



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών

Ενότητα 9: Εισαγωγή στα Κυψελωτά Συστήματα  
Επικοινωνιών

Καθ. Εμμανουήλ Βαρβαρίγος

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής

# Σκοποί ενότητας

- Η εξοικείωση του φοιτητή με τα κυψελωτά συστήματα επικοινωνιών



# Περιεχόμενα ενότητας

Ασύρματα Δίκτυα

Ασύρματα Κυψελωτά Δίκτυα (Πολυπλεξία,  
Επαναχρησιμοποίηση Καναλιών, Ανάθεση  
Καναλιών και Χρωματισμός Γραφήματος,  
Handoffs)



# Ασύρματα Δίκτυα

# Παραδείγματα ασύρματων δικτύων

- Κυψελωτή τηλεφωνία
- Δορυφορικά δίκτυα
- Μητροπολιτικά δίκτυα (MANs) π.χ. Patras Wireless Network
- Τοπικά δίκτυα (LANs)
- Σταθμοί Πληροφορίας (κινητοί χρήστες που κινούνται μέσα από σταθερό δίκτυο) - Infostations
- Ad hoc δίκτυα (κινητοί κόμβοι που σχηματίζουν δυναμικά ένα προσωρινό δίκτυο, χωρίς την χρήση οποιασδήποτε υπάρχουσας δικτυακής υποδομής)
- sensor networks (+smart dust, ambient intelligence buildings)
- Άλλα δίκτυα: Personal area networks, home networks,, ubiquitous computing environments,, vehicular networks, e.t.c.

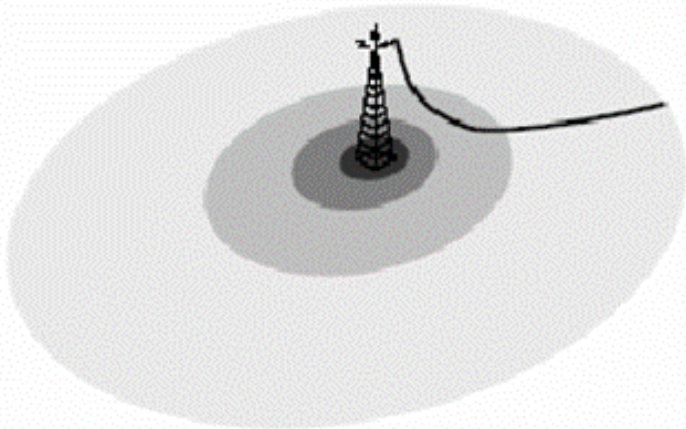
# Ιδιαιτερότητες ασύρματων δικτύων

- Σχετικά χαμηλός ρυθμός μετάδοσης
- Υψηλή μεταβλητότητα του ρυθμού μετάδοσης
- Κινητικότητα
- Κίνδυνοι ασφαλείας
- Περιορισμένη ενέργεια
- Κίνδυνοι απώλειας δεδομένων
- Μικρή επιφάνεια διεπαφής

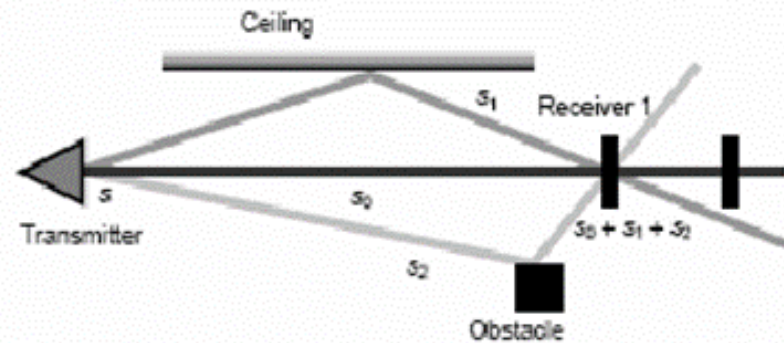
**Αλλά και ευκολία μεταφοράς  
(επικοινωνία anywhere any time)**

# Ισχύς σήματος (1/2)

$$P_R(d) \propto \frac{G \times P_T}{f^2 \times d^\alpha}$$



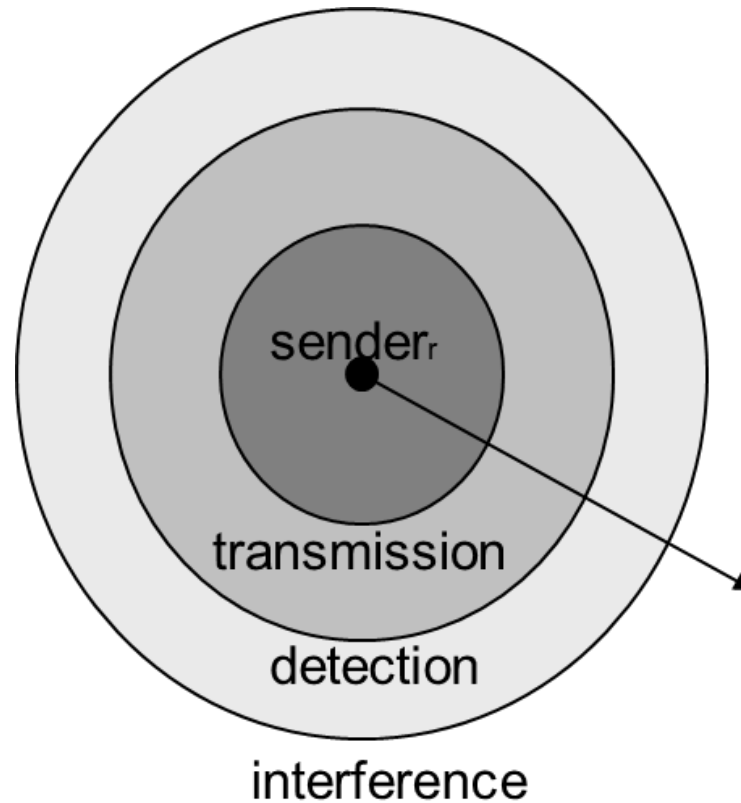
(a)



(b)

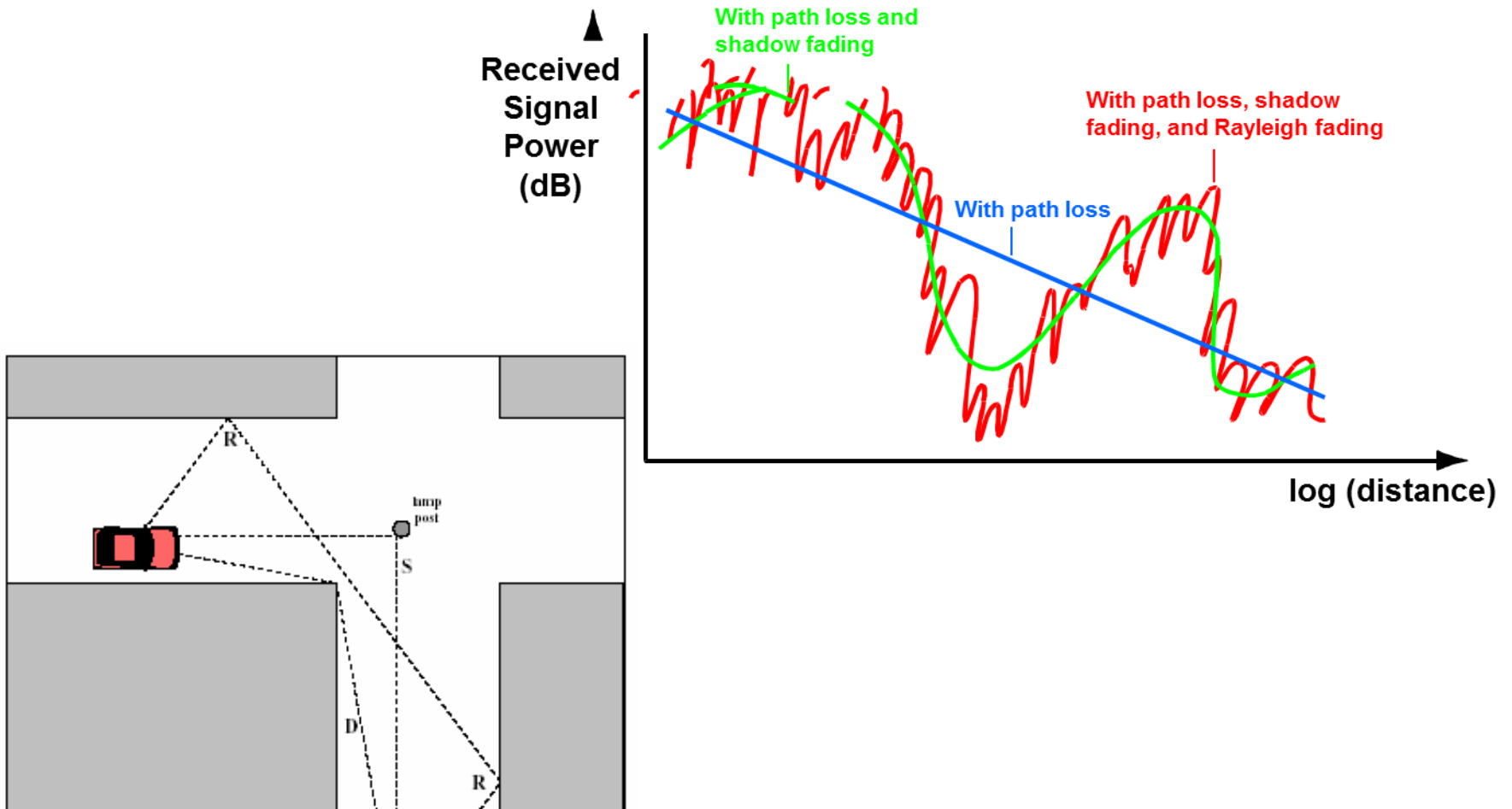
**Path loss. (a) Propagation loss. (b) Multipath fading.**

