



# Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

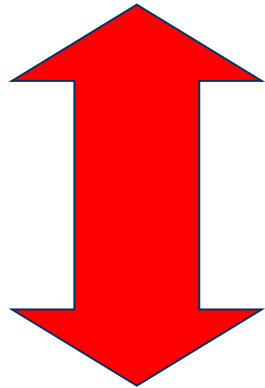
Κατανομή και εκχώρηση  
ασύρματων πόρων -  
Πολλαπλή πρόσβαση



- Σχήματα κατανομής διαύλων
  - Σταθερή κατανομή
  - Δυναμική κατανομή
  - Υβριδική κατανομή
- Δανεισμός διαύλων
- Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης
  - FDMA
  - TDMA
  - CDMA
- Ασύρματη χωρητικότητα κυψελωτών συστημάτων

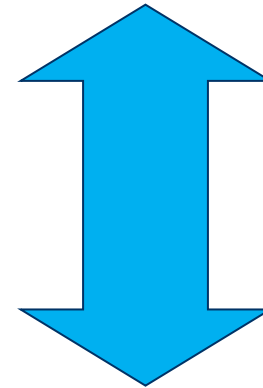


Κατανομή διαύλων



Απόδοση φάσματος

Πολλαπλή πρόσβαση  
Εκχώρηση



Αποτελεσματική  
χρησιμοποίηση του  
φάσματος

# Κατανομή διαύλων



- Διαίρεση φάσματος σε διαύλους που δεν περιεμβάλλουν μεταξύ τους
- Η κατανομή των διαύλων κατά τρόπο που να επιτυγχάνεται υψηλότερη απόδοση φάσματος

$$\eta_s = \frac{A_{ct}}{B_s \cdot S_c} = \frac{A_{ct}}{C_c \cdot K \cdot W \cdot S_c}$$

- Επαναχρησιμοποίηση των διαύλων κατά τρόπο που ο λόγος  $S/I$  σε κάθε κυψέλη να είναι μεγαλύτερος από τον ελάχιστο αποδεκτό  $(S/I)_{\min}$



## Διαίρεση φάσματος σε διαύλους

- Διαίρεση συχνότητας (FD)
- Διαίρεση χρόνου (TD)
- Διαίρεση κώδικα (CD)
- Συνδυασμός TD, FD, CD



## Σχήματα κατανομής διαύλων

- Σταθερή κατανομή (Fixed Channel Allocation, FCA)
- Δυναμική κατανομή (Dynamic Channel Allocation, DCA)
- Υβριδική κατανομή (Hybrid Channel Allocation, HCA)

# Κατανομή διαύλων



## FCA

- Ο ίδιος αριθμός διαύλων σε κάθε κυψέλη
- Ομοιόμορφη κίνηση
  - Πολύ καλή απόδοση
  - Ολικό blocking = blocking ανά κυψέλη
- Μη ομοιόμορφη κίνηση
  - Υψηλό blocking σε μερικές κυψέλες
  - Άνεση σε άλλες κυψέλες



## FCA

- Με μικροκυψέλες και πικοκυψέλες η FCA καταλήγει να είναι ακατάλληλη
  - Δύσκολος προγραμματισμός
  - Δεν υπάρχει ευελιξία για αναδιάταξη
  - Δεν μπορεί να χειρίζεται απρόβλεπτη κίνηση
  - Δεν παρέχει εύρος ζώνης σύμφωνα με τη ζήτηση (πολυμέσα)
- Βελτίωση με συστήματα ευρείας ζώνης (WCDMA) ή με συστήματα στενής ζώνης και μεταπήδηση συχνότητας (π.χ. FH/TDMA)



# Κατανομή διαύλων



## DCA

- Όχι σταθερή σχέση μεταξύ διαύλων και κυψελών
- Ένας δίαυλος μπορεί να επιλεγεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε κυψέλη εφόσον ικανοποιούνται οι περιορισμοί των παρεμβολών
- Μεγαλύτερο κόστος και μεγαλύτερη πολυπλοκότητα
- Επειδή μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι του ενός ελεύθεροι δίαυλοι ⇒ εφαρμογή κάποιας στρατηγικής για την επιλογή του διαύλου που θα εκχωρηθεί



## DCA

- Κύρια ιδέα στα σχήματα DCA
  - Ο υπολογισμός του κόστους χρησιμοποίησης κάθε υποψήφιου διαύλου και η επιλογή εκείνου με το μικρότερο κόστος, εφόσον ικανοποιούνται οι περιορισμοί για τις παρεμβολές
- Η επιλογή της συνάρτησης κόστους είναι εκείνη που διαφοροποιεί τα διάφορα σχήματα DCA



## DCA

- Ανάλογα με τον βαθμό προγραμματισμού και την επικοινωνία μεταξύ των σταθμών βάσης, διακρίνουμε:
- **Κεντρική DCA**
  - Απαιτείται κεντρικός έλεγχος με πληροφορίες που φθάνουν από όλο το σύστημα
- **Αποκεντρωμένη DCA**
  - Δεν απαιτείται προγραμματισμός ή επικοινωνία με όλους τους σταθμούς βάσης
  - Μειονεκτήματα: διακοπή εξυπηρέτησης, αδιέξοδα, αστάθεια



