



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Παρεμβολές στο ασύρματο περιβάλλον
των κινητών επικοινωνιών



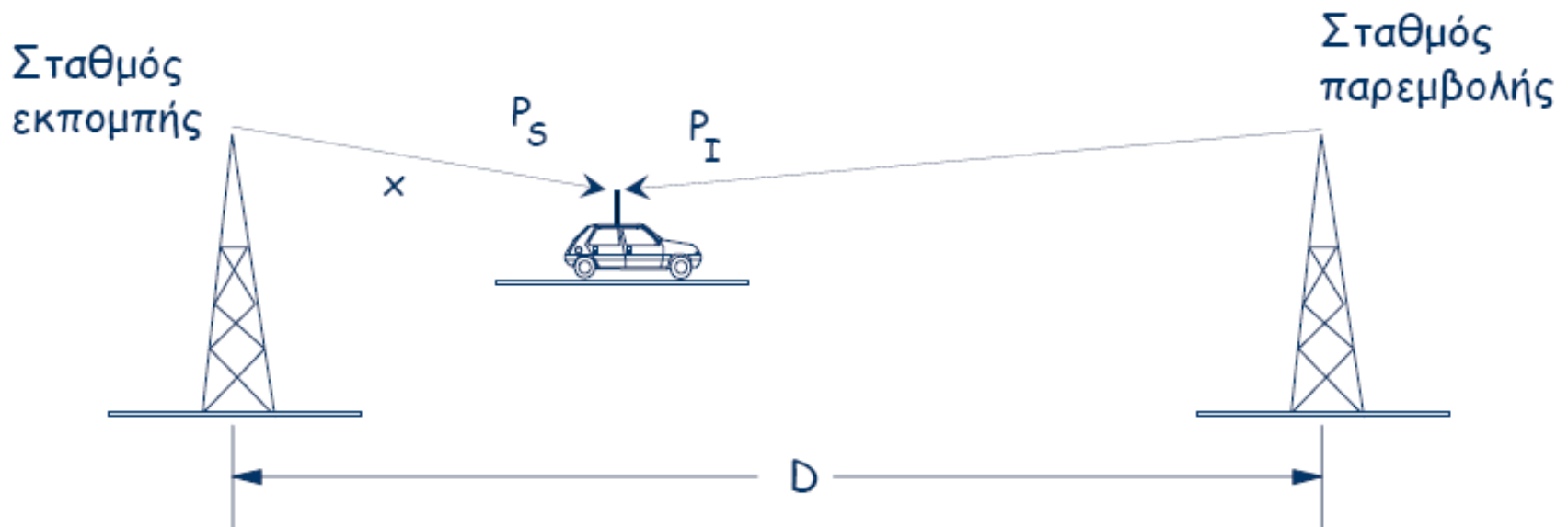
- Ομοδιαυλική παρεμβολή
- Παρεμβολή γειτονικών διαύλων
- Λόγος κοντινού προς μακρινό άκρο
- Διασυμβολική παρεμβολή
- Βελτίωση χωρητικότητας κυψελωτών δικτύων

Ομοδιαυλική παρεμβολή



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

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

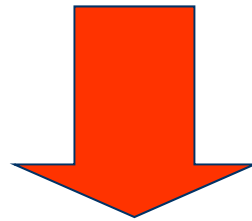


Ομοδιαυλική παρεμβολή



Θεωρούμε ότι:

- Οι κυψέλες είναι ίσες και έχουν ακτίνα R
- Οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν την ίδια ισχύ



Ο λόγος σήματος προς παρεμβολή είναι ανεξάρτητος από την 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 ομοδιαυλική παρεμβολής

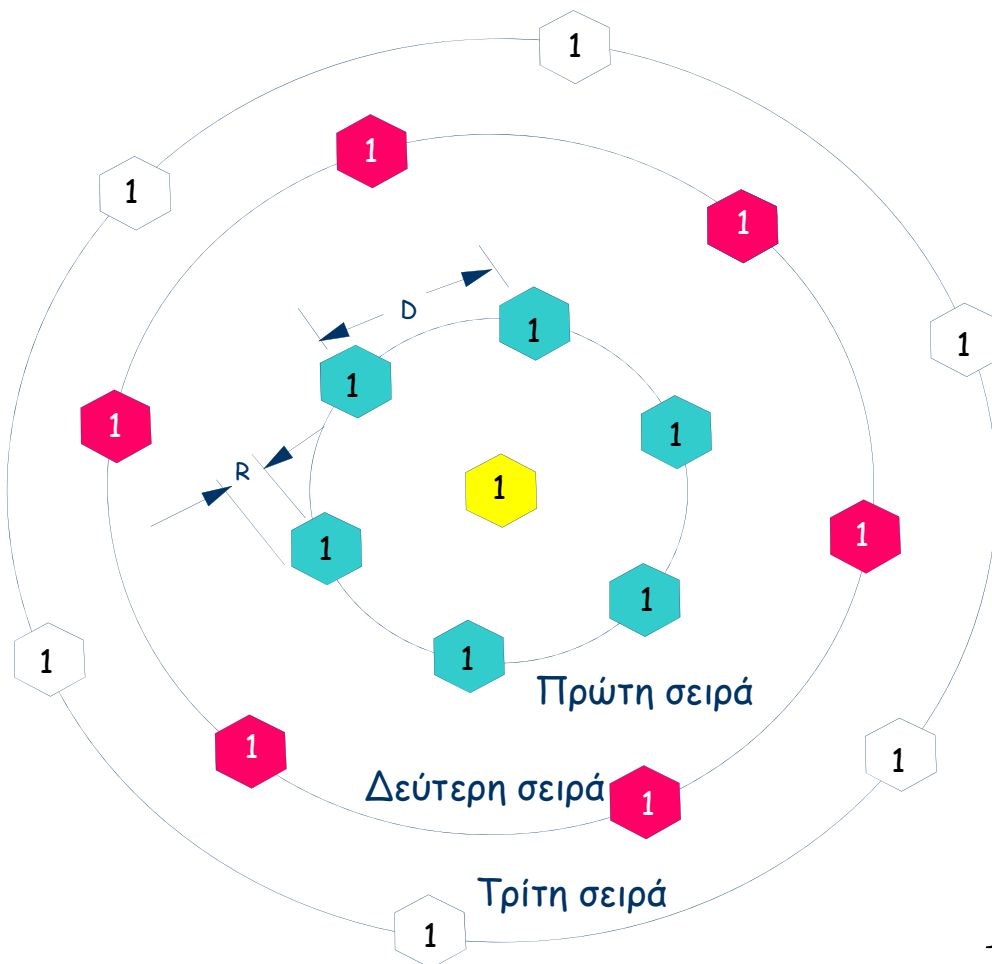
$$\alpha_{\square} = 2K$$

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

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

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

Ομοδιαυλική παρεμβολή



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

Ομοδιαυλική παρεμβολή



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

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

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

The diagram illustrates a 1D lattice with alternating white and red sites. The lattice is divided into segments of length $2R$. The central segment is labeled with R , I , and A . Green dashed arrows indicate a path from the first red site to the central red site, and from the central red site to the next red site. The distance between red sites is labeled D .

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

$$D = K \cdot 2R$$

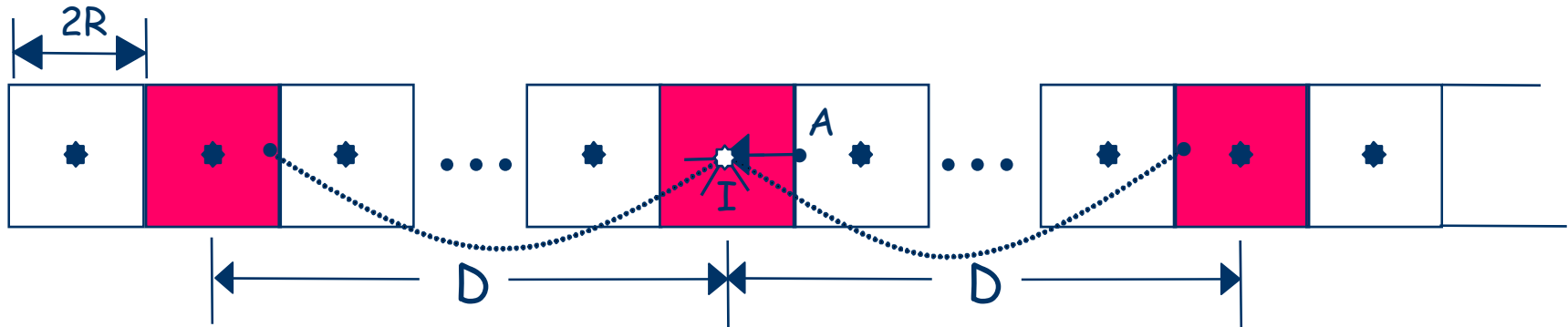
$$P_I = \frac{P_t}{(D-R)^n} + \frac{P_t}{(D+R)^n} + \frac{P_t}{(2D-R)^n} + \frac{P_t}{(2D+R)^n} + \dots$$

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

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Μονοδιάστατα συστήματα: ζεύξη ανόδου

