



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Παρεμβολές στο ασύρματο περιβάλλον
των συστημάτων κινητών επικοινωνιών

Περίληψη



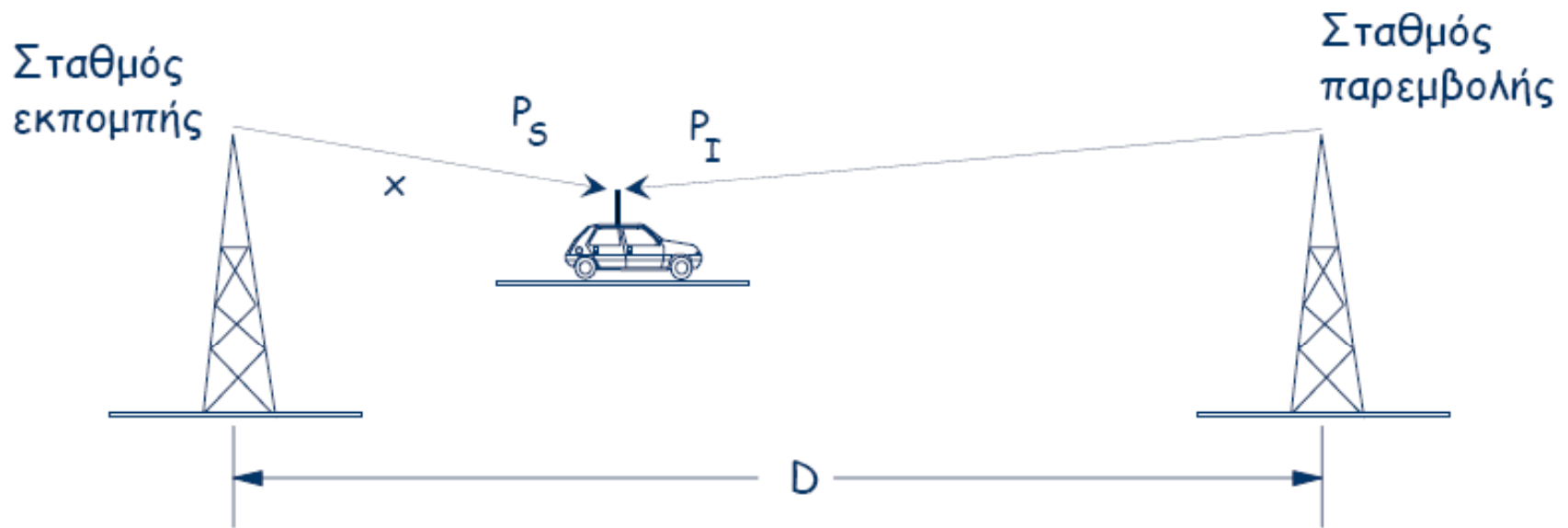
- Ομοδιαυλική παρεμβολή
- Παρεμβολή γειτονικών διαύλων
- Ενδοδιαμόρφωση
- Λόγος κοντινού προς μακρινό άκρο
- Διασυμβολική παρεμβολή
- Βελτίωση χωρητικότητας κυψελωτών δικτύων

Ομοδιαυλική παρεμβολή



$$\frac{S}{I} = \frac{P_S}{P_I}$$

$$10 \log \frac{P_S}{P_I} > T \text{ dB}$$



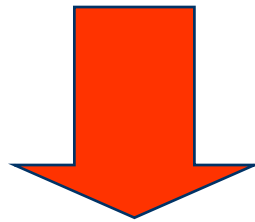
Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Θεωρούμε ότι:

- Οι κυψέλες είναι ίσες, ακτίνας R
- Οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν την ίδια ισχύ



Η ομοδιαυλική παρεμβολή είναι ανεξάρτητη από τη εκπεμπόμενη ισχύ

$$\frac{S}{I} = g(\alpha, n)$$

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Συντελεστής μείωσης της ομοδιαυλικής παρεμβολής

$$\alpha = \frac{D}{R}$$

βασική παράμετρος για τη μελέτη της ομοδιαυλικής παρεμβολής

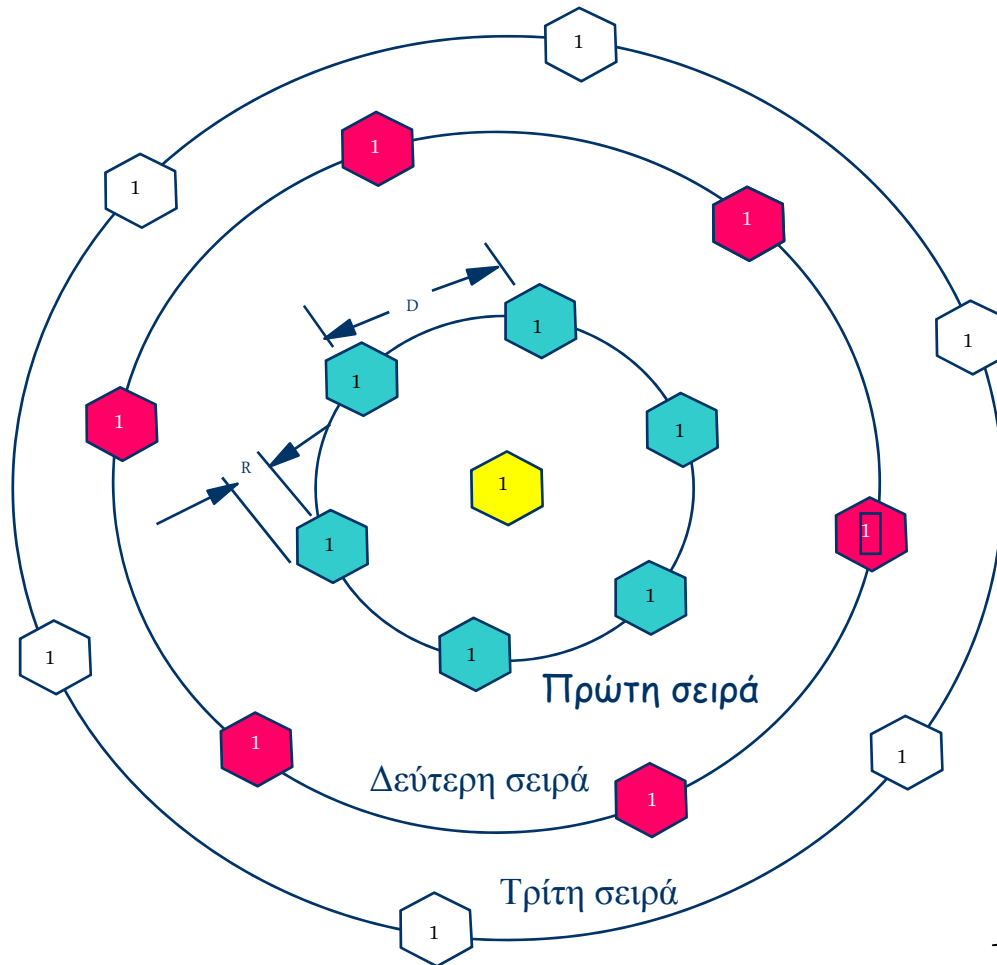
$$\alpha_{-} = 2K$$

$$\alpha_{\square} = 2\sqrt{K}$$

$$\alpha_{\circ} = \sqrt{3K}$$

$$\frac{S}{N_0 + I} = \frac{S}{N_0 + \sum_{k=1}^{K_I} I_k}$$

Ομοδιαυλική παρεμβολή



$$D = f\left(K_I, \frac{S}{I}\right)$$

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Αν n είναι ο εκθέτης απωλειών διαδρομής και η στάθμη του τοπικού θορύβου είναι πολύ μικρότερη της στάθμης παρεμβολής

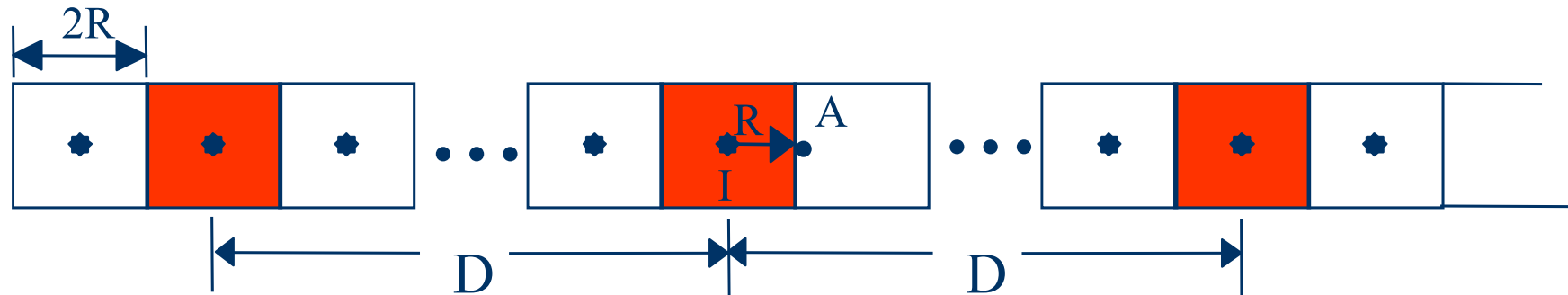
$$S / I = \frac{R^{-n}}{\sum_{k=1}^{K_I} D_k^{-n}} \quad S / I = \frac{1}{\sum_{k=1}^{K_I} \left(\frac{D_k}{R} \right)^{-n}} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{K_I} \alpha_k^{-n}}$$

$$\alpha_k = \frac{D_k}{R}$$

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Μονοδιάστατα συστήματα: ζεύξη καθόδου



$$P_S = \frac{P_t}{R^n}$$

$$D = K \cdot 2R$$

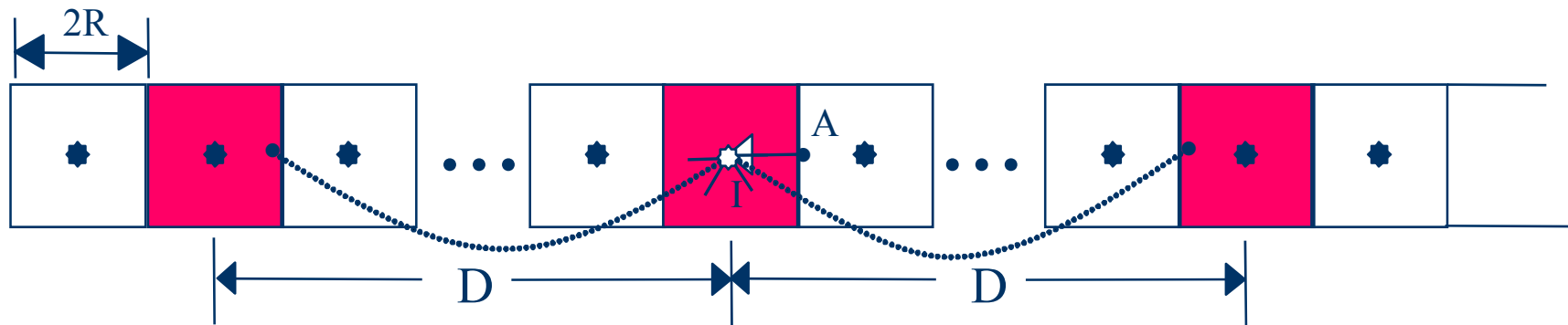
$$P_I = \frac{P_t}{(D-R)^n} + \frac{P_t}{(D+R)^n} + \frac{P_t}{(2D-R)^n} + \frac{P_t}{(2D+R)^n} + \dots$$

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{(2K-1)^{-n} + (2K+1)^{-n} + (4K-1)^{-n} + (4K+1)^{-n} + \dots}$$

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Μονοδιάστατα συστήματα: ζεύξη ανόδου

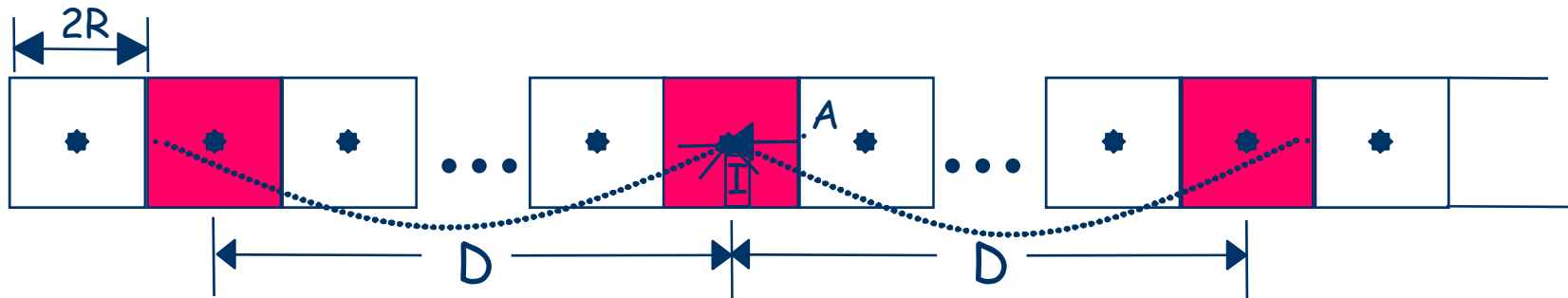


$$\frac{S}{I} = \frac{(2K - 1)^n}{2}$$

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Μονοδιάστατα συστήματα: ζεύξη ανόδου



$$\frac{S}{I} = \frac{(2K + 1)^n}{2}$$

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Μονοδιάστατα συστήματα

Παράδειγμα 4.1

Κυψελωτό σύστημα για αυτοκινητόδρομο μεγάλης ταχύτητας, $n = 3.5$ και $S/I = 100$ (20dB).