## Κεντρική DCA

### *Μέγιστη ομαδοποίηση*

Μια κλήση αποκλείεται μόνο όταν δεν μπορεί να γίνει ανακατανομή των κλήσεων σε όλους τους διαύλους του συστήματος, ώστε να εξυπηρετηθεί.



$$G_1=(1,2,3), \quad G_2=(2,3,4), \quad G_3=(3,4,5)$$



## Κεντρική DCA

### Αλγόριθμος MAXMIN

Εκχωρείται στο κινητό τερματικό ο δίαυλος που μεγιστοποιεί τον ελάχιστο λόγο  $S/I$ , ο οποίος εμφανίζεται σε οποιοδήποτε κινητό τερματικό του συστήματος που χρησιμοποιεί τον υπόψη δίαυλο την ώρα της εκχώρησης

$$\frac{S}{I}(d_i)_{(dB)} = P_r(d_i)_{(dB)} - 10 \log_{10} \sum_{k \in I} 10^{P_r(d_k)_{(dB)}/10}$$

$$\max_{j \in C} \min_{i \in S} \left\{ \frac{S}{I}(d_i) \right\}$$



## Αποκεντρωμένη DCA

- Επιτρέπεται σε κάποιον σταθμό βάσης να χρησιμοποιήσει κάποιο δίαυλο που είναι διαθέσιμος στη γειτονιά παρεμβολής του
  - Πρώτος διαθέσιμος (First Available, FA)
  - Πλησιέστερος γειτονικός (Nearest Neighbor, NN)
  - Πλησιέστερος γειτονικός + 1 (NN+1)
  - Μέσου τετραγώνου (Mean Square, MSQ)

# Κατανομή διαύλων



## Αποκεντρωμένη DCA

### Δυναμική απόκτηση πόρων

			2	
1,3				
		3		
		1,2		

Συνάρτηση κόστους

Ραδιοδιάυλος 1: 2




Ραδιοδιάυλος 2: 1

Ραδιοδιάυλος 3: αποκλείεται

Συνάρτηση ανταμοιβής

Ραδιοδιάυλος 1: 2

Ραδιοδιάυλος 2: 1

-  Δοθείσα κυψέλη
-  Γειτονιά παρεμβολής
-  Γειτονιά DRA



## Πλήρως αποκεντρωμένη DCA

- Αυτοπροσαρμοζόμενη κατανομή διαύλων

### Απαιτήσεις

- Αναγνωριστικό σήμα σε κάθε σταθμό βάσης
- Οι συνθέτες συχνότητων σε κάθε σταθμό βάσης θα πρέπει να αλλάζουν συχνότητες πολύ γρήγορα
- Συγχρονισμός σε όλο το σύστημα





## Πλήρως αποκεντρωμένη DCA

- Ο αλγόριθμος εκχώρησης εκτελείται κλήση προς κλήση
  - Διαχωρισμός διαύλων (Channel Segregation)
  - Διαχωρισμός διαύλων με μεταβλητό κατώφλι
  - Αλγόριθμοι ελάχιστης παρεμβολής (CT2, DECT)



## Πλήρως αποκεντρωμένη DCA

### *Παράδειγμα 5.2*

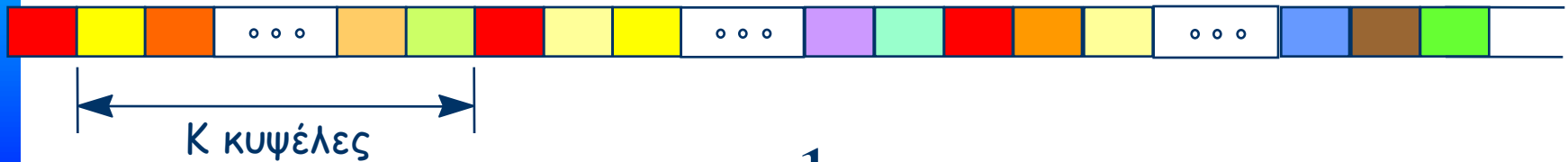
Σε γραμμικό κυψελωτό σύστημα με πλήρως αποκεντρωμένη DCA, ο δίαυλος που χρησιμοποιείται σε μια κυψέλη δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε  $K$  διαδοχικές κυψέλες εκατέρωθεν της υπόψη κυψέλης. Υπάρχει κορεσμός για κάποιον δίαυλο, όταν δεν υπάρχουν επιπλέον κυψέλες που μπορούν να τον χρησιμοποιήσουν χωρίς να καταστρατηγείται ο περιορισμός της ομοδιαυλικής παρεμβολής. Να βρεθεί η μέγιστη και ελάχιστη πυκνότητα κορεσμού των χρησιμοποιούμενων διαύλων.

