



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ενότητα 4 : Παρεμβολές στο ασύρματο περιβάλλον των συστημάτων κινητών επικοινωνιών

Δημοσθένης Βουγιούκας

Επίκουρος Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Όρια Χωρητικότητας για Ραδιοδιαύλους

4

- Θεώρημα του **Claude Shannon**
 - Αντιμετώπισε το πρόβλημα της αξιόπιστης μετάδοσης της πληροφορίας με στατιστικούς όρους.
 - Χρησιμοποίησε πιθανοτικά μοντέλα για τις πηγές πληροφορίας και τους τηλεπικοινωνιακούς διαύλους.
 - Υιοθέτησε ένα λογαριθμικό μέτρο για το πληροφοριακό περιεχόμενο της πηγής.

Όρια Χωρητικότητας για Ραδιοδιαύλους

5

- Θεώρημα του **Claude Shannon**
 - Έδειξε ότι οι επιπτώσεις της περιορισμένης ισχύος ενός πομπού, του περιορισμένου εύρους ζώνης και του λευκού θορύβου μπορούν να συσχετιστούν με το δίαυλο.
 - Δημιουργία της **χωρητικότητας διαύλου**.
 - Καθόρισε τη μέγιστη χωρητικότητα ενός διαύλου ιδανικού χωρίς σκιάσεις, διαλείψεις ή διασυμβολική παρεμβολή, υπό συνθήκες λευκού Gaussian θορύβου.

Όρια Χωρητικότητας για Ραδιοδιαύλους

6

- Θεώρημα του **Claude Shannon**

$$\begin{aligned} C &= B \log_2 \left(1 + \frac{S}{BN_o} \right) = B \log_2 (1 + SNR) \\ &= B \frac{\log_{10} (1 + SNR)}{\log_{10} 2} = 3.32B \log_{10} (1 + SNR) \end{aligned}$$

όπου

- **C**: χωρητικότητα διαύλου (*bits/sec*)
- **B**: εύρος ζώνης (*Hz*)
- **S**: μέση εκπεμπόμενη ισχύς
- $N_o/2$: φασματική πυκνότητα ισχύος προσθετικού θορύβου
- **SNR**: σηματοθορυβικός λόγος

Όρια Χωρητικότητας για Ραδιοδιαύλους

7

- **Παράδειγμα:** Θέλουμε να αποστείλουμε δεδομένα με ρυθμό $R=9\text{kbps}$ και έχουμε εύρος διαύλου $B=3\text{kHz}$

$$R < C = B \log_2 (1 + SNR) \Rightarrow \frac{R}{B} < \log_2 (1 + SNR) \Rightarrow$$

$$2^{R/B} < (1 + SNR) \Rightarrow SNR > 2^{R/B} - 1$$

όπου

$$E_b = S \cdot T = S \cdot \frac{1}{R_b} \Rightarrow S = E_b \cdot R_b$$

- E_b : η ενέργεια ανά bit

Όρια Χωρητικότητας για Ραδιοδιαύλους

8

- Αντικαθιστώντας:

$$R < B \log_2 \left(1 + \frac{E_b R_b}{N_o B} \right)$$

Για να πετύχουμε ρυθμό R_b kbps θα πρέπει:

$$\frac{E_b}{N_o} > \frac{2^{R_b/B} - 1}{\frac{R_b}{B}} = \frac{B}{R_b} (2^{R_b/B} - 1) \quad \text{ή}$$

$$\frac{E_b}{N_o} > 10 \log_{10} \left[\frac{B}{R_b} (2^{R_b/B} - 1) \right] \quad (\text{dB})$$

Το θεωρητικό όριο της χωρητικότητας του Shannon δεν επιτυγχάνεται στην πράξη αλλά είναι δυνατό να το πλησιάσουμε

Είδη Παρεμβολών

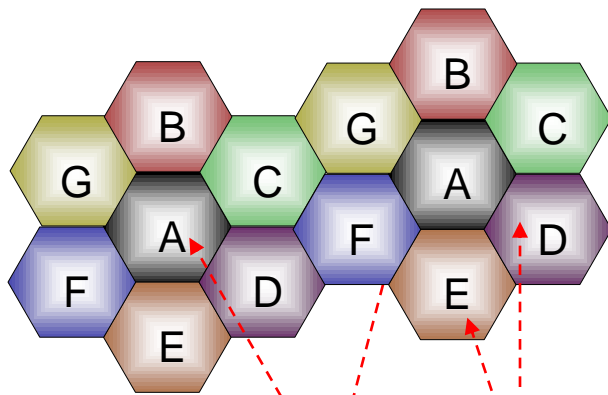
- Οι παρεμβολές στα κυψελωτά συστήματα είναι είτε
 - ▣ **Ομοδιαυλικές** : Πλήρης επικάλυψη της φασματικής πυκνότητας ισχύος του επιθυμητού και των ανεπιθύμητων σημάτων από ομοδιαυλικές κυψέλες.
 - ▣ **Γειτονικών Διαύλων** : Μερική επικάλυψη της φασματικής πυκνότητας ισχύος του επιθυμητού και των ανεπιθύμητων από γειτονικούς διαύλους σημάτων.
 - ▣ **Στενής ζώνης** : Συνήθως μερική επικάλυψη από χρήστες άλλων συστημάτων στην ίδια ζώνη συχνοτήτων.

Ομοδιαυλική παρεμβολή

Παρεμβολή γειτονικού καναλιού

10

- Ομοδιαυλική παρεμβολή [*Co-Channel Interference: CCI*]: είναι η παρεμβολή από (i) χρήστες και (ii) τον BS μίας κοντινής κυψέλης με το ίδιο σύνολο συχνοτήτων.
- Παρεμβολή γειτονικού καναλιού [*Adjacent Channel Interference: ACI*]: είναι η παρεμβολή από άλλη κυψέλη που έχει σύνολο γειτονικών συχνοτήτων.



Η παρεμβολή γειτονικού καναλιού εξαρτάται από την

- απόσταση των δυο πομποδεκτών και
- την ποιότητα των φίλτρων απόρριψης συχνοτήτων

Η ομοδιαυλική παρεμβολή εξαρτάται κυρίως από

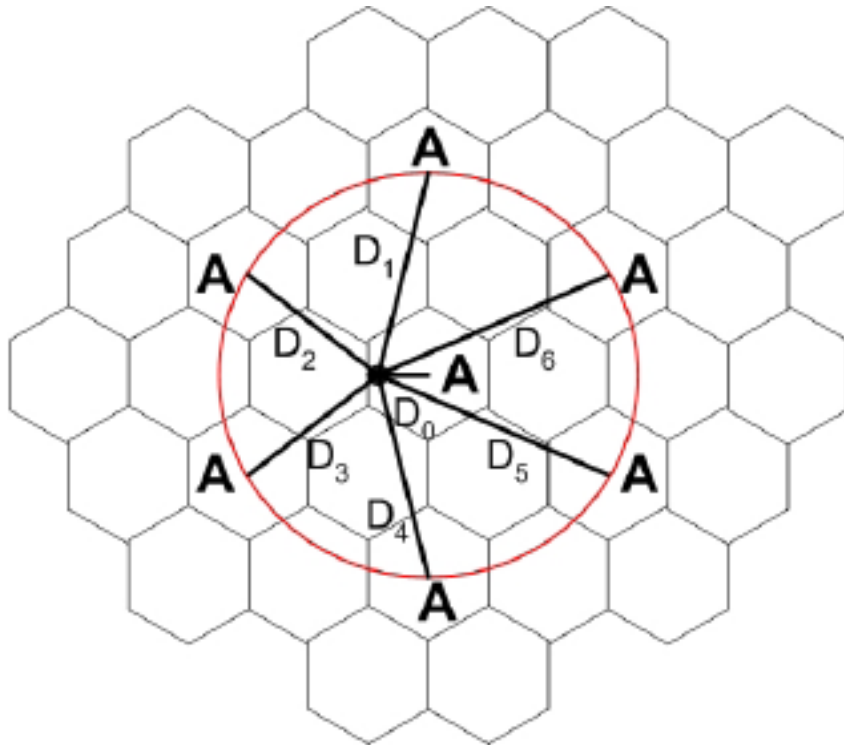
- τον συντελεστή επαναχρησιμοποίησης N

CCI ACI {
E: {5, 10, 15}
D: {6, 11, 16}

Καθορισμός Απόστασης Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων

11

- Ομοδιαυλικές Παρεμβολές στην ευθεία ζεύξη (downlink)



Για ομοιοκατευθυντικές
κεραίες στους ΣΒ, οι
ομοδιαυλικές κυψέλες που
προκαλούν παρεμβολή είναι
πάντα 6 για εξαγωνική δομή
και θεωρώντας μόνο την
πρώτη (πιο κοντινή) ζώνη.

Καθορισμός Απόστασης Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων

12

- Συμβολίζουμε το διάνυσμα των αποστάσεων από τους ΣΒ σε συγκεκριμένη θέση του ΚΣ

$$\vec{D}\left(D_0, D_1, D_2, \dots, D_{N_l}\right)$$

- όπου N_l ο αριθμός των ομοδιαυλικών ΣΒ που παρεμβάλουν.
- Θεωρούμε ότι το επιθυμητό σήμα και οι παρεμβολές ακολουθούν λογαριθμοκανονική κατανομή με την ίδια τυπική απόκλιση.
- Θα υπολογίσουμε τον λόγο ισχύος επιθυμητού σήματος προς την ισχύ παρεμβολών.