α) Αν d είναι η απόσταση των BTS, ποιος είναι ο ελάχιστος λόγος D/d που θα εξασφαλίζει τον απαιτούμενο λόγο S/I ;

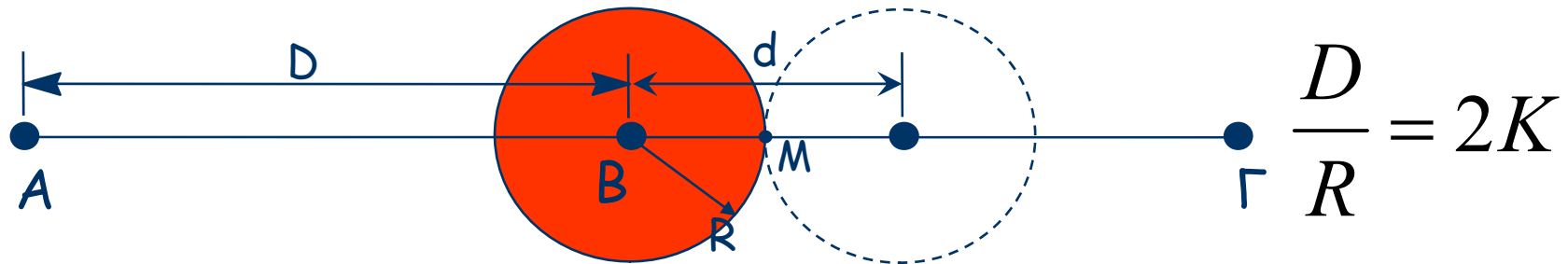
β) Αν $d = 1600\text{m}$, ποια είναι η D ;

γ) Αν $C = 400$ δίαυλοι, πόσα κινητά τηλέφωνα μπορεί να τους χρησιμοποιούν ταυτόχρονα σε κάθε κυψέλη; Νομίζετε ότι η χωρητικότητα είναι επαρκής;

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Μονοδιάστατα συστήματα



$$\frac{S}{I} = \frac{1}{(2K-1)^{-n} + (2K+1)^{-n} + (4K-1)^{-n} + (4K+1)^{-n} + \dots}$$

$$\frac{S}{I} \geq 100 \quad (2K-1)^n \geq 100$$

$$K = \frac{1 + \sqrt[n]{100}}{2} = 2.363 \quad \Rightarrow K = 3$$

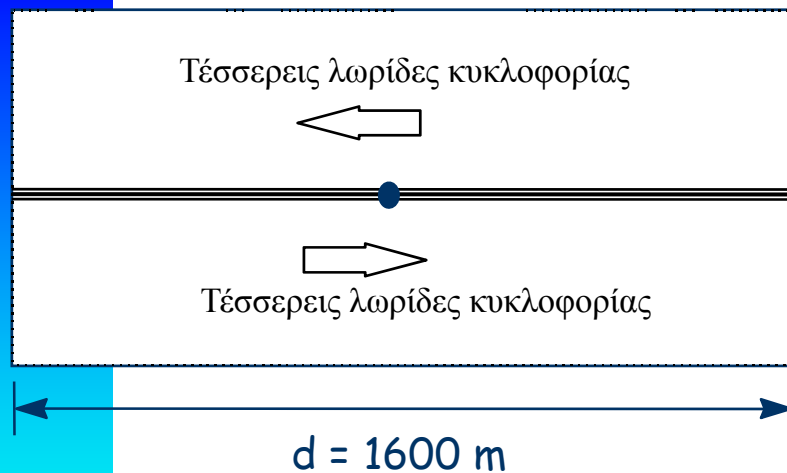
Ομοδιαυλική παρεμβολή



Μονοδιάστατα συστήματα

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{5^{-3.5} + 7^{-3.5} + 11^{-3.5} + 13^{-3.5}} = 198.71(22.98dB)$$

$$D = Kd = 3 \times 1600 = 4800m$$



$$C_c = C_{ολ} / 3 = 133$$

$$\text{Για } GOS = 1\% \Rightarrow A_c = 115.3 \text{ erlang}$$

$$A_u = 0.1 \text{ erlang} \Rightarrow 1153 \text{ χρήστες}$$

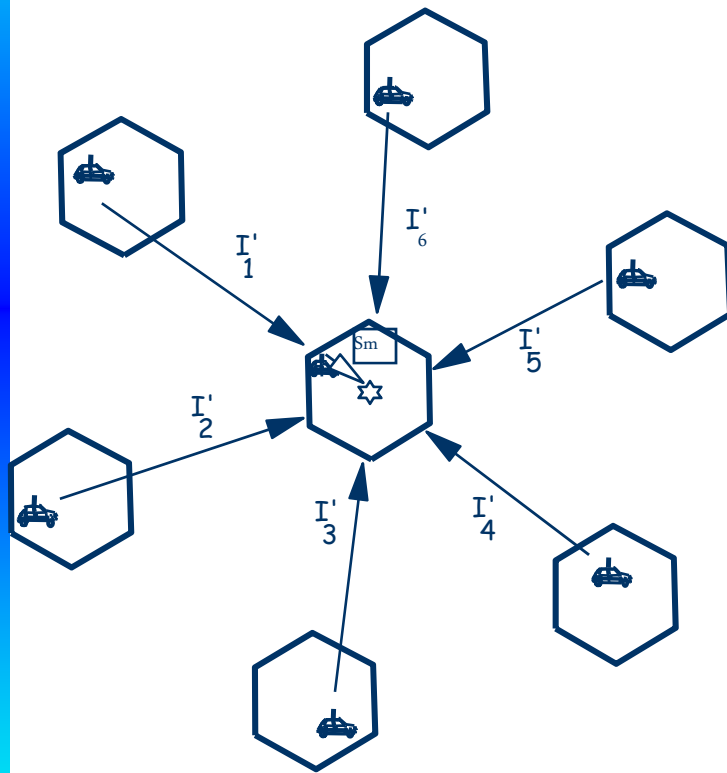
$$(1153 / 2) / 8 = 72 \text{ αυτοκ.} / \text{λωρ.}$$

$$1600 / 72 = 1 \text{ αυτοκ.} / 22 \text{ m}$$

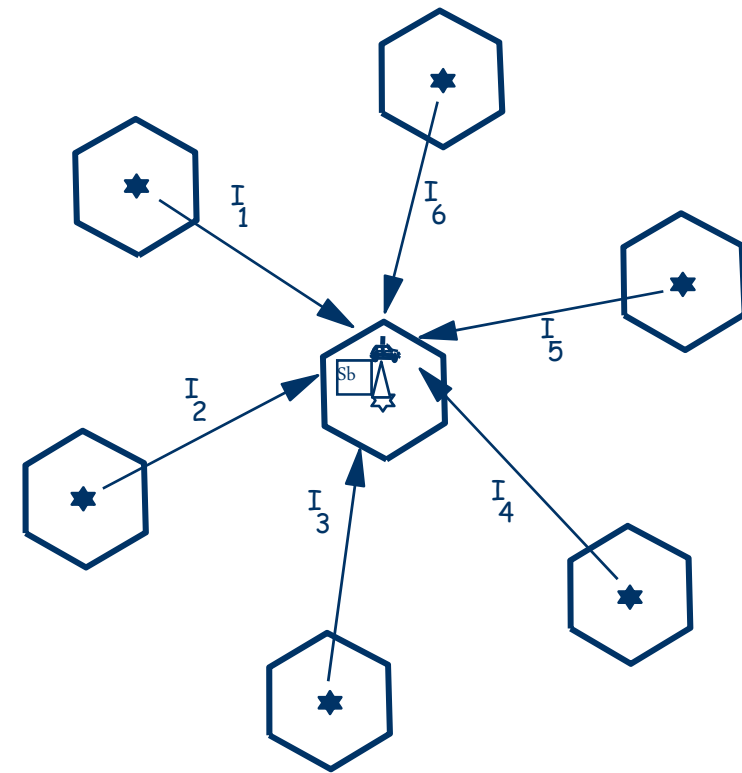
Ομοδιαυλική παρεμβολή



Συστήματα δύο διαστάσεων



(α)



(β)

Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Συμμετρικά συστήματα δύο διαστάσεων

$D_k = D$ και $\alpha_k = \alpha$, για $k = 1, \dots, \ell$ και $\ell = 4$ ή 6

$$S / I = \frac{R^{-n}}{lD^{-n}} = \frac{\alpha^n}{l} \quad \alpha^n = l \frac{S}{I}$$

$$\alpha = \left(l \frac{S}{I} \right)^{1/n}$$

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Συμμετρικά συστήματα δύο διαστάσεων

$$a = \left(l \frac{S}{I} \right)^{1/n}$$

$$l = 4$$

$$a = 2\sqrt{K}$$

$$K = i^2 + j^2$$

$$l = 6$$

$$a = \sqrt{3K}$$

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

$$K = \frac{1}{2^2} \left(4 \frac{S}{I} \right)^{\frac{2}{n}}$$

$$K = \frac{1}{3} \left(6 \frac{S}{I} \right)^{\frac{2}{n}}$$

Ομοδιαυλική παρεμβολή

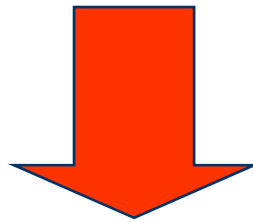


Συστήματα δύο διαστάσεων

$$K = f(S / I, n)$$

Για σταθερό S/I :

- Μικρό $n \Rightarrow$ μεγάλο K
- Μεγάλο $n \Rightarrow$ μικρό K , αλλά αυξημένη ισχύς εκπομπής

