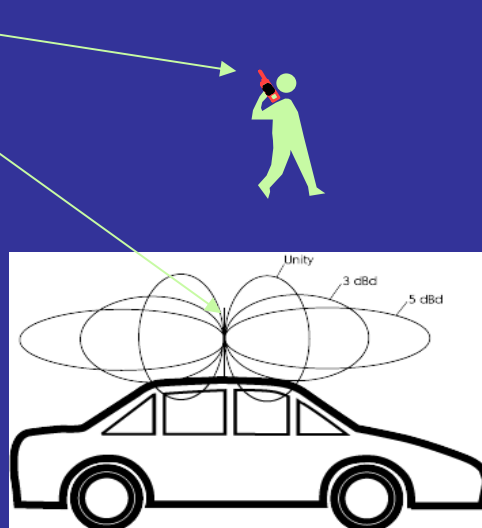


Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών

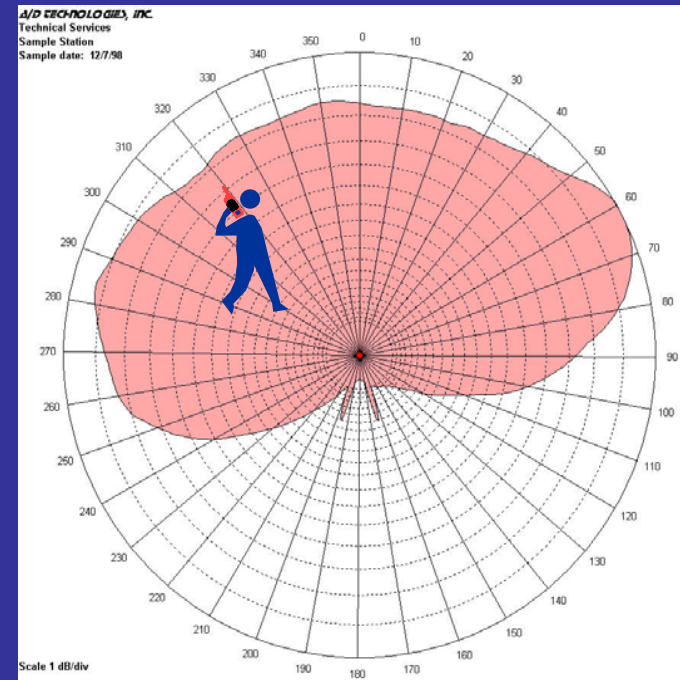
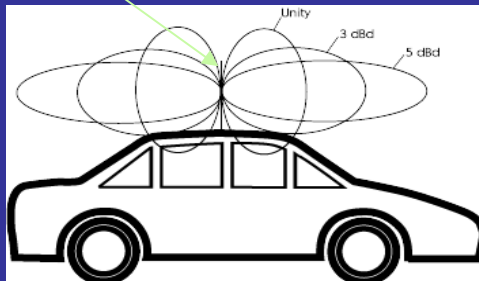
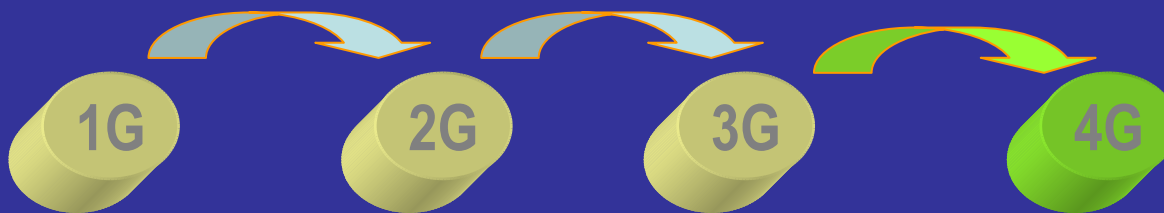
Σταύρος Κωτσόπουλος, Καθηγητής

Εργαστήριο Ασύρματης Τηλεπικοινωνίας

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών



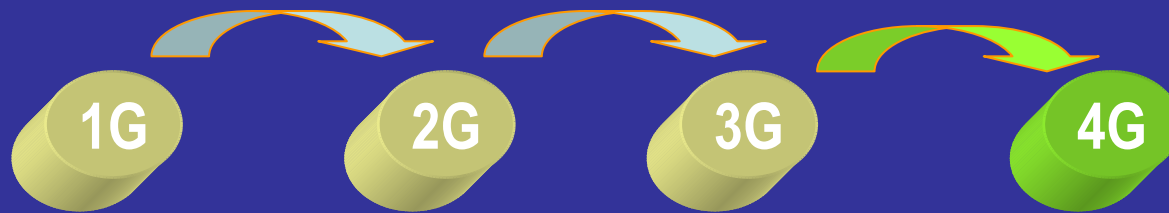
Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών



Περιεχόμενα Παρουσίασης

- Διαχρονική Εξέλιξη Ασυρματικών Δικτύων
- Παραμετροποίηση Ασυρματικών Δικτύων
- Πρότυπο GSM

Διαχρονική Εξέλιξη Ασυρματικών Δικτύων



Γιατί τόσο πολύ Δραστηριότητα στις Ασύρματες Τεχνολογίες ?

“ Η ασύρματη τεχνολογία παρέχει
πραγματικές λύσεις σε πραγματικά
προβλήματα, που οι καταναλωτές
επιθυμούν να πληρώσουν.

End of Story!”

καλώδιο
αυτό πρέπει
να φύγει



Οι Ευκαιρίες στην *Επόμενη Γενιά*

- **Ασύρματες Επικοινωνίες Ευρείας Ζώνης**
 - Σύγκλιση τεχνολογιών για υποστήριξη Φωνής, δεδομένων και video
 - Ολοκλήρωση των Συστημάτων Ευρείας Εκπομπής (Ψηφιακή Ραδιοφωνία, Ψηφιακή Τηλεόραση)
 - Ολοκλήρωση Υβριδικών Δορυφορικών και Επίγειων Δικτύων
- Αποτελούν και την τελική πραγματοποίηση του **Οράματος στις Ασύρματες Επικοινωνίες!**

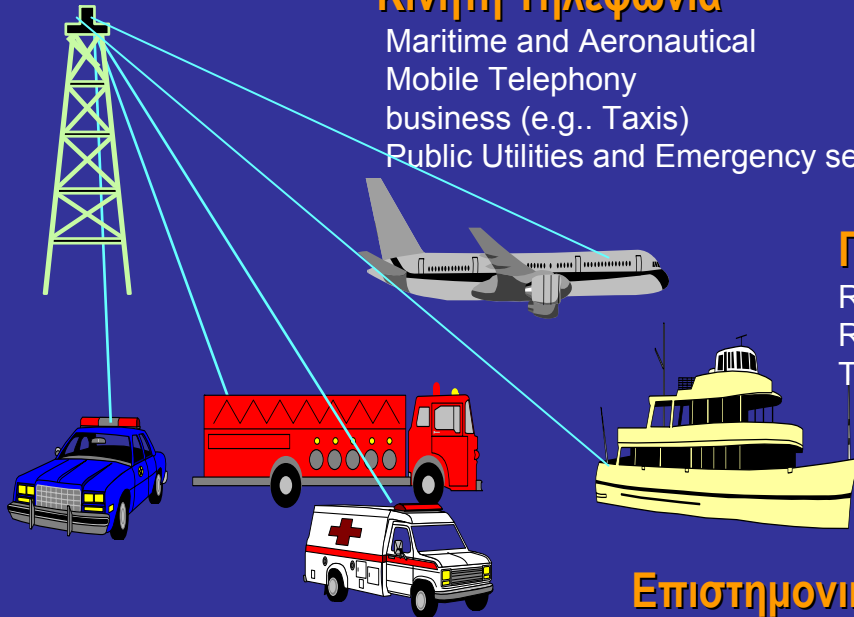
Χρήσεις Φάσματος Συχνοτήτων

Υπουργείο Μεταφορών & Επικοινωνιών



Κινητή Τηλεφωνία

Maritime and Aeronautical
Mobile Telephony
business (e.g.. Taxis)
Public Utilities and Emergency services

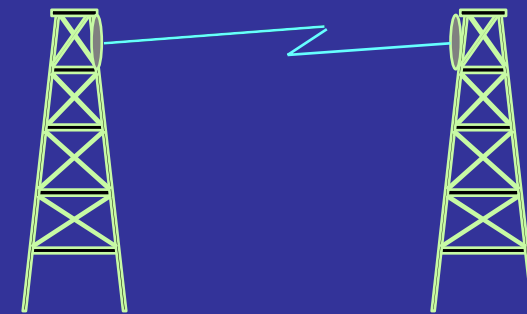


Πλοήγηση

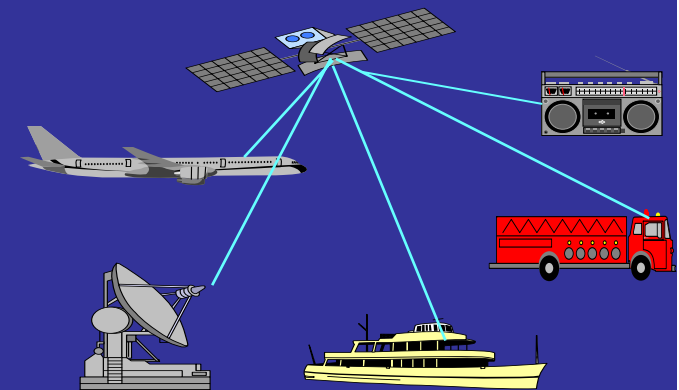
Radio navigation
Radio Location
Terrestrial or Satellite

Ασύρματες Ζεύξεις

Point to Point Links
Point to Multipoint Links



Δορυφορικές Επικοινωνίες



Συστήματα Ευρείας Εκπομπής

Τηλεόραση
Ραδιόφωνο



Επιστημονικές Χρήσεις

Ραδιοαστρονομία
Μετεωρολογία
Σεισμολογία
κ.λ.π

Άλλες Χρήσεις

ραδιοερασιτέχνες
CB
ραδιομοντελισμός
κ.λ.π

Τομέας Εκπαίδευσης



Εκπαίδευση από απόσταση

**Τομέας Περιβάλλοντος
Τομέας Γεωργίας**



**Συστήματα Τηλεμετρίας &
Τηλεχειρισμού**

Τομέας Υγείας



Τηλεϊατρική (διάγνωση & θεραπεία)

Τομέας Εργασίας



**Τηλε-εργασία, Ηλεκτρονικό Εμπόριο
Εκπαίδευση & τεχνική Υποστήριξη**

Τομέας Μεταφορών



**Ευφυείς Μεταφορές
Intelligent Transportation Systems - ITS**

**Πρόσβαση σε Κέντρα Πληροφόρησης
(Βάσεις Δεδομένων)**

Υψηλοί Ρυθμοί Μετάδοσης



**ΦΩΝΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΑ
Ακίνητες ΕΙΝΟΝΕΣ
VIDEO**

Απαίτηση για χρήση:

Κατάλληλων Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων, τα οποία θα πρέπει να διασφαλίζουν :

- Μετάδοση μεγάλου όγκου πληροφορίας*
- Ασφάλεια στην μετάδοση*
- Υψηλούς Ρυθμούς Μετάδοσης*
- Συμβατότητα μεταξύ των συστημάτων*
- Ευέλικτα πρωτόκολλα επικοινωνίας*
- Βέλτιστη Διαχείριση του Φάσματος των συχνοτήτων*
- Δυναμική καταχώριση ικανού εύρους ζώνης (bandwidth) ανάλογα με την αιτούμενη QoS των επικοινωνιακών υπηρεσιών*
- Μειωμένη πολυπλοκότητα της υπό χρήση τεχνολογίας*

Δίκτυα 4ης Γενιάς

Ασυρματικά Δίκτυα & Διασύνδεση αυτών

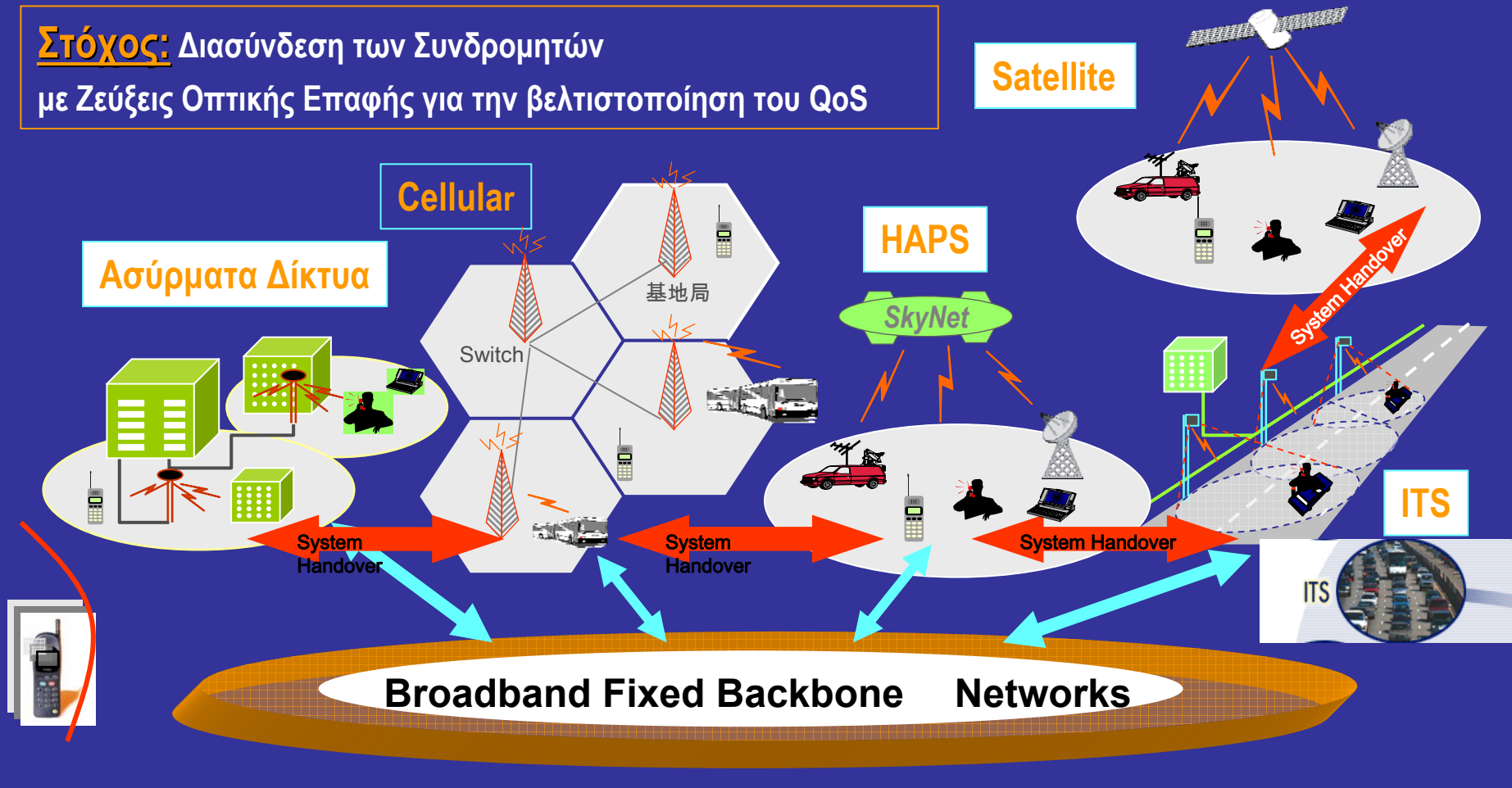
Στόχος: Διασύνδεση των Συνδρομητών με Ζεύξεις Οπτικής Επαφής για την βελτιστοποίηση του QoS

Μεταγωγή (Handover)

+

Περιοδεία (Roaming)

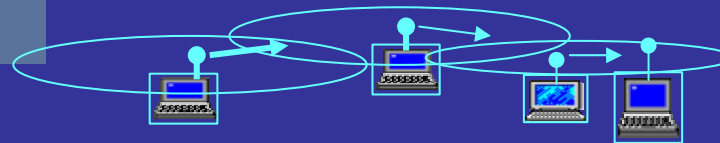
Μεταγωγή Συστήματος (System Handover)



Ασύρματα Δίκτυα



Ad-hoc Δίκτυα

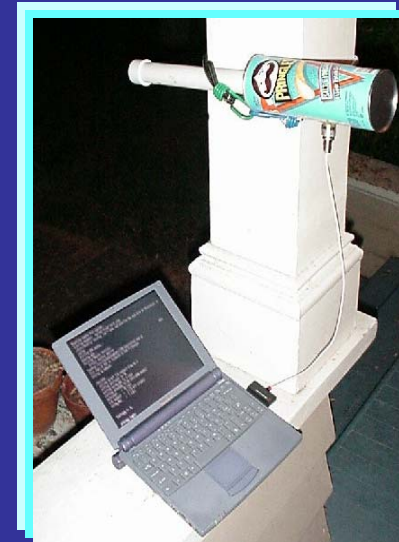
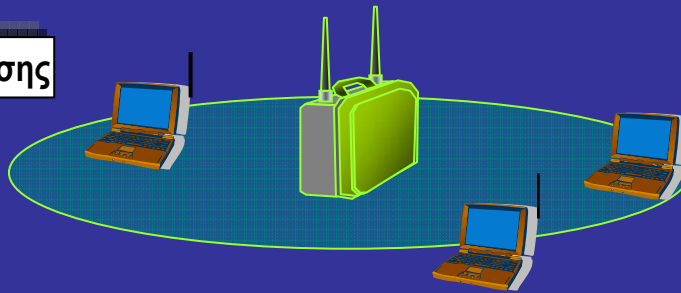


Υπηρεσίες:



- Υπηρεσίες Πολυμεσικών Μηνυμάτων (MMS)
- Πρόσβαση στο Internet
- Υπηρεσίες Εντοπισμού Θέσης
- Διαβάθμιση του QoS
- Πολυμεσικές Εφαρμογές
- Υψηλής ταχύτητας Video-on-Demand

W - LANS



Ασύρματα Δίκτυα: W - LANS

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

- 802.11: Υποστηρίζει μετάδοση με ρυθμούς 1 -2 Mbps (2.4 GHz)
- 802.11b: Υποστηρίζει μετάδοση με ρυθμούς 11 Mbps (2.4 GHz)
- 802.11a: Υποστηρίζει μετάδοση με ρυθμούς 54 Mbps (5 GHz) OFDM
- 802.11g: Υποστηρίζει μετάδοση με ρυθμούς 54 Mbps (2.4 GHz) OFDM
- Bluetooth: Υποστηρίζει μετάδοση με ρυθμούς 1 Mbps (2.4 GHz) Frequency Hopping

Απαιτούνται σημεία πρόσβασης: Access Points



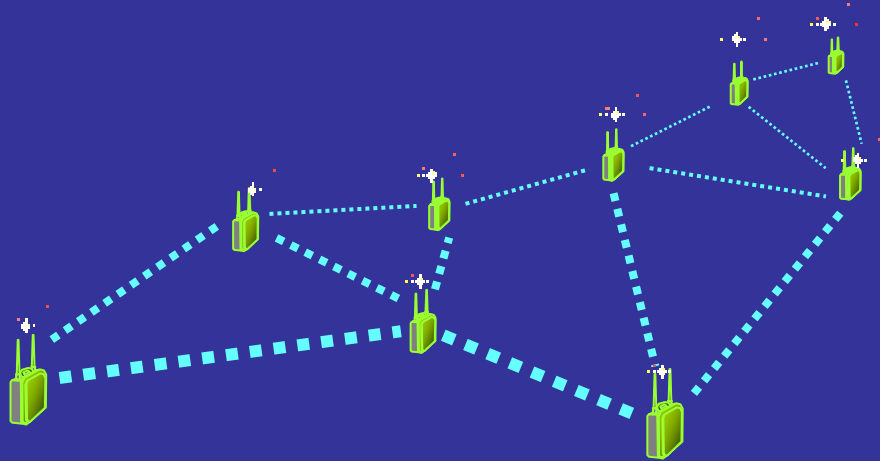
Bluetooth Adapter

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ:

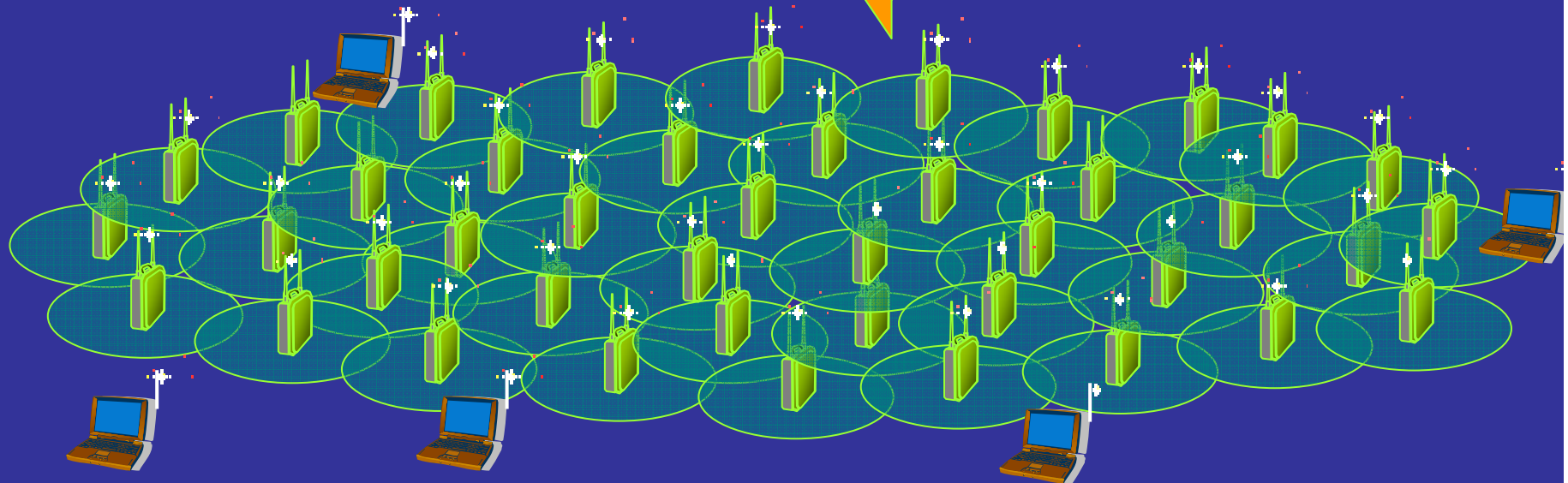
- Διασυνδέονται χρήστες με μεγάλη κινητικότητα, χωρίς να υπάρχει ενσύρματη διασύνδεση
- Παρουσιάζουν μεγάλη αξιοπιστία
- Εύκολη Εγκατάσταση
- Χαμηλά Κόστη
- Μεγάλη δυνατότητα επεκτασιμότητας

W-LANs

Κυψελωειδής Προσέγγιση



Δυνατότητα Μεταγωγής των Συνδρομητών



- Διαδικτύωση Πλαίγματος για την αντιμετώπιση των προβλημάτων μη Οπτικής Επαφής

Ad-hoc Δίκτυα

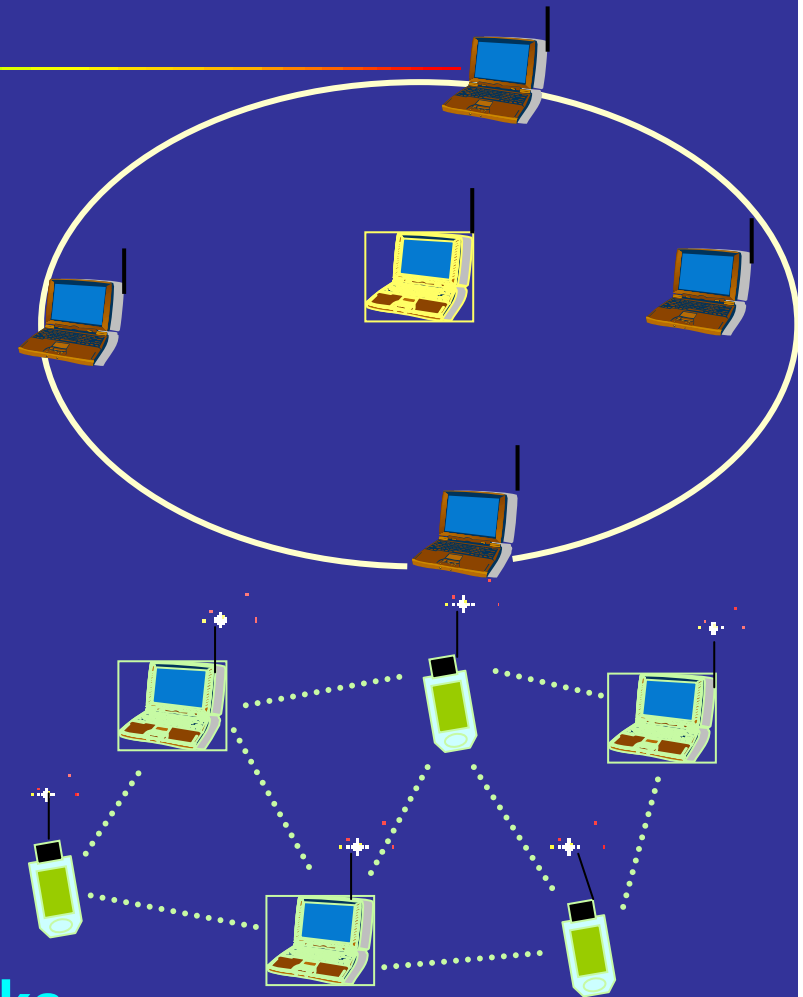
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ομάδα συνδρομητών, που ζητούν άμεση επικοινωνία μεταξύ τους, χωρίς να υπάρχει η αναγκαιότητα ενσύρματης πρόσβασης

Η επικοινωνία πραγματοποιείται σε κοινό κανάλι

Λειτουργούν στην περιοχή των συχνοτήτων 5 GHz

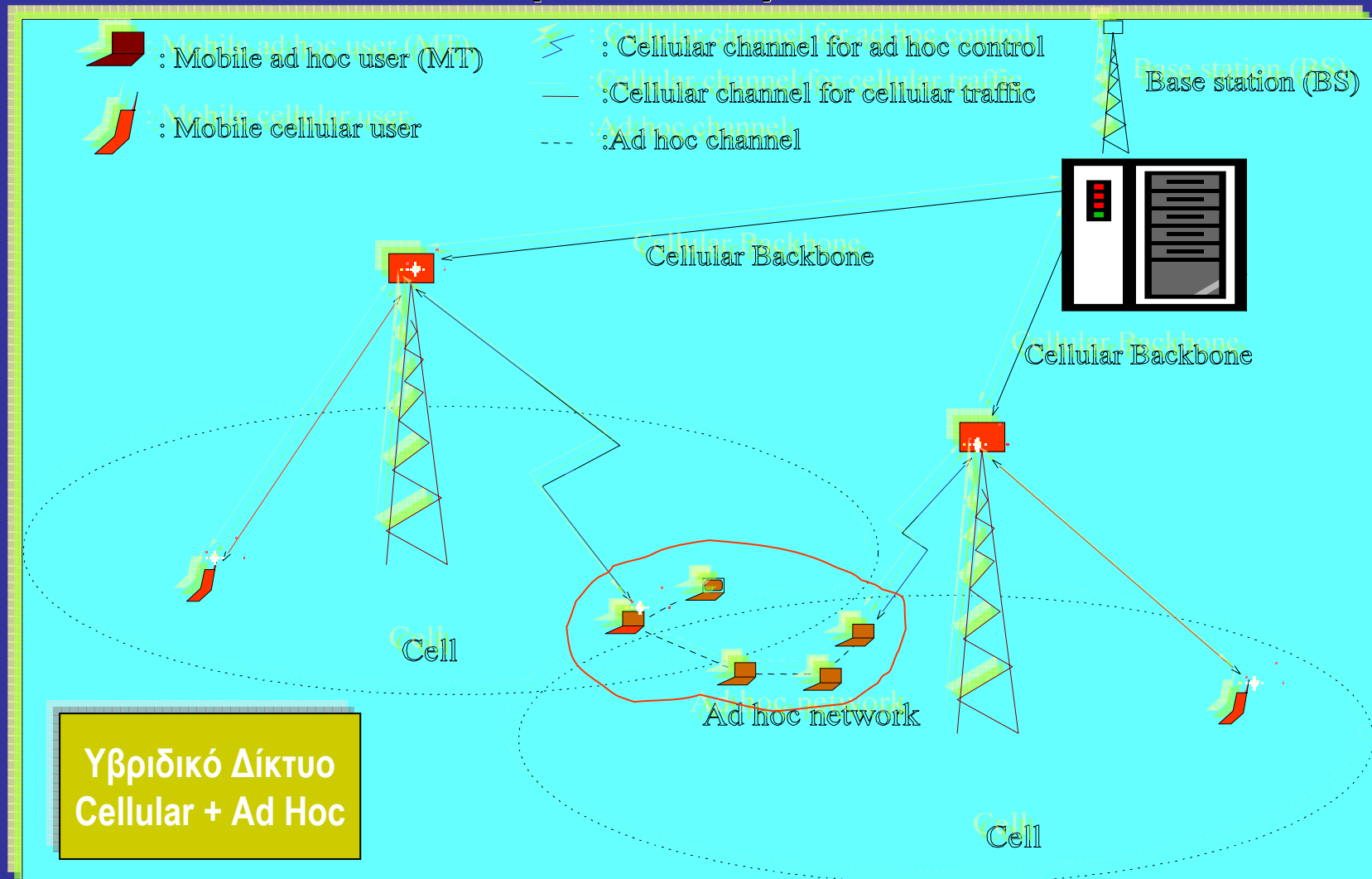
Χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο 802.11b

Δεν απαιτούνται Σημεία Πρόσβασης (Access Points)

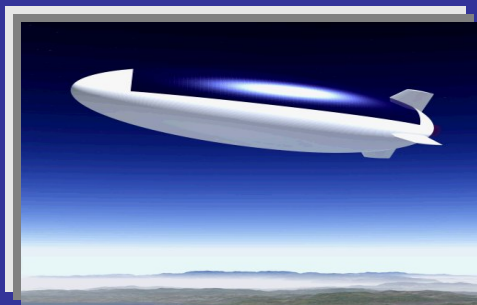


multi-hop wireless ad hoc networks

Cellular-Aided Mobile Ad Hoc Network (CAMA)



High Altitude Platform Systems - HAPS



Balloons/airships

ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ:

- Κάτω Ζεύξη: 17.3 – 17.7 GHz
- Ανω Ζεύξη: 27.5 – 27.82 GHz
- Εχουν Δεσμευθεί οι Περιοχές: 47.2 – 47.5 GHz & 47.9 – 48.2 GHz

ΡΥΘΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ:

- Ανω Ζεύξη: 2 Mbps
- Κάτω Ζεύξη: 10 Mbps

ΚΑΛΥΨΗ:

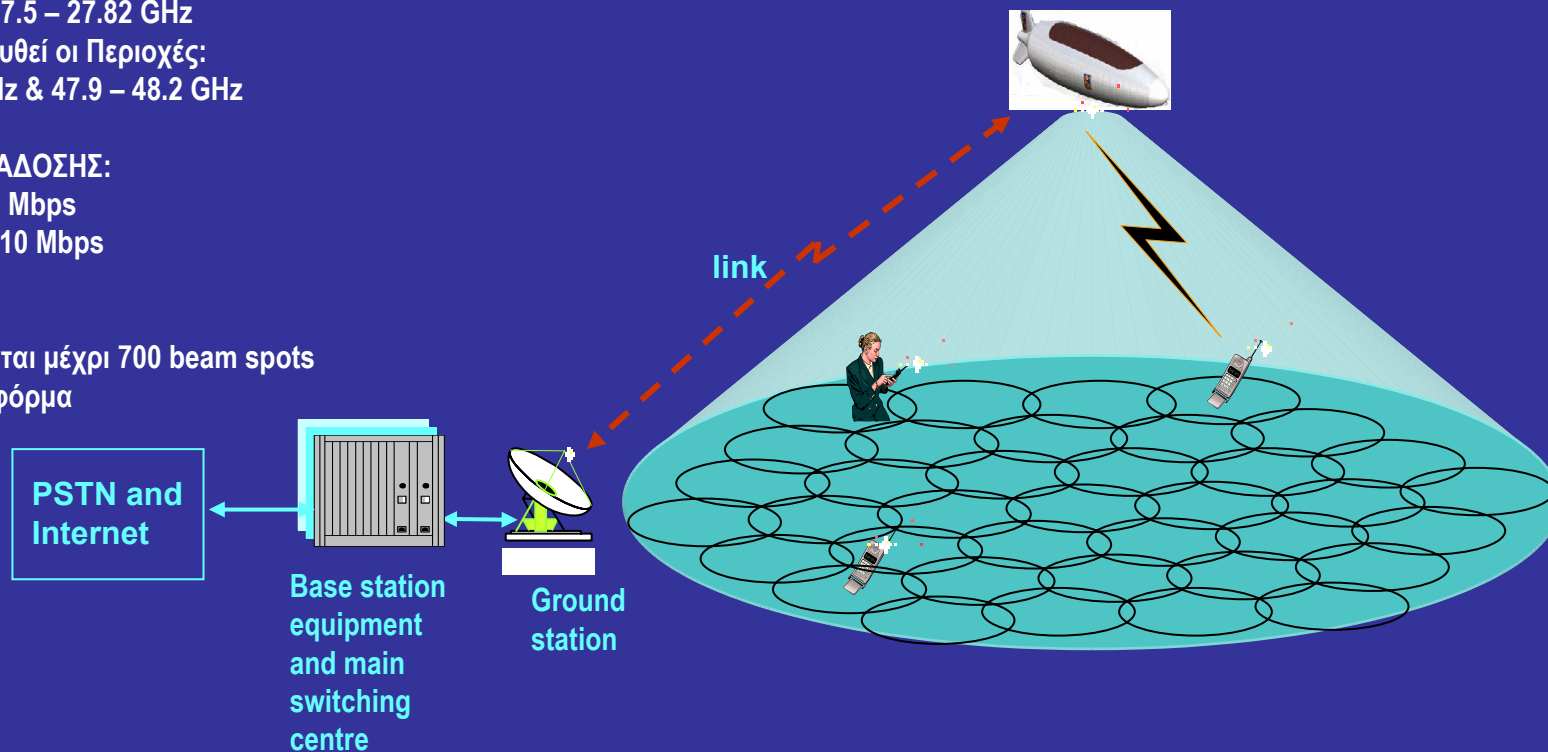
- Υποστηρίζονται μέχρι 700 beam spots σε κάθε Πλατφόρμα



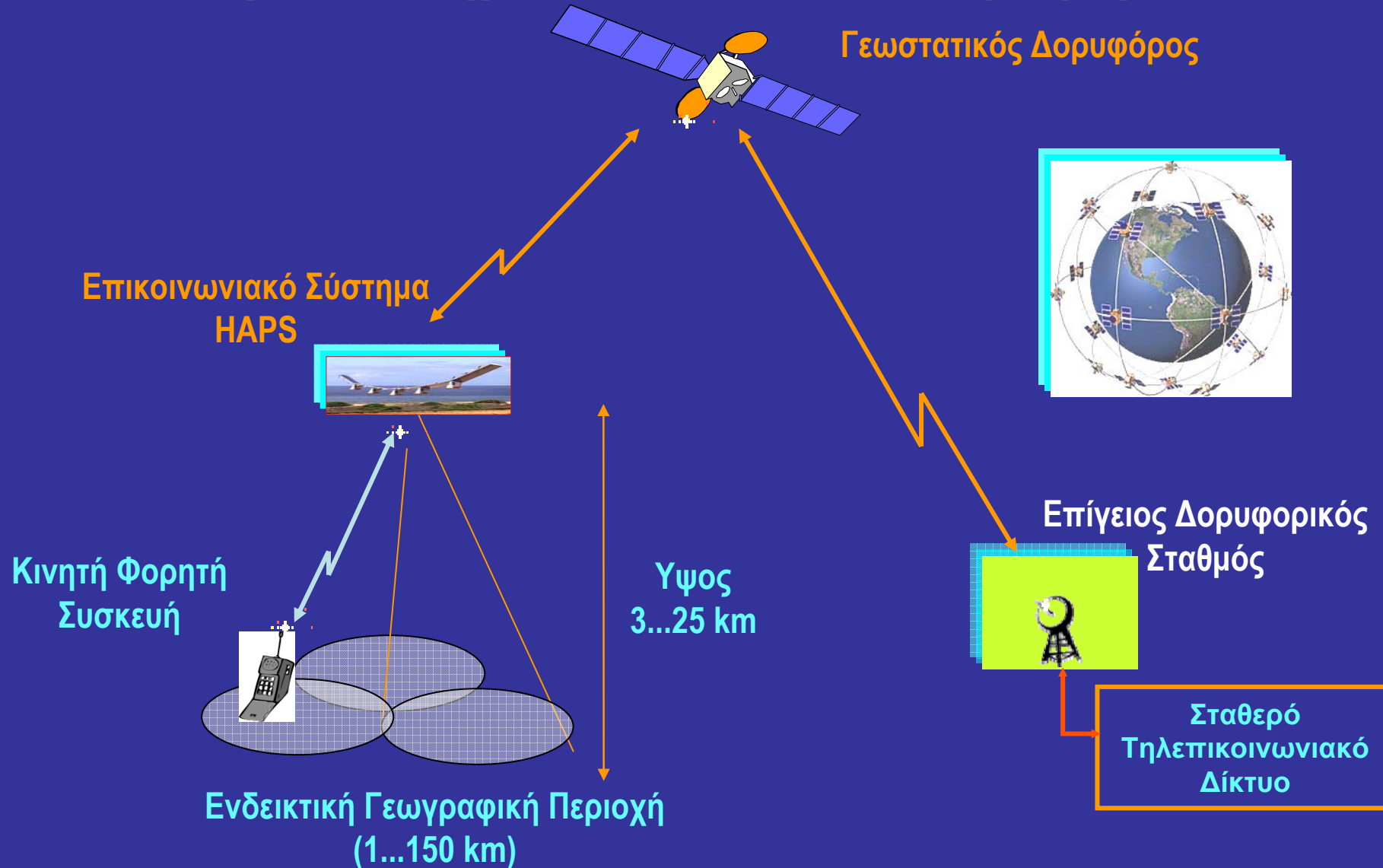
Unmanned Aerial Vehicle (UAV)



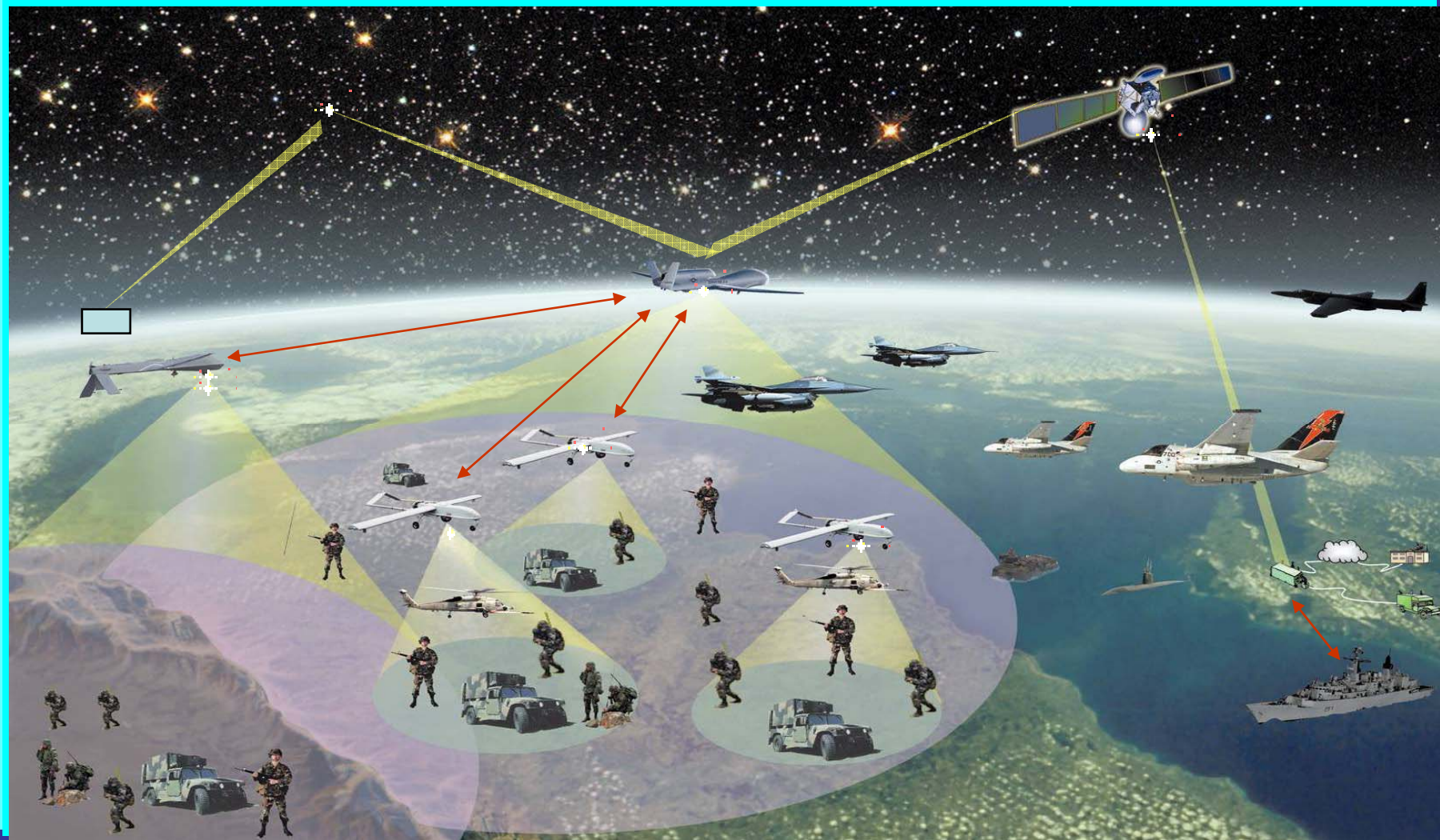
Manned Aircraft



Ασυρματική Κάλυψη Γεωγραφικής Περιοχής από Συνδιασμό Συστημάτων HAPS και Δορυφόρου



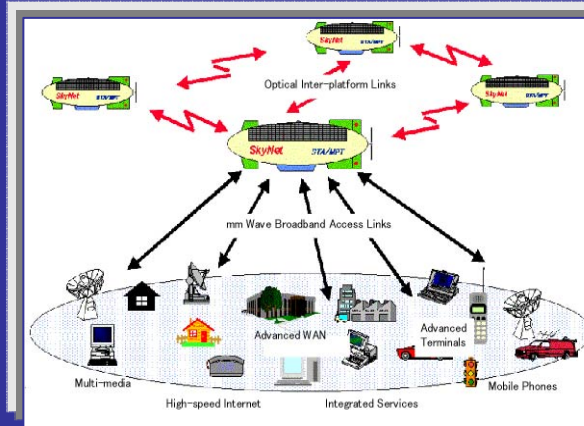
Εφαρμογή Ασυρματικής Κάλυψης Γεωγραφικής Περιοχής από Συνδιασμό Συστημάτων HAPS και Δορυφόρου



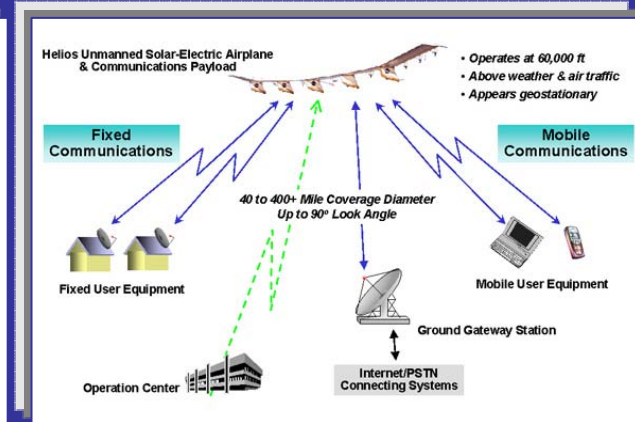
Μεγάλα Projects HAPS



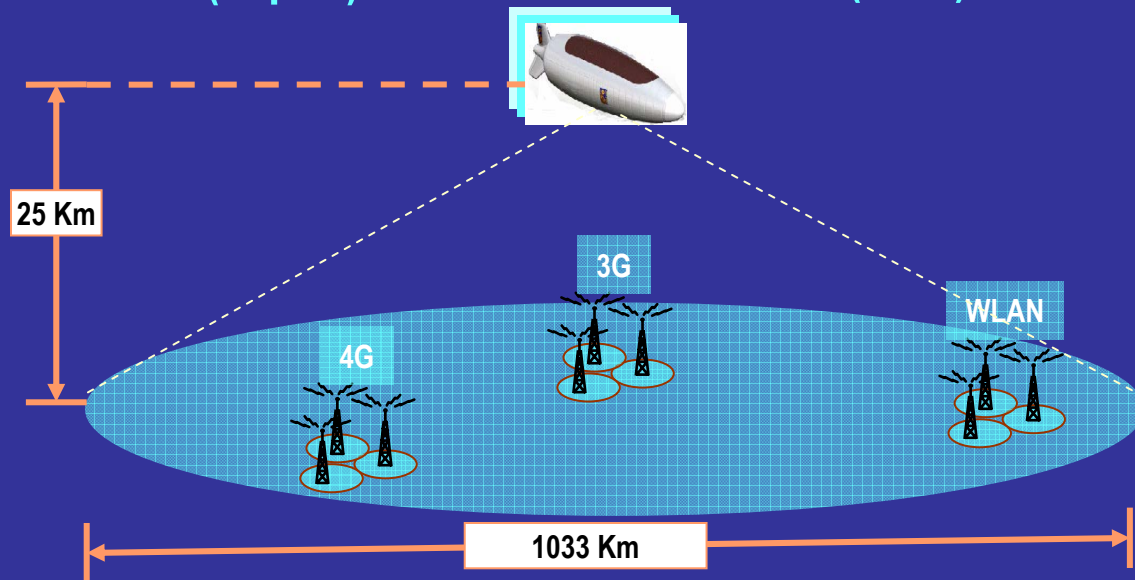
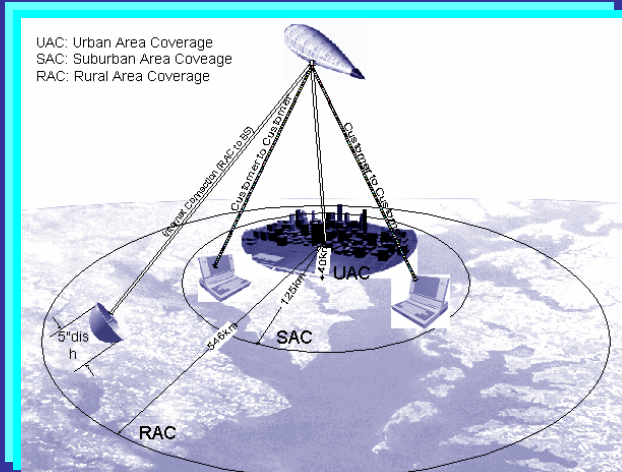
**SkyStation
(USA)**



**SkyNet
(Japan)**



**SkyTower
(USA)**





Το HELIOS
Πάνω από την
Χαβάη

Sky Tower Project

- Τέθηκε σε λειτουργία τον Ιούλιο 2002
- Sky Tower / AeroVironment
•Τηλεπικοινωνιακός Οργανισμός της Ιαπωνίας
•NASA
- HDTV
•3 G Κινητή Τηλεφωνία

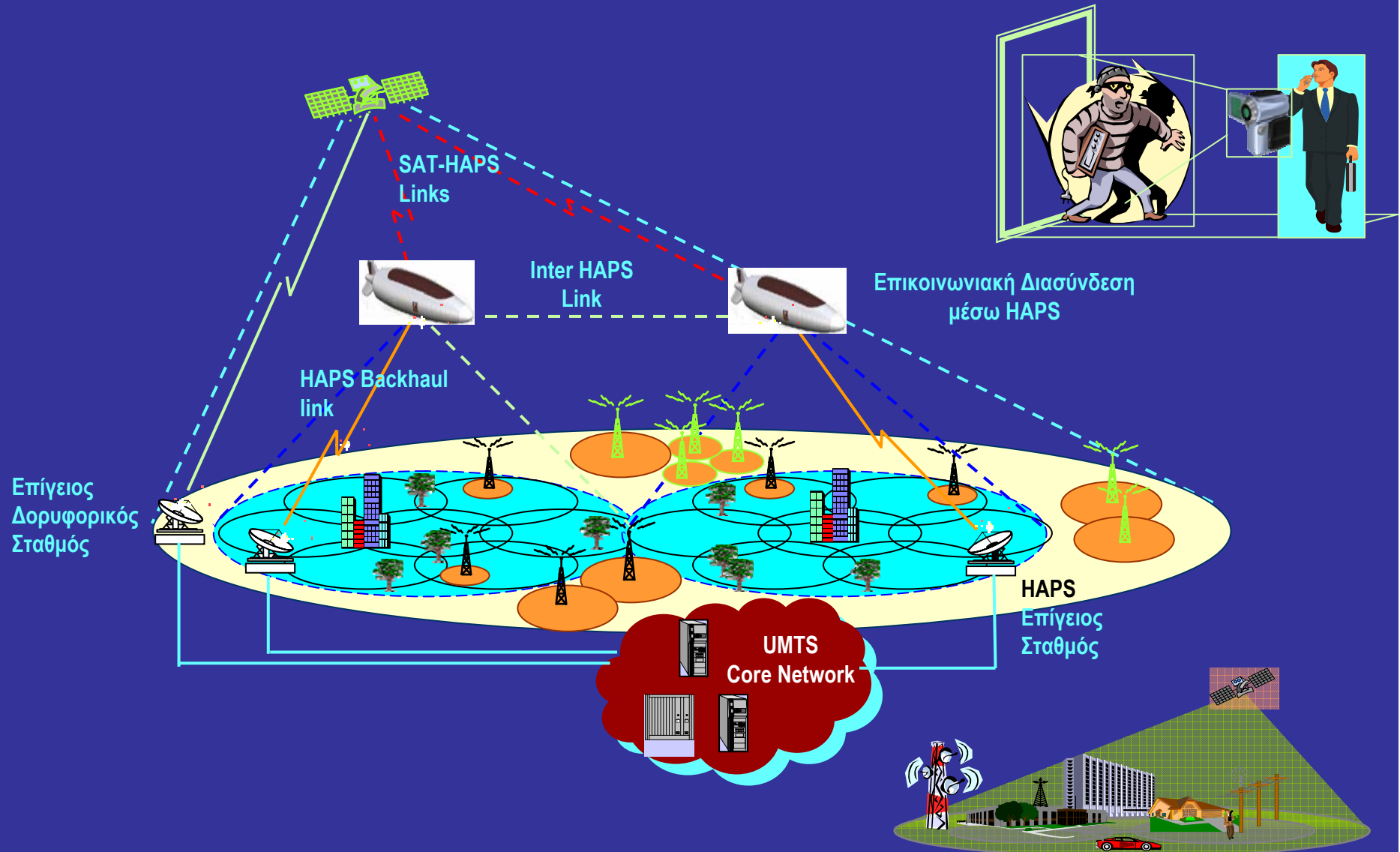


European Space
Agency (ESA)

EuroSkyWay Project

- Airobotics GmbH
•ESA
•Fraunhofer Institute
•DLR
- Το project ξεκίνησε τον Σεπτέμβριο του 2002 και τελείωσε τον Σεπτέμβριο του 2003
- DAB, DVB
•3 G Κινητή Τηλεφωνία

