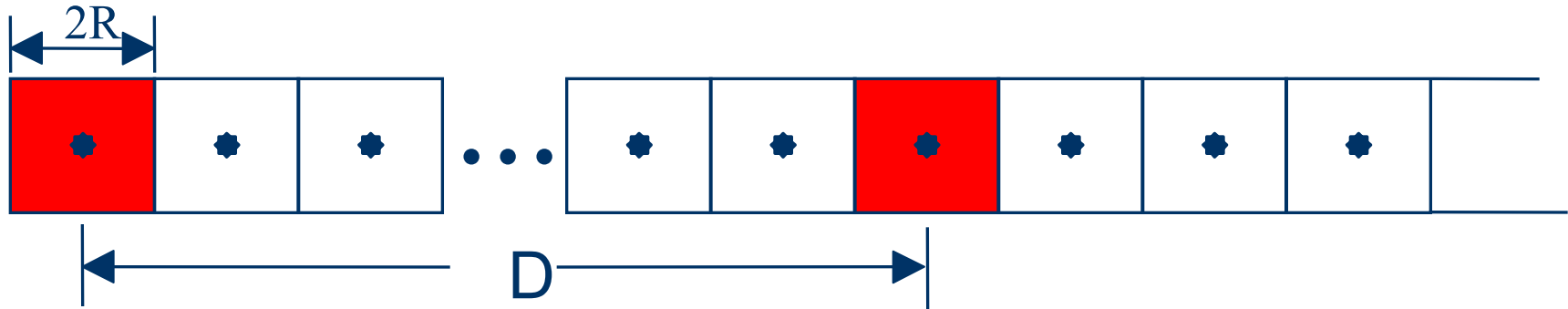


Κυψελωτή δομή και επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων (συνέχεια)