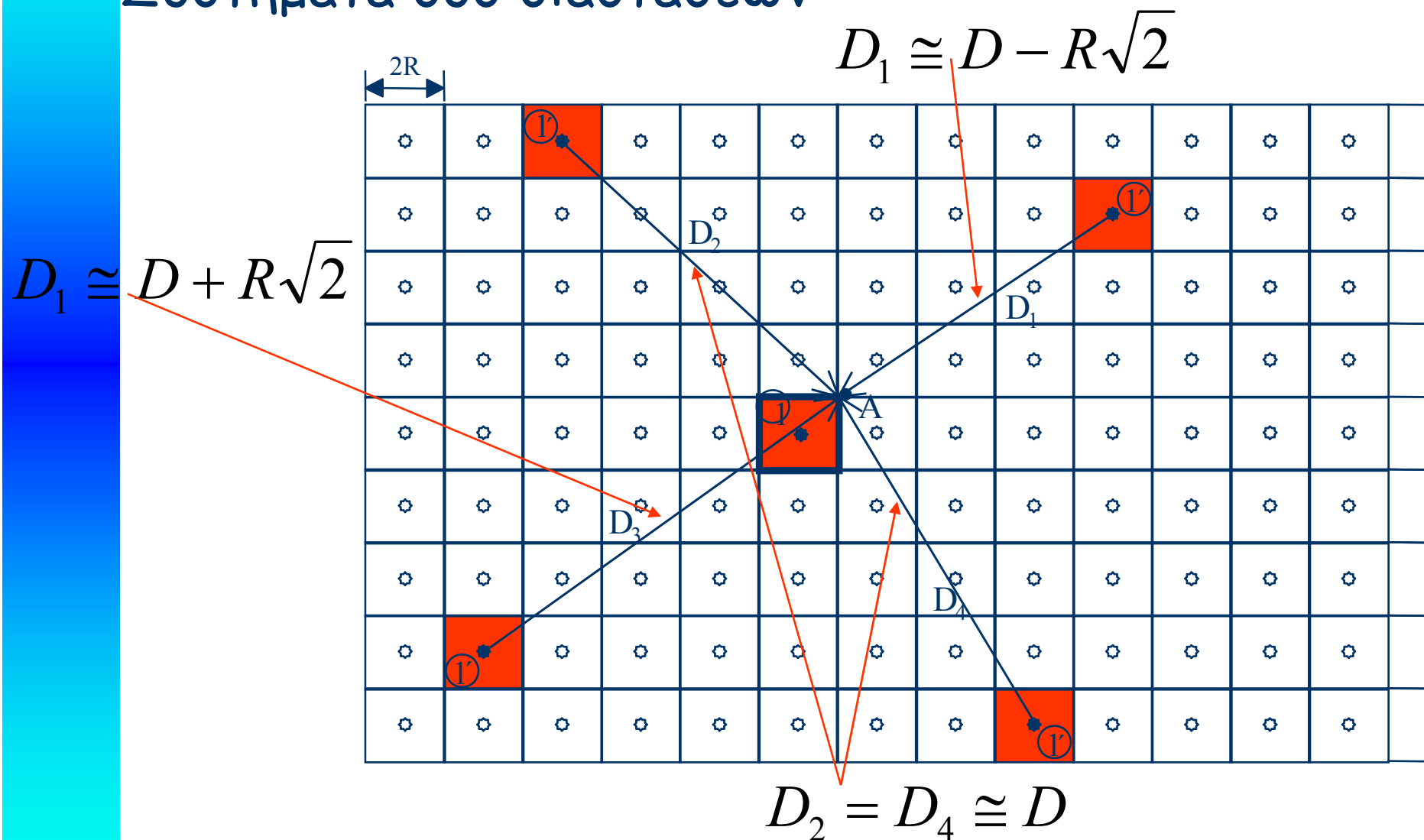


- Μεγάλο n σε αστικές περιοχές
- Μικρό n σε ημιαστικές και αγροτικές περιοχές

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Συστήματα δύο διαστάσεων



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Συστήματα δύο διαστάσεων

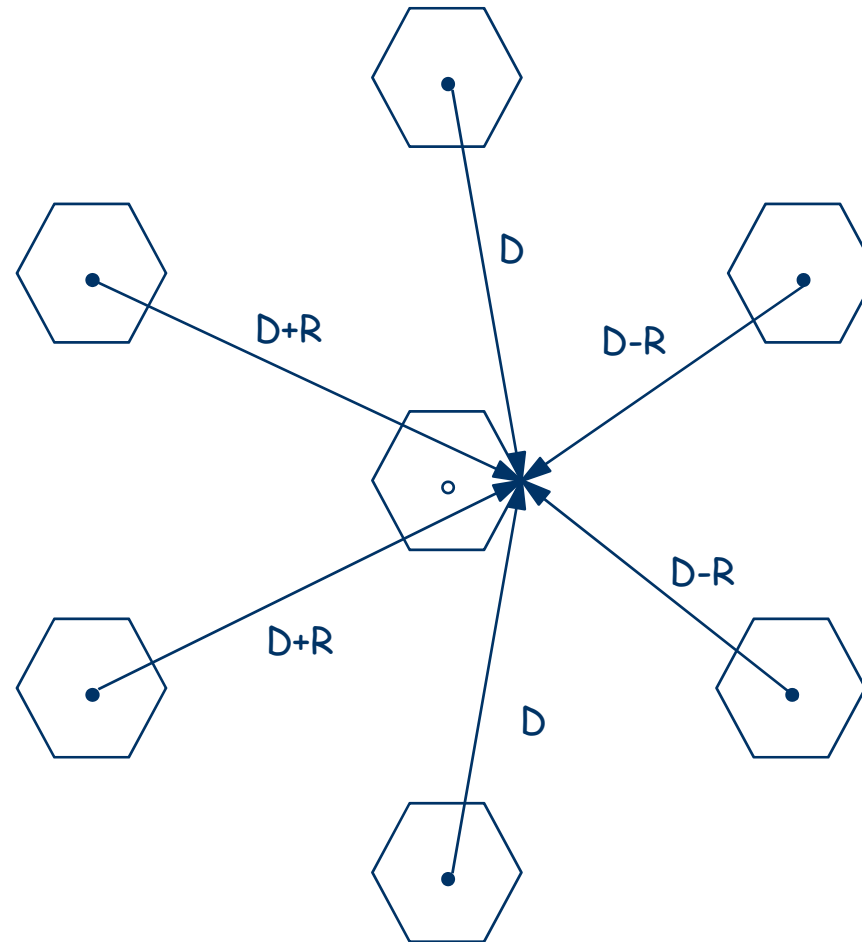
$$S / I = \frac{(\sqrt{2}R)^{-n}}{(D - \sqrt{2}R)^{-n} + 2D^{-n} + (D + \sqrt{2}R)^{-n}}$$

$$S / I = \frac{1}{(\alpha / \sqrt{2} - 1)^{-n} + 2(\alpha / \sqrt{2})^{-n} + (\alpha / \sqrt{2} + 1)^{-n}}$$

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Συστήματα δύο διαστάσεων



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Συστήματα δύο διαστάσεων

$$S / I = \frac{R^{-n}}{2(D - R)^{-n} + 2D^{-n} + 2(D + R)^{-n}}$$

$$S / I = \frac{1}{2(\alpha - 1)^{-n} + 2\alpha^{-n} + 2(\alpha + 1)^{-n}}$$

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Συστήματα δύο διαστάσεων

Παράδειγμα 4.3γ

Κυψελωτό σύστημα χρησιμοποιεί 10 MHz ανά κατεύθυνση μετάδοσης. Οι BTS χρησιμοποιούν ιστροπικές κεραιές και $n=4$.

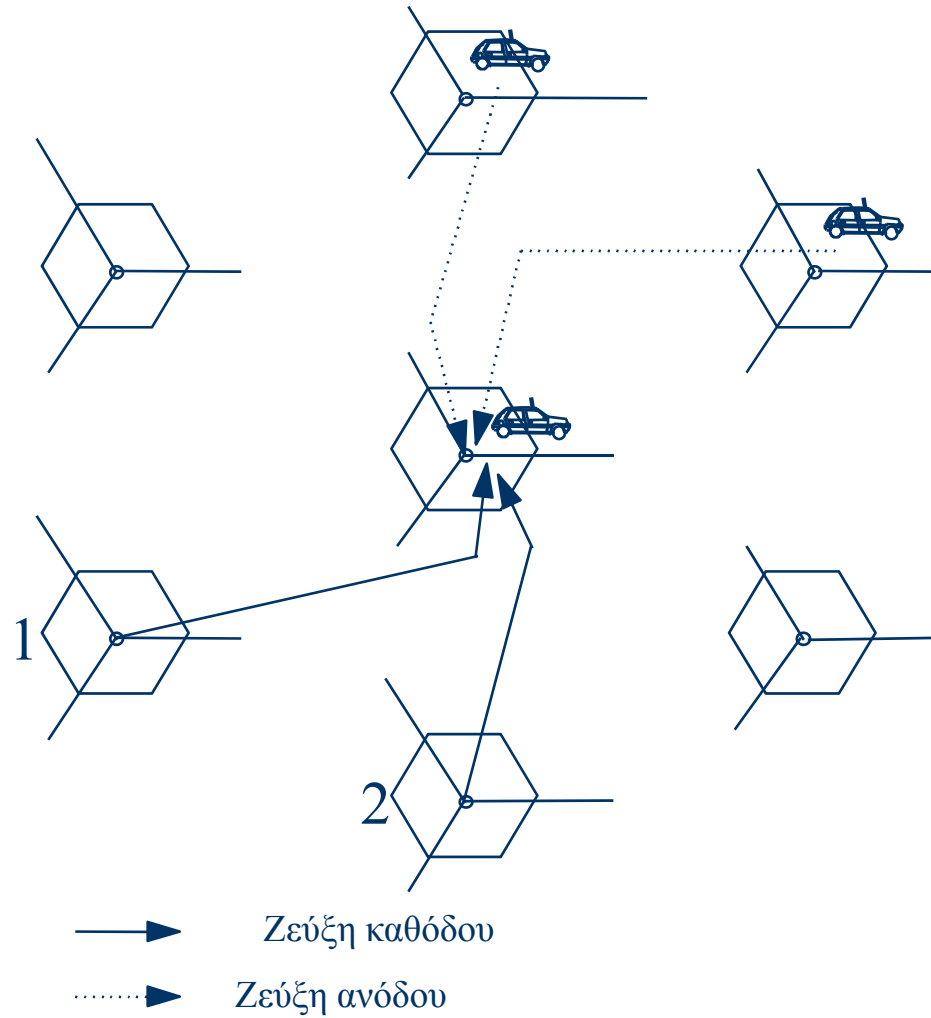
Θεωρήστε τη χειρότερη περίπτωση παρεμβολής στη ζεύξη καθόδου και υπολογίστε τον αριθμό των διαύλων ανά κυψέλη, όταν $S/I = 13$ dB και $W=50$ kHz.

Περιορισμός της ομοδιαυλικής παρεμβολής



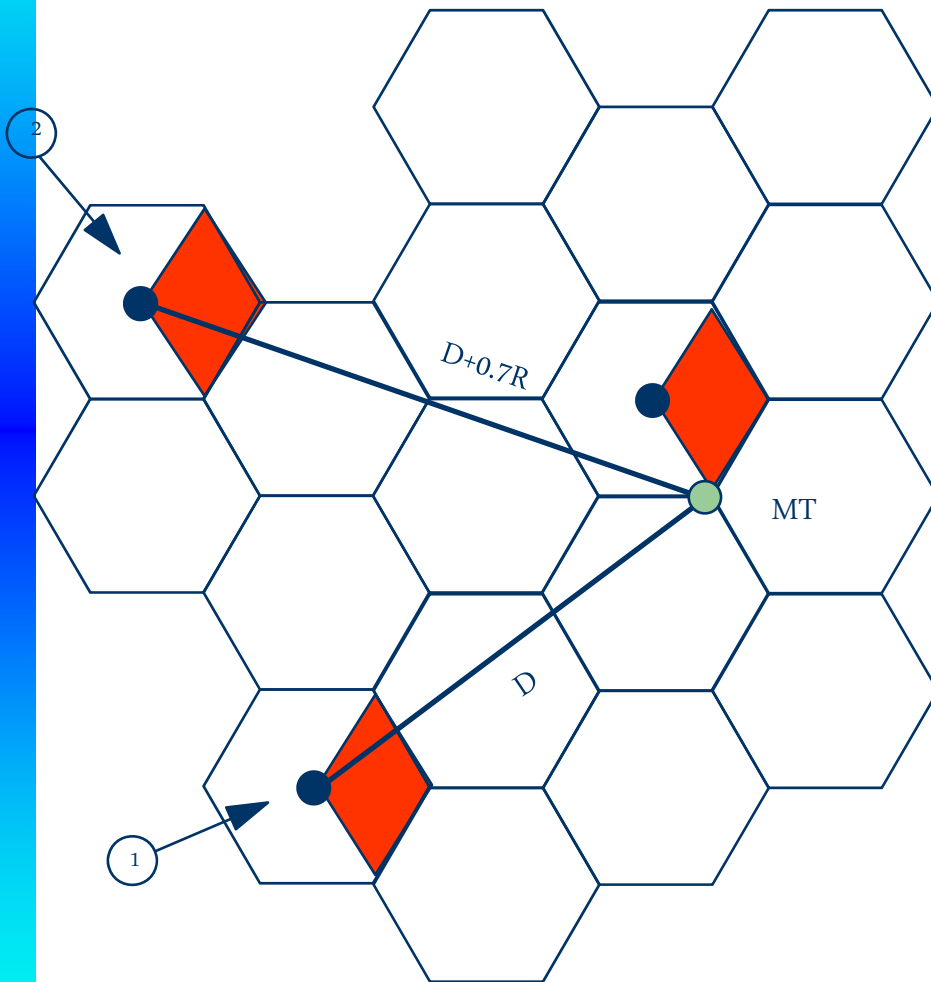
- Αύξηση του K
- Συνετή επιλογή στην κατανομή διαύλων
- Χρησιμοποίηση κατευθυντικών κεραιών
- Χρησιμοποίηση κατευθυντικών κεραιών σε συνδυασμό με την κατανομή διαύλων
- Χρησιμοποίηση διαφορικής λήψης

