

Κινητός και Διάχυτος Υπολογισμός (Mobile & Pervasive Computing)

Δημήτριος Κατσαρός

Διάλεξη 11η

Περιεχόμενα

- Επαναχρησιμοποίηση καναλιών

Βασικές έννοιες (1/2)

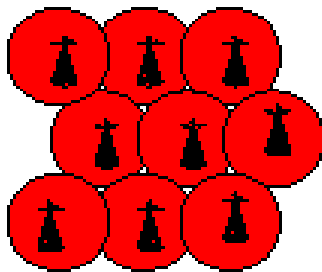
- Τα πρώτα συστήματα κινητής τηλεφωνίας δεν ήταν κυψελοειδή. Για την κάλυψη μιας μεγάλης περιοχής χρειαζόταν ένας **ισχυρός πομπός** και μια **κεραία σε υψηλό μέρος**. Δεν γινόταν επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα **πολύ μικρή χωρητικότητα**
- Η ιδέα του **κυψελοειδούς συστήματος** προέκυψε από την ανάγκη επέκτασης του ραδιοτηλεφωνικού συστήματος για την κάλυψη της αυξημένης ζήτησης, η οποία δεν μπορούσε να ικανοποιηθεί απλά με την χρησιμοποίηση προσθετού φάσματος συχνοτήτων
 - **Κυψελοειδής κάλυψη**: Αντικατάσταση των μεγάλων πομπών με πολλούς μικρότερους. Γειτονικοί σταθμοί βάσης λειτουργούν με διαφορετικές ομάδες καναλιών (συχνοτήτων). Η χωρητικότητα μπορεί να αυξηθεί με επιπρόσθετο διαμέρισμα του φάσματος και της περιοχής.

Βασικές έννοιες (2/2)

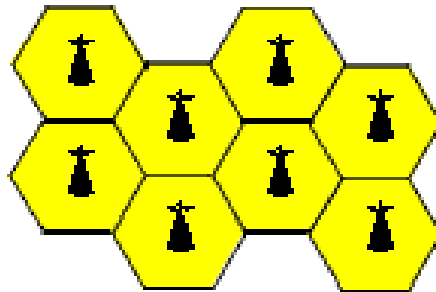
- **Κύτταρο ή κυψέλη (Cell)** – μια γεωγραφική περιοχή που καλύπτεται από ένα B.S.
- **Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας (frequency reuse)** – το σχέδιο κατανομής των συχνοτήτων των καναλιών στους B.S

Για λόγους ευκολίας, τα κύτταρα απεικονίζονται με εξαγωγικό σχήμα. Το εξάγωνο είναι το απλούστερο σχήμα με το οποίο μπορούμε να ψηφιοποιήσουμε μια επιφάνεια (space tessellation).

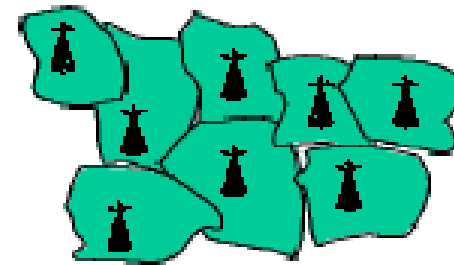
Στην πράξη, τα κύτταρα δεν είναι εξάγωνα και οι σταθμοί βάσης δεν τοποθετούνται πάντοτε στο κέντρο των κυττάρων.



Θεωρητικό
διάγραμμα
κάλυψης



Κυψελοειδές
πλέγμα κυττάρων



Πραγματικό
διάγραμμα κάλυψης

Υπολογισμός χωρητικότητας

Υποθέτουμε ότι υπάρχουν N κύτταρα, και σε κάθε κύτταρο έχουμε διαθέσιμους k κανάλια (συχνότητες) από τα S διαθέσιμα. Αυτά τα N κύτταρα λέμε ότι αποτελούν μια **συστάδα (cluster)**. Ο συνολικός αριθμός καναλιών ανά συστάδα είναι

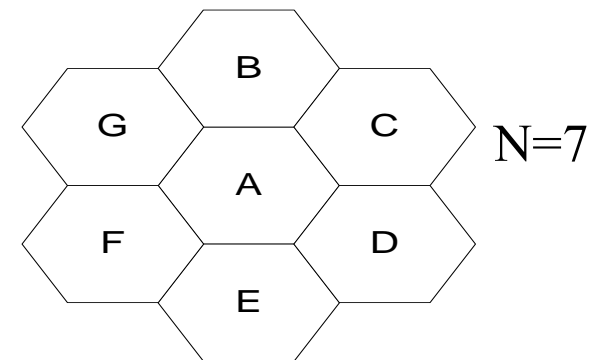
$$S = kN$$

Η συνολική χωρητικότητα που παρέχουν M συστάδες είναι:

$$C = MkN = MS$$

Μια συστάδα μπορεί να αντιγραφεί περισσότερες φορές σε μια περιοχή αν τα κύτταρα γίνουν μικρότερα (σημειώστε ότι στην περίπτωση αυτή η ισχύς εκπομπής θα πρέπει να μειωθεί κατάλληλα). Έτσι επιτυγχάνουμε **μεγαλύτερη χωρητικότητα**.

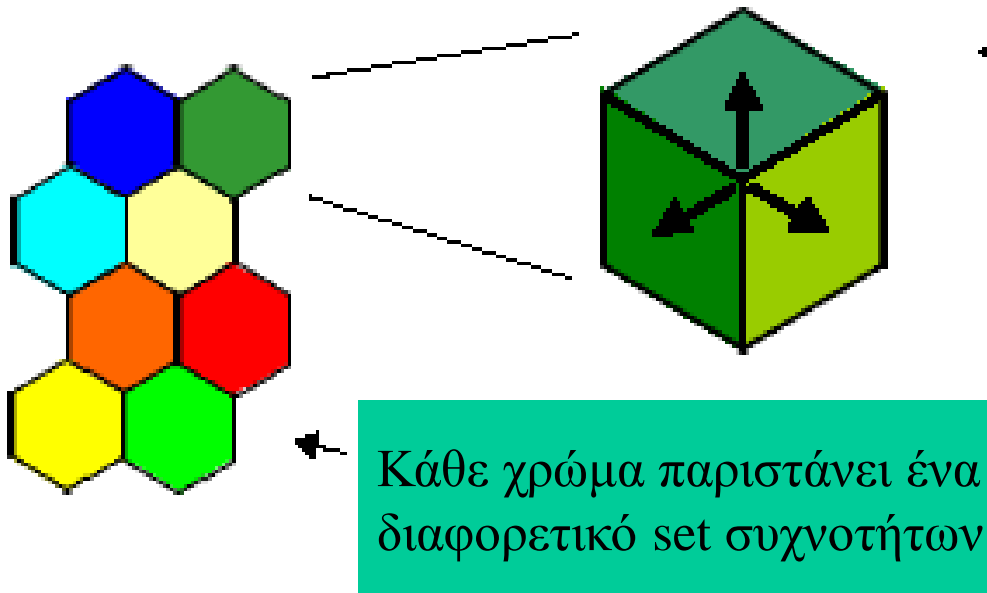
Ο **συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνότητας** (frequency reuse factor) είναι ο αριθμός N των κυττάρων σε μια συστάδα.



Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων και τομεοποίηση (sectorization)

Με την **επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων** (ή κωδίκων για το CDMA) αυξάνουμε την χωρητικότητα χωρίς να χρειαζόμαστε καινούργιο φάσμα συχνοτήτων.

Με την **διαίρεση των κυττάρων σε τομείς** (sectors – sectorization) μπορούμε να αυξήσουμε ακόμα περισσότερο την χωρητικότητα



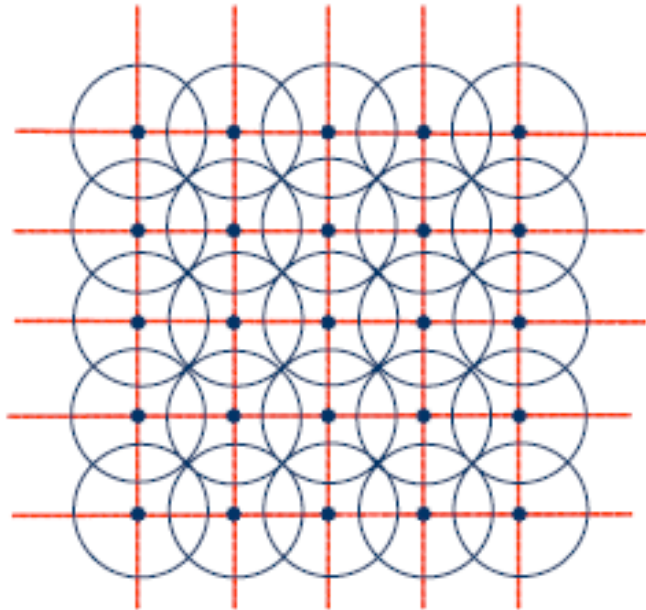
Κύτταρα με 3 τομείς είναι πολύ συνηθισμένα (κάθε τομέας είναι 120°). Μερικοί ονομάζουν τους τομείς κύτταρα. Κύτταρα με 2 τομείς συνηθίζονται για την κάλυψη επαρχιακών αυτοκινητοδρόμων.

Μορφές κυττάρων

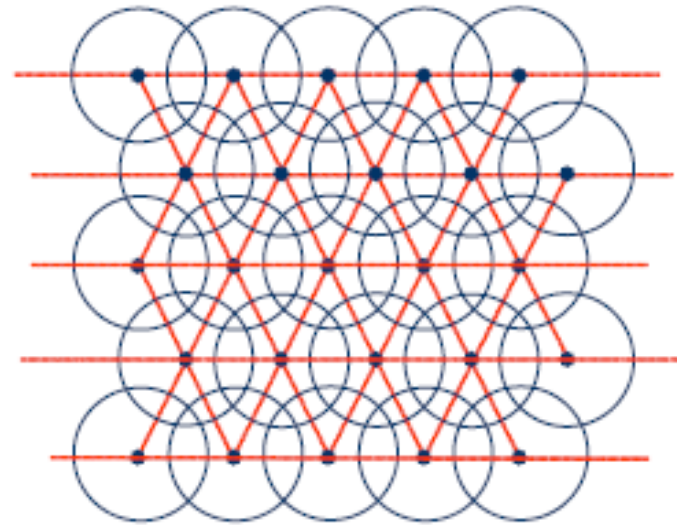
- Αρχικά, τα κύτταρα είχαν εξαγωγικό σχήμα και η κάλυψη του σταθμού βάσης ήταν **πανκατευθυντική (omni-directional)** (A)
- Με την εφαρμογή της **τμηματοποίησης**, τα κύτταρα παίρνουν σχήμα ρόμβου (B)
- Πολλοί σχεδιαστές, όμως, προτιμούν να δουλεύουν με κύτταρα εξαγωγικού σχήματος (C)



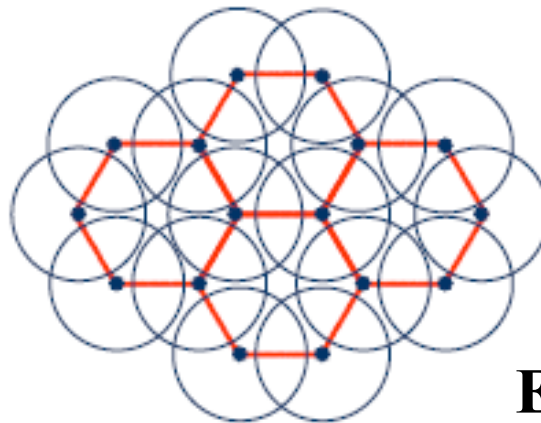
Τοποθέτηση Σταθμών Βάσης



Σε πλέγμα



Τριγωνικό

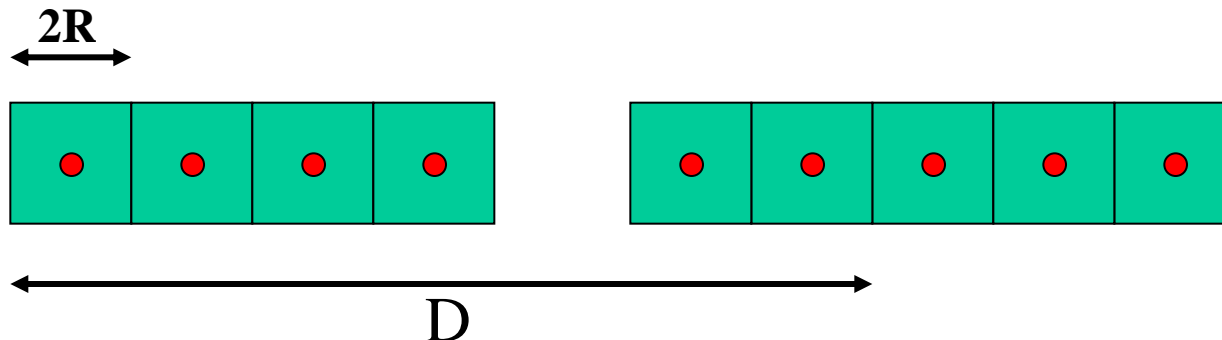


Εξαγωνικό

Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων – Μονοδιάστατα συστήματα

- Τετραγωνικά κελιά, μήκους $2R$
- Εάν χρησιμοποιούμε τις ίδιες συχνότητες μετά από K κυψέλες, θα έχουμε $D=2R*K$
- Αφού οι κυψέλες έχουν ίδιες διαστάσεις, τότε:

$$K = \frac{D \times 2R}{(2R)^2} = \frac{Area_{cluster}}{Area_{cell}}$$



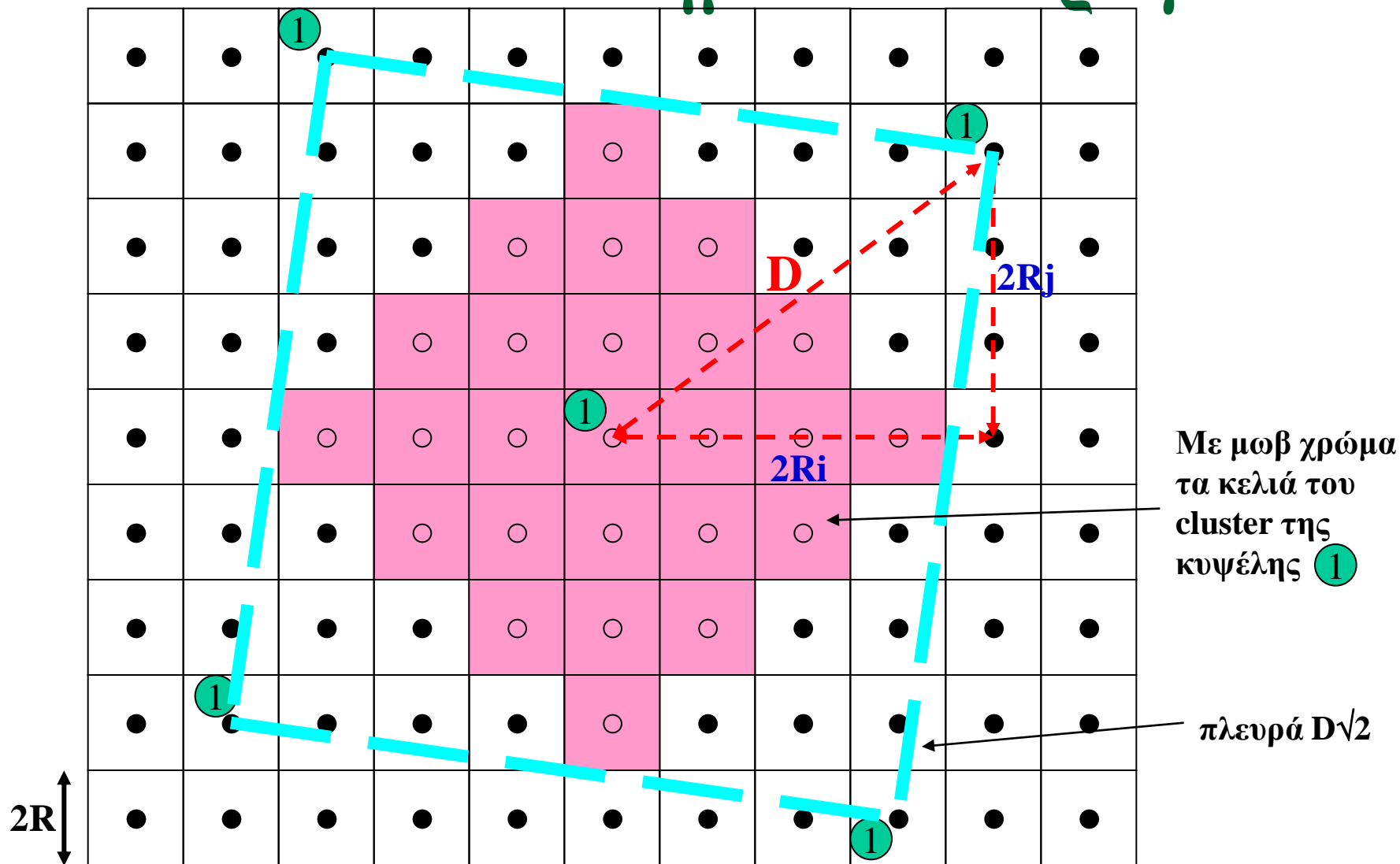
Επαναχρησιμοποίηση συχνотήτων – Διδιάστατα συστήματα “τετραγωνικά” με τετραγωνική τοποθέτηση των BS

- Σύστημα ορθογωνίων αξόνων
- Τα κέντρα των κυψελών απέχουν ακέραια πολλαπλάσια των ποσοτήτων $i \cdot 2R$ και $j \cdot 2R$
- Τότε:

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

- Θεωρούμε τη περιοχή που ορίζεται από τα κέντρα των 4 ομοδιαυλικών κυψελών της κυψέλης 1 (επόμενη διαφάνεια)
- Λόγω συμμετρίας, αυτή η περιοχή περιέχει τις K κυψέλες της ομάδας επαναχρησιμοποίησης της κεντρικής κυψέλης και $K/4$ των αντίστοιχων κυψελών των 4 περιφερειακών κυψελών, δηλ., συνολικά $K + 4 \cdot (K/4) = 2K$ κυψέλες

Επαναχρησιμοποίηση συχνотήτων – Διδιάστατα συστήματα “τετραγωνικά”



Επαναχρησιμοποίηση συχνότητων – Διδιάστατα συστήματα “τετραγωνικά”

