



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Αρχιτεκτονική των
κυψελωτών
συστημάτων



- Βασικές απαιτήσεις και λειτουργίες
- Ραδιοκάλυψη - Ασύρματη πρόσβαση
- Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών
- Λειτουργική αρχιτεκτονική
- Φυσική αρχιτεκτονική
- Ορολογία στα κυψελωτά δίκτυα
- Κυψελωτή δικτύωση
- Μοντέλα κινητικότητας



Αντικειμενικός σκοπός

- Η υποστήριξη των επικοινωνιών μεταξύ χρηστών κυψελωτών συστημάτων, αλλά και μεταξύ χρηστών κυψελωτών συστημάτων και χρηστών σταθερών δικτύων, οπουδήποτε και οποτεδήποτε.
- Η εξασφάλιση της ολοκλήρωσης των επικοινωνιών (κλήσεων) που βρίσκονται σε εξέλιξη ανεξάρτητα από το αν κινούνται οι χρήστες, ή όχι, κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας.

The diagram illustrates a cloud-based network architecture. It features three main cloud components: a blue cloud on the left, an orange cloud in the center, and a yellow cloud on the right. The blue cloud contains a single antenna tower. The orange cloud contains two telephone handset icons. The yellow cloud contains two antenna towers. These clouds are interconnected by a network of blue lines. Surrounding the clouds are various devices: mobile phones are positioned near the blue and yellow clouds, while laptops and servers are located near the orange cloud. Communication paths are highlighted with colored arrows: a red arrow points from the blue cloud to the orange cloud; a purple arrow points from the blue cloud to the yellow cloud; a green arrow points from the yellow cloud to the orange cloud; and a red arrow points from the orange cloud to the yellow cloud. Red lightning bolt symbols with arrows indicate wireless communication between the towers and the mobile phones.

Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Κυψελωτά συστήματα



- Παρακολουθείται διαρκώς η θέση του κινητού τερματικού (χρήστη), ώστε να είναι εύκολο να εντοπισθεί, όταν δέχεται κλήση.
- Κατά τη διάρκεια της κλήσης, αν η στάθμη ισχύος πέσει κάτω από μια συγκεκριμένη τιμή, λαμβάνει χώρα αυτόματα η διαπομπή
 - επιλογή του καλύτερου σταθμού βάσης για την κάλυψη του τερματικού
 - εκχώρηση ενός νέου διαύλου από τον καλύτερο σταθμό βάσης
 - μεταφορά της επικοινωνίας στον νέο σταθμό βάσης (νέα κυψέλη)

Κυψελωτά συστήματα



- Οι διαδικασίες αυτές πρέπει να πραγματοποιούνται
 - όταν οι διαδοχικές κυψέλες από τις οποίες διέρχεται το κινητό βρίσκονται υπό τον έλεγχο του ίδιου συστήματος
 - όταν βρίσκονται υπό τον έλεγχο διαφορετικών συστημάτων
- Κατά τη διαπομπή πρέπει να εξασφαλίζεται και η ίδια ποιότητα υπηρεσίας



- **Αντικειμενικός σκοπός των παρόχων**
 - εξυπηρέτηση των χρηστών του δικτύου τους κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο
 - μεγιστοποίηση του κέρδους τους

Κυψελωτά συστήματα



- Ο αντικειμενικός σκοπός των παρόχων επιτυγχάνεται
 - με αύξηση του χρόνου χρησιμοποίησης της ασύρματης διεπαφής
 - με περιορισμό της χρήσης του δικτύου από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες
 - με ελεύθερο ανταγωνισμό
 - τιμολογιακή πολιτική
 - ελκυστικές υπηρεσίες



Κυψελωτή διαδίκτυωση

- Παράδοση κλήσεων από ένα σύστημα σε άλλο, το οποίο βρίσκεται γεωγραφικά σε πολύ μεγάλη απόσταση (περιαγωγή)
- Είναι μια αρχιτεκτονική κυψελωτών συστημάτων που παρέχει σε ξεχωριστές ή επικαλυπτόμενες περιοχές εξυπηρέτησης ένα περιβάλλον, όπου οι κλήσεις αντιμετωπίζονται με συναφή τρόπο

Κυψελωτά συστήματα



Κυψελωτή διαδικτύωση

➤ Βασική ιδέα:

- Ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιεί και να δέχεται κλήσεις εύκολα και με τους ίδιους κωδικούς αριθμούς πρόσβασης, ανεξάρτητα από τη θέση του
- Εκείνοι που προσπαθούν να επικοινωνήσουν με τον συγκεκριμένο χρήστη δεν χρειάζεται να θυμούνται μακριές ακολουθίες πληκτρολογήσεων, κωδικών πρόσβασης, κλπ.
- Τα διάφορα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας συνοδεύουν τον χρήστη, όταν αυτός μετακινείται σε άλλες χώρες

Κυψελωτά συστήματα



Κυψελωτή διαδικτύωση

- **Άποψη παρόχων**
 - Το εμπορικό πλεονέκτημα της μεγάλης περιοχής εξυπηρέτησης
 - Η αύξηση των κερδών με τη βελτίωση του ποσοστού των κλήσεων που περατώνονται επιτυχώς και τη βελτιωμένη ποιότητα εξυπηρέτησης μεταξύ δύο ανεξάρτητων αλλά διαδικτυωμένων συστημάτων

Κυψελωτά συστήματα



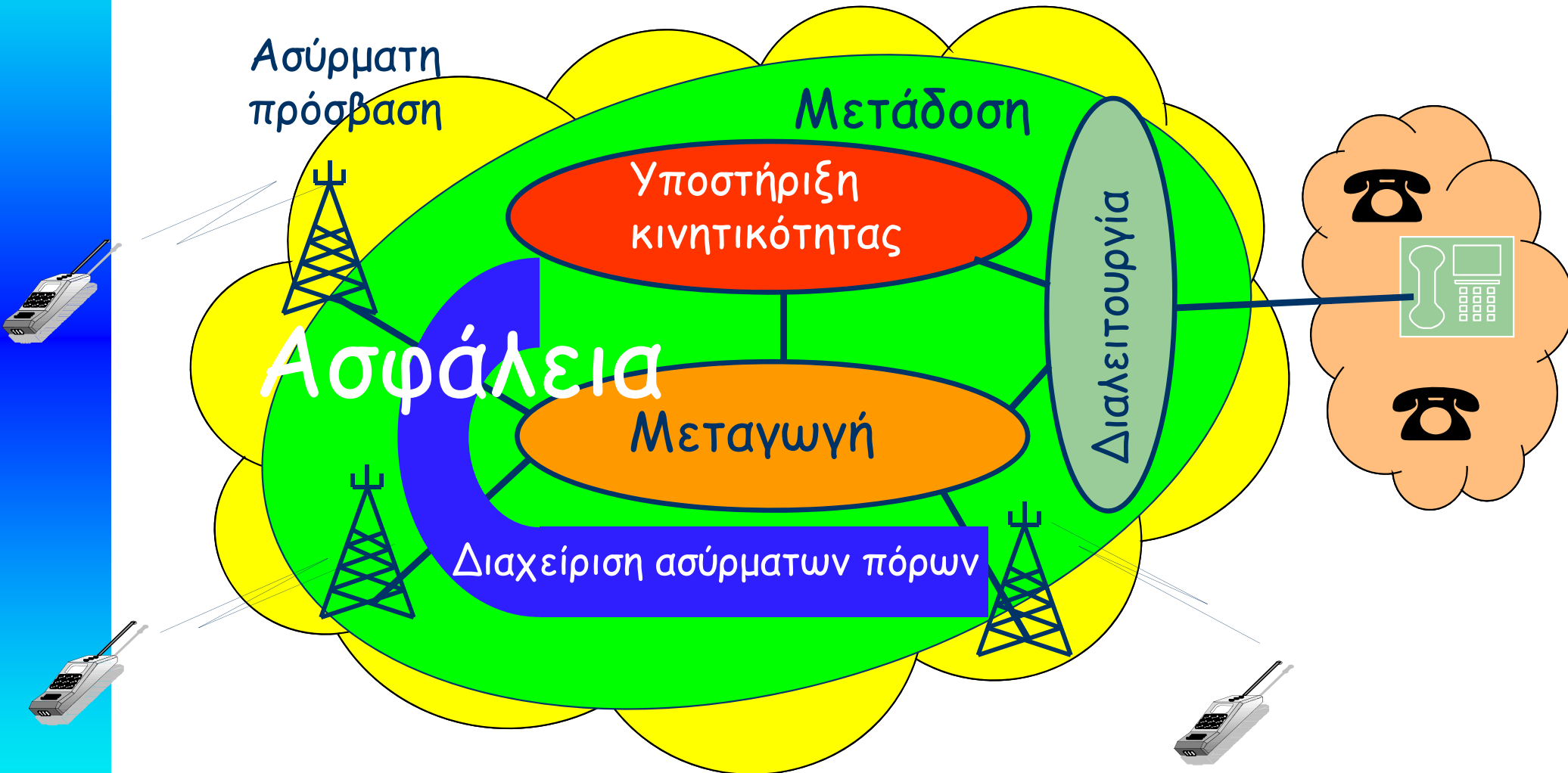
Κυψελωτή διαδίκτυωση

- Εμπόδια για τη δικτύωση στα λειτουργούντα κυψελωτά συστήματα
- Η διαδικασία περιαγωγής ποικίλει από σύστημα σε σύστημα
- Τα διάφορα χαρακτηριστικά υπηρεσίας δεν συνοδεύουν τον χρήστη καθώς αυτός ταξιδεύει σε άλλες πόλεις ή χώρες

Κυψελωτά συστήματα



Βασικές απατήσεις και λειτουργίες





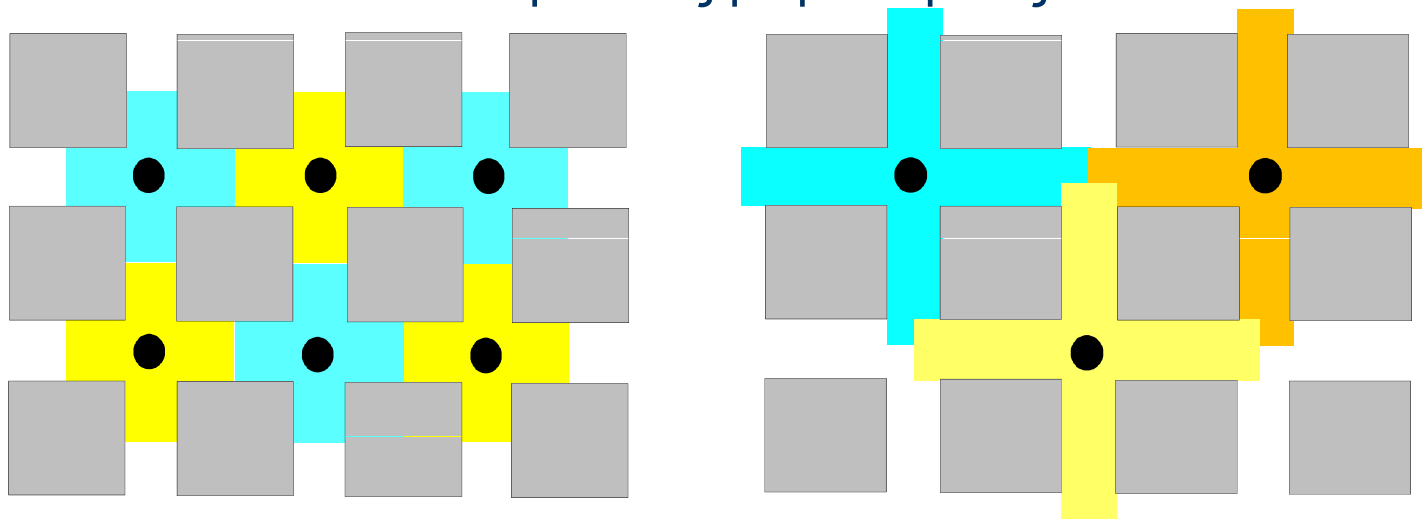
- Κατάλληλη τοποθέτηση *σταθμών βάσης* σε όλη την περιοχή κάλυψης του συστήματος
- Βελτίωση της φασματικής απόδοσης
 - Διάσπαση κυψελών
 - Χωρισμός κυψελών σε τομείς
 - Μικροκυψελικά συστήματα
 - Ιεραρχικές αρχιτεκτονικές κάλυψης