# Κατανομή διαύλων

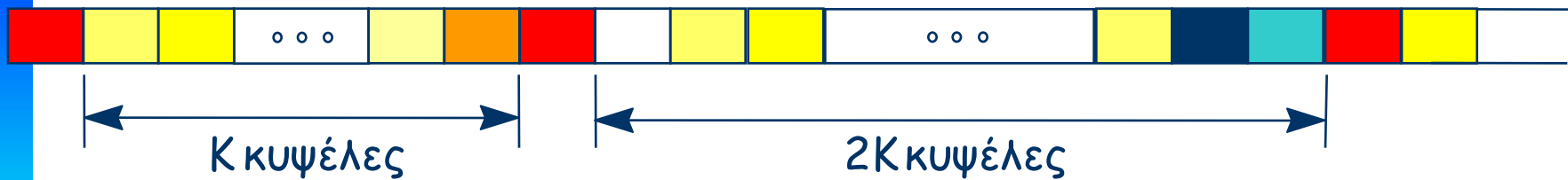


## Πλήρως αποκεντρωμένη DCA

### Παράδειγμα 5.2



$$\rho_{\max} = \frac{1}{K+1}$$



$$\rho_{\min} = \frac{1}{2K+1}$$



## Υβριδική κατανομή διαύλων

- Μίγμα FCA και DCA
- Ο συνολικός αριθμός διαύλων διαιρείται σε σταθερό και σε δυναμικό σύνολο
- Η εκχώρηση διαύλου από το δυναμικό σύνολο ακολουθεί οποιαδήποτε από τις στρατηγικές DCA
- Παράμετρος επίδοσης είναι ο λόγος σταθερών προς τους δυναμικούς διαύλους

# Δανεισμός διαύλων

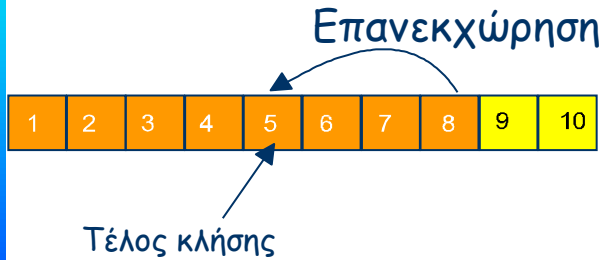


- **Βασική ιδέα:** η κυψέλη που εμφανίζει συμφόρηση μπορεί να δανειστεί ελεύθερους διαύλους από τις γειτονικές κυψέλες, με την προϋπόθεση ότι ο δανεισμός θα επιφέρει την ελάχιστη ζημιά στις γειτονικές κυψέλες.
- **Αλγόριθμοι**
  - Απλού δανεισμού
    - Υβριδική εκχώρηση
  - Δανεισμού με διάταξη διαύλων
    - Διάταξη διαύλων και επανεκχώρηση
  - Δανεισμού με κατευθυντικό κλείδωμα

# Δανεισμός διαύλων



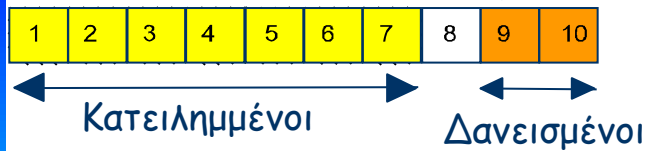
## Δανεισμός με διάταξη διαύλων και επανεκχώρηση



Δίαυλοι της θεωρούμενης κυψέλης



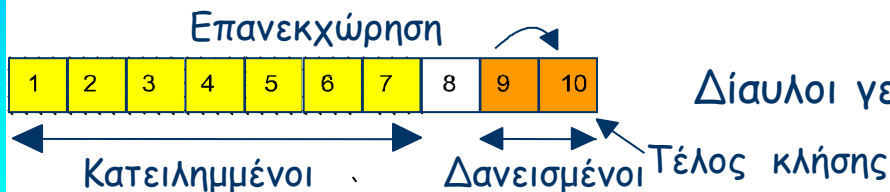
Κατειλημμένοι δίαυλοι της θεωρούμενης κυψέλης