Χρήση κατευθυντικών κεραιών



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

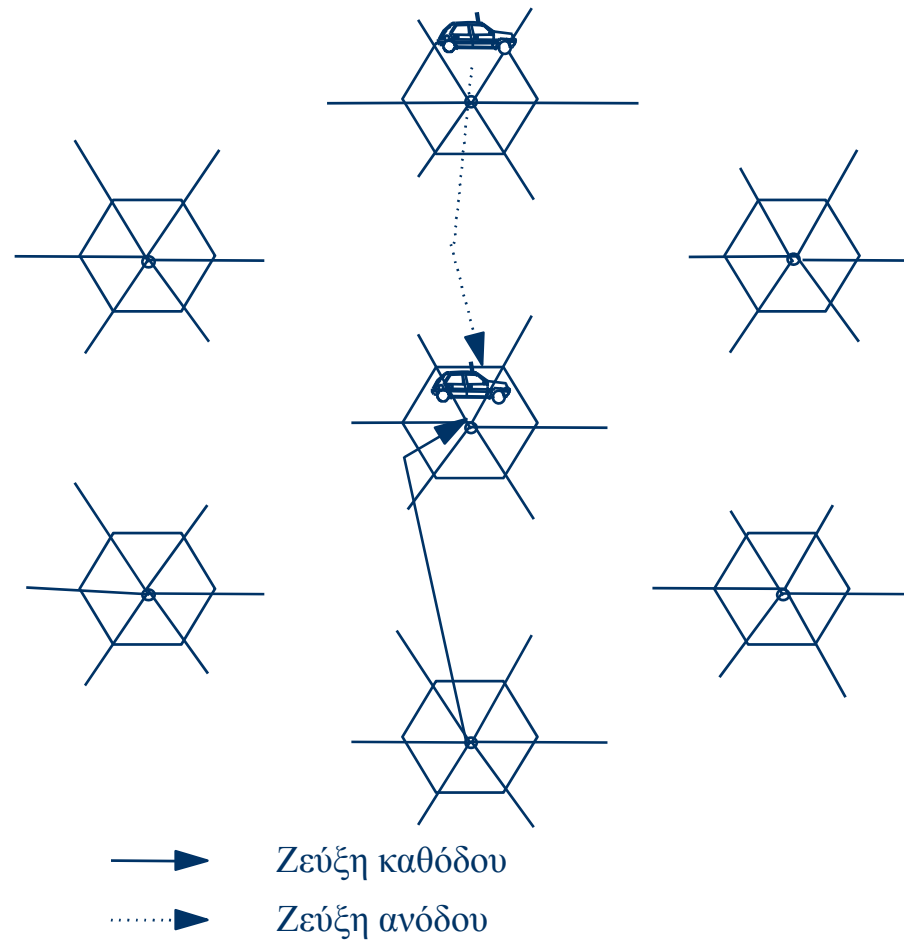
Χρήση κατευθυντικών κεραιών



$$S / I = \frac{R^{-n}}{(D)^{-n} + (D + 0.7R)^{-n}}$$

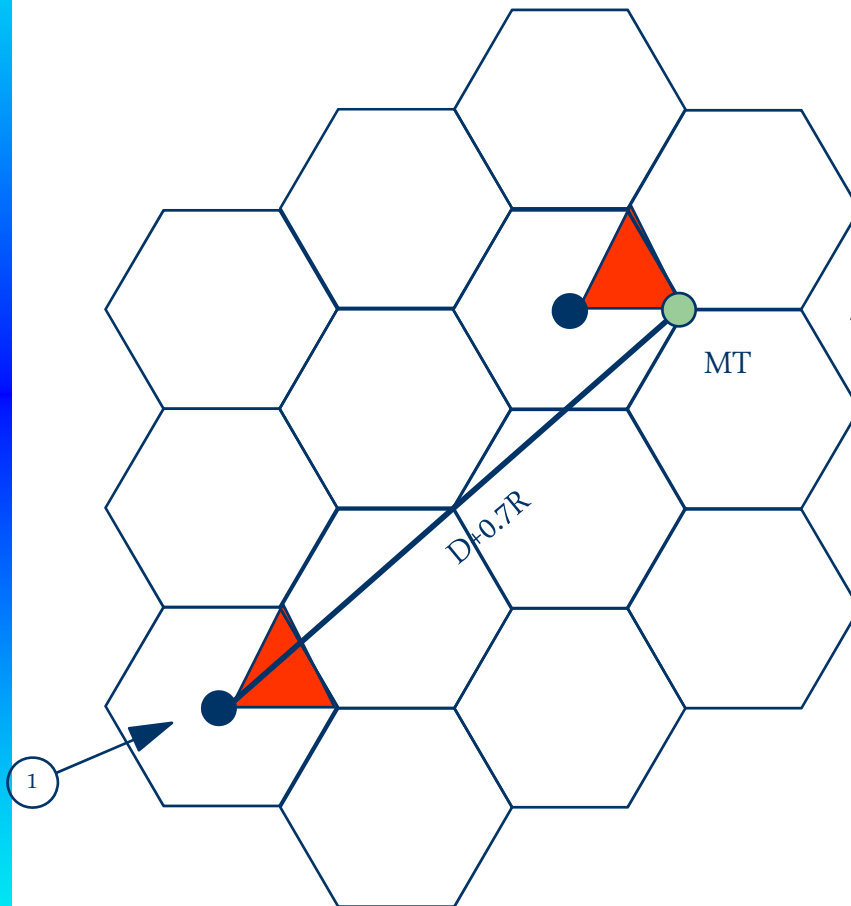
$$S / I = \frac{1}{(\alpha)^{-n} + (\alpha + 0.7)^{-n}}$$

Χρήση κατευθυντικών κεραιών



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

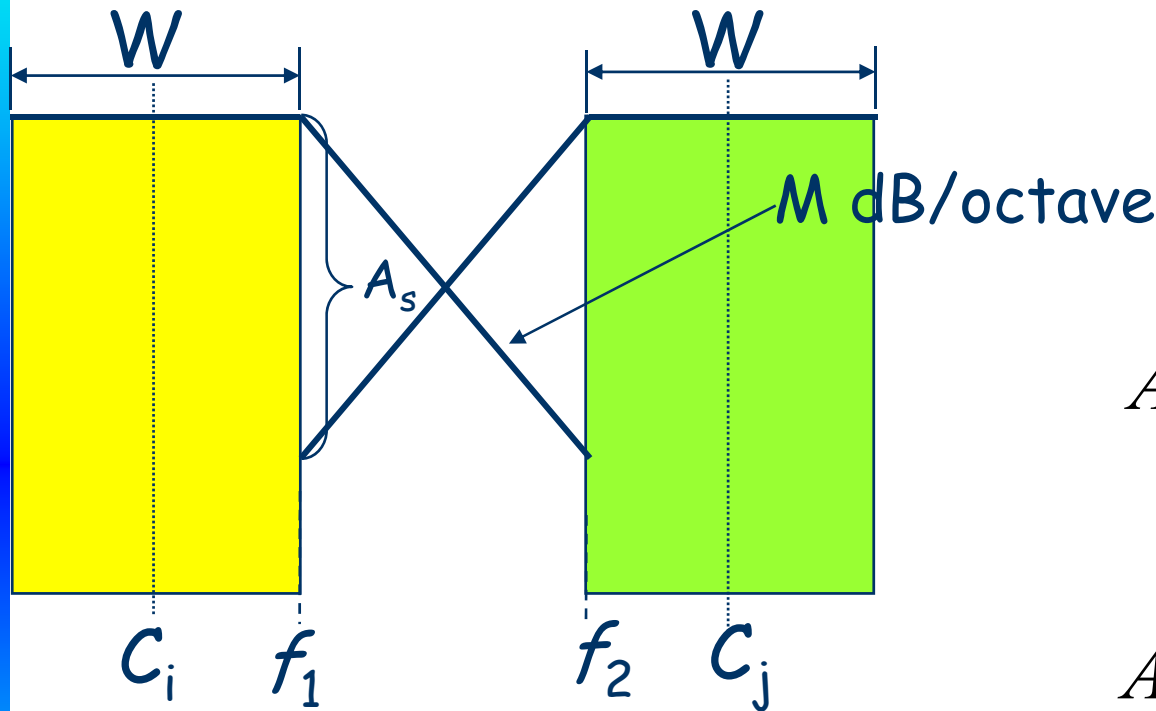
Χρήση κατευθυντικών κεραιών



$$S / I = \frac{R^{-n}}{(D + 0.7R)^{-n}}$$

$$S / I = (\alpha + 0.7)^n$$

Παρεμβολή γειτονικών διαύλων



$$A_s = M \log_2 \left(\frac{f_2}{f_1} \right)$$

$$A_s = \frac{M}{0.3} \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right)$$

$$A_d = 10n \log_{10} \left(\frac{d_1}{d_2} \right)$$

$$\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^n = \left(\frac{f_2}{f_1} \right)^{M/3}$$