Καθορισμός Απόστασης Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων

13

□ Άρα

$$\begin{aligned}\Lambda_{(dB)}(\bar{D}) &= 10 \log \Lambda(\bar{D}) = 10 \log \left(\frac{\Omega(D_o)}{\sum_{k=1}^{N_I} \Omega(D_k)} \right) \\ &= 10 \log \Omega(D_o) - 10 \log \sum_{k=1}^{N_I} \Omega(D_k) \\ &= \Omega_{(dB)}(D_o) - 10 \log \sum_{k=1}^{N_I} 10^{\frac{\Omega_{(dB)}(D_k)}{10}}\end{aligned}$$

Καθορισμός Απόστασης Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων

14

- Να παρατηρήσουμε ότι ενώ κάθε λαμβανόμενη ισχύς ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή, το άθροισμα στον παρανομαστή της προηγούμενης δεν ακολουθεί κατ' ανάγκη την ίδια κατανομή.
- Η πιθανότητα ομοδιαυλικής παρεμβολής είναι

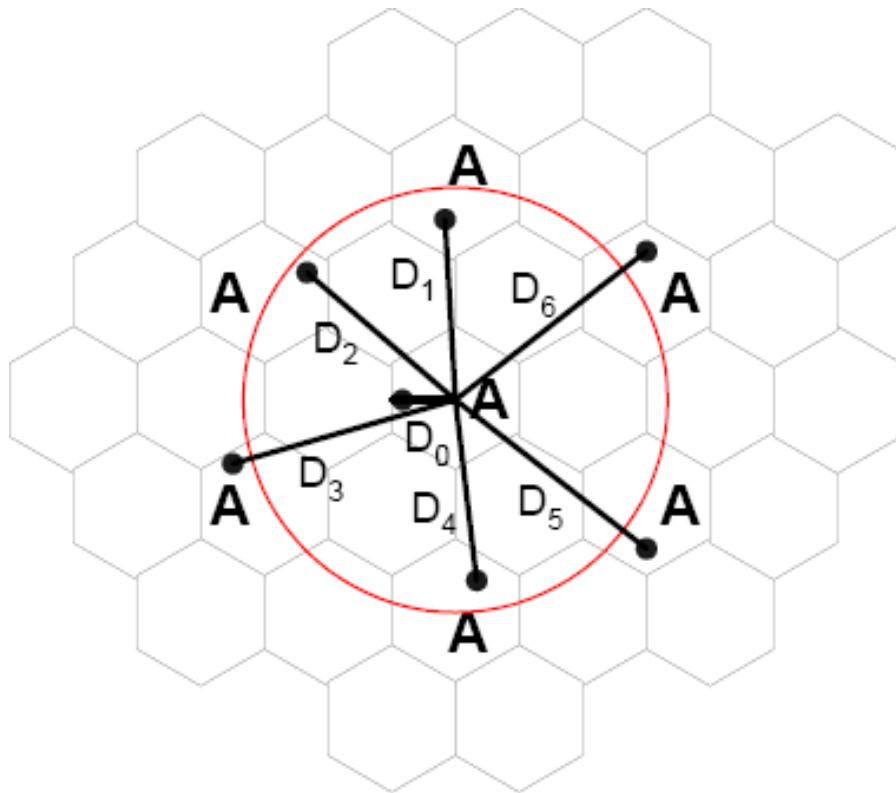
$$O_{\Lambda}(\vec{D}) = \Pr\left(\Lambda_{(dB)}(\vec{D}) < \Lambda_{th(dB)}\right)$$

- Συνήθως ενδιαφέρει το ποσοστό των ζεύξεων που έχουν C/I μεγαλύτερο από το κατώφλι, π.χ. C/I_{90}

Καθορισμός Απόστασης Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων

15

- Ομοδιαυλικές Παρεμβολές στην αντίστροφη ζεύξη (uplink)



Ο λόγος σήματος προς παρεμβολή δεν είναι ίδιος στις δύο κατευθύνσεις (ευθεία και αντίστροφη ζεύξη) λόγω του διαφορετικού διανύσματος των αποστάσεων.

Καθορισμός Απόστασης Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων

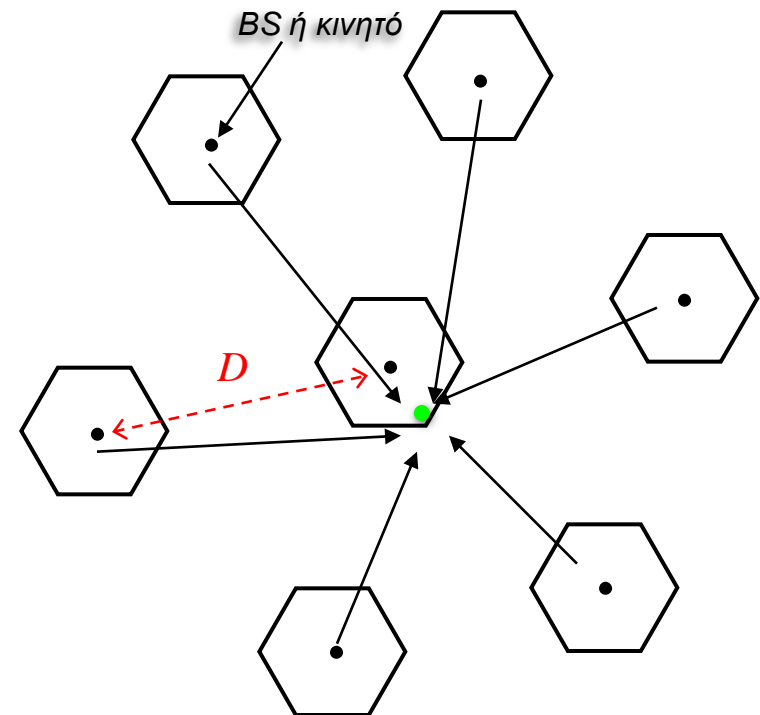
16

- Θεωρούμε
 - Μοντέλο απωλειών διάδοσης απλή κλίση
 - Ο συντελεστής απωλειών διάδοσης είναι κοινός για όλες τις εμπλεκόμενες κυψέλες
 - Οι ΣΒ εκπέμπουν όλοι την ίδια ισχύ

$$\Lambda(\vec{D}) = \frac{D_o^{-n}}{\sum_{k=1}^{N_I} D_k^{-n}}$$

- Επιπλέον θεωρούμε ότι

$$D_o \approx R \quad \text{και} \quad D_k \approx D$$



Καθορισμός Απόστασης Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων

17

□ Άρα

$$\frac{C}{I} = \Lambda(\vec{D}) = \frac{(D/R)^n}{N_I} = \frac{(\sqrt{3K})^n}{N_I}$$

- Λύνοντας ως προς K , μπορούμε να υπολογίσουμε την ελάχιστη δυνατή τιμή του K ώστε να ικανοποιείται η τιμή κατωφλίου για το C/I

$$K = \frac{\left[\frac{C}{I} N_I \right]^{\frac{2}{n}}}{3}$$

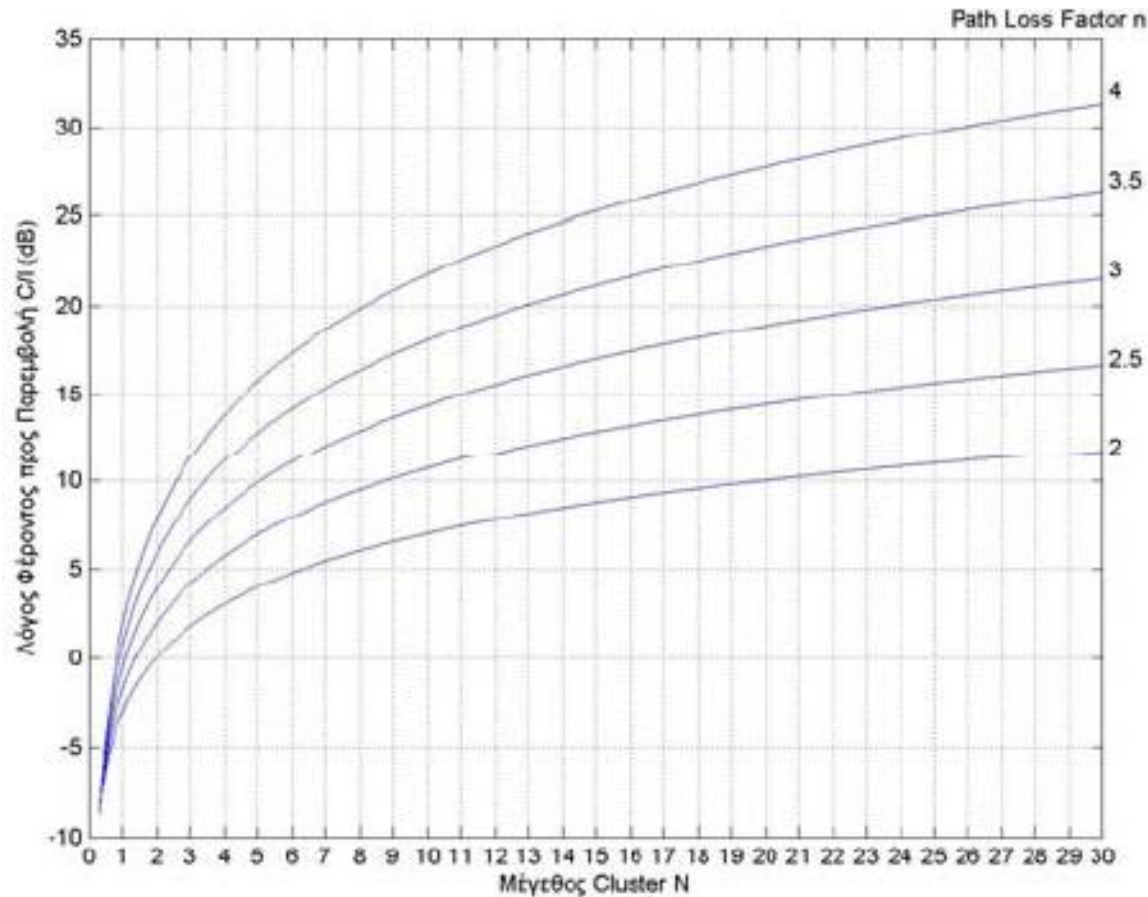
Καθορισμός Απόστασης Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων

18

- **Παράδειγμα** : Για το σύστημα AMPS ο λόγος C/I πρέπει να είναι τουλάχιστο $18dB$. Υποθέτοντας $n=4$ και θεωρώντας μόνο την πρώτη ζώνη ομοδιαυλικών κυψελών, προκύπτει ότι $K \geq 6.49$, δηλαδή το ελάχιστο μέγεθος του cluster πρέπει να είναι $K=7$.
- **Παράδειγμα** : Για το σύστημα GSM ο λόγος C/I πρέπει να είναι τουλάχιστον $7dB$. Υποθέτοντας $n=3.5$ και θεωρώντας μόνο την πρώτη ζώνη ομοδιαυλικών κυψελών, προκύπτει ότι $K \geq 2.33$, δηλαδή το ελάχιστο μέγεθος του cluster πρέπει να είναι $K=3$.