Δίαυλοι γειτονικής κυψέλης



Κατειλημμένοι δίαυλοι της θεωρούμενης κυψέλης

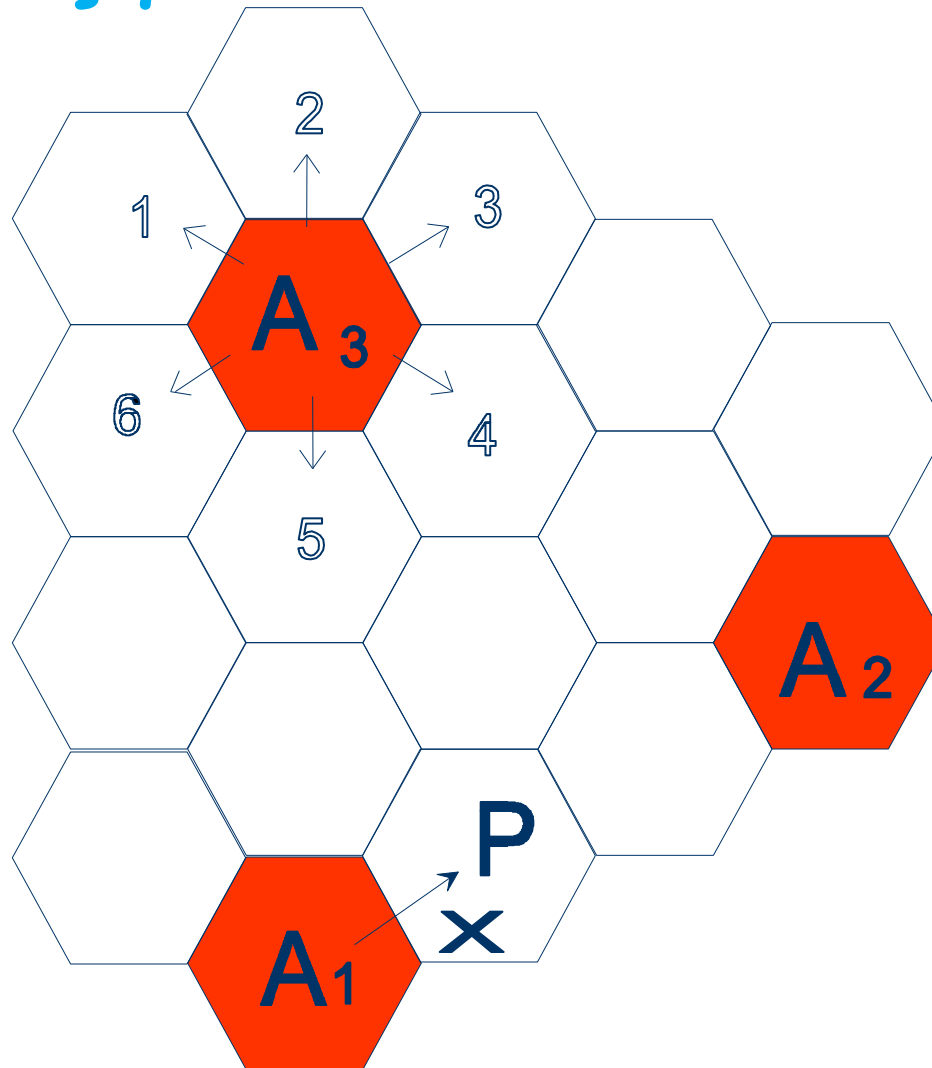


Δίαυλοι γειτονικής κυψέλης

# Δανεισμός διαύλων



## Δανεισμός με κατευθυντικό κλείδωμα



# Δανεισμός διαύλων



## Αλγόριθμοι δανεισμού

- Πολύπλοκη διαχείριση του συστήματος
  - Απαιτείται κατανομημένη διαχείριση του συστήματος
- Αυξημένο φορτίο σηματοδότησης
- Διάδοση του δανεισμού