# Ισχύς σήματος (2/2)





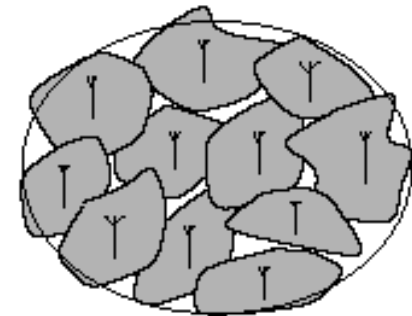
# Διάδοση του σήματος



# Ασύρματα Κυψελωτά Δίκτυα

# Οργάνωση Κυψελωτών Δικτύων (1/2)

- Χρήση πομπών χαμηλής ισχύος (100 Watt ή λιγότερο)
- Οι περιοχές χωρίζονται σε κυψέλες
- Κάθε κυψέλη εξυπηρετείται από τον δικό της σταθμό βάσης, που αποτελείται από κεραία, πομπό, δέκτη
- Σε μια ομοιόμορφη από πλευράς πληθυσμού περιοχή, οι κυψέλες δημιουργούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε οι κεραίες να ισαπέχουν περίπου μεταξύ τους (περίπου εξάγωνο)
- Η κάθε κυψέλη έχει τα δικά της κανάλια (π.χ., μπάντες συχνοτήτων)



# Οργάνωση Κυψελωτών Δικτύων (2/2)

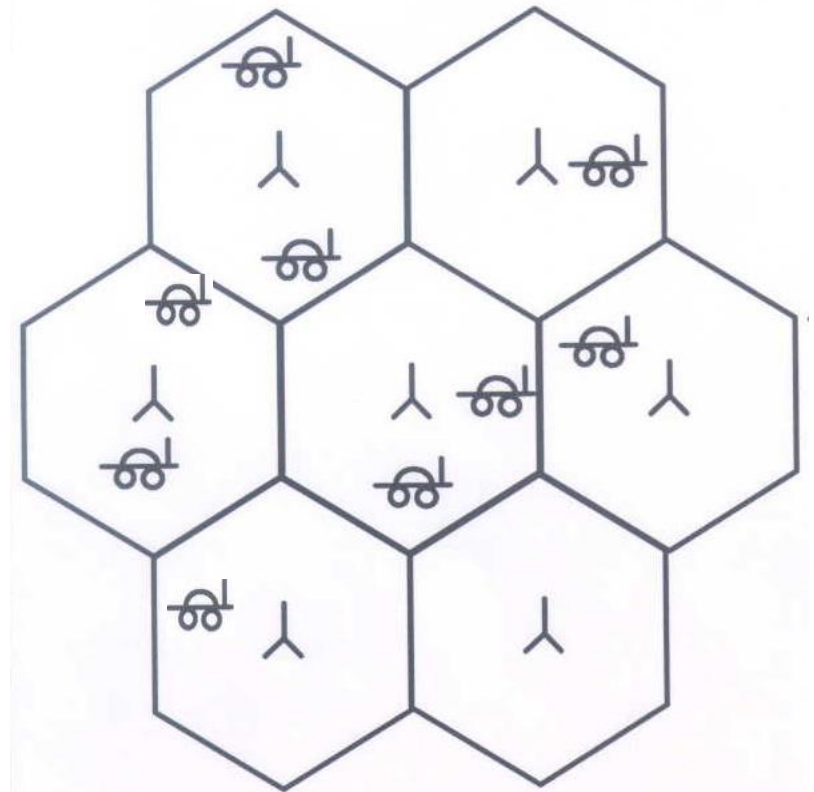


**Σταθμός βάσης (base station)**



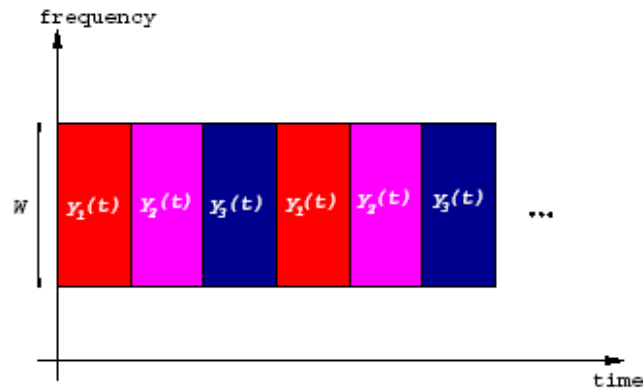
**Κινητός σταθμός (mobile station)**

**MSC** **Κινητό Κέντρο Μεταγωγής**  
**ή** **(Mobile Switching Center ή**  
**MTSO** **Mobile Telephone Switching**  
**Office)**

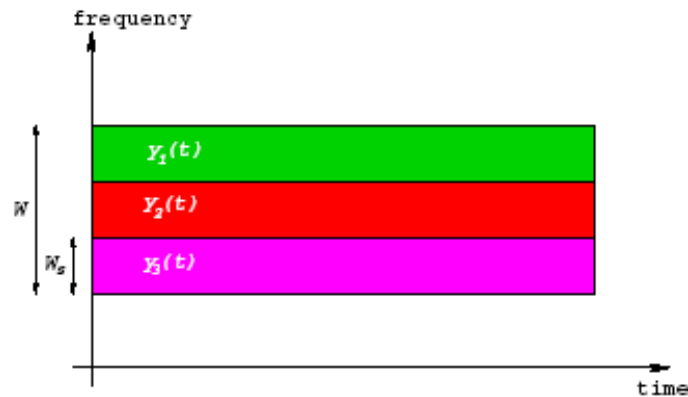


# Μέθοδοι Πολυπλεξίας

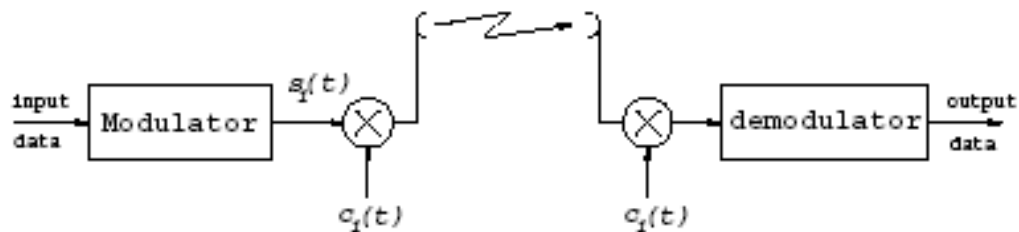
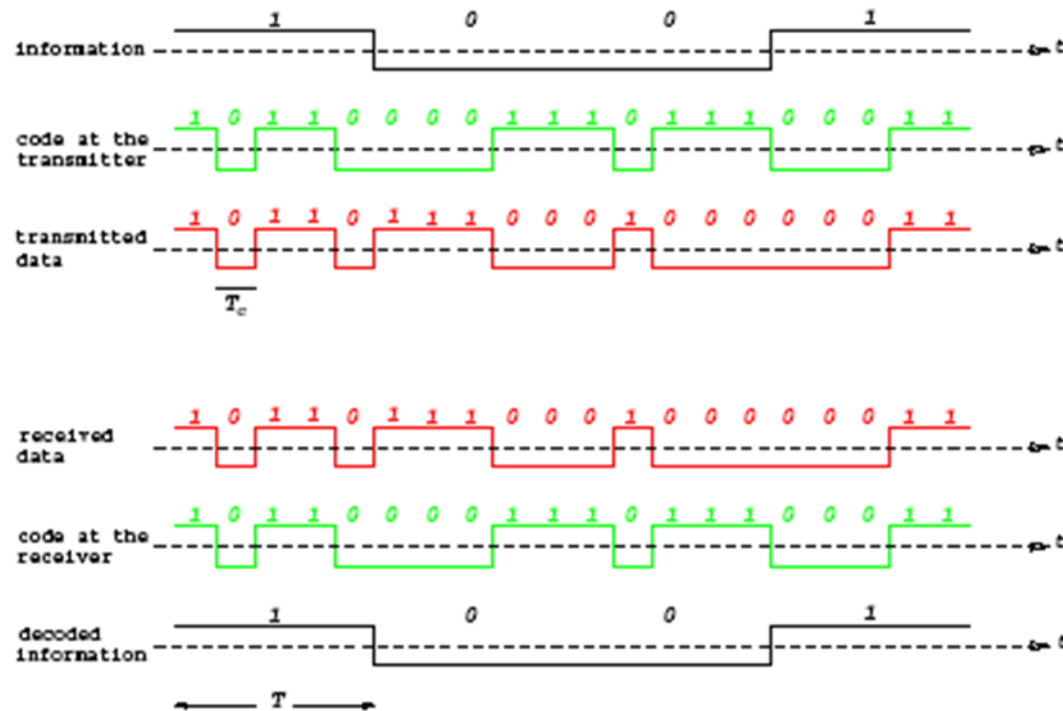
- Ένα TDMA σύστημα με 3 χρήστες