Μονοδιάστατα συστήματα



$$K = \frac{D}{2R}$$

$$K = \frac{D \times (2R)}{(2R)^2} = \frac{S_K}{S_c}$$

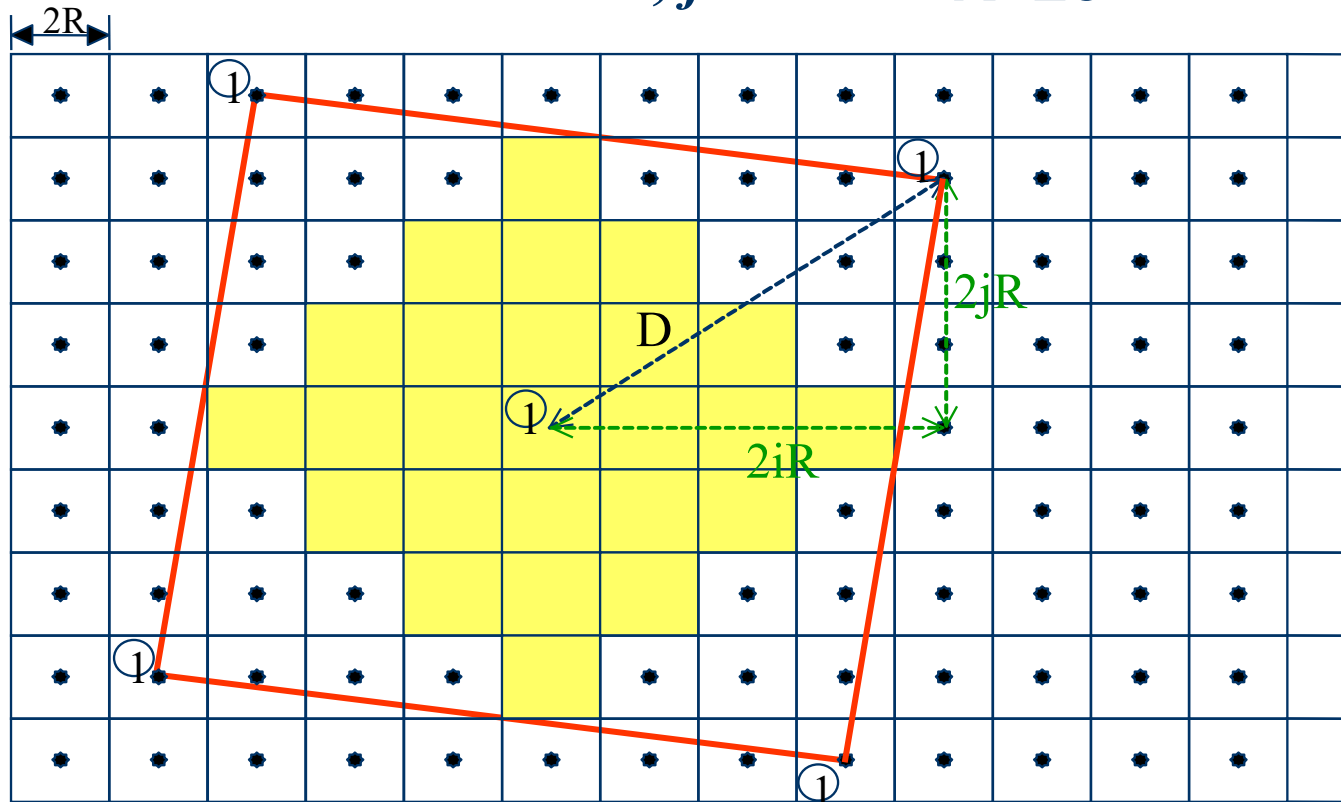
Συστήματα δύο διαστάσεων

Τετραγωνικές κυψέλες

$$D^2 = (2Ri)^2 + (2Rj)^2 \quad D = 2R \times \sqrt{i^2 + j^2}$$

$i=4, j=3$

$K=25$



Συστήματα δύο διαστάσεων

Τετραγωνικές κυψέλες

Κυψέλες τετραγώνου: $K + 4(K / 4) = 2K$

Πλευρά τετραγώνου: $\sqrt{D^2 + D^2} = \sqrt{2D^2} = D\sqrt{2}$

Εμβαδόν τετραγώνου: $D\sqrt{2} \times D\sqrt{2} = 2D^2$

Συστήματα δύο διαστάσεων

Τετραγωνικές κυψέλες

$$2K = \frac{S_{D\sqrt{2}}}{S_c} = \frac{2D^2}{(2R)^2} = \frac{2(i^2 + j^2) \times (2R)^2}{(2R)^2} = 2(i^2 + j^2)$$

