



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Ενότητα 2: Βασικές αρχές των κυψελωτών
συστημάτων κινητών επικοινωνιών

Νικόλαος Πασσάς

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

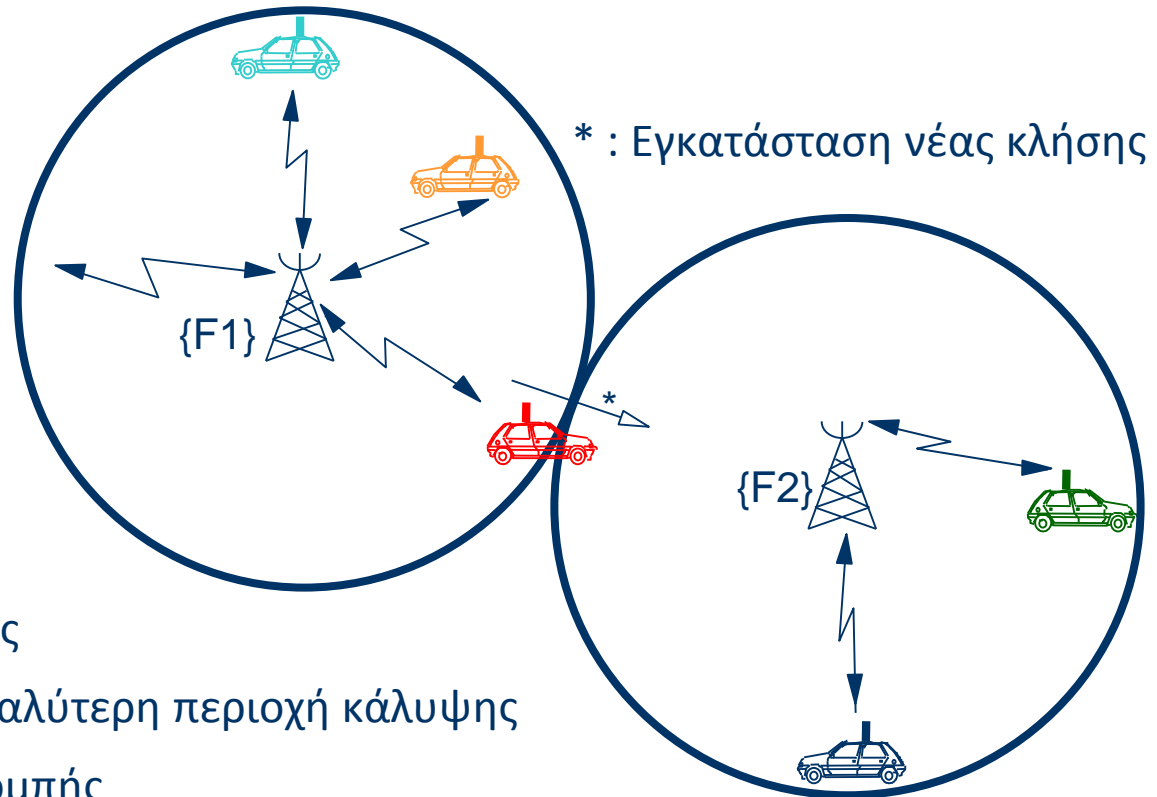
Περιγραφή ενότητας

- Κυψελωτή δομή
- Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων
 - Μονοδιάστατα κυψελωτά συστήματα
 - Κυψελωτά συστήματα δύο διαστάσεων
- Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα
 - Ένταση κίνησης
 - Συγκέντρωση – Βαθμός εξυπηρέτησης
 - Συστήματα Erlang-B και Erlang-C
- Φασματική απόδοση κυψελωτών συστημάτων
- Κυψελωτά συστήματα απλωμένου φάσματος



Βασικές αρχές των κυψελωτών συστημάτων κινητών επικοινωνιών

Συμβατικά συστήματα ραδιοεπικοινωνιών



- Αυτόνομες περιοχές
- Όσο το δυνατό μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης
- Μεγάλη ισχύς εκπομπής
- Όχι διαπομπές

Εικόνα 1.

Χαρακτηριστικά των συμβατικών συστημάτων

- Πολύ καλή ραδιοκάλυψη.
- Λειτουργία σε χαμηλές συχνότητες.
- Δυσκολία στην επαναχρησιμοποίηση των ίδιων συχνοτήτων στην περιοχή εξυπηρέτησης.
- Περιορισμένος αριθμός ταυτόχρονα εξυπηρετούμενων χρηστών.
- Μη αποδοτική χρησιμοποίηση του φάσματος.

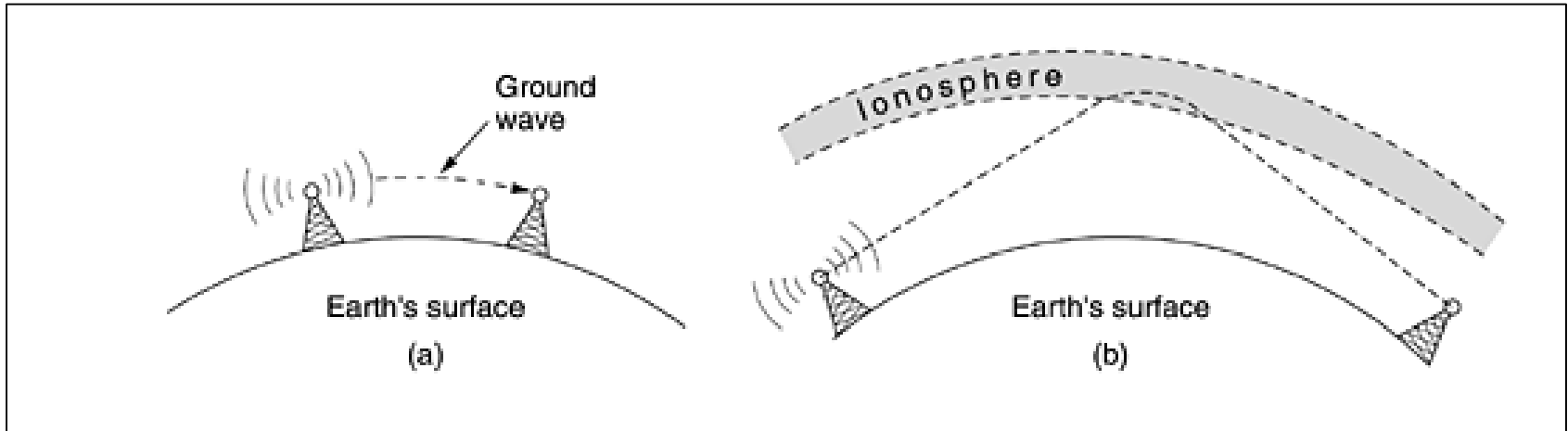


Διάδοση Ραδιοκυμάτων (1)

- Τα ραδιοκύματα χαμηλής συχνότητας (VLF, LF, and MF)
 - ακολουθούν την καμπύλη της γης και μεταδίδονται επίγεια (π.χ. AM)
 - διαπερνούν φυσικά εμπόδια
 - η ισχύς του μειώνεται γρήγορα
- Τα ραδιοκύματα υψηλής συχνότητας (HF and VHF)
 - απορροφώνται από τη γη, αλλά ανακλώνται από την ιονόσφαιρα (π.χ. FM)
 - δεν διαπερνούν φυσικά εμπόδια
 - η ισχύς τους διατηρείται σε μεγάλη απόσταση



Διάδοση Ραδιοκυμάτων (2)



Εικόνα 2.

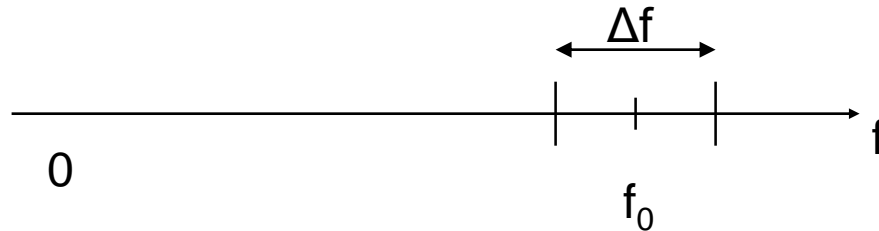


Προβλήματα Ραδιοκυμάτων

- θόρυβος από εξωτερικές ηλεκτρομαγνητικές πηγές (noise)
- εξασθένιση σήματος (path loss)
- πολυοδική διάθλαση σήματος (multipath fading)
- παρεμβολές μεταξύ γειτονικών καναλιών (inter-channel interference)



Τεχνικές Μετάδοσης Σήματος



- Narrow Band: $\Delta f \ll f_0$
 - most transmission techniques
- Spread Spectrum
 - Frequency Hopping (FH)
 - Direct Sequence (DS)



Στενής Ζώνης (Narrowband)

- Το τερματικό μεταδίδει και λαμβάνει σε συγκεκριμένη συχνότητα
- Χρησιμοποιεί όσο το δυνατόν μικρότερο εύρος συχνότητας
- Οι παρεμβολές αποφεύγονται μόνο με προσεκτική επιλογή συχνοτήτων μετάδοσης
- Χαμηλό κόστος
- Χαμηλή αξιοπιστία και ασφάλεια



Φασματικής Εξάπλωσης (Spread Spectrum) (1)

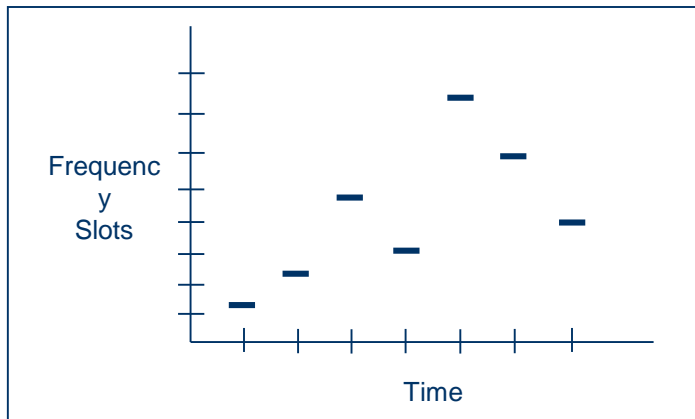
- Ακριβότερο σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί μεγαλύτερο εύρος ζώνης
- Μεγαλύτερη αξιοπιστία και ασφάλεια
- Αν ο δέκτης δε γνωρίζει τον αλγόριθμο μετάδοσης λαμβάνει τα δεδομένα σα θόρυβο

Δύο βασικές κατηγορίες:

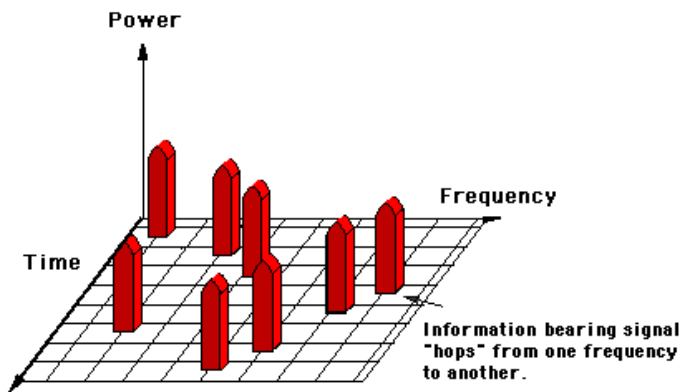
- Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS)
- Direct-Sequence Spread Spectrum (DSSS)



Φασματικής Εξάπλωσης (Spread Spectrum) (2)



FHSS



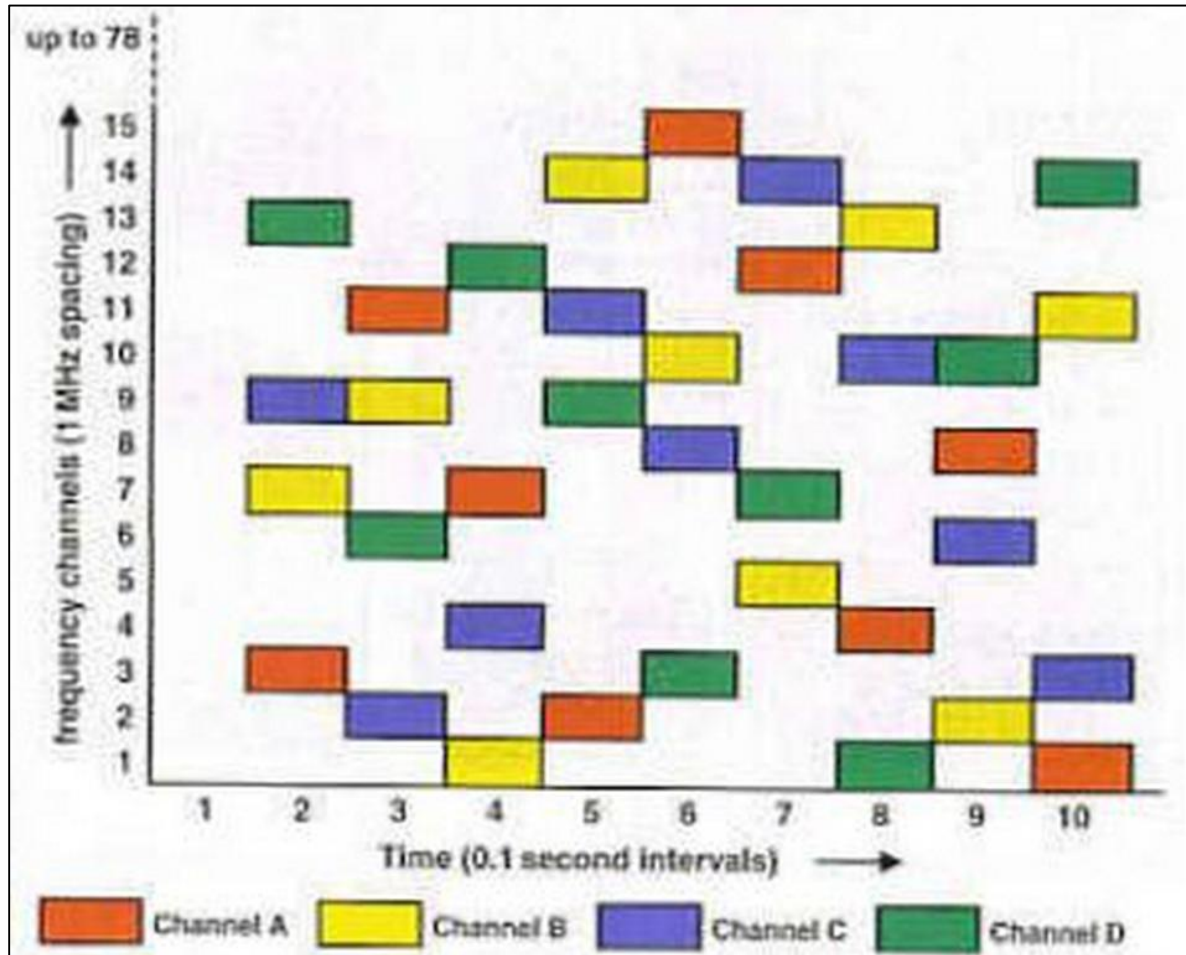
Εικόνα 3.

Απαιτεί:

- Μεγάλο εύρος φάσματος
- Γνώση του αλγορίθμου μετάβασης
- Πλήρη συγχρονισμό πομπού και δέκτη
- Πιθανές συγκρούσεις

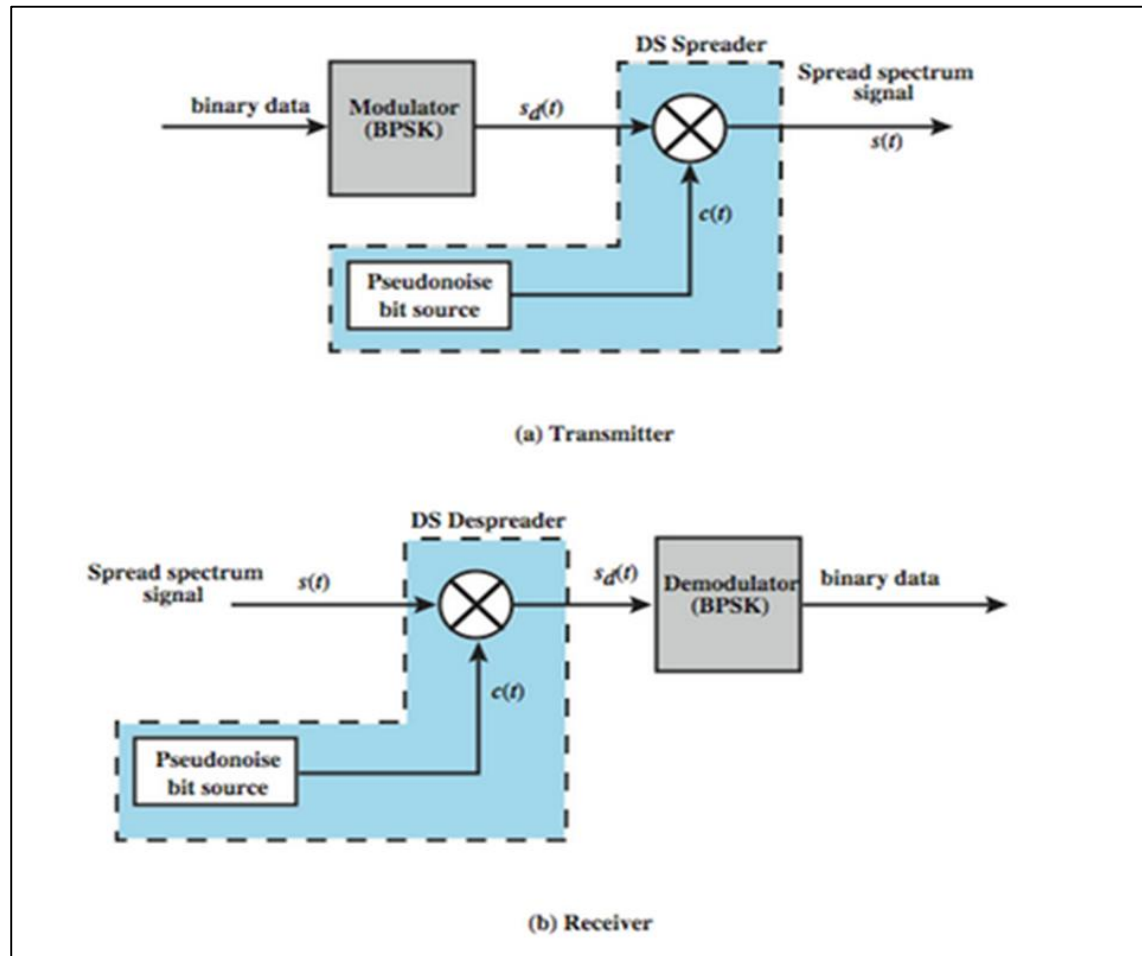


FHSS



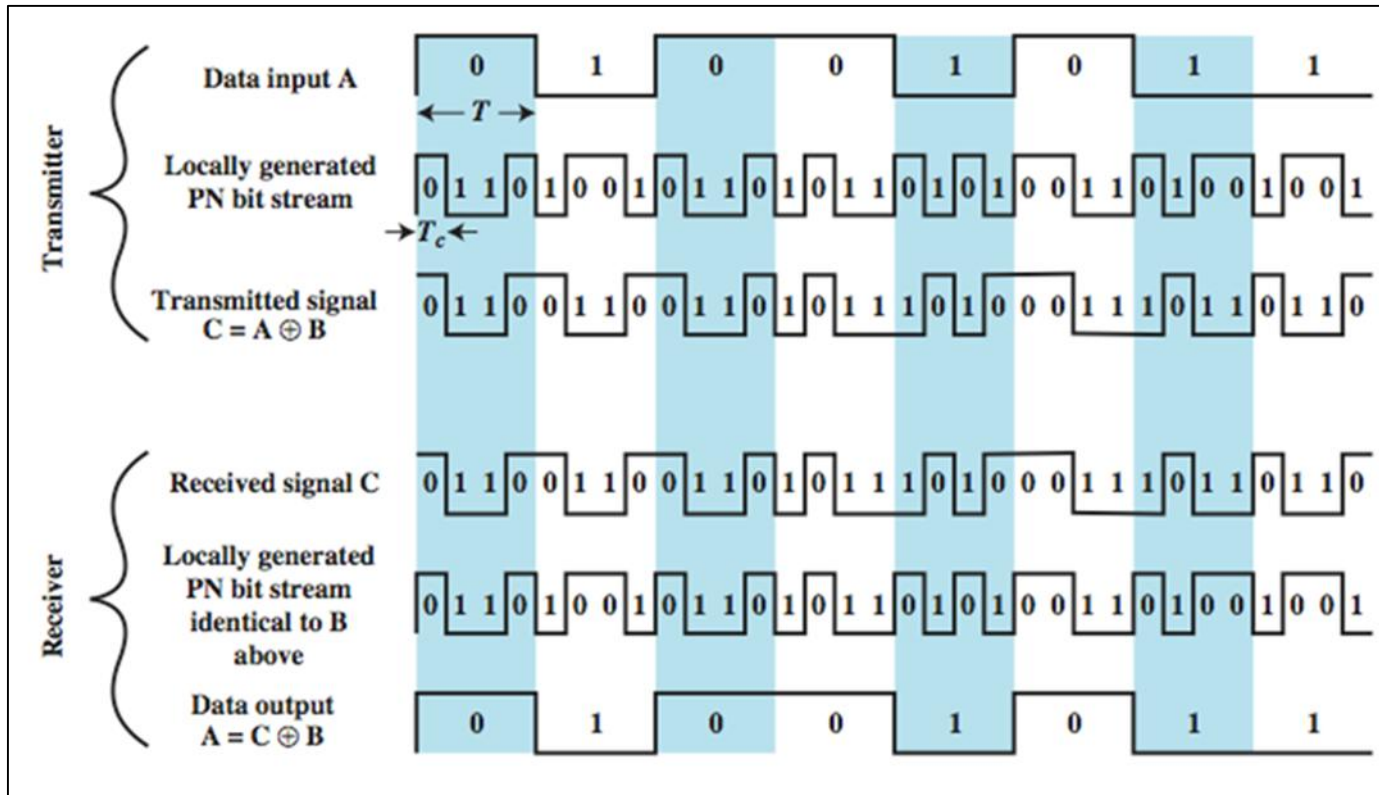
Εικόνα 4.

DSSS (1)



Εικόνα 5.

DSSS (2)



Εικόνα 6.

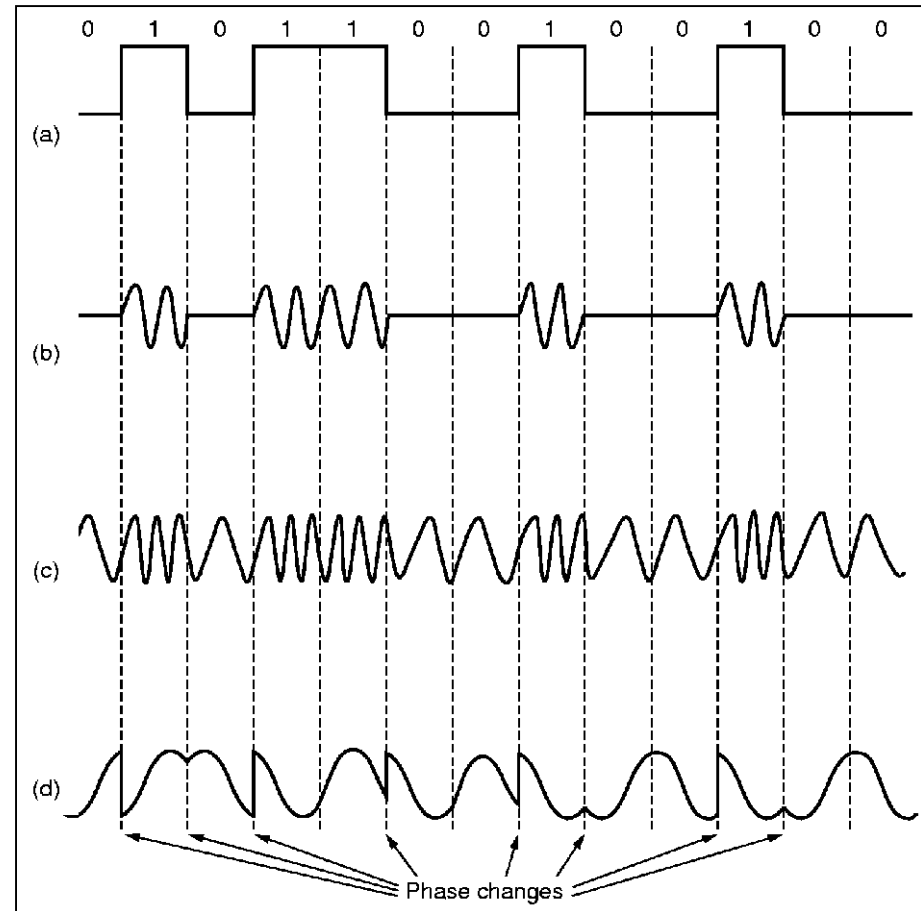
Διαμόρφωση Σήματος

- **Baseband:** Μετάδοση αδιαμόρφωτου σήματος
 - Μεγάλο εύρος σχετικά χαμηλών συχνοτήτων
 - Μεγάλη εξασθένιση και περιορισμένη μετάδοση
 - Καλό μόνο για μικρές αποστάσεις και χαμηλές ταχύτητες
- **Διαμόρφωση:** η ελεγχόμενη αλλαγή ενός παράγοντα του φέροντος σήματος (carrier) με βάση την πληροφορία που επιθυμούμε να μεταδώσουμε
 - Εύρος
 - Συχνότητα
 - Φάση
- **Modem:** Συσκευή διαμόρφωσης/αποδιαμόρφωσης (modulator/demodulator)



Διαμόρφωση Σήματος (Modulation) (1)

1. μη διαμορφωμένο (ψηφιακό) σήμα
 2. διαμόρφωση εύρους (AM)
 3. διαμόρφωση συχνότητας (FM) FSK (frequency shift keying) τεχνική για ψηφιακά σήματα
 4. διαμόρφωση φάσης (PM) PSK (phase shift keying) τεχνική για ψηφιακά σήματα
- f : **φέρουσα** συχνότητα



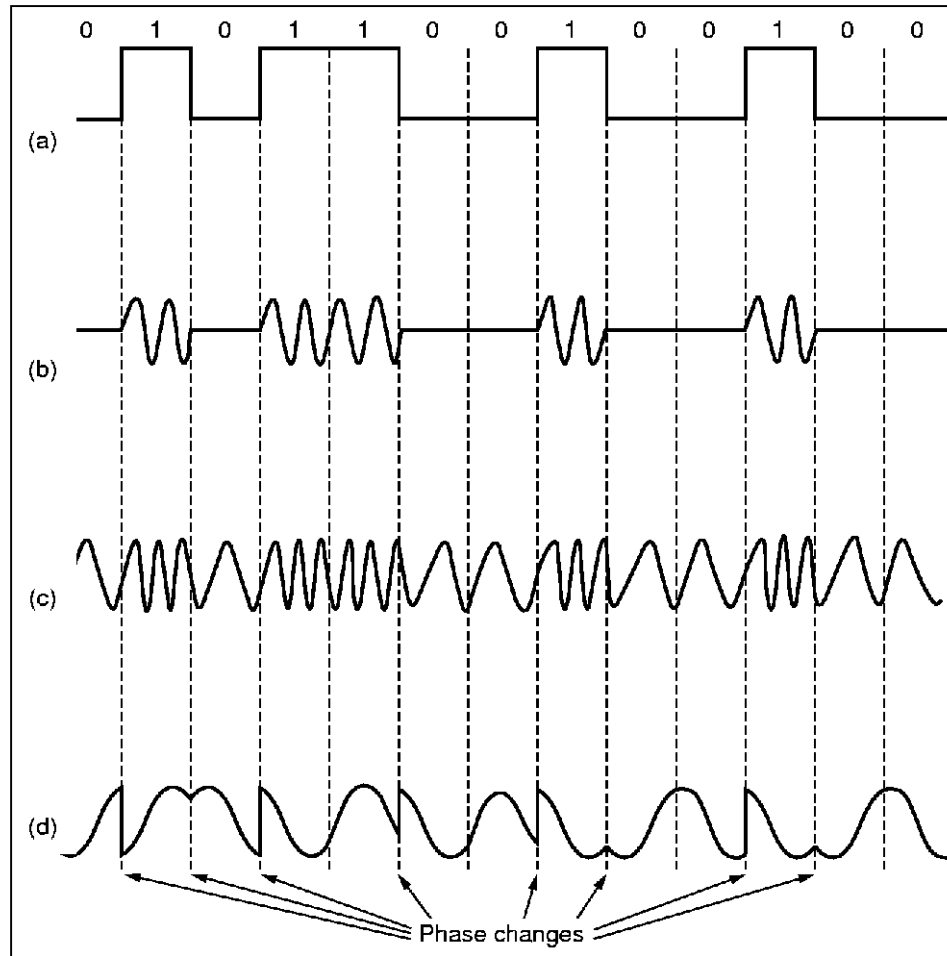
Εικόνα 7.

