

Κινητός και Διάχυτος Υπολογισμός (Mobile & Pervasive Computing)

Δημήτριος Κατσαρός

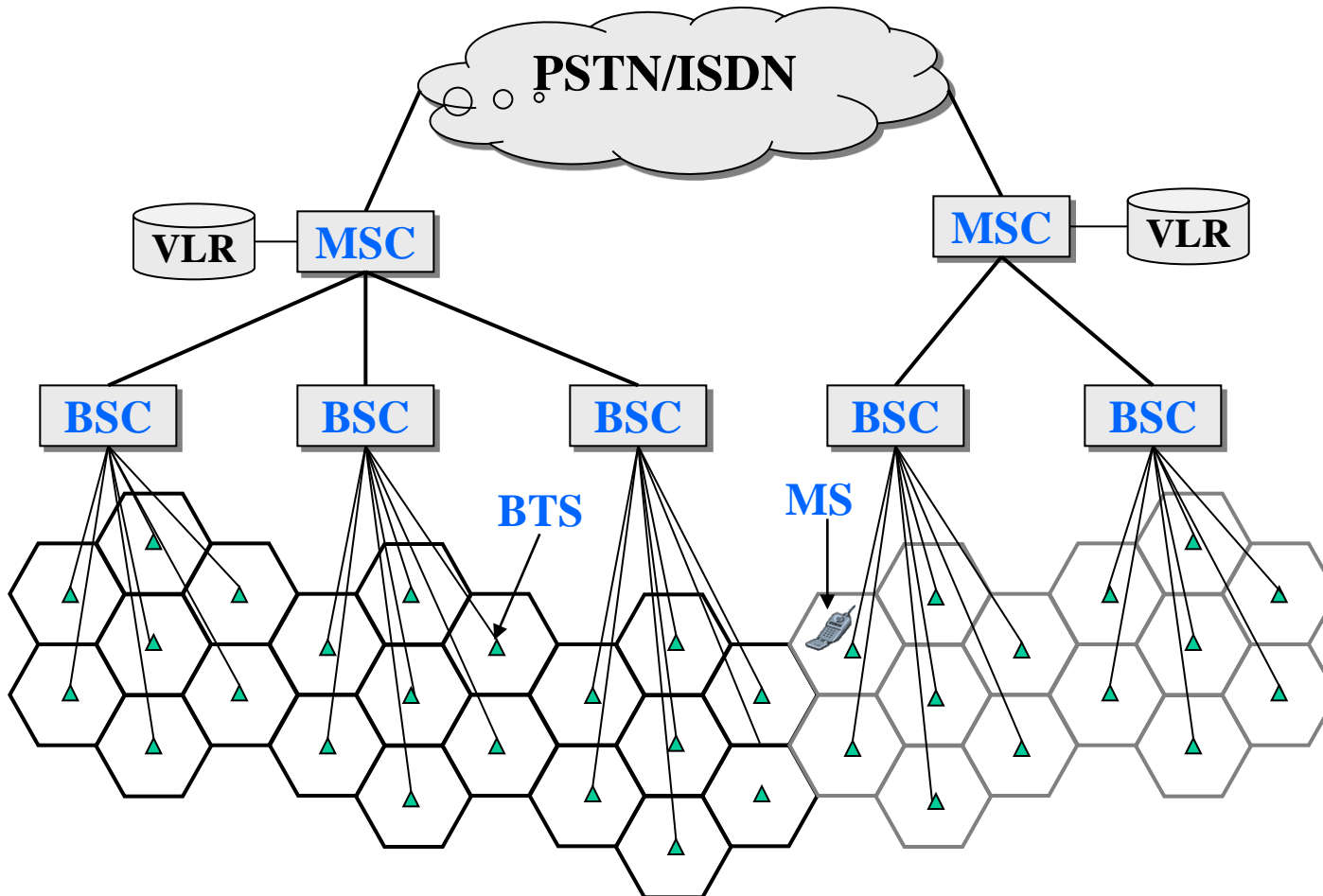
Χειμώνας 2015

Διάλεξη 12η

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

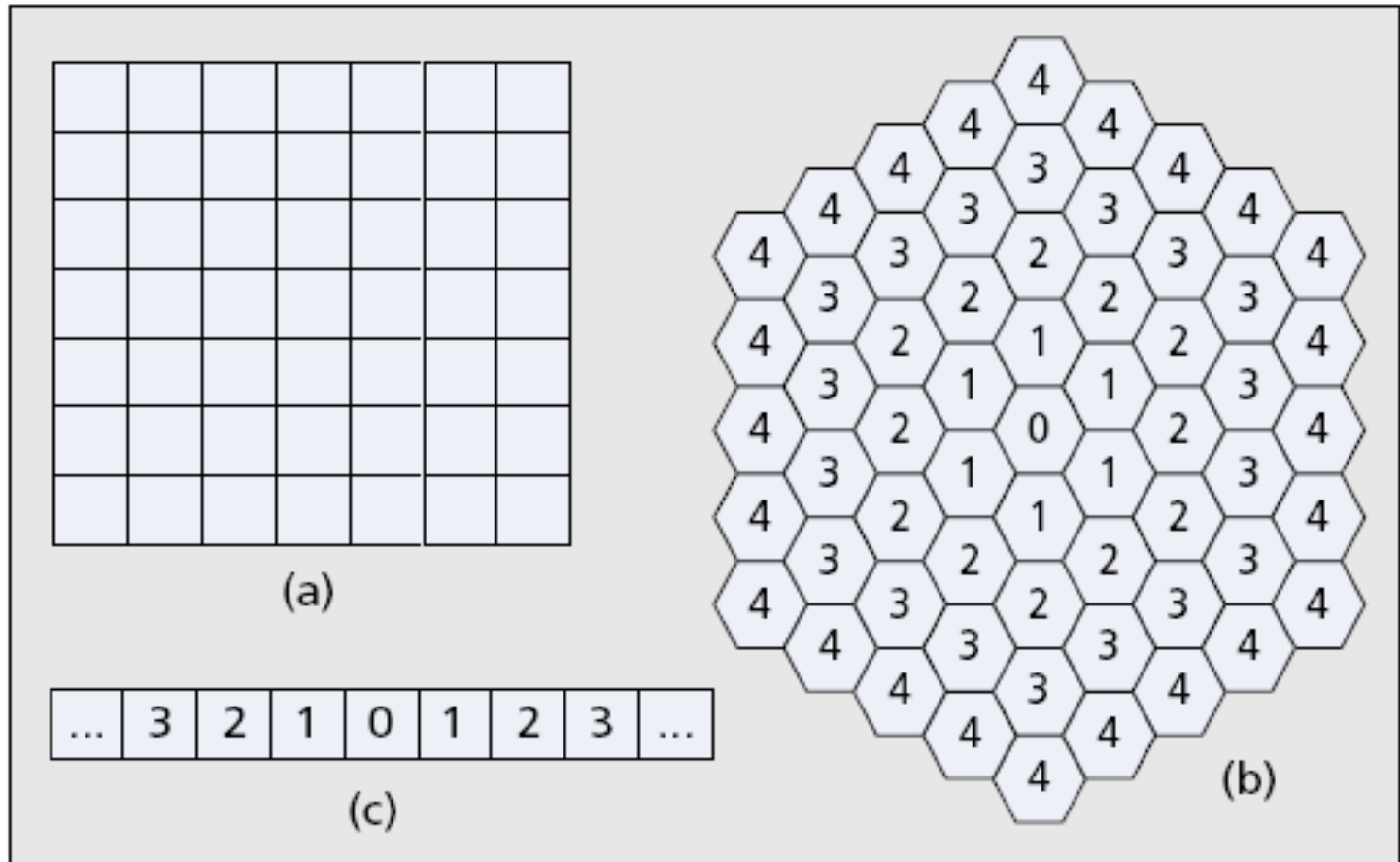
BSC : Base Station Controller

Περιεχόμενα

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

Τοπολογίες δικτύου (1/2)