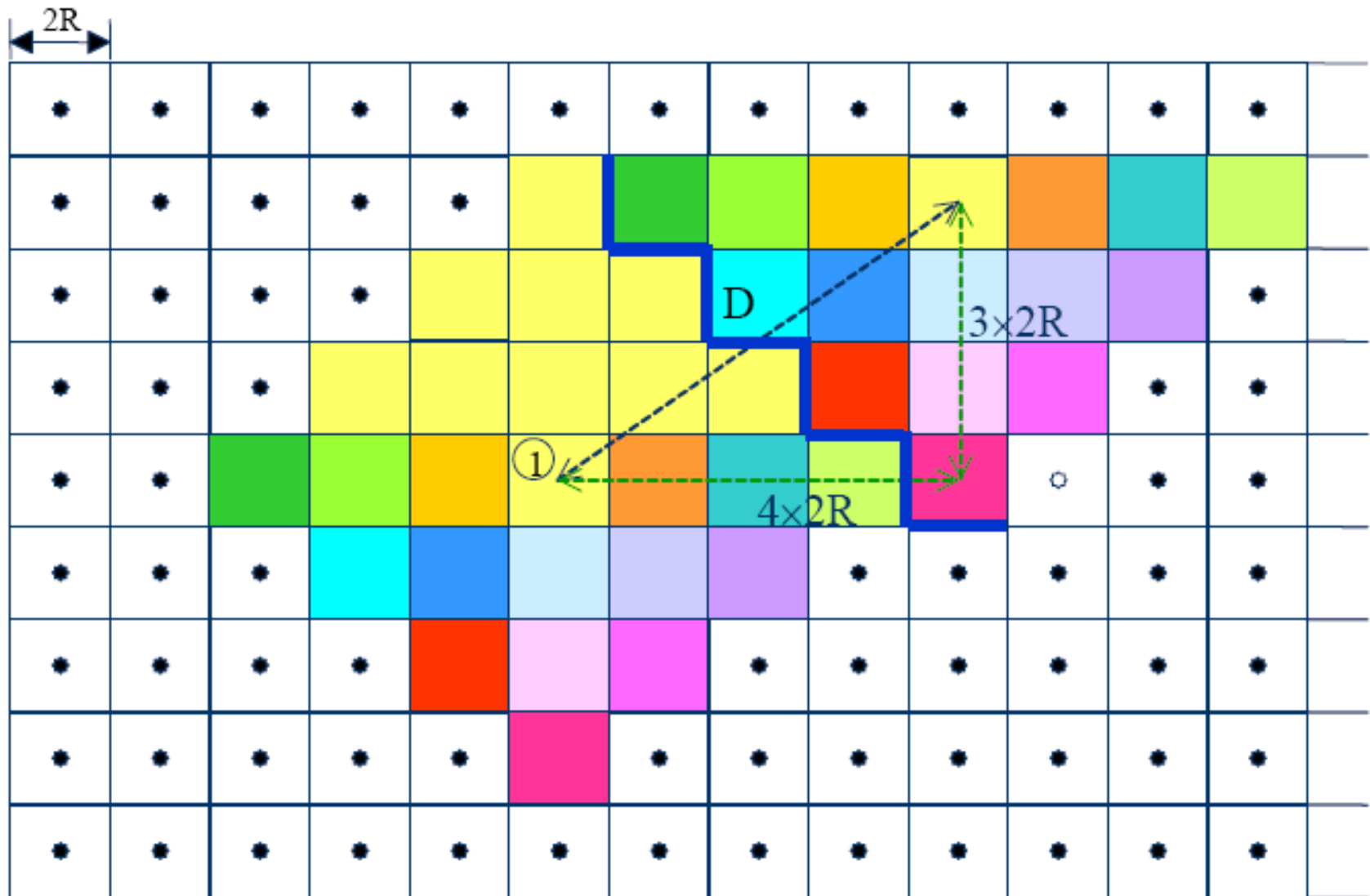
- Δεδομένου ότι το εμβαδό ενός κανονικού πολυγώνου είναι ανάλογο του τετραγώνου της πλευράς του, θα έχουμε:

$$2K = \frac{Area_{square_{D\sqrt{2}}}}{Area_{cell}} = \frac{2D^2}{(2R)^2} =$$

$$= \frac{2(i^2 + j^2) \times (2R)^2}{(2R)^2} = 2(i^2 + j^2) \Rightarrow K = (i^2 + j^2)$$

- Αφού τα i και j παίρνουν ακέραιες τιμές, το K παίρνει τιμές: 1, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 13, 16, 17, 20, 25, ...
- Πώς βρίσκουμε τις ομοδιαυλικές κυψέλες? Ξεκινάμε από τη δοθείσα κυψέλη, πηγαίνουμε κάθετα στην κάθε πλευρά της για i βήματα, “στρίβουμε” αριστερά κατά 90° , και κάνουμε j βήματα

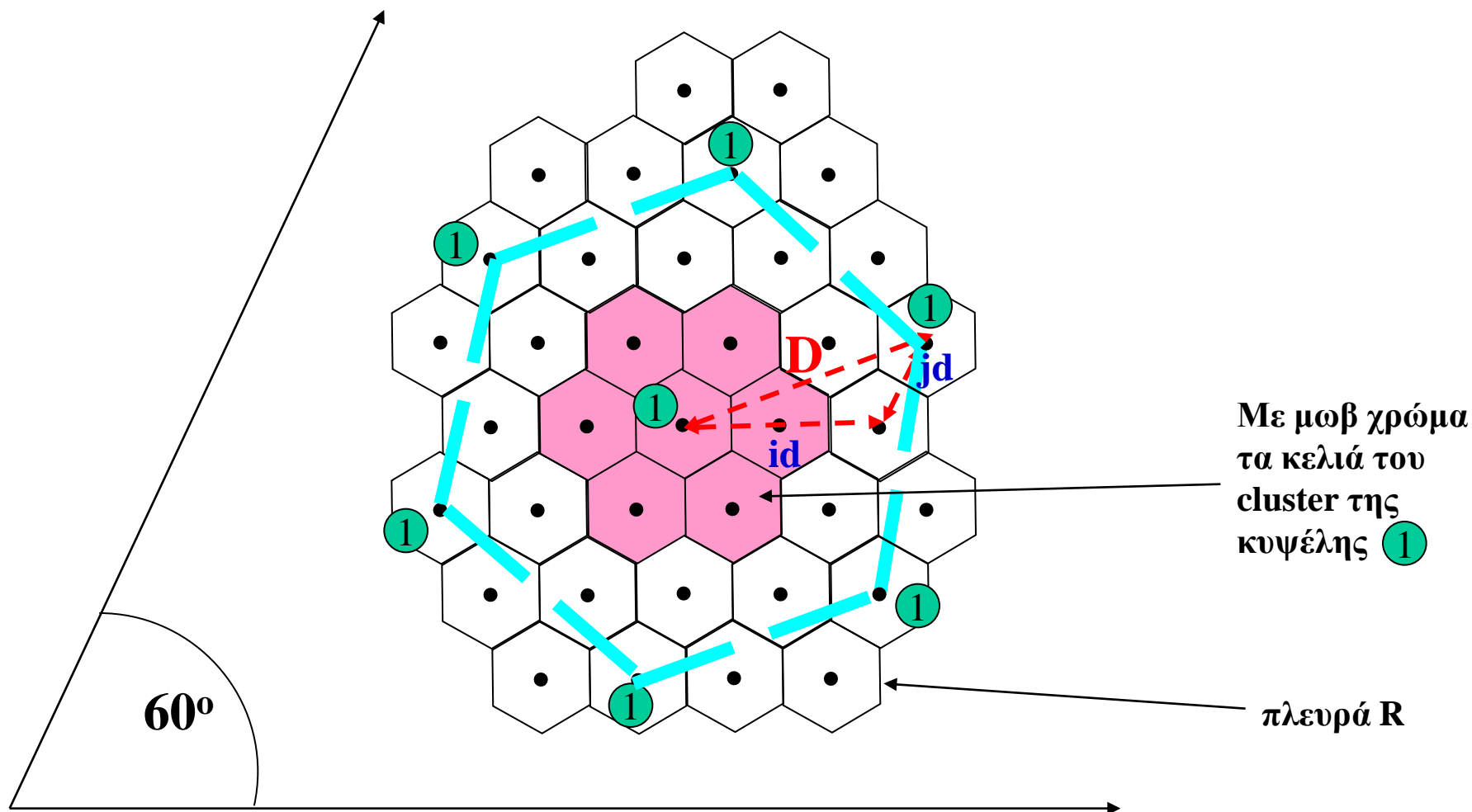
Παράδειγμα: $K=25$, square cell



Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων – Διδιάστατα συστήματα “εξαγωνικά” με τριγωνική τοποθέτηση BS

- Σύστημα πλαγίων αξόνων, γωνία 60°
- Τα κέντρα των κυψελών απέχουν ακέραια πολλαπλάσια των ποσοτήτων $i*d$ και $j*d$
- Τότε (νόμος συνημιτόνων): $D = (id)^2 + (jd)^2 - 2(id)(jd) \cos \theta$
 $(\theta = 120^\circ) \Rightarrow D = d\sqrt{i^2 + ij + j^2}$
- Θεωρούμε τη περιοχή που ορίζεται από τα κέντρα των 6 ομοδιαυλικών κυψελών της κυψέλης 1 (επόμενη διαφάνεια)
- Λόγω συμμετρίας, αυτή η περιοχή περιέχει τις K κυψέλες της ομάδας επαναχρησιμοποίησης της κεντρικής κυψέλης και $K/3$ των αντίστοιχων κυψελών των 6 περιφερειακών κυψελών, δηλ., συνολικά $K + 6*(K/3) = 3K$ κυψέλες

Επαναχρησιμοποίηση συχνотήτων – Διδιάστατα συστήματα “εξαγωνικά”



Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων – Διδιάστατα συστήματα “εξαγωνικά”

- Δεδομένου ότι το εμβαδό ενός κανονικού πολυγώνου είναι ανάλογο του τετραγώνου της πλευράς του, θα έχουμε:

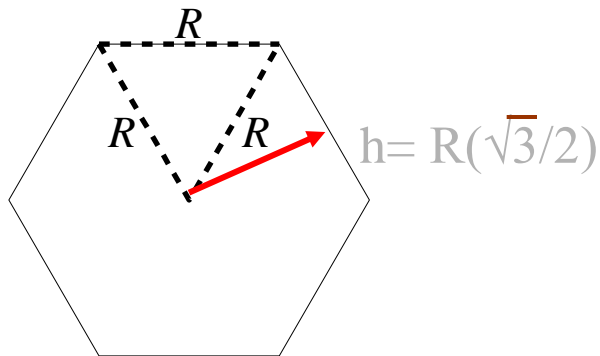
$$3K = \frac{Area_{hexagon_D}}{Area_{cell}} = \frac{D^2}{R^2}$$

$$d = R\sqrt{3} \quad K = (i^2 + ij + j^2)$$

- Αφού τα i και j παίρνουν ακέραιες τιμές, το K παίρνει τιμές: 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13,
- Πώς βρίσκουμε τις ομοδιαυλικές κυψέλες? Ξεκινάμε από τη δοθείσα κυψέλη, πηγαίνουμε κάθετα στην κάθε πλευρά της για i βήματα, στρίβουμε αριστερά για 60° και κάνουμε j βήματα

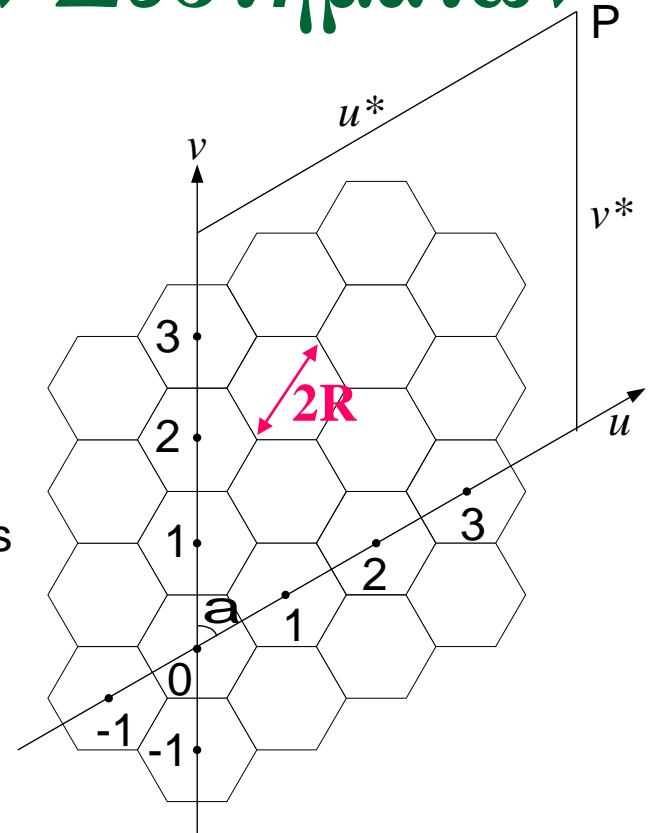
Γεωμετρία Κυψελοειδών Συστημάτων

- Το πλάγιο σύστημα συντεταγμένων της κυψελοειδούς γεωμετρίας



$$a = 60^\circ$$

u^*, v^* : coordinates of point P



- Είναι ένα βολικό σύστημα συντεταγμένων (u, v) : Μονάδα απόστασης κατά μήκος των αξόνων = $\sqrt{3}R$ όπου R η ακτίνα του κάθε κυττάρου.
- Το κέντρο κάθε κυττάρου έχει συντεταγμένες ένα ζεύγος ακεραίων αριθμών.
- Η απόσταση των κέντρων γειτονικών κυττάρων είναι $= 1$

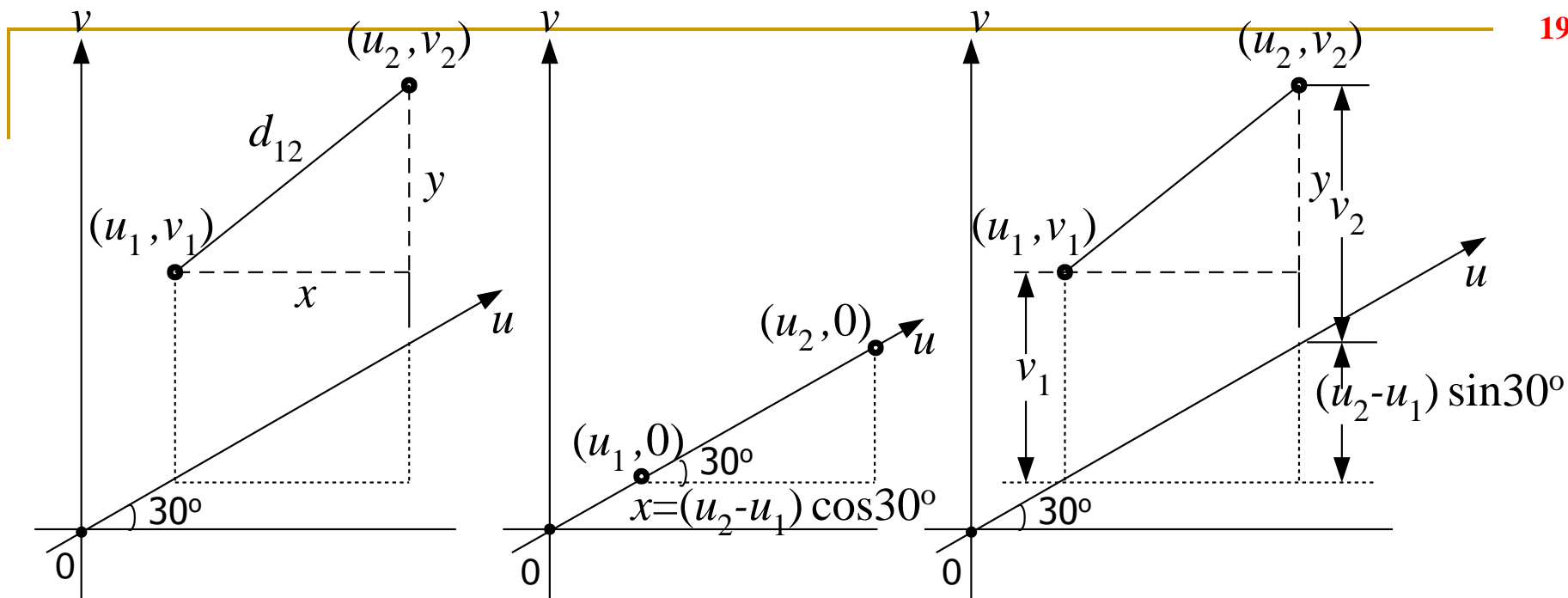
Απόσταση μεταξύ σημείων

- **Θεώρημα:** Στο πλάγιο σύστημα συντεταγμένων (u,v) η απόσταση μεταξύ δυο σημείων (u_1,v_1) και (u_2,v_2) δίδεται από τον τύπο:

$$d_{12} = \sqrt{(u_2 - u_1)^2 + (u_2 - u_1)(v_2 - v_1) + (v_2 - v_1)^2}$$

- **Απόδειξη:** στην επόμενη διαφάνεια
- **Εφαρμογή:** αν $(u_1,v_1) = (0,0)$ και $(u_2,v_2) = (i,j)$ τότε η απόσταση τους είναι:

$$d_{12} = \sqrt{i^2 + ij + j^2}$$



$$d_{12}^2 = x^2 + y^2$$

$$x = (u_2 - u_1) \cos 30^\circ$$

$$y = v_2 + (u_2 - u_1) \sin 30^\circ - v_1$$

$$d_{12}^2 = (u_2 - u_1)^2 \cos^2 30^\circ + (v_2 - v_1)^2 + (u_2 - u_1)^2 \sin^2 30^\circ \\ + 2(u_2 - u_1)(v_2 - v_1) \sin 30^\circ$$

$$= (u_2 - u_1)^2 + (v_2 - v_1)^2 + (u_2 - u_1)(v_2 - v_1)$$

Αριθμός κυττάρων σε μια συστάδα

Υποθέτουμε ότι έχουμε ένα κύτταρο στην θέση $(0, 0)$ και ένα κύτταρο με το ίδιο σύνολο καναλιών (ομοιοκαναλικο) στην θέση (i, j) .

Τότε η απόσταση D (απόσταση επαναχρησιμοποίησης), όπως είδαμε πριν, μεταξύ των ομοιοκαναλικών κυττάρων είναι:

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

❑ Μια συστάδα μπορεί να παρασταθεί με ένα εξάγων ακτίνας R_c .