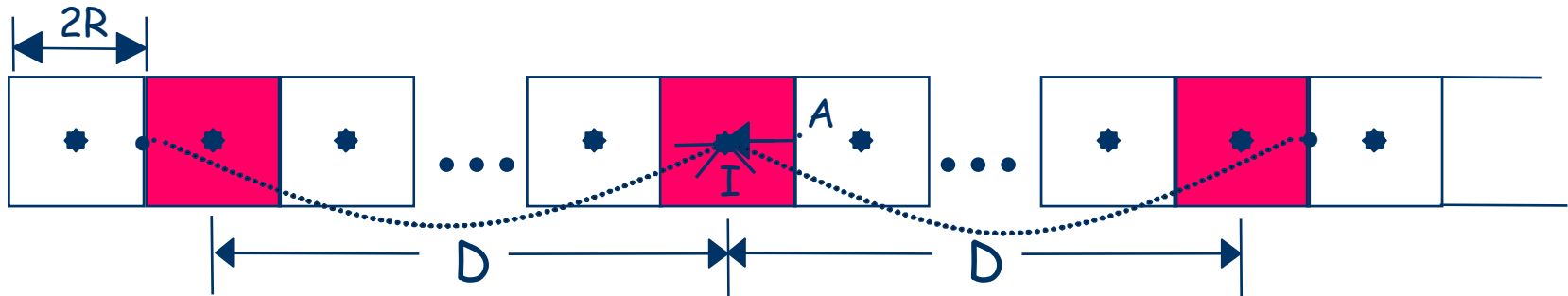


$$\frac{S}{I} = \frac{(2K - 1)^n}{2}$$

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Μονοδιάστατα συστήματα: ζεύξη ανόδου



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



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 ;

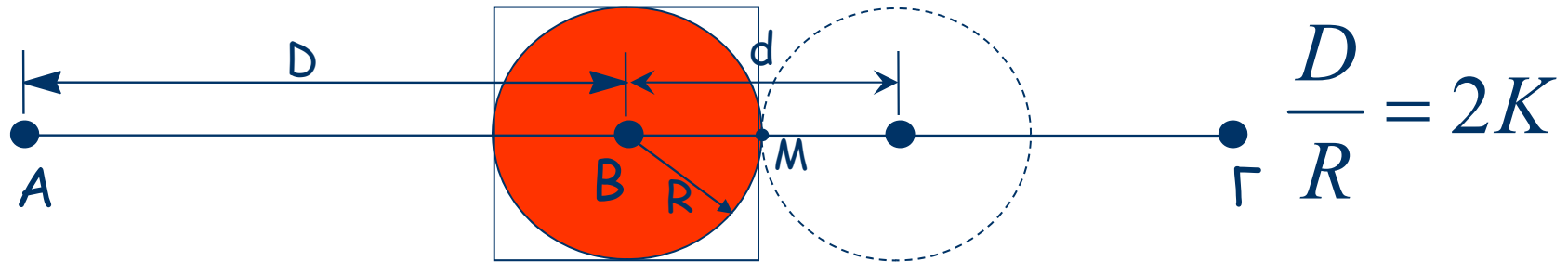
β) Αν $d = 1600\text{m}$, ποια είναι η D ;

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



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

$$\frac{S}{I} \geq 100$$

$$(2K-1)^n \geq 100$$

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

$$\Rightarrow K = 3$$

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Μονοδιάστατα συστήματα

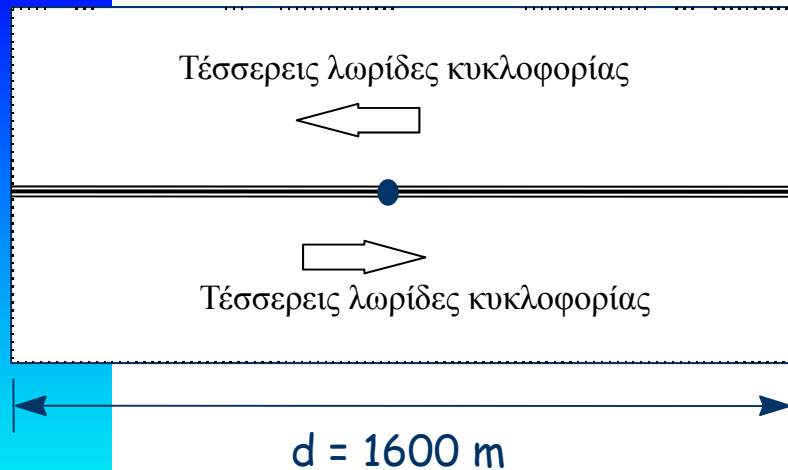
$$\frac{S}{I} = \frac{1}{5^{-3.5} + 7^{-3.5} + 11^{-3.5} + 13^{-3.5}} = 198.71(22.98dB)$$

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

$$C_c = C_{o\lambda} / 3 = 133$$

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

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



$$(1153 / 2) / 8 = 72 \text{ αυτοκ.} / \lambda \omega\rho.$$

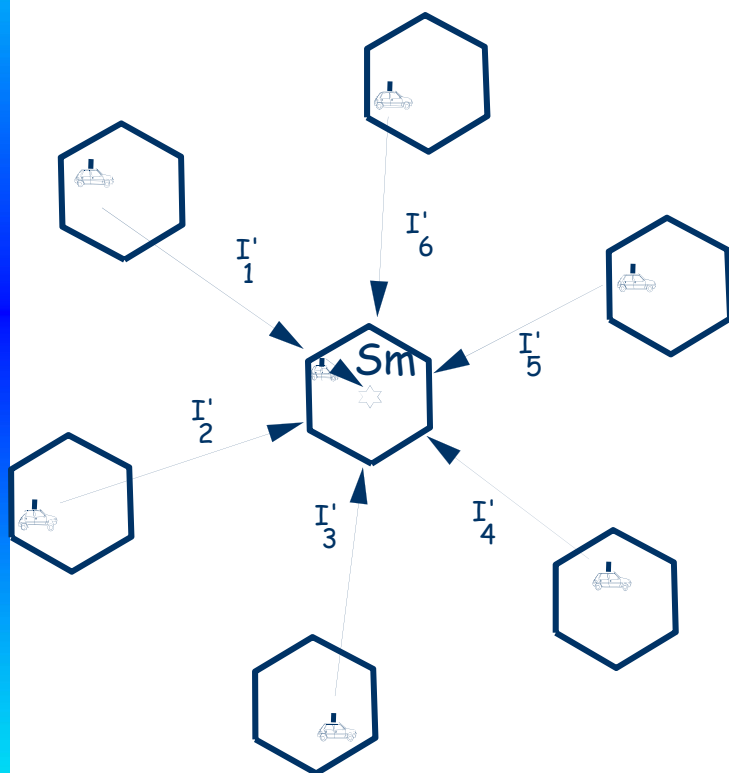
$$1600 / 72 = 1 \text{ αυτοκ.} / 22m$$

Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

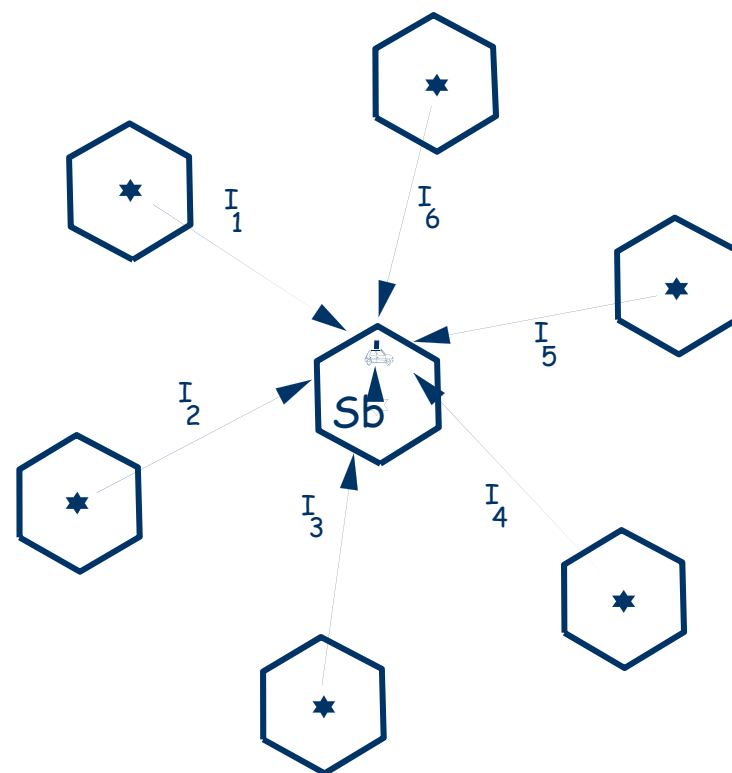
Ομοδιαυλική παρεμβολή



Συστήματα δύο διαστάσεων



Ζεύξη ανόδου



Ζεύξη καθόδου

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

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

$$l = 4$$

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

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

$$l = 6$$

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

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

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

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

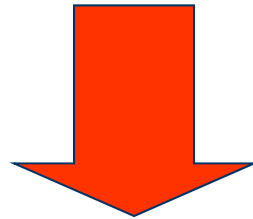


Συστήματα δύο διαστάσεων

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

Για σταθερό S/I :