Καθορισμός Απόστασης Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων

19



Νόημα έχουν
μόνο οι τιμές
 $K=1,3,4,7,9,12,1$
 $3,19,27$, κλπ.

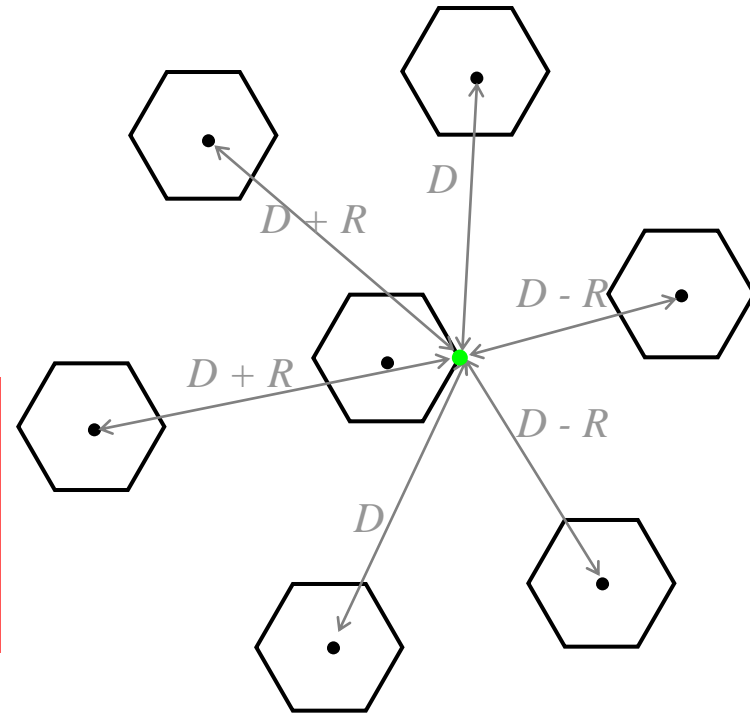
Καθορισμός Απόστασης Επαναχρησιμοποίησης Συχνοτήτων

20

- Η προηγούμενη σχέση είναι προσεγγιστική και συχνά οπτιμιστική.
- Μια πιο ακριβής σχέση για την περίπτωση που $K=7$ είναι η εξής

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{2\left(\frac{D}{R} - 1\right)^{-n} + 2\left(\frac{D}{R} + 1\right)^{-n} + 2\left(\frac{D}{R}\right)^{-n}}$$

- Η οποία για το παράδειγμα του AMPS θα δώσει $C/I=17.3dB$ δηλαδή πρέπει να αυξήσουμε το K στο 9 ή το 12, που σημαίνει μείωση της χωρητικότητας.



Παράδειγμα

21

Αν ο ελάχιστος αποδεκτός λόγος σήματος προς παρεμβολές είναι:

$C/I_{min} = 15 \text{ dB}$, ποια είναι η καλύτερη δυνατή τιμή του K του συστήματος για $n=3$ και για $n=4$?

$n=4$

Έστω $K = 7$, τότε:

$$D/R = \sqrt{3 \times 7} \approx 4.58$$

$$\frac{C}{I} = \frac{(D/R)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0} = \frac{(4.58)^n}{6} = 18.66 \text{ dB} > 15 \text{ dB}$$

Άρα το $K=7$ είναι ικανοποιητικό

$$C/I = \text{SIR} = \frac{R^{-n}}{\sum_{k=1}^6 D_k^{-n}}$$

Παράδειγμα

22

n=3

Έστω ξανά $K = 7$, τότε:

$$\frac{C}{I} = \frac{4.58^3}{6} = 12.05 \text{ dB} < 15 \text{ dB}$$

Χρειάζεται μεγαλύτερο K , έστω $K=12$

$$D/R = \sqrt{3 \times 12} = 6.0$$

$$\frac{C}{I} = \frac{6^3}{6} = 36 = 15.56 \text{ dB} > 15 \text{ dB}$$

Κυψέλες

23

- Μείωση του λόγου ομοδιαυλικής επαναχρησιμοποίησης σημαίνει αύξηση των παρεμβολών, I
- Άρα μείωση του λόγου (C/I)
- Συνεπώς πρέπει να βρω τη χαμηλότερη δυνατή τιμή K , για την οποία έχω αποδεκτό λόγο σήματος προς παρεμβολή.
- Να παρατηρήσουμε ότι ο αριθμός των διαύλων σε κάθε κυψέλη είναι : $n=S/K$, όπου
 - S : ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων διαύλων
 - K : ο αριθμός των κυψελών στο cluster
- Άρα μείωση του K σημαίνει αύξηση του n , και άρα της χωρητικότητας.

Περιορισμός Ομοδιαυλικής Παρεμβολής

24

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

Παρεμβολές Γειτονικών Διαύλων

25

- Η μερική επικάλυψη της φασματικής πυκνότητας ισχύος του επιθυμητού σήματος και της παρεμβολής, οφείλεται κυρίως στην ατελή υλοποίηση των φίλτρων του δέκτη.
- Όσο πιο μεγάλη η ισχύς στο γειτονικό δίαυλο τόσο μεγαλύτερη είναι και η διαρροή στον επιθυμητό δίαυλο.
- Οι παρεμβολές αυτές περιορίζονται τόσο με τη χρήση ικανοποιητικού φίλτρου, όσο και με την προσεκτική απόδοση των διαύλων στους ΣΒ.
- Συνήθως αποφεύγουμε την απόδοση γειτονικών διαύλων στον ίδιο ΣΒ.

Παρεμβολές Γειτονικών Διαύλων

26

- Ο σχεδιασμός των φίλτρων είναι σημαντικός και ιδιαίτερα ενδιαφέρει η κλίση K ($dB/octave$) των απωλειών στη ζώνη αποκοπής.
- Δηλαδή αν f_1 είναι η άνω συχνότητα του διαύλου ως προς την κεντρική συχνότητα (π.χ. στο GSM $f_1=100KHz$ για διάυλο $200KHz$) τότε στην f_2 οι απώλειες θα είναι

$$\text{Απώλειες} = K \log_2 \left(\frac{f_2}{f_1} \right) = \frac{K}{0.3} \log_{10} \left(\frac{f_2}{f_1} \right) \quad (dB)$$

Παρεμβολές Γειτονικών Διαύλων

27

- Αν υποθέσουμε ότι η απόσταση ενός απομακρυσμένου ΚΣ είναι d_1 και ενός κοντινού d_2 , οι Απώλειες είναι

$$\text{Απώλειες} = 10 \log_{10} \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^n \quad (dB)$$

- Άρα εξισώνοντας προκύπτει

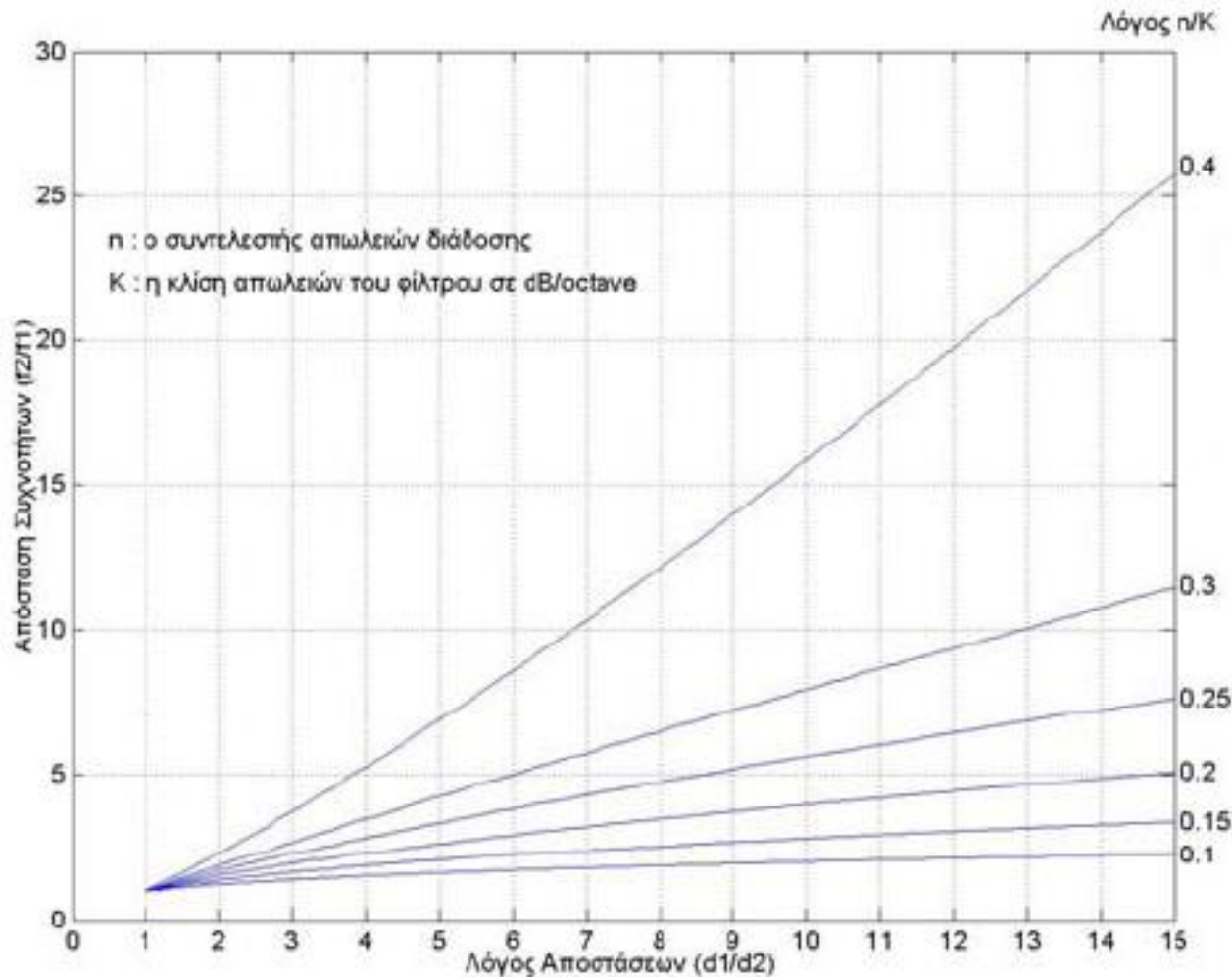
$$\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^n = \left(\frac{f_2}{f_1} \right)^{K/3}$$

