

Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

**Αρχιτεκτονική των κυψελωτών
συστημάτων**

Περίληψη

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

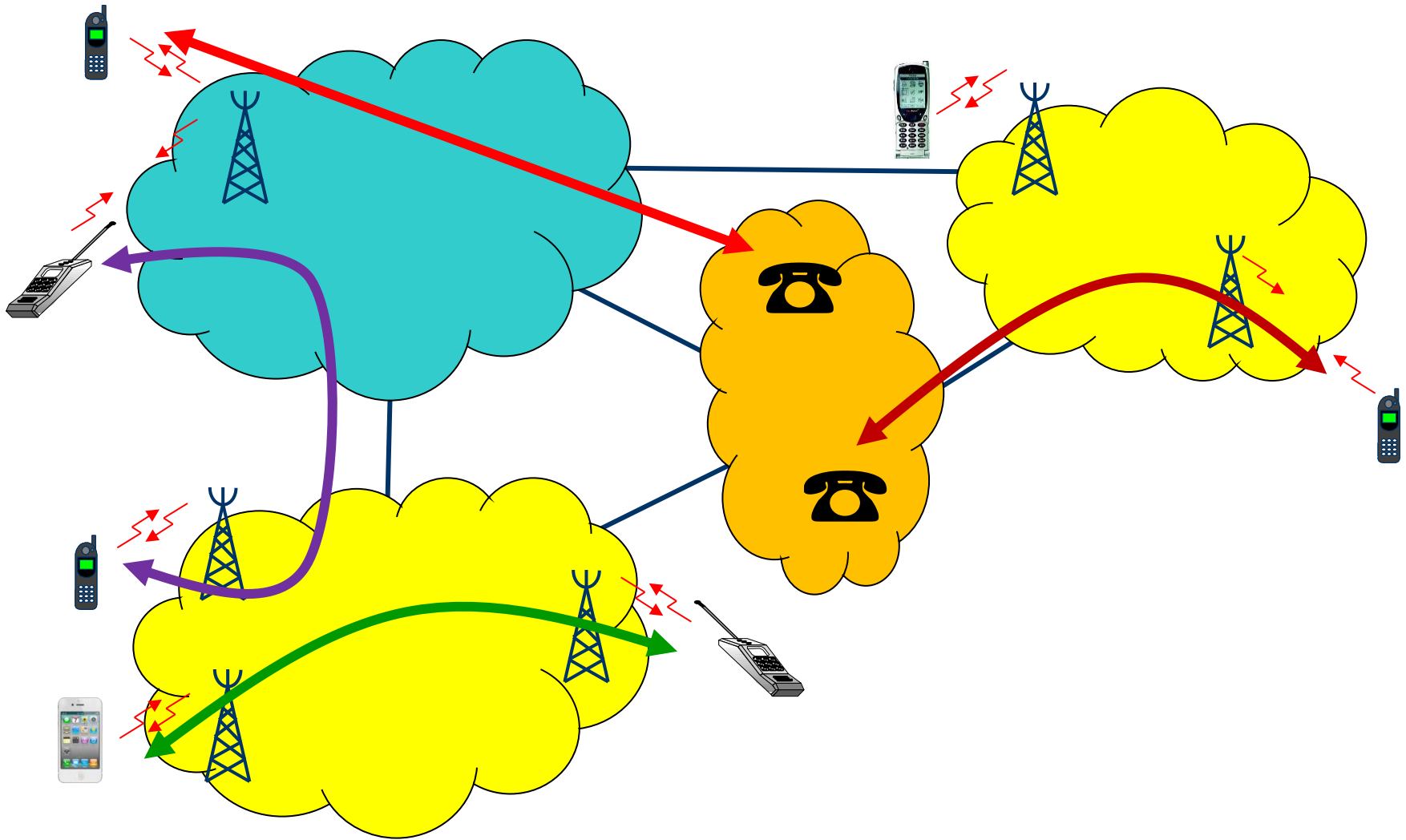
Κυψελωτά συστήματα

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.

Κυψελωτά συστήματα

Αντικειμενικός σκοπός

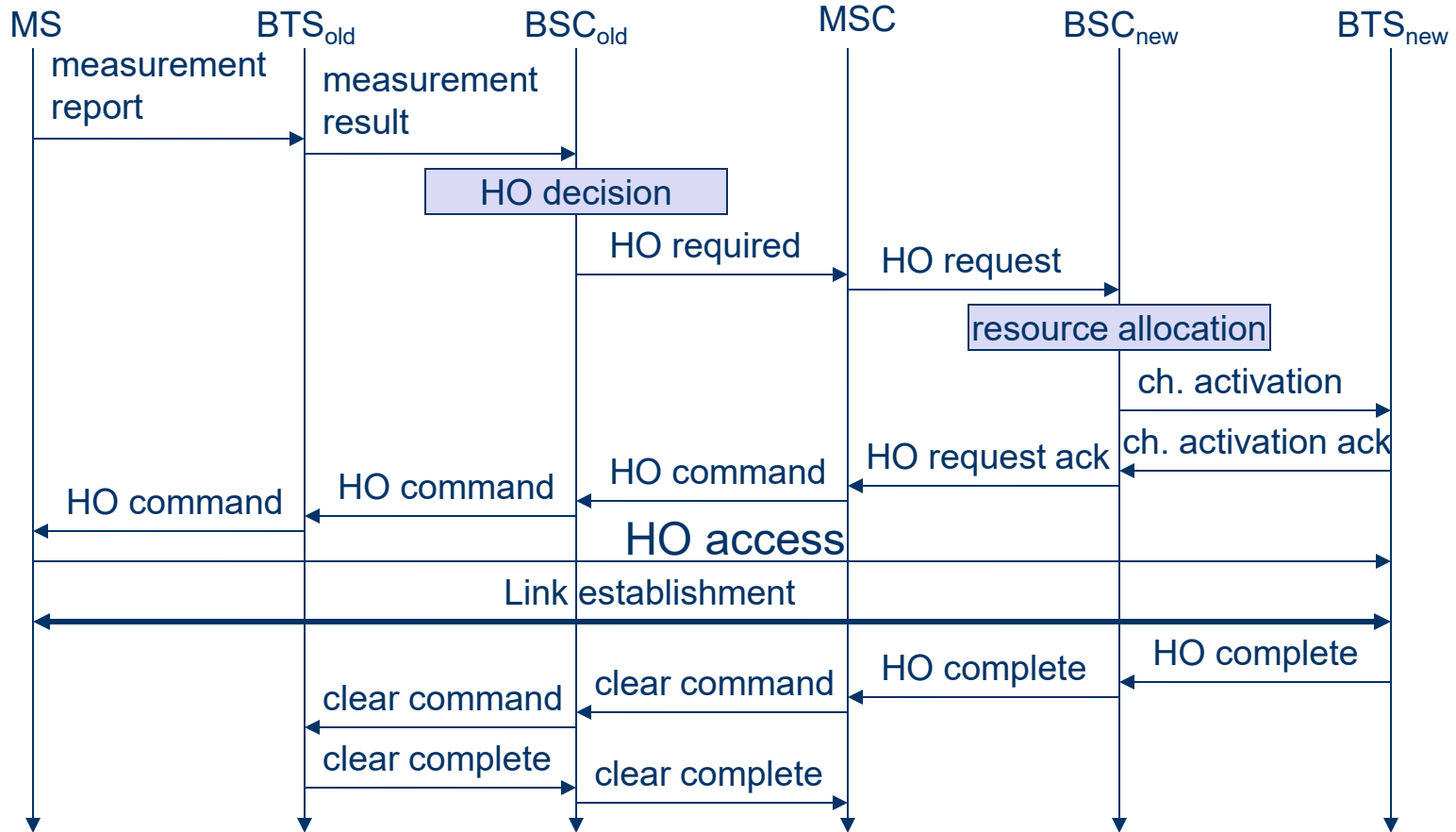


Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

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 ποιότητα της επικοινωνίας πέσει κάτω από ένα αποδεκτό κατώφλι, λαμβάνει χώρα αυτόματα η **μεταπομπή**:
 - Επιλογή του καλύτερου σταθμού βάσης για την κάλυψη του τερματικού,
 - Εκχώρηση νέων ασύρματων πόρων από τον καλύτερο σταθμό βάσης,
 - Μεταφορά της επικοινωνίας στον νέο σταθμό βάσης (νέα κυψέλη).

GSM Handover procedure



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 μεταπομπή πρέπει να εξασφαλίζεται και η **ίδια ποιότητα υπηρεσίας** (επιπλέον επικοινωνία μεταξύ συστημάτων).

Κυψελωτά συστήματα

- Βασικές διαδικασίες διαχείρισης κινητικότητας:
- Ενημέρωση δικτύου (ενεργοποίησης, θέσης)
- Προσδιορισμός θέσης καλούμενου (εντοπισμός δεδομένων και αναζήτηση).
- Διατήρηση επικοινωνίας (μεταπομπή)

Κυβελωτά συστήματα

- **Αντικειμενικός σκοπός των παρόχων:**
 - Εξυπηρέτηση των χρηστών του δικτύου τους κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο
 - Παγκόσμια κάλυψη ώστε να επιτυγχάνεται ανεμπόδιστη κίνηση
 - 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 συμφωνίες περιαγωγής με άλλους παρόχους
 - Με ελεύθερο ανταγωνισμό
 - Τιμολογιακή πολιτική
 - Ελκυστικές υπηρεσίες

Κυψελωτά συστήματα

Κυψελωτή διαδικτύωση

- Παράδοση κλήσεων από ένα σύστημα σε άλλο, το οποίο μπορεί να βρίσκεται και σε πολύ μεγάλη, γεωγραφικά, 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 άλλα συστήματα και σε άλλες χώρες.