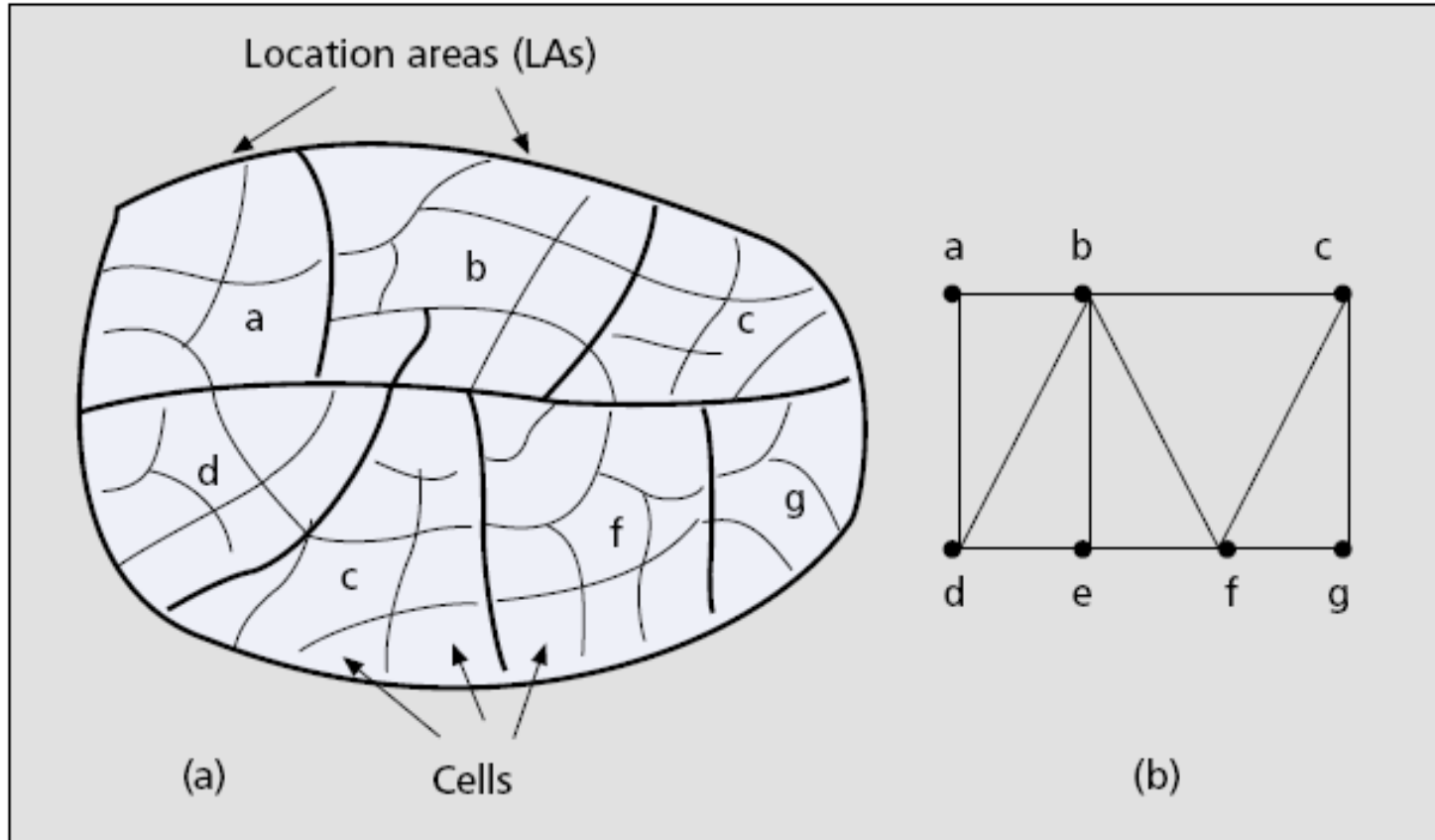
Regular / Γεωμετρικά



■ 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:

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

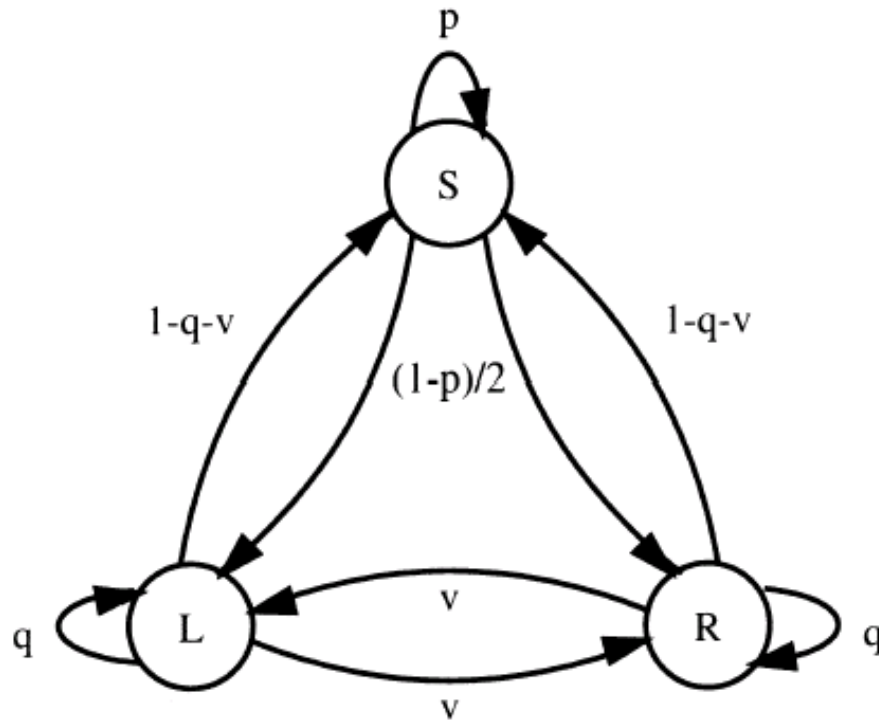
- όπου D η σταθερά διάχυσης ($\text{length}^2/\text{time}$), παράμετρος που αναπαριστά την επιτάχυνση της κίνησης, v είναι η drift ταχύτητα ($\text{length}/\text{time}$) που αναπαριστά τη μέση ταχύτητα του κινητού
- Υψηλή D και v σημαίνουν πολύ ενεργή κίνηση, ενώ χαμηλή D και v σημαίνουν μικρή αλλαγή 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:

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

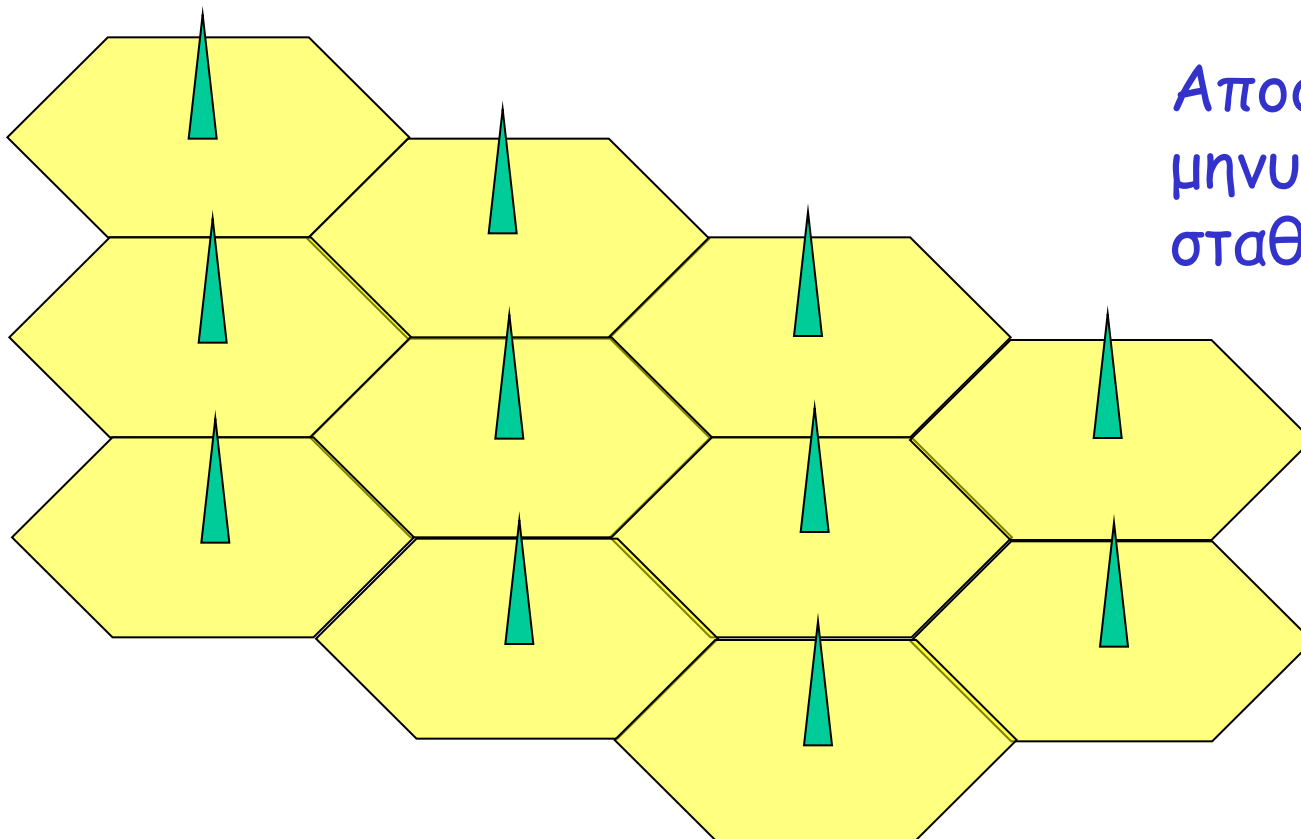
$$y_k = y_{k-1} + v_{k-1} \sin \theta_{k-1},$$

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

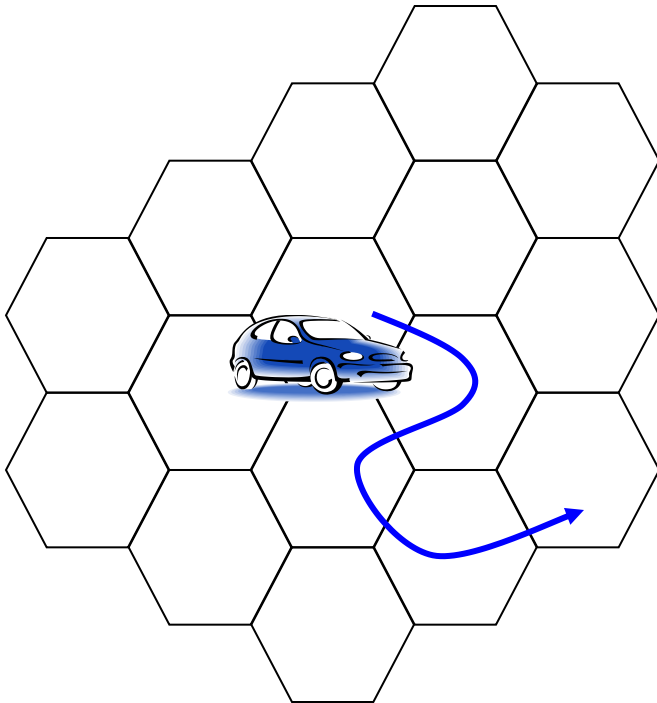
- Ενημέρωση θέσης (Location update)
 - Εκτελείται από τον κινητό πελάτη
 - Ενημερώνει το δίκτυο για την τρέχουσα θέση του
- Αναζήτηση (Paging)
 - Εκτελείται από το δίκτυο
 - Αναζήτηση σε όλα τα πιθανά κελιά μέχρι να βρεθεί
 - Ο αριθμός των κελιών, όπου θα αναζητηθεί, εξαρτάται από τη διαδικασία ενημέρωσης 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).