Ασύρματη πρόσβαση

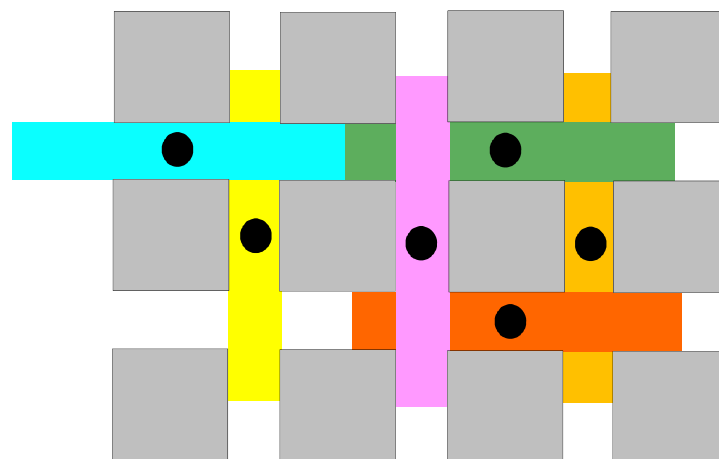


Μικροκυψελικά συστήματα

Σταυροειδείς μικροκυψέλες



Ευθύγραμμες μικροκυψέλες

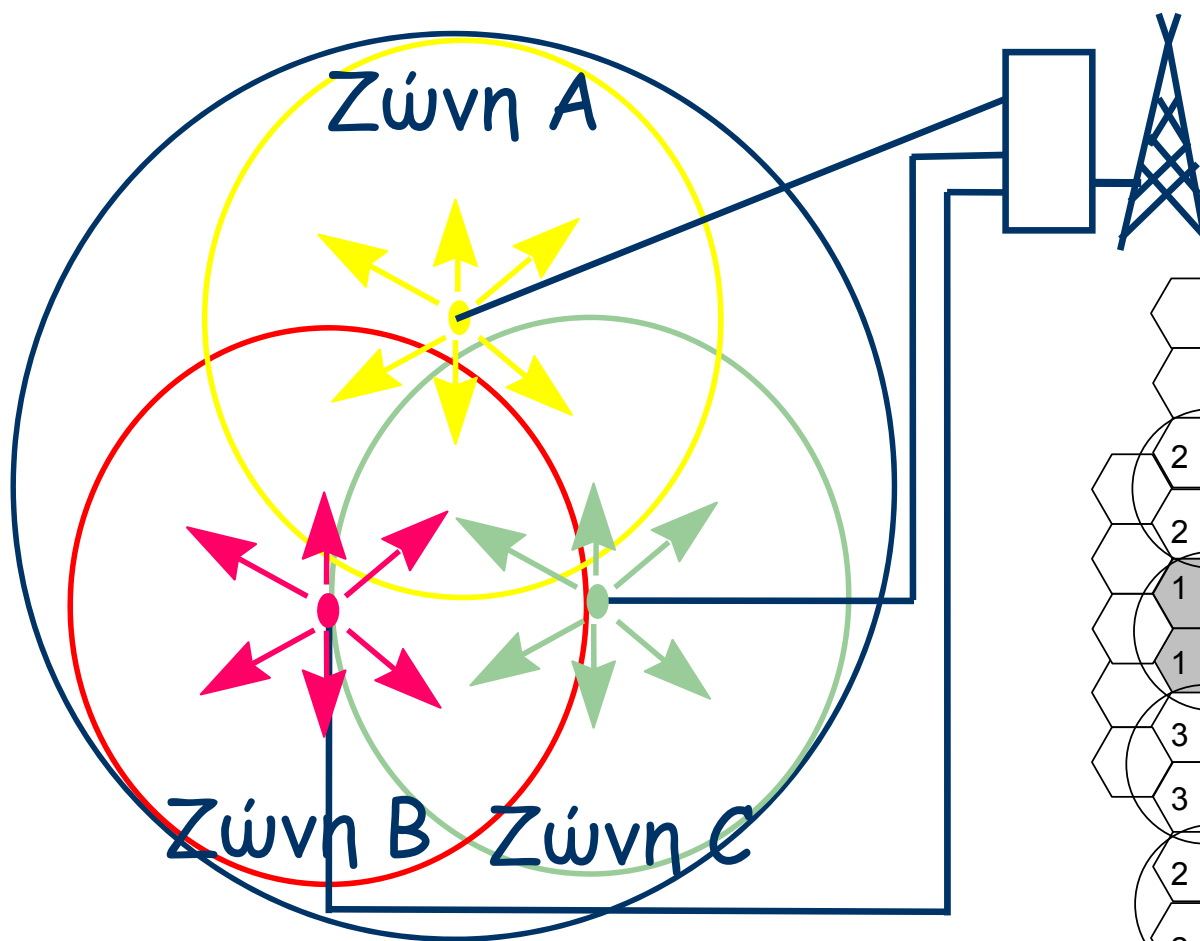


Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

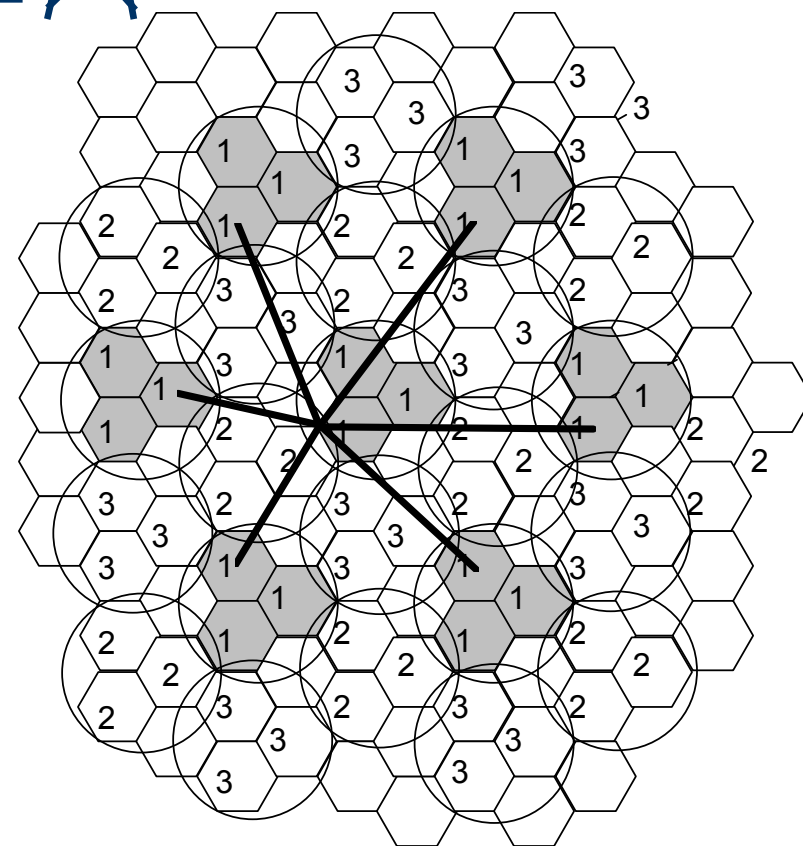
Ασύρματη πρόσβαση



Μικροκυψελικά συστήματα



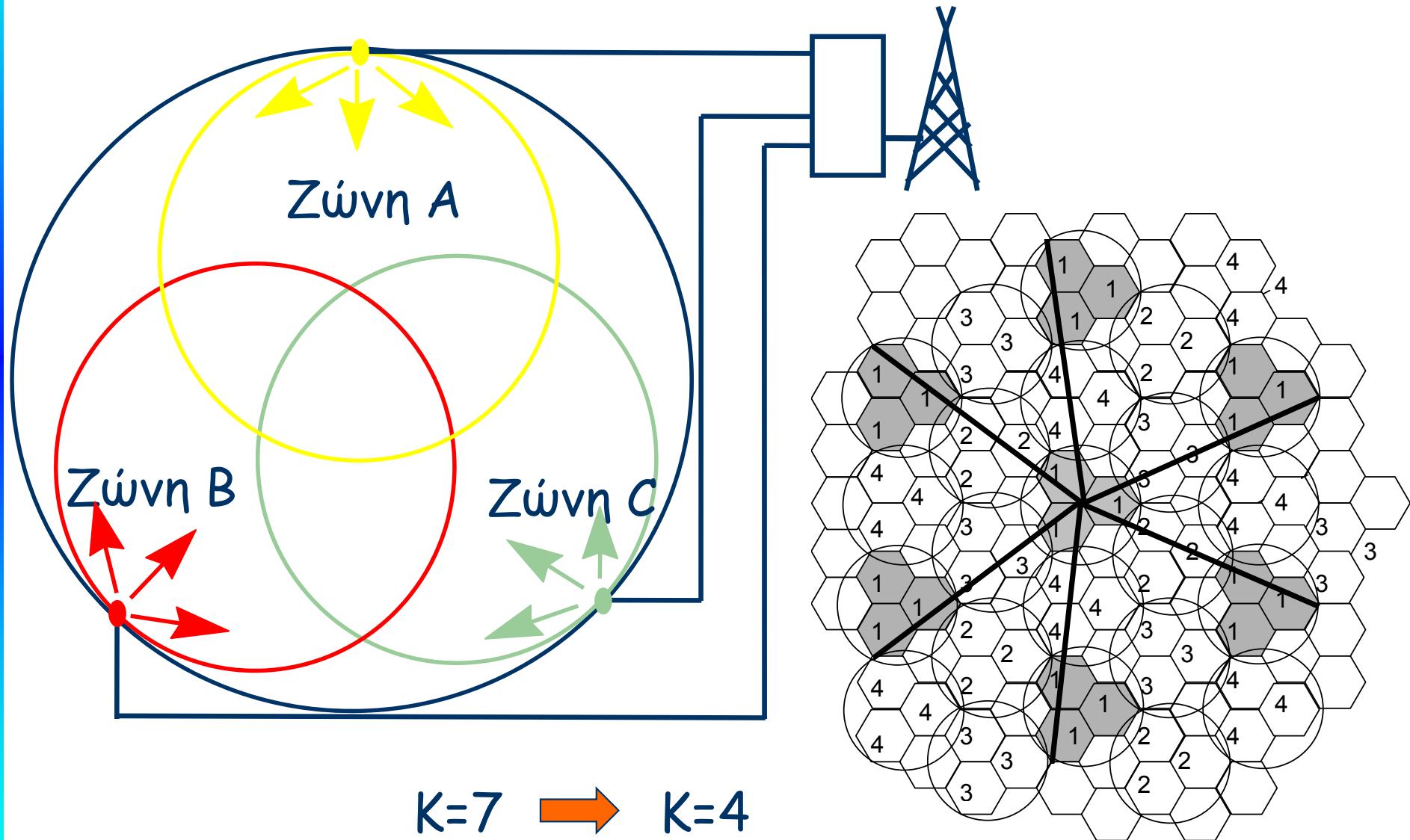
$K=7 \rightarrow K=3$



Ασύρματη πρόσβαση



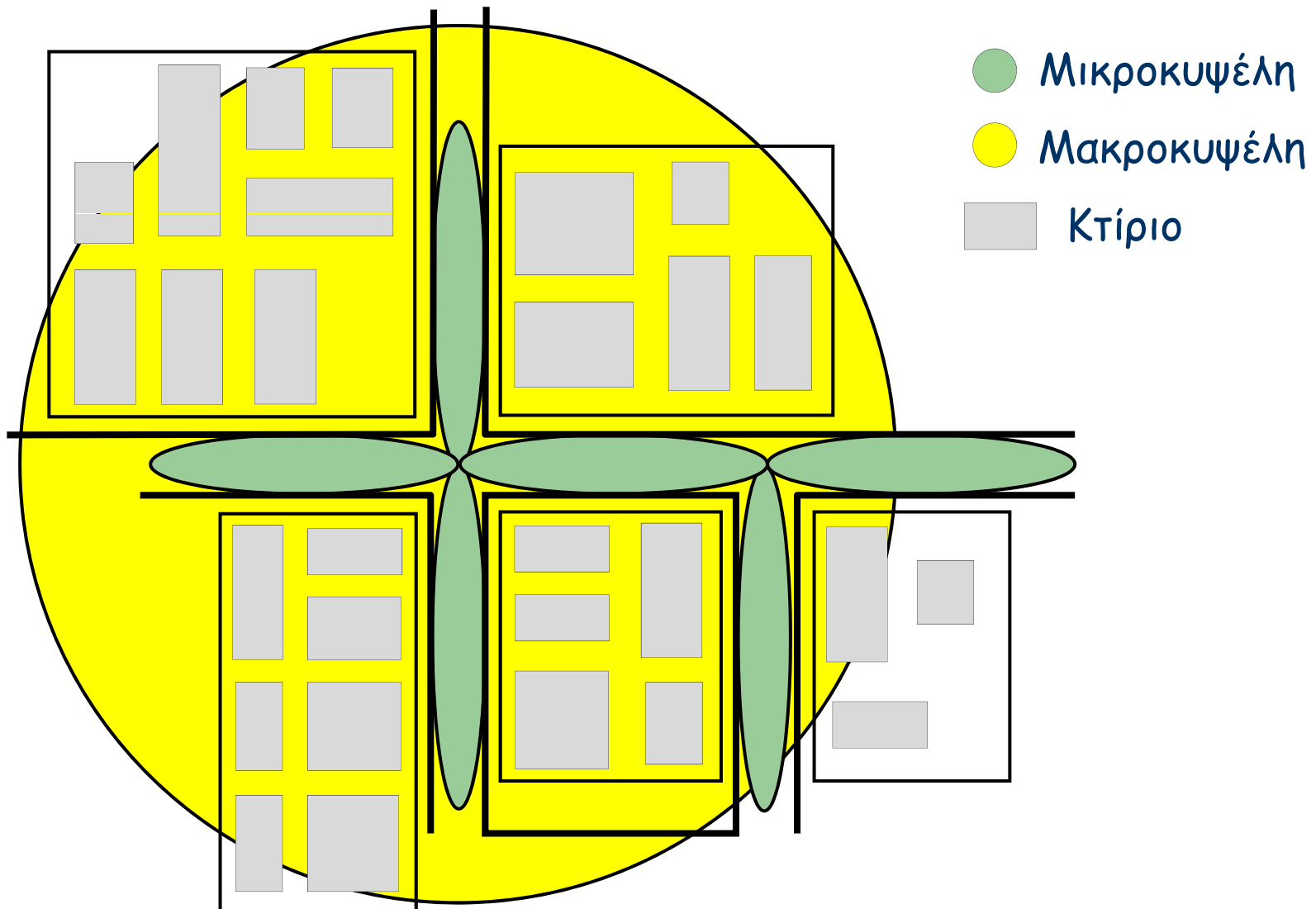
Μικροκυψελικά συστήματα



Ασύρματη πρόσβαση



Ιεραρχικές αρχιτεκτονικές κάλυψης

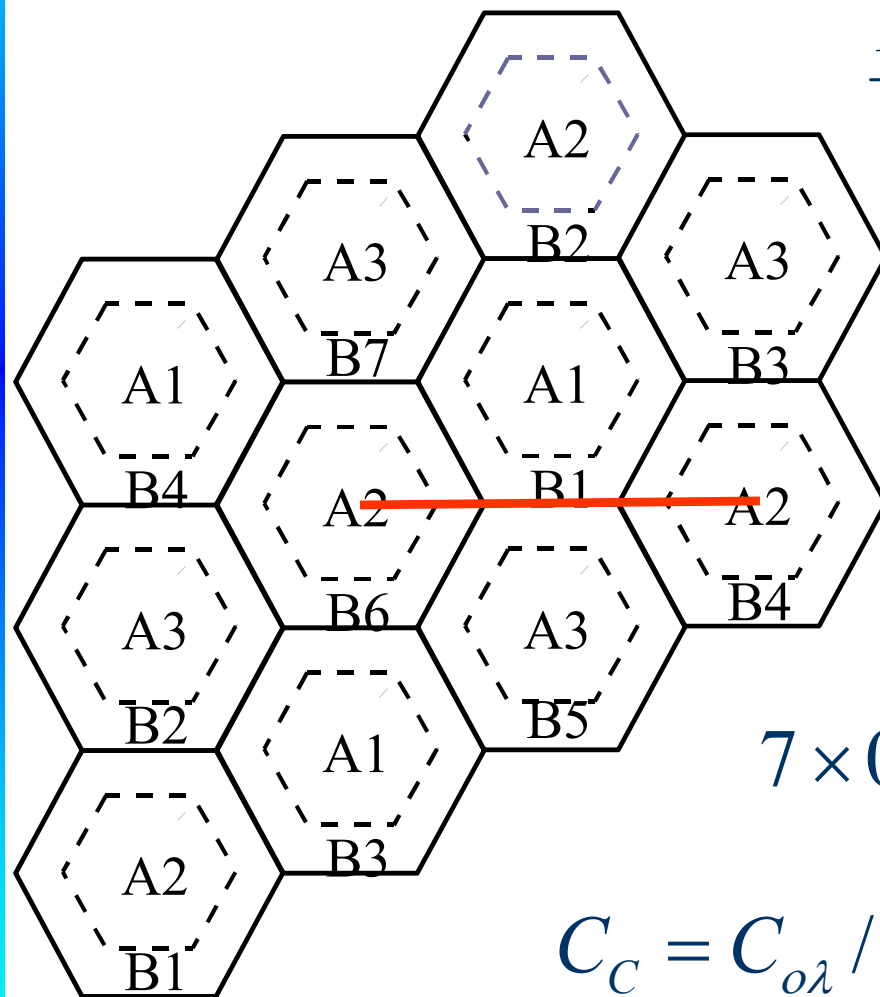


Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Ασύρματη πρόσβαση



Ιεραρχικές αρχιτεκτονικές Επιμερισμός επαναχρησιμοποίησης



$$\left. \begin{aligned} \frac{D_{\varepsilon\sigma}}{R_{\varepsilon\sigma}} &= \frac{D_{\varepsilon\xi}}{R_{\varepsilon\xi}} = 4.6 \\ \frac{D_{\varepsilon\sigma}}{R_{\varepsilon\xi}} &= 