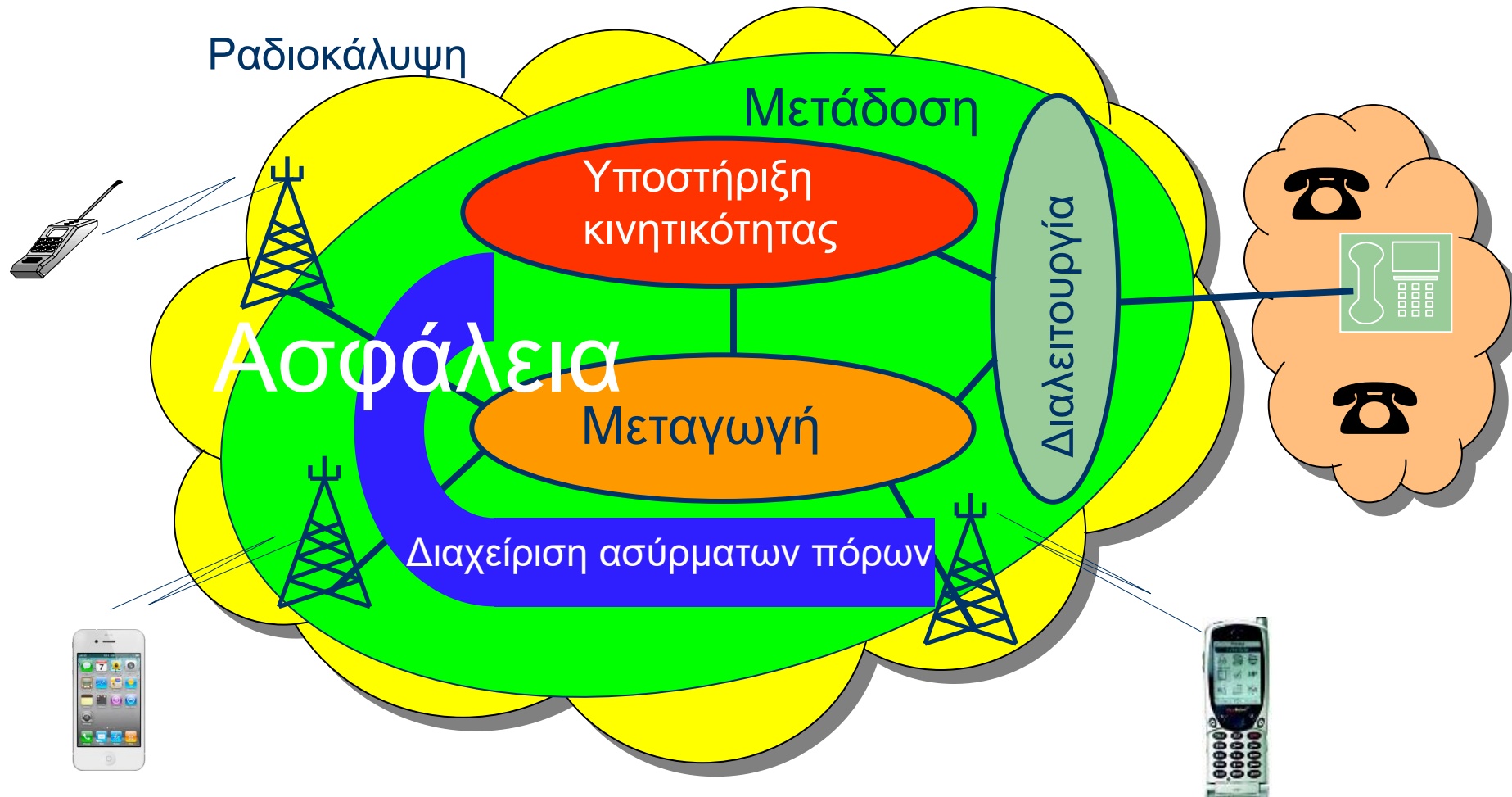
Κυψελωτά συστήματα

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

Βασικές απαιτήσεις και λειτουργίες



Ραδιοκάλυψη

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

Ραδιοκάλυψη

➤ Μακροκυψέλες

- Ακτίνα κάλυψης μεγαλύτερη του 1km με ήπια χαρακτηριστικά και λίγα φυσικά εμπόδια
- Μεγάλη ισχύς από κεραία σε ψηλό σημείο
- Καλύπτει κενά μικροκυψελών ως ομπρέλα
- Απορροφά μέρος της κίνησής τους
- Ικανοποιεί μεταπομπές που δεν καλύπτονται από μικροκυψέλες
- Μειώνει τις μεταπομπές χρηστών που κινούνται γρήγορα

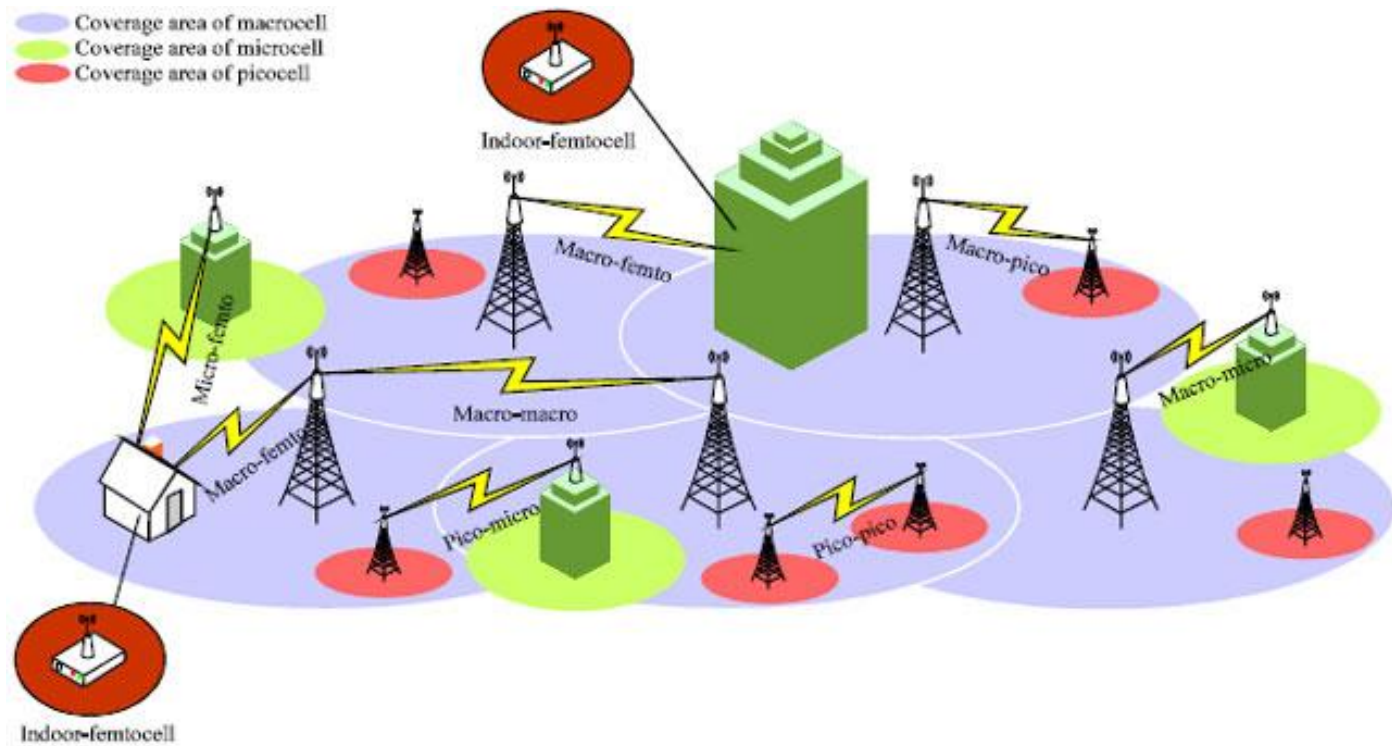
Ραδιοκάλυψη

➤ Μικροκυψέλες

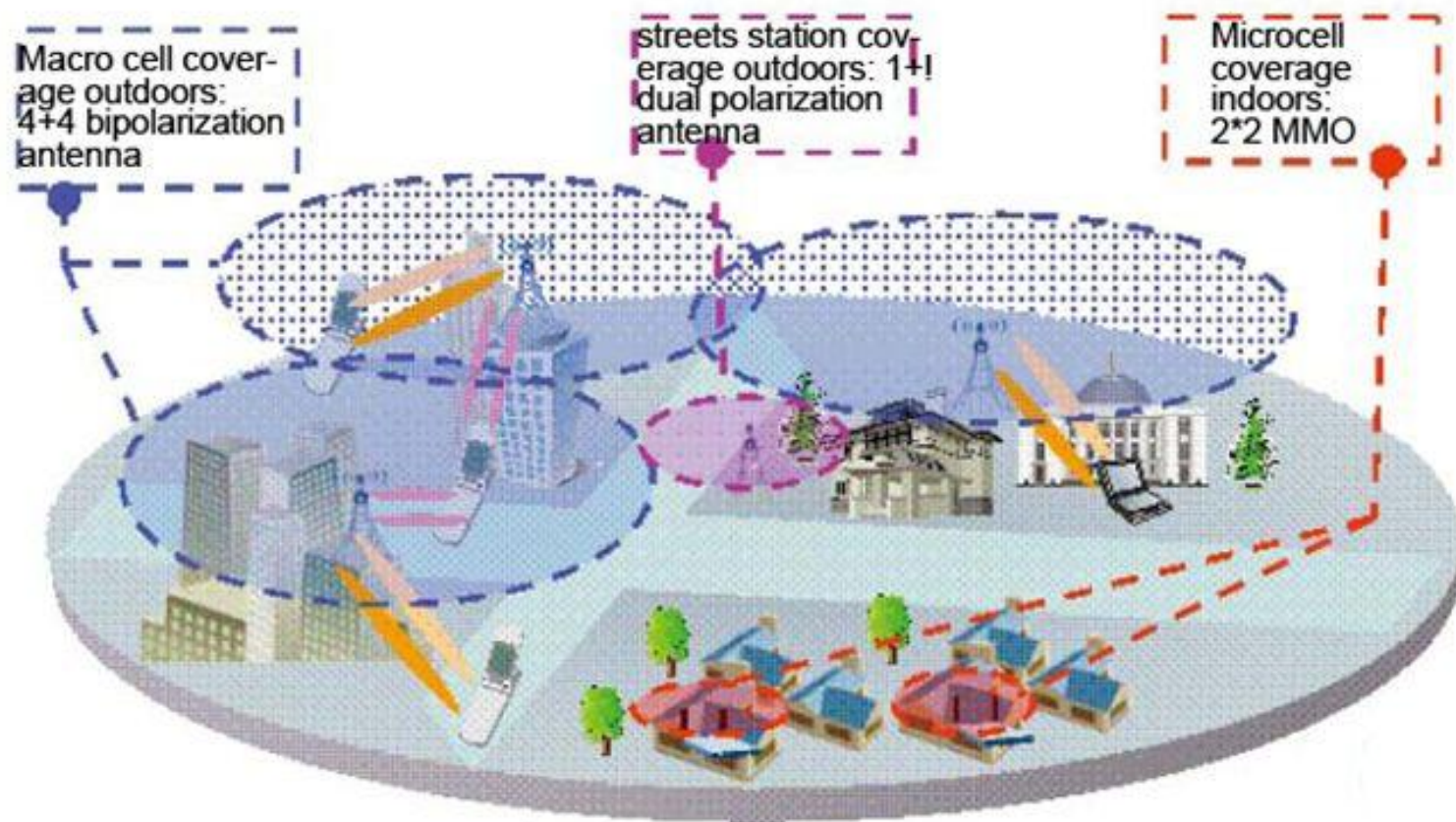
- Καλύπτουν περιοχές με μεγάλη συγκέντρωση ή κακή κάλυψη (πχ ανάμεσα σε δύο ψηλά κτίρια)
- Αυξάνουν τη χωρητικότητα αλλά δυσκολεύουν τη διαχείριση του συστήματος
- Μικρή ισχύ από κεραίες σε μικρό ύψος (πχ τάρτσες, στύλους φωτισμού)
- Κάλυψη 100-200μ
- Απαιτούν υποστήριξη πολλών και απότομων μεταπομπών (πχ γωνία δρόμου)
- Εξοικονόμηση ισχύος και μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης

Ραδιοκάλυψη

- Η επιλογή μεγέθους και θέσης κυψελών είναι πολύ σημαντική σχεδιαστική απόφαση που επηρεάζει την απόδοση (πρέπει να ελέγχεται και να αναθεωρείται τακτικά)