Διαμόρφωση Σήματος (Modulation) (2)

- Sample. Sample Rate = Samples/sec (Baud Rate)
 - Κατά τη διάρκεια ενός Sample στέλνεται ένα “symbol”
- Symbol = ελάχιστο τμήμα πληροφορίας
 - Στην απλούστερη περίπτωση AM με : 1 symbol = 1 bit (0/1) = voltage/no voltage
- Για να αυξήσουμε την ταχύτητα μετάδοσης δε μπορούμε να μειώνουμε το sample επ’ άπειρον.
- Μπορούμε όμως να αυξάνουμε τον αριθμό των πιθανών symbols (επιπέδων έντασης μετάδοσης, δηλαδή εύρους σήματος) του AM
- Συνηθέστερος συνδυασμός της τεχνικής αυτής με PSK.



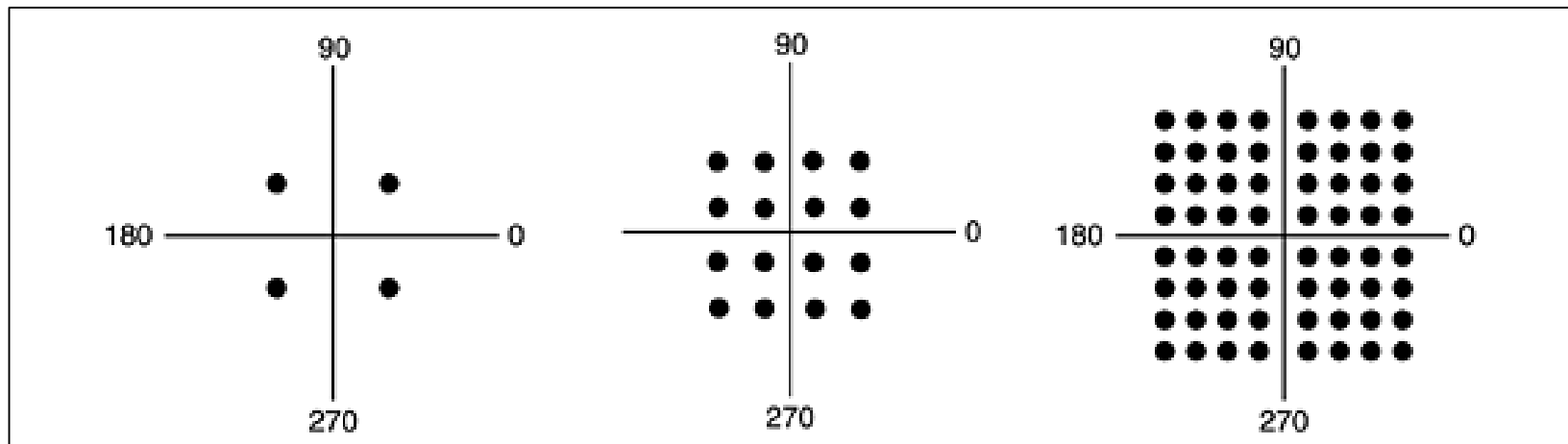
Διαμόρφωση Σήματος (Modulation) (3)



Εικόνα 7.

Multiple modulations

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



Εικόνα 8.

QPSK

QAM-16

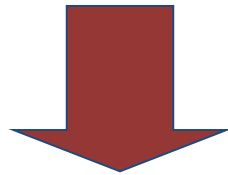
QAM-64



Κυψελωτή δομή

Το ιδανικό σύστημα κινητών επικοινωνιών θα πρέπει:

- Να λειτουργεί σε μια περιορισμένη και προκαθορισμένη ζώνη (υψηλών) συχνοτήτων.
- Να εξυπηρετεί σχεδόν απεριόριστο αριθμό χρηστών σε απεριόριστες, όσο αφορά την έκτασή τους, γεωγραφικές περιοχές.



- Κυψελωτό σύστημα.
- Όχι πολύ μεγάλες τεχνολογικές αλλαγές.



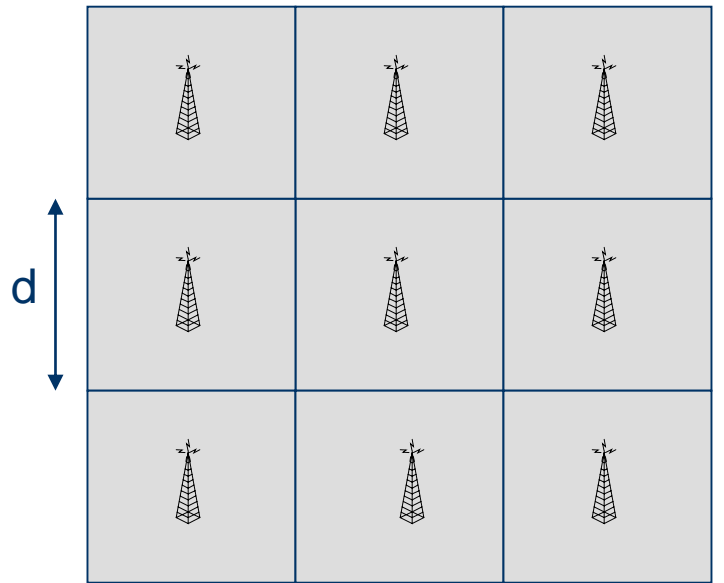
Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων (1)

- Αντικατάσταση ενός πομπού μεγάλης ισχύος από πολλούς πομπούς μικρής ισχύος, ο καθένας από τους οποίους καλύπτει μικρό τμήμα της περιοχής εξυπηρέτησης του συστήματος (κυψέλη-cell).
- Σε κάθε σταθμό βάσης κατανέμεται ένα μέρος του συνόλου των διαύλων που διατίθενται για το σύστημα.
- Σε γειτονικούς σταθμούς κατανέμονται διαφορετικές ομάδες διαύλων.
- Όλοι οι διαθέσιμοι δίαυλοι κατανέμονται σε σχετικά μικρό αριθμό γειτονικών σταθμών βάσης.



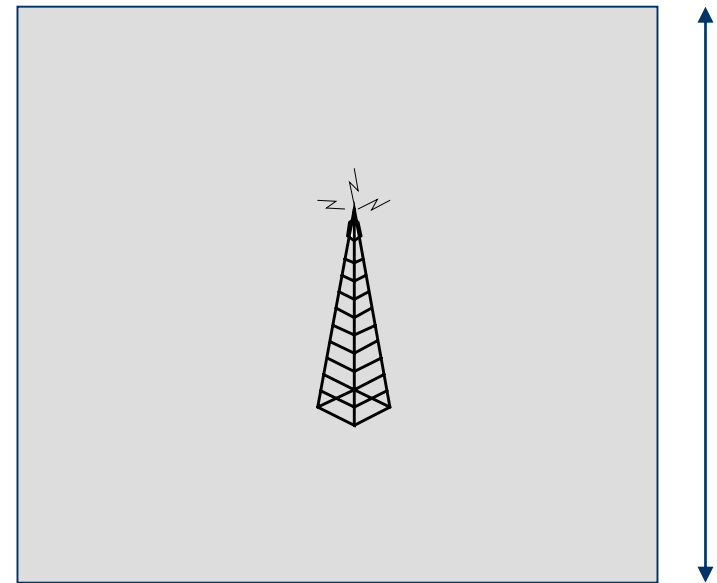
Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων (2)

System 1



Low cost base-stations covering a small area

System 2

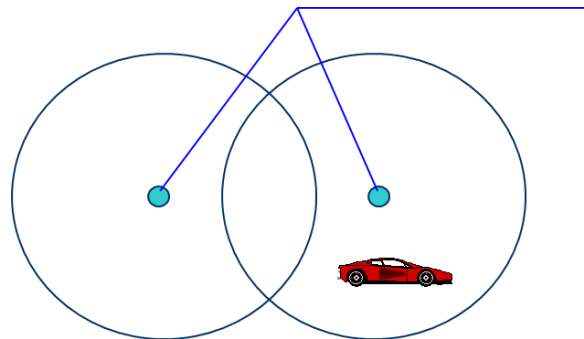


High cost base-stations covering a large area

Εικόνα 9.

Η Βασική ιδέα

- Σύνδεση στο ενσύρματο δίκτυο με μια μόνο ασύρματη ζεύξη (Single hop)
 - Ο χώρος διαιρείται σε κελιά – κύτταρα (**cells**)
 - Ένας σταθμός βάσης (**base station**) αναλαμβάνει την ασύρματη επικοινωνία με τους χρήστες μέσα σε ένα κελί (cell)
 - Οι κινούμενοι χρήστες μπορούν να αλλάζουν κελιά ενώ επικοινωνούν
 - Μεταπομπή (Hand-off) λαμβάνει χώρα όταν ένας κινούμενος χρήστης αρχίζει να επικοινωνεί μέσω ενός νέου σταθμού βάσης



Εικόνα 10.



Η Βασική ιδέα, συνέχεια

- Παράγοντες που ρυθμίζουν το μέγεθος των κελιών
 - Αριθμός χρηστών που πρέπει να υποστηριχθούν
 - Τεχνολογίες πολυπλεξίας και εκπομπής (διαμόρφωσης, κωδικοποίησης κ.λπ.)
 - ...



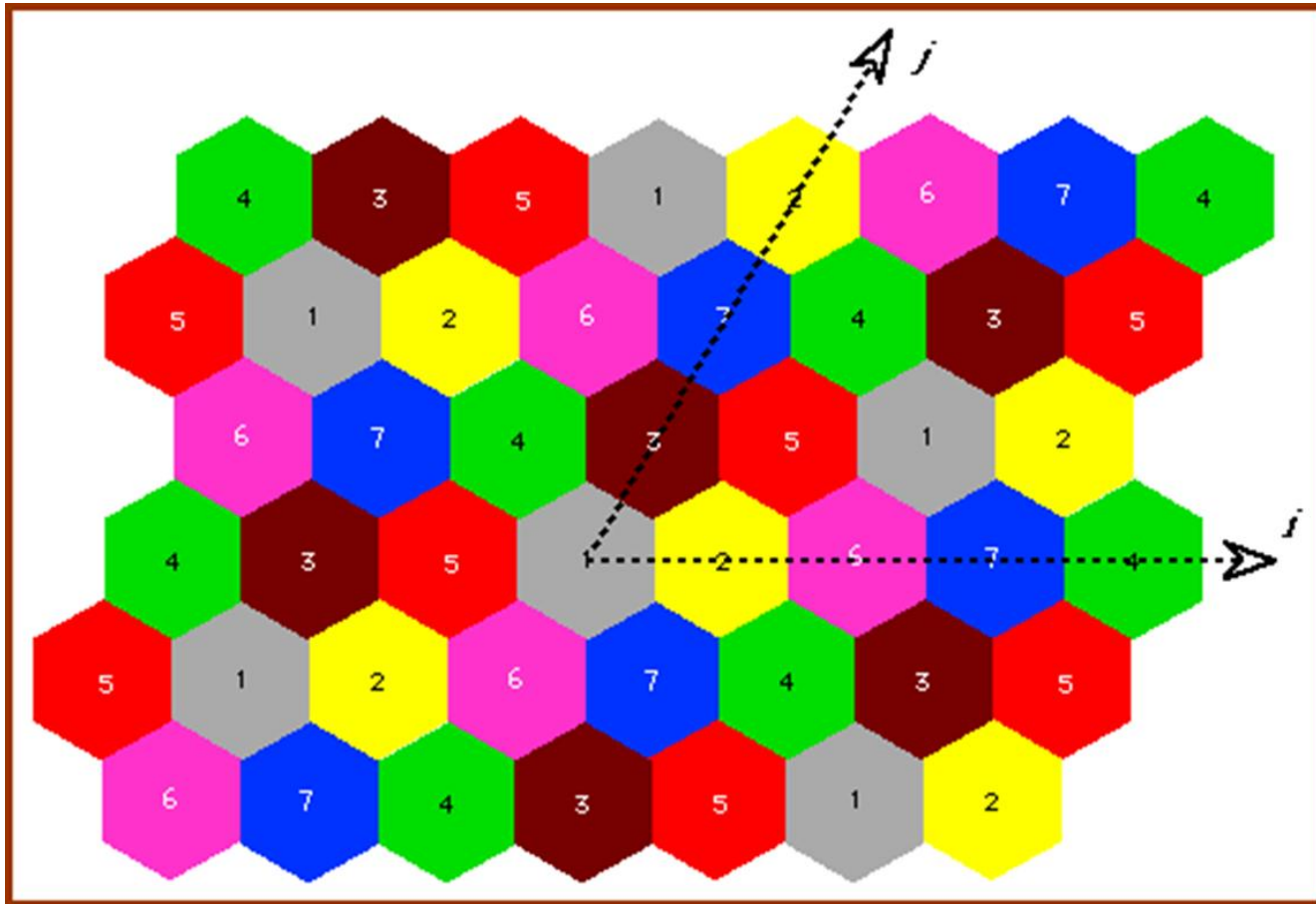
Κυψελωτή δομή -

Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων (1)

- Μια ομάδα ραδιοδιαύλων χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση περισσότερων της μιας γεωγραφικών περιοχών (επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων).
- Οι παρεμβολές στη λήψη για χρήστες (τερματικά) που βρίσκονται σε διαφορετικές κυψέλες πρέπει να είναι αμελητέες ή κάτω από μια αποδεκτή στάθμη.
- Διαισθητικά, δύο γεωγραφικές περιοχές που χρησιμοποιούν τις ίδιες ομάδες συχνοτήτων πρέπει να απέχουν επαρκώς μεταξύ τους.

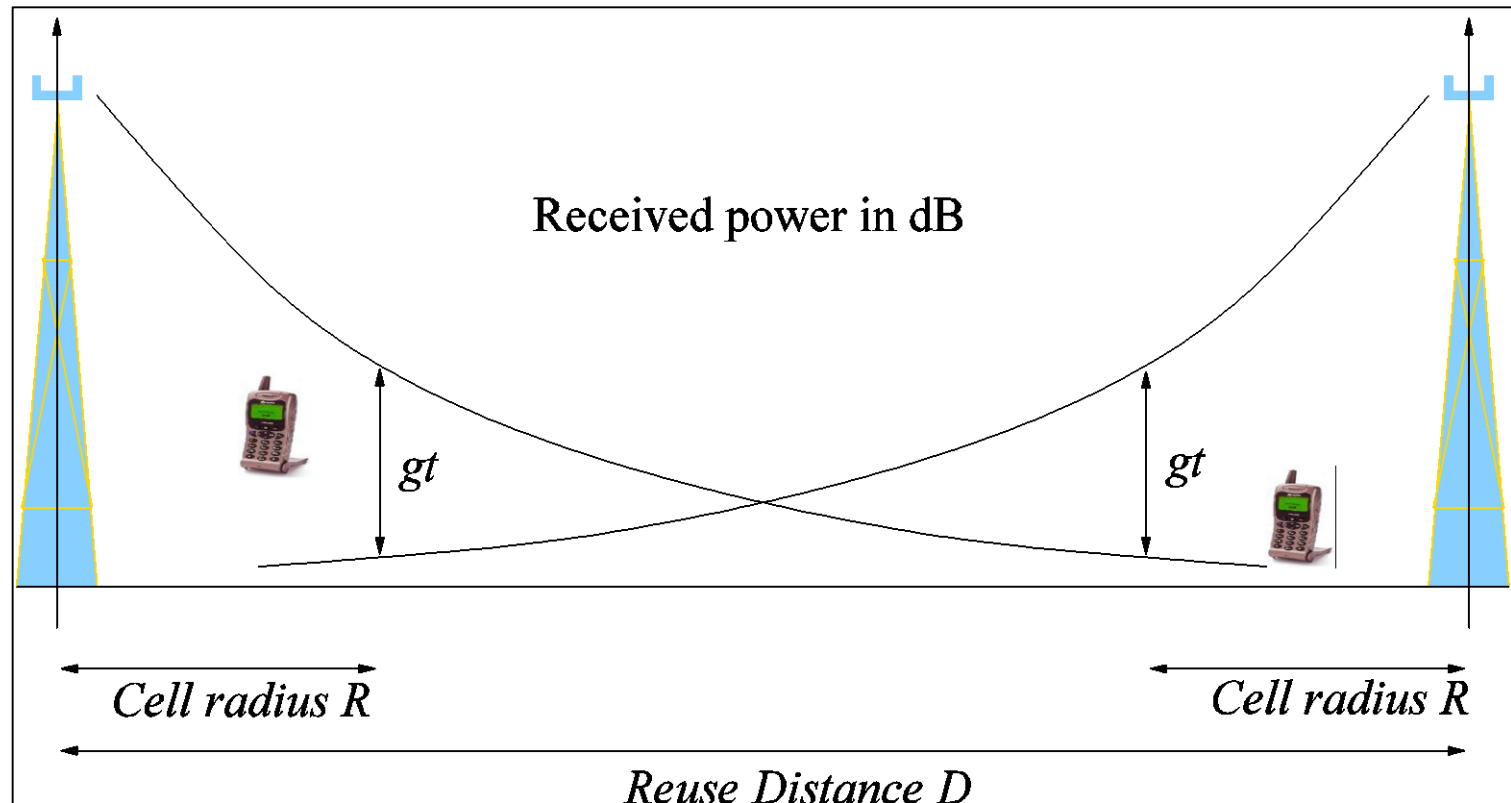


Κυψελωτή δομή - Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων (2)



Εικόνα 11.

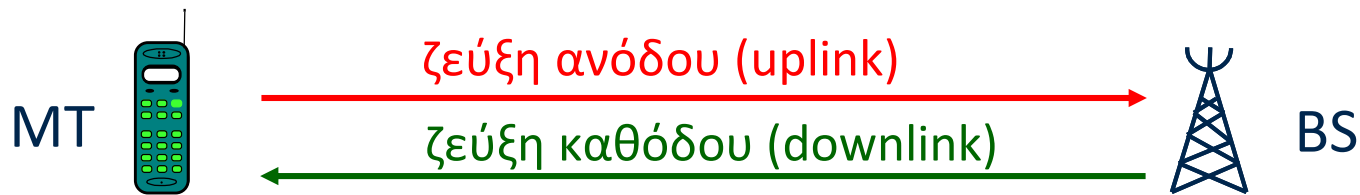
Κυψελωτή δομή - Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων (3)



Εικόνα 12.

Κυψελωτή δομή - Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων (4)

- Κάθε κυψέλη έχει μια μονάδα εκπομπής λήψης, τον σταθμό βάσης (Base Station, BS) που αποτελεί και σημείο πρόσβασης (Access Point, AP) στο σύστημα.



- Η περιοχή εξυπηρέτησης του συστήματος απαρτίζεται από ένα σύνολο κυψελών.
- Μια ομάδα κυψελών που χρησιμοποιεί διαφορετικές συχνότητες σε κάθε κυψέλη ονομάζεται ομάδα επαναχρησιμοποίησης (reuse cluster).
- Κυψέλες που χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες ονομάζονται ομοδιαυλικές (co-channel cells).

Κυψελωτή δομή - Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων (5)

- Έστω:
 - M : ο συνολικός αριθμός των διαύλων του συστήματος χωρίς επαναχρησιμοποίηση, $M = B_s/W$.
 - K : ο αριθμός των κυψελών σε κάθε ομάδα επαναχρησιμοποίησης.
 - C_c : ο αριθμός των διαύλων κάθε κυψέλης.



$$M = K \times C_c \quad \acute{\eta} \quad C_c = M \times \frac{1}{K}$$

- Η επαναχρησιμοποίηση ανά K κυψέλες προσφέρει χρήση $1/K$ του φάσματος σε κάθε κυψέλη.



Κυψελωτή δομή - Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων (6)

- Αν N_c είναι ο συνολικός αριθμός των κυψελών του συστήματος και C ο συνολικός αριθμός των διαύλων στην περιοχή εξυπηρέτησης του συστήματος



$$C = N_c \times C_c = N_c \times \frac{M}{K}$$

Για δοθέν φάσμα (δοθέν M) και τον ίδιο αριθμό κυψελών, όταν $K \downarrow \Rightarrow C \uparrow$, διότι $C_c \uparrow$.

Επίσης, όταν $K \downarrow \Rightarrow J \uparrow$, όπου $J = N_c / K$ είναι το πλήθος των ομάδων επαναχρησιμοποίησης φάσματος.

Το K όμως εξαρτάται από την επιτρεπόμενη στάθμη ομοδιαυλικής παρεμβολής.



Κυψελωτή δομή - Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων (7)

• **Παράδειγμα**

Κυψελωτό σύστημα χρησιμοποιεί φάσμα με συνολικό αριθμό διαύλων $M=300$. Το εμβαδό κάθε κυψέλης είναι 6 km^2 και η περιοχή εξυπηρέτησης του συστήματος είναι 2100 km^2 .