- Άρα η συχνότητα στην οποία το φίλτρο παρουσιάζει την επιθυμητή εξασθένηση είναι

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

Παρεμβολές Γειτονικών Διαύλων

28



Απόσταση Διαύλων

$$\frac{|f_2 - f_1|}{B}$$

Φασματική Απόδοση Κυψελωτών

29

- Συνήθης Μονάδα : $Erlang/m^2/Hz$, ή $Erlang/Km^2/MHz$
- Θεωρούμε κυψελωτό σύστημα με ομοιόμορφη ανάπτυξη κυψελών
- G_c : η προσφερόμενη κίνηση ανά δίαυλο ($Erlang/Channel$)
- N_u : ο αριθμός διαύλων ανά κυψέλη
- W_{sys} : το συνολικό εύρος ζώνης (Hz ή MHz)
- A : το εμβαδόν ανά κυψέλη (m^2 ή Km^2)
- Άρα :

$$n_s = \frac{N_u G_c}{W_{sys} A} \quad (\text{Erlangs}/m^2/Hz)$$

Φασματική Απόδοση Κυψελωτών

30

- Υποθέτουμε clusters των K κυψελών
- Υποθέτουμε FDMA σύστημα, και άρα ο αριθμός των διαύλων είναι ίσος με τον αριθμό των φερόντων και

$$N_u = N_c = \frac{(W_{sys} - W_G)}{W_c K}$$

- W_c : το εύρος του διαύλου
- W_G : το συχνοτικό διάστημα φύλαξης
- Αντικαθιστούμε στον τύπο της φασματικής απόδοσης

Φασματική Απόδοση Κυψελωτών

31

$$n_s = \frac{(W_{sys} - W_G) G_c}{W_{sys} \cdot W_c \cdot K \cdot A} = G_c \frac{(W_{sys} - W_G)}{W_{sys} \cdot W_c} \frac{1}{K \cdot A}$$
$$= n_T \cdot n_B \cdot n_C$$

- n_T η απόδοση διαύλου
- n_B η απόδοση εύρους ζώνης
- n_C η χωρική απόδοση
- Απαιτείται μεγιστοποίηση όλων των όρων

Φασματική Απόδοση Κυψελωτών

32

- Μεγάλη απόδοση στο εύρος ζώνης σημαίνει
 - ▣ Χρήση τεχνικών διαμόρφωσης αποδοτικών ως προς το φάσμα
 - ▣ Κωδικοποίηση φωνής χαμηλού ρυθμού μετάδοσης
- Μεγάλη απόδοση διαύλου προκύπτει όταν:
 - ▣ μειωθεί ο αριθμός των κυψελών στο cluster, ώστε να έχω το μικρότερο δυνατό κατακερματισμό των διαύλων σε ομάδες.

Φασματική Απόδοση Κυψελωτών

33

- Μεγάλη χωρική απόδοση σημαίνει:
 - ▣ Μικρό εμβαδόν ανά κυψέλη (μικρή ακτίνα και ισχύ)
 - ▣ Μικρό αριθμό κυψελών (K) στο cluster.
- Όσο μειώνεται το K , τόσο μειώνεται η απόσταση επαναχρησιμοποίησης (D/R) για σταθερό R , μέχρι να ικανοποιηθεί ο λόγος C/I .
- Δηλαδή πρέπει να ελαχιστοποιηθεί κατά το δυνατόν ο απαιτούμενος λόγος C/I .
- Αυτό επιτυγχάνεται με τεχνικές κωδικοποίησης ελέγχου σφαλμάτων, με διαφορισμότητα (**diversity**), με προσαρμοστική εξισορρόπηση (**adaptive equalization**), με τομεοποίηση κυψελών (**cell sectoring**), ή με έλεγχο ισχύος, ή με αποδοτικούς αλγορίθμους μεταπομπής, κλπ.

Φασματική Απόδοση Κυψελωτών

34

- Αν το σύστημα συνδυάζει και TDMA, όπως στο GSM

$$N_u = \frac{1}{n} \cdot N_c \cdot (N_{ts} - N_{con})$$

- n : ο απαιτούμενος αριθμός χρονοσχισμών ανά πλαίσιο για δεδομένη υπηρεσία π.χ. $n=1$ για full rate 13Kbps και $n=0.5$ για half rate κωδικοποίηση
- N_c όπως πριν
- N_{ts} : ο αριθμός των χρονοσχισμών στο πλαίσιο (διάυλοι ανά φέρον)
- N_{con} : ο αριθμός χρονοσχισμών για σηματοδοσία ελέγχου.

Φασματική Απόδοση Κυψελωτών

35

- Ένα άλλο χρησιμοποιούμενο μέγεθος είναι και η χωρητικότητα πληροφορίας (**information capacity**) σε *kbps/cell/MHz*

$$IC = \frac{N_u R_b}{W_{sys}} \quad (\text{kbps} / \text{cell} / \text{MHz})$$

- όπου N_u ο αριθμός των διαύλων για χρήση ανά κυψέλη και
- R_b ο ρυθμός μετάδοσης ανά δίαυλο

Βελτίωση της Χωρητικότητας

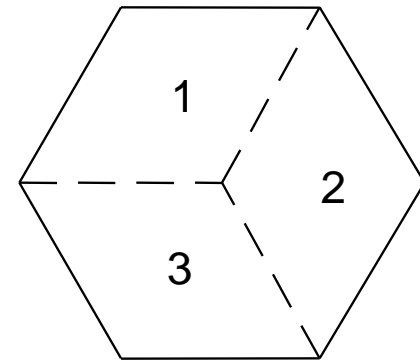
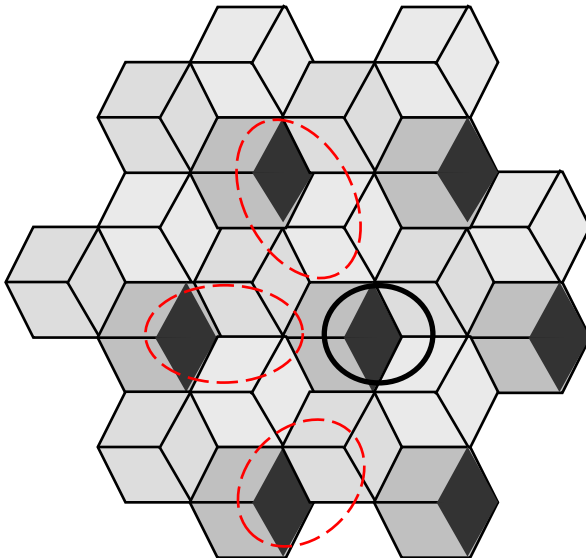
36

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

Τομεοποίηση Κυψελών (*Cell Sectoring*)

37

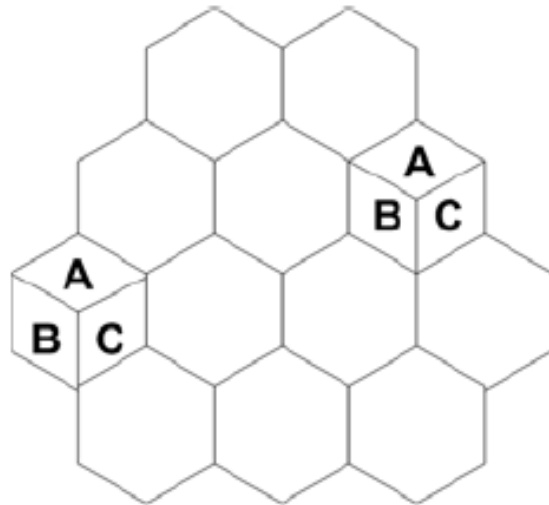
- Είναι ένας τρόπος μείωσης της **παρεμβολής** από ομοιοκαναλικές κυψέλες. Η τομεοποίηση αναφέρεται στην χρήση κατευθυντικών κεραιών αντί ιστροπικών.
- Τρεις (3) τομείς των 120° φαίνονται στο παράδειγμα:



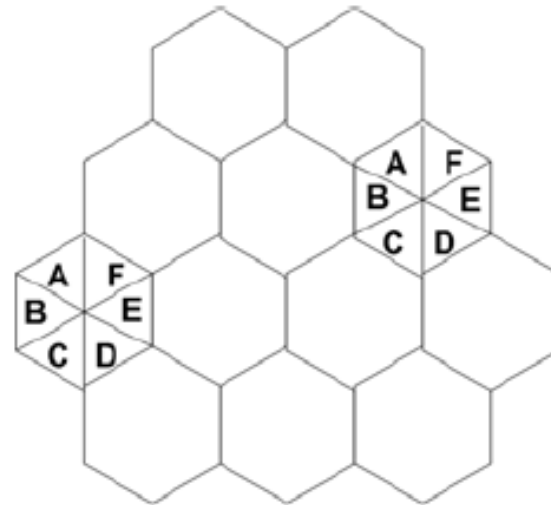
Τομεοποίηση Κυψελών (*Cell Sectoring*)

38

- Η τομεοποίηση είναι η πλέον κοινή τεχνική για την μείωση των ομοδιαυλικών παρεμβολών.
- Κάθε κυψέλη χωρίζεται σε τομείς με τη χρήση κατευθυντικών κεραιών (60° ή 120°).