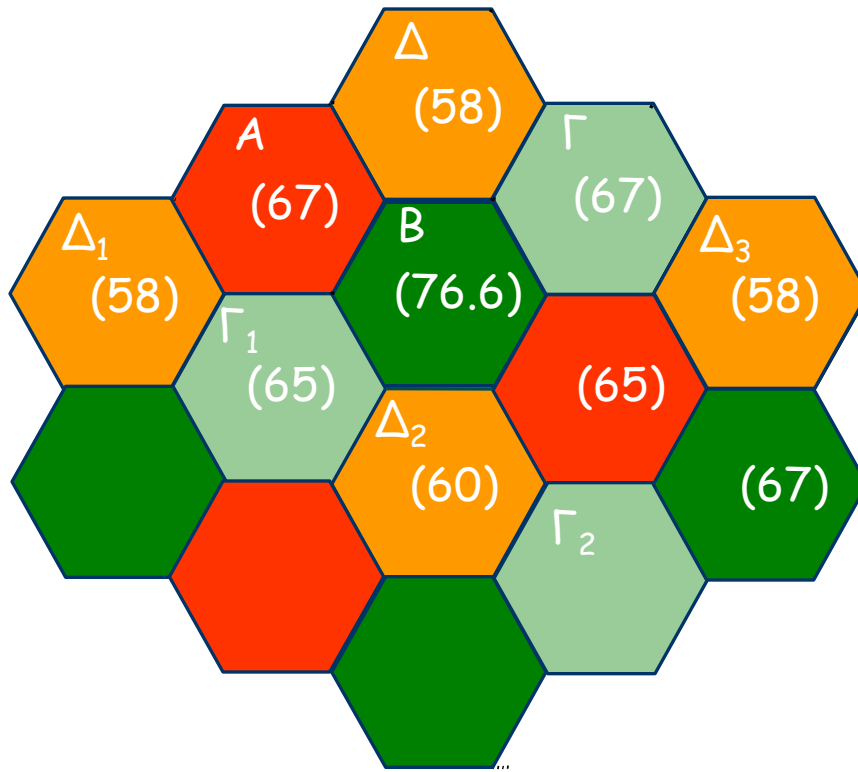


# Δανεισμός διαύλων



## Αλγόριθμοι δανεισμού

### Παράδειγμα 5.3



$$C_{ολ} = 332$$

$$K = 4$$

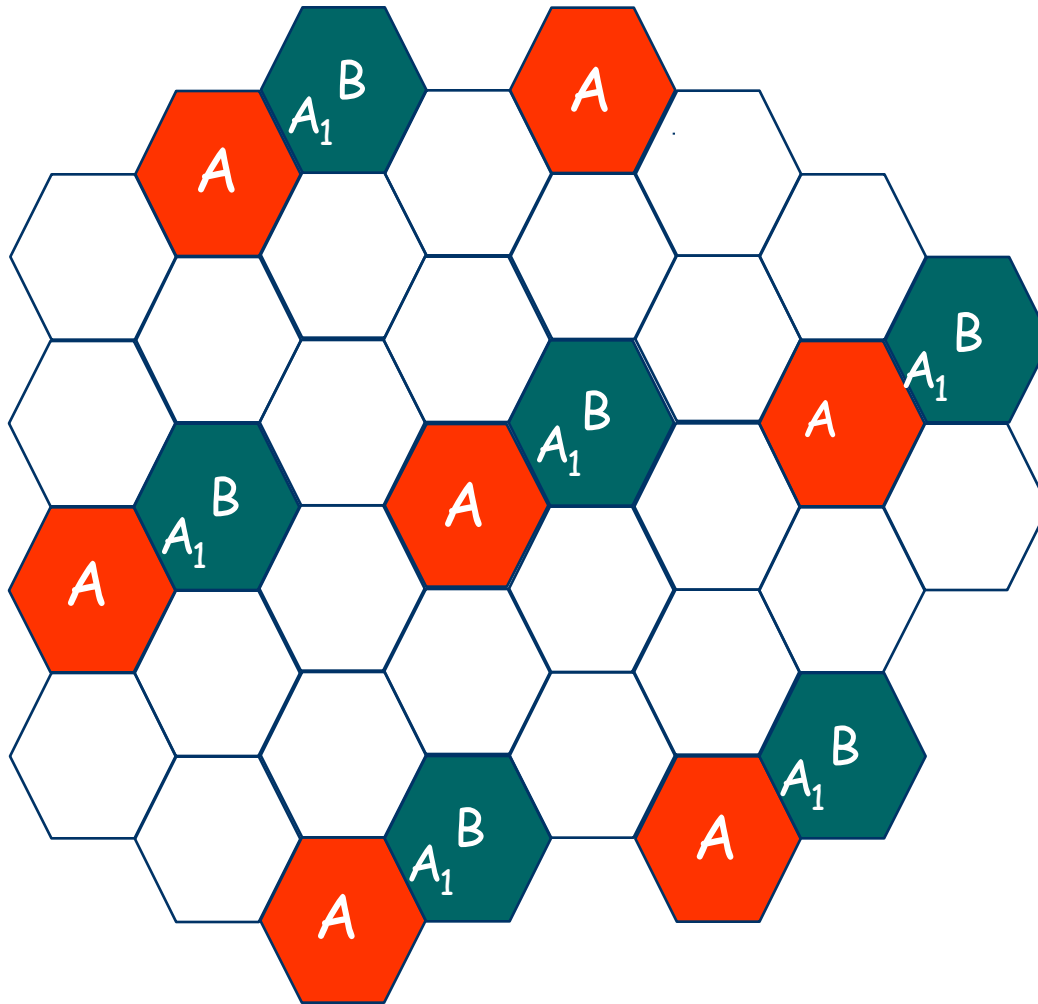
$$GOS \leq 1\%$$

Δανεισμός με κλείδωμα

# Δανεισμός διαύλων



## Αλγόριθμος δανεισμού χωρίς κλείδωμα



# Πολλαπλή πρόσβαση



- Παρέχει τα μέσα για την αποτελεσματική χρήση των πόρων που αντιστοιχούν σε κάθε κυψέλη
- Μια καλή τεχνική πολλαπλής πρόσβασης μπορεί
  - να βελτιώσει τη χωρητικότητα του συστήματος
  - να ελαττώσει το κόστος του συστήματος
  - να κάνει τις υπηρεσίες περισσότερο ελκυστικές προς τους χρήστες

# Πολλαπλή πρόσβαση



## Επίλυση του προβλήματος

- Αρχικά, επιλέγουμε μια βασική τεχνολογία για να διαχωρίσουμε την κίνηση που προέρχεται από διαφορετικούς χρήστες (τερματικά)
  - μπορεί να είναι στο πεδίο του χρόνου ή στο πεδίο της συχνότητας
- Στη συνέχεια, επιλέγουμε πώς να κατανέμουμε έναν περιορισμένο αριθμό πόρων μετάδοσης σε μεγαλύτερο σύνολο ανταγωνιζόμενων χρηστών
- Η ύπαρξη σταθμού βάσης διευκολύνει την πολλαπλή πρόσβαση