- α. Ποιος είναι ο συνολικός αριθμός διαύλων C στην περιοχή εξυπηρέτησης για $K=7$;
- β. Πόσες φορές επαναχρησιμοποιείται το φάσμα για να καλυφθεί η ίδια περιοχή εξυπηρέτησης, όταν $K=7$;
- γ. Πόσο αυξάνει η χωρητικότητα του συστήματος με τη μείωση του K από 7 σε 4;



Κυψελωτή δομή - Χωρητικότητα

- Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη χωρητικότητα:
 - Το διατιθέμενο εύρος ζώνης.
 - Το μέγεθος των κυψελών.
 - Η στάθμη της παρεμβολής που μπορεί να είναι ανεκτή σε έναν ραδιοδίαυλο, η οποία καθορίζει το K .
 - Η κοινή ασύρματη διεπαφή, πάνω από την οποία επικοινωνούν οι χρήστες.
 - Οι δυνατότητες διαμόρφωσης των διαύλων



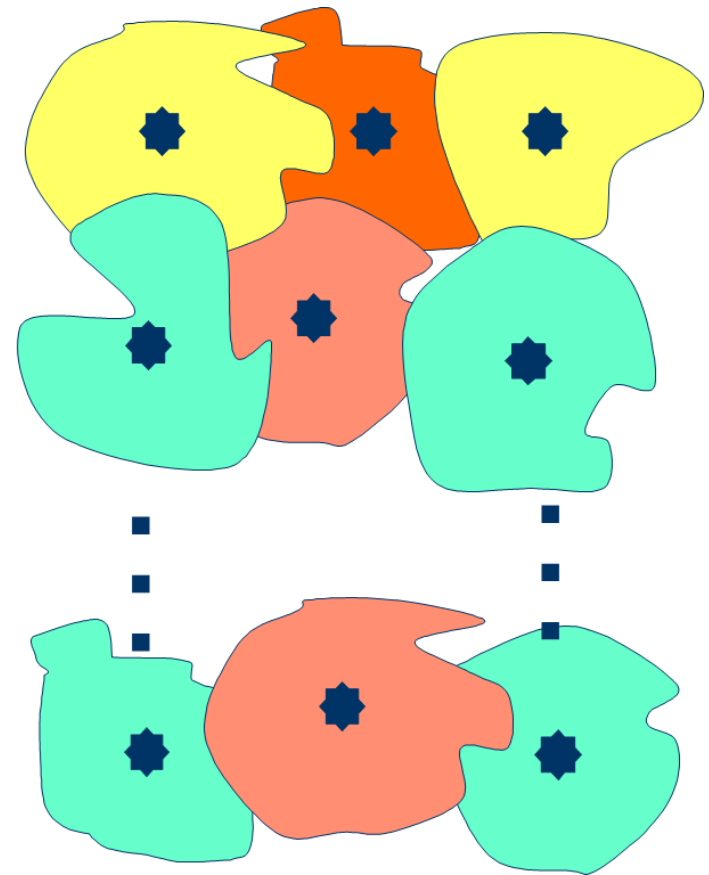
Περιορισμοί στην επαναχρησιμοποίηση

- Η αμοιβαία παρεμβολή διαύλων της ίδιας συχνότητας, οι οποίοι λειτουργούν σε διαφορετικές κυψέλες ονομάζεται **ομοδιαυλική παρεμβολή (*co-channel interference*)**.
- Ο καθορισμός της επαρκούς απόστασης D μεταξύ των ομοδιαυλικών κυψελών και της επιτρεπόμενης παρεμβολής είναι έργο της σχεδίασης των κυψελωτών συστημάτων.
- **D : απόσταση επαναχρησιμοποίησης συχνότητας (*frequency reuse distance*)**



Πραγματική κυψελωτή δομή

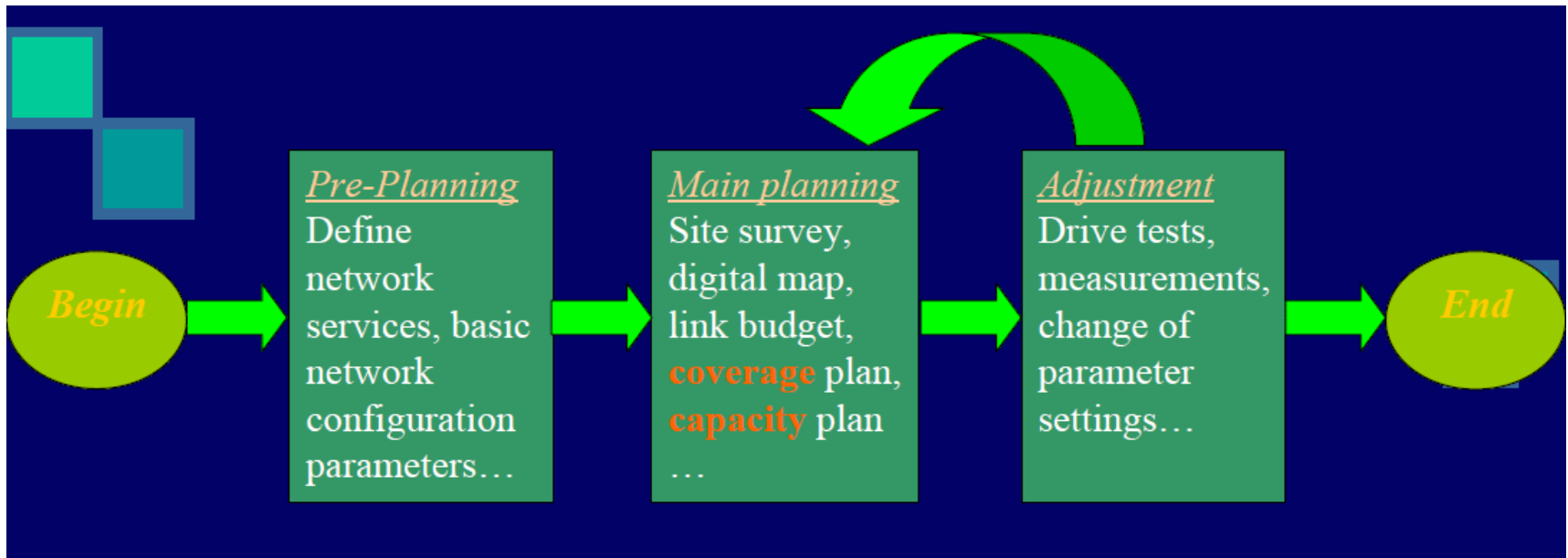
Ένα ενδιαφέρον σχεδιαστικό πρόβλημα είναι η τοποθέτηση των σταθμών βάσης κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οι περιοχές χωρίς κάλυψη να μην υπερβαίνουν κάποιο αποδεκτό όριο και οι ομοδιαυλικές παρεμβολές να μειώνονται στο ελάχιστο.



Εικόνα 13.



Network Planning



Εικόνα 14.

Ιδανική κυψελωτή δομή (1)

Θεωρούμε ότι:

- Έχουμε ιδανική ραδιοδιάδοση και στη ζεύξη καθόδου και στη ζεύξη ανόδου.
- Η ισχύς του σήματος μειώνεται ανάλογα με το d^{-n} .
- Για τις ασύρματες ζεύξεις του συστήματος ισχύει η αρχή της αντιστροφής.



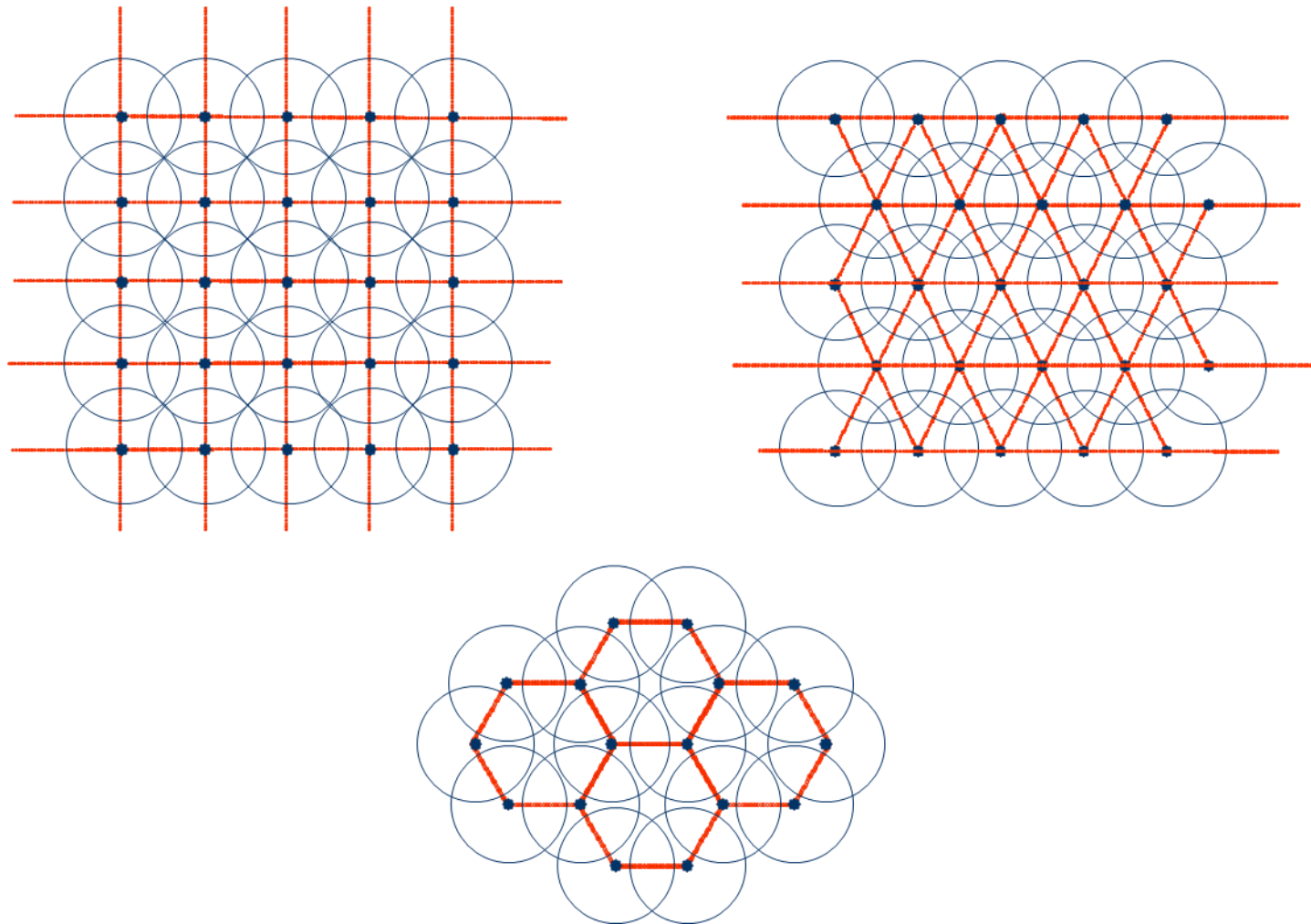
Ιδανική κυψελωτή δομή (2)

Σε ένα ιδανικό κυψελωτό σύστημα:

- Οι κυψέλες θα είναι κυκλικές.
- Η περιοχή εξυπηρέτησης μπορεί να καλυφθεί με σταθμούς βάσης διατεταγμένους σε τετραγωνικά, τριγωνικά ή εξαγωνικά πλέγματα.



Ιδανική κυψελωτή δομή (3)

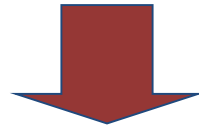


Εικόνα 15.



Ιδανική κυψελωτή δομή (4)

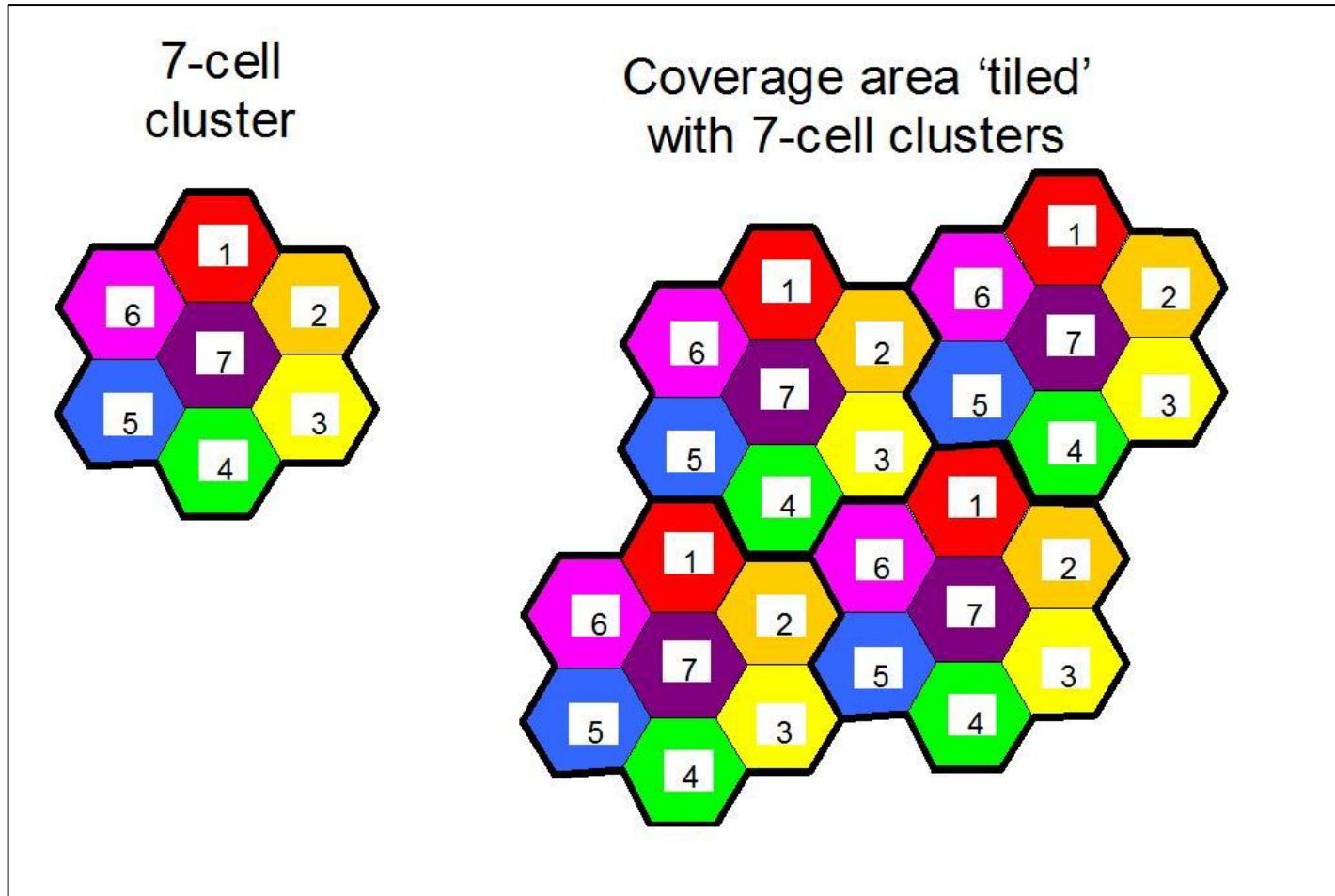
- Για να αποφευχθούν οι επικαλυπτόμενες περιοχές και για να έχουμε καλύτερη προσέγγιση στη μελέτη των κυψελωτών συστημάτων.



- Κυψέλες με σχήμα κανονικού πολυγώνου.
 - Τρίγωνο, τετράγωνο και εξαγώνο
- Οι ιδανικές αναπαραστάσεις των κυψελών είναι χρήσιμες, όταν ασχολείται κάποιος με θέματα επίδοσης των συστημάτων.

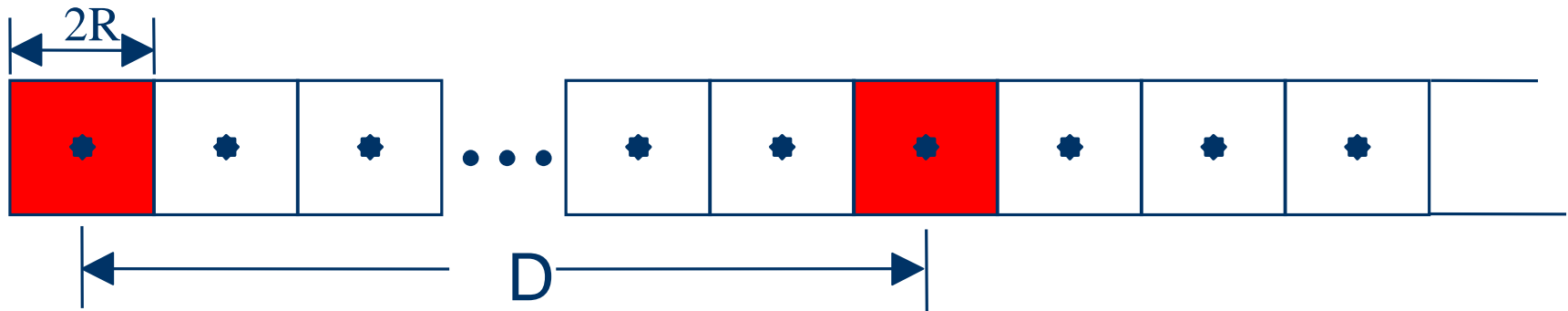


Ιδανική κυψελωτή δομή (5)



Εικόνα 16.

Ιδανική κυψελωτή δομή (6)



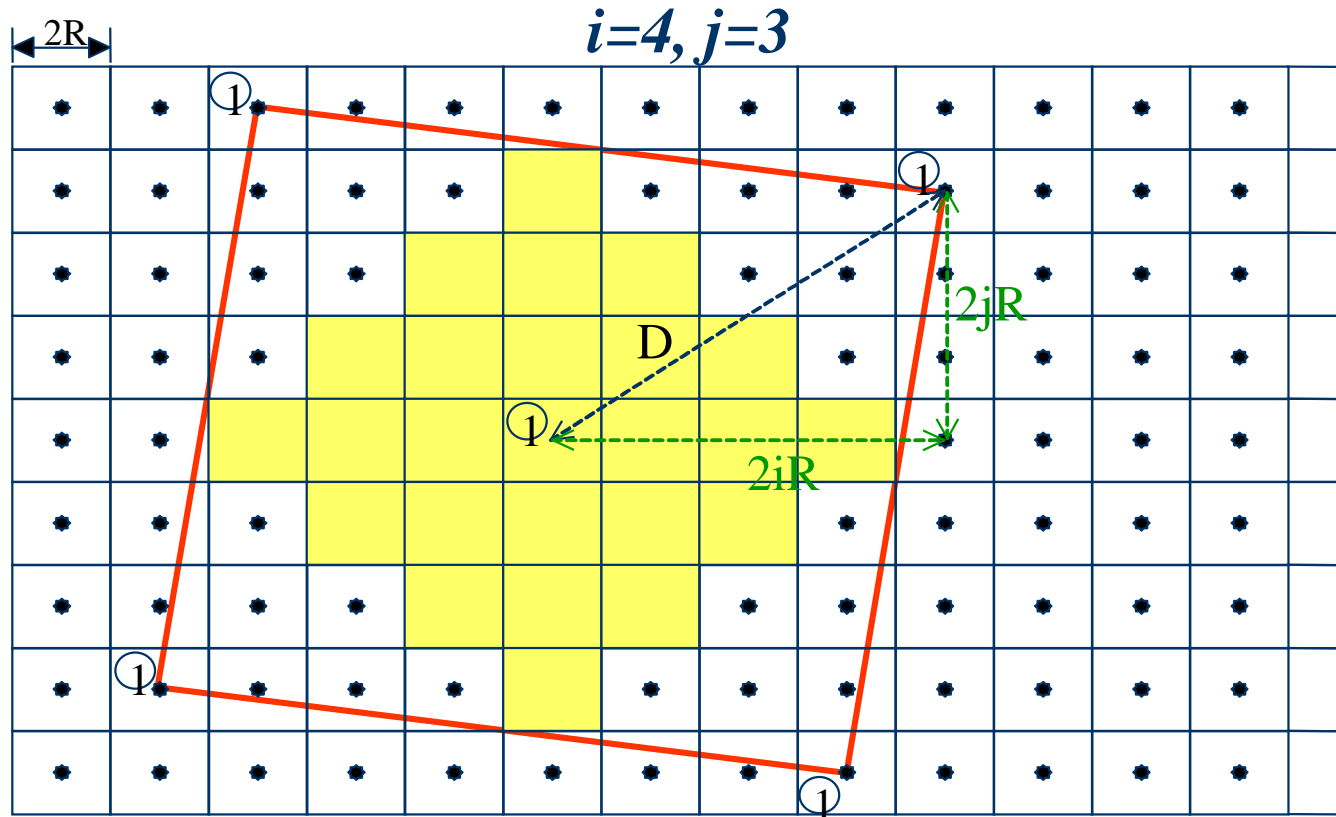
Εικόνα 17.

$$K = \frac{D}{2R}$$

$$K = \frac{D \times (2R)}{(2R)^2} = \frac{S_K}{S_c}$$

Συστήματα δύο διαστάσεων - Τετραγωνικές κυψέλες (1)

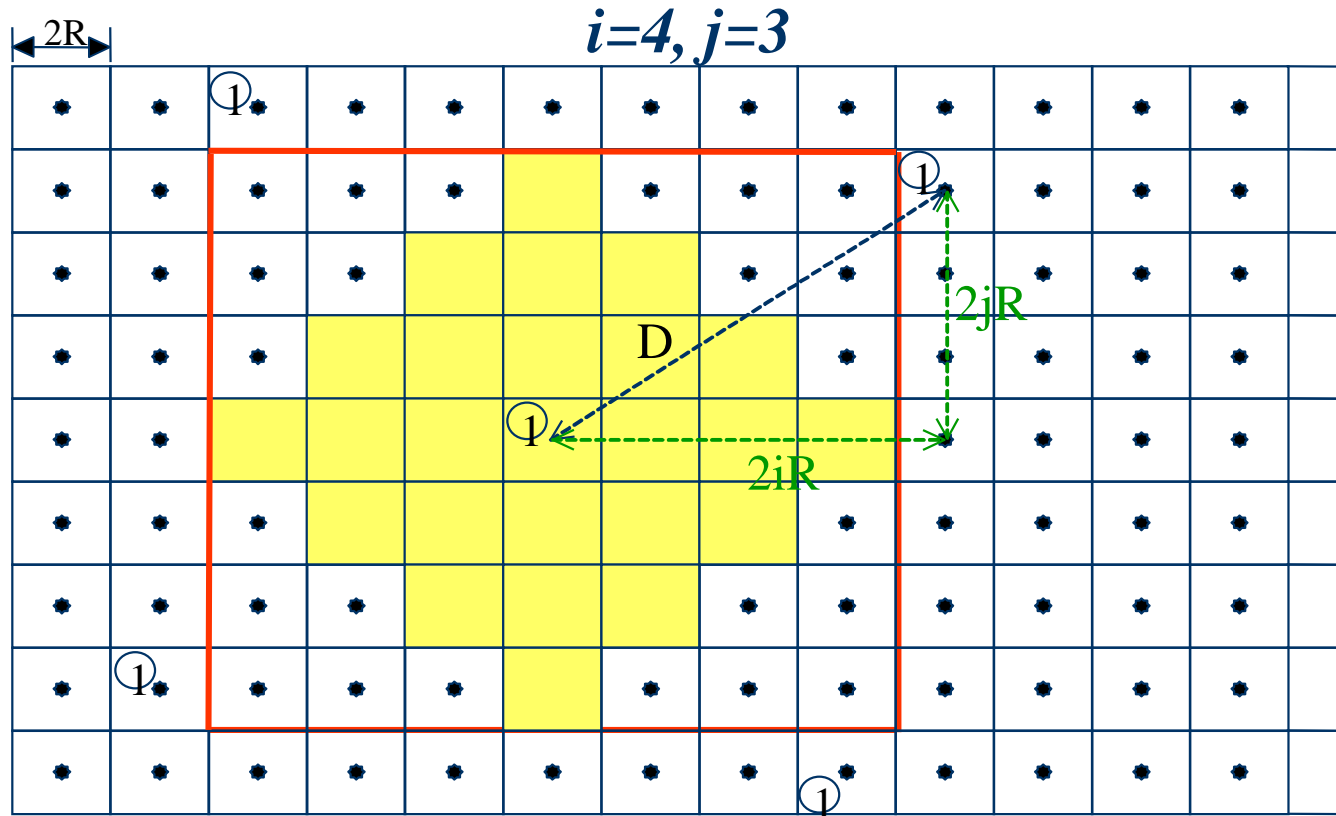
$$D^2 = (2Ri)^2 + (2Rj)^2 \quad D = 2R \times \sqrt{i^2 + j^2}$$



Εικόνα 18.

Συστήματα δύο διαστάσεων - Τετραγωνικές κυψέλες (2)

$$D^2 = (2Ri)^2 + (2Rj)^2 \quad D = 2R \times \sqrt{i^2 + j^2}$$



Εικόνα 19.

