



# Κινητές επικοινωνίες

Κεφάλαιο 2

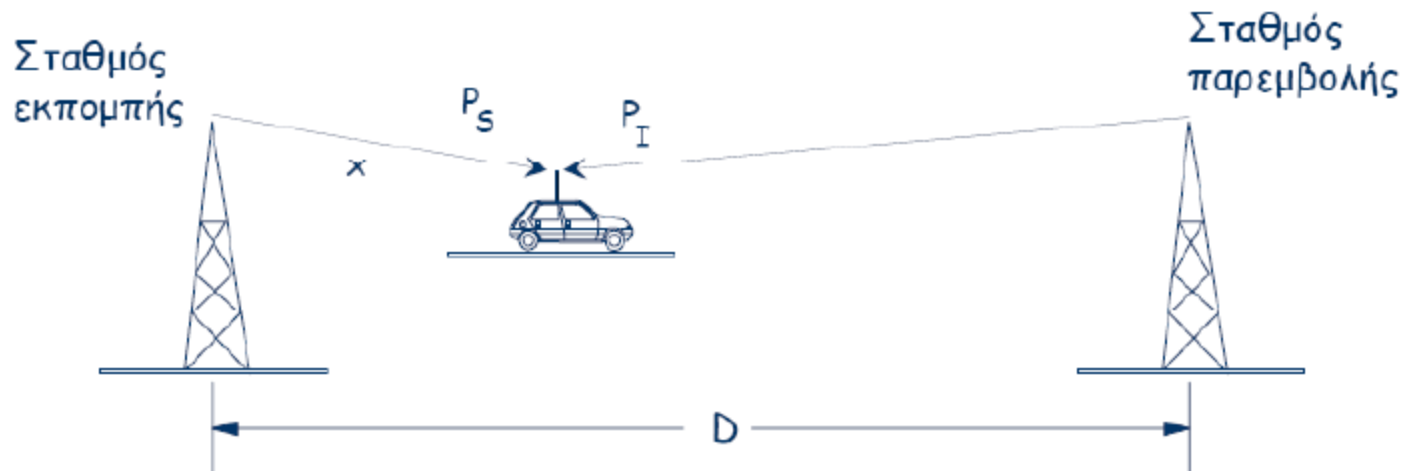
Ενδοκαναλικές παρεμβολές

# Γενικά

Σχεδιαστική  
παράμετρος

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

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



# Μέτρηση ισχύος

Για λόγους ευκολίας, λογαριθμίζουμε την ισχύ και έχουμε τις ακόλουθες μονάδες μέτρησης:

$$P(dB) = 10 \log P(Watt)$$

$$P(dBm) = 10 \log P(mWatt)$$

Κατά συνέπεια:

$$\frac{S}{I}(dB) = S(dB) - I(dB), \quad \frac{S}{I}(dBm) = S(dBm) - I(dBm)$$

# [ Παράδειγμα 1 ]

- Ποιος είναι ο ισοδύναμος λόγος ισχύος των 18dB σε dBm?

Αρχικά βρίσκουμε πόση ισχύς αντιστοιχεί σε 18 dB

$$10 \log\left(\frac{P_t(W)}{1W}\right) \Rightarrow P_t = 10^{1,8} = 63.096W$$

Άρα: 
$$10 \log\left(\frac{63096 * 1000}{1mW}\right) = 48 dBm$$

**Ισχύει γενικότερα: P(dBm)=P(dB)+30 (ΓΙΑΤΙ??)**

# [ Παράδειγμα 2 ]

- Εάν ένας δέκτης λαμβάνει ένα λόγο ισχύος σήματος προς θόρυβο ίσο με 3.45dBm και η ισχύς του θορύβου είναι 200mW, ποια είναι η ισχύς του σήματος?

$$\left(\frac{S}{N}\right)dBm = 10 \log\left(\frac{P_s}{P_n}\right) = 10 \log\left(\frac{P_s}{200}\right) \Rightarrow P_s = 442,62mWatt$$

