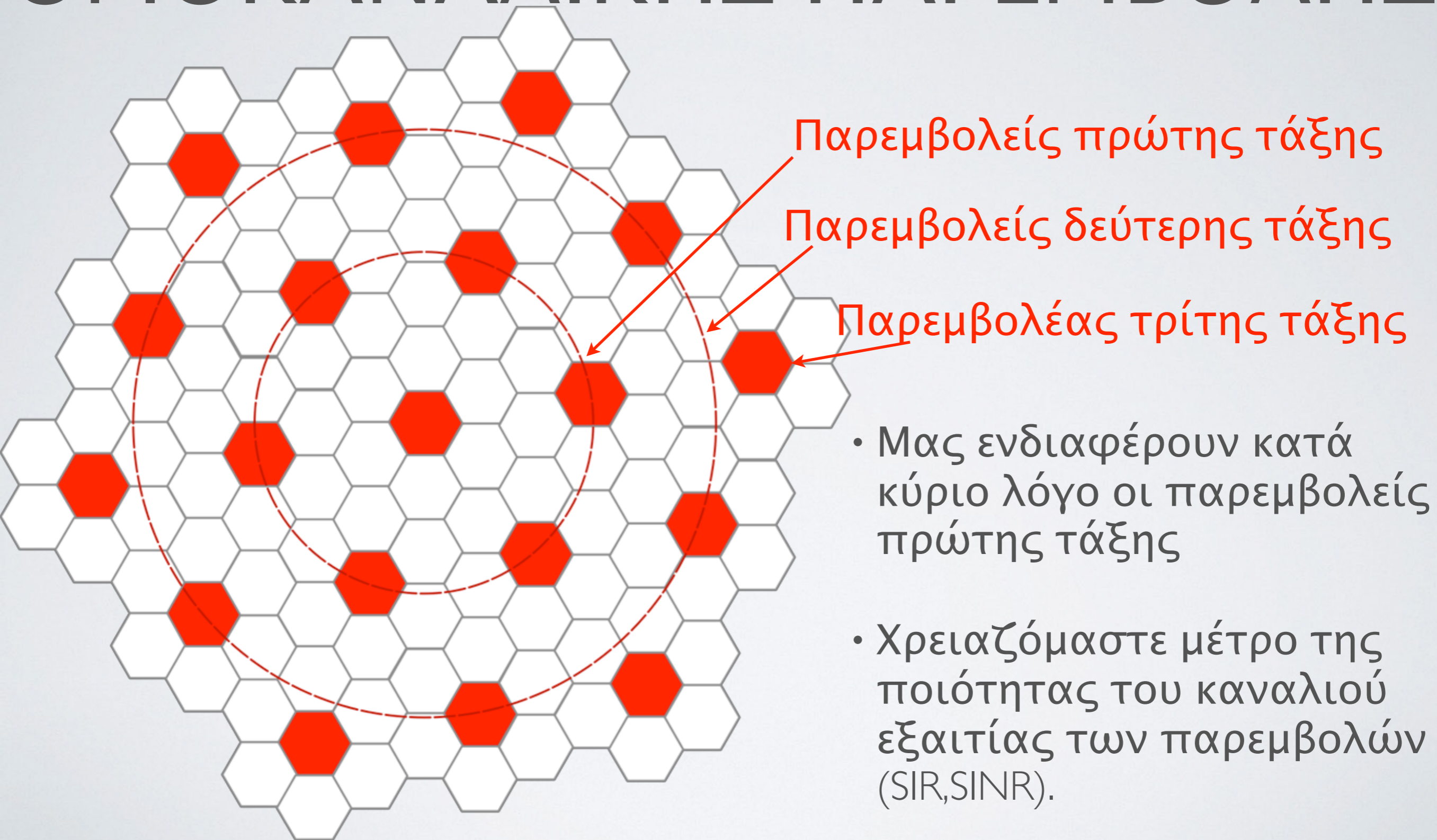
ΣΒ για την εξυπηρέτηση χρηστών που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες

ΣΒ για την εξυπηρέτηση χρηστών που κινούνται με μικρές ταχύτητες

ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ (INTERFERENCE)

- Ομοκαναλικές (co-channel interference)
 - προέρχονται από πομπούς που χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι, αλλά σε άλλες κυψέλες
- Παρεμβολές παρακείμενου καναλιού (adjacent channel interference)
 - προέρχονται από άλλα κανάλια στην ίδια ή σε γειτονικές κυψέλες

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΟΜΟΚΑΝΑΛΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ



ΛΟΓΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ

- Λόγος σήματος προς παρεμβολή (Signal to Interference Ratio):

$$SIR = \frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} I_i}$$

- Λόγος σήματος προς θόρυβο και παρεμβολή:

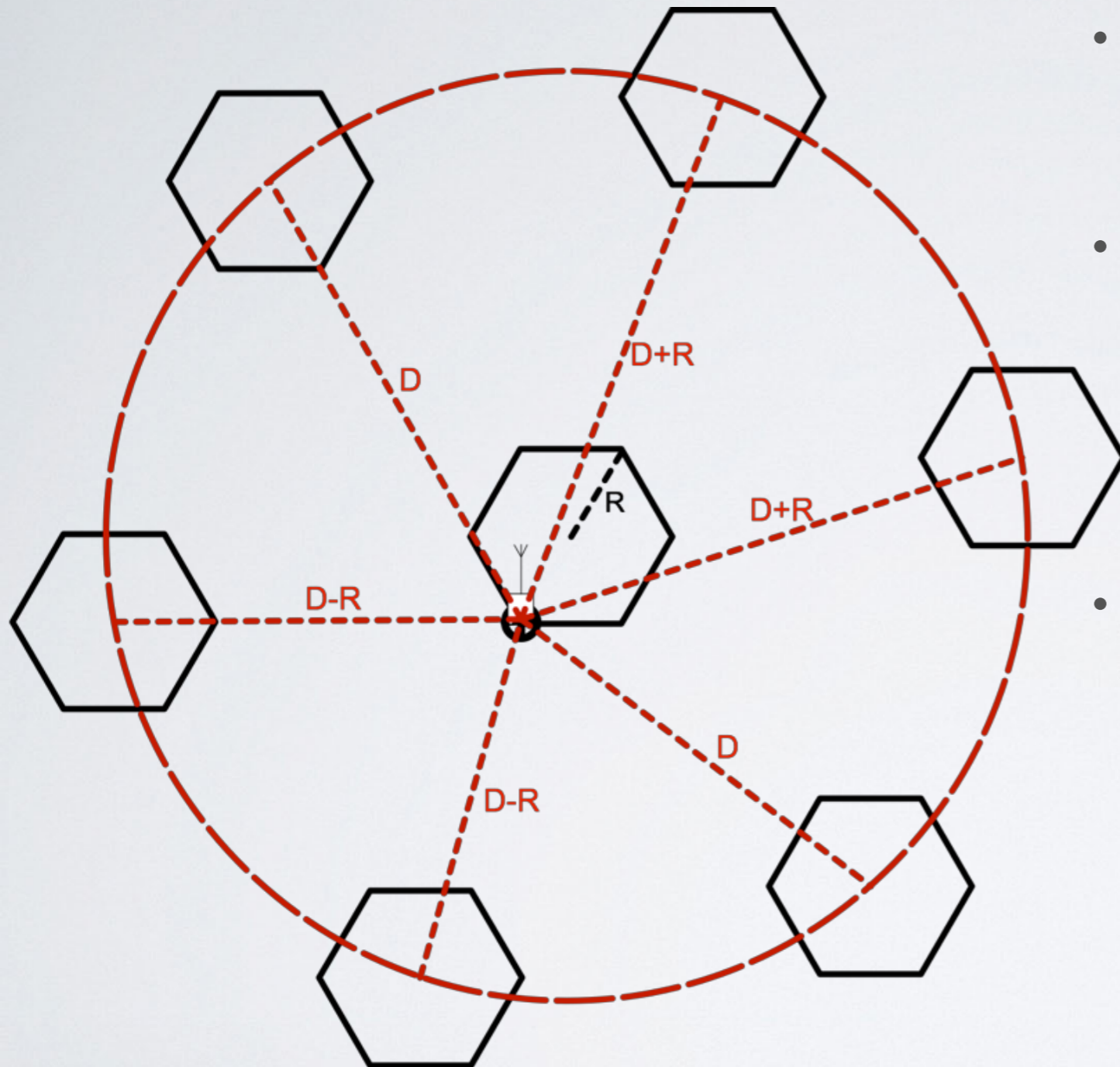
$$SINR = \frac{S}{I + N} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} I_i + N}$$

ΕΝΑ ΑΠΛΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

$$P_r = P_o \cdot \left(\frac{d}{d_o}\right)^{-n} \Rightarrow 10 \log_{10}(P_r) = 10 \log_{10}(P_o) + 10 \log_{10}\left(\frac{d}{d_o}\right)^{-n}$$
$$\Rightarrow P_r^{[dB]} = P_o^{[dB]} - 10n \log\left(\frac{d}{d_o}\right) \Leftrightarrow P_r^{[dBm]} = P_o^{[dBm]} - 10n \log\left(\frac{d}{d_o}\right)$$

- d_o : η απόσταση αναφοράς (αναφέρεται στο μακρινό πεδίο)
- P_o : η ισχύς σε απόσταση d_o (συνήθως αναφέρεται σαν ισχύς εκπομπής)
- P_r : η λαμβανόμενη ισχύς
- d : απόσταση πομπού-δέκτη
- n : μεταξύ των τιμών 2 έως 6. Συνήθως ~ 4 .