Συστήματα δύο διαστάσεων - Τετραγωνικές κυψέλες (3)

Κυψέλες τετραγώνου:

$$K + 4(K / 4) = 2K$$

Πλευρά τετραγώνου:

$$\sqrt{D^2 + D^2} = \sqrt{2D^2} = D\sqrt{2}$$

Εμβαδόν τετραγώνου:

$$D\sqrt{2} \times D\sqrt{2} = 2D^2$$



Συστήματα δύο διαστάσεων - Τετραγωνικές κυψέλες (4)

$$2K = \frac{S_{D\sqrt{2}}}{S_c} = \frac{2D^2}{(2R)^2} = \frac{2(i^2 + j^2) \times (2R)^2}{(2R)^2} = 2(i^2 + j^2)$$

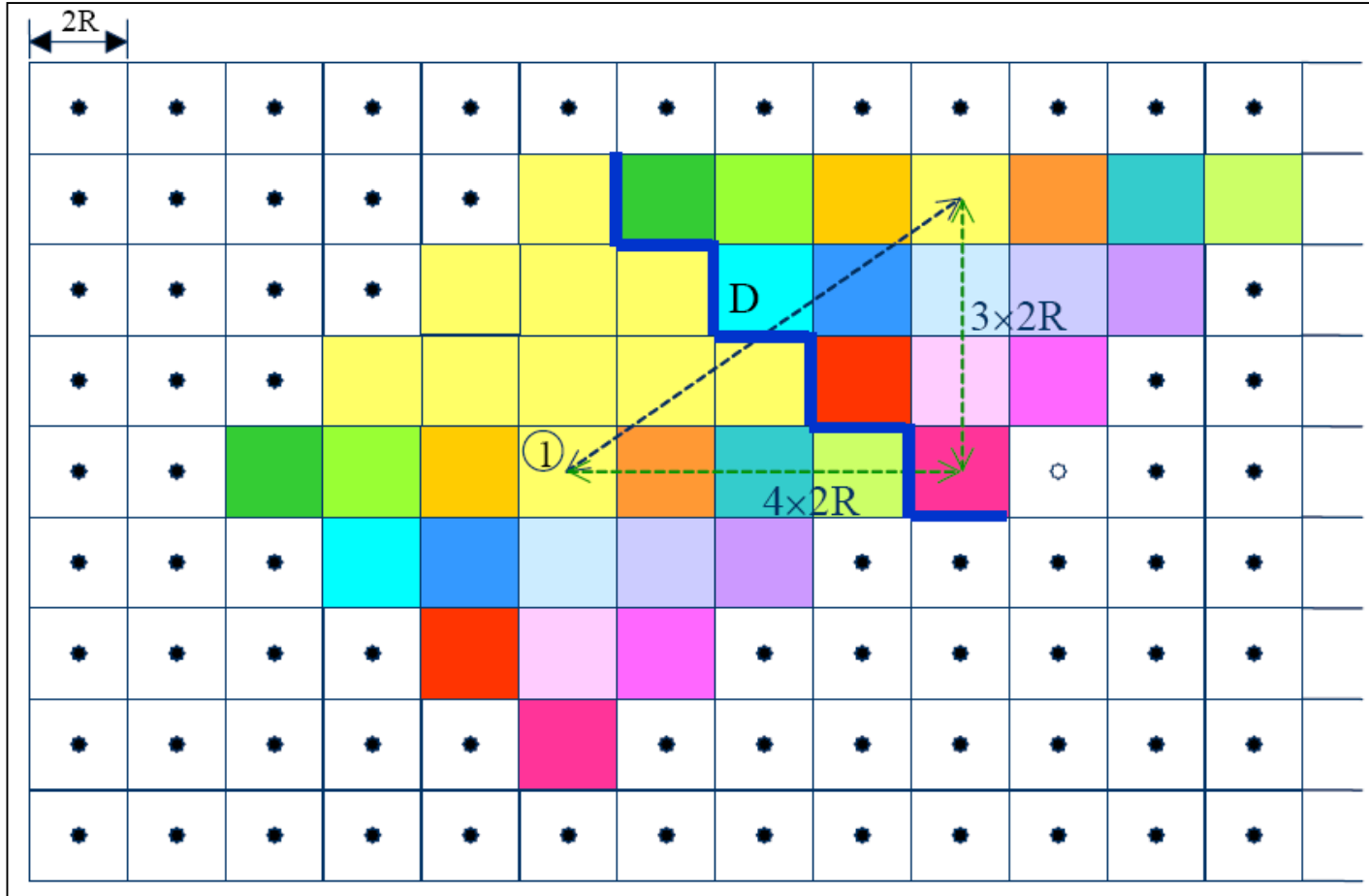
$$K = i^2 + j^2 \quad i, j \text{ ακέραιες τιμές, άρα}$$

$K : 1, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 13, 16, 17, 18, 20, 25, \dots$

$$D = 2R\sqrt{K}$$

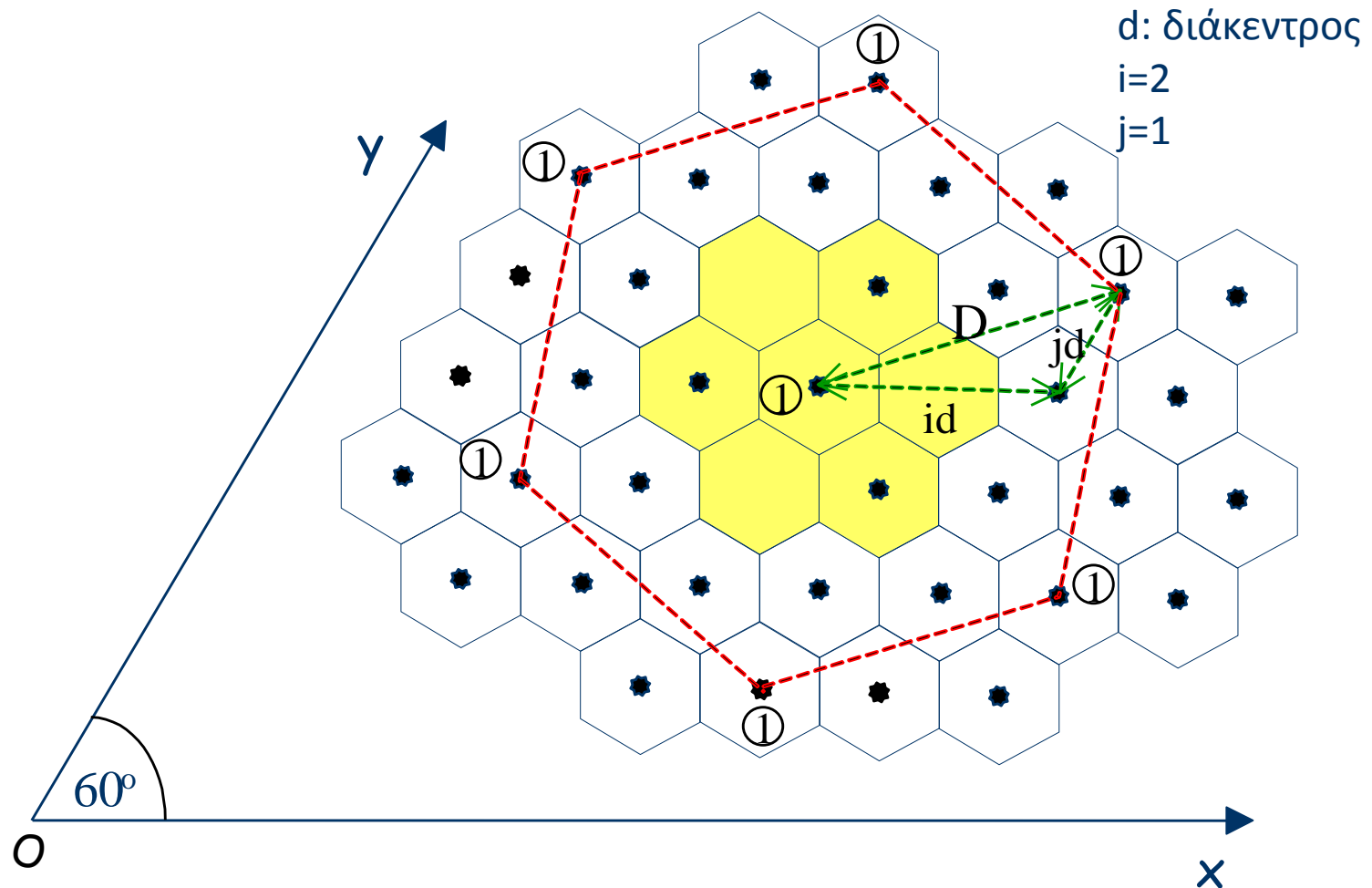


Τετραγωνικές κυψέλες: $K = 25$ ($i=4$, $j=3$)



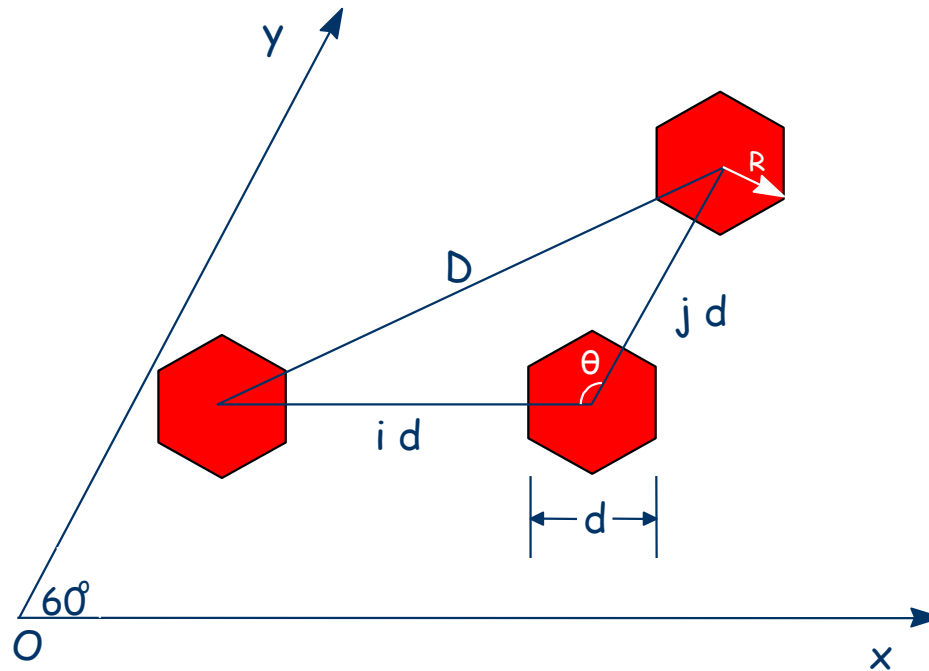
Εικόνα 21.

Εξαγωνικές κυψέλες (1)



Εικόνα 22.

Εξαγωνικές κυψέλες (2)



$$D^2 = (i \cdot d)^2 + (j \cdot d)^2 - 2 \cdot (i \cdot d) \cdot (j \cdot d) \cdot \cos \theta$$

Για $\theta=120^\circ$ $\cos\theta=1/2$

$$D^2 = (i^2 + j^2 + i \cdot j) \cdot d^2$$



Εξαγωνικές κυψέλες (3)

$$D^2 = (i^2 + i \cdot j + j^2) \cdot d^2$$

$$K + 6(K / 3) = 3K$$

$$3K = \frac{S_D}{S_c} = \frac{D^2}{R^2}$$

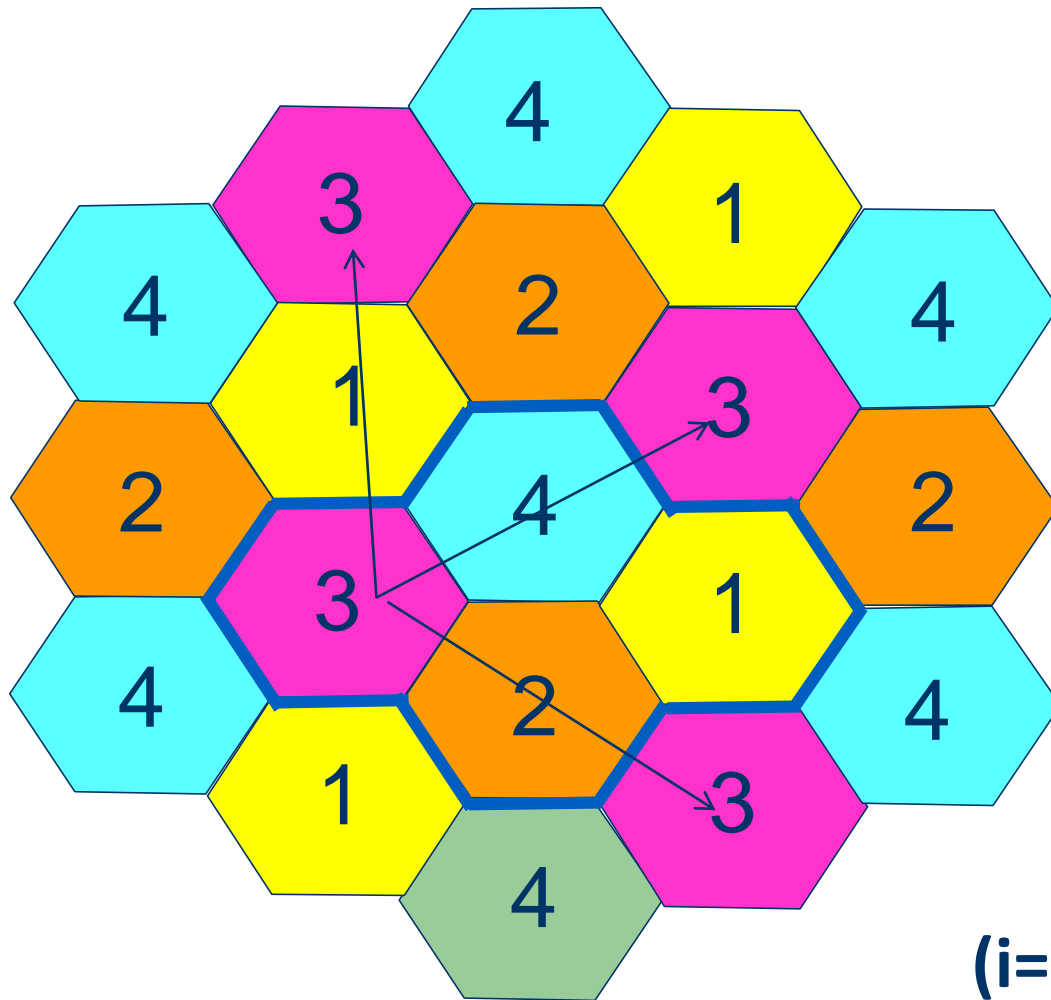
$$d = \sqrt{3} \cdot R \Rightarrow R = \frac{d}{\sqrt{3}}$$

$$K = (i^2 + i \cdot j + j^2)$$

$$D = R\sqrt{3K}$$

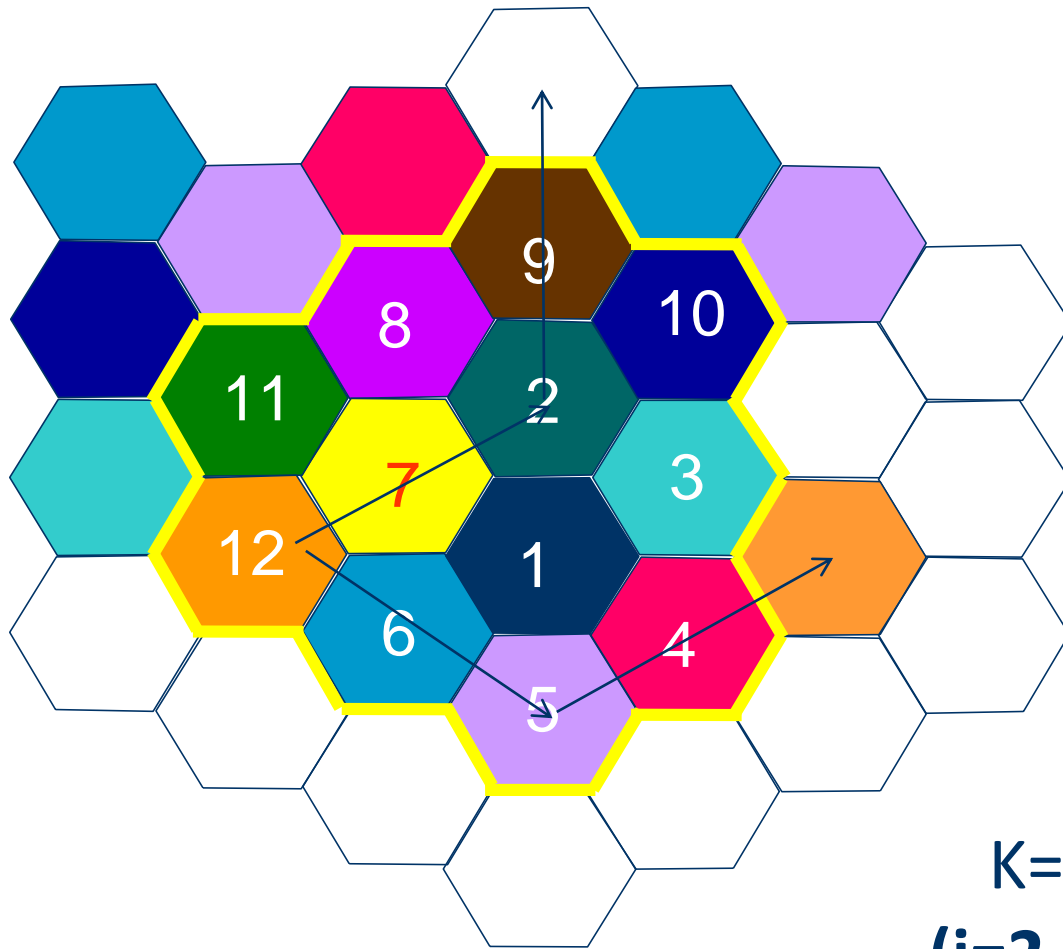


Εξαγωνικές κυψέλες (4)



Εικόνα 23.

Εξαγωνικές κυψέλες (5)

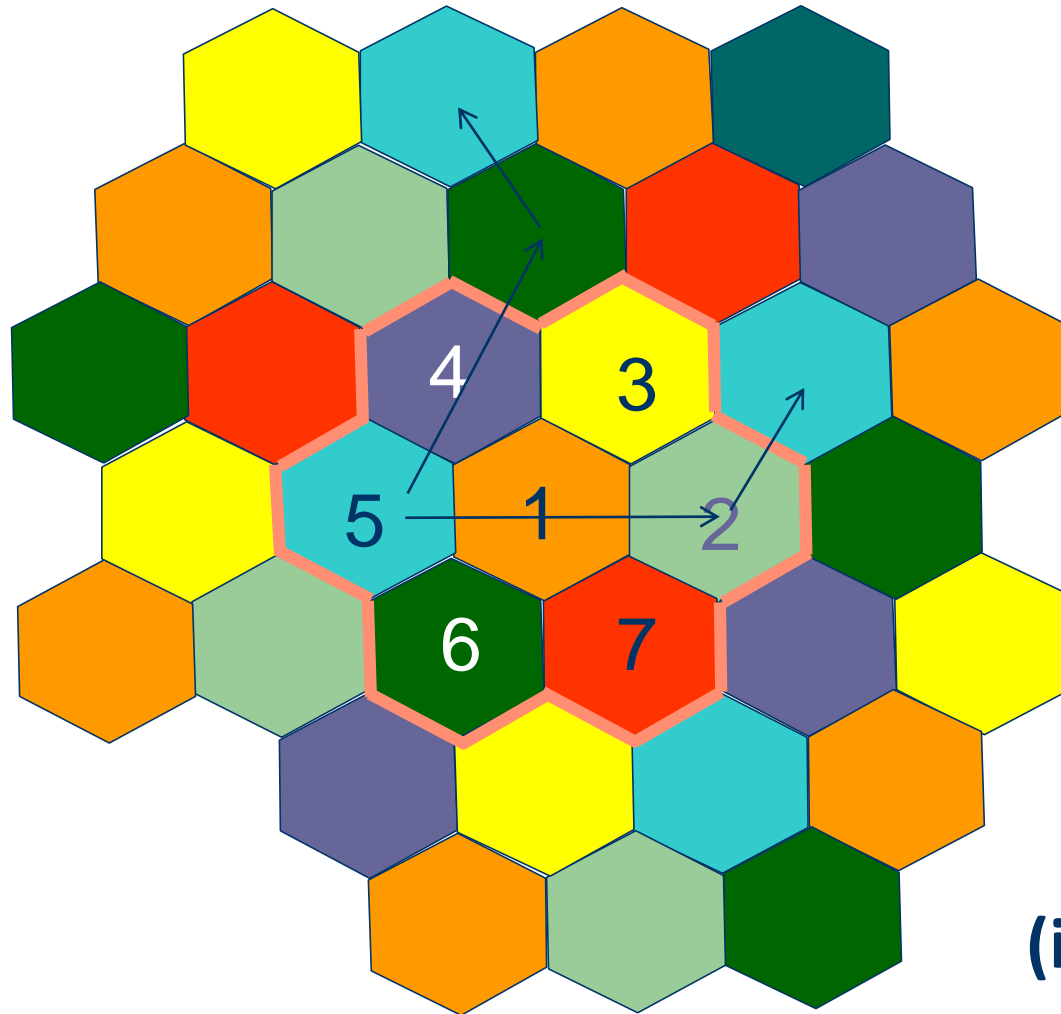


$K=12$
 $(i=2, j=2)$

Εικόνα 24.



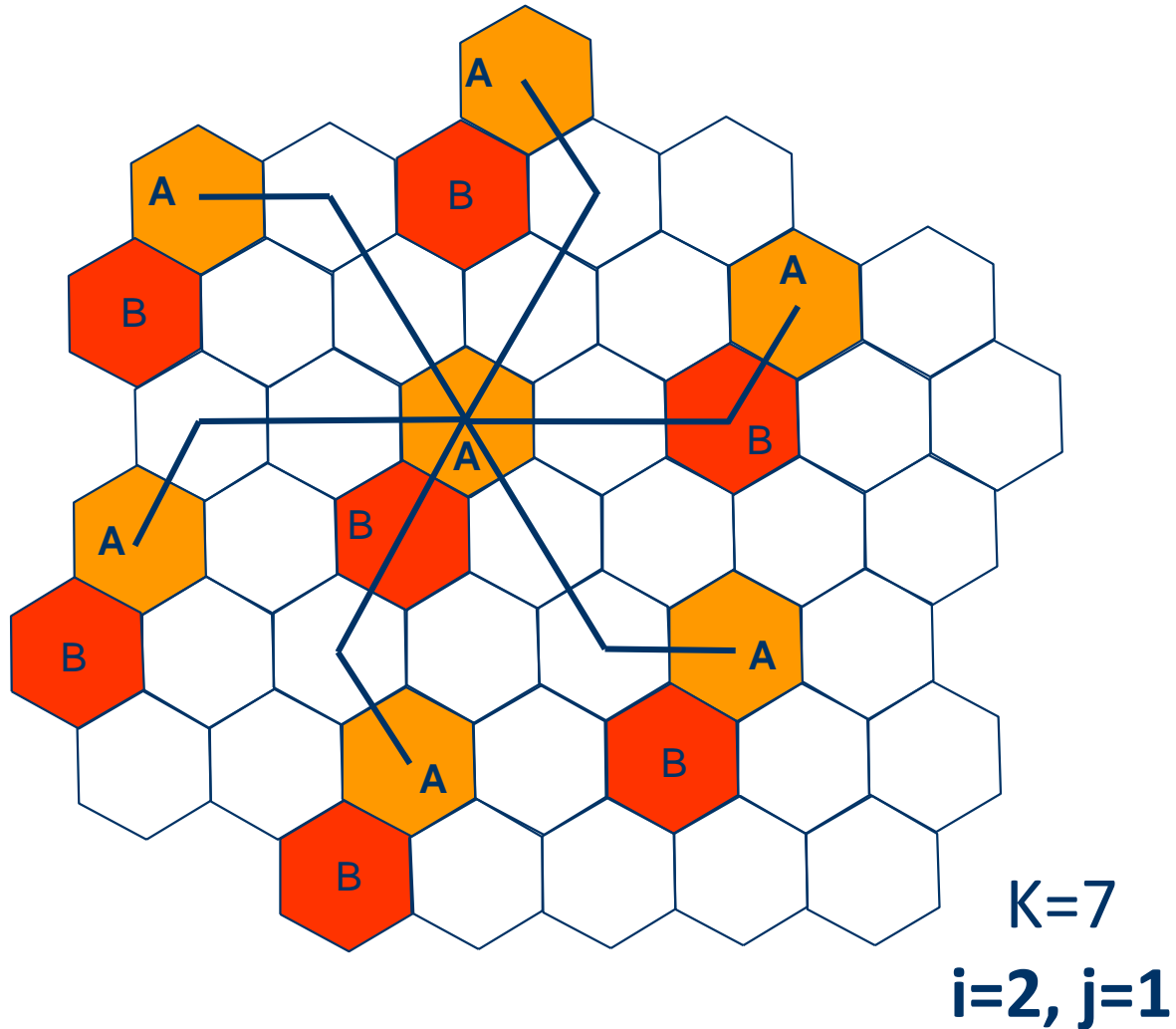
Εξαγωνικές κυψέλες (6)



$K=7$
 $(i=2, j=1)$

Εικόνα 25.

Εξαγωνικές κυψέλες (7)



Εικόνα 26.

Συστήματα δύο διαστάσεων

- **Παράδειγμα 3.1**
- Εύρος ζώνης 33MHz διατίθεται σε κυψελωτό σύστημα. Κάθε διάυλος έχει $W = 25\text{kHz}$ ανά κατεύθυνση και χρησιμοποιείται για τηλεφωνία και έλεγχο.
- Να υπολογιστεί ο αριθμός των διαύλων που θα κατανεμηθούν ανά κυψέλη, αν το σύστημα χρησιμοποιεί $K = 7$.
- Αν διατίθεται 1MHz από το φάσμα για διαύλους ελέγχου, καθορίστε μια ομοιόμορφη κατανομή των διαύλων ελέγχου και φωνής.



Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα (1)

- Βασικός παράγοντας στη σχεδίαση των κυψελωτών συστημάτων είναι η δυνατότητα εξυπηρέτησης της τηλεπικοινωνιακής κίνησης.
- Μετά τη διαστασιολόγηση του συστήματος, οι ραδιοδίαυλοι κατανέμονται στις κυψέλες λαμβάνοντας υπόψη:
 - την πυκνότητα των χρηστών σε κάθε κυψέλη,
 - την απόσταση επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων,
 - το διαθέσιμο φάσμα.



Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα (2)

- **Τηλεπικοινωνιακή κίνηση** ή απλά **κίνηση** στα κυψελωτά συστήματα, ορίζεται **το σύνολο**, όσο αφορά το πλήθος, το είδος και τη διάρκεια, **των κλήσεων από και προς τα κινητά τερματικά**, οι οποίες πραγματοποιούνται μέσω ενός αριθμού διαύλων.
- Η θεωρία της τηλεπικοινωνιακής κίνησης είναι ένα θέμα που έχει μελετηθεί εκτενώς στα **τηλεφωνικά συστήματα**, όπου χρησιμοποιείται η **μεταγωγή κυκλώματος**.
- Ονομάζουμε **κίνηση** το σύνολο των τηλεφωνικών κλήσεων ή κλήσεων μετάδοσης δεδομένων με μεταγωγή κυκλώματος προς και από κάποιον σταθμό βάσης.



Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα (3)

- Θεωρούμε έναν σταθμό βάσης που διαθέτει συγκεκριμένο αριθμό διαύλων για εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού χρηστών.
- Η φορά της πρόσβασης δεν επηρεάζει την ανάλυση της κίνησης με βάση τη θεωρία αναμονής.
- Η θεώρηση της κίνησης δεν εξαρτάται από τον τύπο της ασύρματης πρόσβασης ή τον τύπο της πολυπλεξίας που χρησιμοποιείται στον δίαυλο.



Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα (4)

Οι σημαντικότεροι παράγοντες για την εξυπηρέτηση της κίνησης είναι:

- Ο ρυθμός άφιξης κλήσεων (ποικίλει ανά ώρα, περιοχή, κτλ).
- Οι διάρκειες κατάληψης των διαύλων για τις επιτυχείς κλήσεις (πιθανοτική διάρκεια).
- Ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων διαύλων (μπορεί να ποικίλει αν έχουμε δυναμική αναδιάταξή τους).
- Η πιθανότητα αποκλεισμού (μη διαθέσιμοι δίαυλοι).
- Ο τρόπος αντιμετώπισης των αποκλεισμένων κλήσεων:
 - Απόρριψη και επανα-προσπάθεια
 - Αναμονή σε ουρά



Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα (5)

- Η θεωρία της τηλεπικοινωνιακής κίνησης ασχολείται με τα προβλήματα αναμονής ή/και απωλειών κλήσεων στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα.
- Η ανάλυση των προβλημάτων αυτών εξαρτάται τόσο από τις διαδικασίες εισόδου και εξόδου, όσο και από τη δομή του συστήματος.
- Οι απαντήσεις στα προβλήματα δεν μπορεί να είναι ακριβείς. Μπορεί να βρεθούν μόνο πιθανότητες ή μέσες τιμές για τα εξεταζόμενα μεγέθη.



Μεταφερόμενη κίνηση (1)

Υποθέτουμε ότι:

- Ο αριθμός των χρηστών είναι πολύ μεγάλος και ο ρυθμός κλήσεων από κάθε χρήστη είναι μικρός, οπότε οι αφίξεις κλήσεων μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι **τυχαίες** και **ανεξάρτητες** και μπορεί να περιγραφούν ως διαδικασίες *Poisson*.
- Οι διάρκειες κατάληψης των διαύλων είναι **τυχαίες** και **ανεξάρτητες**.



Μεταφερόμενη κίνηση (2)

- C : ο συνολικός αριθμός των διαύλων.
- t_n : το άθροισμα των χρονικών διαστημάτων (**slots**), όπου οι n από τους C διαύλους είναι κατειλημμένοι κατά τη διάρκεια μιας μακράς χρονικής περιόδου T .

$$T = \sum_{n=0}^C t_n$$

$$\text{Όγκος κίνησης} = \sum_{n=0}^C n \cdot t_n$$

άθροισμα όλων των χρόνων κατάληψης

$$\text{Μεταφερόμενη κίνηση ή ένταση της κίνησης} = \frac{1}{T} \sum_{n=0}^C n \cdot t_n = \sum_{n=0}^C n \cdot (t_n / T)$$



Μεταφερόμενη κίνηση (3)

- Αν οι ποσότητες t_n και T εκφράζονται με τις ίδιες μονάδες, η μεταφερόμενη κίνηση είναι **αδιάστατη** ποσότητα και εκφράζεται σε **erlang**.
- Στην πράξη, λαμβάνεται συνήθως $T = 1$ h.
- Η ποσότητα t_n / T είναι το κλάσμα της χρονικής περιόδου T κατά τη διάρκεια του οποίου είναι κατειλημμένοι n δίαυλοι.
- Συνεπώς, **μεταφερόμενη κίνηση** είναι ο **μέσος αριθμός των διαύλων** που είναι κατειλημμένοι κατά τη διάρκεια μιας καθορισμένης χρονικής περιόδου T .



Μεταφερόμενη κίνηση (4)

- **1 erlang** αντιπροσωπεύει την κίνηση που μεταφέρεται από έναν δίαυλο, ο οποίος είναι **πλήρως κατειλημμένος** (π.χ. 1 ώρα κατάληψης του διαύλου ανά ώρα ή 1 λεπτό κατάληψης ανά λεπτό).
- Το erlang είναι αδιάστατη μονάδα.
- Ένας ραδιοδίαυλος, ο οποίος π.χ. είναι κατειλημμένος 30 λεπτά κατά τη διάρκεια μιας ώρας, μεταφέρει **0.5 erlang κίνησης**.




Agner Krarup Erlang

Agner Krarup Erlang (1 January 1878 – 3 February 1929) was a [Danish mathematician](#), [statistician](#) and engineer, who invented the fields of [traffic engineering](#) and [queueing theory](#).

By the time of his relatively early death at the age of 51, Erlang created the field of [telephone networks](#) analysis. His early work in scrutinizing the use of local, exchange and trunk telephone line usage in a small community to understand the Theoretical requirements of an efficient network led to the creation of the [Erlang formula](#), which became a foundational element of present day [telecommunication network](#) studies.

Agner Krarup Erlang



Born	1 January 1878 Lønborg, Denmark
Died	3 February 1929 Copenhagen, Denmark
Occupation	Mathematician, statistician, and engineer

Εικόνα 27.



Προσφερόμενη κίνηση (1)

- Οι υπολογισμοί που γίνονται στη θεωρία τηλεπικοινωνιακής κίνησης βασίζονται στη γνώση της προσφερόμενης κίνησης.
- Η **προσφερόμενη κίνηση (*offered traffic*)** δημιουργείται από τις κλήσεις που φθάνουν στο σύστημα, άσχετα από τη μετέπειτα τύχη τους.
- Η **προσφερόμενη κίνηση** ορίζεται ως ο μέσος αριθμός αφίξεων στο σύστημα κατά τη διάρκεια του μέσου χρόνου κατάληψης.

Προσφερόμενη κίνηση $A = \lambda H$

λ : μέσος ρυθμός αφίξεων κλήσεων H : μέση διάρκεια κλήσεων



Προσφερόμενη κίνηση (2)

Παράδειγμα 3.2

Τα παρακάτω στοιχεία αντιπροσωπεύουν έρευνα αγοράς και αφορούν τη διάρκεια των κλήσεων την ώρα αιχμής και το ποσοστό των χρηστών στο οποίο αντιστοιχεί η διάρκεια αυτή. Υπολογίστε την προσφερόμενη κίνηση ανά χρήστη, αν κατά μέσο όρο κάθε χρήστης κάνει μία κλήση/ώρα.

- 0 - 1 min, 40% των χρηστών
- 1 - 2 min, 35% των χρηστών
- 2 - 3 min, 20% των χρηστών
- 3 - 10 min, 5% των χρηστών.



Προσφερόμενη κίνηση (3)

Παράδειγμα 3.3

Η έρευνα αγοράς για ένα κυψελωτό σύστημα έδωσε την παρακάτω κατανομή του αριθμού κλήσεων την ώρα αιχμής συναρτήσει του ποσοστού των χρηστών που πραγματοποιούν αυτές τις κλήσεις. Βρείτε τον αριθμό των κλήσεων ανά χρήστη.

- 0 - 1 κλήσεις την ώρα αιχμής , 50% των χρηστών
- 1 - 2 κλήσεις την ώρα αιχμής , 40% των χρηστών
- 2 - 10 κλήσεις την ώρα αιχμής , 7% των χρηστών
- πάνω από 10 κλήσεις την ώρα αιχμής, 3% των χρηστών.



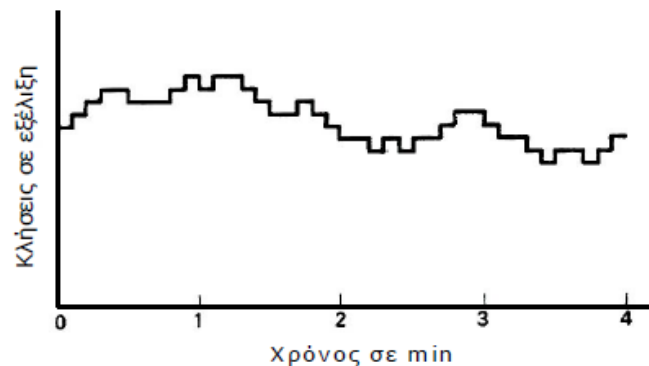
Συγκέντρωση (1)

- Ιδανικά θα έπρεπε κάθε κυψέλη να μπορεί να καλύψει όλους τους ενεργούς χρήστες του δικτύου (worst case – αδύνατο).
- Τα κυψελωτά συστήματα βασίζονται στη **συγκέντρωση (*trunking*)**, για να είναι δυνατό να εξυπηρετείται μεγάλος αριθμός χρηστών με το περιορισμένο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων που διατίθεται σε κάθε σύστημα.
- Η συγκέντρωση εκμεταλλεύεται τη στατιστική συμπεριφορά των χρηστών, γεγονός που έχει ως συνέπεια ένας σταθερός αριθμός διαύλων ή κυκλωμάτων να μπορεί να εξυπηρετεί έναν μεγάλο αριθμό συνδρομητών με τυχαία συμπεριφορά.



Συγκέντρωση (2)

- Ο αριθμός των κλήσεων σε εξέλιξη μεταβάλλεται με έναν τυχαίο τρόπο καθώς κάθε κλήση ξεχωριστά αρχίζει και τελειώνει με τυχαίο τρόπο.
- Κατά τη διάρκεια της νύχτας υπάρχει γενικά μικρότερη δραστηριότητα
- Αύξηση της κίνησης παρατηρείται προς το μέσο του πρωινού (επαγγελματικές δραστηριότητες), το απόγευμα και το βράδυ (κοινωνικές δραστηριότητες).
- Παίζει ρόλο επίσης το γεωγραφικό μέρος που εξετάζουμε (πόλη ή επαρχία), καθώς και η εποχή του χρόνου



Εικόνα 28.



Συγκέντρωση (3)

- **Ώρα αιχμής** ή ώρα μέγιστης απασχόλησης: Καλείται η περίοδος μιας ώρας που αντιστοιχεί στην αιχμή του φόρτου κίνησης
- Το πλήθος των αναγκαίων καναλιών εξαρτάται από τη μεταφερόμενη κίνηση και πρέπει να είναι επαρκές για να καλύψει τις ανάγκες που προκύπτουν κατά την ώρα αιχμής
- Σε ώρες μη αιχμής το μεγαλύτερο ποσοστό του εξοπλισμού παραμένει αδρανές
- Οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί με σκοπό την ανακατανομή της κίνησης και κατ' επέκταση τη μείωση των δαπανών δίνουν κίνητρα στους πελάτες τους (π.χ. φθηνότερες κλήσεις τις βραδινές ώρες)

Εικόνα 29.



Βαθμός εξυπηρέτησης (1)

- Ο **βαθμός εξυπηρέτησης (Grade of Service, GOS)** είναι ένα μέτρο της πιθανότητας ανεπιτυχούς πρόσβασης κάποιου χρήστη στο σύστημα κατά την ώρα αιχμής, και ορίζεται ως ο λόγος του αριθμού των ανεπιτυχών κλήσεων προς τον συνολικό αριθμό κλήσεων την ώρα αιχμής.
- Στην ουσία, υποδηλώνει την πιθανότητα φραγής (πιθανότητα να μην εξυπηρετηθεί ένας χρήστης). Με άλλα λόγια, θα ήταν περισσότερο δόκιμο ίσως να ονομάζεται «βαθμός μη εξυπηρέτησης».
- Ο βαθμός εξυπηρέτησης είναι ένας δείκτης επίδοσης ενός συγκεκριμένου συστήματος.
- Στόχος των μηχανικών: υπολογισμός των καναλιών που πρέπει να διαθέσουν, έτσι ώστε ο GOS να είναι σε ένα προκαθορισμένο επιθυμητό επίπεδο (τυπική τιμή του GOS: 2%)

Εικόνα 30.



Βαθμός εξυπηρέτησης (2)

$$\frac{\text{Αριθμός των κλήσεων που χάνονται}}{\text{Αριθμός των κλήσεων που προσφέρονται}} = \frac{\text{Απωλεσθείσα κίνηση}}{\text{Προσφερόμενη κίνηση}}$$

- ποσοστό του χρόνου κατά τη διάρκεια του οποίου υπάρχει συμφόρηση
- πιθανότητα συμφόρησης
- πιθανότητα απώλειας κλήσεως λόγω συμφόρησης

- Όπου συμφόρηση (η οποία προκαλεί φραγή) είναι η κατάσταση κατά την οποία όλα τα κυκλώματα μιας ζευκτικής ομάδας είναι απασχολημένα και επομένως δεν μπορούν να δεχθούν άλλες κλήσεις.
 - Αν προσφέρονται A erlangs κίνησης σε μία ομάδα ζευκτικών κυκλωμάτων, που έχουν βαθμό εξυπηρέτησης GOS, τότε η απώλεια κίνησης είναι $A \cdot \text{GOS}$, και η μεταφερόμενη κίνηση είναι $A(1 - \text{GOS})$ erlangs.

Εικόνα 31.



Βαθμός εξυπηρέτησης (3)

- Η μέγιστη μεταφερόμενη κίνηση είναι ίση με τον αριθμό των διαύλων C , σε erlangs.
- Υπάρχουν δύο κατηγορίες συστημάτων με συγκέντρωση, που χρησιμοποιούνται στην πράξη.
- **Όχι αναμονή στις κλήσεις που αποκλείονται.**
 - GOS = η πιθανότητα να αποκλειστεί μια κλήση.
- **Ουρά αναμονής για τις κλήσεις που αποκλείονται.**
 - GOS = η πιθανότητα να αποκλειστεί μια κλήση, αφού παραμείνει στη ουρά για ένα προκαθορισμένο διάστημα



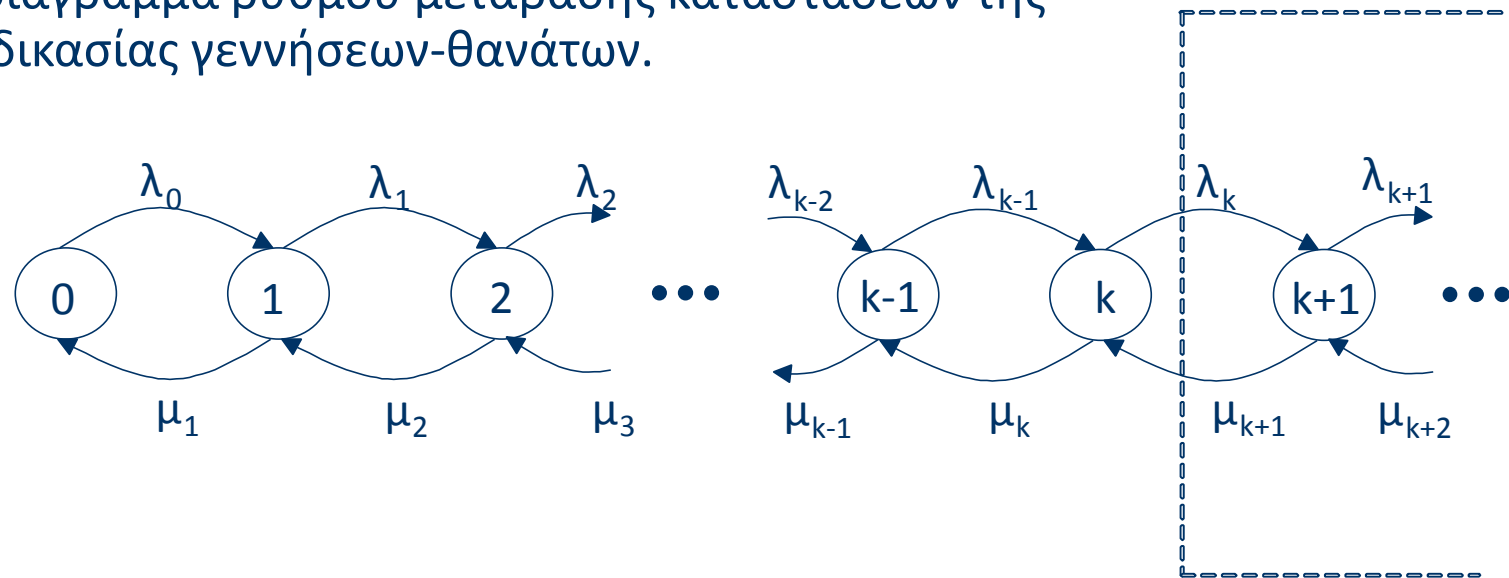
Υπολογισμός βαθμού εξυπηρέτησης (1)

- Ανάλογα με τον τρόπο που το κάθε σύστημα θεωρείται ότι αντιμετωπίζει τις κλήσεις που βρίσκουν κατειλημμένους όλους τους διαύλους, προκύπτουν και διαφορετικοί μαθηματικοί τύποι.
- Η μαθηματική ανάλυση διευκολύνεται πολύ με την εφαρμογή της διαδικασίας γεννήσεων - θανάτων.
- Η διαδικασία γεννήσεων - θανάτων περιγράφει τη μεταβολή του αριθμού των κατειλημμένων διαύλων συναρτήσει του χρόνου.



Υπολογισμός βαθμού εξυπηρέτησης (2)

Το διάγραμμα ρυθμού μετάβασης καταστάσεων της διαδικασίας γεννήσεων-θανάτων.



Εικόνα 32.

Στη μόνιμη κατάσταση, δηλαδή, στατιστική ισορροπία, οι ροές μεταξύ των καταστάσεων πρέπει να είναι ίσες.

$$\lambda_k P_k = \mu_{k+1} P_{k+1}, \quad \text{για } 0 \leq k \leq C-1$$

$$P_{k+1} = \frac{\lambda_k}{\mu_{k+1}} P_k \quad \Rightarrow \quad P_{k+1} = \frac{\lambda_k \lambda_{k-1} \dots \lambda_0}{\mu_{k+1} \mu_k \dots \mu_1} P_0$$

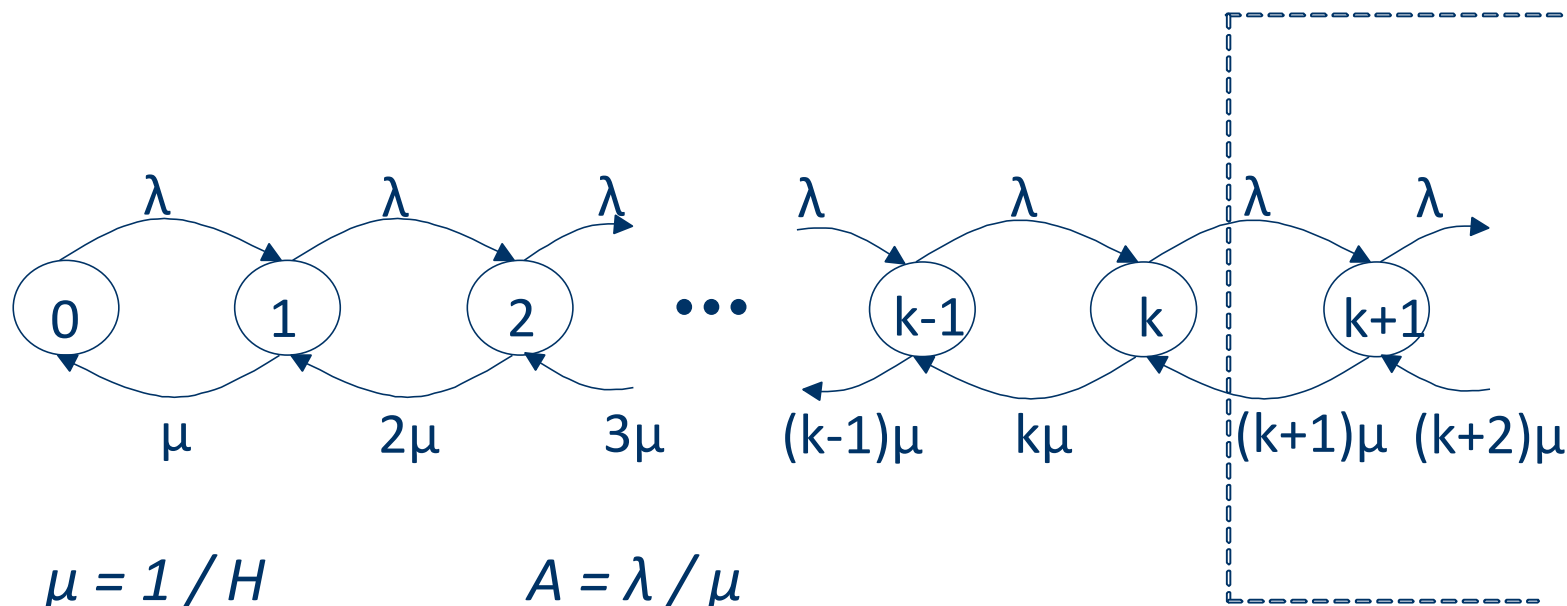


Erlang B (1)

- Υποθέσεις:
 - Είναι διαθέσιμοι C δίαυλοι.
 - Η κατανομή άφιξης των κλήσεων είναι Poisson με ρυθμό λ .
 - Οι κλήσεις που βρίσκουν ελεύθερο δίαυλο εξυπηρετούνται αμέσως. Οι κλήσεις που βρίσκουν όλους τους διαύλους κατειλημμένους αποκλείονται και εγκαταλείπουν το σύστημα.
 - Οι χρόνοι κατάληψης των διαύλων είναι ανεξάρτητοι με εκθετική κατανομή και μέση διάρκεια $H = 1/\mu$.
 - Το σύστημα είναι σε στατιστική ισορροπία.



Erlang B (2)



$$\lambda P_k = (k+1)\mu P_{k+1}, \quad \text{για } 0 \leq k \leq C-1 \quad \rightarrow$$

$$\rightarrow P_{k+1} = \frac{A}{k+1} P_k \quad \rightarrow P_{k+1} = \frac{A^{k+1}}{(k+1)!} P_0$$



Erlang B (3)

$$P_{k+1} = \frac{A^{k+1}}{(k+1)!} P_0 \quad \sum_{k=0}^C P_k = 1 \quad \rightarrow \quad \sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!} P_0 = 1$$

$$\rightarrow P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!}}$$

$$\Pr[\textit{blocking}] = P_C$$

$$\Pr[\textit{blocking}] = \frac{A^C}{C!} \frac{1}{\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!}}$$

GOS



Erlang B (4)

- Η **απόδοση συγκέντρωσης (trunking efficiency)** είναι ένα μέτρο για τον αριθμό των χρηστών στους οποίους μπορεί να προσφερθεί ένας συγκεκριμένος GOS, με δεδομένη διάταξη των σταθερών διαύλων C.
- Στην πράξη ισούται με A εκφρασμένο σε erlang και ονομάζεται **χωρητικότητα συστήματος**
- Αριθμός εξυπηρετούμενων χρηστών
- Ο τρόπος ομαδοποίησης των διαύλων μπορεί να αλλάξει ουσιαστικά τον αριθμό των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετήσει το σύστημα με συγκέντρωση.



Erlang B (5)

Χωρητικότητα συστήματος (A) Erlang B

Αριθμός Διαύλων	GOS			
	= 0.01	= 0.005	= 0.002	= 0.001
2	0.153	0.105	0.065	0.046
4	0.869	0.701	0.535	0.439
5	1.36	1.13	0.900	0.762
10	4.46	3.96	3.43	3.09
20	12.0	11.1	10.1	9.41
24	15.3	14.2	13.0	12.2
40	29.0	27.3	25.7	24.5
70	56.1	53.7	51.0	49.2
100	84.1	80.9	77.4	75.2



Erlang B (5)

Πίνακας Erlang B												
Προσφερόμενη κίνηση A (erlang)												
C	Πιθανότητα αποκλεισμού B (%)											
	0.01	0.05	0.1	0.5	1	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0101	.0204	.0526	.1111	.1765	.2500	.4286	.6667
2	.0142	.0321	.0458	.1054	.1526	.2235	.3813	.5954	.7962	1.000	1.449	2.000
3	.0868	.1517	.1938	.3490	.4555	.6022	.8994	1.271	1.603	1.930	2.633	3.480
4	.2347	.3624	.4393	.7012	.8694	1.092	1.525	2.045	2.501	2.945	3.891	5.021
5	.4520	.6486	.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881	3.454	4.010	5.189	6.596
6	.7282	.9957	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758	4.445	5.109	6.514	8.191
7	1.054	1.392	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	4.666	5.461	6.230	7.856	9.800
8	1.422	1.830	2.051	2.730	3.128	3.627	4.543	5.597	6.498	7.369	9.213	11.42
9	1.826	2.302	2.558	3.333	3.783	4.345	5.370	6.546	7.551	8.522	10.58	13.05
10	2.260	2.803	3.092	3.961	4.461	5.084	6.216	7.511	8.616	9.685	11.95	14.68
11	2.722	3.329	3.651	4.610	5.160	5.842	7.076	8.487	9.691	10.86	13.33	16.31
12	3.207	3.878	4.231	5.279	5.876	6.615	7.950	9.474	10.78	12.04	14.72	17.95
13	3.713	4.447	4.831	5.964	6.607	7.402	8.835	10.47	11.87	13.22	16.11	19.60
14	4.239	5.032	5.446	6.663	7.352	8.200	9.730	11.47	12.97	14.41	17.50	21.24
15	4.781	5.634	6.077	7.376	8.108	9.010	10.63	12.48	14.07	15.61	18.90	22.89
16	5.339	6.250	6.722	8.100	8.875	9.828	11.54	13.50	15.18	16.81	20.30	24.54
17	5.911	6.878	7.378	8.834	9.652	10.66	12.46	14.52	16.29	18.01	21.70	26.19
18	6.496	7.519	8.046	9.578	10.44	11.49	13.39	15.55	17.41	19.22	23.10	27.84
19	7.093	8.170	8.724	10.33	11.23	12.33	14.32	16.58	18.53	20.42	24.51	29.50
20	7.701	8.831	9.412	11.09	12.03	13.18	15.25	17.61	19.65	21.64	25.92	31.15
21	8.319	9.501	10.11	11.86	12.84	14.04	16.19	18.65	20.77	22.85	27.33	32.81
22	8.946	10.18	10.81	12.64	13.65	14.90	17.13	19.69	21.90	24.06	28.74	34.46
23	9.583	10.87	11.52	13.42	14.47	15.76	18.08	20.74	23.03	25.28	30.15	36.12
24	10.23	11.56	12.24	14.20	15.30	16.63	19.03	21.78	24.16	26.50	31.56	37.78
25	10.88	12.26	12.97	15.00	16.13	17.51	19.99	22.83	25.30	27.72	32.97	39.44
26	11.54	12.97	13.70	15.80	16.96	18.38	20.94	23.89	26.43	28.94	34.39	41.10
27	12.21	13.69	14.44	16.60	17.80	19.27	21.90	24.94	27.57	30.16	35.80	42.76
28	12.88	14.41	15.18	17.41	18.64	20.15	22.87	26.00	28.71	31.39	37.21	44.41
29	13.56	15.13	15.93	18.22	19.49	21.04	23.83	27.05	29.85	32.61	38.63	46.07
30	14.25	15.86	16.68	19.03	20.34	21.93	24.80	28.11	31.00	33.84	40.05	47.74

Εικόνα 33.