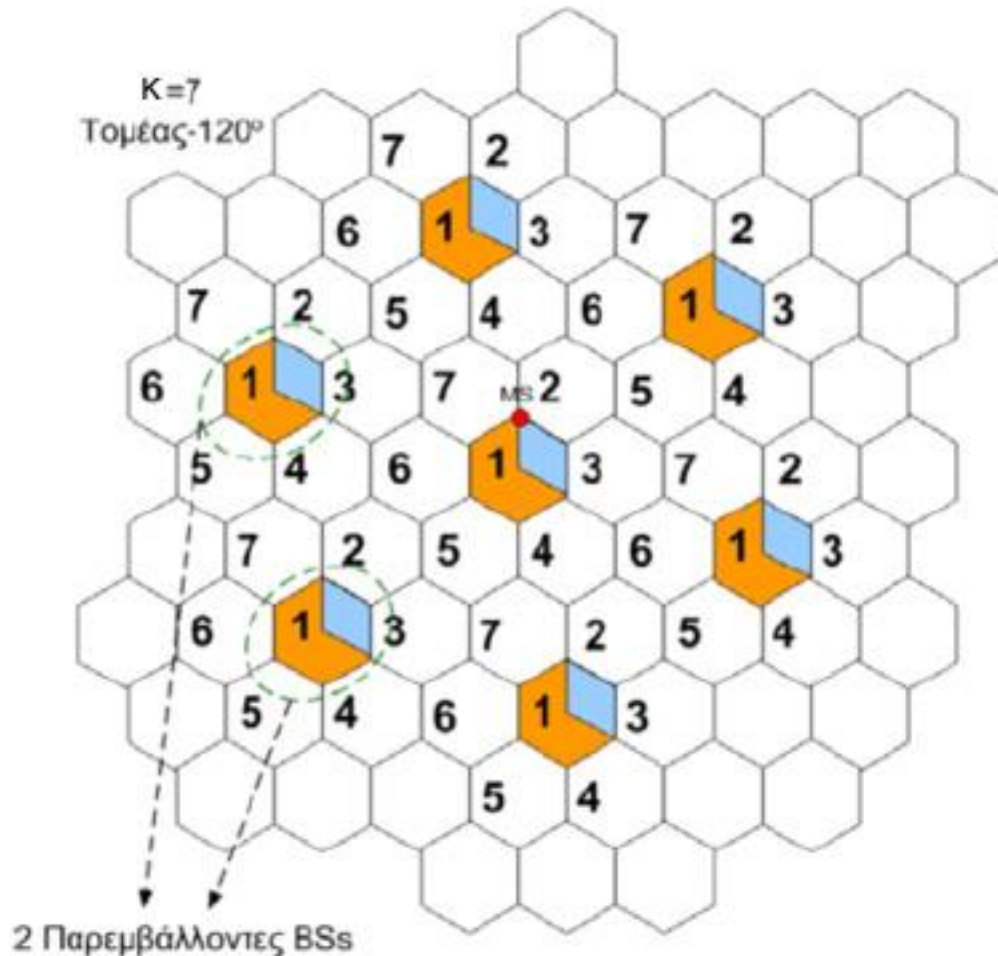
Τομεοποίηση 120°



Τομεοποίηση 60°

Τομεοποίηση Κυψελών (Cell Sectoring)

39

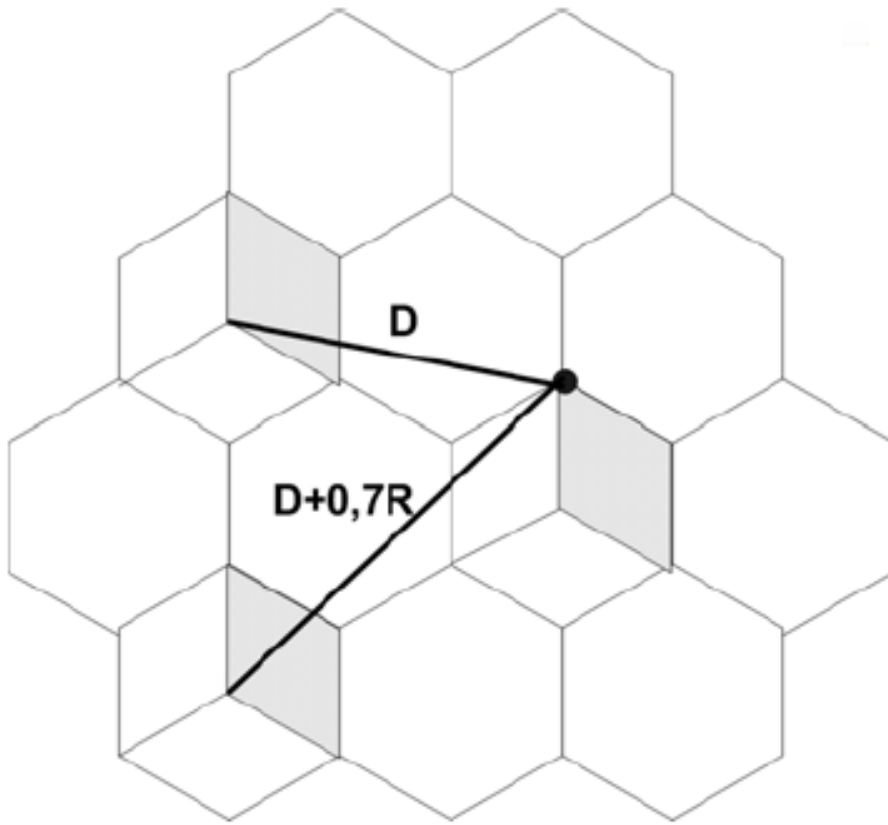


- Οι συχνότητες χωρίζονται σε ομάδες ανά τομέα.
- Στην περίπτωση $K=7$ και τομείς 120° οι παρεμβάλλοντες ΣΒ είναι 2.

Τομεοποίηση Κυψελών (Cell Sectoring)

40

- Για $K=7$ και 120° τομείς, ο λόγος C/I γράφεται

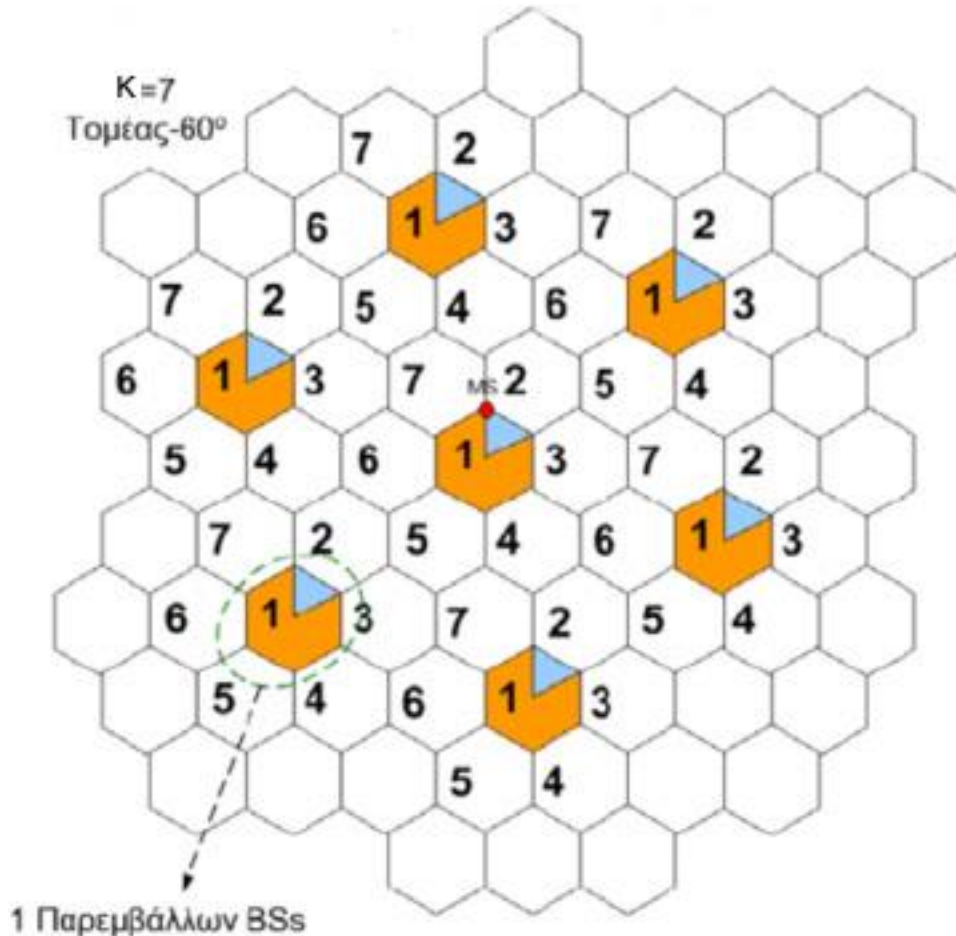


$$\begin{aligned}\frac{C}{I} &= \frac{R^{-n}}{D^{-n} + (D + 0.7R)^{-n}} \\ &= \frac{1}{\left(\frac{D}{R}\right)^{-n} + \left(\frac{D}{R} + 0.7\right)^{-n}}\end{aligned}$$

Τομεοποίηση Κυψελών (Cell Sectoring)

41

- Για $K=7$ και 60° τομείς, ο λόγος C/I γράφεται



Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών

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

$$= \frac{1}{\left(\frac{D}{R} + 0.7\right)^{-n}}$$

Τομεοποίηση Κυψελών (*Cell Sectoring*)

42

- Αν συγκρίνουμε τις δύο περιπτώσεις (120° και 60°) με την ομοιοκατευθυντική κεραία, ως προς τον επιτυγχανόμενο C/I , προκύπτει ότι
 - ▣ Για $n=4$, χωρίς τομείς και $K=7$, δηλ. $D/R=4.58$, $C/I=53.23$ ή $17.3dB$.
 - ▣ Για $n=4$, τομείς 120° και $K=7$, δηλ. $D/R=4.58$, $C/I=280.95$ ή $24.5dB$. Άρα κέρδος $7.2dB$.
 - ▣ Για $n=4$, τομείς 60° και $K=7$, δηλ. $D/R=4.58$, $C/I=777.20$ ή $28.9dB$. Άρα κέρδος $11.6dB$.

Τομεοποίηση Κυψελών (*Cell Sectoring*)

43

- Μειονεκτήματα τομεοποίησης
 - ▣ Αυξανόμενος αριθμός κεραιών στο ΣΒ
 - ▣ Αυξανόμενος αριθμός μεταπομπών
 - ▣ Μειωμένος βαθμός χρησιμοποίησης των διαύλων (αποδοτικότητα διαύλων σε Erlangs/channel)
- Συνήθως συμβολίζουμε τα συστήματα ως εξής : $K=A/B$, όπου K ο παράγοντας επαναχρησιμοποίησης, A ο αριθμός των ΣΒ στο cluster και B ο αριθμός των ομάδων συχνοτήτων στο cluster.
- Βέβαια (B/A) είναι ο αριθμός των κυψελών στο ΣΒ (ή τομείς, sectors).
- Άρα μπορεί να έχουμε συστήματα $K=3/3, 3/9, 3/18, 4/12, 7/7, 7/21$, κλπ.