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

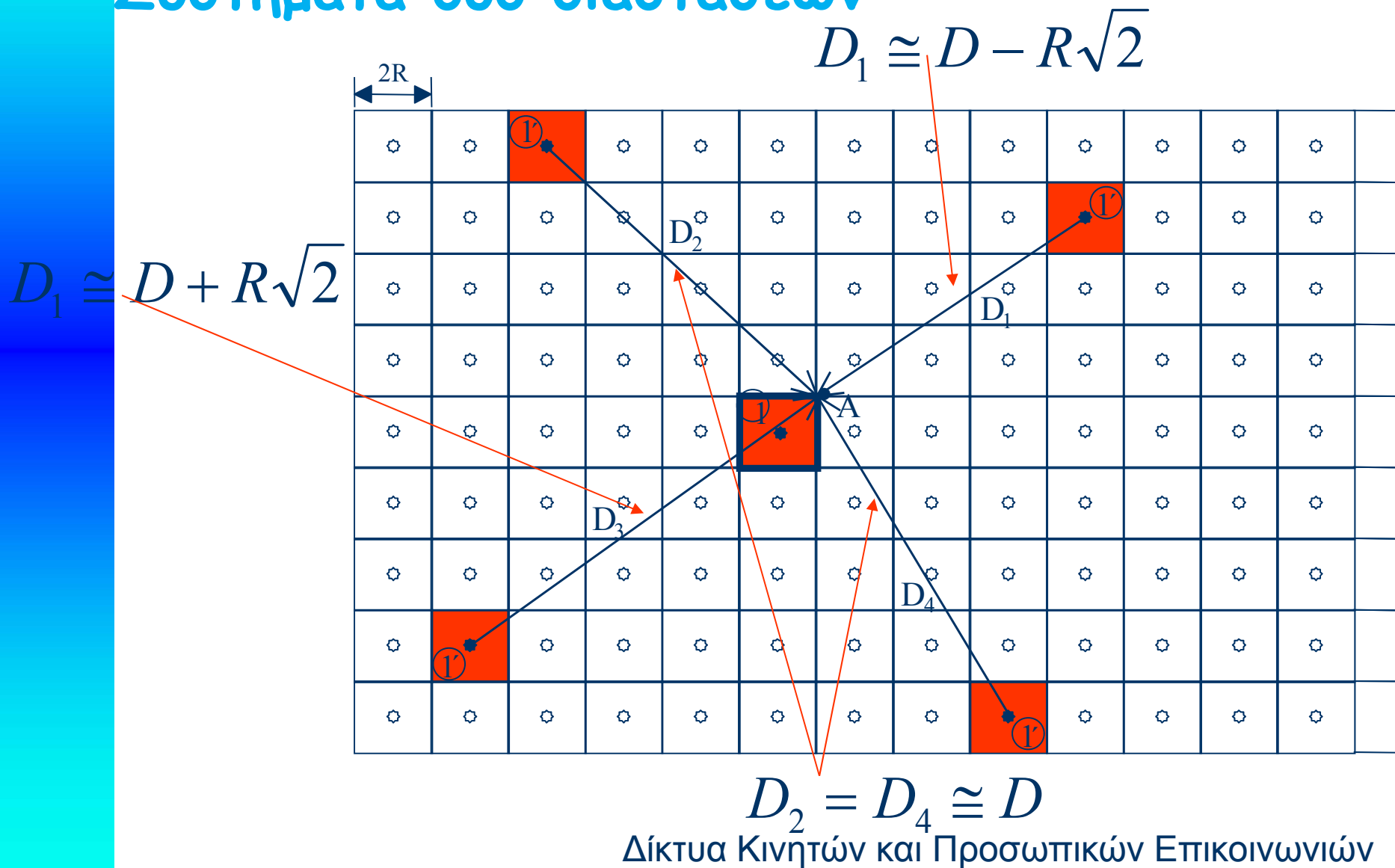


- Μεγάλο n σε αστικές περιοχές
- Μικρό n σε ημιαστικές και αγροτικές περιοχές

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Συστήματα δύο διαστάσεων





Συστήματα δύο διαστάσεων

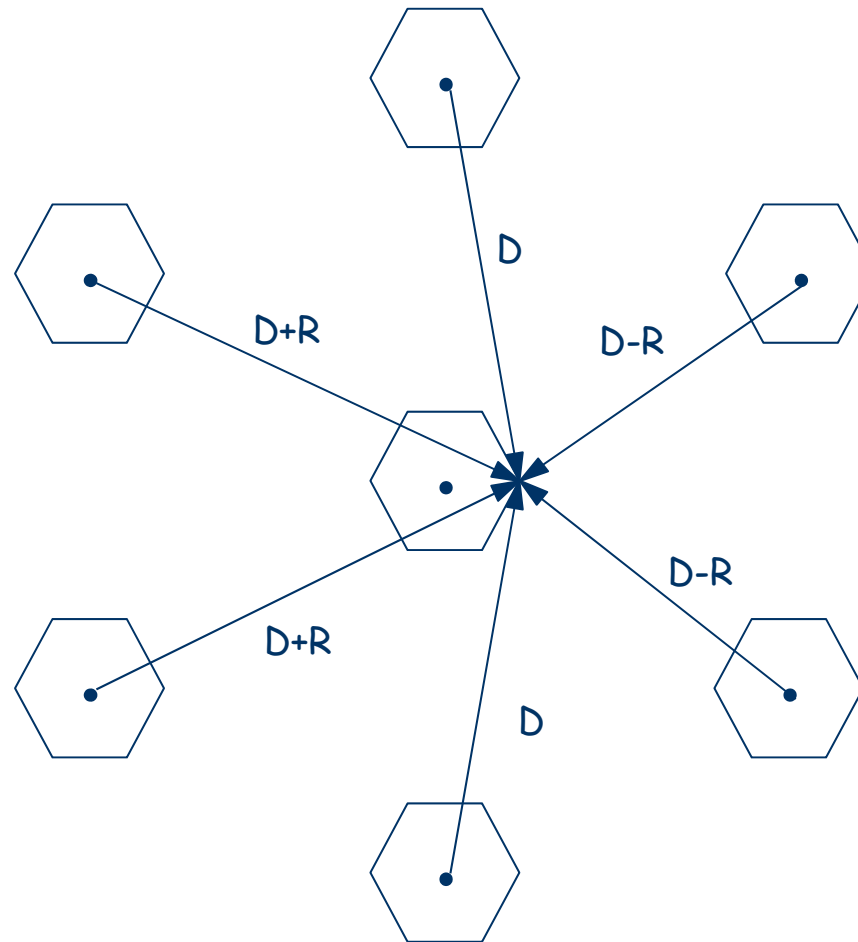
$$S / I = \frac{(\sqrt{2}R)^{-n}}{(D - \sqrt{2}R)^{-n} + 2D^{-n} + (D + \sqrt{2}R)^{-n}}$$

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

Ομοδιαυλική παρεμβολή



Συστήματα δύο διαστάσεων



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών



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 ισοτροπικές κεραίες 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.

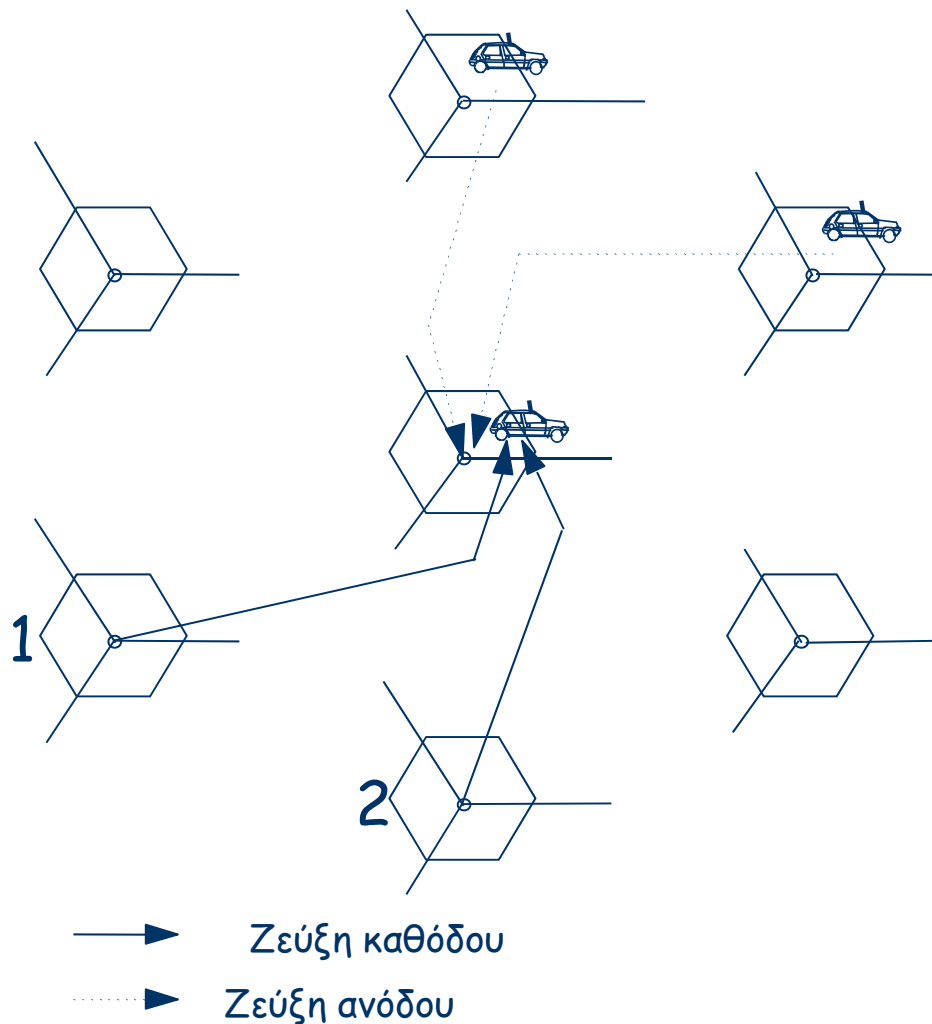


- Αύξηση του K
- Συνετή επιλογή στην κατανομή διαύλων
- Χρησιμοποίηση κατευθυντικών κεραιών
- Χρησιμοποίηση κατευθυντικών κεραιών σε συνδυασμό με την κατανομή διαύλων
- Χρησιμοποίηση διαφορικής λήψης