# Πολλαπλή πρόσβαση



## Βασικοί στόχοι στη σχεδίαση

- **Ευελιξία:** δυνατότητα εξυπηρέτησης ολοκληρωμένης κίνησης φωνής, δεδομένων και video και δυνατότητα αντιμετώπισης της μετακίνησης του τερματικού.
- **Ποιότητα:** ικανοποίηση των απαιτήσεων υπηρεσίας, όπως π.χ. είναι οι περιορισμοί καθυστέρησης και απώλειας πακέτων.
- **Χωρητικότητα:** μεγιστοποίηση του αριθμού των χρηστών που εξυπηρετούνται για το διατιθέμενο εύρος ζώνης συχνοτήτων.

# Πολλαπλή πρόσβαση



## Περιορισμοί

- Έλλειψη φάσματος
  - δύσκολα βρίσκεται διαθέσιμο φάσμα
  - λίγες συχνότητες διατίθενται για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων
  - τα σχήματα πολλαπλής πρόσβασης πρέπει να μην σπαταλούν εύρος ζώνης



## Περιορισμοί

- Χαρακτηριστικά των ραδιοζεύξεων
  - δεκτικές σε σφάλματα
    - διαλείψεις
    - παρεμβολές
  - φαινόμενο σύλληψης
    - το τερματικό με τη μεγαλύτερη ισχύ καλύπτει το άλλο
    - το τερματικό χαμηλής ισχύος μπορεί να μην έχει ποτέ τη δυνατότητα να ακουστεί