ΧΕΙΡΙΣΤΟΣ ΛΟΓΟΣ SIR ΣΤΟΝ ΔΕΚΤΗ ΜΙΑΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

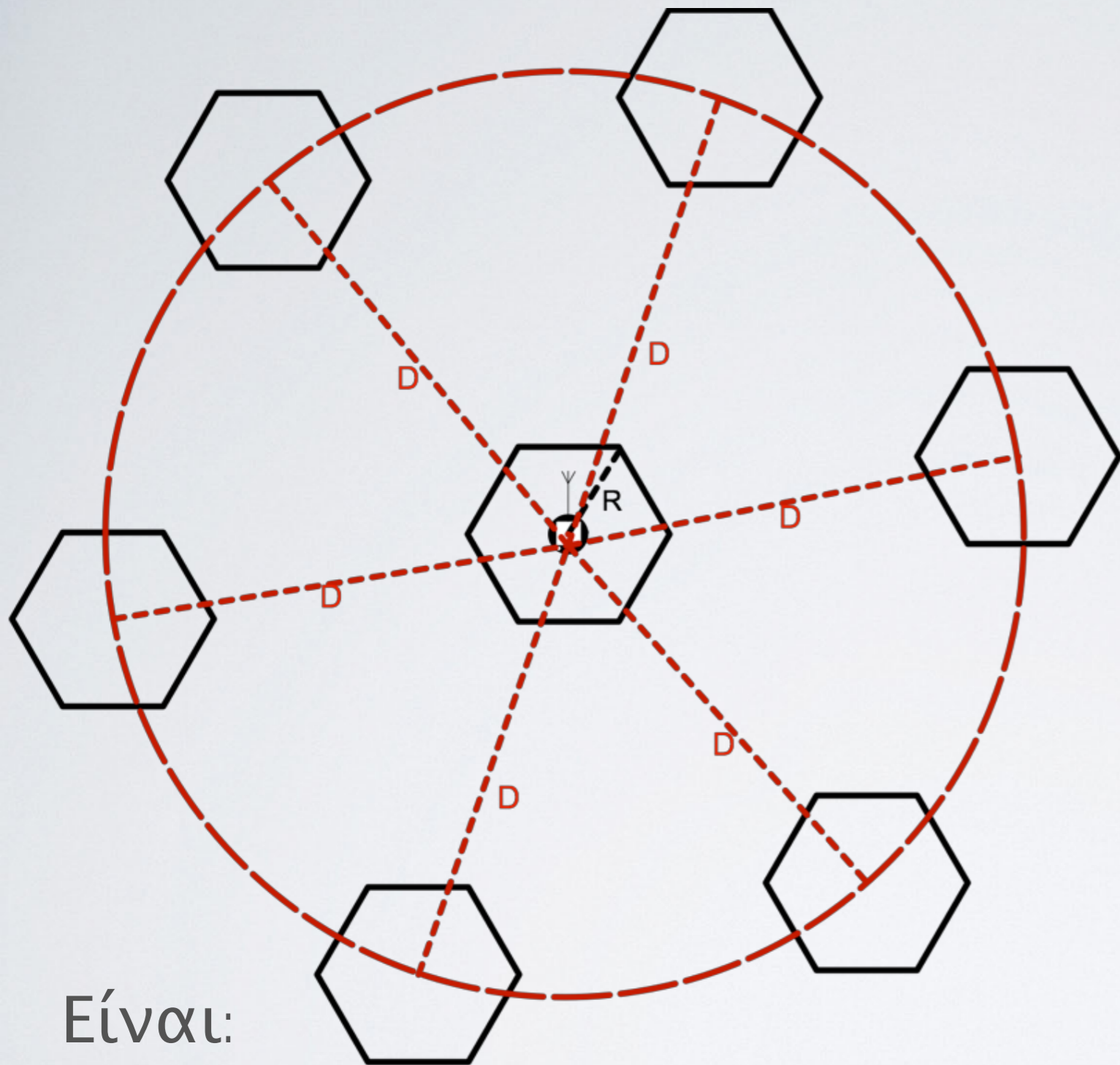


Ομοκαναλικές παρεμβολές
πρώτης τάξης για $N=7$.

- Έστω ότι όλοι οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν την ίδια ισχύ.
- Έστω ότι η συσκευή βρίσκεται σε απόσταση R από το σταθμό βάσης, όπου R η ακτίνα της κυψέλης.
- Έστω D_i η απόσταση της συσκευής από τους σταθμούς που δημιουργούν ομοκαναλικές παρεμβολές

$$\frac{S}{I} = \frac{R^{-n}}{\sum_{i=1}^{i_0} (D_i)^{-n}}$$

Ο ΛΟΓΟΣ SIR



- Έστω ότι όλοι οι παρεμβολείς βρίσκονται σε απόσταση D από τη συσκευή.
- Η απόσταση D ταυτίζεται με αυτή των κέντρων των ομοκαναλικών βάσεων (R_u).

Είναι:

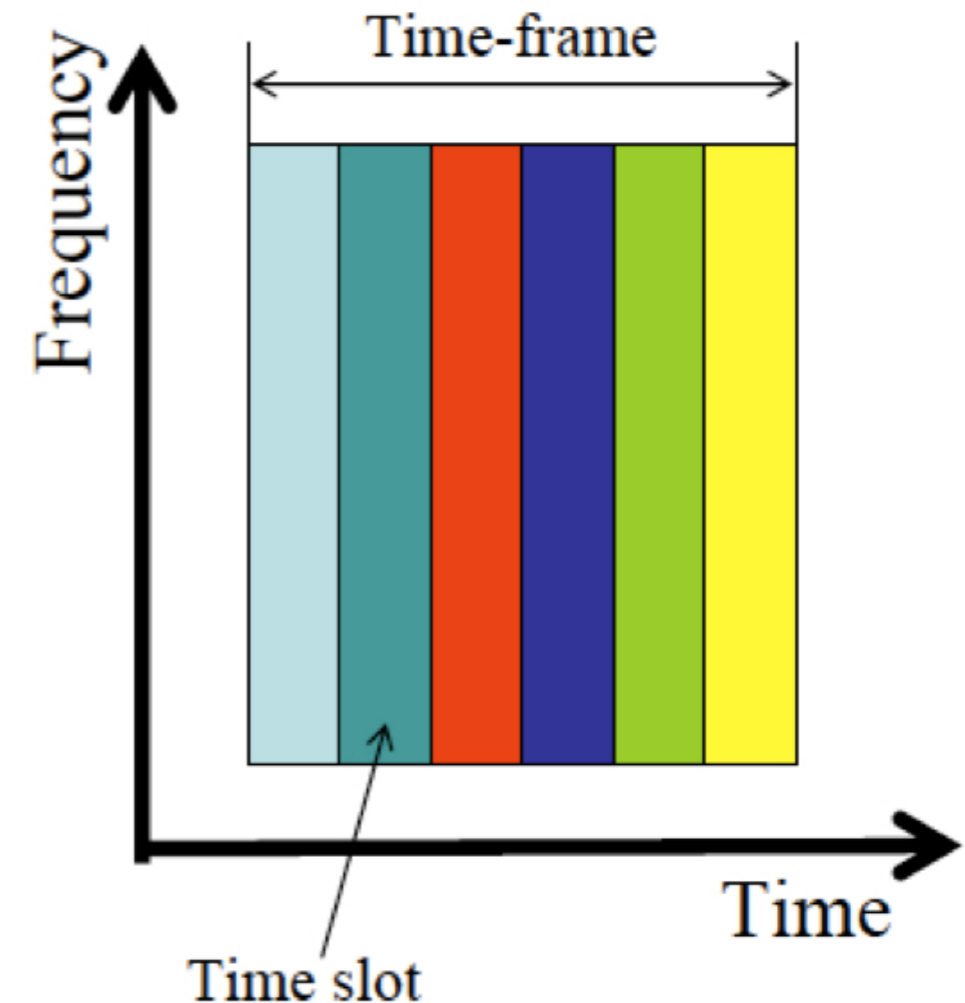
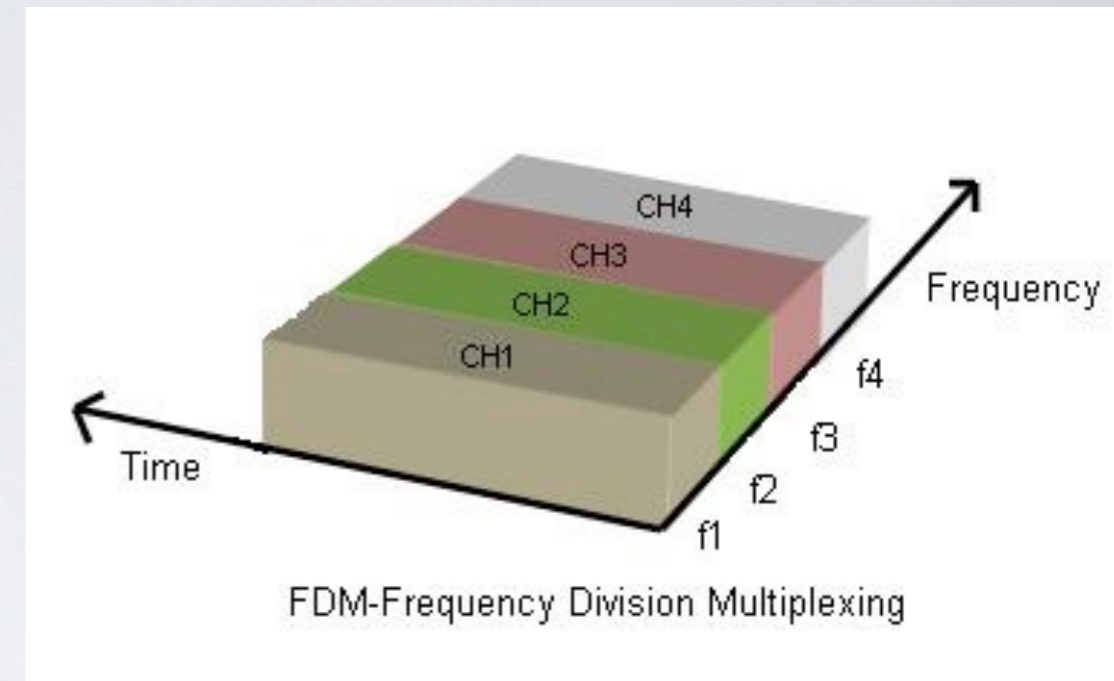
$$D = R_u = \sqrt{i^2 + ij + j^2} \sqrt{3}R = \sqrt{N} \sqrt{3}R = \sqrt{3NR}$$