Σύγκλιση Τεχνολογιών

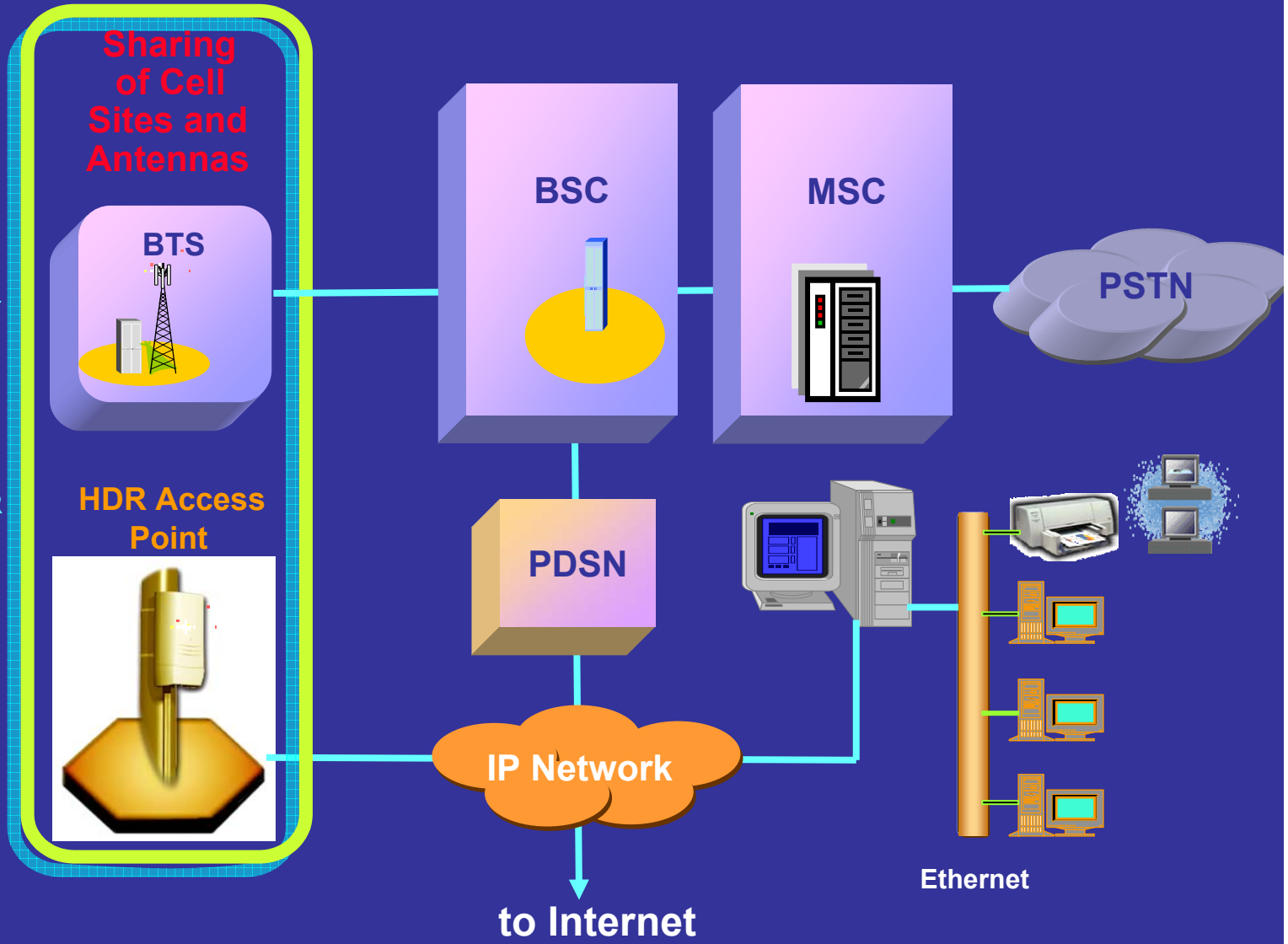




Dual Mode
GSM & HDR



HDR



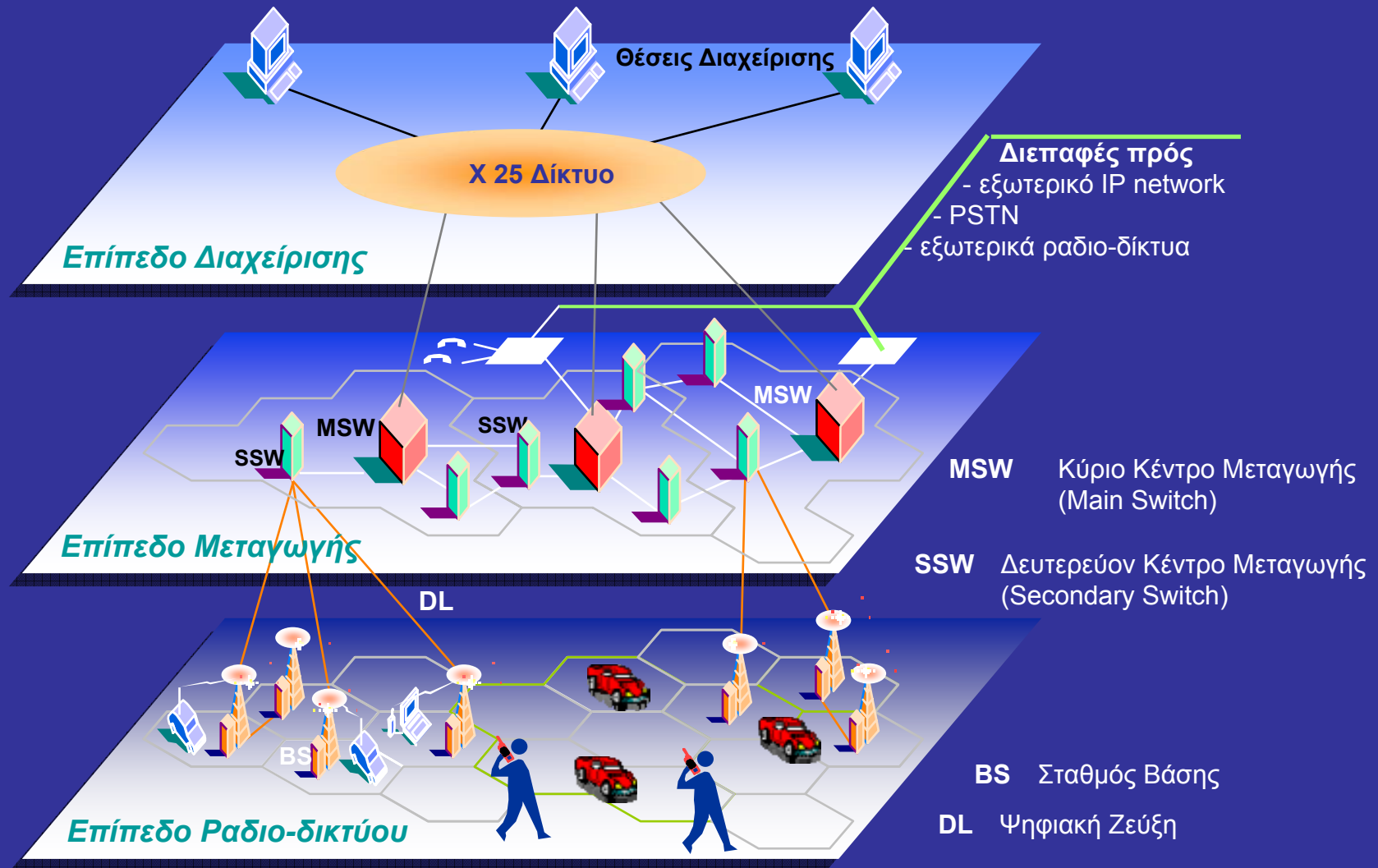
Παραμετροποίηση Κυψελωειδών Ασυρματικών Δικτύων



Τεχνική
Παραμετροποίηση

QoS

Ιεραρχική Δομή ενός Συστήματος Κινητής Τηλεφωνίας

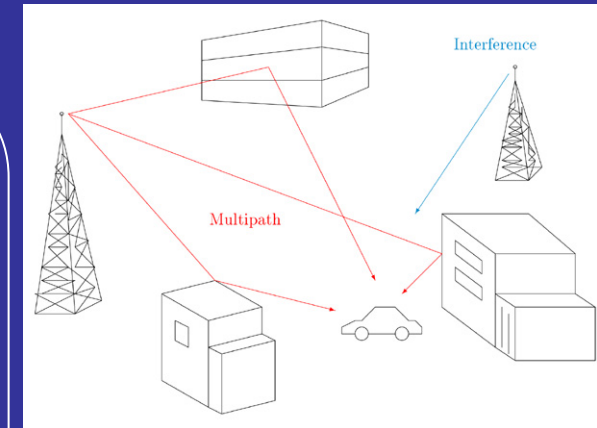


Επίπεδο Ραδιοδικτύου

- Κεραιοσυστήματα
- Γεωγραφική Περιοχή
(αστική, ημιαστική, ανοικτή, ετερογενής)
- Φορητές Συσκευές
- Χαρακτηρισμός Ασύρματου Καναλιού
 - Κανάλι Επικοινωνίας Συνδρομητή
 - RF Ζεύξη
- Γραμμές Μεταφοράς
 - Σύνδεση με κεραιοσυστήματα
 - Σύνδεση με Ψηφιακά Κέντρα

Επίπεδο Ραδιοδικτύου

- Παραμετροποίηση Κεραιών
- RF Μοντέλο Κάλυψης
- Παραμετροποίηση Δεκτών
- Ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα
Free Space Loss Path Loss Fading
- Απώλειες Γραμμών Μεταφοράς
- + Προσαρμογή



Link Budget



*Εκτίμηση Στάθμης
Σήματος Λήψης*

Επίπεδο Ραδιοδικτύου

- Παρεμβολή Ενδοδιαμόρφωσης
Intermodulation Interference

- Ομοκαναλική Παρεμβολή
Co-channel Interference

- Παρεμβολή Γειτονικού Καναλιού
Adjacent Channel Interference

QoS



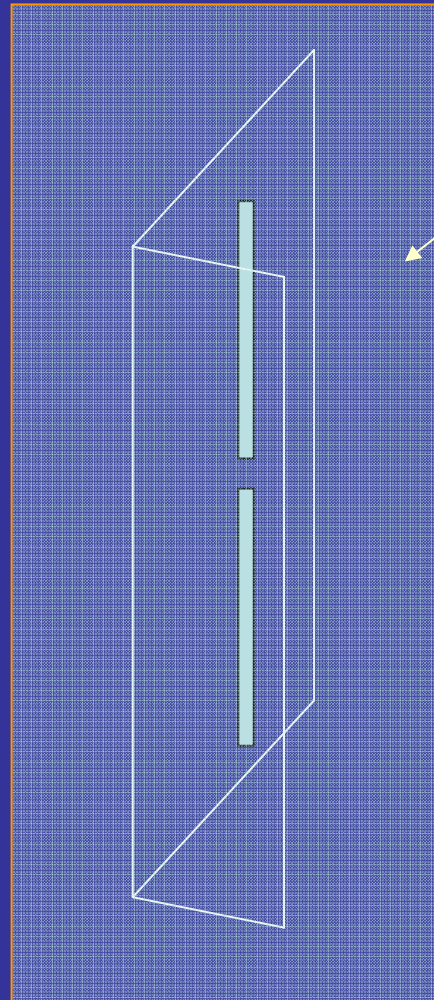
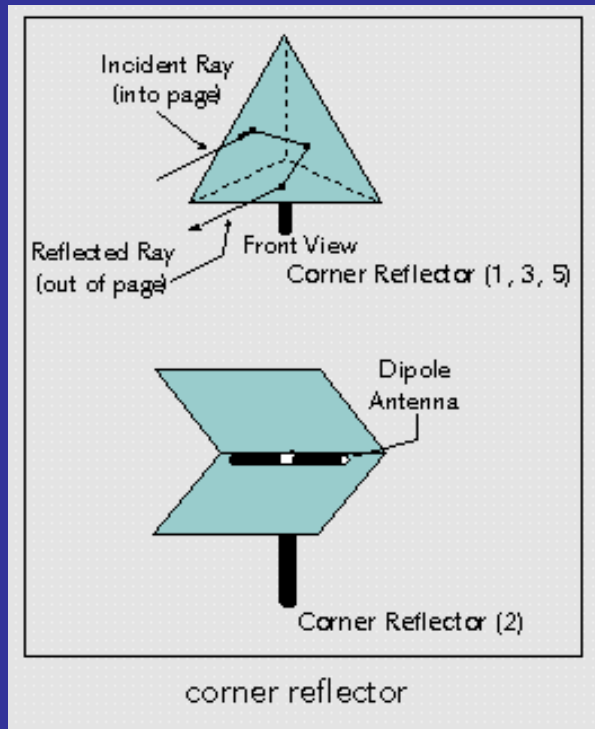
SNR

BER

Επίπεδο Ραδιοδικτύου

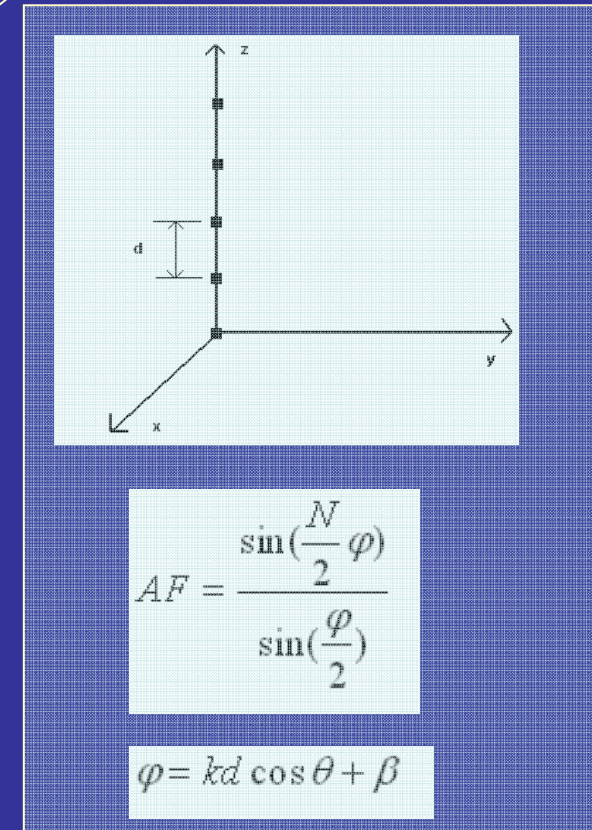
- Κεραιοσυστήματα

Corner Reflector



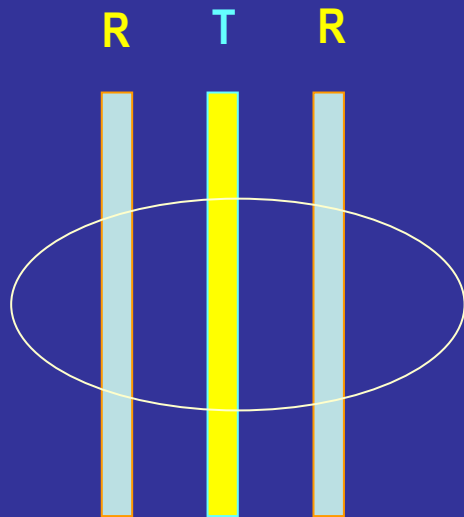
radome

Antenna Array

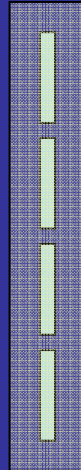


Επίπεδο Ραδιοδικτύου

- Κεραιοσυστήματα



Corner Reflector



Antenna Array

Απολαβή (G)

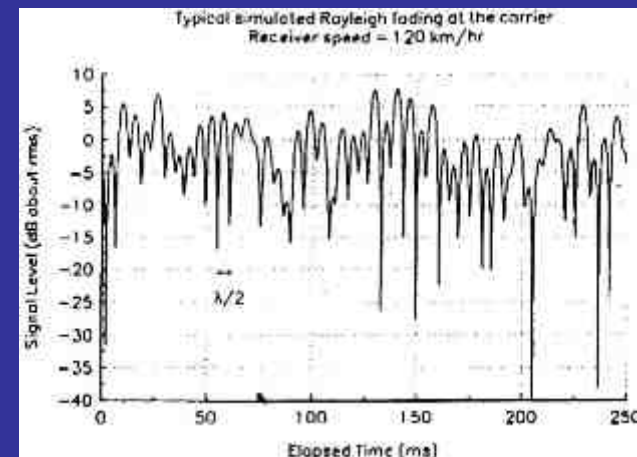
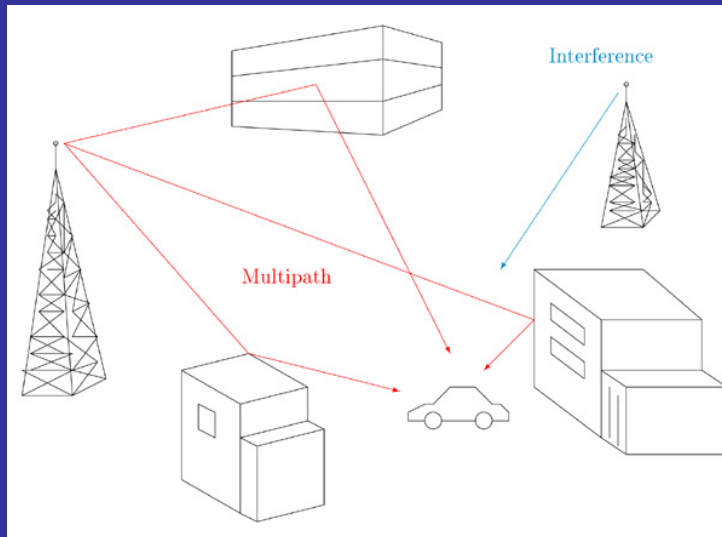
Χαρακτηριστική Αντίσταση (Z)

Ενεργός Επιφάνεια (A_{eff})

ERP

Επίπεδο Ραδιοδικτύου

- Γεωγραφική Περιοχή
(αστική, ημιαστική, ανοικτή, ετερογενής)
- Χαρακτηρισμός Ασύρματου Καναλιού



Κατηγοριοποίηση Γεωγραφικών Περιοχών



URBAN



OPEN AREAS



SUBURBAN

RF Modeling

Παραμετροποίηση
του Προβλήματος

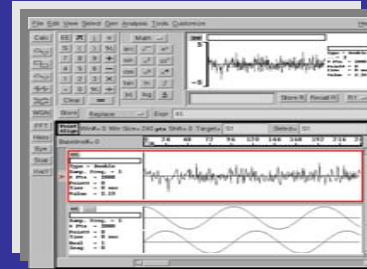
Συσχέτιση των Τεχνικών
Παραμέτρων

Εύρεση της Συνάρτησης
του Path Loss

Επιλογή Γεωγραφικής
Περιοχής

Πειραματικές
Μετρήσεις

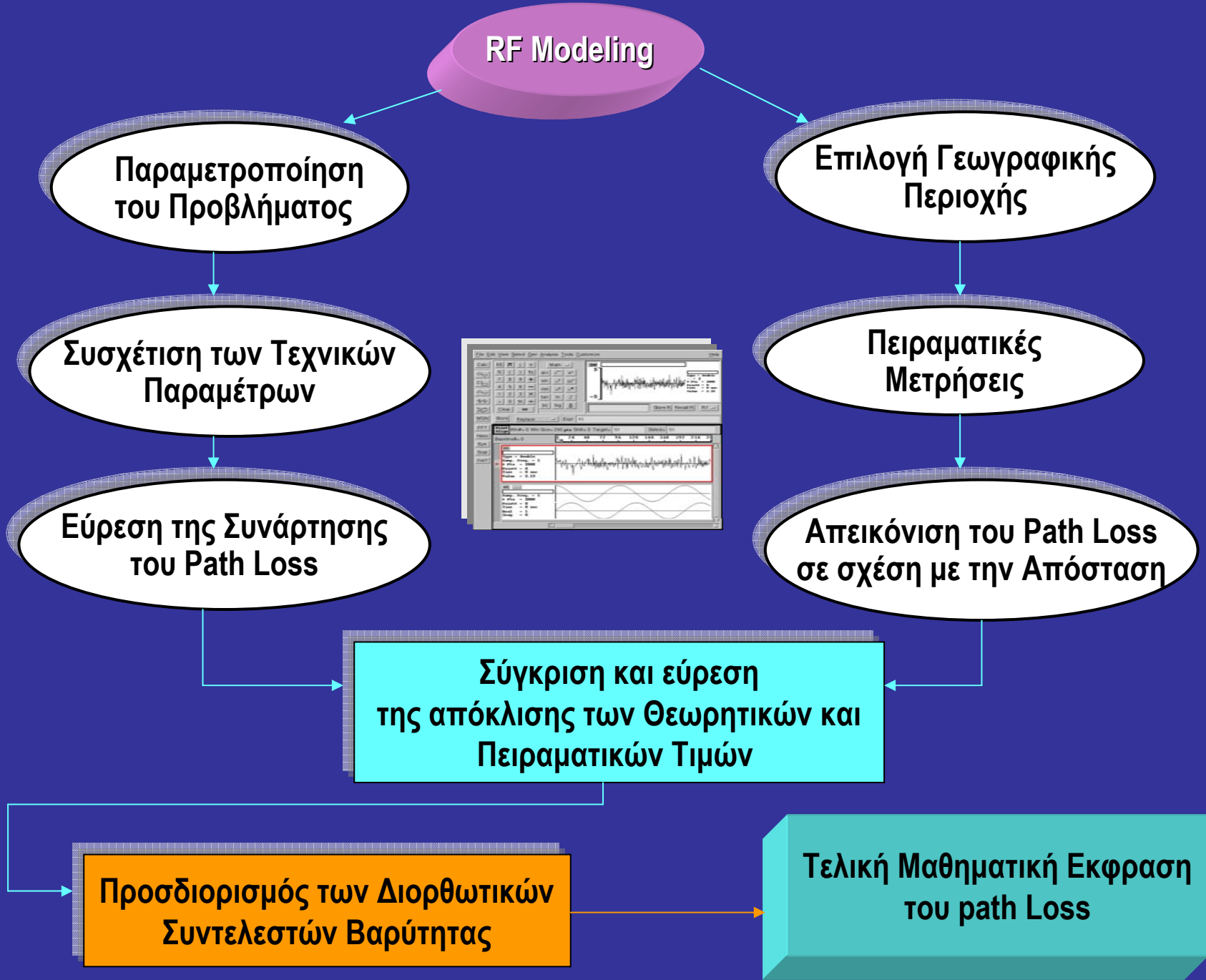
Απεικόνιση του Path Loss
σε σχέση με την Απόσταση



Σύγκριση και εύρεση
της απόκλισης των Θεωρητικών και
Πειραματικών Τιμών

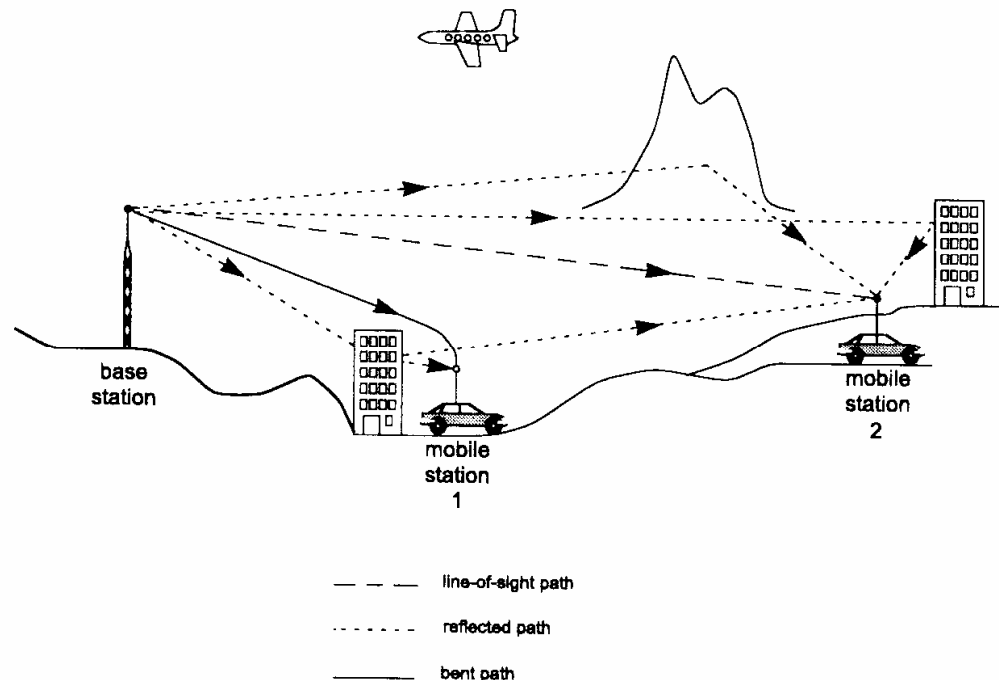
Προσδιορισμός των Διορθωτικών
Συντελεστών Βαρύτητας

Τελική Μαθηματική Εκφραση
του path Loss

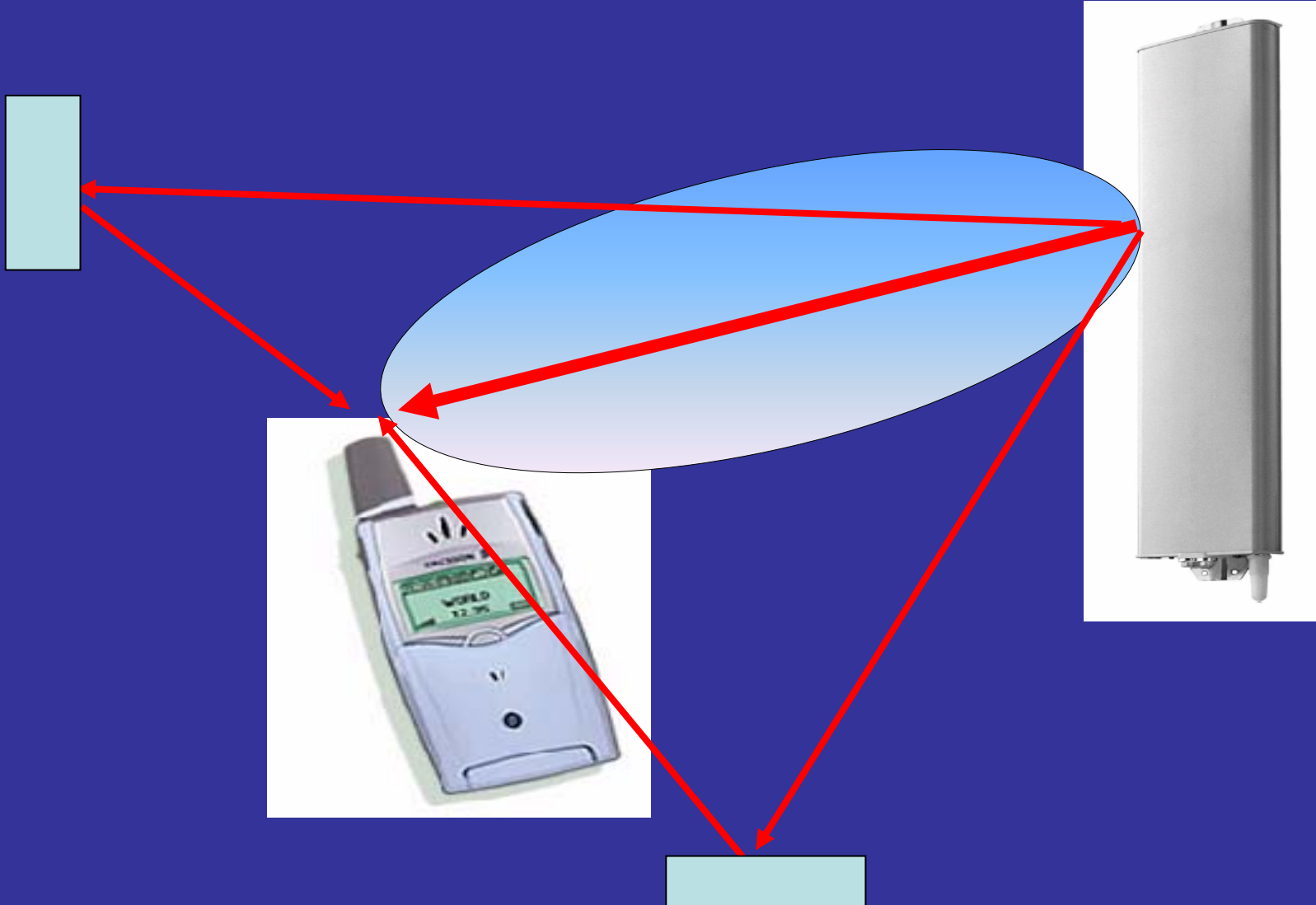


Η Διάδοση των Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων οφείλεται:

1. Στην Ανάκλαση (Reflection)
2. Στην Διάθλαση (Diffraction)
3. Στην Περίθλαση (Scattering)



Rayleigh Fading



Κατηγορίες Μοντέλων Ηλεκτρομαγνητικής Διάδοσης:

– *Large-scale ή Macroscopic:*



Πραγματοποιείται εκτίμηση της ισχύος του σήματος σε μεγάλες αποστάσεις Πομπού – Δέκτη (T-R Distance: Μερικές εκατοντάδες ή και χιλιάδες μέτρων)



– *Small-scale ή Microscopic (καλείται επίσης και fading):*

Πραγματοποιείται εκτίμηση της ισχύος του σήματος σε πολύ μικρές αποστάσεις Πομπού – Δέκτη (T-R Distance: 15-30 μέτρα σε εξωτερικό χώρο)

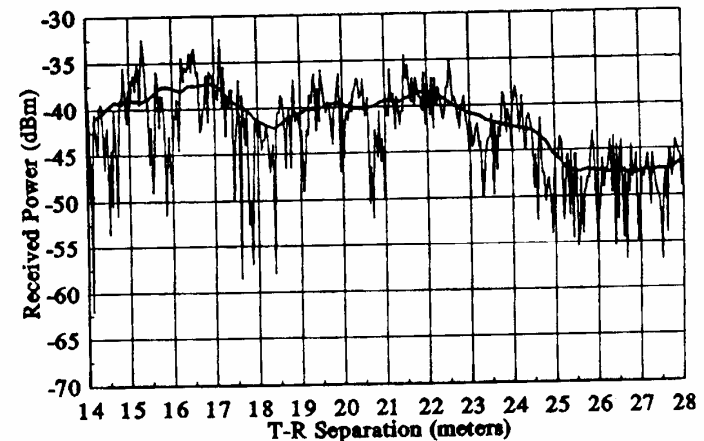
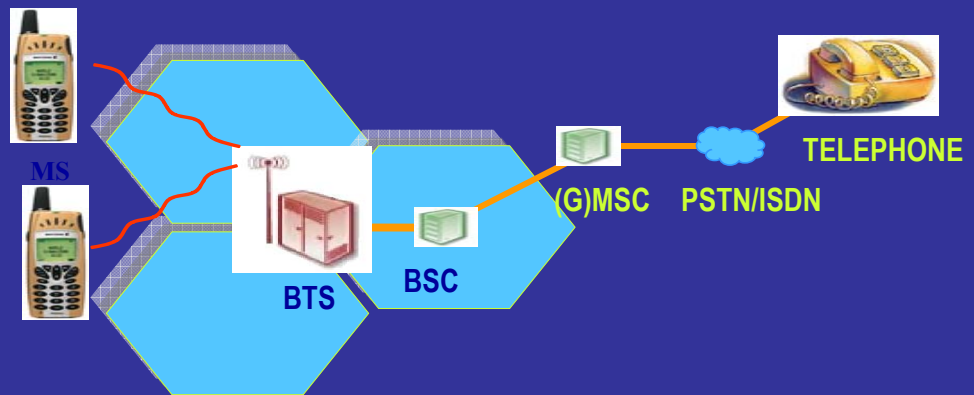
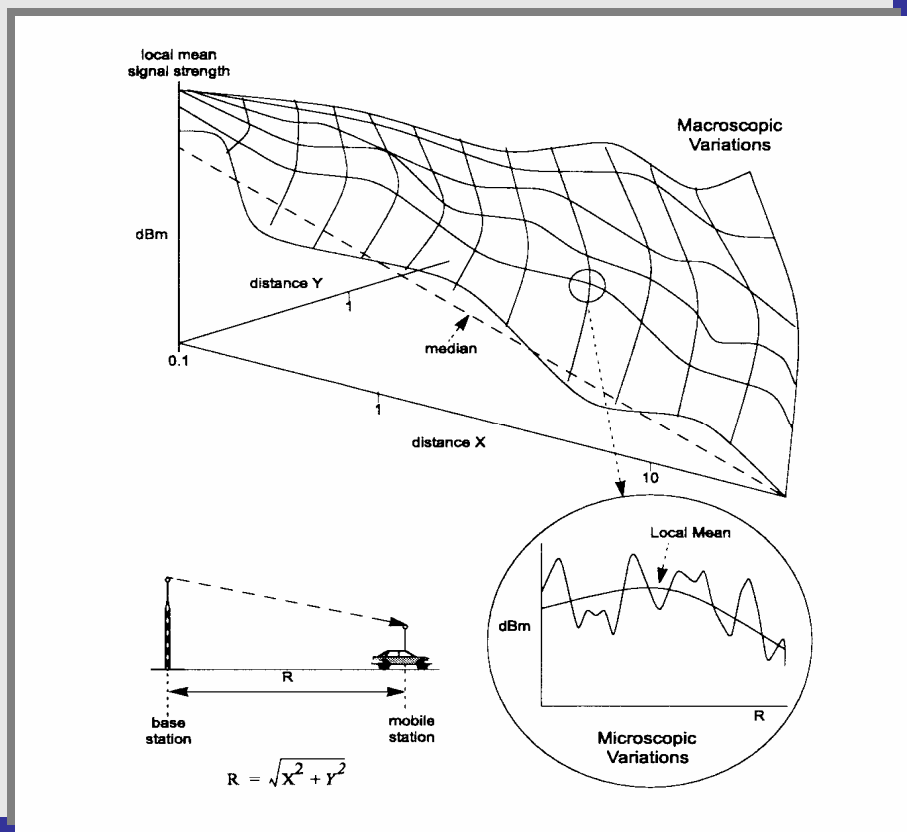


Figure 4.1 Small-scale and large-scale fading.



Small-scale ή Microscopic (καλείται επίσης και fading):

- Στην περίπτωση της Μικροσκοπικής θεώρησης, οι μεταβολές είναι ταχύτατες και το σήμα μπορεί να παρουσιάζει μεγάλες εξασθενήσεις (π.χ. 30 ή 40 dB) όταν η φορητή συσκευή κινείται σε απόσταση κλάσματος του Μήκους Κύματος (π.χ μερικά εκατοστά για το σύστημα GSM)
- Οι αποσβέσεις Μικράς Κλίμακας οφείλονται στην λήψη πολλαπλών ανακλώμενων επιβατικών ακτίνων του Ηλεκτρομαγνητικού Κύματος.
- Εφόσον το ηλεκτρομαγνητικό κύμα οδεύει στον ελεύθερο χώρο, οι επιβατικές ακτίνες ακολουθούν διαφορετικές πορείες και φθάνουν στην κεραία του δέκτη με αντίστοιχη διαφορά φάσης.
- Όταν η διαφορά των φάσεων των λαμβανόμενων επιβατικών ακτίνων είναι περίπου ίσο με το μηδέν, τότε παρατηρείται Ενίσχυση του Σήματος.
- Όταν η διαφορά των φάσεων είναι 180° τότε παρατηρείται αναίρεση των κυμάτων οπότε υφίσταται ισχυρή εξασθένηση

Free Space Propagation Model

Η λαμβανόμενη ισχύς σε συνάρτηση με την απόσταση:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

Οι απώλειες του ραδιο-διαύλου, μπορούν να περιλαμβάνουν ή να μην περιλαμβάνουν τις απολαβές των κεραιών. Στην περίπτωση αυτή υποθέτουμε ότι οι απολαβές των κεραιών είναι 1.:

$$PL(\text{dB}) = 10\log \frac{P_t}{P_r} = -10\log \left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right]$$

Εάν περιλαμβάνονται οι απολαβές των κεραιών, τότε:

$$PL(\text{dB}) = 10\log \frac{P_t}{P_r} = -10\log \left[\frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right]$$

■ Μοντέλο EGLI

$$A = 117 + 40 \log D_{\text{miles}} + 20 \log F - 20 \log (H_T \bullet H_R)$$

- **A** is the attenuation in dB (between dipoles)
- **D** is the path distance in miles
- **F** is the frequency in MegaHertz
- **H_T** is the transmitter antenna height above ground level (AGL) in feet
- **H_R** is the receiver antenna height above ground level (AGL) in feet

■ Μοντέλο LEE

$$L = 137.7 + 38 \cdot \log_{10} D + 20 \cdot \log_{10} F - 20 \cdot \log_{10} h_1 - 10 \cdot \log_{10} h_2 - G_T - G_m$$

Όπου:

- h_1** Υψος Κεραίας BTS
- h_2** Υψος Κεραίας Κινητής Μονάδος
- F** Συχνότητα
- G_T** Απολαβή Κεραίας BTS
- G_m** Απολαβή Κεραίας Κινητής Μονάδος

■ Μοντέλο BERTONI - WALFISH

$$L = 147.2 + A + 38 \cdot \log_{10} D + 20 \cdot \log_{10} F - 18 \cdot \log_{10} (h - h_b)$$

Όπου:

$$A = 5 \cdot \log_{10} \left[\left(\frac{d}{2} \right)^2 + (h_b - h_m)^2 \right] - 9 \cdot \log_{10} d +$$
$$+ 20 \cdot \log_{10} \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{2 \cdot (h_b - 2 \cdot h_m)}{d} \right] \right\}$$

h_m

Υψος Κεραίας Κινητής Μονάδος

h_b

Μέσο Υψος Κτιρίων

F

Συχνότητα

d

Απόσταση μεταξύ των Οικοδομικών Τετραγώνων



Τεχνικές Ray - Tracing

$$L_P = \frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot r_1} \right)^2 \times \left| G_{direct} + \sum_{i=2}^n G_{r_i} \cdot R_i \cdot \frac{r_1}{r_i} \cdot \exp(-j \cdot k \cdot (r_i - r_1)) \right|^2$$

Όπου:

L_p	Απώλεια Διάδοσης (dB)
P_r	Λαμβανόμενη Ισχύς
P_t	Εκπεμπόμενη Ισχύς
λ	Μήκος Κύματος
r_1	Μήκος Διαδρομής Απευθείας Ζεύξης
r_i	Μήκος Διαδρομής της i ακτίνας
R_i	Συντελεστής Ανάκλασης Fresnel
G_{direct}	Το γινόμενο της κατευθυντικότητας των Κεραιών Πομπού Δέκτη για την απευθείας ζεύξη
G_{r_i}	Το γινόμενο της κατευθυντικότητας των κεραιών Πομπού και Δέκτη για την i ακτίνα

■ Τεχνικές Ray - Tracing

Ο Συντελεστής Ανάκλασης, δίδεται από τον τύπο:

Παράλληλη..Πόλωση :

$$R_{\pi}(\theta_i) = \frac{\sin(\theta_i) - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2(\theta_i)}}{\sin(\theta_i) + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2(\theta_i)}}$$

Κάθετη..Πόλωση :

$$R_{\kappa}(\theta_i) = \frac{\epsilon_c \cdot \sin(\theta_i) - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2(\theta_i)}}{\epsilon_c \cdot \sin(\theta_i) + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2(\theta_i)}}$$

Όπου:

ϵ_c Σχετική Διηλεκτρική Σταθερά
 θ_i Γωνία Πρόσπτωσης της i ακτίνας

και

$$\epsilon_c = \epsilon_r - j \cdot 60 \cdot \sigma \cdot \lambda$$

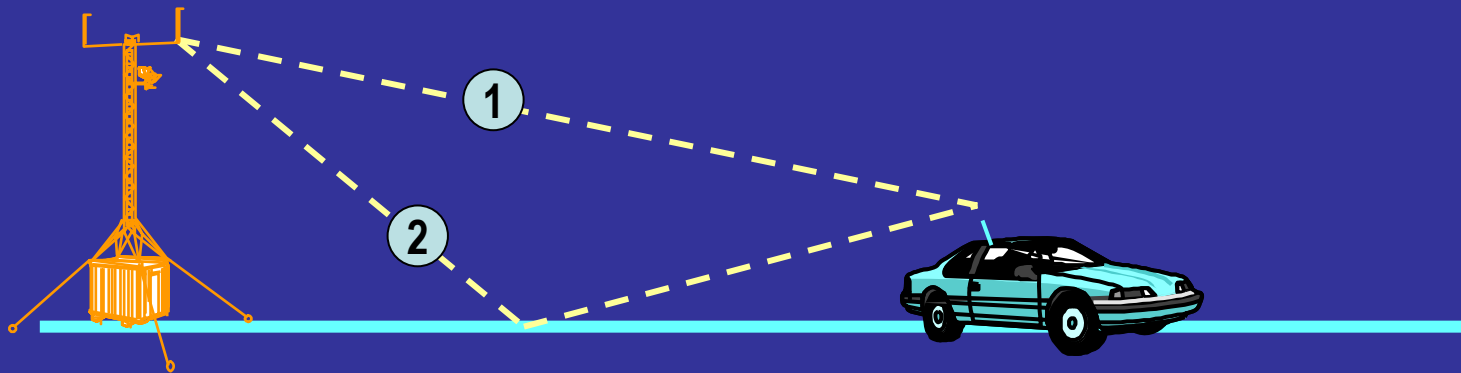
Όπου:

ϵ_r Επιτρεπτότητα των Υλικών
 σ Αγωγιμότητα των Υλικών

■ Τεχνικές Ray - Tracing

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: Μοντέλο 2 Ακτίνων

$$L_P = \frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot r_1} \right)^2 \times$$
$$\times \left| G_{direct} + \sum_{i=2}^2 G_{r_2} \cdot R_2 \cdot \frac{r_1}{r_2} \cdot \exp(-j \cdot k \cdot (r_2 - r_1)) \right|^2$$





Τεχνικές Ray - Tracing

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: Μοντέλο 8 Ακτίνων

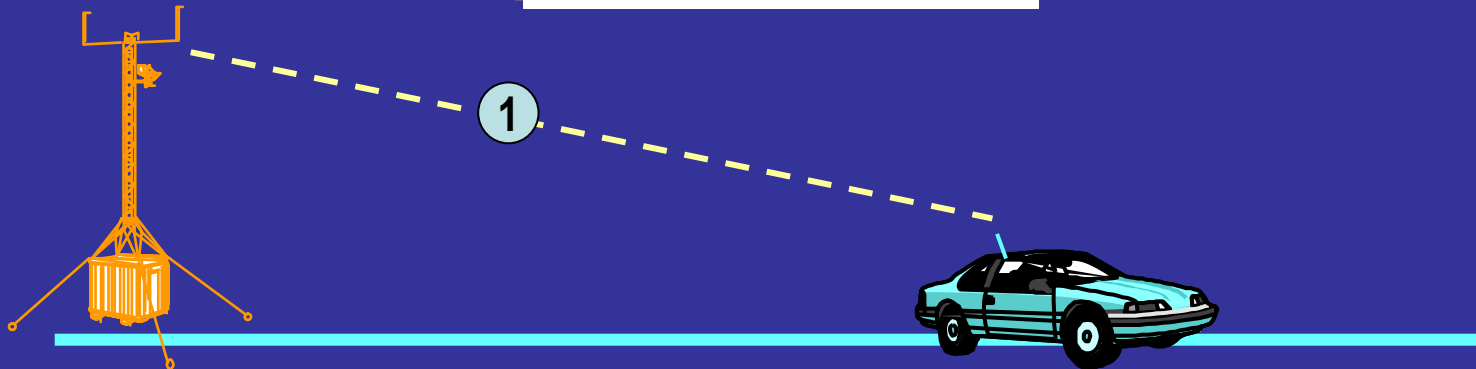
Η Ηλεκτρομαγνητική Ενέργεια που φθάνει στην κεραία του κινητού, φθάνει μέσω των παρακάτω διαδρομών των αντίστοιχων επιβατικών ακτίνων:

- Απευθείας Διαδρομή
- Απλή Ανάκλαση από το Έδαφος
- Διπλή Ανάκλαση σε Τοίχο (δισ)
- Απλή Ανάκλαση σε Τοίχο (δισ)
- Συνδιασμένη Ανάκλαση σε Τοίχο και Έδαφος (δισ)

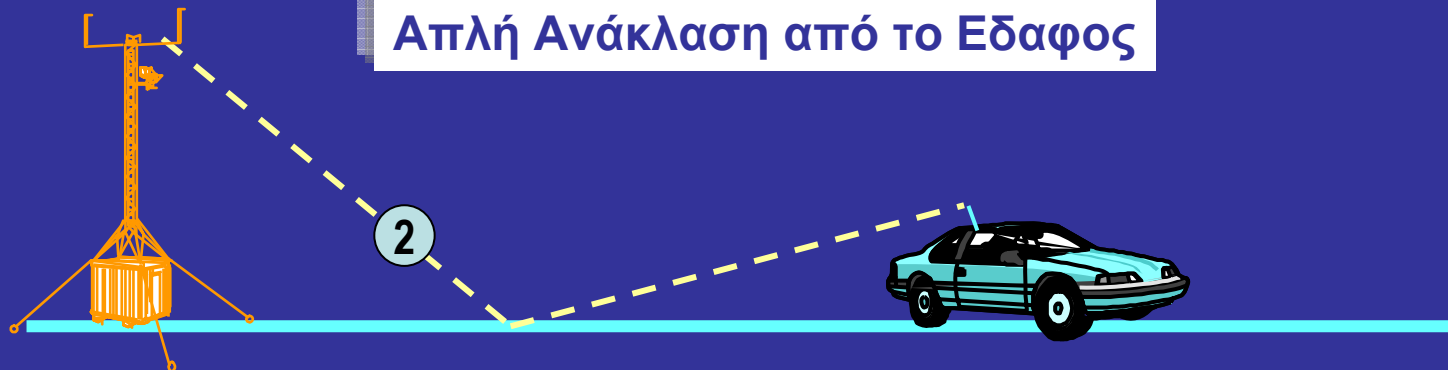


Τεχνικές Ray - Tracing

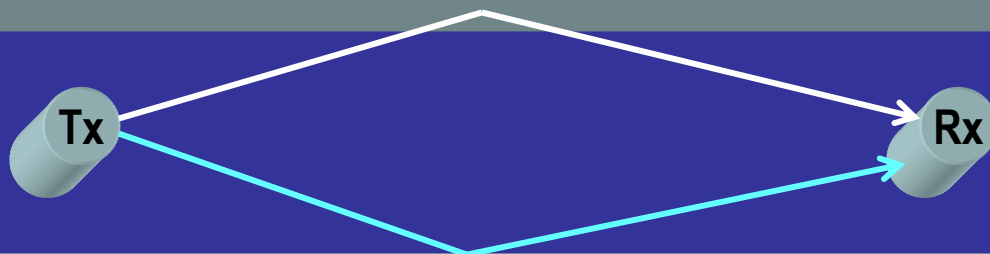
Απευθείας Διαδρομή



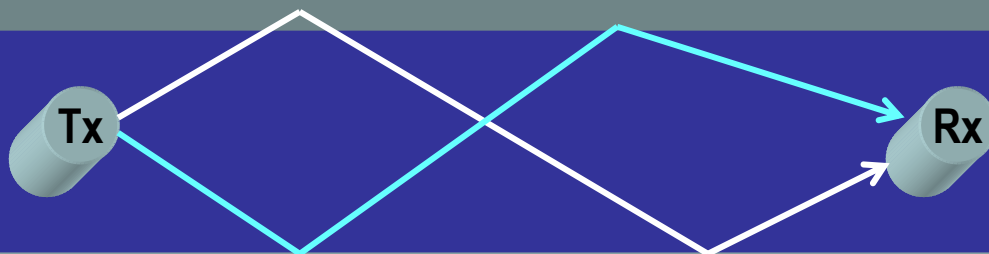
Απλή Ανάκλαση από το Εδαφος



■ Τεχνικές Ray - Tracing

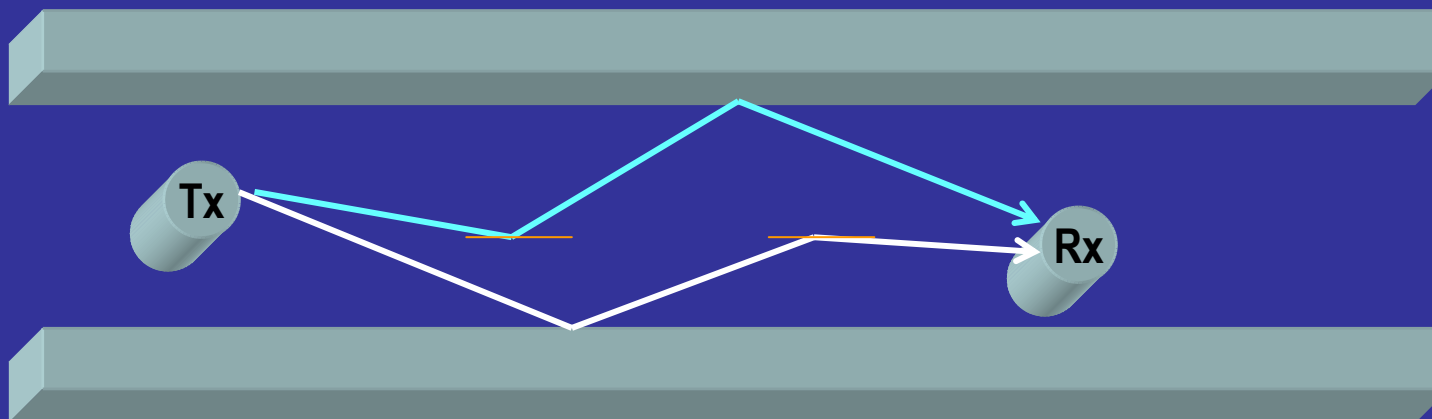


Απλή Ανάκλαση σε Τοίχο



Διπλή Ανάκλαση σε Τοίχο

■ Τεχνικές Ray - Tracing

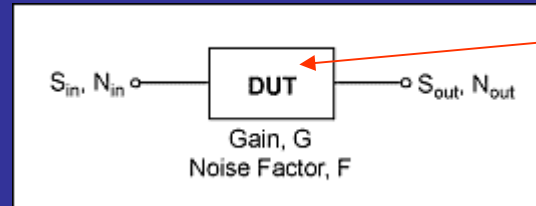


Συνδιασμένη Ανάκλαση σε Τοίχο και Εδαφος

Επίπεδο Ραδιοδικτύου

- Φορητές Συσκευές

Sensitivity level



Device Under Test

$$S_{in} \text{ (dBm)} = NF \text{ (dB)} + kTB_{RF} \text{ (dBm)} + E_b/N_o \text{ (dB)}$$

$$NF \text{ (dB)} = 10 \log (F)$$

$$F = (S_{in} / N_{in}) / (S_{out} / N_{out}) \text{ or } F = (S_{in} / N_{in}) \times (N_{out} / S_{out})$$

KTF = noise power (N_o) στην διαδρομή του 1-bit

S_{in} = available input signal power (W)

N_{in} = available input thermal noise power (W) = $KT B_{RF}$ where:

K = Boltzmann's constant = 1.381×10^{-23} W/Hz/K,

T = 290K at room temperature and

B_{RF} = RF carrier bandwidth (Hz) = chip rate for the spread-spectrum system

S_{out} = available output signal power (W)

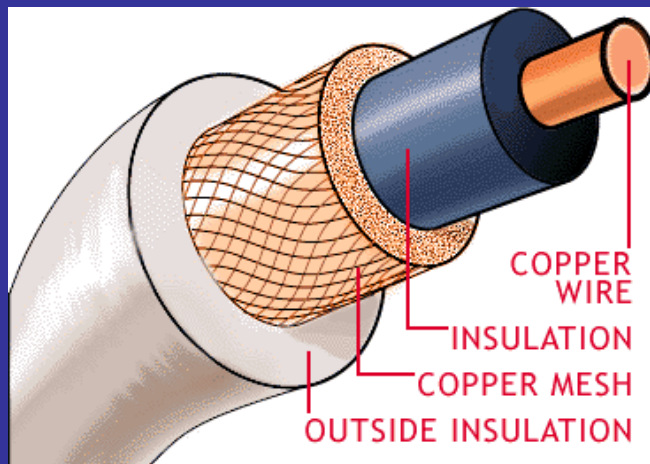
N_{out} = available output noise power (W)

G = device gain (numeric)

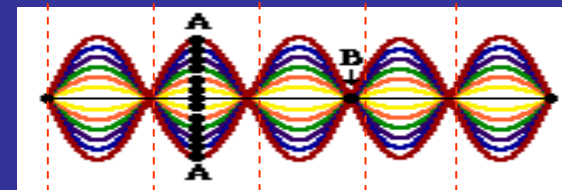
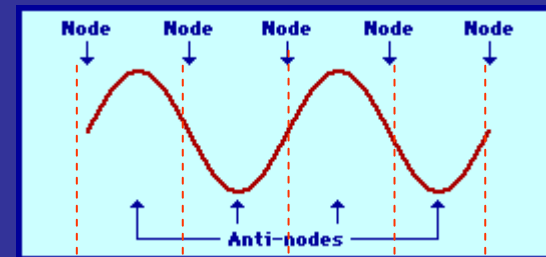
F = device noise factor (numeric)

Επίπεδο Ραδιοδικτύου

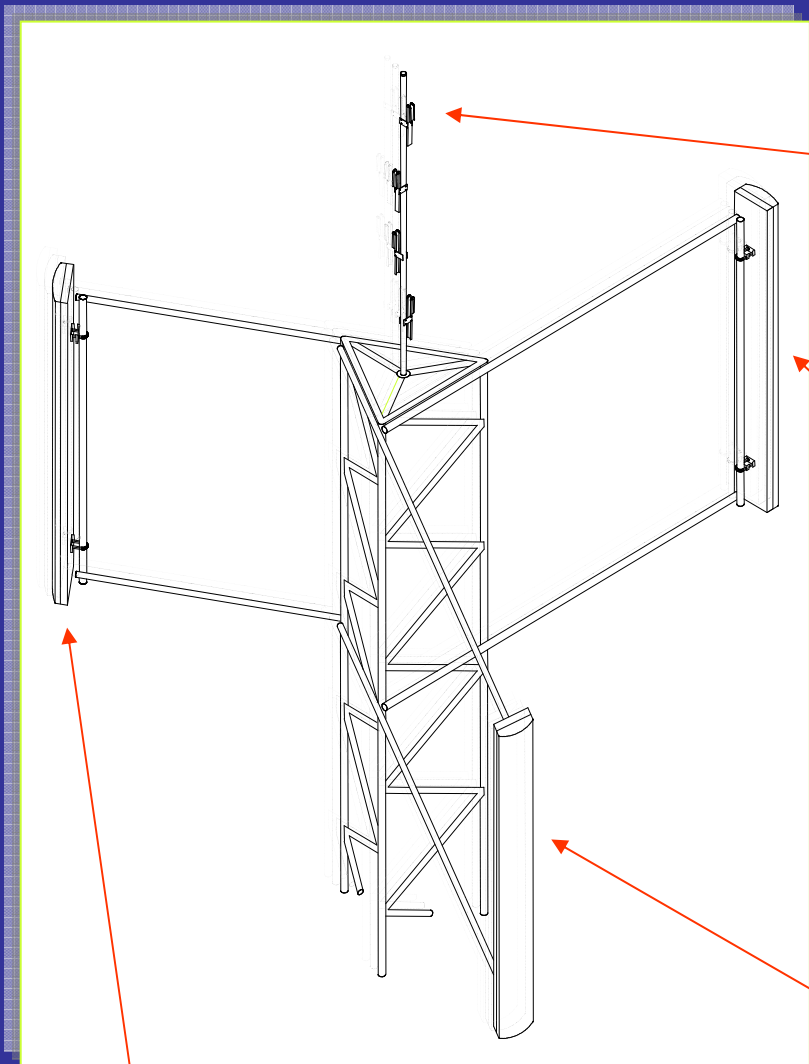
- Απώλειες Γραμμών Μεταφοράς + Προσαρμογή



