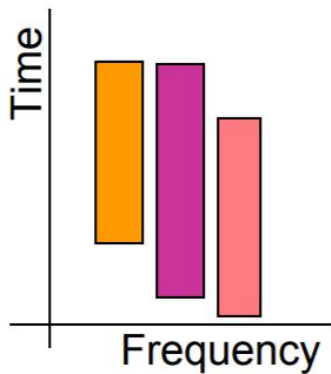


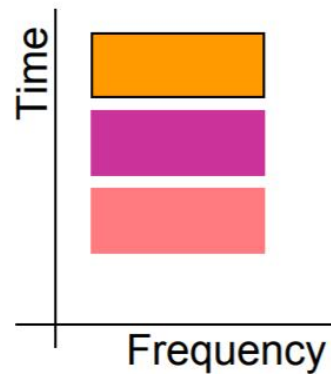
Κυψελωτή δομή και επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων

Δίαυλοι – Channels

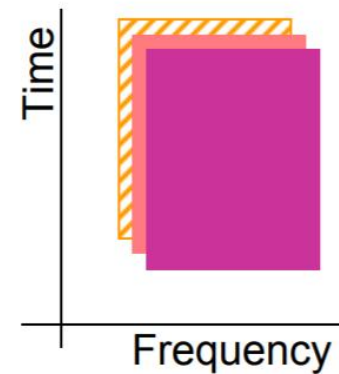
Frequency
Division
Multiple
Access
FDMA



Time
Division
Multiple
Access
TDMA



Code
Division
Multiple
Access
CDMA



Code Division Multiple Access (CDMA) (Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Κώδικα)

- μοναδικός “κώδικας” ανατίθεται σε κάθε χρήστη
 - όλοι οι χρήστες μοιράζονται την ίδια συχνότητα, αλλά ο καθένας έχει δική του “chipping” ακολουθία (κώδικας) για την κωδικοποίηση των δεδομένων
 - επιτρέπει σε πολλαπλούς χρήστες να “συνυπάρχουν” και να μεταδίδουν ταυτόχρονα με ελάχιστες παρεμβολές (αν οι κώδικες είναι “ορθογώνιοι”)
- **κωδικοποιημένο σήμα** = (αρχικά δεδομένα) x (ακολουθία chipping)
- **αποκωδικοποίηση**: εσωτερικό γινόμενο του κωδικοποιημένου σήματος και chipping ακολουθίας

Δημιουργία κωδίκων CDMA

Παράδειγμα με 2 χρήστες

Ξεκινάμε από μία ακολουθία: $[+1]$

$+1$



Αντιγράφουμε
την ακολουθία

Χρήστης 1
 $c_1 = [+1, +1]$



Αντιγράφουμε και αλλάζουμε
το πρόσημο στο 2ο chip

Χρήστης 2
 $c_2 = [+1, -1]$

Έλεγχος: $c_1 \cdot c_2 = (+1)(+1) + (+1)(-1) = 0$

Δύο διαφορετικοί, ορθογώνιοι κώδικες των 2 chips.

Η ορθογωνιότητα προϋποθέτει χρονική ευθυγράμμιση.

Παράδειγμα: 4 κώδικες CDMA

$$H_2 = [+1 \ +1 \ ; \ +1 \ -1] \rightarrow H_4:$$

Κώδικας	chip 1	chip 2	chip 3	chip 4
C_1	+1	+1	+1	+1
C_2	+1	-1	+1	-1
C_3	+1	+1	-1	-1
C_4	+1	-1	-1	+1