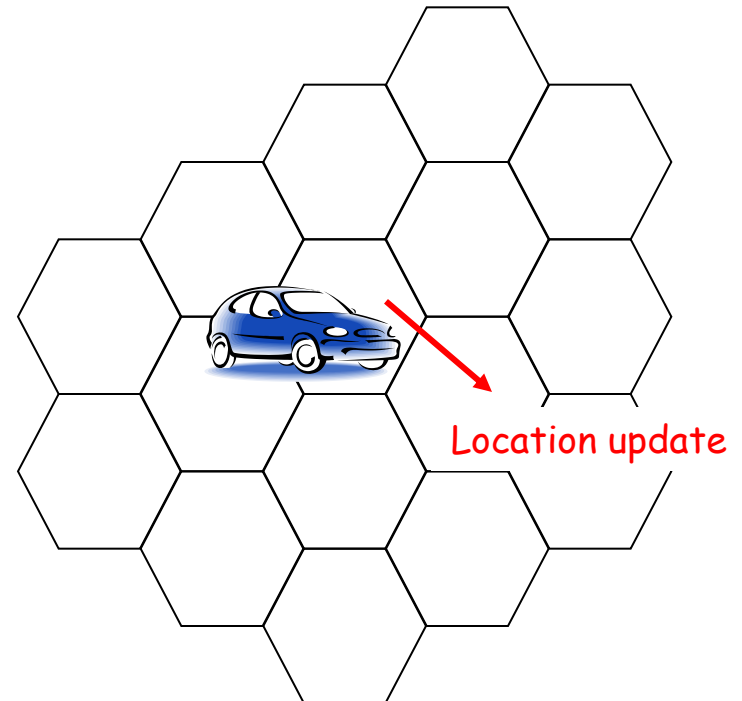
Ανάγκη αναζήτησης σε κάθε κελί (μέγιστο κόστος).



Always Update Σχήμα

Ενημέρωση θέσης σε κάθε κελί (μέγιστο κόστος).

Αναζήτηση σε ένα μόνο κελί (ελάχιστο κόστος).



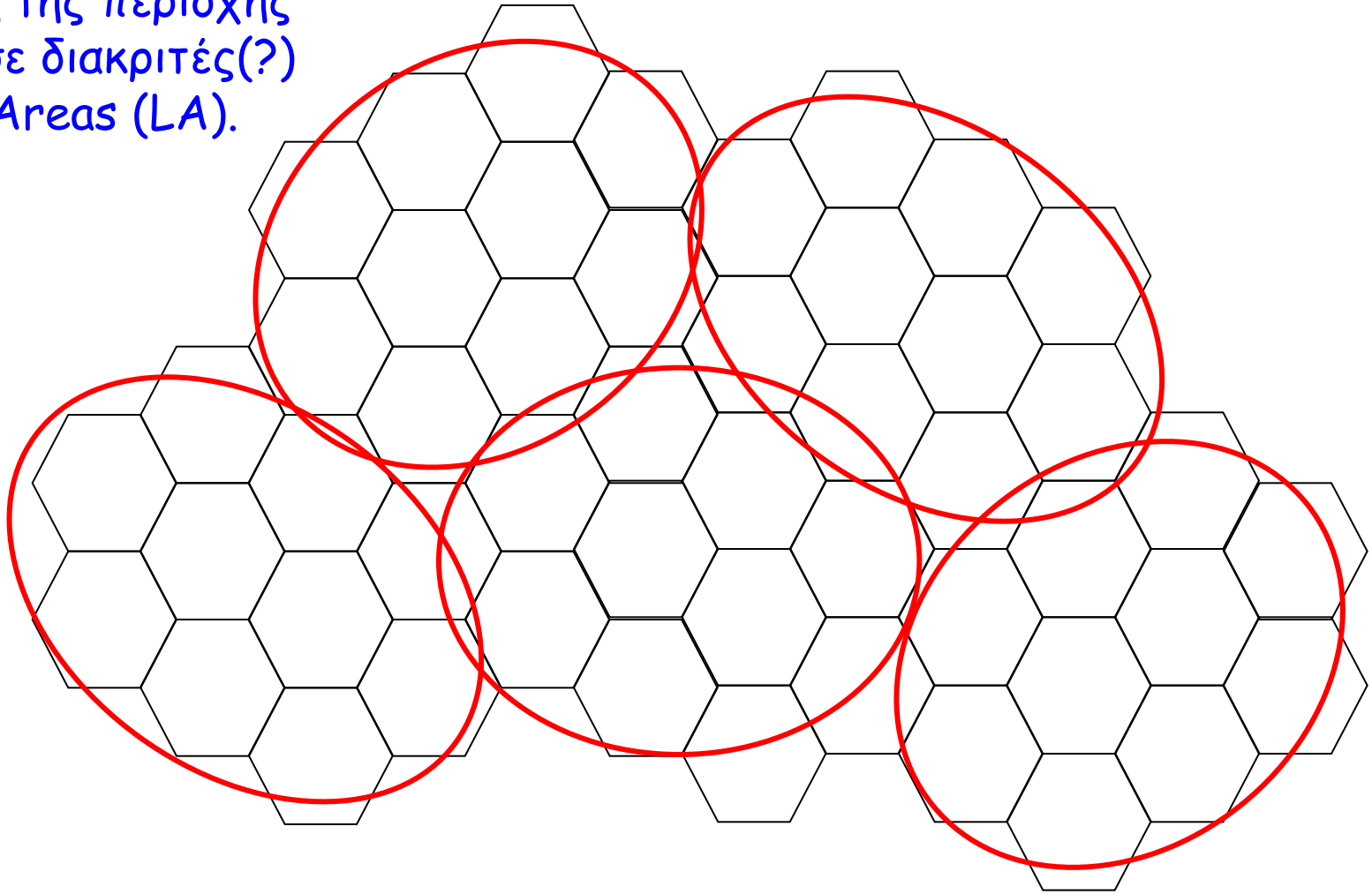
Tradeoff-1

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 θέση 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)

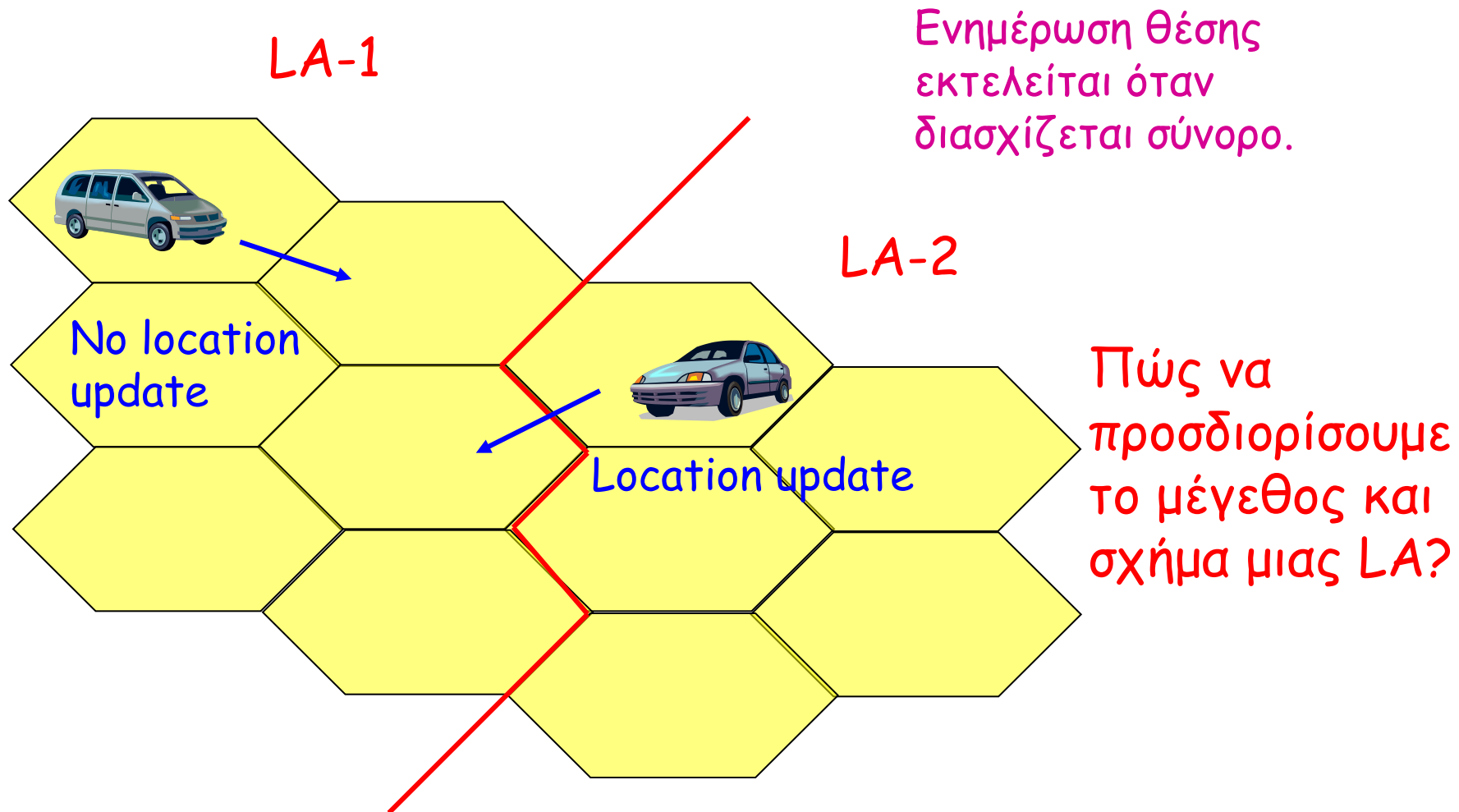
Διαμέριση της περιοχής
κάλυψης σε διακριτές(?)
Location Areas (LA).