Erlang B - Απόδοση συγκέντρωσης

- Ο μέγιστος αριθμός καναλιών καθορίζεται από το μέσο χρόνο συνδιάλεξης ανά σύστημα, το επιθυμητό GOS και το μέσο πλήθος συνδρομητών που αιτούνται κλήσεις (δηλαδή, στους πίνακες Erlang, μπορούμε για δοθέν φόρτο και GOS, να βρούμε τα κανάλια που απαιτούνται)

Εικόνα 34.

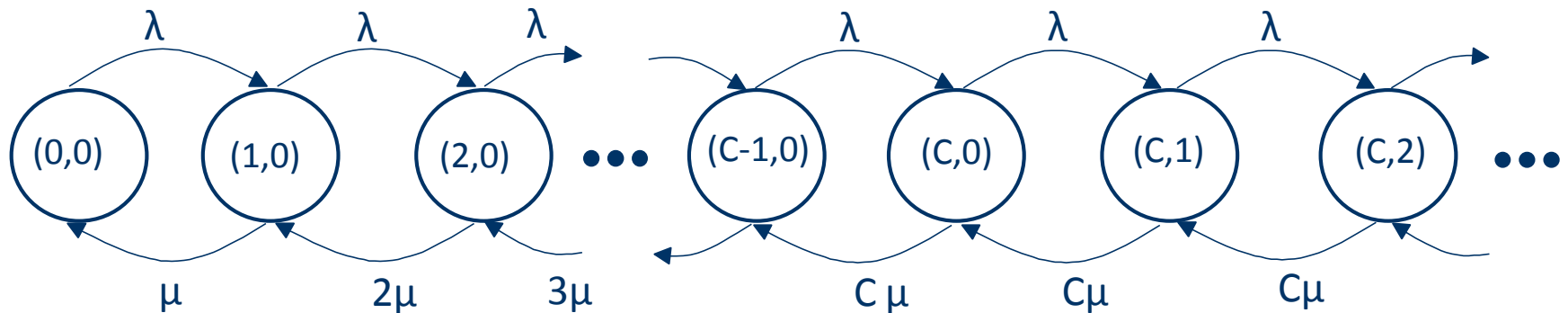


Erlang C (1)

- Παρόμοιες υποθέσεις με Erlang B.
- Είναι διαθέσιμοι C δίαυλοι.
- Η κατανομή άφιξης των κλήσεων είναι Poisson με ρυθμό λ .
- Αν μια εισερχόμενη κλήση δεν βρίσκει ελεύθερο δίαυλο, τοποθετείται σε ουρά αναμονής με άπειρο μήκος.
- Κάθε κλήση εξυπηρετείται με τη σειρά άφιξής της.



Erlang C (2)



$$\lambda P_k = (k+1)\mu P_{k+1}, \quad \text{για } 0 \leq k \leq C-1$$

$$\lambda P_k = C\mu P_{k+1}, \quad \text{για } k \geq C$$

$$P_k = \frac{A^k}{k!} P_0, \quad \text{για } 0 \leq k \leq C$$

$$P_k = \left(\frac{\lambda}{\mu C} \right)^{k-C} \times P_C = \frac{A^k}{C^{k-C} C!} P_0 \quad \text{για } k \geq C$$



Erlang C (3)

$$\sum_{k=0}^{\infty} P_k = 1, \quad \text{όταν } \lambda < \mu C \quad \sum_{k=0}^{C-1} \frac{A^k}{k!} P_0 + \sum_{k=C}^{\infty} \frac{A^k}{C^{k-C} C!} P_0 = 1$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{C-1} \frac{A^k}{k!} + \frac{A^C}{C!(1 - \frac{A}{C})}}$$

$$\Pr[\text{delay} > 0] = \sum_{k=C}^{\infty} P_k$$

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



Erlang C (4)

$$\Pr[\textit{delay} > t] = \Pr[\textit{delay} > 0] \Pr[\textit{delay} > t | \textit{delay} > 0]$$

$$= \Pr[\textit{delay} > 0] \cdot e^{\frac{-(C-A)t}{H}}$$

Η συνάρτηση κατανομής της καθυστέρησης για συστήματα FIFO είναι εκθετική

Η μέση καθυστέρηση για όλες τις κλήσεις σε ένα σύστημα με αναμονή

$$\bar{d} = \Pr[\textit{delay} > 0] \cdot \frac{H}{C - A}$$

$H/(C-A)$: η μέση καθυστέρηση για τις κλήσεις που μπαίνουν στην ουρά



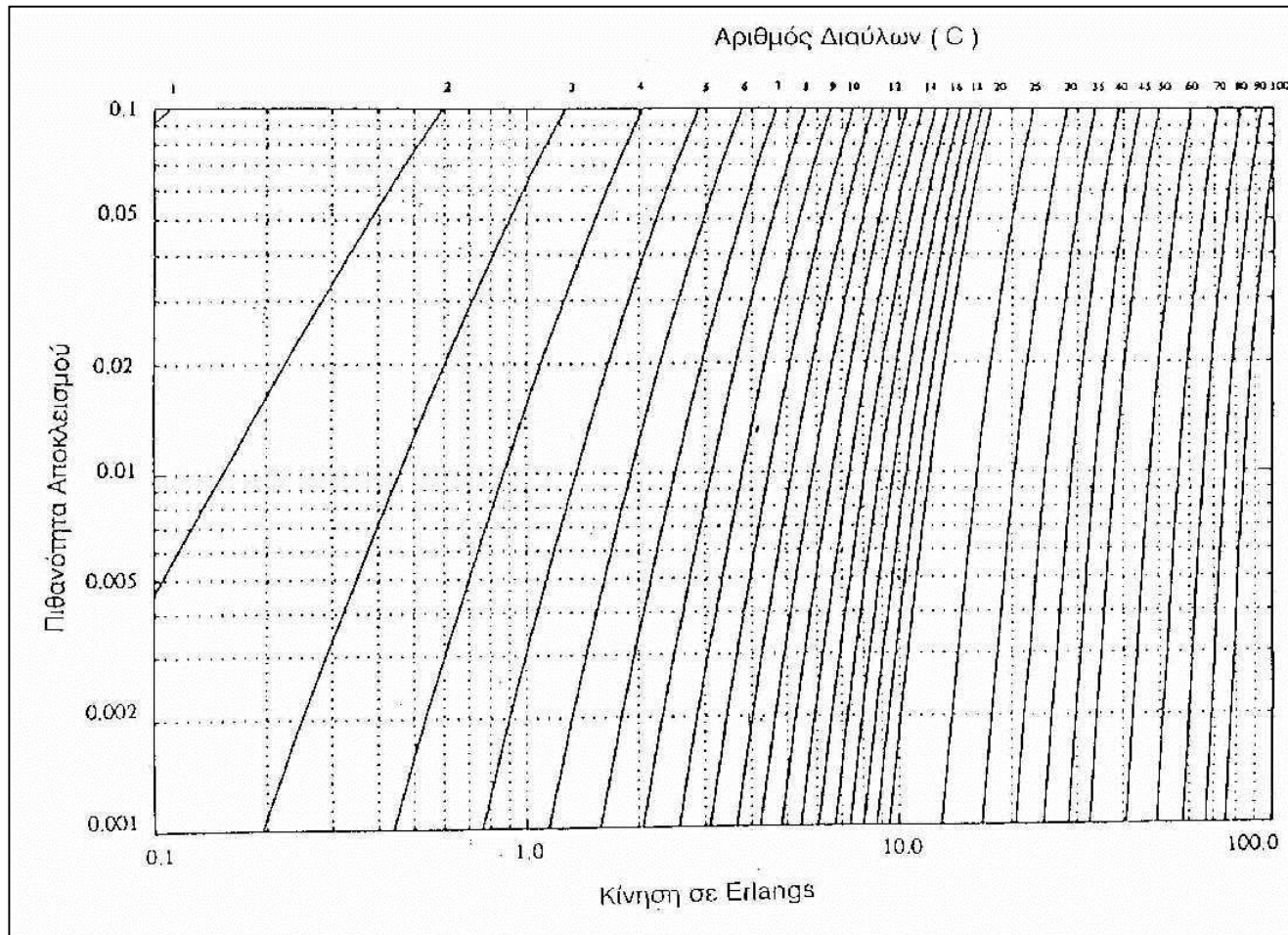
Erlang C (5)

Πίνακας Erlang C												
C	Προσφερόμενη κίνηση A (erlang)											
	Πιθανότητα καθυστέρησης B (%)											
	0.01	0.05	0.1	0.5	1	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0100	.0200	.0500	.1000	.1500	.2000	.3000	.4000
2	.0142	.0319	.0452	.1025	.1465	.2103	.3422	.5000	.6278	.7403	.9390	1.117
3	.0860	.1490	.1894	.3339	.4291	.5545	.7876	1.040	1.231	1.393	1.667	1.903
4	.2310	.3533	.4257	.6641	.8100	.9939	1.319	1.653	1.899	2.102	2.440	2.725
5	.4428	.6289	.7342	1.065	1.259	1.497	1.905	2.313	2.607	2.847	3.241	3.569
6	.7110	.9616	1.099	1.519	1.758	2.047	2.532	3.007	3.344	3.617	4.062	4.428
7	1.026	1.341	1.510	2.014	2.297	2.633	3.188	3.725	4.103	4.406	4.897	5.298
8	1.382	1.758	1.958	2.543	2.866	3.246	3.869	4.463	4.878	5.210	5.744	6.178
9	1.771	2.208	2.436	3.100	3.460	3.883	4.569	5.218	5.668	6.027	6.600	7.065
10	2.189	2.685	2.942	3.679	4.077	4.540	5.285	5.986	6.469	6.853	7.465	7.959
11	2.634	3.186	3.470	4.279	4.712	5.213	6.015	6.765	7.280	7.688	8.336	8.857
12	3.100	3.708	4.018	4.896	5.363	5.901	6.758	7.554	8.099	8.530	9.212	9.761
13	3.587	4.248	4.584	5.529	6.028	6.602	7.511	8.352	8.926	9.379	10.09	10.67
14	4.092	4.805	5.166	6.175	6.705	7.313	8.273	9.158	9.760	10.23	10.98	11.58
15	4.614	5.377	5.762	6.833	7.394	8.035	9.044	9.970	10.60	11.09	11.87	12.49
16	5.150	5.962	6.371	7.502	8.093	8.766	9.822	10.79	11.44	11.96	12.77	13.41
17	5.699	6.560	6.991	8.182	8.801	9.505	10.61	11.61	12.29	12.83	13.66	14.33
18	6.261	7.169	7.622	8.871	9.518	10.25	11.40	12.44	13.15	13.70	14.56	15.25
19	6.835	7.788	8.263	9.568	10.24	11.01	12.20	13.28	14.01	14.58	15.47	16.18
20	7.419	8.417	8.914	10.27	10.97	11.77	13.00	14.12	14.87	15.45	16.37	17.10
21	8.013	9.055	9.572	10.99	11.71	12.53	13.81	14.96	15.73	16.34	17.28	18.03
22	8.616	9.702	10.24	11.70	12.46	13.30	14.62	15.81	16.60	17.22	18.19	18.96
23	9.228	10.36	10.91	12.43	13.21	14.08	15.43	16.65	17.47	18.11	19.10	19.89
24	9.848	11.02	11.59	13.16	13.96	14.86	16.25	17.51	18.35	19.00	20.02	20.82
25	10.48	11.69	12.28	13.90	14.72	15.65	17.08	18.36	19.22	19.89	20.93	21.76
26	11.11	12.36	12.97	14.64	15.49	16.44	17.91	19.22	20.10	20.79	21.85	22.69
27	11.75	13.04	13.67	15.38	16.26	17.23	18.74	20.08	20.98	21.68	22.77	23.63
28	12.40	13.73	14.38	16.14	17.03	18.03	19.57	20.95	21.87	22.58	23.69	24.57
29	13.05	14.42	15.09	16.89	17.81	18.83	20.41	21.82	22.75	23.48	24.61	25.50
30	13.71	15.12	15.80	17.65	18.59	19.64	21.25	22.68	23.64	24.38	25.54	26.44

Εικόνα 35.

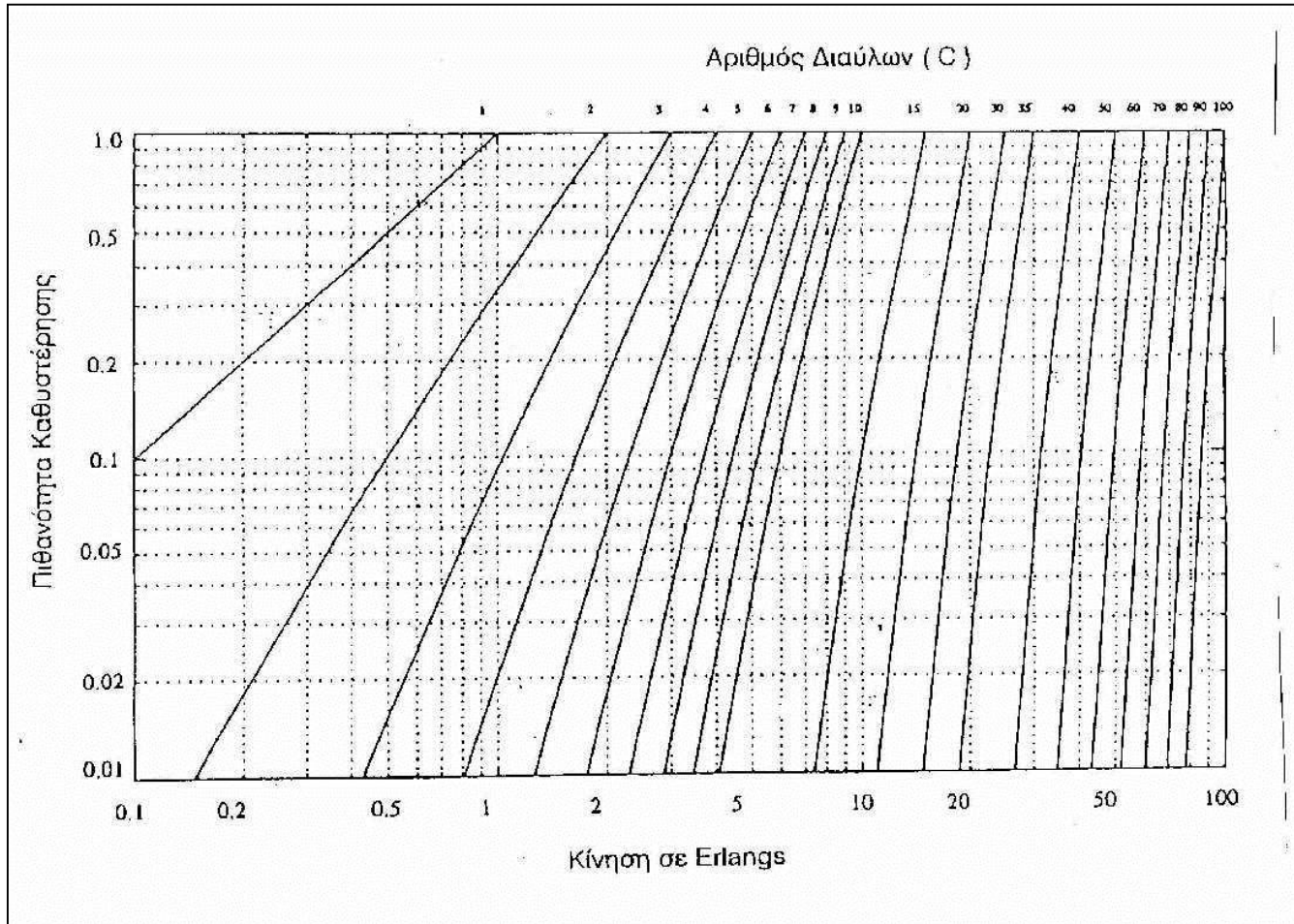


Διάγραμμα Erlang B (1)



Εικόνα 36.

Διάγραμμα Erlang B (2)



Εικόνα 37.

Παράδειγμα 3.6

- Πόλη έκτασης 2000km^2 , $K = 7$, $R = 3\text{km}$, $B_s = 28\text{MHz}$, $W = 200\text{KHz}$, 8 δίαυλοι/ραδιοδίαυλο.
- Υποθέτουμε $GOS = 0.02$ για σύστημα Erlang B. Αν η $A_u = 0.1$ erlang, υπολογίστε,

(α) N_c , (β) C_c , (γ) A_c ,

(δ) τη μέγιστη προσφερόμενη κίνηση,

(ε) N_u για $GOS = 0.02$,

(στ) τον θεωρητικό μέγιστο αριθμό χρηστών που μπορεί να εξυπηρετηθεί από το σύστημα κάποια στιγμή.



Παράδειγμα 3.7

- $K = 7$ εξαγωνικές κυψέλες $R = 2.31$ km, $C_{ολ} = 84$.
Αν $A_u = 0.06$ erlang και $\lambda = 2$ κλήσεις / ώρα,
υπολογίστε τα παρακάτω για σύστημα Erlang C
με $GOS = 0.05$.
- α) Πόσοι χρήστες ανά km^2 θα υποστηρίζονται από το σύστημα;
- β) Ποια είναι η πιθανότητα μια καθυστερημένη κλήση να περιμένει περισσότερο από 12 sec;
- γ) Ποια είναι η πιθανότητα να καθυστερήσει μια κλήση περισσότερο από 12 sec;



Φασματική απόδοση κυψελωτών συστημάτων (1)

Ολικό αξιοποιούμενο εύρος ζώνης:

$$B_S = C_C \cdot K \cdot W$$

Δίαυλοι ανά κυψέλη

Αριθμός επαναχρησιμοποίησης

Εύρος ανά δίαυλο



Φασματική απόδοση κυψελωτών συστημάτων (2)

- Έστω ένα σύστημα S που περιέχει ένα σύνολο κυψελών οργανωμένες σε ομάδες επαναχρησιμοποίησης με K κυψέλες η κάθε μία.
- **Φασματική απόδοση συστήματος**

$$\eta_s = \frac{A_c}{B_s \cdot S_c} = \frac{A_c}{C_c \cdot K \cdot W \cdot S_c}$$

A_c = μέση μεταφερόμενη κίνηση ανά κυψέλη

S_c = μέσο εμβαδό κυψέλης συστήματος

Η φασματική απόδοση εκφράζεται σε *erlang/MHz/km²* (όχι σε *erlang/ Hz/ m²*).



Φασματική απόδοση κυψελωτών συστημάτων (2)

Παράδειγμα 3.8:

Κυψέλες ανά ομάδα $K=7$

Ολικός αριθμός διαύλων $C=395$

Κίνηση ανά χρήστη $Au=0,003$ erlang

Μέση διάρκεια κλήσεων $H=120$ sec

Έκταση εξυπηρέτησης 1200km^2

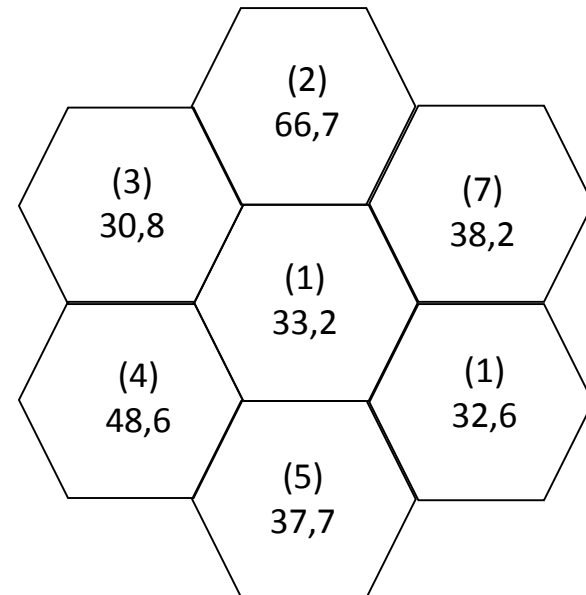
$GOS = 0,02$

Υπολογίστε:

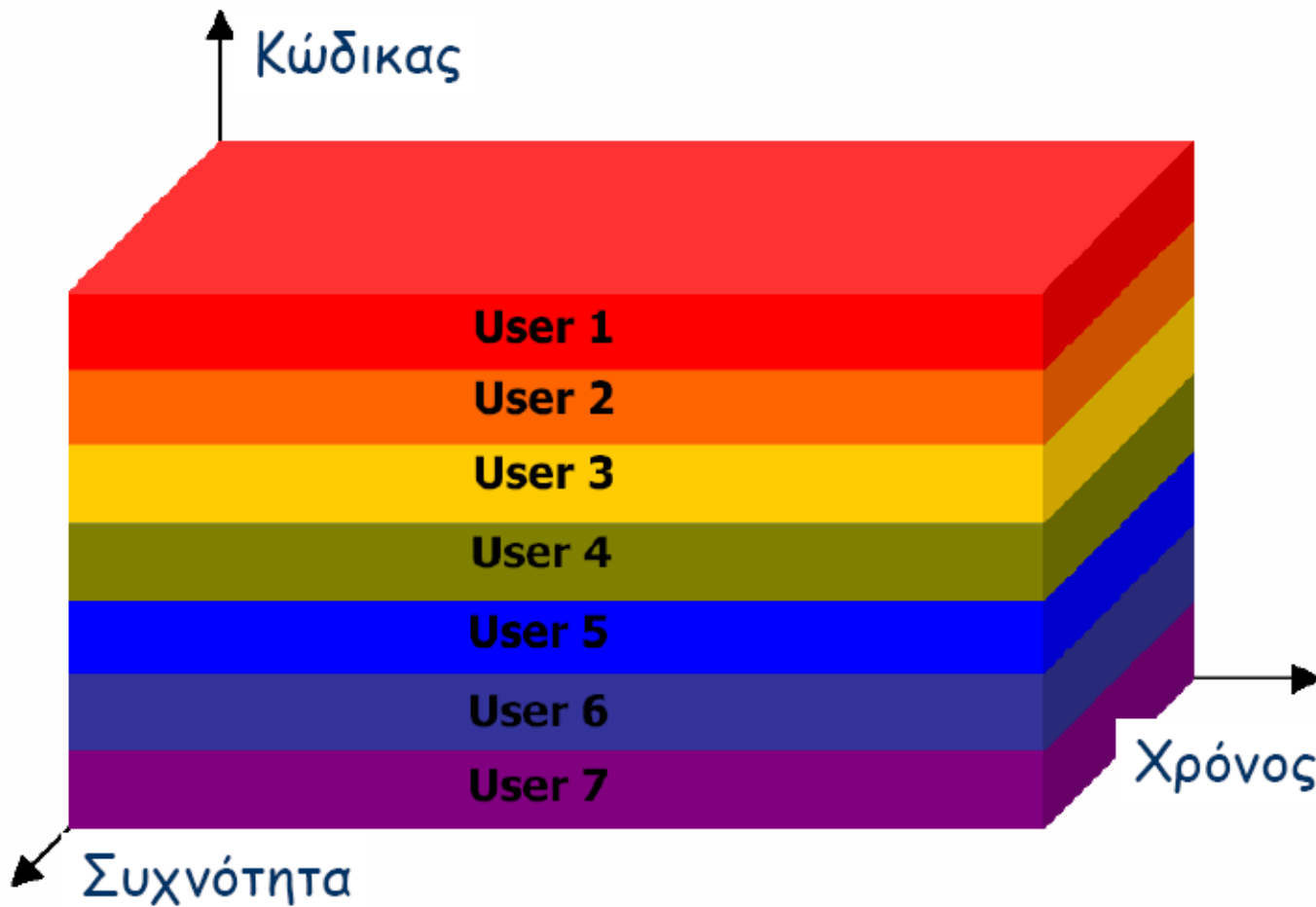
- Αριθμό διαύλων για κάθε κυψέλη
- αριθμό εξυπηρετούμενων συνδρομητών
- Μέσο αριθμό χρηστών ανά δίαυλο
- μέσο εξυπηρετούμενο αριθμό κλήσεων/ώρα

- πυκνότητα χρηστών ανά km^2
- πυκνότητα κλήσεων ανά km^2
- Μέση ακτίνα κυψέλης σε km
- Χρησιμοποίηση διαύλων σε κάθε κυψέλη

Κατανομή κίνησης ανά κυψέλη



CDMA (1)



CDMA - Βασικές αρχές

Θεωρητική χωρητικότητα διαύλου χωρίς σφάλματα:

$$C = B_T \log_2 \left[1 + \frac{S}{N} \right] \qquad \frac{C}{B_T} = 1.44 \ln \left[1 + \frac{S}{N} \right]$$

$$\ln \left[1 + \frac{S}{N} \right] = \frac{S}{N} - \frac{1}{2} \left(\frac{S}{N} \right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{S}{N} \right)^3 - \frac{1}{4} \left(\frac{S}{N} \right)^4 + \dots$$