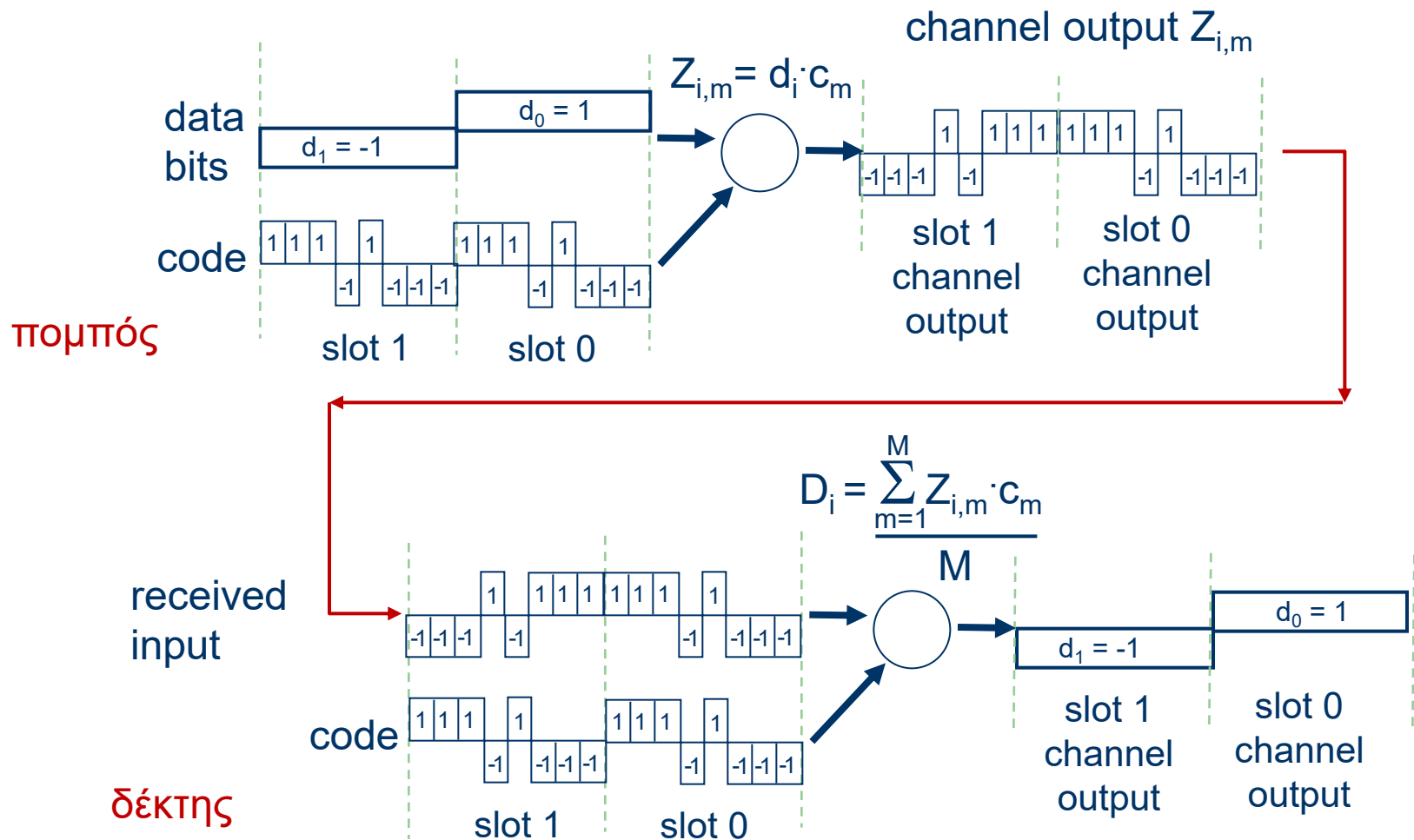
Έλεγχος ορθογωνιότητας για C_2 και C_3 :

$$C_2 \cdot C_3 = 1 - 1 - 1 + 1 = 0$$

- Ανάθεση διαφορετικής γραμμής σε κάθε χρήστη·
στη συνέχεια: δεδομένα $\times$ κώδικας.