άρα:

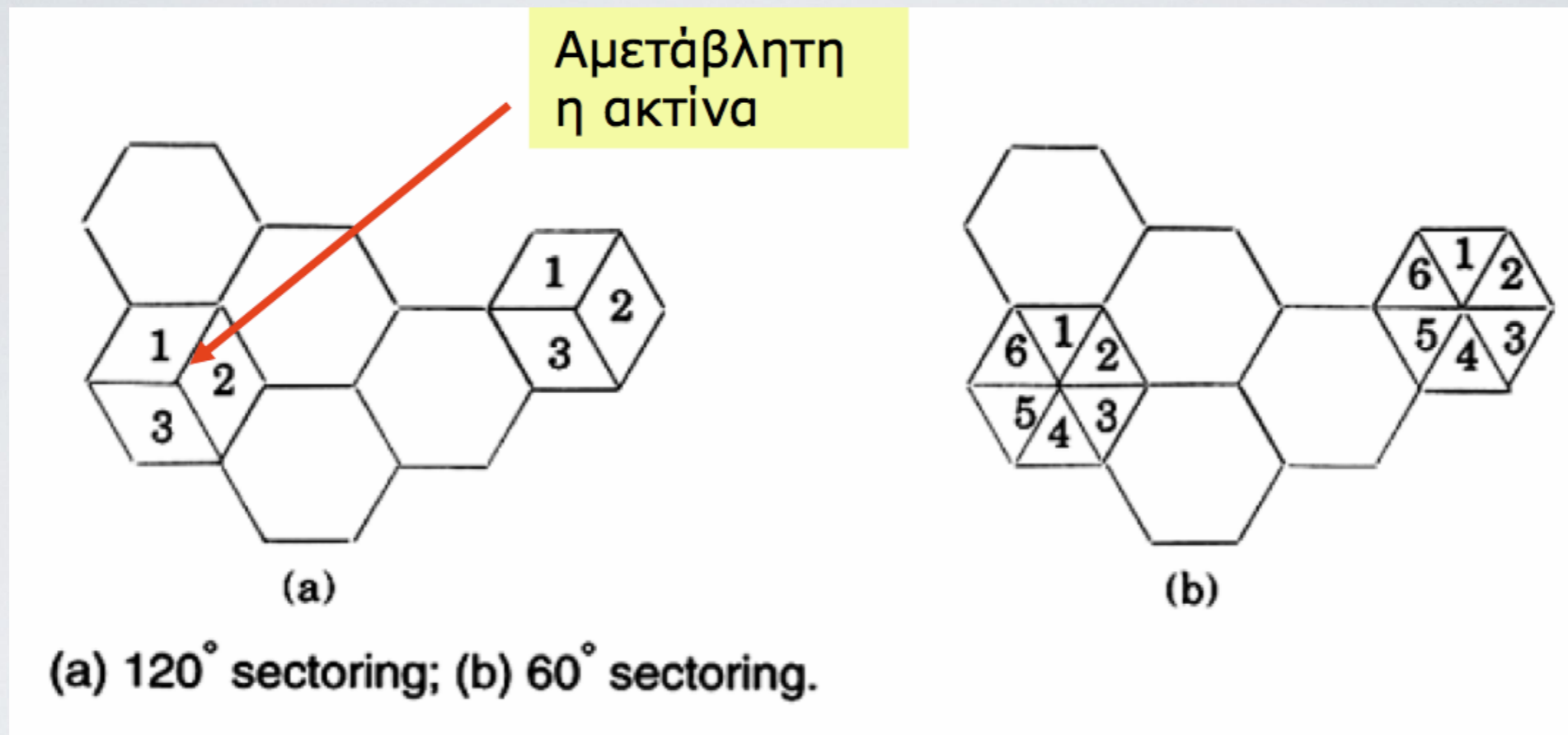
$$\frac{S}{I} = \frac{R^{-n}}{\sum_{i=1}^{i_0} (D_i)^{-n}} = \frac{(\sqrt{3NR})^n}{i_0}$$

ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΠΑΡΑΚΕΙΜΕΝΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

- Πολυπλεξία στο πεδίο της συχνότητας
 - Πρόβλημα: τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται δεν είναι τέλεια.
 - Λύση: τα κανάλια ενός ΣΒ τοποθετούνται κατά το δυνατόν πιο μακριά το ένα από το άλλο.
- Πολυπλεξία στο πεδίο του χρόνου
 - Πρόβλημα: ο συγχρονισμός δεν είναι τέλειος
 - Λύση: εισάγονται χρόνοι ασφαλείας



ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΚΑΛΥΨΗΣ



- Δημιουργία τομέων
 - Χρησιμοποιούμε κατευθυντικές κεραίες στους ΣΒ.
 - Διαχωρίζουμε τα κανάλια σε
 - 3 για τομείς 120 μοιρών
 - 6 για τομείς 60 μοιρών

ΥΠΕΡ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΜΕΩΝ

- Υπέρ:

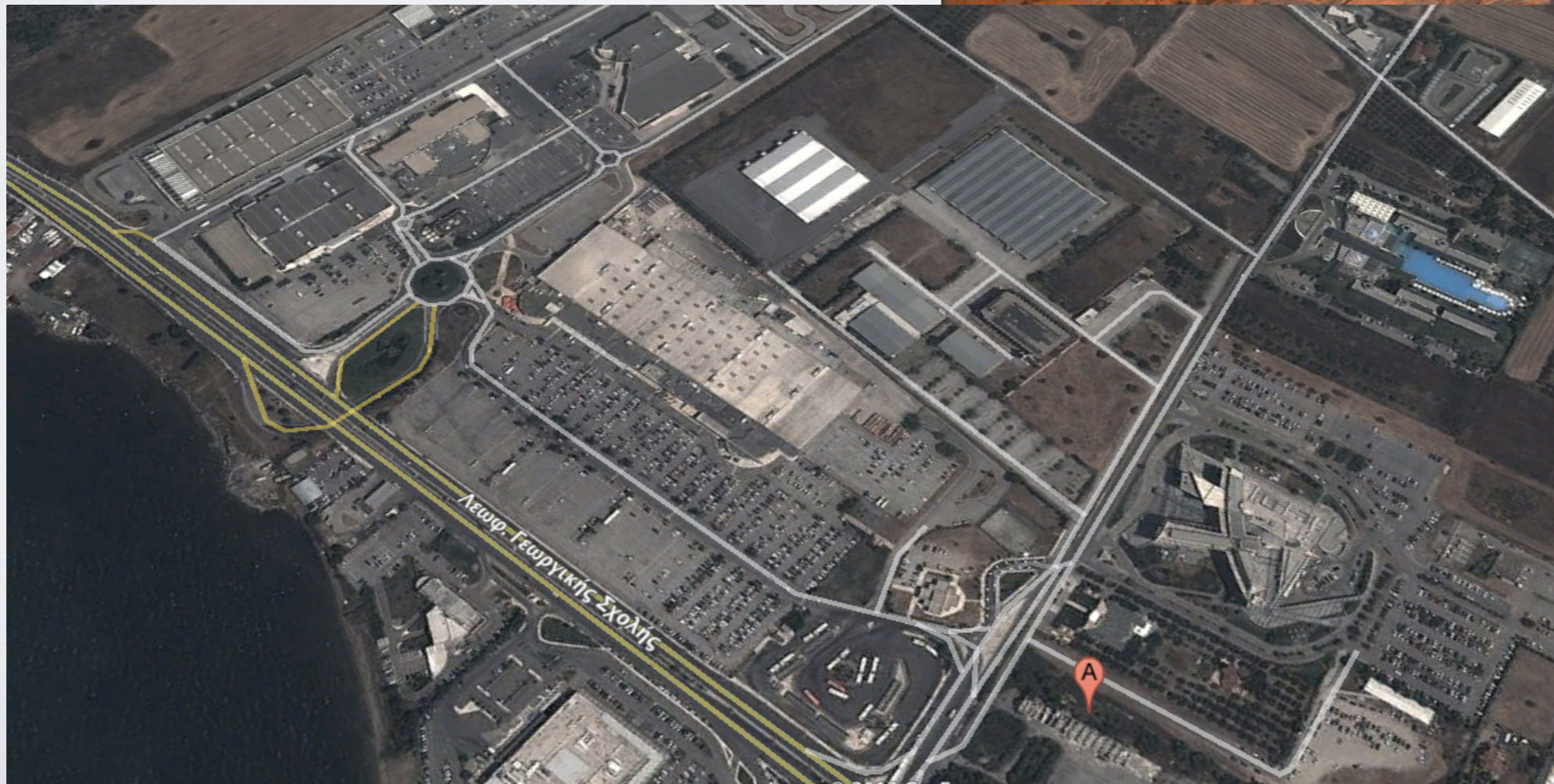
- Μείωση ομοκαναλιών παρεμβολών

- Κατά:

- Αυξάνονται οι μεταπομπές
- Αυξάνεται η πολυπλοκότητα του συστήματος
- Η ομαδοποίηση καναλιών γίνεται λιγότερο αποτελεσματική