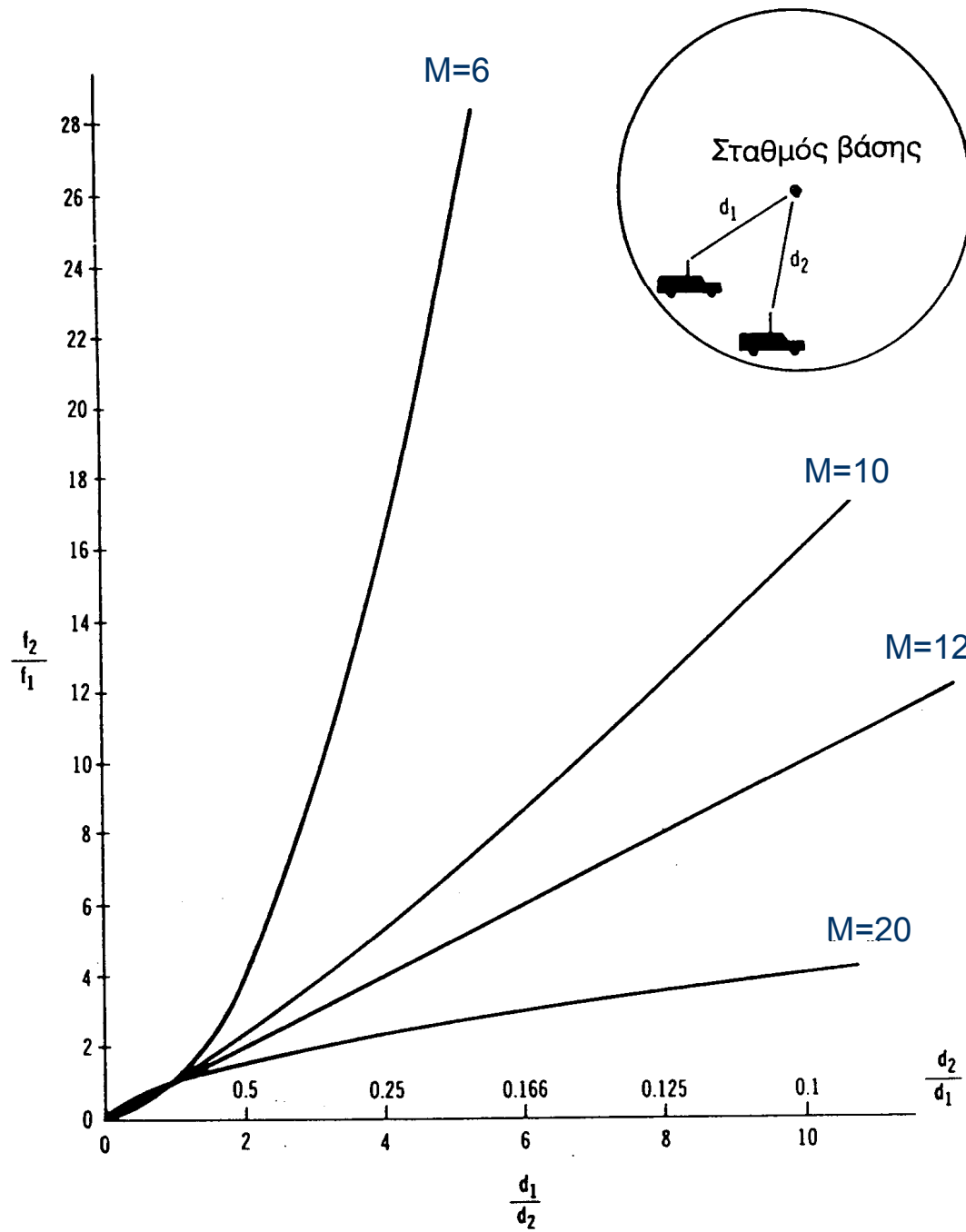
$$Av \quad A_s = A_d$$

Παρεμβολή γειτονικών διαύλων



$$f_2 = f_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^{3n/M}$$

$$\text{Απόσταση διαύλων} = \frac{|f_2 - f_1|}{W}$$

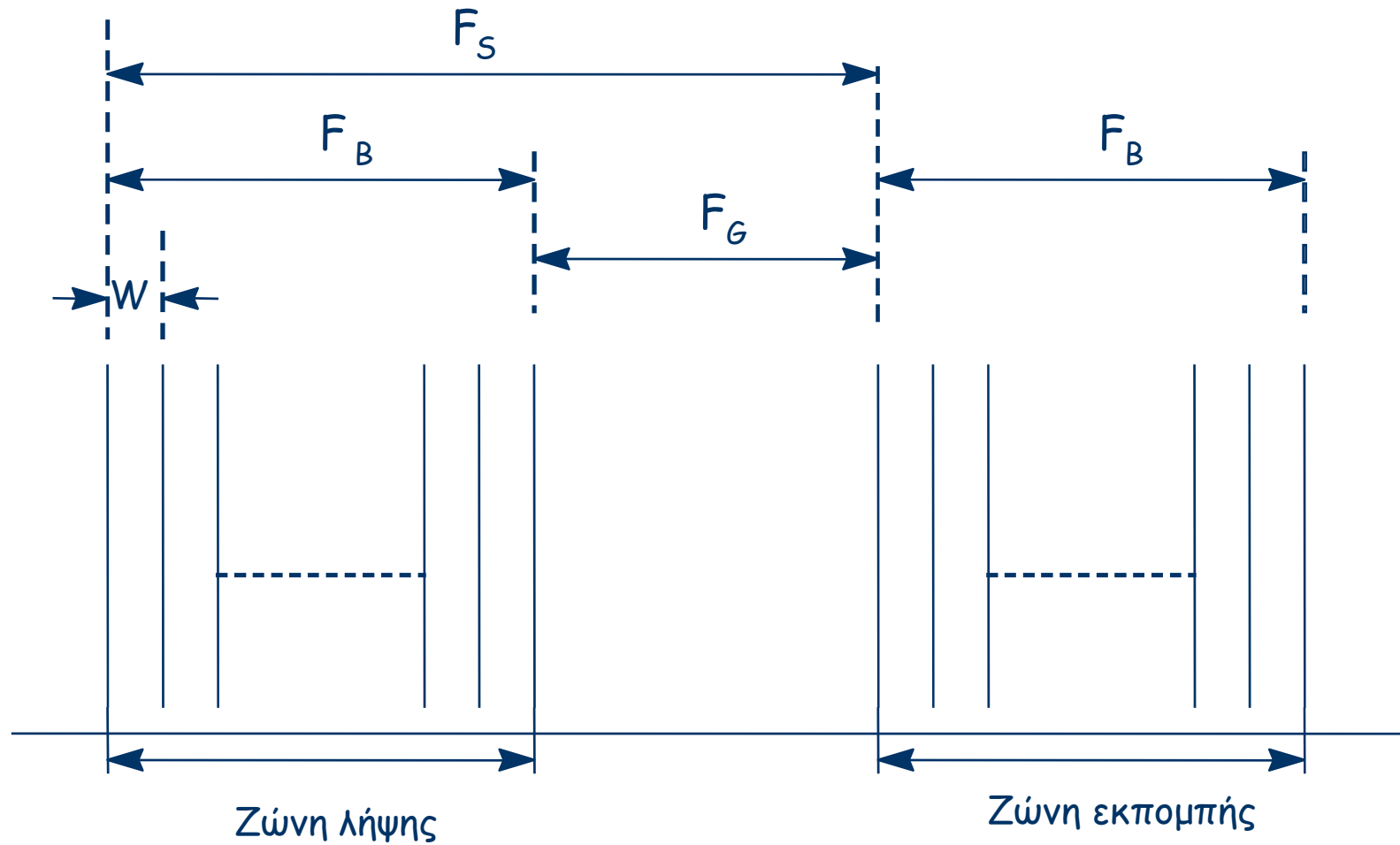


Ενδοδιαμόρφωση



- Είναι αποτέλεσμα μη γραμμικών διαδικασιών στον πομποδέκτη
- Διέλευση από μη-γραμμικό ενισχυτή
- Σε συστήματα στενής ζώνης τα προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης περιττής τάξης βρίσκονται κοντά ή μέσα στην αρχική ζώνη
 - $2f_1-f_2$, $2f_2-f_1$, $3f_1-2f_2$, κλπ.
- Κατάλληλη κατανομή συχνοτήτων, ώστε τα προϊόντα ΙΜ να μην πέφτουν μέσα στη ζώνη λήψης

Ενδοδιαμόρφωση



Ενδοδιαμόρφωση



$$f_{ti} = f_{t1} + (i-1)KW$$

$$f_{ri} = f_{ti} - F_S = f_{t1} + (i-1)KW - F_S$$

$$\begin{aligned} 2f_{tm} - f_{tn} &= 2[f_{t1} + (m-1)KW] - [f_{t1} + (n-1)KW], \quad m \neq n \\ &= f_{t1} + (2m - n - 1)KW \end{aligned}$$

$$3f_{tm} - 2f_{tn} = f_{t1} + (3m - 2n - 1)KW, \quad m \neq n$$



$$4f_{tm} - 3f_{tn} = f_{t1} + (4m - 3n - 1)KW, \quad m \neq n$$

$$f_{t1} + lKW$$

$$f_{t1} + lKW = f_{t1} + (i - 1)KW - F_S$$

$$l = (i - 1) - \frac{F_S}{KW}$$

Ενδοδιαμόρφωση



Διέλευση από περιοριστή

$$e_i = A \cos 2\pi f_1 t + B \cos 2\pi f_2 t + \Gamma \cos 2\pi f_3 t + \\ + \Delta \cos 2\pi f_4 t + E \cos 2\pi f_5 t$$

$$e_o = \text{sgn } e_i = \begin{cases} +1, & e_i > 0 \\ -1, & e_i < 0 \end{cases}$$