3 \end{aligned} \right\} \frac{D_{\varepsilon\sigma}}{\frac{R_{\varepsilon\sigma}}{\frac{D_{\varepsilon\sigma}}{R_{\varepsilon\xi}}}} = \frac{4.6}{3}$$

$$\frac{R_{\varepsilon\sigma}}{R_{\varepsilon\xi}} = 0.65 \quad \frac{A_{\varepsilon\sigma}}{A_{\varepsilon\xi}} = (0.65)^2 = 0.43$$

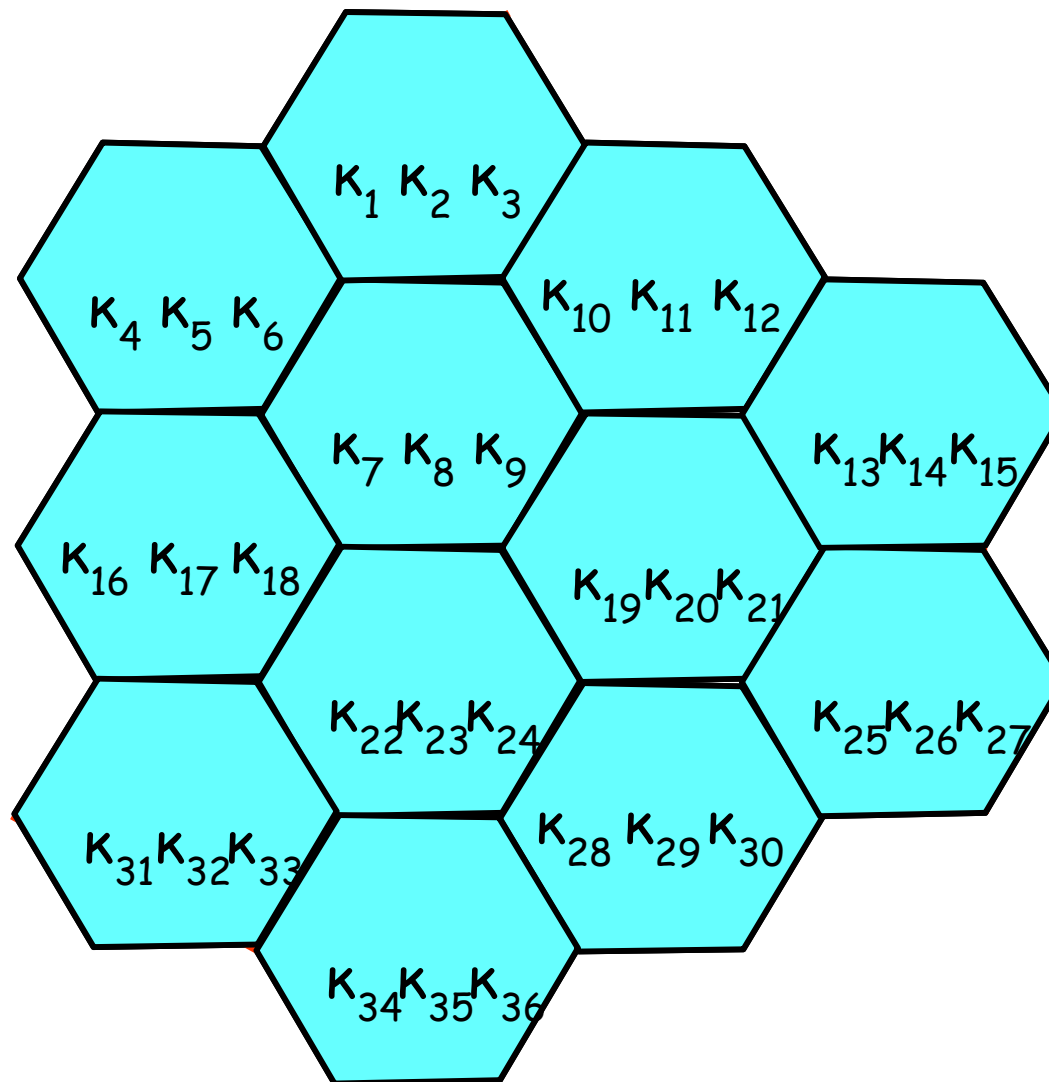
$$7 \times 0.57 \times C_C + 3 \times 0.43 \times C_C = C_{o\lambda}$$

$$C_C = C_{o\lambda} / 5.28 = 0.189 > C_{o\lambda} / 7 = 0.143$$

Ασύρματη πρόσβαση



Ιεραρχικές αρχιτεκτονικές

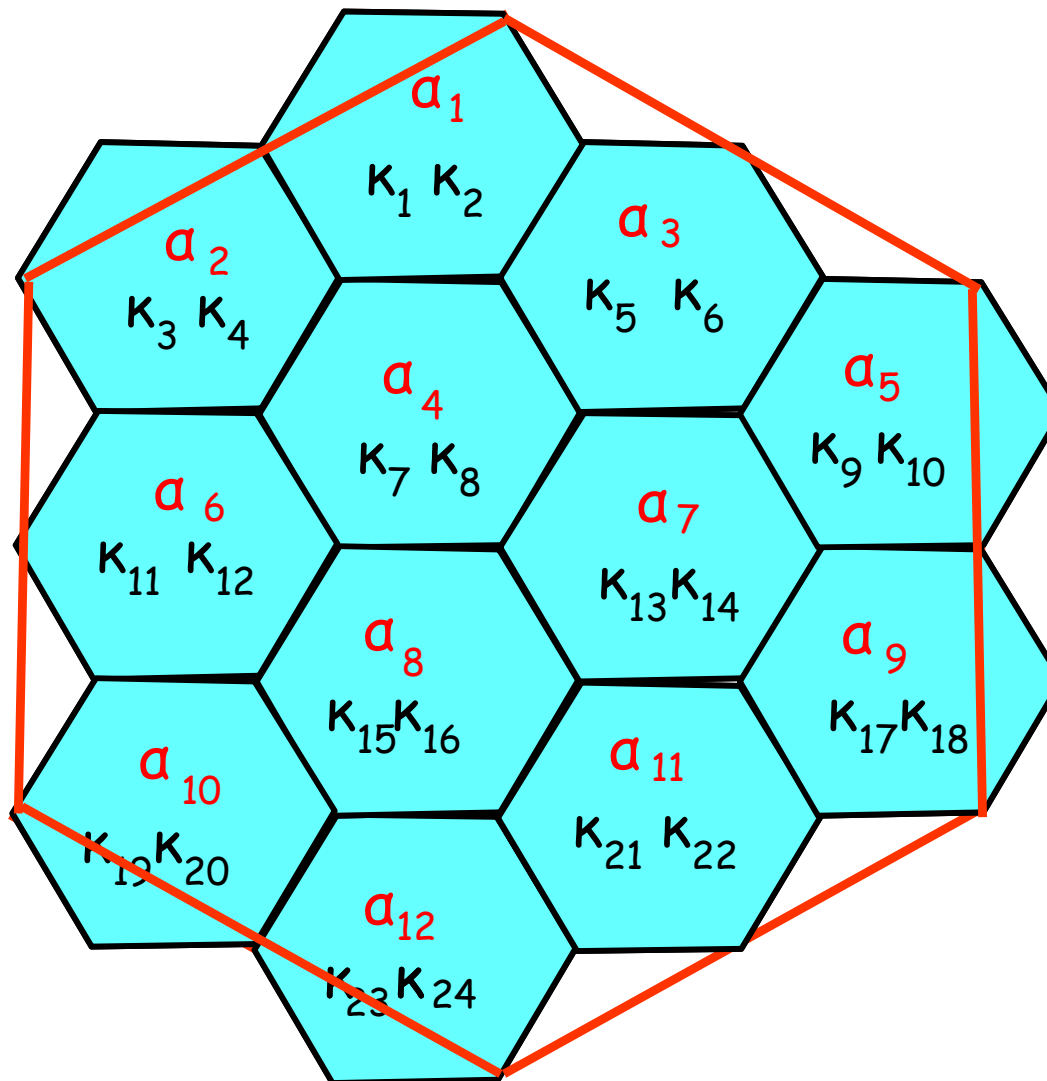


$K=12$

Ασύρματη πρόσβαση



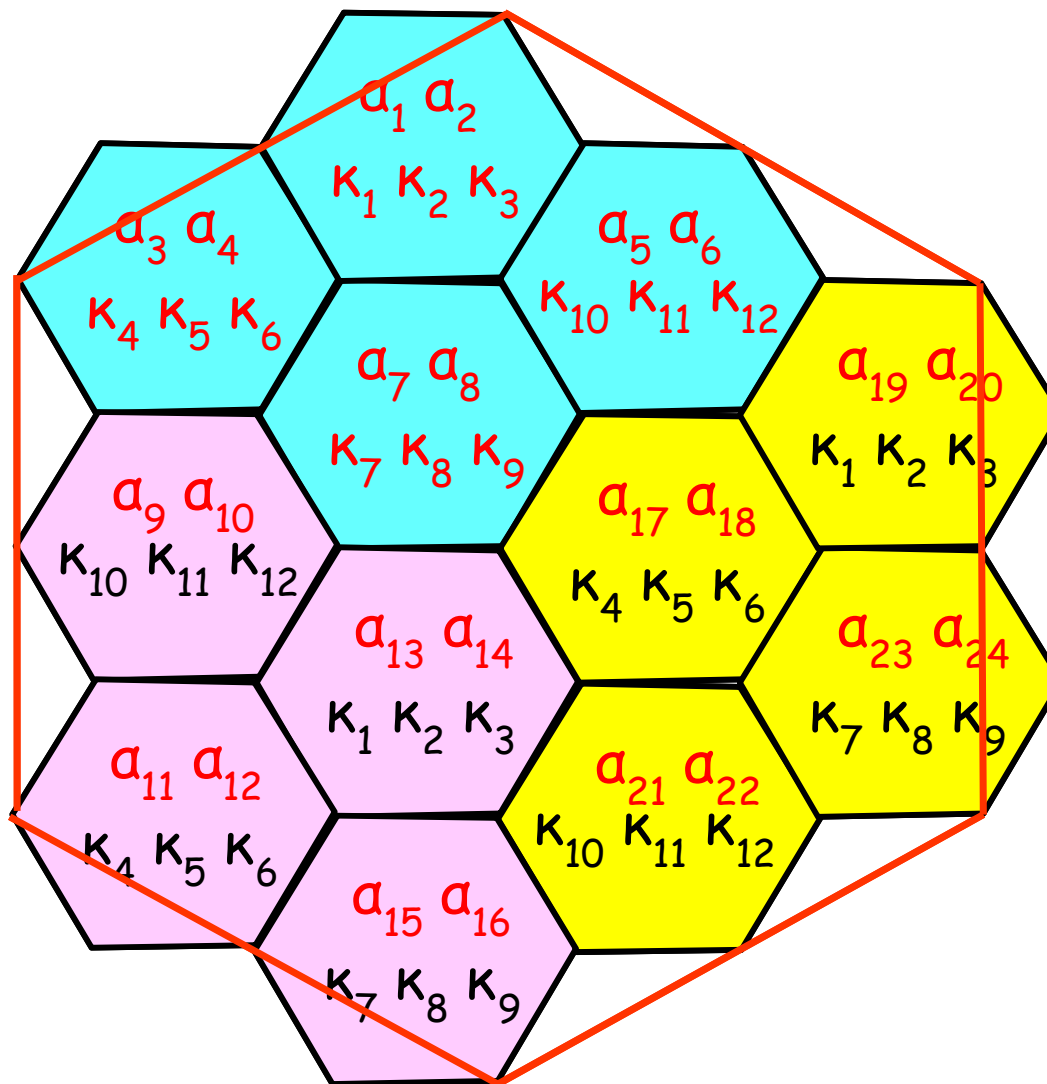
Ιεραρχικές αρχιτεκτονικές



Ασύρματη πρόσβαση



Ιεραρχικές αρχιτεκτονικές



Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών



- Περιοχές εντοπισμού
- Πληροφορία θέσης
- Ενημέρωση θέσης
- Εντοπισμός δεδομένων
- Αναζήτηση

Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών



- Κινητικότητα τερματικού
- Κινητικότητα χρήστη
- Κινητικότητα με SIM

Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών



Λειτουργίες που δεν σχετίζονται με τις κλήσεις

- Στόχος των λειτουργιών αυτών είναι να κρατούν ενήμερο το δίκτυο σχετικά με:
 - τη θέση των τερματικών που βρίσκονται σε λειτουργία
 - την παρούσα κατάσταση των τερματικών
 - την κατάσταση εγγραφής των χρηστών

Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών



Λειτουργίες που δεν σχετίζονται με τις κλήσεις

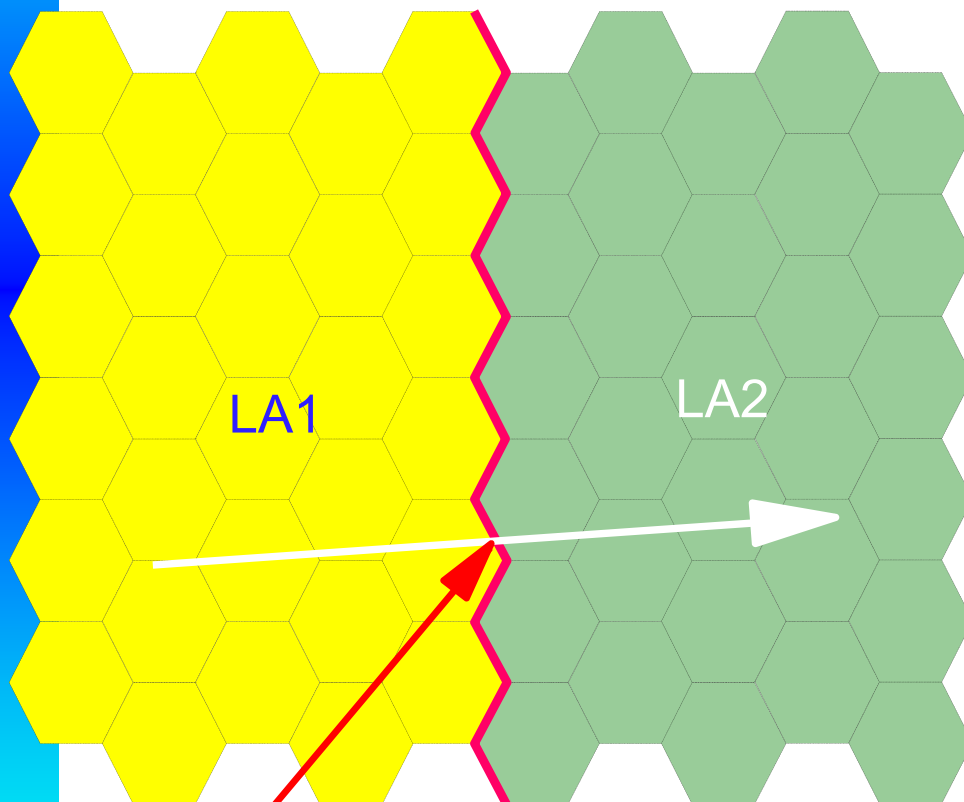
- Αφορούν διαδικασίες που πραγματοποιούνται ανεξάρτητα από το αν υπάρχει κλήση σε εξέλιξη ή όχι
 - Διαδικασία ενημέρωσης θέσης
 - Διαδικασία ενεργοποίησης τερματικού
 - Διαδικασία απενεργοποίησης τερματικού
 - Διαδικασία εγγραφής χρήστη
 - Διαδικασία διαγραφής χρήστη

Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών

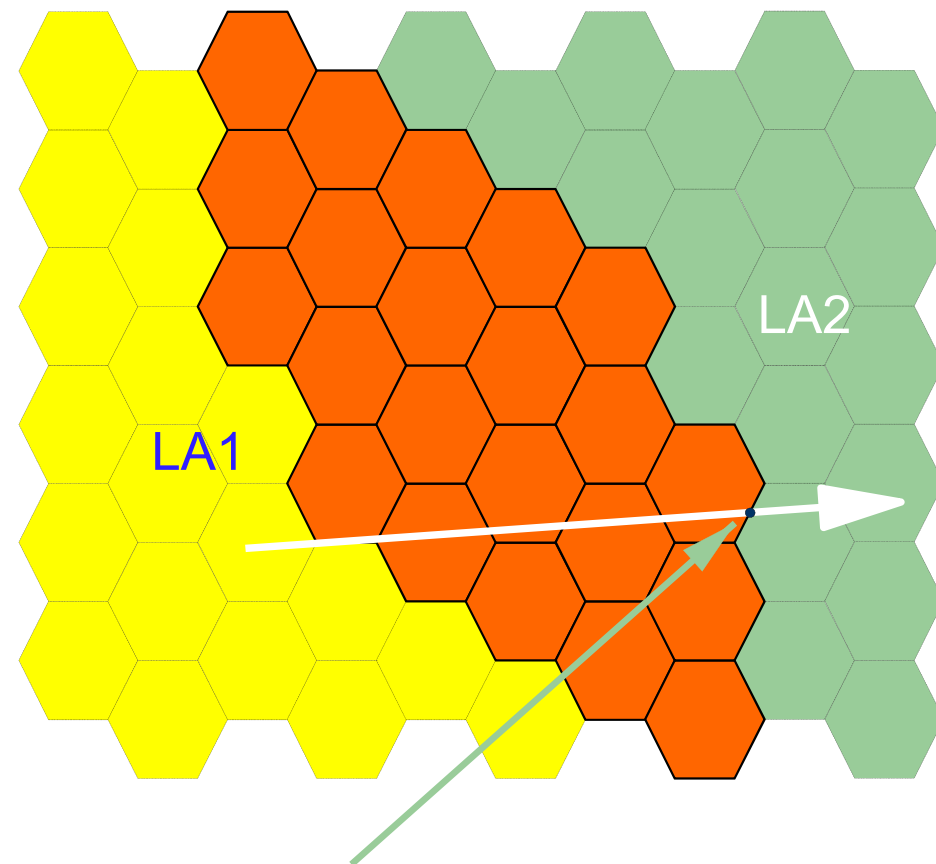


Λειτουργίες που δεν σχετίζονται με τις κλήσεις

Ενημέρωση θέσης



Ενημέρωση θέσης θα γίνει εδώ



Ενημέρωση θέσης θα γίνει εδώ

Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών



Λειτουργίες που σχετίζονται με την κλήση

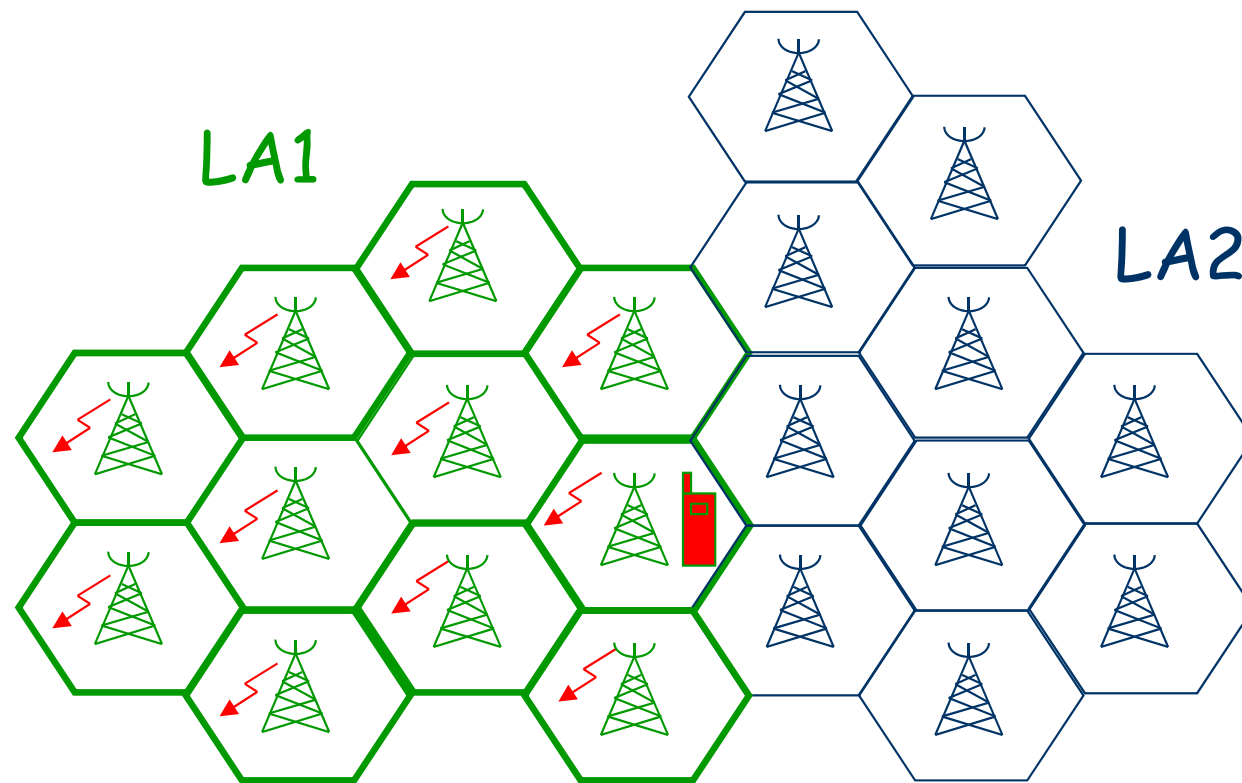
- Αφορούν διαδικασίες που ενεργοποιούνται μόνο σε περίπτωση εισερχόμενης κλήσης προς κάποιο κινητό τερματικό/χρήστη καθώς και κατά τη διάρκεια της κλήσης
 - Διαδικασία εντοπισμού δεδομένων
 - Διαδικασία αναζήτησης τερματικού
 - Διαπομπή

Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών



Λειτουργίες που σχετίζονται με τις κλήσεις

Αναζήτηση

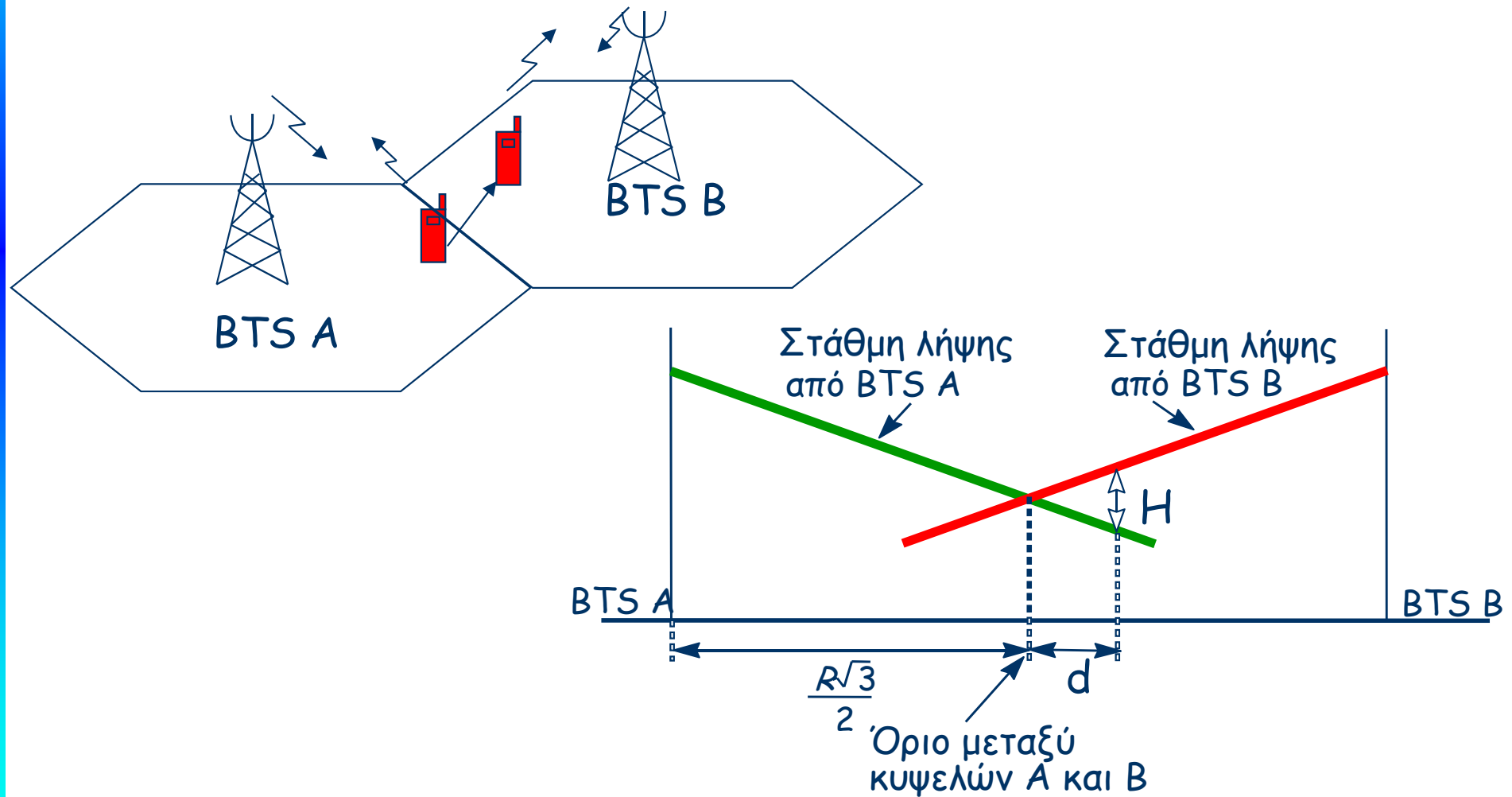


Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών



Λειτουργίες που σχετίζονται με τις κλήσεις

Διαπομπή



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Λειτουργική αρχιτεκτονική



- Ομαδοποίηση των λειτουργιών των δικτύων κινητών επικοινωνιών *ανάλογα με την ομοιότητα του σκοπού τους*
- Μπορούμε να τις εντάξουμε σε ομάδες, αν απαντήσουμε στο ερώτημα, *ποιες λειτουργίες για ποιο σκοπό*
- Ένας αποτελεσματικός τρόπος για την ομαδοποίηση των λειτουργιών του δικτύου είναι το *μοντέλο αναφοράς*