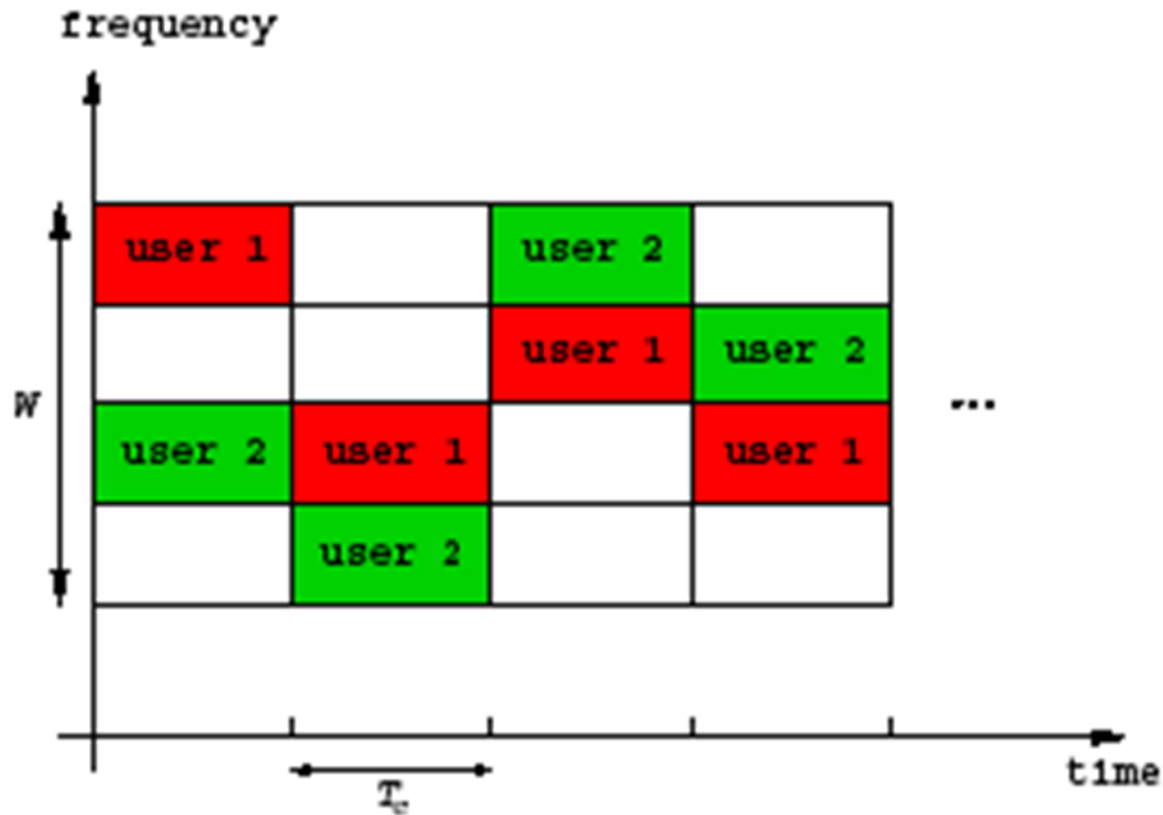
- Ένα FDMA σύστημα με 3 χρήστες



# Direct Sequence CDMA (DS-CDMA)



# Frequency Hopping CDMA



# Επαναχρησιμοποίηση Καναλιών (1/2)

- Τα κυψελωτά συστήματα είναι περιορισμένα από την παρεμβολή, όχι από τον θόρυβο.
- Η βασική αρχή λειτουργίας ενός κυψελωτού συστήματος είναι η ιδέα της επαναχρησιμοποίησης καναλιών.
- Γειτονικές κυψέλες χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες για να αποφύγουμε την παρεμβολή

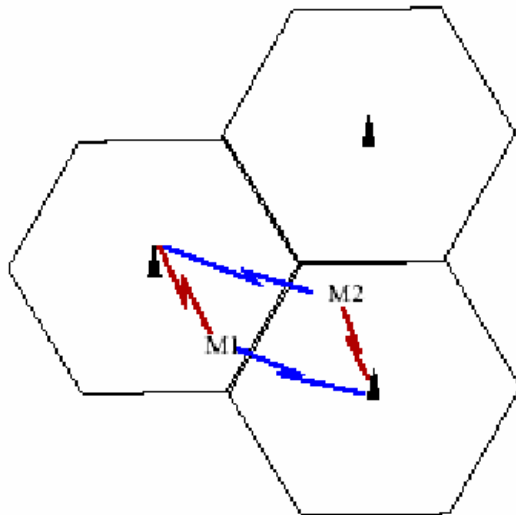


# Επαναχρησιμοποίηση Καναλιών (2/2)

- Σκοπός είναι να επαναχρησιμοποιήσουμε τα ίδια κανάλια σε κυψέλες που είναι μακριά
  - 10-50 κανάλια (TDM, FDM ή CDMA) ανά κυψέλη
  - Ελεγχόμενη ισχύ εκπομπής για περιορισμό της ισχύος του σήματος που διαφεύγει στις γειτονικές κυψέλες
  - Το θέμα είναι ο καθορισμός του αριθμού των κυψέλων που πρέπει να παρεμβληθούν ανάμεσα σε δύο κυψέλες που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα
- Παράγοντες περιορισμού της επαναχρησιμοποίησης καναλιών :
  - Παρεμβολή από κανάλι της ίδιας συχνότητας (Co-channel interference)
  - Παρεμβολή από γειτονικό κανάλι (adjacent-channel interference)

# Co-channel interference (1/2)

- Η μετάδοση ενός διαφορετικού χρήστη στο ίδιο κανάλι δημιουργεί παρεμβολή στον δέκτη
- Απόσταση επαναχρησιμοποίησης (reuse distance): η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο κυψέλων για να μπορούν αυτές να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα (γενικότερα, κανάλι) με αποδεκτά επίπεδα παρεμβολής.



Παρεμβολή

Σήμα

$$SIR = \frac{GP_T f^{-2} d_1^{-\alpha}}{GP_T f^{-2} d_2^{-\alpha}} = \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^\alpha$$

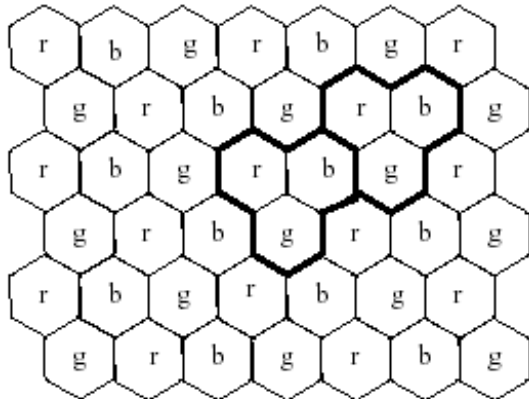
# Co-channel interference (2/2)

- Απόσταση επαναχρησιμοποίησης (reuse distance): η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο κυψέλων για να μπορούν αυτές να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα (γενικότερα, κανάλι) με αποδεκτά επίπεδα παρεμβολής.

# Απόσταση Επαναχρησιμοποίησης (1/3)

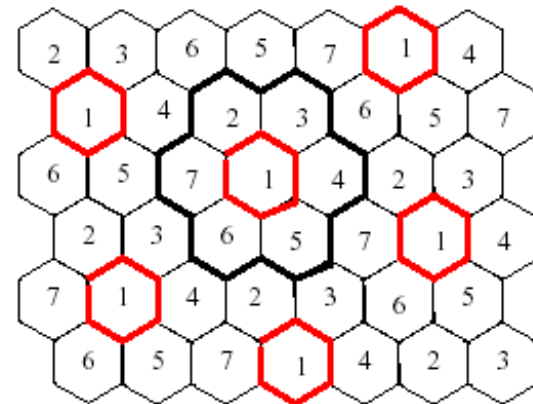
## Reuse patterns

Reuse distance 2



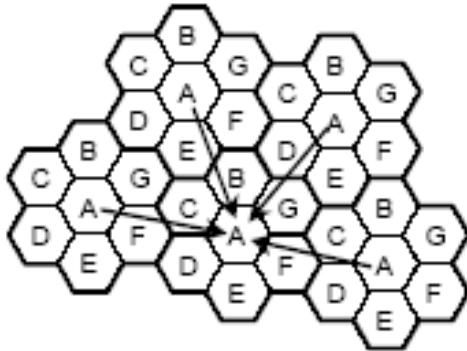
$F/3$  χρήστες ανά κυψελή, όπου  $F$  ο συνολικός αριθμός καναλιών στο σύστημα