Περιορισμός της ομοδιαυλικής παρεμβολής



Χρήση κατευθυντικών κεραιών

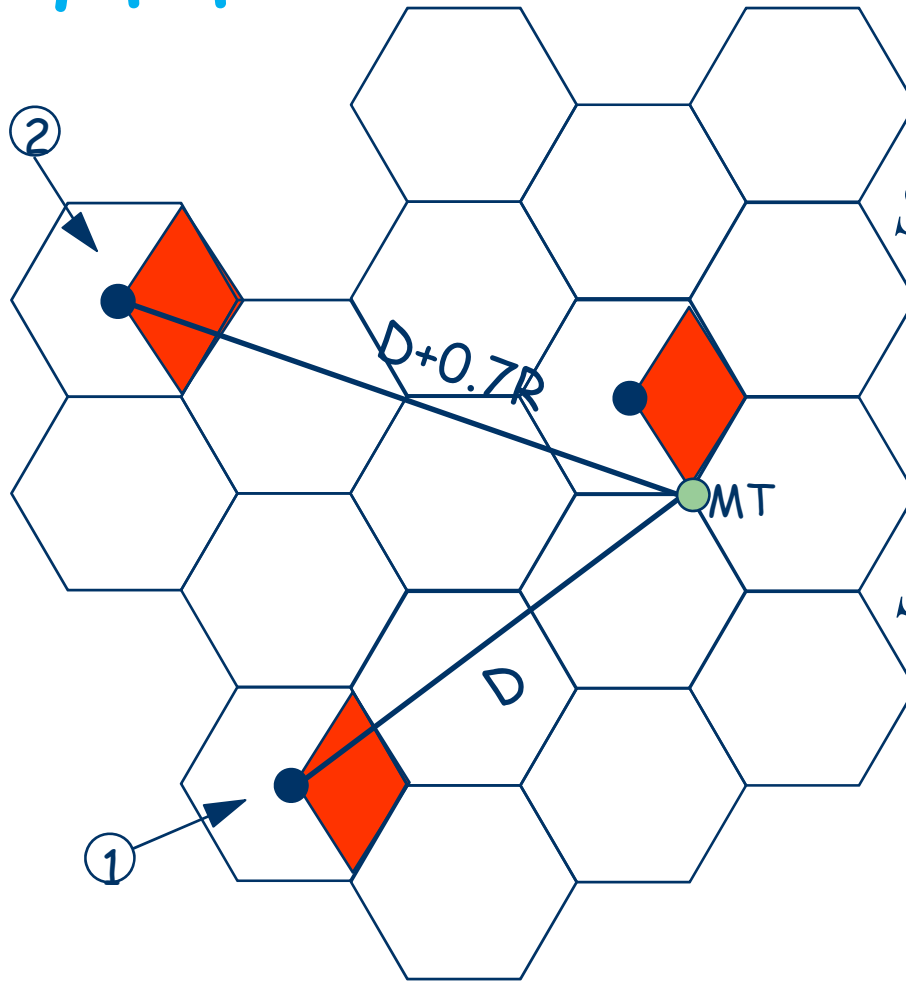


Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Περιορισμός της ομοδιαυλικής παρεμβολής



Χρήση κατευθυντικών κεραιών



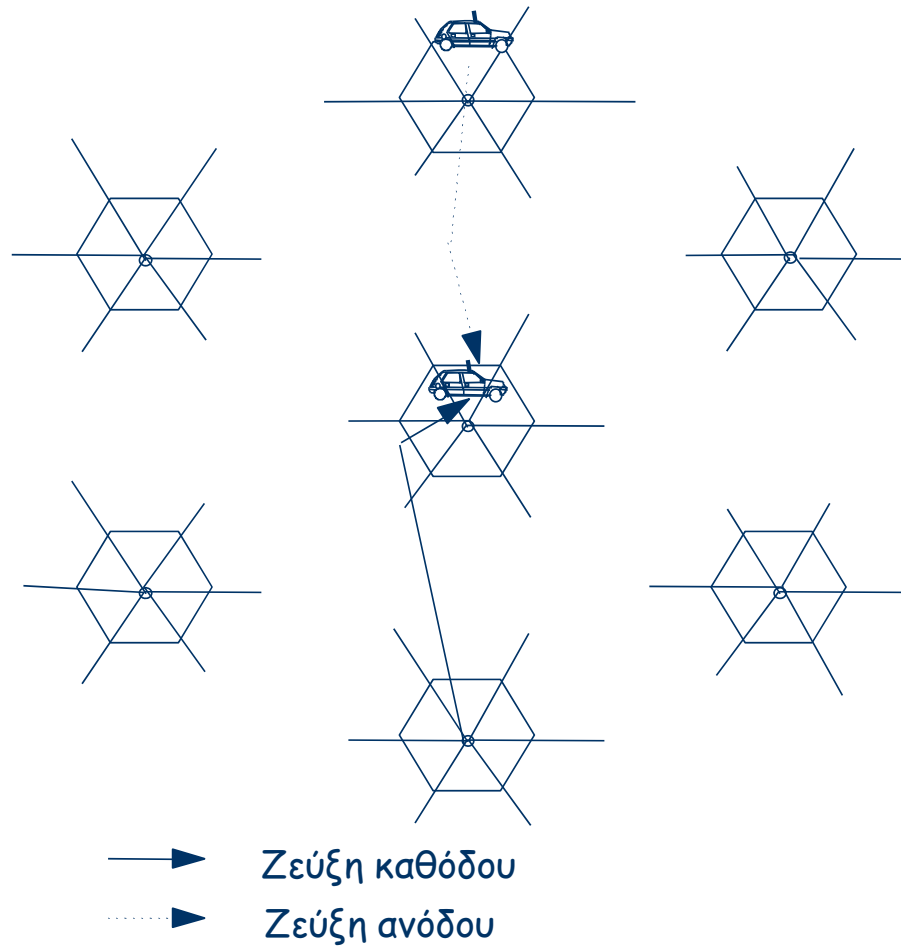
$$S / I = \frac{R^{-n}}{(D)^{-n} + (D + 0.7R)^{-n}}$$

