



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

# Κινητές και Δορυφορικές Επικοινωνίες

Βασικές Αρχές Κυψελωτών Συστημάτων

Δημοσθένης Βουγιούκας (dnougiou@aegean.gr)

Αναπληρωτής 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



# 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



# Κυψέλες

- ◆ **Μια μεγάλη περιοχή κάλυψης**
  - Απαιτεί έναν πομποδέκτη με υψηλή εκπεμπόμενη ισχύ.
  - Παρέχει χαμηλή ποιότητα υπηρεσίας.
  - Παρουσιάζει μεγάλες καθυστερήσεις στην εγκατάσταση μιας κλήσης.
  - Δεν επαναχρησιμοποιεί πυκνά τις διαθέσιμες συχνότητες και άρα δεν εκμεταλλεύεται αποδοτικά το φάσμα.
  - Δεν καλύπτει τις ανάγκες των χρηστών σε τηλεπικοινωνιακή κίνηση.

# Κυψέλες

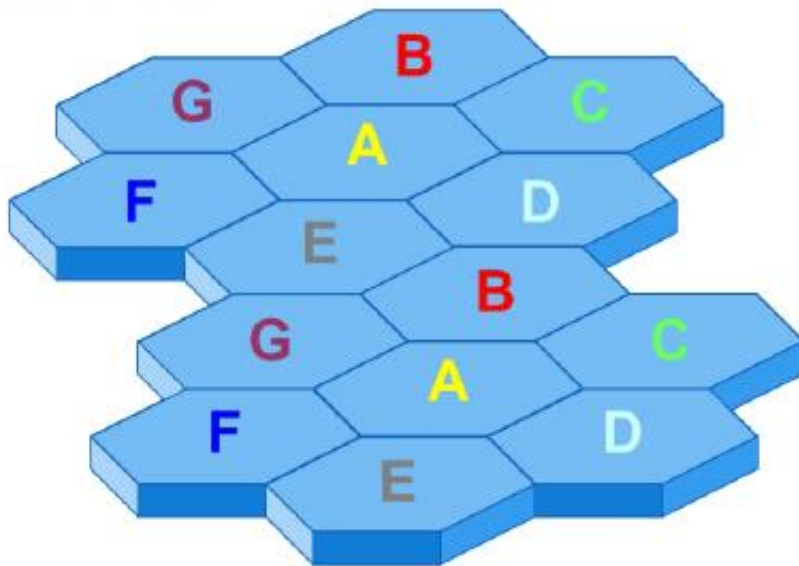
- ◆ Ένα κυψελωτό σύστημα (πρόταση V.H. Mac Donald 1979 ή D.H. Ring το 1947)
  - Χρησιμοποιεί πολλαπλούς πομποδέκτες με χαμηλή εκπεμπόμενη ισχύ.
  - Παρέχει υψηλή ποιότητα υπηρεσίας.
  - Παρουσιάζει μικρές καθυστερήσεις στην εγκατάσταση μιας κλήσης.
  - Επαναχρησιμοποιεί πυκνά (σε μικρή απόσταση) τις διαθέσιμες συχνότητες και άρα εκμεταλλεύεται αποδοτικά το φάσμα.
  - Καλύπτει τις ανάγκες των χρηστών σε τηλεπικοινωνιακή κίνηση.

# Κυψέλες

- ◆ Ο συνολικός αριθμός διαύλων διαιρείται σε ομάδες
- ◆ Κάθε κυψέλη έχει έναν Σταθμό Βάσης (ΣΒ ή BTS) με περιορισμένη ισχύ εκπομπής.
  - Μια ομάδα ραδιοδιαύλων που δεν χρησιμοποιείται σε γειτονικές (που να εφάπτονται) κυψέλες.
  - Κεραίες που επιτυγχάνουν την επιθυμητή κάλυψη στη γεωγραφική περιοχή.
  - Λόγω της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων απαιτείται προσεκτική σχεδίαση των κυψελών ώστε να περιορίζονται οι παρεμβολές.
- ◆ Η διαδικασία σχεδίασης, επιλογής και απόδοσης των διαύλων στις κυψέλες καλείται **frequency planning**.

# Κυψέλες

Επαναχρησιμοποίηση των διαθέσιμων ραδιοδιαύλων στην περιοχή εφαρμογής.



Τα γράμματα αντιστοιχούν σε ομάδες διαφορετικών διαύλων

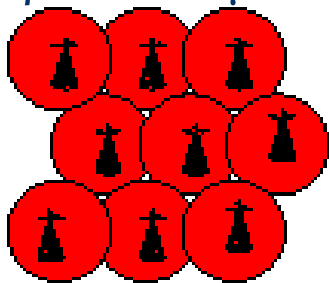
# Κυψέλες

- ◆ Αν και ο κύκλος θα αναπαριστούσε καλύτερα την περιοχή κάλυψης από μια ομοιοκατευθυντική κεραία με απώλειες διάδοσης ελεύθερου χώρου, εντούτοις...
- ◆ Δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε γειτονικούς κύκλους για την κάλυψη μιας περιοχής χωρίς επικαλύψεις ή κενά.
- ◆ Για **πλήρη κάλυψη χωρίς επικαλύψεις** απομένουν: τετράγωνο, ισόπλευρο τρίγωνο, κανονικό εξάγωνο.

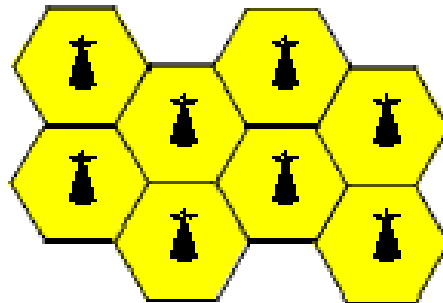


# Κυψέλες

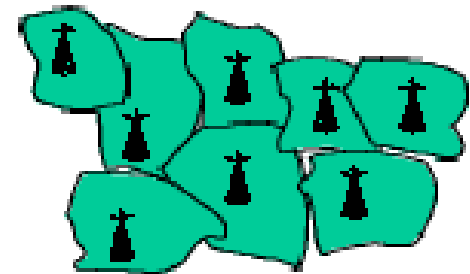
- ◆ Γιατί χρησιμοποιούμε το κανονικό εξάγωνο για αναπαράσταση της κυψέλης?
  - Προσομοιώνει καλύτερα τον κύκλο
  - Προσφέρει το μεγαλύτερο εμβαδόν στα πλέον απομακρυσμένα σημεία της περιμέτρου (αυτά ενδιαφέρουν από άποψη διάδοσης).
  - Συνεπώς καλύπτεται μια δεδομένη γεωγραφική περιοχή με τον ελάχιστο αριθμό σχημάτων (κυψελών).
  - Η πραγματική ραδιοκάλυψη μιας κυψέλης είναι **άμορφη** και προκύπτει μόνο από μετρήσεις ή ακριβή μοντέλα ραδιοκάλυψης.



Ιδεατή κάλυψη



Κυψελοειδές Μοντέλο

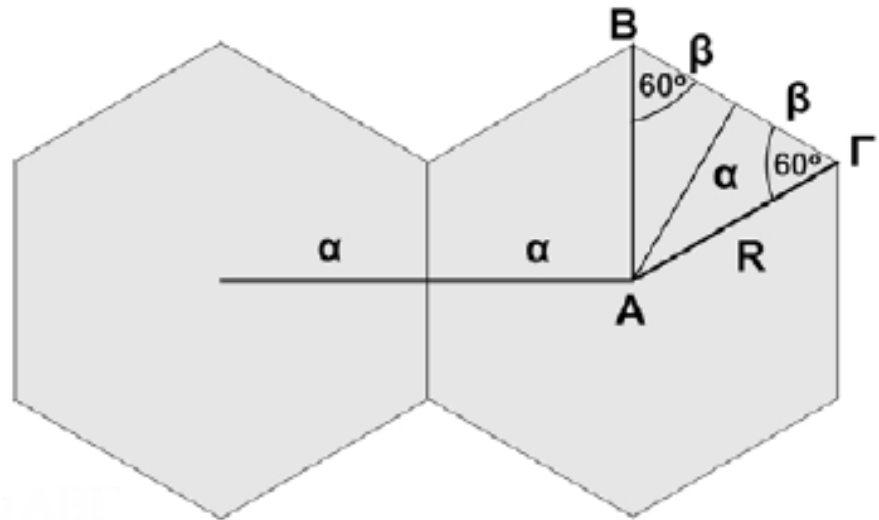


Η Σκληρή

# Κυψέλες

$$\alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} R$$

$$\beta = \frac{R}{2}$$



Εμβαδόν Τριγώνου ΑΒΓ

$$2 \frac{1}{2} \left( \frac{\sqrt{3}}{2} R \right) \left( \frac{R}{2} \right) = \frac{\sqrt{3}}{4} R^2$$

Εμβαδόν Εξαγώνου:

$$6 \frac{\sqrt{3}}{4} R^2 = 3 \frac{\sqrt{3}}{2} R^2$$

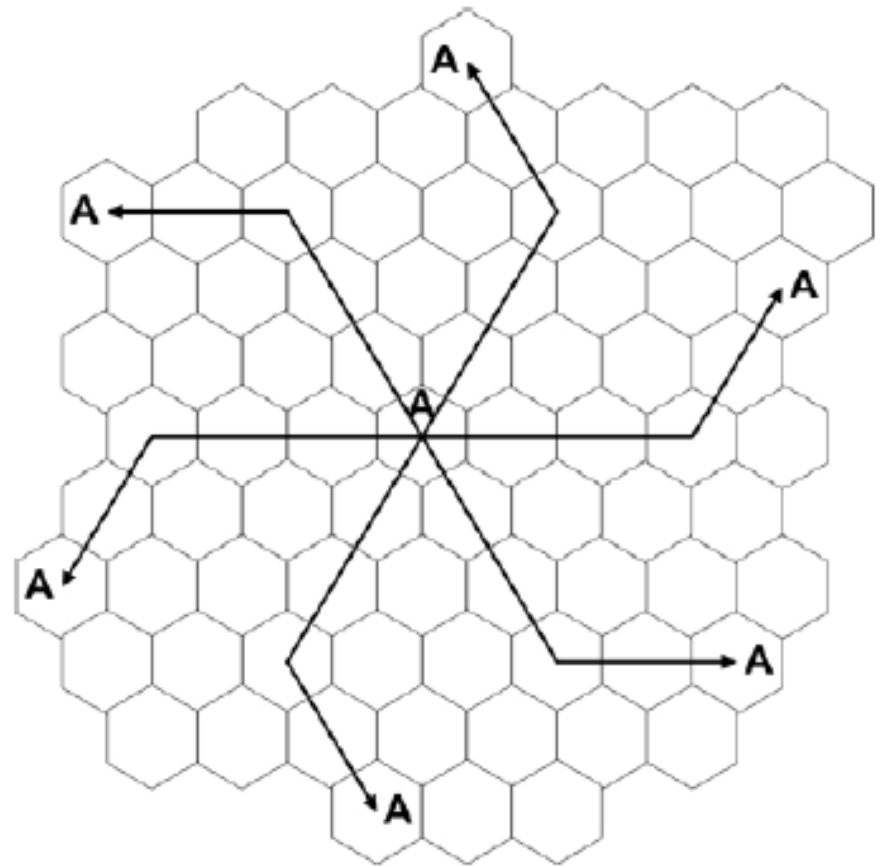
# Κυψέλες

- ◆ Διαδικασία εύρεσης ομοδιαυλικών κυψελών
  - Ξεκινάμε από οποιαδήποτε κυψέλη σαν αναφορά
  - Μετακινούμαστε  $i$  κυψέλες κατά μήκος οποιασδήποτε αλυσίδας εξαγώνων
  - Στρέφουμε ανθρωρολογιακά κατά  $60^\circ$
  - Μετακινούμαστε  $j$  κυψέλες κατά μήκος της αλυσίδας εξαγώνων προς την οποία στραφήκαμε
  - Η  $j$ -οστή κυψέλη και η κυψέλη αναφοράς είναι ομοδιαυλικές
- ◆ Αν επιστρέψουμε στην κυψέλη αναφοράς και κινηθούμε κατά μήκος μιας διαφορετικής αλυσίδας εξαγώνων, θα προκύψει μια νέα ομοδιαυλική κυψέλη.

# Κυψέλες

Παράμετροι Ολίσθησης:  
Δύο ακέραιοι  $i, j$

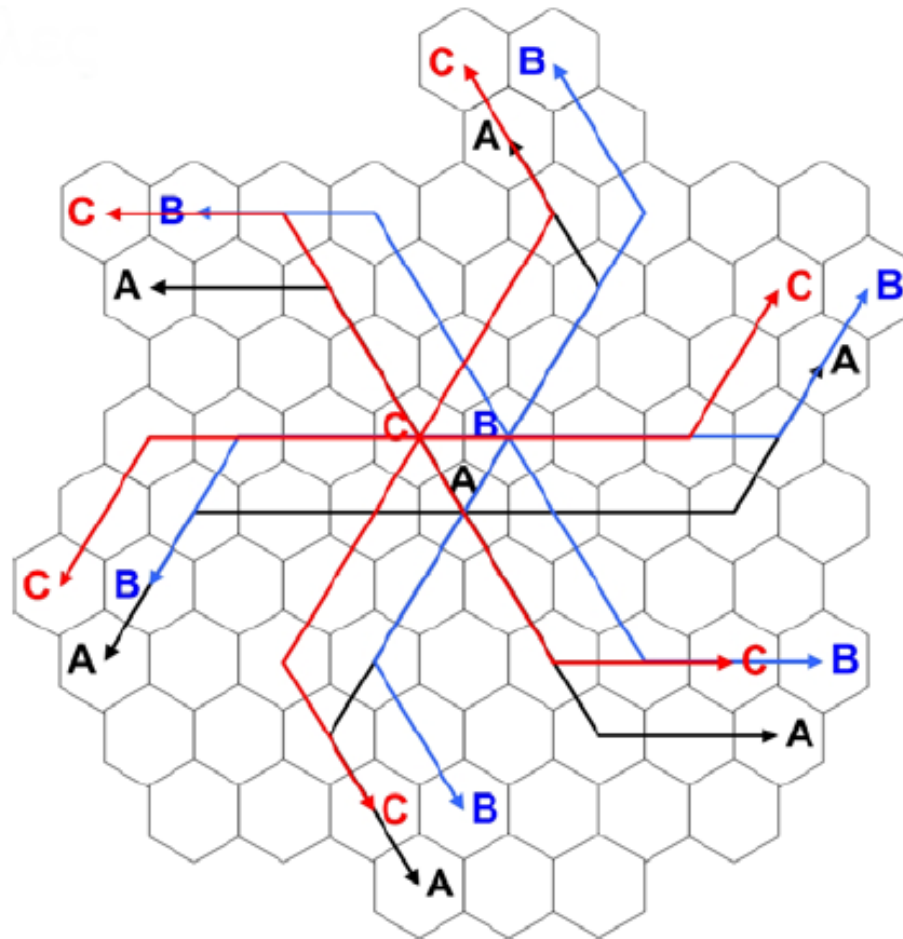
$$i(=3) \geq j(=2)$$



# Κυψέλες

- ◆ Μπορούμε να μετακινηθούμε  $j$  κυψέλες πριν την ανθρωπολογική στροφή και  $i$  κυψέλες μετά.
- ◆ Επίσης μπορούμε να στραφούμε ωρολογιακά και όχι ανθρωπολογικά.
- ◆ Προκύπτουν 4 τρόποι, δίνοντας 2 δομές
- ◆ Οι 2 αυτές δομές είναι κατοπτρικές ως προς κατάλληλο άξονα.
- ◆ Την ίδια διαδικασία εκτελούμε (με σταθερά  $i, j$ ) για κάθε κυψέλη γειτονική της αρχικής και προκύπτει η **κυψελωτή δομή**.

# Κυψέλες



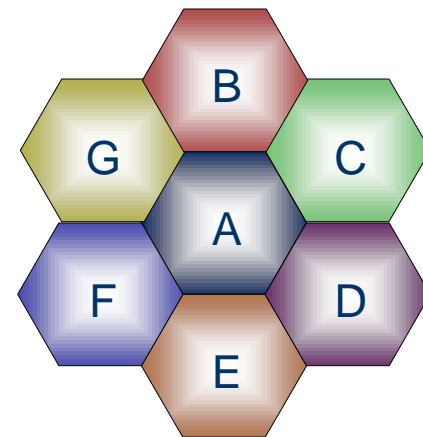
# Κυψέλες

Ομάδα (ή Συστάδα) [Cluster]  
ονομάζεται το ελάχιστο σύνολο  
των κυψελών που χρησιμοποιεί  
πλήρως όλα τα διαθέσιμα  
κανάλια.

*(Το ελάχιστο δηλώνει ότι σε έναν  
τομέα δεν θα υπάρχουν δύο  
κυψέλες που θα έχουν το ίδιο  
κανάλι)*

Συντελεστής επαναχρησιμοποίησης:  $1/7$

Η επαναχρησιμοποίηση ανά  $K$  κυψέλες προσφέρει χρήση  $1/K$  του φάσματος  
σε κάθε κυψέλη  $\rightarrow$  Κάθε κυψέλη έχει το  $1/7$  των διαθέσιμων καναλιών του  
συστήματος



Μέγεθος τομέα  $K=7$  (κυψέλες)

*Τυπικά μεγέθη για clusters 4, 7, 12.*

# Κυψέλες

- ◆ **Cluster** : Το σύνολο των κυψελών που αθροιστικά χρησιμοποιούν όλες τις ομάδες διαύλων.
- ◆ Ο **αριθμός των κυψελών στο cluster** καθορίζει πόσες διαφορετικές ομάδες διαύλων πρέπει να χρησιμοποιηθούν.

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

- ◆ **Απόσταση επαναχρησιμοποίησης**

$$D = \sqrt{K} = \sqrt{i^2 + ij + j^2}$$



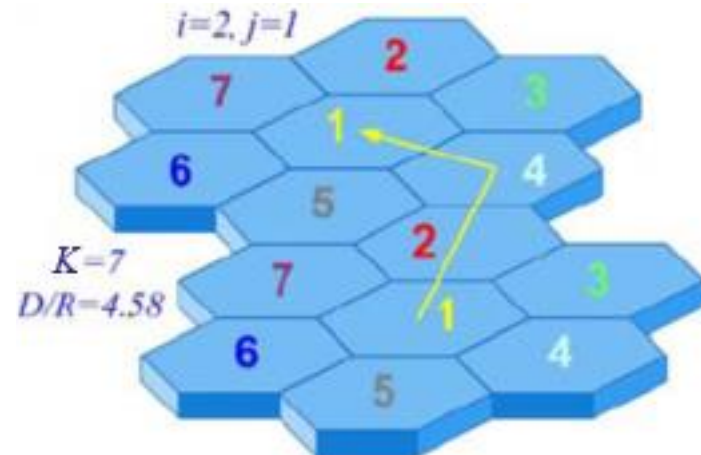
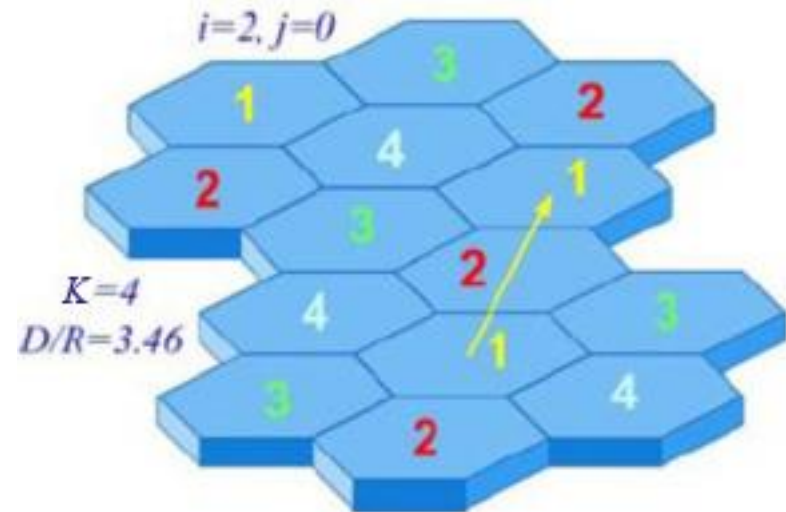
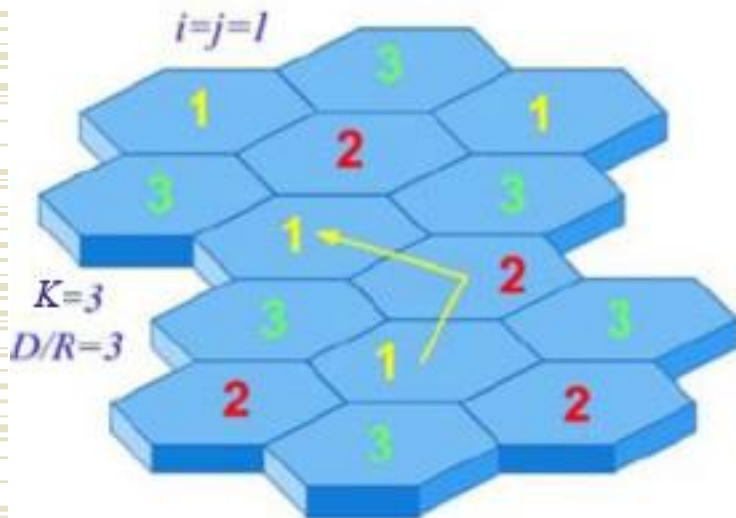
# Κυψέλες

- ♦ Λόγος ομοδιαυλικής επαναχρησιμοποίησης (co-channel reuse ratio)

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

$i$	$j$	$K$	$D/R$
1	0	1	1.73
1	1	3	3
2	0	4	3.46
2	1	7	4.58
2	2	12	6
3	0	9	5.2
3	1	13	6.24
3	2	19	7.55
3	3	27	9

# Κυψέλες



# Κυψέλες

- ◆ Θεωρώ δεδομένα
  - $A$  : Εμβαδόν περιοχής εφαρμογής
  - $S$  : Συνολικός αριθμός διαθέσιμων διαύλων
  - $R$  : Ακτίνα κυψέλης (ισχύς για δεδομένη συχνότητα και περιβάλλον)
- ◆ Αν ένα cluster επαναλαμβάνεται  $M$  φορές
  - Ο συνολικός αριθμός διαύλων λόγω επαναχρησιμοποίησης είναι :  $C=M*S$
- ◆ Για να μεγιστοποιήσω το  $C$ , πρέπει να αυξήσω το  $M$ .

# Κυψέλες

- ◆ Αφού  $R$  γνωστό, και εμβαδόν κυψέλης γνωστό.
- ◆ Άρα θα έχω δεδομένο (σταθερό) συνολικό αριθμό κυψελών στο σύστημα.

- ◆ **Συνολικός Αριθμός Κυψελών:**

$$\frac{A}{\text{Εμβαδο Κυψελης}} = \frac{A}{\frac{3\sqrt{3}}{2} R^2} = M \cdot K$$

- ◆ Άρα αύξηση του  $M$ , σημαίνει μείωση του μεγέθους του cluster  $K$ .

- ◆ Άρα μείωση του:  $\frac{D}{R} = \sqrt{3K}$

# Παράδειγμα

Διαθέτουμε φάσμα 33MHz για ένα FDD κυψελοειδές σύστημα που χρειάζεται simplex κανάλι 25kHz για να μεταφέρει φωνή και σήματα ελέγχου.

Υπολογίστε τον αριθμό των διαθέσιμων καναλιών ανά κυψέλη για  $K=4$ ,  $K=7$  και  $K=12$ .

Ολικό Εύρος Φάσματος: 33MHz.

Εύρος Φάσματος Αμφίδρομου Καναλιού:

$$25\text{kHz} \times 2 \text{ μονόδρομα κανάλια} = 50 \text{ KHz}$$

Ολικά διαθέσιμα κανάλια:  $33000\text{KHz} / 50\text{KHz} = 660$ .

Κανάλια ανά κυψέλη:

$$\underline{K=4}: \quad 660/4 = 165$$

$$\underline{K=7}: \quad 660/7 = 94$$

$$\underline{K=12}: \quad 660/12 = 55$$