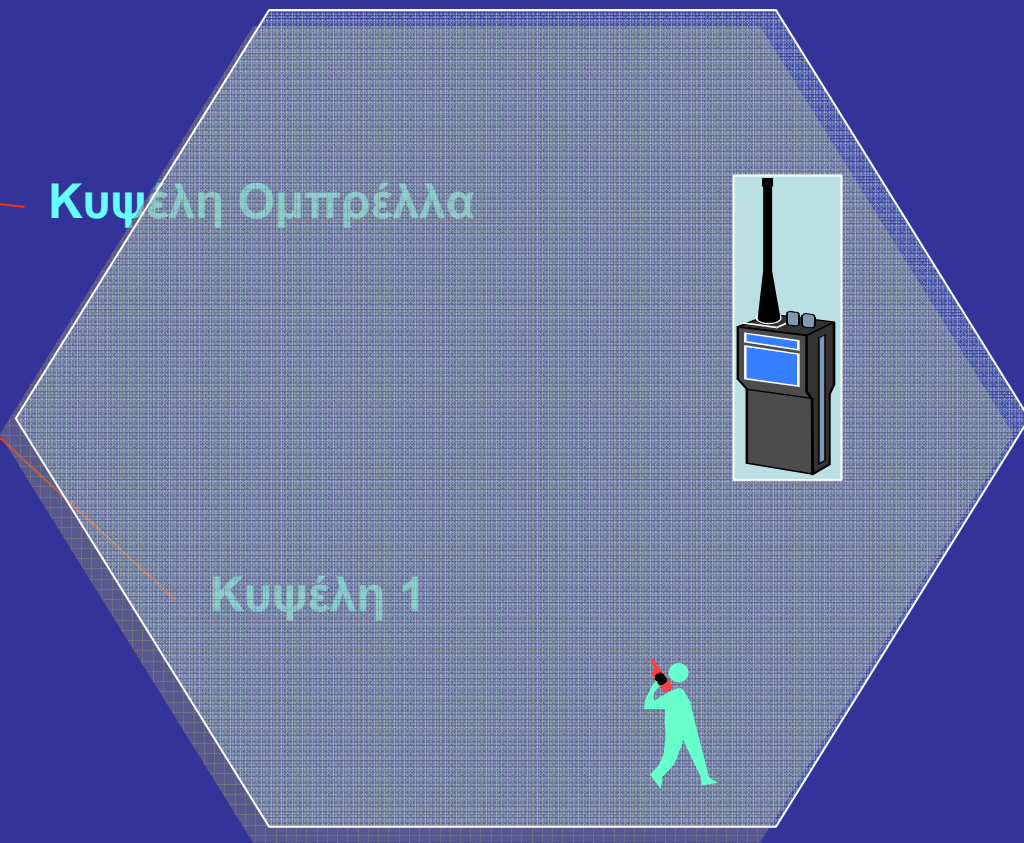
Θεώρημα Μέγιστης Μεταφοράς Ενέργειας



$$Z_{\Pi/\Delta} = Z_{\text{COAX}} = Z_{\text{ΚΕΡΑΙΑΣ}}$$

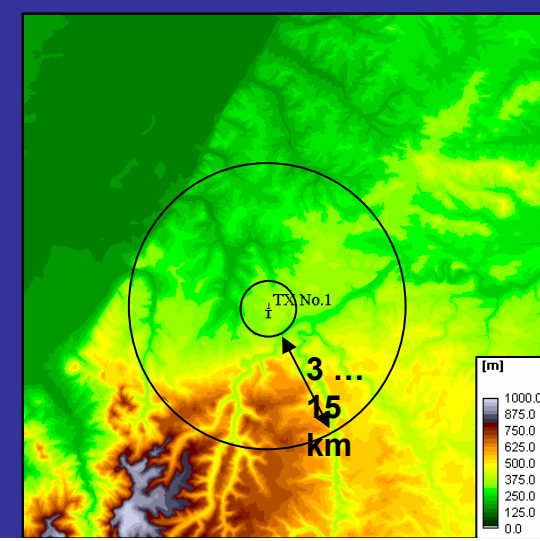


Κυψέλη Ομπρέλλα



Κυψέλη 2

Κυψέλη 3



Κυψελωειδής Ιδέα

1964 Bell Labs



Αποδοτικότερη χρησιμοποίηση του διαθέσιμου ραδιοφάσματος

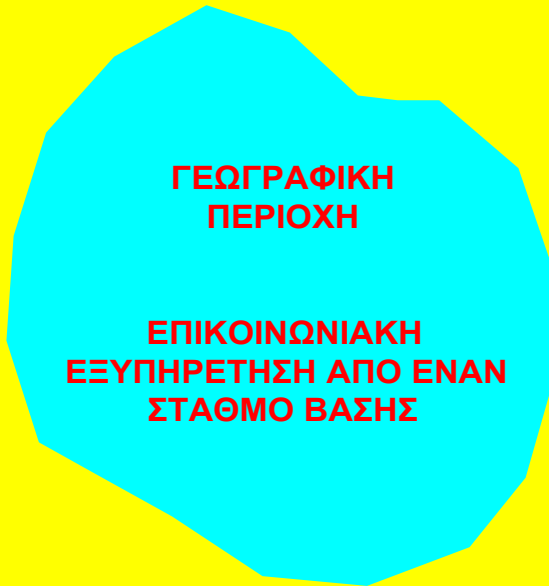


Χρησιμοποίηση των ίδιων συχνοτήτων

Επίπεδο Ραδιοδικτύου

*Διάκριση Συμβατικών και Κυτταρικών Συστημάτων
Κινητής Τηλεφωνίας*

ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΗΣ
ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ



ΚΥΤΤΑΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΗΣ
ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

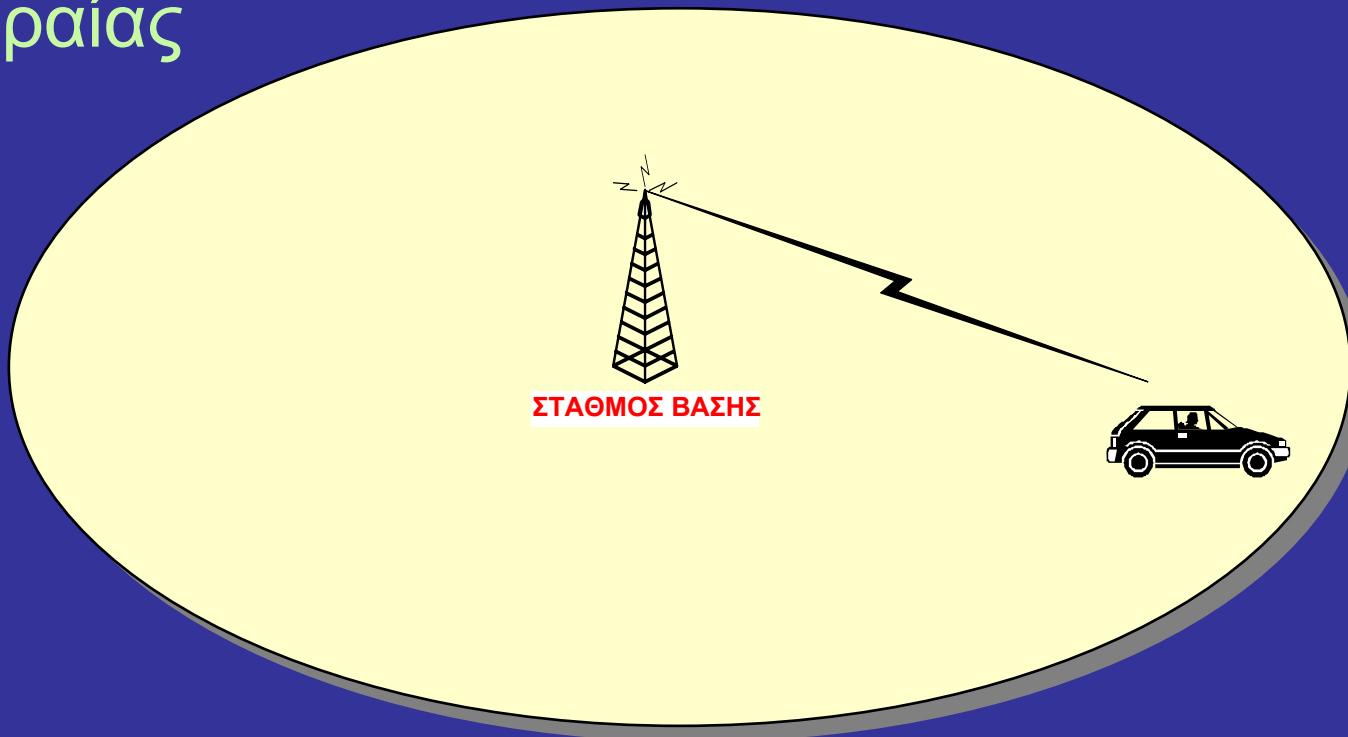


Επίπεδο Ραδιοδικτύου

Γεωμετρικά Σχήματα για την Κυκλική Κάλυψη μιας Γεωγραφικής Περιοχής

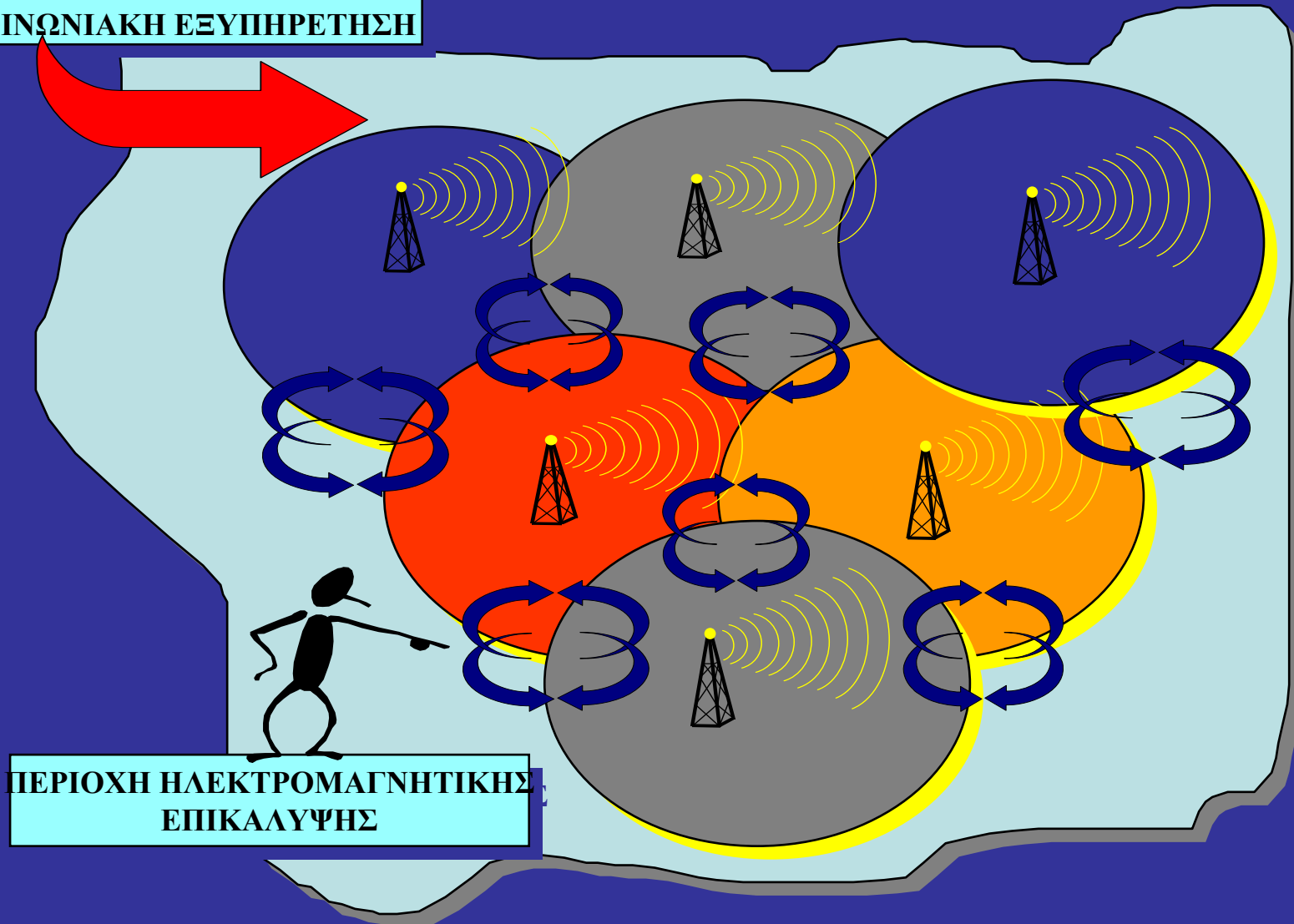
Κυκλική Κάλυψη

οφείλεται στην ιδιομορφία της χρησιμοποιούμενης κεραίας



Επικάλυψη κυττάρων όταν χρησιμοποιείται η Κυκλική Κάλυψη

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΥΠΟ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ



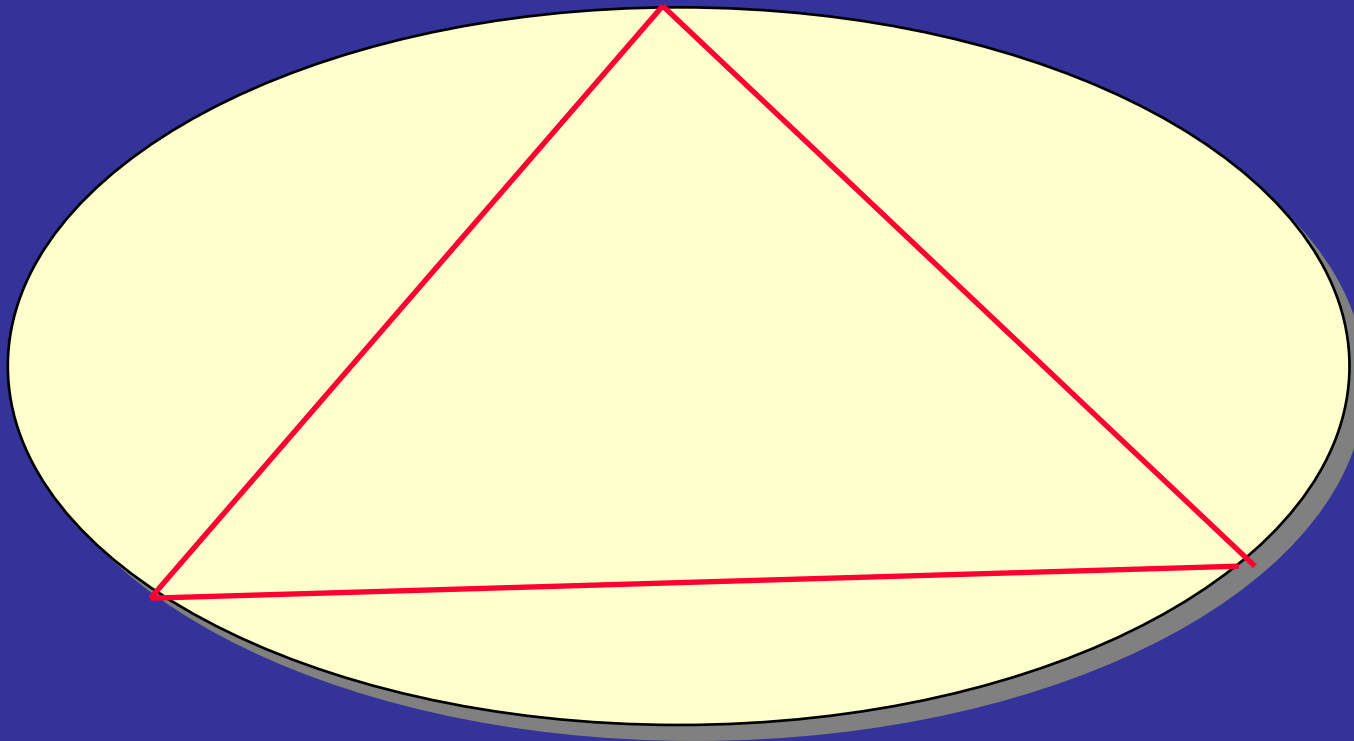
ΠΕΡΙΟΧΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ

Επίπεδο Ραδιοδικτύου

Γεωμετρικά Σχήματα για την Κυτταρική Κάλυψη μιας Γεωγραφικής Περιοχής

Τριγωνική Κάλυψη

Ισόπλευρο Τρίγωνο

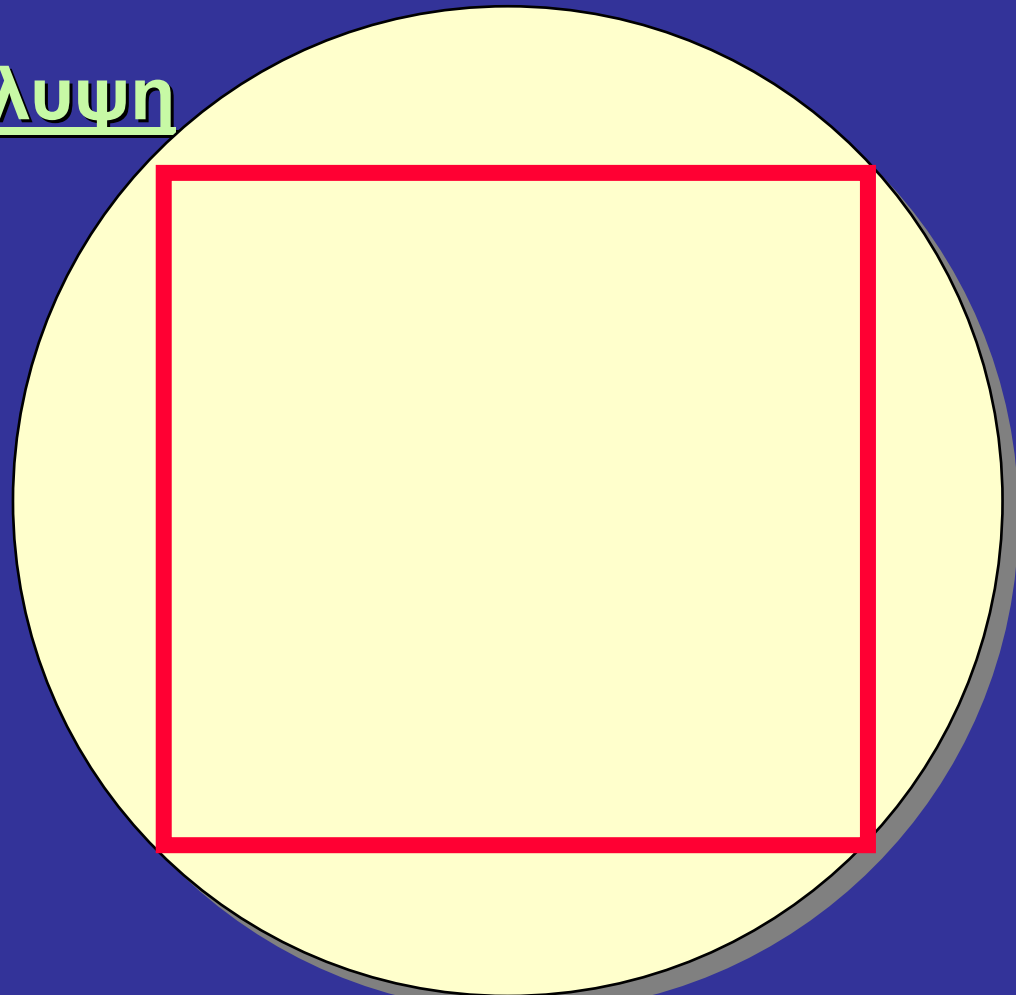


Επίπεδο Ραδιοδικτύου

Γεωμετρικά Σχήματα για την Κυτταρική Κάλυψη μιας Γεωγραφικής Περιοχής

Τετραγωνική Κάλυψη

Τετράγωνο

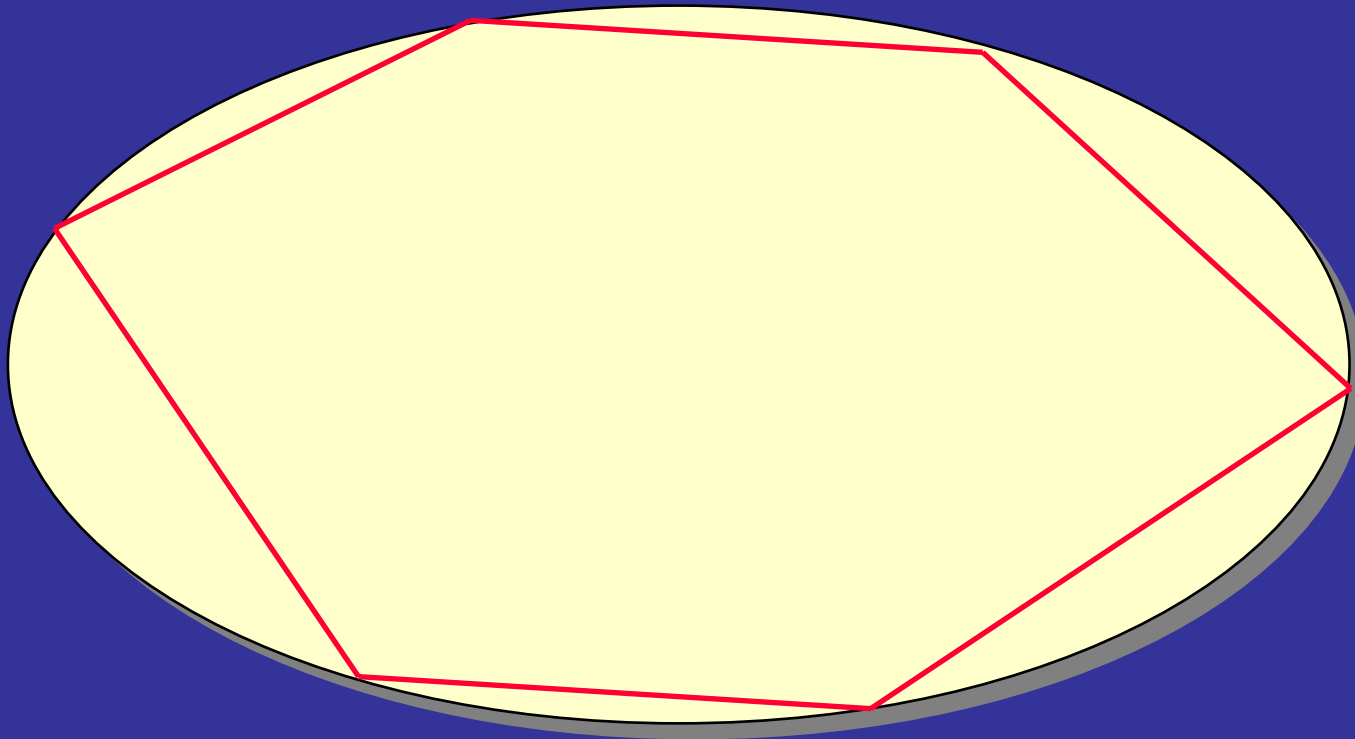


Επίπεδο Ραδιοδικτύου

Γεωμετρικά Σχήματα για την Κυτταρική Κάλυψη μιας Γεωγραφικής Περιοχής

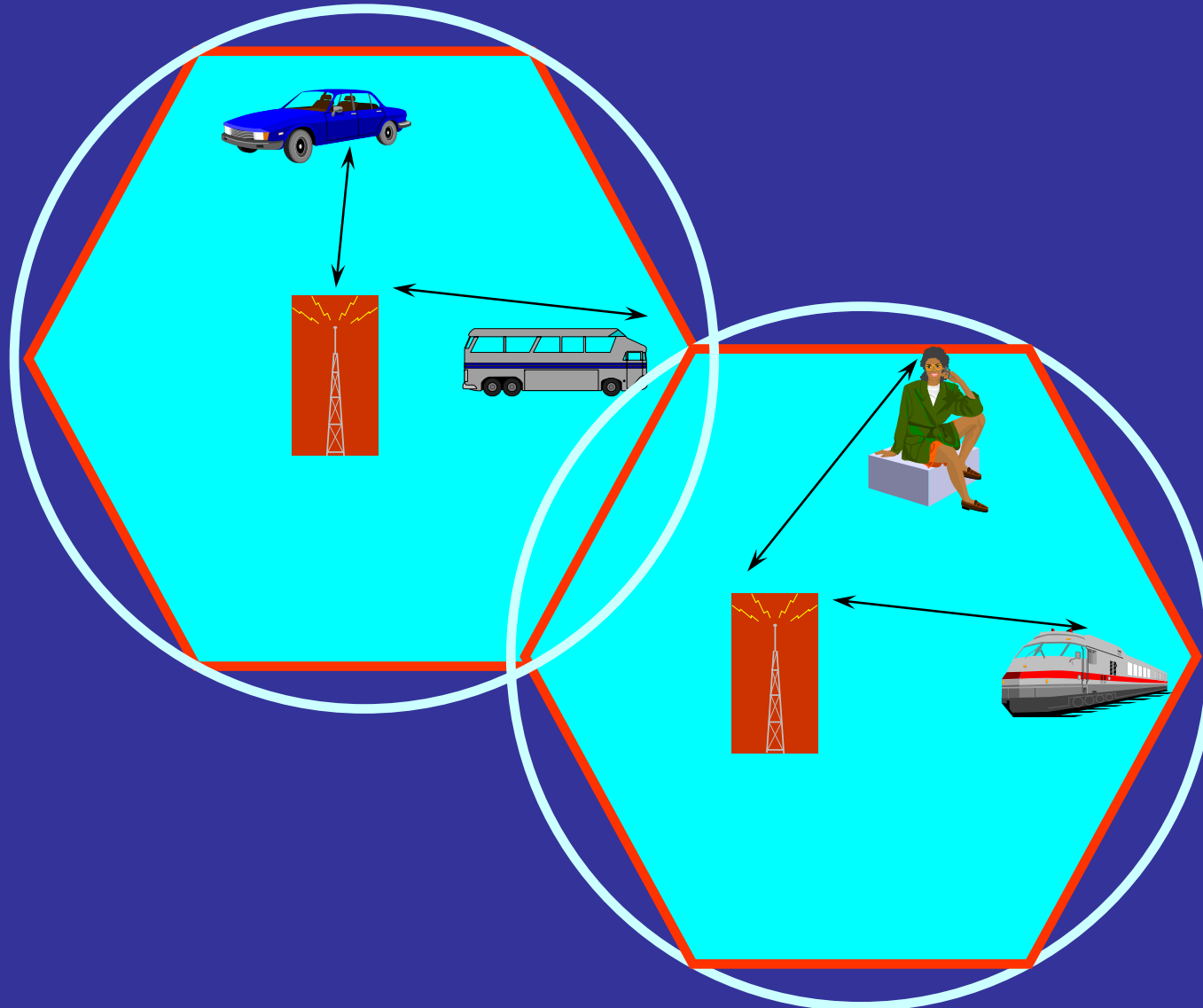
Εξαγωνική Κάλυψη

Κανονικό Εξάγωνο

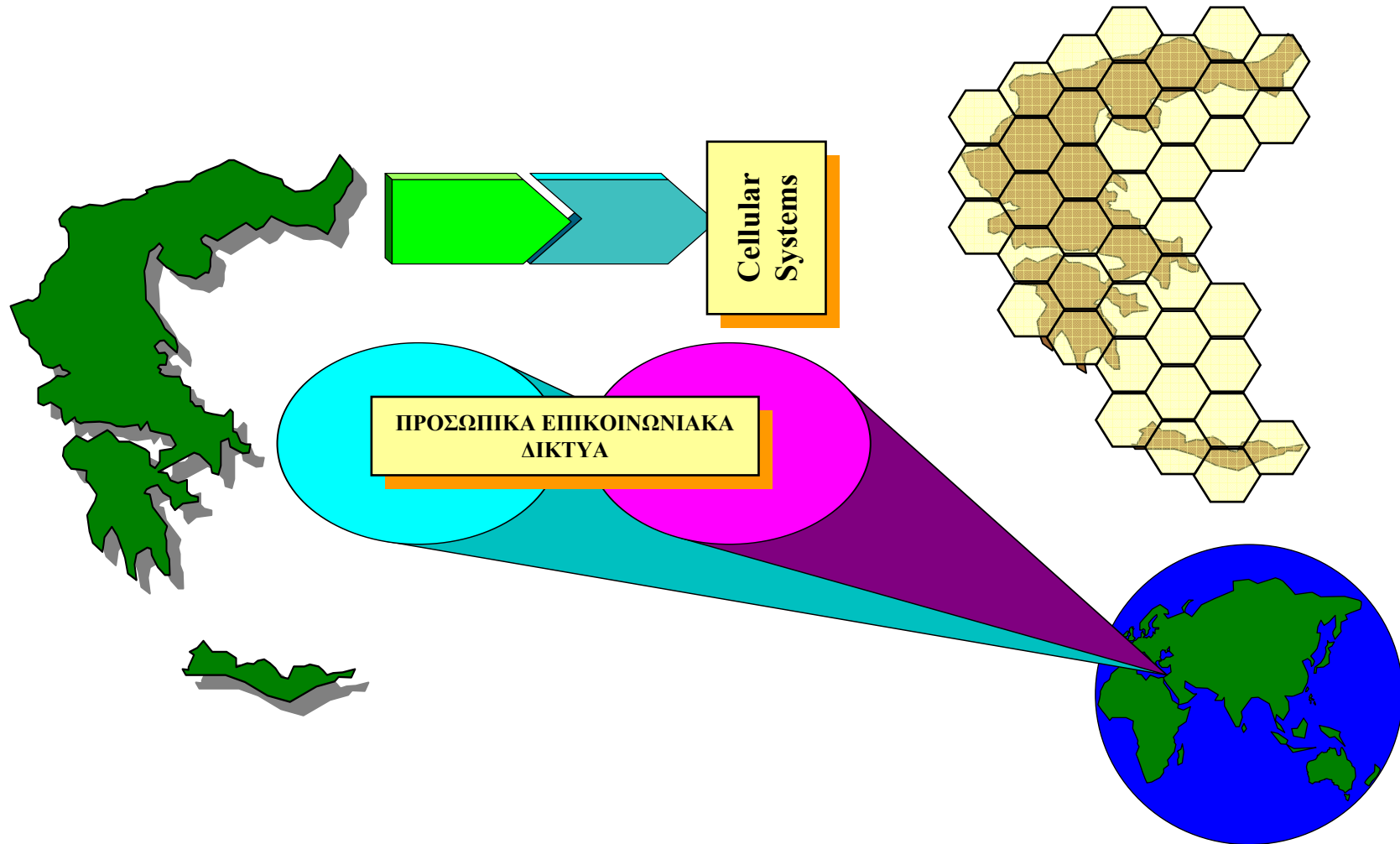


Επίπεδο Ραδιοδικτύου

Κυτταρική Κάλυψη μιας Γεωγραφικής Περιοχής με κανονικά εξάγωνα



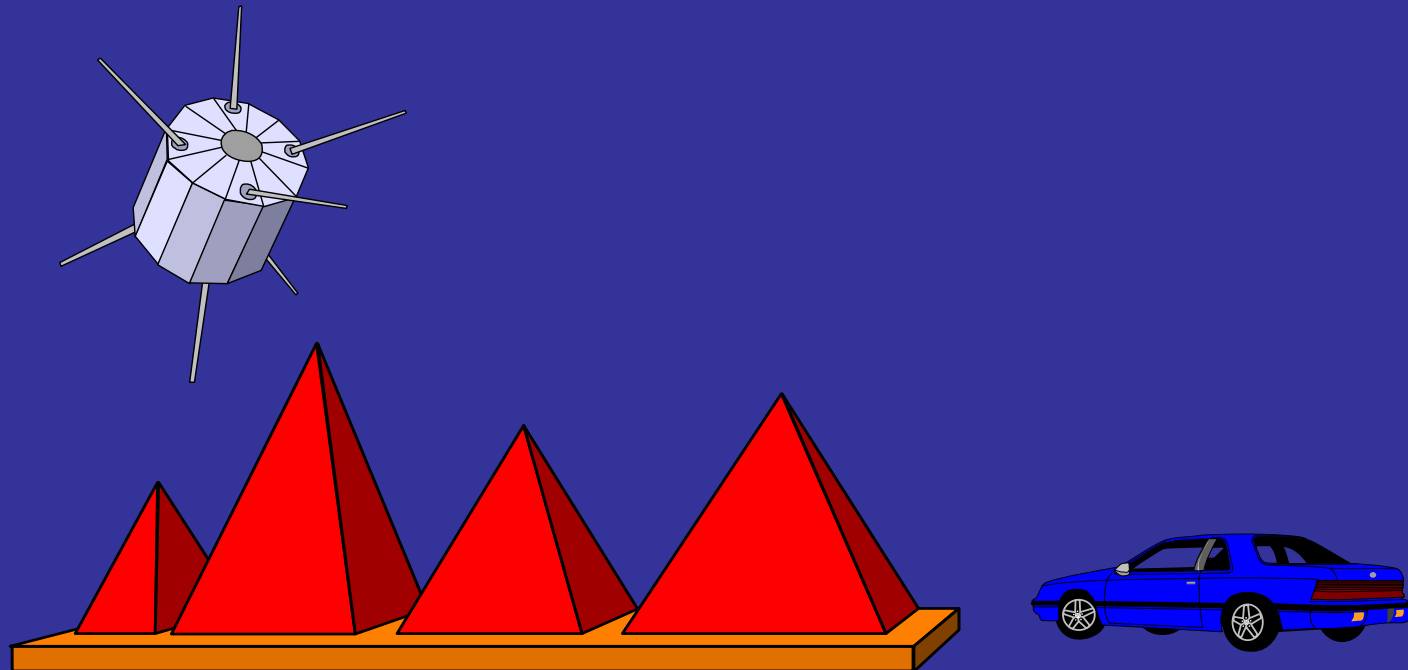
Κανονικά εξάγωνα για την Κυτταρική Κάλυψη μιας Γεωγραφικής Περιοχής



Είδη Κυττάρων

- Κύτταρα Μέγιστης Κάλυψης (Overlay Cells):

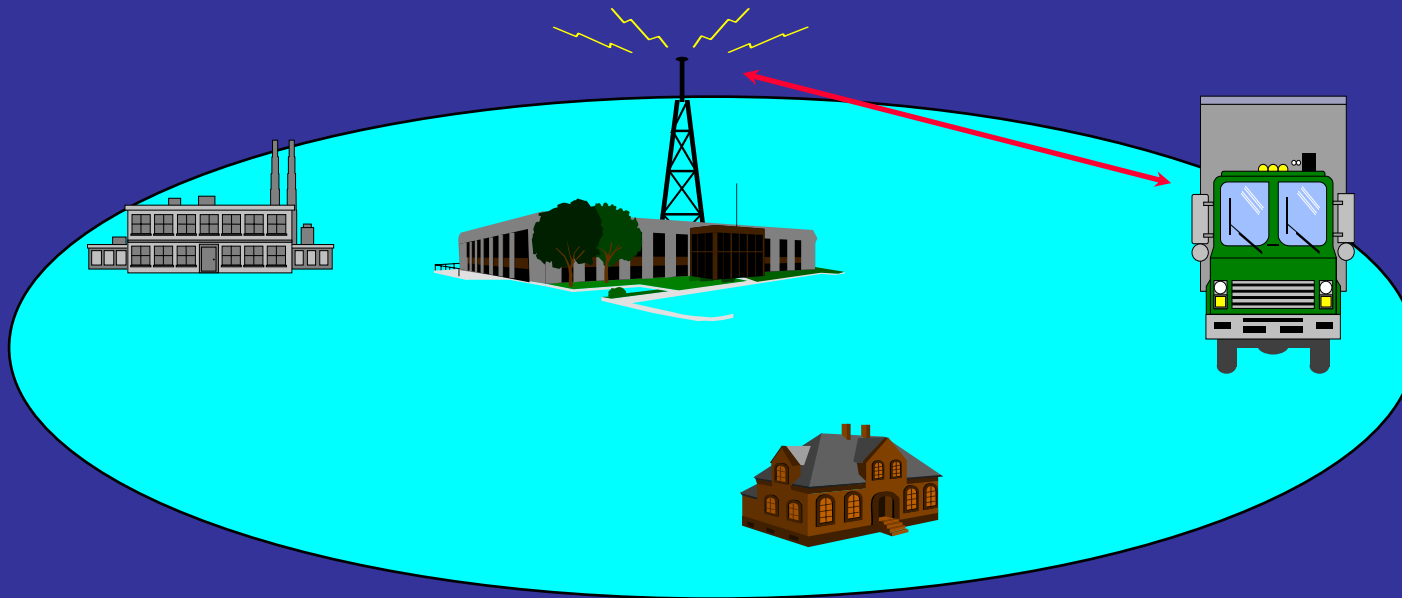
Τα κύτταρα αυτά έχουν ακτίνα κάλυψης η οποία φθάνει μέχρι μερικές εκατοντάδες Km και χρησιμοποιούνται στην Δορυφορική Κινητή Τηλεφωνία προκειμένου να καλυφθούν επικοινωνιακά οι κινητές και οι φορητές μονάδες οι οποίες ευρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές.



Είδη Κυττάρων

- **Υπερκύτταρα (Hyper Cells):**

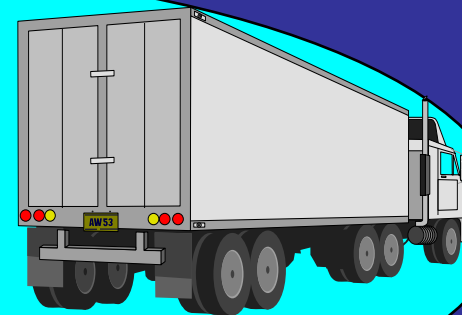
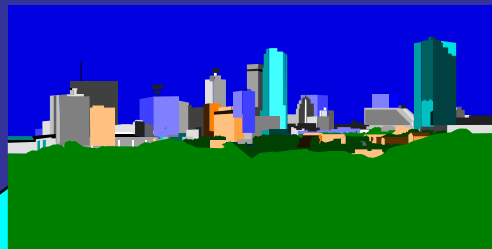
Τα κύτταρα αυτά έχουν ακτίνα κάλυψης μεγαλύτερη από 20 Km και χρησιμοποιούνται για την επικοινωνιακή κάλυψη κινητών μονάδων οι οποίες ευρίσκονται εντός επαρχιακών περιοχών.



Είδη Κυττάρων

- **Μακροκύτταρα (Macro Cells):**

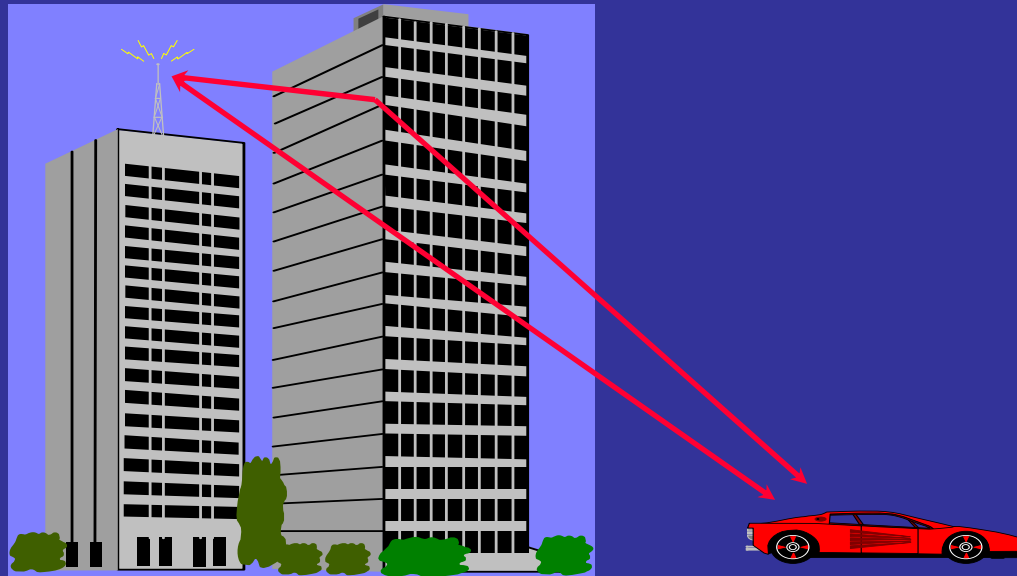
Τα κύτταρα αυτά έχουν ακτίνα κάλυψης η οποία έχει ελάχιστη τιμή 1 Km και μέγιστη τιμή 20 Km. Η δομή αυτή χρησιμοποιείται για την επικοινωνιακή κάλυψη κινητών μονάδων οι οποίες κινούνται σε οδούς εκτός των πόλεων καθώς και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.



Είδη Κυττάρων

- **Μικροκύτταρα (Micro Cells):**

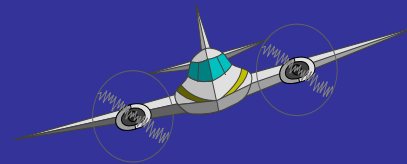
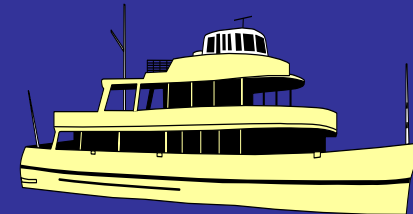
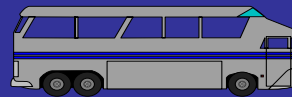
Τα κύτταρα αυτά έχουν ακτίνα κάλυψης η οποία έχει ελάχιστη τιμή 100 m και μέγιστη τιμή 1 Km. Η δομή αυτή χρησιμοποιείται για την επικοινωνιακή κάλυψη κινητών μονάδων οι οποίες ευρίσκονται και κινούνται στις κεντρικές περιοχές των πόλεων.



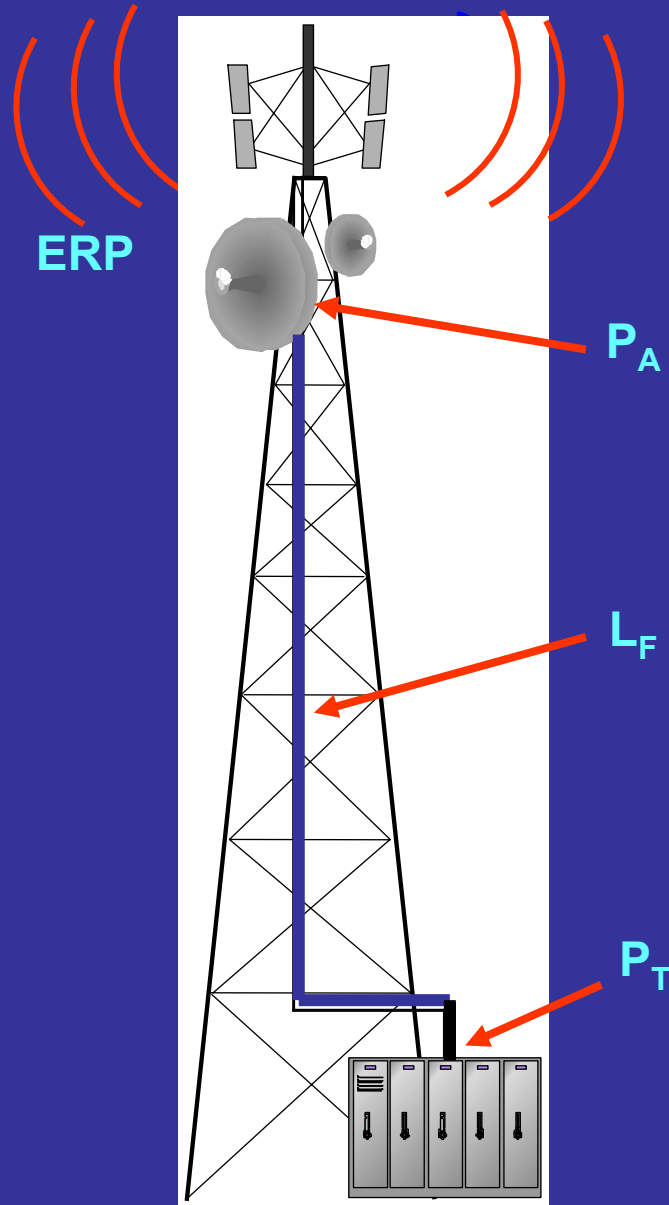
Είδη Κυττάρων

- Πικοκύτταρα (Pico Cells):

Τα κύτταρα αυτά έχουν ακτίνα κάλυψης μικρότερη απο 100 m. Η δομή αυτή χρησιμοποιείται για την κάλυψη κινητών των επικοινωνιακών αναγκών των χρηστών οι οποίοι κινούνται εντός κτιρίων (π.χ γραφεία, κατοικίες, κ.λ.π) γενικά και ειδικότερα αυτών οι οποίοι ευρίσκονται εντός λεωφορείων, τρένων, πλοίων και αεροπλάνων.

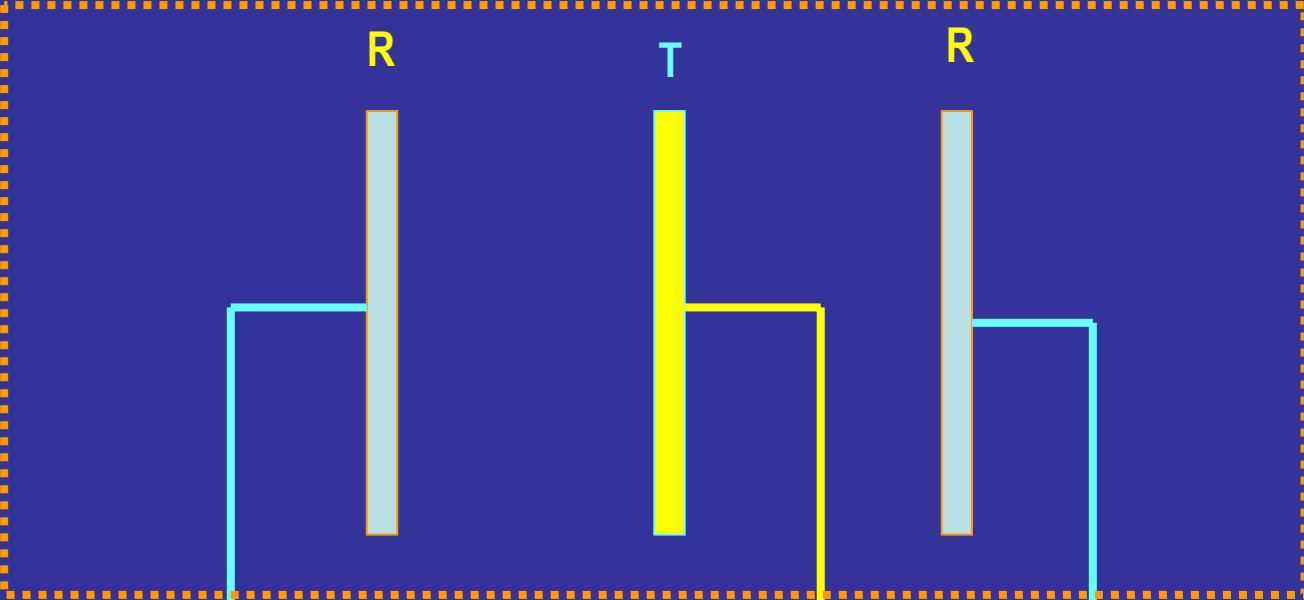


ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΕΝΔΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

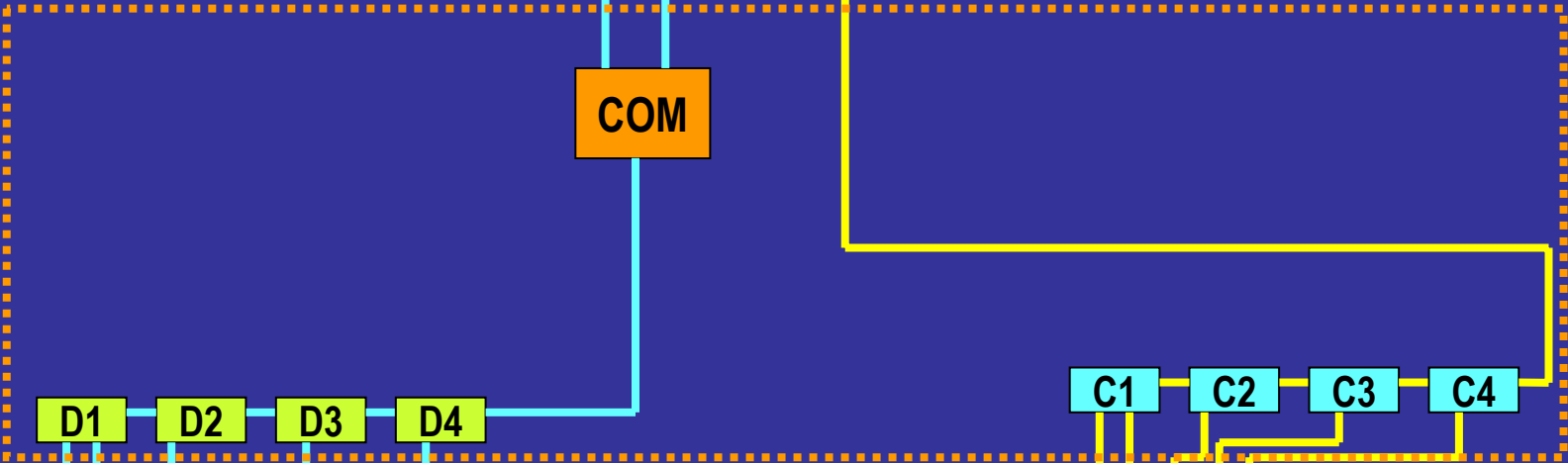


- L_F : Feeder loss (in dB)
- P_T : Transmitter output power (in dBW)
- P_A : Power at antenna input port (in dBW)
- G_D : Antenna gain (in dB)
- ERP : Emitted Radiated Power

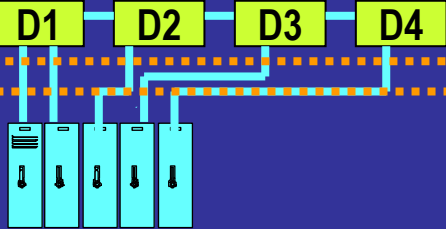
Antenna System



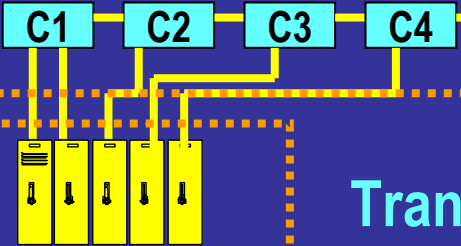
Filter System



Rx

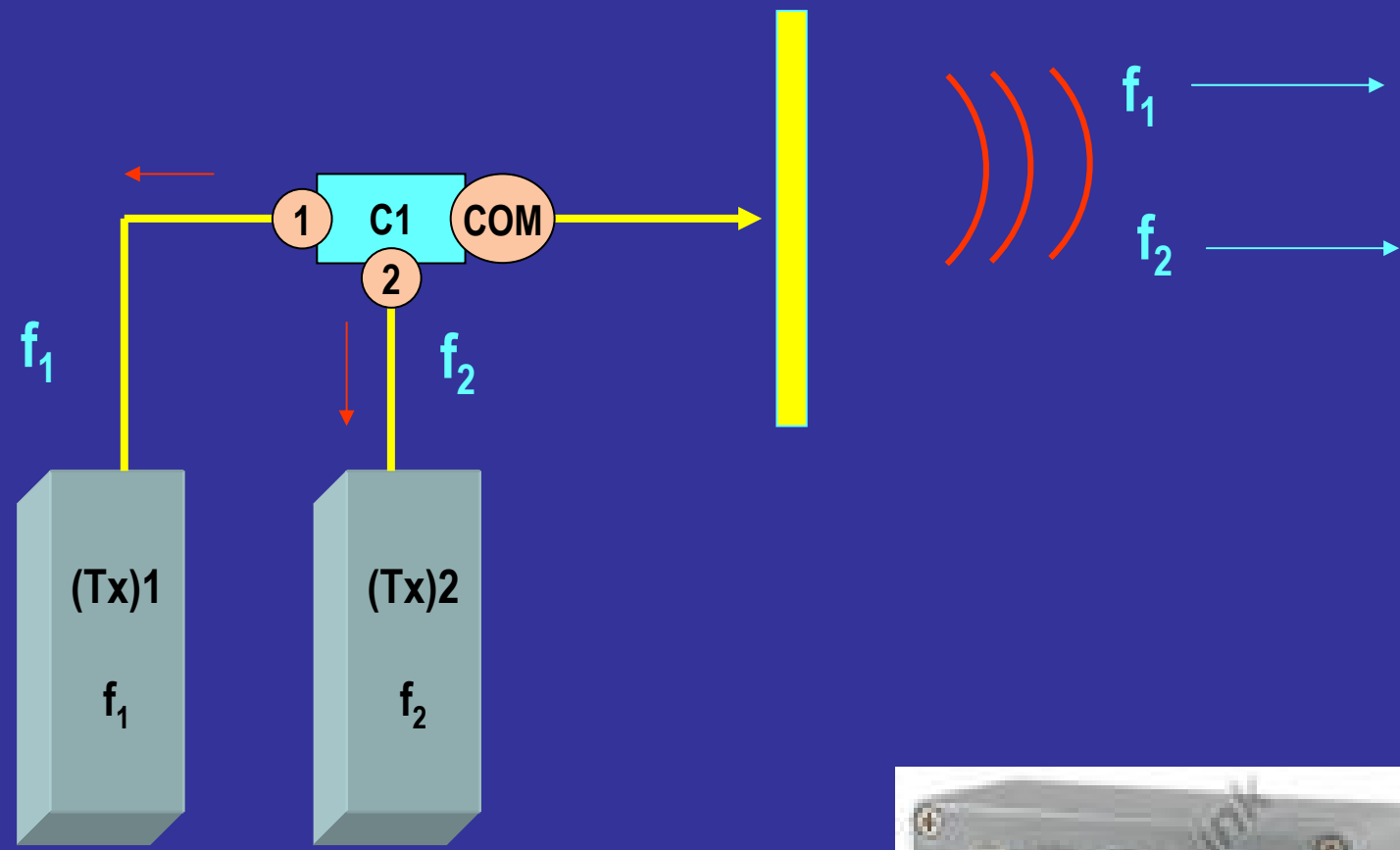


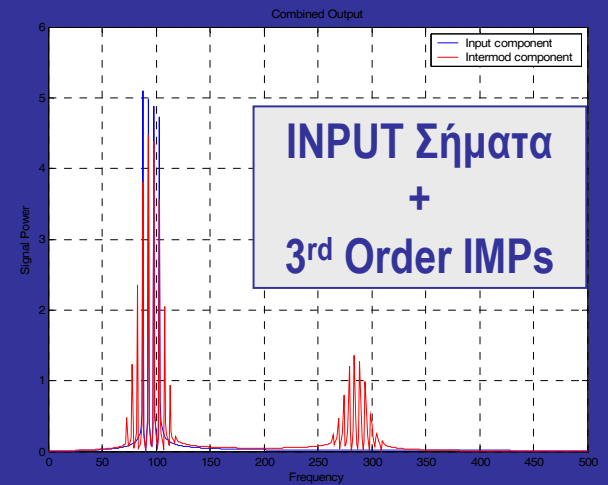
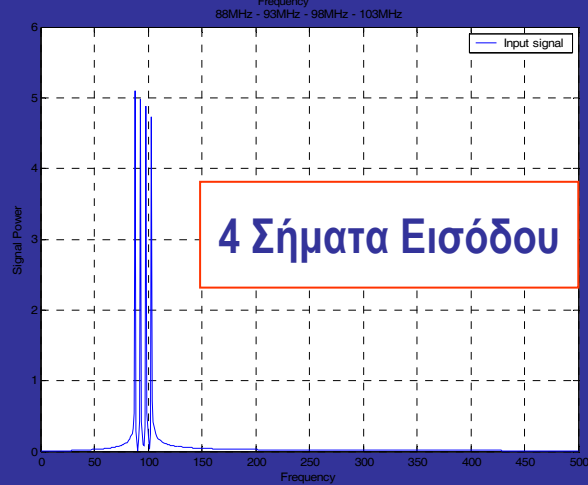
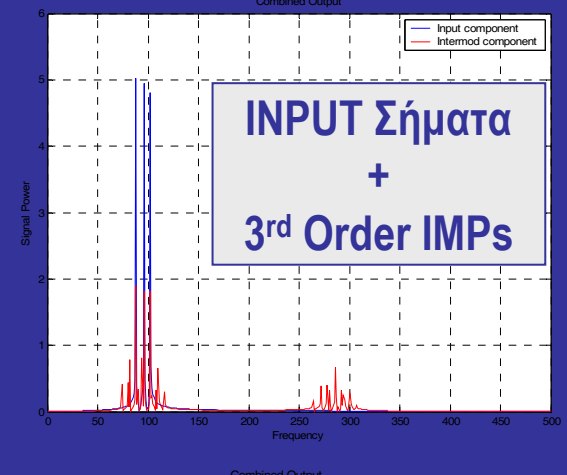
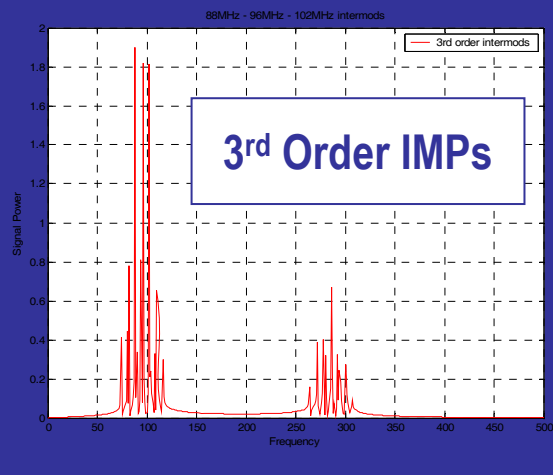
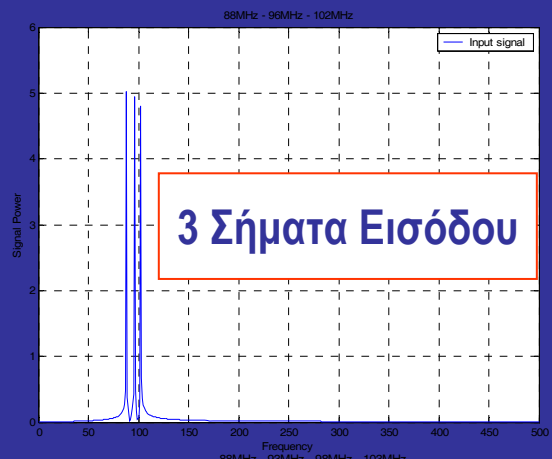
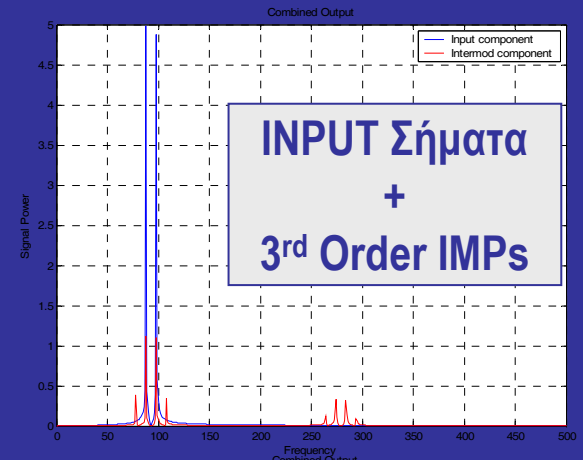
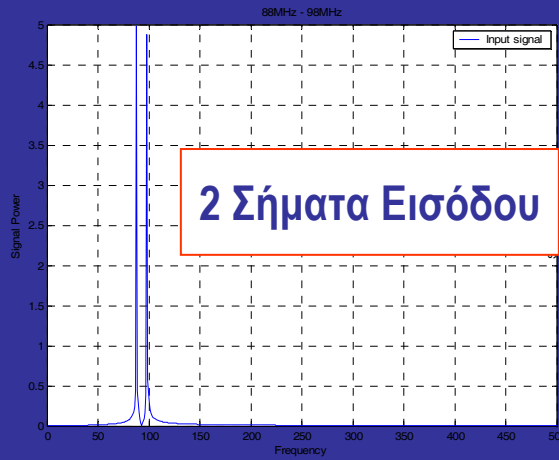
Tx