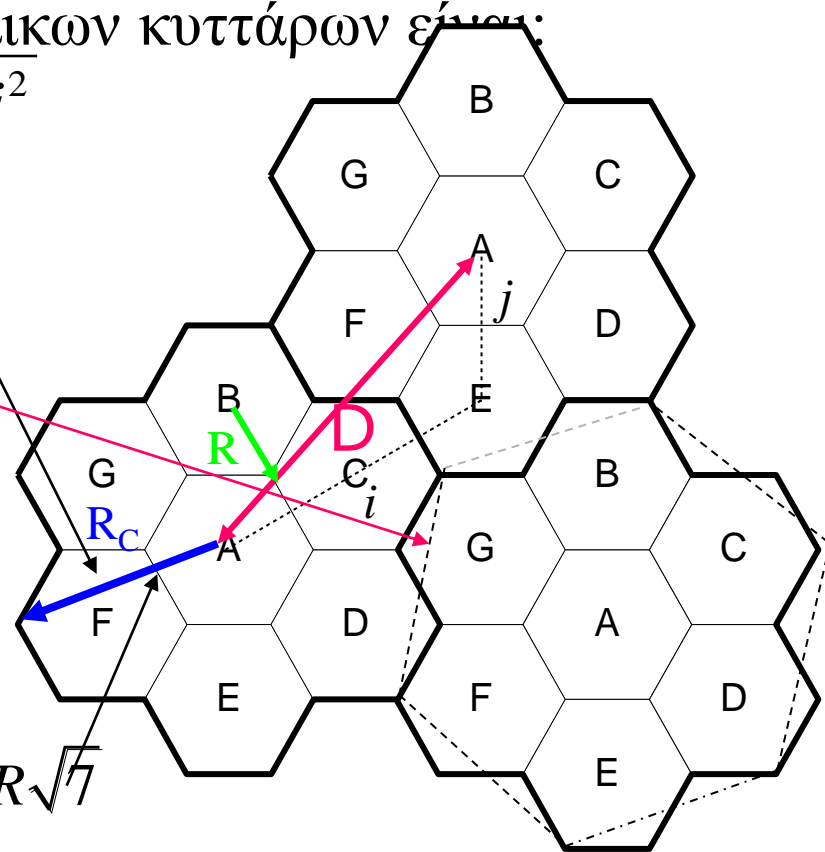
❑ Η απόσταση μεταξύ των κέντρων των συστάδων είναι:

$$\sqrt{i^2 + ij + j^2}$$

❑ Η ακτίνα R_c μιας συστάδας είναι

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

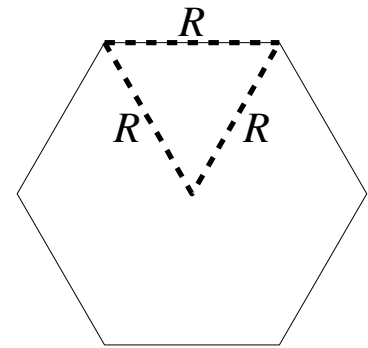
Στο σχήμα, με $N=7$, είναι $i=2$ και $j=1$
 οπότε $D^2 = 2^2 + 2 + 1 = 7 \rightarrow D = (R\sqrt{3})\sqrt{7}$



- Η επιφάνεια ενός εξαγωνου ακτίνας R ευρίσκεται ως εξής:

$$\text{Επιφάνεια του τριγώνου} = \frac{R}{2} R \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{4} R^2$$

$$\text{Επιφάνεια του εξαγωνου} = 6 \frac{\sqrt{3}}{4} R^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2$$



- Ο αριθμός των κυττάρων σε μια συστάδα

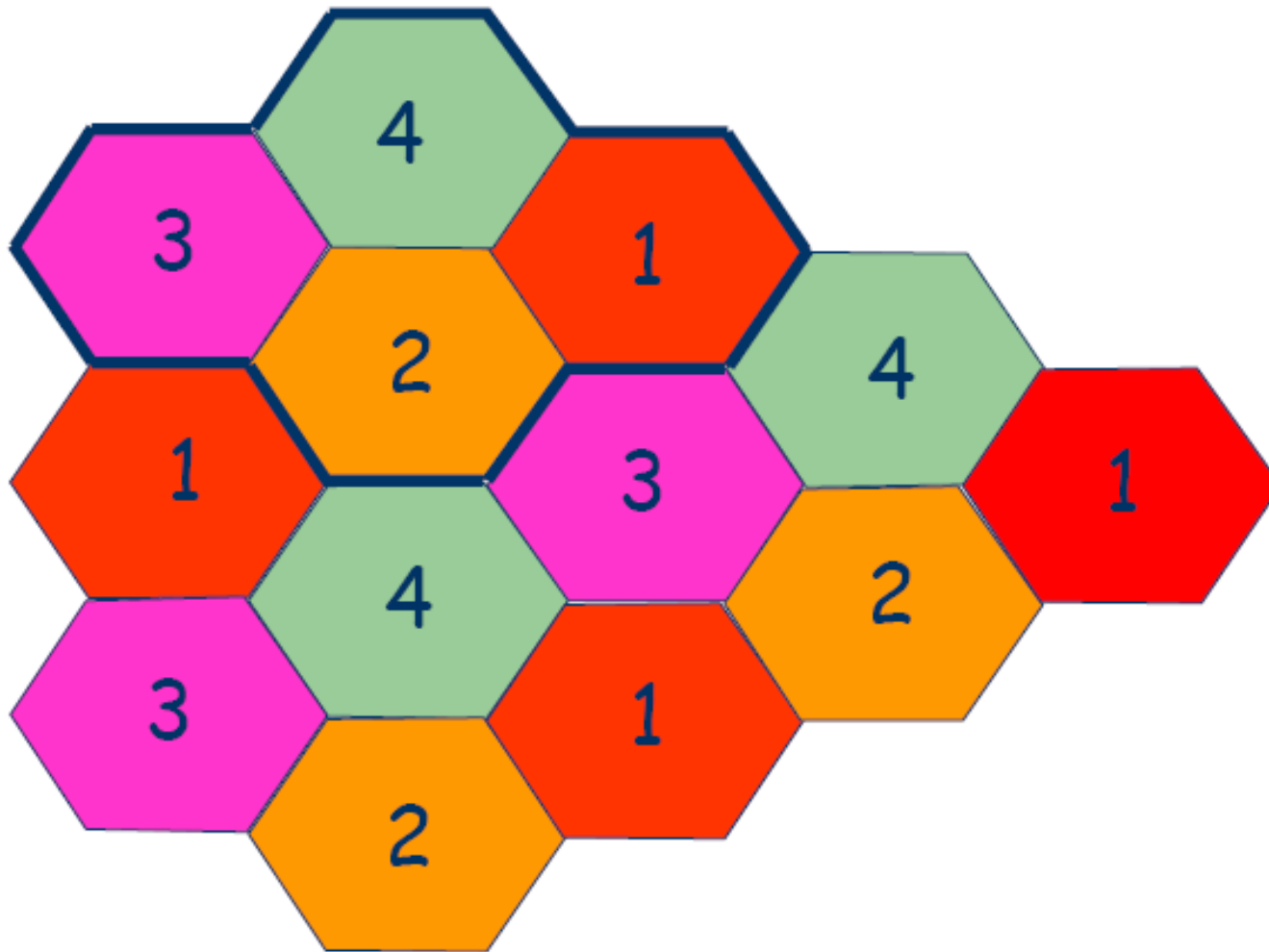
$$N = \frac{\text{επιφανεια συσταδας}}{\text{επιφανεια κυτταρου}} = \frac{\frac{3\sqrt{3}}{2} R_c^2}{\frac{3\sqrt{3}}{2} R^2} = \frac{D^2}{3R^2} = i^2 + ij + j^2$$

- Κατά συνεπεία οι δυνατές τιμές του N είναι 3, 4, 7, 9, 12 κ.λ.π. για απόσταση ομοιοκαναλικων κυττάρων $(i,j) = (1,1), (0,2), (1,2), (0,3), (1,3)$

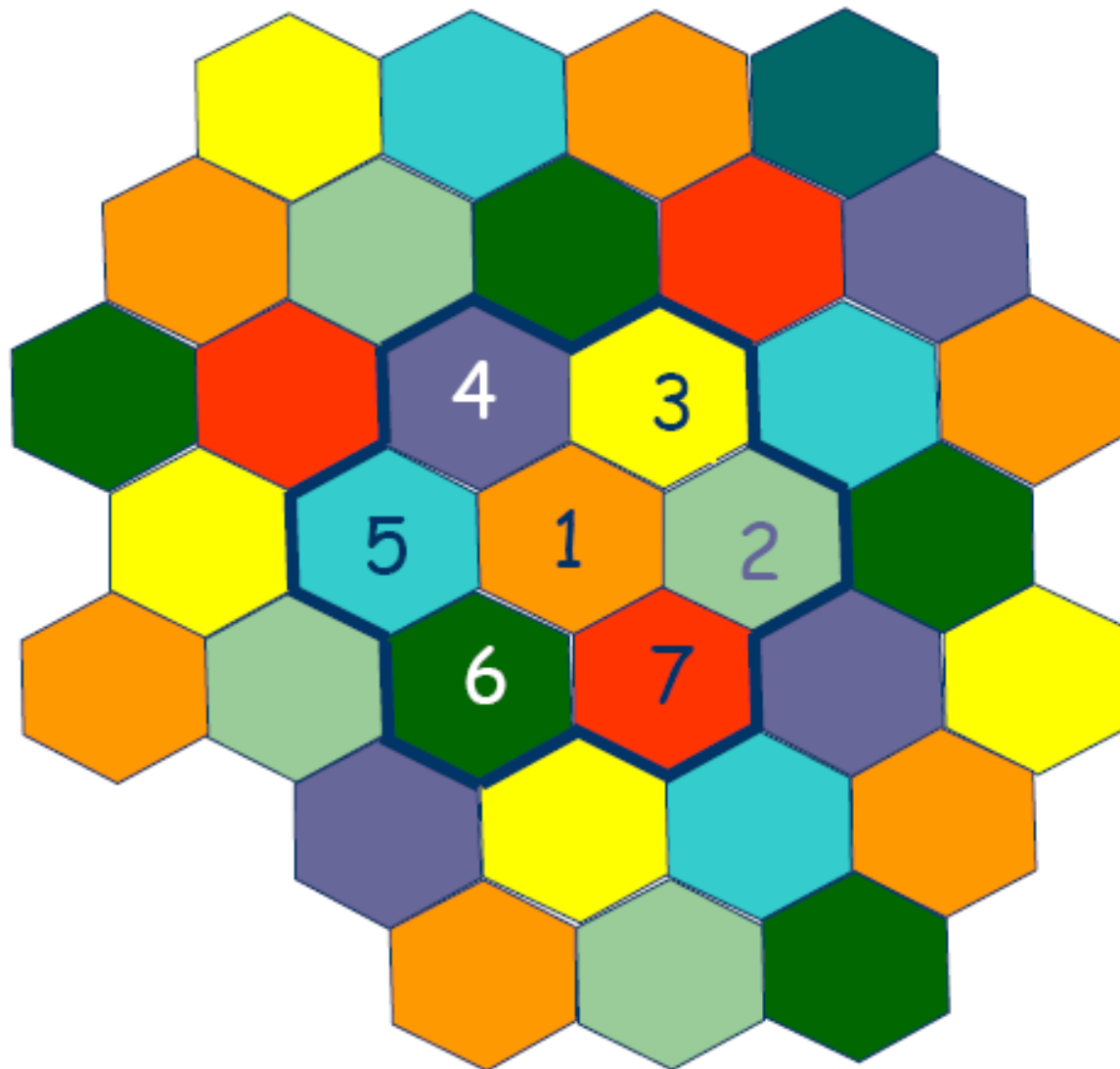
Επομένως ο λόγος q της απόστασης των ομοιοκαναλικών κυττάρων ως προς την ακτίνα του κυττάρου είναι

$$q = \frac{D}{R} = \frac{\sqrt{i^2 + ij + j^2}}{1 / \sqrt{3}} = \sqrt{3N}$$

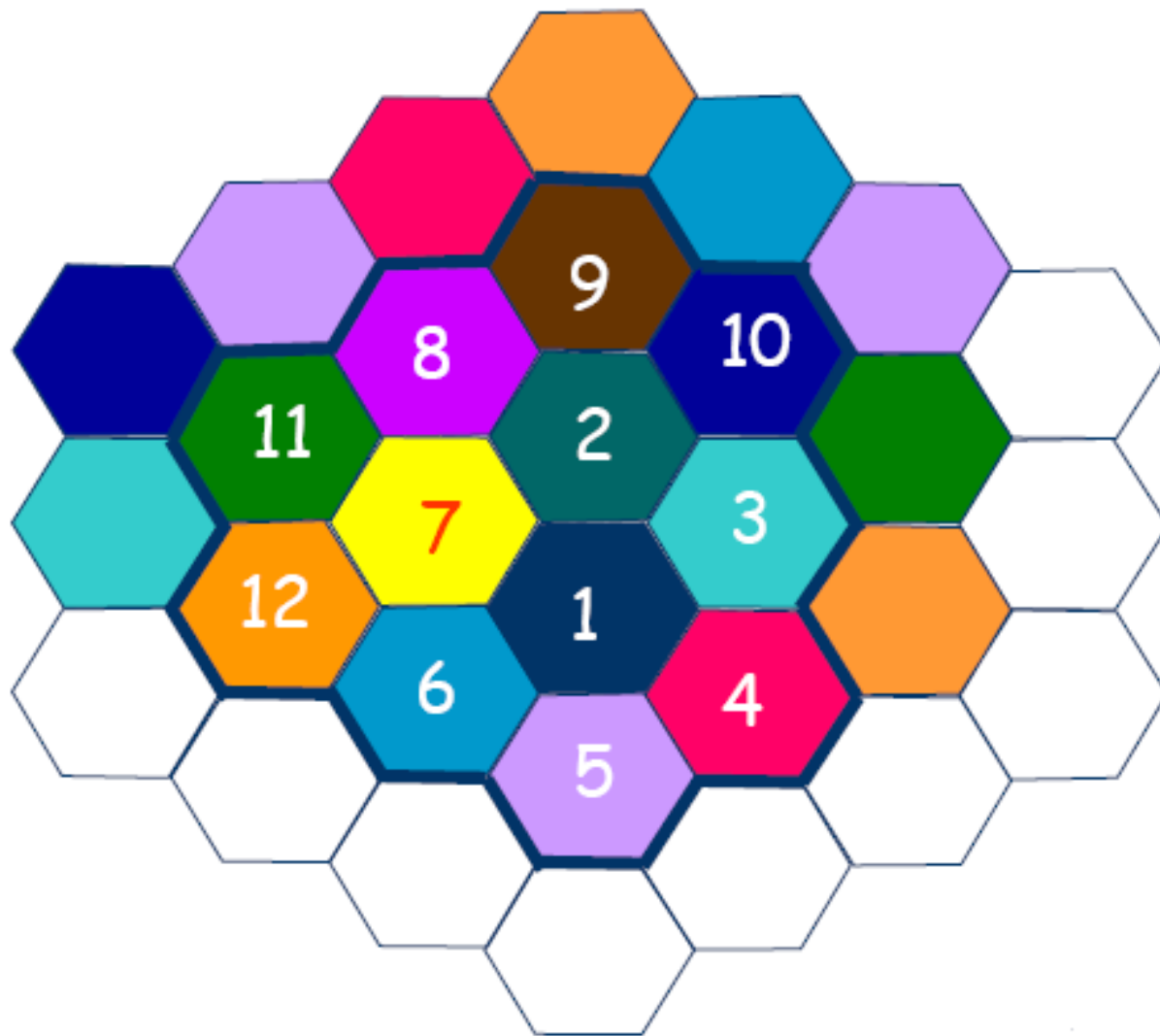
Παράδειγμα: $K=4$



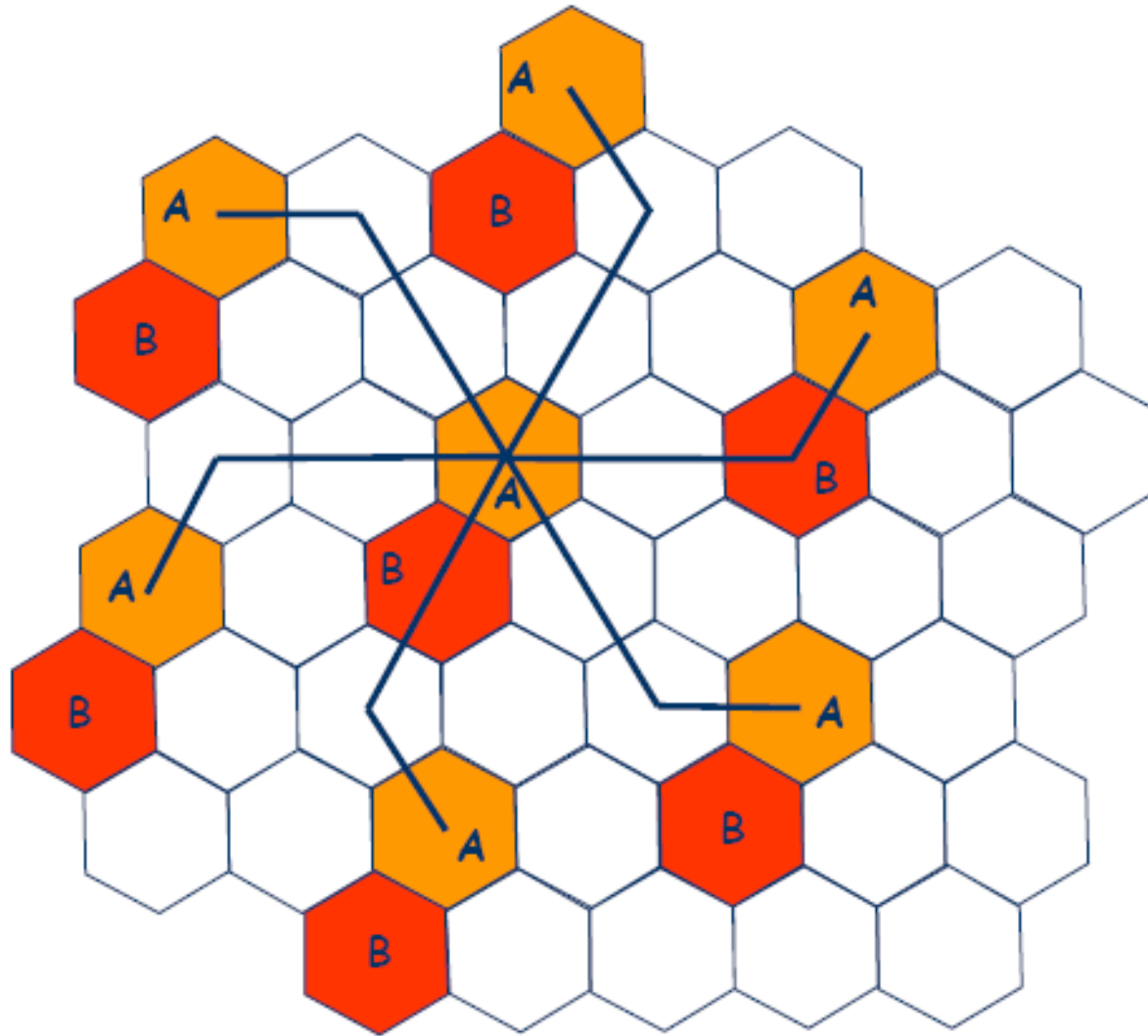
Παράδειγμα: $K=7$



Παράδειγμα: $K=12$



Ομοδιαυλικές κυψέλες: $K=7$ ($i=2, j=1$)