Μοντέλο αναφοράς

- Οι λειτουργίες ομαδοποιούνται σε λειτουργικά στρώματα, που παριστάνονται τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο
- Το *κατώτερο στρώμα αναφέρεται στη φυσική μετάδοση* της πληροφορίας μεταξύ απομακρυσμένων οντοτήτων και βασίζεται σε φυσικά μέσα μετάδοσης, ενώ το *ανώτερο στρώμα παριστάνει την άποψη των εξωτερικών χρηστών*
- Πέρα από αυτήν την ιεραρχική δομή, υπάρχει έμμεσα και *χρονική ιεράρχηση*



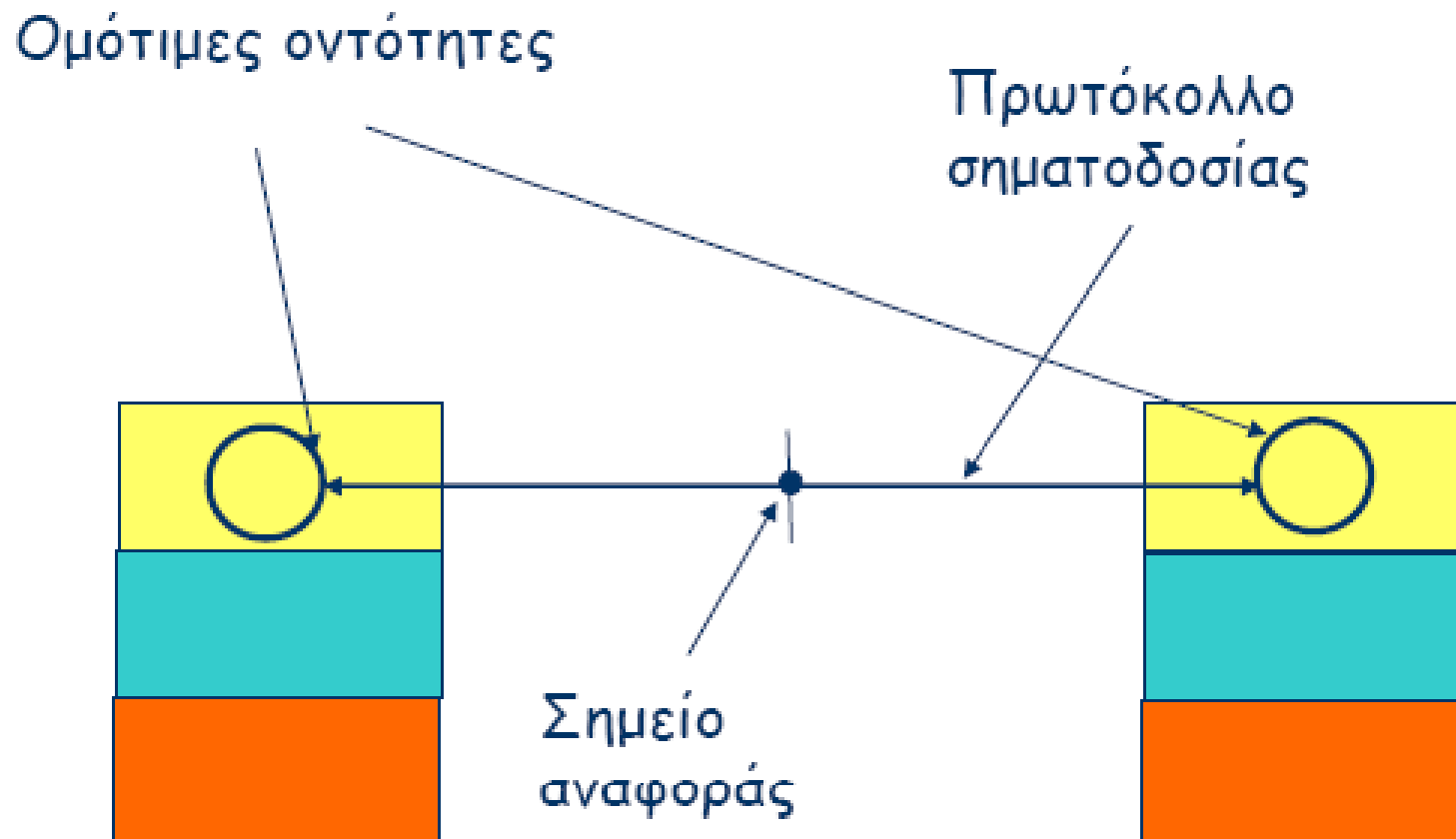
Μοντέλο αναφοράς

- Σε κάθε στρώμα, οι **ομότιμες** οντότητες συνεργάζονται για να παράσχουν την απαιτούμενη υπηρεσία, ανταλλάσσοντας μεταξύ τους πληροφορίες
- Οι κανόνες ανταλλαγής των πληροφοριών καθορίζονται στα **σημεία αναφοράς**, όπου η ροή πληροφοριών διέρχεται από μία διεπαφή μεταξύ διαφορετικών οντοτήτων.
- Οι κανόνες αυτοί ονομάζονται **πρωτόκολλα σηματοδότησης**

Λειτουργική αρχιτεκτονική



Μοντέλο αναφοράς



Μοντέλο αναφοράς



Στρώμα μετάδοσης

- Οι λειτουργίες του εξαρτώνται από:
 - τα διάφορα είδη πληροφορίας που μεταδίδονται
 - τους ειδικούς περιορισμούς στις διάφορες διεπαφές
- Λειτουργίες διασύνδεσης
- Λειτουργίες μετατροπής
- Μεταφορά πληροφορίας χρήστη και μηνυμάτων σηματοδοσίας

Μετάδοση



Στρώμα διαχείρισης ραδιοδιαύλων

- Εξασφαλίζει ευσταθείς συνδέσεις μεταξύ κινητών τερματικών και κέντρου μεταγωγής κινητών επικοινωνιών
- Η διαχείριση των πόρων πρόσβασης στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών απαιτεί λειτουργίες, οι οποίες δεν υπάρχουν στα σταθερά δίκτυα
- Οι δυνατότητες σηματοδοσίας, που διατίθενται σε ΜΤ που δεν πραγματοποιεί κλήση, περιορίζονται στις απόλυτα ελάχιστες
- Παρέχεται ασύρματος δίαυλος σε ΜΤ, όταν τούτο ζητηθεί, μόνο κατά τη διάρκεια της κλήσης και υπό τον διαρκή έλεγχο του δικτύου

Διαχείριση ραδιοδιαύλων

Μετάδοση

Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών



Στρώμα διαχείρισης κινητικότητας

- Λειτουργίες λόγω κίνησης των τερματικών
 - τρόπος που το ΜΤ (χρήστης) αντιμετωπίζει την αλλαγή περιβάλλοντος
 - τρόπος με τον οποίο το δίκτυο διαχειρίζεται την πληροφορία θέσης των ΜΤ, ώστε να καθιστά δυνατή την αποτελεσματική εγκατάσταση των εισερχόμενων κλήσεων προς τα ΜΤ
- Διαχείριση θεμάτων πιστοποίησης αυθεντικότητας

Διαχείριση κινητικότητας

Διαχείριση ραδιοδιαύλων

Μετάδοση

Μοντέλο αναφοράς



Στρώμα διαχείρισης επικοινωνίας

- Οι λειτουργίες του αφορούν:
 - εγκατάσταση κλήσεων μεταξύ των χρηστών, ύστερα από αίτησή τους
 - διατήρηση των κλήσεων
 - απόλυση των κλήσεων

Το στρώμα περιλαμβάνει επίσης τις λειτουργίες διαχείρισης των *επιπρόσθετων υπηρεσιών (supplementary services)* από τον χρήστη.

Χρήστης



Διαχείριση επικοινωνίας

Διαχείριση κινητικότητας

Διαχείριση ραδιοδιαύλων

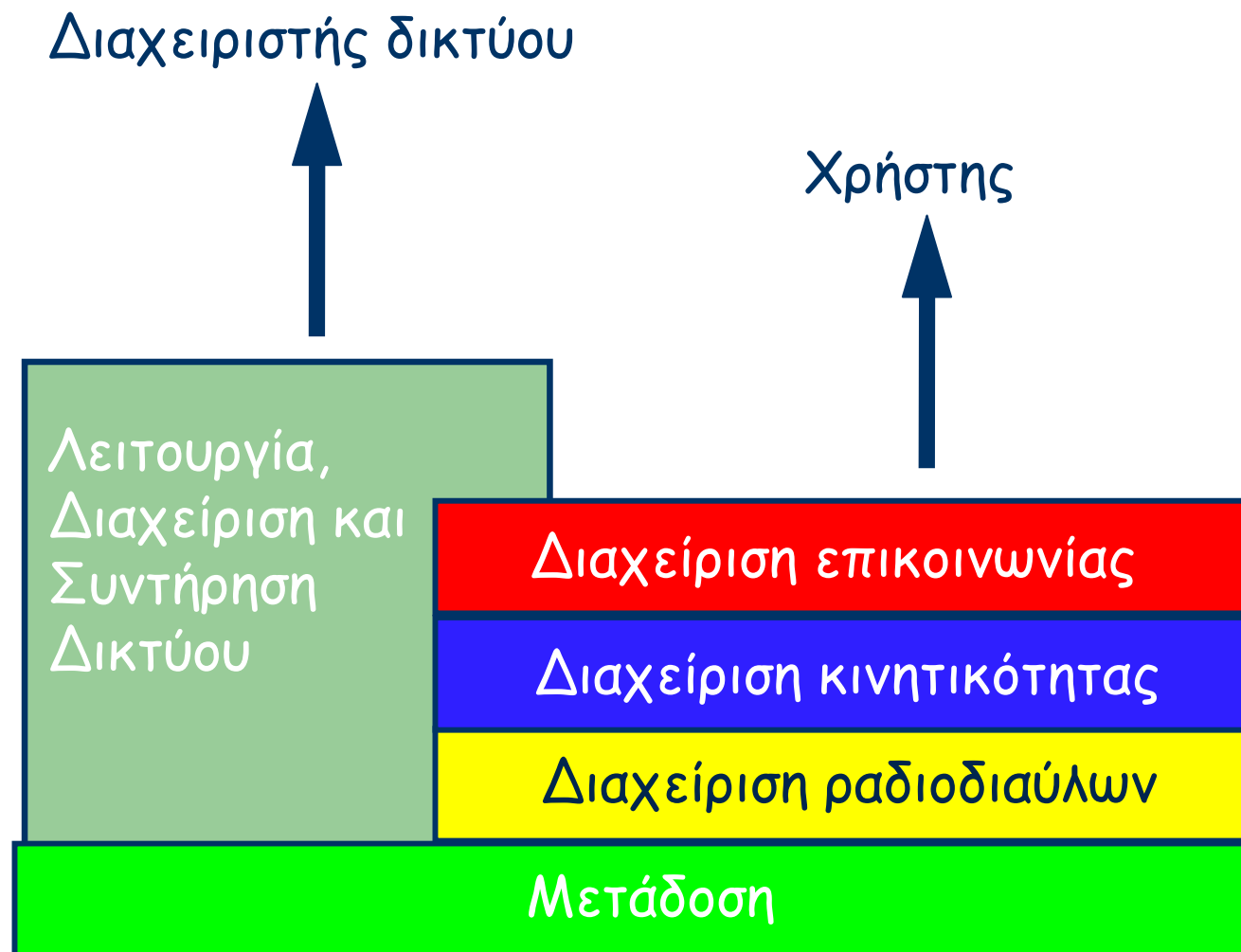
Μετάδοση

Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Μοντέλο αναφοράς



Στρώμα λειτουργίας, διαχείρισης και συντήρησης



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Μοντέλο αναφοράς



Στρώμα λειτουργίας, διαχείρισης και συντήρησης

- Παρέχει τα μέσα για τη ροή της πληροφορίας παρατήρησης από τα μηχανήματα προς τον διαχειριστή δικτύου
- Επιτρέπει στον διαχειριστή δικτύου να τροποποιήσει τη διάταξη των μηχανημάτων και των λειτουργιών του δικτύου
- Βρίσκεται πάνω από τα άλλα στρώματα (δεν χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες τους, αλλά μόνο τις βασικές λειτουργίες μετάδοσης για την ανταλλαγή των πληροφοριών διαχείρισης)
- Οι λειτουργίες του στρώματος αυτού χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη χρονική κλίμακα (ώρες ή μέρες έως μερικά χρόνια)

Λειτουργική αρχιτεκτονική



Λειτουργικό μοντέλο

- Το **λειτουργικό μοντέλο** δικτύου προσδιορίζει:
 - τις λειτουργικές οντότητες του συστήματος
 - τα κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ αυτών των οντοτήτων
 - τις πληροφορίες που ανταλλάσσονται μεταξύ τους
- Μια **λειτουργική οντότητα** αποτελεί ομάδα λειτουργιών που βρίσκονται στο ίδιο σημείο του συστήματος και συνιστούν ένα υποσύνολο του συνόλου των λειτουργιών.