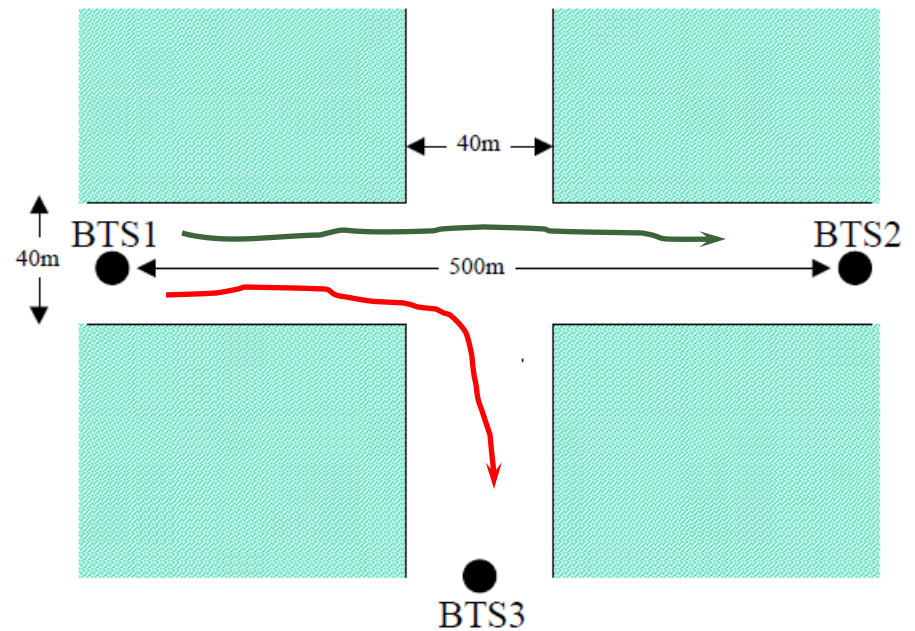
Ραδιοκάλυψη



Ασύρματη πρόσβαση

Μικροκυψελικά συστήματα

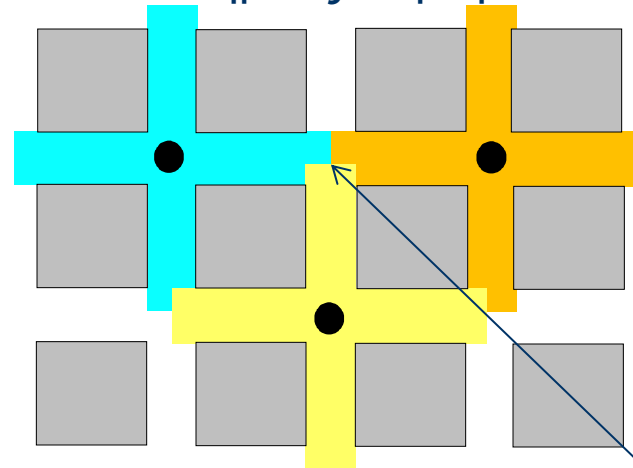
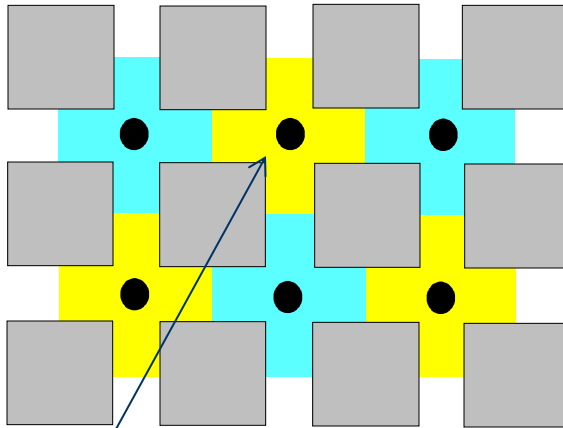
- 2 τύποι μεταπομπής
 - Οπτικής επαφής
 - Μη-οπτικής επαφής
 - Το σήμα χάνεται άμεσα
 - Απαιτεί ταχύτατη μεταπομπή



Ασύρματη πρόσβαση

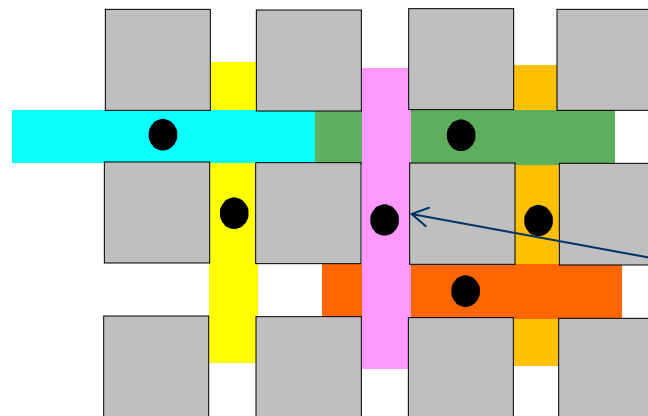
Μικροκυβελικά συστήματα

Σταυροειδείς μικροκυβέλες μισού και πλήρους τετραγώνου



Ευθύγραμμες μικροκυβέλες

Μεταπομπές όλες
οπτικής επαφής
Πολύ καλή χωρητικότητα
Μεγάλος αριθμός κυβελών



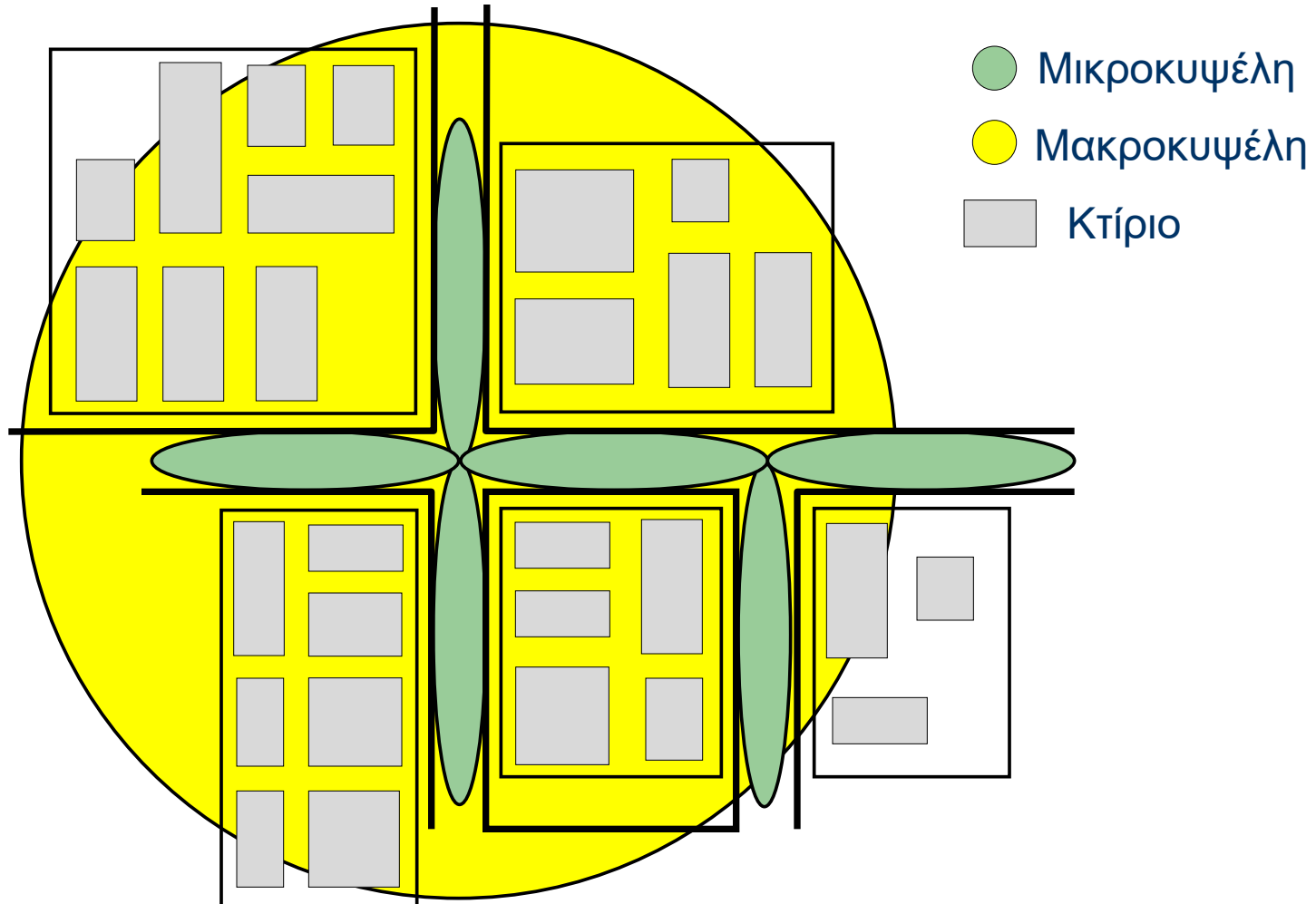
Φαινόμενο γωνίας
δρόμου

Σταθμοί μπορούν να
προστίθενται όσο
αυξάνεται η κίνηση
Πολύπλοκο σχήμα
μεταπομπής

Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Ασύρματη πρόσβαση

Ιεραρχικές αρχιτεκτονικές κάλυψης



Ασύρματη πρόσβαση

Ιεραρχικές αρχιτεκτονικές κάλυψης

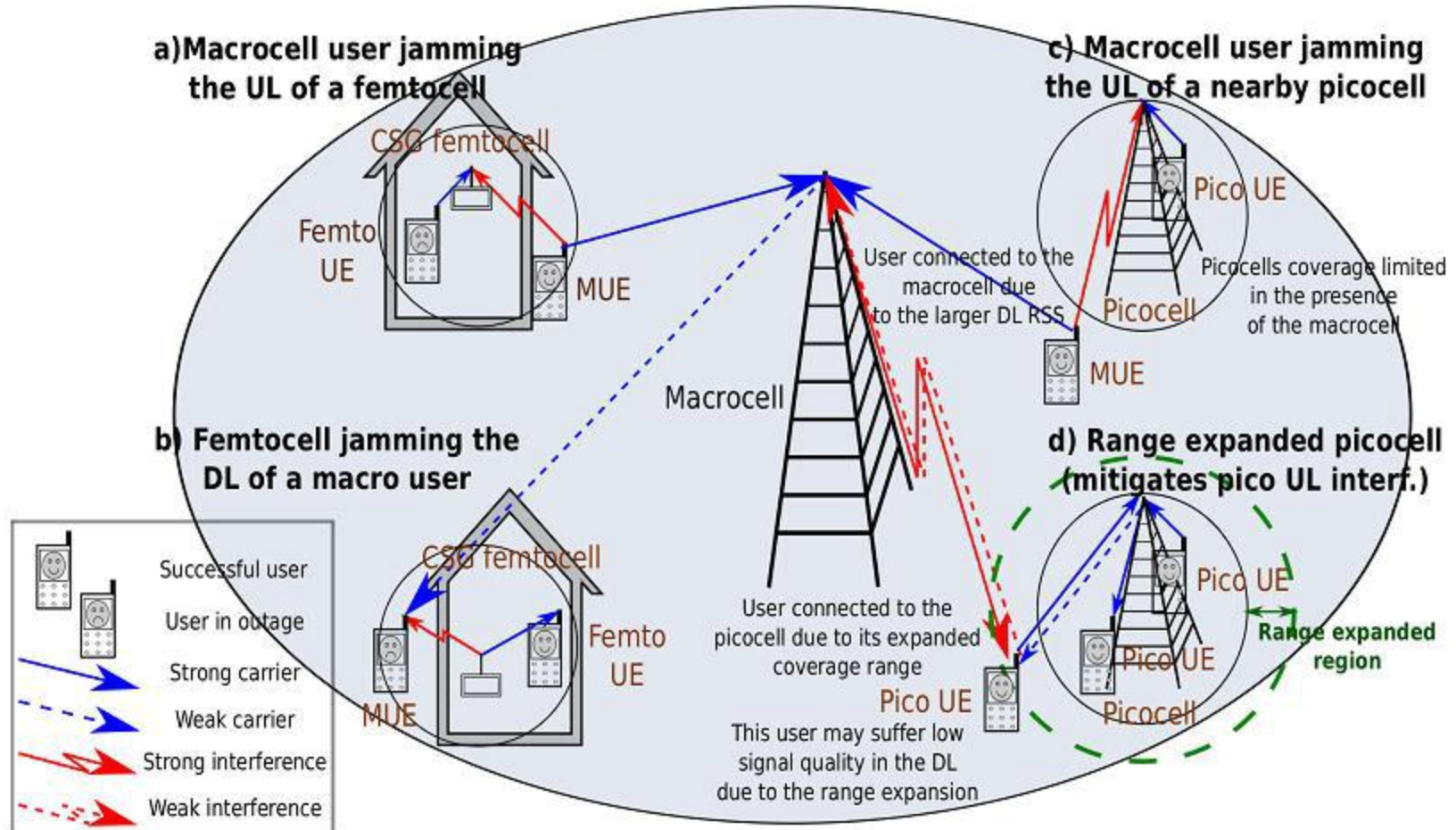
➤ Πλεονεκτήματα

- Μικροκυψέλες μόνο σε περιοχές με μεγάλο φορτίο (εμπορικά κέντρα, αθλητικοί χώροι, κτλ)
- Μεγάλος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων
- Η επιπλέον κίνηση απορροφάται από τις μακροκυψέλες