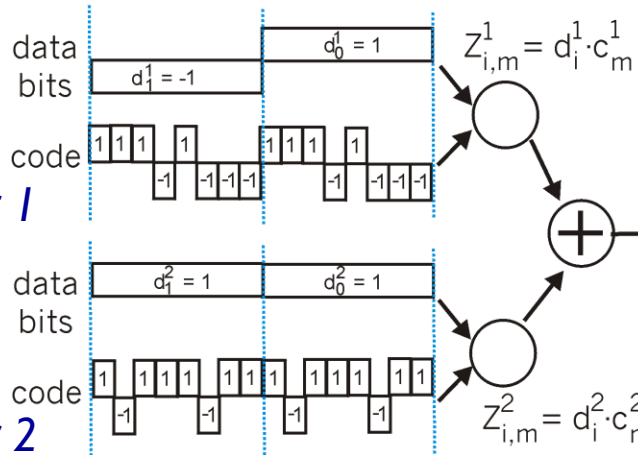
CDMA

κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση



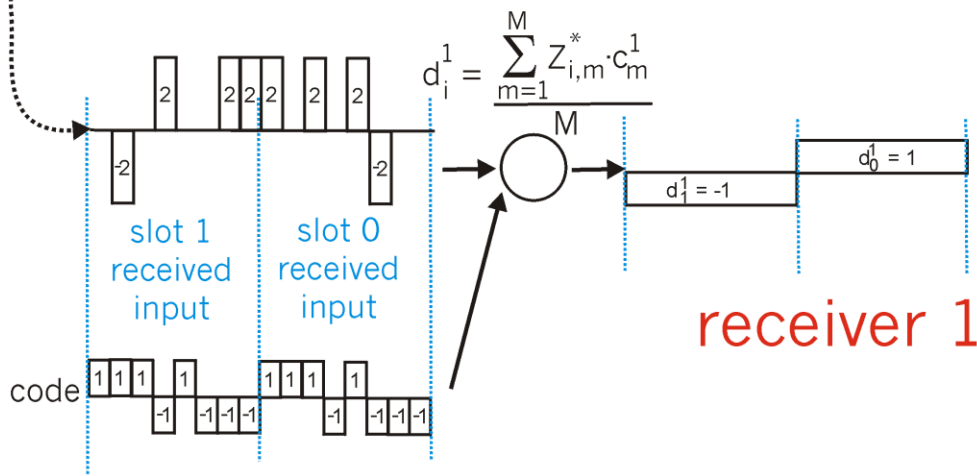
CDMA: παρεμβολή δύο αποστολέων

senders



channel, $Z_{i,m}^*$

το κανάλι προσθέτει τις μεταδόσεις των αποστολέων 1 και 2



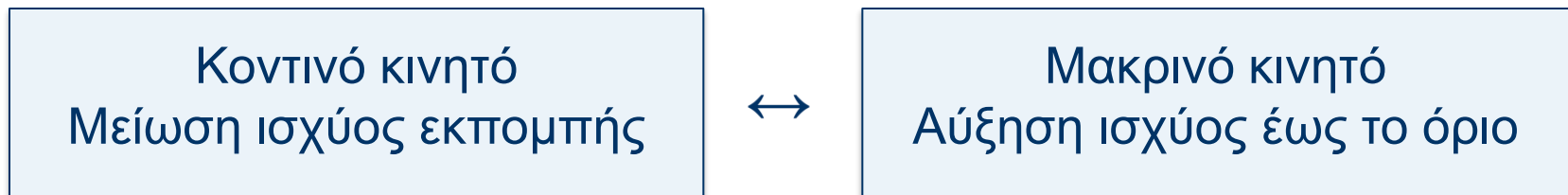
χρησιμοποιώντας ίδιο κώδικα με τον αποστολέα 1, ο δέκτης ανακτά τα αρχικά δεδομένα του αποστολέα 1 από τα δεδομένα του αθροιστικού καναλιού!

CDMA: από τη θεωρία στην πράξη

- Στο ιδανικό παράδειγμα, ο κατάλληλος κώδικας επιτρέπει την ανάκτηση του επιθυμητού σήματος.
- Στο πραγματικό δίκτυο εμφανίζονται άνισες ισχείς, ασύγχρονες αφίξεις και πολλαπλές διαδρομές.
- Οι κώδικες δεν εξασφαλίζουν πάντα πλήρη διαχωρισμό: παραμένει παρεμβολή μεταξύ χρηστών.
- Βασική συνέπεια: η ποιότητα και η χωρητικότητα εξαρτώνται από τη συνολική στάθμη παρεμβολών.

CDMA: πρόβλημα κοντινού–μακρινού (Near–far problem)

- Ένα κοντινό κινητό μπορεί να φτάνει στον σταθμό βάσης με πολύ ισχυρότερο σήμα από ένα μακρινό.
- Με μη ιδανικό διαχωρισμό κωδίκων, το ισχυρό σήμα δυσχεραίνει την ανίχνευση του ασθενέστερου.
- Απαιτείται γρήγορος και ακριβής έλεγχος ισχύος, ιδιαίτερα στην ανερχόμενη ζεύξη (uplink).



CDMA: όριο χωρητικότητας

- Κάθε νέος ενεργός χρήστης αυξάνει συνήθως τις παρεμβολές προς τους υπόλοιπους.
- Ένας διαθέσιμος κώδικας δεν αρκεί: πρέπει να διατηρείται η απαιτούμενη ποιότητα σύνδεσης.
- Η χωρητικότητα εξαρτάται από ρυθμούς δεδομένων, έλεγχο ισχύος και παρεμβολές γειτονικών κυψελών.
- Χρειάζεται έλεγχος αποδοχής νέων συνδέσεων ώστε να μην υπερφορτώνεται η κυψέλη.

CDMA: κάλυψη και φορτίο (Cell breathing)

- Αύξηση φορτίου → αύξηση παρεμβολών → μεγαλύτερη απαιτούμενη ισχύς μετάδοσης.
- Το κινητό στην άκρη της κυψέλης μπορεί να φτάσει στο μέγιστο όριο ισχύος και να χάσει τη σύνδεση.
- Η αποτελεσματική κάλυψη μπορεί να μειώνεται όταν αυξάνεται το φορτίο της κυψέλης.