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

Περιορισμός της ομοδιαυλικής παρεμβολής



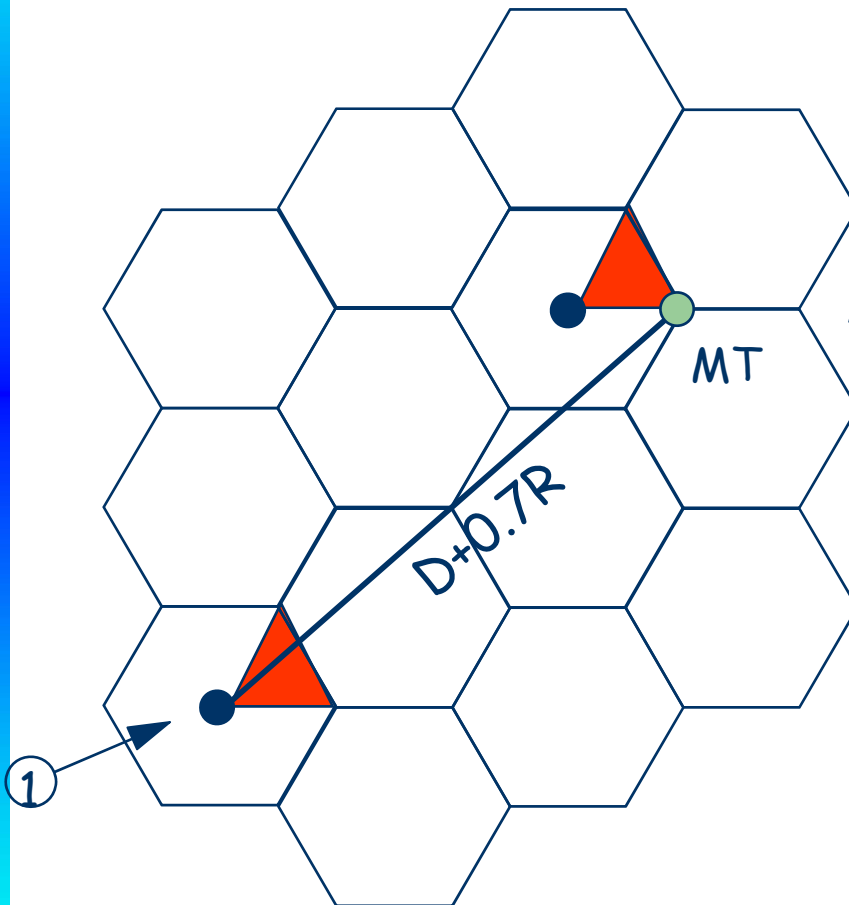
Χρήση κατευθυντικών κεραιών



Περιορισμός της ομοδιαυλικής παρεμβολής



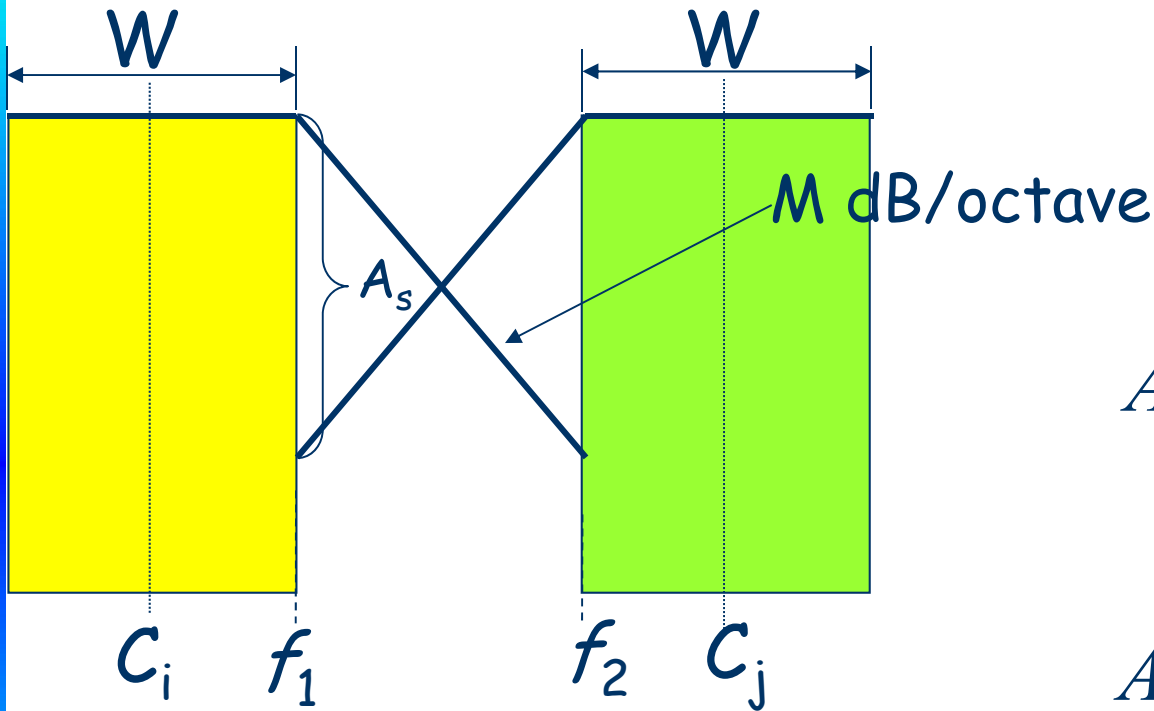
Χρήση κατευθυντικών κεραιών



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

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

Παρεμβολή γειτονικών διαύλων



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

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

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

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

$$Av \quad A_s = A_d$$

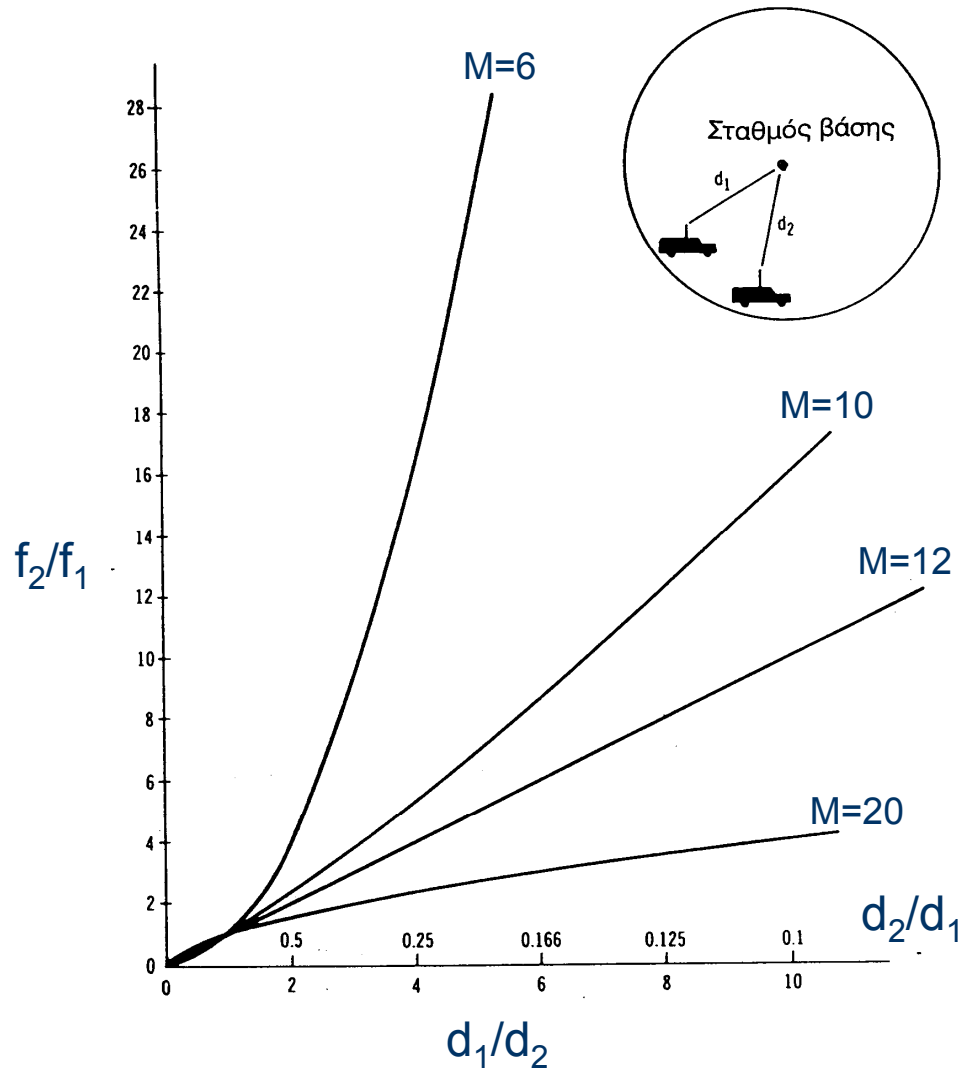
Παρεμβολή γειτονικών διαύλων



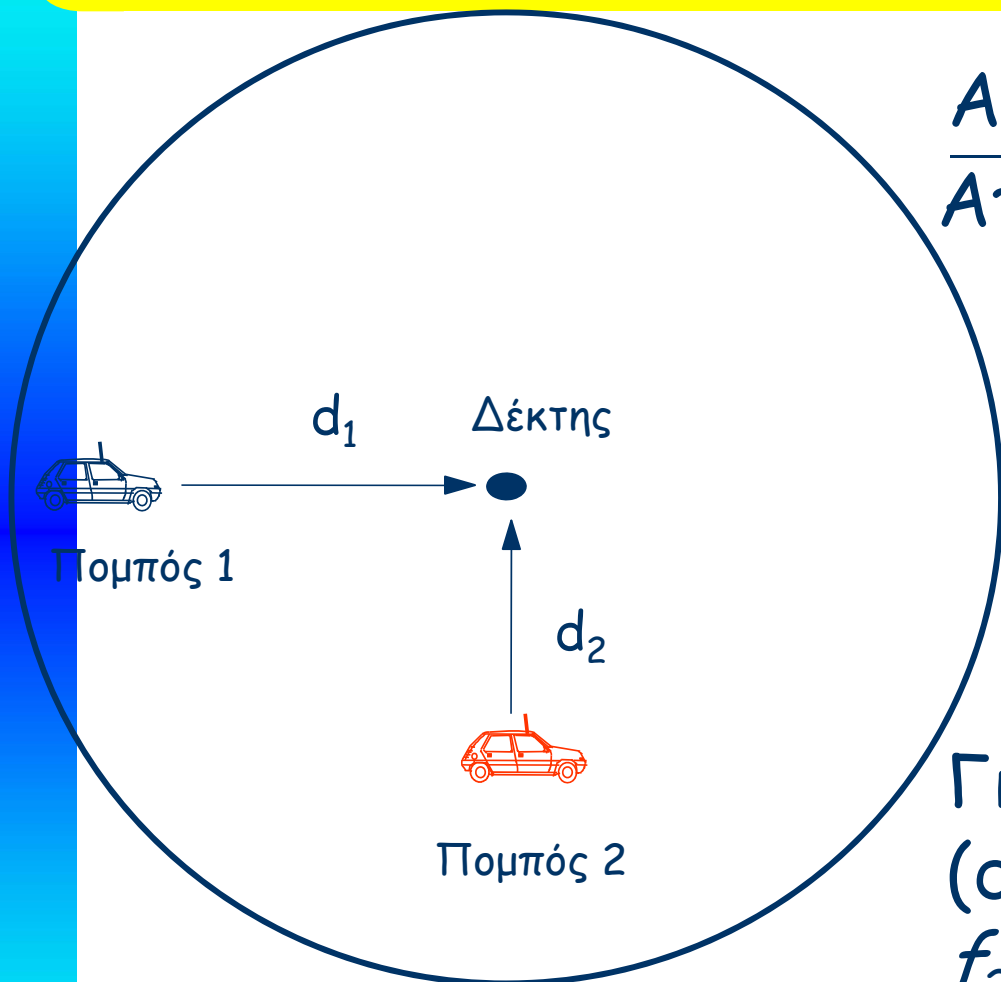
$$f_2 = f_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^{3n/M}$$

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

Παρεμβολή γειτονικών διαύλων



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
($d_1/d_2=20$) και $M=12 \Rightarrow$
 $f_2 / f_1 = 20$

Έλεγχος ισχύος εκπομπής των κινητών τερματικών

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

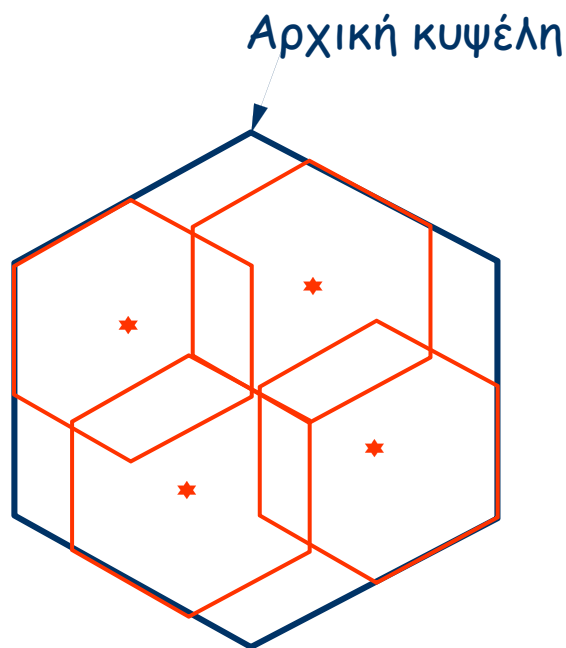


- Διάσπαση των κυψελών (cell splitting)
- Χωρισμός των κυψελών σε τομείς (cell sectoring)
- Χρησιμοποίηση περιοχών κάλυψης (coverage zones)- Μικροκυψέλες