➤ Μειονεκτήματα

- Πολύπλοκο σχήμα διαχείρισης φάσματος
- Μεγάλος αριθμός μεταπομπών
- Αντιμετώπιση ομοδιαυλικής παρεμβολής (**ιδιαίτερα σημαντικό στα δίκτυα 4G**)

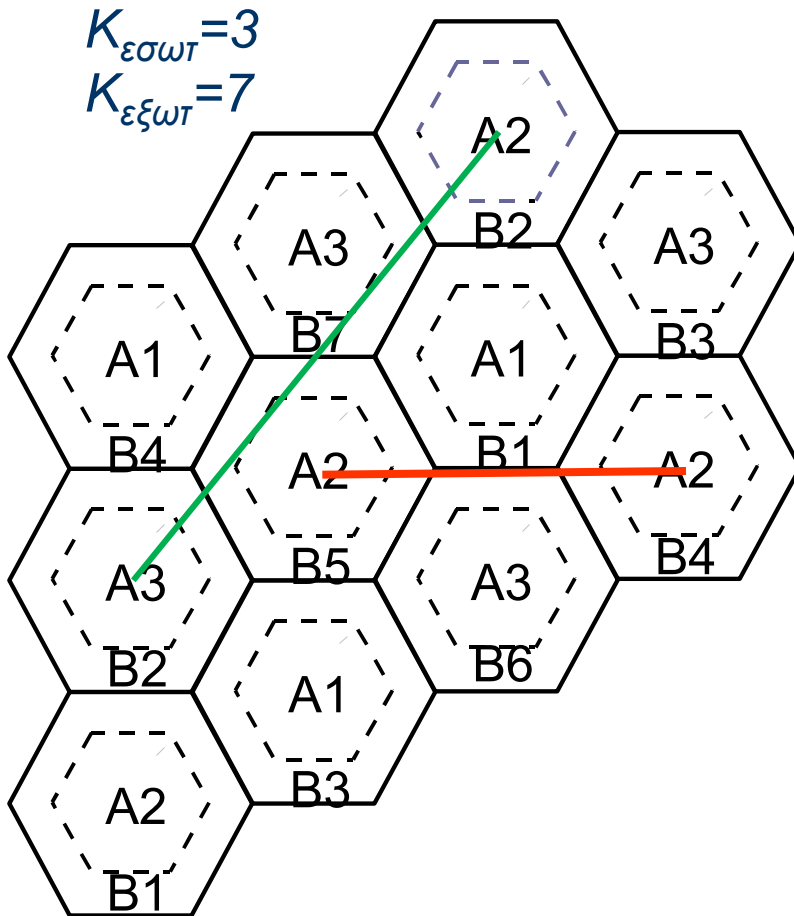
4G multi-tiering problems



Ασύρματα πρόσβαση

Ιεραρχικές αρχιτεκτονικές

Επιμερισμός επαναχρησιμοποίησης



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

$$\frac{R_{\varepsilon\sigma}}{R_{\varepsilon\xi}} = 0.65$$

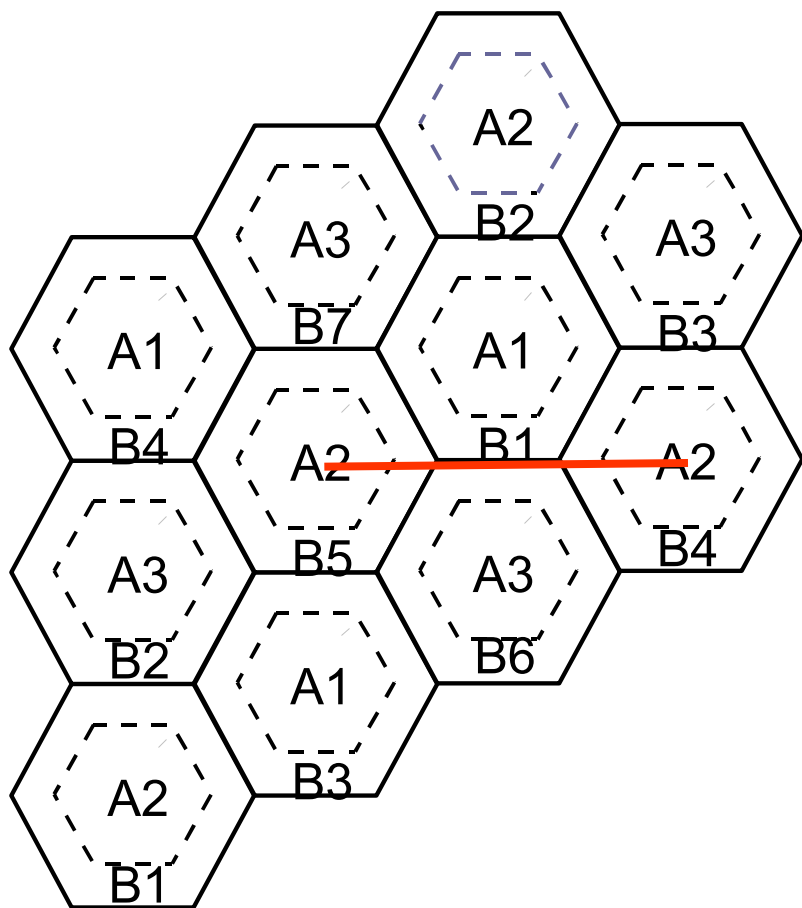
$$E = \frac{\sqrt{3}}{2} R^2$$

$$\frac{E_{\varepsilon\sigma}}{E_{\varepsilon\xi}} = (0.65)^2 = 0.43$$

Ασύρματη πρόσβαση

Ιεραρχικές αρχιτεκτονικές

Επιμερισμός επαναχρησιμοποίησης



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

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

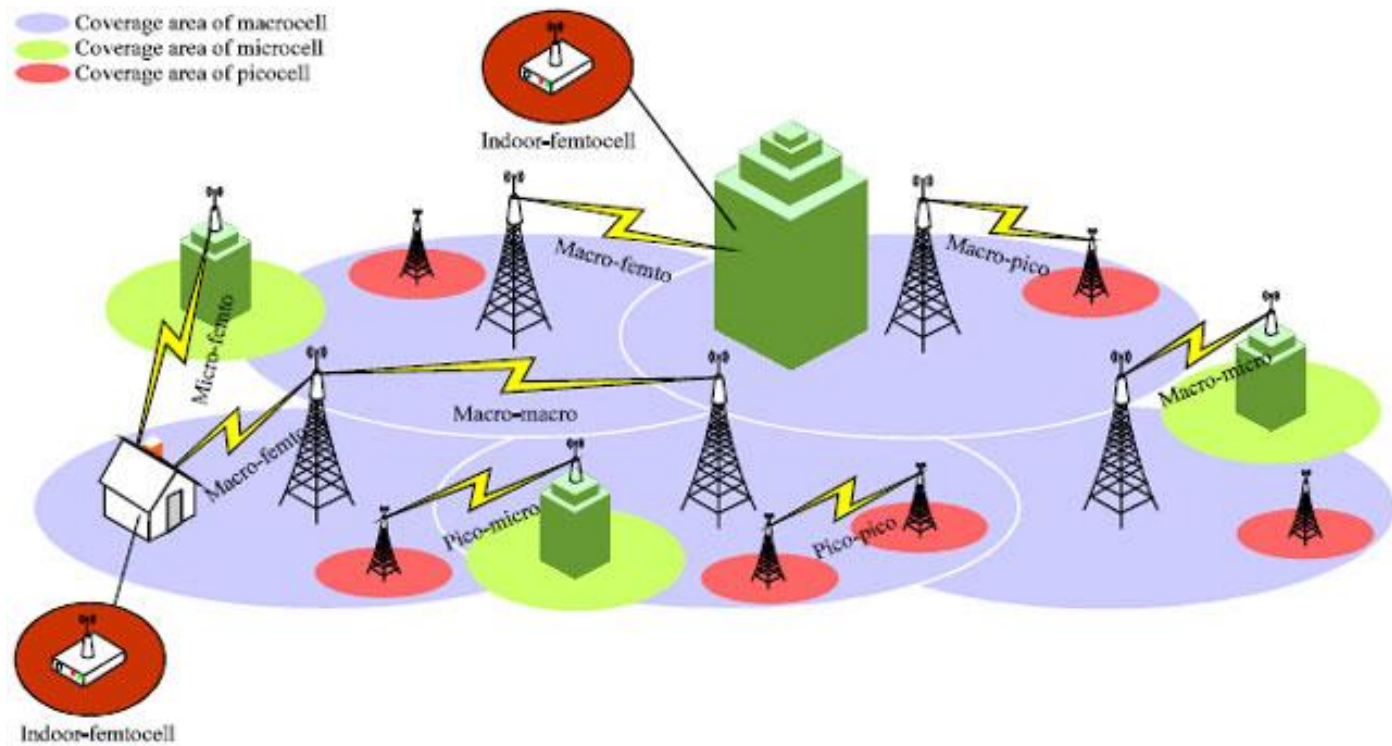
Άρα έχουμε βελτίωση της φασματικής απόδοσης κατά
 $0.189/0.143=1.32$ φορές (32%)

Αρνητικά:

Μεγαλύτερος αριθμός μεταπομπών
Περισσότεροι σταθμοί βάσης

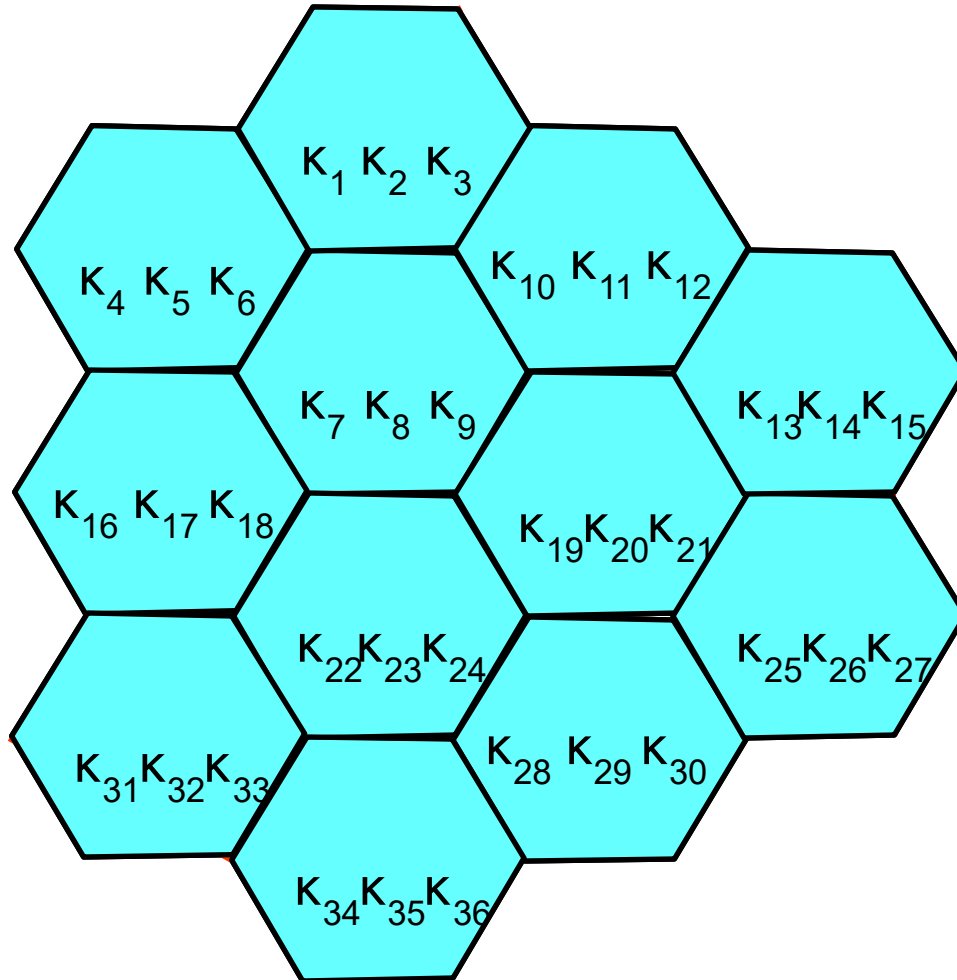
Ραδιοκάλυψη

- Η επιλογή μεγέθους και θέσης κυψελών είναι πολύ σημαντική σχεδιαστική απόφαση που επηρεάζει την απόδοση (πρέπει να ελέγχεται και να αναθεωρείται τακτικά)