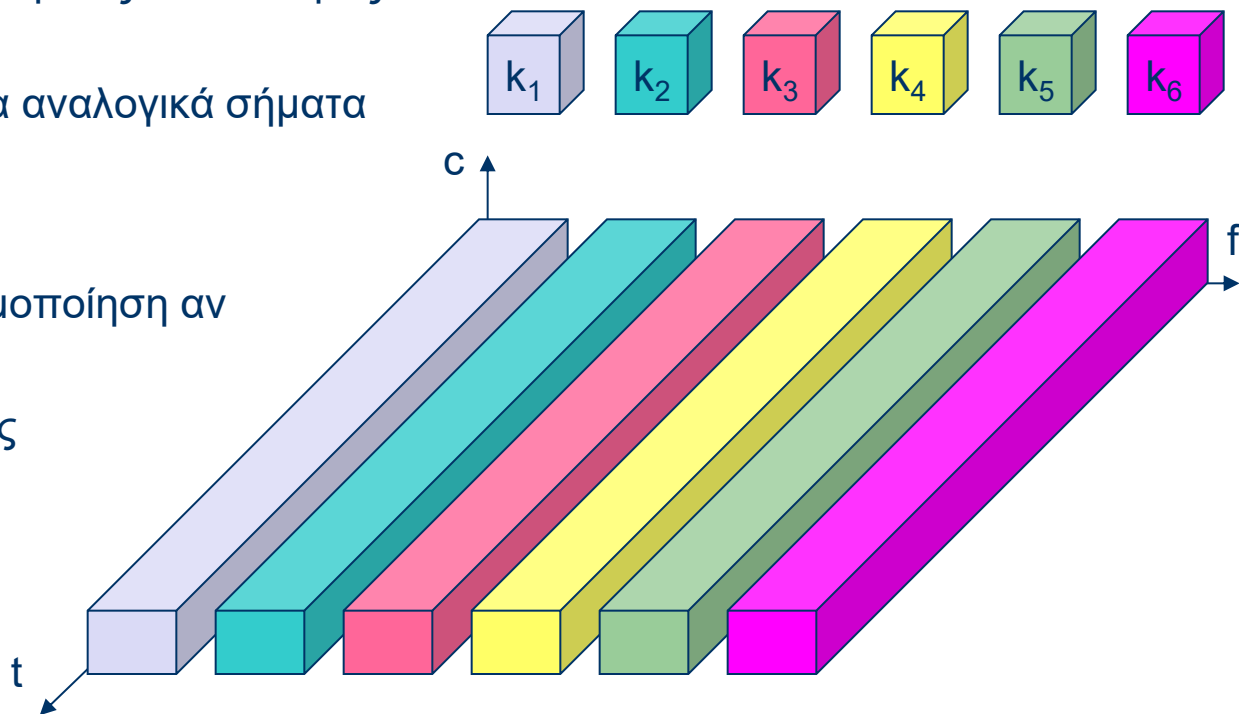
Κάλυψη και χωρητικότητα σχεδιάζονται μαζί·
δεν αποτελούν ανεξάρτητες παραμέτρους.

CDMA: πολυδιαδρομική διάδοση

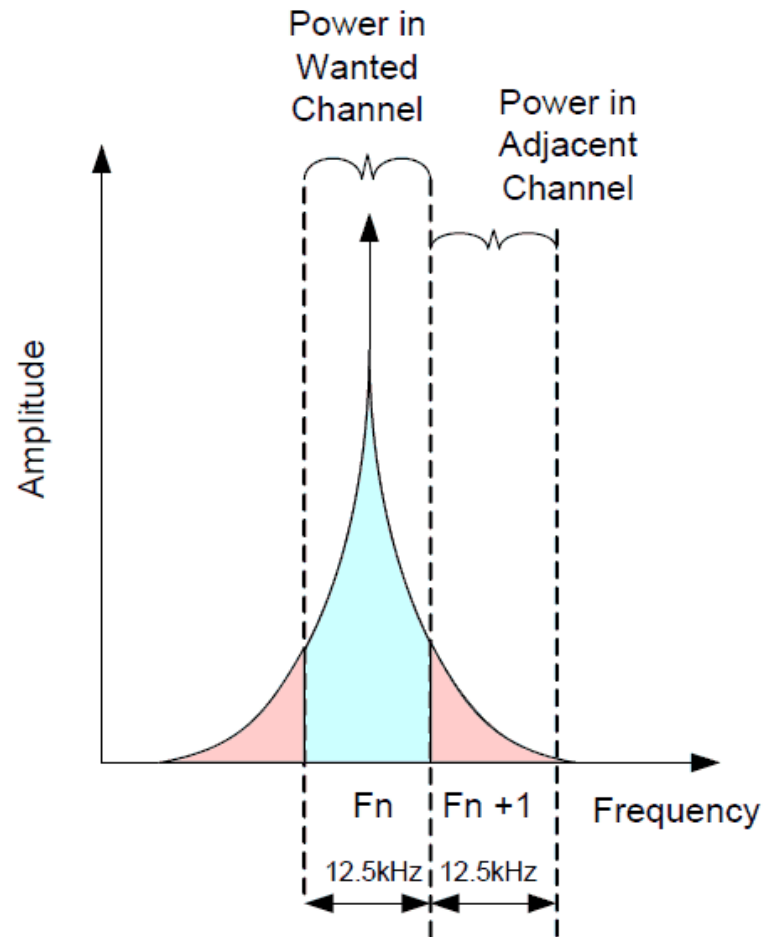
- Ανακλάσεις δημιουργούν αντίγραφα του σήματος που φτάνουν με διαφορετικές καθυστερήσεις.
- Στην κατερχόμενη ζεύξη μπορεί να χαθεί η ορθογωνιότητα των κωδίκων μεταξύ χρηστών.
- Στην ανερχόμενη ζεύξη, οι ασύγχρονες αφίξεις δυσκολεύουν επίσης τον διαχωρισμό των σημάτων.
- Ο δέκτης αξιοποιεί πολλαπλές διαδρομές, αλλά δεν εξαλείφει όλες τις παρεμβολές.