Ενδοδιαμόρφωση



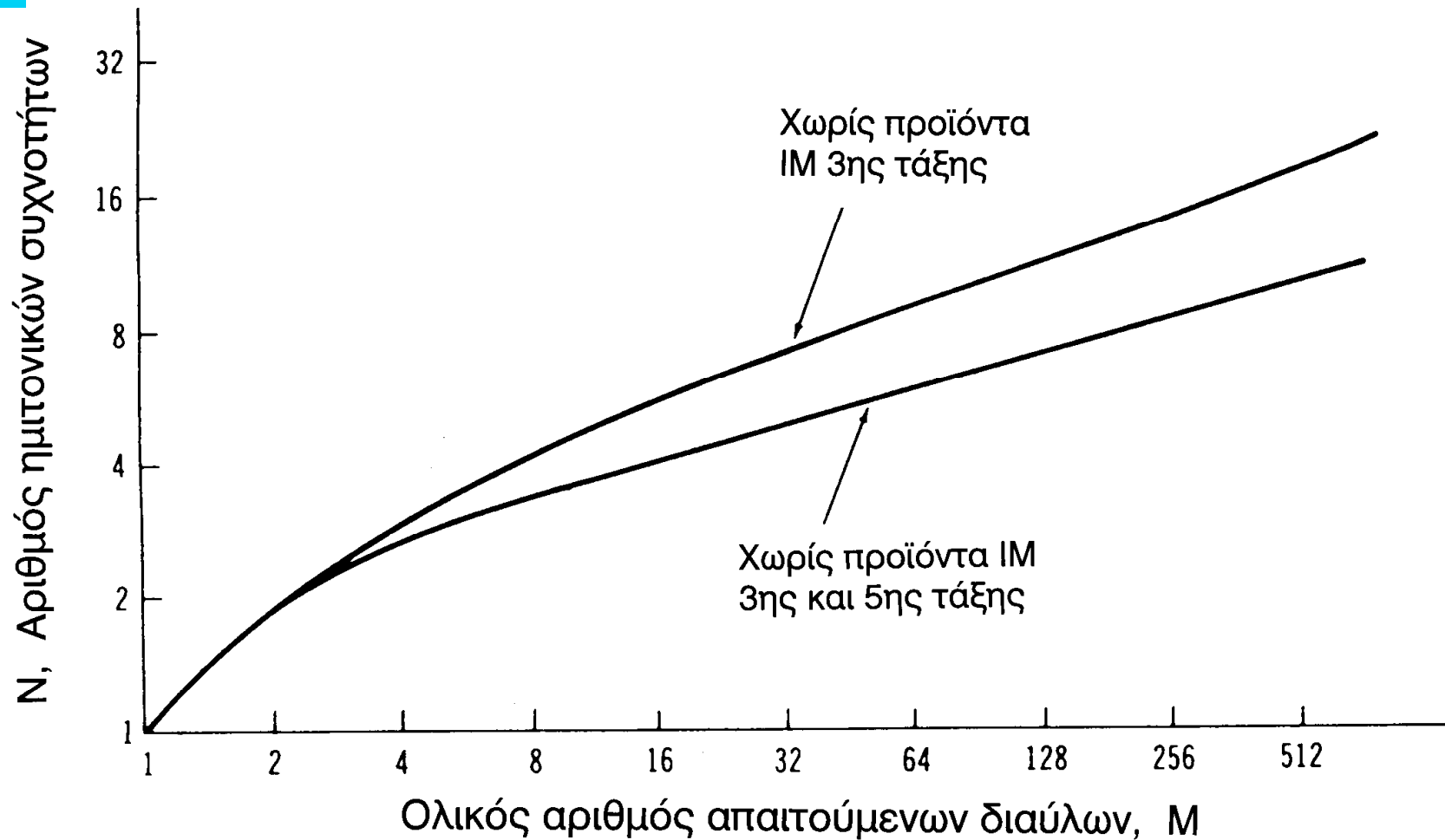
Διέλευση από περιοριστή

Προϊόντα ΙΜ διαφόρων τάξεων για N ημιτον. εισόδους

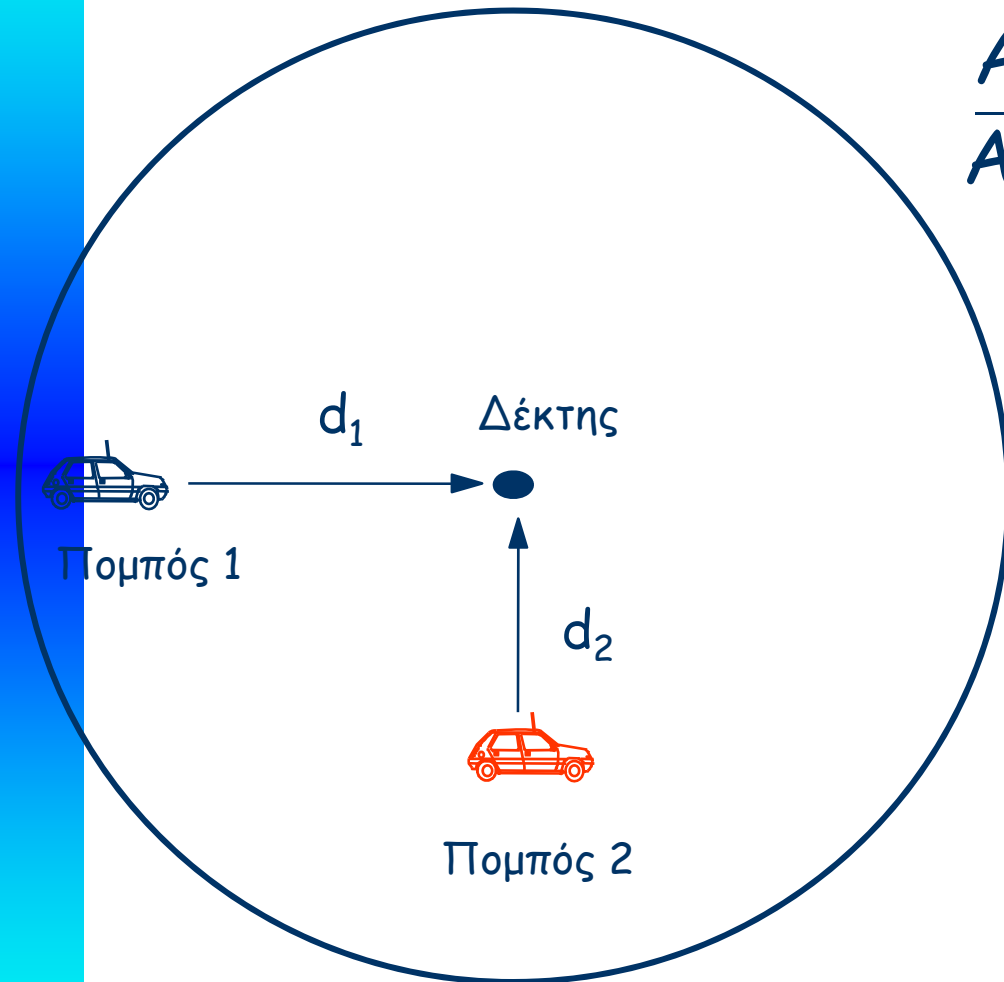
Τύπος ΙΜ	Τάξη m	Αριθμός συχνοτήτων L στην ΙΜ	Ολικός αριθμός των προϊόντων ΙΜ
$2f_1 - f_2$	3	2	$N(N-1)$
$f_1 + f_2 + f_3$	3	3	$T_3 = N(N-1)(N-2)/2$
$3f_1 - f_2 - f_3$	5	3	$N(N-1)(N-2)/2$
$f_1 + 2f_2 - 2f_3$	5	3	$N(N-1)(N-2)$
$f_1 + f_2 + f_2 - f_4 - f_5$	5	5	$T_5 = N(N-1)(N-2)$ $(N-3)(N-4)/12$

$$P_m = \frac{P}{m^2}$$

Ενδοδιαμόρφωση



Λόγος κοντινού προς μακρινό άκρο



$$\frac{\text{Απώλειες διαδρομής } d_2}{\text{Απώλειες διαδρομής } d_1}$$

$$= 10n \log_{10} \frac{d_1}{d_2}$$

$$\frac{f_2}{f_1} = 10^\eta \quad \eta = \frac{0.3 A_s}{M}$$

Για απομόνωση 52 dB και $M=12 \Rightarrow f_2 / f_1 = 20$

Διασυμβολική παρεμβολή



Η διασυμβολική παρεμβολή οφείλεται είτε σε σχετικά μεγάλη εξάπλωση της χρονοκαθυστέρησης είτε σε σχετικά υψηλό ρυθμό μετάδοσης.

$$R_b < \frac{1}{2\tau_d}$$

Η κατώτερη τιμή του R_b περιορίζεται από το τυχαίο FM.

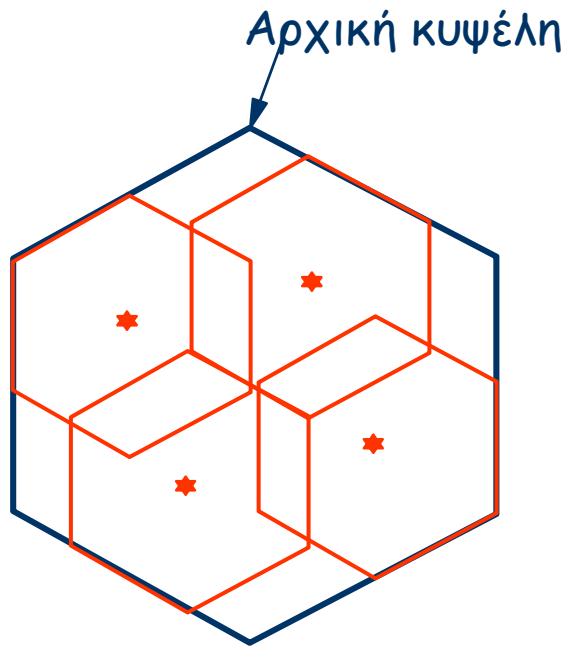
$$T_b < C_T \quad \longrightarrow \quad R_b > f_m$$

Βελτίωση της χωρητικότητας

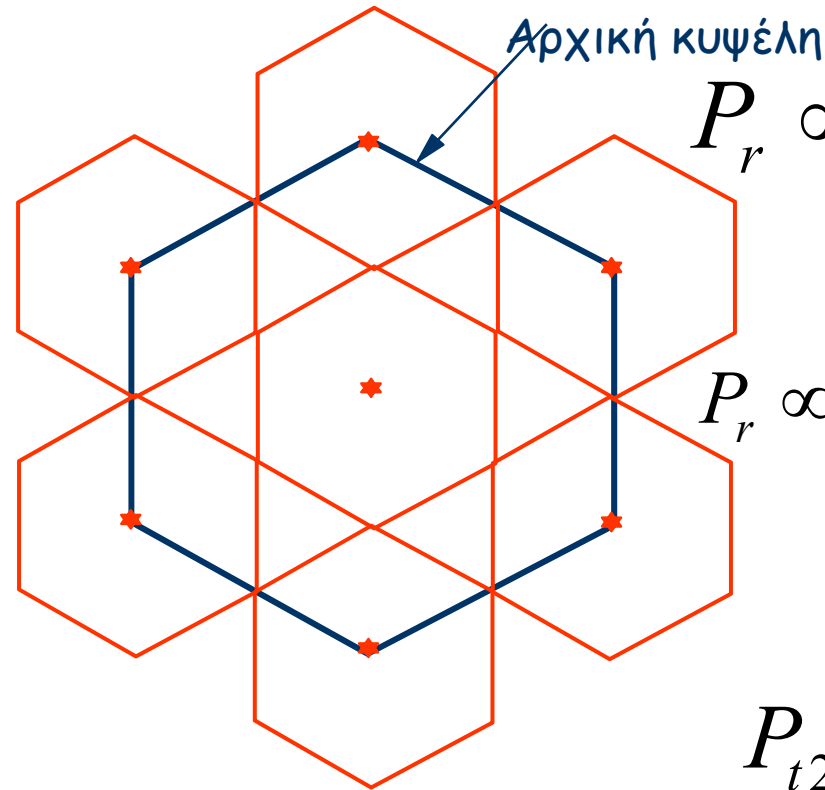


- Διάσπαση των κυψελών (cell splitting)
- Χωρισμός των κυψελών σε τομείς (cell sectoring)
- Χρησιμοποίηση περιοχών κάλυψης (coverage zones)- Μικροκυψέλες

Διάσπαση κυψελών



(α)



(β)

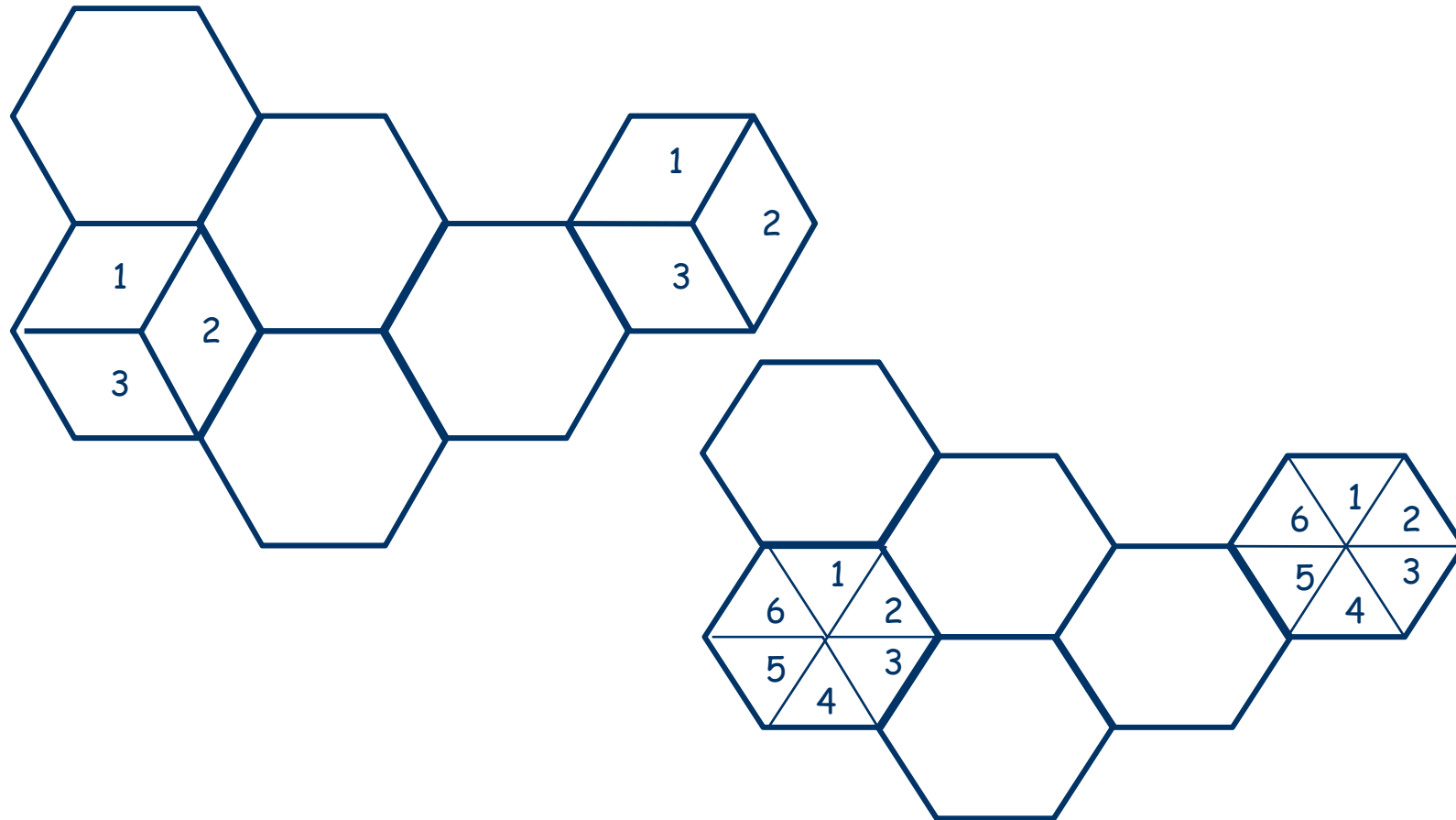
$$P_r \propto P_{t1} R^{-n}$$

$$P_r \propto P_{t2} \left(\frac{R}{2} \right)^{-n}$$

$$P_{t2} = \frac{P_{t1}}{16}$$

Μείωση του R, D/R σταθερό

Χωρισμός των κυψελών σε τομείς



Σταθερό R , μείωση του $D/R \Rightarrow$ μικρότερο K

Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Χωρισμός των κυψελών σε τομείς