Ασύρματη πρόσβαση

Στρωματωμένη αρχιτεκτονική



1 επίπεδο,
μόνο μικροκυψέλες:

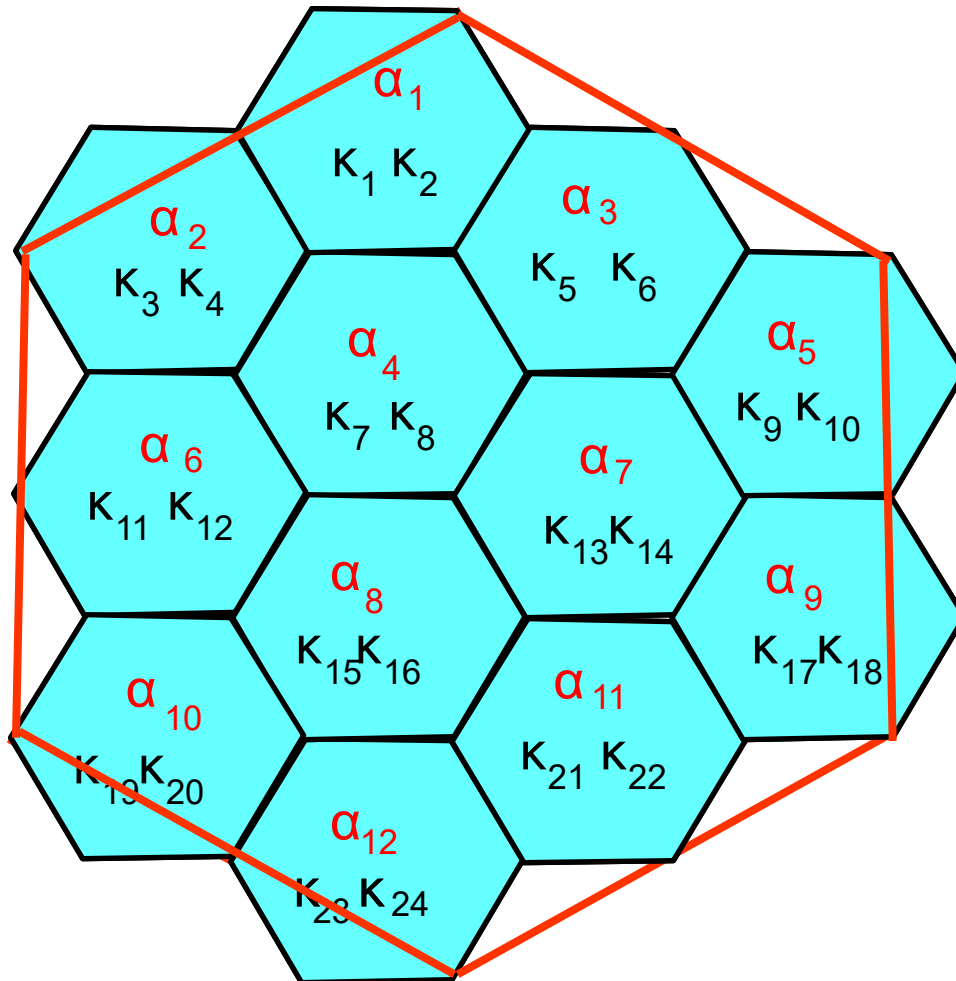
$$K=12$$

$$C_{ολ}=36$$

$$C_c=3$$

Ασύρματη πρόσβαση

Στρωματωμένη αρχιτεκτονική



2 επίπεδα,
Μακρο- και μικρο- κυψέλες:

$$K_{\text{micro}}=12$$

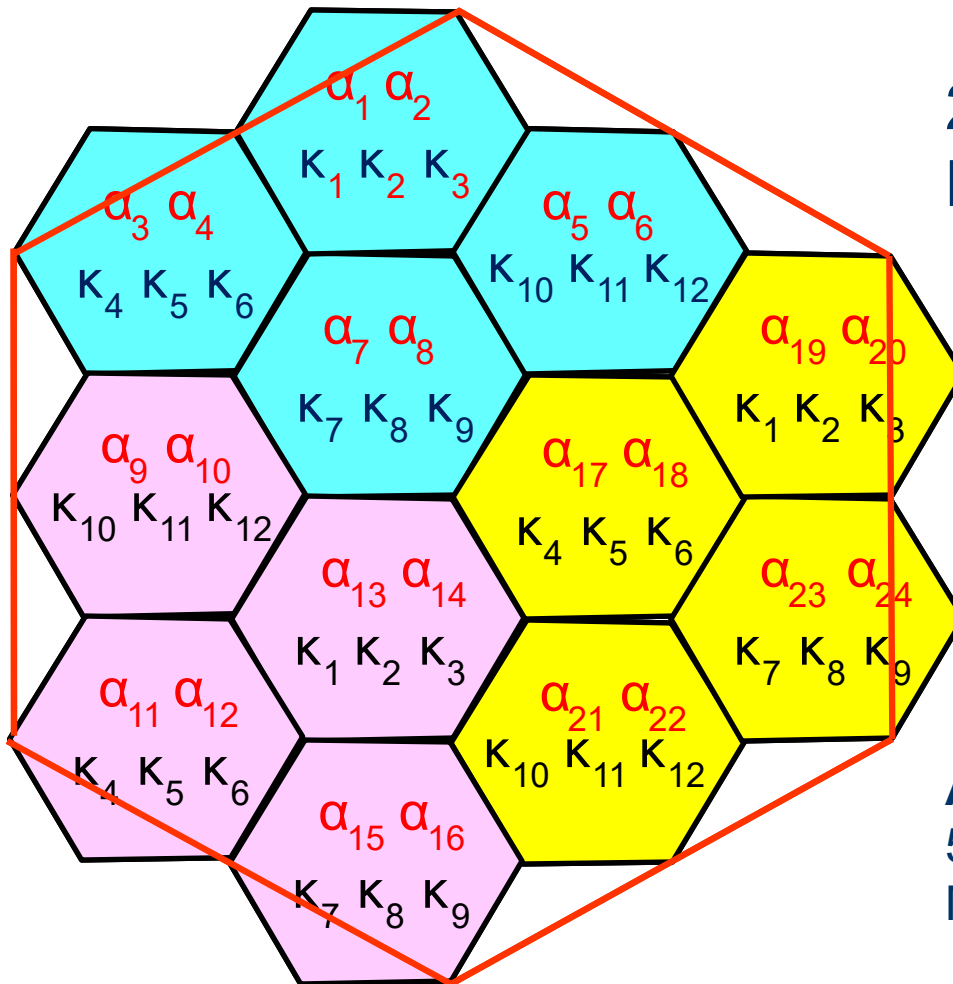
$$C_{\text{ολ}}=36$$

$$C_{\text{macro}}=12$$

$$C_{\text{micro}}=2$$

Ασύρματη πρόσβαση

Στρωματωμένη αρχιτεκτονική



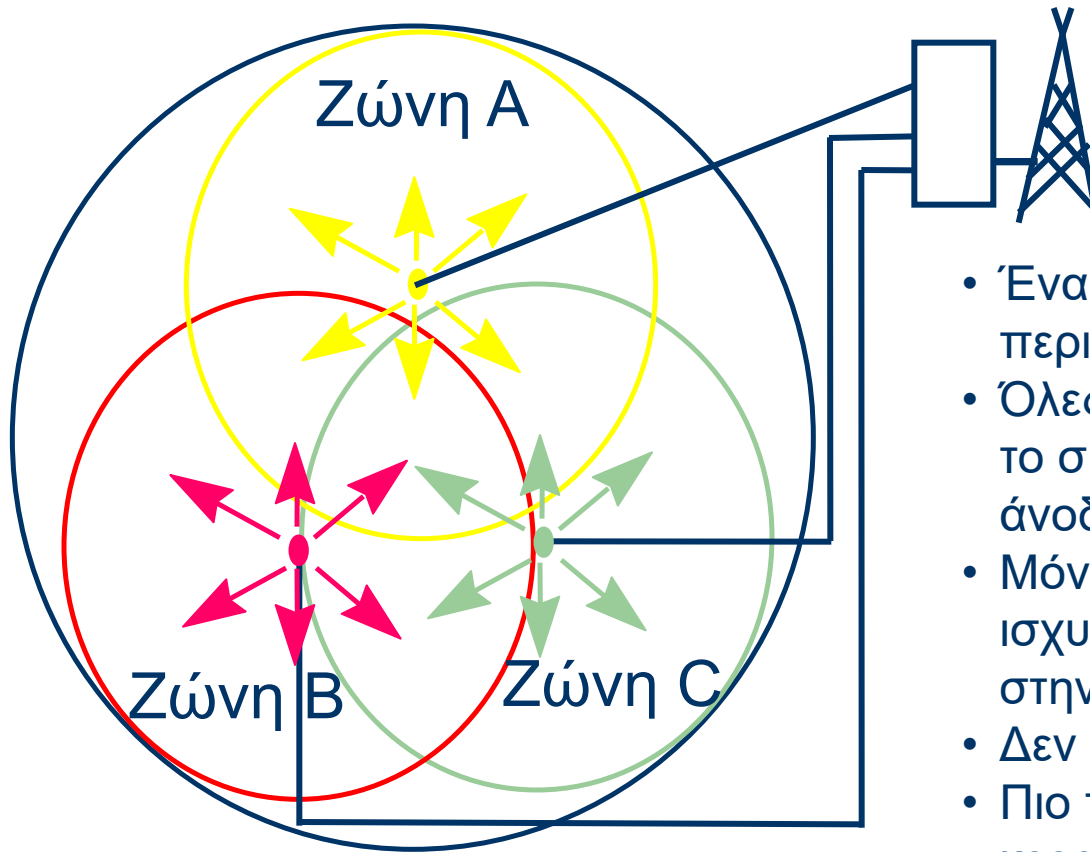
2 επίπεδα,
Μακρο- και μικρο- κυψέλες:

$$\begin{aligned}K_{\text{micro}} &= 4 \\C_{\text{ολ}} &= 36 \\C_{\text{macro}} &= 24 \\C_{\text{micro}} &= 3\end{aligned}$$