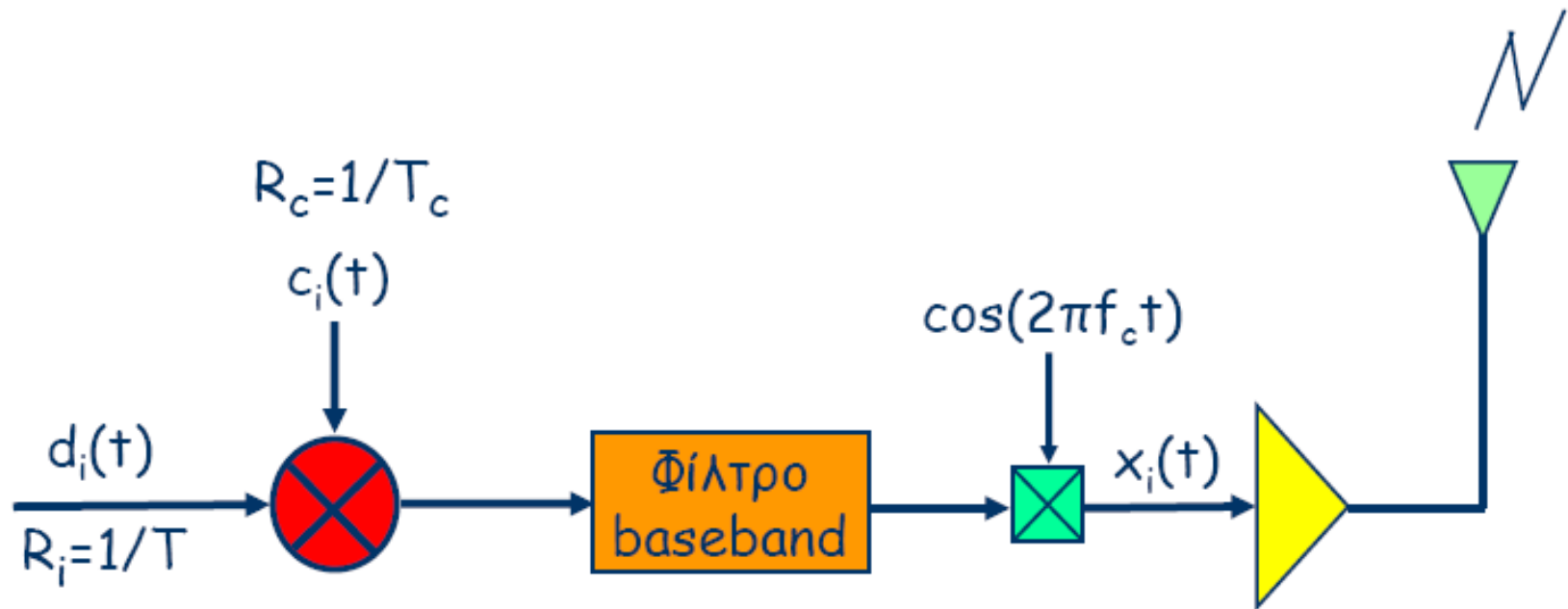
Αν $S/N < 1$

$$\uparrow \quad B_T \approx \frac{C}{1.44} \times \frac{1}{(S/N)} \quad \downarrow$$

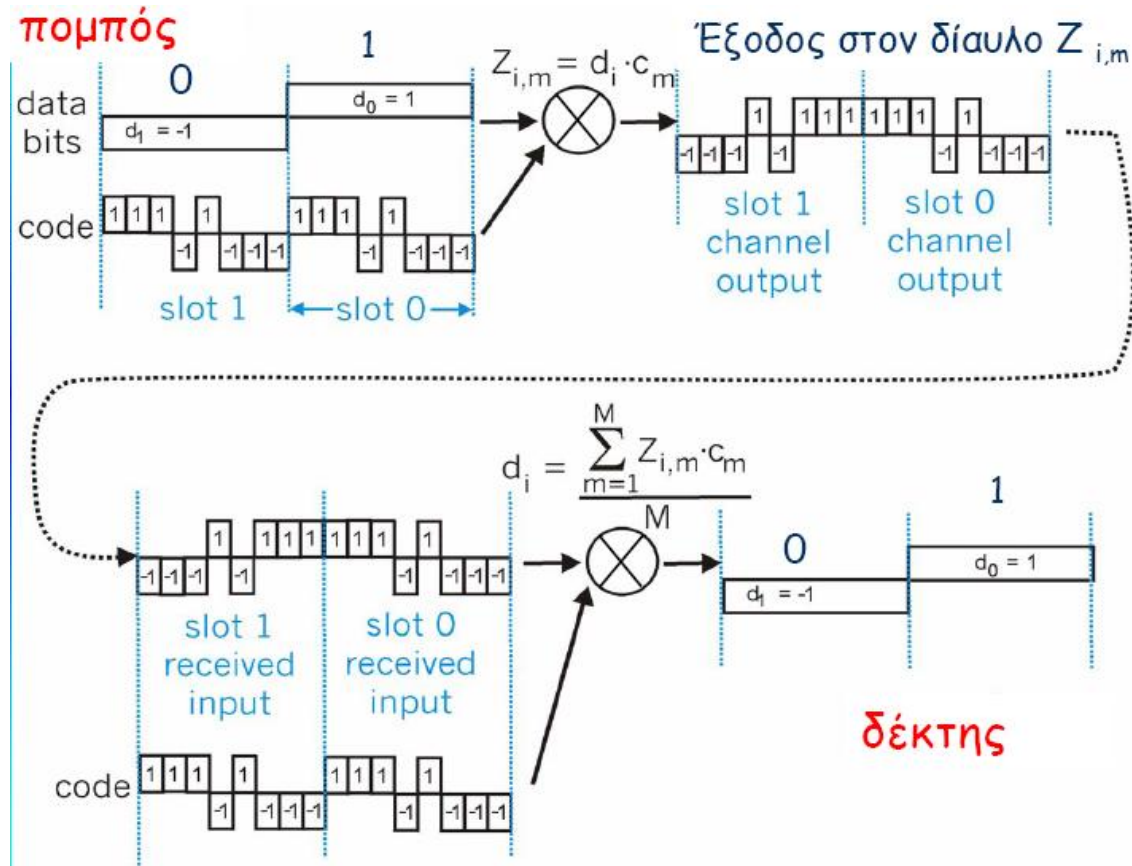
π.χ. $C=24\text{kbps}$, $S/N=0.01$ (-20dB) $\Rightarrow B_T = 1.67$ MHz



Πομπός συστήματος DSSS

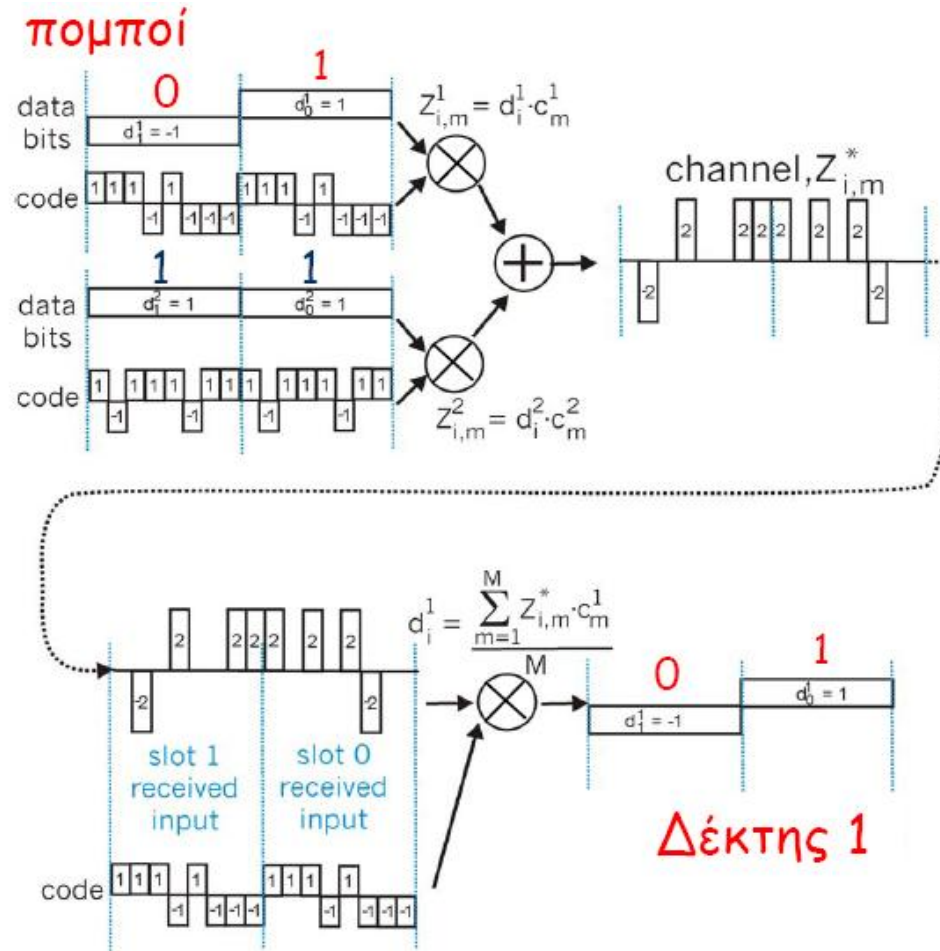


Κωδικοποίηση/ αποκωδικοποίηση



Εικόνα 38.

Παρεμβολή από διπλή μετάδοση



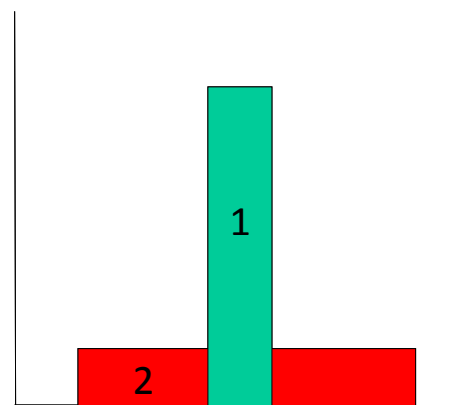
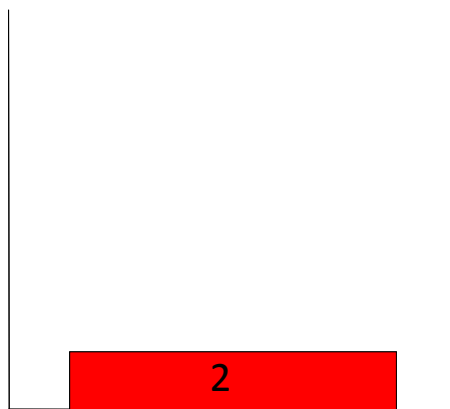
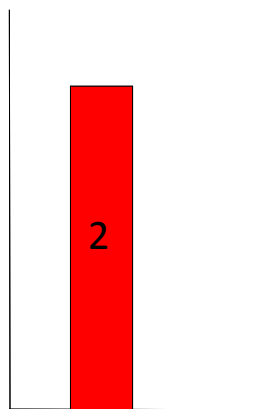
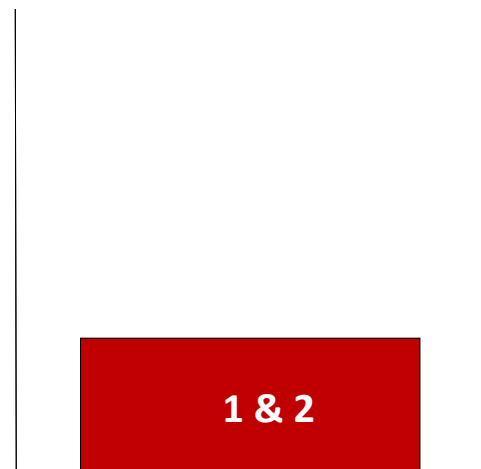
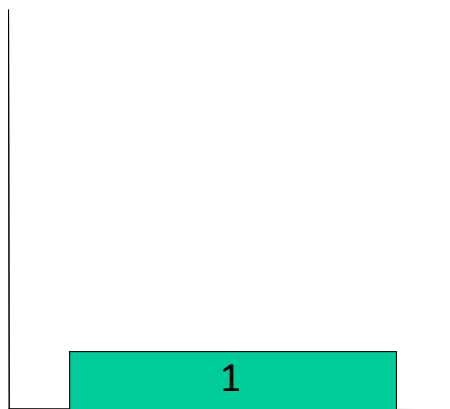
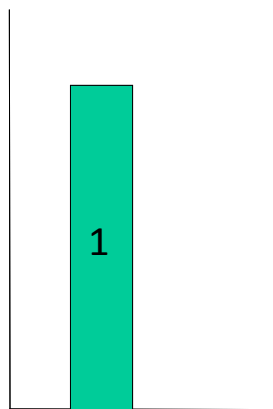
Εικόνα 39.

Πλεονεκτήματα

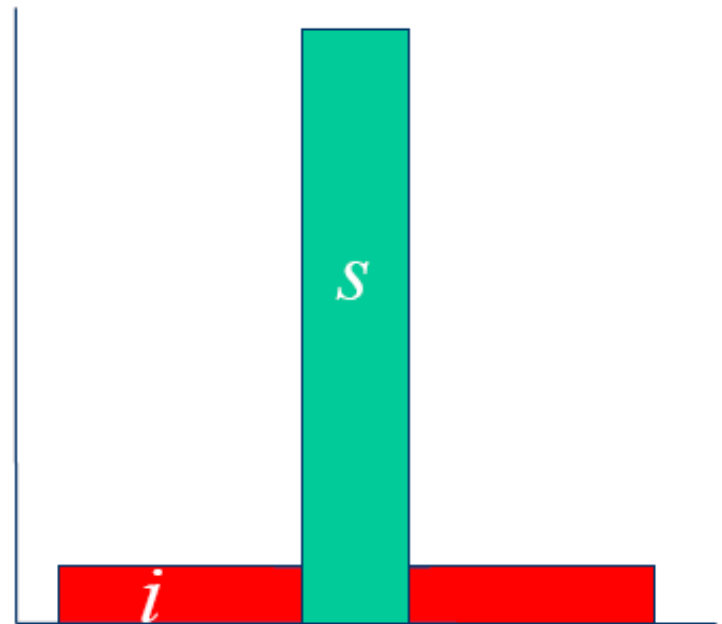
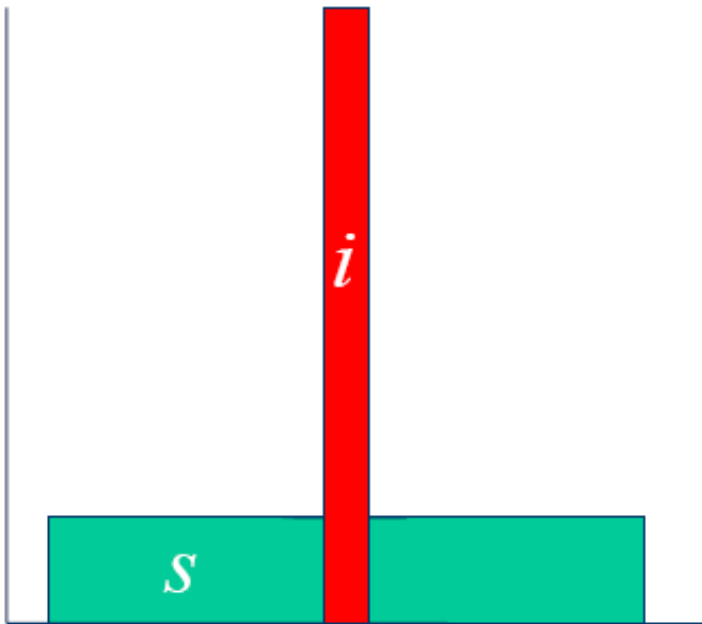
- Δυνατότητα πολλαπλής πρόσβασης.
- Προστασία πληροφορίας.
- Απόρριψη παρεμβολών.
- Προστασία από παρεμβολές λόγω πολλαπλών διαδρομών.
- Δεν υπάρχει ανάγκη συγχρονισμού των χρηστών.
- Δεν υπάρχει όριο στη χωρητικότητα της κυψέλης.
- Όλες οι κυψέλες μπορεί να χρησιμοποιήσουν όλες τις συχνότητες.



CDMA (2)



CDMA - Απόρριψη παρεμβολών

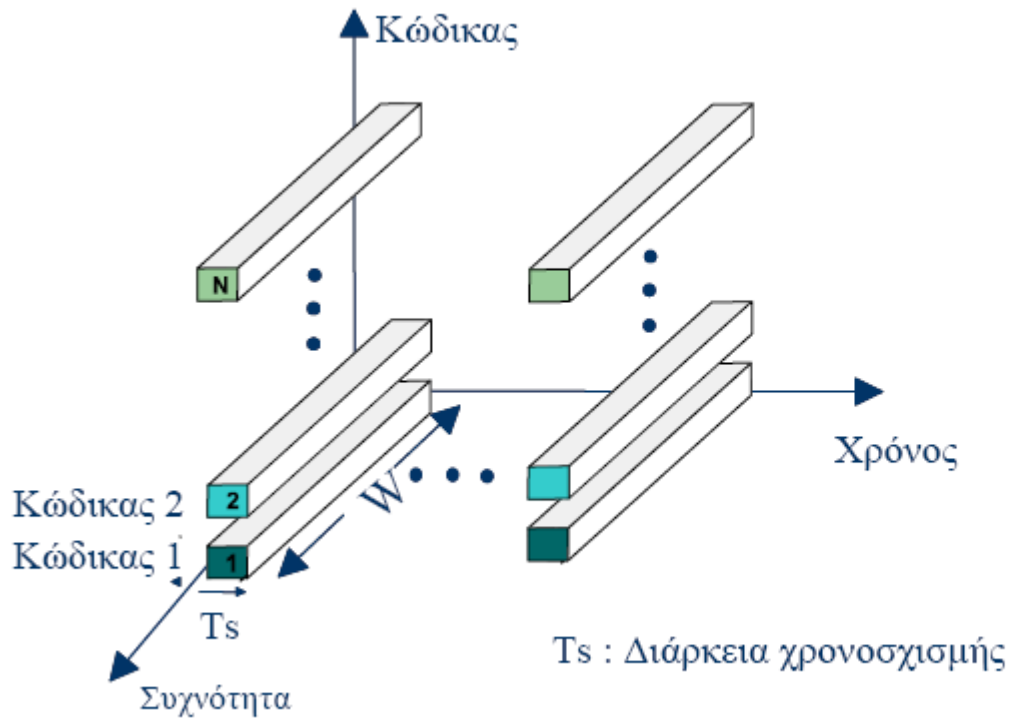


Μειονεκτήματα

- Πολυπλοκότητα εφαρμογής.
- Ανάγκη ελέγχου ισχύος.
- Ανάγκη ύπαρξης ενιαίας ζώνης συχνοτήτων (για άμεση ακολουθία).



CDMA (3)



$$B_W = \frac{R_{ch}}{R_b} = \frac{T_b}{T_{ch}}$$

Εικόνα 40.

CDMA (4)

- Η ισχύς του σήματος δεν μεταβάλλεται από την εξάπλωση.
- Η ισχύς του σήματος είναι στην ουσία η επιφάνεια που ορίζεται από τη φασματική πυκνότητα ισχύος.
- Η πυκνότητα ισχύος του σήματος προς εκείνη του απλωμένου φάσματος του σήματος, θεωρούμενη στο εύρος ζώνης του σήματος, ισούται με $W_s/W = T_b/T_{ch} = B_w$.
- Οι ακολουθίες των κωδίκων έχουν πολύ μικρή συσχέτιση.
- Με την επανασυμπύεση παίρνουμε ενισχυμένο το σήμα που μας ενδιαφέρει και τα υπόλοιπα παραμένουν ως λευκός θόρυβος (αφού είναι ασυσχέτιστα).
- Για να γίνει η αποδιαμόρφωση, αρκεί ο λόγος σήματος προς παρεμβολή, στο εύρος ζώνης του σήματος, να είναι μεγαλύτερος του επιθυμητού.



Περιθώριο παρεμβολής

$$\frac{I_o}{P_r} = \frac{I_t \times W_s}{E_b \times R_b} = \frac{W_s / R_b}{E_b / I_t}$$

Αν τεθεί $E_b/I_t = (E_b/I_t)_0$:

κέρδος επεξεργασίας

$$\text{Περιθώριο παρεμβολής} = \frac{W_s / R_b}{(E_b / I_t)_0} = \frac{G_s}{(E_b / I_t)_0}$$

$$\text{Περιθώριο παρεμβολής (dB)} = G_s \text{ (dB)} - \left(\frac{E_b}{I_t} \right)_0 \text{ (dB)}$$



Χωρητικότητα για σύστημα με μία κυψέλη (1)

$$\frac{I_o}{P_r} = \frac{G_s}{(E_b / I_t)_0} \qquad \frac{I_o}{P_r} = \frac{(M-1)P_r}{P_r} = M-1$$



$$(M-1) = \frac{G_s}{(E_b / I_t)_0}$$

$$M = 1 + \frac{G_s}{E_b / I_t}$$

$$M \approx \frac{G_s}{E_b / I_t}$$

$$M \approx \frac{G_s}{E_b / I_t} \times \frac{1}{\kappa}$$



Χωρητικότητα για σύστημα με μία κυψέλη (2)

- Αν έχουμε κυψέλες με τρεις τομείς, η παρεμβολή μειώνεται στο $1/3$, αλλά λόγω μη τέλειας απόδοσης του χωρισμού σε τομείς (0.85) έχουμε ενίσχυση $G=3 \times 0.85=2.55$. Σ' αυτή την περίπτωση:

$$M \approx \frac{G_s}{E_b / I_t} \times \frac{1}{\kappa} \times G$$

- Επίσης, λόγω επαναχρησιμοποίησης, η απόδοση, όσο αφορά τη χωρητικότητα χρηστών ανά κυψέλη, μειώνεται γιατί παρεμβάλλουν και οι χρήστες από τις άλλες κυψέλες.



Παράμετροι επαναχρησιμοποίησης (1)

- Με τέλειο έλεγχο ισχύος για τα M ενεργά ΜΤ μιας κυψέλης και στάθμη ισχύος από κάθε ΜΤ στον δέκτη του σταθμού βάσης ίση με P_r , η συνολική παρεμβολή I_c που οφείλεται στα υπόλοιπα τερματικά της ίδιας κυψέλης είναι:

$$I_c = (M - 1) \cdot P_r \cdot \kappa_r$$

- Η μέση ισχύς παρεμβολής I_{cn} από τις άλλες κυψέλες, ως κάποιο κλάσμα ξ της συνολικής ισχύος που λαμβάνεται από τον δέκτη του σταθμού βάσης της κυψέλης, είναι

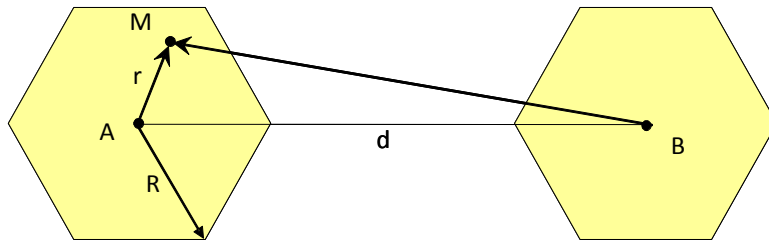
$$I_{cn} = \xi \cdot M \cdot P_r \cdot \kappa_r$$

ξ : κλάσμα επαναχρησιμοποίησης (reuse fraction)

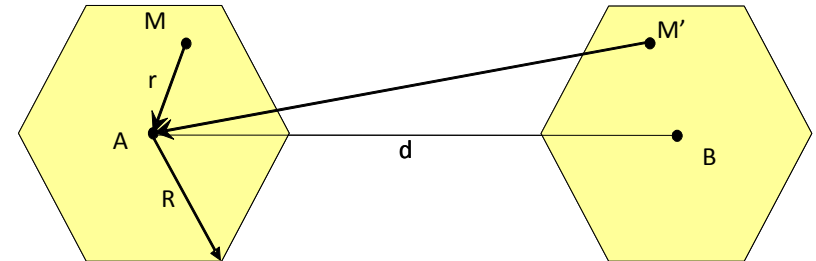
κ_r : η μέση τιμή του συντελεστή δραστηκότητας ομιλίας στη ζεύξη ανόδου



Παράμετροι επαναχρησιμοποίησης (2)



Ζεύξη καθόδου



Ζεύξη ανόδου

- Η συνολική ισχύς παρεμβολής I_o στη ζεύξη ανόδου είναι:

$$I_o = I_c + I_{cn} = [(1 + \xi) \cdot M - 1] \cdot P_r \cdot \kappa_r = \left[\frac{M}{\eta} - 1 \right] \cdot P_r \cdot \kappa_r$$

$\eta = \frac{1}{1 + \xi}$: απόδοση επαναχρησιμοποίησης (reuse efficiency)

$K = 1 + \xi$: συντελεστής επαναχρησιμοποίησης (reuse factor)



Δίκτυα CDMA με πολλές κυψέλες (1)

- Για να επιτευχθεί ικανοποιητική επίδοση σε μια ζεύξη CDMA πρέπει πρώτα να ορισθεί ο επιθυμητός λόγος FER (Frame Error Ratio).
- Στη συνέχεια προσδιορίζονται πειραματικά οι λόγοι E_b/I_t , στις ζεύξεις ανόδου και καθόδου.
 - E_b : ενέργεια ανά bit μεταδιδόμενης πληροφορίας
 - I_t : φασματική πυκνότητα παρεμβολής και θορύβου
- Ο μέγιστος υποστηριζόμενος αριθμός MT στη ζεύξη ανόδου είναι διαφορετικός από εκείνον της ζεύξης καθόδου.
- Κανονικά, η χωρητικότητα ενός συστήματος CDMA εξαρτάται από τη χωρητικότητα στη ζεύξη ανόδου.



Δίκτυα CDMA με πολλές κυψέλες (2)

- Προτεινόμενες τιμές E_b/I_t , με βάση τα πειράματα.