Απόδοση καναλιών στο cluster

45

- Δε χρησιμοποιώ διπλανά ή ίδια κανάλια σε διπλανές κυψέλες.
- Παράδειγμα: Σε σύστημα GSM 4/12 (δηλ. 4 BS και 12 κυψέλες στο cluster) υπολογίστε τα κανάλια στο cluster (cell pattern) για 36 κανάλια.

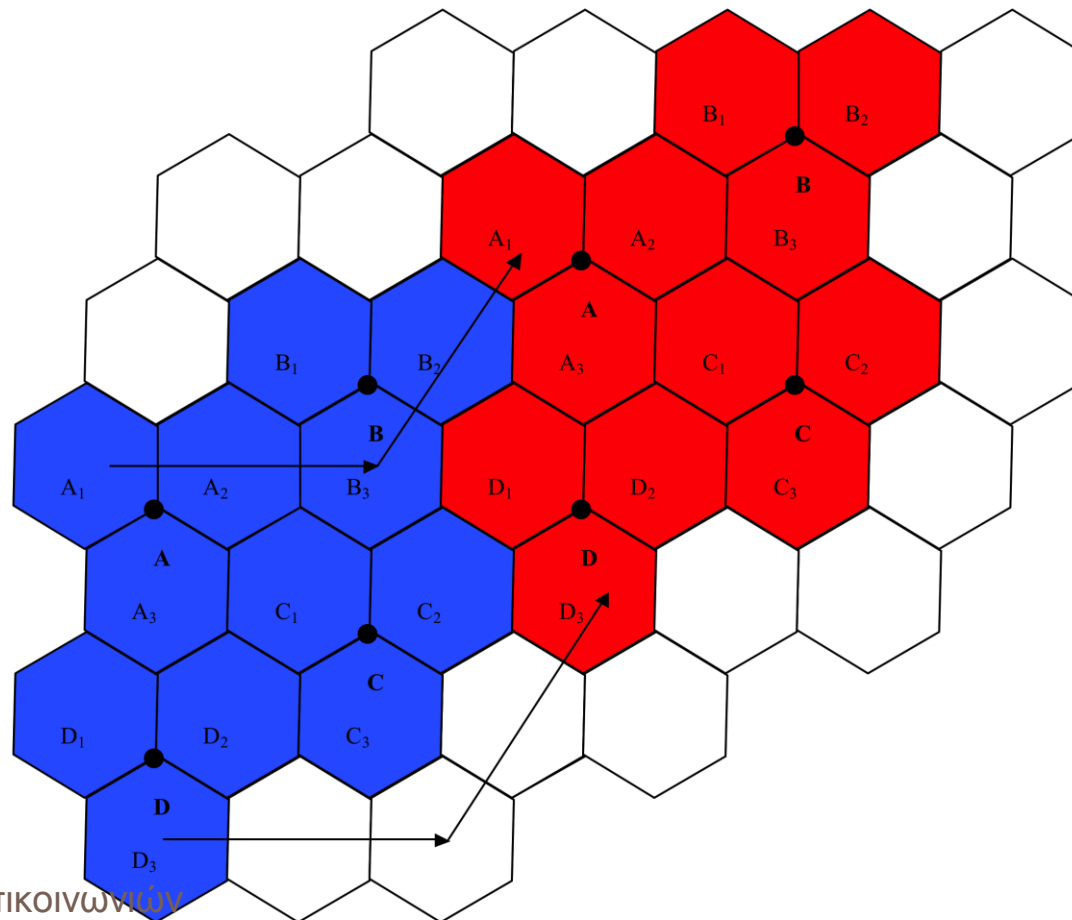
#Ομάδας	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3	D3
Συχνότητες	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Κανάλια	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	Cell-1 Sect-1	Cell-2 Sect-1	Cell-3 Sect-1	Cell-4 Sect-1	Cell-1 Sect-2	Cell-2 Sect-2	Cell-3 Sect-2	Cell-4 Sect-2	Cell-1 Sect-3	Cell-2 Sect-3	Cell-3 Sect-3	Cell-4 Sect-3

L

Επιλογή καναλιών στο cluster

46

- Για $K=12$ ισχύει $i=2, j=2$. $N = i^2 + ij + j^2$



Μικροζώνες

47

- Με την τομεοποίηση, κάθε τομέας είναι απλά μία νέα κυψέλη. Χρειάζεται μεταπομπή μεταξύ τομέων.
- Οι κατευθυντικές κεραίες των BS τοποθετούνται συνήθως στις παρυφές των κυψελών.
- Και οι τρεις κεραίες των τομέων λαμβάνουν τα σήματα που εκπέμπει ένα κινητό.
- Ο BS χρησιμοποιεί την κεραία με την καλύτερη λήψη για να εκπέμψει το σήμα.
- Η χρήση κατευθυντικών κεραιών για την εκπομπή μειώνει την παρεμβολή στις άλλες κυψέλες.

Παράδειγμα

48

$H = 2 \text{ min}$, $GoS = 1\%$, $K = 7$, $C = 395$ κανάλια/ομάδα, $395/7 = 57$ κανάλια/κυψέλη.

Μπλοκάρισμα κλήσεων κατά το μοντέλο Erlang-B.

- Για ένα σύστημα χωρίς τομεοποίηση με $GoS = 0.01$ και 57 κανάλια
Από τον χάρτη Erlang-B, βγαίνει A περίπου 45 Erlangs
 $A = \lambda H$ ή $\lambda = A / H$
 $\lambda = 45 \text{ calls} / 2 \text{ min} = 45 \times 30 \text{ calls/hr} = 1350 \text{ calls/hr}$.
- Με τομεοποίηση 120° , $57/3 = 19$ κανάλια ανά τομέα.
Από τον χάρτη Erlang-B με $GoS = 0.01$ και 19 κανάλια έχουμε
 A περίπου 11 Erlangs, και για τους 3 τομείς, 33 Erlangs ανά κυψέλη.
 $\lambda = 33 \text{ calls} / 2 \text{ min} = 33 \times 30 \text{ calls/hr} = 990 \text{ calls/hr}$.

Έτσι επιτυγχάνουμε βελτίωση του $SIR = C/I$ αλλά εις βάρος της απόδοσης της συγκανάλωσης ή συγκέντρωσης (trunking).

[Συγκανάλωση είναι μια μέθοδος παροχής πρόσβασης σε χρήστες, μετά από αίτησή τους, από μια δεξαμενή διαθέσιμων καναλιών (που είναι όμως πολύ λιγότερα από τους πιθανούς χρήστες)]

Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)

49

- Προκειμένου να αυξήσουμε τη χωρητικότητα ενός συστήματος προβαίνουμε στη διάσπαση των κυψελών.
- Χωρίζουμε την αρχική κυψέλη σε μικρότερες, εισάγοντας νέους ΣΒ σε προκαθορισμένες θέσεις της αρχικής κυψέλης.
- Η ισχύς των νέων κυψελών είναι περιορισμένη ώστε να προκύψουν μικρότερες σε ακτίνα κυψέλες και να αυξηθεί η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων.
- Με τη διάσπαση απαιτούνται και άλλα clusters για να καλύψουν την ίδια γεωγραφική περιοχή και άρα αυξάνεται ο διαθέσιμος αριθμός διαύλων.

Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)

50

- Διαίρεση κυψελών (*cell splitting*) είναι η υποδιαίρεση της κυψέλης σε μικρότερα κυψέλες. Αυτό αυξάνει τον αριθμό των φορών που επαναχρησιμοποιούνται τα κανάλια. Για παράδειγμα, μείωση της ακτίνας στο $\frac{1}{2}$ αυξάνει τον αριθμό των κυψελών 4 φορές (υποδιαίρεση σε 4 κυψέλες).



Διάσπαση Κυψελών (Cell Splitting)

51

- Για να μην διαταραχθεί η ισορροπία του συστήματος και για να διατηρηθεί η τιμή του λόγου σήματος προς παρεμβολή C/I, πρέπει να ελαττωθεί η ισχύς εκπομπής.
- Ισχύς λήψεως [στο σύνορο της παλαιάς κυψέλης] $\sim P_{t1}R^{-n}$
- Ισχύς λήψεως [στο σύνορο της νέας κυψέλης] $\sim P_{t2}(R/2)^{-n}$
- Η ισχύς λήψεως πρέπει να είναι ίση για να έχουμε τις ίδιες επιδόσεις

$$P_{t2} = P_{t1} / 2^n$$

Π.χ. για $n=4$, $P_{t2} = P_{t1} / 16$.