Λειτουργική αρχιτεκτονική



Λειτουργικό μοντέλο

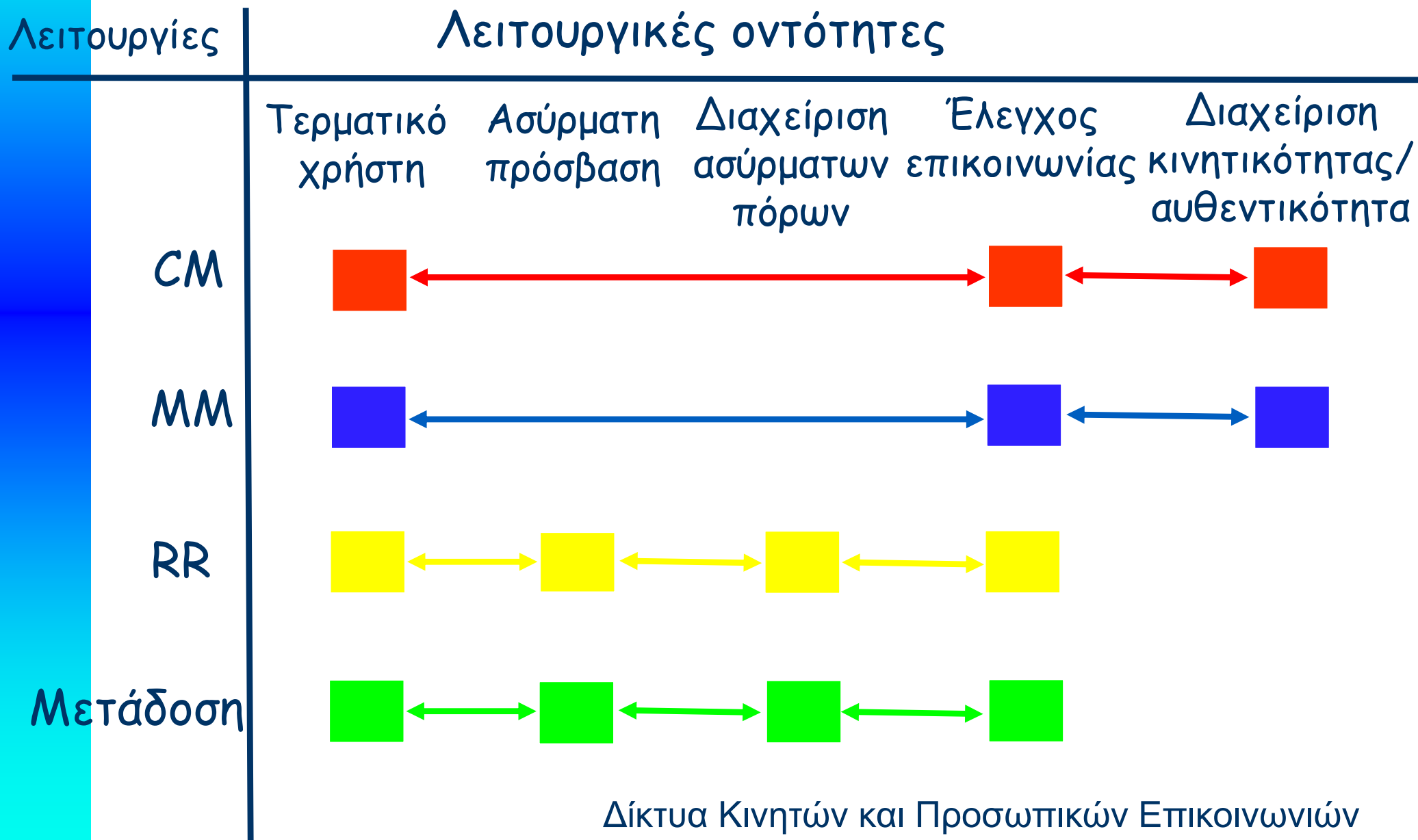
Λειτουργίες	Λειτουργικές οντότητες				
	Τερματικό χρήστη	Ασύρματη πρόσβαση	Διαχείριση ασύρματων πόρων	Έλεγχος επικοινωνίας	Διαχείριση κινητικότητας/ αυθεντικότητα
CM	■	■	■	■	■
MM	■	■	■	■	■
RR	■	■	■	■	■
Μετάδοση	■	■	■	■	■

Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Λειτουργική αρχιτεκτονική



Λειτουργικό μοντέλο

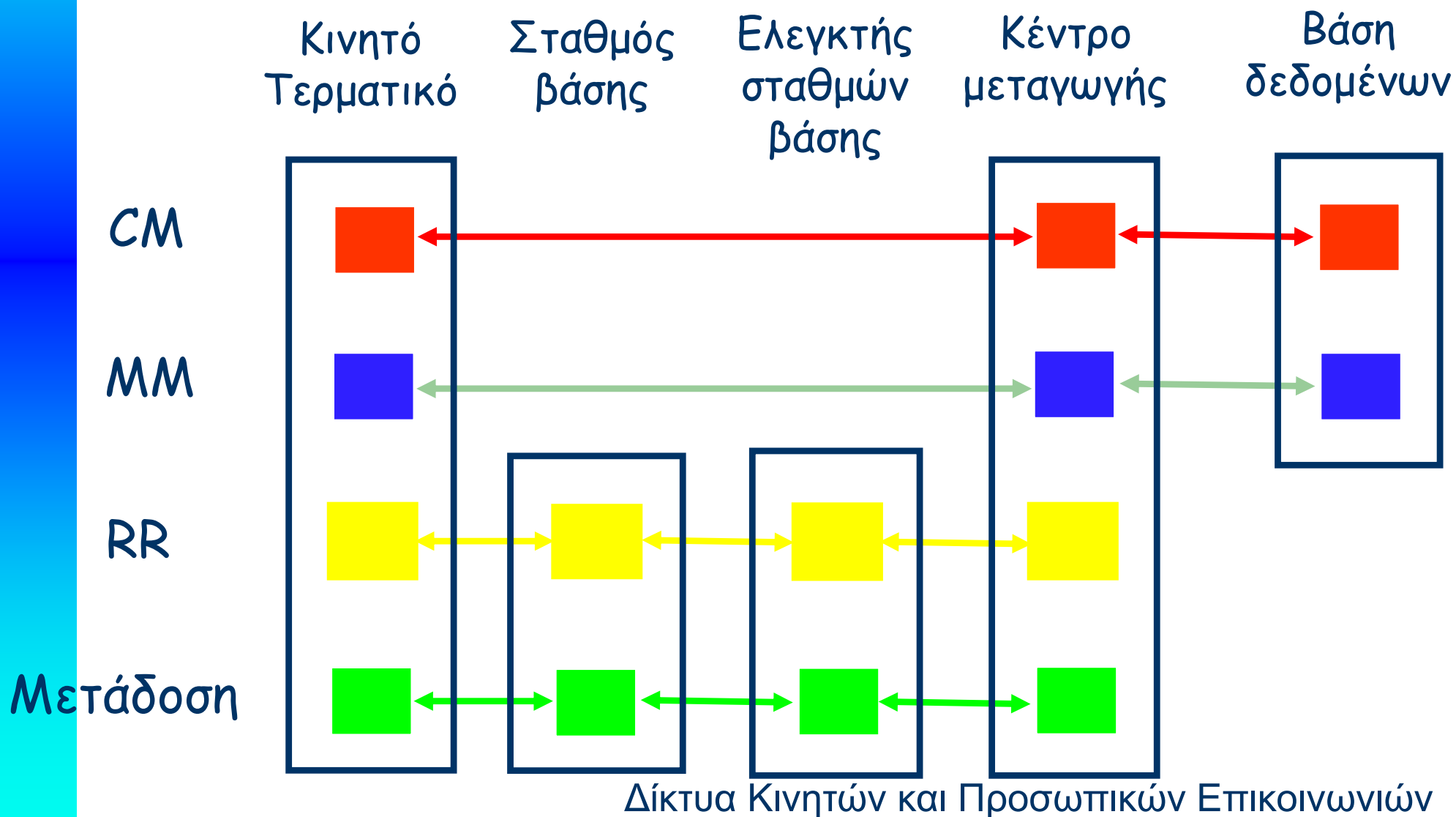


Φυσική αρχιτεκτονική



Πού πραγματοποιείται η κάθε λειτουργία;