Frequency Division Multiplexing (FDM)

- Διαχωρισμός όλου του διαθέσιμου φάσματος σε έναν αριθμό συχνοτήτων
- Ένα «δίαυλος» έχει μια συχνότητα μετάδοσης για όλη τη διάρκεια λειτουργίας του
- Πλεονεκτήματα:
 - Δε χρειάζεται δυναμικός συντονισμός πομπού και δέκτη
 - Λειτουργεί και για αναλογικά σήματα
 - φθηνότερο
- Μειονεκτήματα:
 - Μειωμένη χρησιμοποίηση αν δεν υπάρχει κίνηση
 - Έλλειψη ευελιξίας
 - Ακριβή φίλτρα

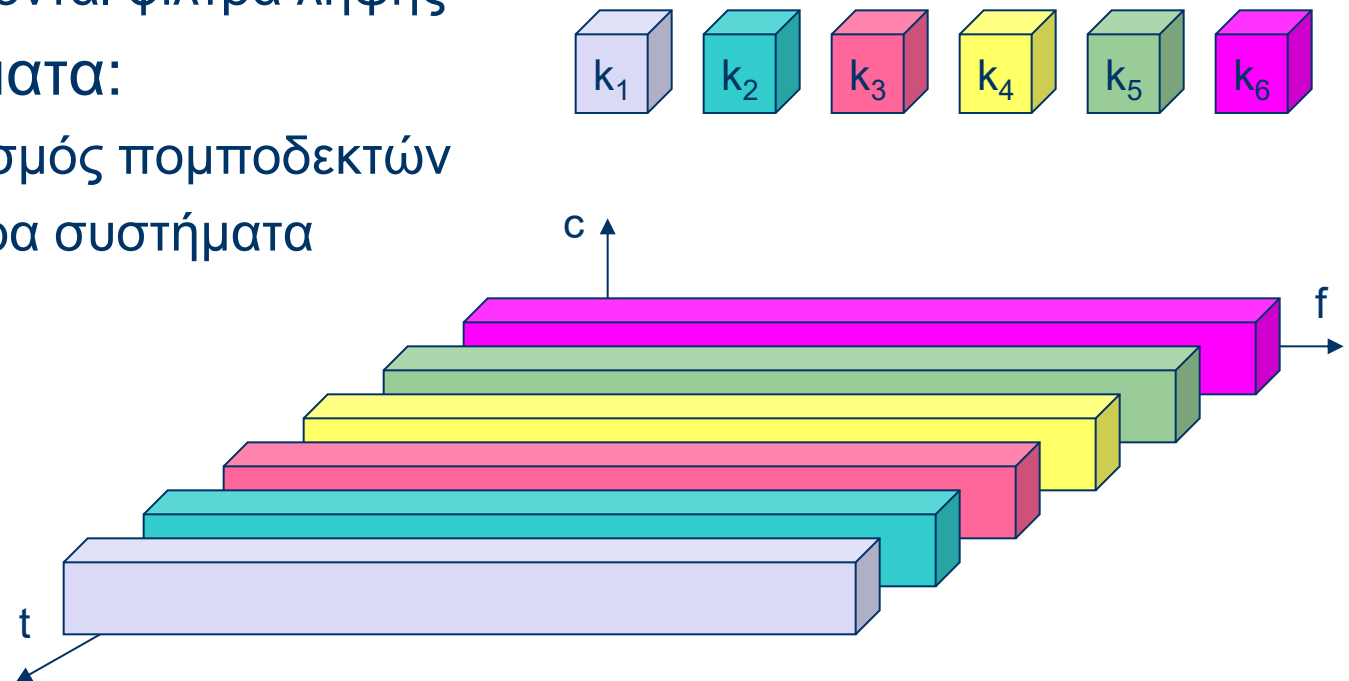


Frequency Division Multiplexing (FDM)



Time Division Multiplexing (TDM)

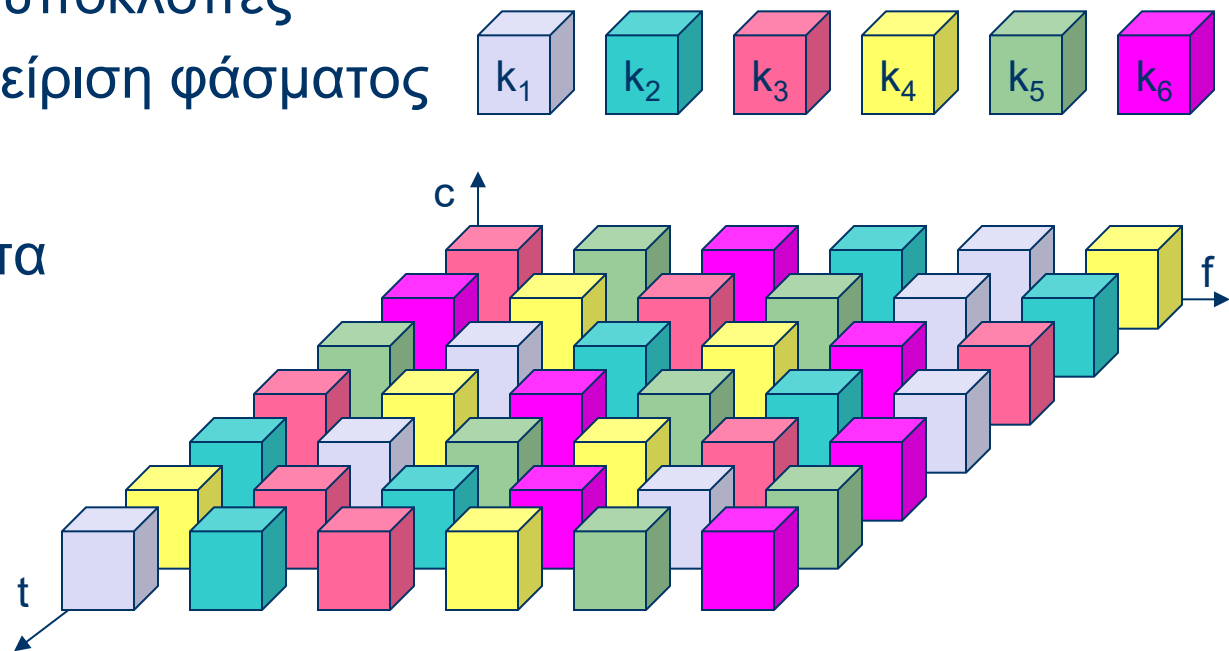
- Κάθε δίαυλος παίρνει το σύνολο του διαθέσιμου φάσματος για συγκεκριμένο χρόνο (slot)
- Πλεονεκτήματα:
 - Μόνο ένας μεταδίδει κάθε φορά
 - Υποστήριξη ρύπων δεδομένων
 - Δε χρειάζονται φίλτρα λήψης
- Μειονεκτήματα:
 - Συγχρονισμός πομποδεκτών
 - Ακριβότερα συστήματα