Reuse distance 3



$F/7$  χρήστες ανά κυψελή, όπου  $F$  ο συνολικός αριθμός καναλιών στο σύστημα

# Απόσταση Επαναχρησιμοποίησης (2/3)

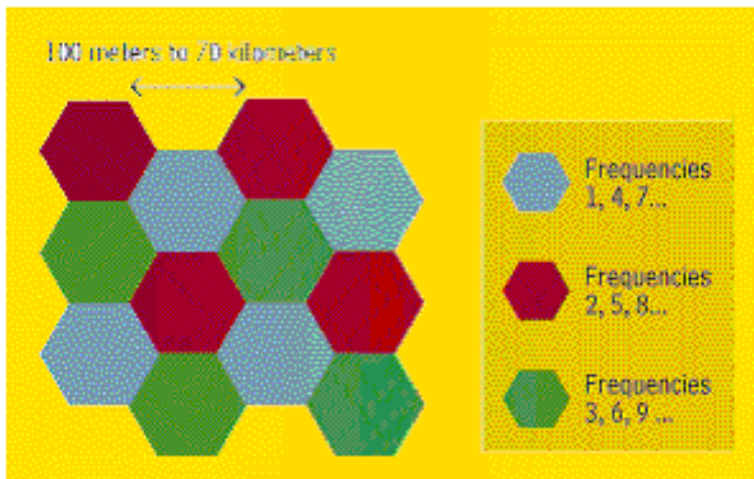


$$SIR = \frac{P_{desired}}{\sum_i P_{interference,i}}$$

- Ο επιθυμητός SIR καθορίζει την απόσταση επαναχρησιμοποίησης
- Ορίζουμε
  - D = απόσταση μεταξύ πομπών ίδιου καναλιού
  - R = η ακτίνα κυψέλης
- Μπορεί να υπολογιστεί ότι  $D/R = (1/6 * SIR)^{(1/4)}$
- Π.χ. αν απαιτείται  $SIR=18\text{db}$  (δηλαδή το σήμα να είναι περίπου 60 φορές ισχυρότερο της παρεμβολής), τότε  $D/R=2.6$
- Ψηφιακές τεχνικές αντέχουν υψηλότερα επίπεδα παρεμβολής, π.χ. για  $SIR$  στα  $9\text{db} \Rightarrow D/R=1.6$

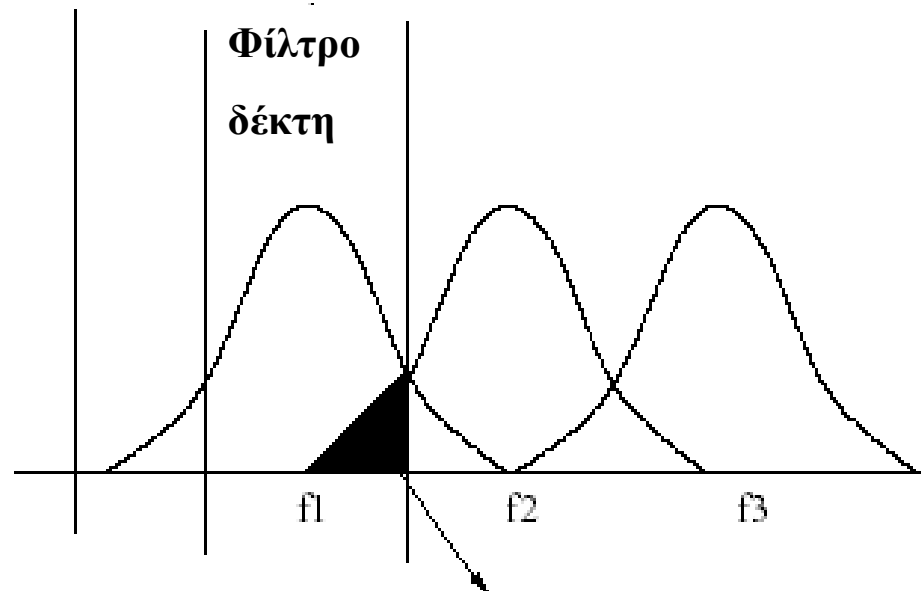
# Απόσταση Επαναχρησιμοποίησης (3/3)

- Σε ένα ιδανικό κυψελικό δίκτυο με απόσταση επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων ίση με 2, σε κάθε κυψέλη διατίθεται το 1/3 του διαθέσιμου εύρους ζώνης.
- Στο GSM, το εύρος ζώνης κάθε κυψέλης χωρίζεται σε FDMA υπο-ζώνες εύρους 200KHz η κάθε μία. Η κάθε υπο-ζώνη στην συνέχεια χωρίζεται μέσω TDMA σε 8 κανάλια, το καθένα από τα οποία εξυπηρετεί μία κλήση.



# Παρεμβολή από γειτονικό κανάλι (adjacent channel interference)

- Ενέργεια από άλλα κανάλια εισέρχεται μέσα στην περιοχή του φέροντος
- Η παρεμβολή από γειτονικά κανάλια μπορεί να ελεγχθεί με φίλτρα εκπομπής και λήψης



παρεμβολή από γειτονικό κανάλι

# Πρόβλημα Ανάθεσης Καναλιών (1/2)

«Θέλουμε να βρούμε έναν αλγόριθμο για την ανάθεση καναλιών σε κλήσεις, που να ελαχιστοποιεί τον αριθμό διαφορετικών καναλιών που χρησιμοποιούνται, ενώ κρατάει την παρεμβολή σε ανεκτά επίπεδα»

- Μοντελοποιούμε το πρόβλημα με γραφήματα (γράφημα παρεμβολών)



# Πρόβλημα Ανάθεσης Καναλιών (2/2)

- **Δίδεται** ένα γράφημα που ονομάζεται γράφημα παρεμβολών.
  - Οι κορυφές του γραφήματος αναπαριστούν κυψέλες ή σταθμούς βάσεις.
  - Οι ακμές μοντελοποιούν γεωγραφική εγγύτητα μεταξύ κυψελών και πιθανότητα παρεμβολής
- Οποιαδήποτε στιγμή κάθε κορυφή  $v$  (κυψέλη) έχει ένα αριθμό  $w(v)$  από κλήσεις που χρειάζονται κανάλια.
- **Ζητείται** να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των διαφορετικών καναλιών που χρησιμοποιούνται για να εξυπηρετηθούν οι κλήσεις

Κάποιες φορές οι περιορισμοί δίδονται υπό την μορφή ενός διανύσματος περιορισμών (constraint vector)  $(C_0, C_1, C_2, \dots)$  και ζητείται τα κανάλια που αναθέτονται σε κορυφές με απόσταση  $i$ , να διαφέρουν το λιγότερο κατά  $C_i$

# Εκδοχές του προβλήματος

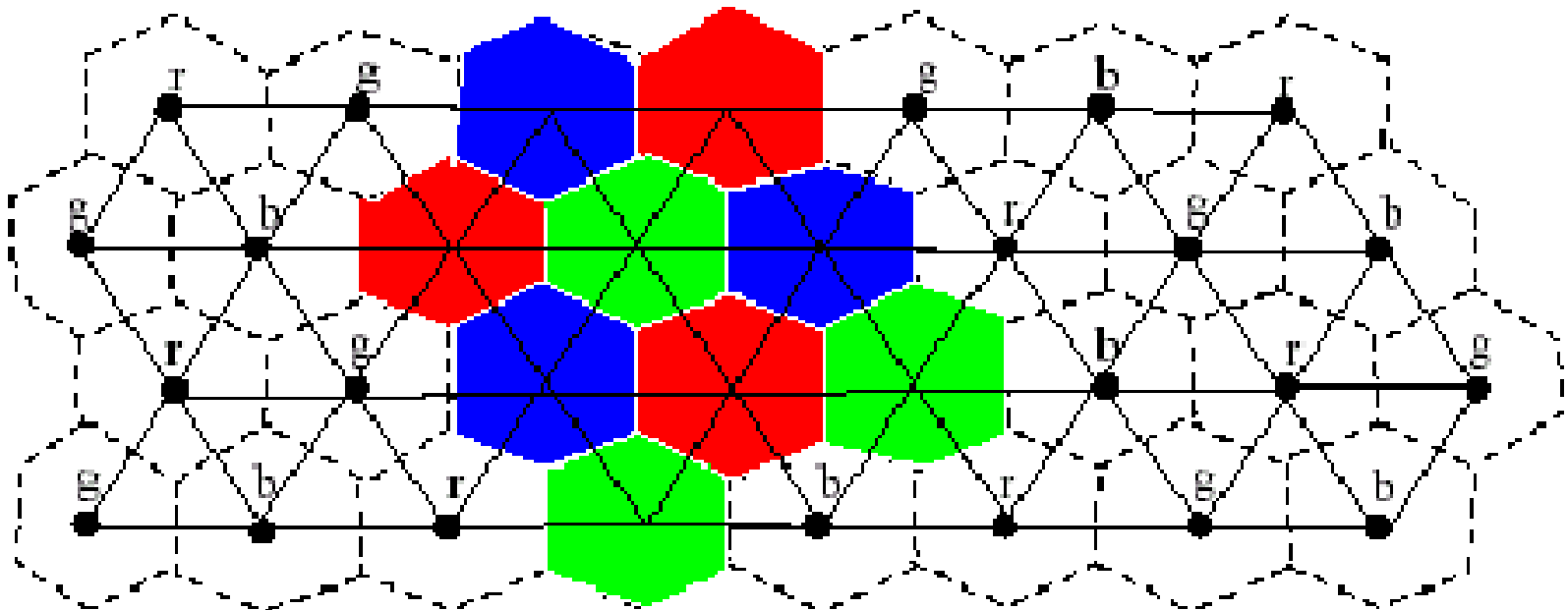
- **Στατικό πρόβλημα:** Υποθέτουμε μια σταθερή διαμόρφωση των κλήσεων (χωρίς αλλαγές με τον χρόνο) και αναθέτουμε κανάλια σε όλες αυτές τις κλήσεις.
- **Δυναμικό (online) πρόβλημα:** ο αριθμός των κλήσεων αλλάζει με τον χρόνο και ο αλγόριθμος πρέπει να αναθέσει κανάλια μόνο σε νέες κλήσεις. Ο αλγόριθμος δεν έχει κανένα έλεγχο για το ποιες κλήσεις ολοκληρώνονται, έτσι ούτε και για το ποια κανάλια ελευθερώνονται.
  - Πιθανότητα μπλοκαρίσματος: Υποθέτουμε έναν σταθερό αριθμό διαθέσιμων καναλιών και προσπαθούμε να ελαχιστοποιήσουμε την πιθανότητα μπλοκαρίσματος.
  - Παρεμβολή γειτονικών καναλιών: Μπορεί να ληφθεί υπόψη ή να αγνοηθεί.
  - Διαφορετικές τιμές απόστασης επαναχρησιμοποίησης