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)

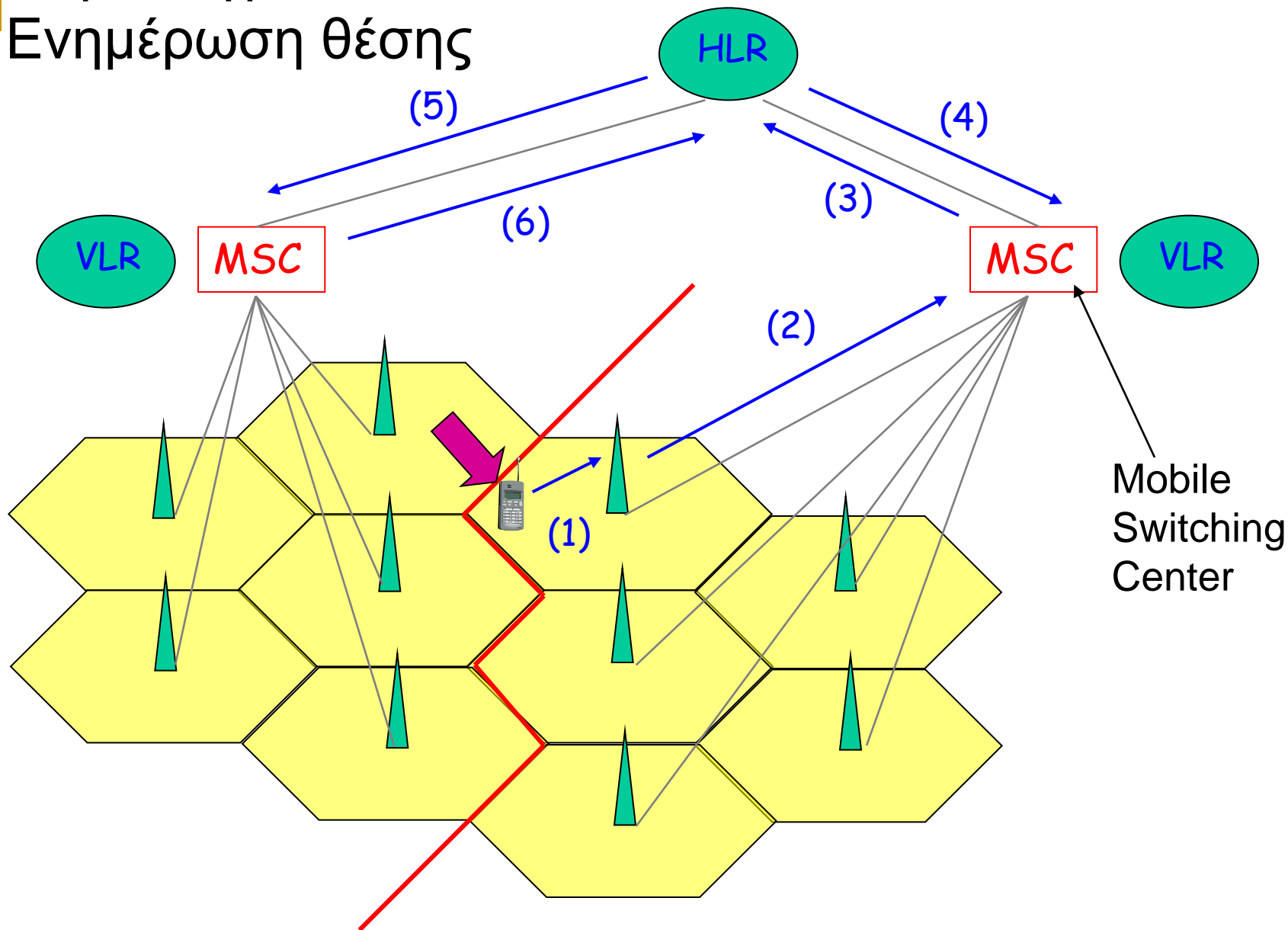
HLR

- 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)

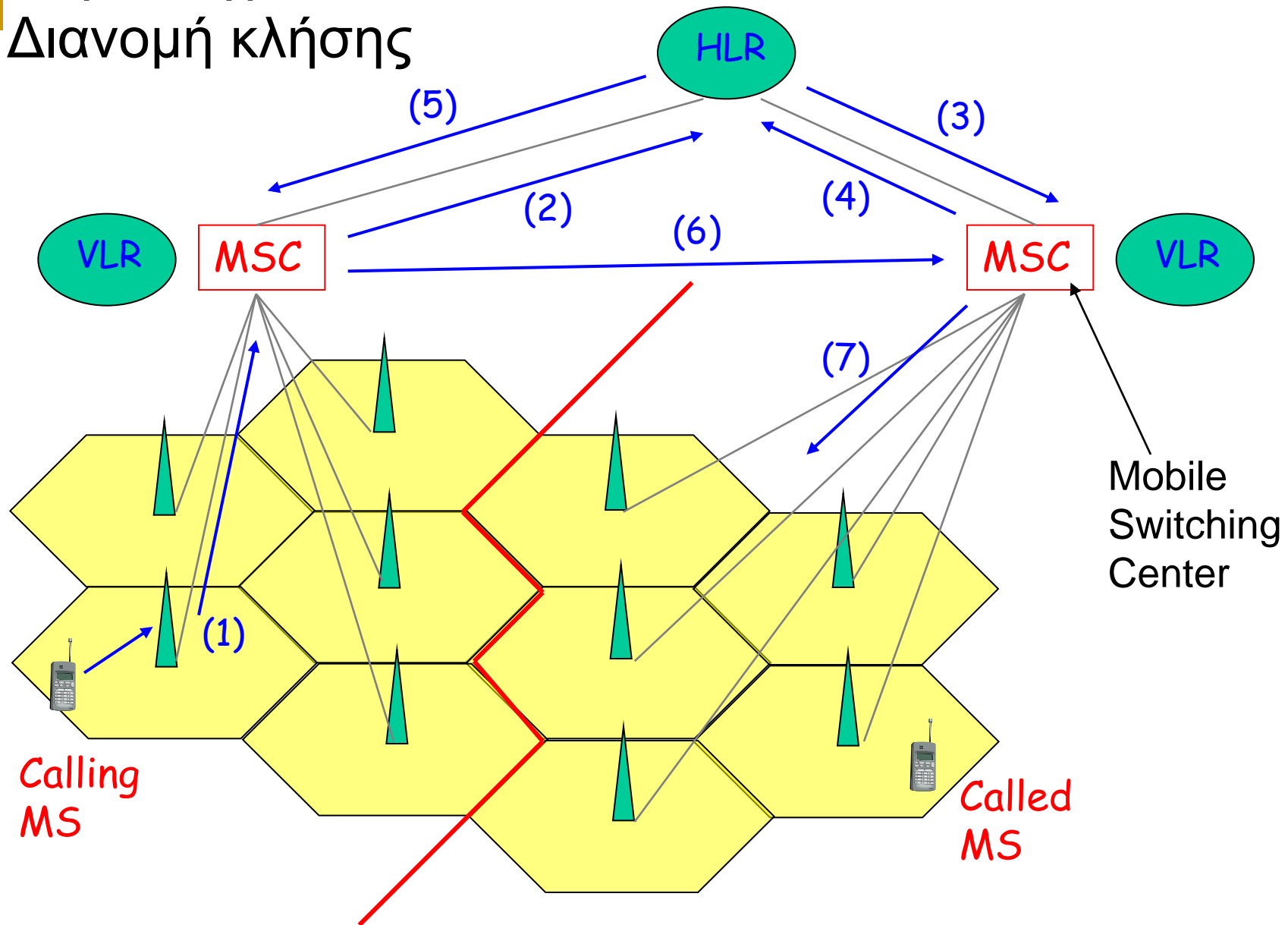
Παράδειγμα GSM: Ενημέρωση θέσης



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

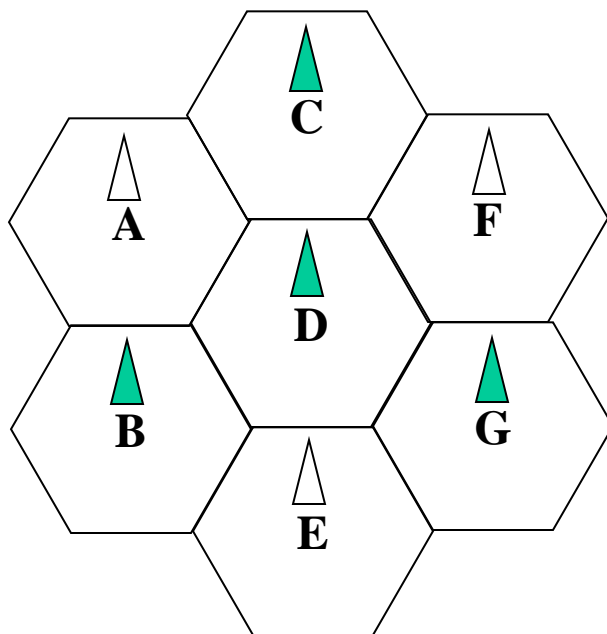
1. Το καλούν (calling) κινητό στέλνει μήνυμα *call initiation* στο MSC διαμέσου του BS
2. Το MSC στέλνει αίτηση location στην HLR του καλούμενου (called) κινητού
3. Η HLR προσδιορίζει την αντίστοιχη VLR του καλούμενου κινητού και στέλνει μήνυμα *route request* στο κινητό
4. Το MSC δεσμεύει προσωρινό 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.