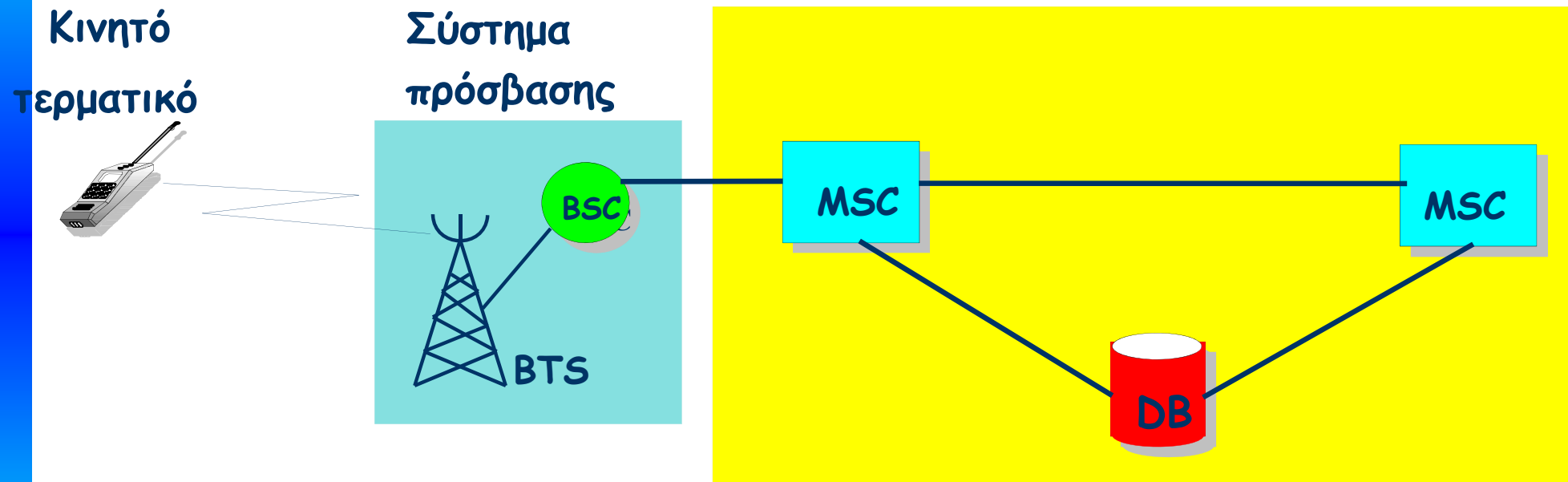
Φυσικές οντότητες



Φυσική αρχιτεκτονική



Ενσύρματο δίκτυο





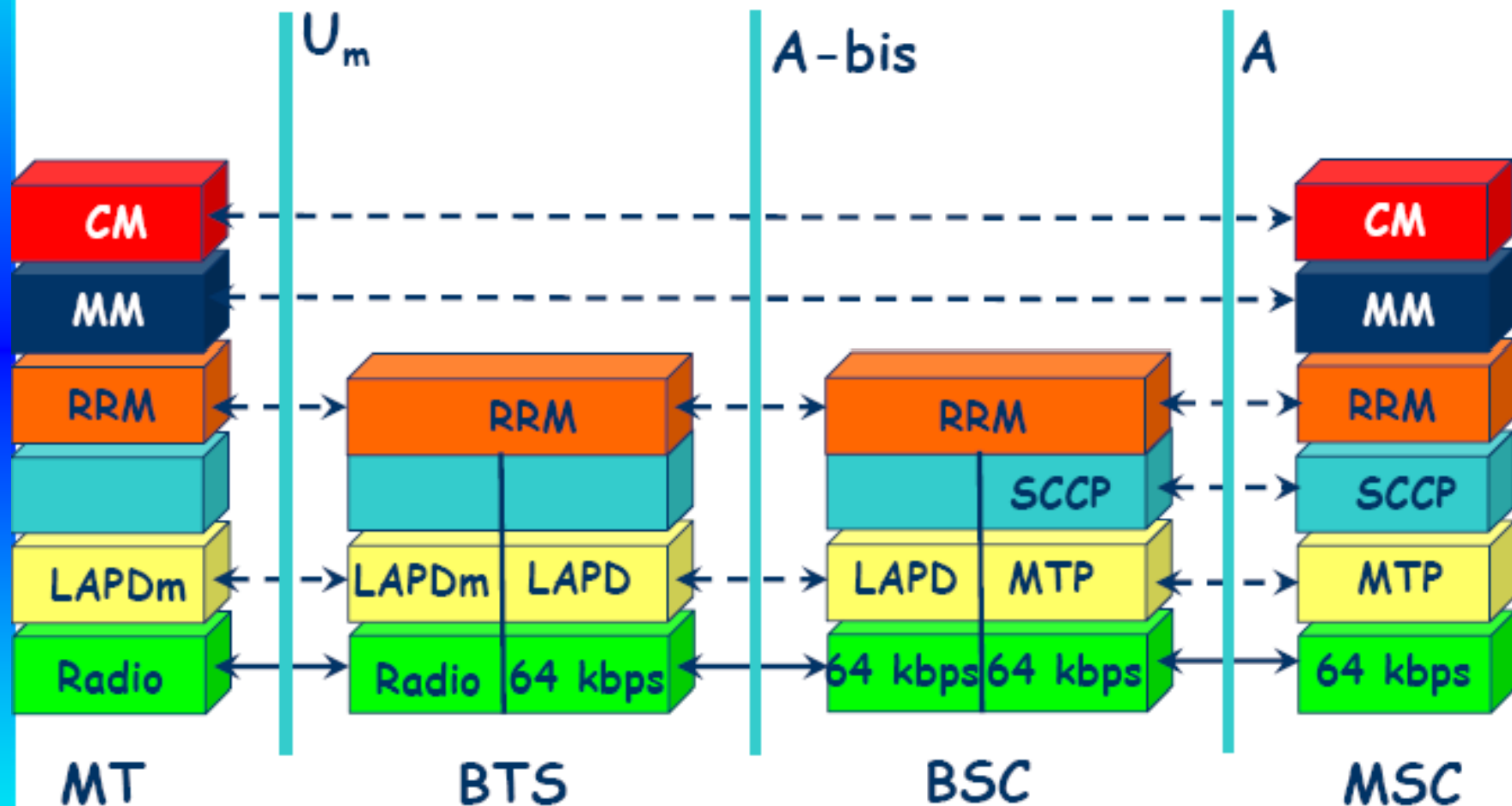
Διεπαφή - Πρωτόκολλα



Φυσική αρχιτεκτονική



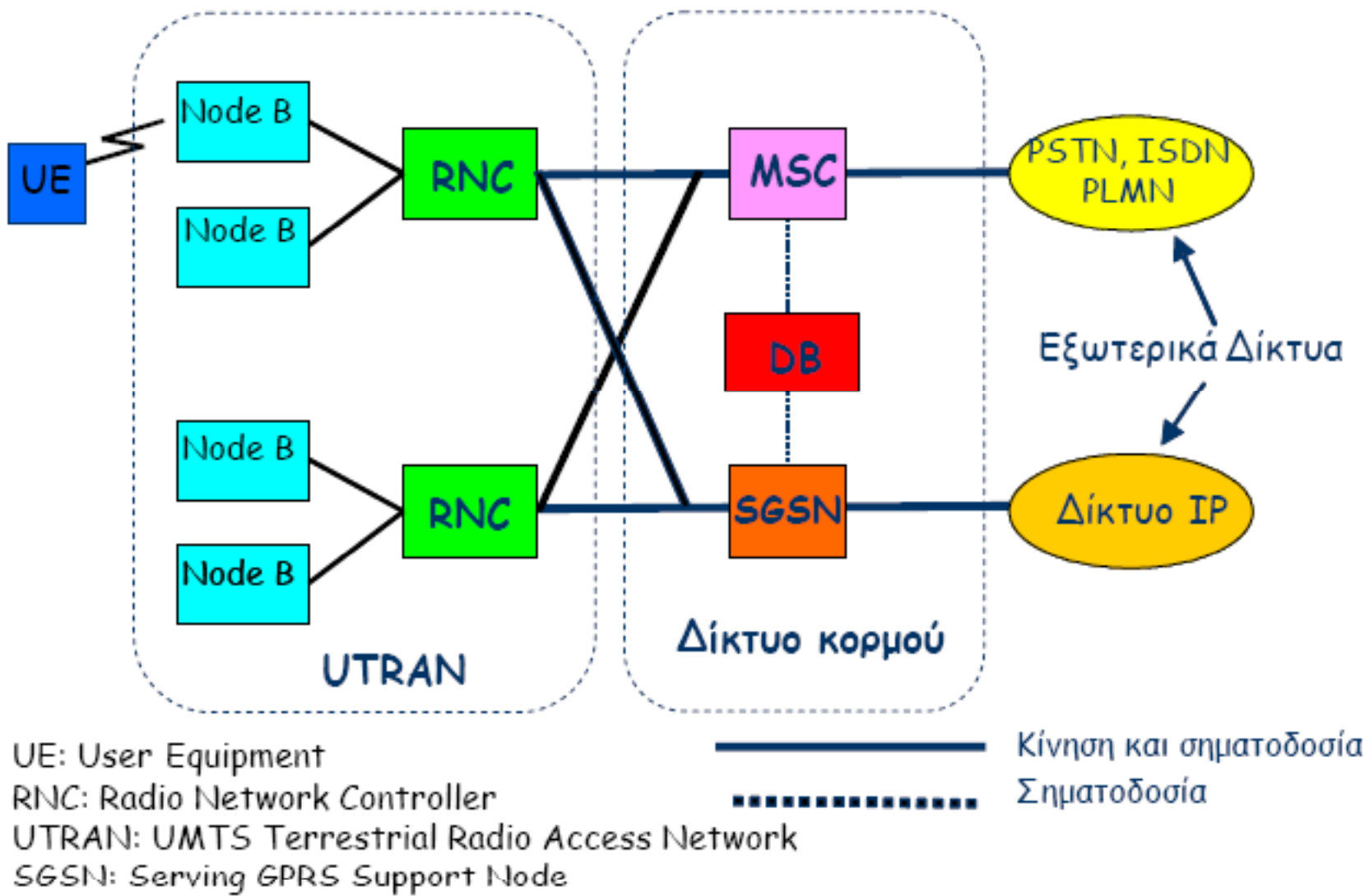
Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων GSM



Φυσική αρχιτεκτονική



Φυσική αρχιτεκτονική του UMTS

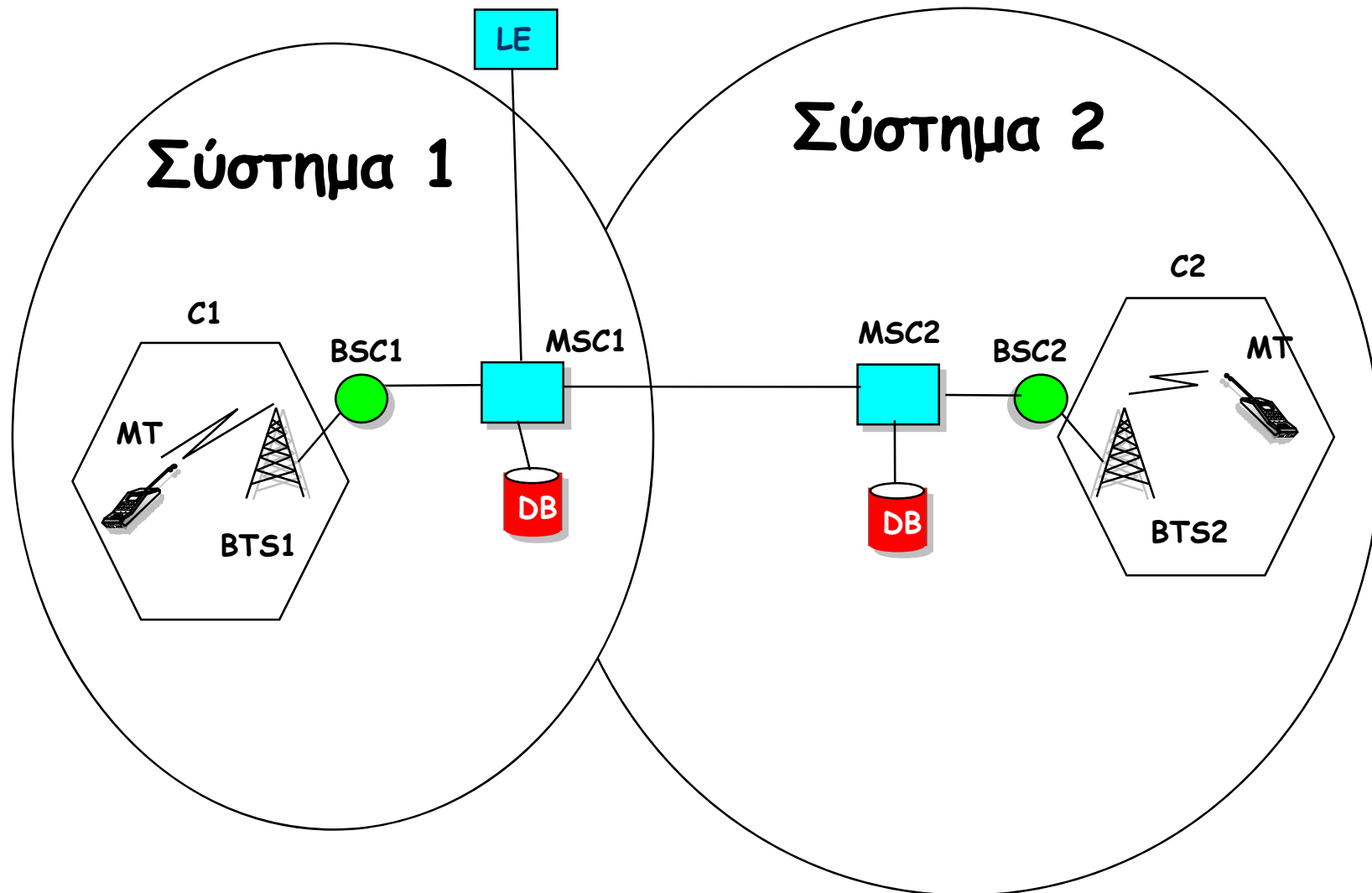


Ορολογία κυψελωτών δικτύων



- Οικείο σύστημα (Home system)
- Φιλοξενούν σύστημα (Visited system)
- Απερχόμενη κλήση
- Εισερχόμενη κλήση
- Ελέγχον κέντρο μεταγωγής (κέντρο μεταγωγής πρόσδεσης, anchor MSC)