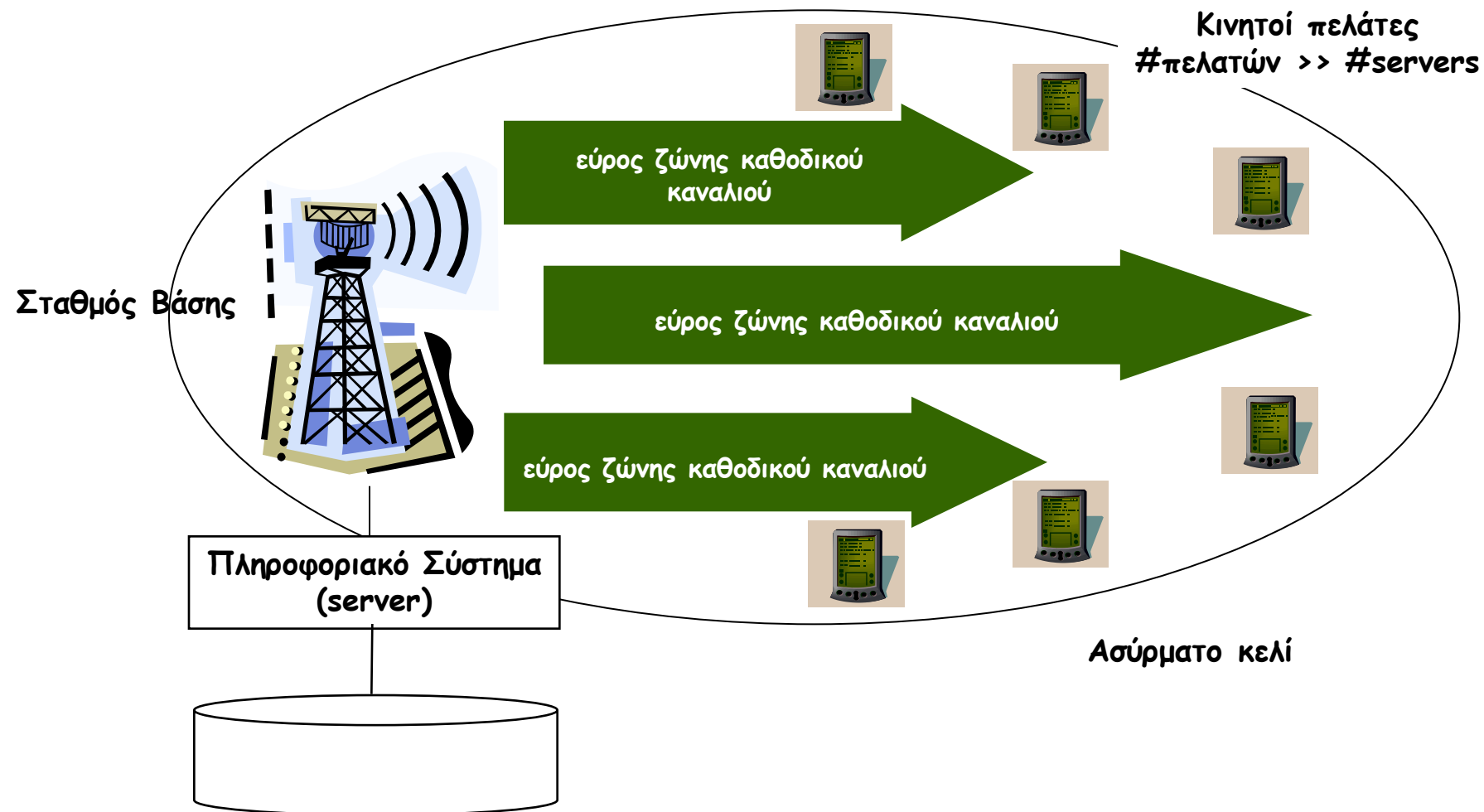
Πολλαπλά κανάλια εκπομπής

Για λόγους όπως:

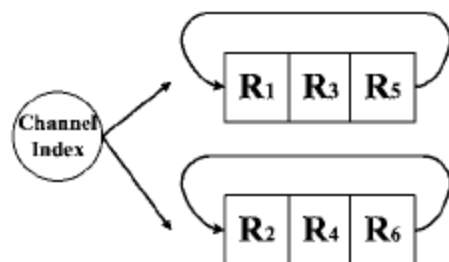
- Application scalability
 - Μια εφαρμογή αποκτά επιπλέον κανάλια για να εξυπηρετήσει μεγαλύτερο πληθυσμό
- Fault tolerance
 - Τρεις servers εκπέμπουν σε μια γεωγραφική περιοχή σε μη συνεχόμενες συχνότητες, αλλά οι δυο παθαίνουν βλάβη και τα κανάλια τους ανατίθενται στον τρίτο
- Reconfiguration of adjoining cells
 - Γειτονικά κελιά εξυπηρετούνται από διαφορετικούς servers, αλλά τα κελιά συνενώνονται και τα κανάλια ανατίθενται στον έναν από τους δυο
- Heterogeneous clients
 - Πελάτες με ετερογενείς δυνατότητες

Είναι δυνατόν να υπάρχουν πολλαπλά κανάλια εκπομπής

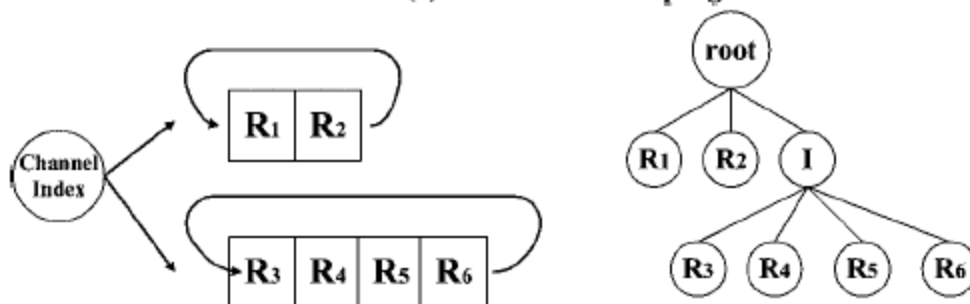
Εμπομπή σε Πολλαπλά Κανάλια



Ιεραρχικά προγράμματα εκπομπής



(a) A flat broadcast program

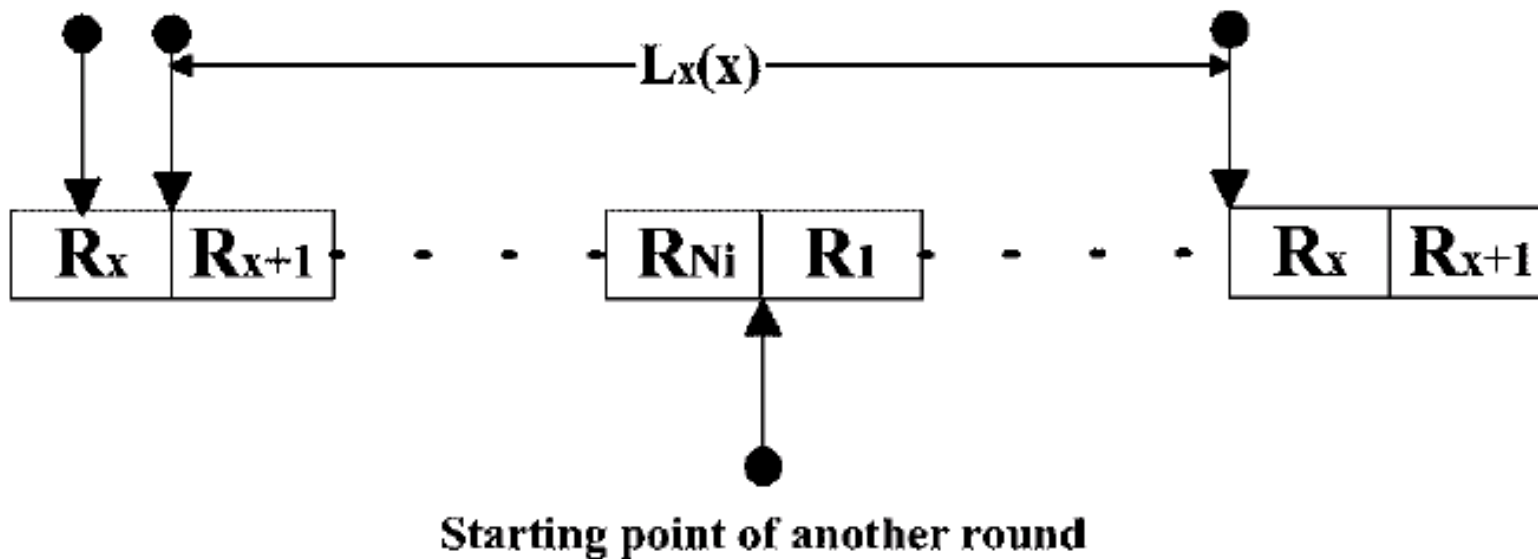


(b) A hierarchical broadcast program with its tree representation

	Access frequency						Average expected delay	
	$P_r(R_1)$	$P_r(R_2)$	$P_r(R_3)$	$P_r(R_4)$	$P_r(R_5)$	$P_r(R_6)$	in figure 1(a)	in figure 1(b)
Case 1	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	0.167	1	1.16
Case 2	0.25	0.25	0.125	0.125	0.125	0.125	1	1
Case 3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	1	0.9
Case 4	0.4	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	1	0.7

Μέση καθυστέρηση σε ένα κανάλι

Request for data item x



Μέση καθυστέρηση για
κάθε αντικείμενο στο
κανάλι i είναι:

$$\sum_{x=1}^{N_i} (N_i - x) / N_i$$

Δημιουργία ιεραρχικών προγραμμ.

Property 2. Let $t_i = \sum_{h=1}^i N_h$ and $t_0 = 0$. Then, N_i data items, denoted by R_j , $t_{i-1} + 1 \leq j \leq t_i$, are allocated to broadcast disk i , and $d_i = d_{R_j}$ for $j \in [t_{i-1} + 1, t_i]$.

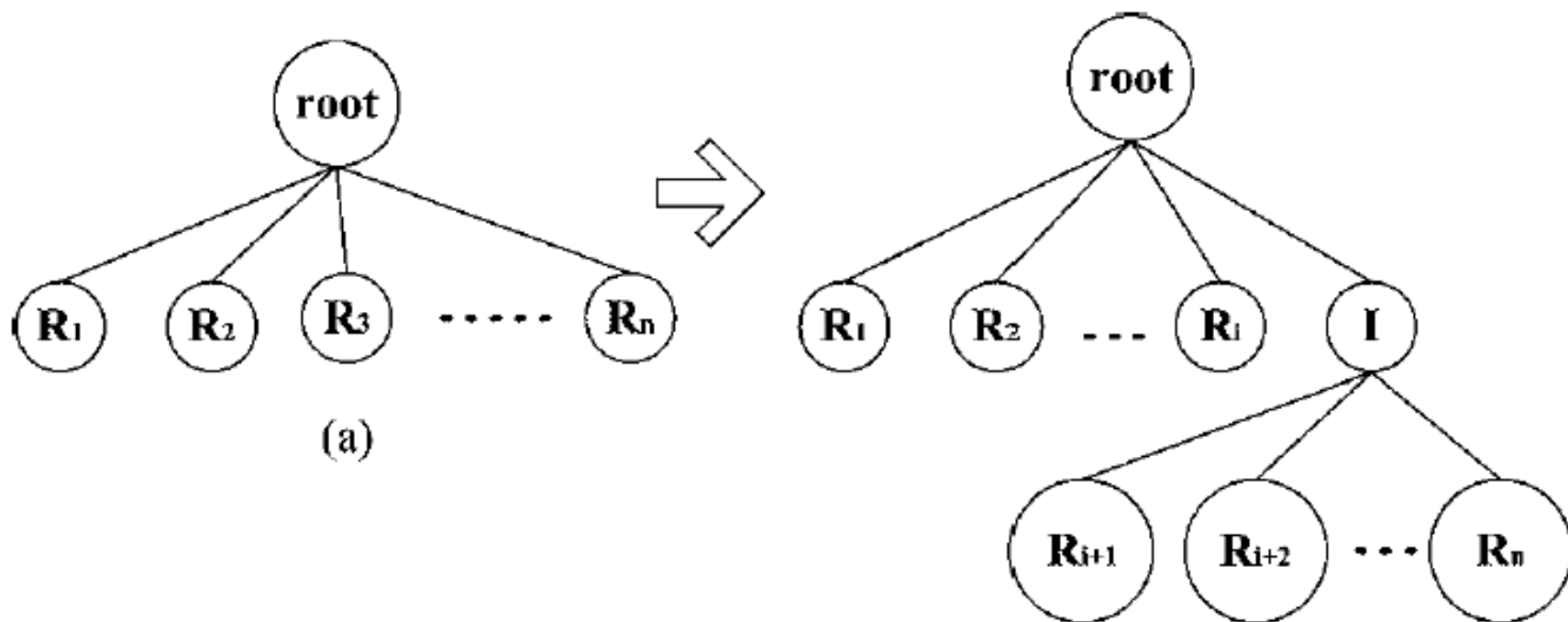
$$\sum_{j=1}^n d_{R_j} \cdot P_r(R_j)$$

Πρόβλημα
Δημιουργίας
Ιεραρχικού
Προγράμματος
Εκπομπής

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^K d_i \sum_{j=t_{i-1}+1}^{t_i} P_r(R_j) \\ &= \sum_{i=1}^K \left(\sum_{q=1}^{N_i} \frac{N_i - q}{N_i} \right) \sum_{j=t_{i-1}+1}^{t_i} P_r(R_j), \end{aligned}$$

where $t_i = \sum_{h=1}^i N_h$ and $t_0 = 0$.

Δενδρική αναπαράσταση



(a)

Κόστος επιπέδου του δένδρου

Definition 1. Suppose that level v in the allocation tree has $j - i + 1$ data nodes, R_i, R_{i+1}, \dots, R_j . The cost of level v is defined as

$$C_{i,j} = \sum_{k=1}^{j-i+1} \frac{(j-i+1) - k}{j-i+1} \sum_{q=i}^j P_r(R_q),$$

which is equal to $w_v \cdot P_{L_v}$, where w_v and P_{L_v} are, respectively, the weight of leaf nodes and the aggregate access frequency for the leaf nodes in level v of the allocation tree.

Definition 2. Suppose that node R has $j - i + 1$ child data nodes, R_i, R_{i+1}, \dots, R_j , which are sorted according to the descending order of $P_r(R_q)$, $i \leq q \leq j$, i.e., $P_r(R_q) \geq P_r(R_y)$ iff $q \leq y$. The reduction gain achieved by grouping nodes $R_{p+1}, R_{p+2}, \dots, R_j$ and attaching them under a new child node, denoted by $\delta(p)$, can be formulated as $\delta(p) = C_{i,j} - (C_{i,p} + C_{p+1,j})$.

Αλγόριθμος VF^K

Input. Assume that R_1, \dots, R_n have been sorted according to the descending order of $P_r(R_j)$, $1 \leq j \leq n$, i.e., $P_r(R_q) \geq P_r(R_y)$ iff $q \leq y$. K is the number of broadcast disks in a broadcast disk array.

Output. The resulting allocation tree.

begin

1. Create table AT with K rows;
2. $AT(1).B = 1$; /* $AT(1).B$ records the beginning of level 1 */
3. $AT(1).E = n$; /* $AT(1).E$ records the end of level 1 */
4. $AT(1).LC = C_{1,n}$; /* $AT(1).LC$ records the cost of level 1 */
5. **for** each row i in table AT and $i \geq 2$
6. **begin**
7. $AT(i).B = 0$; /* $AT(i).B$ records the beginning of level i */
8. $AT(i).E = 0$; /* $AT(i).E$ records the end of level i */
9. $AT(i).LC = 0$; /* $AT(i).LC$ records the cost of level i */
10. **end**
11. $pivot = 1$;

Αλγόριθμος VF^K

```

12. repeat
13.   begin
14.     Choose row  $i$  from table  $AT$  such that  $AT(i).LC$  is maximal
        among all unmarked rows;
15.     if ( $i == 1$  or  $i == pivot$ ) /* Upward and downward partition */
16.       begin
17.          $j = Partition(R_{AT(i).B}, R_{AT(i).B+1}, \dots, R_{AT(i).E})$ ;
18.         { Update table  $AT$  accordingly and unmark all rows;
19.            $pivot++$ ; }
20.       end
21.     else /* Middle partition */
22.       begin
23.          $j = Partition(R_{AT(i).B}, R_{AT(i).B+1}, \dots, R_{AT(i).E})$ ;
24.         if ( $AT(i-1).E - AT(i-1).B < (j - AT(i).B)$ )
25.           { Update table  $AT$  accordingly and unmark all rows;
26.              $pivot++$ ; }
27.         else {
28.           Mark row  $i$ ;
29.           Merge ( $R_{AT(i).B}, R_{AT(i).B+1}, \dots, R_j$ ) and
              ( $R_{j+1}, R_{j+2}, \dots, R_{AT(i).E}$ ) together; }
30.         end
31.       end
32.   until ( $pivot == K$ )
end

```

Αλγόριθμος VF^K

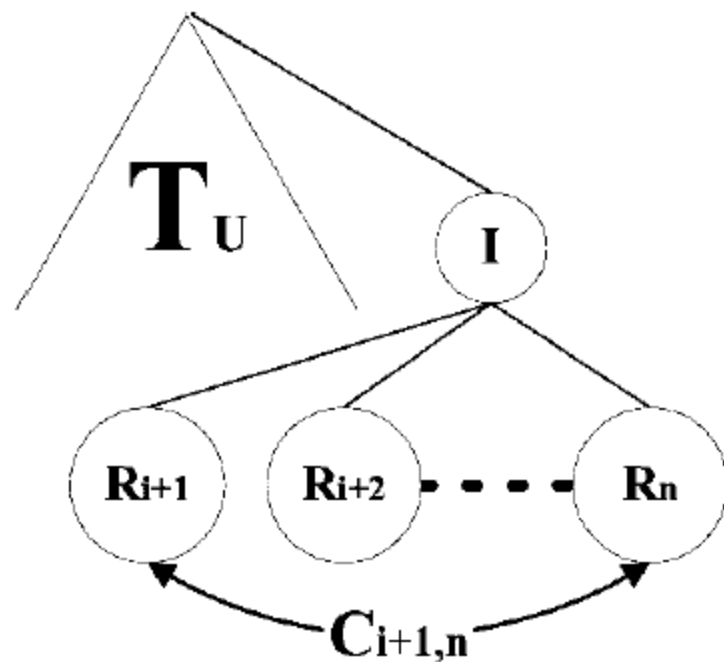
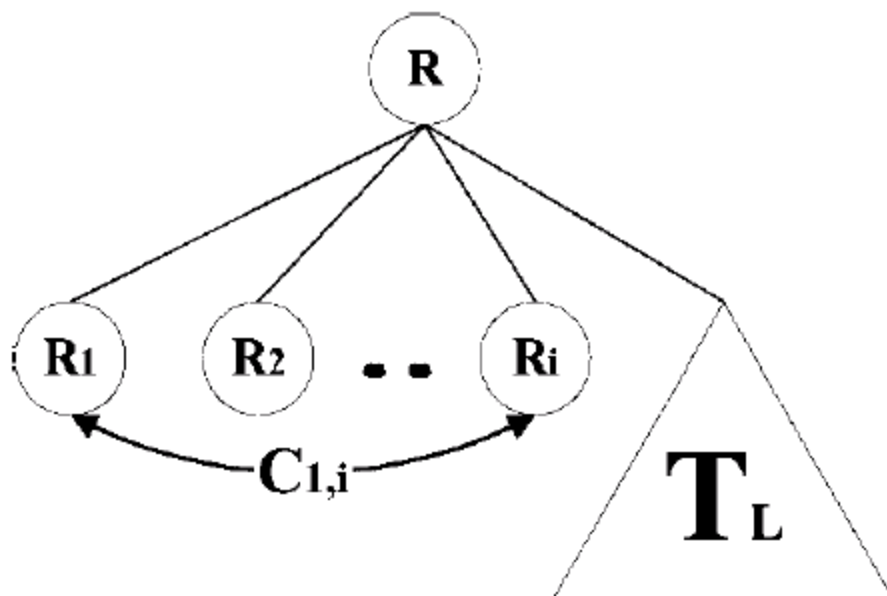
Procedure *Partition*(R_i, R_{i+1}, \dots, R_j).