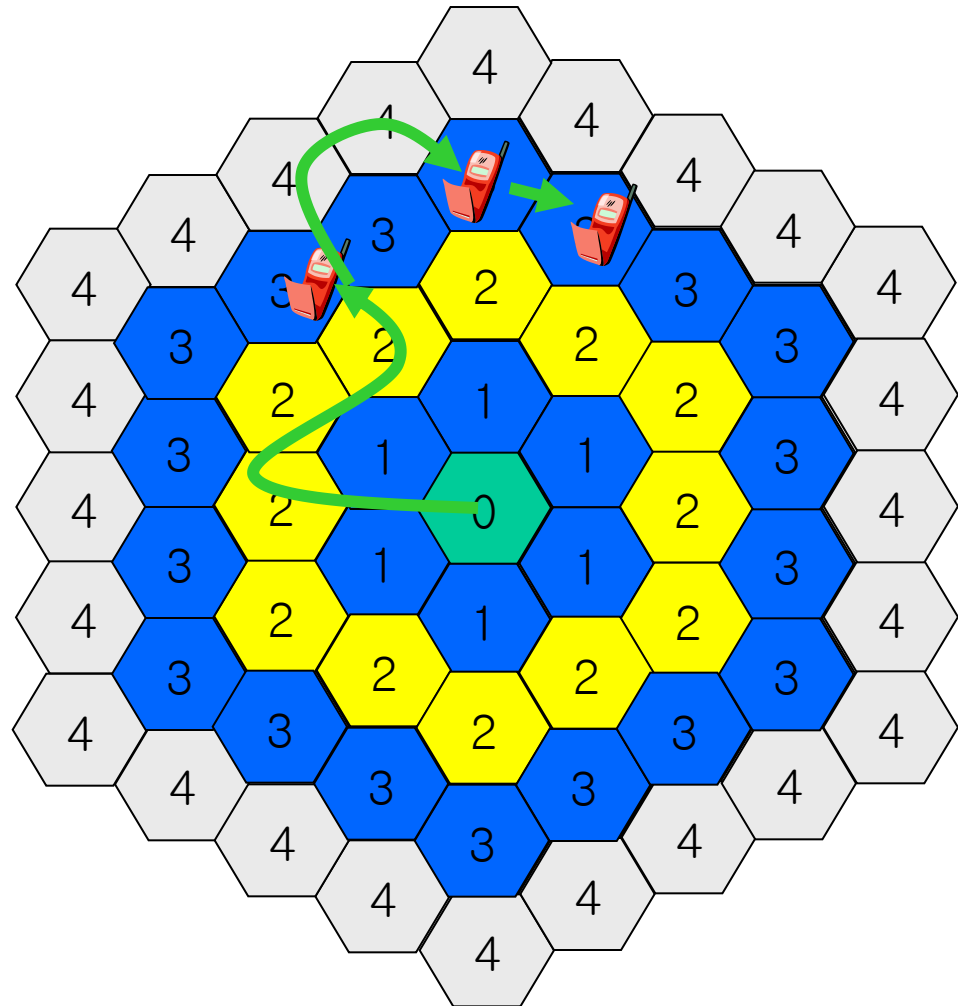
Η τεχνική των Reporting Cells (2/2)

- 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 (1/2)

- Ένα κατώφλι T χρόνου
- Ενημέρωση για θέση κάθε T στιγμές
- Αναζήτηση του κινητού σε ένα δακτύλιο που καθορίζεται από $i+j$ και $i-j$, όπου i είναι η θέση όπου τελευταία εκτέλεσε ενημέρωση 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

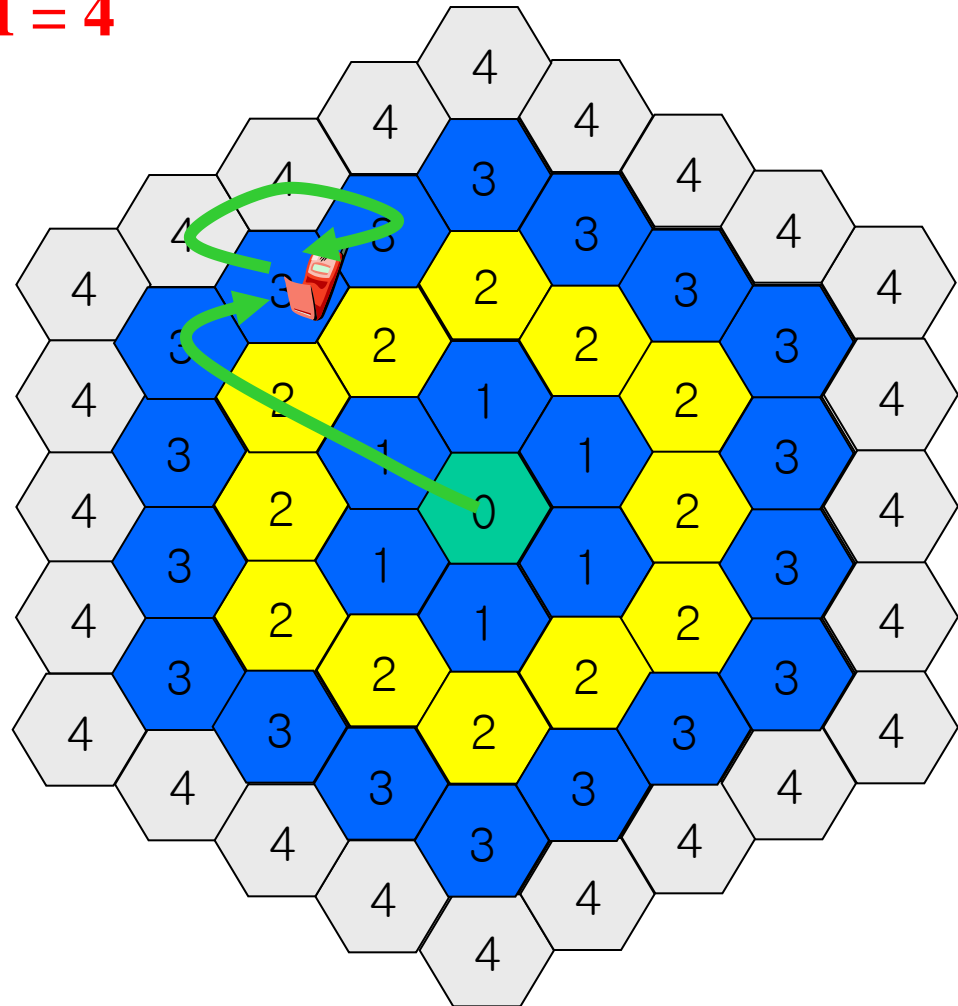
Σχήμα Movement-based

- 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.

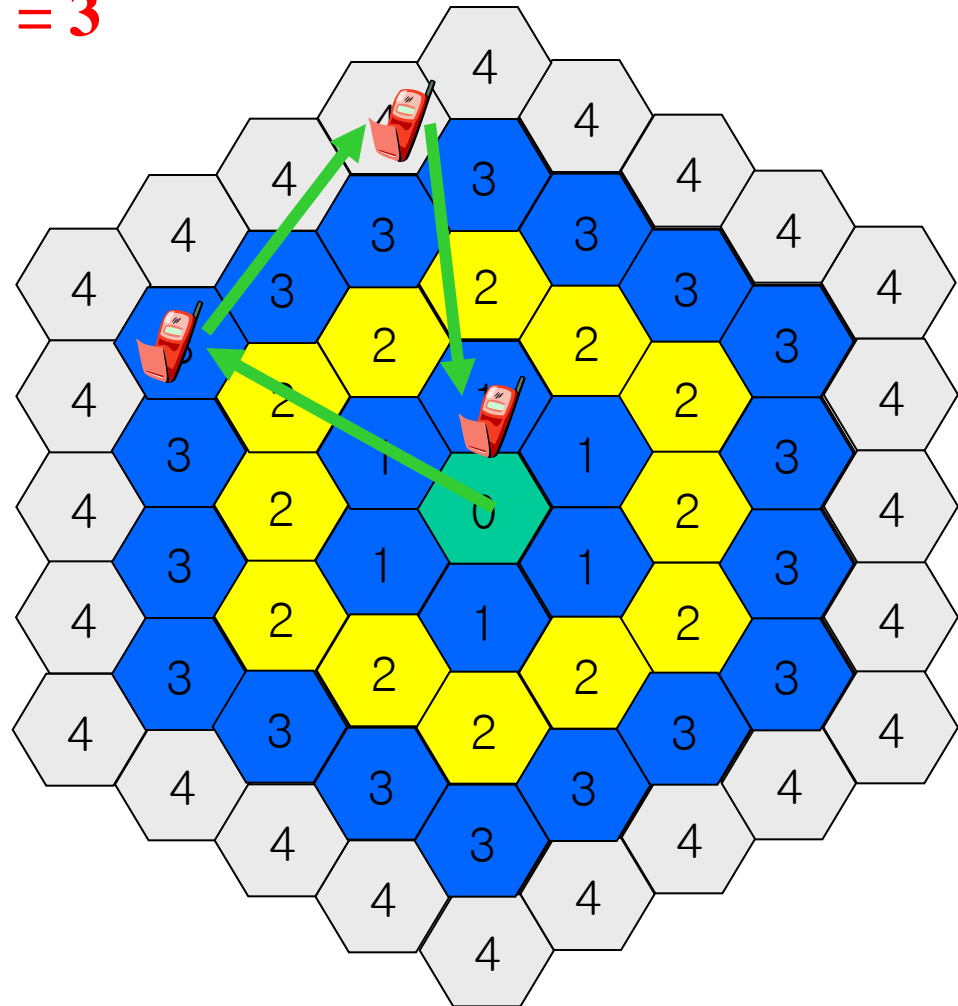


Σχήμα Distance-based (1/2)

- 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)

Κατόφλι: $D = 3$



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:

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

- 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

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

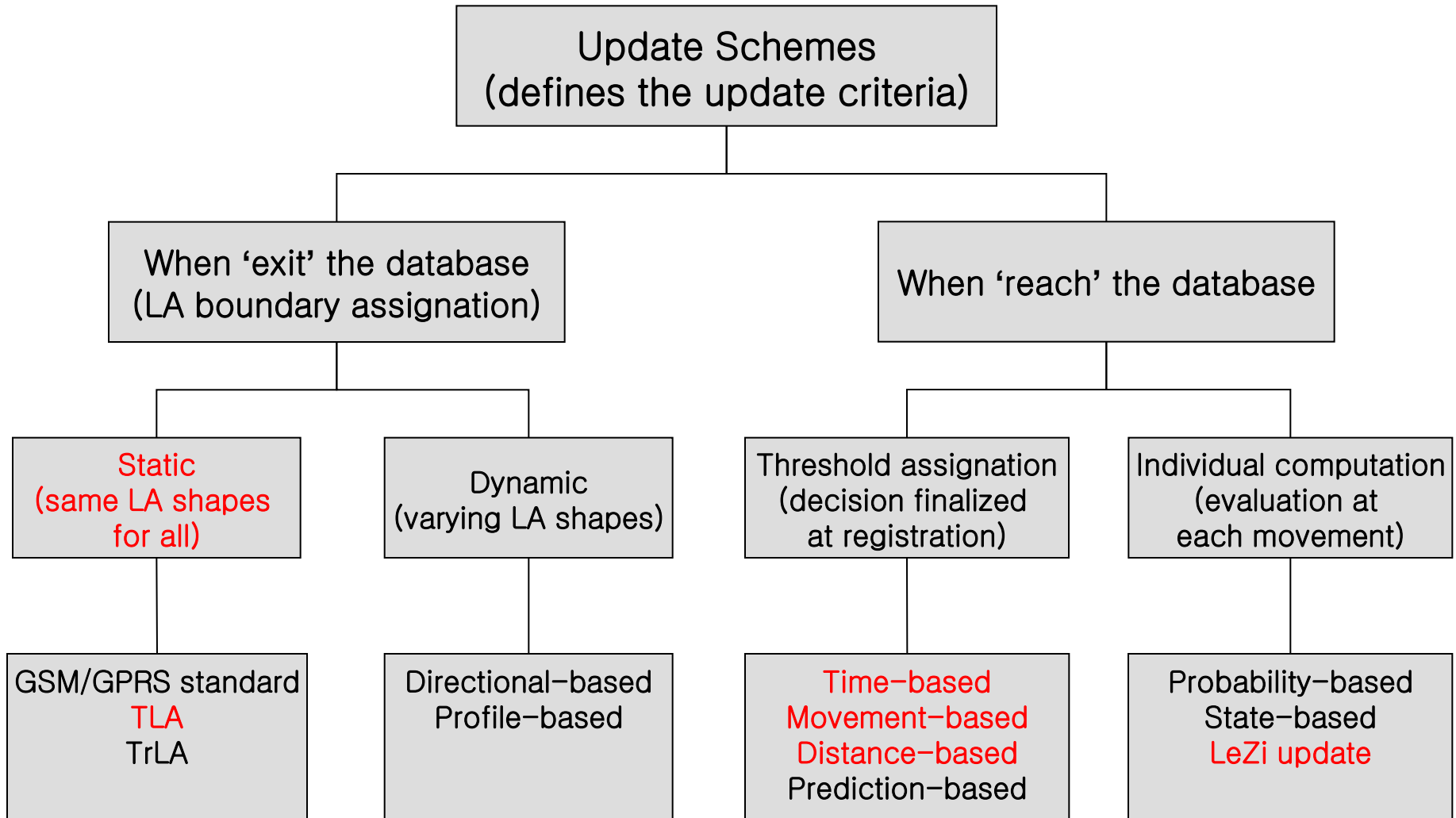
Απόδειξη βασικού θεωρήματος (2/2)

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

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

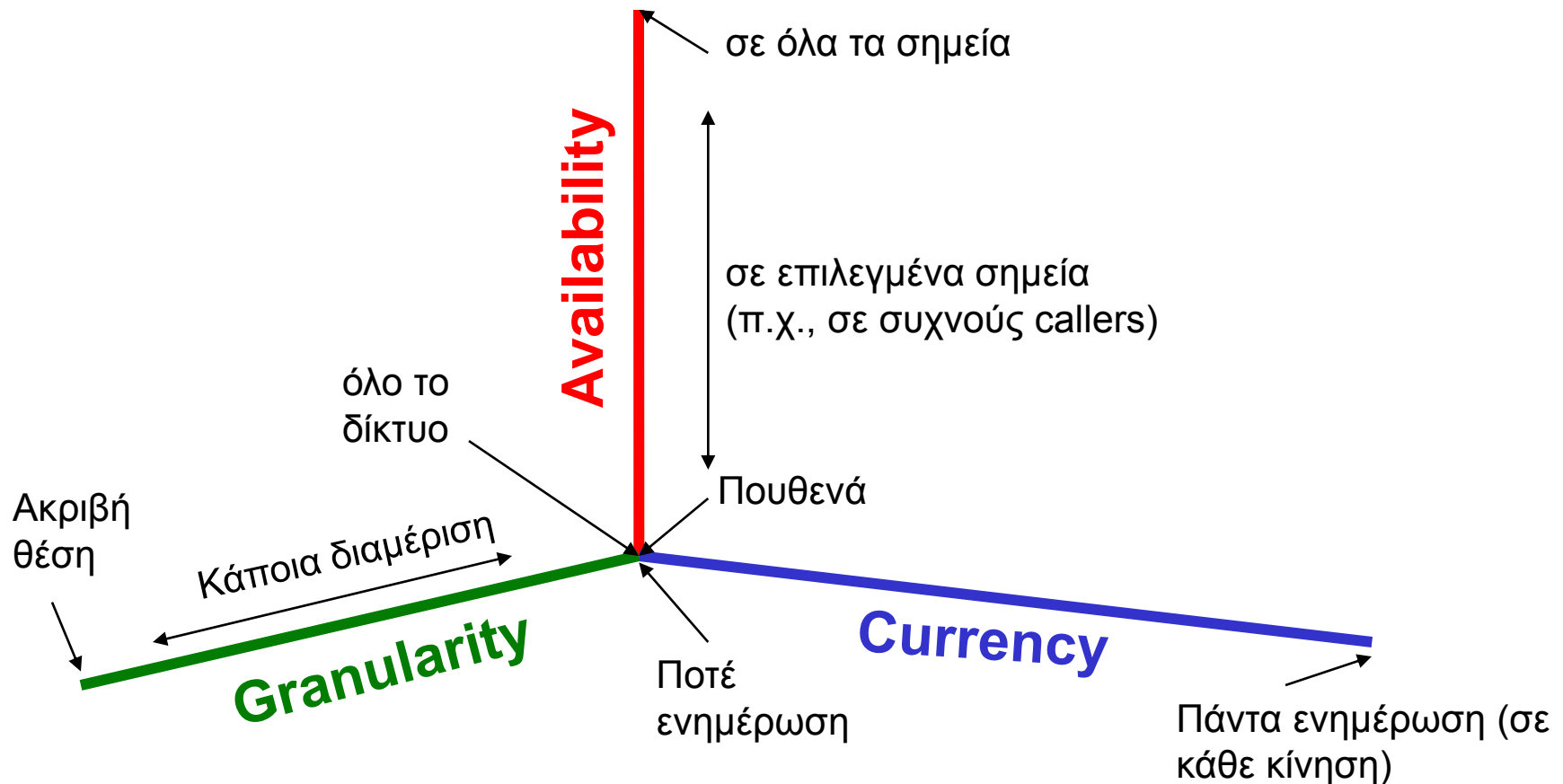
which also contradicts the assumed optimality. \square

Κατηγοριοποίηση τεχνικών



Σύνοψη εύρεσης κινητών

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

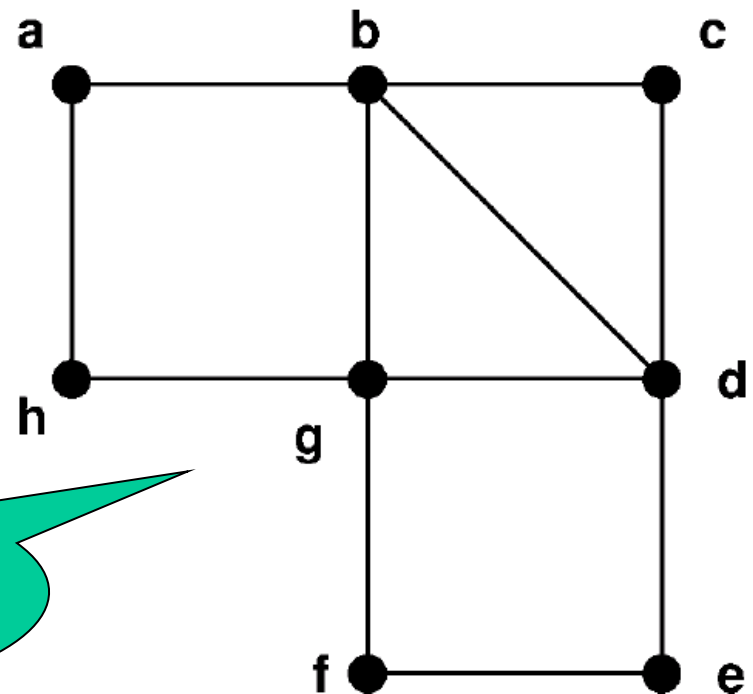
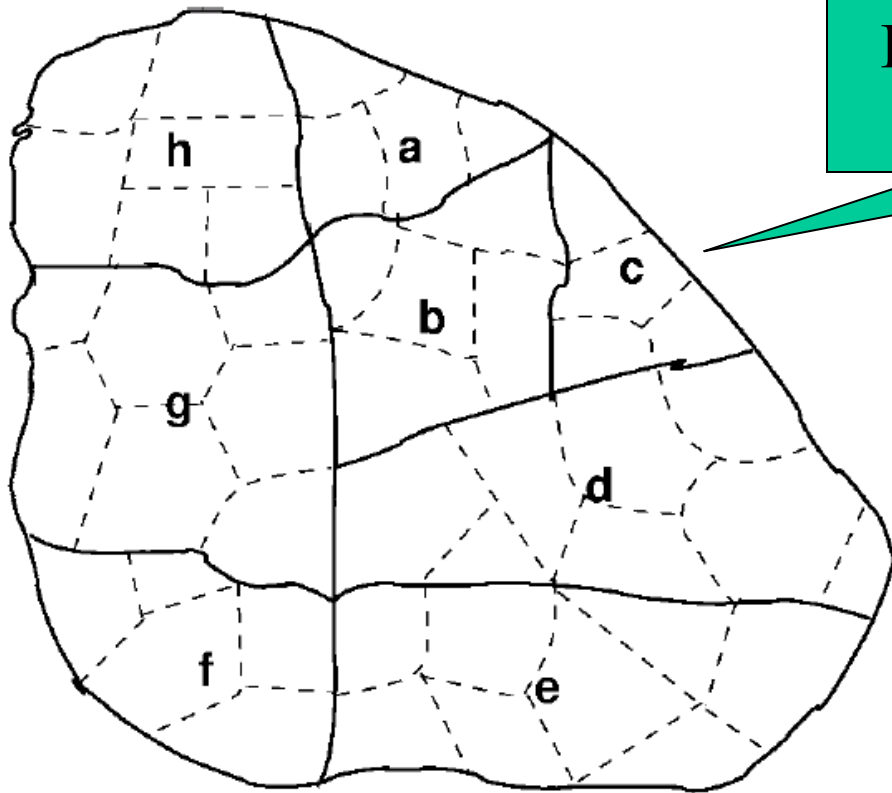


Η τεχνική LeZi-Update (1/15)

- Μοντέλα τοπολογίας δικτύου
 - γεωμετρικά μοντέλα
 - **συμβολικά μοντέλα**
- Τα γεωμετρικά μοντέλα
 - Εύκολα
 - Γενικά
 - Επιτρέπουν πρόβλεψη

Η τεχνική LeZi-Update (2/15)

Πραγματική τοπολογία
κυψελοειδούς δικτύου



Συμβολική
αναπαράσταση

Η τεχνική LeZi-Update (3/15)

User movement between 9:00 a.m. and 9:00 p.m.