Διάσπαση Κυψελών (Cell Splitting)

52

- Η λαμβανόμενη ισχύς στα όρια της αρχικής κυψέλης είναι ανάλογη της εκπεμπόμενης ισχύος

$$\Omega(R_o) = AP_o R_o^{-n}$$

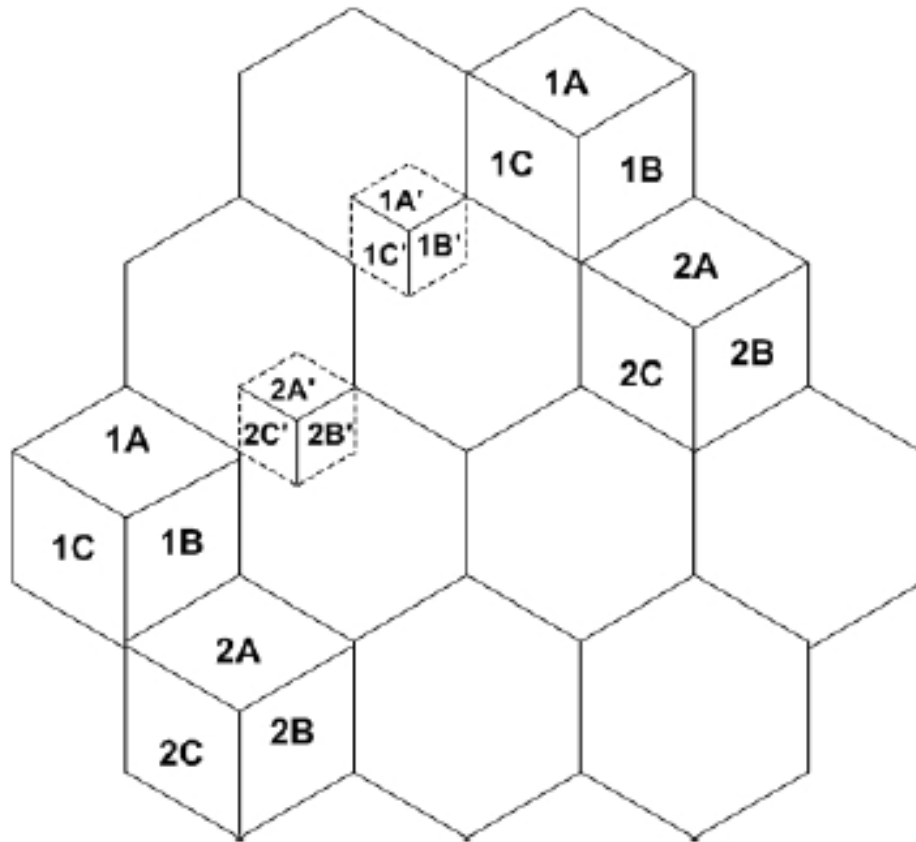
- Ενώ στα όρια της νέας κυψέλης $\Omega(R_s) = AP_s R_s^{-n}$
- Αν π.χ. $n=3.5$ και θέλουμε $R_s=R_o/2$, τότε για να διατηρήσουμε τη λαμβανόμενη ισχύ σταθερή πρέπει να μειώσω την εκπεμπόμενη ισχύ κατά $10.5dB$

$$P_s = P_o \left(\frac{R_s}{R_o} \right)^n = \frac{P_o}{\sqrt{128}}$$

- Είναι προφανές ότι αν δεν διασπασθούν όλες οι κυψέλες υπάρχει πρόβλημα προσδιορισμού της ισχύος εκπομπής και της απόδοσης συχνοτήτων.

Διάσπαση Κυψελών (Cell Splitting)

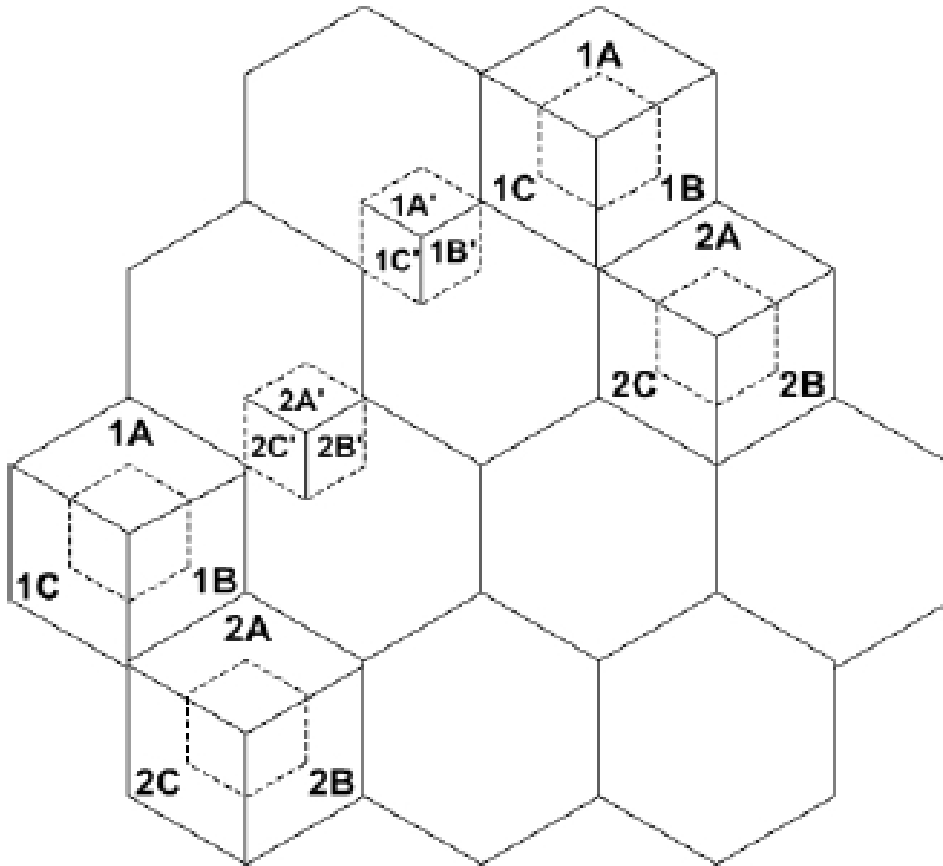
53



- Η λύση στο πρόβλημα είναι η διαίρεση των συχνοτήτων σε δύο ομάδες. Μια αποδίδεται στις μικρές κυψέλες και μια στις μεγάλες (αρχικές). Μειώνεται βέβαια η αποδοτικότητα των διαύλων.

Διάσπαση Κυψελών (Cell Splitting)

54



- Μια πιο αποδοτική λύση είναι η υπέρθεση νέων κυψελών πάνω στις αρχικές, οι οποίες εξυπηρετούνται από τους ίδιους ΣΒ. Οι διάυλοι πάλι διαιρούνται σε δύο ομάδες.

Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)

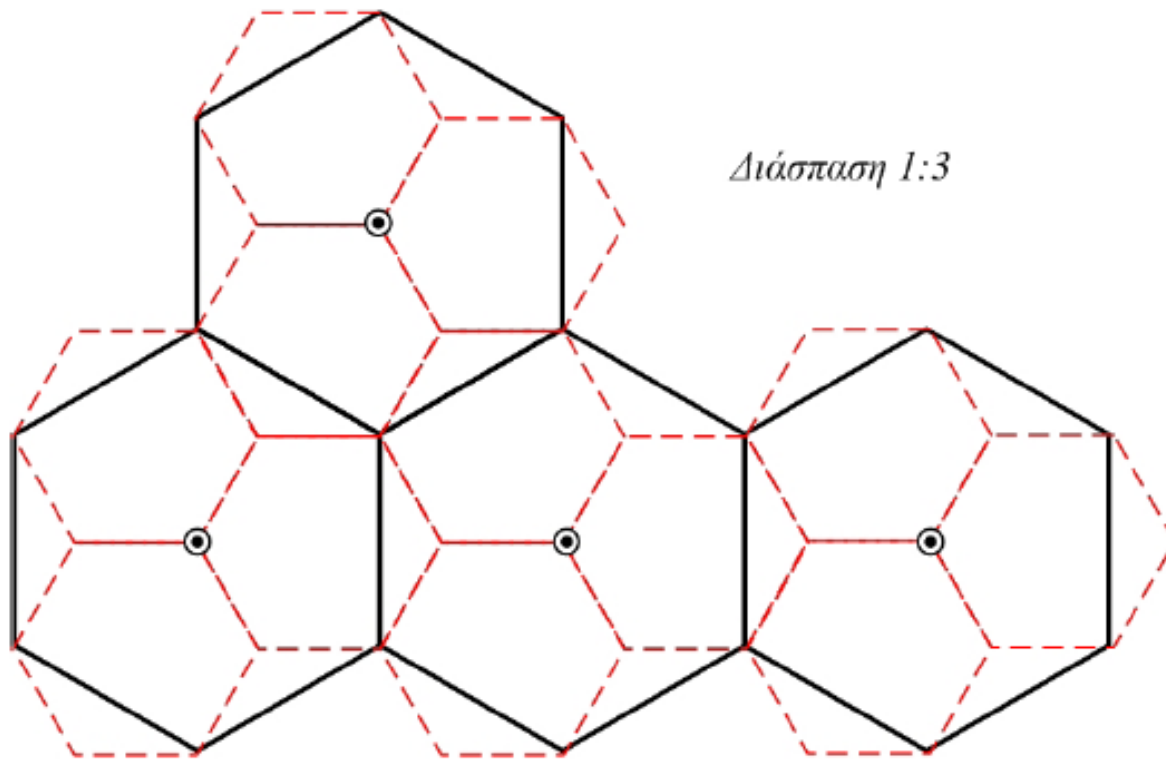
55

- Στην πράξη ο σχεδιαστής επιθυμεί αρχικά να χρησιμοποιήσει μεγάλη ακτίνα κυψελών.
- Όταν παραστεί ανάγκη να αυξηθεί η χωρητικότητα, θα ακολουθεί συνήθως δύο στάδια
 - Πρώτα τομεοποίηση (διατήρηση ΣΒ και χρήση κατευθυντικών κεραιών για τροφοδοσία των κυψελών από τα άκρα)
 - Στη συνέχεια διάσπαση (1:3 ή 1:4) με εισαγωγή νέων ΣΒ και μείωση της ισχύος.
- **Προσοχή** : Στην τομεοποίηση αλλάζουμε το σχήμα επαναχρησιμοποίησης π.χ. από 3/3 σε 3/9, ενώ στη διάσπαση παραμένει το ίδιο μετά την τομεοποίηση.