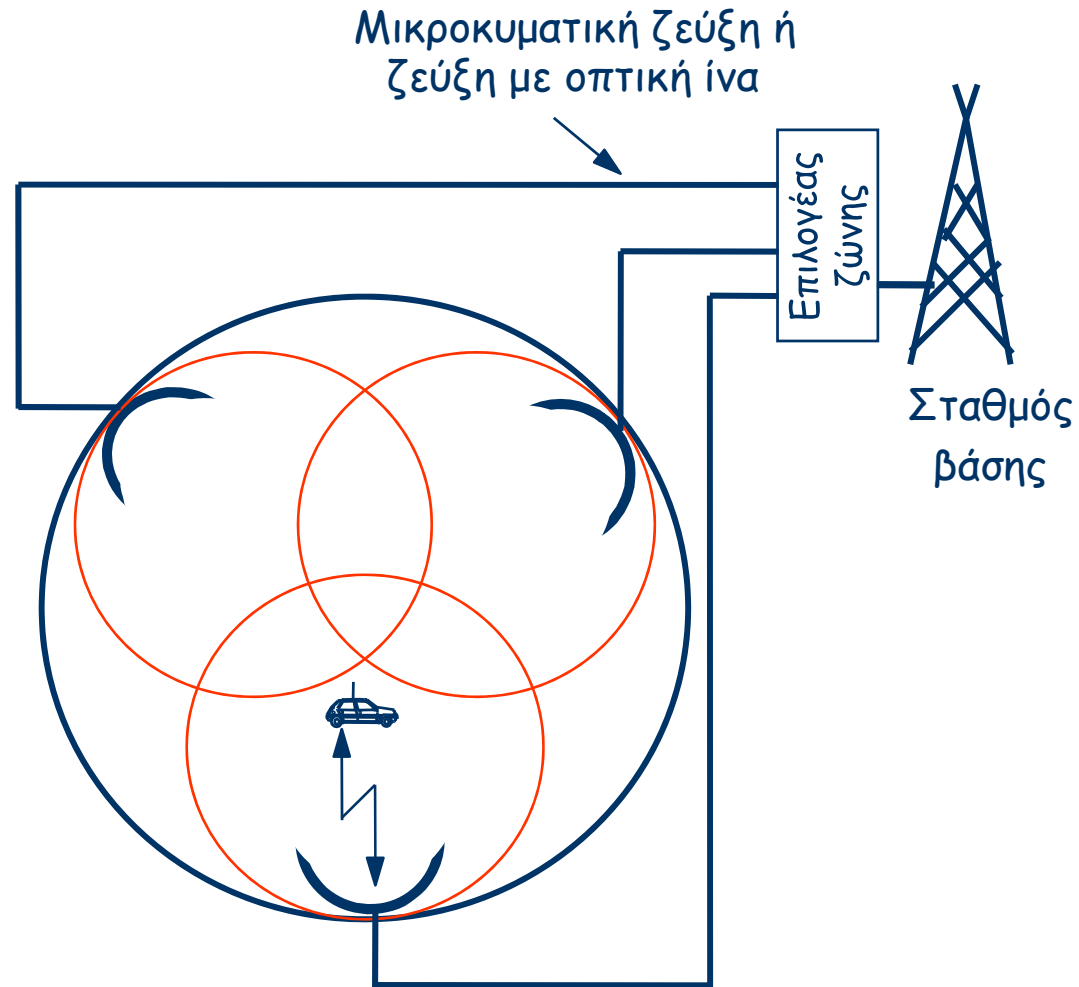


Παράδειγμα 4.9

Ψηφιακό κυψελωτό σύστημα. $B_s = 10\text{MHz}$ ανά κατεύθυνση. Ισοτροπικές κεραιές στους σταθμούς βάσης. Θεωρώντας ότι παρεμβάλλουν οι ομοδιαυλικές κυψέλες της πρώτης σειράς, υπολογίστε τον αριθμό διαύλων ανά κυψέλη, όταν ο απαιτούμενος λόγος $S/I = 13\text{dB}$ και $W = 50\text{kHz}$ ανά κατεύθυνση. $n = 4$ και $GOS = 0.02$ (σύστημα Erlang B).

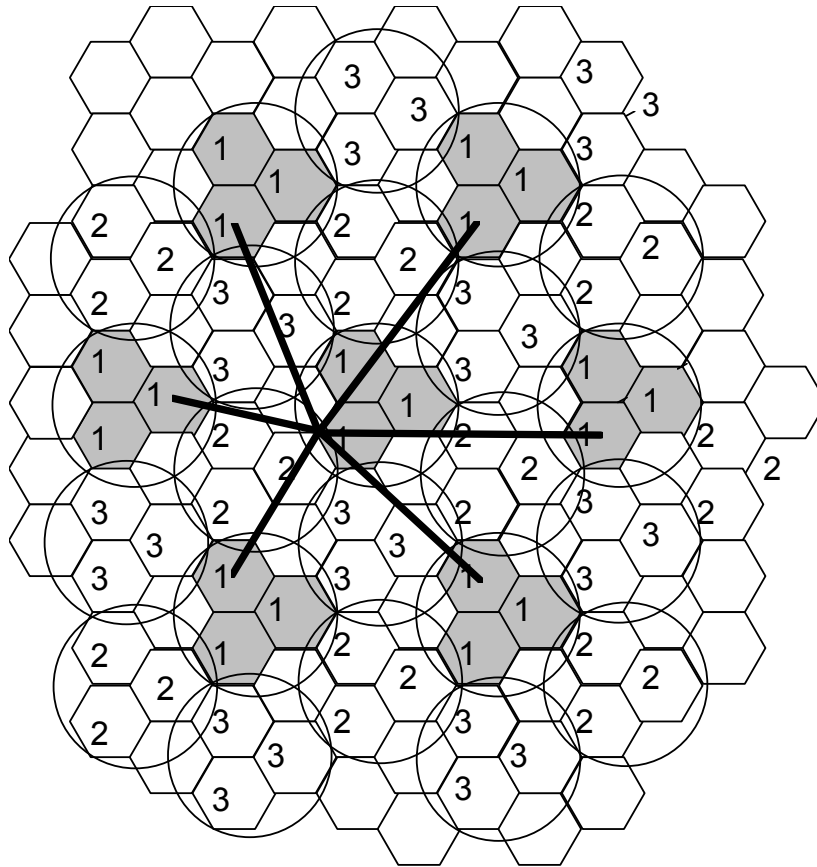
Στη συνέχεια χωρίστε τις κυψέλες σε τομείς των 120° , για αύξηση της χωρητικότητας. Πόσα erlang / κυψέλη μπορεί να εξυπηρετήσει το σύστημα;

Μικροκυψέλες



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Μικροκυψέλες

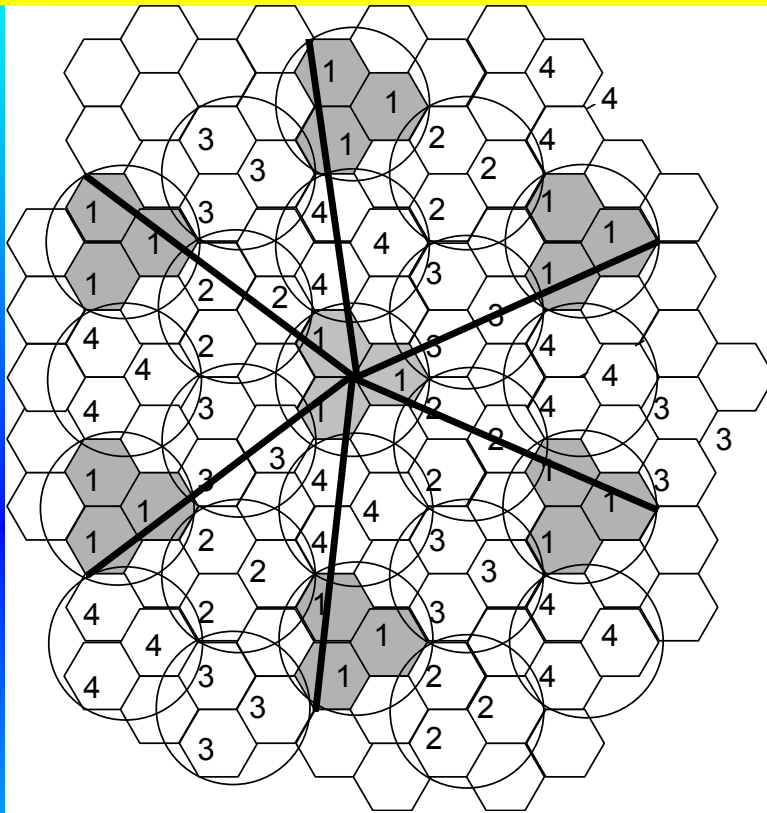


$$K = 7 \Rightarrow K = 3$$

$$\frac{S}{I} = \frac{R^{-n}}{(\sqrt{13}R)^{-n} + (4R)^{-n} + (\sqrt{28}R)^{-n} + (7R)^{-n} + (\sqrt{43}R)^{-n} + (\sqrt{31}R)^{-n}}$$

$$n=4 \Rightarrow S/I = 18.8 \text{ dB}$$

Μικροκυψέλες



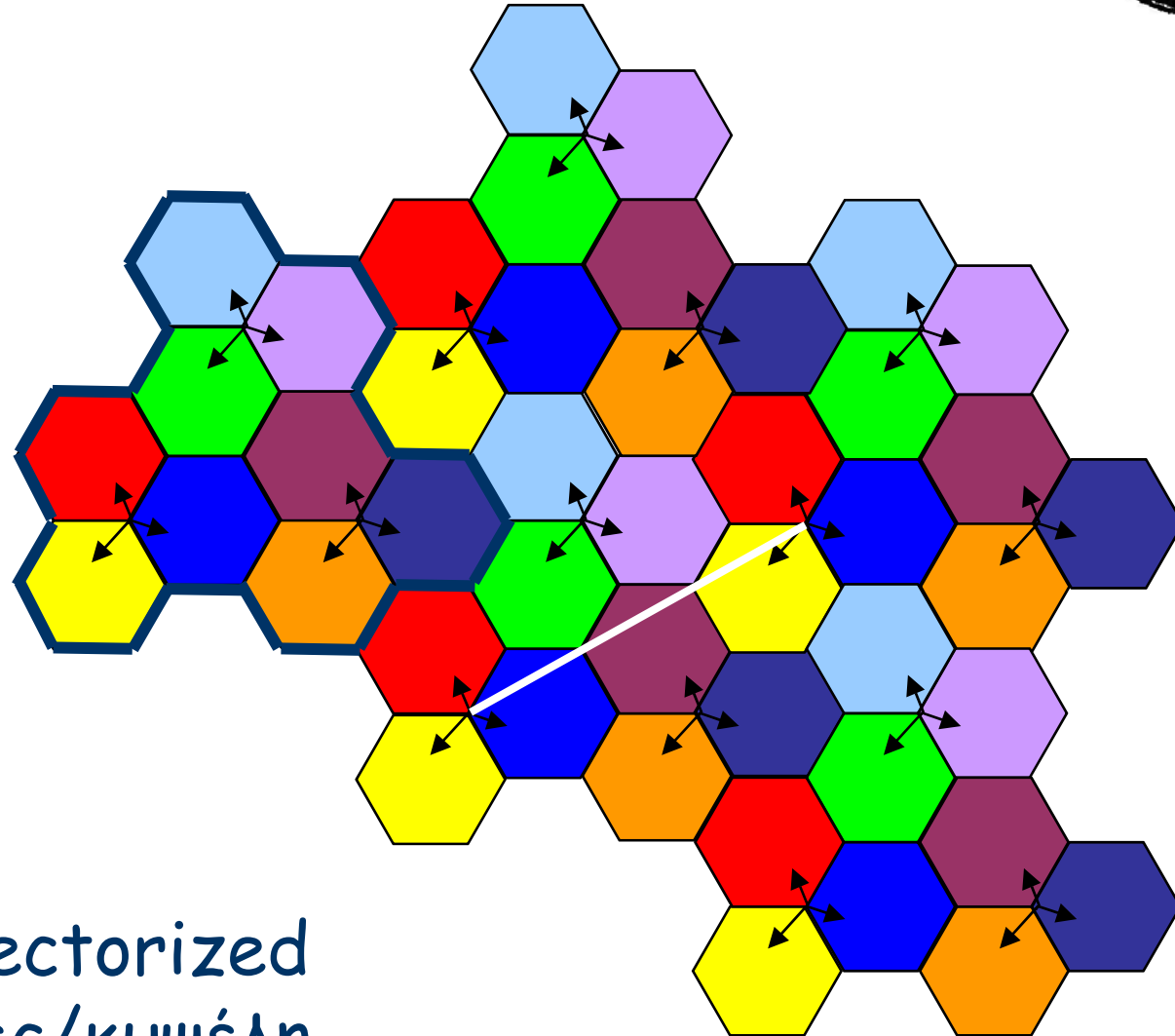
$$\frac{S}{I} = \frac{(2R)^{-n}}{6(2\sqrt{19}R)^{-n}}$$