Time	a.m.			p.m.							
		11:04	11:32	11:57	3:18	4:12	4:52	5:13	6:11	6:33	6:54
Crossing	$a \rightarrow b$	$b \rightarrow a$	$a \rightarrow b$	$b \rightarrow a$	$a \rightarrow b$	$b \rightarrow c$	$c \rightarrow d$	$d \rightarrow c$	$c \rightarrow b$	$b \rightarrow a$...

Ακολουθία αναφορών διαφόρων σχημάτων ενημέρωσης θέσης

Time-based ($T = 1$ hr)	$aaabbbbacdaaa \dots$
Time-based ($T = 1/2$ hr)	$aaaaabbbbbbbbaabcdcdcaaaaa \dots$
Movement-based ($M = 1$)	$abababcdcba \dots$
Movement-based ($M = 2$)	$aaacca \dots$
Time- and movement-based ($T = 1$ hr, $M = 1$)	$aaababbbbbaabccddcbaaaa \dots$

Η τεχνική LeZi-Update (4/15)

Definition 1. The *movement history* of a user is a string “ $v_1 v_2 v_3 \dots$ ” of symbols from the alphabet ϑ , where ϑ is the set of zones under the service area and v_i denotes the zone-id reported by the i th update. Consequently, v_i ’s are not necessarily distinct.

Definition 2. The *mobility model* of a user is a *stationary stochastic process* $\mathcal{V} = \{V_i\}$, such that V_i assumes the value $v_i \in \vartheta$ in the event that the i th update reports the user in zone v_i . The joint distribution of any subsequence of V_i ’s is invariant with respect to shifts in the time axis, i.e.,

$$\begin{aligned} \Pr[V_1 = v_1, V_2 = v_2, \dots, V_n = v_n] \\ = \Pr[V_{1+l} = v_1, V_{2+l} = v_2, \dots, V_{n+l} = v_n] \end{aligned} \quad (1)$$

for every shift l and for all $v_i \in \vartheta$. The *movement history* is a *trajectory* or *sample path* of \mathcal{V} .

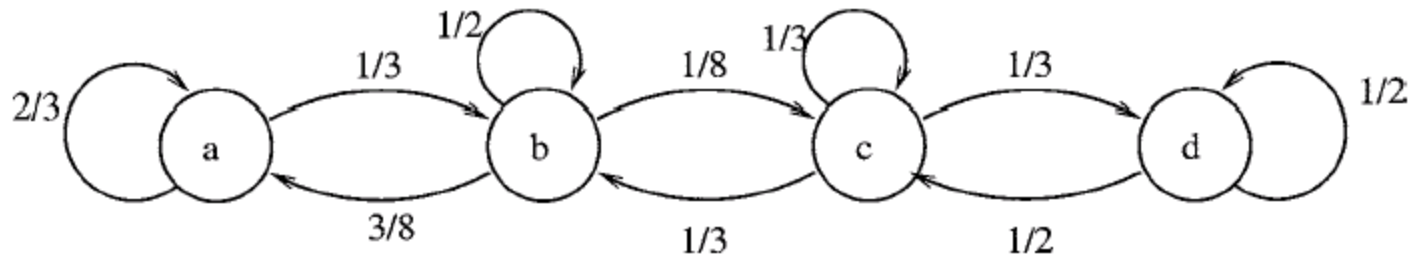
Η τεχνική LeZi-Update (5/15)

Για την ακολουθία αναφορών: **aaababbbbbaabccddcbaaaa**

→ **Ignorant model.** The ignorant model disbelieves and disregards the information available from movement history. Due to the lack of knowledge, it assigns equal residence probabilities to all the eight zones in figure 1. In other words, $\pi_a = \pi_b = \pi_c = \pi_d = \pi_e = \pi_f = \pi_g = \pi_h = 1/8 = 0.125$. The assumption of uniform probability distribution suffers from the consequence that no single paging strategy can be adjudged better than another in terms of average paging cost

→ **IID model.** The IID model assumes that V_i 's are independent and identically distributed. Using the relative frequencies of the symbols as estimates of residence probabilities, we obtain the residence probabilities as $\pi_a = 10/23 \approx 0.435$, $\pi_b = 8/23 \approx 0.348$, $\pi_c = 3/23 \approx 0.13$, $\pi_d = 2/23 \approx 0.087$, and $\pi_e = \pi_f = \pi_g = \pi_h = 0$.

Η τεχνική LeZi-Update (6/15)



→ **Markov model.**

The simplest possible Markov model assumes that the process S is a time-invariant Markov chain, defined by

$$\begin{aligned} \Pr[V_k = v_k \mid V_1 = v_1, \dots, V_{k-1} = v_{k-1}] \\ = \Pr[V_k = v_k \mid V_{k-1} = v_{k-1}] \end{aligned} \quad (2)$$

$$= \Pr[V_i = v_i \mid V_{i-1} = v_{i-1}] \quad (3)$$

for any arbitrary choice of k and i .

Πίνακας πιθανοτήτων μετάβασης: $\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 2/3 & 1/3 & 0 & 0 \\ 3/8 & 1/2 & 1/8 & 0 \\ 0 & 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 0 & 0 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix}$

Η τεχνική LeZi-Update (7/15)

- Ορολογία
 - Markov μοντέλο \rightarrow Markov μοντέλο τάξης 1
 - IID μοντέλο \rightarrow Markov μοντέλο τάξης 0
 - Ignorant μοντέλο \rightarrow Markov μοντέλο τάξης -1
 - **Υψηλότερης τάξης μοντέλα** ? Δείτε τον παρακάτω πίνακα

Contexts of orders 0, 1 and 2 with frequencies.

Order-0	Order-1		Order-2		
$a(10)$	$a a(6)$	$b c(1)$	$a aa(3)$	$a ba(2)$	$a cb(1)$
$b(8)$	$b a(3)$	$c c(1)$	$b aa(2)$	$b ba(1)$	$d cc(1)$
$c(3)$	$a b(3)$	$d c(1)$	$a ab(1)$	$a bb(1)$	$d cd(1)$
$d(2)$	$b b(4)$	$c d(1)$	$b ab(1)$	$b bb(3)$	$b dc(1)$
	$c b(1)$	$d d(1)$	$c ab(1)$	$c bc(1)$	$c dd(1)$

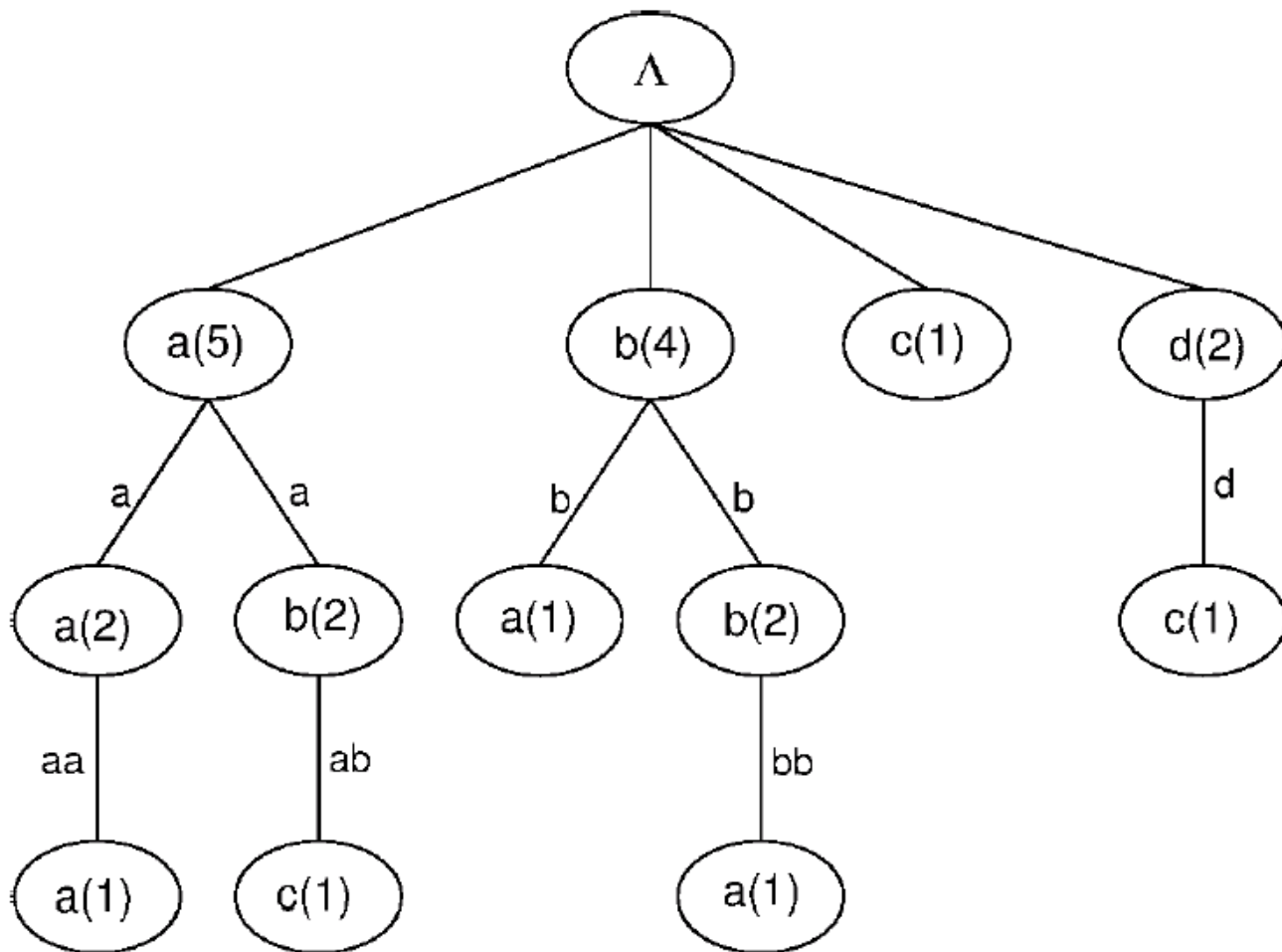
Η τεχνική LeZi-Update (9/15)