# Ορισμοί

- **Χρωματισμός γραφήματος:** Δοσμένου ενός γραφήματος, ο χρωματισμός του είναι η ανάθεση ενός χρώματος σε κάθε κορυφή, έτσι ώστε να μην υπάρχουν γειτονικές κορυφές με το ίδιο χρώμα.
- **Πολυχρωματισμός γραφήματος:** Δοσμένου ενός γραφήματος και μιας συνάρτησης βάρους  $w$  που αντιστοιχεί κάθε κορυφή  $v$  σε έναν ακέραιο  $w(v)$ , να γίνει ανάθεση  $w(v)$  χρωμάτων σε κάθε κορυφή  $v$ , έτσι ώστε σε κορυφές που είναι γειτονικές να ανατεθούν σύνολα χρωμάτων που είναι ξένα μεταξύ τους.
- **Κλίκα:** ένα σύνολο κορυφών που είναι πλήρως συνδεδεμένες μεταξύ τους.

# Παράδειγμα

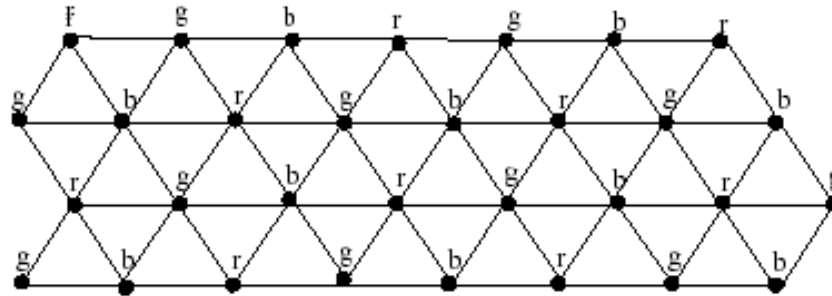
- Case  $C_0 = 1, C_1 = 1, C_2 = C_3 = \dots = 0$
- Εξαγωνικό γράφημα παρεμβολής: Απόσταση επαναχρησιμοποίησης 2



# Πολυπλοκότητα Πολυχρωματισμού

- Είναι γνωστό πως το πρόβλημα του πολυχρωματισμού γραφήματος είναι NP-complete. Οι Modiar και Reed δείξαν πως η πολυπλοκότητα αυτή ισχύει και όταν πρόκειται για εξαγωνικά γραφήματα με απόσταση επαναχρησιμοποίησης 2. Πρέπει να σχεδιαστούν προσεγγιστικοί αλγόριθμοι.
- Έστω  $D$  = το μέγιστο βάρος σε μια κλίκα.
- Κάτω φράγμα στον αριθμό καναλιών που απαιτούνται:  $D$ .

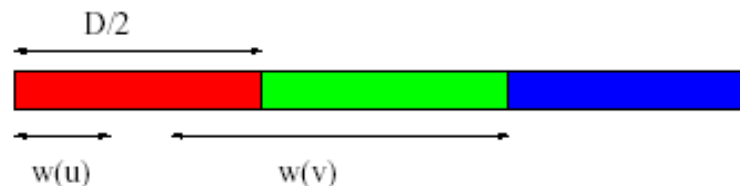
# Σταθερή Ανάθεση



- Απόσταση επαναχρησιμοποίησης 2
  - Κόκκινα Κανάλια: 0, 3, 6, 9, ...
  - Μπλέ Κανάλια: 1, 4, 7, 10, ...
  - Πράσινα Κανάλια: 2, 5, 8, 11, ...
- Έστω  $D$  το βάρος της μέγιστης κλίκας
- Συνολικός αριθμός καναλιών:  $3D$
- Λόγος απόδοσης: 3

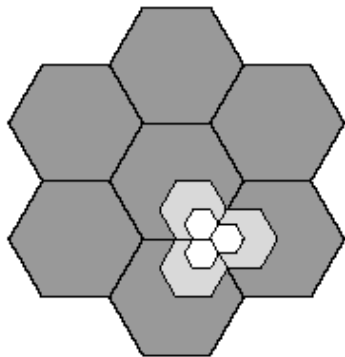
# Ανάθεση Σταθερής Προτίμησης

- $D/2$  κόκκινα, μπλε και πράσινα κανάλια. Κάθε κόμβος χρησιμοποιεί όσα κανάλια χρειάζεται από το δικό του σύνολο. Αν απαιτηθεί οι κόκκινοι κόμβοι δανείζονται από τους μπλε, που δανείζονται από τους πράσινους, που δανείζονται από τους κόκκινους.
  - Δεν προκύπτει σύγκρουση.
  - Συνολικός αριθμός καναλιών:  $3D/2$
  - Λόγος Απόδοσης:  $3/2$

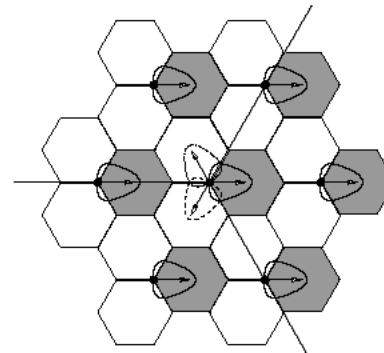


# Τρόποι αύξησης χωρητικότητας σε ένα κυψελωτό δίκτυο

- Πρόσθεση νέων καναλιών.
- Δανεισμός καναλιών (Channel borrowing) – Οι κορεσμένες κυψέλες δανείζονται κανάλια από τις γειτονικές κυψέλες.
- Διαχωρισμός Κυψελών (Cell splitting) – Οι κυψέλες σε περιοχές με υψηλή χρήση μπορούν να διαιρεθούν σε μικρότερες κυψέλες.
- Cell sectoring– Η κυψέλη διαιρείται σε έναν αριθμό τομέων (sectors) χρησιμοποιώντας κατευθυντικές κεραιές. Κάθε τομέας έχει το δικό του σύνολο καναλιών.
- Μικροκυψέλες (Microcells) –κεραίες μικρής εμβέλειας τοποθετούνται μέσα στα κτίρια, σε φανάρια, στο δρόμο κλπ



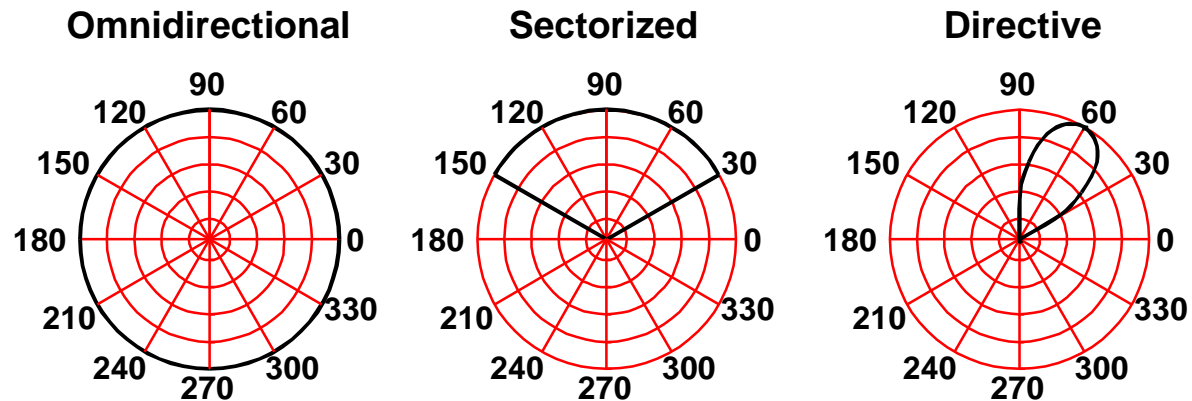
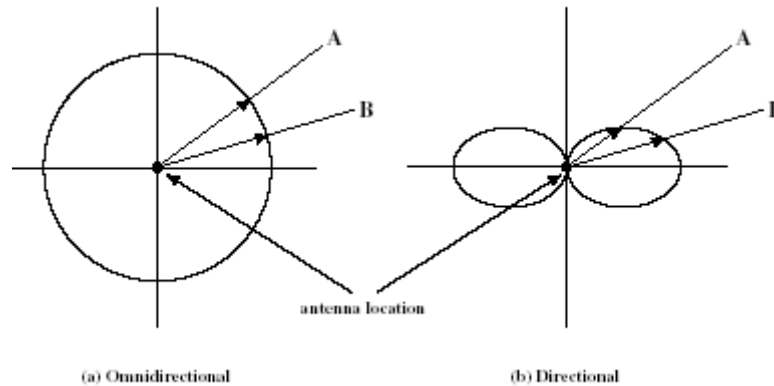
Cell splitting