# Λόγος σήματος-προς-παρεμβολή

- Λόγος σήματος προς παρεμβολή (Signal to Interference Ratio):

$$C/I = \frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} I_i}$$

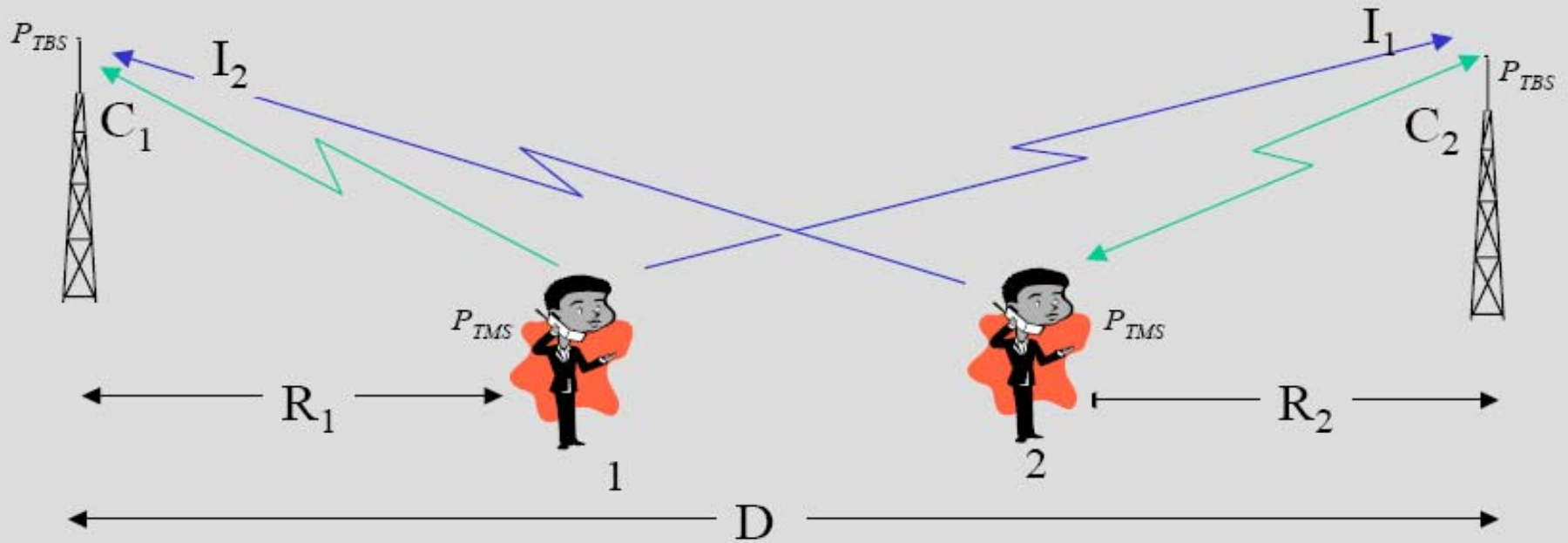
- Λόγος σήματος προς θόρυβο και παρεμβολή

$$\text{SINR} = \frac{S}{I + N} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{i_0} I_i + N}$$

Όπου  $i_0$ : το πλήθος των κυψελών που συμβάλλουν στην ενδοκαναλική παρεμβολή

Θόρυβος (προσοχή! Μην συγχέεται με το μέγεθος συστάδας)

# ΕΝΔΟΚΑΝΑΛΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ



$$\frac{C_1}{N + I_2} = \frac{P_T \cdot R_1^{-\gamma}}{N_0 \cdot Bw + P_T \cdot (D - R_2)^{-\gamma}}$$

$$\frac{C_2}{N + I_1} = \frac{P_T \cdot R_2^{-\gamma}}{N_0 \cdot Bw + P_T \cdot (D - R_1)^{-\gamma}}$$

$$\frac{C}{N + I} \cong \frac{C}{\sum_{i=1}^n I_i} = f(D / R, \gamma)$$



# [ Πόση είναι η λαμβανόμενη ισχύς? ]

Η λαμβανόμενη ισχύς σε απόσταση  $r$  από τον Σταθμό Βάσης αποδεικνύεται ότι προσεγγίζεται ικανοποιητικά από την ποσότητα  $r^{-\gamma}$ .