Διάσπαση Κυψελών (*Cell Splitting*)

56

- Πρώτη Φάση : Τομεοποίηση (120°)

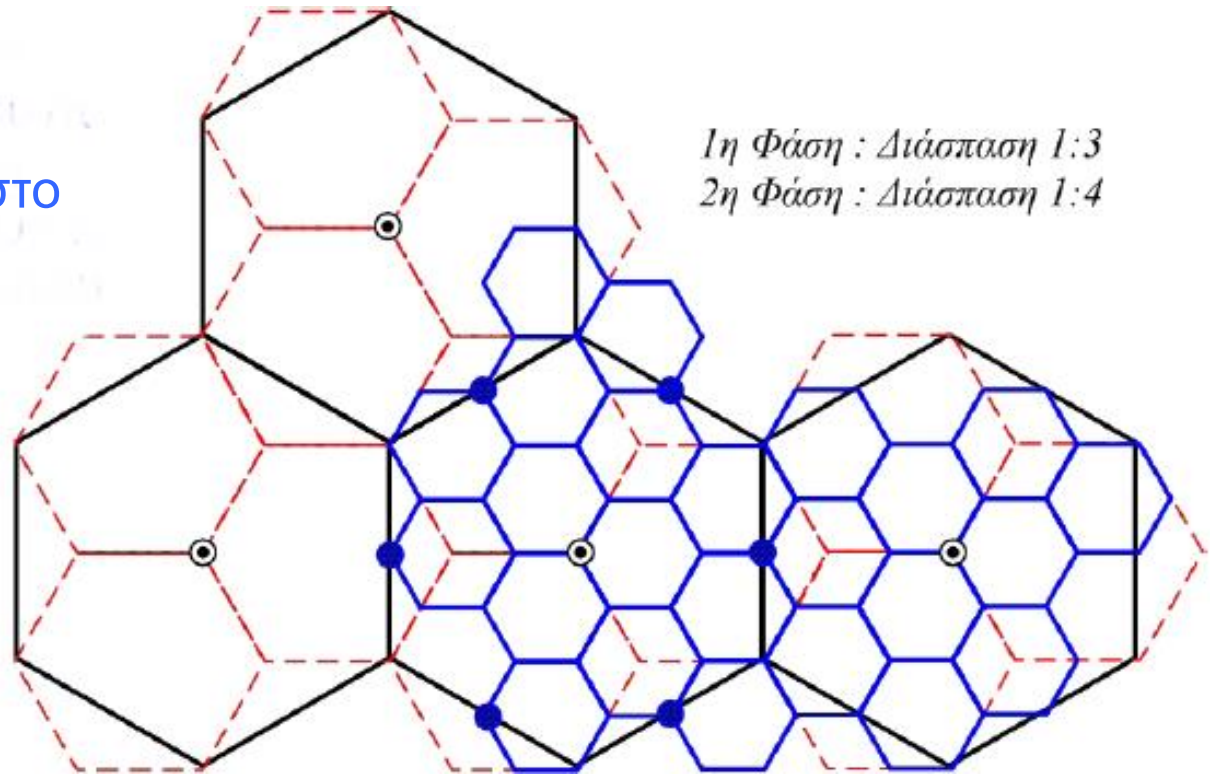


Διάσπαση Κυψελών (Cell Splitting)

57

- Δεύτερη Φάση : Διάσπαση 1:4

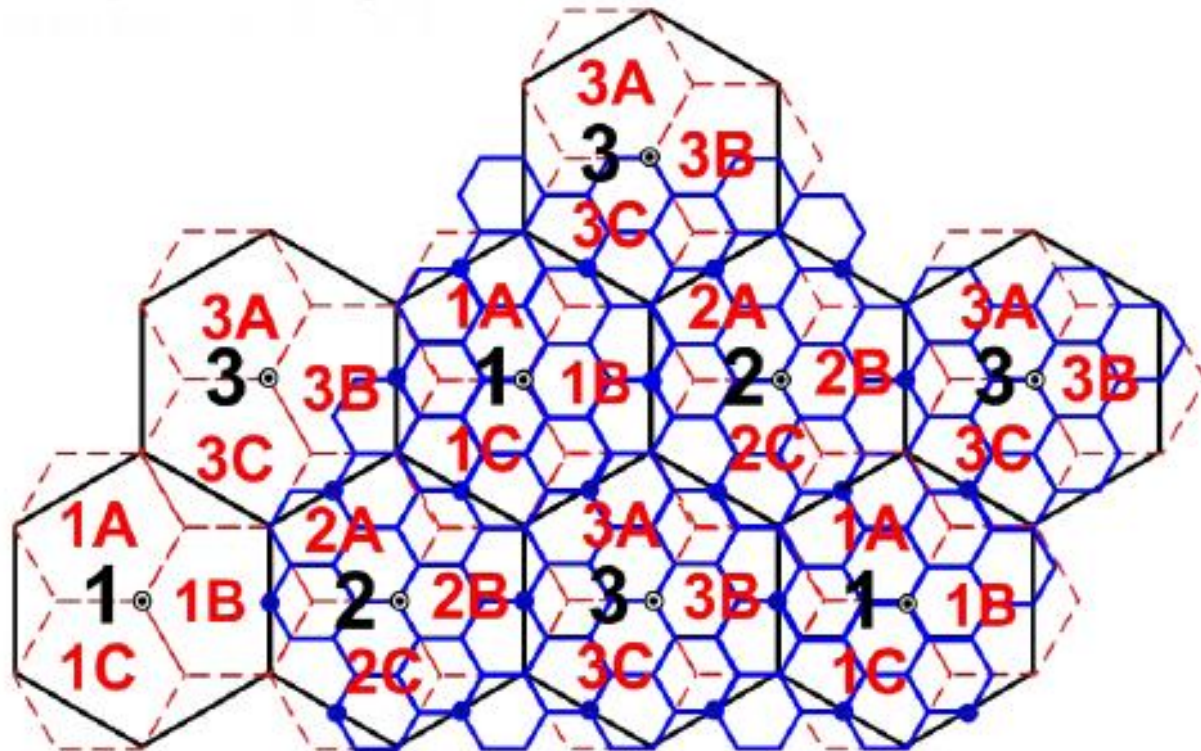
Οι νέοι ΣΒ
τοποθετούνται στο
μέσον κάθε
πλευράς του
εξαγώνου



Διάσπαση Κυψελών (Cell Splitting)

58

- Απόδοση διαύλων στην 1η Φάση : από $K=3$ περνάμε σε $K=3/9$

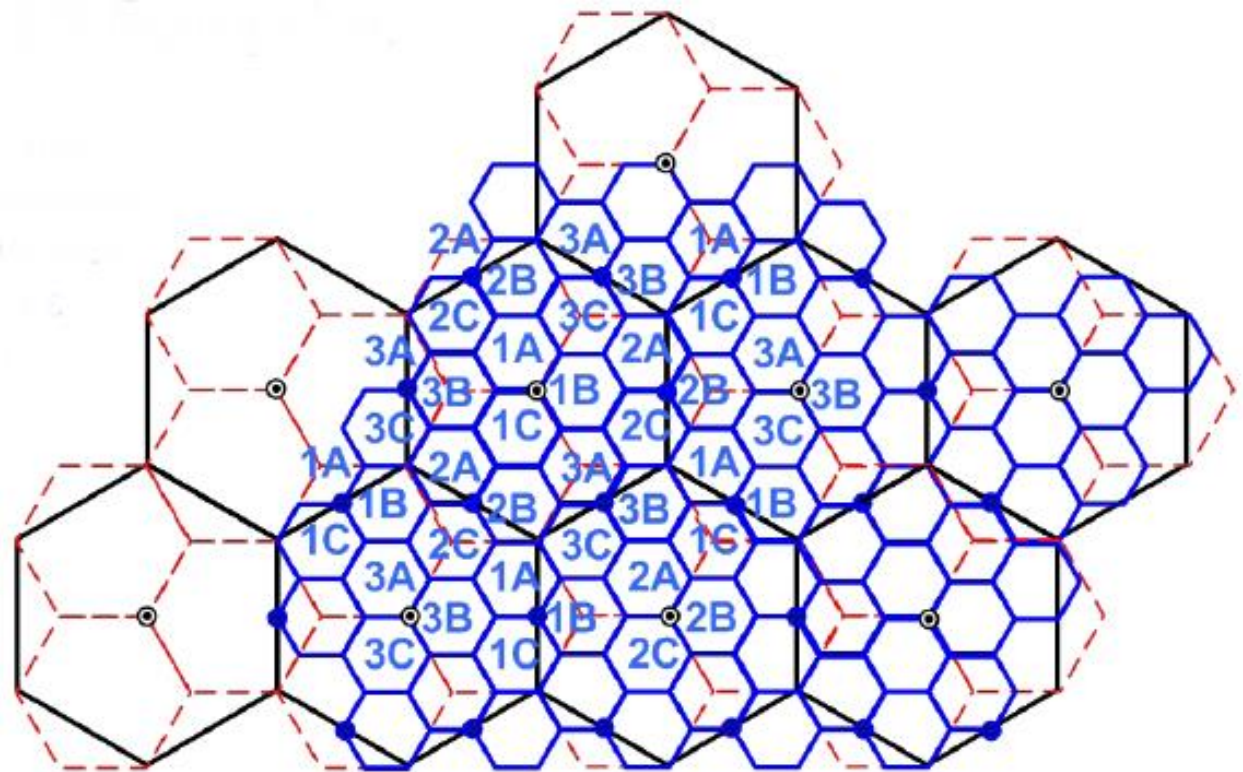


Διάσπαση Κυψελών (Cell Splitting)

59

- Απόδοση διαύλων στην 2η Φάση : το σχήμα $K=3/9$ διατηρείται

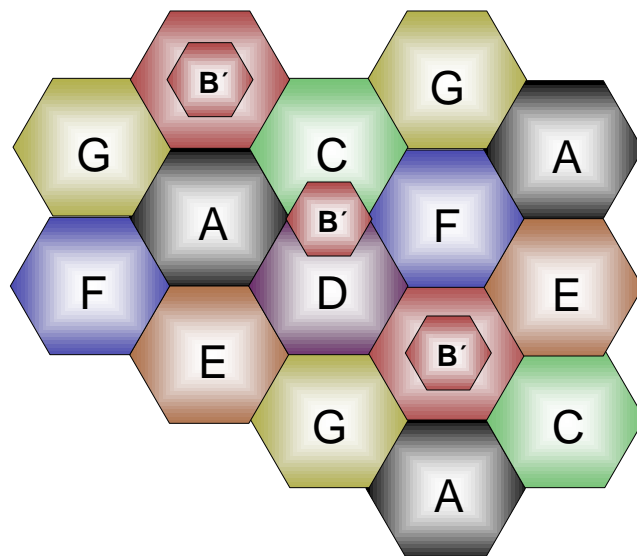
Η θέση των
ομοδιαυλικών
υπολογίζεται
εύκολα με $i=3, j=0$



Επικάλυψη Κυψελών (*Cell Overlay*)

60

- Ξεχωρίζουμε από ένα σύνολο καναλιών, π.χ. το B ένα υποσύνολο το B' .
- Τα κανάλια του B' τα διαθέτουμε σε μία κυψέλη B μονάχα σε απόσταση $R/2$ από το σταθμό βάσης.



Ενδοδιαμόρφωση

61

- 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 IM να μην πέφτουν μέσα στη ζώνη λήψης