Ταχύτητα MT	E_b/I_t (dB)	Παρατηρήσεις
Μικρή (≤ 8 km/h)	5	Η διάρκεια των διαλείψεων είναι μεγαλύτερη από την περίοδο των ενημερώσεων ελέγχου ισχύος στο τερματικό.
Μεσαία (≈ 50 km/h)	7	Δεν ισχύουν τα πλεονεκτήματα της χαμηλής ή της υψηλής ταχύτητας, οπότε απαιτείται ελαφρώς υψηλότερη τιμή E_b/I_t .
Υψηλή (≥ 80 km/h)	6 - 6.5	Η διάρκεια των διαλείψεων είναι μικρή και συγκρίσιμη με τη διάρκεια του chip. Συνεπώς, απαιτείται μικρή τιμή E_b/I_t .



Δίκτυα CDMA με πολλές κυψέλες (3)

- Τιμές του ξ , για διάφορες τιμές της τυπικής απόκλισης σ και για $n = 4$.

σ (dB)	ξ	
	2-way SHO	3-way SHO
0	0.44	0.44
2	0.43	0.43
4	0.47	0.45
6	0.56	0.49
8	0.77	0.57
10	1.28	0.75
12	2.62	1.17



Φορτίο κυψέλης

- Είναι ένα μέτρο για τη ολική ισχύ παρεμβολής I_o που επιτρέπεται σε ένα σύστημα, με αναφορά τον θερμικό θόρυβο N_t

$$\rho = \frac{M}{M_{\max}}$$

M : ενεργά ΜΤ που εξυπηρετούνται από μια κυψέλη

M_{\max} : μέγιστος δυνατός αριθμός ΜΤ που μπορεί να εξυπηρετηθούν από την κυψέλη

- Αποδεικνύεται ότι: $\rho \approx I_o / (I_o + N_t)$



Χωρητικότητα ζεύξης ανόδου (1)

Αν αγνοήσουμε τον θόρυβο σε σύστημα CDMA με πολλές κυψέλες.

$$\left(\frac{S}{I}\right)_0 = \left(\frac{E_b}{I_t}\right)_0 \cdot \frac{R_b}{W_s} = \left(\frac{E_b}{I_t}\right)_0 \cdot \frac{1}{G_s}$$

$$\left(\frac{E_b}{I_t}\right)_0 = \frac{P_r \cdot G_s}{I_c + I_{cn}} = \frac{P_r \cdot G_s}{(M-1) \cdot P_r \cdot \kappa_r + \xi \cdot M \cdot P_r \cdot \kappa_r}$$

Σε σύστημα CDMA με μία κυψέλη

$$\left(\frac{E_b}{I_t}\right)_0 = \frac{P_r \cdot G_s}{(M'-1) \cdot P_r \cdot \kappa_r}$$

$$\frac{M'}{M} = 1 + \xi = K$$

Η χωρητικότητα ανά κυψέλη σε σύστημα CDMA με μία κυψέλη είναι μεγαλύτερη από εκείνη του συστήματος με πολλές κυψέλες.



Χωρητικότητα ζεύξης ανόδου (2)

Αν λάβουμε υπόψη τον θόρυβο και έχουμε σύστημα με μία κυψέλη:

$$E_b = P_{ri} / R_b \quad N_t = N_0 W_s \quad I_{c0} = \frac{1}{W_s} \sum_{i=1}^{M-1} \kappa_r \cdot P_{ri}$$

Για τέλειο έλεγχο ισχύος στη ζεύξη ανόδου και P_r για όλα τα ΜΤ:

$$I_t = \frac{(M-1) \cdot \kappa_r \cdot P_r}{W_s} + N_0 = I_{c0} + N_0$$



Χωρητικότητα ζεύξης ανόδου (3)

$$M = 1 + G_s \cdot \left[\frac{1}{(E_b / I_t) \cdot \kappa_r} \right] - \frac{N_0 W_s}{\kappa_r \cdot P_r} \quad P_r = \frac{(E_b / I_t) \cdot N_0}{\frac{1}{R_b} - \frac{(M-1) \cdot (E_b / I_t) \cdot \kappa_r}{W_s}}$$

Αν λάβουμε υπόψη την παρεμβολή από τις άλλες κυψέλες:

$$\frac{E_b}{I_t} = G_s \cdot \frac{P_r}{N_0 W_s + (M-1) \cdot \kappa_r \cdot P_r \cdot K}$$



Χωρητικότητα ζεύξης ανόδου (4)

Αν ο έλεγχος ισχύος δεν είναι τέλειος και τον λάβουμε υπόψη με έναν παράγοντα η_c :

$$\frac{E_b}{I_t} = G_s \cdot \frac{P_r}{N_0 W_s + (M - 1) \cdot \kappa_r \cdot (P_r / \eta_c) \cdot K}$$

$$M = 1 + G_s \cdot \left[\frac{\eta_c}{(E_b / I_t) \cdot \kappa_r \cdot K} \right] - \frac{N_0 \cdot W_s \cdot \eta_c}{\kappa_r \cdot P_r \cdot K} \quad P_r = \frac{(E_b / I_t) \cdot N_0}{\frac{1}{R_b} - \frac{(M - 1) \cdot (E_b / I_t) \cdot K \cdot \kappa_r}{W_s \cdot \eta_c}}$$

Ασυμπτωτική χωρητικότητα

$$M_{\max} = 1 + G_s \cdot \left[\frac{\eta_c}{(E_b / I_t) \cdot \kappa_r \cdot K} \right] \quad M_{\max} \approx G_s \cdot \left[\frac{\eta_c}{(E_b / I_t) \cdot \kappa_r \cdot K} \right]$$



Παράδειγμα 6.1

Σε σύστημα CDMA $W_s = 1.23$ MHz, $R_b = 9.6$ kbps και $(E_b/I_t)_0 = 7$ dB. Θεωρούμε ότι $\xi = 0.55$, $\kappa = 0.5$, $\eta_c = 0.8$ και το κέρδος λόγω χωρισμού των κυψελών σε τομείς είναι ίσο με 2.55.

1. Να υπολογισθεί η ασυμπτωτική χωρητικότητα.
2. Ποιος είναι ο μέσος αριθμός MT που μπορεί να υποστηριχθεί από έναν τομέα κυψέλης, σε κυψέλη με τρεις τομείς;
3. Κατά πόσο θα μειωθεί η χωρητικότητα τομέα, αν $R_b = 14.4$ kbps;

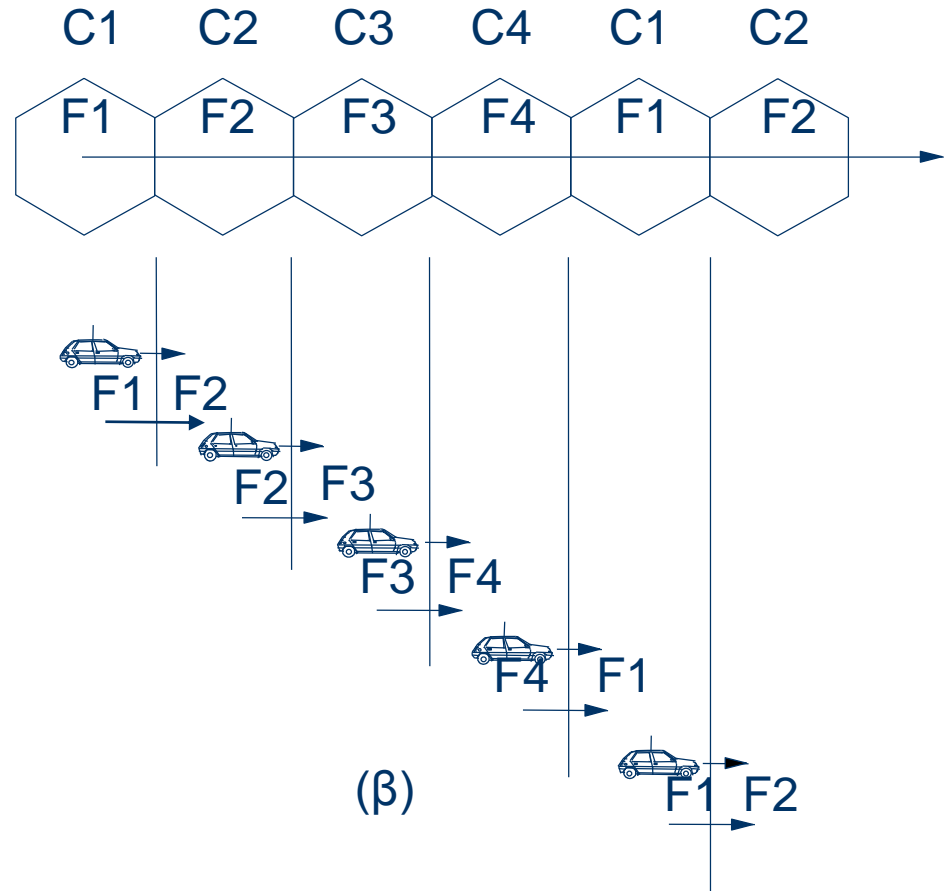
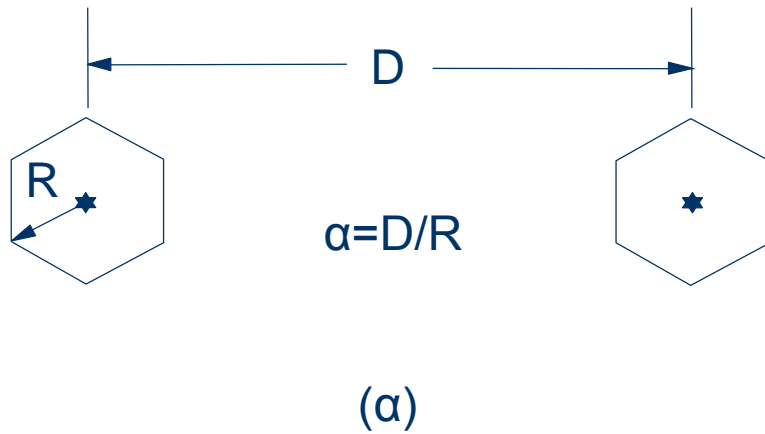


Συστήματα CDMA

- CDMA ευθείας ακολουθίας (Direct Sequence CDMA, DS/CDMA)
- CDMA με μεταπήδηση συχνότητας (Frequency Hopping CDMA, FH/CDMA)
- CDMA με μεταπήδηση χρόνου (Time Hopping CDMA, TH/CDMA)
- Υβριδικά συστήματα CDMA

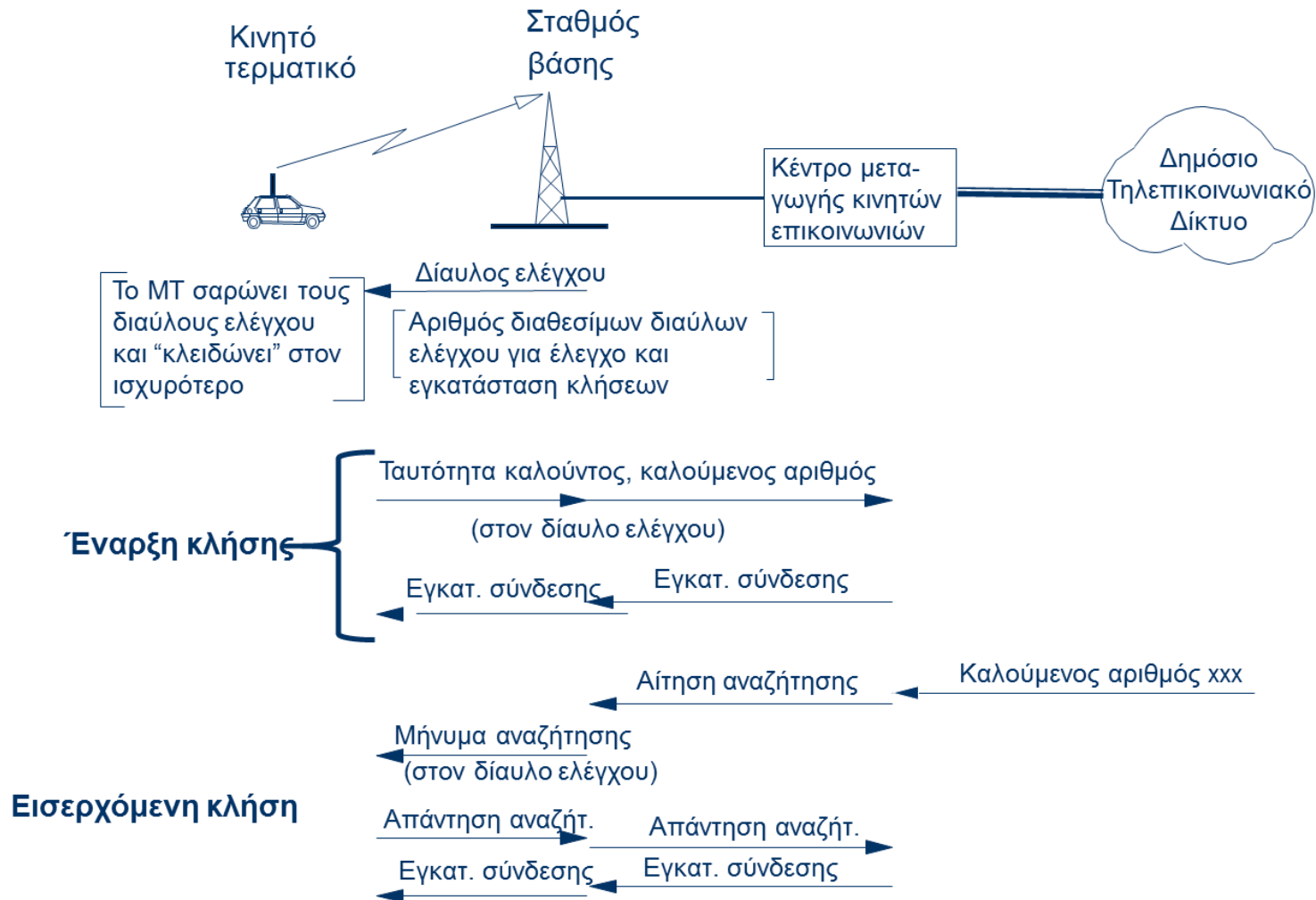


Μηχανισμός διαπομπής

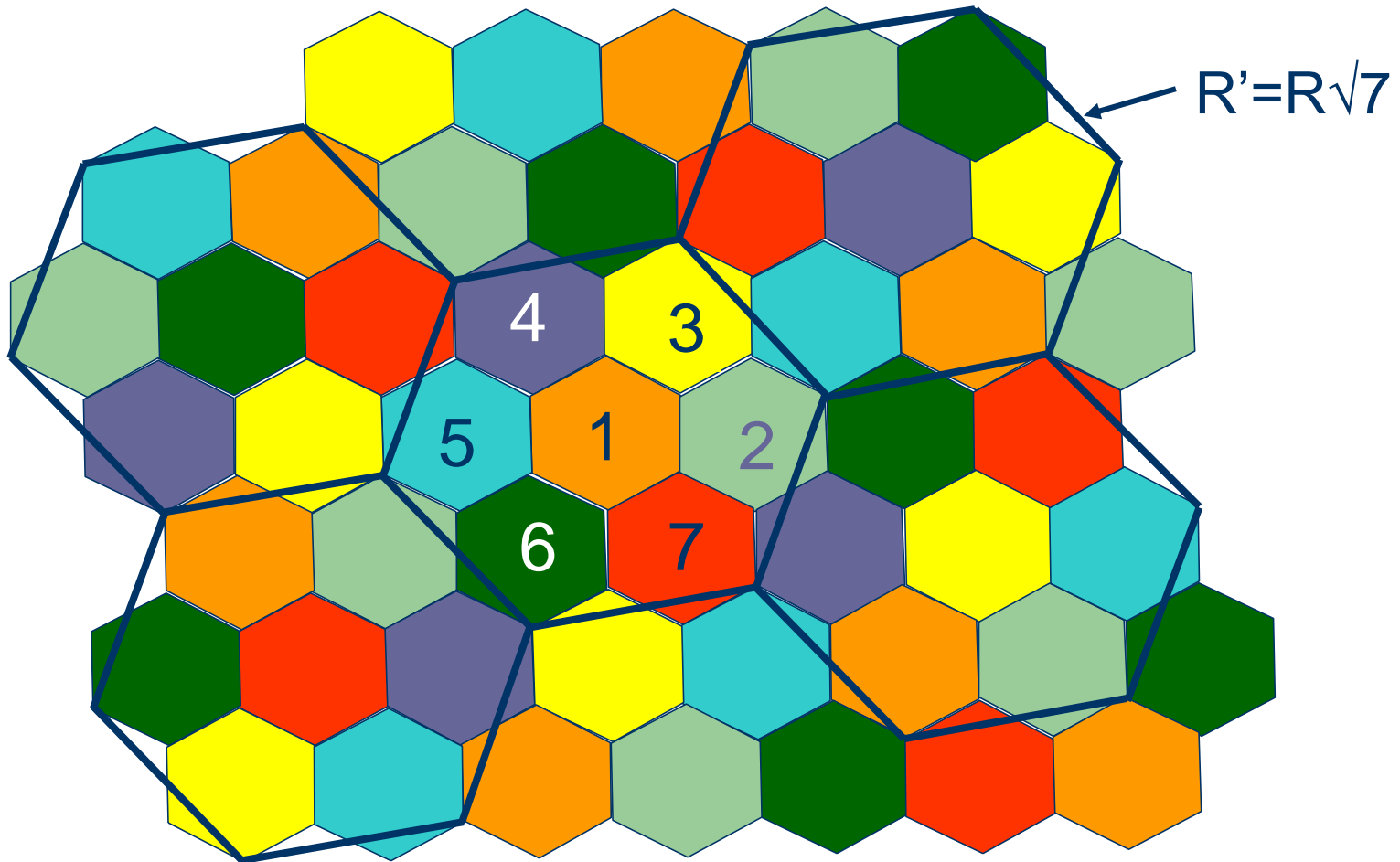


Εικόνα 41.

Ασύρματη πρόσβαση



Άσκηση 3.9



Εικόνα 42.



Χωρητικότητα τηλεπικοινωνιακού διαύλου (1)

Κανονικοποιημένη χωρητικότητα χωρίς σφάλματα:

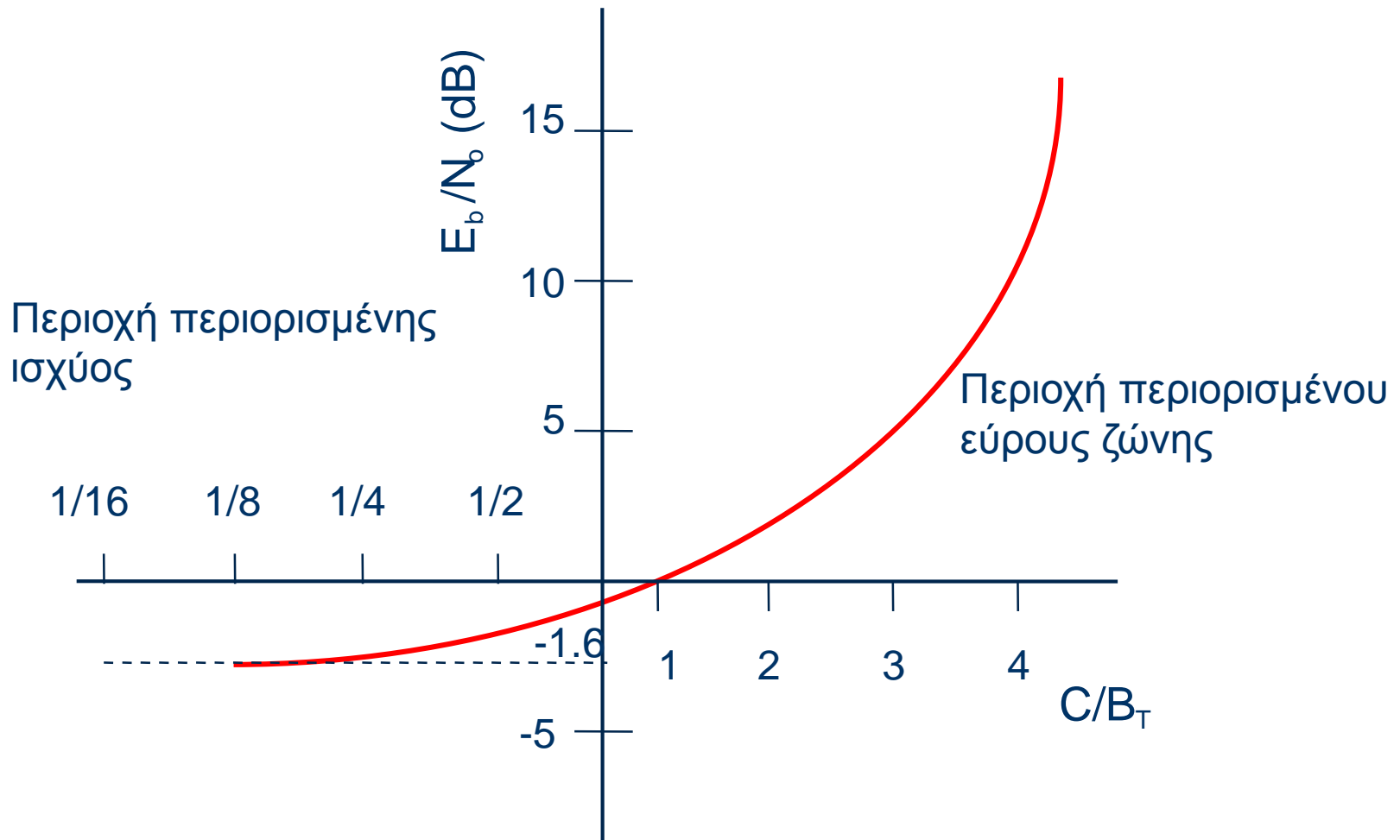
$$\frac{C}{B_T} = \log_2 \left[1 + \frac{S}{N_o B_T} \right] = \log_2 \left[1 + \frac{E_b}{N_o} \left(\frac{R}{B_T} \right) \right]$$

Ιδανικός δίαυλος, $R = C$:

$$\frac{C}{B_T} = \log_2 \left[1 + \frac{E_b}{N_o} \left(\frac{C}{B_T} \right) \right] \qquad \frac{E_b}{N_o} = \frac{2^{\frac{C}{B_T}} - 1}{\frac{C}{B_T}}$$



Χωρητικότητα τηλεπικοινωνιακού διαύλου (2)



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Έχουν προηγηθεί οι κάτωθι εκδόσεις:

- Έκδοση διαθέσιμη [εδώ](#).



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Νικόλαος Πασσάς 2015. Νικόλαος Πασσάς. «Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών, Βασικές αρχές των κυψελωτών συστημάτων κινητών επικοινωνιών». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/DI118>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1: Πηγή: Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών, 2η έκδοση, Μ.Ε. Θεολόγου, Εκδόσεις Τζιόλας. Copyrighted.

Εικόνα 2: «In the VLF, LF, and MF bands, radio waves follow the curvature of the earth. (b) In the HF band, they bounce off the ionosphere». Copyrighted.

<http://www.epubbud.com/read.php?g=5HEKFDZU&tocp=21>

Εικόνα 3: «Illustration of the frequency hopping concept». Copyrighted.

http://www.oocities.org/terry_chim/school/457a1/ds_vs_fh.html

Εικόνα 4: «Frequency hopping allows each frequency to be used by several». Copyrighted. <http://tohsrewop.com/frequency-hopping-patterns/>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/4)

Εικόνα 5: «DSSS - Transmitter and Receiver». Copyrighted.

<http://ironbark.xtelco.com.au/subjects/DC/lectures/22/>

Εικόνα 6: «Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)». Copyrighted.

<http://ironbark.xtelco.com.au/subjects/DC/lectures/22/>

Εικόνα 7: «Sunt prezentate semnalele care rezulta in urma modulatiilor digitale in amplitudine, in frecventa si in faza». Copyrighted.

<http://www.creeaza.com/tehnologie/electronica-electricitate/Tehnici-de-transmisiuni-digita511.php>

Εικόνα 8: «Examples of constellations (digital modulation)». Copyrighted.

<http://www.creeaza.com/tehnologie/electronica-electricitate/Tehnici-de-transmisiuni-digita511.php>

Εικόνες 9, 10: Πηγή: Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών, 2η έκδοση, Μ.Ε. Θεολόγου, Εκδόσεις Τζιόλας. Copyrighted.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/4)

Εικόνα 11: «Κυψελωτή δομή». Copyrighted.

http://people.seas.harvard.edu/~jones/cscie129/nu_lectures/lecture7/cellular/cell_1.html

Εικόνα 12: «Κυψελωτή δομή - Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων». Copyrighted.

Εικόνα 13: Πηγή: Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών, 2η έκδοση, Μ.Ε. Θεολόγου, Εκδόσεις Τζιόλας. Copyrighted.

Εικόνα 14: «Network Planning». Copyrighted. «Hexagons defining outdoor cellular coverage areas». Copyrighted. <http://www.realwireless.biz/tag/cellular/>

Εικόνα 15 έως 26: Πηγή: Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών, 2η έκδοση, Μ.Ε. Θεολόγου, Εκδόσεις Τζιόλας. Copyrighted.

Εικόνα 27: «Erlang» by <http://www.polytechphotos.dk>. Licensed under Public Domain via Commons

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Erlang.jpg#/media/File:Erlang.jpg>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/4)

Εικόνα 28 έως 37: Πηγή: Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών, 2η έκδοση, Μ.Ε. Θεολόγου, Εκδόσεις Τζιόλας. Copyrighted.

Εικόνα 38: «A simple CDMA example: sender encoding, receiver decoding». Copyrighted. http://www.netcourse.ecnu.edu.cn/chapter5_3.asp

Εικόνα 39: «A two-sender CDMA example». Copyrighted. http://www.netcourse.ecnu.edu.cn/chapter5_3.asp

Εικόνα 40: «CDMA». Copyrighted.

Εικόνα 41: «Μηχανισμός διαπομπής». Copyrighted

Εικόνα 42: Πηγή: Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών, 2η έκδοση, Μ.Ε. Θεολόγου, Εκδόσεις Τζιόλας. Copyrighted.