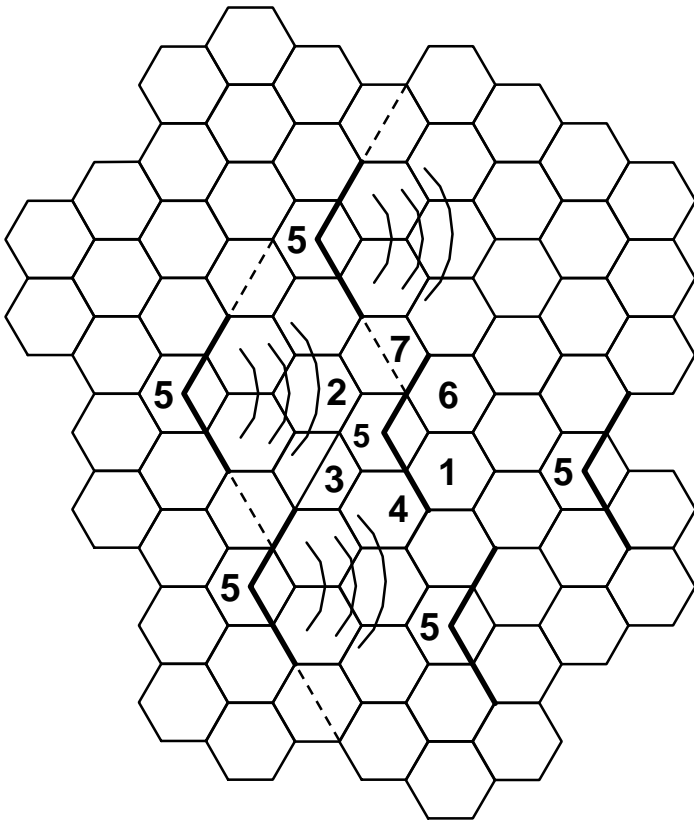
Cell sectoring



# Sectorization (1/2)



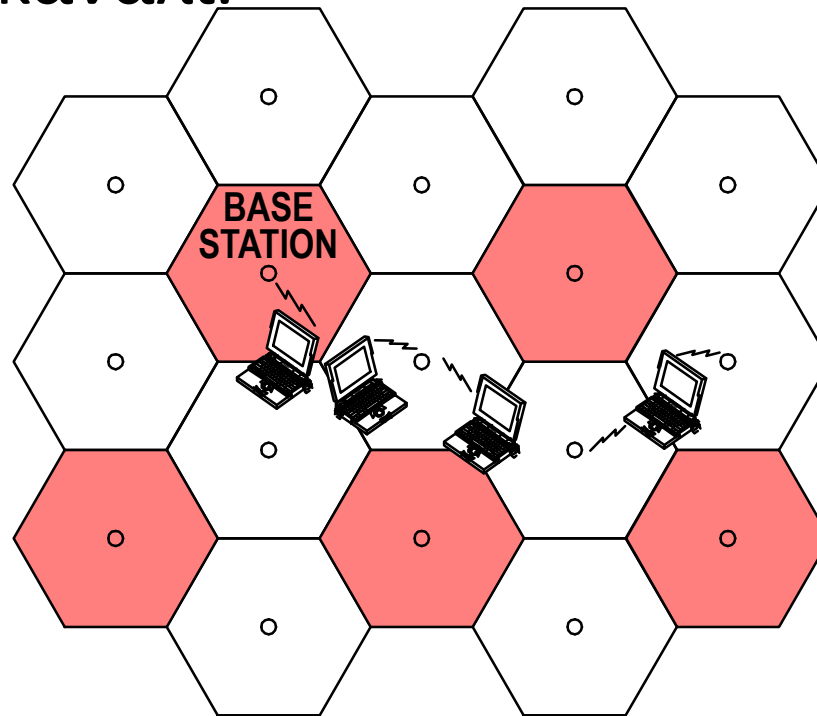
# Sectorization (2/2)



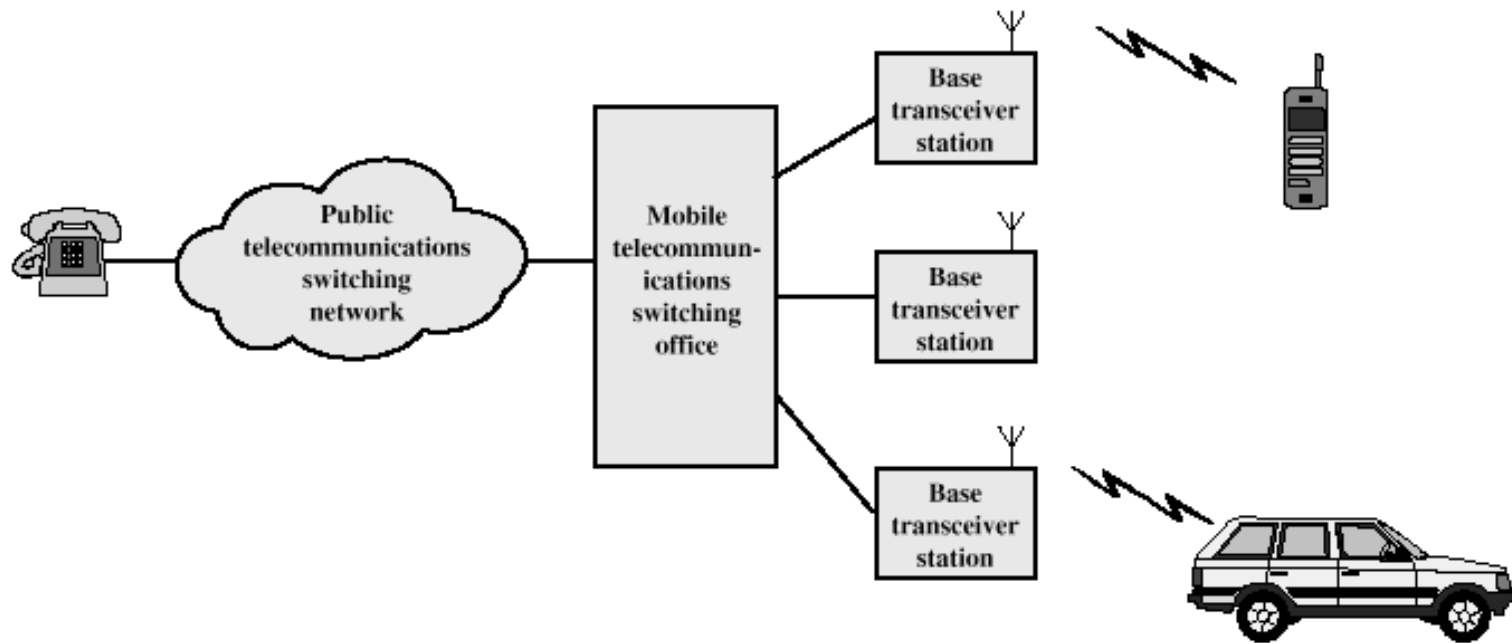
- 120° sectoring reduces interference from co-channel cells.
- Out of the 6 co-channel cells in the first tier, only 2 interfere with the center cell.
- If omni-directional antennas were used at each base station, all 6 co-channel cells would interfere with the center cell.

# Handoffs (ή handovers) (1/3)

- Όταν ο κινητός σταθμός μετακινείται σε μια διαφορετική κυψέλη, η κλήση παραδίδεται στην νέα κυψέλη, και πρέπει να της ανατεθεί ένα καινούριο κανάλι.