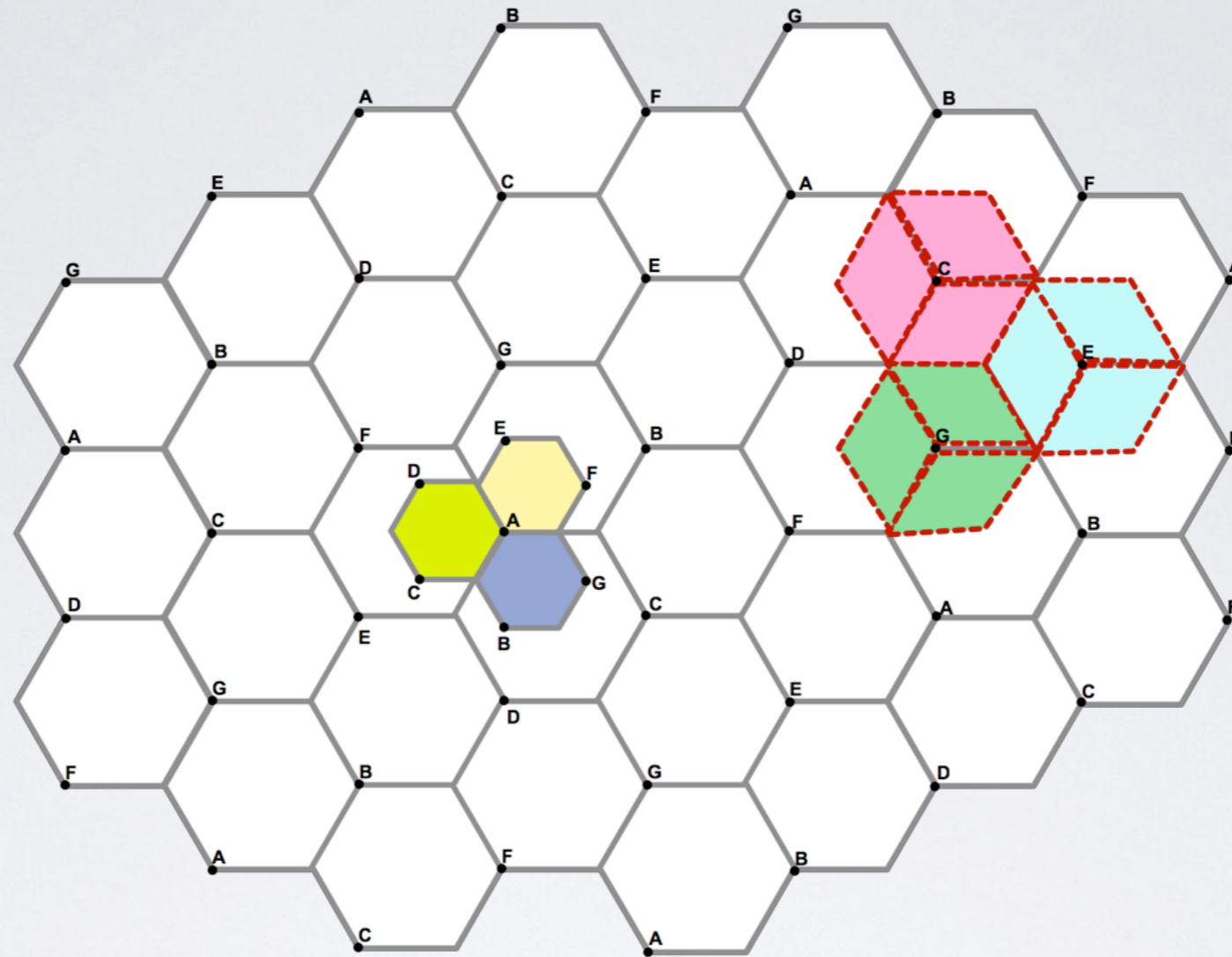
ΤΙ ΓΙΝΕΤΑΙ ΟΜΩΣ ΑΝ...

- Σε μία περιοχή υπάρχει μια πολύ πυκνοκατοικημένη υποπεριοχή, και άρα απαιτούνται περισσότερα κανάλια για να είναι το QoS ικανοποιητικό.
- Η τμήμα περιοχής αποκτά αυξημένη τηλεπικοινωνιακή κίνηση που το υπάρχον σύστημα δεν μπορεί να υποστηρίξει.



ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΚΥΨΕΛΗΣ (CELL SPLITTING)

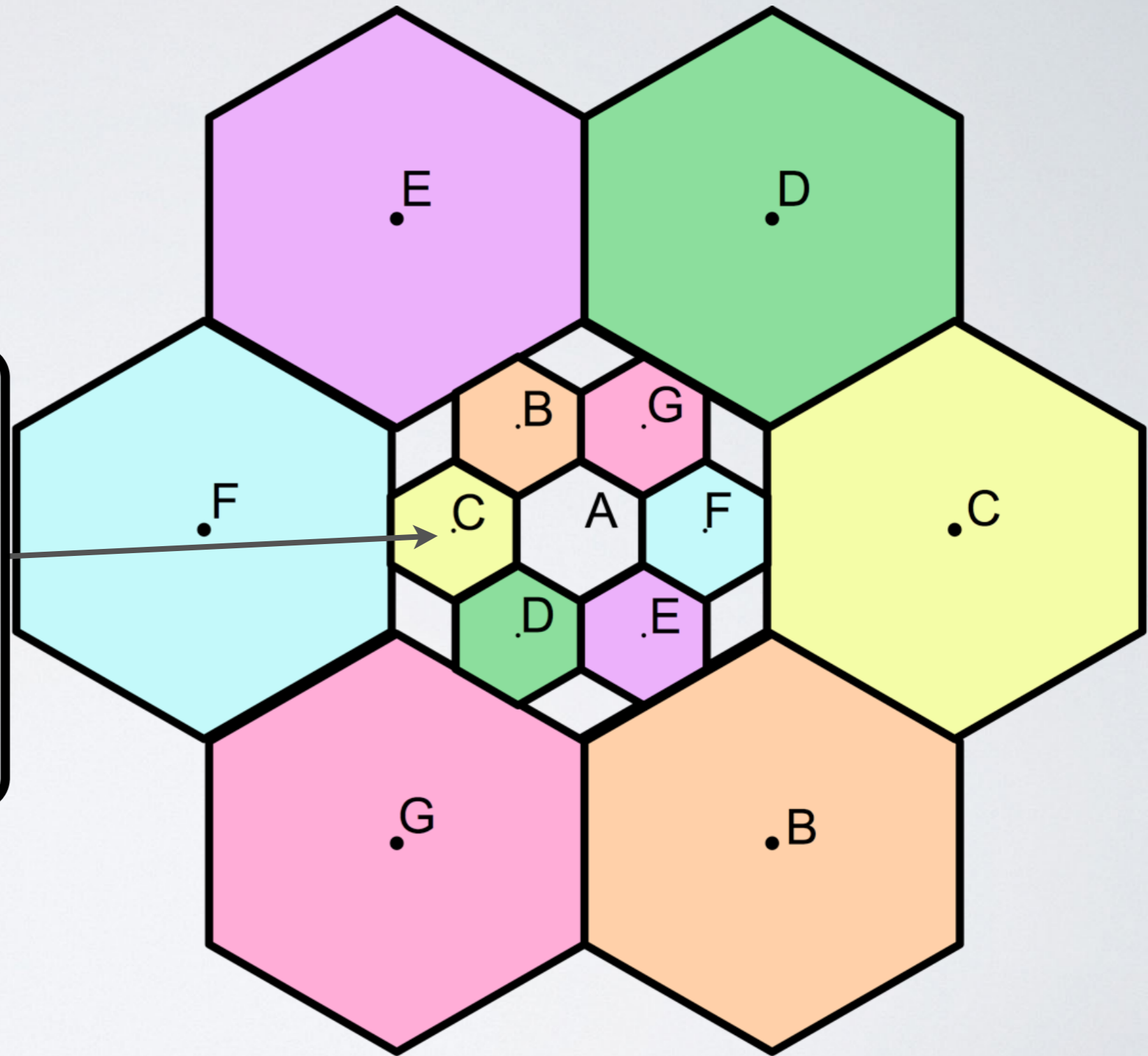
Η ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ



- Μειώνουμε την ακτίνα κυψέλης κατά ένα παράγοντα k .
- Αυξάνουμε το πλήθος των κυψελών κατά ένα παράγοντα k^2 .
- Μειώνουμε την εκπεμπόμενη ισχύ κατά k^n , όπου n είναι ο εκθέτης με τον οποίο μεταβάλλεται η ισχύς με την απόσταση.
- Έχουμε το ίδιο πλήθος καναλιών ανά κυψέλη, αλλά k^2 περισσότερα κανάλια ανά km^2 .

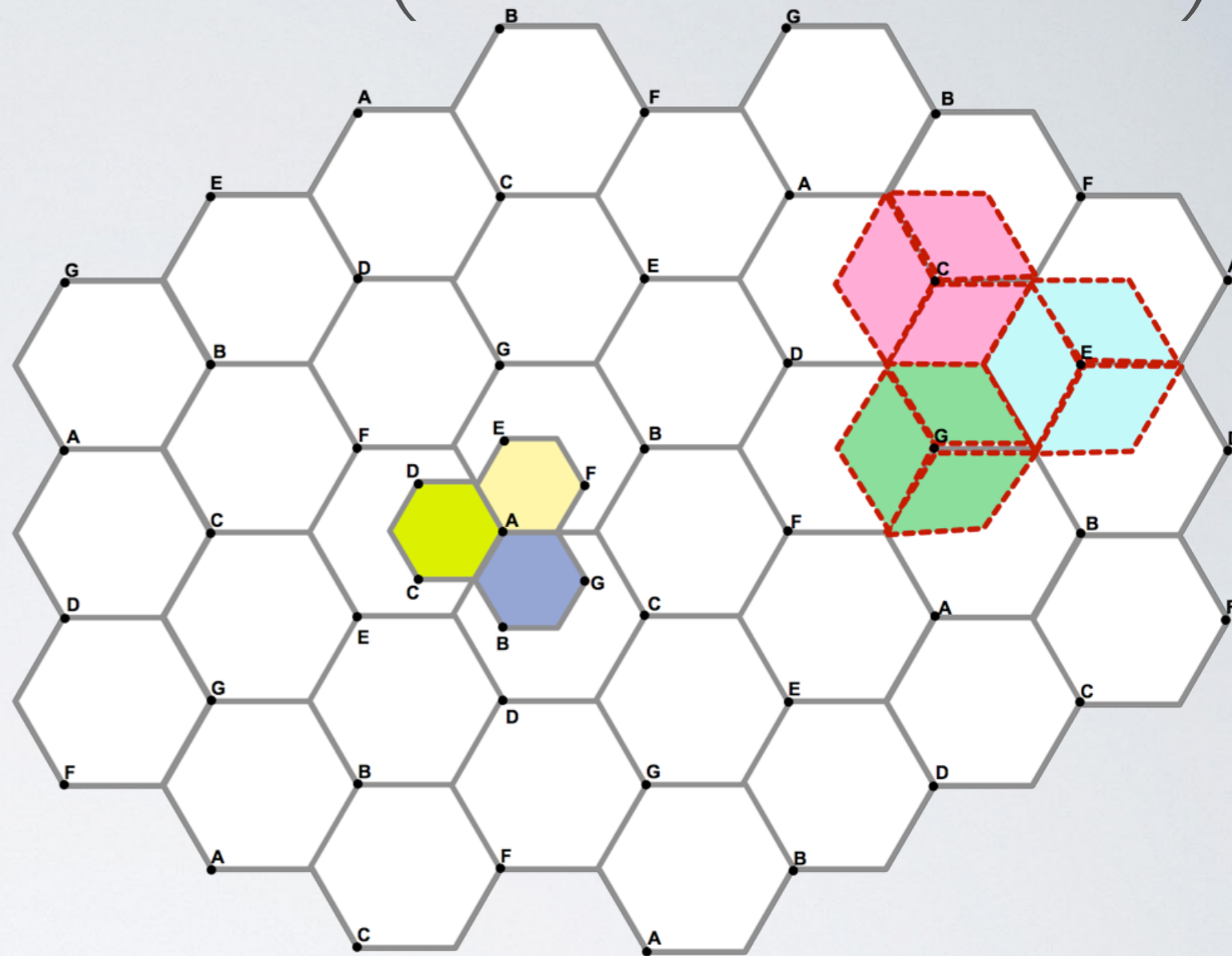
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΚΥΨΕΛΗΣ (CELL SPLITTING) Η ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ

Ο χρήστης μπορεί να επικοινωνήσει μέσω του σταθμού A ή C (εξαρτάται από τους ελεύθερους πόρους που θα έχει ο σταθμός τη στιγμή που θα γίνει αίτημα επικοινωνίας).



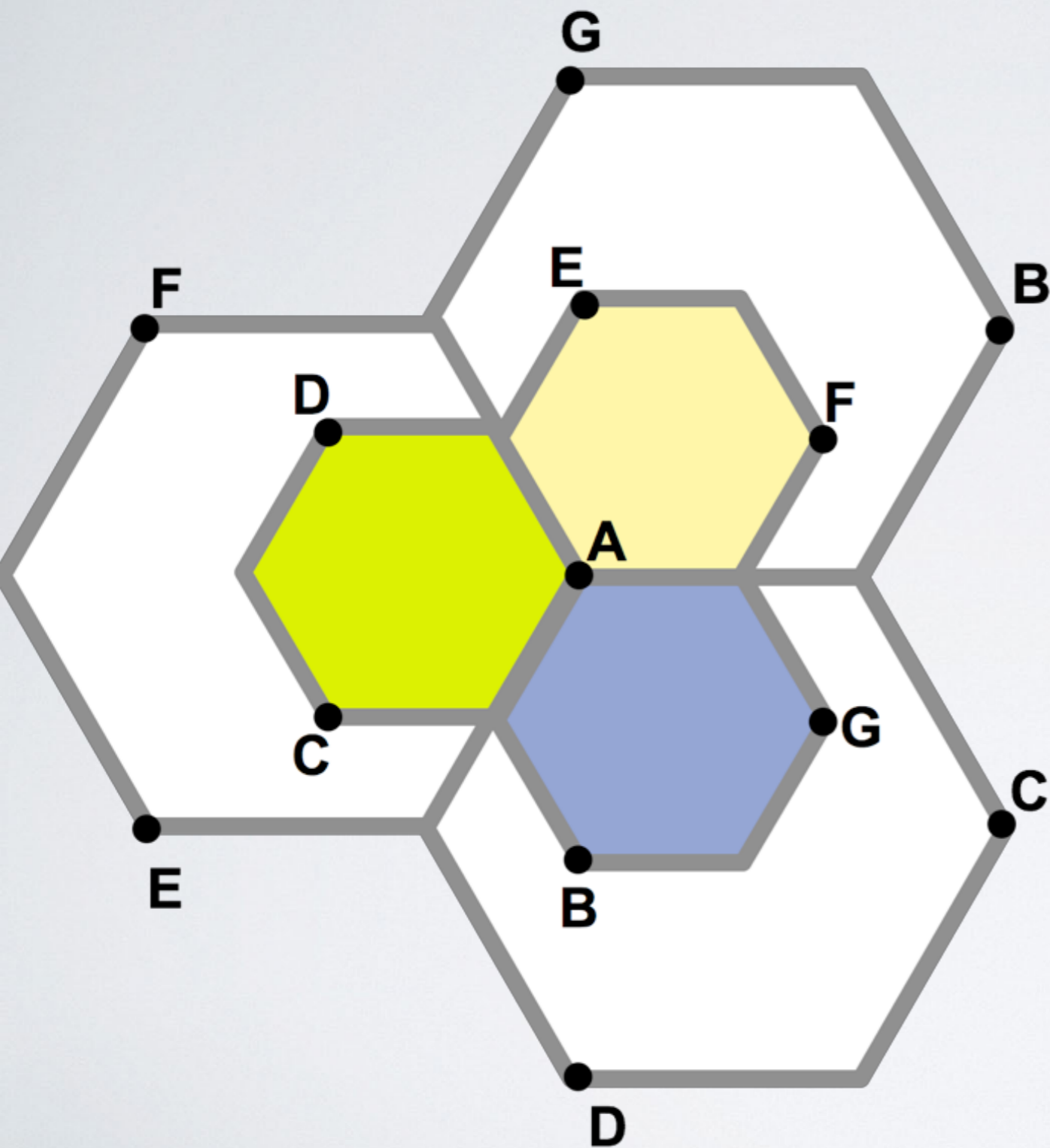
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΚΥΨΕΛΗΣ (CELL SPLITTING)

- Ο σταθμός A έχει κορεστεί με τηλεπικοινωνιακή κίνηση
- Χρειάζονται νέοι σταθμοί βάσης στην περιοχή του A για να αυξηθεί το πλήθος των καναλιών στην περιοχή και να μειωθεί η περιοχή που εξυπηρετείται από ένα σταθμό βάσης



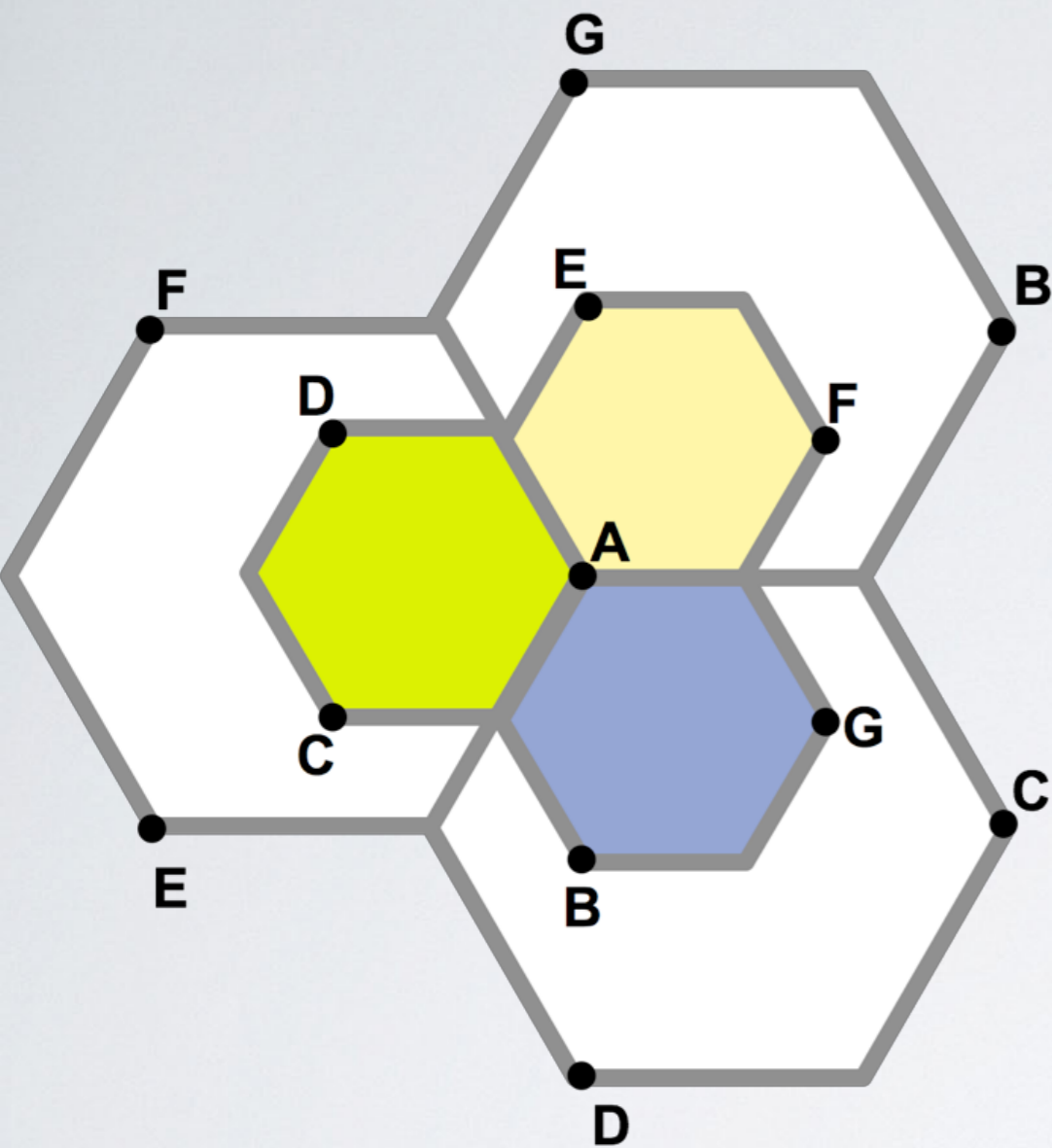
- Ο σταθμός A έχει περιβληθεί από 6 νέες μικροκυψέλες
- Η θέση τους έχει επιλεγεί έτσι ώστε να διατηρείται το σχέδιο επαναχρησιμοποίησης συχνотήτων.