Αποτέλεσμα:
5 δίαυλοι/κυψέλη
Μεγαλύτερη χωρητικότητα

Ασύρματη πρόσβαση

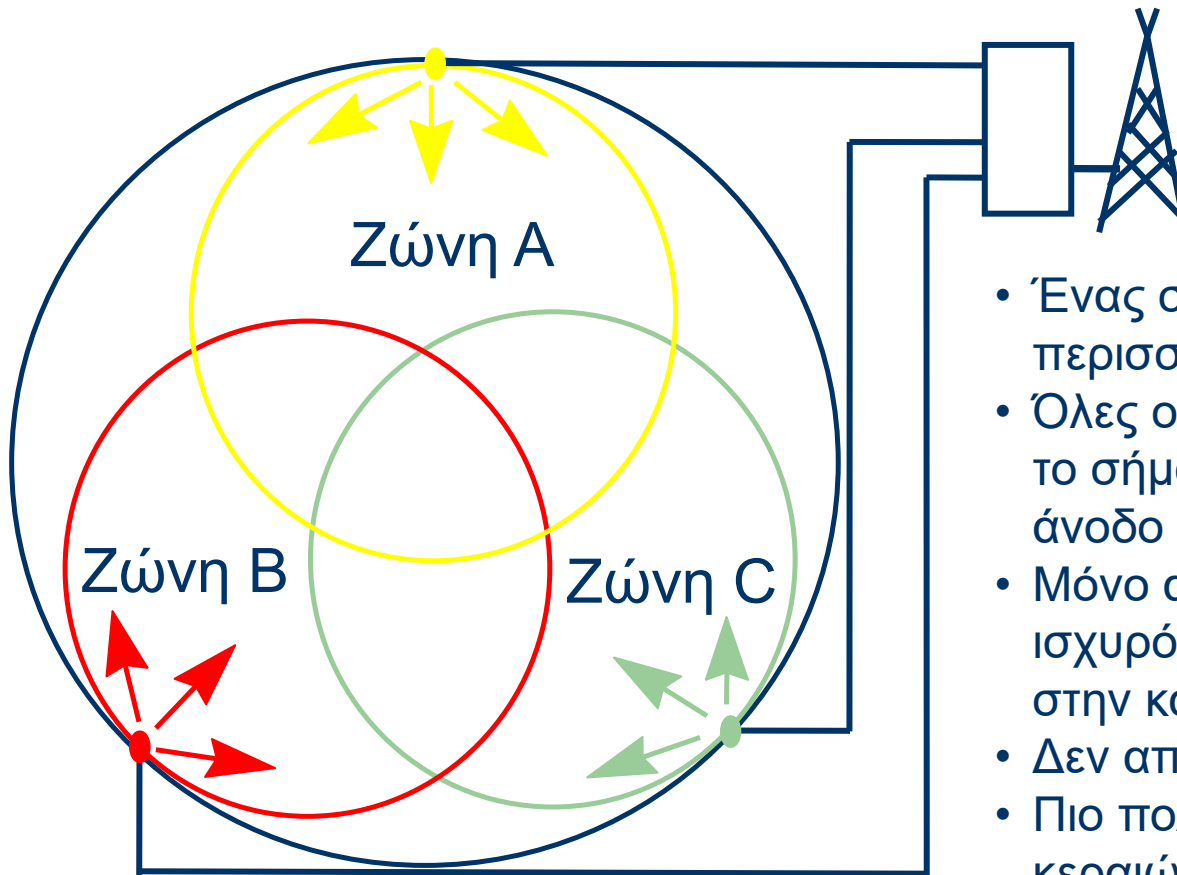
Μικροκυψελικά συστήματα



- Ένας σταθμός βάσης και περισσότερες κεραίες
- Όλες οι κεραίες λαμβάνουν το σήμα από το κινητό στην άνοδο
- Μόνο αυτή που λαμβάνει το ισχυρότερο S/I εκπέμπει στην κάθοδο
- Δεν απαιτείται μεταπομπή
- Πιο πολύπλοκη διαχείριση κεραιών
- Κάλυπτο σήμα, καλύτερη απόδοση

Ασύρματη πρόσβαση

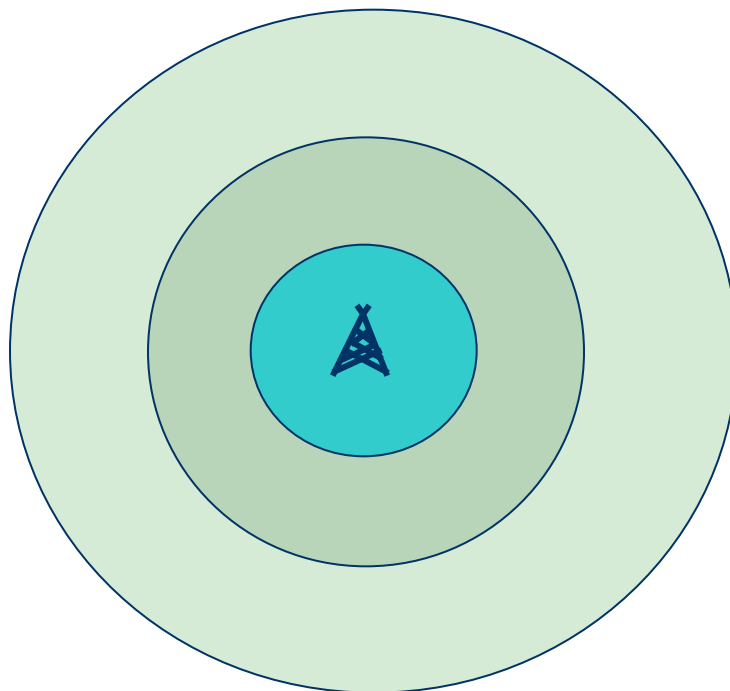
Μικροκυψελικά συστήματα



- Ένας σταθμός βάσης και περισσότερες κεραίες
- Όλες οι κεραίες λαμβάνουν το σήμα από το κινητό στην άνοδο
- Μόνο αυτή που λαμβάνει το ισχυρότερο S/I εκπέμπει στην κάθοδο
- Δεν απαιτείται μεταπομπή
- Πιο πολύπλοκη διαχείριση κεραιών
- Κάλυπτο σήμα, καλύτερη απόδοση

Ασύρματη πρόσβαση

Σύστημα με πολλαπλά εύρη ζώνης



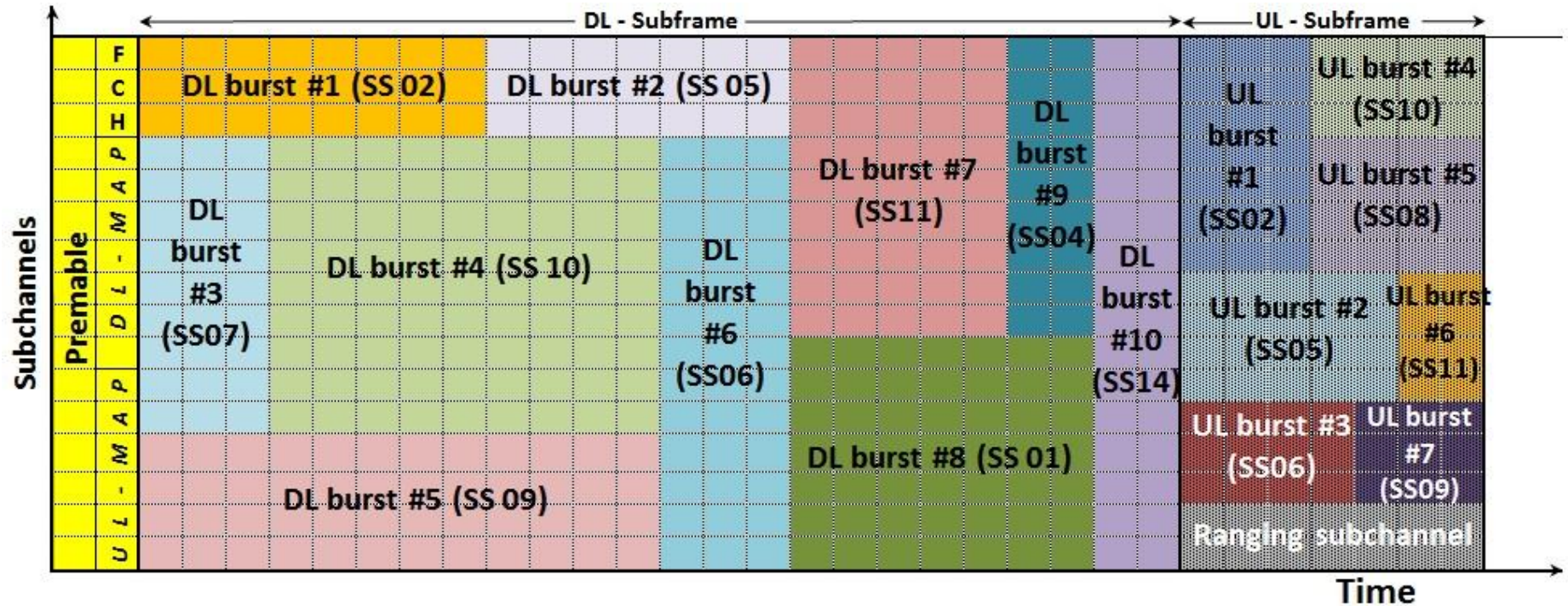
● 7,5kHz

● 15kHz

● 30kHz

Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

4G resource allocation



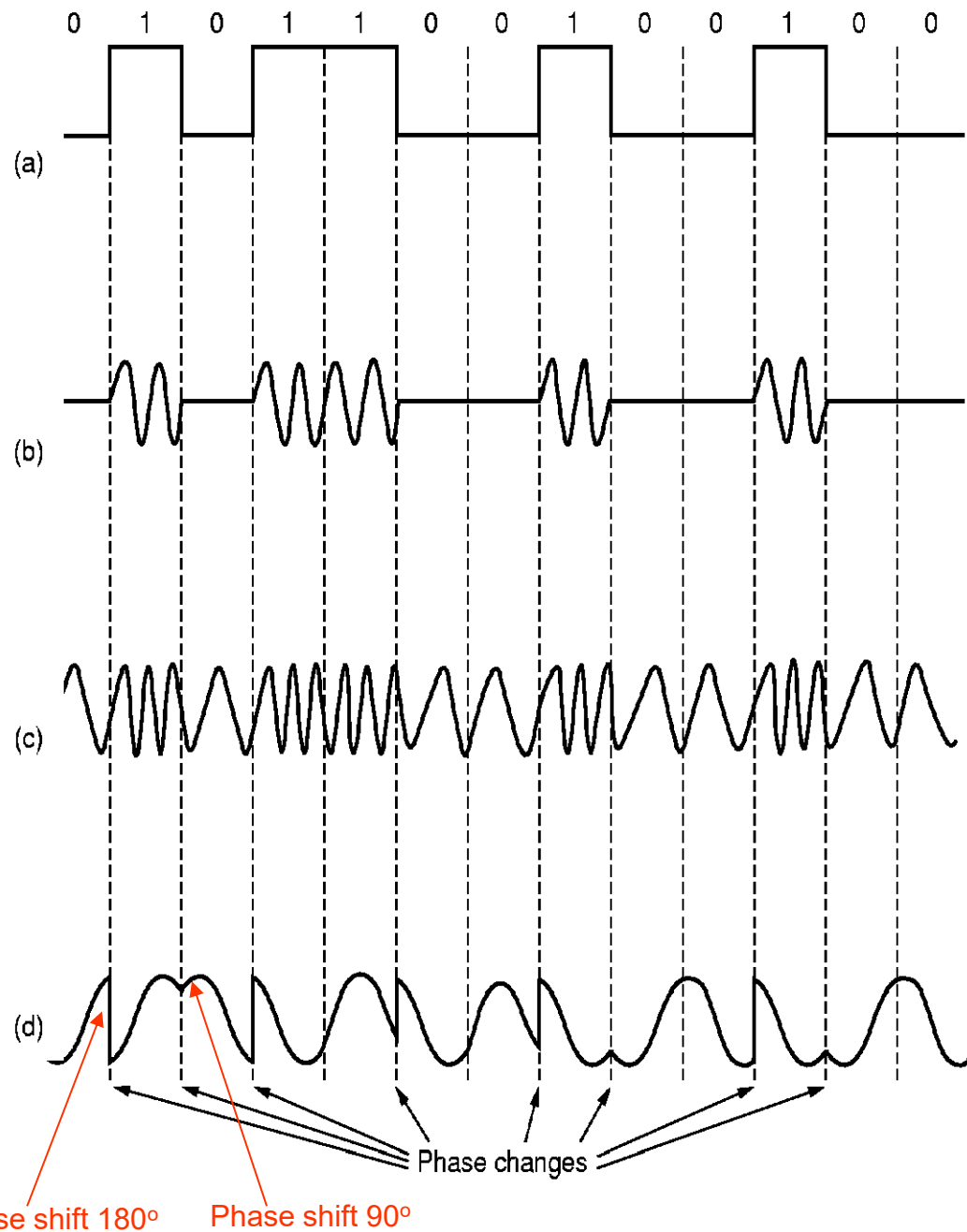
Διαμόρφωση Σήματος (Modulation)