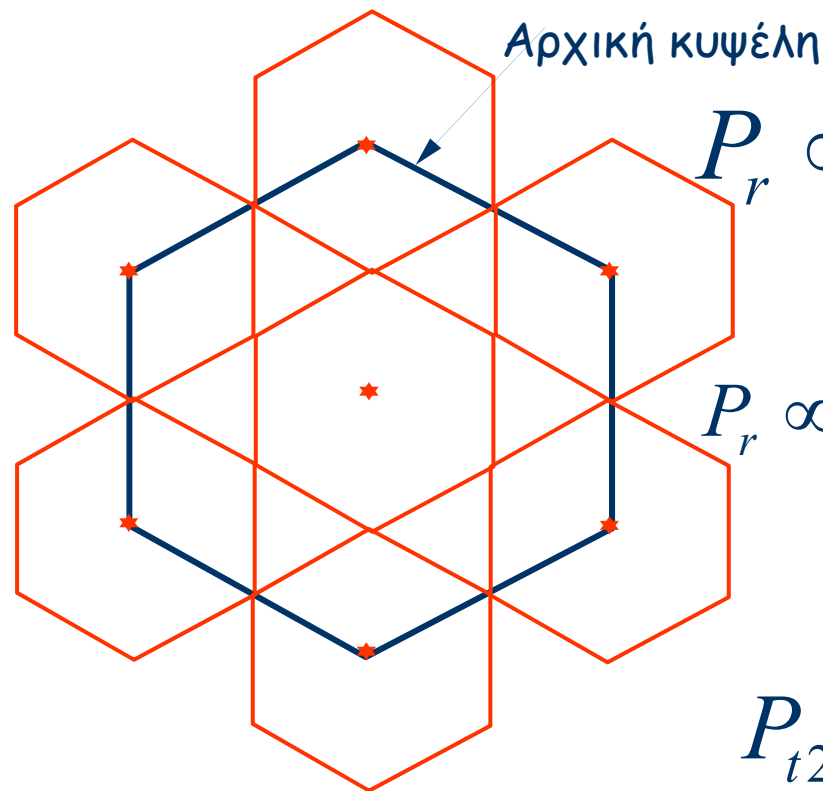
Βελτίωση της χωρητικότητας



Διάσπαση κυψελών



(α)



(β)

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

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

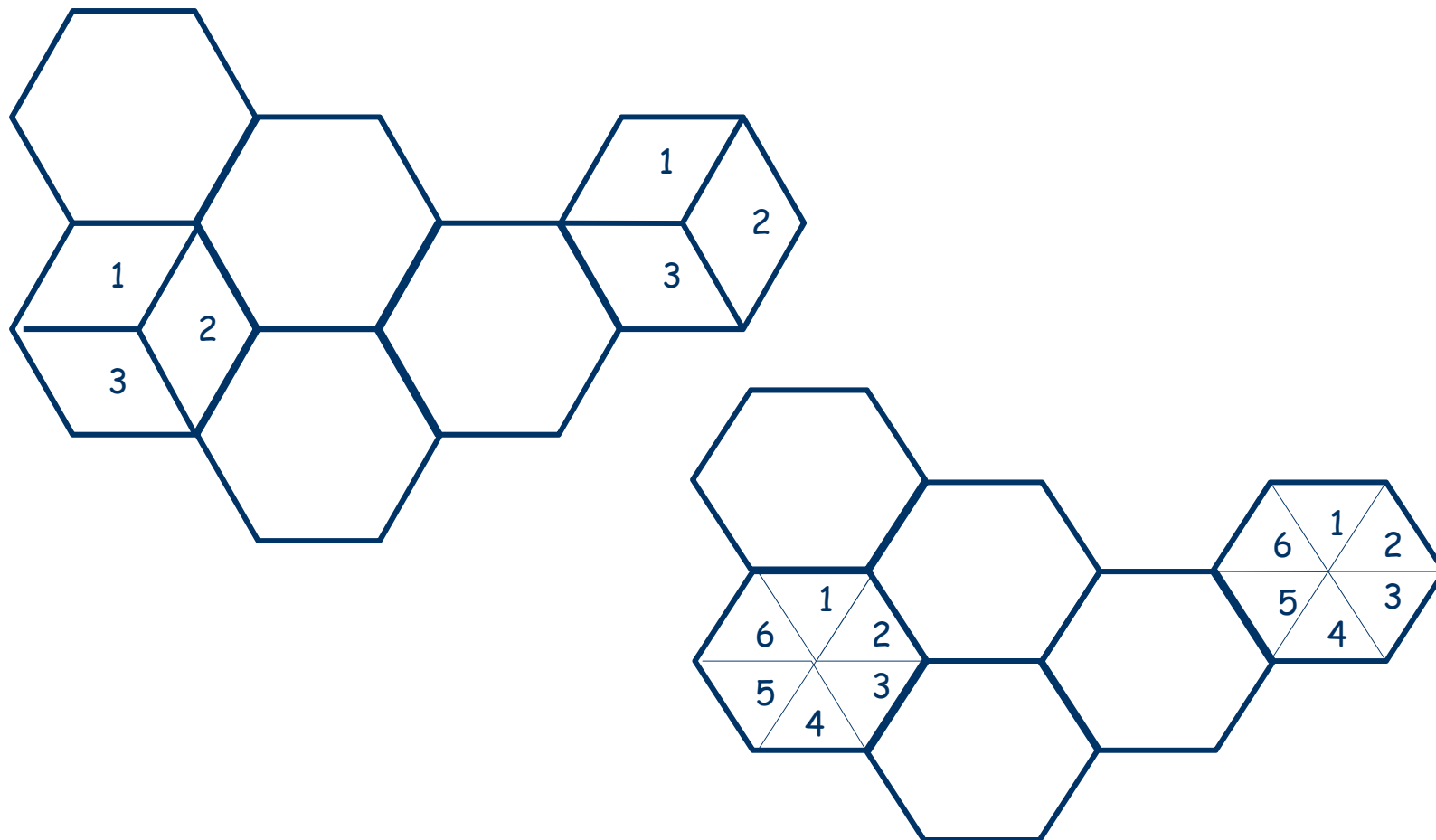
$$P_{t2} = \frac{P_{t1}}{2^n}$$

Μείωση του R , D/R σταθερό $\Rightarrow$ ίδιο K

Βελτίωση της χωρητικότητας



Χωρισμός των κυψελών σε τομείς



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

Βελτίωση της χωρητικότητας



Χωρισμός των κυψελών σε τομείς

Παράδειγμα 4.9

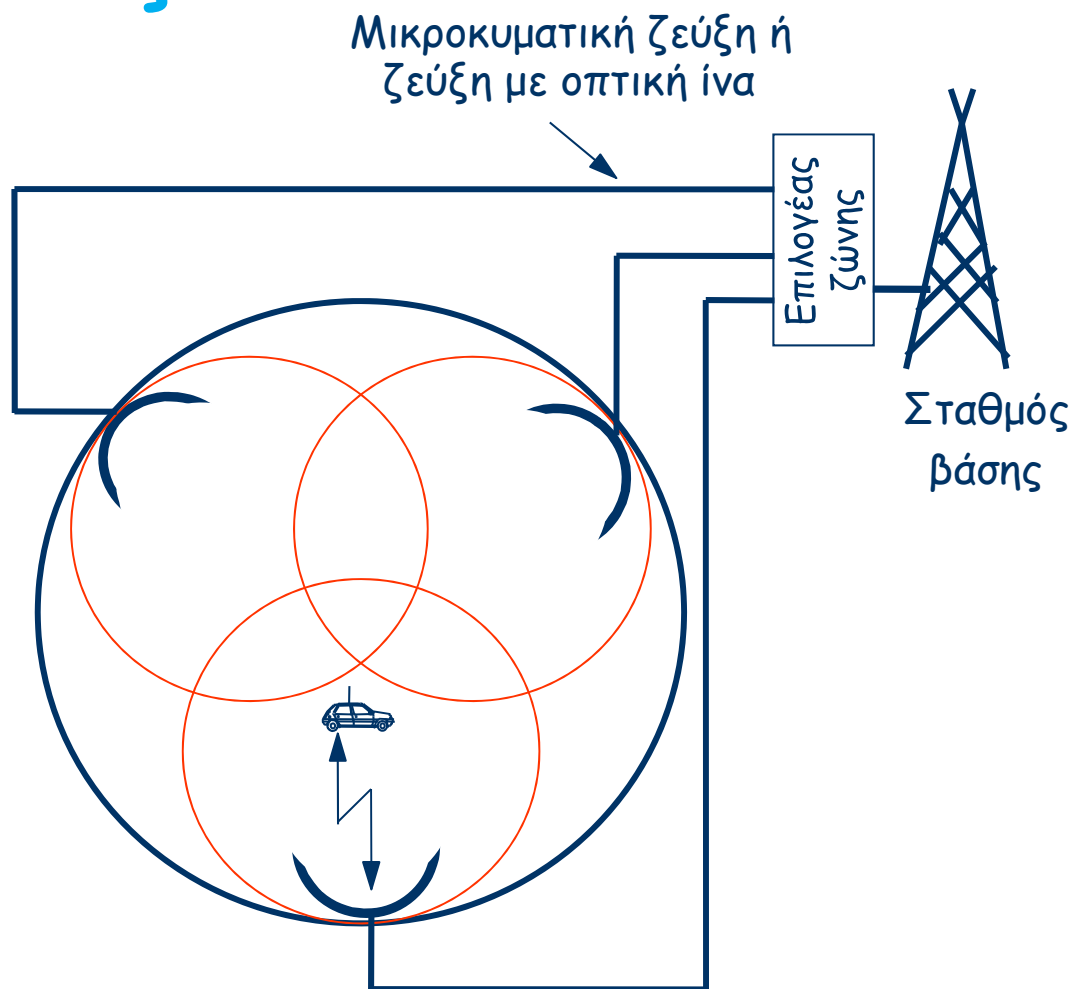
Ψηφιακό κυψελωτό σύστημα. $B_s = 10\text{MHz}$ ανά κατεύθυνση. Ισοτροπικές κεραίες στους σταθμούς βάσης. Παρεμβάλλουν οι ομοδιαυλικές κυψέλες της πρώτης σειράς. Υπολογίστε τον αριθμό διαύλων ανά κυψέλη, όταν ο αποδεκτός λόγος $S/I = 13\text{dB}$, $W = 50\text{kHz}$ ανά κατεύθυνση, $n = 4$ και $GOS =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