$$K = i^2 + j^2 \quad i, j \text{ ακέραιες τιμές, άρα}$$

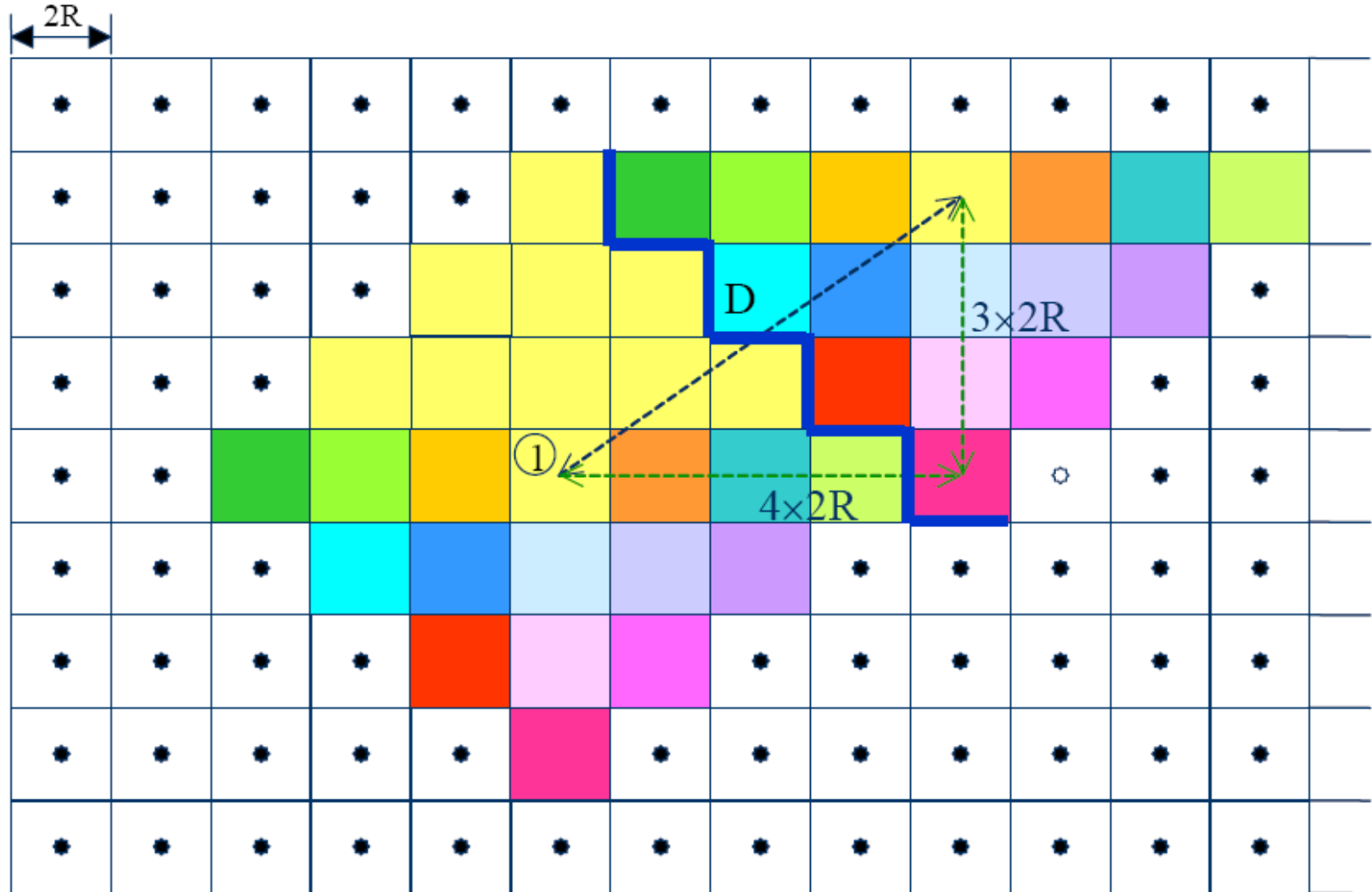
$K : 1, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 13, 16, 17, 18, 20, 25, \dots$