1. Determine p^* such that

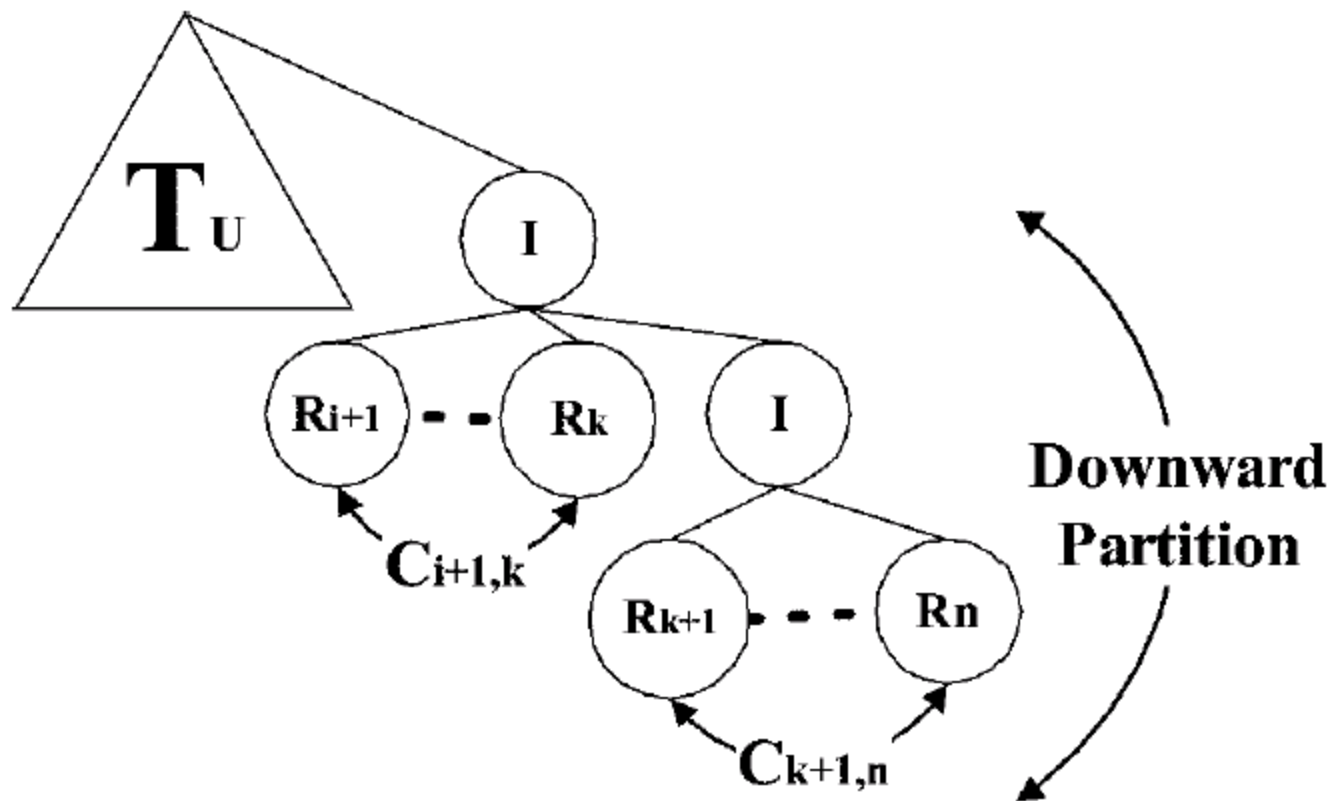
$$\delta(p^*) = \max_{\forall p \in \{i, i+(j-i+1)/2-1\}} \{\delta(p)\}.$$

2. Attach nodes $R_{p^*+1}, R_{p^*+2}, \dots, R_j$ under a new node I in the tree.
3. Return p^* .

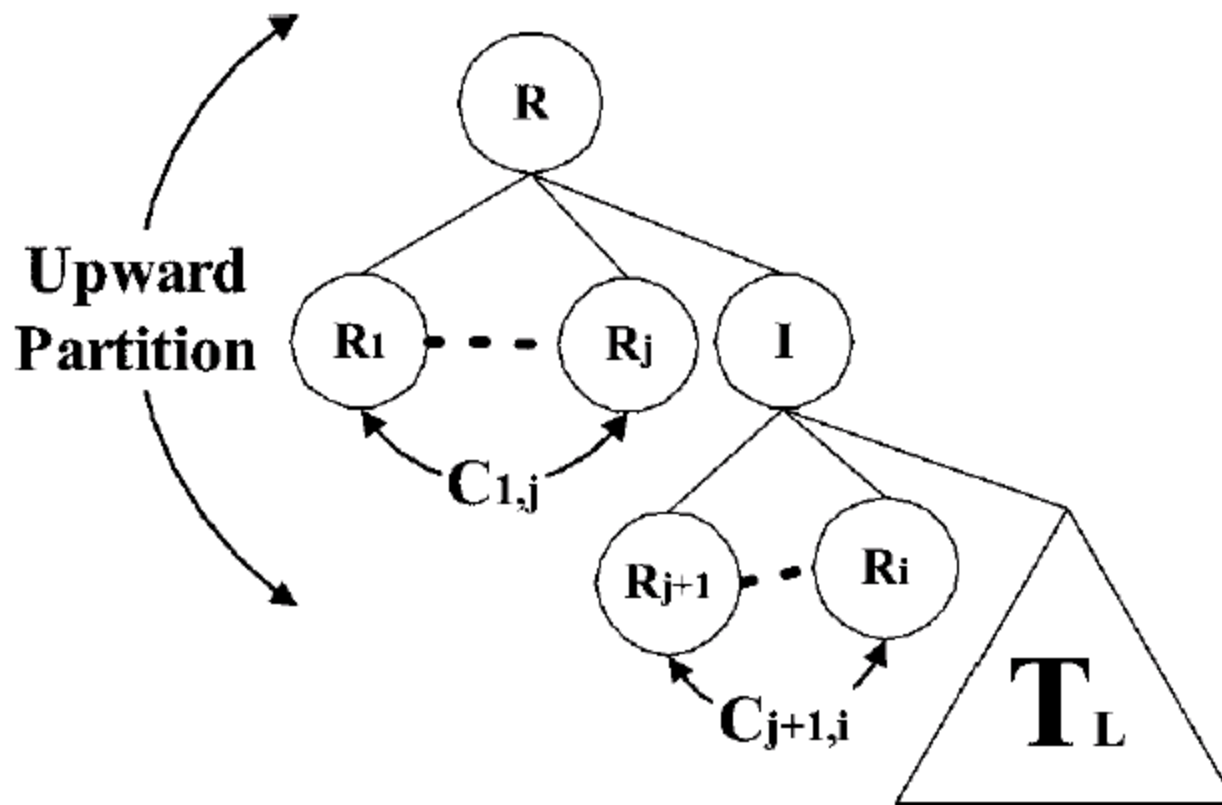
Αλγόριθμος VF^K



Αλγόριθμος VF^K



Αλγόριθμος VF^K



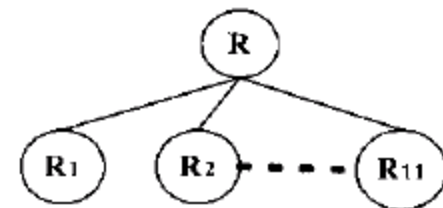
Παράδειγμα του VF^K

Data record	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}
$P_r(R_i)$	0.237	0.211	0.132	0.132	0.08	0.05	0.05	0.027	0.027	0.027	0.027

(a) Partition $(R_1, R_2, \dots, R_{11})$ is selected and decomposed to (R_1, \dots, R_4) and (R_5, \dots, R_{11}) .

Level i	$AT(i).B$	$AT(i).E$	$AT(i).LC$
1	1	11	5*
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0

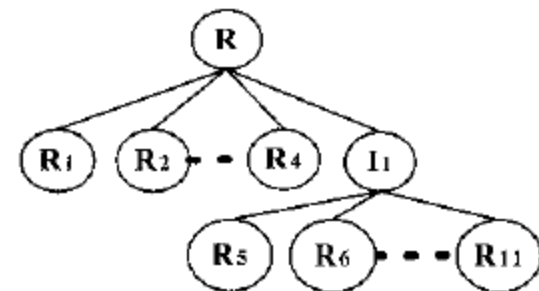
p	1	2	3	4	5
$C_{1,11}$	5	5	5	5	5
$C_{1,p} + C_{p+1,11}$	3.4335	2.484	2.05	1.932	2.104
$\delta(p)$	1.5665	2.516	2.95	3.068*	2.896



Παράδειγμα του VF^K

(b) Partition (R_1, R_2, \dots, R_4) is selected and decomposed to (R_1, R_2) and (R_3, R_4) .

Level i	$AT(i).B$	$AT(i).E$	$AT(i).LC$
1	1	4	1.068*
2	5	11	0.864
3	0	0	0
4	0	0	0
<hr/>			
p		1	2
$C_{1,4}$		1.068	1.068
$C_{1,p} + C_{p+1,4}$		0.475	0.356
$\delta(p)$		0.593	0.712*

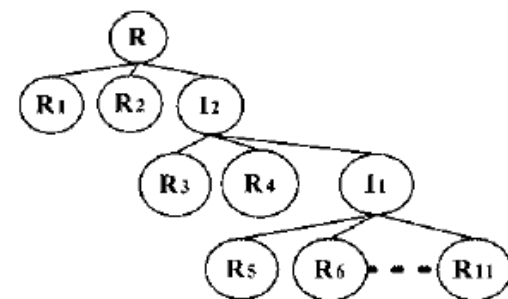


Παράδειγμα του VF^K

(c) Partition $(R_5, R_6, \dots, R_{11})$ is selected and decomposed to (R_5, \dots, R_7) and (R_8, \dots, R_{11}) .

Level	$AT(i).B$	$AT(i).E$	$AT(i).LC$
1	1	2	0.224
2	3	4	0.132
3	5	11	0.864*
4	0	0	0

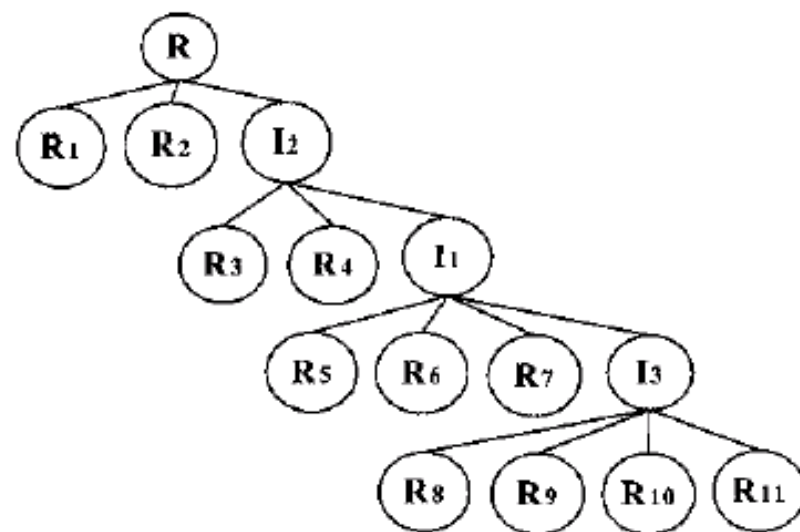
p	5	6	7
$C_{5,11}$	0.864	0.864	0.864
$C_{5,p} + C_{p+1,11}$	0.52	0.381	0.342
$\delta(p)$	0.344	0.483	0.522*



Παράδειγμα του VF^K

(d) The final result of table AT .

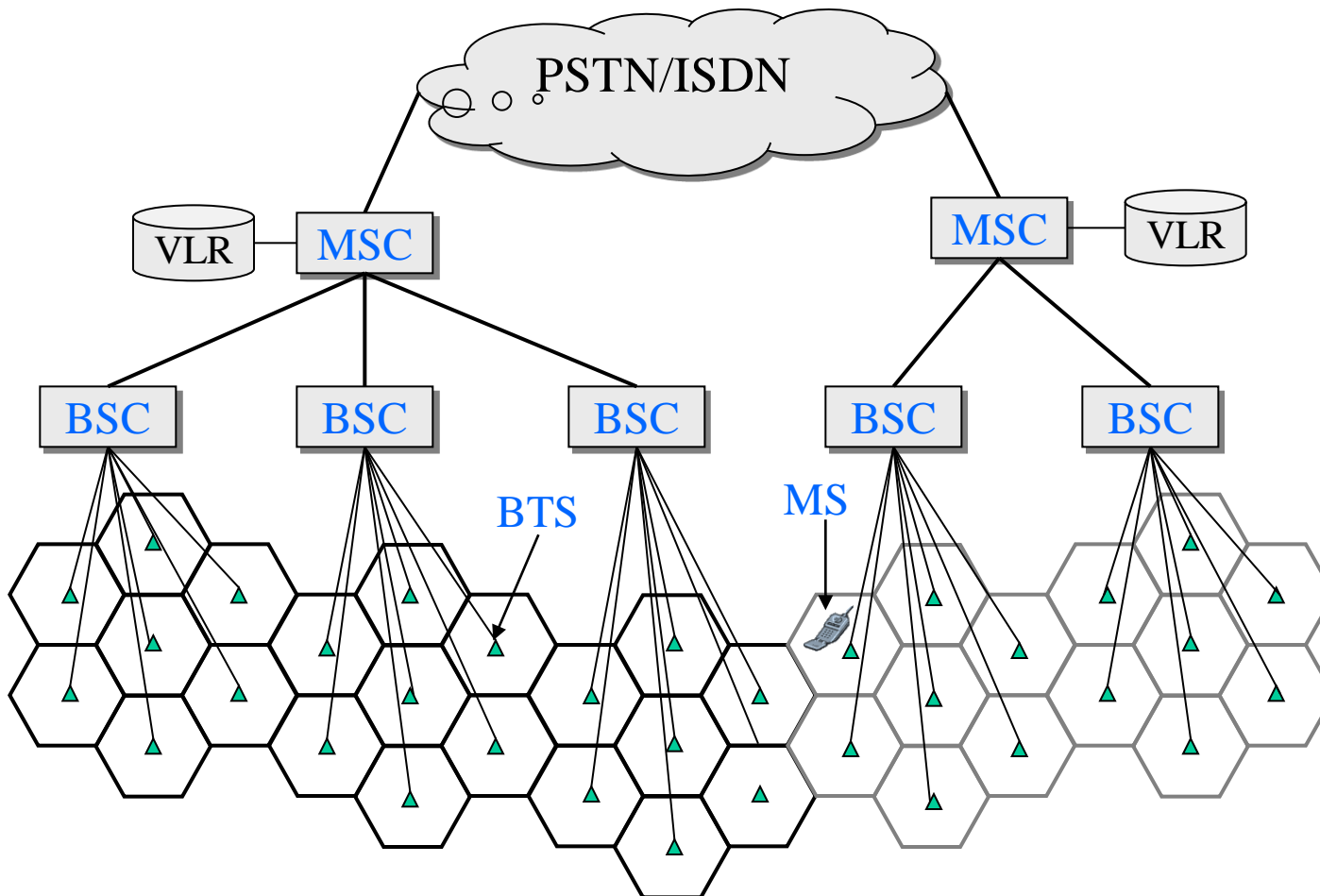
Level i	$AT(i).B$	$AT(i).E$	$AT(i).LC$
1	1	2	0.224
2	3	4	0.132
3	5	7	0.18
4	8	11	0.162



Περιεχόμενα

- Αρχιτεκτονική δικτύου
- Μοντέλα κινητικότητας
- Διαχείριση θέσης: Registration

Αρχιτεκτονική 2G PCS



MS : Mobile Station

MSC : Mobile Services Switching Center

BTS : Base Transmitter Station VLR : Visitor Location Register

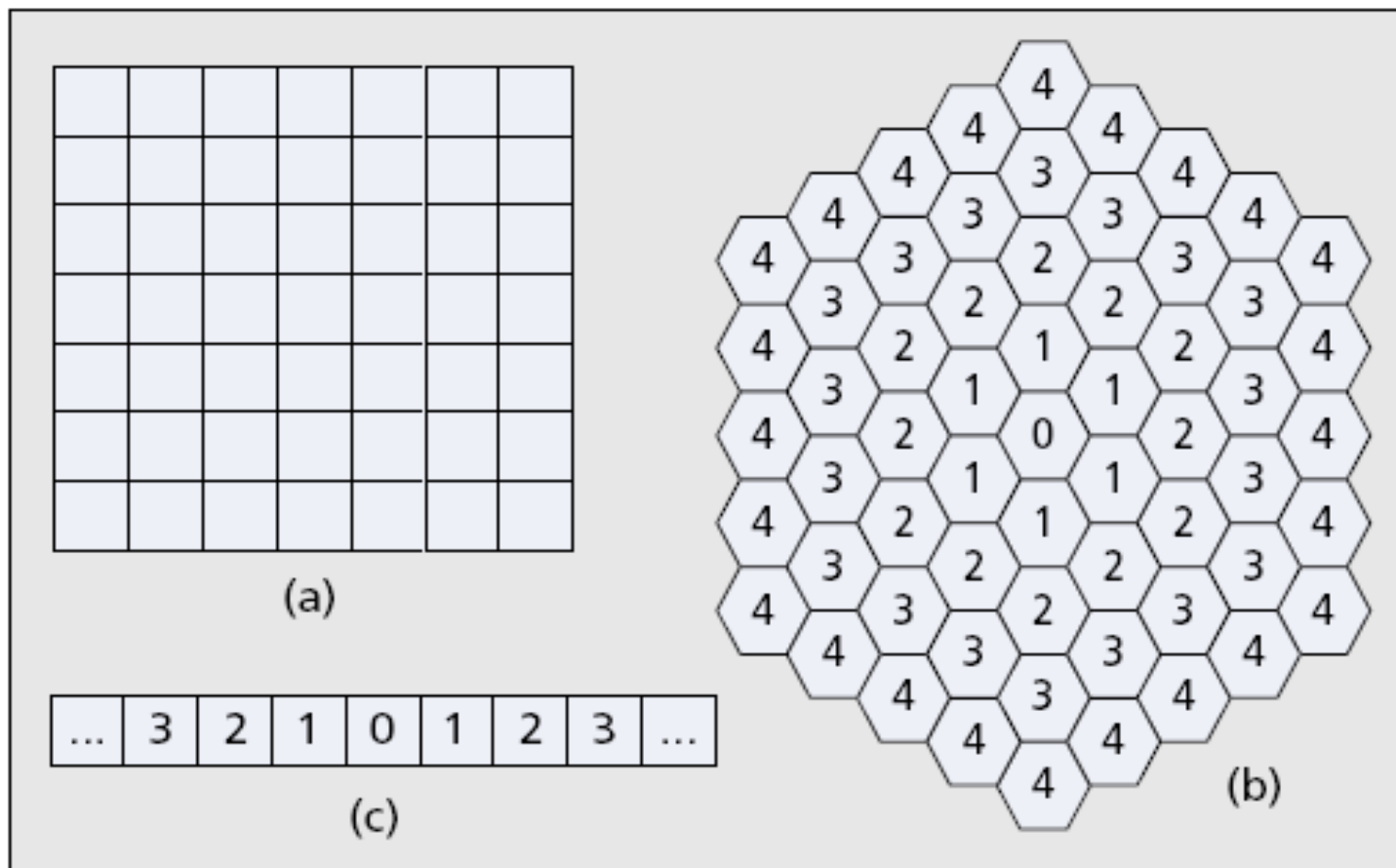
BSC : Base Station Controller

Περιεχόμενα

- Αρχιτεκτονική δικτύου
- **Μοντέλα κινητικότητας**
- Διαχείριση θέσης: Registration