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΚΥΨΕΛΗΣ (CELL SPLITTING)



- Ο διαχωρισμός της κυψέλης απλά κλιμακώνει την γεωμετρία της συστάδας
- Η ακτίνα κάθε νέας μικροκυψέλης είναι η μισή της ακτίνας της αρχικής κυψέλης
- Για διατήρηση του SIR θα πρέπει η ισχύς εκπομπής στους σταθμούς βάσης των νέων μικροκυψελών να μειωθεί κατά ένα παράγοντα 2^n .

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΚΥΨΕΛΗΣ (CELL SPLITTING)



- Για διατήρηση του SIR θα πρέπει η ισχύς εκπομπής στους σταθμούς βάσης των νέων μικροκυψελών να μειωθεί κατά έναν παράγοντα 2^n εφόσον η ακτίνα των μικροκυψελών είναι $1/2$ αυτής της κυψέλης.

- Πώς αποδεικνύεται αυτό:

$$\left. \begin{array}{l} P_r[\text{απο την κυψελη}] \propto P_{t1} R^{-n} \\ P_r[\text{απο την μικροκυψελη}] \propto P_{t2} (R/2)^{-n} \end{array} \right\} \Rightarrow P_{t2} = \frac{P_{t1}}{2^n}$$

ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

- Έστω μια κυψέλη με 20 κανάλια. Δια αισθητικά μπορούν να εξυπηρετηθούν πολύ περισσότεροι από 20 πελάτες.
- Πόσοι περισσότεροι;
- Το ερώτημα απαντά η θεωρία ομαδοποίησης καναλιών (*Trunking Theory*)
- Παράδειγμα:
 - Με 20 κανάλια και 200 πελάτες, η πιθανότητα ένας πελάτης να μην μπορεί να εξυπηρετηθεί είναι 1%

ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

- Δεδομένης
 - της προσφερόμενης τηλεπικοινωνιακής κίνησης και
 - ενός επιθυμητού βαθμού εξυπηρέτησης,
- να βρεθεί ο απαιτούμενος αριθμός trunks.

ΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

- Κλήση (call)/αίτηση: η απαίτηση σύνδεσης σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα.
- Χρόνος αποκατάστασης: Ο χρόνος που απαιτείται για να κατανεμηθεί ένα ομαδοποιημένο κανάλι σε έναν χρήστη.
- Φραγμένη κλήση: Κλήση που δεν μπορεί να ολοκληρωθεί την στιγμή της αίτησης της, λόγω συμφόρησης.
- Χρόνος συγκράτησης (H): Η μέση διάρκεια μιας κλήσης.
- Ένταση Κίνησης (A): Μέτρο της χρησιμοποίησης χρόνου καναλιού. Πρόκειται για την μέση κατάληψη του καναλιού. Μετριέται σε Erlangs.
- Φόρτος: Η ένταση της κίνησης σε ολόκληρο το ραδιοσύστημα.
- Βαθμός εξυπηρέτησης (GOS): Μέτρο της συμφόρησης που καθορίζεται ως η πιθανότητα φραγής μιας κλήσης ή η πιθανότητα καθυστέρησης μιας κλήσης πέραν του συγκεκριμένου χρόνου.
- Ρυθμός αιτήσεων (λ): Το μέσο πλήθος αιτήσεων κλήσης ανά μονάδα χρόνου. Ή ο ρυθμός άφιξης κλήσεων ανά πελάτη.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

- Φορτίο κίνησης:
 - Η ένταση της κίνησης σε ολόκληρο το ραδιοσύστημα.
 - Είναι η συνολική διάρκεια των κλήσεων εντός ενός διαστήματος που λαμβάνεται ως μονάδα.
- Αδιάστατο μέγεθος
- Μετρείται σε **Erlang (erl)** προς τιμή του Δανού μαθηματικού Α. Κ. Erlang.

$$\text{Traffic Load (erl)} = \frac{\text{Total Holding Time in sec}}{3600}$$

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

- Αν c είναι ο μέσος αριθμός των κλήσεων που φτάνουν σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα στη μονάδα του χρόνου και H ο χρόνος συγκράτησης, τότε το φορτίο κίνησης A δίνεται από την σχέση:

$$A = cH[\text{erl}]$$

- Το φορτίο κίνησης ισούται προς τον αριθμό των κλήσεων που φτάνουν σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα εντός χρονικού διαστήματος ίσου προς την μέση τιμή της διάρκειάς των.
- Το φορτίο κίνησης που διεκπεραιώνεται από ένα κανάλι μόνο είναι ισοδύναμο με την πιθανότητα ότι το κανάλι χρησιμοποιείται (ποσοστό του χρόνου που το κανάλι είναι κατειλημμένο). Επομένως ένα κανάλι δεν μπορεί να μεταφέρει περισσότερο από 1erl .

$$A_{\text{channel}} \leq 1\text{erl}$$

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

- Το φορτίο κίνησης που διεκπεραιώνεται από μία ομάδα καναλιών είναι ισοδύναμο με τον μέσο αριθμό κατειλημμένων καναλιών της ομάδας.

ΑΠΟΔΕΙΞΗ

- Έστω ότι μία ομάδα s καναλιών διεκπεραιώνει φορτίο κίνησης A erl.
- Το φορτίο που θα μεταφέρεται από κάθε κανάλι θα είναι

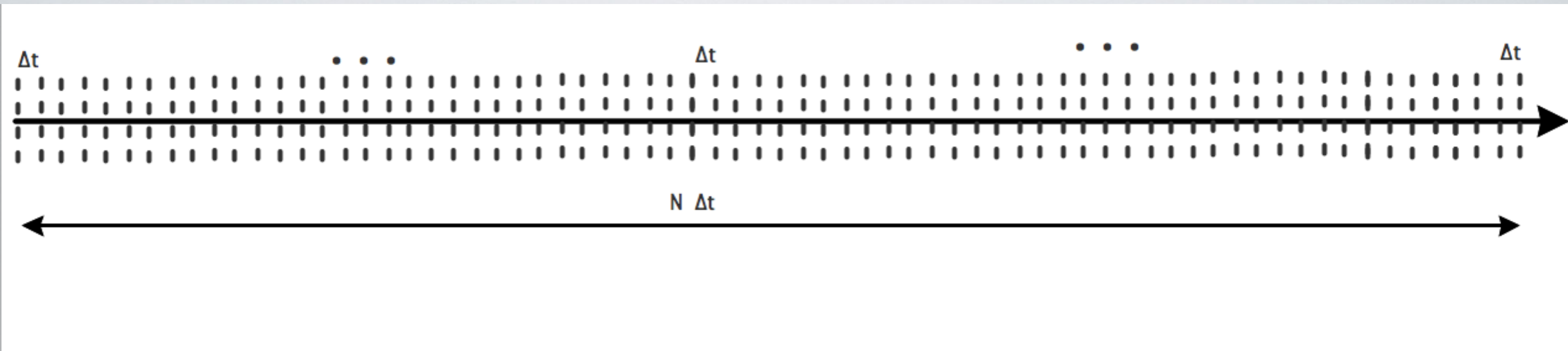
$$A_{\text{channel}} = \frac{A}{s} [\text{erl}]$$

- που είναι ισοδύναμο με την πιθανότητα το κανάλι να είναι κατειλημμένο.
- Ως εκ τούτου, ο μέσος αριθμός των κατειλημμένων καναλιών προκύπτει από το γινόμενο του αριθμού των γραμμών επί την πιθανότητα μία γραμμή να είναι κατειλημμένη. δηλαδή

$$A_{\text{channel}} s = A$$

ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΦΙΞΗΣ & ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΚΛΗΣΕΩΝ

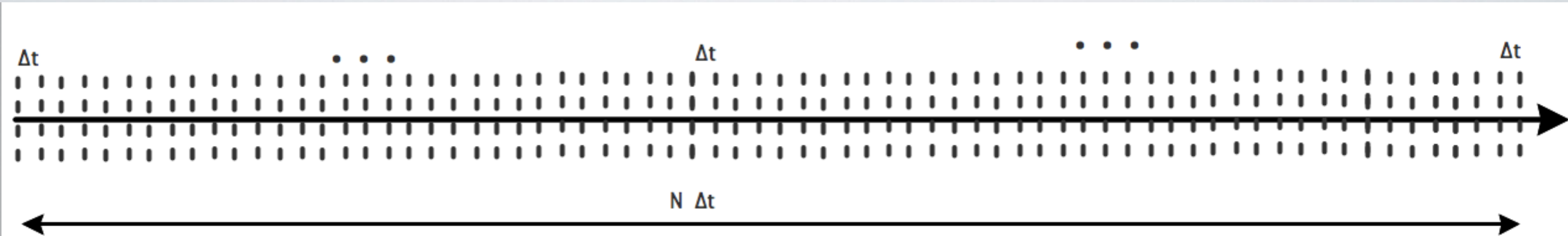
- Διαδικασία γεννήσεως κλήσεων



- Προϋποθέσεις για να χαρακτηρίσουμε τυχαία την άφιξη κλήσεων:
 - Για οποιοδήποτε Δt τείνοντος στο μηδέν:
 - Η πιθανότητα ότι μία κλήση θα γεννηθεί σε χρονικό διάστημα $(t, t+\Delta t]$ τείνει στο $\lambda \Delta t$, ανεξάρτητα από τον χρόνο t , όπου λ είναι σταθερός αριθμός.
 - Η πιθανότητα ότι δύο ή περισσότερες κλήσεις γεννιούνται εντός του χρονικού διαστήματος $(t, t+\Delta t]$ τείνει στο μηδέν.
 - Οι κλήσεις γεννώνται ανεξάρτητα η μία από την άλλη.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΝΝΗΣΕΩΣ ΚΛΗΣΕΩΝ

- Για ένα τυχαίο μοντέλο γεννήσεων κλήσεων, θα υπολογίσουμε την πιθανότητα ότι k κλήσεις γεννώνται εντός του χρονικού διαστήματος $[0, t]$.