$$D = 2R \times \sqrt{i^2 + j^2} \quad \Rightarrow \quad D = 2R\sqrt{K}$$

Όπως δείξαμε

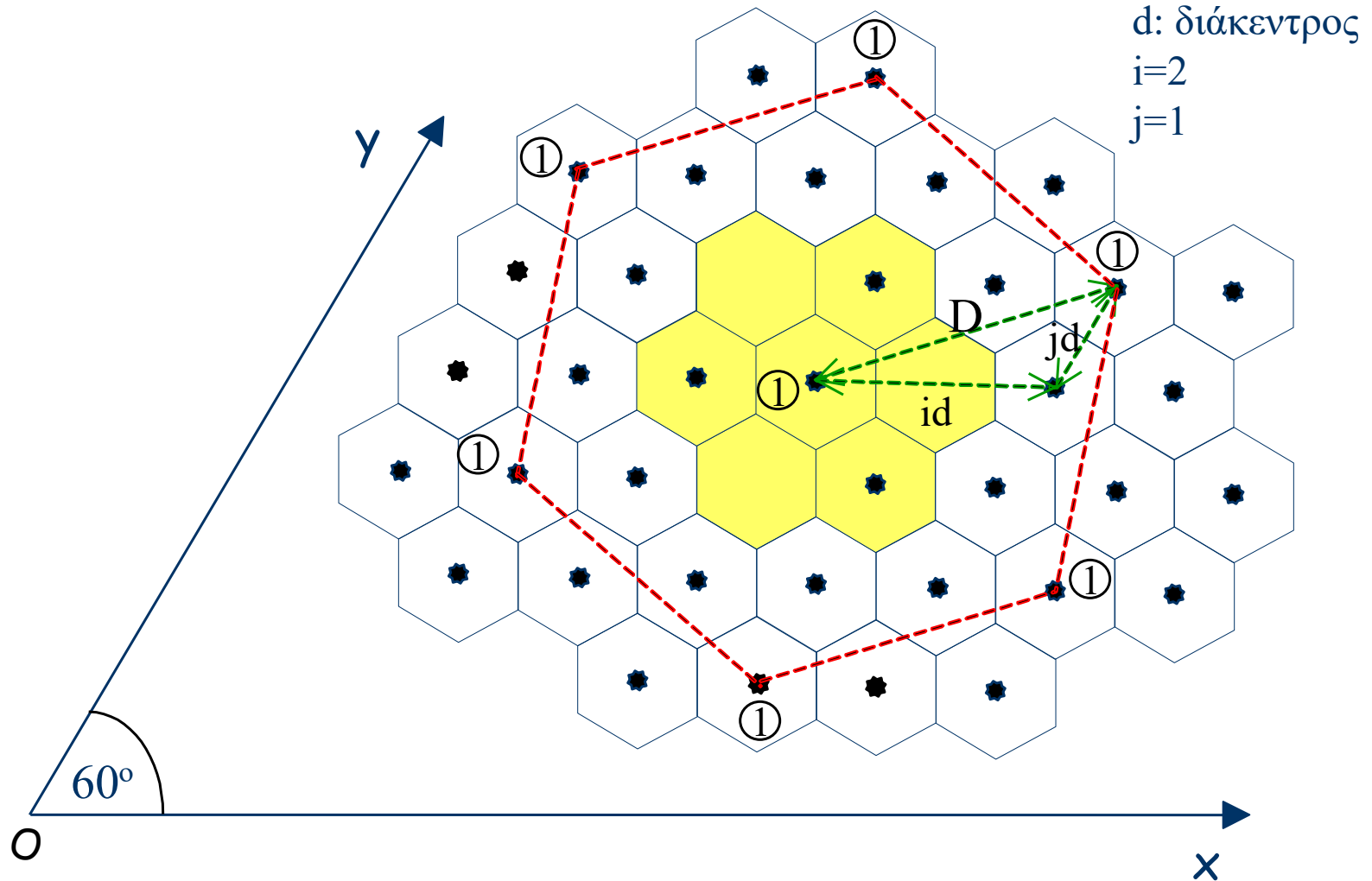
Συστήματα δύο διαστάσεων

Τετραγωνικές κυψέλες: $K = 25$ ($i=4, j=3$)



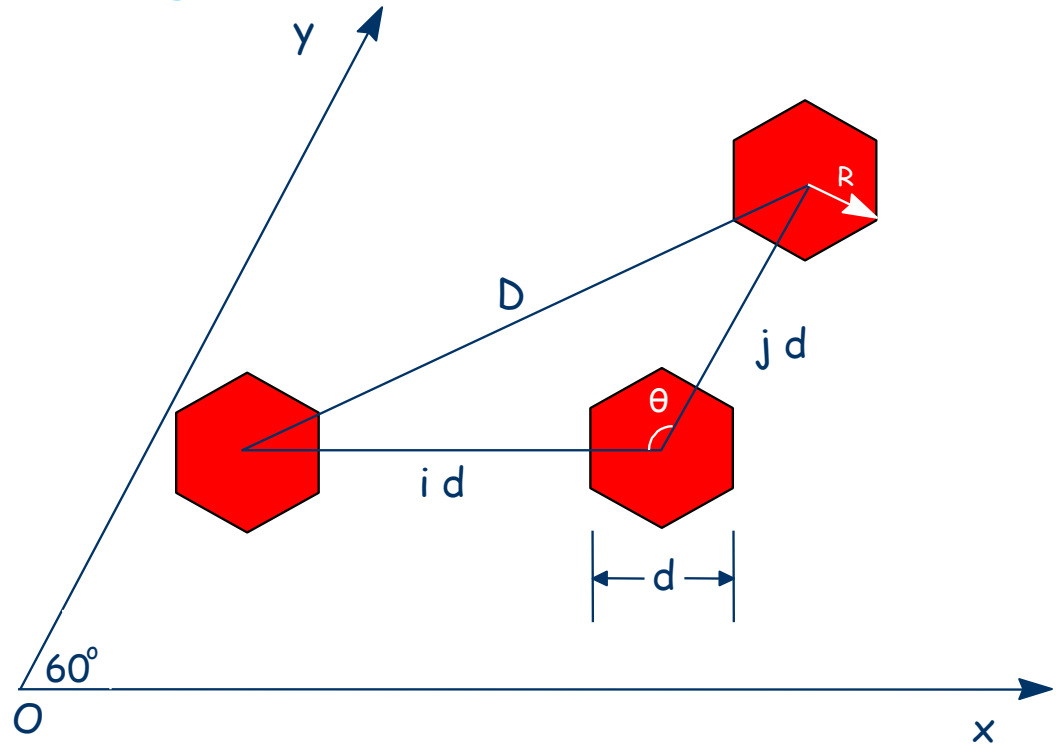
Συστήματα δύο διαστάσεων

Εξαγωνικές κυψέλες



Συστήματα δύο διαστάσεων

Εξαγωνικές κυψέλες



$$D^2 = (i \cdot d)^2 + (j \cdot d)^2 - 2 \cdot (i \cdot d) \cdot (j \cdot d) \cdot \cos \theta$$

$$\text{Για } \theta = 120^\circ \cos \theta = -1/2 \quad D^2 = (i^2 + j^2 + i \cdot j) \cdot d^2$$

Συστήματα δύο διαστάσεων

Εξαγωνικές κυψέλες

$$K + 6(K / 3) = 3K$$

$$D^2 = (i^2 + i \cdot j + j^2) \cdot d^2$$

$$3K = \frac{S_D}{S_c} = \frac{\frac{3\sqrt{3}}{2} D^2}{\frac{3\sqrt{3}}{2} R^2} = \frac{D^2}{R^2}$$

$$d = \sqrt{3} \cdot R \Rightarrow R = \frac{d}{\sqrt{3}}$$

$$K = (i^2 + i \cdot j + j^2)$$

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

Συστήματα δύο διαστάσεων

Εξαγωνικές κυψέλες



K=4
(i=2, j=0)

Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Συστήματα δύο διαστάσεων

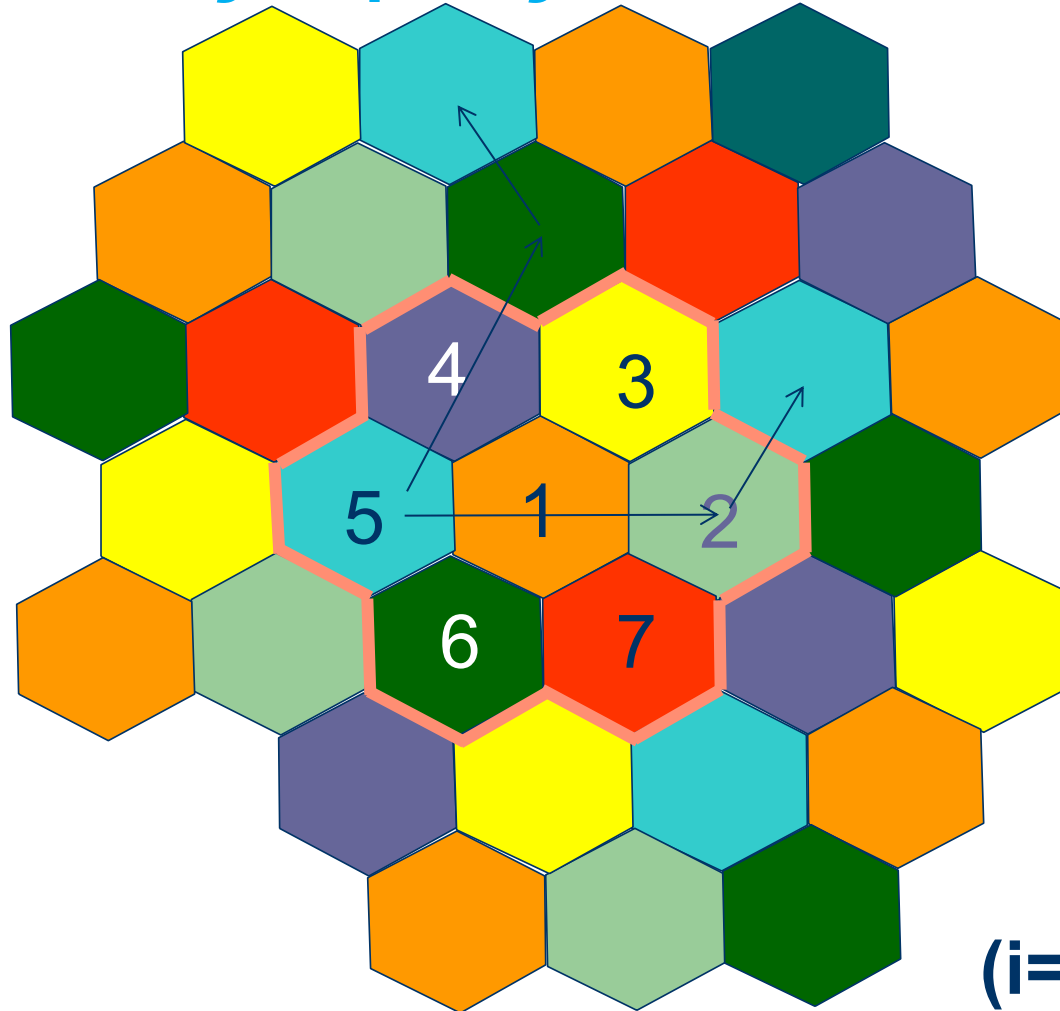
Εξαγωνικές κυψέλες



$K=12$
 $(i=2, j=2)$

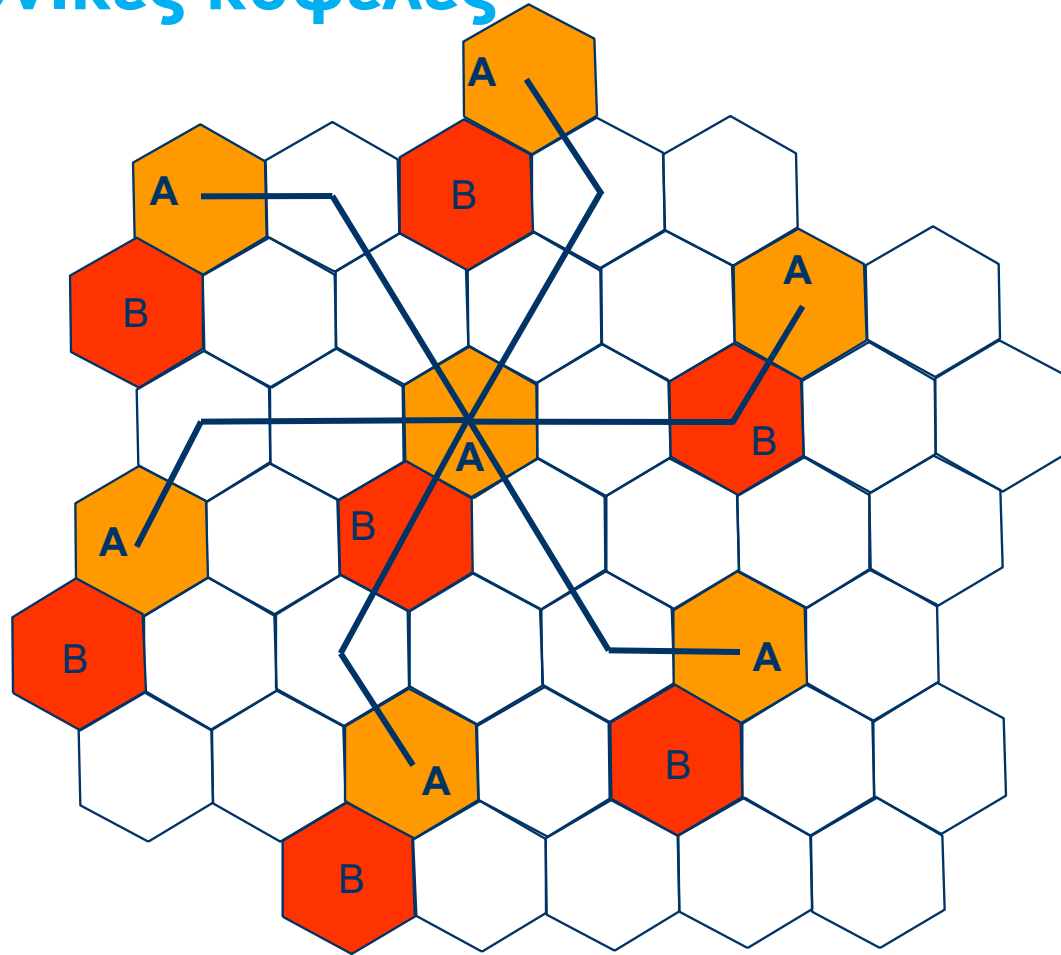
Συστήματα δύο διαστάσεων

Εξαγωνικές κυψέλες



Συστήματα δύο διαστάσεων

Εξαγωνικές κυψέλες



$K=7$ $i=2, j=1$

Συστήματα δύο διαστάσεων

Παράδειγμα 3.1

Εύρος ζώνης 33MHz διατίθεται σε κυψελωτό σύστημα. Κάθε διάυλος έχει $W = 25\text{kHz}$ ανά κατεύθυνση και χρησιμοποιείται για τηλεφωνία και έλεγχο.

Να υπολογιστεί ο αριθμός των διαύλων που θα κατανεμηθούν ανά κυψέλη, αν το σύστημα χρησιμοποιεί $K = 7$ και $K=12$.

Αν διατίθεται 1MHz από το φάσμα για διαύλους ελέγχου, καθορίστε μια όσο το δυνατόν ομοιόμορφη κατανομή των διαύλων ελέγχου και φωνής.

Τηλεπικοινωνιακή κίνηση

Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα

- Βασικός παράγοντας στη σχεδίαση των κυψελωτών συστημάτων είναι η δυνατότητα εξυπηρέτησης της τηλεπικοινωνιακής κίνησης.
- Μετά τη διαστασιολόγηση του συστήματος, οι ραδιοδίαυλοι κατανέμονται στις κυψέλες λαμβάνοντας υπόψη:
 - την πυκνότητα των χρηστών σε κάθε κυψέλη,
 - την απόσταση επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων,
 - το διαθέσιμο φάσμα.

Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα

- **Τηλεπικοινωνιακή κίνηση** ή απλά **κίνηση** στα κυψελωτά συστήματα, ορίζεται **το σύνολο**, όσο αφορά το πλήθος, το είδος και τη διάρκεια, **των κλήσεων από και προς τα κινητά τερματικά**, οι οποίες πραγματοποιούνται μέσω ενός αριθμού διαύλων.