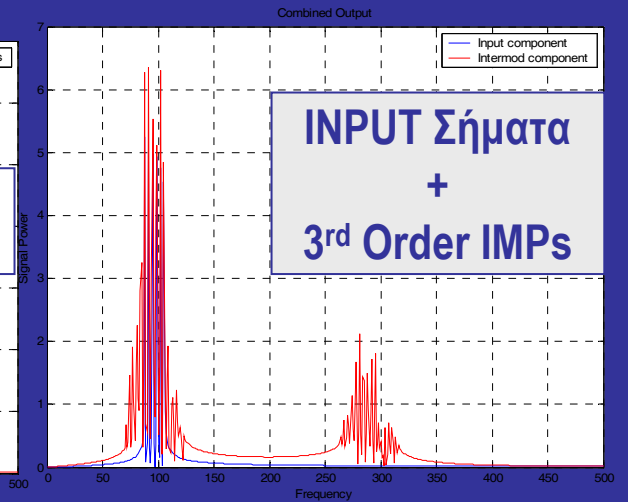
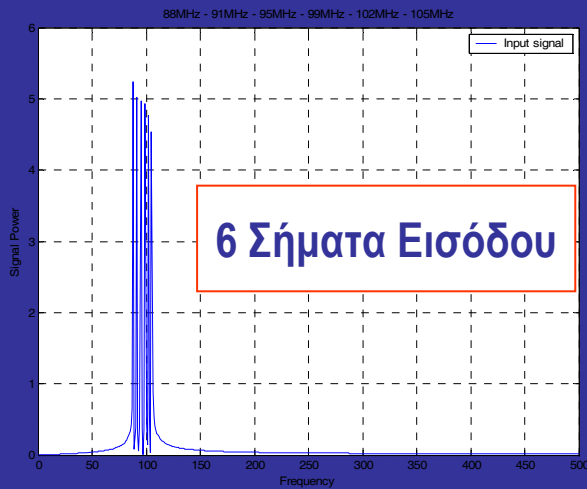
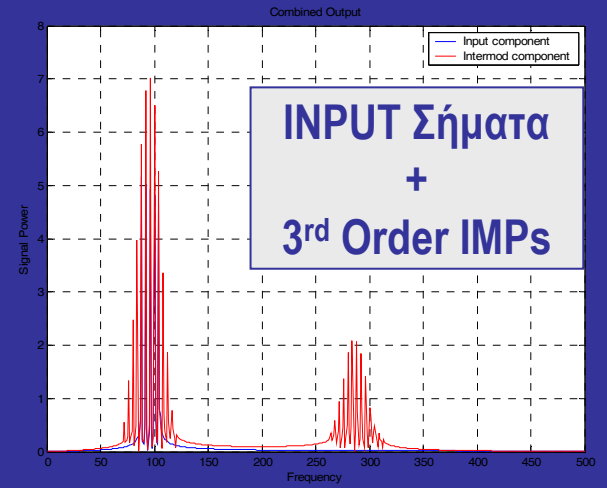
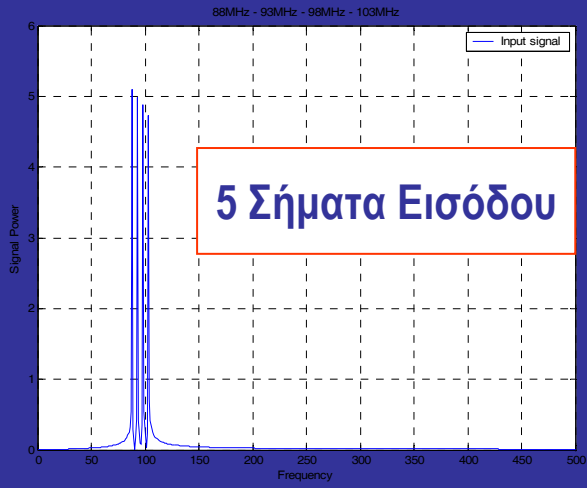


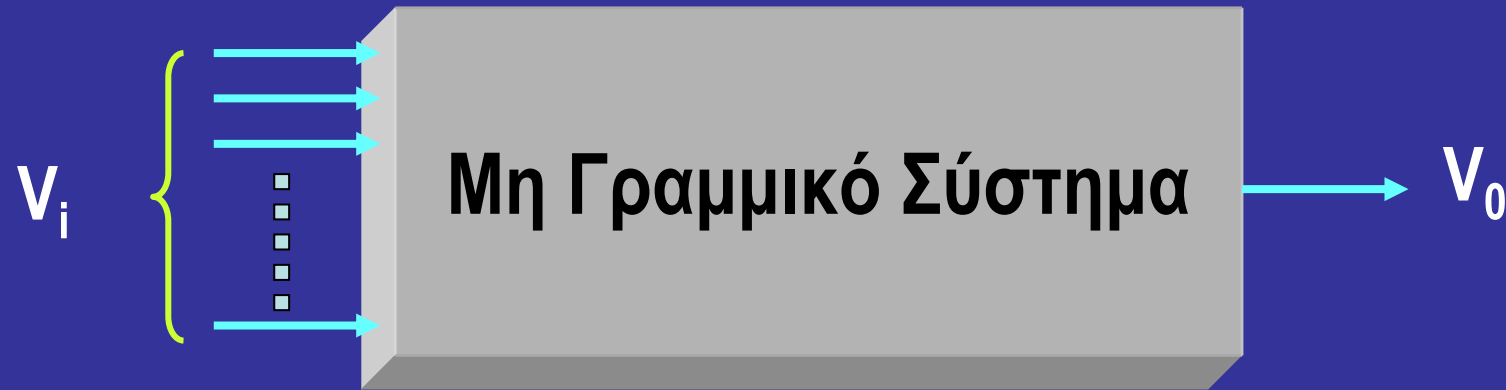
Transceiving System

Κεραία









Σειρά Taylor

$$V_0 = k_1 \times V_i + k_2 \times V_i^2 + k_3 \times V_i^3 + \dots + k_n \times V_i^n$$

$$V_i = \sum_{i=1}^n A_i \times \sin(\omega_i \times t)$$

$$\omega_i = 2 \times \pi \times f_i$$

Παράδειγμα:

$$V_i = A_1 \times \sin(\omega_1 \times t) + A_2 \times \sin(\omega_2 \times t)$$

$$\begin{aligned}
 V_0 = & k_1 \times (A_1 \times \sin \omega_1 t + A_2 \times \sin \omega_2 t) + \\
 & + k_2 \times (A_1 \times \sin \omega_1 t + A_2 \times \sin \omega_2 t)^2 + \\
 & + k_3 \times (A_1 \times \sin \omega_1 t + A_2 \times \sin \omega_2 t)^3 + \\
 & + \dots + \\
 & + k_n \times (A_1 \times \sin \omega_1 t + A_2 \times \sin \omega_2 t)^n
 \end{aligned}$$

1^{ος} Όρος



f₁

f₂

$$k_1 \times (A_1 \times \sin \omega_1 t + A_2 \times \sin \omega_2 t)$$

$$k_1 \times A_1$$

Πλάτος του Σήματος συχνότητας:

f₁

$$k_1 \times A_2$$

Πλάτος του Σήματος συχνότητας:

f₂

2^{ος} Ορος

$$k_2 \times (A_1 \times \sin \omega_1 t + A_2 \times \sin \omega_2 t)^2$$

$$\begin{aligned} & k_2 \times (A_1 \times \sin \omega_1 t + A_2 \times \sin \omega_2 t)^2 = \\ & = k_2 \times (A_1^2 \times \sin^2 \omega_1 t + A_2^2 \times \sin^2 \omega_2 t + 2 \times A_1 \times A_2 \times \sin \omega_1 t \times \sin \omega_2 t) = \\ & = k_2 \times A_1^2 \times \sin^2 \omega_1 t + k_2 \times A_2^2 \times \sin^2 \omega_2 t + 2 \times k_2 \times A_1 \times A_2 \times \sin \omega_1 t \times \sin \omega_2 t \end{aligned}$$

$$\sin^2 \omega_1 t = \frac{1}{2} - \frac{\cos(2 \times \omega_1 t)}{2}$$

$$\sin^2 \omega_2 t = \frac{1}{2} - \frac{\cos(2 \times \omega_2 t)}{2}$$

$$2 \times \sin \omega_1 t \times \sin \omega_2 t = \cos(\omega_1 - \omega_2)t - \cos(\omega_1 + \omega_2)t$$

$$k_2 \times (A_1 \times \sin \omega_1 t + A_2 \times \sin \omega_2 t)^2$$



$$k_2 \times A_1^2 \times \sin^2 \omega_1 t + k_2 \times A_2^2 \times \sin^2 \omega_2 t + 2 \times k_2 \times A_1 \times A_2 \times \sin \omega_1 t \times \sin \omega_2 t =$$

$$k_2 \times A_1^2 \times \left(\frac{1}{2} - \frac{\cos(2 \times \omega_1 t)}{2} \right) + k_2 \times A_2^2 \times \left(\frac{1}{2} - \frac{\cos(2 \times \omega_2 t)}{2} \right) +$$

$$+ k_2 \times A_1 \times A_2 \times [\cos(\omega_1 - \omega_2)t - \cos(\omega_1 + \omega_2)t]$$



$$\frac{1}{2} \times (k_2 \times A_1^2 + k_2 \times A_2^2) - \frac{1}{2} \times k_2 \times A_1^2 \times \cos(2 \times \omega_1)t - \frac{1}{2} \times k_2 \times A_2^2 \times \cos(2 \times \omega_2)t +$$

$$k_2 \times A_1 \times A_2 \times \cos(\omega_1 - \omega_2)t - k_2 \times A_1 \times A_2 \times \cos(\omega_1 + \omega_2)t$$



DC Συνιστώσα



Αρμονικές

$2 \times f_1$

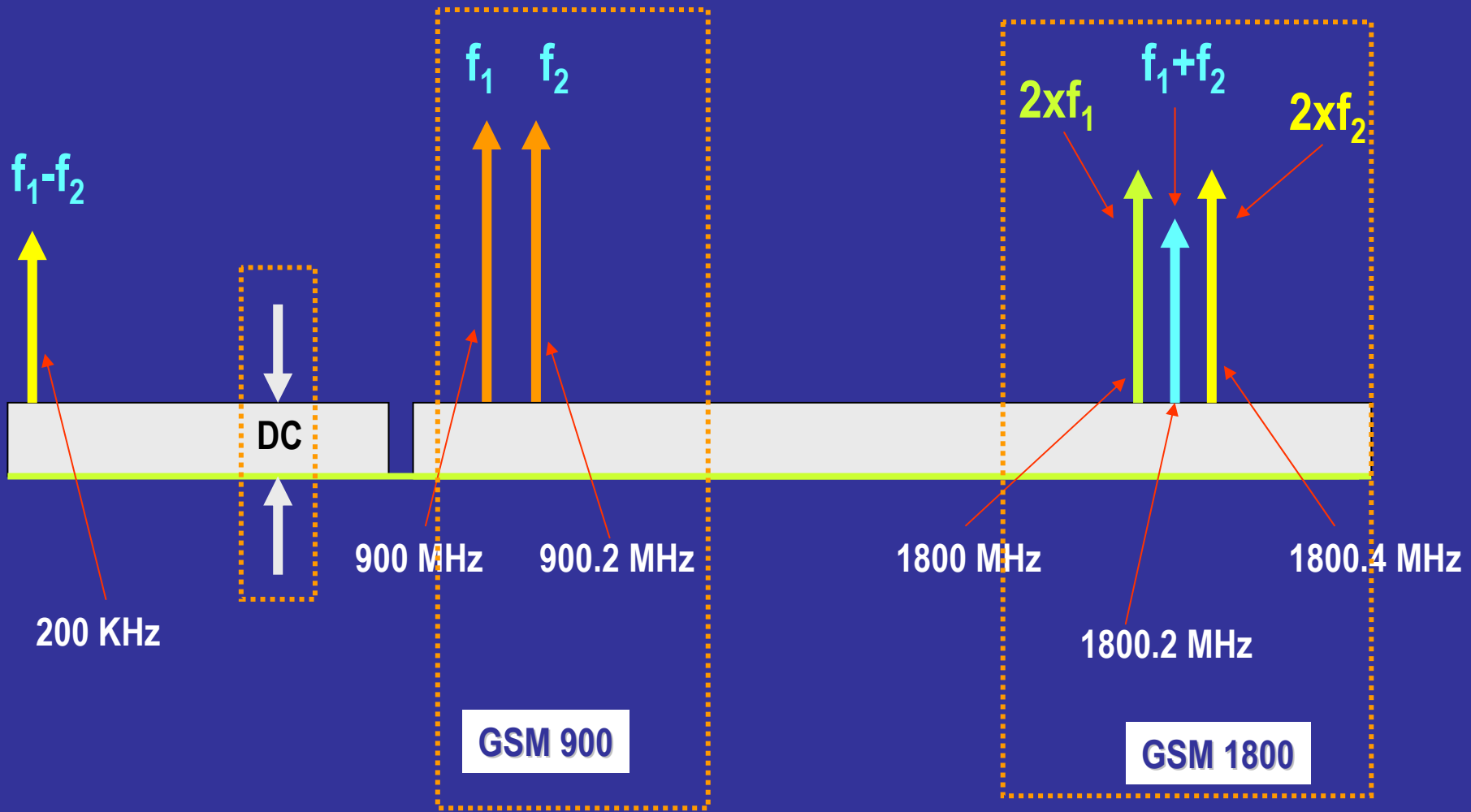
$2 \times f_2$



Αθροισμα + Διαφορά

$f_1 + f_2$

$f_1 - f_2$



3ος Όρος

$$k_3 \times (A_1 \times \sin \omega_1 t + A_2 \times \sin \omega_2 t)^3$$



Αρμονικές

Οροι...με...Συχνότητες $\rightarrow \omega_1, \omega_2, 3\omega_1, 3\omega_2 +$

$$3 \times k_3 \times A_1^2 \times \frac{A_2}{4} \times \left[\sin(2 \times \omega_1 - \omega_2)t + \sin \omega_2 t \right] + 3 \times k_3 \times A_1 \times \frac{A_2^2}{4} \times \left[\sin(2 \times \omega_2 - \omega_1)t + \sin \omega_1 t \right] -$$

$$3 \times k_3 \times A_1^2 \times \frac{A_2}{4} \times \left[\sin(2 \times \omega_1 + \omega_2)t - \sin \omega_2 t \right] - 3 \times k_3 \times A_1 \times \frac{A_2^2}{4} \times \left[\sin(2 \times \omega_2 + \omega_1)t - \sin \omega_1 t \right]$$



3ης Τάξης IMPs

$$2 \times f_1 - f_2$$

$$2 \times f_2 - f_1$$

Διαφορά

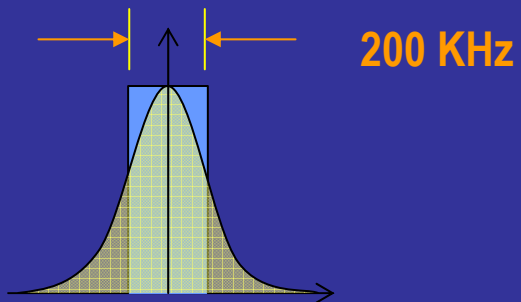


3ης Τάξης IMPs

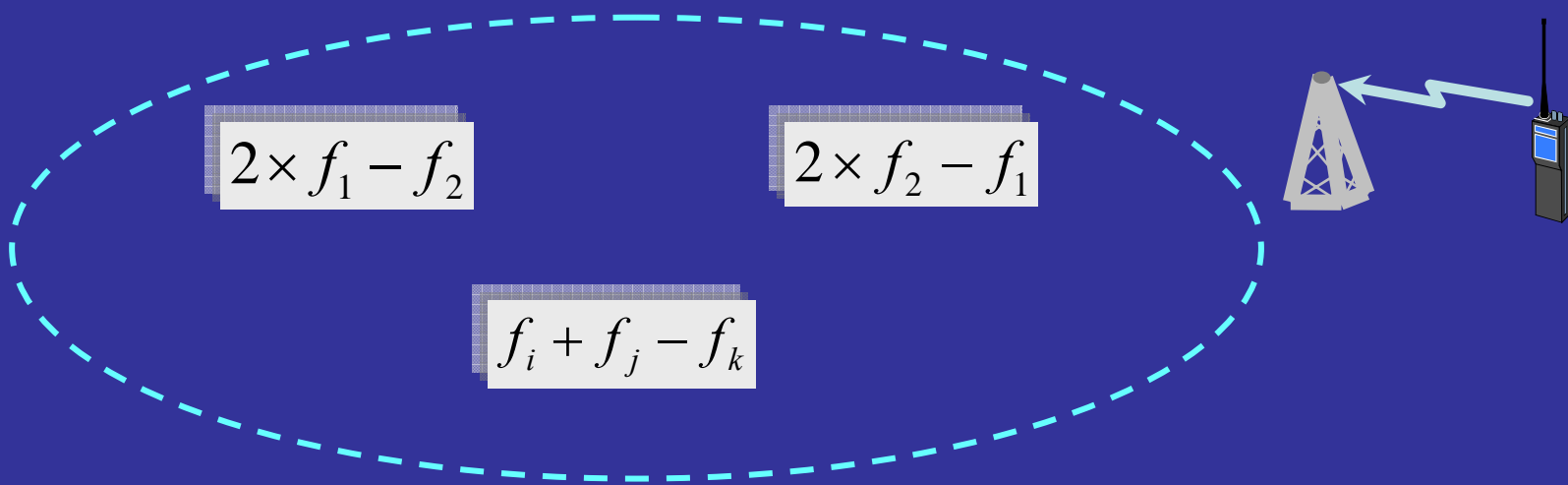
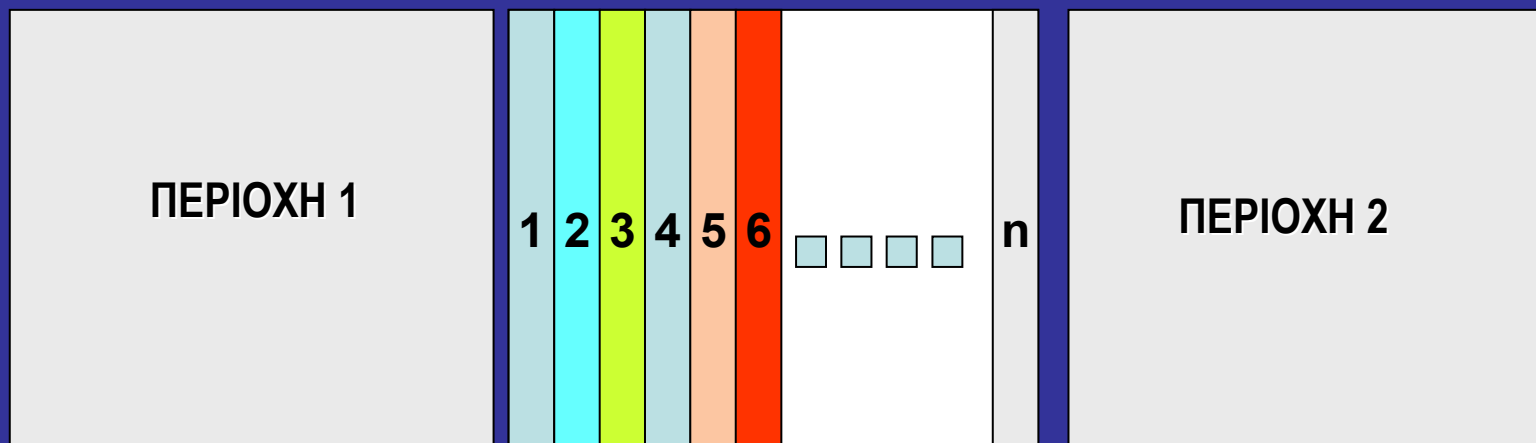
$$2 \times f_1 + f_2$$

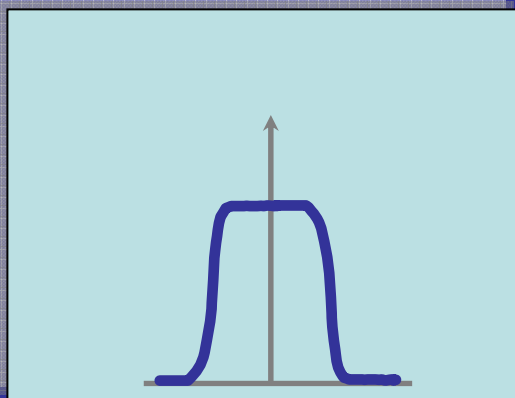
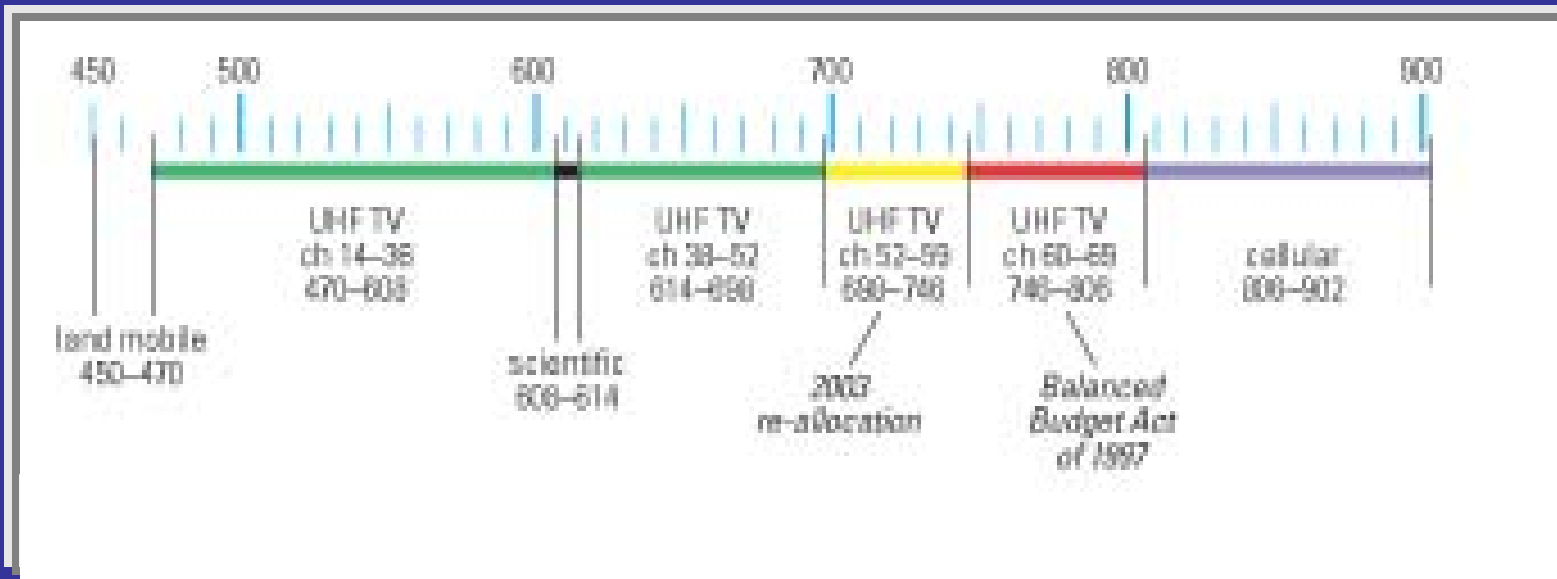
$$2 \times f_2 + f_1$$

Αθροισμα

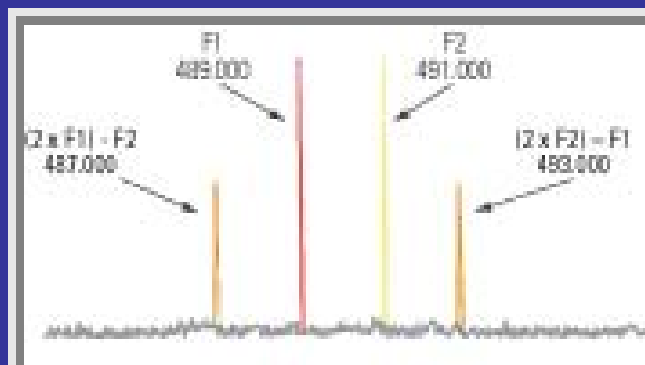


Ραδιοδίαυλοι



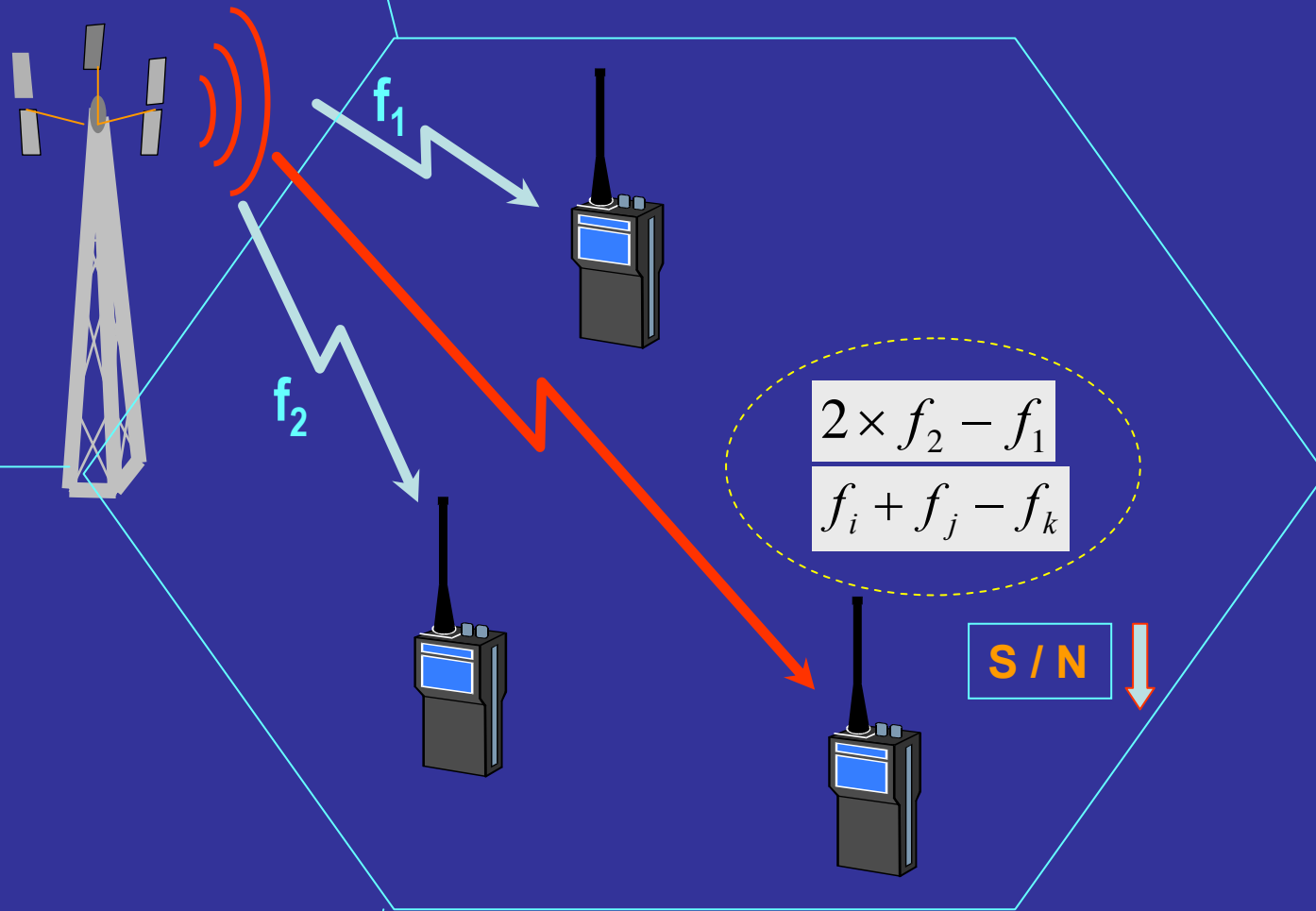


Notch Filter



Spectrum Analyzer





ΑΡΙΘΜΟΣ
ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ

$$2 \times f_1 - f_2$$

$$2 \times f_2 - f_1$$

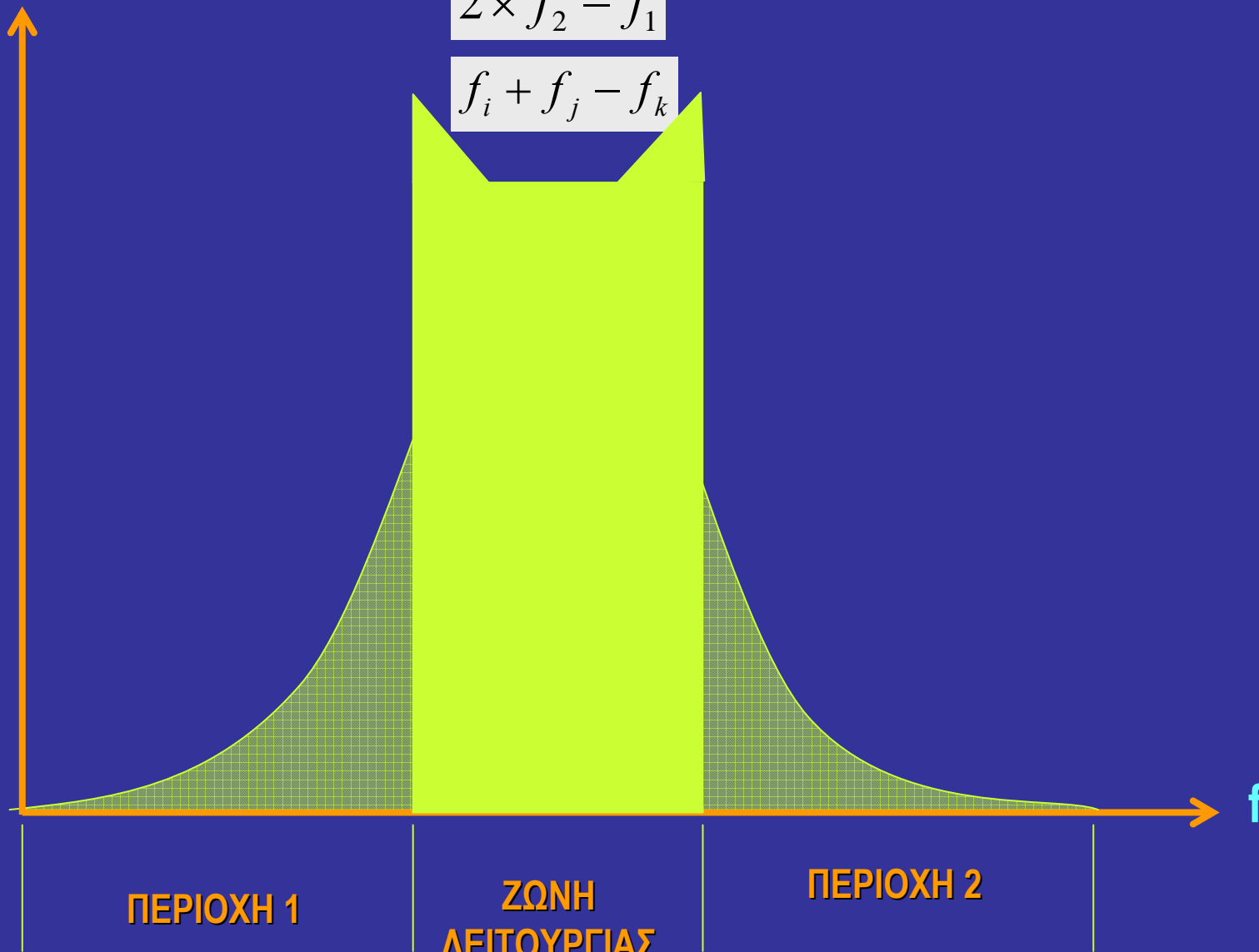
$$f_i + f_j - f_k$$

ΠΕΡΙΟΧΗ 1

ΖΩΝΗ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

ΠΕΡΙΟΧΗ 2

f



Τύπος Προϊόντος Ενδοδιαμόρφωσης



$$n \times f_i \pm m \times f_j$$

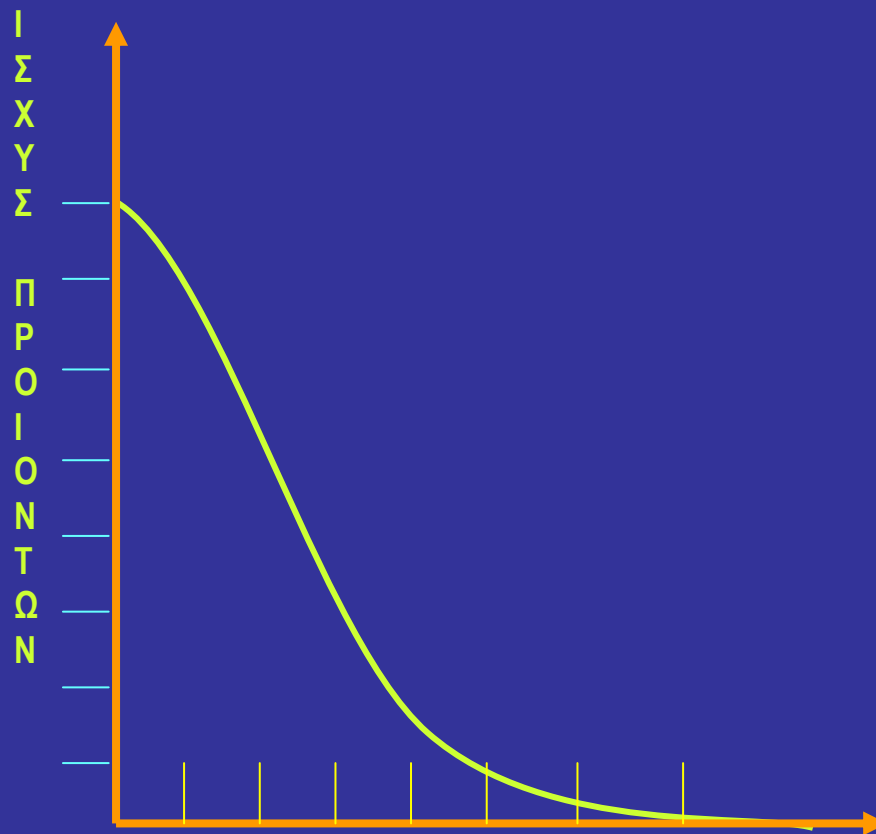
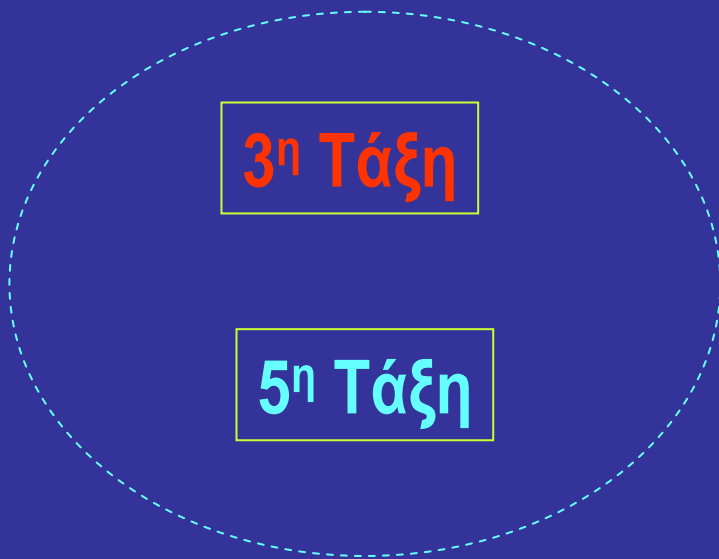
$$n \times f_i \pm m \times f_j \pm z \times f_k$$

Τάξη Προϊόντος Ενδοδιαμόρφωσης



$$|n + m|$$

$$|n + m + z|$$



$$2 \times f_i \pm f_j$$

$$f_i \pm f_j \pm f_k$$

3ης Τάξης

$$3 \times f_i \pm 2 \times f_j$$

$$3 \times f_i \pm f_j \pm f_k$$

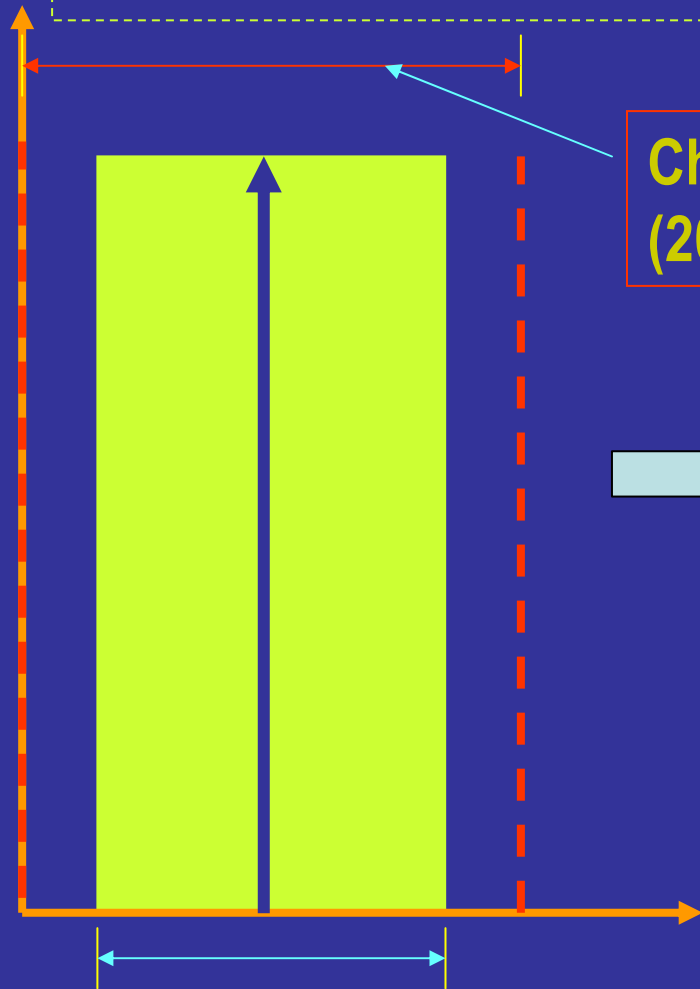
5ης Τάξης

Τάξη Προϊόντος Ενδοδιαμόρφωσης

Transmitter Stability

+

Receiver Susceptibility

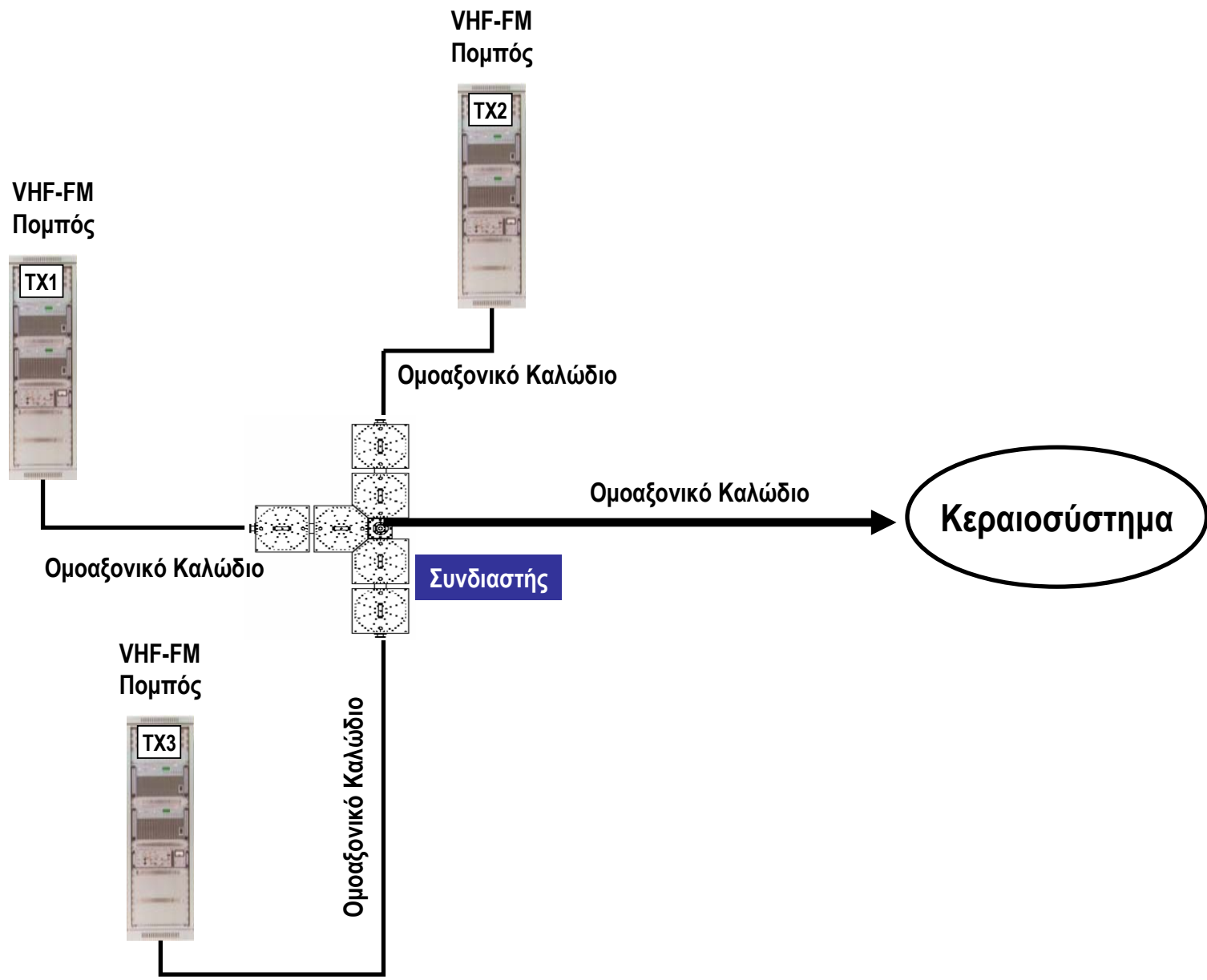


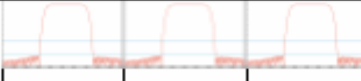
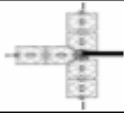




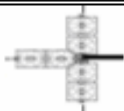




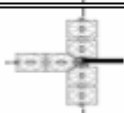




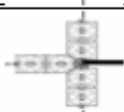


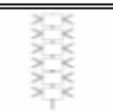

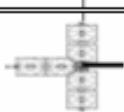



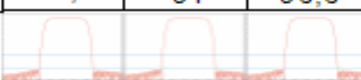
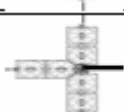
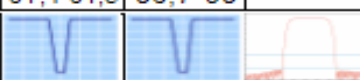


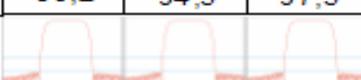
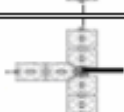
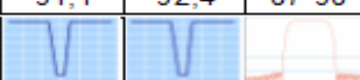

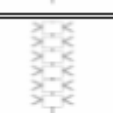
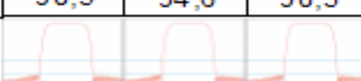
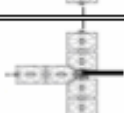
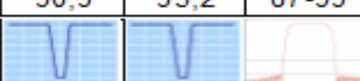


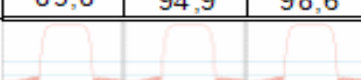
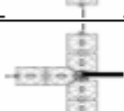
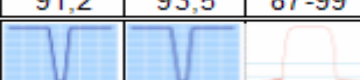

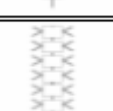
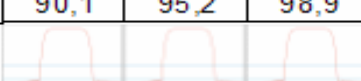
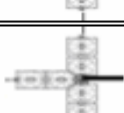
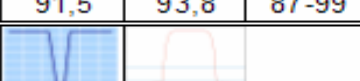

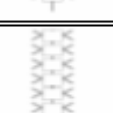
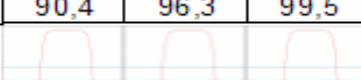
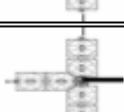
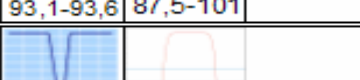


Channel Spacing
(200 KHz)

Επηρεάζεται η Συχνοτική Θέση των
Προϊόντων Ενδοδιαμόρφωσης

Δf

Frequency Drift



Συνδυασμός Συχνοτήτων	Φίλτρα πριν τον Συνδυαστή	Συνδυαστής	Φίλτρα μετά τον Συνδυαστή	Γραμμή τροφοδοσίας	Κεραία
87,7 92,3 97,2	 87,7 92,3 97,2		 92,7 96,8 87,5-100		
88 92,6 99,2	 88 92,6 99,2		 94,6 97,2 86,5-102		
88,3 92,9 101,3	 88,3 92,9 101,3		 96,7 97,5 85-105		
88,6 93,2 96	 88,6 93,2 96		 90,4 91,4 86-97		
88,9 94 96,6	 88,9 94 96,6		 91,4-91,5 86,7-98		
89,2 94,3 97,5	 89,2 94,3 97,5		 91,1 92,4 87-98		
89,5 94,6 98,3	 98,3 94,6 98,3		 90,9 93,2 87-99		
89,8 94,9 98,6	 89,8 94,9 98,6		 91,2 93,5 87-99		
90,1 95,2 98,9	 90,1 95,2 98,9		 91,5 93,8 87-99		
90,4 96,3 99,5	 90,4 96,3 99,5		 93,1-93,6 87,5-101		
92 96,9 100,3	 92 96,9 100,3		 93,5-95,4 89-101		

Κατάλογος Συχνοτήτων απηλλαγμένος από Προϊόντα Ενδοδιαμόρφωσης 3ης Τάξης

$$F_{\psi+\omega} = 2 \times F_{\psi} + \varepsilon^{\omega-1} F_1$$

$$\varepsilon^{\omega-1} F_1 = F_{\omega} - F_1$$

$$1 \leq \omega \leq \psi$$

Μαθηματικός Τύπος
Mifsud

A/A	Συχνότητα MHz	A/A	Συχνότητα MHz	A/A	Συχνότητα MHz	A/A	Συχνότητα MHz	A/A	Συχνότητα MHz
1	940.000	9	940.200	17	940.400	25	940.600	33	940.800
2	940.025	10	940.225	18	940.425	26	940.625	34	940.825
3	940.050	11	940.250	19	940.450	27	940.650	35	940.850
4	940.075	12	940.275	20	940.475	28	940.675	36	940.875
5	940.100	13	940.300	21	940.500	29	940.700	37	940.900
6	940.125	14	940.325	22	940.525	30	940.725	38	940.925
7	940.150	15	940.350	23	940.550	31	940.750	39	940.950
8	940.175	16	940.375	24	940.575	32	940.775	40	940.975

Channel Spacing = 25 KHz

Εύρος Ζώνης (bandwidth) = 940.975 - 940.000 = 0.975 MHz

Start



F_1	940.000
F_2	940.025

Μαθηματικός Τύπος
Mifsud

Κατάλογος Συχνοτήτων Απηλλαγμένος
από Προϊόντα Ενδοδιαμόρφωσης 3ης Τάξης

F_1	1:	940.000
F_2	2:	940.025

$$\psi = 2$$

$$1 \leq \omega \leq 2$$

Αρα:

$$\omega = 1$$

$$\omega = 2$$

$$F_{2+1} = 2 \times F_2 + \varepsilon^{1-1} F_1$$

$$F_{2+2} = 2 \times F_2 + \varepsilon^{2-1} F_1$$

Αλλά:

$$\varepsilon^{1-1} F_1 = F_1 - F_1 = 1 - 1 = 0$$

$$\varepsilon^{2-1} F_1 = F_2 - F_1 = 2 - 1 = 1$$

Επομένως:

$$F_{2+1} = 2 \times F_2 + \varepsilon^{1-1} F_1 = 2 \times 2 + 0 = 4$$

$$F_{2+2} = 2 \times F_2 + \varepsilon^{2-1} F_1 = 2 \times 2 + 1 = 5$$

F_3	4:	940.075
F_4	5:	940.100

~~3: 940.050~~

διότι

$$2 \times F_2 - F_1 = 2 \times 2 - 1 = 4 - 1 = 3$$

F_1	1:	940.000
F_2	2:	940.025
F_3	4:	940.075
F_4	5:	940.100

$$\psi = 4$$

$$1 \leq \omega \leq 4$$

$$\omega = 1$$

$$F_{4+1} = 2 \times F_4 + \varepsilon^{1-1} F_1$$

$$\omega = 2$$

$$F_{4+2} = 2 \times F_4 + \varepsilon^{2-1} F_1$$

$$\omega = 3$$

$$F_{4+3} = 2 \times F_4 + \varepsilon^{3-1} F_1$$

$$\omega = 4$$

$$F_{4+4} = 2 \times F_4 + \varepsilon^{4-1} F_1$$

F_5	10:	940.225
F_6	11:	940.250
F_7	13:	940.300
F_8	14:	940.325

~~6: 940.125~~

~~7: 940.150~~

~~8: 940.175~~

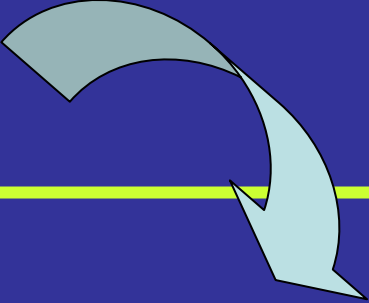
~~9: 940.200~~

~~12: 940.275~~

F₁	1:	940.000
F₂	2:	940.025



F₁	1:	940.000
F₂	2:	940.025
F₃	4:	940.075
F₄	5:	940.100



F₁	1:	940.000
F₂	2:	940.025
F₃	4:	940.075
F₄	5:	940.100
F₅	10:	940.225
F₆	11:	940.250
F₇	13:	940.300
F₈	14:	940.325

A/A	Συχνότητα MHz	A/A	Συχνότητα MHz
F_1	940.000	F_9	940.675
F_2	940.025	F_{10}	940.700
F_3	940.075	F_{11}	940.750
F_4	940.100	F_{12}	940.775
F_5	940.225	F_{13}	940.900
F_6	940.250	F_{14}	940.925
F_7	940.300	F_{15}	940.975
F_8	940.325		