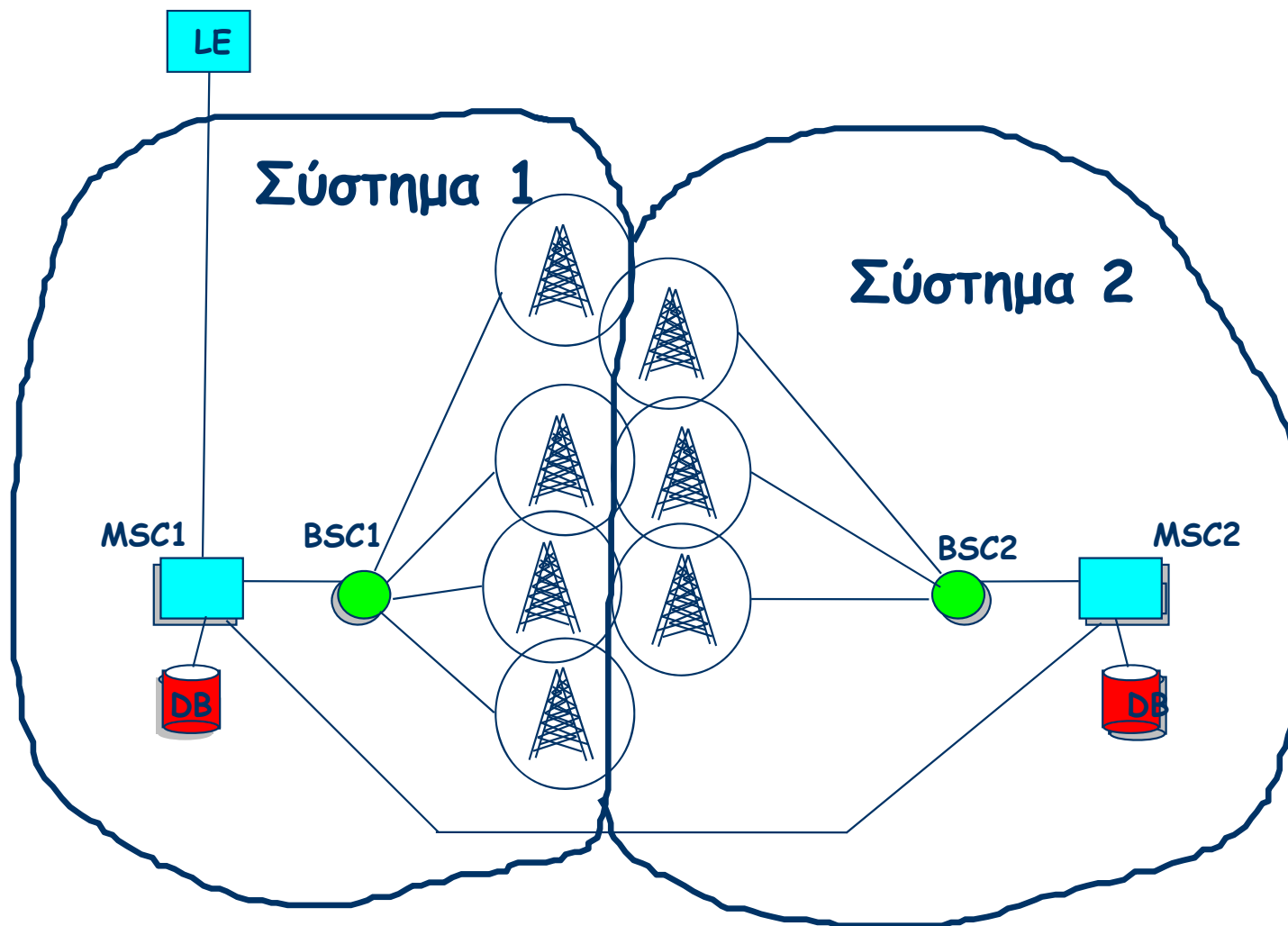
Κυψελωτή διαδίκτυωση



Κυψελωτή διαδίκτυωση



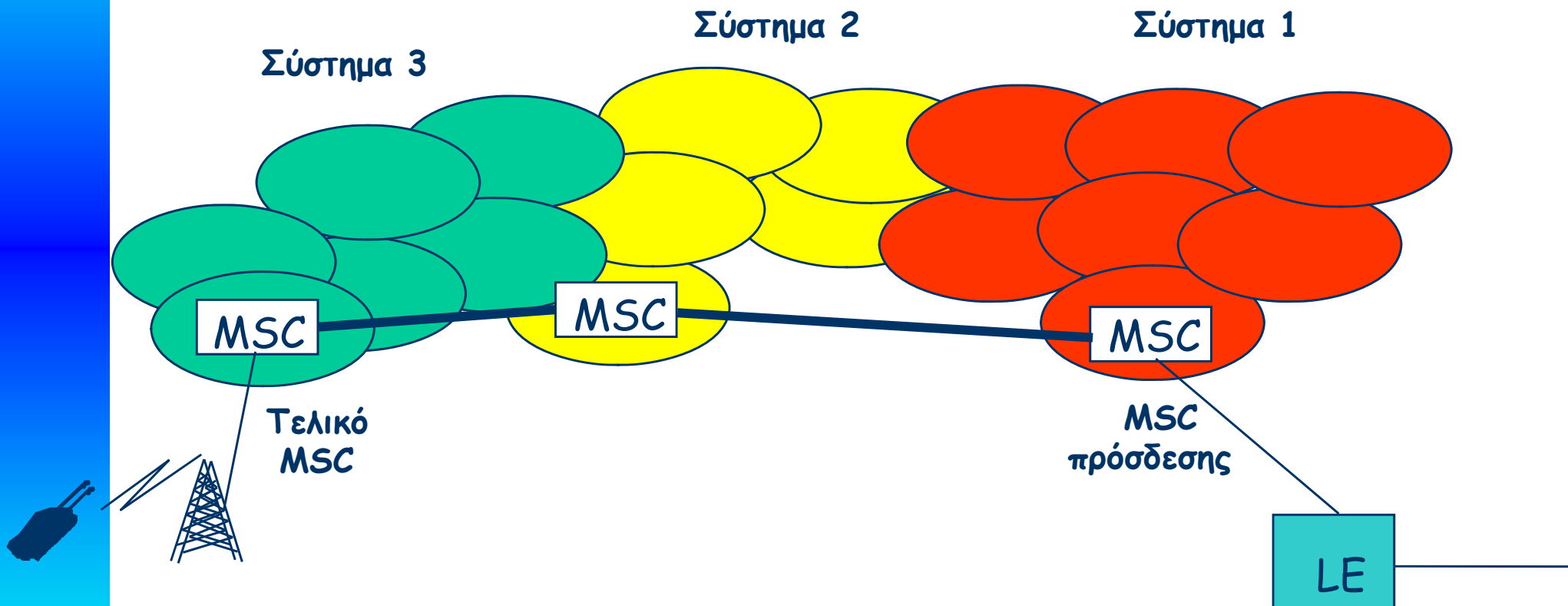
Φαινόμενο «κορδόνι παπουτσιών»



Κυψελωτή διαδίκτυωση



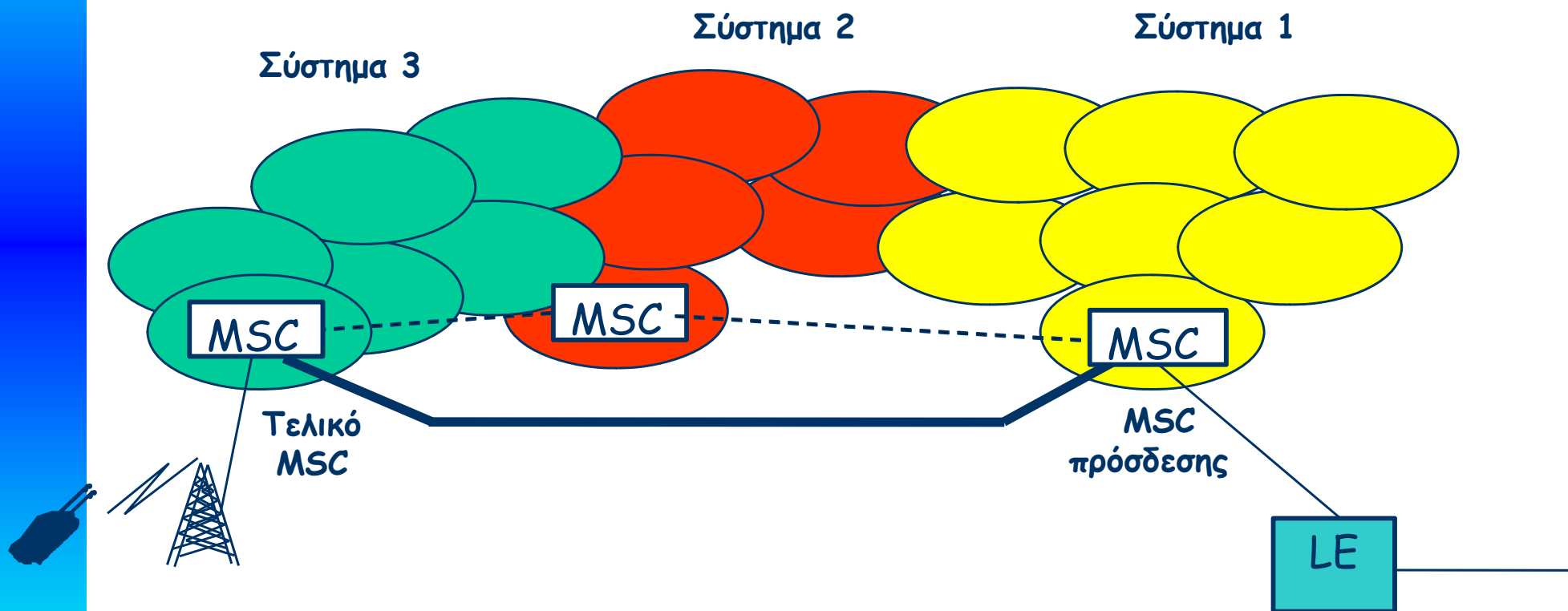
Φαινόμενο «τρομπόνι»



Κυψελωτή διαδίκτυωση



Φαινόμενο «τρομπόνι»



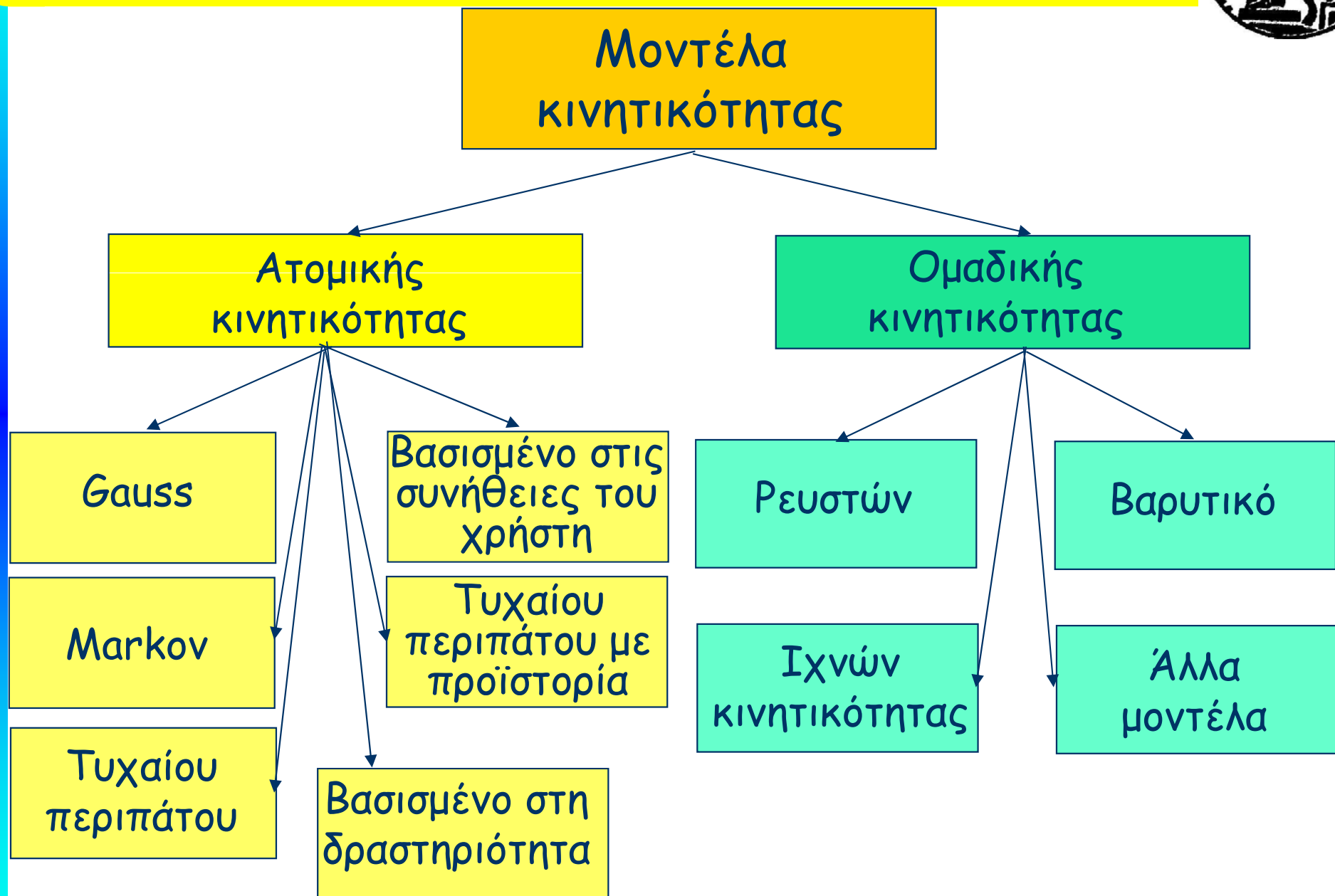
Μοντέλα κινητικότητας



Υπάρχουν δύο κατηγορίες μοντέλων κινητικότητας που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις των δικτύων: τα μοντέλα ίχνών και τα συνθετικά.

- Τα **ίχνη (traces)** είναι τα σχέδια κινητικότητας που παρατηρούνται σε πραγματικά συστήματα. Τα ίχνη παρέχουν ακριβείς πληροφορίες, ειδικά όταν εμπλέκουν μεγάλο αριθμό συμμετεχόντων για μια κατάλληλα μεγάλη περίοδο.
- Τα **συνθετικά** μοντέλα προσπαθούν να αναπαραστήσουν ρεαλιστικά την κίνηση των κινητών κόμβων (MNs) χωρίς τη χρήση ίχνών.
- Είναι λιγότερο ρεαλιστικά και υπάρχει ανάγκη κατανόησης των μοντέλων πριν τα χρησιμοποιήσουμε.

Μοντέλα κινητικότητας



Μοντέλα κινητικότητας



Μοντέλο ρευστών

- Υπολογίζει τον μέσο ρυθμό διελεύσεων κινητών τερματικών από τα όρια μιας γενικευμένης περιοχής
- Η περιοχή χαρακτηρίζεται από:
 - την πυκνότητα των τερματικών σε κάθε σημείο, $\sigma = \sigma(x,y)$
 - τη μέση τιμή της συνιστώσας της ταχύτητας, που είναι κάθετη στην περιβάλλουσα της περιοχής με κατεύθυνση προς τα έξω και ορίζεται σε κάθε σημείο (x,y) από τη συνάρτηση $V_n = V_n(x,y)$
 - $V_n = 0$, όταν το κινητό κατευθύνεται προς τα μέσα

Μοντέλα κινητικότητας

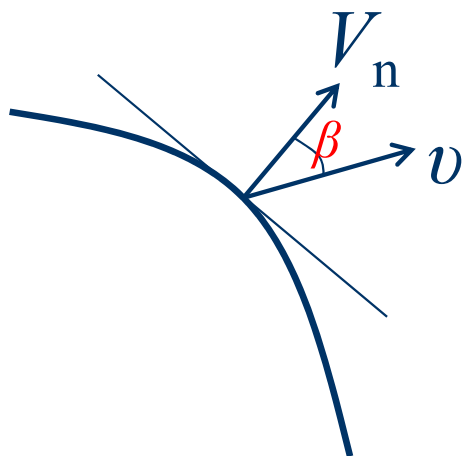


Μοντέλο ρευστών

$$N_{out} = \int_L \sigma \cdot V_n \cdot dl$$

ΜΤ με τυχαία κατεύθυνση, ομοιόμορφα κατανομημένα και ίδια μέση ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις

$$V_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v \cdot f(\beta) \cdot d\beta \quad f(\beta) = \begin{cases} \cos \beta, & \text{αν } \cos \beta \geq 0 \\ 0, & \text{αν } \cos \beta < 0 \end{cases}$$



$$V_n = \frac{v}{\pi}$$

Μοντέλα κινητικότητας



Μοντέλο ρευστών

$$N_{out} = \int_L \frac{\sigma \cdot v}{\pi} \cdot dl$$

$$N_{out} = \frac{\sigma \cdot v}{\pi} \cdot P$$

$$N_{out} = \frac{N \cdot v \cdot P}{\pi A}$$

$$\eta = \frac{N_{out}}{N} = \frac{v \cdot P}{\pi A}$$

Ρυθμός διέλευσης κινητού τερματικού
από τα όρια της περιοχής, προς τα
μέσα ή προς τα έξω