$$n=4 \Rightarrow S/I = 17.8 \text{ dB}$$

$$K = 7 \Rightarrow K = 4$$

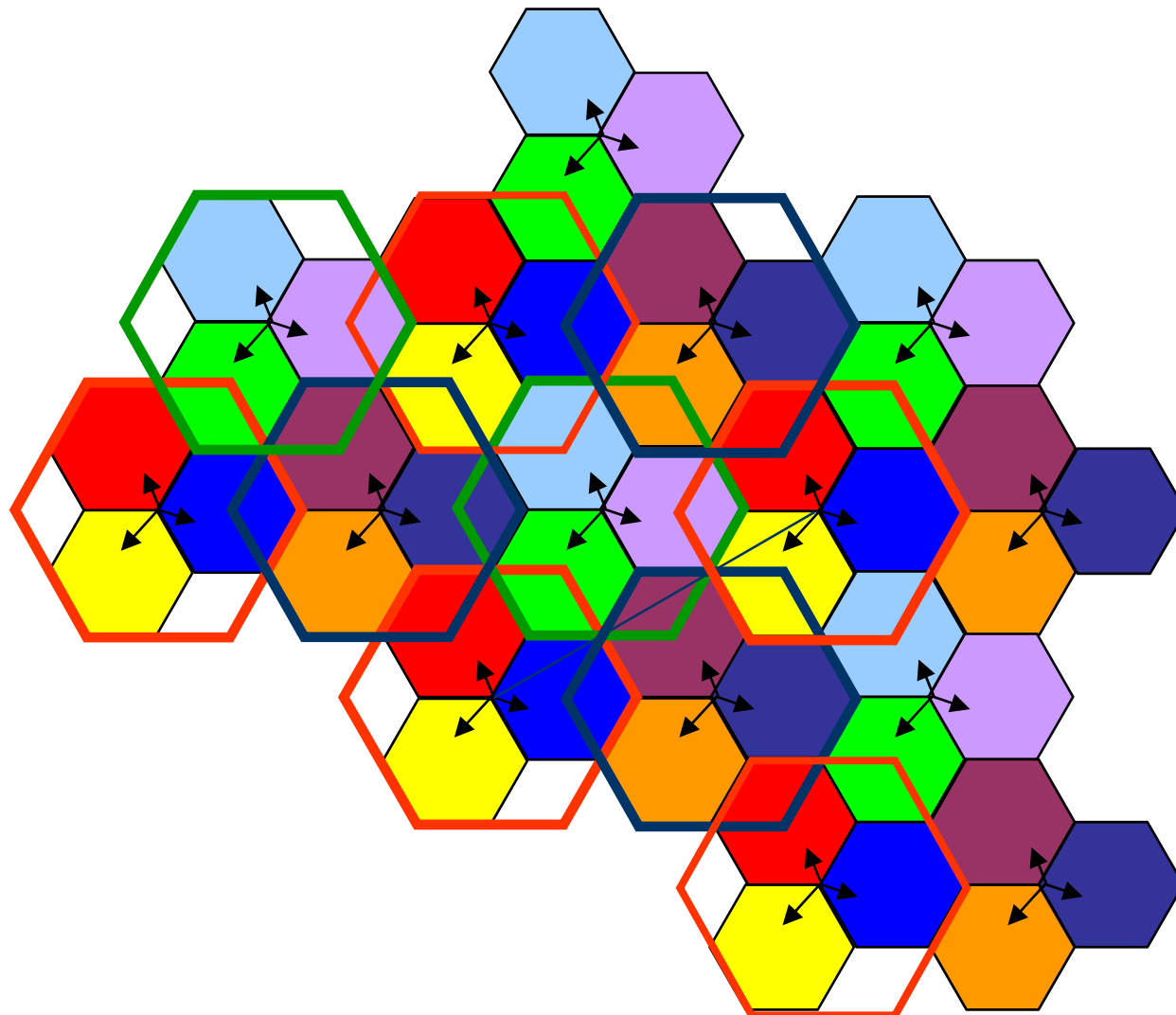


3:9



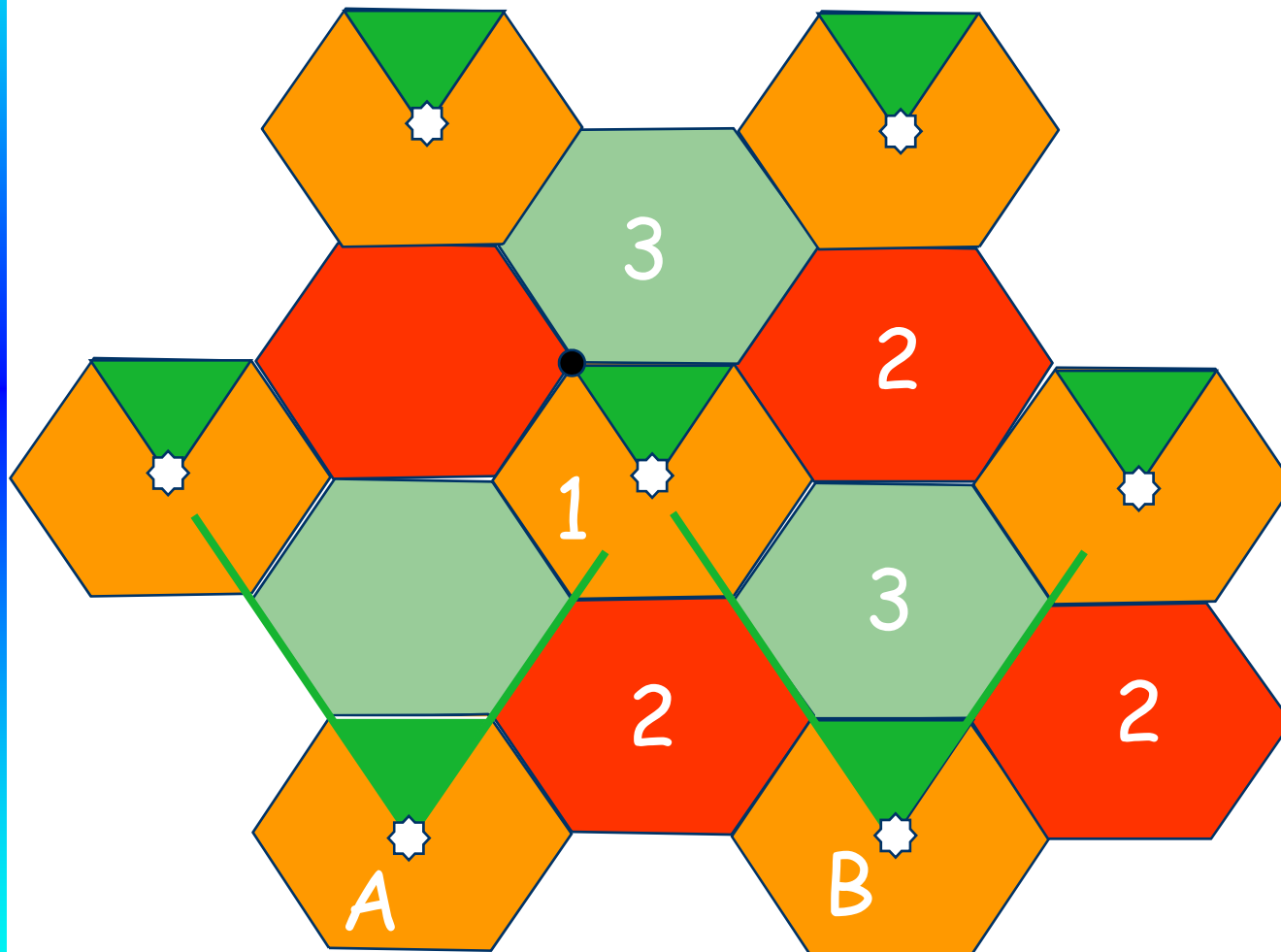
9 κυψέλες
3 σταθμοί sectorized
3 συχνότητες/κυψέλη

GSM



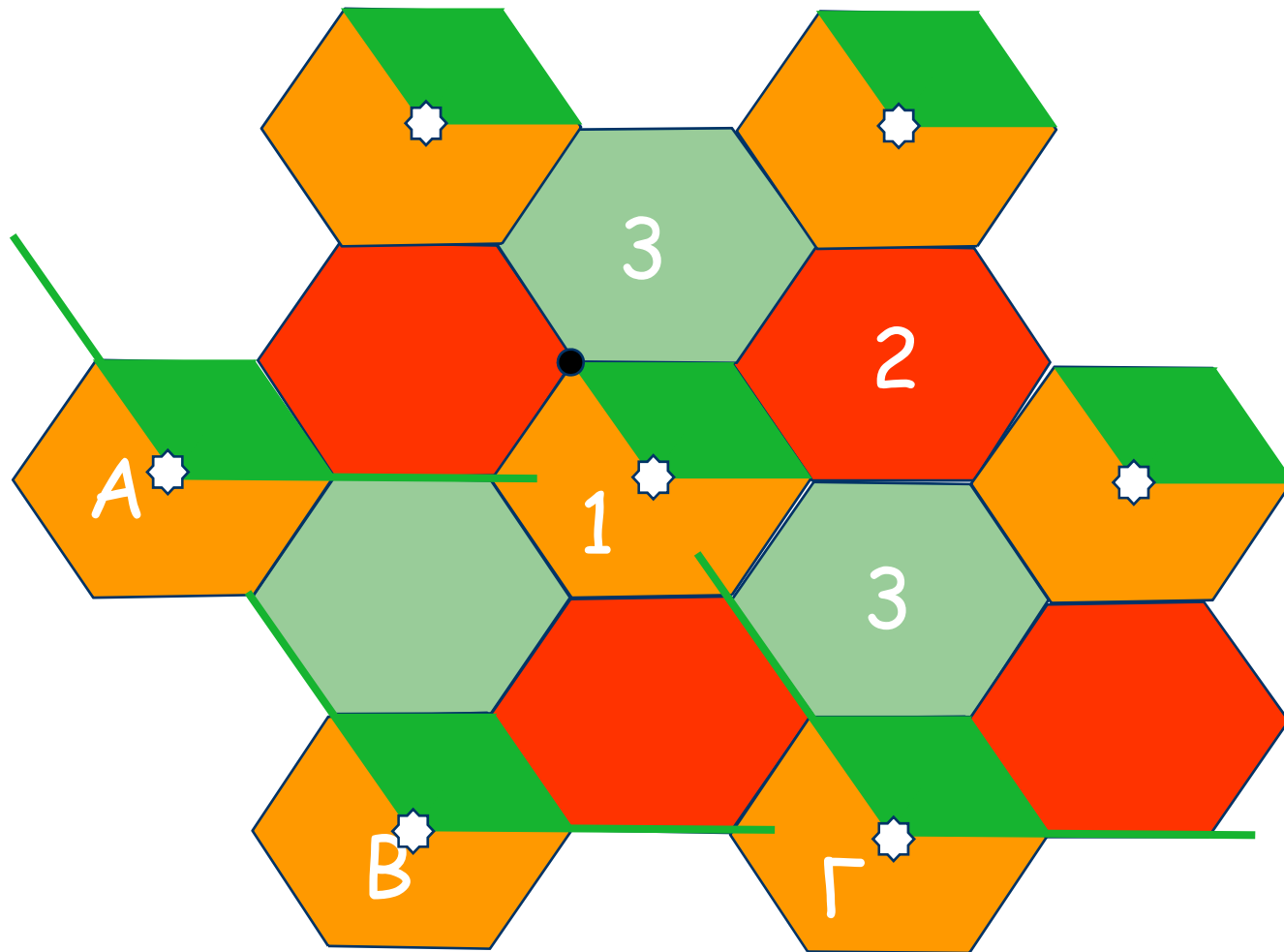
Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Άσκηση 4.11



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Άσκηση 4.12



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών