

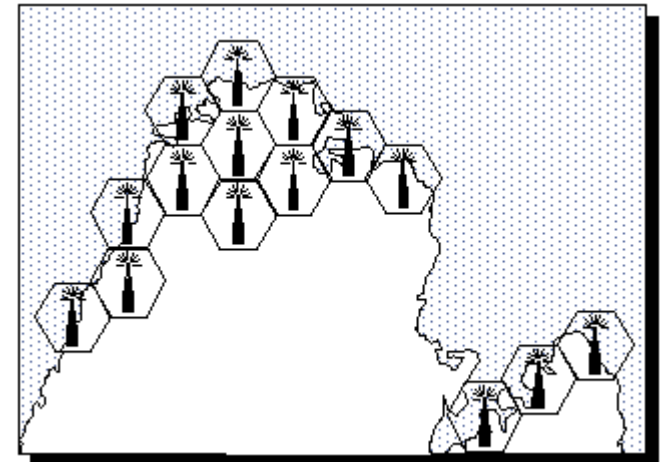
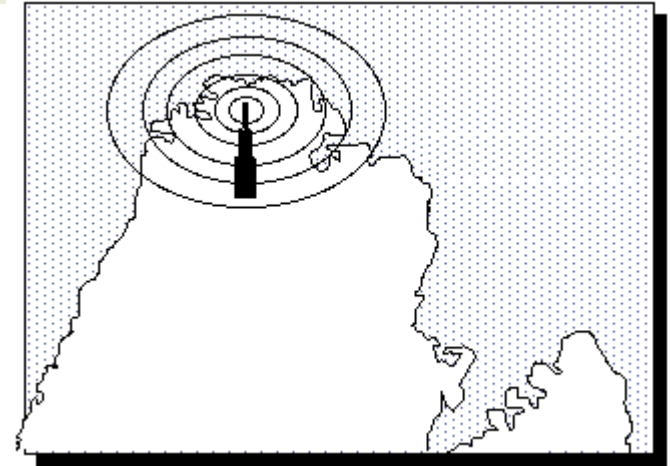


# Κινητές επικοινωνίες

Εργαστηριακό Μάθημα 1  
Κυψελοποίηση

# Αρχική Μορφή της Αρχιτεκτονικής του Τηλεφωνικού Συστήματος

- Κινητές Υπηρεσίες πρώτης γενιάς
  - το σχέδιο με το οποίο έχει δομηθεί είναι παρόμοιο με αυτό της τηλεοπτικής εκπομπής
  - ένα πομπό με μεγάλη ισχύ (e.g., metropolitan) σε μια περιοχή
    - Μπορούσε να μεταδώσει σε μια ακτίνα ως και 50χλμ
- Κινητές υπηρεσίες δεύτερης γενιάς
  - Χρήση κυψελών (cells)
    - πολλοί πομποί χαμηλής εμβέλειας τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία μιας περιοχής



# Αρχές Κινητών Επικοινωνιών

## ■ Κάθε Κινητός Σταθμός

- χρησιμοποιεί ένα ξεχωριστό, προσωρινό “κανάλι” για να μιλήσει στην περιοχή κυψέλης

## ■ Η περιοχή κυψέλης (Σταθμός Βάσης - ΣΒ)

- μιλάει ταυτόχρονα σε πολλά κινητά, χρησιμοποιώντας ένα κανάλι για κάθε κινητό

## ■ Ένα ζευγάρι από κανάλια χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία

- Το ένα (**downlink**) για μετάδοση από την περιοχή κυψέλης
- Το άλλο (**uplink**) χρησιμοποιείται για να δέχεται η περιοχή κυψέλης κλήσεις από τους χρήστες

## ■ Τα κινητά πρέπει να μένουν κοντά στο Σταθμό Βάσης

# [ Η Ιδέα των Κυψελών ]

- Μεταβλητά χαμηλής ισχύος επίπεδα μετάδοσης
  - επιτρέπουν στις κυψέλες να έχουν μέγεθος ανάλογα με :
    - την πυκνότητα των συνδρομητών
    - τις απαιτήσεις κίνησης
- Καθώς ο πληθυσμός ή η κίνηση αυξάνονται
  - μπορούν να προστεθούν κυψέλες για να καλύψουν την αύξηση
  - Αυξάνεται όμως το κόστος

# Θεμελιώδεις Έννοιες Κυψελωτών Επικοινωνιών

- Κάθε κινητός σταθμός μπορεί να συνδεθεί σε οποιαδήποτε κυψέλη, δεσμεύοντας οποιονδήποτε ελεύθερο κανάλι, ώστε να επικοινωνήσει με το σύστημα κορμού.
- **Κυψελική Κάλυψη (Cellular Coverage):**
  - Ένα από τα πλεονεκτήματα του σχεδιασμού αυτού είναι η αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος, από την πλευρά της προσφερόμενης τηλεπικοινωνιακής κίνησης.
  - Στα γεωγραφικά σημεία όπου παρατηρείται αύξηση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, η αντίστοιχη ή οι αντίστοιχες κυψέλες διασπώνται σε μικρότερες (**διάσπαση κυψελών**).
- **Εντοπισμός και Μεταπομπή (Locating and Handoff)**
  - **Μεταπομπή (Handoff)**, καλείται η διαδικασία μεταφοράς του ελέγχου, της εκπομπής και λήψης της μεταδιδόμενης πληροφορίας, από έναν ΣΒ σε έναν άλλον.
  - **Εντοπισμός (locating)**, είναι η διαδικασία προσδιορισμού του κατάλληλου ΣΒ, με βάση την ποιότητα του λαμβανομένου σήματος και της στάθμης της εμφανιζόμενης παρεμβολής (SIR)
  - Μετά το πέρας του εντοπισμού, πραγματοποιείται μεταπομπή από τον αρχικό ΣΒ στο νέο ΣΒ.

# Η Αρχιτεκτονική Του Κυψελοειδούς Συστήματος

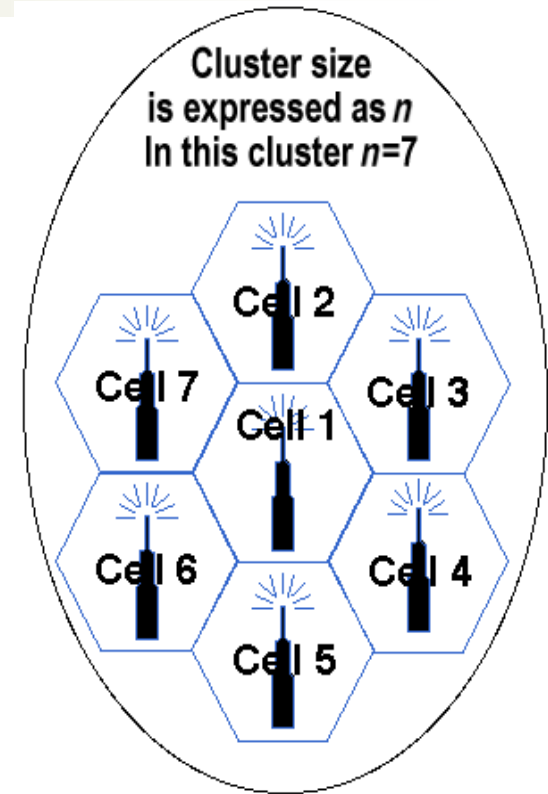
## ■ Κυψέλες

- Συνήθως τις αναπαριστάμε ως εξάγωνα
- το πραγματικό σχήμα των κυψελών δεν είναι το τέλειο εξάγωνο
- το μέγεθος των κυψελών ποικίλει ανάλογα με τη μορφολογία του εδάφους

## ■ Συστάδες (clusters)

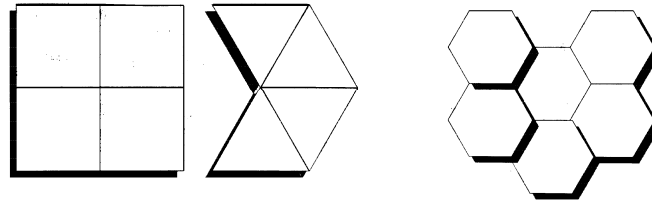
- ένα γκρουπ από κυψέλες
- κανένα κανάλι δεν επαναχρησιμοποιείται μέσα σε μια συστάδα

Σε αστικά κέντρα: περισσότερες και μικρότερες κυψέλες, από ό,τι σε αγροτικές περιοχές



# Κυψελική Γεωμετρία – γιατί εξάγωνα?

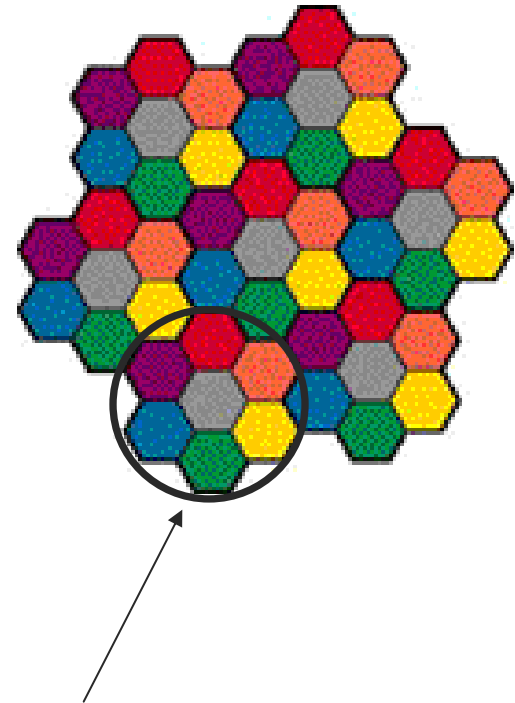
- Λόγω της ομοιόμορφης διάδοσης του σήματος, κάθε κυψέλη θα έπρεπε να έχει κυκλικό σχήμα
- Αυτό δεν είναι σχεδιαστικά πρακτικό, καθώς εμφανίζονται πολλές επικαλυπτόμενες περιοχές
- Έτσι, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε σχήματα που προσεγγίζουν τον κύκλο:



- Επιλέγουμε το **κανονικό εξάγωνο** γιατί:
  - Προσεγγίζουν καλά τον κύκλο
  - Δεν εμφανίζουν κενά, ή επικαλυπτόμενες περιοχές
  - Ο απαιτούμενος αριθμός σχημάτων για την κάλυψη μιας περιοχής είναι μικρότερος από τα τετράγωνα και κατά πολύ μικρότερος από τα ισόπλευρα τρίγωνα

# Ενδοκαναλικές Παρεμβολές και Επαναχρησιμοποίηση Συχνότητας

- Η επαναχρησιμοποίηση συχνότητας είναι η κύρια τεχνική για τα κινητά επικοινωνιακά συστήματα
- Ενδοκαναλικές παρεμβολές (co-channel interference) προκαλούνται από γειτονικές περιοχές που χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι (συχνότητα) μετάδοσης
- Άρα, πρέπει να υπάρχει απόσταση μεταξύ δύο περιοχών (κυψελών) που χρησιμοποιούν ίδιες συχνότητες) – βλέπε Σχήμα (ίδιο χρώμα = ίδιες συχνότητες)
- Παρεμβολές
  - δεν είναι ανάλογες μόνο με την απόσταση μεταξύ περιοχών, αλλά και με την ισχύ των πομπών των περιοχών αυτών

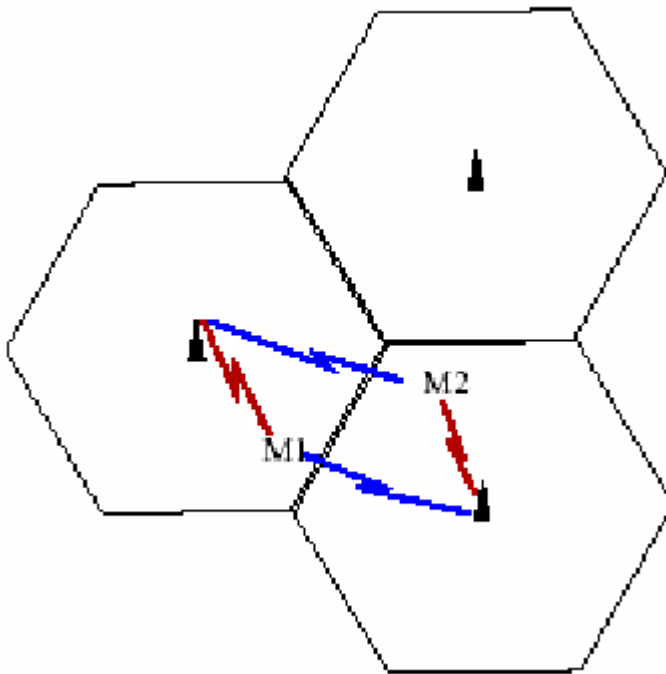


cluster



## Co-channel interference

Μια διαφορετική μετάδοση στο ίδιο κανάλι δημιουργεί παρεμβολή

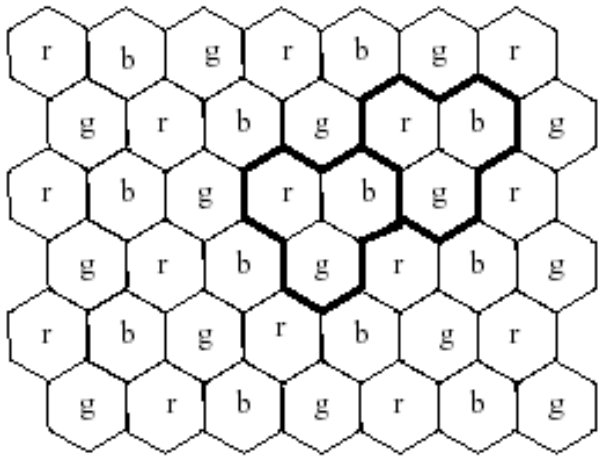


Παρεμβολή

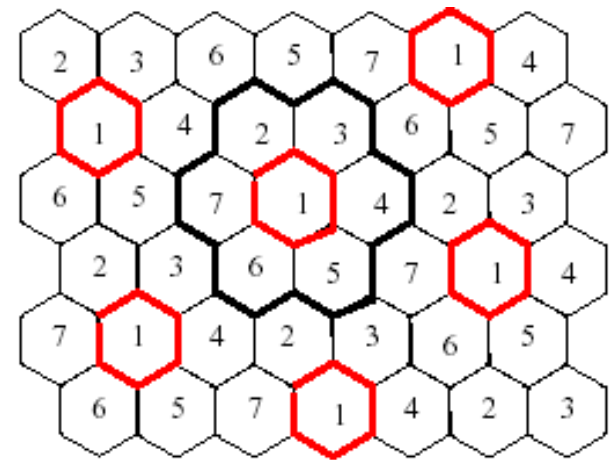
Σήμα

**Απόσταση επαναχρησιμοποίησης (reuse distance):** η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο κυψελών για να μπορούν αυτές να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα με αποδεκτά επίπεδα παρεμβολής.

# Παραδείγματα

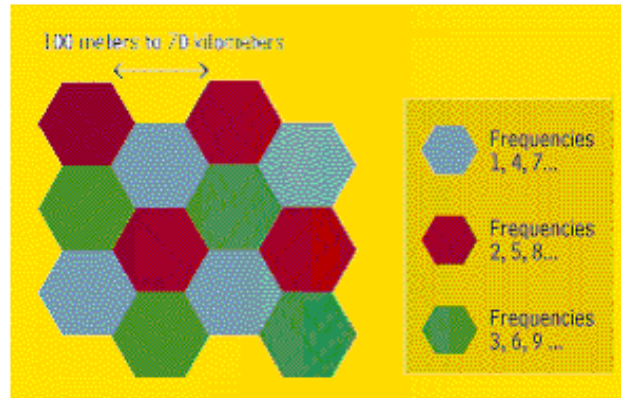


Απόσταση  
επαναχρησιμοποίησης: 2



Απόσταση  
επαναχρησιμοποίησης: 3

## Τι γίνεται στο GSM?



Σε ένα ιδανικό κυψελωτό δίκτυο με απόσταση επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων ίση με 2, σε κάθε κυψέλη διατίθεται το  $1/3$  του διαθέσιμου εύρους ζώνης.

Στο GSM, το εύρος ζώνης κάθε κυψέλης χωρίζεται σε FDMA υπο-ζώνες εύρους 200KHz η κάθε μία. Η κάθε υπο-ζώνη στην συνέχεια χωρίζεται μέσω TDMA σε 8 κανάλια, το καθένα από τα οποία εξυπηρετεί μία κλήση.

## Χαρακτηριστικά μεγέθη

- $S$ : Αριθμός διαθέσιμος καναλιών
- $k$ : Αριθμός καναλιών ανά σταθμό βάσης
- $N=S/k$ : αριθμός σταθμών που χρησιμοποιούν όλα τα διαθέσιμα κανάλια
- $N$  γειτονικές κυψέλες απαρτίζουν μία συστάδα (cluster), δηλαδή το μέγεθος της συστάδας είναι  $N$
- Το  $1/N$  λέγεται **συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων** (frequency reuse factor)
- Αν  $M$  το πλήθος των συστάδων, τότε  $C=MkN=MS$  είναι η **χωρητικότητα του συστήματος**

# Τι συμβαίνει με τις παρεμβολές?

Αυξάνοντας το  $N$ , μειώνονται οι ενδοκαναλικές παρεμβολές. Όμως, μειώνεται και ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών ανά κυψέλη.

## Εξήγηση

Με σταθερή έκταση κυψελών (ακτίνα), όσο αυξάνει το  $N$  (αυξάνει το εμβαδόν της συστάδας) θα μικραίνει το πλήθος των συστάδων  $M$  της περιοχής ενώ το  $S$  θα είναι σταθερό, άρα μικραίνει η χωρητικότητα. Όμως, βελτιώνεται η ποιότητα γιατί αυξάνει η απόσταση των ομοκαναλικών κυψελών.

# Παράδειγμα

Κυψελωτό σύστημα χρησιμοποιεί φάσμα με συνολικό αριθμό καναλιών  $S=1000$ . Το εμβαδό κάθε κυψέλης είναι  $6 \text{ km}^2$  και η περιοχή εξυπηρέτησης του συστήματος είναι  $2100 \text{ km}^2$ .

Ποιος είναι ο συνολικός αριθμός καναλιών  $C$  στη περιοχή εξυπηρέτησης για  $N=7$ ;

Η κάθε συστάδα καλύπτει εμβαδό  $7 \times 6 = 42 \text{ km}^2$ , άρα έχουμε συνολικά  $2100/42=50$  συστάδες.

Κατά συνέπεια, εξυπηρετούνται  $50 \times 1000 = 50000$  κανάλια

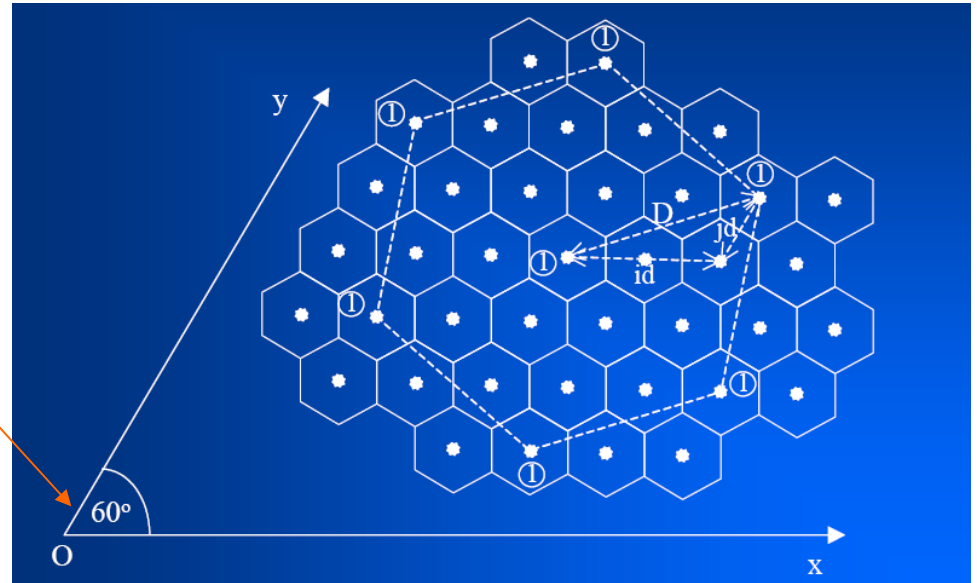
Πόσο αυξάνει η χωρητικότητα του συστήματος για  $N=4$ ;

Θα έχουμε  $2100/24=87,5$ , δηλαδή 87 συστάδες και 2 κυψέλες.

$k=S/N=250$ , άρα  $C=87 \times 1000 + 2 \times 250 = 87500$  κανάλια

# Απόσταση κυψελών με ίδια κανάλια

Αν συνδεθούν το κέντρο της κυψέλης-αναφοράς με τα κέντρα των περιφερειακών γύρω από αυτή κυψελών, τότε με κάθε μία σχηματίζεται γωνία  $60^\circ$

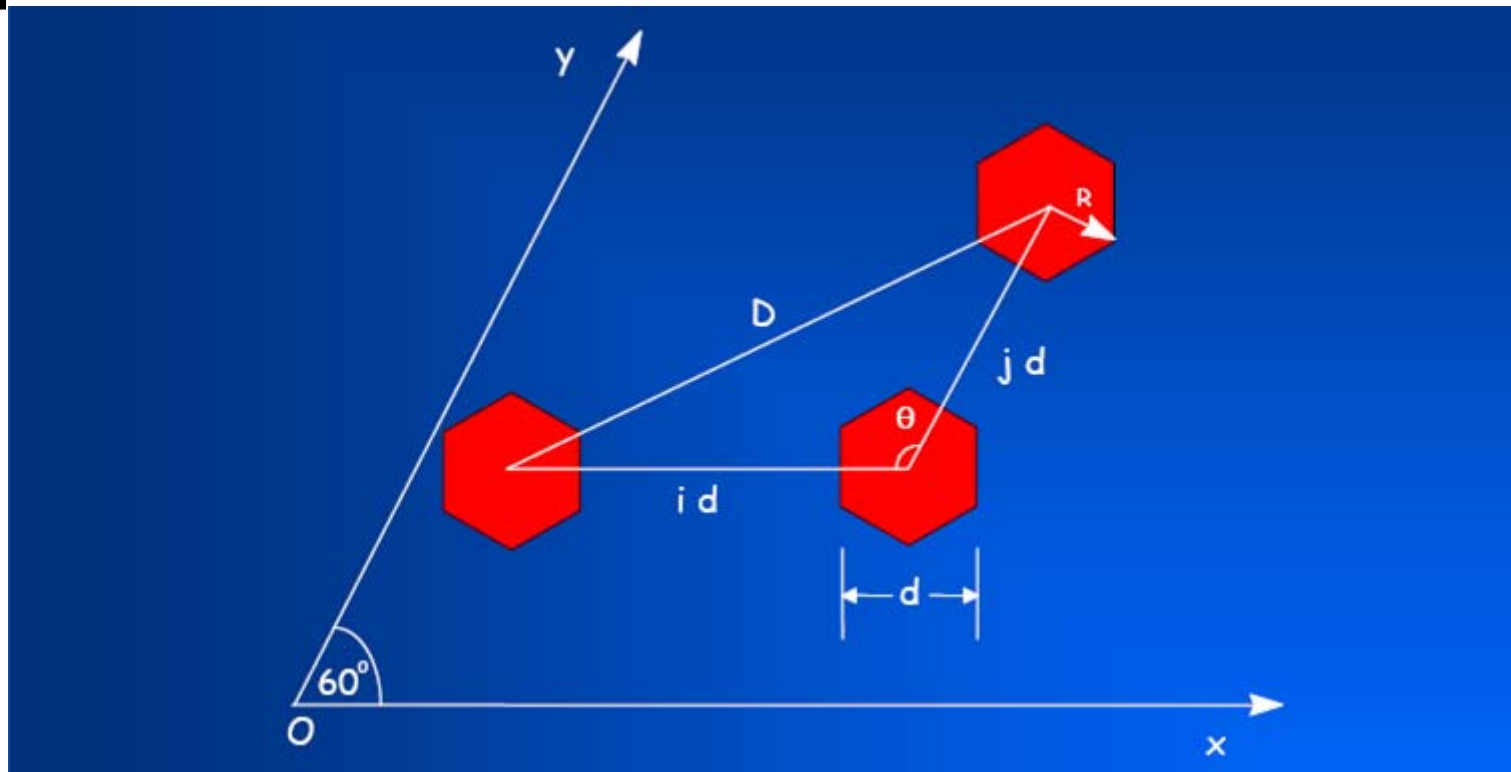


Κάθε κυψέλη με το ίδιο σύνολο καναλιών με μία κυψέλη-αναφορά προσδιορίζεται από ένα ζευγάρι  $(i, j)$ , όπου  $i$  δηλώνει μετακίνηση κατά  $i$  κυψέλες στη διεύθυνση που ενώνει τα κέντρα δύο διαδοχικών κυψελών και το  $j$  υποδηλώνει μετακίνηση σε διεύθυνση περιστραμμένη κατά  $60^\circ$  σε σχέση με την προηγούμενη κυψέλη, αντίθετη με τη φορά των δεικτών του ρολογιού.

Τότε, ισχύει  $\mathbf{N} = i^2 + j^2 + ij$

$\Rightarrow$  Στο σχήμα:  $i=2, j=1$

# Απόσταση κυψελών με ίδια κανάλια (συν.)



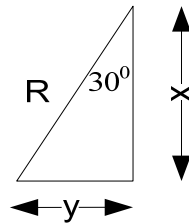
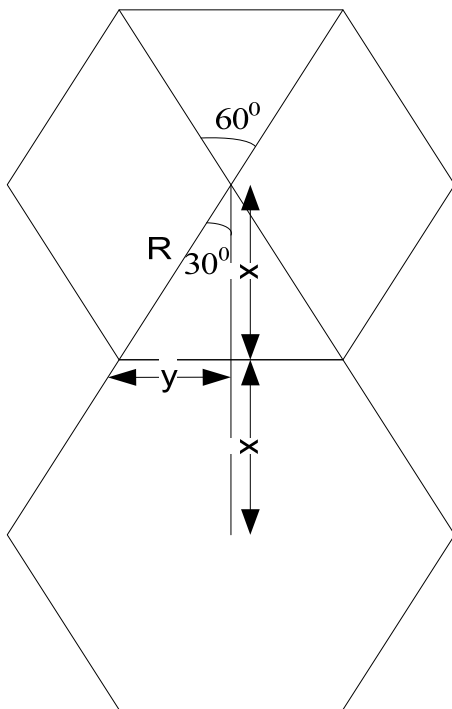
$$D^2 = (id)^2 + (jd)^2 - 2(id)(jd)\cos\theta$$

$$\Rightarrow D^2 = (i^2 + j^2 + ij)d^2 = Nd^2$$



# Απόσταση κυψελών με ίδια κανάλια (συν.)

Πόσο είναι το  $d$ ;



$$\sin 30^\circ = y/R$$

$$\Rightarrow y = R/2$$

$$\text{Επίσης, } x^2 + y^2 = R^2$$

$$\text{Άρα, } x = \sqrt{3}R/2$$

$$\text{Όμως } 2x = d$$

$$\text{Άρα, } d = \sqrt{3}R$$

Κατά συνέπεια, έχουμε

$$D^2 = 3NR^2 \Rightarrow D = R\sqrt{3N}$$

# Τιμές του N



Πιο συχνές περιπτώσεις:  $N=4,7,12$

Το  $N$  δεν μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή!!

Π.χ. Θα μπορούσε  $N=5$ ? (δικαιολογείστε την απάντησή σας)

# [ 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:
  - Ν. Πασσάς, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (2005)
  - Μ. Θεολόγου, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
  - Σ. Τουμπής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Κύπρου (2007)