- Άμεσα ή έμμεσα (κάποια από) τα σχήματα ενημέρωσης θέσης κρατούσαν στην cache τους το (τα) cell (ή location area) ID και με βάση αυτή την πληροφορία έκαναν την ενημέρωση
- Ο αλγόριθμος LeZi-Update λειτουργεί παρόμοια, στέλνοντας ομάδες ID μόνο όταν αυτή η ομάδα δεν έχει ξαναεμφανιστεί
- Θεωρώντας την ακολουθία: **aaababbbbbaabccddcbaaaa**
- Την κάνει parsing σε φράσεις ως εξής: *a, aa, b, ab, bb, bba, abc, c, d, dc, ba, aaa, . . .*
- Ο μ η χ α ν ι σ μ ό ς ε ί ν α ι ο π α ρ α κ ά τ ω :

The algorithm LZ78 parses the

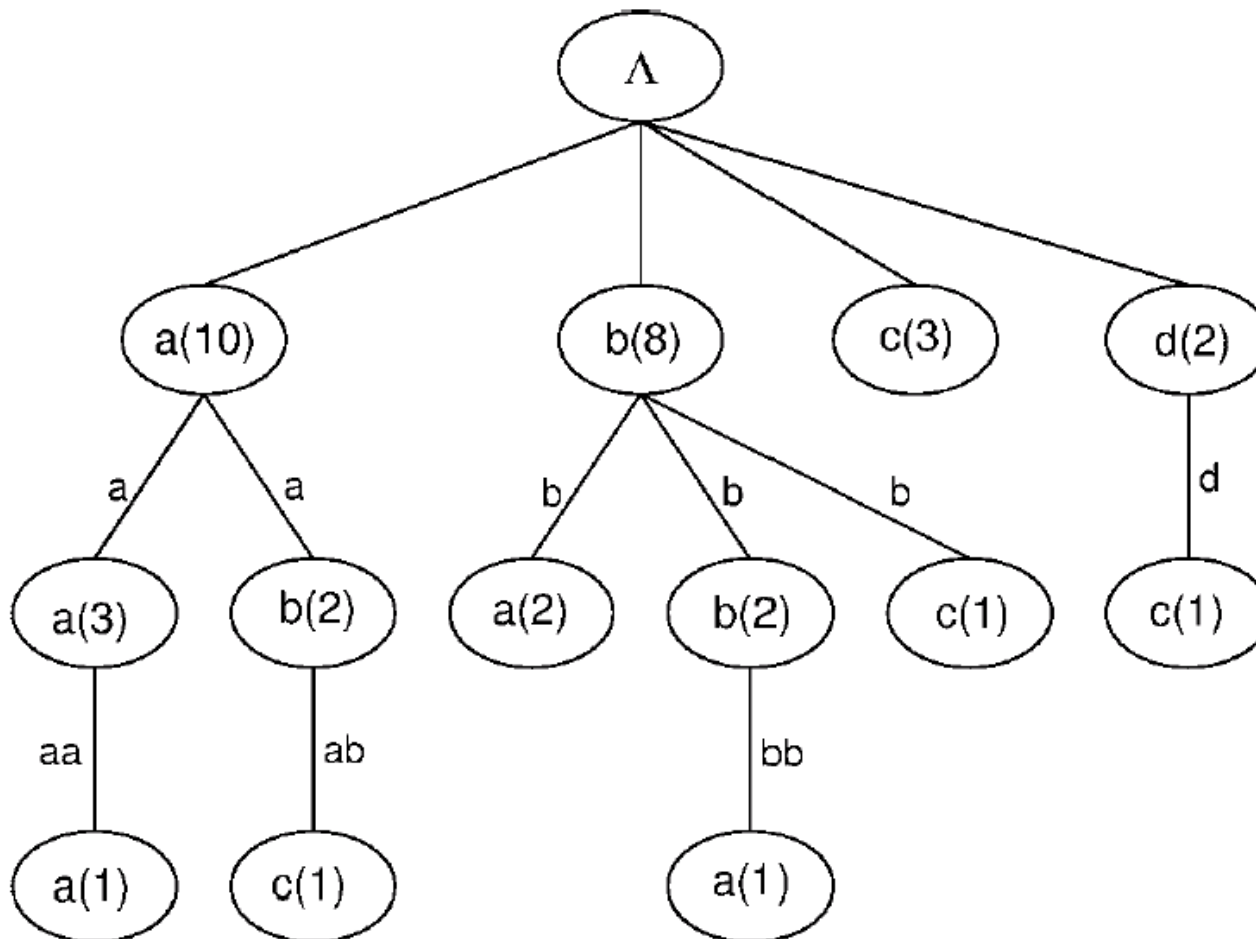
input string “ v_1, v_2, \dots, v_n ”, where $v \in \vartheta$, into $c(n)$ distinct substrings $w_1, w_2, \dots, w_{c(n)}$ such that for all $j \geq 1$, the prefix of substring w_j (i.e., all but the last character of w_j) is equal to some w_i , for $1 \leq i < j$. Because of this *prefix property*, substrings parsed so far can be efficiently maintained in a trie

Η τεχνική LeZi-Update (10/15)



Trie για τον κλασικό αλγόριθμο LZ78

Η τεχνική LeZi-Update (11/15)



Trie για τον επαυξημένο αλγόριθμο LZ78: Για κάθε φράση εισαγάγουμε όλα τα επιθέματα (suffixes) της

Η τεχνική LeZi-Update (12/15)

```

initialize dictionary := null
initialize phrase w := null
loop
  wait for next symbol v
  if(w.v in dictionary)
    w := w.v
  else
    encode <index(w),v>
    add w.v to dictionary
    w := null
  endif
forever

```

Figure 4. Encoder at the mobile.

```

initialize dictionary := null
loop
  wait for next codeword <i,s>
  decode phrase := dictionary [i].s
  add phrase to dictionary
  increment frequency for every
    prefix of phrase
forever

```

Figure 5. Decoder at the system.

```

initialize dictionary := null
loop
  wait for next codeword <i,s>
  decode phrase := dictionary [i].s
  add phrase to dictionary
  increment frequency for every prefix of
    every suffix of phrase
forever

```

Figure 7. Enhanced decoder at the system.

Η τεχνική LeZi-Update (13/15)

Result 4. The symbol-wise model created by the incremental parsing asymptotically outperforms a Markov model of any finite order and attains the finite-state predictability. At any point, the effective number of states in the incremental parsing model is $O(c(n))$ and the equivalent Markov order is $O(\log c(n))$. Moreover, for stationary ergodic sources, it attains the predictability of the universal model.

Η τεχνική LeZi-Update (14/15)

- Υποθέτουμε ότι πρέπει να παραδώσουμε κλήση για το κινητό και η τελευταία γνώση που έχουμε για τη θέση του είναι: aaa
- Τα contexts που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι τα suffixes του aaa (εκτός από το ίδιο φυσικά), δηλ., aa (τάξη 2), a (τάξη 1) και το Λ (τάξη 0)
- **Πρώτα** πρέπει να βρούμε όλα τα πιθανά μονοπάτια που μπορούν να προβλεφτούν με αυτά τα contexts:

Phrases and their frequencies at contexts “ aa ”, “ a ” and “ Λ ”.

aa (order-2)	a (order-1)	Λ (order-0)		
$a \mid aa(1)$	$a \mid a(2)$	$a(5)$	$ba(2)$	$d(1)$
$\Lambda \mid aa(2)$	$aa \mid a(1)$	$aa(2)$	$bb(1)$	$dc(1)$
	$b \mid a(1)$	$ab(1)$	$bba(1)$	$\Lambda(1)$
	$bc \mid a(1)$	$abc(1)$	$bc(1)$	
	$\Lambda \mid a(5)$	$b(3)$	$c(3)$	

Η τεχνική LeZi-Update (15/15)

- **Κατόπιν**, να υπολογίσουμε τις unconditioned πιθανότητες εμφάνισης αυτών των φράσεων με blending (η μέθοδος υπολογισμού εξηγείται στη διάλεξη):

Probabilistic prediction of individual symbols on path until next update.

Phrase	Pr[Phrase]	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
<i>a</i>	$\frac{1}{3} + \frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{5} + \frac{1}{2} \left(\frac{5}{23} \right) \right\} = 0.5391$	0.5391	0.0000	0.0000	0.0000
<i>aa</i>	$\frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{10} + \frac{1}{2} \left(\frac{2}{23} \right) \right\} = 0.0957$	0.0957	0.0000	0.0000	0.0000
<i>ab</i>	$\frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{1}{23} \right) \right\} = 0.0145$	0.0073	0.0073	0.0000	0.0000
<i>abc</i>	$\frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{1}{23} \right) \right\} = 0.0145$	0.0048	0.0048	0.0048	0.0000
<i>b</i>	$\frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{10} + \frac{1}{2} \left(\frac{3}{23} \right) \right\} = 0.1104$	0.0000	0.1104	0.0000	0.0000
<i>ba</i>	$\frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{2}{23} \right) \right\} = 0.0290$	0.0145	0.0145	0.0000	0.0000
<i>bb</i>	$\frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{1}{23} \right) \right\} = 0.0145$	0.0000	0.0145	0.0000	0.0000
<i>bba</i>	$\frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{1}{23} \right) \right\} = 0.0145$	0.0048	0.0097	0.0000	0.0000
<i>bc</i>	$\frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{10} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{23} \right) \right\} = 0.0812$	0.0000	0.0406	0.0406	0.0000
<i>c</i>	$\frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{3}{23} \right) \right\} = 0.0435$	0.0000	0.0000	0.0435	0.0000
<i>d</i>	$\frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{1}{23} \right) \right\} = 0.0145$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0145
<i>dc</i>	$\frac{2}{3} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{1}{23} \right) \right\} = 0.0145$	0.0000	0.0000	0.0073	0.0073
Sum		0.6662	0.2018	0.0962	0.0218