- Χωρίζουμε το διάστημα t σε ένα μεγάλο αριθμό N ίσων τμημάτων
- $$t = N \Delta t$$
- Τότε, η πιθανότητα να γεννηθεί μία ακριβώς κλήση σε k διαστήματα, ενώ στα $N-k$ να μην γεννηθεί κλήση (δηλαδή να έχουμε k ακριβώς κλήσεις) είναι:

$$\begin{aligned} P_k^1(t) &= (P_1(\Delta t))^k (P_0(\Delta t))^{N-k} = (P_1(\Delta t))^k (1 - P_1(\Delta t) - P_{2+}(\Delta t))^{N-k} \\ &= (\lambda \Delta t)^k (1 - \lambda \Delta t - 0)^{N-k} = (\lambda \Delta t)^k (1 - \lambda \Delta t)^{N-k} \end{aligned}$$

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΝΝΗΣΕΩΣ ΚΛΗΣΕΩΝ

- Στο σύνολο των N διαστημάτων, οι k αφίξεις μπορεί να προκύψουν κατά (N ανα k) διαφορετικούς τρόπους.
- Συνεπώς, η πιθανότητα ότι k κλήσεις γεννώνται εντός του χρονικού διαστήματος $[0, t]$, δίνεται από την

$$P_k(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\binom{n}{k} (\lambda \Delta t)^k (1 - \lambda \Delta t)^{N-k} \right)$$

- Αλλά

$$\Delta t = \frac{t}{N}$$

Διωνυμική
κατανομή

- Οπότε

$$\begin{aligned} P_k(t) &= \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\binom{n}{k} \left(\lambda \frac{t}{N} \right)^k \left(1 - \lambda \frac{t}{N} \right)^{N-k} \right) \\ &= \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{N}{N} \frac{N-1}{N} \dots \frac{N-k+1}{N} \frac{(\lambda t)^k}{k!} \left(1 - \frac{\lambda t}{N} \right)^{N-k} \right) \end{aligned}$$

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΝΝΗΣΕΩΣ ΚΛΗΣΕΩΝ

- Τελικά, η πιθανότητα ότι k κλήσεις γεννώνται εντός του χρονικού διαστήματος $[0, t]$, δίνεται από την

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}$$

- Κατανομή Poisson (Poisson distribution) με
 - μέση τιμή: λt
 - διακύμανση: λt
 - όπου λ ο ρυθμός άφιξης των κλήσεων (arrival rate, or origination rate) ή ο ρυθμός αιτήσεων.
 - λ : σταθερό και ανεξάρτητο του χρόνου.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΕΝΝΗΣΕΩΣ ΚΛΗΣΕΩΝ

- Η πιθανότητα μηδέν κλήσεις να φτάσουν στο διάστημα $(0, t]$ είναι:

$$P_0(t) = \frac{(\lambda t)^0}{0!} e^{-\lambda t} = e^{-\lambda t}$$

- Η πιθανότητα ότι ο χρόνος (τ) μεταξύ δύο διαδοχικών αφίξεων δεν θα υπερβεί την τιμή t , δίνεται από την

$$P_\tau(\tau \leq t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

- Η οποία είναι μία εκθετική κατανομή με μέση τιμή:

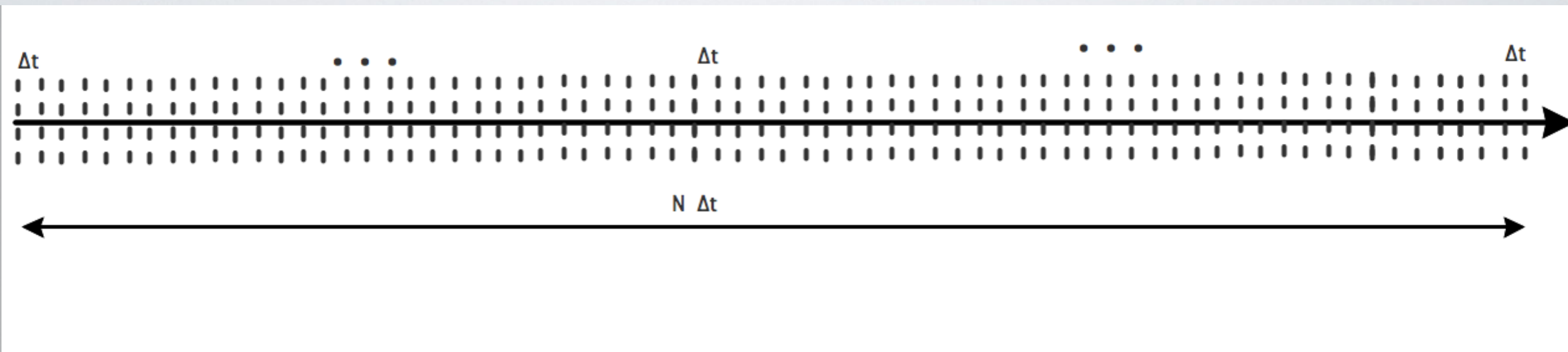
$$E[\tau] = \frac{1}{\lambda}$$

- Και συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (pdf)

$$f_\tau(t) = \frac{dP_\tau(\tau \leq t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}$$

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ

- Θεωρούμε ότι
 - το πέρας του αιτήματος (τερματισμός της κλήσης) είναι μία τυχαία διαδικασία.
 - η έναρξη της μέτρησης του χρόνου εξυπηρέτησης (χρόνος συγκράτησης) είναι η στιγμή που η κλήση ξεκινά να εξυπηρετείται.
 - η πιθανότητα να τερματιστεί μία κλήση σε διάστημα $(t, t+\Delta t)$ είναι $\mu\Delta t$, ανεξάρτητα από το t .



- Επιμερίζοντας το χρονικό διάστημα $[0, t]$ σε ένα μεγάλο αριθμό N υποδιαστημάτων όπου

$$\Delta t = \frac{t}{N}$$

- Η πιθανότητα ότι ο χρόνος εξυπηρέτησης είναι μεγαλύτερος από t είναι

$$H_{\tau}(\tau \geq t) = \lim_{N \rightarrow \infty} (1 - \mu\Delta t)^N = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{\mu t}{N}\right)^N = e^{-\mu t}$$

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΛΗΣΕΩΝ

- Συνεπώς η πιθανότητα ο χρόνος συγράτησης να είναι μικρότερος από t είναι

$$P_{\tau}(\tau \leq t) = 1 - e^{-\mu t}$$

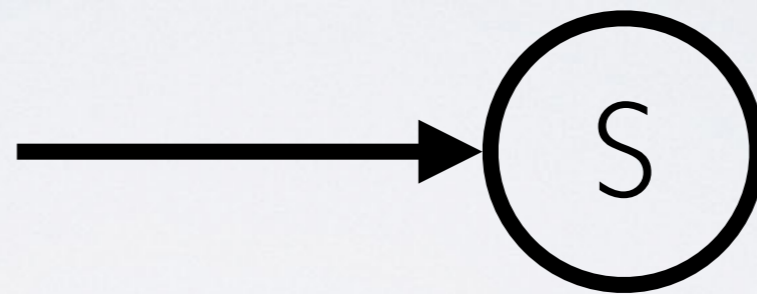
- Ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέση τιμή μ .
- μ : ο ρυθμός εξυπηρέτησης.

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

- Είδη συστημάτων

- Συστήματα απωλειών (loss or non-delay systems)

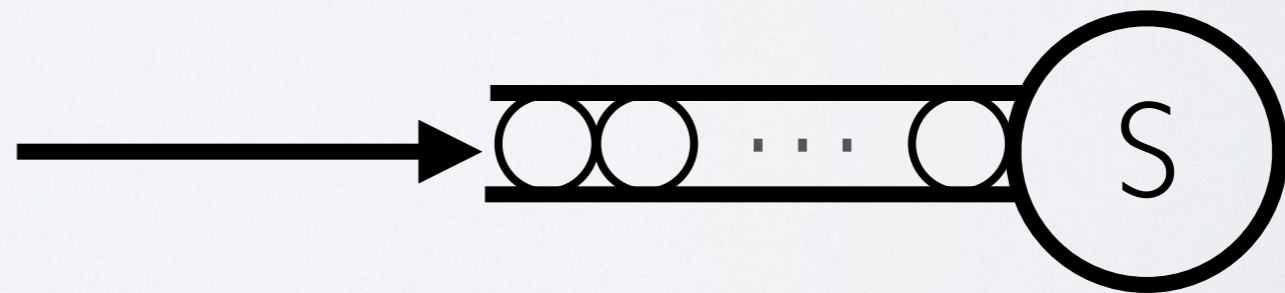
- Συμβολισμός



- Συστήματα που δεν διαθέτουν μνήμη

- Συστήματα αναμονής (delay or waiting systems)

- Συμβολισμός



- Συστήματα που διαθέτουν μνήμη

ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗ ΚΙΝΗΣΗ - ERLANG B

- Ο τύπος Erlang B καθορίζει τη πιθανότητα να φραγεί μια κλήση και αποτελεί ένα μέτρο του GOS για ένα σύστημα ομαδοποιημένων καναλιών που δεν παρέχει δυνατότητα θέσης σε ουρά αναμονής για τις φραγμένες κλήσεις (το σύστημα **δεν έχει μνήμη**).

$$P_r[\textit{blocking}] = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!}} = GOS$$

- όπου C το πλήθος των ομαδοποιημένων καναλιών.

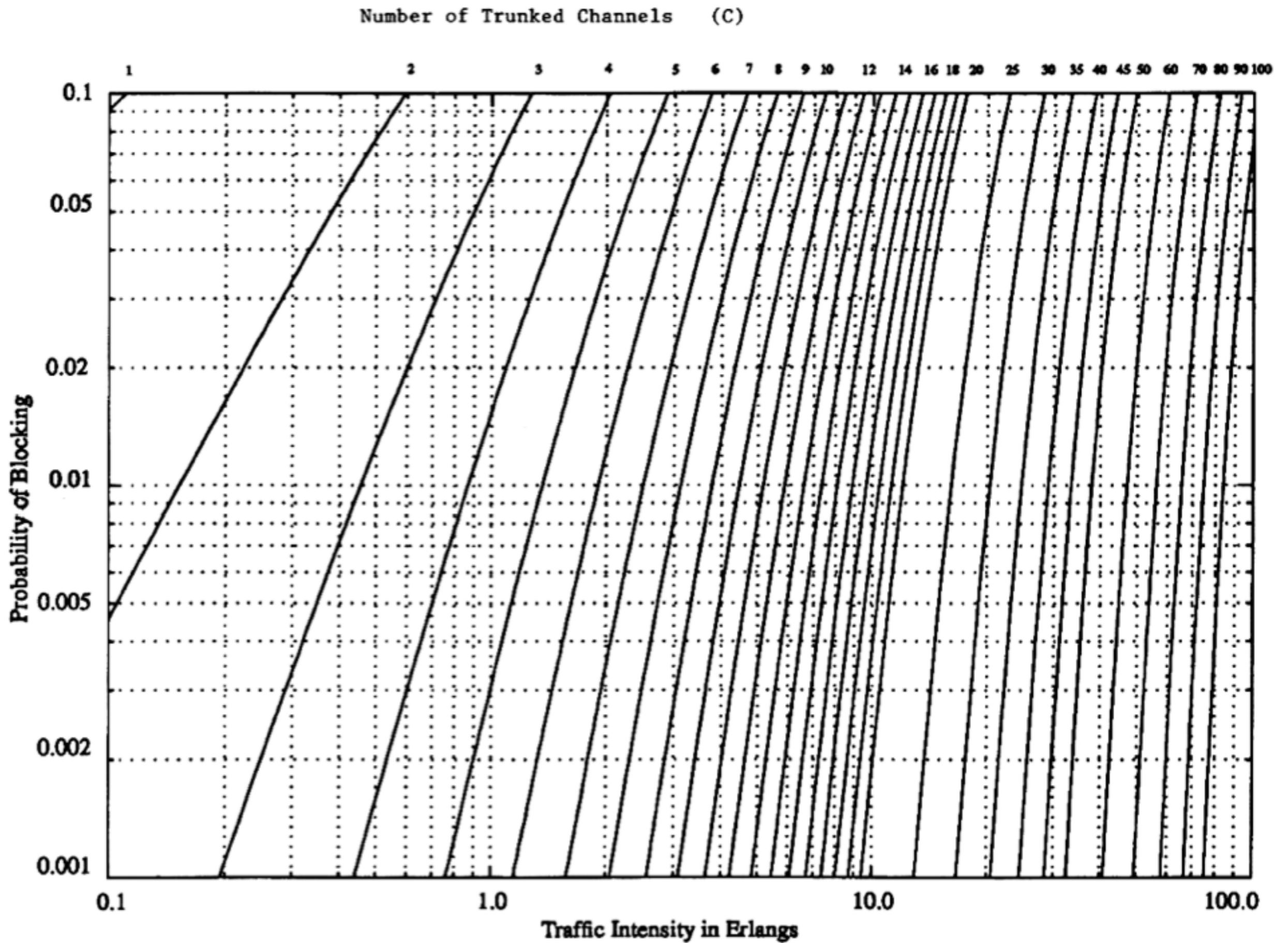


Figure 3.6 The Erlang B chart showing the probability of blocking as functions of the number of channels and traffic intensity in Erlangs.

A, C, GOS ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ERLANG B

Πλήθος καναλιών (C)	Ένταση κίνηση (A) για			
	GOS=0.01	GOS=0.005	GOS=0.002	GOS=0.001
2	0,153	0,105	0,065	0,046
4	0,869	0,701	0,535	0,439
5	1,36	1,13	0,9	0,762
10	4,46	3,96	3,43	3,09
20	12	11,1	10,1	9,41
24	15,3	14,2	13	12,2
40	29	27,3	25,7	24,5
70	56,1	53,7	51	49,2
100	84,1	80,9	77,4	75,2

- Παρατηρούμε όσο ότι το πλήθος των καναλιών αυξάνει, ο λόγος A/C συγκλίνει στην μονάδα.

- Δηλαδή, παρατηρείται μεγαλύτερη απόδοση ομαδοποίησης κλήσεων (trunking efficiency)

ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗ ΚΙΝΗΣΗ - ERLANG C

- Στον τύπο Erlang C παρέχεται μια ουρά αναμονής για να κρατήσει τις κλήσεις που μπαίνουν σε φραγή. Εάν δεν είναι διαθέσιμο αμέσως ένα κανάλι, αίτηση κλήσης μπορεί να καθυστερήσει μέχρι να υπάρξει ένα διαθέσιμο κανάλι. Αυτός ο τύπος ομαδοποίησης καναλιών ονομάζεται καθυστέρηση φραγμένων κλήσεων και το μέτρο του GOS ορίζεται ως η πιθανότητα να μπλοκαριστεί μια κλήση μετά από αναμονή στην ουρά για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η πιθανότητα να μην έχει άμεση πρόσβαση μια κλήση στο κανάλι δίνεται από:

$$P_r[\text{delay} > 0] = \frac{A^C}{A^C + C! \left(1 - \frac{A}{C}\right) \cdot \sum_{k=0}^{C-1} \frac{A^k}{k!}}$$

- όπου C το πλήθος των ομαδοποιημένων καναλιών
- Ο GOS ενός συστήματος Erlang C δίνεται από την:

$$P_r[\text{delay} > t] = P_r[\text{delay} > 0] \exp\left(-\frac{C - A}{H} t\right)$$

- Η μέση καθυστέρηση:

$$D = P_r[\text{delay} > 0] \frac{H}{C - A}$$

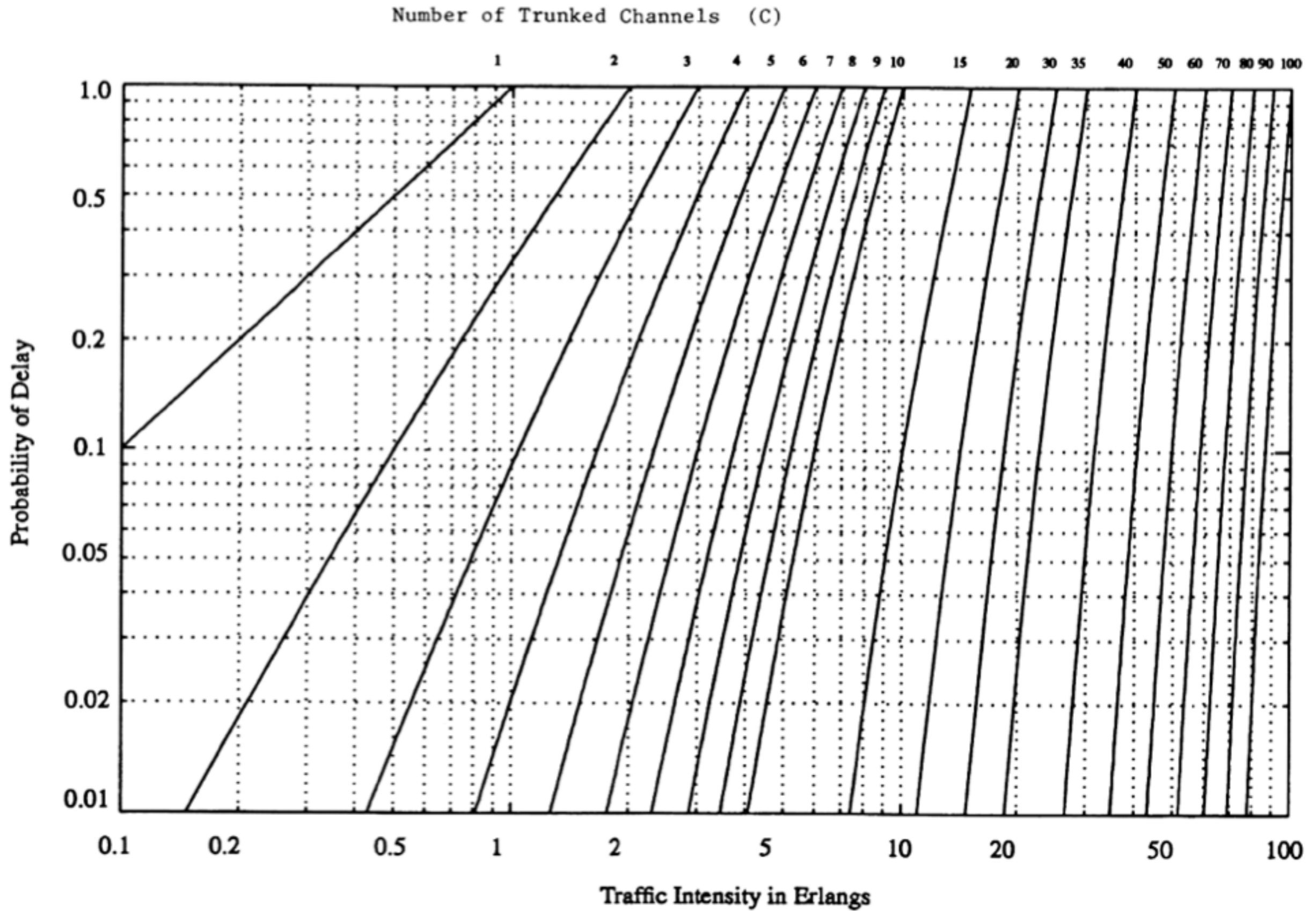


Figure 3.7 The Erlang C chart showing the probability of a call being delayed as a function of the number of channels and traffic intensity in Erlangs.