~~3rd Order
Interference~~

Κατάλογος Συχνοτήτων απηλλαγμένος από Προϊόντα Ενδοδιαμόρφωσης 3ης Τάξης και 5ης Τάξης

$$F_K = 3 \times F_N + F_Z$$

$$K = \{m + 2, m + 4, m + 6, \dots\}$$

$$N = \{2, 4, 6, \dots\}$$

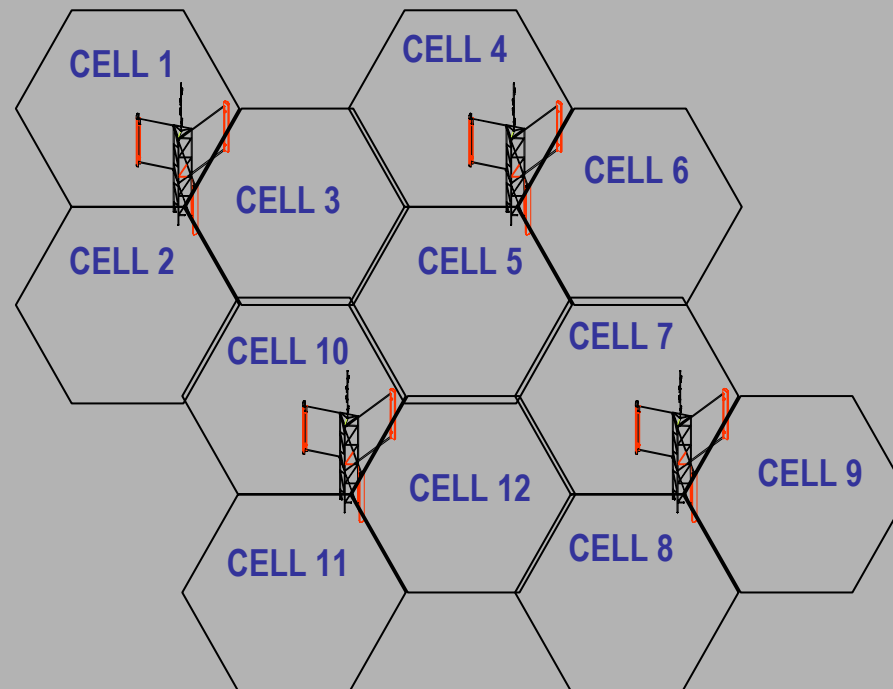
$$Z = \{m, m + 2, m + 4, \dots\}$$

$$m \mapsto \begin{cases} =1 \\ =2 \end{cases}$$

Συχνότητα	Μαθηματικός Τύπος	Αριθμητική Αντικατάσταση	Channel No.
F_1			1
F_2			2
F_3	$3F_2 + F_1$	$3 \times 2 + 1$	7
F_4	$3F_2 + F_2$	4×2	8
F_5	$3F_4 + F_3$	$3 \times 8 + 7$	31
F_6	$3F_4 + F_4$	4×8	32
F_7	$3F_6 + F_5$	$3 \times 32 + 31$	127
F_8	$3F_6 + F_6$	4×32	128

Επίπεδο Ραδιοδικτύου

CLUSTER SIZE: 4 / 12



Cell 1	Cell 2	Cell 3	Cell 4	Cell 5	Cell 6	Cell 7	Cell 8	Cell 9	Cell 10	Cell 11	Cell 12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62										

Intermodulation Products / cell

Cell 1

$$2 \times 13 - 1 = 25$$

$$2 \times 37 - 13 = 61$$

Cell 2

$$2 \times 14 - 2 = 26$$

$$2 \times 38 - 14 = 62$$

Cell 3

$$2 \times 15 - 3 = 27$$

Cell 4

$$2 \times 16 - 4 = 28$$

Cell 5

$$2 \times 17 - 5 = 29$$

Cell 6

$$2 \times 18 - 6 = 30$$

Cell 7

$$2 \times 19 - 7 = 31$$

Cell 8

$$2 \times 20 - 8 = 32$$

Cell 9

$$2 \times 21 - 9 = 33$$

Cell 10

$$2 \times 22 - 10 = 34$$

Cell 11

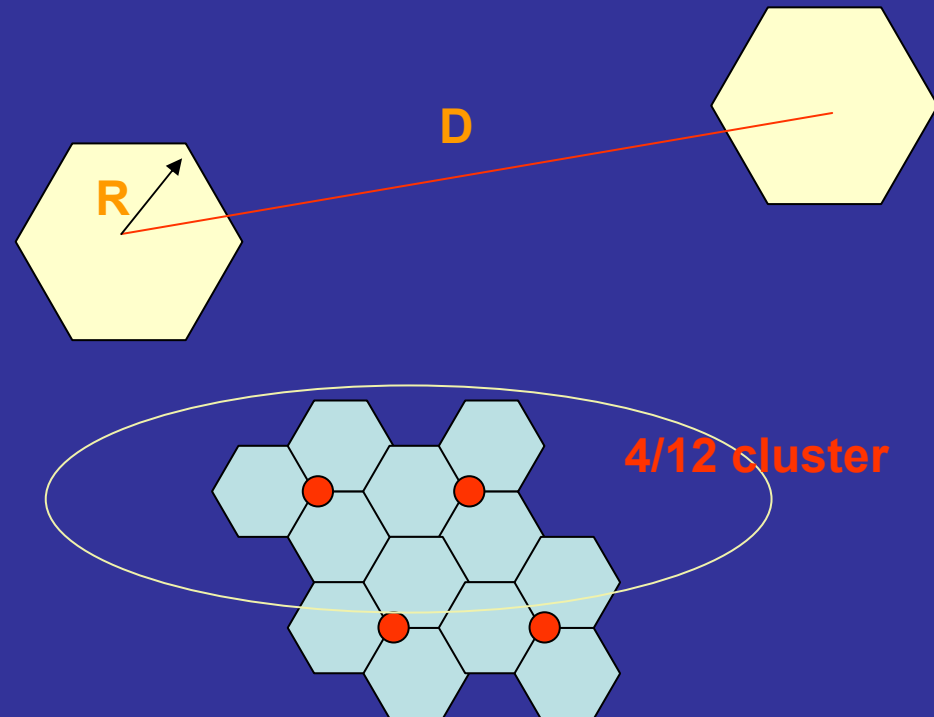
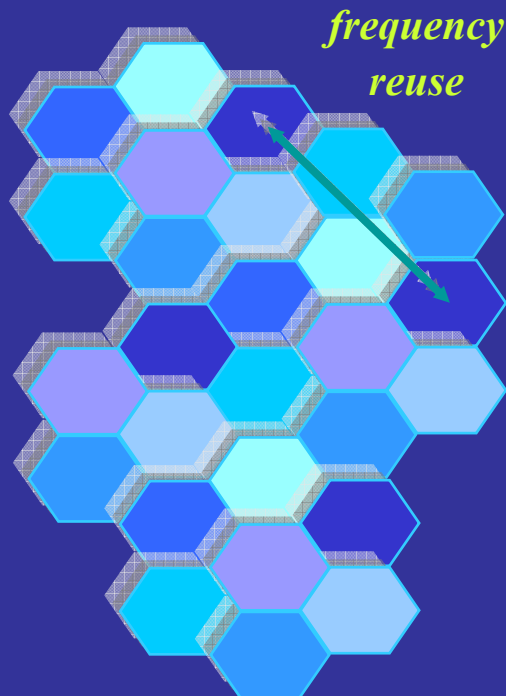
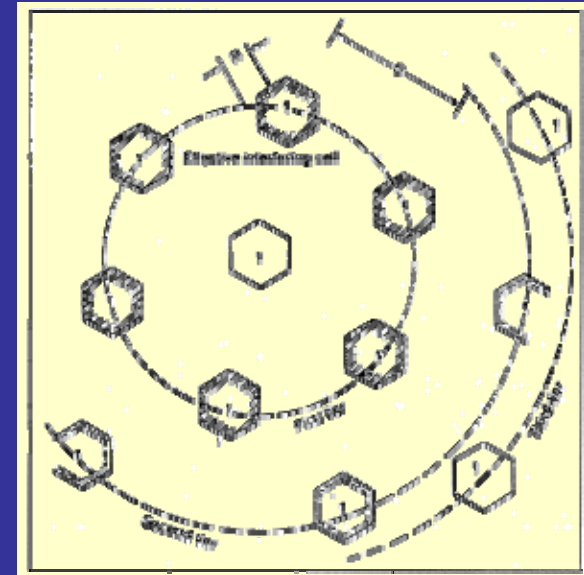
$$2 \times 23 - 11 = 35$$

Cell 12

$$2 \times 24 - 12 = 36$$

ΟΜΟΚΑΝΑΛΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ (Co-channel Interference)

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3 * N}$$



Βασικές Αρχές Κυτταρικής ιδέας

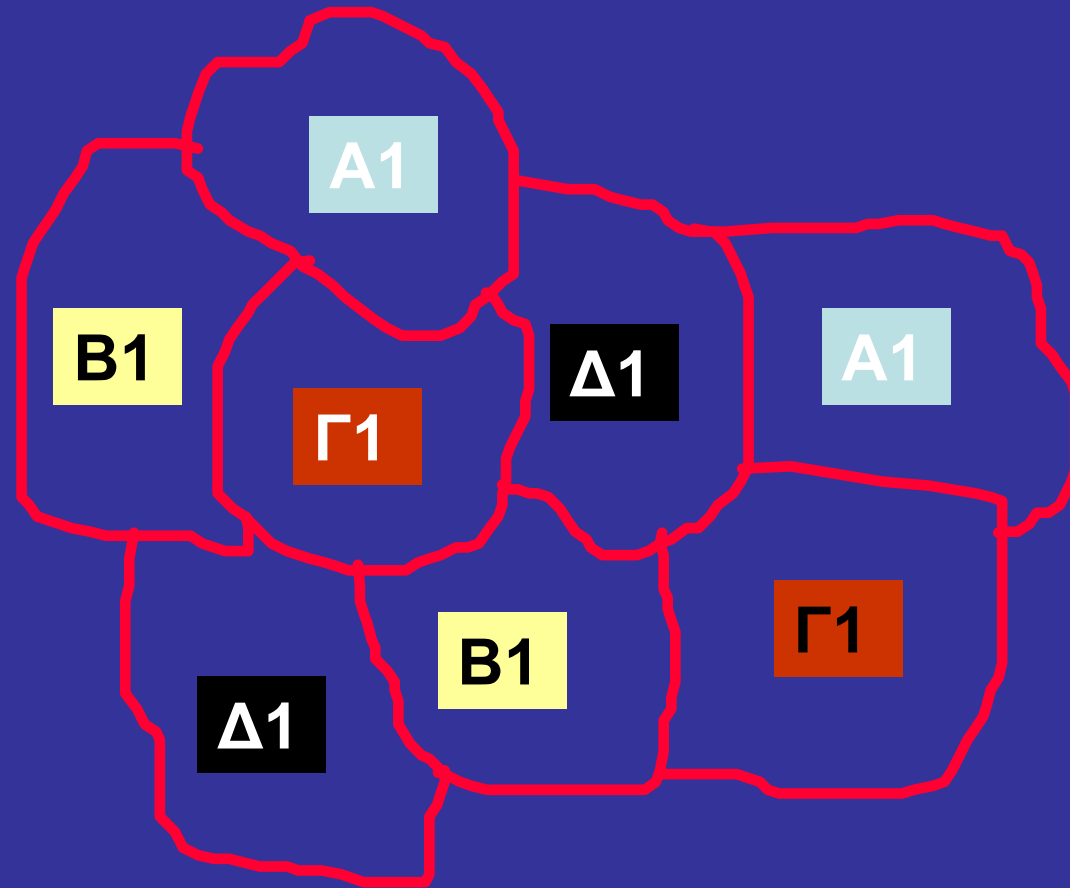
Διαίρεση Κυττάρου

Επαναχρησιμοποίηση Συχνοτήτων

Επαναχρησιμοποίηση Συχνοτήτων

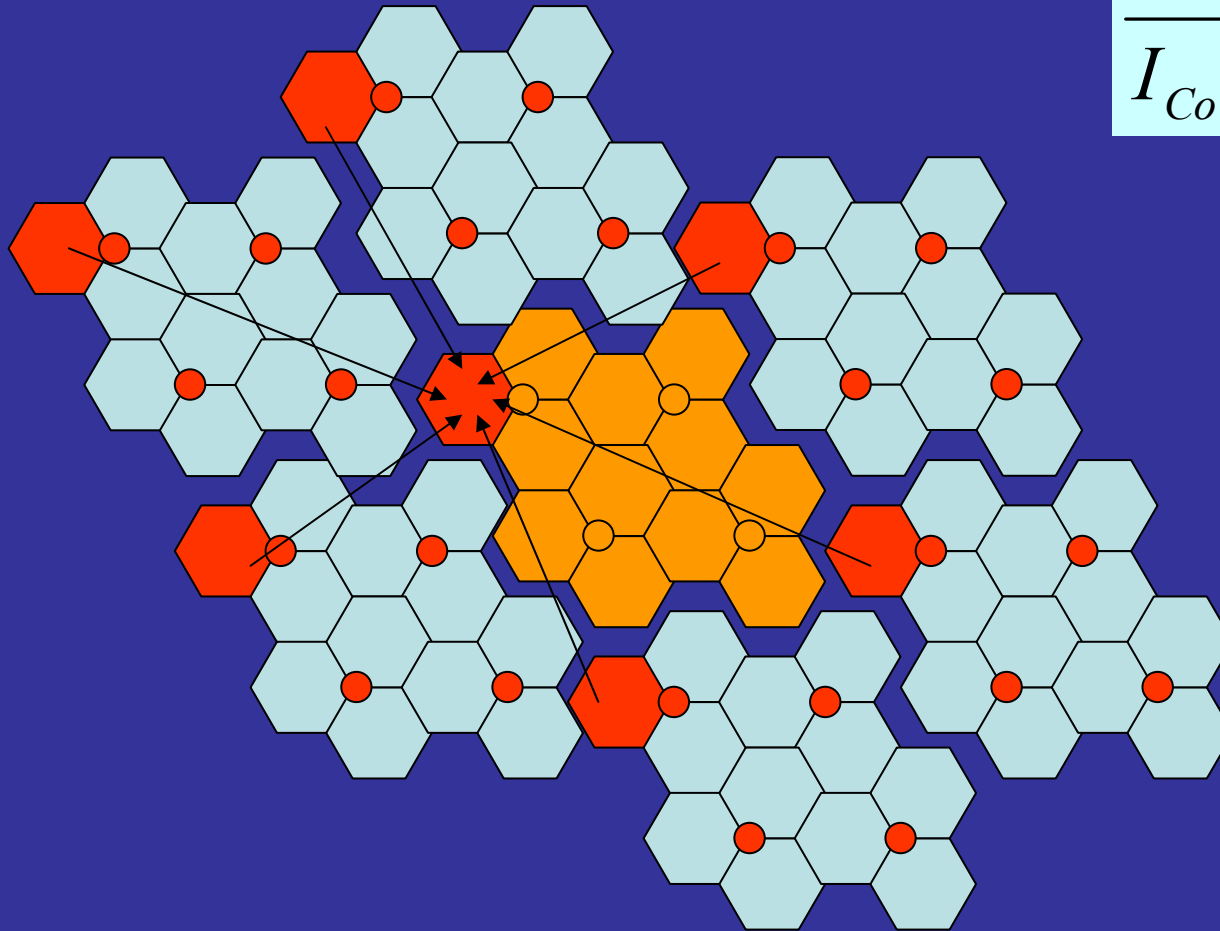
- Ίδιες συχνότητες επαναχρησιμοποιούνται σε διαφορετικές ζώνες (κυψέλες) της γεωγραφικής περιοχής, υπό επικοινωνιακή εξυπηρέτηση.
- Η επαναχρησιμοποίηση των ίδιων συχνοτήτων σε μια γεωγραφική περιοχή, διασφαλίζεται με ειδικούς κανόνες, ώστε να αποφευχθεί η Ομοκαναλική Παρεμβολή.

Επαναχρησιμοποίηση Συχνοτήτων



ΟΜΟΚΑΝΑΛΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ (Co-channel Interference)

$$\frac{C}{I_{Co-Ch}} \leq a$$



ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΓΕΙΤΟΝΙΚΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ (Adjacent Channel Interference)

Απαιτείται μεγαλύτερη δυνατή απόσταση μεταξύ των φερουσών συχνοτήτων

Επιτυγχάνεται με κατάλληλη διαχείριση του φάσματος συχνοτήτων

Χρησιμοποιούνται φίλτρα και συνδυαστές με χαμηλή διακριτική ικανότητα (resolution)

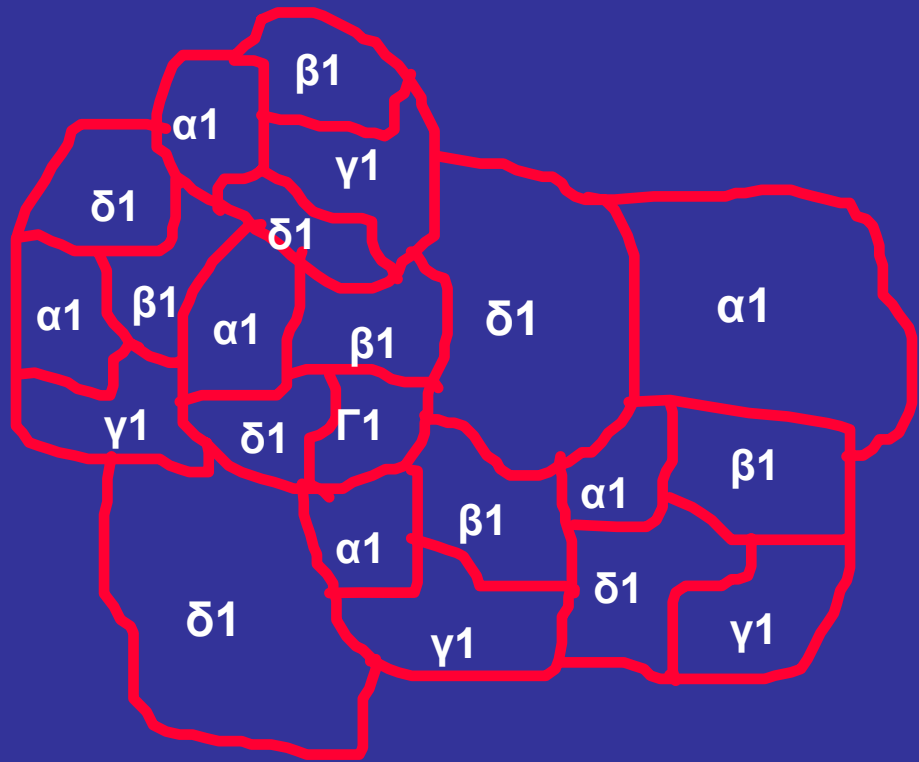
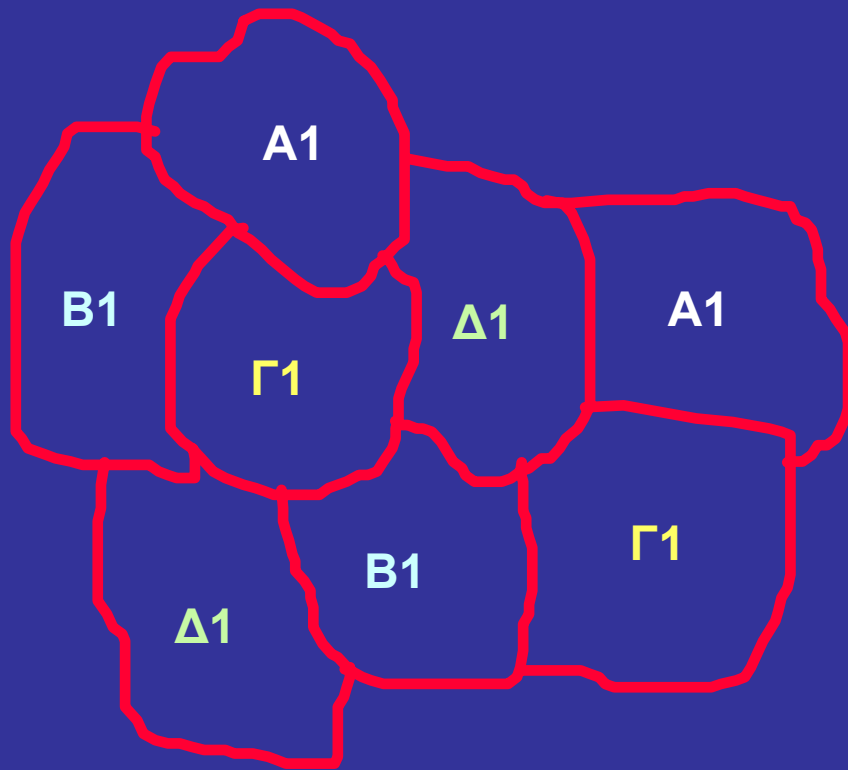
Μείωση του κόστους των μονάδων σύνδεσης των Πομποδεκτών με τα Κεραιοσυστήματα (combiners), χωρίς να υπάρχει κίνδυνος μη αξιόπιστης ροής της πληροφορίας

Διαίρεση ή Διάσπαση Κυττάρου (Cell Splitting)

Η τεχνική **Διαίρεσης των Κυττάρων** πραγματοποιείται όταν με την αύξηση της επικοινωνιακής κίνησης, δεν μπορεί το υπάρχον αρχικό δίκτυο, να εξυπηρετήσει τους συνδρομητές.

Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, τα αρχικά κύτταρα διαιρούνται σε μικρότερου μεγέθους, τοποθετώντας νέους Σταθμούς Βάσης

Διαίρεση Κυττάρου (συνέχεια)

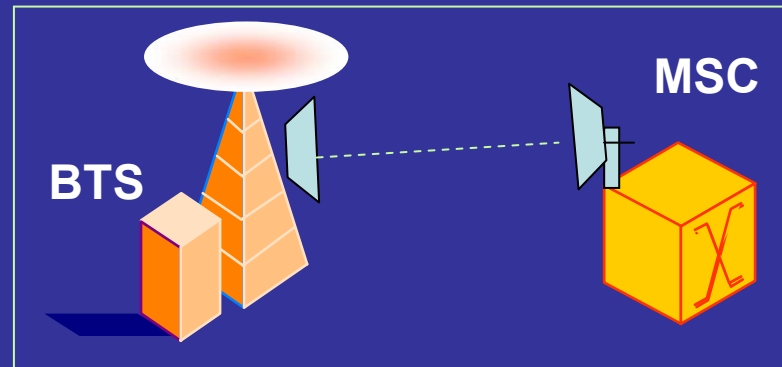


Χαρακτηρισμός Ασύρματου Καναλιού

RF Ζεύξη

Σύνδεση BTS με Ψηφιακό Κέντρο (MSC)

↓
LOS Design



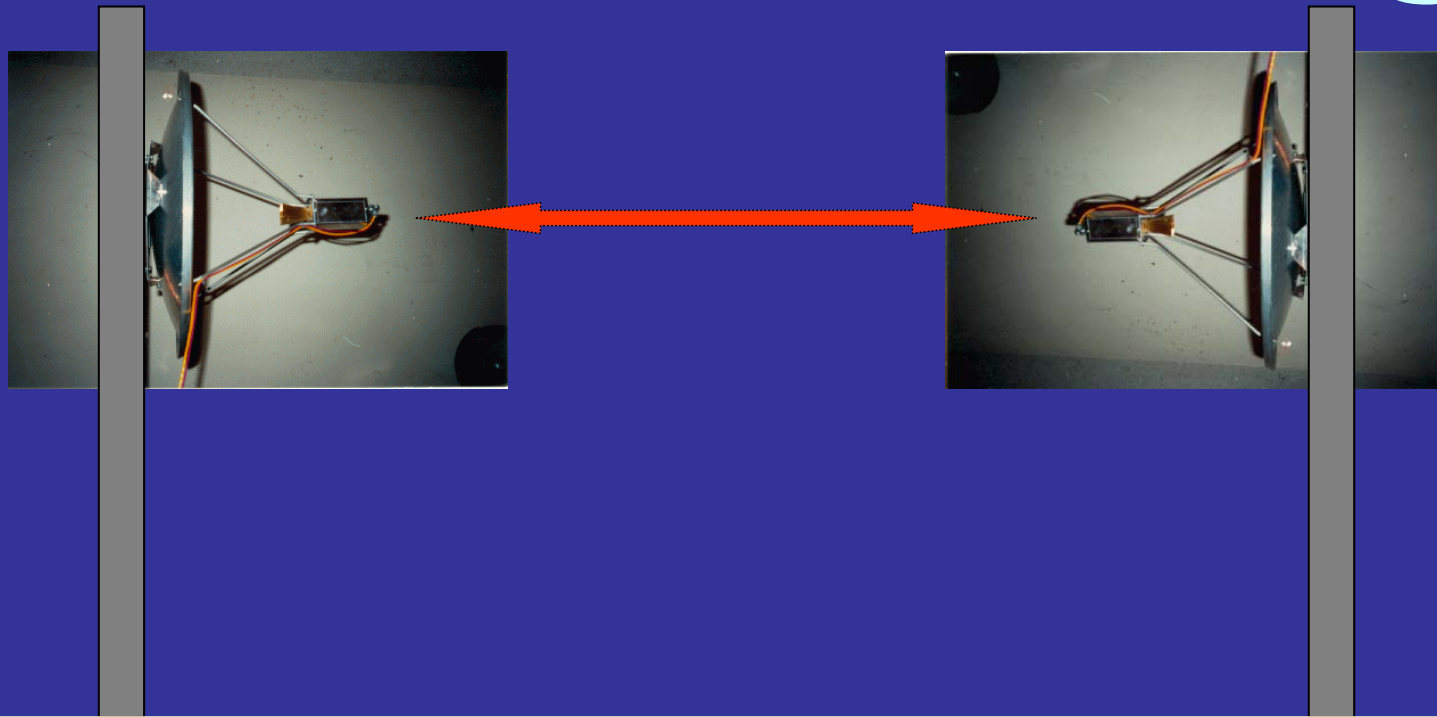
Προσδιορισμός:

Της κατάλληλης ERP του κεραιοσυστήματος εκπομπής

Με βάση :

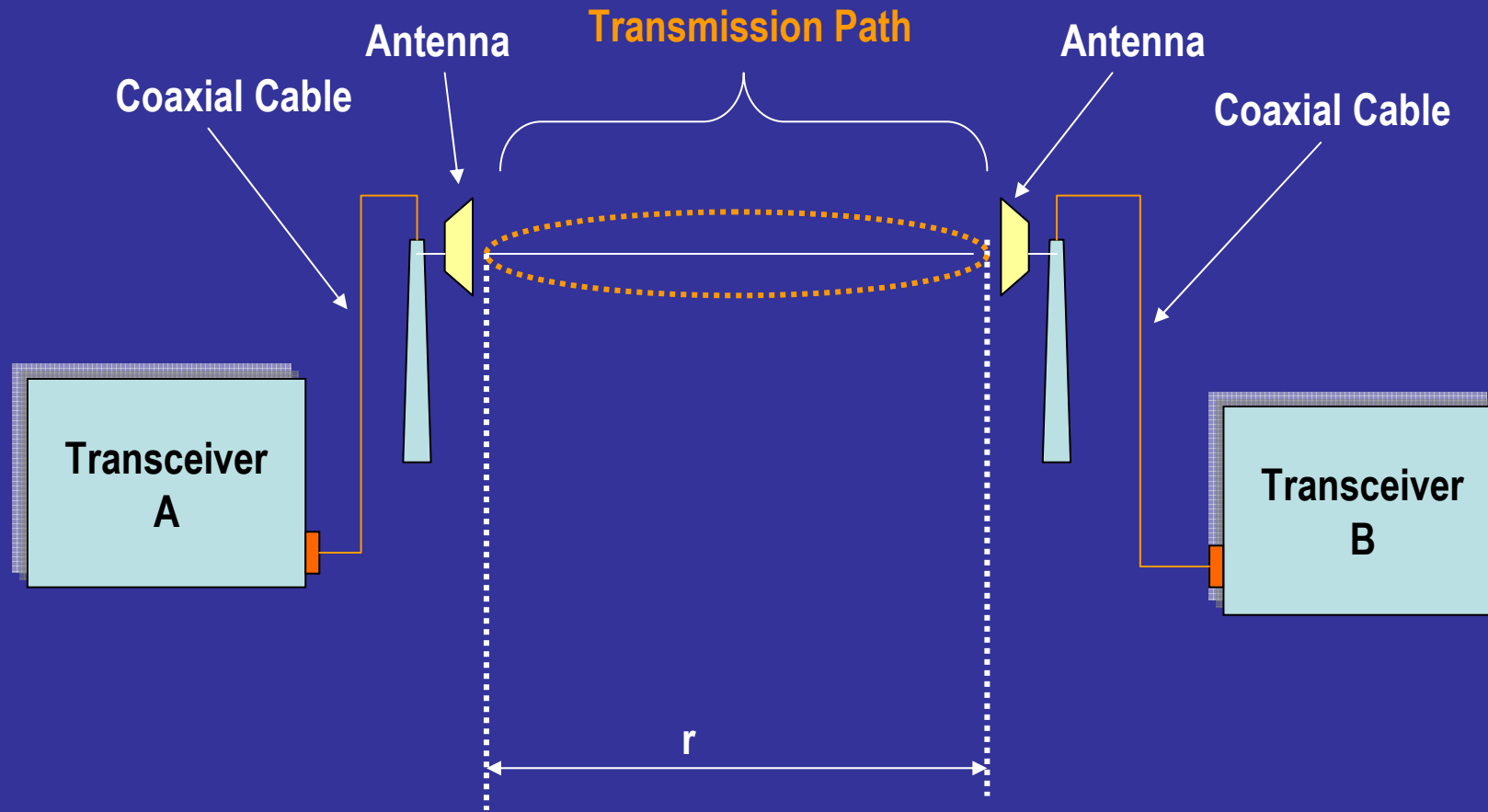
- την απαιτούμενη Στάθμη του Σήματος Λήψης
- την μελέτη του Path Profile για την διασφάλιση της καθαρότητας της 1ης Ζώνης Fresnel
- τις απώλειες του ραδιοδρόμου και των υδρομετεώρων

LOS Design



Ζεύξη Οπτικής Επαφής

LOS Design



Εξασθένηση Ομοαξονικών Καλωδίων

Η εξασθένηση δίδεται από την σχέση:

$$a = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right) \quad \text{in} \quad \text{dB} \quad (1)$$

Where:

α = is the attenuation (in dB)

P_{in} = is the input power in coaxial cable (in Watts)

P_{out} = is the output power in the coaxial cable (in Watts)

Another technical parameter that should be taken into account is the **characteristic impedance** of the coaxial cable.

The characteristic impedance is given by the following formula:

$$Z = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln\left(\frac{D_c}{d_c}\right) \quad (2)$$

Where:

Z = Characteristic Impedance (in Ohms)

ϵ_r = Relative Dielectric Constant

D_c = the diameter of the external conductor of the cable

d_c = the diameter of the inner conductor of the cable

Moreover, the **efficiency** of the coaxial cable is given by the following formula:

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} = 10^{-\left(\frac{a \cdot \frac{l_{physical}}{100} + A_r}{10} \right)} \quad (3)$$

Where:

n = efficiency of the coaxial cable

P_{in} = is the input power in coaxial cable (in Watts)

P_{out} = is the output power in the coaxial cable (in Watts)

a = is the attenuation of the coaxial cable

$l_{physical}$ = is the physical length of the coaxial cable (m)

A_r = is additive attenuation due to possible no matching issues

The *maximum transmitting frequency* through the coaxial cable is

$$f_{\max} = \frac{1.91 \cdot u_r}{D_c + d_c} \quad (4)$$

Where:

f_{\max} = is the maximum transmitted frequency (GHz)

u_r = is the Relative Transmission Speed (%), and is given by the following formula:

$$u_r = \frac{100}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (5)$$

D_c = the diameter of the external conductor of the cable (mm)

d_c = the diameter of the inner conductor of the cable (mm)

Finally, the *Cut off Wavelength* is given by the following formula:

$$\lambda_{cutoff} = \pi \cdot \frac{D_c + d_c}{2} \cdot \frac{1}{10 \cdot u_r} \quad (6)$$

Where:

λ_{cutoff} = is the cut off wavelength (m)

u_r = is the Relative Transmission Speed (%)

D_c = the diameter of the external conductor of the cable (mm)

d_c = the diameter of the inner conductor of the cable (mm)

The Antennae at points A and B

The antennas at points A and B, are ***directive, parabolic type*** covered by special ***RADOME*** in order to give protection from the possible presence of hydrometeors (rain, snow and ice). These hydrometers affect the reflector issue of the parabolic antenna and this means a possible change of the antenna's radiation pattern.

Antenna Gain

$$G_{DISH} = E \times \left(\frac{\pi \times D}{\lambda} \right)^2 \quad (7)$$

Where:

G_{DISH} = is the gain of the antenna

E = is the efficiency of the parabolic antenna

D = is the diameter of the parabolic dish

λ = is the wavelength

The 3 dB beamwidth

$$\theta^0 = 70 \times \frac{\lambda}{D} \quad (8)$$

Where:

D = is the diameter of the parabolic dish

λ = is the wavelength

The Radome issue

The Radome is a necessary part of the antenna in order to give protection from the hydrometeors. The radome is constructed from synthetic material, which introduces a specific attenuation (in dB)

The Effective Aperture

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4 \cdot \pi} \cdot G \quad (9)$$

Where:

A_{eff}

= the Effective Aperture

λ

= is the wavelength

G

= is the antenna gain

Υψη Πυλώνων εγκατάστασης κεραιών

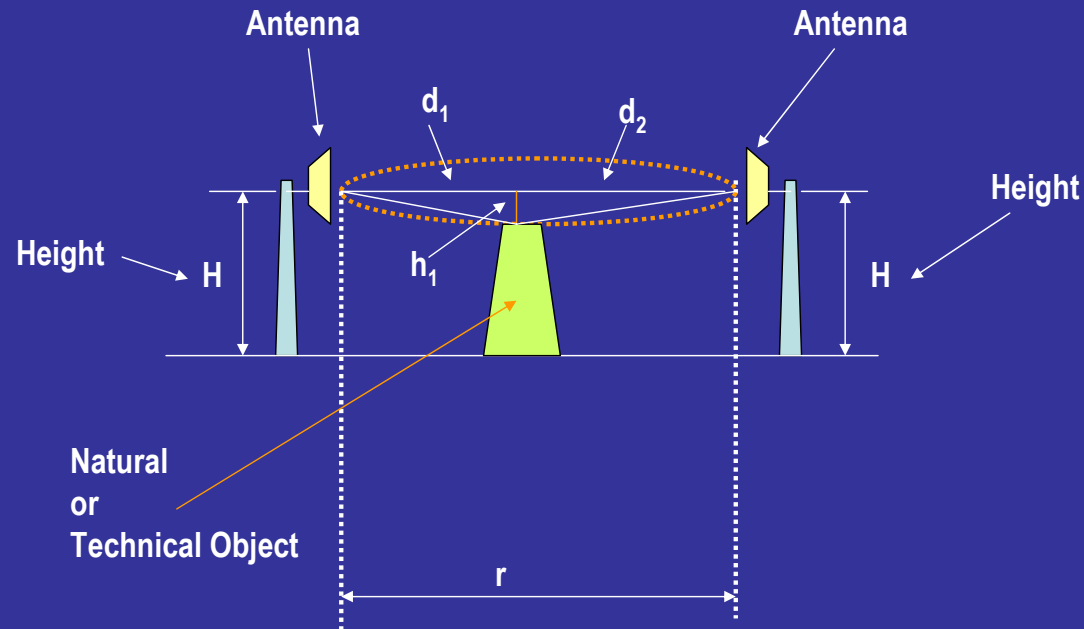


Figure 2: Καθαρότητα 1ης Ζώνης Fresnel (*Fresnel Zone Clearance*)

$$h_1 = \left[\frac{\lambda}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}} \right]^{1/2}$$

(10)



Where:

- h1 = is the radius of the 1st Fresnel Zone
- λ = is the wavelength
- d1 = is the distance between the antenna at the point A and the projection of the top of the object in the line of the link
- d2 = is the distance between the antenna at the point B and the projection of the top of the object in the line of the link

Παράμετροι εξίσωσης RF Ζεύξης (Ισολογισμός Ισχύων - Link Budget):

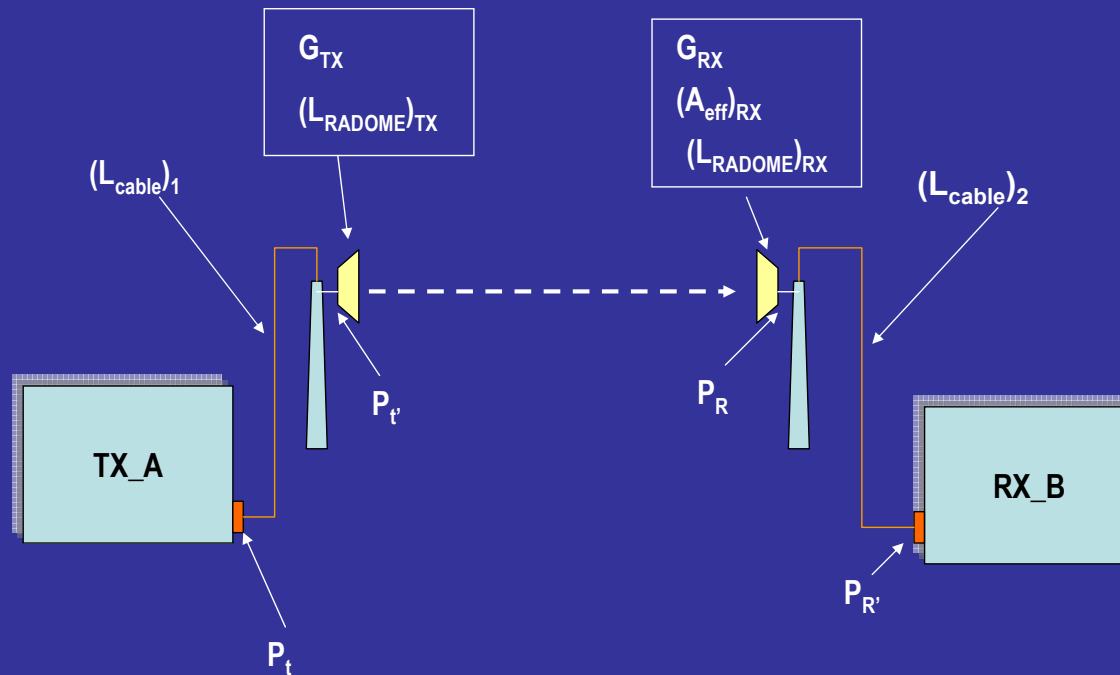


Figure 3: Electromagnetic parameters of the LOS RF link

The Received Power Level (PR') at the input of the receiver RX_B, is given by the following formula:

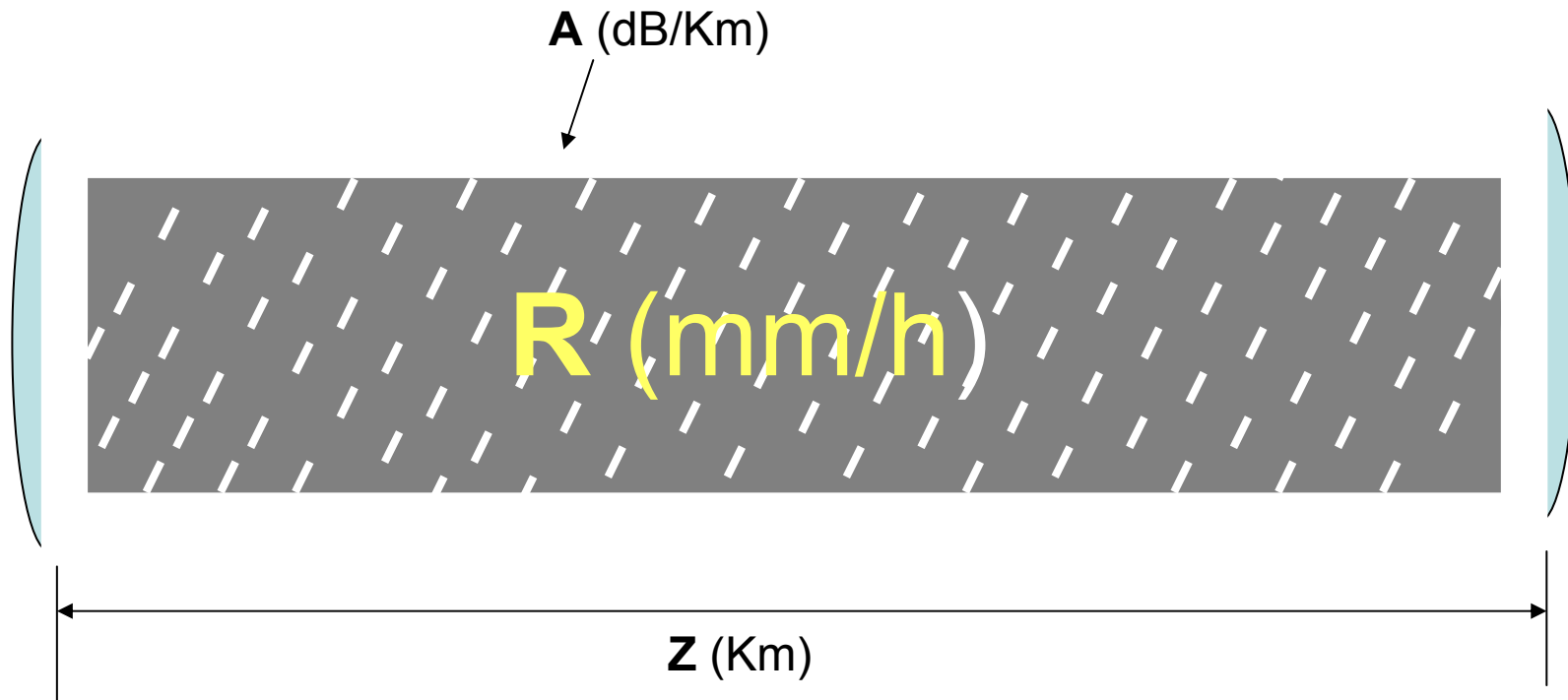
$$[P_{R'}]_{dB} = [A]_{dB} - [(L_{CABLE})_2]_{dB} \quad (11)$$

Where:

$$[A]_{dB} = [P_t]_{dB} - [(L_{CABLE})_1]_{dB} - [(L_{RADOME})_{TX}]_{dB} + [G_{TX}]_{dB} + [G_{RX}]_{dB} + 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot r} \right) - [(L_{RADOME})_{RX}]_{dB} - [L_{RAIN}]_{dB}$$

Condition to be valid:

The characteristic impedances of all the involved RF devices should be equal between them, in order to minimize the Standing Waves.



$$\text{Total Rain Losses (L)} = \mathbf{A} \text{ (dB/Km)} \times \mathbf{Z} \text{ (Km)} = \mathbf{A} \times \mathbf{Z} \text{ (dB)}$$

K factor

$$K \approx \frac{r}{r_0}$$

Where:

r

= is the radius of the ray beam curvature

r_0

= is the true radius of the earth

The refractivity for the earth's atmosphere is:

$$N = \frac{77.6}{T \times \left[P + \frac{4810 \times e_s \times (RH)}{T} \right]}$$

Where:

P = is the atmospheric pressure in millibars

T = is the temperature in Kelvins

e_s = is the saturation water vapor pressure in millibars

RH = is the relative humidity expressed as a fraction

The K factor, is equal:

$$K \approx \left[1 + \frac{\left(\frac{\Delta N}{\Delta h} \right)}{157} \right]^{-1}$$

For the Federal Republic of Germany:

$$\frac{\Delta N}{\Delta h} = -9.90 \times e^{0.004565 \times N_s}$$

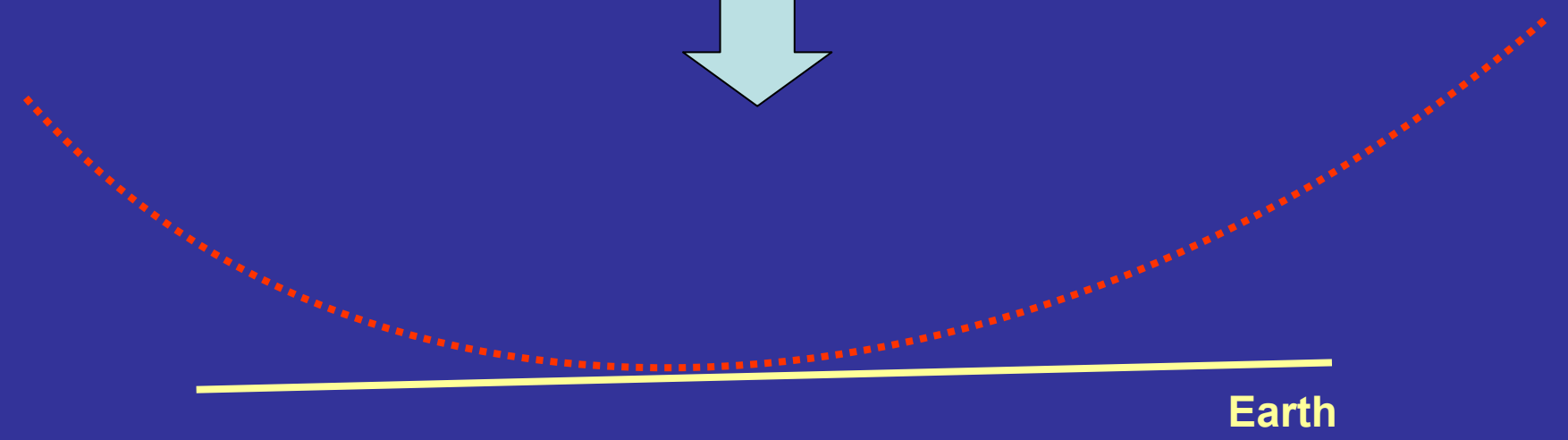
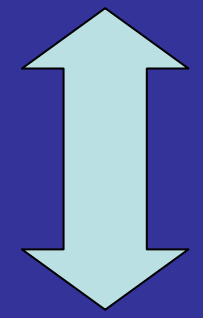
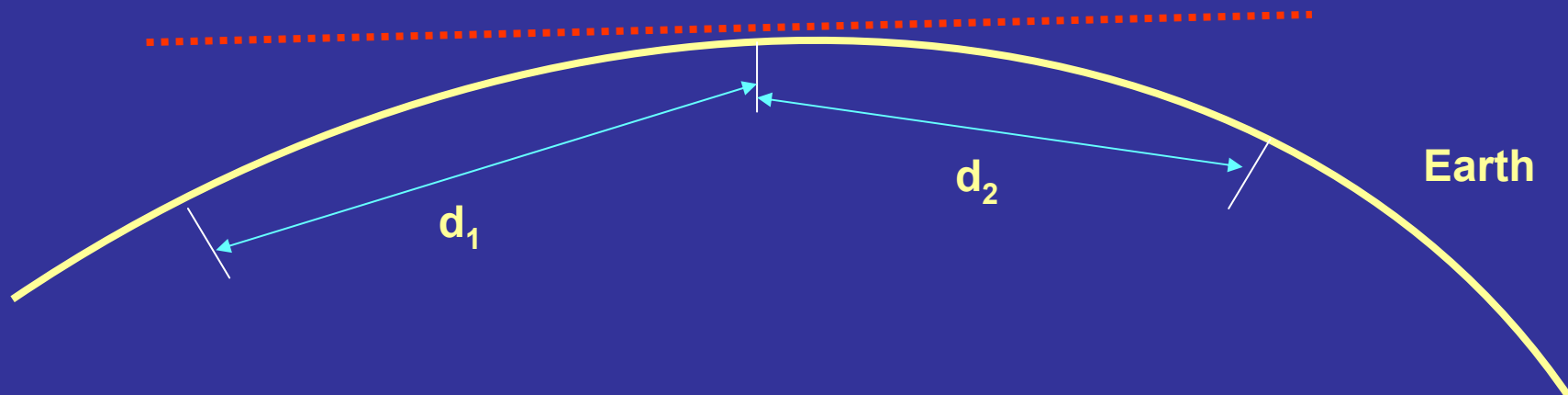
We compute the ratio

$$\frac{\Delta N}{\Delta h}$$

and then we estimate the K factor.