Τοπολογίες δικτύου (1/2)

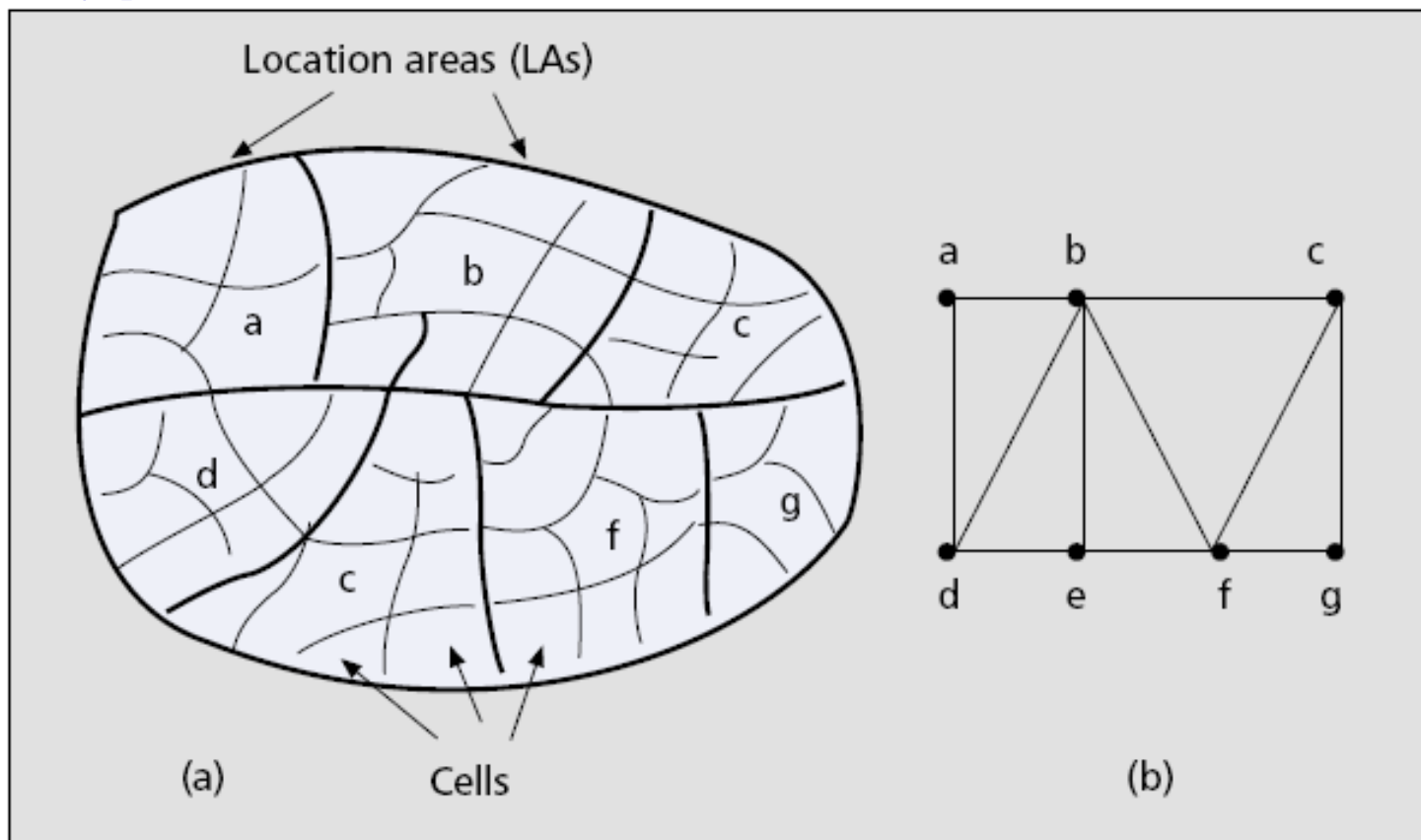
Regular / Γεωμετρικά



■ Figure 3. Regular cell topology: (a) mesh; (b) hexagonal; (c) linear.

Τοπολογίες δικτύου (2/2)

Irregular / Συμβολικά



■ Figure 1. A representation of an actual cellular network topology by a graph: a) the cell and LA topology in a cellular network; b) a graph model showing the interconnections of the LAs.

Μοντέλο Fluid Flow

- Η πιθανότητα στη θέση x στο χρόνο t ενός κινητού που ξεκινά από τη θέση x_0 στο χρόνο t_0 είναι:

$$P_x(x | x_0, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D(t - t_0)}} \exp\left\{-\frac{[x - x_0 - v(t - t_0)]^2}{2D(t - t_0)}\right\}, \quad t \geq t_0,$$

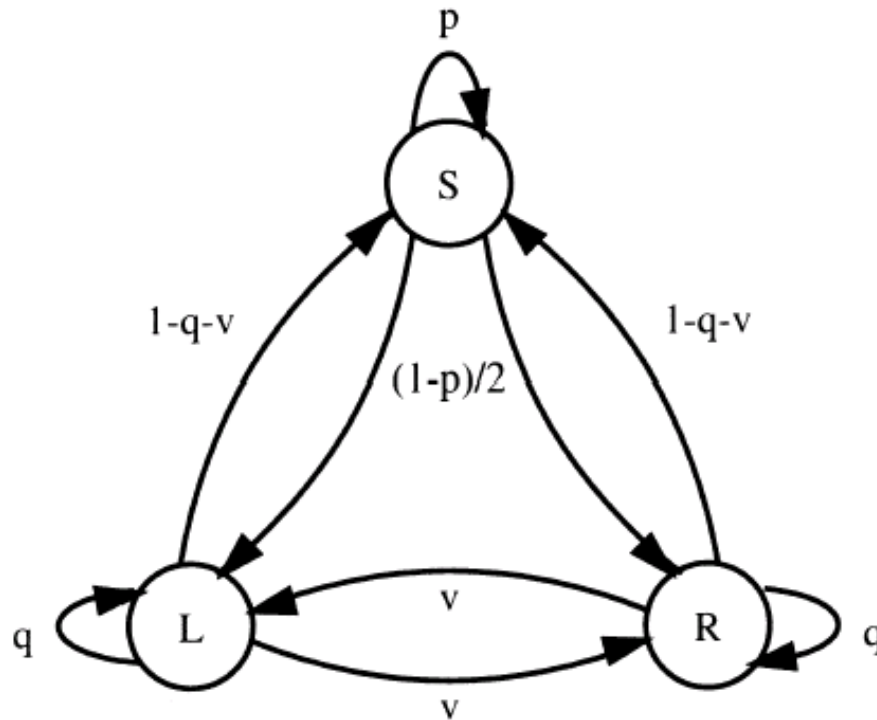
- όπου D η σταθερά διάχυσης ($\text{length}^2/\text{time}$), παράμετρος που αναπαριστά την επιτάχυνση της κίνησης, v είναι η drift ταχύτητα ($\text{length}/\text{time}$) που αναπαριστά τη μέση ταχύτητα του κινητού
- Υψηλή D και v σημαίνουν πολύ ενεργή κίνηση, ενώ χαμηλή D και v σημαίνουν μικρή αλλαγή στη θέση σε σχέση με αλλαγές στο χρόνο
- Στο μοντέλο αυτό, η κατεύθυνση δεν μοντελοποιείται
- Κατάλληλο για κίνηση οχημάτων

Μοντέλο Random Walk

- Μοντέλο διακριτού χρόνου
- Ο χρόνος διαιρείται σε slots
- Σε κάθε slot το κινητό επιλέγει τυχαία κατεύθυνση και την ακολουθεί
- Μια μόνο κίνηση σε κάθε slot
- Δεν έχει μνήμη, η επόμενη θέση εξαρτάται μόνο από την τωρινή
- Για μονοδιάστατη τοπολογία δικτύου
 - Με πιθανότητα p παραμένει στο ίδιο κελί
 - Με πιθανότητα $(1-p)/2$ μετακινείται σε γειτονικό κελί $i+1$ ή $i-1$.
- Για διδιάστατη (εξαγωνική) τοπολογία δικτύου
 - Με πιθανότητα p παραμένει στο ίδιο κελί
 - Με πιθανότητα $(1-p)/6$ μετακινείται σε κάποιο γειτονικό κελί.
- Κατάλληλο για picocells και microcells, δηλ., για πεζούς με συχνή αλλαγή κατεύθυνσης

Μοντέλο Markov Walk

- Έχει μνήμη, η τρέχουσα κίνηση εξαρτάται από προηγούμενη
- Προτάθηκε για μονοδιάστατη τοπολογία δικτύου



Μοντέλο Gauss-Markov

- Ικανό να περιγράψει τη συσχέτιση της ταχύτητας στο χρόνο
- Για κυψελοειδή και ad hoc δίκτυα
- Η συσχέτιση μεταξύ δυο διαδοχικών ταχυτήτων είναι:

$$v_k = \alpha v_{k-1} + (1 - \alpha)\mu + \sqrt{1 - \alpha^2} u_{k-1}$$

- Οι αντίστοιχες συντεταγμένες είναι:

$$x_k = x_{k-1} + v_{k-1} \cos \theta_{k-1}$$

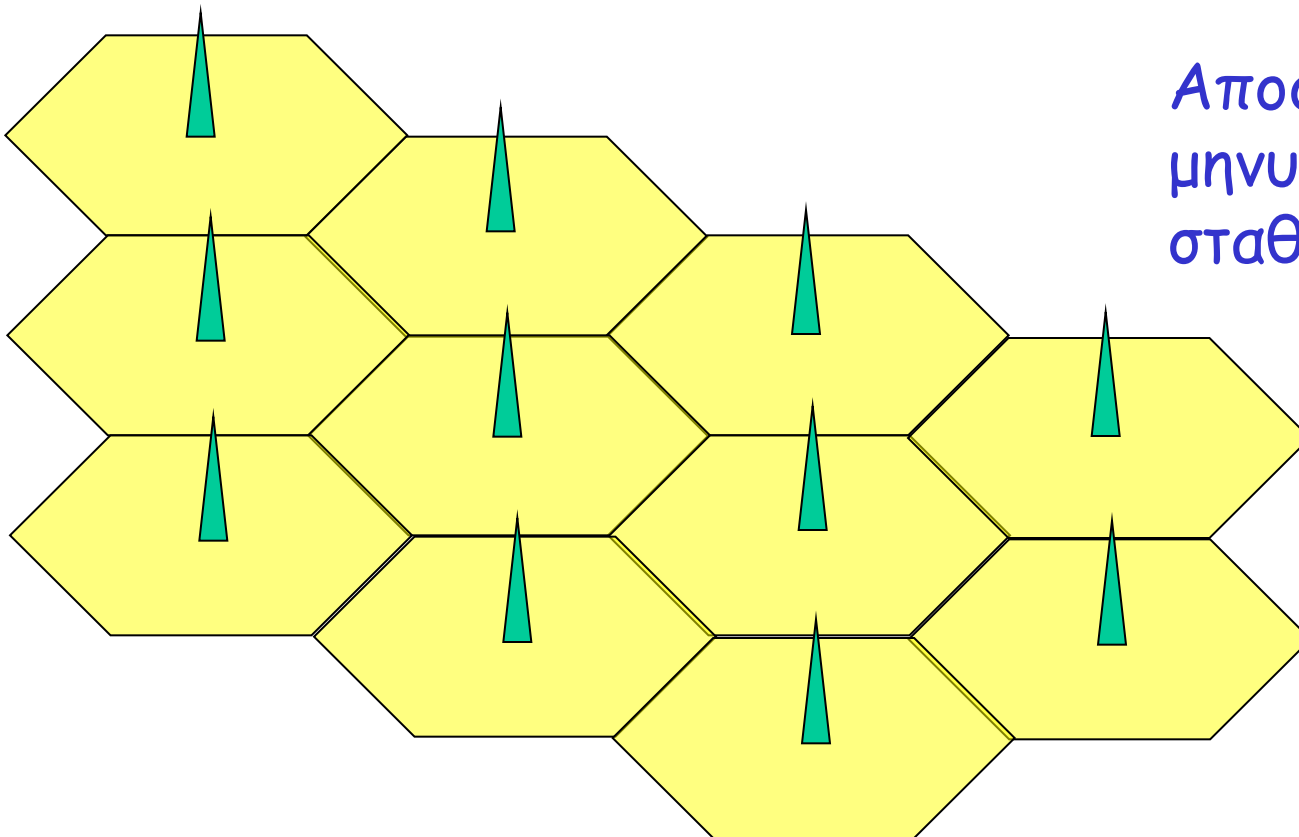
$$y_k = y_{k-1} + v_{k-1} \sin \theta_{k-1},$$

Περιεχόμενα

- Αρχιτεκτονική δικτύου
- Μοντέλα κινητικότητας
- **Διαχείριση θέσης: Registration**

Το πρόβλημα της διαχείρισης θέσης

Πού είναι ο 97532468?



Αποστολή broadcast
μηνυμάτων σε κάθε
σταθμό βάσης?

Κύρια ζητήματα

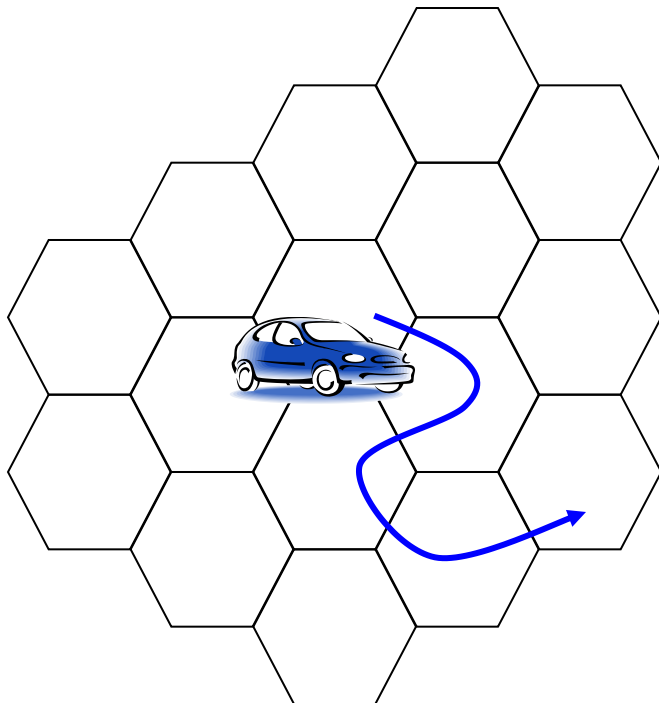
- Ενημέρωση θέσης (Location update)
 - Εκτελείται από τον κινητό πελάτη
 - Ενημερώνει το δίκτυο για την τρέχουσα θέση του
- Αναζήτηση (Paging)
 - Εκτελείται από το δίκτυο
 - Αναζήτηση σε όλα τα πιθανά κελιά μέχρι να βρεθεί
 - Ο αριθμός των κελιών, όπου θα αναζητηθεί, εξαρτάται από τη διαδικασία ενημέρωσης θέσης
- **Tradeoff-1:** Συχνή ενημέρωση θέσης vs. Λιγότερο συχνή ενημέρωση θέσης
 - Μικρή αβεβαιότητα θέσης (μικρό paging κόστος) & Μεγάλο κόστος (traffic) στο uplink κανάλι
 - Μεγάλη αβεβαιότητα θέσης (μεγάλο paging κόστος) & Μικρό κόστος (traffic) στο uplink κανάλι
- **Tradeoff-2:** Paging κόστος vs. Καθυστέρηση
 - Ταυτόχρονο paging όλων των κελιών => μικρή καθυστέρηση

Tradeoff-1

Never Update Σχήμα

Ποτέ ενημέρωση θέσης (καθόλου κόστος).

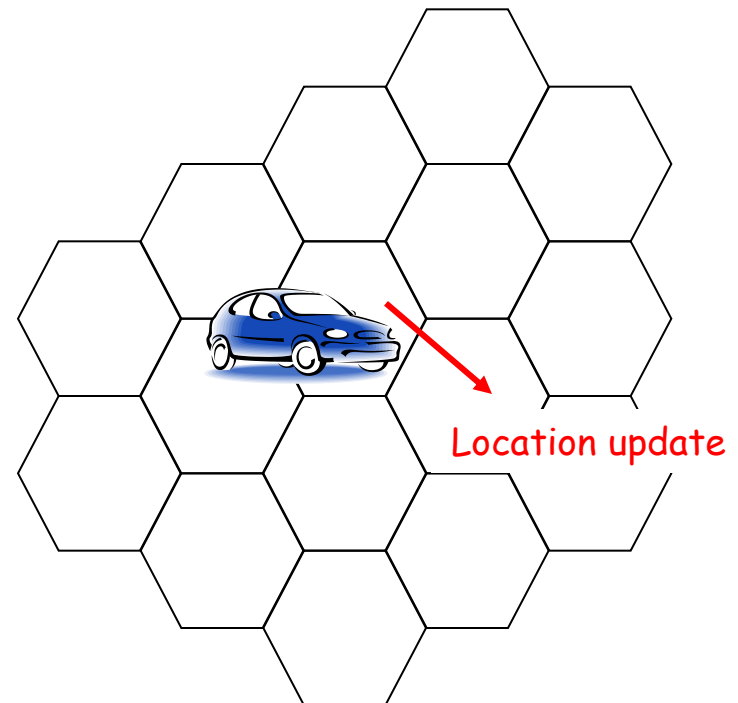
Ανάγκη αναζήτησης σε κάθε κελί (μέγιστο κόστος).



Always Update Σχήμα

Ενημέρωση θέσης σε κάθε κελί (μέγιστο κόστος).

Αναζήτηση σε ένα μόνο κελί (ελάχιστο κόστος).