# Handoffs (ή handovers) (2/3)



# Handoffs (ή handovers) (3/3)

- Σταθμός Βάσης (ΣΒ) ή Base Station (BS) – περιλαμβάνει μια κεραία, έναν ελεγκτή και έναν αριθμό από δέκτες
- Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Τηλεπικοινωνιών (ΚΜΚΤ) ή Mobile Telecommunications Switching Office (MTSO) ή MSC (Mobile Switching Center). Ελέγχει πολλούς ΣΒ.
- Δύο τύποι καναλιών διαθέσιμοι μεταξύ κινητών μονάδων και ΣΒ:
  - Κανάλια ελέγχου – χρησιμοποιούνται για ανταλλαγή πληροφορίας σε σχέση με εκκίνηση και διατήρηση κλήσεων (out-band που χρησιμοποιούνται με την χρήση πρωτοκόλλων πολλαπλής προσπέλασης, ή in-band με το «κλέψιμο» bit)
  - Κανάλια κίνησης – μεταφέρουν φωνή ή δεδομένα μεταξύ χρηστών

# Ποιος ανιχνεύει την ανάγκη για handoff;

- **Η κινητή μονάδα:** Κάνει μετρήσεις ποιότητας σε διάφορα κανάλια, επιλέγει το καλύτερο, και αλλάζει με τη συνεργασία του δικτύου
- **Το δίκτυο:** Οι σταθμοί βάσης εκτελούν μετρήσεις ισχύος σημάτων και αναφέρουν τα αποτελέσματα στο ΚΜΚΤ, το οποίο παίρνει την απόφαση για handoff.
- **Συνεργασία:** Και το δίκτυο και η κινητή μονάδα παίρνουν μετρήσεις. Η μονάδα αναφέρει την ισχύ του σήματος από τους κοντινούς σταθμούς και το δίκτυο παίρνει την απόφαση.

# Κριτήρια για την ανίχνευση Handoff

Παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την απόφαση: Ρυθμός Λαθών ανά Λέξη (WER), ισχύς σήματος, δείκτες ποιότητας καναλιού (π.χ. λόγος σήματος προς θόρυβο-SNR)

- Ο WER χρειάζεται χρόνο για να υπολογιστεί
- Η ισχύς του σήματος είναι γνωστή άμεσα, αλλά λόγω fast or slow fading, δεν είναι πάντα αξιόπιστος δείκτης. Πρέπει να εφαρμοστεί κάποια τεχνική που να κάνει averaging.
- Συνήθως θέλουμε να εμποδίσουμε μια κινητή μονάδα να εκτελέσει handoff αμέσως μετά από ένα επιτυχές handoff (ping-pong effect).
- Συνήθως χρησιμοποιείται η σχετική ισχύς σήματος, με υστέρηση και κατώφλι, σε συνδυασμό με τεχνικές πρόβλεψης.

# Hard handoff (1/2)

- Έστω  $S_x$  και  $S_y$  είναι η ισχύς των σημάτων από τους σταθμούς βάσης  $B_x$  και  $B_y$  (αντίστοιχα) που δέχεται μια κινητή μονάδα. Ο αλγόριθμος μπορεί να είναι:

**Αν  $(S_y - S_x) > D$  και ο σταθμός που εξυπηρετεί είναι ο  $B_x$**

**τότε handoff στον  $B_y$**

**αλλιώς αν  $(S_x - S_y) > D$  και ο σταθμός που εξυπηρετεί είναι  $B_y$**

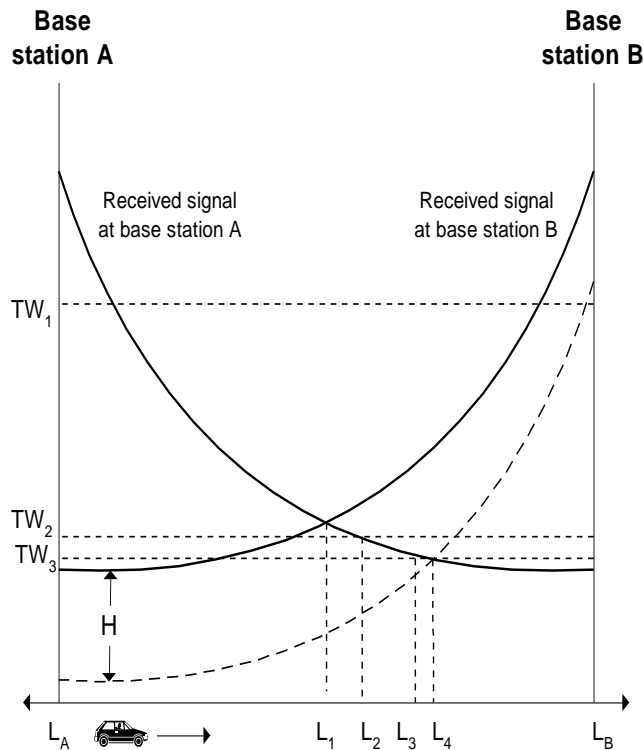
**τότε handoff στον  $B_x$**

**αλλιώς μην εκτελείς handoff.**

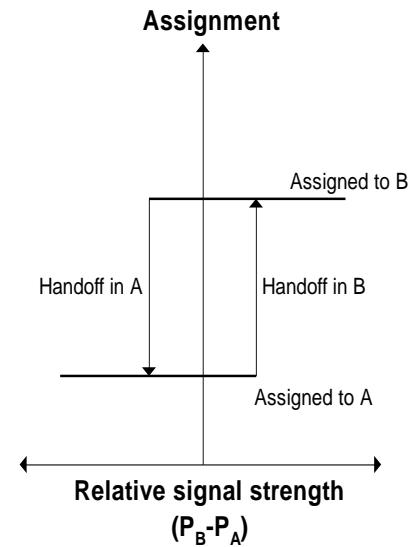
- Το  $D$  αποκαλείται όριο υστέρησης ή κατώφλι.
- Ένα μεγάλο κατώφλι σημαίνει περισσότερη καθυστέρηση μέχρι να γίνει το handoff. Επίσης, ο χρήστης έχει μια σύνδεση χαμηλής ποιότητας κατά τη διάρκεια αυτής της καθυστέρησης και θα προκαλεί επιπλέον παρεμβολή στις γειτονικές κυψέλες, αφού βρίσκεται κοντά στην άκρη της κυψέλης. Ένα μικρό κατώφλι μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα ping-pong.



# Hard handoff (2/2)



(a) Handoff decision as a function of handoff scheme



(b) Hysteresis mechanism

# Soft handoff (1/2)

- Παίρνεται μια απόφαση υπό προϋποθέσεις για το handoff. Κατά τη διάρκεια της αναμονής, το κινητό είναι συνδεδεμένο και με τους δύο σταθμούς.
- Κάθε κινητό έχει ένα ενεργό σύνολο από σταθμούς. Ένας σταθμός βάσης προστίθεται στο ενεργό σύνολο αν η ισχύς του σήματος από τον σταθμό αυτόν ξεπερνά ένα κατώφλι πρόσθεσης για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από  $T_{add}$ . Αφαιρείται από το ενεργό σύνολο αν η ισχύς είναι κάτω από το κατώφλι αφαίρεσης για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από  $T_{drop}$

## Soft handoff (2/2)

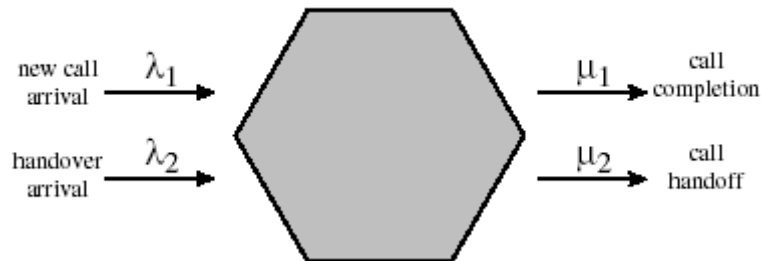
- **Πλεονεκτήματα:** Λιγότερα φαινόμενα ring-rong. Πιο ομαλά handoff. Χαμηλότερη πιθανότητα απόρριψης κλήσεων.
- **Μειονεκτήματα:** Δεσμεύονται περισσότερα κανάλια. Η παρεμβολή αυξάνεται, καθώς πολλοί σταθμοί βάσης μεταδίδουν κάτι που χρειάζεται να μεταδοθεί μόνο από έναν.
- Ιδίως χρησιμοποιείται σε CDMA συστήματα.

# Ανάθεση καναλιών νέων κλήσεων και handoff (1/2)

- Οι στρατηγικές ανάθεσης καναλιών πρέπει να διαχειρίζονται δύο ειδών κλήσεις: νέες κλήσεις και κλήσεις handoff.
- Αν δεν βρεθεί διαθέσιμο κανάλι, τότε λέμε πως μια νέα κλήση μπλοκάρεται (blocked), ενώ στη περίπτωση μιας handoff κλήσης λέμε πως διακόπτεται (dropped).
- Γενικά είναι λιγότερο επιθυμητό να διακοπεί μια κλήση που βρίσκεται σε εξέλιξη, από το να μπλοκαριστεί μια νέα κλήση.
- Επίπεδο υπηρεσιών:  
 $Prob(blocking) + a Prob(dropping), a \gg 1$
- Πρέπει να δίνεται προτεραιότητα στις κλήσεις handoff.

# Ανάθεση καναλιών νέων κλήσεων και handoff (2/2)

- Κανάλια Ασφάλειας (guard channels): Αναθέτουμε ένα σύνολο καναλιών για την εξυπηρέτηση αποκλειστικά handoff κλήσεων. Οι νέες κλήσεις δεν έχουν πρόσβαση σε αυτά, αλλά οι handoff κλήσεις έχουν πρόσβαση και σε αυτά και στα κανονικά κανάλια. Ο αριθμός των καναλιών ασφαλείας μπορεί να αλλάζει δυναμικά.
- Τοποθέτηση των κλήσεων σε ουρά (queuing).