Συστήματα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Hybrid TDM/FDM

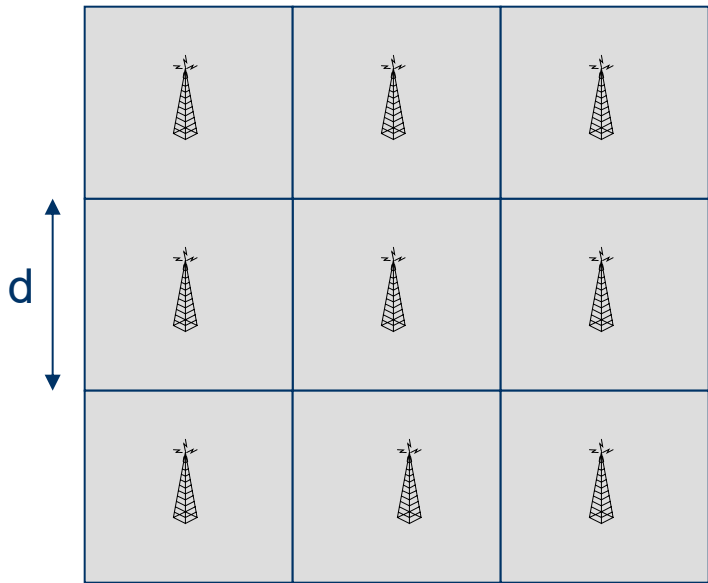
- Συνδυασμός και των δύο μεθόδων
- Κάθε δίαυλος παίρνει μια συχνότητα για συγκεκριμένο χρόνο (slot)
- Πλεονεκτήματα:
 - καλύτερη προστασία από παρεμβολές και υποκλοπές
 - δυναμική διαχείριση φάσματος
- Μειονεκτήματα:
 - πολυπλοκότητα



Κυψελωτή δομή

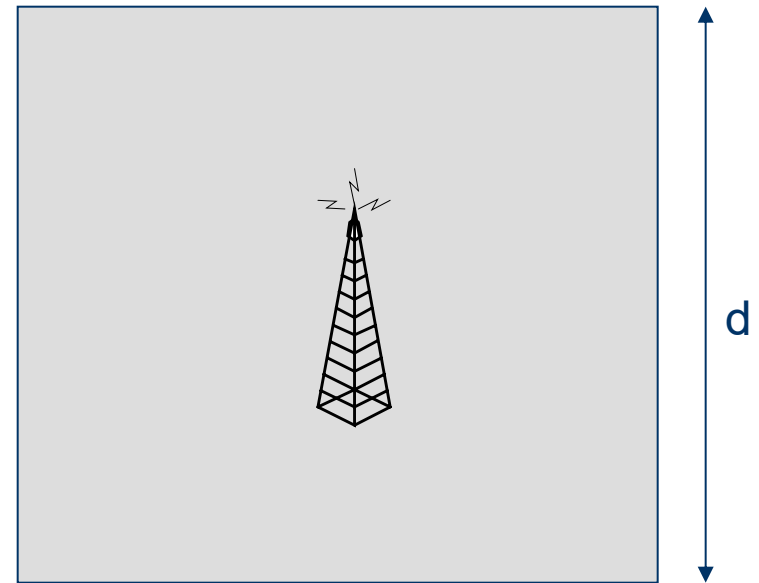
Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων

System 1



Low cost base-stations covering
a small area

System 2



High cost base-stations covering
a large area

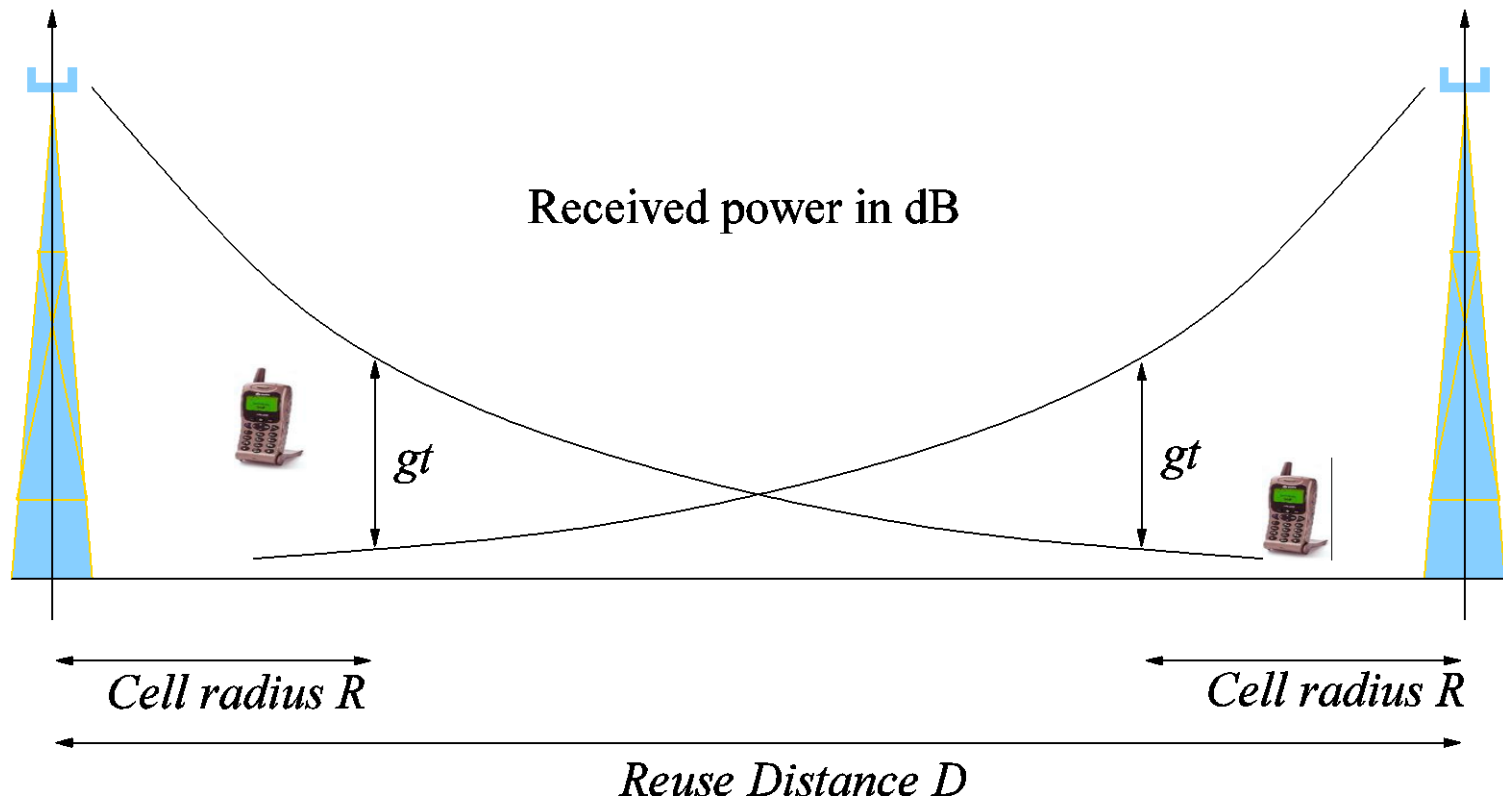
Κυψελωτή δομή

Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων

- Μια ομάδα ραδιοδιαύλων χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση περισσότερων της μιας γεωγραφικών περιοχών (επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων).
- Οι παρεμβολές στη λήψη για χρήστες (τερματικά) που βρίσκονται σε διαφορετικές κυψέλες πρέπει να είναι αμελητέες ή κάτω από μια αποδεκτή στάθμη.
- Διαισθητικά, δύο γεωγραφικές περιοχές που χρησιμοποιούν τις ίδιες ομάδες συχνοτήτων πρέπει να απέχουν επαρκώς μεταξύ τους.