1. μη διαμορφωμένο (ψηφιακό) σήμα
2. διαμόρφωση εύρους (AM)
3. διαμόρφωση συχνότητας (FM)

FSK (frequency shift keying)
τεχνική για ψηφιακά σήματα

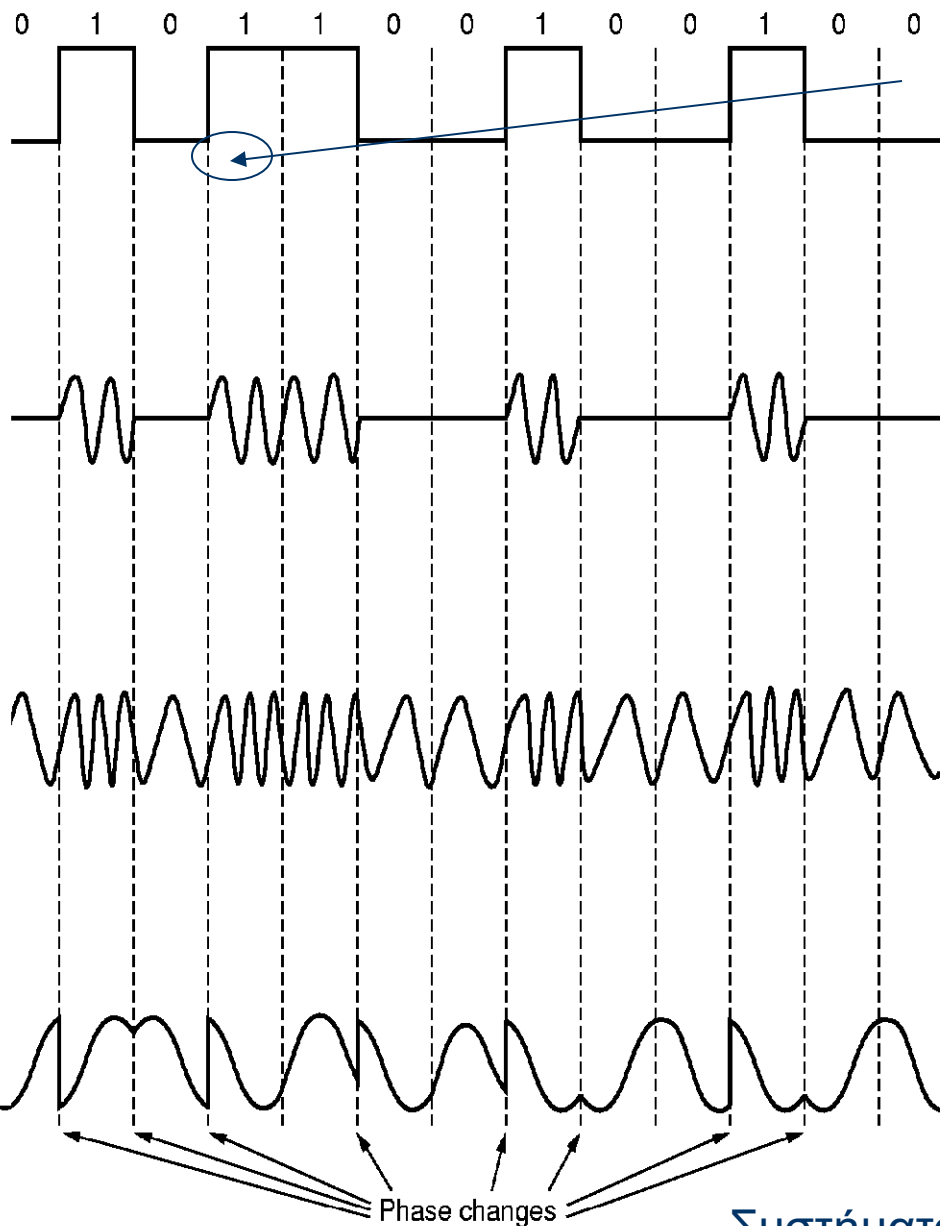
4. διαμόρφωση φάσης (PM)
PSK (phase shift keying)
τεχνική για ψηφιακά σήματα

➤ f : **φέρουσα** συχνότητα



Phase shift 180° Phase shift 90°

Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών



Sample

Sample Rate=Samples/sec (Baud Rate)

Κατά τη διάρκεια ενός Sample στέλνεται ένα **“symbol”**

Symbol=ελάχιστο τμήμα πληροφορίας

Στην απλούστερη περίπτωση AM με :

1 symbol = 1 bit (0/1) = voltage/no voltage

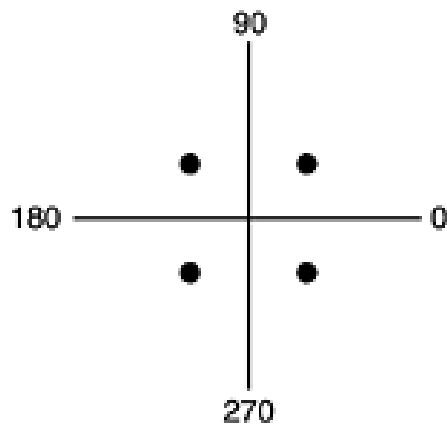
Για να αυξήσουμε την ταχύτητα μετάδοσης δε μπορούμε να μειώνουμε το sample επ' άπειρον.

Μπορούμε όμως να αυξάνουμε τον αριθμό των πιθανών symbols (επιπέδων έντασης μετάδοσης, δηλαδή εύρους σήματος) του AM

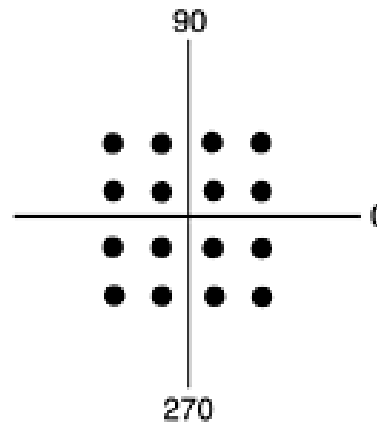
Συνηθέστερος συνδυασμός της τεχνικής αυτής με PSK.

Πολλαπλές Διαμορφώσεις

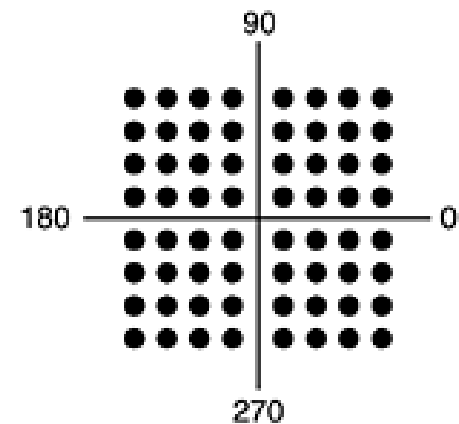
- QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) = 4 phase shifts, 1 amplitude level, 2 bits/symbol
- QAM-16 = 4 phase shifts, 4 amplitude levels, 4 bits/symbol
- QAM-64 = 4 phase shifts, 16 amplitude levels, 6 bits/symbol



QPSK

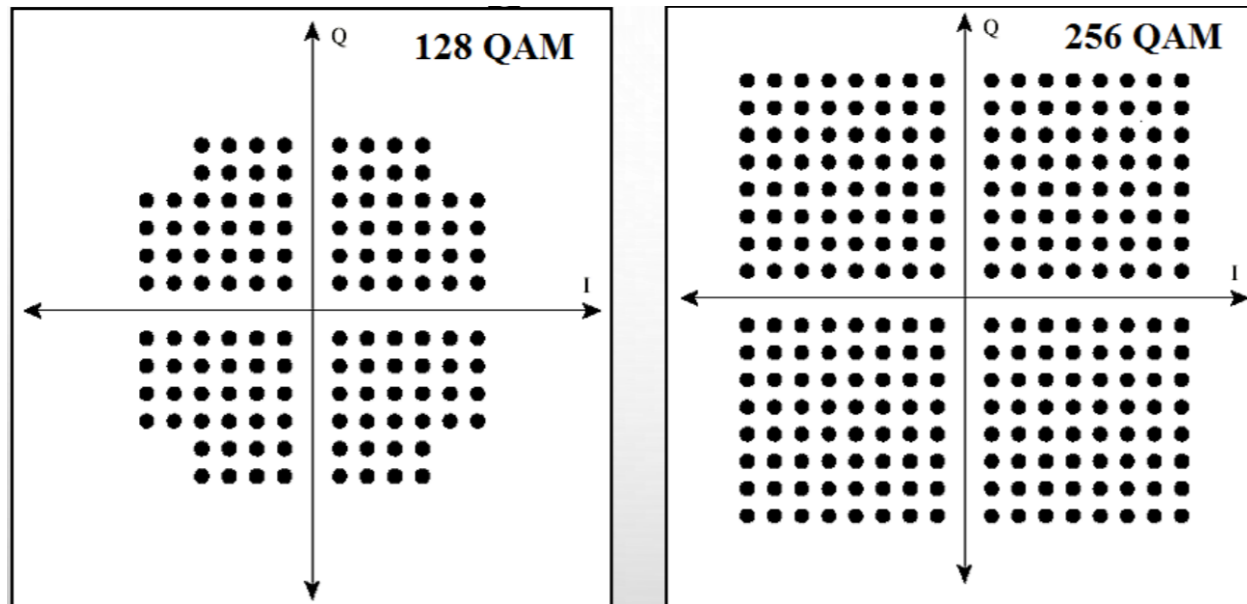
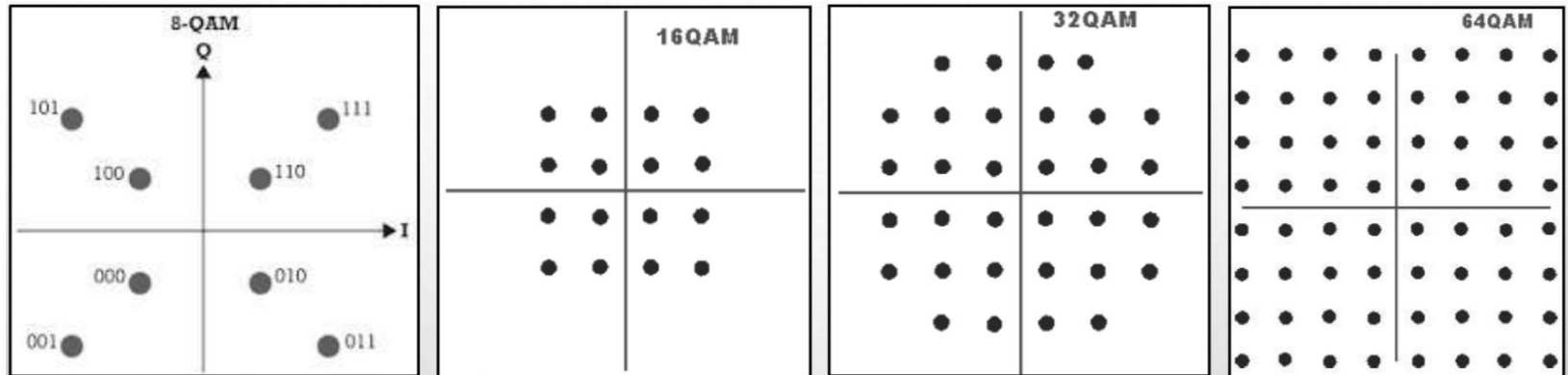