The earth bulge is given by the following formula:

$$d_m = \frac{0.078 \times d_{1(Km)} \times d_{2(Km)}}{K}$$



Therefore:

In order to estimate the height of the towers to install the antennae, we have:

- To estimate the 1st Fresnel Zone ($h_{1(m)}$)

- To estimate the earth's bulge (d_m)

And the total height of the tower should be:

$$H_{TOWER} = h_1 + d \quad (\text{in Meters})$$

PROVE OF THE FORMULA THAT GIVES THE “FREE SPACE LOSS (FSL)”

It is known that, the Free Space Loss (FSL), is given by the following expression:

$$A = 10 \times \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4 \times \pi \times r} \right)^2 = 20 \times \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4 \times \pi \times r} \right) = 20 \times \log_{10} \frac{1}{\frac{4 \times \pi \times r}{\lambda}} =$$

$$= 20 \times \log_{10} \frac{1}{4 \times \pi \times \left(\frac{r}{\lambda} \right)} = 20 \times \log_{10} \left[\frac{1}{4 \times \pi} \times \frac{1}{\left(\frac{r}{\lambda} \right)} \right]$$

or:

$$A = 20 \times \log_{10} \frac{1}{4 \times \pi} + 20 \times \log_{10} \frac{1}{\left(\frac{r}{\lambda}\right)} = -20 \times \log_{10} (4 \times \pi) - 20 \times \log_{10} \left(\frac{r}{\lambda}\right) =$$
$$-21.98 - 20 \times \log_{10} \left(\frac{r_{(Km)}}{\lambda_{(Km)}}\right) = -21.98 - 20 \times \log_{10} r_{(Km)} + 20 \times \log_{10} \lambda_{(Km)}$$

It is known that the Wavelength, of the electromagnetic wave, is given by the following formula:

$$\lambda_{(m)} = \frac{c_{(m)}}{f_{(Hz)}} = \frac{3 \times 10^8 \frac{m}{\text{sec}}}{f_{(Hz)}} = \frac{3 \times 10^8 \times 10^{-3} \frac{Km}{\text{sec}}}{f_{(KHz)} \times 10^3} = \frac{3 \times 10^8 \times 10^{-3} \times 10^{-3}}{f_{(KHz)}} = \frac{3 \times 10^8 \times 10^{-6}}{f_{(KHz)}} =$$
$$= \frac{3 \times 10^2}{f_{(KHz)}}$$

Where:

C = is the speed of light

f = is the frequency of the electromagnetic wave

By substituting, the following is get:

$$\begin{aligned} A &= -21.98 - 20 \times \log_{10} r_{(Km)} + 20 \times \log_{10} \frac{3 \times 10^2}{f_{(KHz)}} = \\ &= -21.98 - 20 \times \log_{10} r_{(Km)} + 20 \times \log_{10} (300) - 20 \times \log_{10} f_{(KHz)} = \\ &= -21.98 - 20 \times \log_{10} r_{(Km)} + 49.54 - 20 \times \log_{10} f_{(KHz)} = \\ &= 27.56 - 20 \times \log_{10} r_{(Km)} - 20 \times \log_{10} f_{(KHz)} \end{aligned}$$

or:

$$\begin{aligned} A &= 27.56 - 20 \times \log_{10} r_{(Km)} - 20 \times \log_{10} (f_{(MHz)} \times 10^3) = \\ &= 27.56 - 20 \times \log_{10} r_{(Km)} - 20 \times \log_{10} 10^3 - 20 \times \log_{10} f_{(MHz)} = \\ &= 27.56 - 20 \times \log_{10} r_{(Km)} - 60 - 20 \times \log_{10} f_{(MHz)} = \\ &= -32.44 - 20 \times \log_{10} r_{(Km)} - 20 \times \log_{10} f_{(MHz)} \end{aligned}$$

or:

$$\begin{aligned} A &= -32.44 - 20 \times \log_{10} r_{(Km)} - 20 \times \log_{10} (f_{(GHz)} \times 10^3) = \\ &= -32.44 - 20 \times \log_{10} r_{(Km)} - 20 \times \log_{10} 10^3 - 20 \times \log_{10} f_{(GHz)} = \\ &= -32.44 - 20 \times \log_{10} r_{(Km)} - 60 - 20 \times \log_{10} f_{(GHz)} = \\ &= -92.44 - 20 \times \log_{10} r_{(Km)} - 20 \times \log_{10} f_{(GHz)} \end{aligned}$$

Finally, the FSL, has the following expression:

$$A = -92.44 - 20 \times \log_{10} r_{(Km)} - 20 \times \log_{10} f_{(GHz)}$$

Where:

A

= is the Free Space Loss (dB)

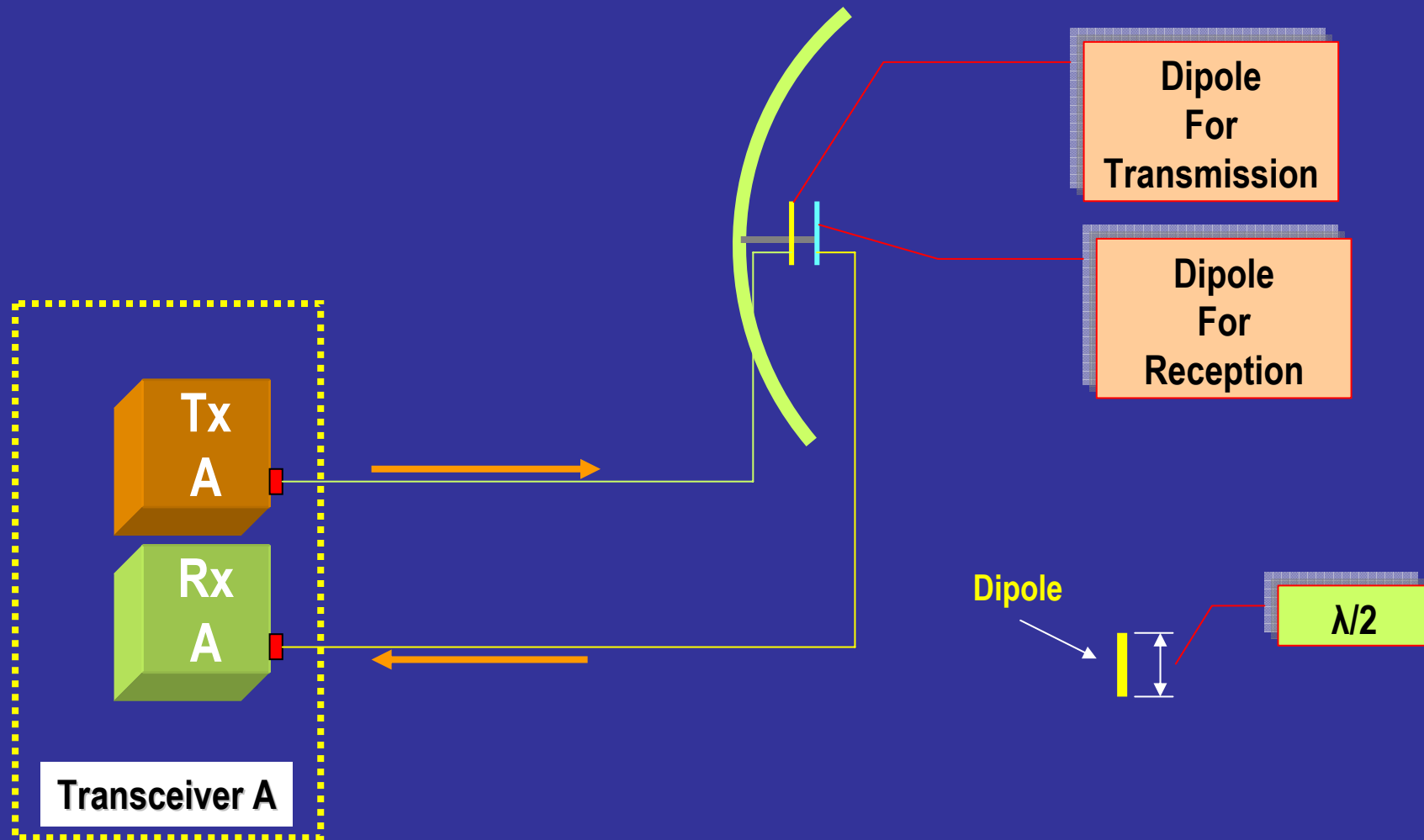
f

= is the frequency of the electromagnetic wave (GHz)

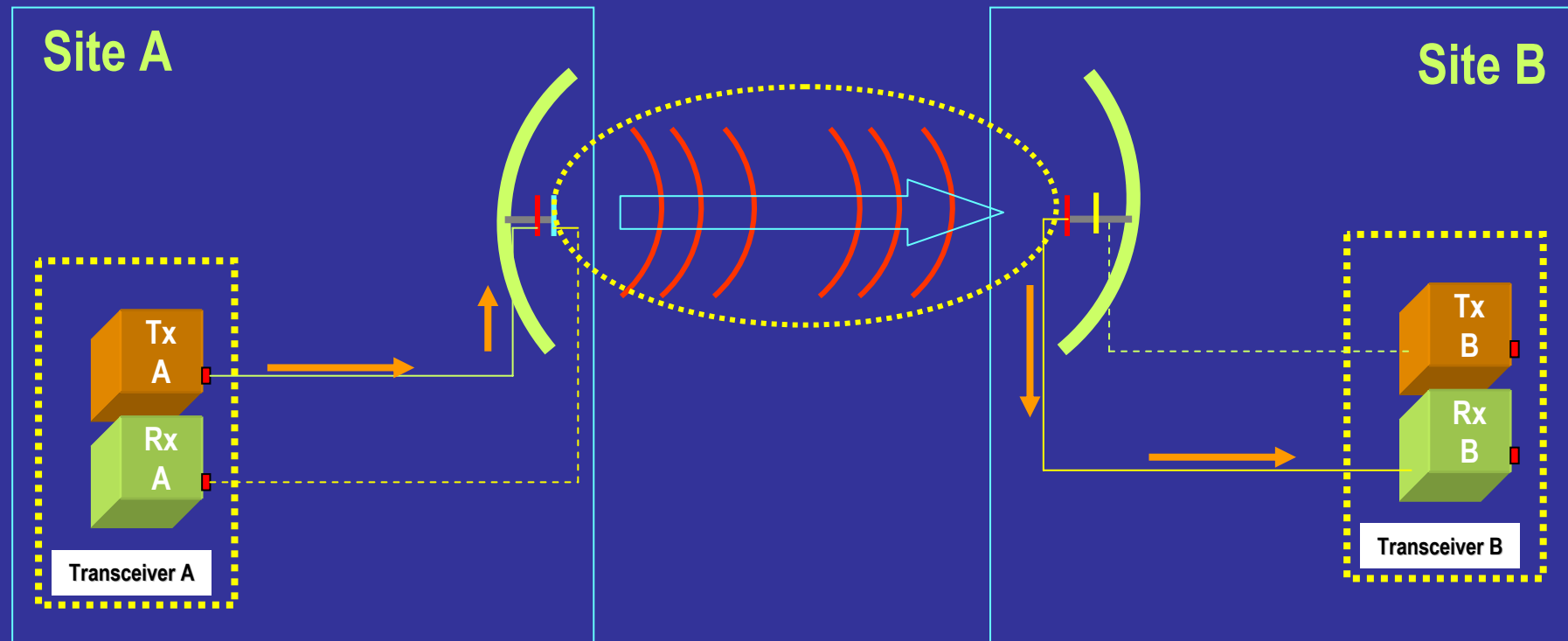
r

= is the distance (Km)

Antenna System



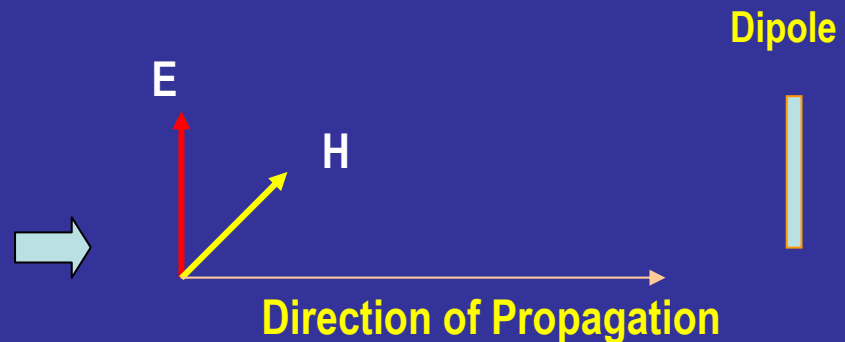
L.O.S System Architecture



Proposed Polarization of the Dipoles

The proposed polarization of the used Dipoles is Vertical, in order to include the less as possible attenuation due to Rain Phenomena

VERTICAL POLARIZATION:

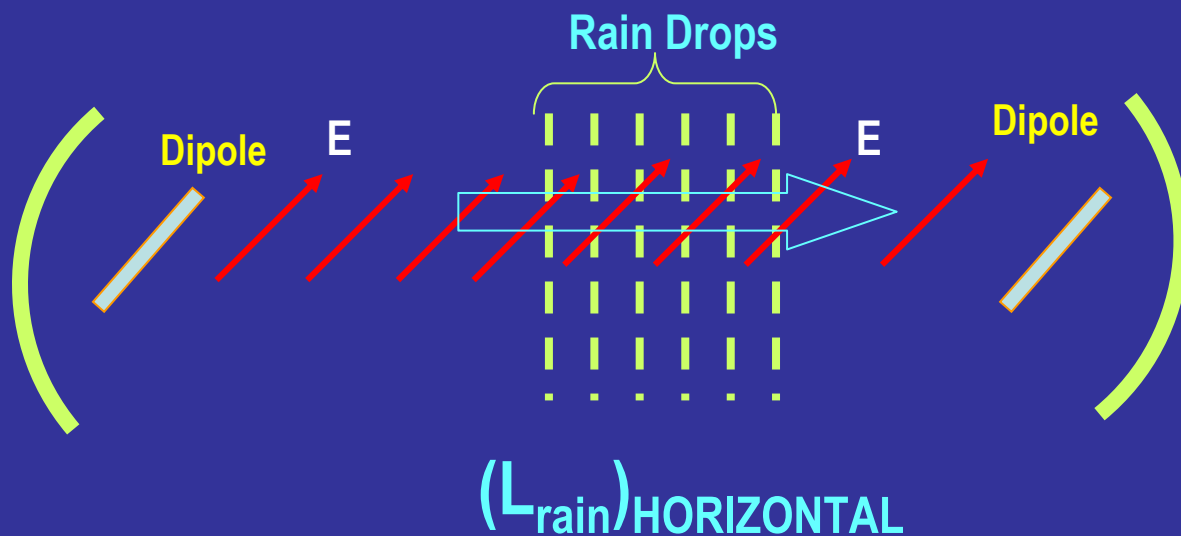
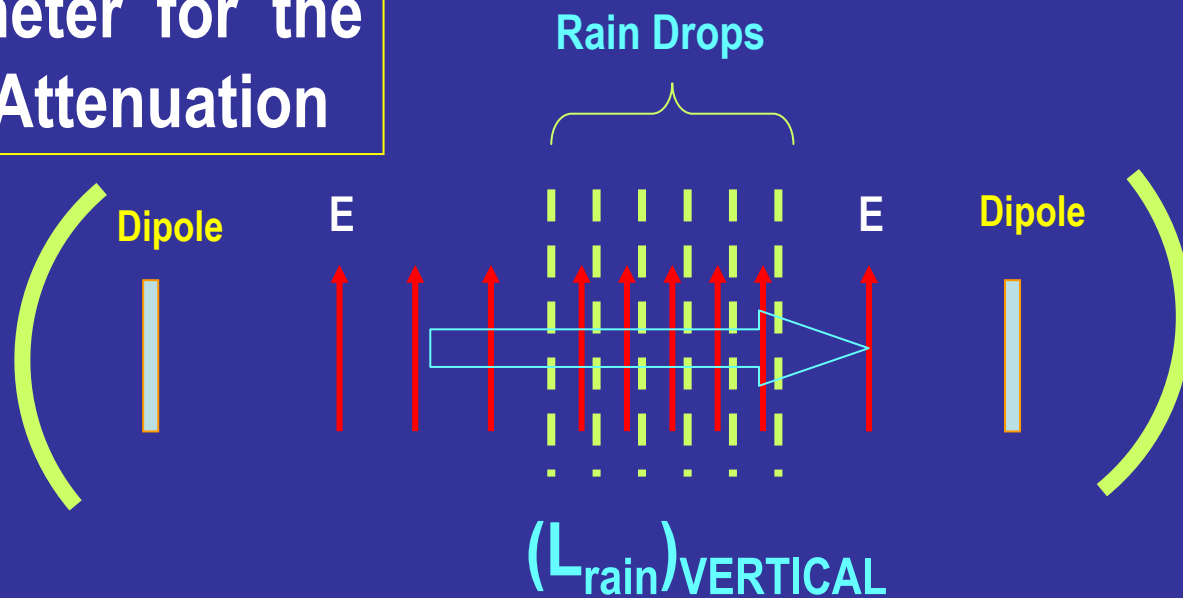


HORIZONTAL POLARIZATION:



E Intensity of the Electric Field of the Electromagnetic wave
H Intensity of the Magnetic Field of the Electromagnetic wave

Parameter for the Rain Attenuation



$$(L_{rain})_{VERTICAL} < (L_{rain})_{HORIZONTAL}$$

Εξασθένηση Βροχής

$$A = 2.3 \times 10^{-3} \times N_0 \times R^{\beta/2}$$

$$\beta \approx 0.2$$

$$N_0 = 5.3022$$

Therefore, the formula to estimate the Rain Attenuation, is:

$$A = 2.3 \times 10^{-3} \times 5.3022 \times R^{0.2/2}$$

Then, for an example:

Consider the data on table 1. In this case, for the ITU Rain Region P, the Rain Rate is 145 mm/h

$$A = 2.3 \times 10^{-3} \times 5.3022 \times 145^{0.2/2}$$
$$= 2.3 \times 10^{-3} \times 5.3022 \times 1.64 = 0.02 \text{ dB/Km}$$

or:

for

$$A = 0.02 \text{ dB/Km}$$

$$R = 145 \text{ mm/h}$$

at 4 GHz

and

for the ITU Rain Region E, the Rain Rate is

$$22 \text{ mm/h}$$

in this case, the Rain Attenuation, is:

$$A = 2.3 \times 10^{-3} \times 5.3022 \times 22^{0.2/2}$$

$$= 2.3 \times 10^{-3} \times 5.3022 \times 1.36 = 0.0165 \text{ dB/Km}$$

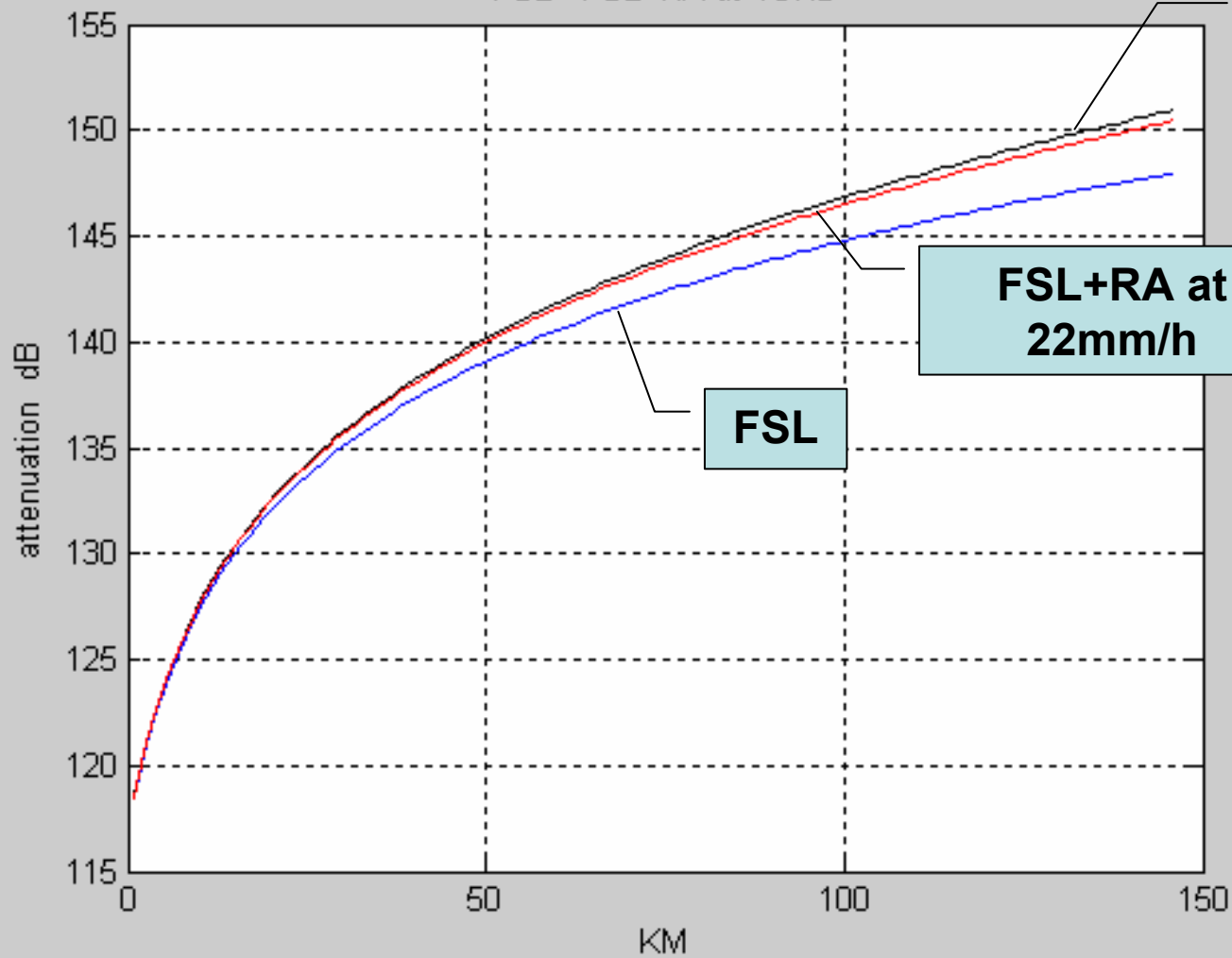
The Rain attenuation at 4 GHz is insignificant.

Table 1, shows the Rain Regions, according to the classification of the International Telecommunication Union (ITU).

Table 1: ITU Rain Classification

ITU Rain Region	0.01 % Rain Rate - mm/hr
E	22
K	42
M	63
N	95
P	145

FSL---FSL+RA at 4GHz

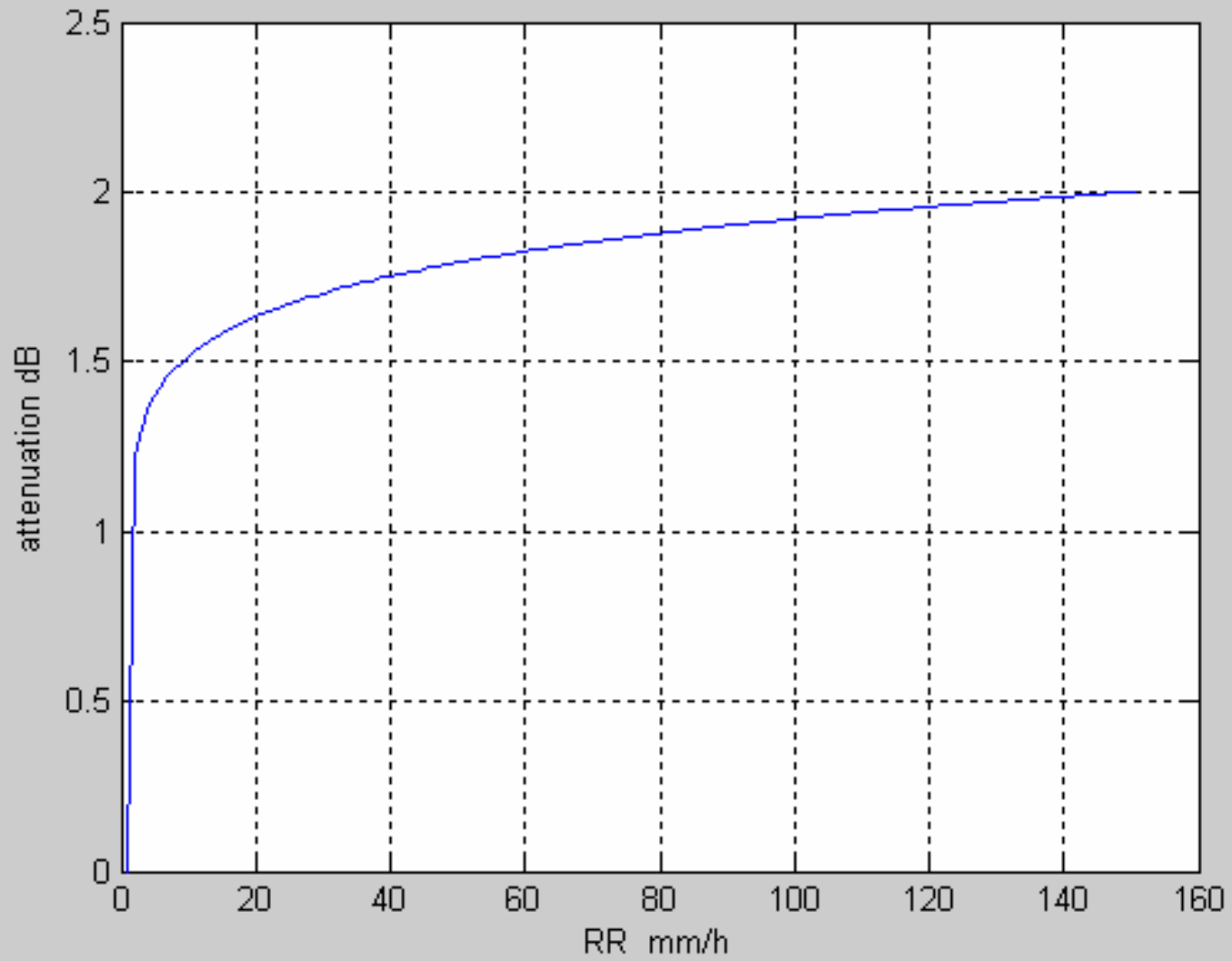


**FSL+RA at
145 mm/h**

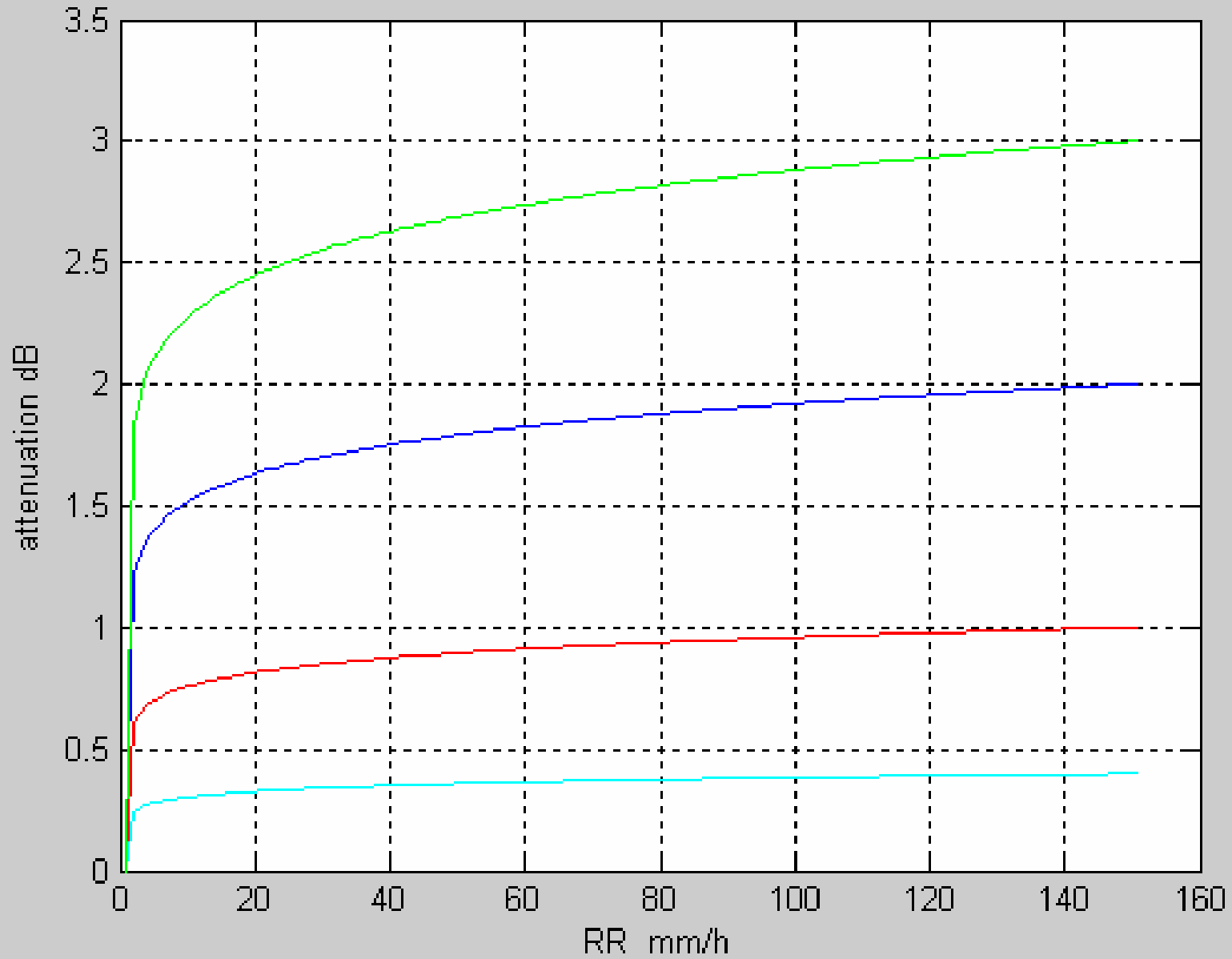
**FSL+RA at
22mm/h**

FSL

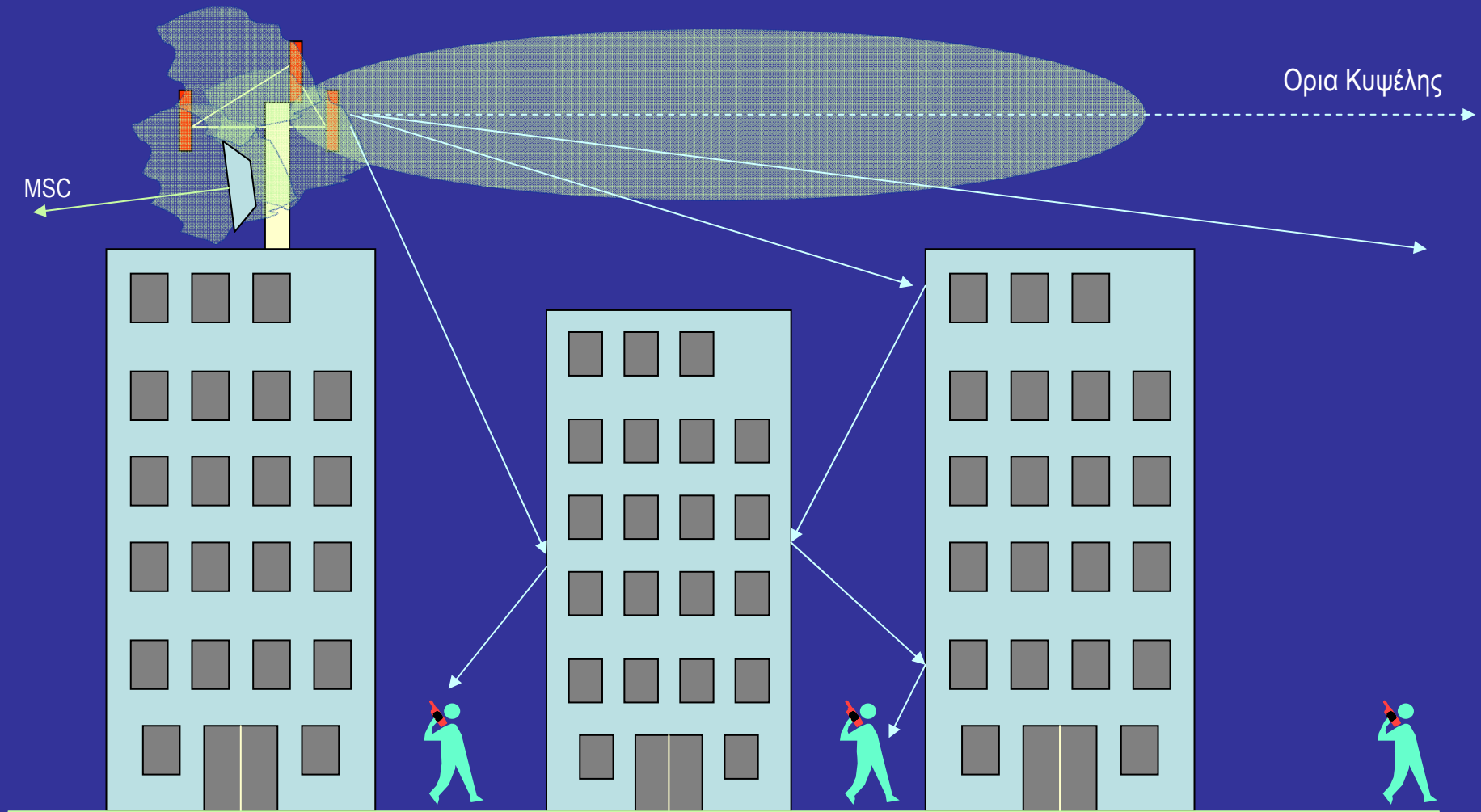
R.A. at 4GHz for 100 Km



R.A. at 4GHz for 20 50 100 150 Km



Κριτήριο Θέσης Εγκατάστασης Κεραίας



LOS System Performance

The received signal level is given by the following formula

$$RSL_{(dBw)} = ERP_{dBw} - FSL_{dB} - (L_{RAIN})_{dB} + (G_{Rx}) - (L_{CABLE})_{dB}$$

Where:

RSL = Received Signal Level

ERP = Effective Radiated Power

FSL = Free Space Loss

L_{RAIN} = Rain Attenuation

G_{Rx} = Gain of the receiving antenna

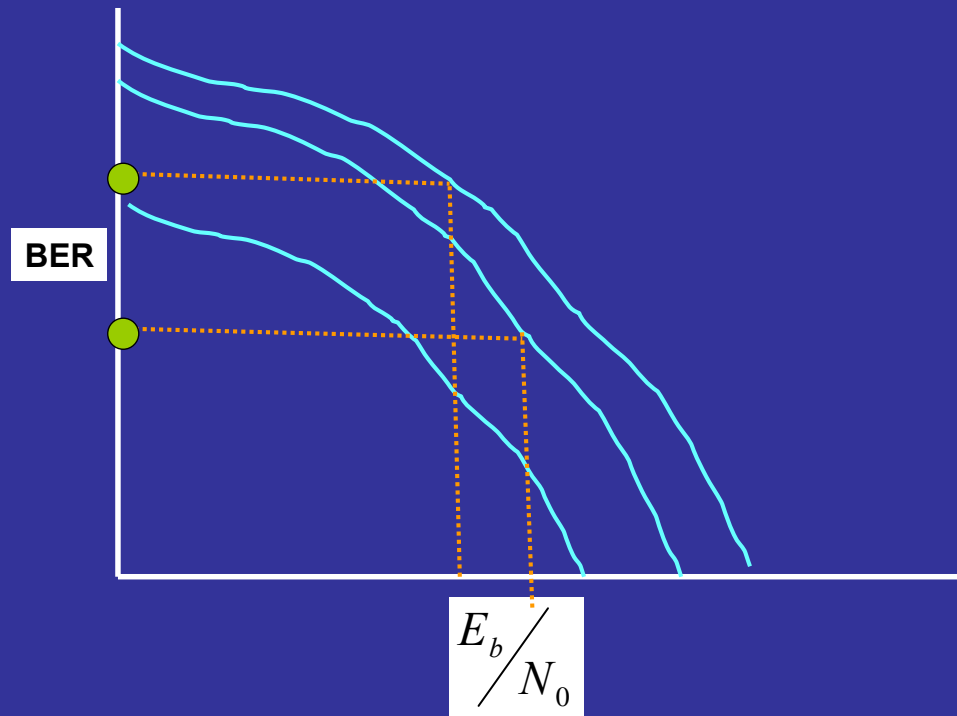
L_{CABLE} = Coaxial Cable Losses

$$\frac{C}{N_0} = RSL - (-204_{dBw}) - NF_{dB}$$

$$\frac{C}{N_0} = RSL - (228.6_{dBw}) - 10 \times \log_{10} T_{sys}$$

$$\frac{E_b}{N_0} = RSL_{dBw} - (-204_{dBw}) - NF_{dB} - 10 \times \log_{10}(BR)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = RSL_{dBw} - (-228.6_{dBw}) - NF_{dB} - 10 \times \log_{10}(T_{sys}) - 10 \times \log_{10}(BR)$$



LOS System Availability

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Where:

A

= Availability (%)

MTBF

= Mean Time Between Failures [MTBF], expressed in hours (h)

MTTR

= Mean Time To Repair [MTTR], expressed in hours (h)

$$\left[A_{system} \right]_{PHASE_1} = \left[(A)_{(Tx)_A} \right] \times \left[(A)_{(ANT)_A} \right] \times \left[(A)_{(ANT)_B} \right] \times \left[(A)_{(Rx)_B} \right]$$

$$(A)_{(Tx)_A} = \frac{(MTBF)_{(Tx)_A}}{(MTBF)_{(Tx)_A} + (MTTR)_{(Tx)_A}}$$

$$(A)_{(ANT)} = \frac{(MTBF)_{(ANT)}}{(MTBF)_{(ANT)} + (MTTR)_{(ANT)}}$$

$$(A)_{(Rx)_B} = \frac{(MTBF)_{(Rx)_B}}{(MTBF)_{(Rx)_B} + (MTTR)_{(Rx)_B}}$$

Note:

The values of the parameters

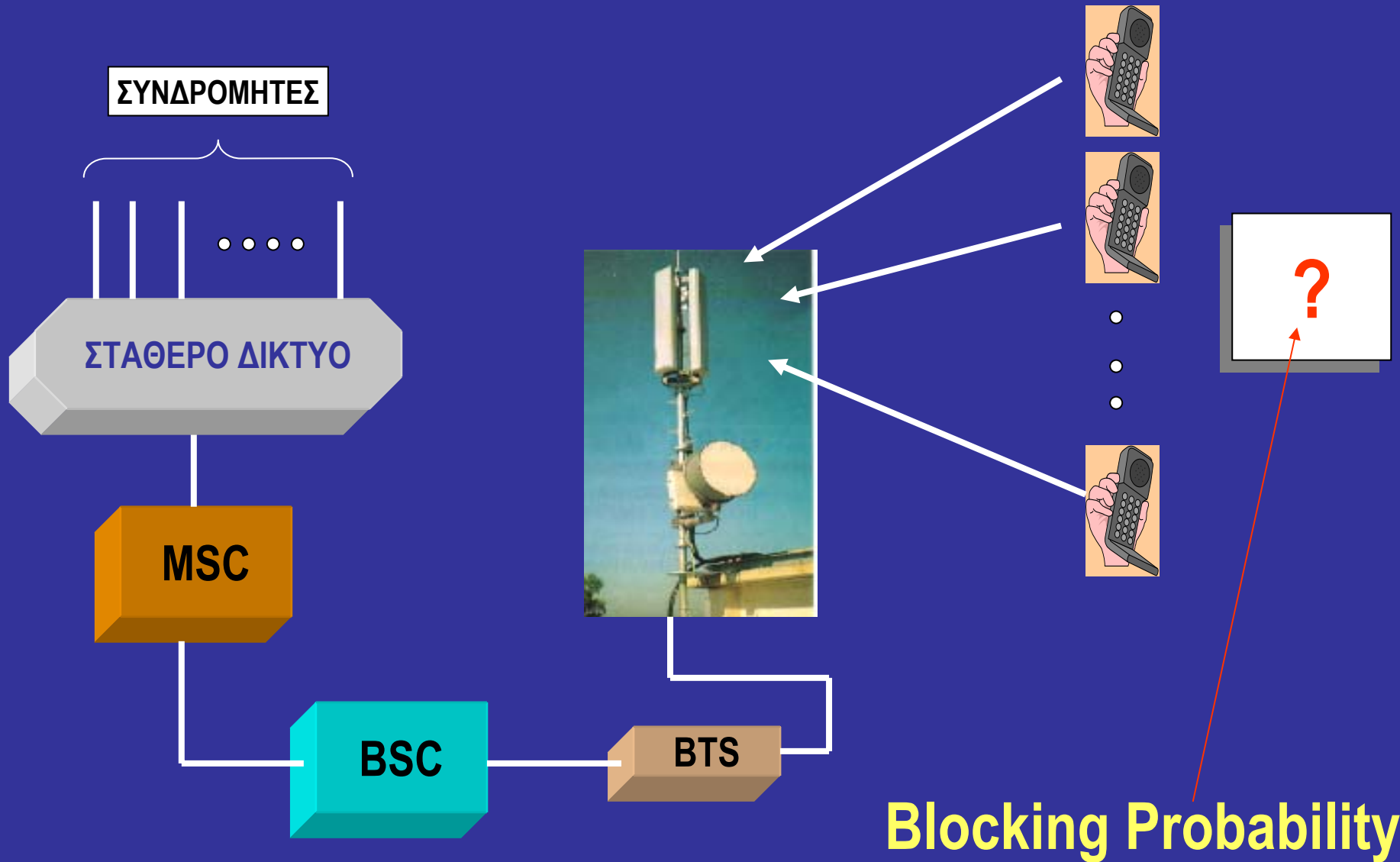
$(MTBF)$

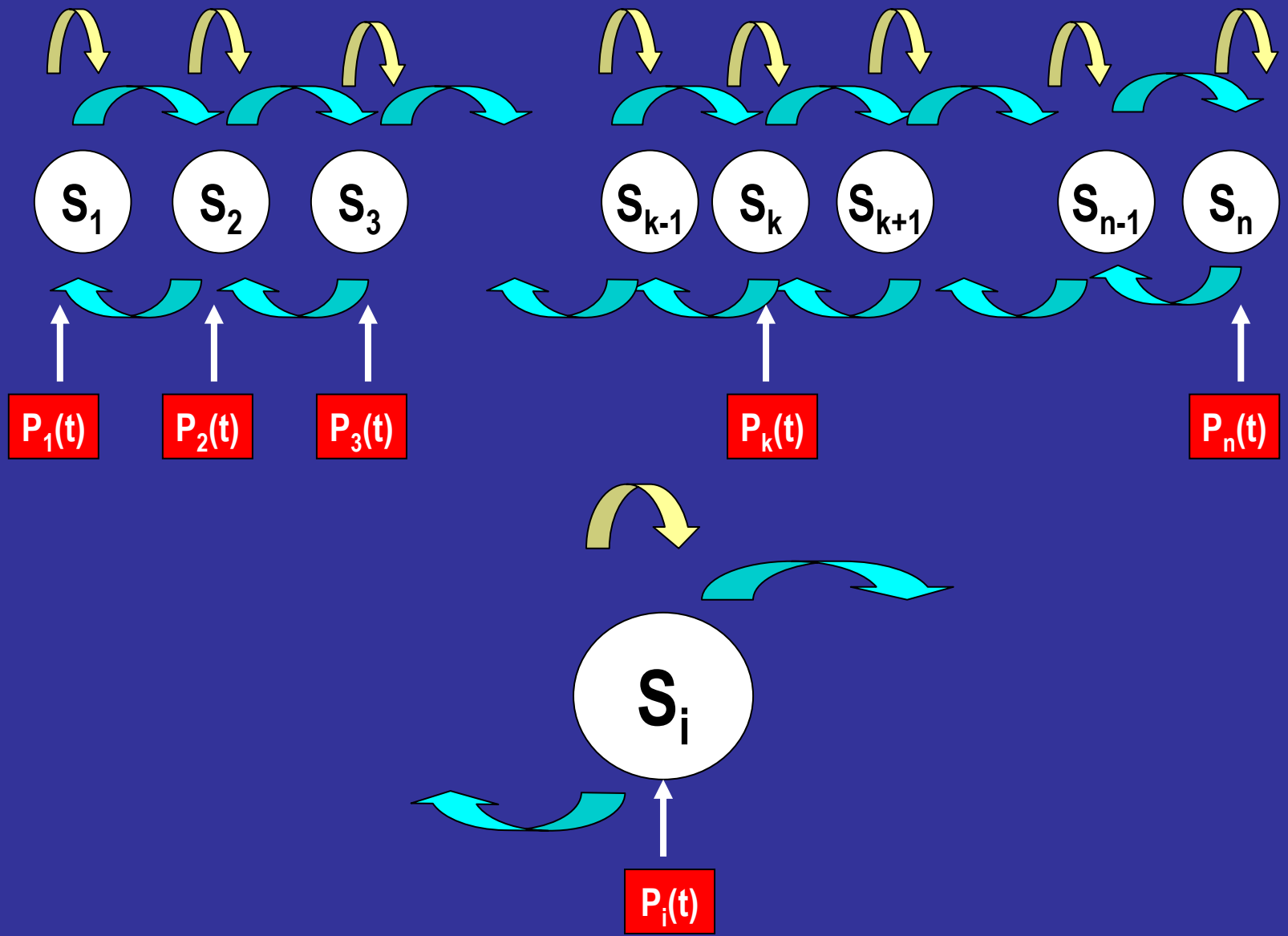
and

$(MTTR)$

are given by the Manufacturer.

Εξυπηρέτηση Συδρομητικού Φορτίου





ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (S_0): Όλοι οι καταχωρημένοι ραδιο-δίαυλοι είναι διαθέσιμοι

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (S_1): Ο ραδιοδίαυλος 1 είναι κατηλημένος και όλοι οι υπόλοιποι είναι ελεύθεροι

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (S_2): Οι ραδιο-δίαυλοι 1 και 2 είναι κατηλημένοι και όλοι οι υπόλοιποι ραδιο-δίαυλοι είναι ελεύθεροι

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (S_3): Οι ραδιο-δίαυλοι 1, 2 και 3 είναι κατηλημένοι και όλοι οι υπόλοιποι ραδιο-δίαυλοι είναι ελεύθεροι

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (S_k): Οι ραδιο-δίαυλοι 1, 2, 3, ... , k είναι κατηλημένοι. Στην κατάσταση αυτή όλοι οι ραδιο-δίαυλοι είναι κατηλημένοι

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (S_{k+1}): Οι ραδιο-δίαυλοι 1, 2, 3, ... , k είναι κατηλημένοι και η επόμενη εισερχόμενη κλήση καταχωρείται σε κατάσταση αναμονής. Επομένως, έχουμε μία μπλοκαρισμένη κλήση

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ (S_n): Οι ραδιο-δίαυλοι 1, 2, 3, ... , k είναι κατηλημένοι και η επόμενη ($n^{\text{οστή}}$) εισερχόμενη κλήση καταχωρείται σε κατάσταση αναμονής. Επομένως, έχουμε “n” μπλοκαρισμένες κλήσεις

	0	1	2	3	4	5	.....	n-1	n
0	$1-\lambda dt$	λdt	0	0	0	0	.....	0	0
1	αdt	$1-(\lambda+\alpha)dt$	λdt	0	0	0	.....	0	0
2	0	$2\alpha dt$	$1-(\lambda+2\alpha)dt$	λdt	0	0	.....	0	0
3	0	0	$3\alpha dt$	$1-(\lambda+3\alpha)dt$	λdt	0	.....	0	0
4	0	0	0	$4\alpha dt$	$1-(\lambda+4\alpha)dt$	λdt	.....	0	0
5	0	0	0	0	$5\alpha dt$	$1-(\lambda+5\alpha)dt$	.....	0	0
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0	0
n-1	0	0	0	0	0	0	.....	$1-[\lambda+(n-1)\alpha]dt$	λdt
n	0	0	0	0	0	0	.....	$n\alpha dt$	$1-n\alpha dt$

$P_0(t)$: είναι η πιθανότητα όπου το σύστημα την χρονική στιγμή t ευρίσκεται στην κατάσταση S_0 .

$P_1(t)$: είναι η πιθανότητα όπου το σύστημα την χρονική στιγμή t ευρίσκεται στην κατάσταση S_1 .

$P_2(t)$: είναι η πιθανότητα όπου το σύστημα την χρονική στιγμή t ευρίσκεται στην κατάσταση S_2 .

.....
.....

$P_n(t)$: είναι η πιθανότητα όπου το σύστημα την χρονική στιγμή t ευρίσκεται στην κατάσταση S_n .

$$\left(P_0(t)P_1(t)\dots P_n(t) \right) \cdot (P) = \left(P_0(t+dt)P_1(t+dt)\dots P_n(t+dt) \right)$$

$$P_0(t)[1-\lambda dt] + (\alpha dt)P_1(t) = P_0(t+dt)$$

$$P_0(t)(\lambda dt) + [1-(\lambda+\alpha)dt]P_1(t) + (2\alpha dt)P_2(t) = P_1(t+dt)$$

$$P_1(t)(\lambda dt) + [1-(\lambda+2\alpha)dt]P_2(t) + (3\alpha dt)P_3(t) = P_2(t+dt)$$

.....

$$P_{n-2}(t)(\lambda dt) + [1-(\lambda+(n-1)\alpha)dt]P_{n-1}(t) + (n\alpha dt)P_n(t) = P_{n-1}(t+dt)$$

$$P_{n-1}(t)(\lambda dt) + [1-n\alpha dt]P_n(t) = P_n(t+dt)$$

$$P_0(t+dt) = P_0(t) - (\lambda dt)P_0(t) + (\alpha dt)P_1(t)$$

$$P_1(t+dt) = P_0(t)(\lambda dt) + P_1(t) - [(\lambda + \alpha)dt]P_1(t) + (2\alpha dt)P_2(t)$$

$$P_2(t+dt) = P_1(t)(\lambda dt) + P_2(t) - [(\lambda + 2\alpha)dt]P_2(t) + (3\alpha dt)P_3(t)$$

.....

$$P_{n-1}(t+dt) = P_{n-2}(t)(\lambda dt) + P_{n-1}(t) - [(\lambda + (n-1)\alpha)dt]P_{n-1}(t) + (n\alpha dt)P_n(t)$$

$$P_n(t+dt) = P_{n-1}(t)(\lambda dt) + P_n(t) - (n\alpha dt)P_n(t)$$

$$[P_0(t+dt) - P_0(t)]/dt = -\lambda P_0(t) + \alpha P_1(t)$$

$$[P_1(t+dt) - P_1(t)]/dt = \lambda P_0(t) - (\lambda + \alpha)P_1(t) + 2\alpha P_2(t)$$

$$[P_2(t+dt) - P_2(t)]/dt = \lambda P_1(t) - (\lambda + 2\alpha)P_2(t) + 3\alpha P_3(t)$$

.....

$$[P_{n-1}(t+dt) - P_{n-1}(t)]/dt = \lambda P_{n-2}(t) - (\lambda + (n-1)\alpha)P_{n-1}(t) + n\alpha P_n(t)$$

$$[P_n(t+dt) - P_n(t)]/dt = \lambda P_{n-1}(t) - n\alpha P_n(t)$$

$$P_0'(t) = -\lambda P_0(t) + \alpha P_1(t)$$

$$P_1'(t) = \lambda P_0(t) - (\lambda + \alpha) P_1(t) + 2\alpha P_2(t)$$

$$P_2'(t) = \lambda P_1(t) - (\lambda + 2\alpha) P_2(t) + 3\alpha P_3(t)$$

.....

$$P_{n-1}'(t) = \lambda P_{n-2}(t) - (\lambda + (n-1)\alpha) P_{n-1}(t) + n\alpha P_n(t)$$

$$P_n'(t) = \lambda P_{n-1}(t) - n\alpha P_n(t)$$

$$\sum_{n=0}^n P_n'(t) = 0$$

ñ

$$P_0'(t) + P_1'(t) + P_2'(t) + \dots + P_n'(t) = 0$$

$$P_0'(t) = P_1'(t) = P_2'(t) = \dots = P_n'(t) = 0$$

$$0 = -\lambda P_0(t) + \alpha P_1(t)$$

$$0 = \lambda P_0(t) - (\lambda + \alpha) P_1(t) + 2\alpha P_2(t)$$

$$0 = \lambda P_1(t) - (\lambda + 2\alpha) P_2(t) + 3\alpha P_3(t)$$

.....

$$0 = \lambda P_{n-2}(t) - (\lambda + (n-1)\alpha) P_{n-1}(t) + n\alpha P_n(t)$$

$$0 = \lambda P_{n-1}(t) - n\alpha P_n(t)$$

$$P_1(t) = [\lambda/\alpha] P_0(t)$$

$$\begin{aligned}
0 &= \lambda P_0(t) - (\lambda + \alpha)(\lambda/\alpha)P_0(t) + 2\alpha P_2(t) && \acute{\eta} \\
0 &= \lambda P_0(t) - (\lambda^2/\alpha)P_0(t) - \lambda P_0(t) + 2\alpha P_2(t) && \acute{\eta} \\
0 &= -(\lambda^2/\alpha)P_0(t) + 2\alpha P_2(t) && \acute{\eta} \\
-(\lambda^2/\alpha)P_0(t) &= 2\alpha P_2(t) && \acute{\eta}
\end{aligned}$$

$$P_2(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right) P_1(t)$$

Απο την τρίτη εξίσωση του συστήματος (8.9), λαμβάνεται η παρακάτω σχέση:

$$0 = \lambda P_1(t) - (\lambda + 2\alpha)P_2(t) + 3\alpha P_3(t) \quad (8.12)$$

Αντικαθιστώντας την (8.11) στην σχέση (8.12), λαμβάνομεν:

$$0 = \lambda P_1(t) - (\lambda + 2\alpha)(1/2)(\lambda/\alpha)P_1(t) + 3\alpha P_3(t) \quad (8.13)$$

ή μετά απο πράξεις, έχουμε την παρακάτω σχέση:

$$P_3(t) = \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right) P_2(t)$$

$$P_1(t) = \frac{1}{1} \binom{\lambda}{\alpha} P_0(t)$$

$$P_2(t) = \frac{1}{2} \binom{\lambda}{\alpha} P_1(t)$$

$$P_3(t) = \frac{1}{3} \binom{\lambda}{\alpha} P_2(t)$$

.....

$$P_4(t) = \frac{1}{4} \binom{\lambda}{\alpha} P_3(t)$$

$$P_n(t) = \frac{1}{n} \binom{\lambda}{\alpha} P_{n-1}(t)$$

$$P_1(t).P_2(t)....P_{n-1}(t).P_n(t) = \frac{1}{1.2.3....n} \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right)^n . P_0(t). P_1(t).P_2(t)....P_{n-1}(t)$$

ñ

$$P_n(t) = \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right)^n . P_0(t)$$

$$P_0(t) = \frac{1}{0!} \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right)^0 P_0(t)$$

$$P_1(t) = \frac{1}{1!} \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right)^1 P_0(t)$$

$$P_2(t) = \frac{1}{2!} \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right)^2 P_0(t)$$

$$P_3(t) = \frac{1}{3!} \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right)^3 P_0(t)$$

$$P_4(t) = \frac{1}{4!} \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right)^4 P_0(t)$$

.....

$$P_n(t) = \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right)^n P_0(t)$$

$$\sum_{n=0}^n P_n(t) = 1$$

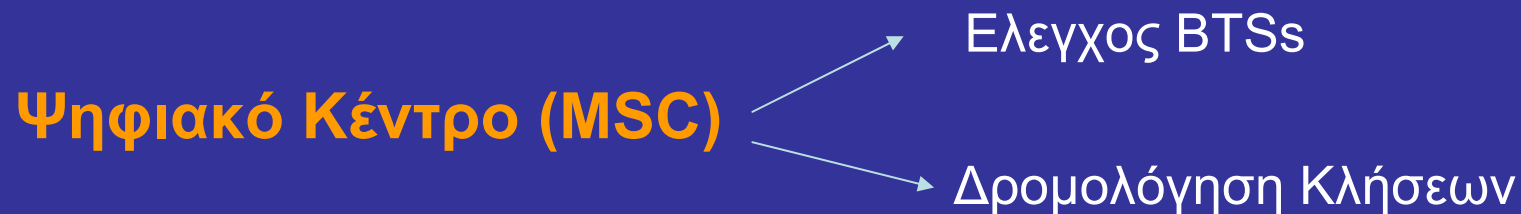
$$1 = \left[\sum_{n=0}^n \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right)^n \right] P_0(t)$$

$$P_0(t) = \frac{1}{\sum_{n=0}^n \left(\frac{1}{n!} \right) \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right)^n}$$

$$P_n(t) = \frac{\frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right)^n}{\sum_{n=0}^n \left(\frac{1}{n!} \right) \left(\frac{\lambda}{\alpha} \right)^n}$$

$$P_k(t) = \frac{\frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\alpha}\right)^k}{\sum_{n=0}^k \left(\frac{1}{n!}\right) \left(\frac{\lambda}{\alpha}\right)^n}$$

Επίπεδο Μεταγωγής



Διασύνδεση Ψηφιακών Κέντρων



Τοπολογία Πλέγματος (*Mesh Topology*)