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

Βελτίωση της χωρητικότητας



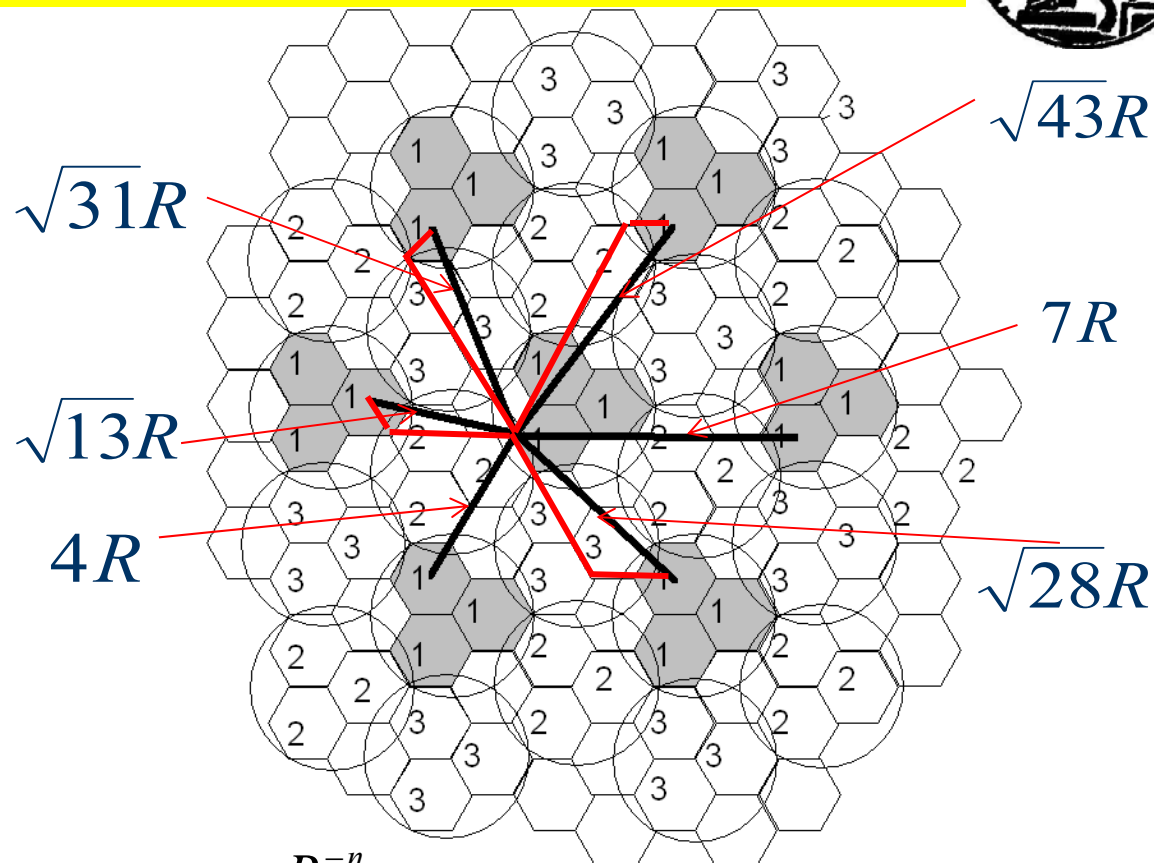
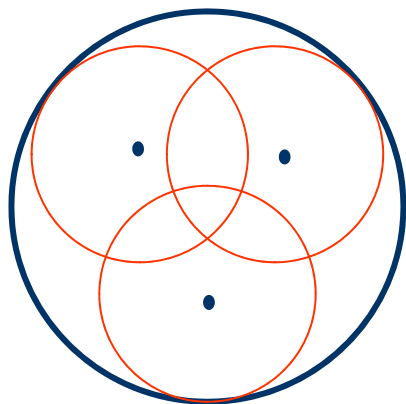
Μικροκυψέλες



Βελτίωση της χωρητικότητας



Μικροκυψέλες



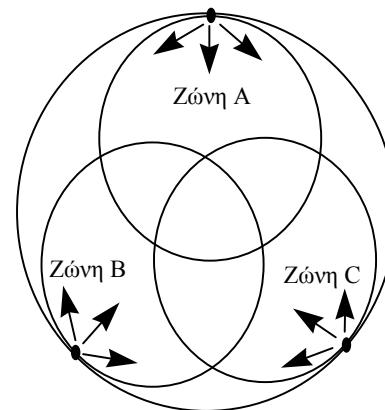
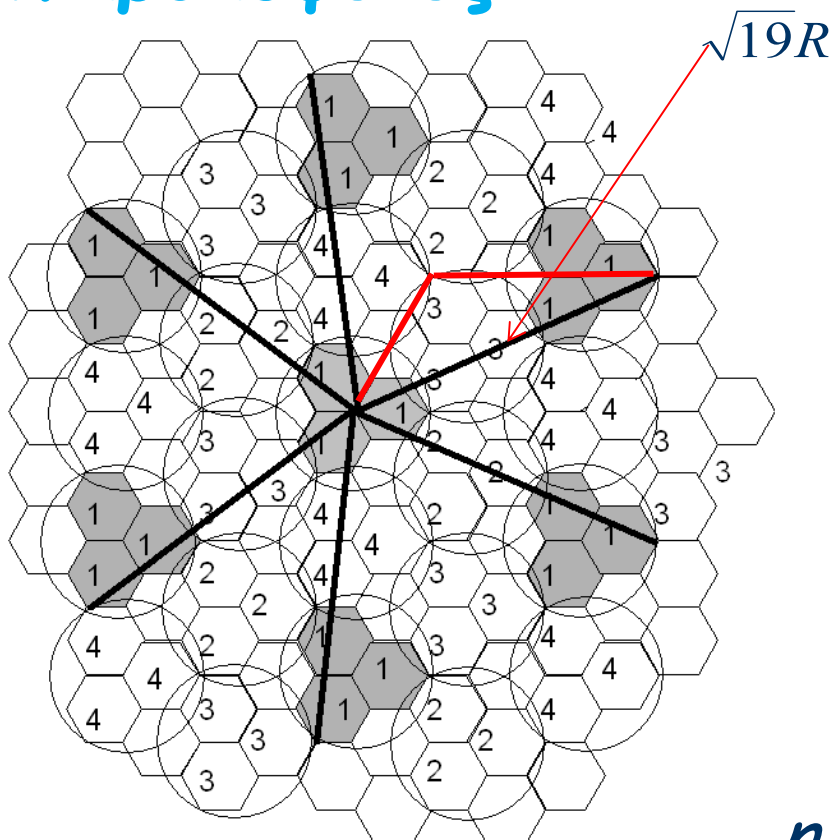
$$\frac{S}{I} = \frac{R^{-n}}{(\sqrt{13}R)^{-n} + (4R)^{-n} + (\sqrt{28}R)^{-n} + (7R)^{-n} + (\sqrt{43}R)^{-n} + (\sqrt{31}R)^{-n}}$$