QAM-16



QAM-64

Πολλαπλές Διαμορφώσεις



Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών

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

Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών

Διαχείριση κινητικότητας

- 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

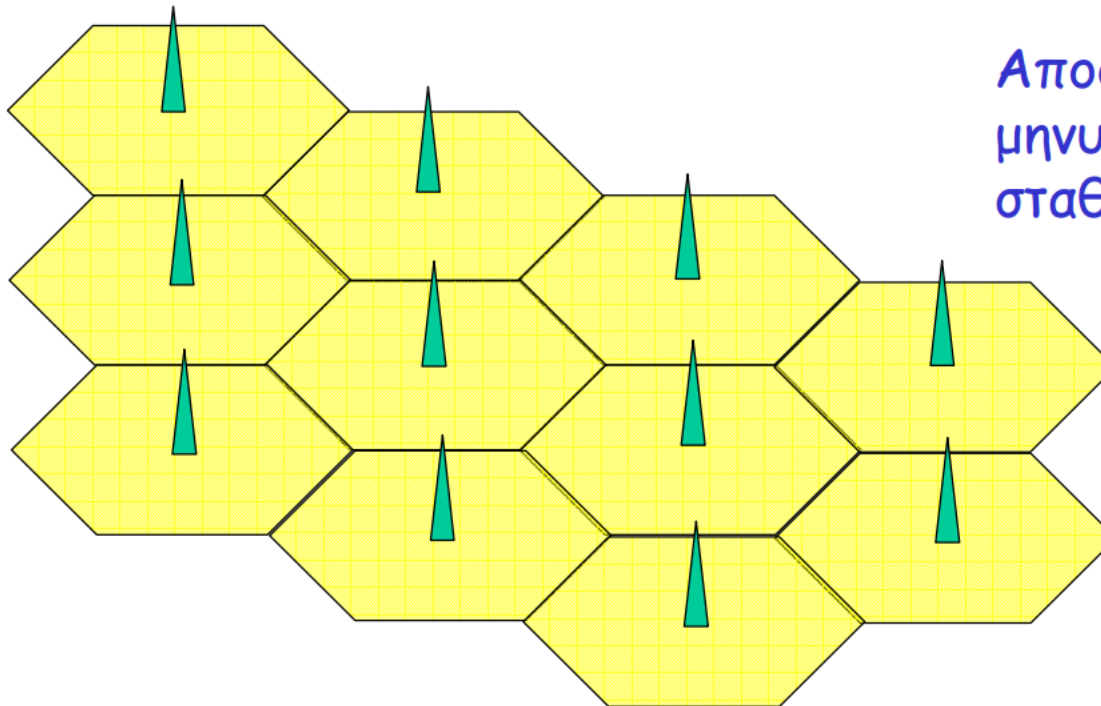
- Αφορούν διαδικασίες που πραγματοποιούνται ανεξάρτητα από το αν υπάρχει κλήση σε εξέλιξη ή όχι.
 - Διαδικασία ενημέρωσης θέσης
 - Διαδικασία ενεργοποίησης τερματικού
 - Διαδικασία απενεργοποίησης τερματικού
 - Διαδικασία εγγραφής χρήστη
 - Διαδικασία διαγραφής χρήστη

Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών

Λειτουργίες που δεν σχετίζονται με τις κλήσεις

Ενημέρωση θέσης – Το πρόβλημα

Πού είναι ο 97532468?



Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών

Λειτουργίες που δεν σχετίζονται με τις κλήσεις

Ενημέρωση θέσης – Η λύση

- 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 όλες τις πιθανές κυψέλες
 - Ο αριθμός των κυψελών που 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

Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών

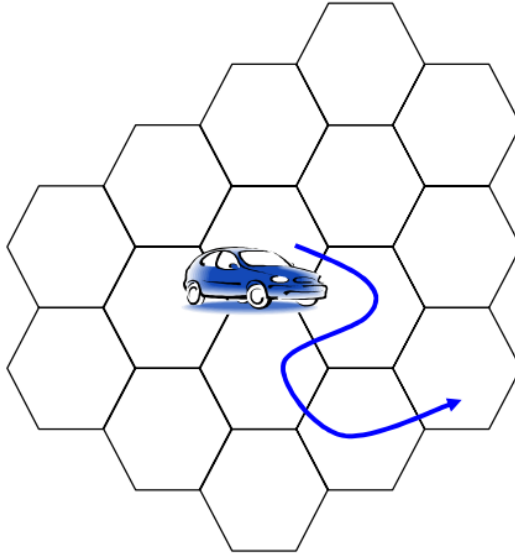
Λειτουργίες που δεν σχετίζονται με τις κλήσεις

Ενημέρωση θέση

Never Update Σχήμα

Ποτέ ενημέρωση θέσης
(καθόλου κόστος).

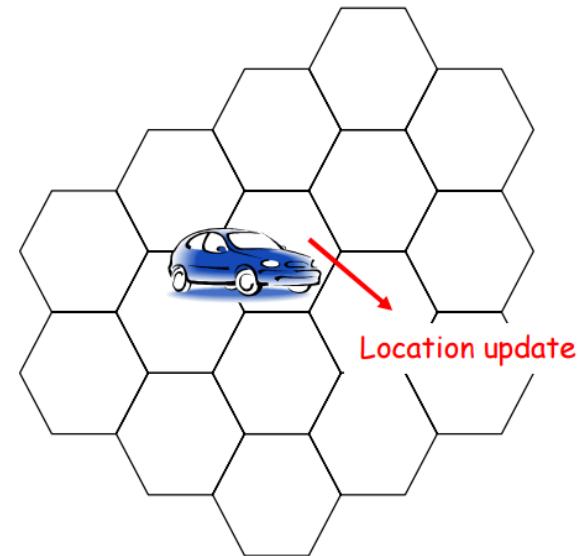
Ανάγκη αναζήτησης σε
κάθε κυψέλη (μέγιστο κόστος)



Always Update Σχήμα

Ενημέρωση θέσης σε κάθε κυψέλη
(μέγιστο κόστος).

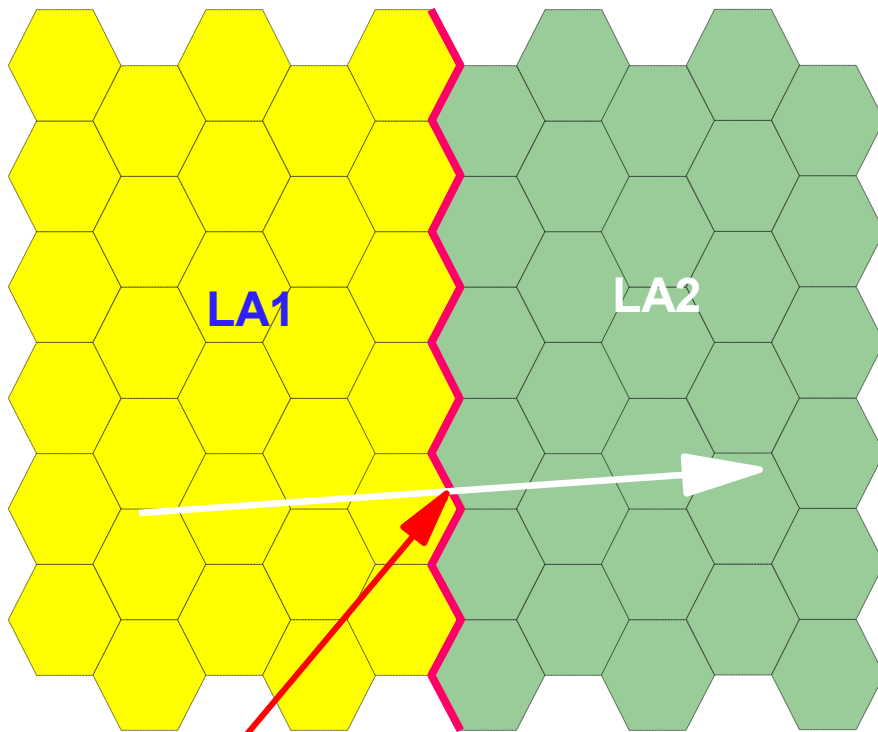
Αναζήτηση σε μία μόνο κυψέλη
(ελάχιστο κόστος).



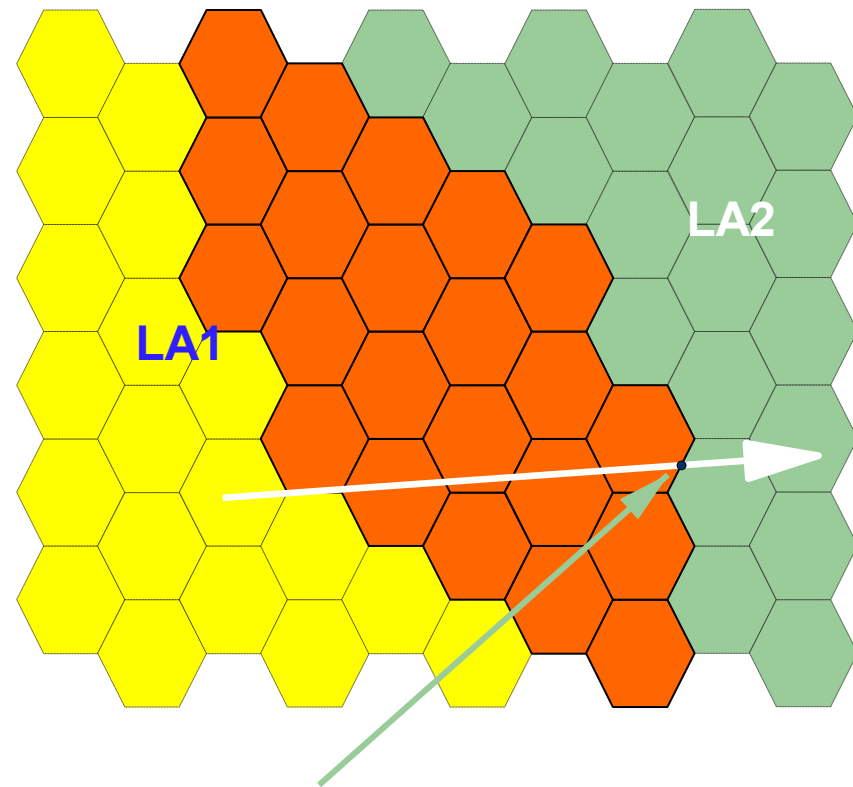
Υποστήριξη κινητικότητας χρηστών

Λειτουργίες που δεν σχετίζονται με τις κλήσεις

Ενημέρωση θέσης



Ενημέρωση θέσης θα γίνει εδώ



Ενημέρωση θέσης θα γίνει εδώ