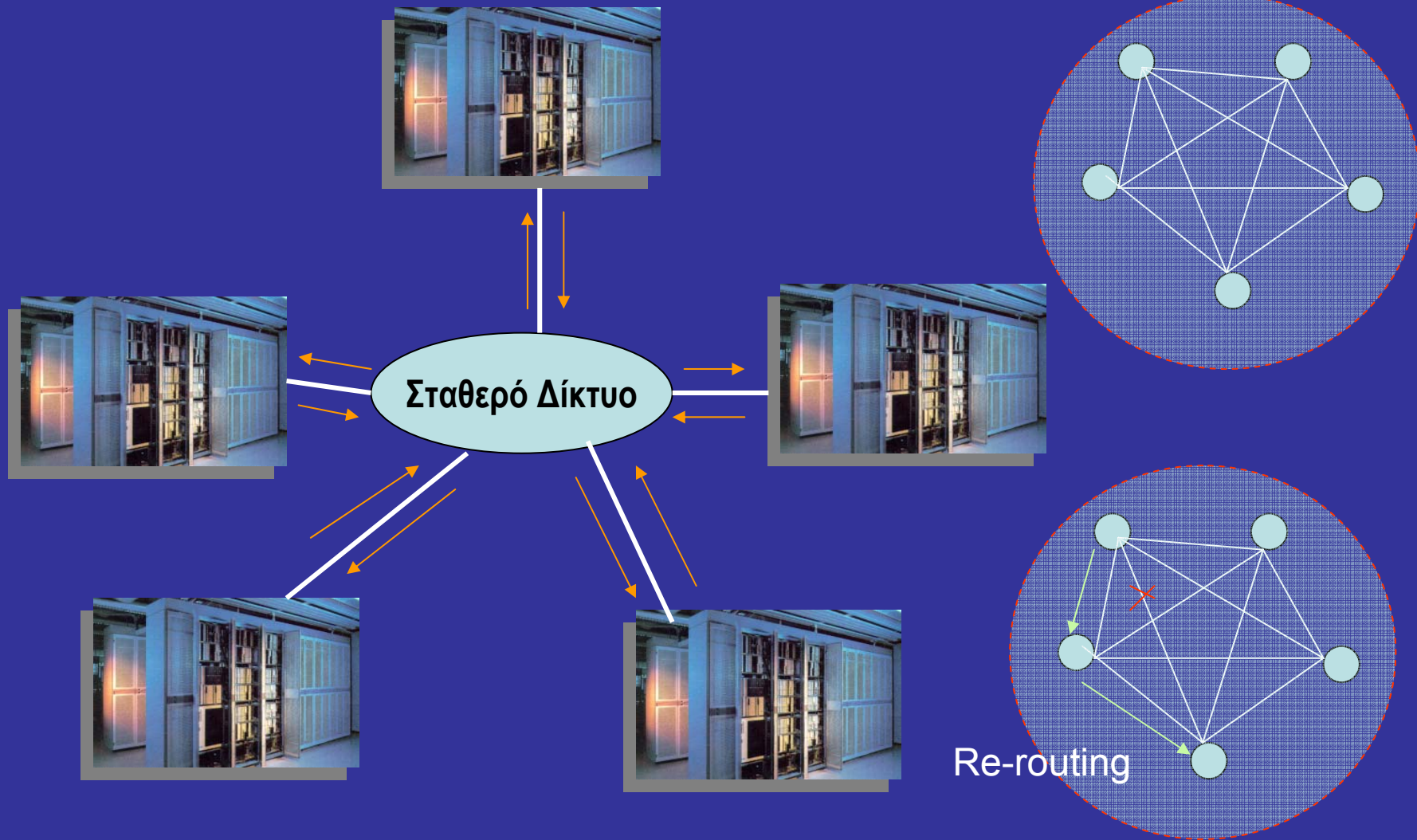


Πλεονέκτημα: Επαναδρομολόγηση Κλήσεων
Σε πιθανές περιπτώσεις αστοχιών σε

- ενσύρματες ή και ασύρματες ζεύξεις
- κυκλώματα των MSCs



Επίπεδο Μεταγωγής



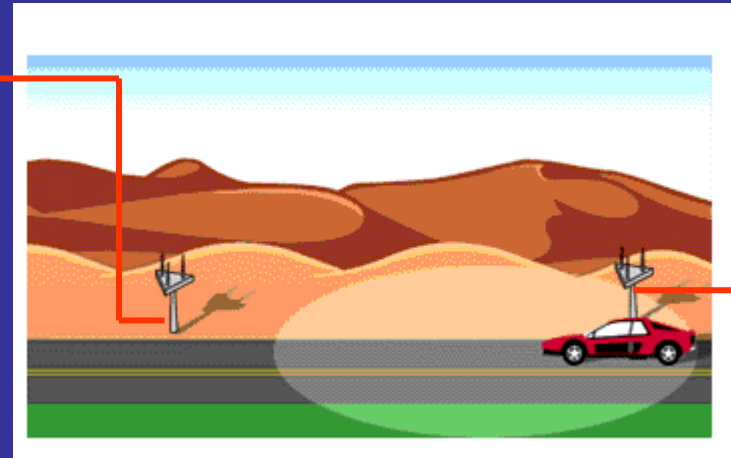
Λειτουργική Διαδικασία

Επίπεδο Μεταγωγής
+
Επίπεδο Ραδιοδικτύου

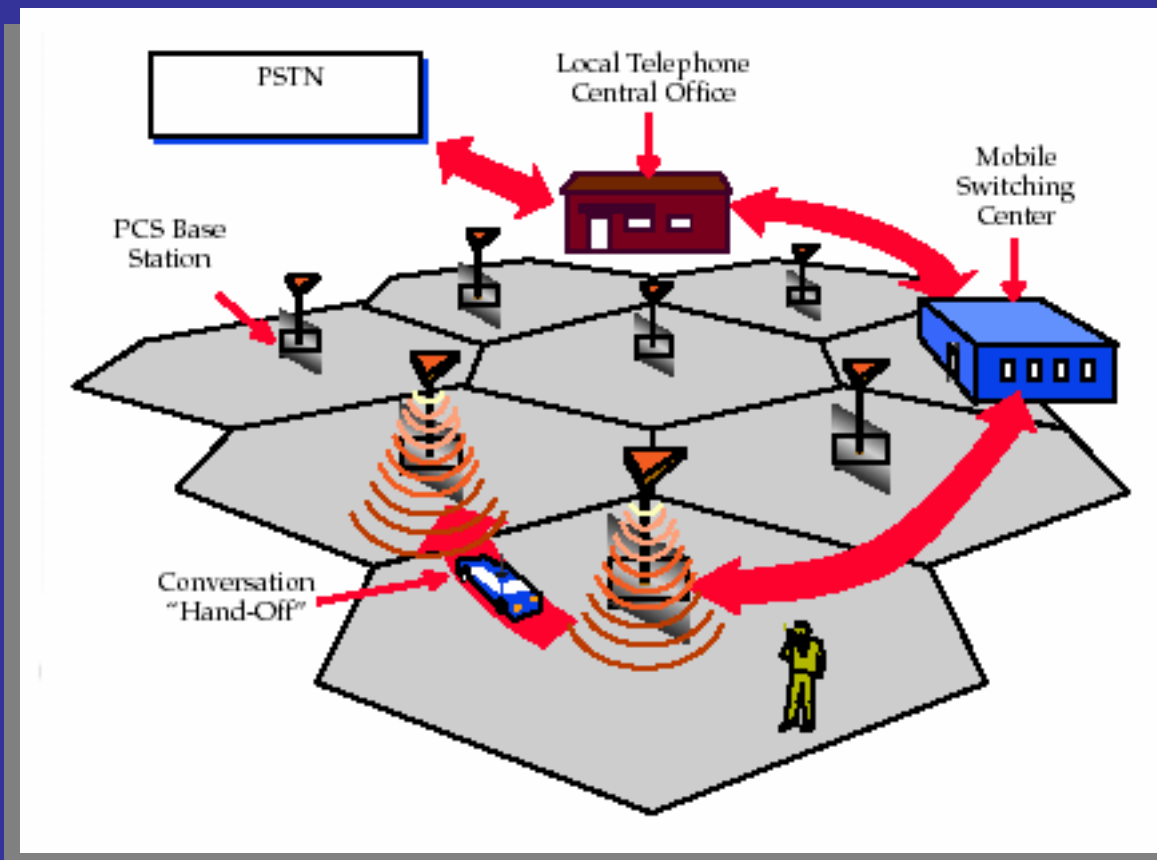
Μεταπομπή
(Handover)



MSC

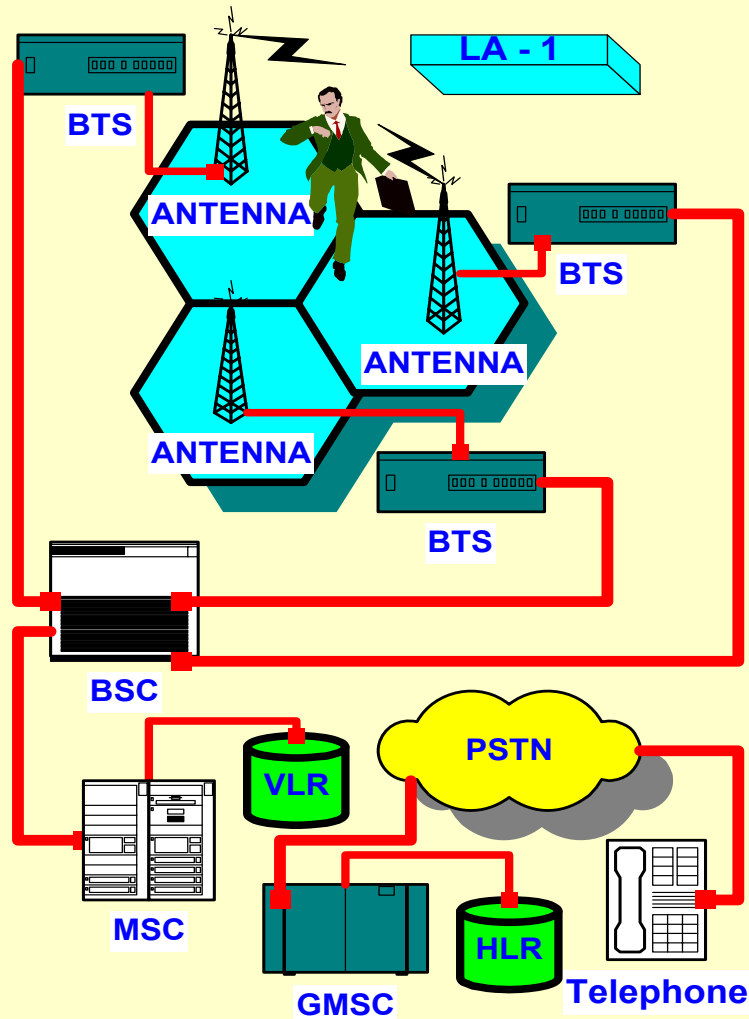


Μεταπομπή (handover)



Η Μεταπομπή (Hand-off)

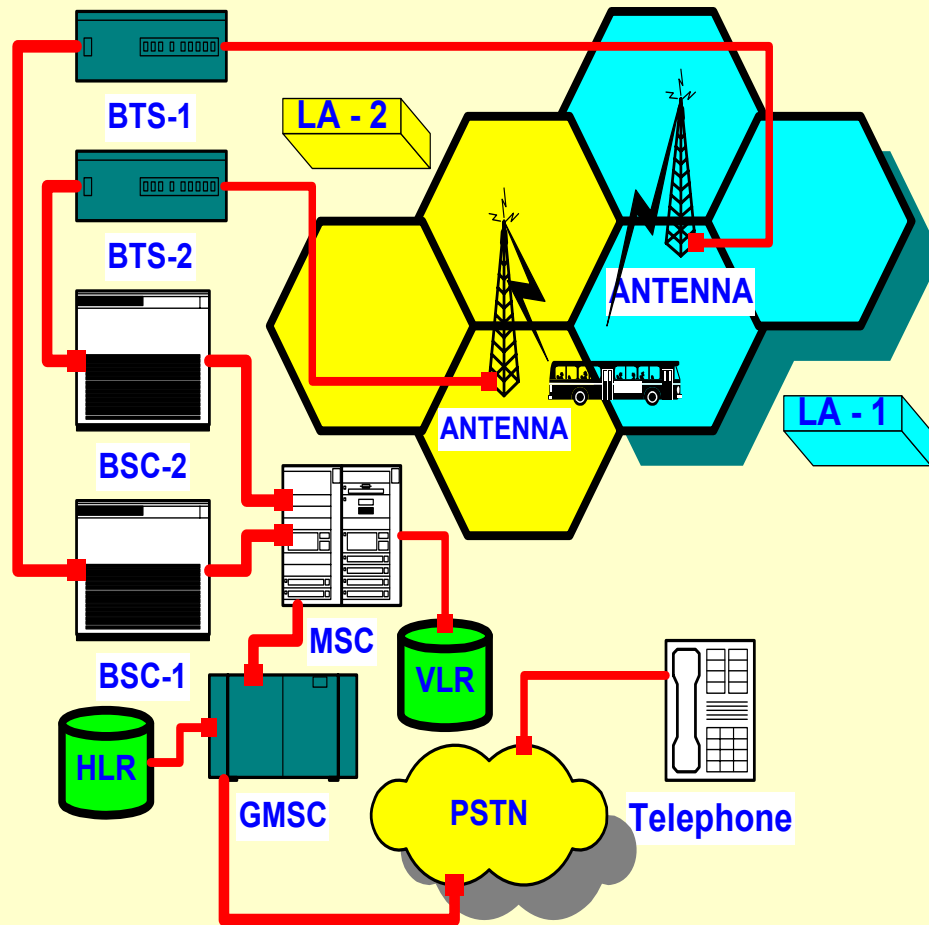
Μεταπομπή μεταξύ διαφορετικών BTSs



- **LA-1:** Location Area - 1
- **BTS:** Base Transmitter Station
- **BSC:** Base Station Controller
- **MSC:** Mobile Switching Center
- **GMSC:** Gateway Mobile Switching Center
- **VLR:** Visitor Location register
- **HLR:** Home Location Register

Η Μεταπομπή

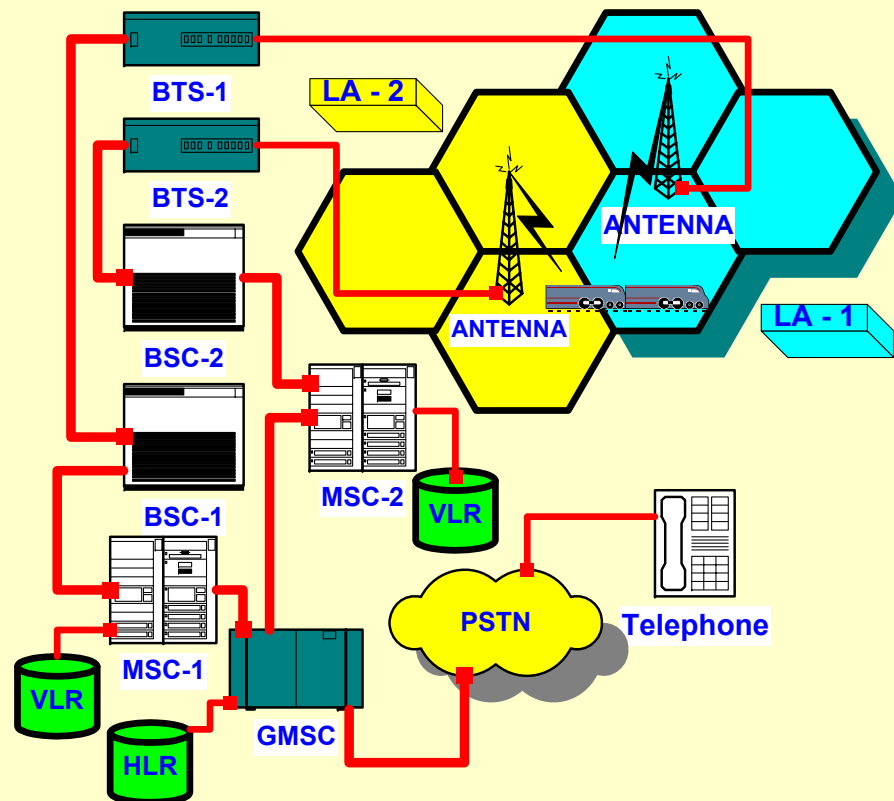
Μεταπομπή μεταξύ διαφορετικών BSCs



- **LA: Location Area**
- **BTS: Base Transmitter Station**
- **BSC: Base Station Controller**
- **MSC: Mobile Switching Center**
- **PSTN: Public Switching Telephone Network**
- **HLR: Home Location Register**
- **VLR: Visitor Location**

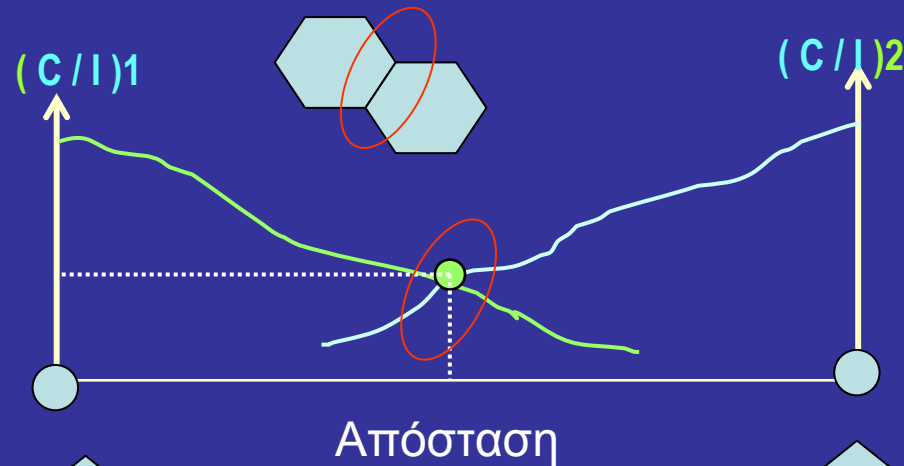
Η Μεταπομπή

Μεταπομπή μεταξύ διαφορετικών MSCs



- **MSC: Mobile Switching Center**
- **GMSC: Gateway Mobile Switching Center**
- **BTS: Base Transmitter Station**
- **BSC: Base Station Controller**
- **PSTN: Public Switching Telephone Network**
- **LA: Location Area**
- **VLR: Visitor Location Register**
- **HLR: Home Location Register**

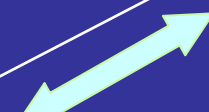
Κριτήριο Μεταπομπής (handover)



$$(C/I)2 > (C/I)1$$

1

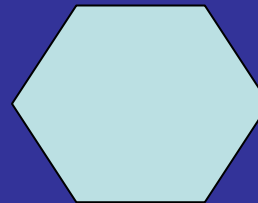
2



Στρατηγική Μεταπομπής

Intracell Handover

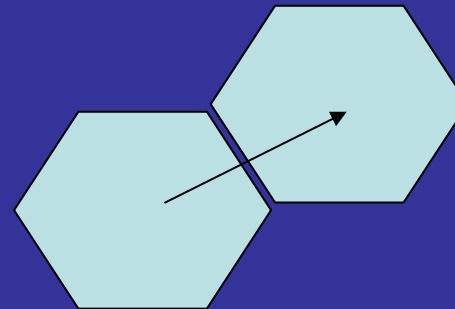
- Έλεγχος της στάθμης του C/I του διαύλου επικοινωνίας
- Εάν η στάθμη του C/I < Τιμή Κατωφλίου, τότε ενεργοποιείται ο ταυτόχρονος έλεγχος των σταθμών των C/I των ελευθέρων διαύλων (pilot signals) των γειτονικών κυψελών
- Επιλογή διαύλου και εναπόθεση της επικοινωνίας με βάση την μεγαλύτερη συγκριτική τιμή του C/I στο pilot signal
- Εκτίμηση της Blocking Probability



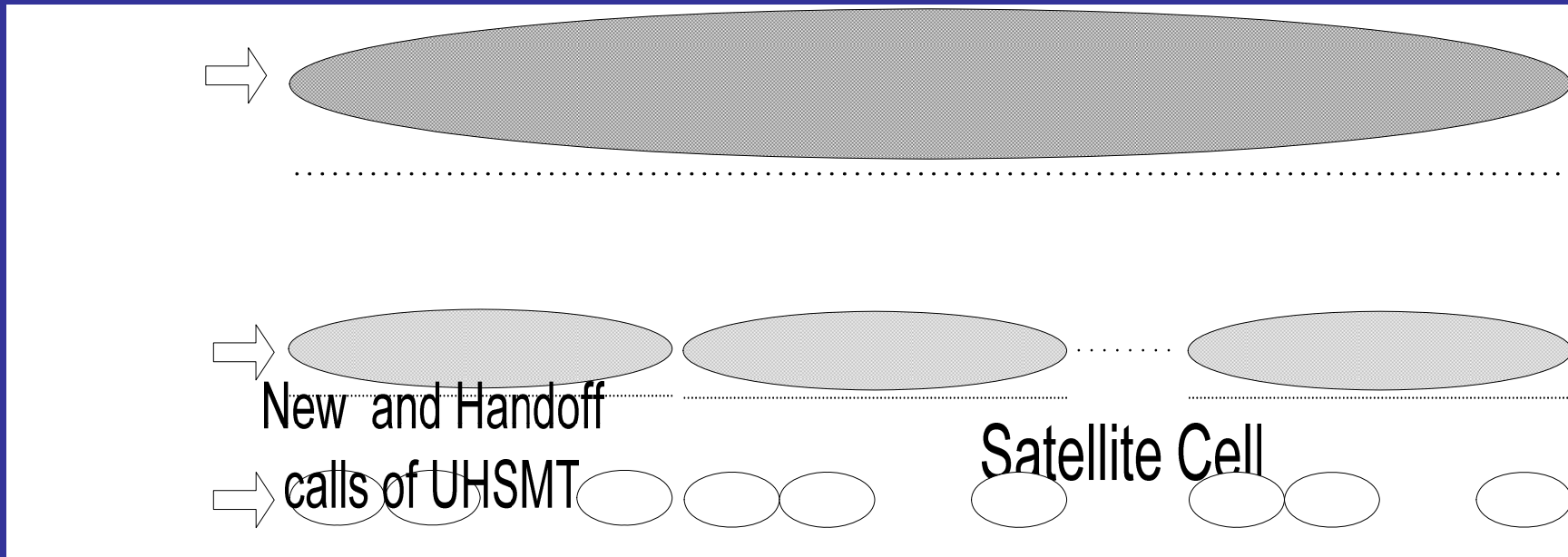
Στρατηγική Μεταπομπής

Neighboring cell Handover

- Έλεγχος της στάθμης του C/I του διαύλου επικοινωνίας του διαθέσιμου διαύλου της γειτονικής κυψέλης
- Σύγκριση της τιμής αυτής με αντίστοιχη τιμή του C/I του υφιστάμενου διαύλου επικοινωνίας
- Με βάση την ανωτέρω σύγκριση επιλέγεται στην κατάλληλη χρονική στιγμή η εναπόθεση της μεταφοράς της επικοινωνίας στον δίαυλο της γειτονικής κυψέλης
- Εκτίμηση της Blocking Probability



Στρατηγική Μεταπομπής



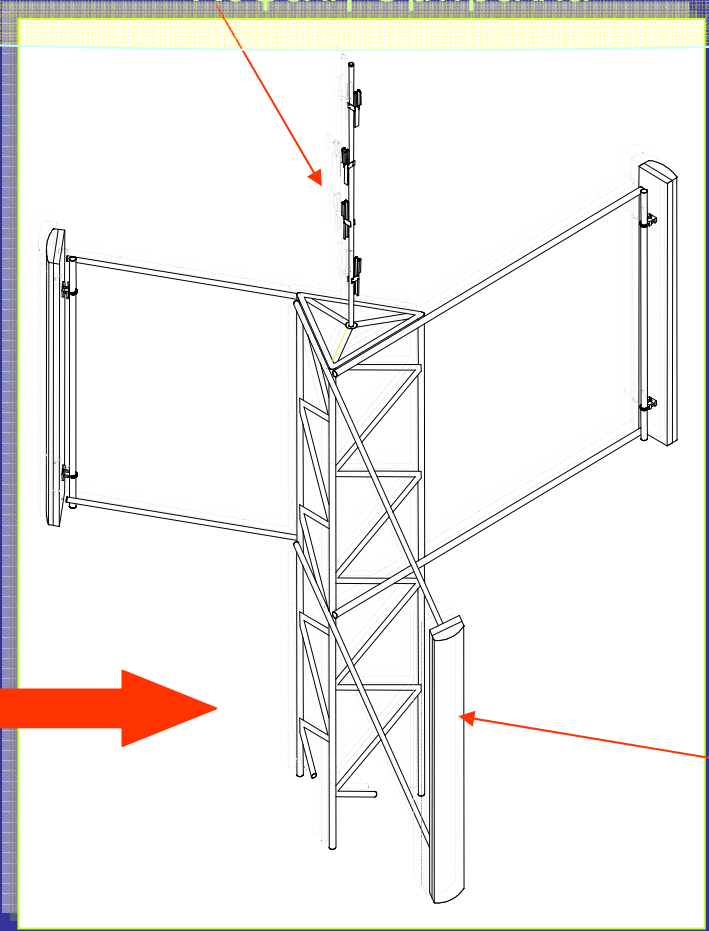
- Αργά κινούμενοι συνδρομητές (Πεζοί Συνδρομητές)
- Ταχέως κινούμενοι συνδρομητές ($< 80 \text{ Km/h}$)
- Υπερταχέως κινούμενοι συνδρομητές ($> 80 \text{ Km/h}$)

New and Handoff
calls of HSMT

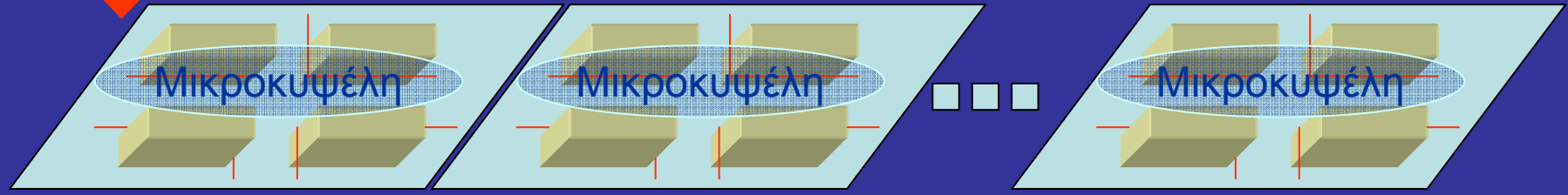
Macro Cell 1

Macro

Κυψέλη Ουμπρέλλα



BTS



Μακρο Κυψέλη



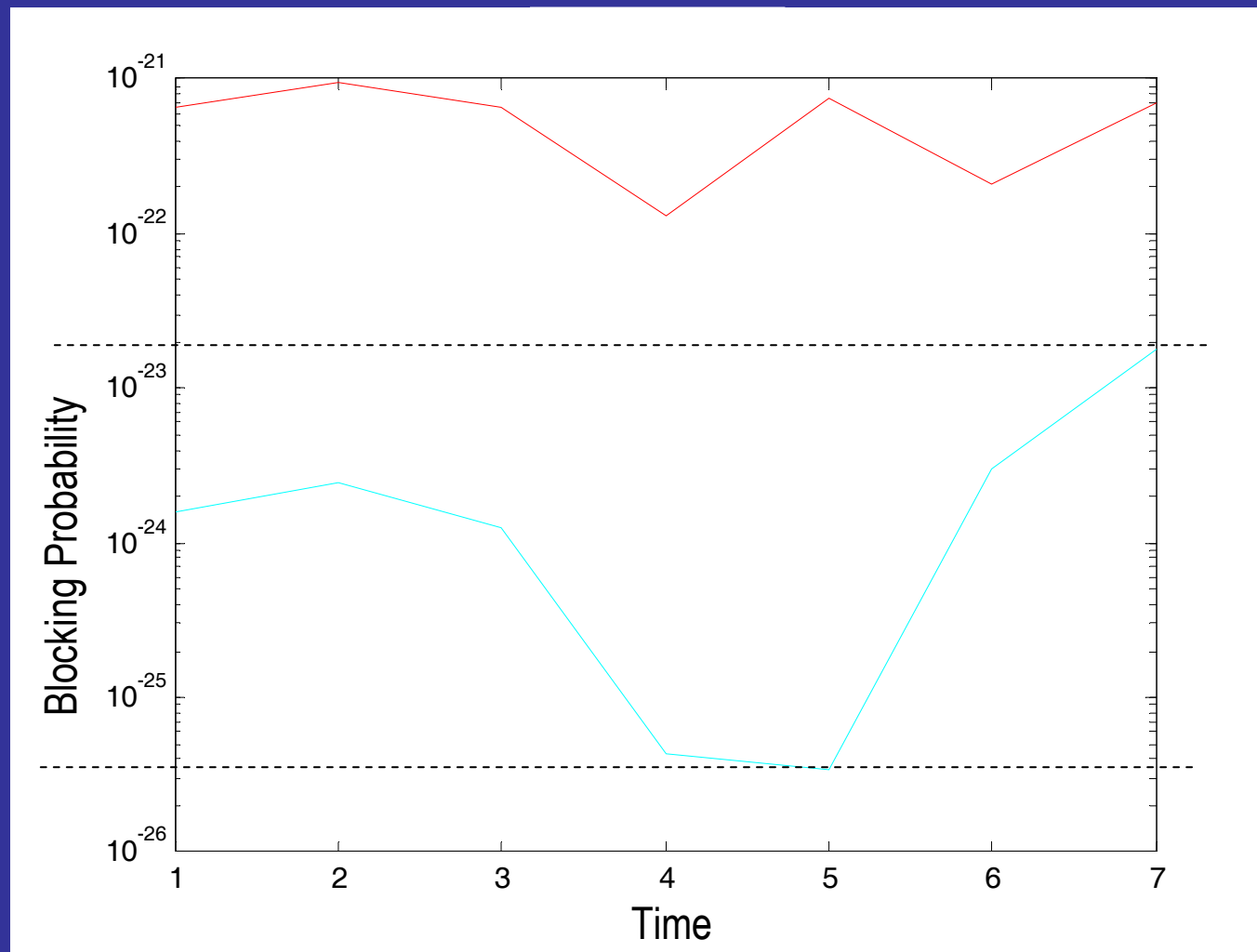
Στρατηγική Μεταπομπής

Κριτήριο Ελαχιστοποίησης της Πιθανότητα Ολικής Κατάληψης (Blocking Probability)

- Δυναμική Διαχείριση Συχνοτήτων
- Πιθανότητα Αστοχίας Μεταπομπής, λόγω μη διαθέσιμων Πόρων του συστήματος
- Προσφερόμενο Συνδρομητικό Φορτίο (Offered Traffic Load)
- Συνθήκες επικοινωνιών σε ώρα αιχμής

- Υπερταχέως κινούμενοι συνδρομητές

90% αύξηση του προσφερόμενου συνδρομητικού φορτίου



Πρότυπο GSM

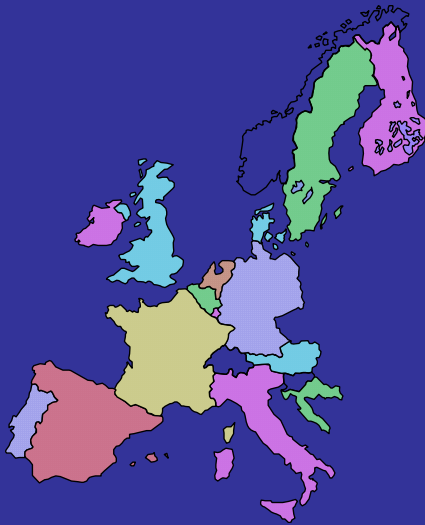


**Global System for Mobile
Communication
(GSM)**

GSM - Ιστορική Αναδρομή

1980-1990

Την δεκαετία του 1980 τα Αναλογικά Συστήματα 1ης Γενιάς είχαν επικρατήσει σε αρκετές Χώρες της Ευρώπης:

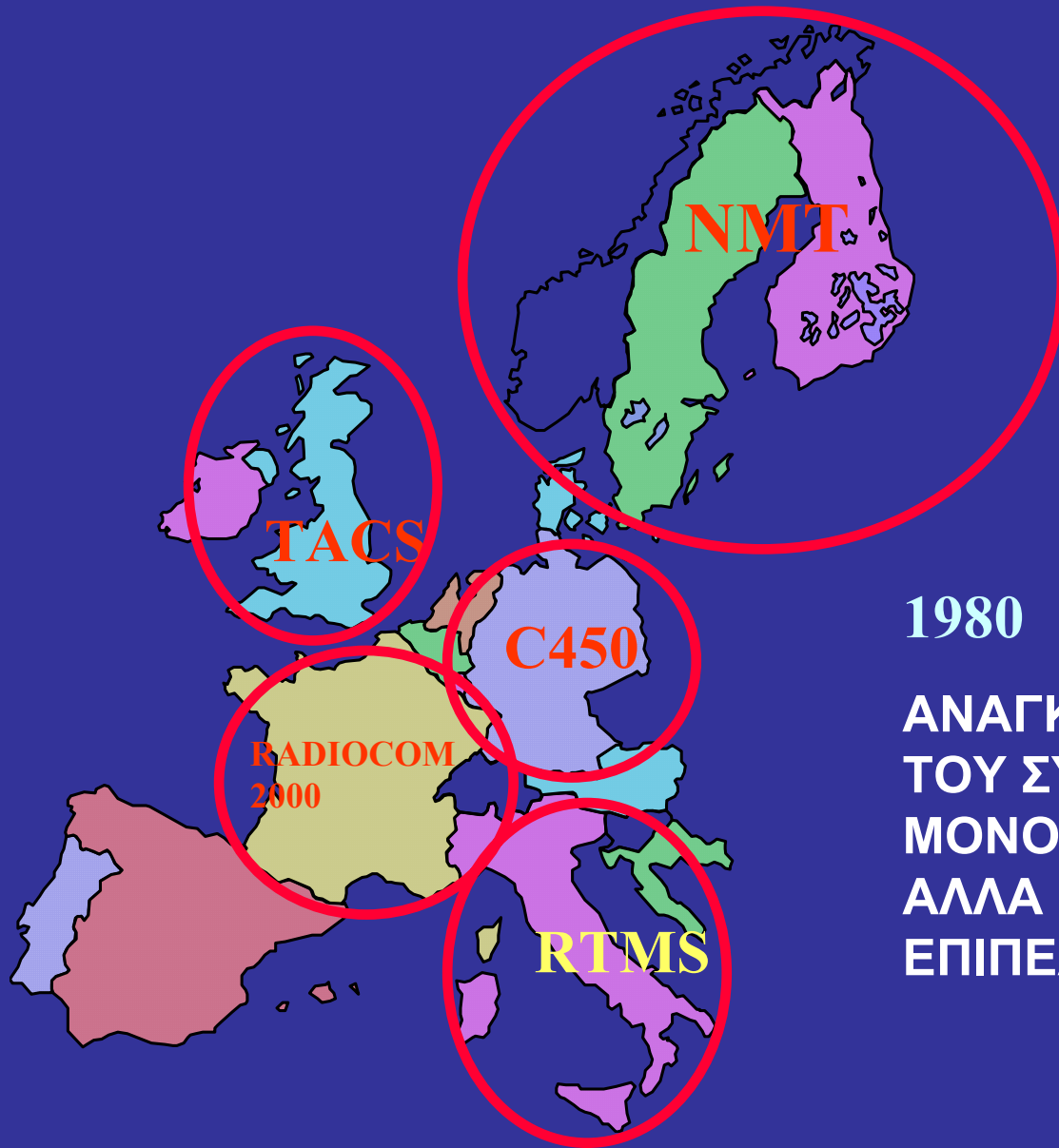


- Σκανδιναβία NMT
- Ηνωμένο Βασίλειο TACS
- Γαλλία RADIOCOM 2000
- Γερμανία C450
- Ιταλία RTMS

ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Δεν υπήρχε καμία συμβατότητα μεταξύ των συστημάτων αυτών

GSM - Ιστορική Αναδρομή

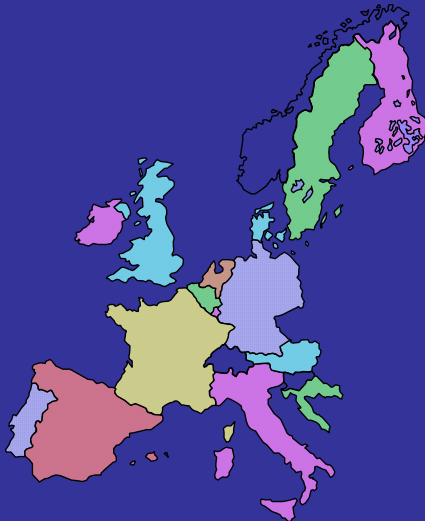


1980

ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΚΙΝΗΣΗ
ΤΟΥ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗ ΌΧΙ
ΜΟΝΟ ΣΕ ΕΘΝΙΚΟ
ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΣΕ ΔΙΕΘΝΕΣ
ΕΠΙΠΕΔΟ

GSM - Ιστορική Αναδρομή

GSM



1981

Γίνεται η πρώτη προσπάθεια μιας Γαλλογερμανικής επιτροπής για ανάπτυξη ενός Ψηφιακού συστήματος με προοπτική να καθιερωθεί σε Πανευρωπαϊκό επίπεδο

1982

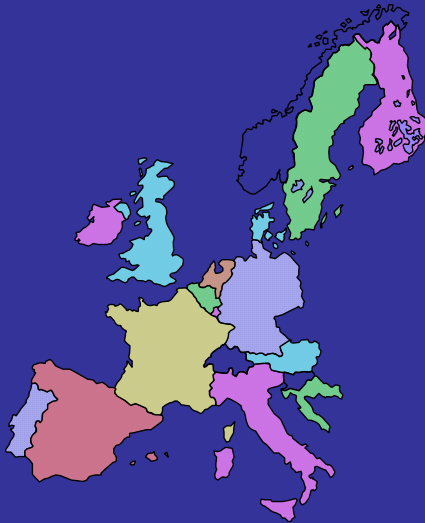
Συστήνεται μία ειδική επιτροπή με την ονομασία Groupe Special Mobile προκειμένου να συνεχίσει την Γαλλογερμανική προσπάθεια

1986

Η επιτροπή αυτή αποφασίζει να δημιουργήσει τα standard για το σύστημα που πρόκειται να αναπτυχθεί

GSM - Ιστορική Αναδρομή

GSM



1987

Υπογράφεται το Memorandum of Understanding (MoU) μεταξύ 18 χωρών. Όλες οι χώρες αποφασίζουν να συμμετάσχουν στην προσπάθεια αυτή και να θέσουν σε λειτουργία το σύστημα το 1991

1989

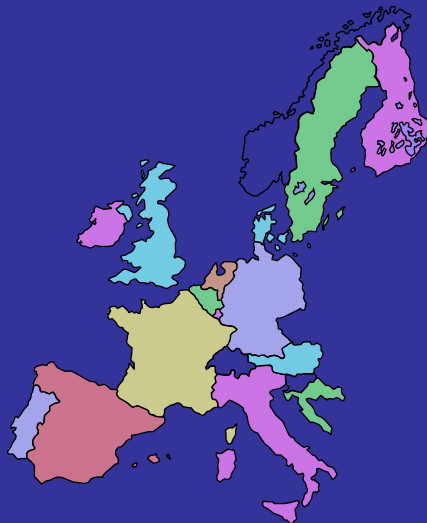
Η ευθύνη ανάπτυξης των προδιαγραφών μεταφέρεται στον ETSI (European Telecommunication Standard Institute) και το αλλάζει η ονομασία σε Global System for Mobile Communications-GSM

1992

Η πρώτη Χώρα εκτός Ευρώπης, η Αυστραλία, υπογράφει το MoU

GSM - *Ιστορική Αναδρομή*

GSM



1992

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αποφασίζει να δίνονται 2 άδειες λειτουργίας GSM δικτύων σε κάθε χώρα μέλος για λόγους διαχείρισης των ραδιοσυχνοτήτων

1993

36 GSM δίκτυα λειτουργούν σε 22 χώρες σε παγκόσμιο επίπεδο

1993

Αρχίζει η λειτουργία και στην Ελλάδα με φορείς PANAΦON και TELESTET

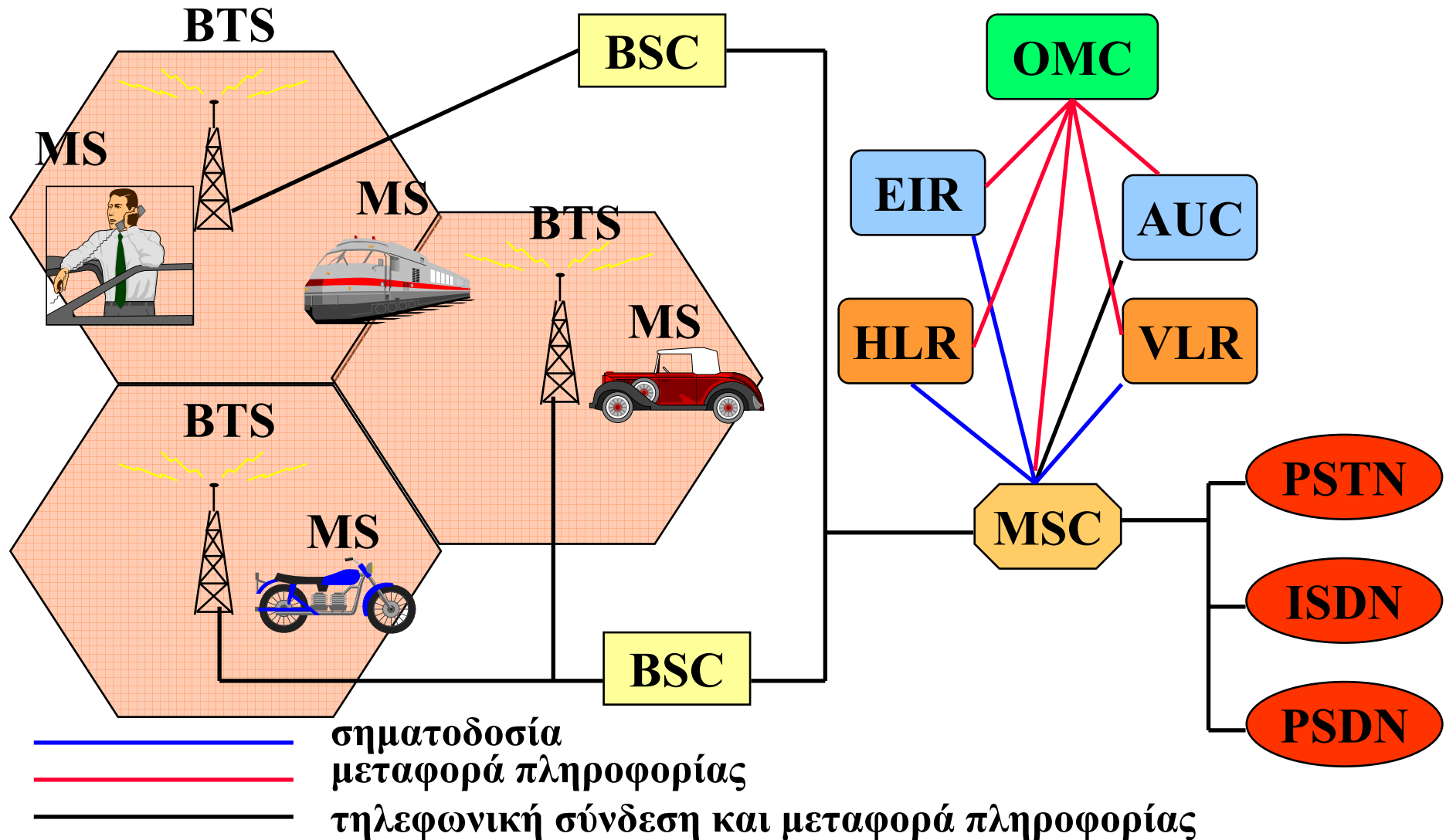
Δίκτυο GSM

Κριτήρια

Το Σύστημα GSM ικανοποιεί τα παρακάτω κριτήρια:

- Καλή Ποιότητα Φωνής
- Διασφάλιση του απορρήτου των συνδιαλέξεων
- Χαμηλό Κόστος Τερματικού Εξοπλισμού
- Χαμηλό Κόστος Προσφερόμενης Υπηρεσίας
- Περιαγωγή σε Διεθνές Επίπεδο
- Νέο Φάσμα Υπηρεσιών και Ευκολιών
- Μεγάλη Απόδοση του χρησιμοποιούμενου Φάσματος Συχνοτήτων
- ISDN Συμβατότητα

Αρχιτεκτονική του δικτύου **GSM**



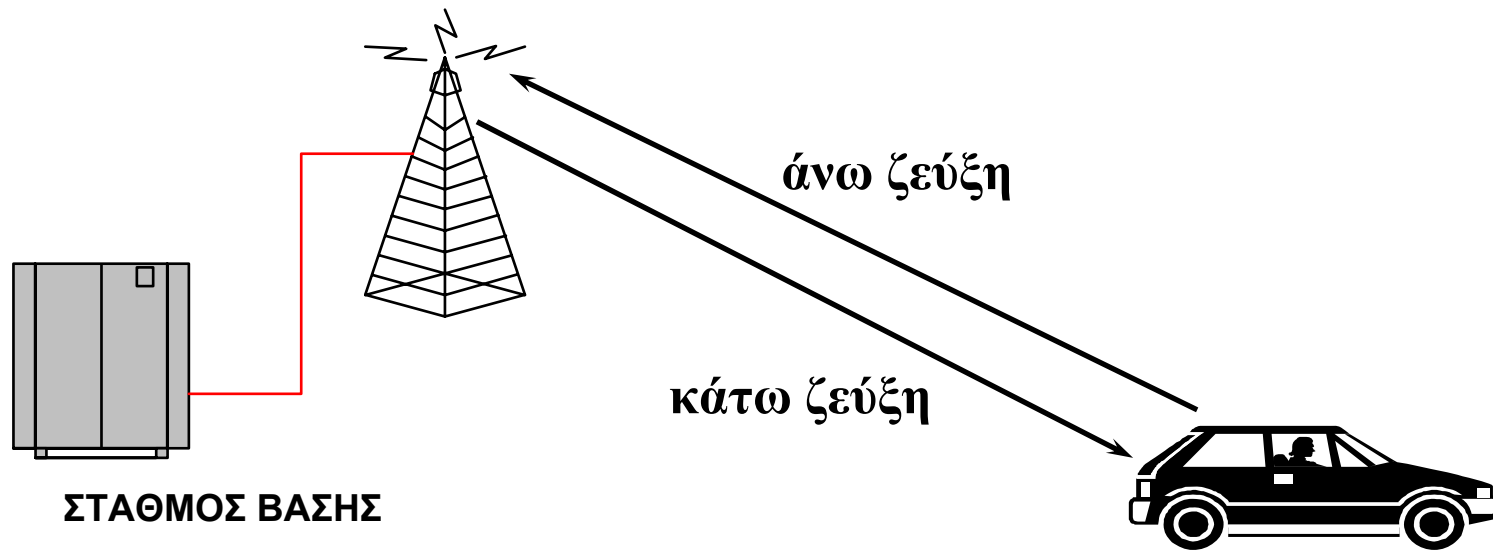
Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Το Σύστημα GSM λειτουργεί στην περιοχή των **900 MHz**.
Συγκεκριμένα:

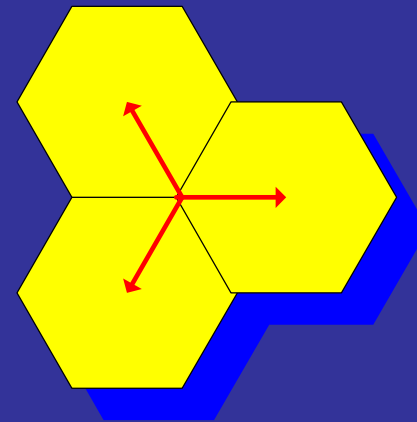
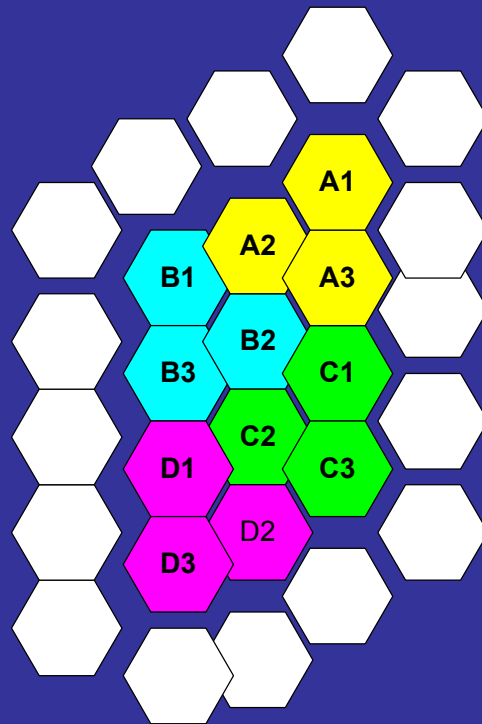
Άνω Ζεύξη (Up Link): **890 - 915 MHz**

Κάτω Ζεύξη (Down Link) : **935 - 960 MHz**

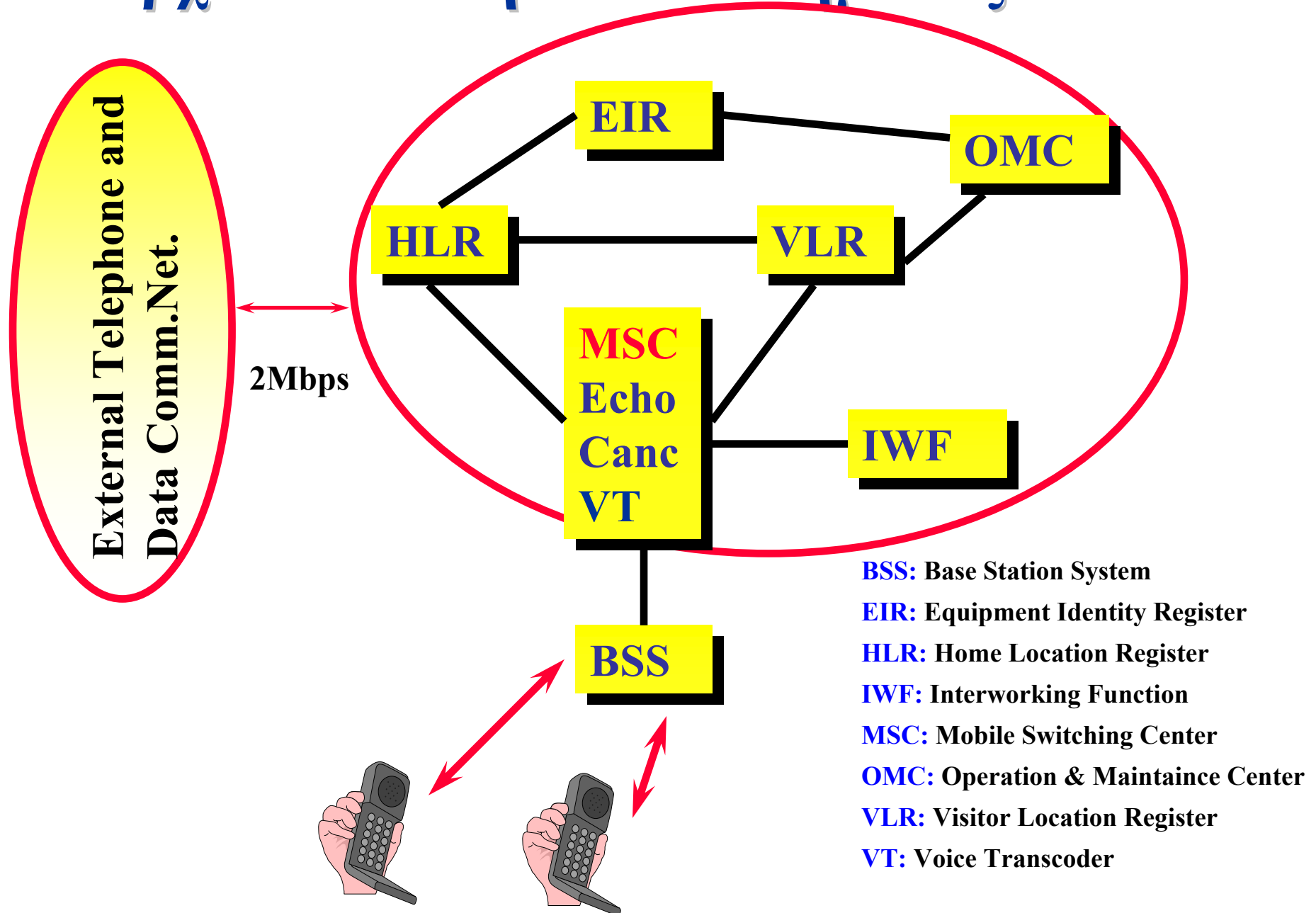


Βασικές αρχές

4/12 Συγκρότημα κυττάρων:



Αρχιτεκτονική του συστήματος DCS 1800

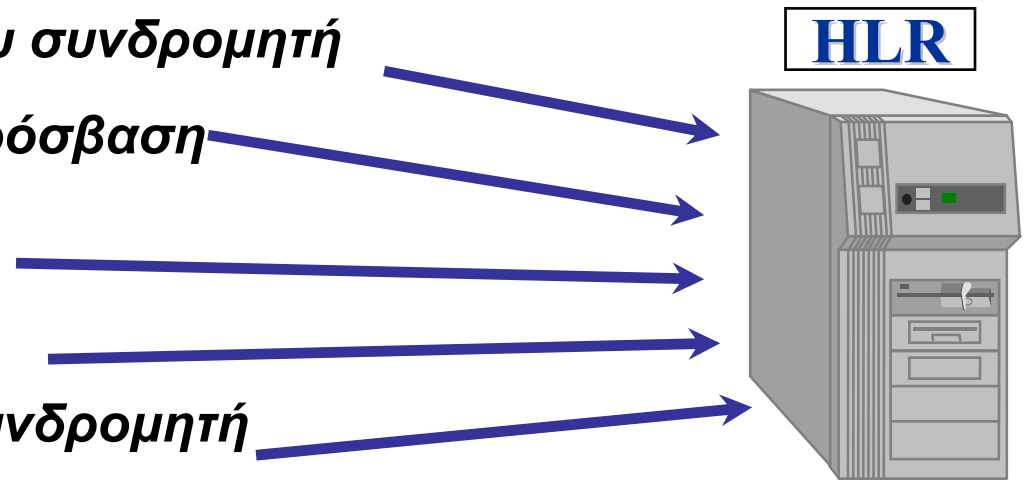


Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

ΟΙΚΕΙΟΣ ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΘΕΣΗΣ (HOME LOCATION REGISTER - HLR)

Είναι μια Κεντρική Βάση Δεδομένων, η οποία περιέχει όλες τις πληροφορίες που αφορούν τον Συνδρομητή, όπως:

- *τον αριθμό ταυτότητας του συνδρομητή*
- *τις υπηρεσίες που έχει πρόσβαση*
- *την προτεραιότητά του*
- *τον αριθμό περιαγωγής*
- *την τελευταία θέση του συνδρομητή*



Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΕΠΙΣΚΕΠΤΩΝ (VISITING LOCATION REGISTER - VLR)

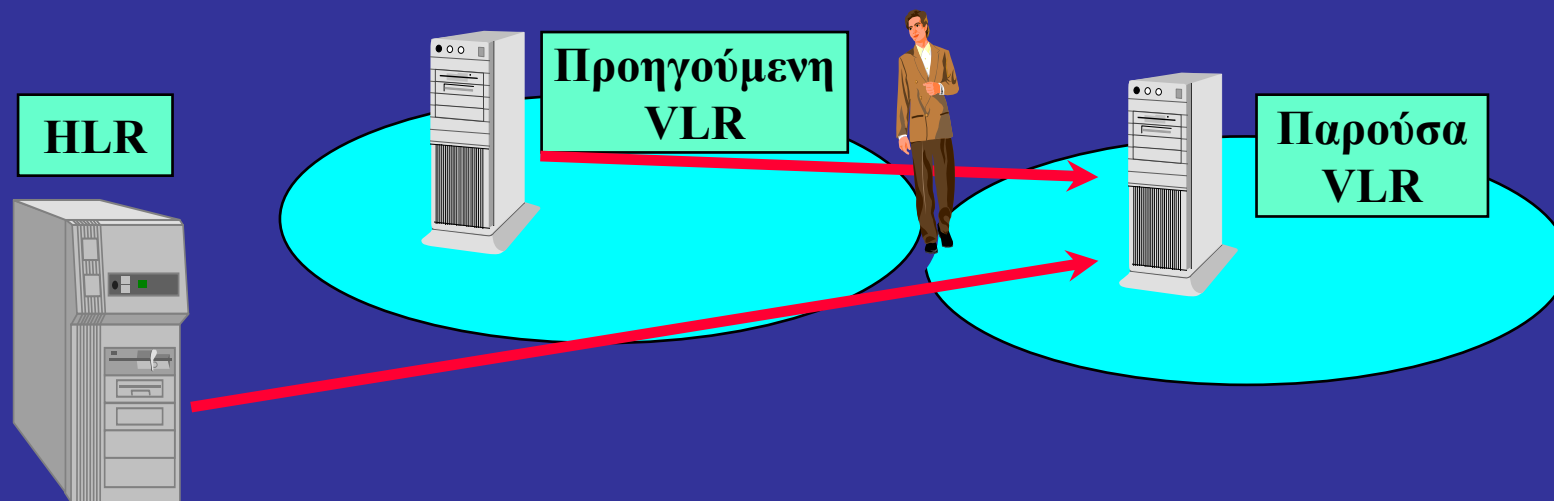
Είναι μια τοπική Βάση Δεδομένων, όπου αποθηκεύονται για μικρό χρονικό διάστημα (όσο είναι απαραίτητο):