$$n = 4 \Rightarrow S/I = 18.8 \text{ dB} \quad K = 7 \Rightarrow K = 3$$

Βελτίωση της χωρητικότητας



Μικροκυψέλες

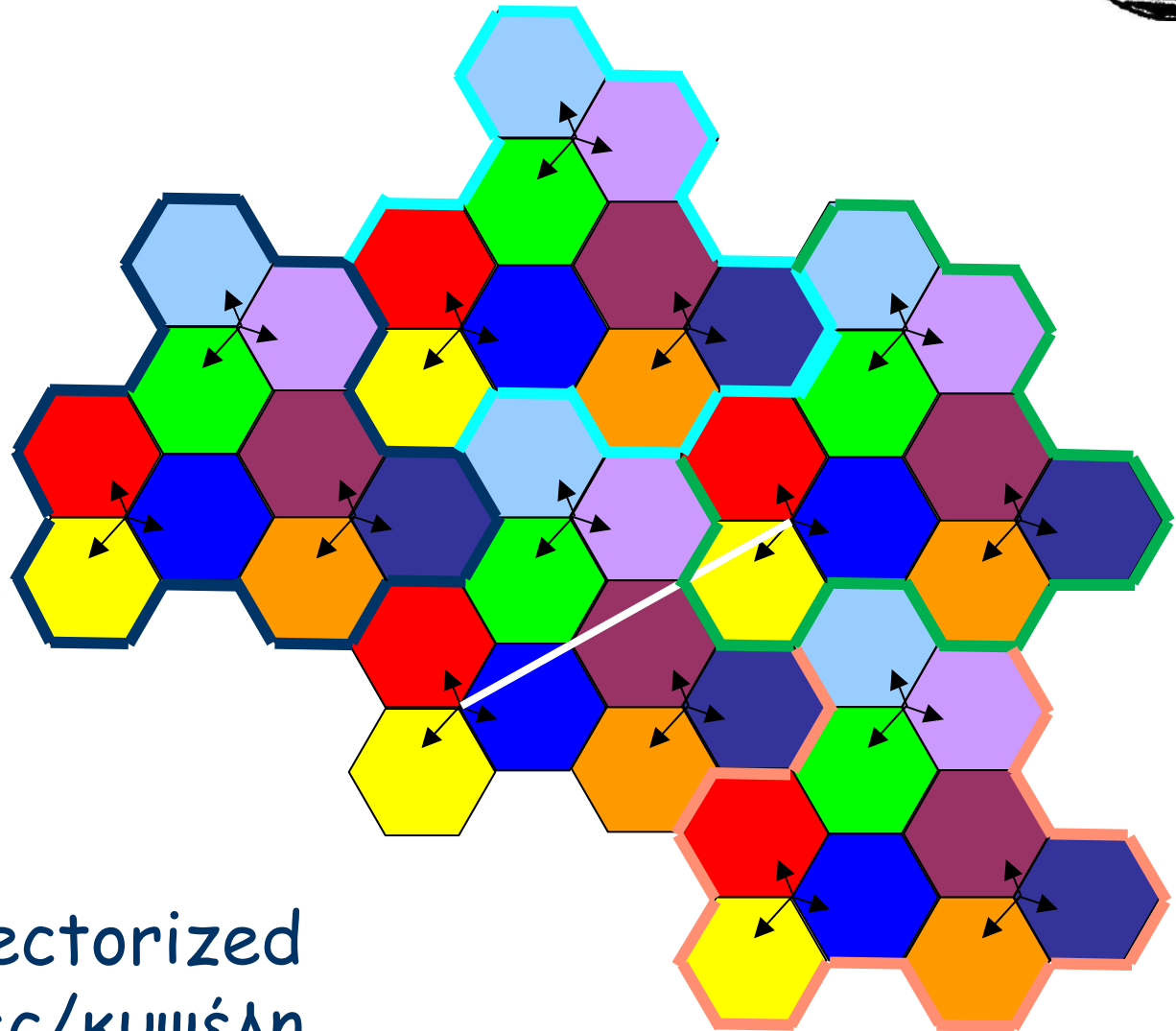


$$\frac{S}{I} = \frac{(2R)^{-n}}{6(2\sqrt{19}R)^{-n}}$$

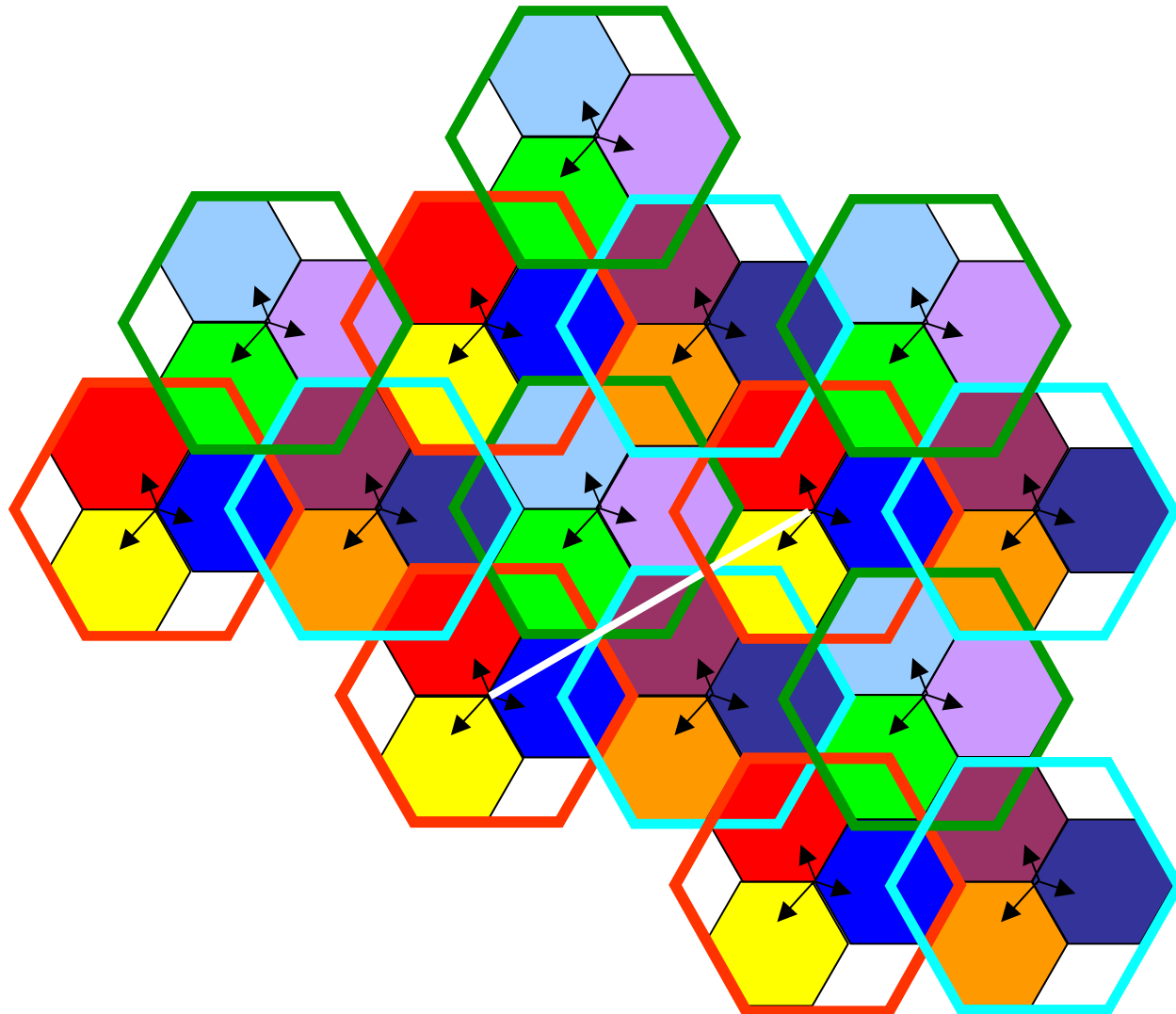
$$n = 4 \Rightarrow S/I = 17.8 \text{ dB}$$

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

3:9

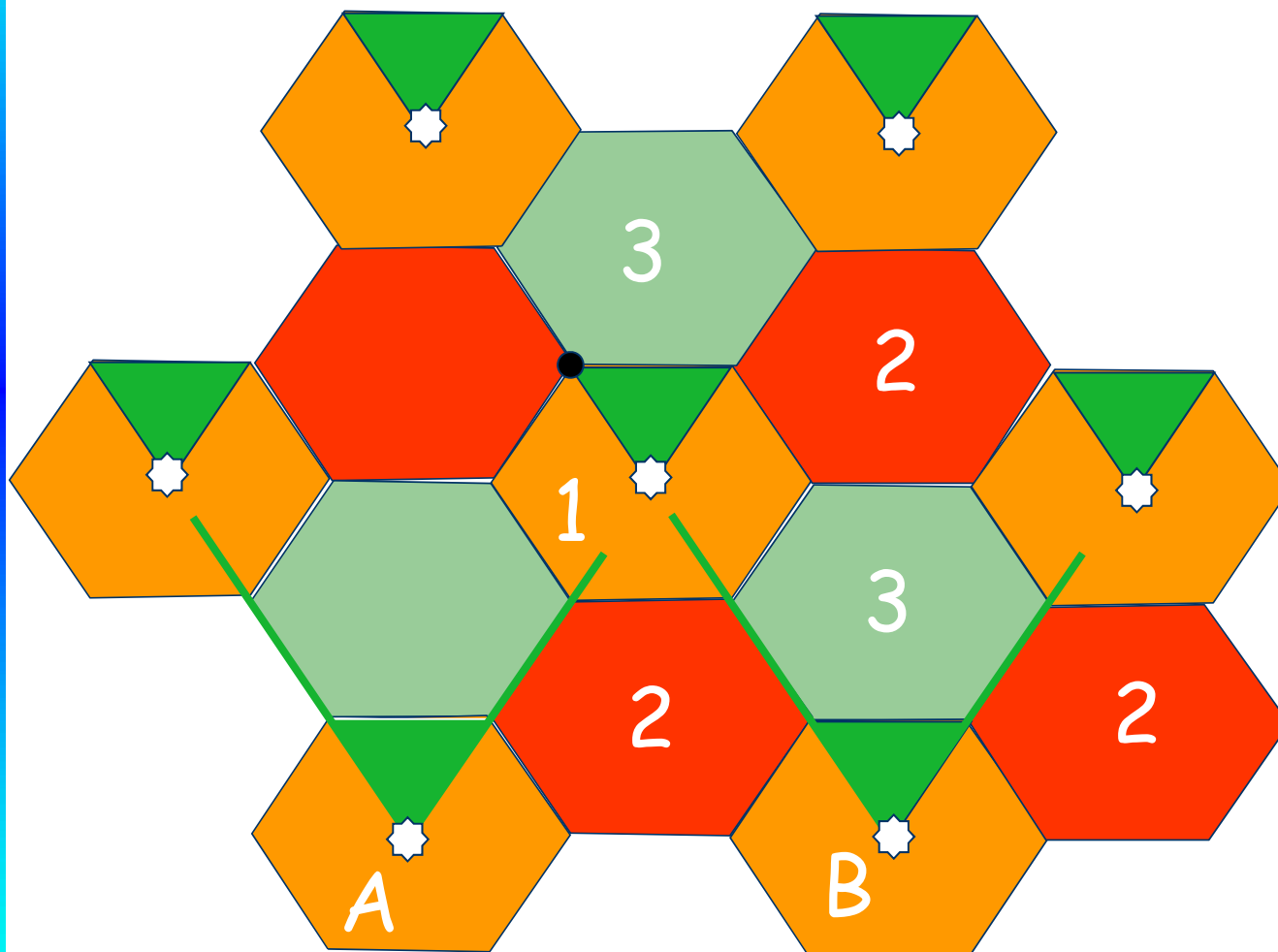


9 κυψέλες
3 σταθμοί sectorized
3 συχνότητες/κυψέλη



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Άσκηση 4.11



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Άσκηση 4.12