- Για άμεση διάδοση στον ελεύθερο χώρο:  $\gamma=2$
- Όταν έχουμε πολυοδική διάδοση (το σήμα φτάνει στον δέκτη και απευθείας αλλά και μετά από ανακλάσεις):  $\gamma=4$  (τυπική τιμή για τις πόλεις)

Τα παραπάνω ισχύουν θεωρώντας ότι όλοι οι σταθμοί εκπέμπουν με την ίδια ισχύ, οπότε:

$$\frac{C}{I} = \left( \frac{R}{D} \right)^{-\gamma} \quad \text{(Για μία απλή κυψέλη, όπου επηρεάζεται μόνο από μία άλλη σε απόσταση D)}$$



# Λόγος ενδοκαναλικής επαναχρησιμοποίησης

Καθώς μεγαλώνει το μέγεθος της συστάδας  $N$  μειώνεται η επίδραση των ενδοκαναλικών παρεμβολών (επιθυμητό)

Πώς ακριβώς επηρεάζει το  $N$  το μέγεθος των παρεμβολών?

Λόγος ενδοκαναλικής επαναχρησιμοποίησης (co-channel reuse ratio):

$$Q = D/R = \sqrt{3N}$$

Το  $Q$  ονομάζεται και παράγοντας μείωσης της ενδοκαναλικής παρεμβολής. Όταν αυξάνει, μειώνεται η παρεμβολή.

Άρα:

$$\frac{C}{I} = Q^{\gamma}$$

# Στην πράξη?

Έστω  $R$  η απόσταση του κινητού από τον Σταθμό Βάσης και  $D_i$  η απόσταση από τον  $i$ -οστό Σταθμός Βάσης, η παρουσία του οποίου προκαλεί ενδοκαναλικές παρεμβολές.

Τότε

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{\sum_{i=1}^{i_0} (D_i)^{-\gamma}}$$

Απλή περίπτωση: όλοι οι Σταθμοί που συνεισφέρουν στην παρεμβολή απέχουν απόσταση  $D$  (ίση με την απόσταση επαναχρησιμοποίησης συχνότητας που έχει υπολογιστεί νωρίτερα).

Τότε

$$\frac{C}{I} = \frac{\left(\frac{D}{R}\right)^{\gamma}}{i_0} = \frac{(\sqrt{3} N)^{\gamma}}{i_0}$$

# Παράδειγμα για N=7

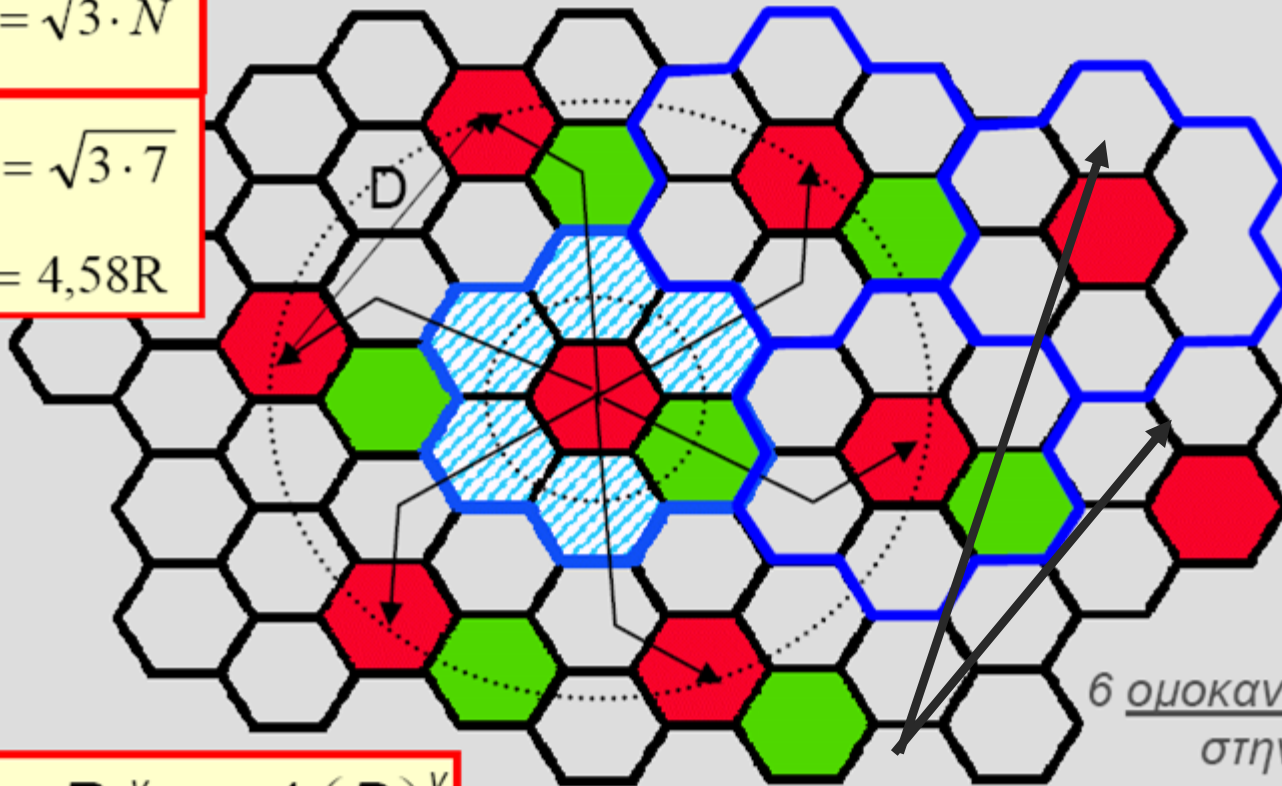
$$\frac{D}{R} = \sqrt{3 \cdot N}$$

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3 \cdot 7}$$

$$D = 4,58R$$

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

i	j	N
0	1	1
1	1	3
0	2	4
1	2	7
0	3	9
2	2	12

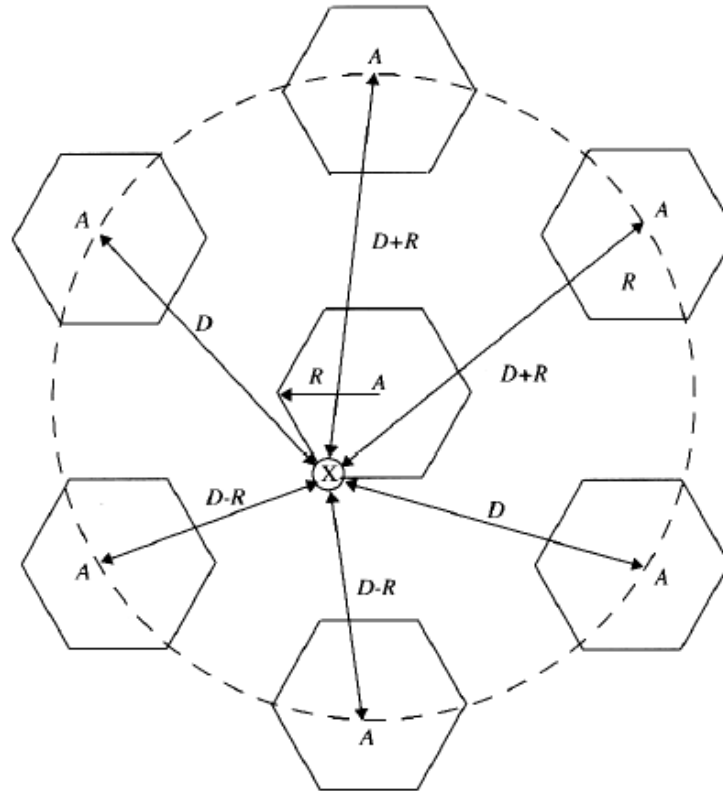


6 ομοκαναλικές κυψέλες  
στην 1η ζώνη

$$\frac{C}{I_c} \approx \frac{R^{-\gamma}}{\sum_{k=1}^6 \frac{1}{D^{-\gamma}}} = \frac{1}{6} \left( \frac{D}{R} \right)^{\gamma}$$

Αγνοούμε τις παρεμβολές από 2<sup>η</sup>  
ζώνη και πάνω...

# Μία καλύτερη προσέγγιση



$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{2(D-R)^{-\gamma} + 2(D+R)^{-\gamma} + 2D^{-\gamma}} = \frac{1}{2(Q-1)^{-\gamma} + 2(Q+1)^{-\gamma} + 2Q^{-\gamma}}$$

Πώς επηρεάζεται το S/I από το μέγεθος της συστάδας?

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{2(Q-1)^{-\gamma} + 2(Q+1)^{-\gamma} + 2Q^{-\gamma}}$$

Έστω  $\gamma=4$ .

Για  $N=1$ , έχουμε  $Q = \sqrt{3} = 1.73$  και  $\frac{C}{I} = 0.13695 = -0.863dB$

Για  $N=7$ , έχουμε  $Q = \sqrt{21} = 4.58$  και  $\frac{C}{I} = 53.24 = 17.26dB$

Άρα, όσο αυξάνει το μέγεθος της συστάδας, τόσο καλύτερη ποιότητα μετάδοσης έχουμε.

Επιθυμητές τιμές για C/I : 16-18 dB

# [ Παράδειγμα ]

Έστω ότι απαιτείται λόγος σήματος προς παρεμβολές ίσος με 15dB.

Ποιος είναι ο μέγιστος συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων  $1/N$ ?

Εξετάστε τις περιπτώσεις  $\gamma=3$  και  $\gamma=4$ .

Υποθέστε την απλή περίπτωση, ότι 6 είναι οι πιο σημαντικοί παρεμβολείς σε απόσταση  $D$  (της 1<sup>ης</sup> ζώνης), και η συνεισφορά των υπολοίπων είναι αμελητέα.

## Λύση για $\gamma=4$

Έστω  $N=7$ .

$$\text{Τότε } Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N} = 4.583$$

$$\frac{C}{I} = \frac{(4.583)^4}{6} = 75.3 = 18.66dB > 15dB$$

Μήπως με μικρότερο  $N$  μπορούμε επίσης να εξασφαλίσουμε 15dB στη λήψη?

Έστω  $N=4$  (δεν ελέγχουμε για  $N=5$  και  $6$  – γιατί??)

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N} = 3.46 \quad \frac{C}{I} = \frac{(3.46)^4}{6} = 23.88 = 13.78dB$$

Άρα,  $1/N=1/7$

## Λύση για $\gamma=3$

- Έστω  $N=7$ . Τότε

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N} = 4.583, \quad \frac{C}{I} = \frac{(4.583)^3}{6} = 16.04 = 12.05dB$$

Ελέγχουμε λοιπόν για μεγαλύτερη τιμή του  $N$ .

- Έστω  $N=9$  (δεν ελέγχουμε για  $N=8$  – γιατί??)

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N} = 5.19, \quad \frac{C}{I} = \frac{(5.19)^3}{6} = 23.38 = 13.68dB$$

- Έστω  $N=12$  (η επόμενη δυνατή τιμή του  $N$ )

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N} = 6, \quad \frac{C}{I} = \frac{6^3}{6} = 36 = 15.56dB > 15dB$$



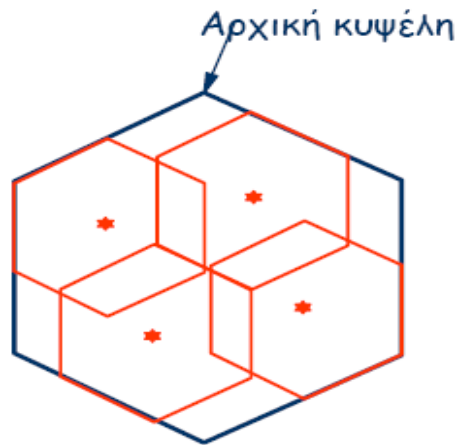
# [ Συγκεντρωτικά συμπεράσματα ]