Κυψελωτή δομή

Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων



Κυψελωτή δομή

Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων

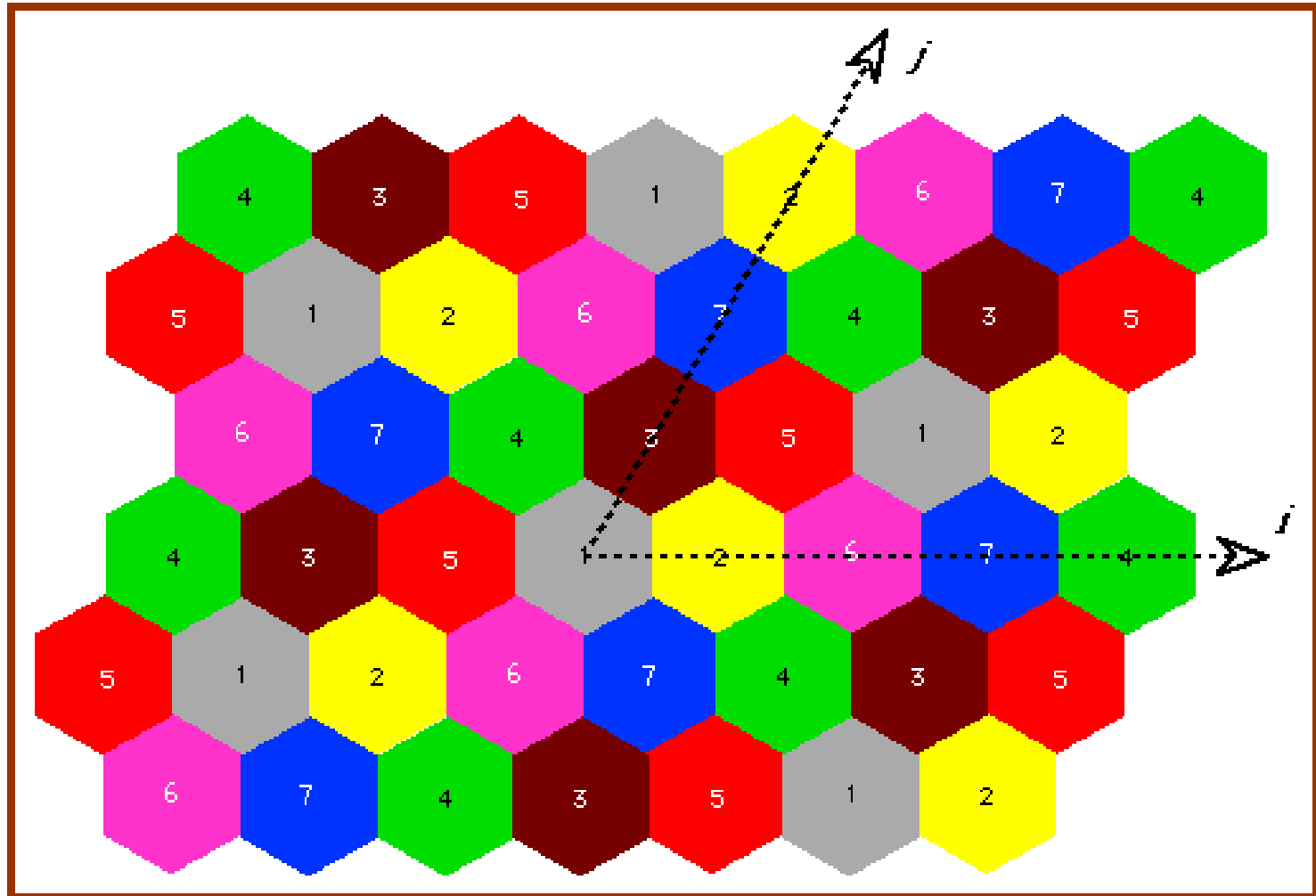
- Κάθε κυψέλη έχει μια μονάδα εκπομπής λήψης, τον **σταθμό βάσης (Base Station, BS)** που αποτελεί και **σημείο πρόσβασης (Access Point, AP)** στο σύστημα.



- Η περιοχή εξυπηρέτησης του συστήματος απαρτίζεται από ένα σύνολο κυψελών.
- Μια ομάδα κυψελών που χρησιμοποιεί διαφορετικές συχνότητες σε κάθε κυψέλη ονομάζεται **ομάδα επαναχρησιμοποίησης (reuse cluster)**.
- Κυψέλες που χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες ονομάζονται **ομοδιαυλικές (co-channel cells)**.

Κυψελωτή δομή

Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων



Κυψελωτή δομή

Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων

➤ Έστω:

- M : ο συνολικός αριθμός των διαύλων του συστήματος χωρίς επαναχρησιμοποίηση, $M = B_s/W$.
- K : ο αριθμός των κυψελών σε κάθε ομάδα επαναχρησιμοποίησης.
- C_c : ο αριθμός των διαύλων κάθε κυψέλης.



$$M = K \times C_c \quad \text{ή} \quad C_c = M \times \frac{1}{K}$$

- Η επαναχρησιμοποίηση ανά K κυψέλες προσφέρει χρήση $1/K$ του φάσματος σε κάθε κυψέλη.

Κυψελωτή δομή

Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων

- Αν N_c είναι ο συνολικός αριθμός των κυψελών του συστήματος και C ο συνολικός αριθμός των διαύλων στην περιοχή εξυπηρέτησης του συστήματος


$$C = N_c \times C_c = N_c \times \frac{M}{K}$$

- Για δοθέν φάσμα (δοθέν M) και τον ίδιο αριθμό κυψελών, όταν $K \downarrow \Rightarrow C \uparrow$, διότι $C_c \uparrow$.
- Επίσης, όταν $K \downarrow \Rightarrow J \uparrow$, όπου $J = N_c / K$ είναι το πλήθος των ομάδων επαναχρησιμοποίησης φάσματος.
- Το K όμως εξαρτάται από την επιτρεπόμενη στάθμη ομοδιαυλικής παρεμβολής.