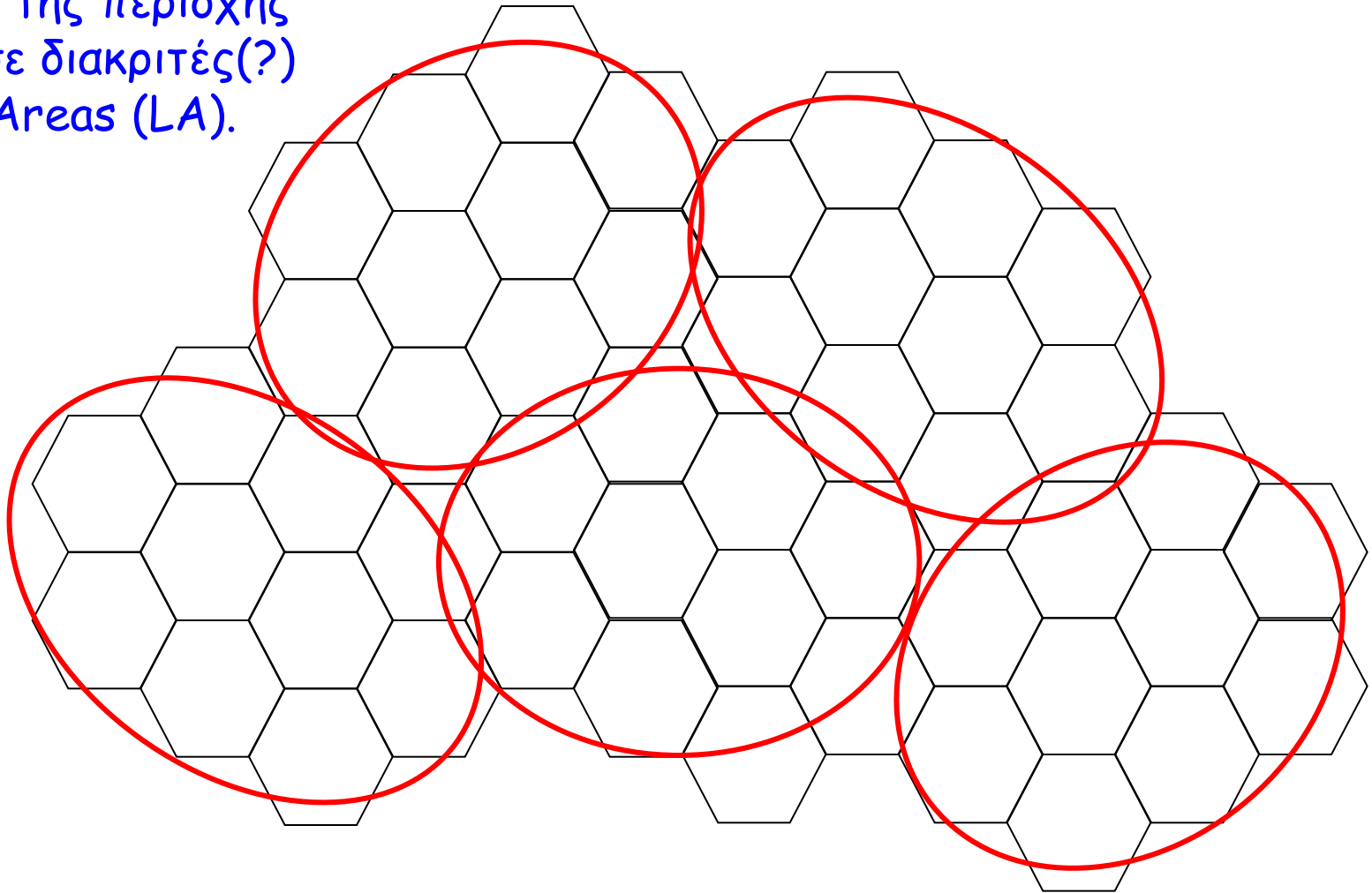
Tradeoff-1

Κατηγοριοποίηση των σχημάτων ενημέρωσης θέσης

- **Καθολικά (Global):** όλοι οι κινητοί πελάτες ενημερώνουν για τη θέση τους στο ίδιο σύνολο κελιών
 - Π.χ., Location Areas, Reporting Centers
- **Τοπικά(Local) ή Individualized ή Per-User:** Κάθε κινητός πελάτης επιτρέπεται να αποφασίζει πότε και πού θα ενημερώσει για τη θέση του
 - Time-based, Movement-based, Distance-based
- **Στατικά (Static):** Το σύνολο των κελιών όπου πραγματοποιείται ενημέρωση θέσης είναι προκαθορισμένο
 - Π.χ., Location Areas
- **Δυναμικά (Dynamic):** Η ενημέρωση θέσης πραγματοποιείται σε οποιοδήποτε κελί ανάλογα με την κινητικότητα του κινητού
 - Π.χ., Time-Varying Location Areas, LeZi-Update

Η τεχνική των Location Areas (1/2)

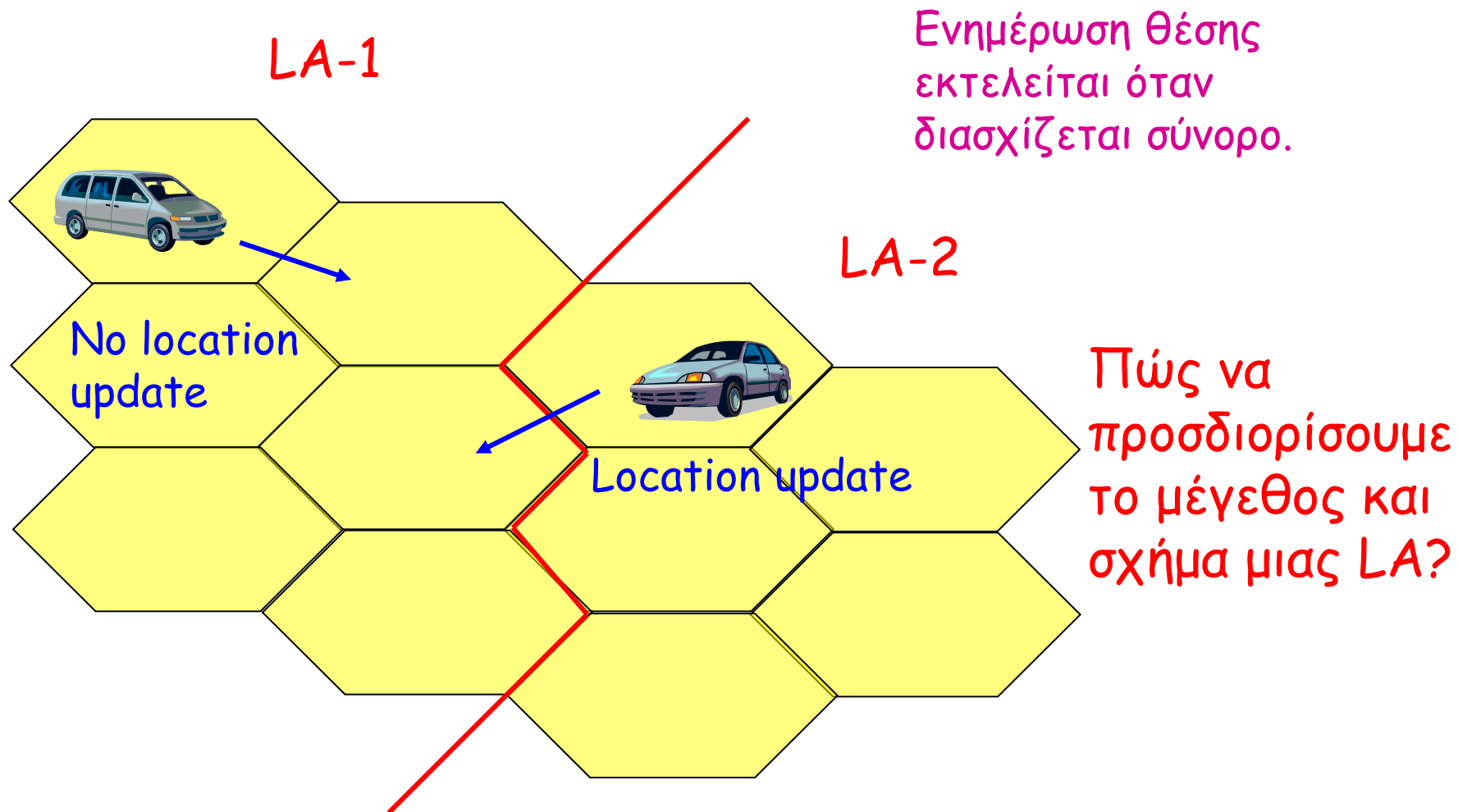
Διαμέριση της περιοχής
κάλυψης σε διακριτές(?)
Location Areas (LA).



Η τεχνική των Location Areas (2/2)

- Κάθε σταθμός βάσης εκπέμπει το ID της LA όπου ανήκει
- Το κινητό ενημερώνει για τη νέα θέση του (δηλ., το ID της νέας LA) οποτεδήποτε εισέρχεται σε νέα LA
- Για να βρεθεί το κινητό, το δίκτυο στέλνει paging μηνύματα σε όλα τα κελιά της LA, όπου αναφέρθηκε τελευταία η θέση του
- LAs: Καθολικό και στατικό σχήμα διαχείρισης θέσης
- Παραλλαγή => **Two Location Areas (TLA)**: το κινητό αποθηκεύει τις δυο τελευταίες LA που έχει επισκεφτεί. Αντικατάσταση της παλιότερης ή με μικρότερο χρόνο διαμονής, κ.τ.λ. Κατάλληλο για:
 - Μικρό Call-to-Mobility Ratio
 - Μεγάλο location update κόστος

Ενημέρωση θέσης



Location Databases

Αυτές οι δυο DB
επικοινωνούν μεταξύ
τους για να κάνουν
authentication και
ενημέρωση για την
θέση του κινητού.

GSM Ορολογία:

Home Location
Register (HLR)

Visitor Location
Register (VLR)

- **Home Database (HLR)**
 - Κάθε κινητό σχετίζεται μόνιμα με μια home database
 - Κρατά το profile του κινητού
 - Mobile ID, authentication keys, θέση, χρέωση, κ.τ.λ.
- **Visiting Database (VLR)**
 - Κρατά τη θέση του κινητού στη δική της **service area**.

HLR

- Η στατική (μόνιμη) πληροφορία του HLR είναι:
 - ο αριθμός κλήσης του κινητού συνδρομητή (Mobile Subscriber Number, MSN)
 - η διεθνής ταυτότητα του συνδρομητή (International Mobile Subscriber Identity, IMSI)
 - το κλειδί ελέγχου αυθεντικότητας
 - οι πληροφορίες για τις βασικές και συμπληρωματικές υπηρεσίες (profile)

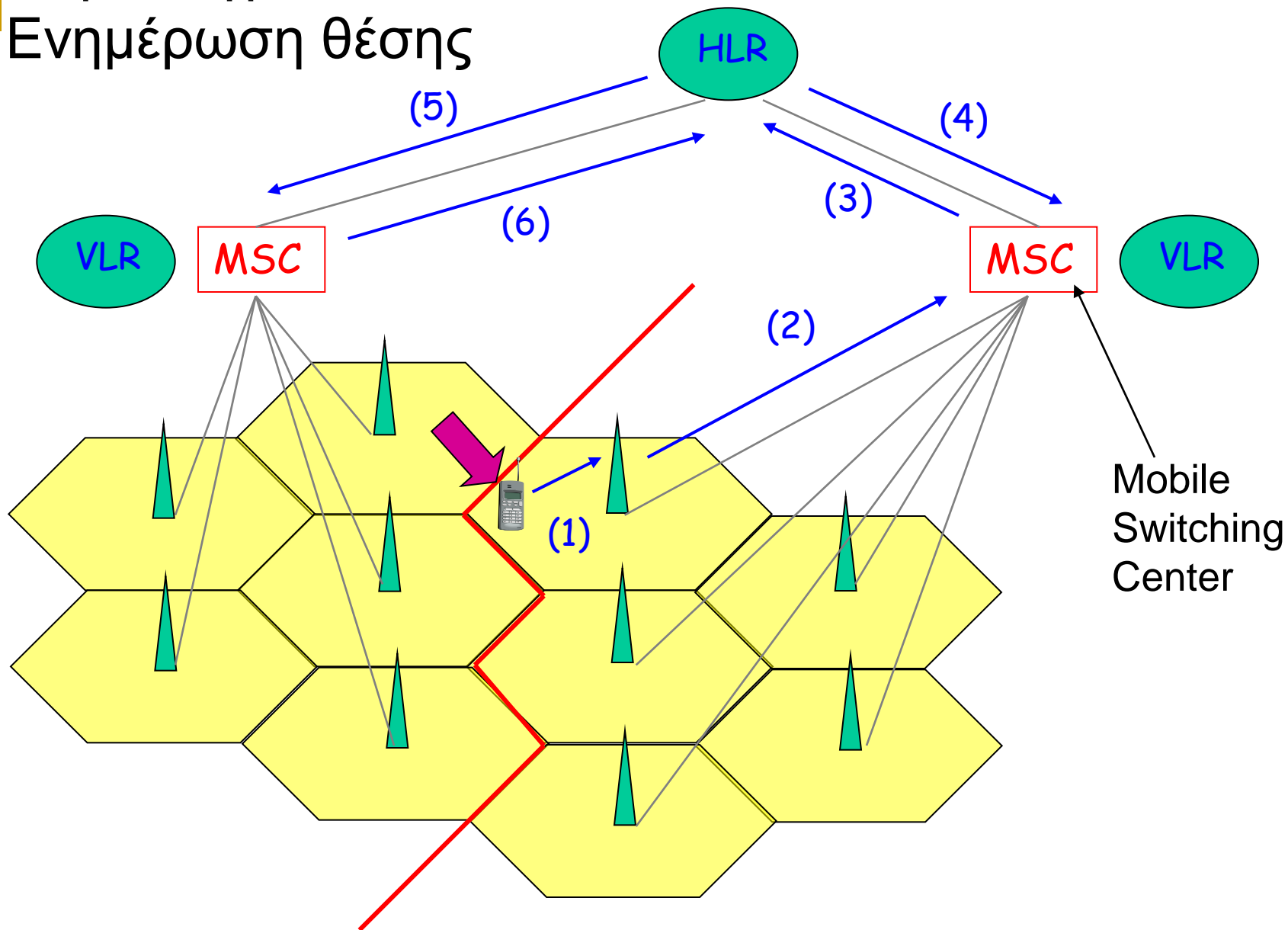
HLR

- Η δυναμική πληροφορία του HLR περιλαμβάνει:
 - τις παραμέτρους ελέγχου αυθεντικότητας και κρυπτογράφησης
 - τον αριθμό περιαγωγής κινητού σταθμού (Mobile Station Roaming Number, MSRN), ή
 - τη διεύθυνση του VLR ή αντίστοιχα την ταυτότητα της LA
 - την κατάσταση του κινητού τερματικού
 - προσωρινές πληροφορίες σχετικές με τις υπηρεσίες που χρησιμοποιεί

VLR

- OVLR περιέχει στατική και δυναμική πληροφορία ανάλογη με εκείνη του HLR
- περιέχει επιπλέον και την προσωρινή ταυτότητα κινητού συνδρομητή (Temporary Mobile Subscriber Identity, TMSI)

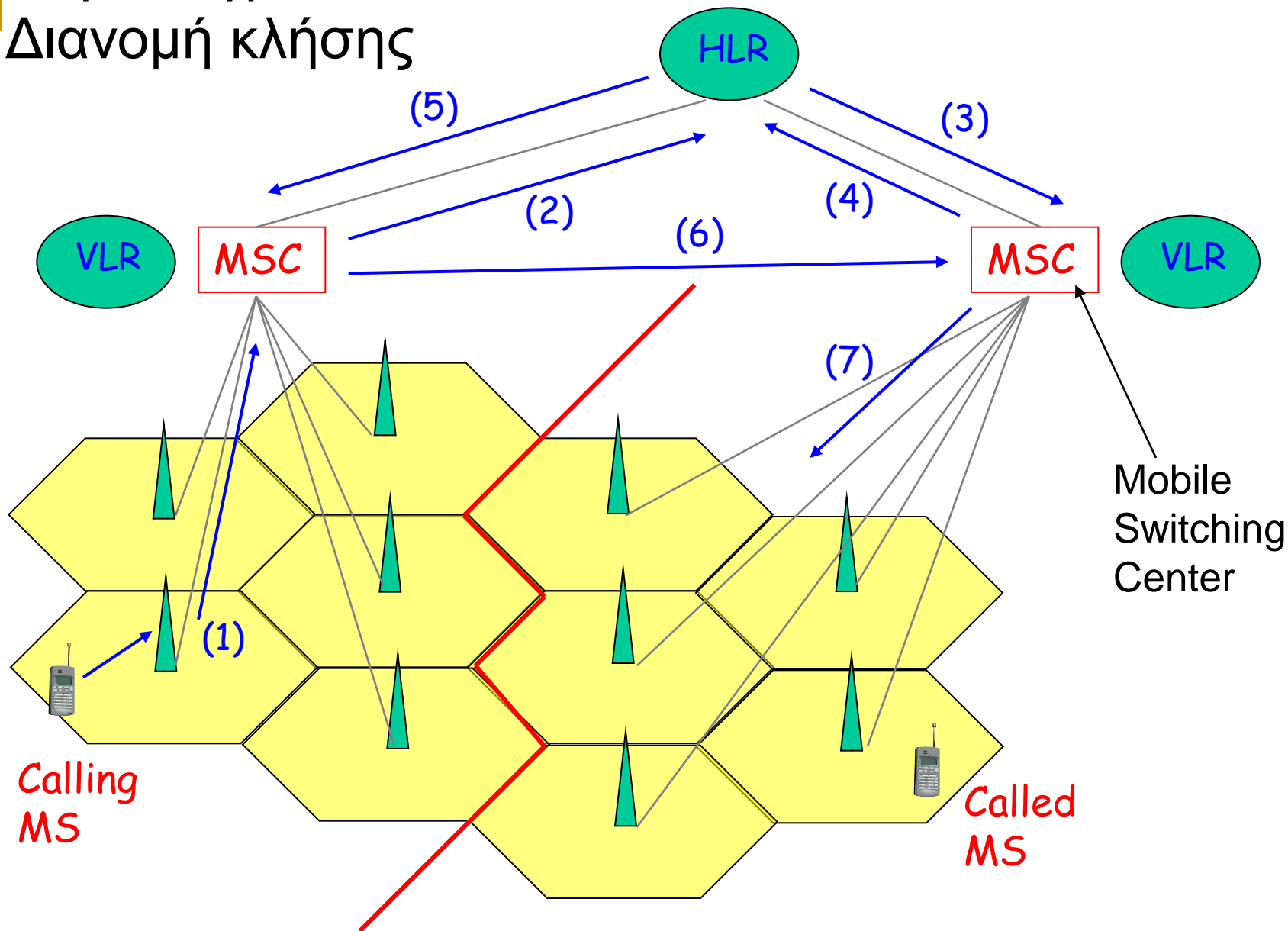
Παράδειγμα GSM: Ενημέρωση θέσης



Διαδικασία ενημέρωσης θέσης

1. Το κινητό μεταδίδει ένα μήνυμα Location Update (LU) στο νέο Σταθμό Βάσης (ΣΒ)
2. Ο ΣΒ προωθεί το σήμα LU στο MSC
3. Το MSC στέλνει LU στην HLR και ενημερώνει τη VLR
4. Η HLR κάνει τα εξής:
 - authenticates το κινητό
 - Καταγράφει το ID της νέας VLR
 - Στέλνει ACK στη νέα VLR
5. Η HLR στέλνει μήνυμα *registration cancellation* στην παλιά VLR
6. Η παλιά VLR διαγράφει την εγγραφή για το κινητό και επιστρέφει εάν ACK στη HLR

Παράδειγμα GSM: Διανομή κλήσης



Διαδικασία διανομής κλήσης

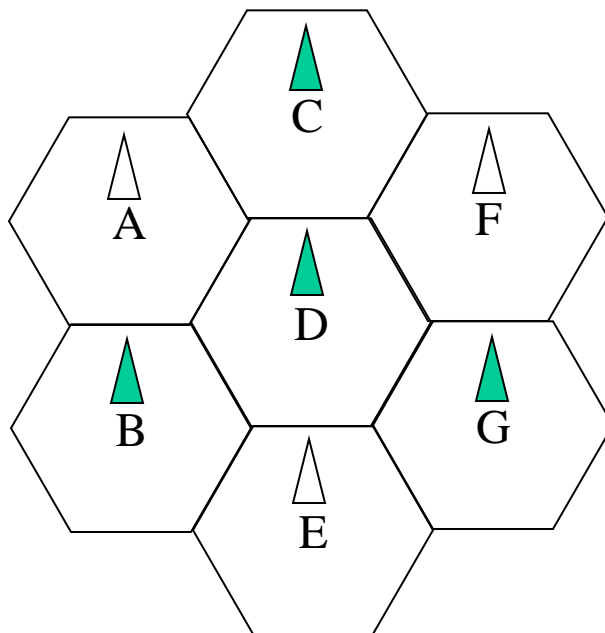
1. Το καλούν (calling) κινητό στέλνει μήνυμα *call initiation* στο MSC διαμέσου του BS
2. Το MSC στέλνει αίτηση location στην HLR του καλούμενου (called) κινητού
3. Η HLR προσδιορίζει την αντίστοιχη VLR του καλούμενου κινητού και στέλνει μήνυμα *route request* στο κινητό
4. Το MSC δεσμεύει προσωρινό ID στο ΣΒ και στέλνει αυτό το ID στη HLR
5. HLR forwards the ID to MSC of the calling MS
6. Το καλούν MSC αιτήται *call set up* στο καλούμενο MSC
7. Paging μηνύματα στέλνονται σε όλα τα κελιά της συγκεκριμένης LA

Η τεχνική των Reporting Cells (1/2)

- Ένα υποσύνολο των κελιών έχουν επιλεγεί ως reporting cells ή reporting centers (RC)
- Ο σταθμός βάσης κάθε τέτοιου κελιού εκπέμπει σήμα για να σηματοδοτήσει ότι το κελί είναι RC
- Η **γειτονιά** ενός RC i είναι τα κελιά, που δεν είναι RC, και είναι προσβάσιμα από το i χωρίς να περάσουμε από ένα άλλο RC
- Το κινητό ενημερώνει για τη θέση του οποτεδήποτε περάσει από εάν RC
- Η τεχνική RC είναι καθολική και στατική
- Έχει δυο ακραίες περιπτώσεις
 - όλα τα κελιά είναι RCs, και
 - κανένα κελί δεν είναι RC.