- Η θεωρία της τηλεπικοινωνιακής κίνησης είναι ένα θέμα που έχει μελετηθεί εκτενώς στα **τηλεφωνικά συστήματα**, όπου χρησιμοποιείται η **μεταγωγή κυκλώματος**.
- Ονομάζουμε **ρυθμό κλήσεων** το σύνολο των τηλεφωνικών κλήσεων ή κλήσεων μετάδοσης δεδομένων με μεταγωγή κυκλώματος προς και από κάποιον σταθμό βάσης στη μονάδα του χρόνου.

Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα

- Θεωρούμε έναν σταθμό βάσης που διαθέτει συγκεκριμένο αριθμό διαύλων για εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού χρηστών.
- Η φορά της πρόσβασης δεν επηρεάζει την ανάλυση της κίνησης με βάση τη θεωρία αναμονής.
- Η θεώρηση της κίνησης δεν εξαρτάται από τον τύπο της ασύρματης πρόσβασης ή τον τύπο της πολυπλεξίας που χρησιμοποιείται στον δίαυλο.

Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα

Οι σημαντικότεροι παράγοντες για την εξυπηρέτηση της κίνησης είναι:

- Ο ρυθμός άφιξης κλήσεων (ποικίλει ανά ώρα, περιοχή, κτλ).
- Οι διάρκειες κατάληψης των διαύλων για τις επιτυχείς κλήσεις (πιθανοτική διάρκεια).
- Ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων διαύλων (μπορεί να ποικίλει αν έχουμε δυναμική αναδιάταξή τους).
- Η πιθανότητα αποκλεισμού (μη διαθέσιμοι δίαυλοι).
- Ο τρόπος αντιμετώπισης των αποκλεισμένων κλήσεων:
 - Απόρριψη και επανα-προσπάθεια
 - Αναμονή σε ουρά

Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα

- Η θεωρία της τηλεπικοινωνιακής κίνησης ασχολείται με τα προβλήματα αναμονής ή/και απωλειών κλήσεων στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα.
- Η ανάλυση των προβλημάτων αυτών εξαρτάται τόσο από τις διαδικασίες εισόδου και εξόδου, όσο και από τη δομή του συστήματος.
- Οι απαντήσεις στα προβλήματα δεν μπορεί να είναι ακριβείς. Μπορεί να βρεθούν μόνο πιθανότητες ή μέσες τιμές για τα εξεταζόμενα μεγέθη.

Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα

Μεταφερόμενη κίνηση

Υποθέτουμε ότι:

- Ο αριθμός των χρηστών είναι πολύ μεγάλος και ο ρυθμός κλήσεων από κάθε χρήστη είναι μικρός, οπότε οι αφίξεις κλήσεων μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι *τυχαίες* και *ανεξάρτητες* και μπορεί να περιγραφούν ως διαδικασίες *Poisson*.
- Οι διάρκειες κατάληψης των διαύλων είναι *τυχαίες* και *ανεξάρτητες*.

Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα

Μεταφερόμενη κίνηση

C : ο συνολικός αριθμός των διαύλων.

t_n : το άθροισμα των χρονικών

διαστημάτων (**slots**), όπου οι n από τους C διαύλους είναι κατειλημμένοι κατά τη διάρκεια μιας μακράς χρονικής περιόδου T .

$$T = \sum_{n=0}^C t_n$$

$$\text{Όγκος κίνησης} = \sum_{n=0}^C n \cdot t_n$$

άθροισμα όλων των χρόνων κατάληψης

$$\text{Μεταφερόμενη κίνηση ή ένταση της κίνησης} = \frac{1}{T} \sum_{n=0}^C n \cdot t_n = \sum_{n=0}^C n \cdot (t_n / T)$$

Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα

Μεταφερόμενη κίνηση

- Αν οι ποσότητες t_n και T εκφράζονται με τις ίδιες μονάδες, η μεταφερόμενη κίνηση είναι **αδιάστατη** ποσότητα και εκφράζεται σε **erlang**.
- Στην πράξη, λαμβάνεται συνήθως $T = 1 \text{ h}$.
- Η ποσότητα t_n / T είναι το κλάσμα της χρονικής περιόδου T κατά τη διάρκεια του οποίου είναι κατειλημμένοι n δίαυλοι.
- Συνεπώς, **μεταφερόμενη κίνηση** είναι **ο μέσος αριθμός των διαύλων** που είναι κατειλημμένοι κατά τη διάρκεια μιας καθορισμένης χρονικής περιόδου T .

Τηλεπικοινωνιακή κίνηση στα κυψελωτά συστήματα

Μεταφερόμενη κίνηση

- **1 erlang** αντιπροσωπεύει την κίνηση που μεταφέρεται από έναν δίαυλο, ο οποίος είναι **πλήρως κατειλημμένος** (π.χ. 1 ώρα κατάληψης του διαύλου ανά ώρα ή 1 λεπτό κατάληψης ανά λεπτό).
- Το erlang είναι αδιάστατη μονάδα.
- Ένας ραδιοδίαυλος, ο οποίος π.χ. είναι κατειλημμένος 30 λεπτά κατά τη διάρκεια μιας ώρας, μεταφέρει **0.5 erlang κίνησης**.

Agner Krarup Erlang

Agner Krarup Erlang



Born	1 January 1878 Lønborg, Denmark
Died	3 February 1929 Copenhagen, Denmark
Occupation	Mathematician, statistician, and engineer

Agner Krarup Erlang (1 January 1878 – 3 February 1929) was a Danish mathematician, statistician and engineer, who invented the fields of traffic engineering and queueing theory.

By the time of his relatively early death at the age of 51, Erlang created the field of telephone networks analysis. His early work in scrutinizing the use of local, exchange and trunk telephone line usage in a small community to understand the Theoretical requirements of an efficient network led to the creation of the Erlang formula, which became a foundational element of present day telecommunication network studies.