- Αν η ακτίνα της κυψέλης, και το φάσμα ανά συστάδα είναι σταθερά:
- Περισσότερες κυψέλες/συστάδα σημαίνει:
  - Λιγότερα κανάλια ανά κυψέλη
  - Μικρότερη χωρητικότητα συστήματος
  - Λιγότερη ενδοκαναλική παρεμβολή
- Λιγότερες κυψέλες/συστάδα σημαίνει:
  - Περισσότερα κανάλια ανά κυψέλη
  - Μεγαλύτερη χωρητικότητα συστήματος
  - Μεγαλύτερη ενδοκαναλική παρεμβολή

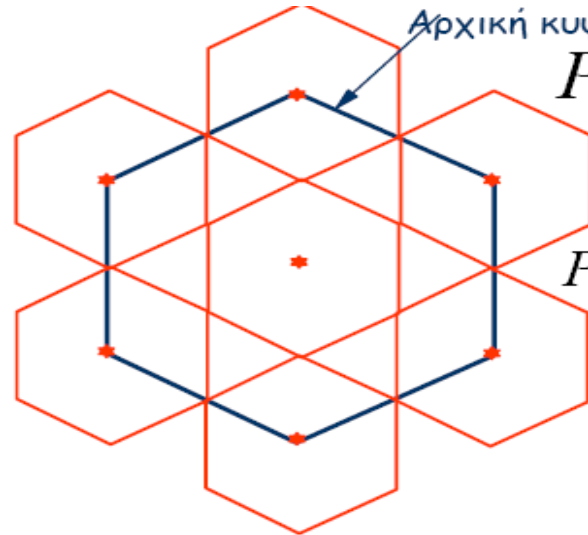
# [ Βελτίωση χωρητικότητας ]

## Διάσπαση κυψελών (Cell splitting)

Με υποδιπλασιασμό της διαμέτρου της κυψέλης, οι νέοι Σταθμοί Βάσης χρειάζεται να εκπέμπουν με ισχύ  $1/16$  της αρχικής



(α)



(β)

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

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

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

Μείωση του  $R$ ,  $D/R$  σταθερό

# [ Βελτίωση χωρητικότητας ]

## Διάσπαση κυψελών

Με υποδιπλασιασμό της διαμέτρου της κυψέλης, τότε το εμβαδό της νέας κυψέλης είναι το  $\frac{1}{4}$  του εμβαδού της αρχικής, αφού το εμβαδό εξαγώνου ακτίνας  $R$  ισούται με  $3\sqrt{3}R^2 / 2$

Άρα, αν κάθε μία από τις νέες κυψέλες έχει τον ίδιο μέγιστο φόρτο κίνησης με την αρχική, τότε θεωρητικά θα είχαμε τετραπλασιασμό της κίνησης ανά μονάδα επιφανείας.

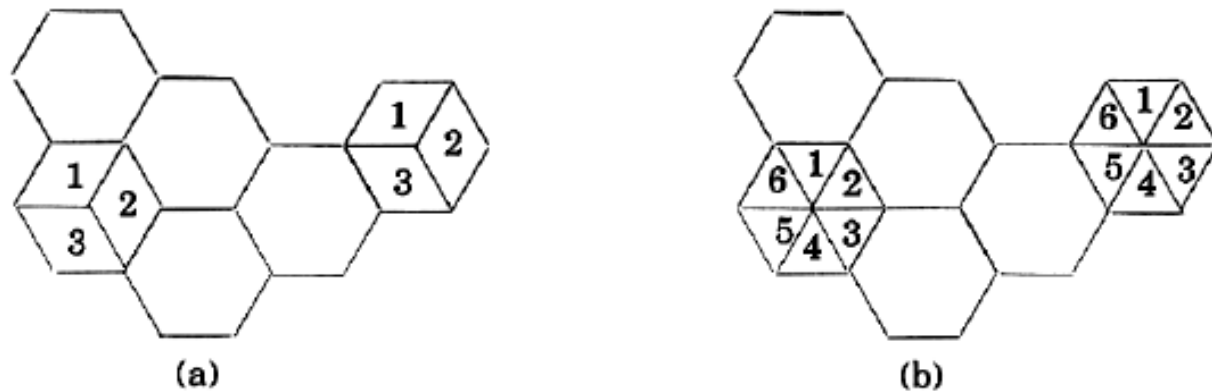
### Γενικότερα:

Αν μειώνουμε την ακτίνα της κυψέλης κατά παράγοντα  $k$ , τότε μειώνουμε την εκπεμπόμενη ισχύ κατά  $k^3$ , ενώ αυξάνουμε κατά  $k^2$  το πλήθος καναλιών ανα  $\text{Km}^2$ .

# Μειονεκτήματα της διάσπασης κυψελών

- Χρειαζόμαστε περισσότερες τοποθεσίες για Σταθμούς Βάσης
- Έχουμε πιο συχνές μεταπομπές (hand-offs)
- Δύσκολο να υλοποιηθεί σταδιακά

# Δημιουργία τομέων (Τομεοποίηση)

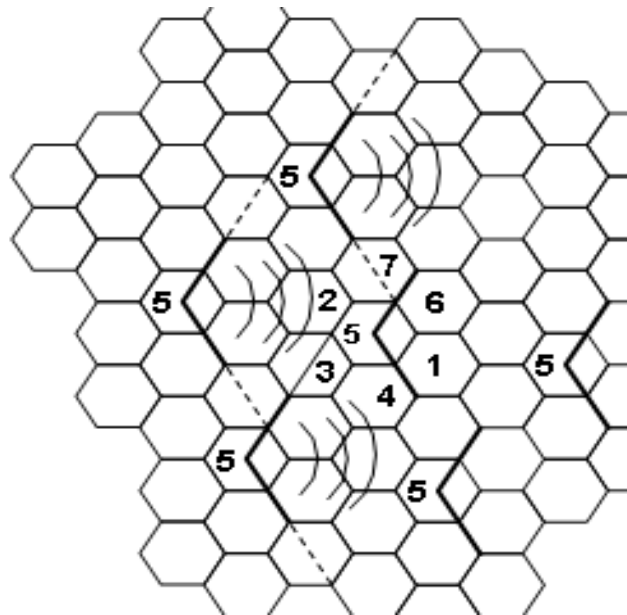


**Figure 3.10** (a)  $120^\circ$  sectoring; (b)  $60^\circ$  sectoring.

- Χρησιμοποιούμε κατευθυντικές κεραίες στο σταθμό βάσης
- Διαχωρίζουμε τα κανάλια σε 3 (για τομείς  $120^\circ$  μοιρών) ή 6 ομάδες (για τομείς  $60^\circ$  μοιρών)

# Κέρδος ως προς τις παρεμβολές

Πλέον, κάθε  
κυψέλη  
επηρεάζεται μόνο  
από δύο κυψέλες  
ως προς τις  
ενδοκαναλικές  
παρεμβολές!!



# [ Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα ]

- Κέρδος: Μειώνονται οι ενδοκαναλικές παρεμβολές
- Μειονεκτήματα:
  - Γίνονται περισσότερες μεταπομπές
  - Αυξάνεται η πολυπλοκότητα του συστήματος

# [ Πηγές ]

- Για τη διαμόρφωση των διαφανειών αυτού του κεφαλαίου, χρησιμοποιήθηκε υλικό (εικόνες, διαγράμματα κτλ.) από διάφορες άλλες διαλέξεις του μαθήματος των Κινητών Επικοινωνιών που είναι διαθέσιμες στο Διαδίκτυο:
  - Σ. Τουμπής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Κύπρου (2007)
  - Γ. Στεφάνου, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Πανεπιστήμιο Αθηνών