Η τεχνική των Reporting Cells (2/2)

- Η γειτονιά του C αποτελείται από τα κελιά: A, C και F.
- Ένα κινητό που ακολουθεί τη διαδρομή $B \rightarrow A \rightarrow C$, θα ενημερώσει για τη θέση του όταν φτάσει στο C.
- Το σύστημα στέλνει paging μηνύματα στη γειτονιά του RC όπου εμφανίστηκε τελευταία το κινητό.



-

Σχήμα Time-based (2/2)

- Είναι δυναμικό σχήμα
- Εάν το κατώφλι προσδιοριστεί ανά κινητό, τότε είναι και τοπικό σχήμα, επίσης
- Δεν λαμβάνει υπόψη του την κινητικότητα
- Πλεονέκτημα
 - Απλό
- Μειονέκτημα
 - Πολύ άσχημη επίδοση στη χειρότερη περίπτωση

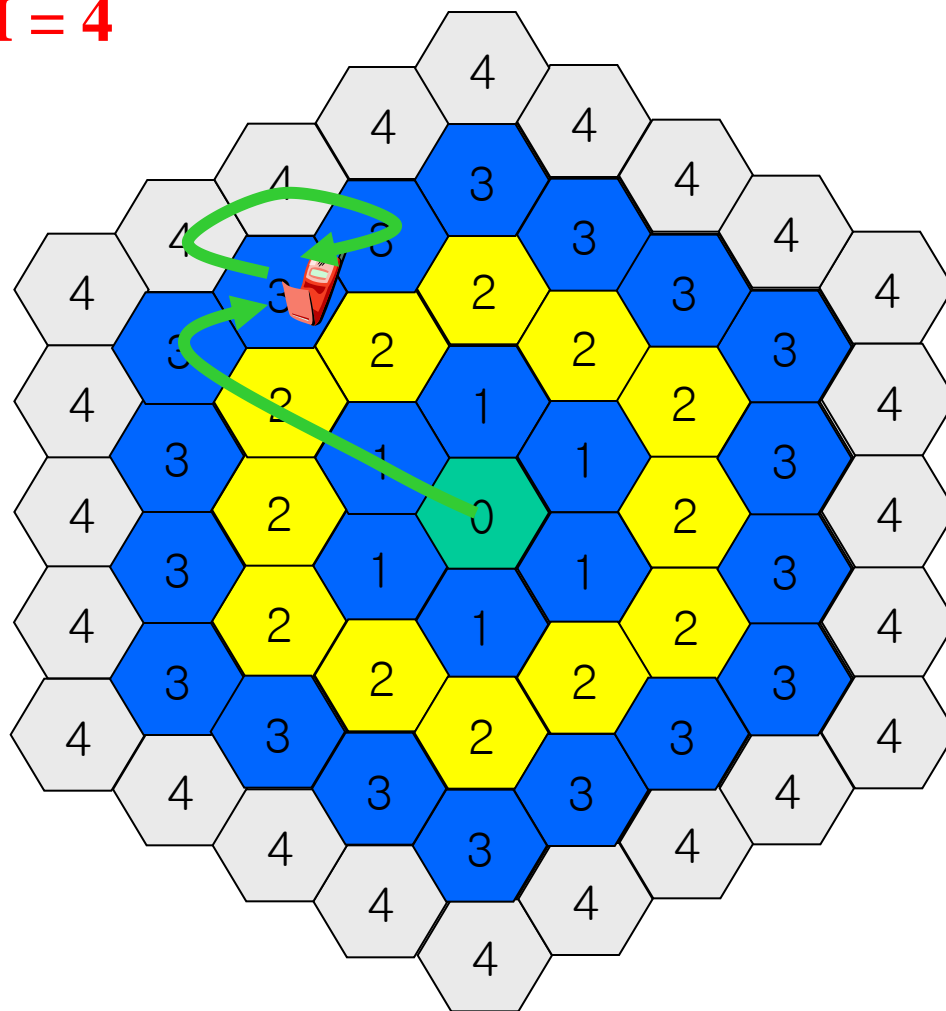
Σχήμα Movement-based

- Το κινητό διατηρεί έναν μετρητή που αρχικοποιείται στο 0
- Κάθε φορά που περνάει το σύνορο δυο κελιών, αυξάνει το μετρητή κατά ένα
- Εάν ο μετρητής γίνει ίσος με M (προκαθορισμένη σταθερά), το κινητό ενημερώνει για τη θέση του
- Συνεπώς, υπάρχει εγγύηση ότι το κινητό βρίσκεται σε δακτύλιο ακτίνας $M+1$, με κέντρο το τελευταίο κελί όπου ενημέρωσε για τη θέση του
- Το κατώφλι μπορεί να τεθεί διαφορετικό για κάθε κινητό
- Το σχήμα αυτό είναι δυναμικό και τοπικό

Παράδειγμα Movement-based

Κατώφλι: $M = 4$

Enhancement: Όταν ξαναφτάσει στο κελί, όπου έκανε την τελευταία ενημέρωση θέσης, να μην εκτελέσει ξανά ενημέρωση, δηλ., να θέσει τον μετρητή στην τιμή 0.

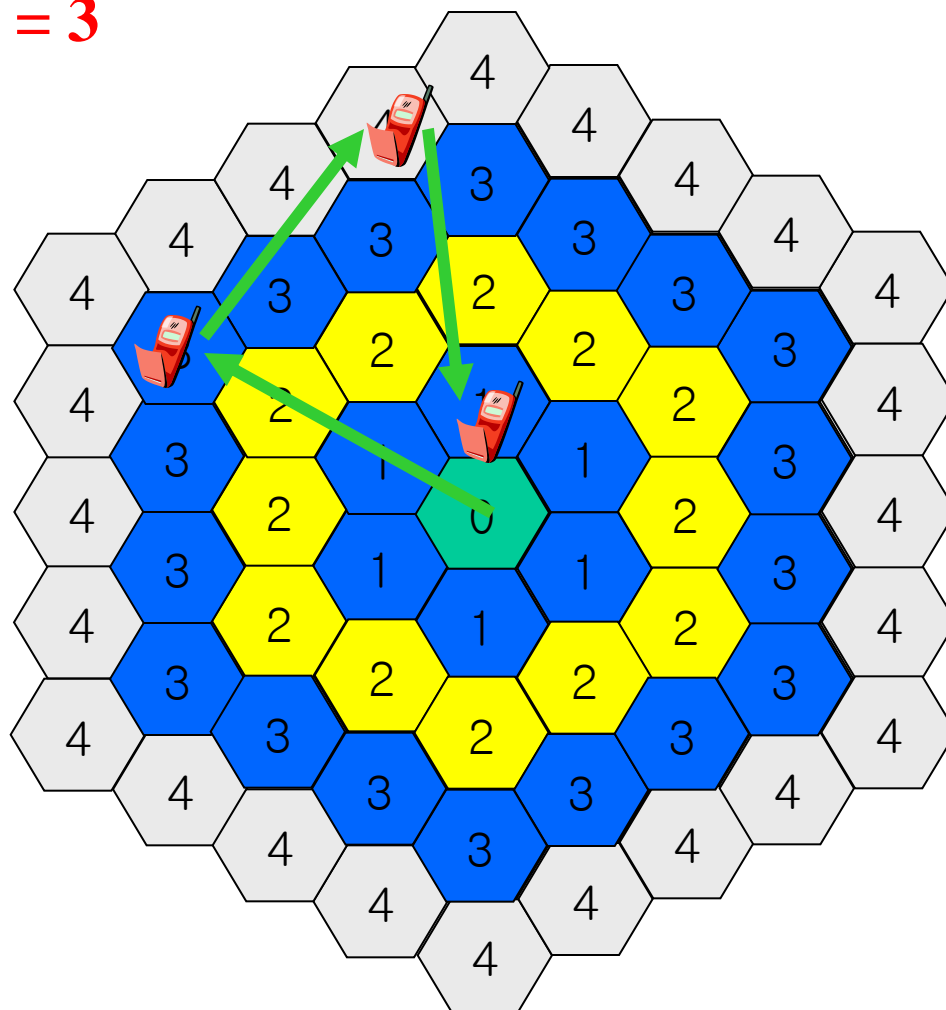


Σχήμα Distance-based (1/2)

- Το κινητό διατηρεί μια μεταβλητή που κρατά την απόσταση που έχει διανύσει
- Η απόσταση μετριέται σε αριθμό κελιών
- Εάν η διανυθείσα απόσταση ξεπεράσει ένα κατώφλι D , το κινητό ενημερώνει για τη θέση του
- Συνεπώς, υπάρχει εγγύηση ότι το κινητό βρίσκεται σε απόσταση D από το κελί, όπου ενημέρωσε για τελευταία φορά για τη θέση του
- Το κατώφλι μπορεί να τεθεί διαφορετικό για κάθε κινητό
- Το σχήμα αυτό είναι δυναμικό και τοπικό
- Μειονεκτήματα
 - Είναι δύσκολο να υπολογίζουμε την απόσταση μεταξύ δυο κελιών
 - Δεν είναι εφικτό να αποθηκεύσει το κινητό όλα τα ζεύγη αποστάσεων

Σχήμα Distance-based (2/2)

Κατώφλι: $D = 3$



Περιεχόμενα

- Διαχείριση θέσης: Paging

Σημαντικά ζητήματα στο paging

- Δεδομένης μιας κατανομής πιθανότητας για την παρουσία του κινητού σε διάφορα “κελιά”
- Ποια είναι η ελάχιστη μέση προσπάθεια (αριθμός αναζητούμενων τοποθεσιών) μέχρι να βρεθεί το κινητό;

Πρόβλημα paging (1/3)

- Απαριθμούμε τις paging locations με $1, 2, \dots$, έτσι ώστε το κινητό είναι στη θέση i με πιθανότητα p_i
- Συσχετίζουμε τη θέση του κινητού με τυχαία μεταβλητή X , τέτοια ώστε $P\{X = i\} = p_i$
- Χωρίς βλάβη της γενικότητας, η location area n αποτελείται από υποπεριοχές (που τις συμβολίζουμε με A_n), που όλες θα γίνουν paged ταυτόχρονα.
- Η cardinality του A_n συμβολίζεται με k_n
- Η στρατηγική paging A είναι μια διατεταγμένη ακολουθία (A_1, A_2, \dots) από location areas που θα γίνουν paged

Πρόβλημα paging (2/3)

- Η πιθανότητα ότι το κινητό είναι στη location area A_n είναι:

$$q_n = \sum_{i \in A_n} p_i .$$

- Εάν το κινητό είναι στη location area A_n , τότε ο αριθμός των θέσεων όπου αναζητήθηκε είναι:

$$s_n = \sum_{j=1}^n k_j .$$

- Ορίζουμε το κόστος L του paging ως τον αριθμό των location που αναζητήθηκαν μέχρι να βρεθεί το κινητό. Παρατηρούμε ότι $P\{L = s_n\} = q_n$ και αυτό:

$$E[L] = \sum_{n=1}^{\infty} s_n q_n .$$

Πρόβλημα paging (3/3)

- Αφού όλες οι θέσεις μέσα σε μια location area γίνονται paged ταυτόχρονα, η paging delay D ισούται με τον αριθμό των location areas που αναζητούνται πριν βρεθεί το κινητό. Σημειώνουμε ότι $P\{D = n\} = q_n$ και αυτό:

$$E[D] = \sum_{n=1}^{\infty} n q_n .$$

- Το πρόβλημα είναι η ελαχιστοποίηση του $E[L]$ υποκείμενο στον περιορισμό του $E[D]$ για όλες τις paging στρατηγικές.

Το βασικό θεώρημα του paging

Theorem 1. To minimize $E[L]$ or $E[D]$, more probable locations must not be searched after less probable locations. Formally, if i and j are locations with $p_i > p_j$, then the location area sequence (A_1, A_2, \dots) that minimizes either $E[D]$ or $E[L]$ must satisfy $i \in A_l$ and $j \in A_m$ for some $l \leq m$.

Απόδειξη βασικού θεωρήματος (1/2)

Suppose the set (A_1, A_2, \dots) is optimal but there exists $i \in A_l$ and $j \in A_m$ with $p_i < p_j$ but $l > m$. Let (A'_1, A'_2, \dots) denote a new paging sequence derived from (A_1, A_2, \dots) in which i and j are swapped so that $i \in A'_m$ and $j \in A'_l$. For the modified paging sequence, we define the paging cost and paging delay by L' and D' . We note that

$$\begin{aligned} E[D] - E[D'] &= lp_i + mp_j - (lp_j + mp_i) \\ &= (l - m)(p_i - p_j) \\ &> 0. \end{aligned}$$

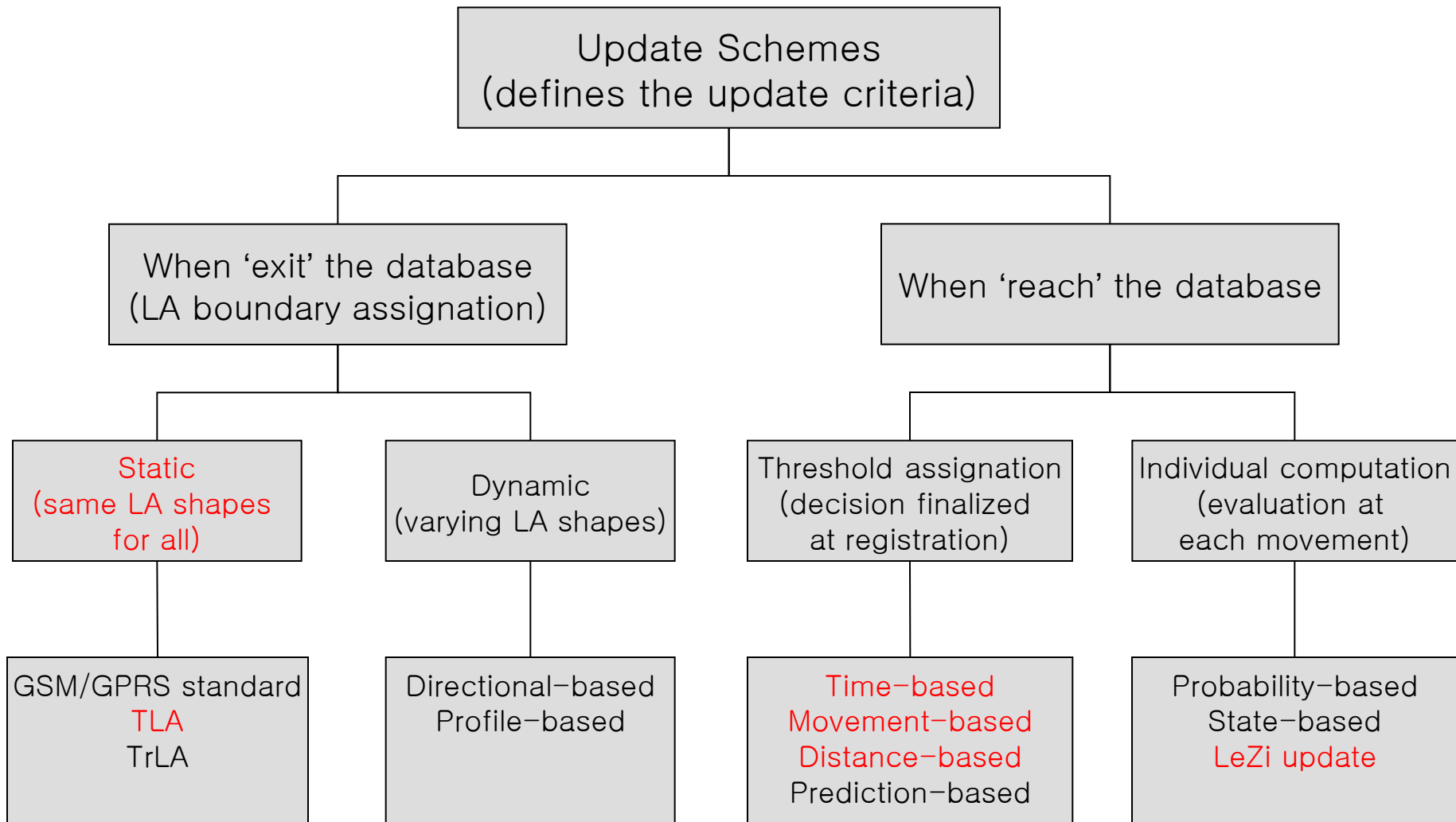
Απόδειξη βασικού θεωρήματος (2/2)

This is a contradiction of the assumed optimality of $\{A_n\}$. Likewise for $E[L]$ we have

$$\begin{aligned} E[L] - E[L'] &= s_l p_i + s_m p_j - (s_l p_j + s_m p_i) \\ &= (s_l - s_m)(p_i - p_j) \\ &> 0, \end{aligned}$$

which also contradicts the assumed optimality. \square

Κατηγοριοποίηση τεχνικών



Σύνοψη εύρεσης κινητών

Τι (granularity), πού (availability) πότε (currency) να αποθηκευτεί