# Συστάδα σκιάς (shadow cluster) (1/2)

- Λέμε πως μια κλήση σχηματίζει μια σκιά στο δίκτυο, που σχηματίζεται από τις πιθανότητες να μετακινηθεί η κλήση σε κάποια από της γειτονικές κλήσεις. Η σκιά ακολουθεί την κίνηση της κλήσης.
- Με τη λήψη μιας νέας κλήσης, ο σταθμός βάσης υπολογίζει τη συστάδα σκιάς, λαμβάνει εκτιμήσεις διαθεσιμότητας εύρους ζώνης, υπολογίζει την πιθανότητα να επιβιώσει η κλήση και **αποδέχεται την κλήση μόνο αν η πιθανότητα επιβίωσης της είναι αρκετά υψηλή.**

## Συστάδα σκιάς (shadow cluster) (2/2)

- Όλες οι κυψέλες στη σκιά μιας κλήσης θα μπορούσαν να δεσμεύσουν (πχ με soft τροπο) κάποιο εύρος ζώνης για την κλήση. Το ποσοστό εύρους ζώνης που θα δεσμευτεί εξαρτάται από το πόσο σκοτεινή είναι η σκιά στην κυψέλη.
- Χρησιμοποιούνται πληροφορίες όπως η θέση της κινητής μονάδας, η ταχύτητά της, η κατεύθυνσή της, προηγούμενα πρότυπα συμπεριφοράς, γεωγραφική περιοχή, κτλ.
- Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα απαιτητική σε υπολογιστικούς πόρους.

# Πως γίνεται η Πρόβλεψη (1/2)

- Κάθε κυψέλη διατηρεί το ιστορικό των παρατηρημένων handoff.
- Κάθε handoff γεγονός καταγράφεται σε μια τετράδα: (T\_γεγονότος, προηγούμενη\_κυψέλη, επόμενη\_κυψέλη, T\_παραμονής)
- Υποθέτουμε κυκλική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια μιας μέρας και κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας. Περισσότερο βάρος σε πρόσφατα γεγονότα.
- Λαμβάνουμε υπόψη όλα τα γεγονότα στο ίδιο χρονικό παράθυρο την προηγούμενη ημέρα, δύο μέρες πριν, κτλ.



# Πως γίνεται η Πρόβλεψη (2/2)

- Βασιζόμενος στην προβλεπόμενη κινητικότητα κατά τη διάρκεια του χρονικού παραθύρου, ο σταθμός βάσης υπολογίζει τις πιθανότητες να παραδοθεί η κλήση σε κάποια από τις έξι γειτονικές κυψέλες. Δέσμευση (soft) σε κάθε γειτονική κυψέλη του απαιτούμενου εύρους ζώνης επί την πιθανότητα να παραδοθεί η κλήση σε αυτή την κυψέλη. Αν δεν είναι δυνατή η δέσμευση αυτή, μπλοκάρισμα της κλήσης.
- Η μέθοδος είναι πιο αποτελεσματική αν δουλεύει με το ιστορικό των κυψέλων, παρά με το ιστορικό των κινητών μονάδων.

# Μεταφορά Καναλιού (channel carrying) (1/2)

- **Ιδέα:** Αν κάποιος χρήστης ζητά handoff, τότε έχει ήδη ένα κανάλι. Γιατί να μην είναι δυνατό να μεταφέρει το ίδιο κανάλι στην καινούργια κυψέλη; Το πρόβλημα είναι πως μπορεί να παραβιαστεί η απόσταση επαναχρησιμοποίησης.
- Αναθέτουμε κανάλια στις κυψέλες ώστε η απόσταση επαναχρησιμοποίησης να είναι  $r+1$ , αντί για  $r$ .
- Σε γραμμικά δίκτυα, διαχωρισμός των καναλιών σε αριστερά τοπικά (AT) κανάλια και δεξιά τοπικά (DT) κανάλια.

# Μεταφορά Καναλιού (channel carrying) (2/2)

- Γραμμικό κυψελωτό μοντέλο. Τωρινή κυψέλη = τοπική κυψέλη. Γείτονες = αριστερή ξένη κυψέλη και δεξιά ξένη κυψέλη.
- Ένα κανάλι που είναι δανεισμένο από μια ξένη κυψέλη ονομάζεται ξένο κανάλι.
- Όταν μια κλήση μετακινείται από την τοπική κυψέλη σε μια αριστερή ξένη κυψέλη, μπορεί να μεταφέρει το κανάλι που χρησιμοποιεί αν αυτό είναι αριστερό τοπικό ή ξένο κανάλι. Αλλιώς μπορεί να προσπαθήσει να ανταλλάξει με μια άλλη κλήση που χρησιμοποιεί αριστερό τοπικό κανάλι.

# Έλεγχος Ισχύος (1/2)

Είναι επιθυμητό να περιλαμβάνεται δυναμικός έλεγχος ισχύος σε ένα κυψελωτό σύστημα

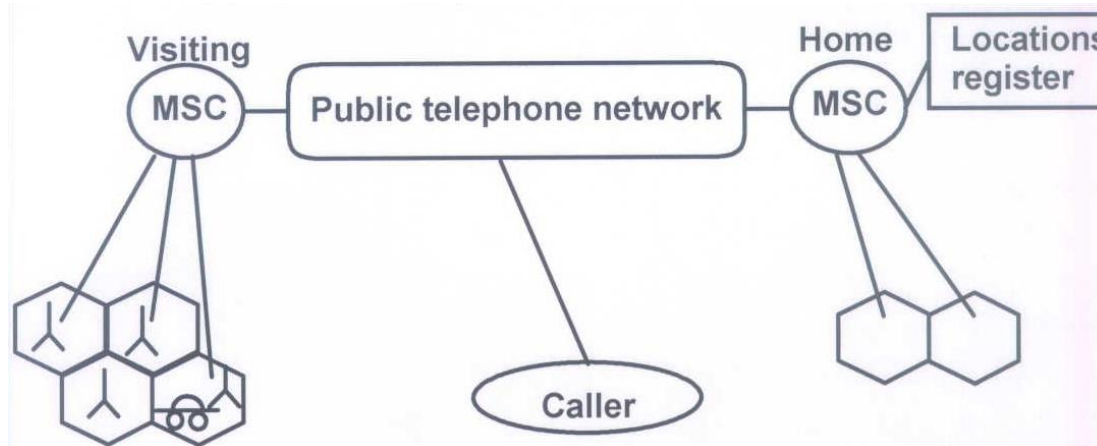
- Η ισχύς που λαμβάνεται πρέπει να είναι ικανοποιητικά πάνω από την ισχύ του θορύβου για να επιτευχθεί αποτελεσματική επικοινωνία.
- Επιθυμούμε την ελαχιστοποίηση της ισχύος του σήματος που εκπέμπει η κινητή μονάδα, για τη μείωση της co-channel παρεμβολής, για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και για λόγους υγείας.
- Σε συστήματα Spread Spectrum που χρησιμοποιούν CDMA, είναι επιθυμητό να εξισώσουμε το επίπεδο της λαμβανόμενης ισχύος από τον σταθμό βάσης από όλες της κινητές μονάδες (το λεγόμενο near-far πρόβλημα).

## Έλεγχος Ισχύος (2/2)

- **Open-loop έλεγχος ισχύος** (εξαρτάται μόνο από την κινητή μονάδα, λιγότερο ακριβής από τον closed-loop έλεγχο, αλλά μπορεί να αντιδράσει γρηγορότερα σε διακυμάνσεις στην ισχύ του σήματος)
- **Closed-loop έλεγχος ισχύος** (ο σταθμός βάσης παίρνει τις αποφάσεις προσαρμογής ισχύος και τις ανακοινώνει στην κινητή μονάδα χρησιμοποιώντας το κανάλι επικοινωνίας)

# Βάσεις Δεδομένων Κέντρων Μεταγωγής Κινητών

- Βάση δεδομένων οικίας τοποθεσίας (Home location register, HLR) – αποθηκεύει πληροφορίες για κάθε συνδρομητή που ανήκει σε αυτή
- Βάση δεδομένων καταγραφής επισκεπτών (Visitor location register, VLR) – διατηρεί πληροφορίες για συνδρομητές που βρίσκονται αυτή τη στιγμή στην περιοχή



# Εκτίμηση απαιτήσεων καναλιών ανά κυψέλη

- Νόμος του Little:

$$A = \lambda h$$

- $\lambda$  = μέσος ρυθμός κλήσεων στη μονάδα του χρόνου
  - $h$  = μέση διάρκεια κλήσης
  - $A$  = μέσος αριθμός ενεργών κλήσεων
- Καλύτερα να χρησιμοποιούνται  $M/M/m$  και  $M/M/m/m$  μοντέλα.

Τέλος Ενότητας



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.00.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Καθ. Εμμανουήλ Βαρβαρίγος 2014.

Εμμανουήλ Βαρβαρίγος. «Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών. Εισαγωγή στα Κυψελωτά Συστήματα Επικοινωνιών».

Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1109/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