- όλα τα στοιχεία που χρησιμεύουν για την τοπική δρομολόγηση των κλήσεων (π.χ ταυτότητα του συνδρομητή, στοιχεία πιστοποίησης, κ.λ.π)
- οι θέσεις των ενεργοποιημένων κινητών συνδρομητών συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής (υπό την εποπτεία συγκεκριμένου MSC)
- τα στοιχεία των παρεχομένων υπηρεσιών που έχουν πρόσβαση συνδρομητές

Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

Τα ανωτέρω στοιχεία στην VLR λαμβάνονται από:

- την Οικεία Βάση Δεδομένων (HLR)
- την VLR στην οποία ήταν καταχωρημένος ο συγκεκριμένος συνδρομητής

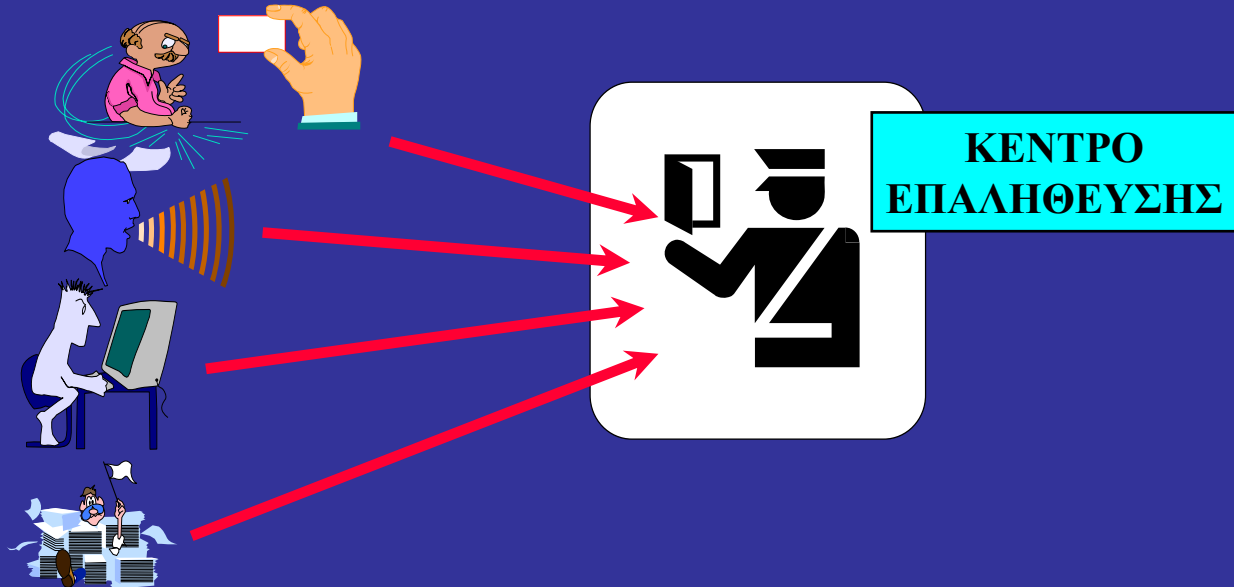


Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

ΚΕΝΤΡΟ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ (AUTHENTICATION CENTER - AUC)

Το κέντρο αυτό έχει τις παρακάτω αρμοδιότητες:

- πιστοποιεί την ταυτότητα του συνδρομητή
- παίζει ουσιαστικό ρόλο στην φάση της κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης των πληροφοριών (φωνής, δεδομένων και σηματοδοσίας)



Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ (OPERATION AND MAINTENANCE SYSTEM - OMS)

- *Το σύστημα αυτό καταγράφει όλες τις λεπτομέρειες της κάθε κλήσης, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν αργότερα για την ολοκλήρωση της διαδικασίας της χρέωσης.*
- *Επίσης το σύστημα αυτό εποπτεύει και ελέγχει όλο το δίκτυο*

Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

KENTRO MIKPWN MHN YMATWN (SHORT MESSAGE CENTER - SMC)

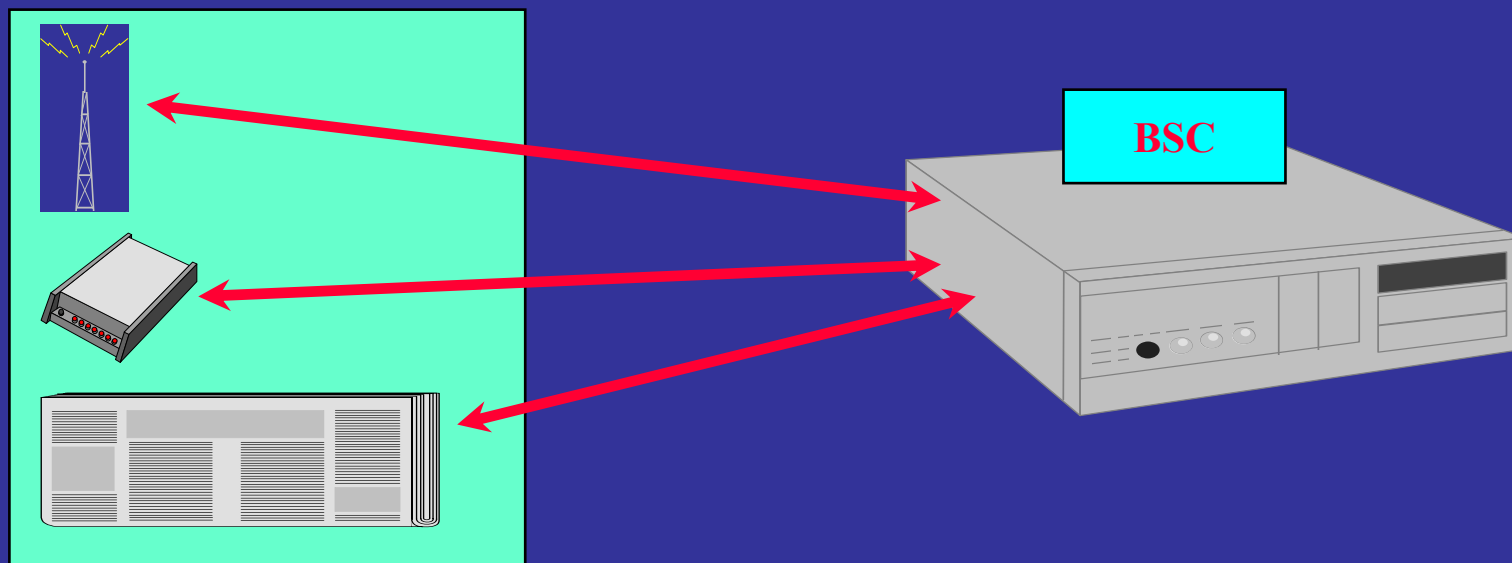
Το κέντρο αυτό αποτελεί τμήμα του OMS και έχει τις παρακάτω αρμοδιότητες, οι οποίες αφορούν την εξυπηρέτηση των συνδρομητών:

- *δημιουργία μικρών μηνυμάτων*
- *διαφύλαξη μικρών μηνυμάτων*
- *αποδοχή μικρών μηνυμάτων*

Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

ΕΛΕΓΚΤΗΡΑΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ (BASE STATION CONTROLLER - BSC)

- Ελέγχει και επιβλέπει την λειτουργία του Σταθμού Εκπομπής και Λήψης (BTS)
- Δρομολόγηση των υπό την εποπτεία του κλήσεων



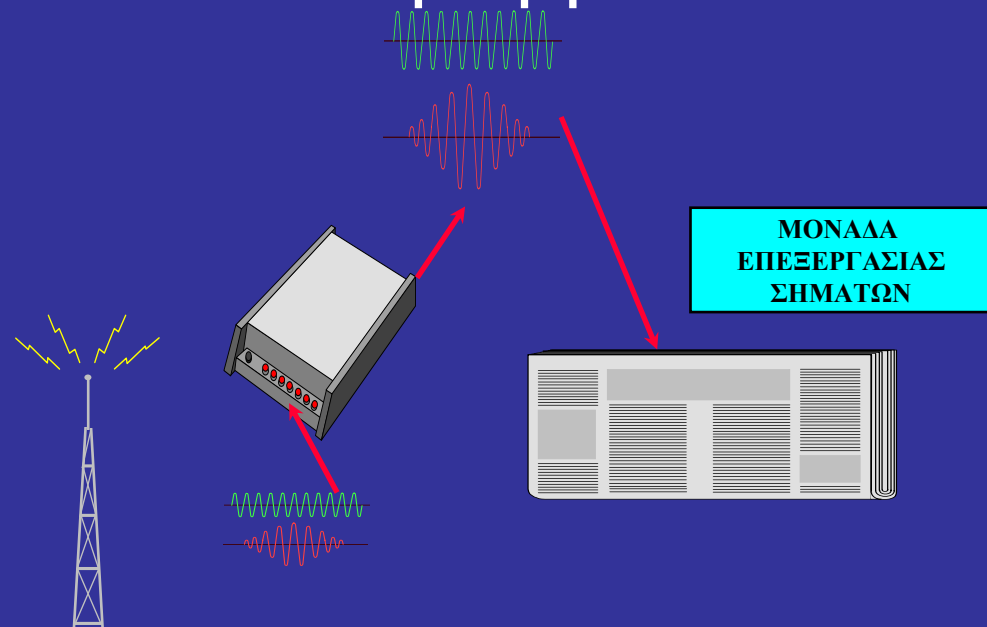
Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΚΑΙ ΛΗΨΗΣ (BASE TRANSCIVER STATION - BTS)

Ο σταθμός αυτός περιλαμβάνει όλο τον απαραίτητο ραδιο-εξοπλισμό για να εξυπηρετηθούν επικοινωνιακά όλοι οι συνδρομητές οι οποίοι ευρίσκονται στο συγκεκριμένο κύτταρο.

Αποτελείται:

- από το σύστημα της κεραίας
- από τους ενισχυτές ισχύος
- από τις μονάδες επεξεργασίας σήματος



Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΚΑΙ ΛΗΨΗΣ



Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

Ταυτότητες χρησιμοποιούμενες στο DCS 1800:

Διεθνής ISDN αριθμός του κινητού σταθμού

Mobile Station International ISDN Number (MSISDN)

- ✓ Είναι ο αριθμός που επιλέγεται προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια κλήση προς τον ΚΣ
- ✓ Το νούμερο του συνδρομητή



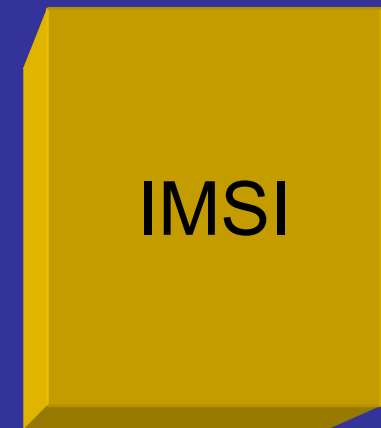
Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

Ταυτότητες χρησιμοποιούμενες στο DCS 1800:

- **Διεθνής ταυτότητα του συνδρομητή**

International Mobile Subscriber Identity (IMSI)

Καταγράφεται στην SIM κάρτα και προσδιορίζει τον συνδρομητή και όχι την συσκευή. Ο αριθμός αυτός δεν είναι γνωστός στον συνδρομητή.



Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

Ταυτότητες χρησιμοποιούμενες στο DCS 1800:

→ Διεθνής αριθμός περιαγωγής του κινητού σταθμού

Mobile Station Roaming Number (MSRN)

Παρέχεται για την δρομολόγηση εισερχομένων κλήσεων

όταν ο ΚΣ προσπαθεί να κάνει πρόσβαση σε άλλο δίκτυο.

Δεν τον γνωρίζει ο συνδρομητής



MSRN

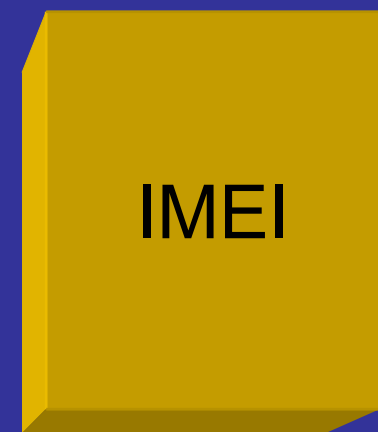
Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

Ταυτότητες χρησιμοποιούμενες στο DCS 1800:

→ Διεθνής ταυτότητα της συσκευής

International Mobile Station Equipment Identity (IMEI)

Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό αυτής σε περίπτωση κλοπής μέσω του EIR.



Ορισμοί επί των βασικών τμημάτων του δικτύου

Ταυτότητες χρησιμοποιούμενες στο DCS 1800:

Location Area Identification (LAI)

Προσδιορίζει μια συγκεκριμένη περιοχή του δικτύου

Cell Global Identity (CGI)

Προσδιορίζει ένα κύτταρο

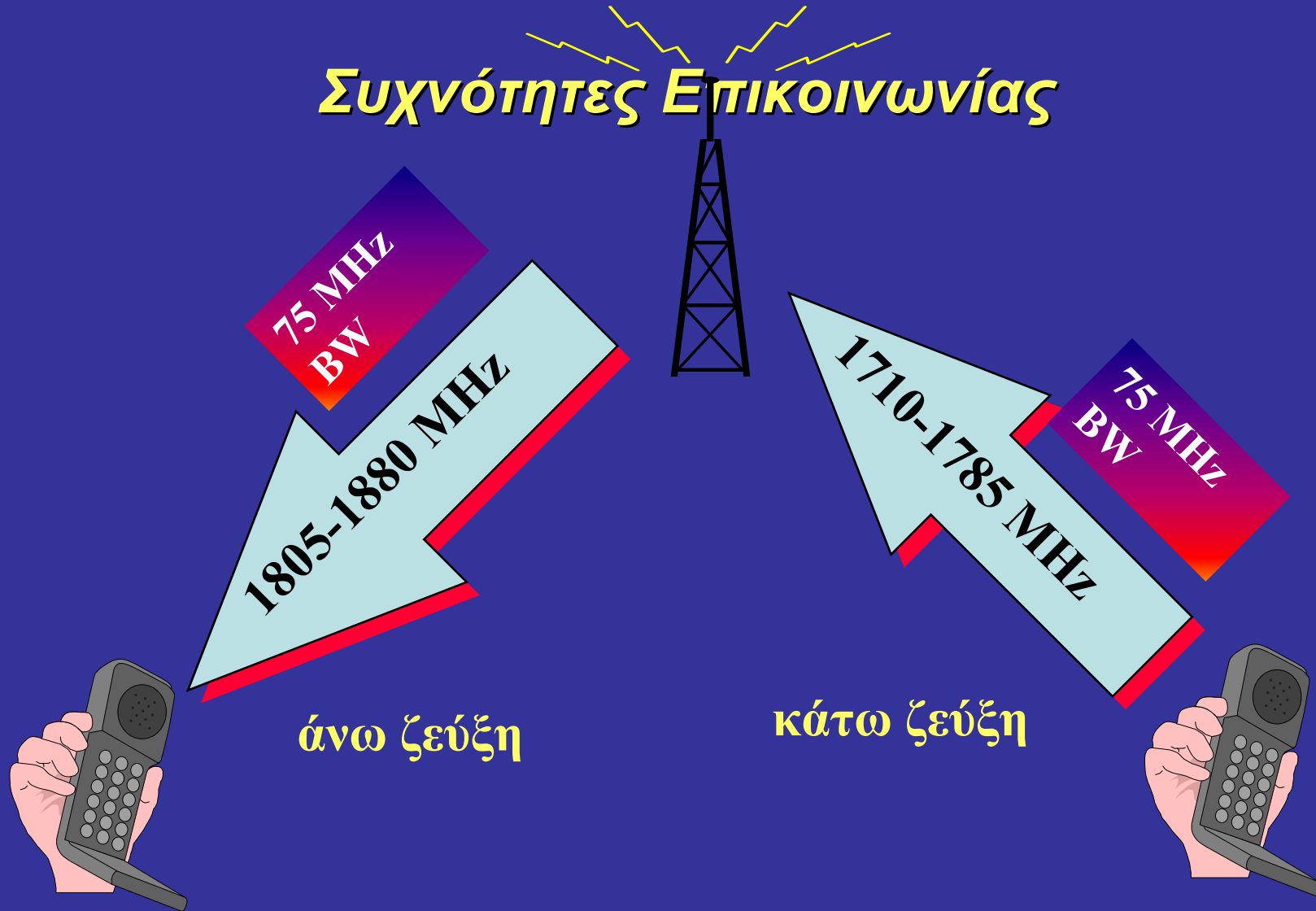
Base Station Identification Code (BSIC)

Προσδιορίζει μια ομάδα πομποδεκτών

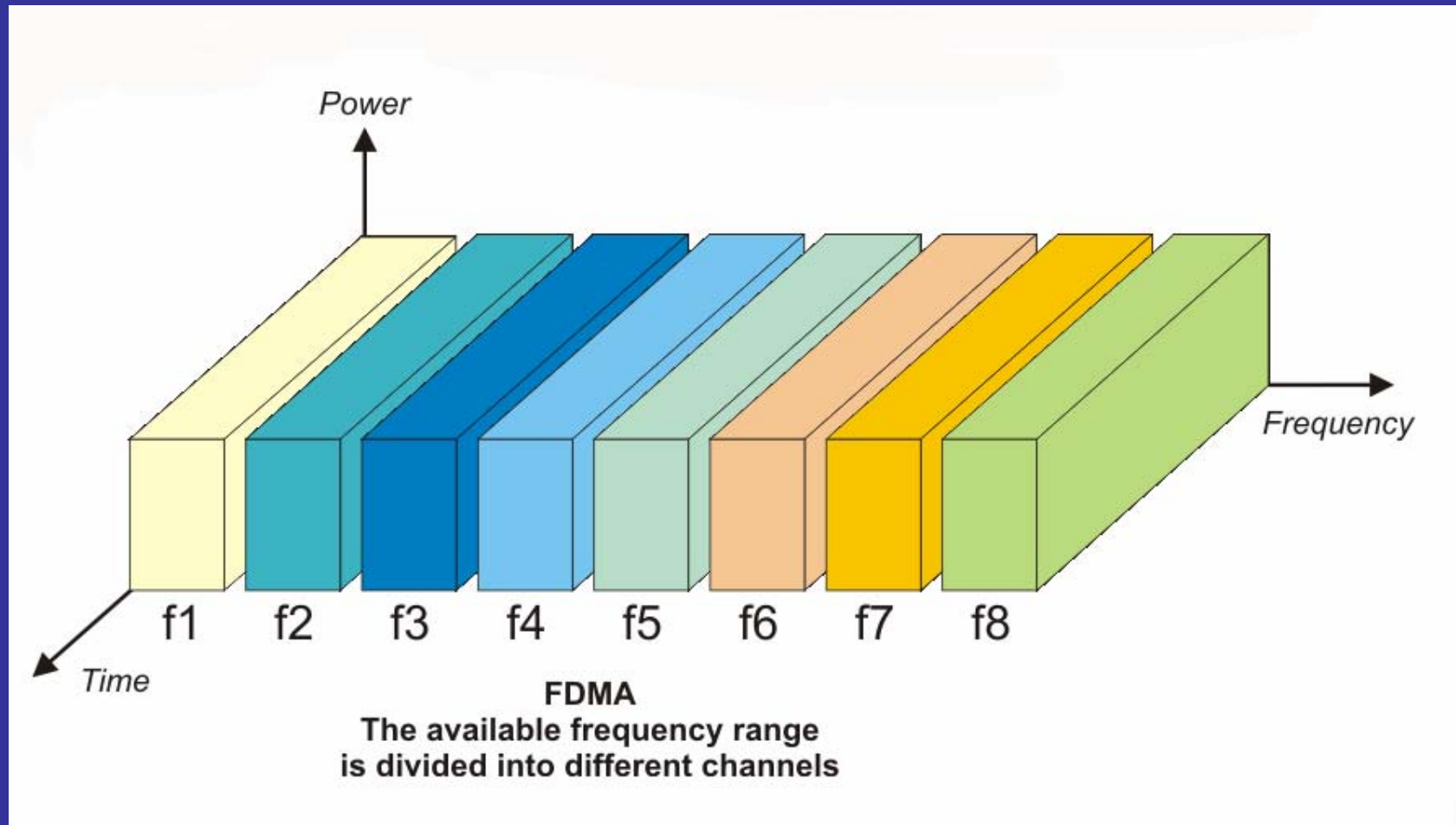


Βασικές Αρχές του DCS 1800

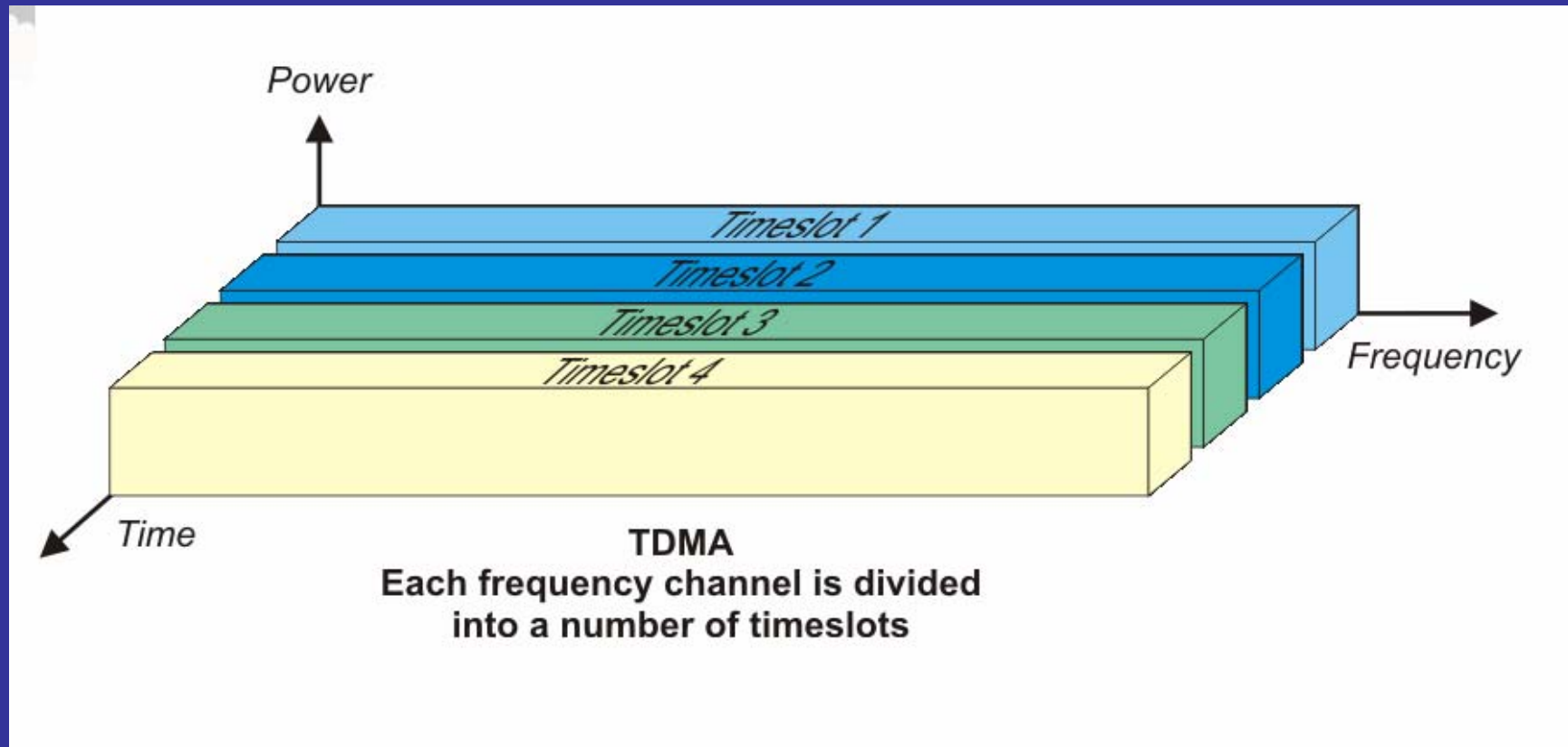
Συχνότητες Επικοινωνίας



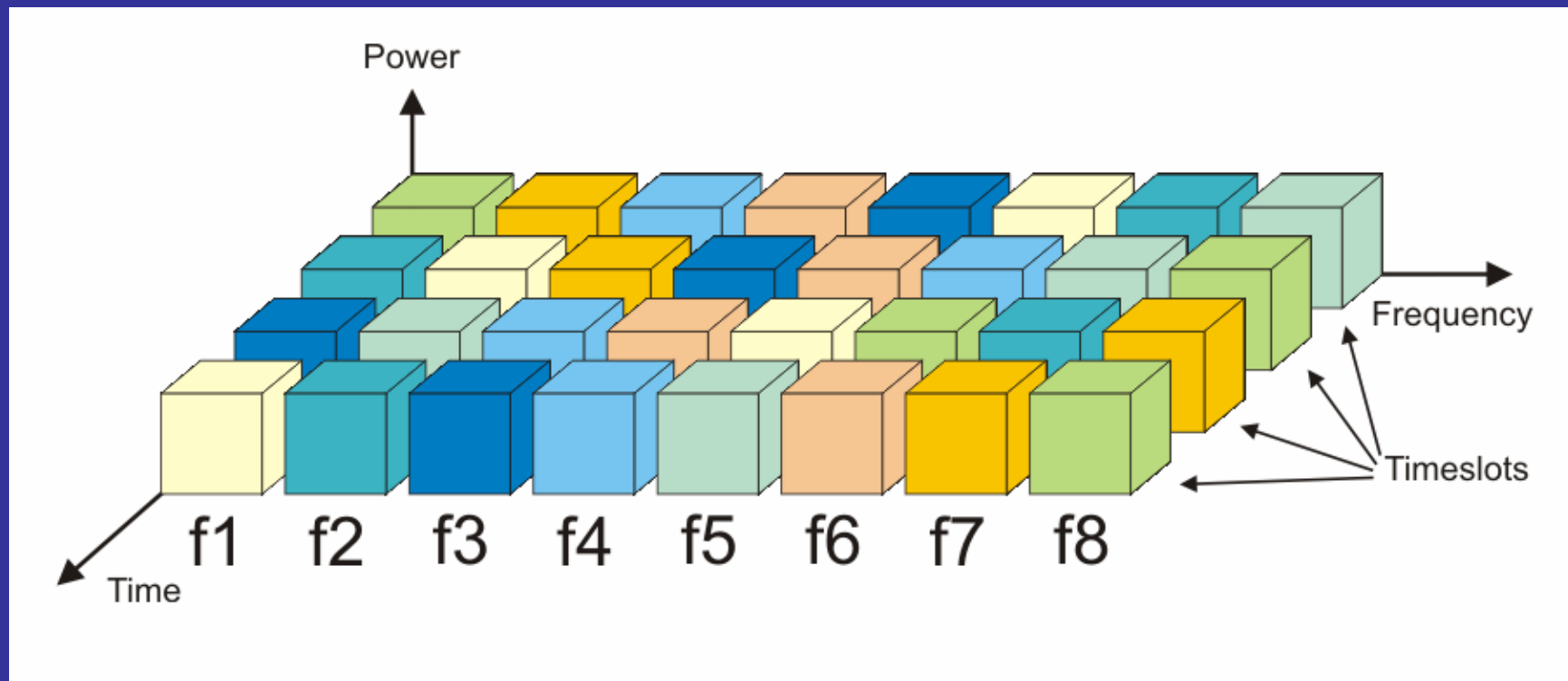
Διαίρεση Συχνότητας



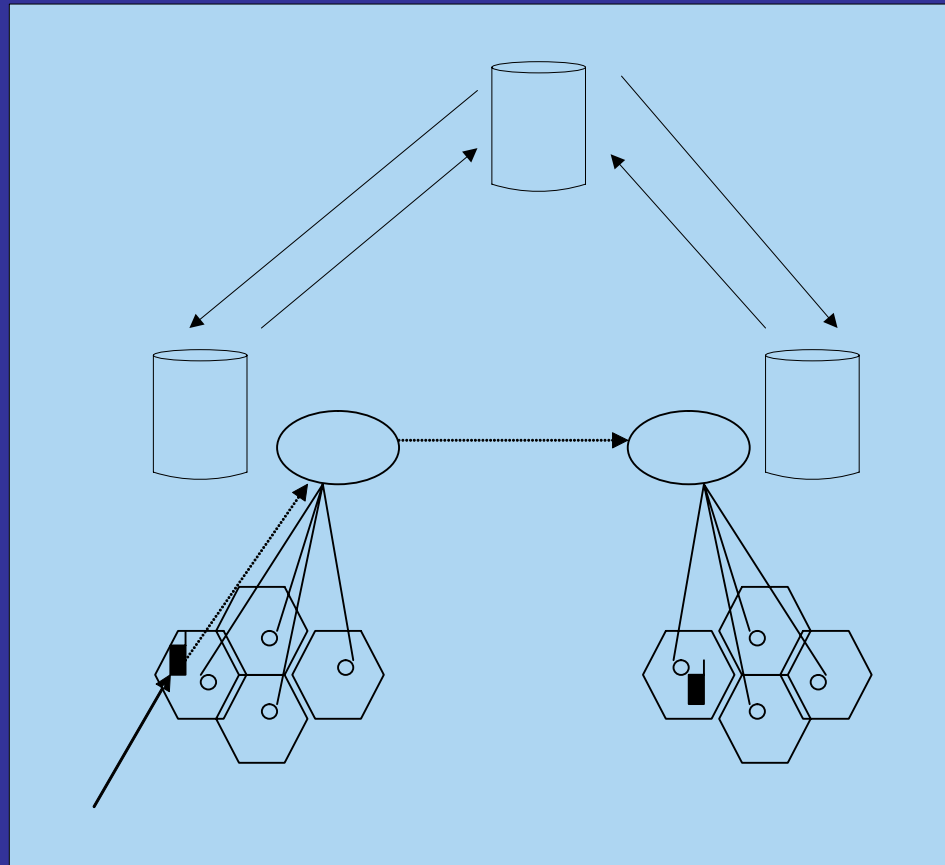
Διαίρεση Χρόνου



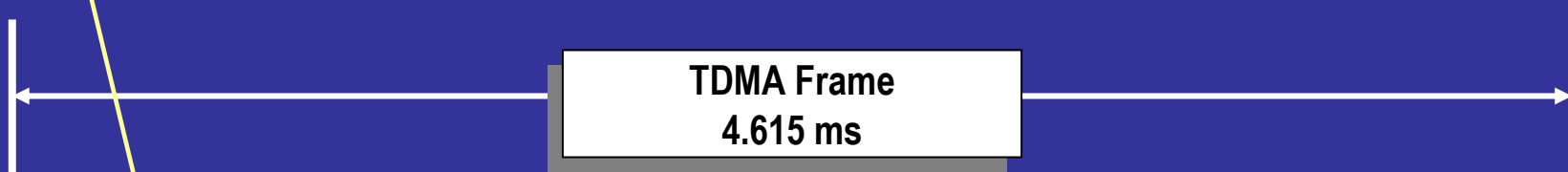
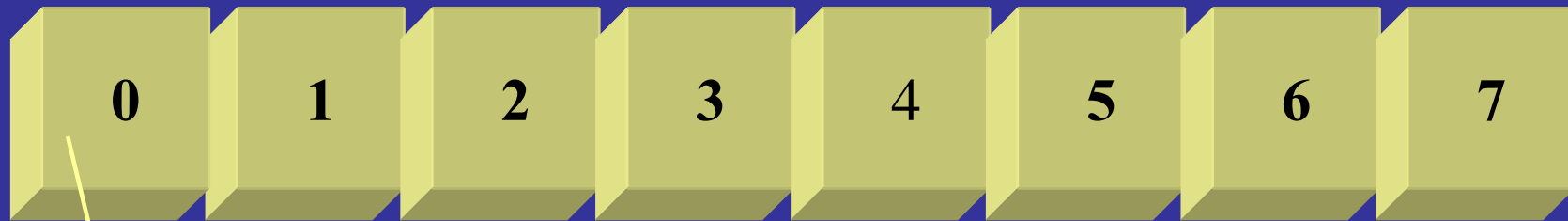
Διαίρεση Χρόνου και Συχνότητας



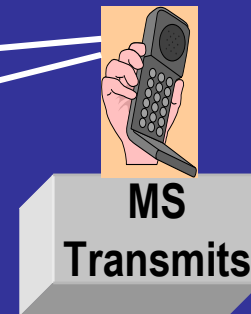
Βήματα κατά την μεταφορά των κλήσεων

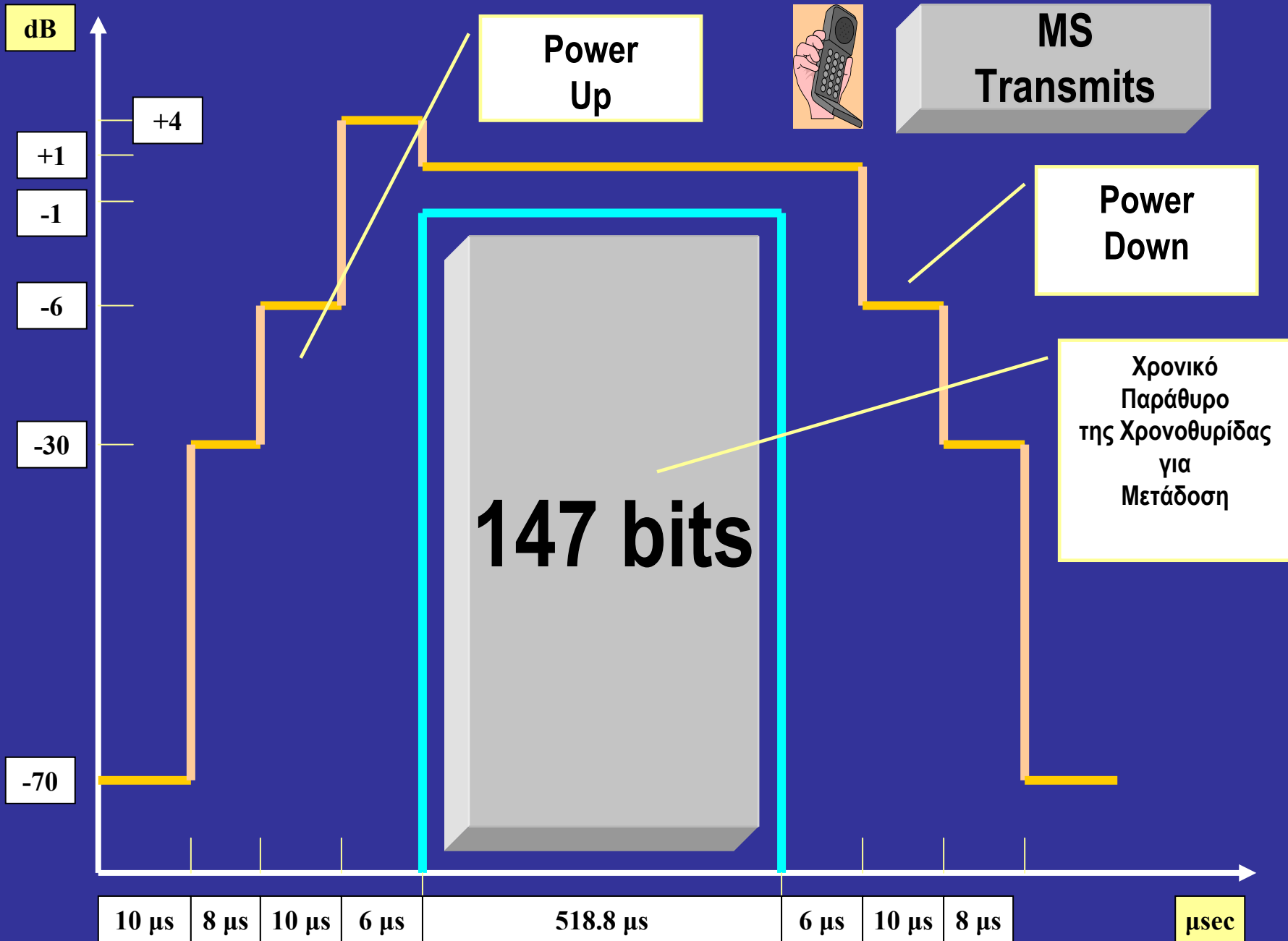


(v)



$4.615 : 8 = 576.8 \mu\text{s}$
 = $10 \mu\text{s} + 8 \mu\text{s} + 10 \mu\text{s} + 6 \mu\text{s} + 518.8 \mu\text{s} + 6 \mu\text{s} + 10 \mu\text{s} + 8 \mu\text{s}$





Κανάλια Κίνησης (Traffic Channels)



USER DATA:

- Voice Data
- Fax Data
- Computer Data

Traffic Channel /
Full Rate Speech [TCH/FS]



Χρησιμοποιείται:

Για την μετάδοση δεδομένων ΦΩΝΗΣ.
Μπορεί να επιτευχθούν ρυθμοί της Τάξης
των 13 kbps

Traffic Channel /
Half Rate Speech [TCH/HS]



Χρησιμοποιείται:

Για τον διπλασιασμό της χωρητικότητας
Του συστήματος, συμπιέζοντας την
Πληροφορία με έναν συντελεστή 2
(Η ποιότητα της ομιλίας δεν υποβαθμίζεται)

Traffic Channel Full Rate
[TCH/F9.6/F4.8/F2.4]



Χρησιμοποιείται:

Για την μετάδοση δεδομένων (DATA)
με ρυθμούς 9.6, 4.8 και 2.4 kbps.
Για κάθε είδος δεδομένων χρησιμοποιείται
Διαφορετικό είδος κώδικα. Εξαρτάται από
την δυνατότητα του κινητού

Traffic Channel Half Rate
[TCH/H4.8/H2.4]



Χρησιμοποιείται:

Για την μετάδοση δεδομένων (DATA)
με ρυθμούς 4.8 και 2.4 kbps.

Power [dB]

Επιθυμητό Σήμα

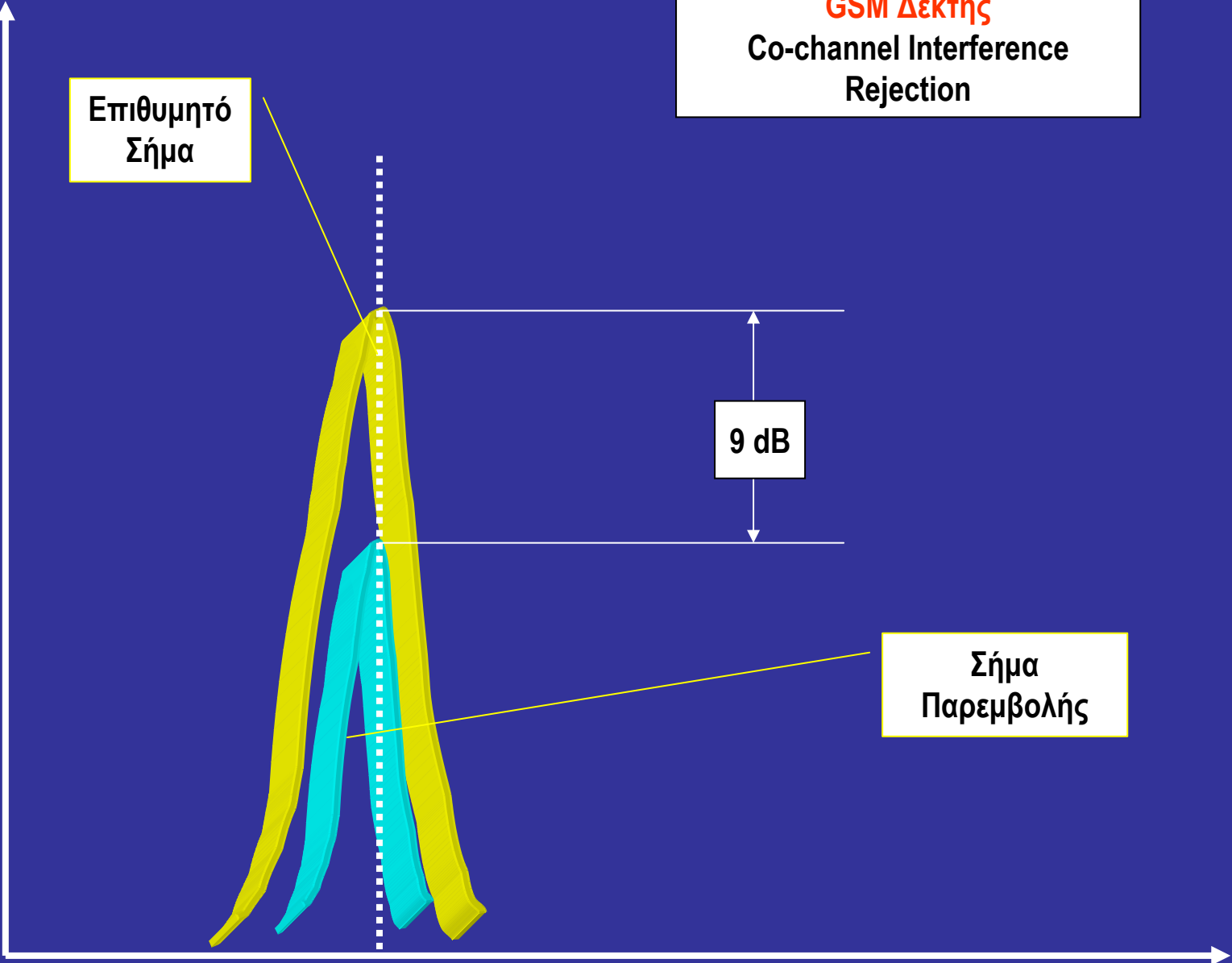
GSM Δέκτης
Co-channel Interference Rejection

9 dB

Σήμα Παρεμβολής

f_0

f [MHz]



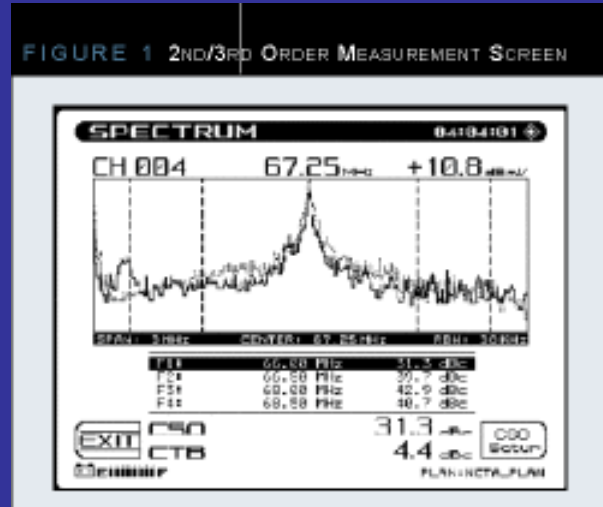
GSM Δέκτης
Intermodulation Interference
Rejection

Power
[dB]

Επιθυμητό
Σήμα

58 dB

f_0



Σήμα
Παρεμβολής

f [MHz]

Υπέρθεση Συστημάτων
Intermodulation Interference

GSM 900



GSM 1800



UMTS



UMTS



UMTS



UMTS



?

UMTS

GSM 1800



GSM 1800



Intermodulation Interference (GSM900+GSM1800) vs UMTS

GSM 900

T



GSM 1800

T



+

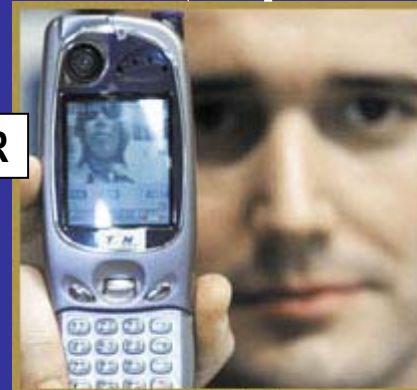


UMTS

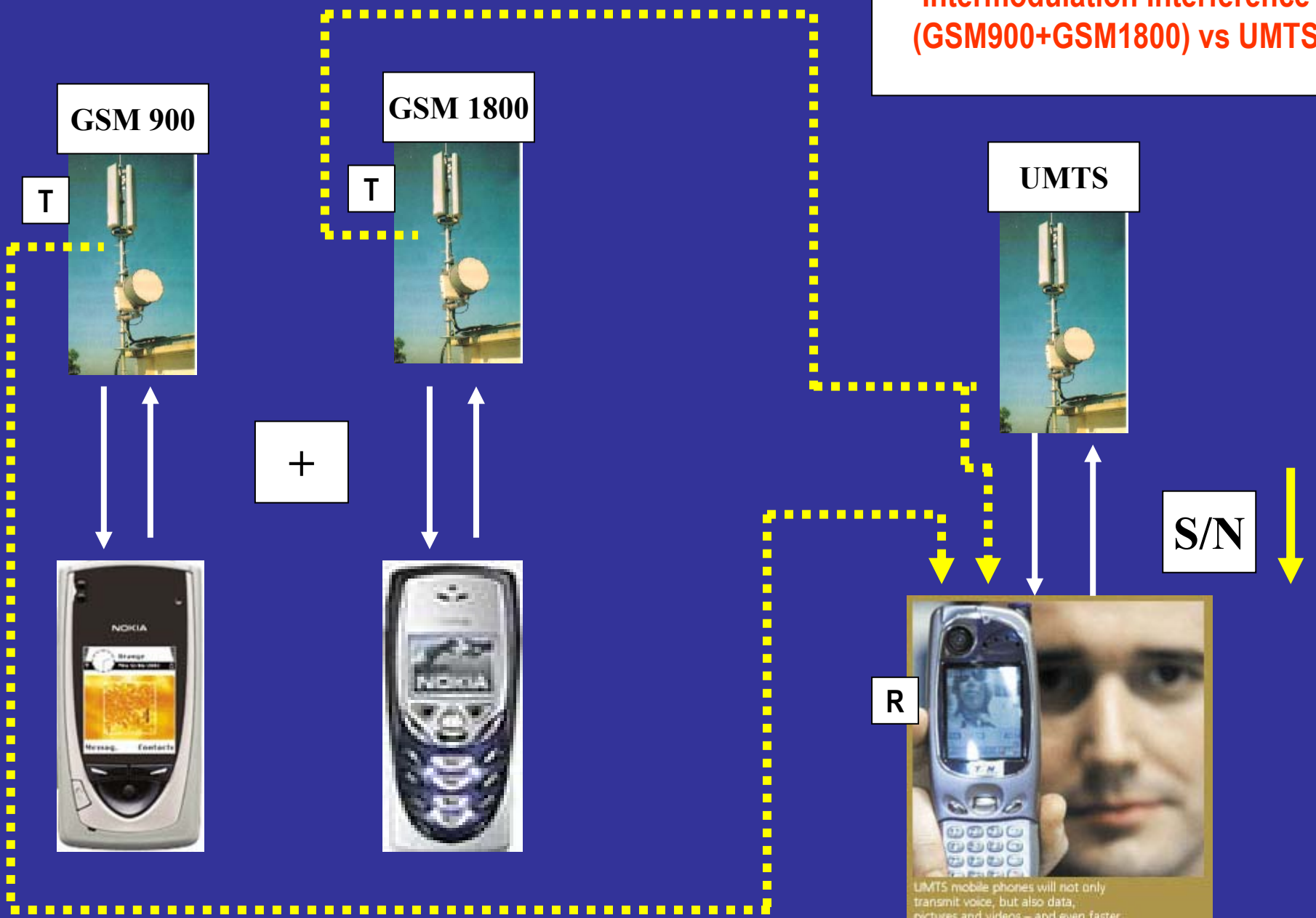


S/N

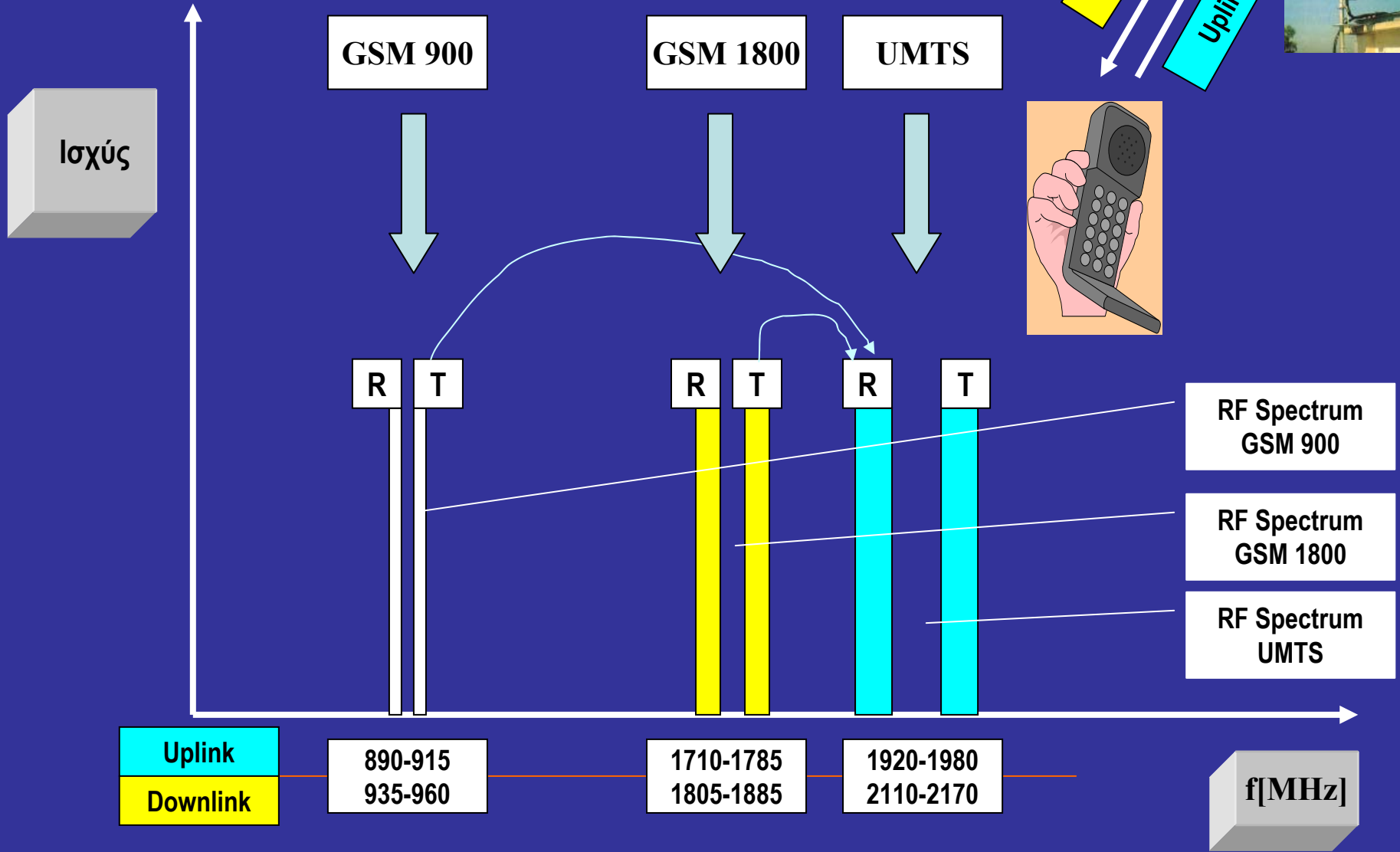
R



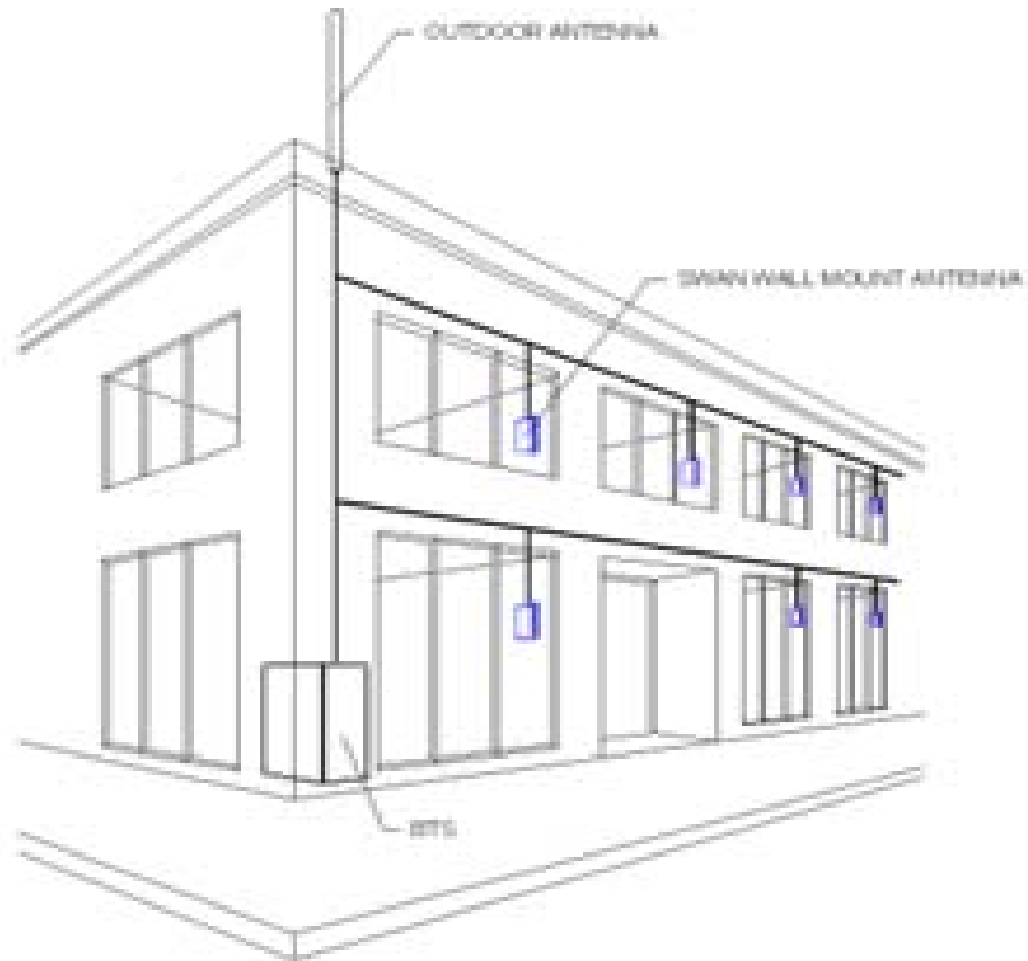
UMTS mobile phones will not only transmit voice, but also data, pictures and videos – and even faster than before.



Intermodulation Products από GSM 900, GSM 1800 στο UMTS



Κάλυψη Εσωτερικού Χώρου



Κάλυψη Εξωτερικού Χώρου