# Πολλαπλή πρόσβαση



## Αμφιδρόμηση

FDD

Δίαυλος  
ανόδου

Δίαυλος  
καθόδου

← Απόσταση συχνοτήτων →

f

TDD

Δίαυλος  
ανόδου

Δίαυλος  
καθόδου

← Χρονική απόσταση →

t

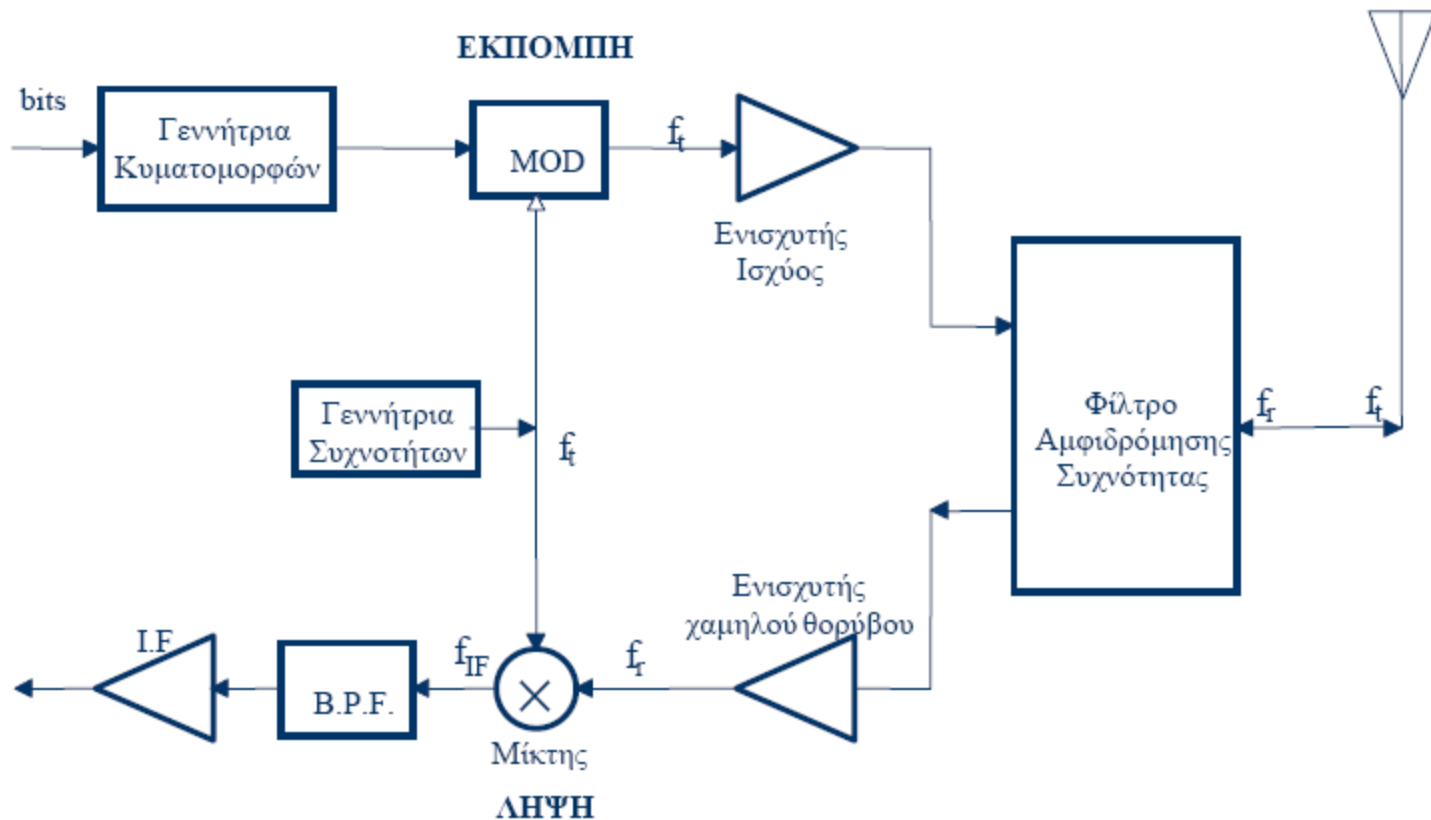


# Πολλαπλή πρόσβαση



## FDD

### Αρχιτεκτονική πομποδέκτη

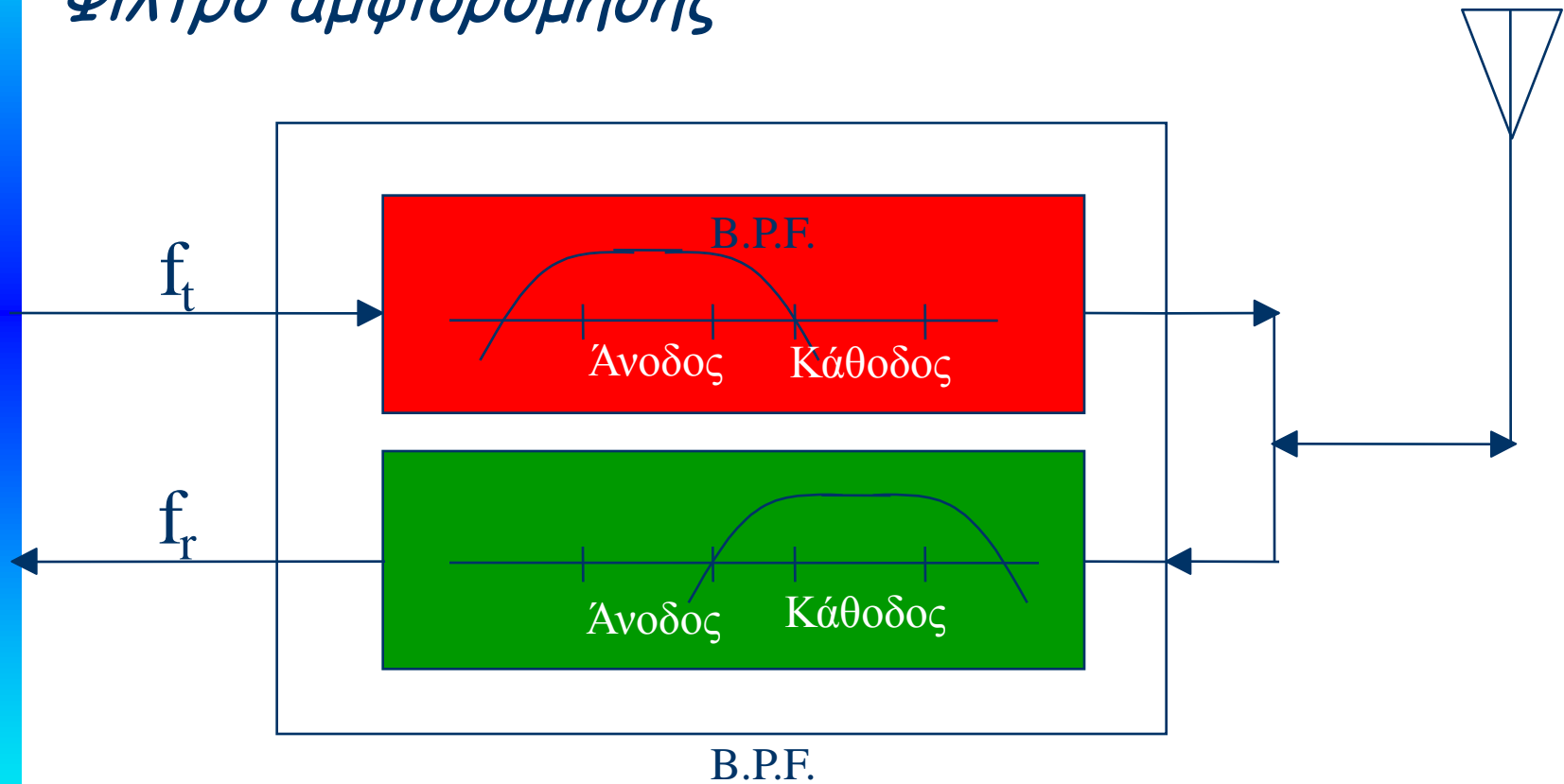


# Πολλαπλή πρόσβαση



## FDD

Φίλτρο αμφιδρόμησης

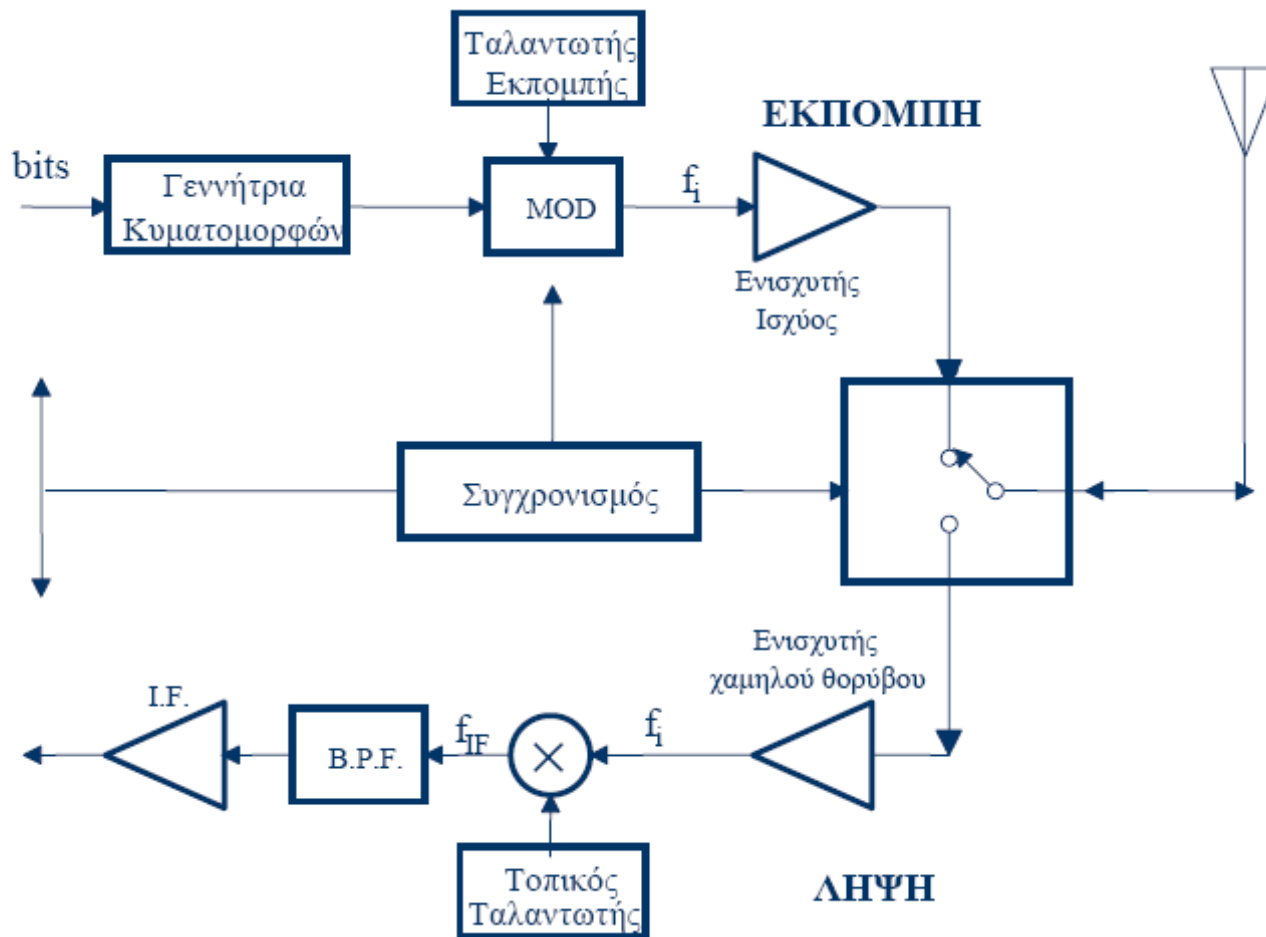


# Πολλαπλή πρόσβαση



## TDD

### Αρχιτεκτονική πομποδέκτη



# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



- Διαχωρισμός των δεδομένων των διαφόρων πηγών
- Τέσσερις βασικές επιλογές
  - Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (Frequency division multiple access, FDMA)
  - Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (Time division multiple access, TDMA)
  - Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Code division multiple access, CDMA)
  - Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χώρου (Space Division Multiple Access, SDMA)

# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



Κυψελωτό σύστημα	Τεχνική πολλαπλής πρόσβασης
Advanced Mobile Phone System (AMPS)	FDMA/FDD
Global System for Mobile (GSM)	TDMA/FDD
U.S. Digital Cellular (USDC)	TDMA/FDD
Japanese Digital Cellular (JDC)	TDMA/FDD
Cordless Telephone 2 (CT2)	FDMA/TDD
Digital European Cordless Telephone (DECT)	TDMA/TDD
U.S. Narrowband Spread Spectrum (IS-95)	CDMA/FDD
cdma2000	CDMA/FDD
UMTS (UTRA-FDD)	WCDMA/FDD
UMTS (UTRA-TDD)	WCDMA/TDD

# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



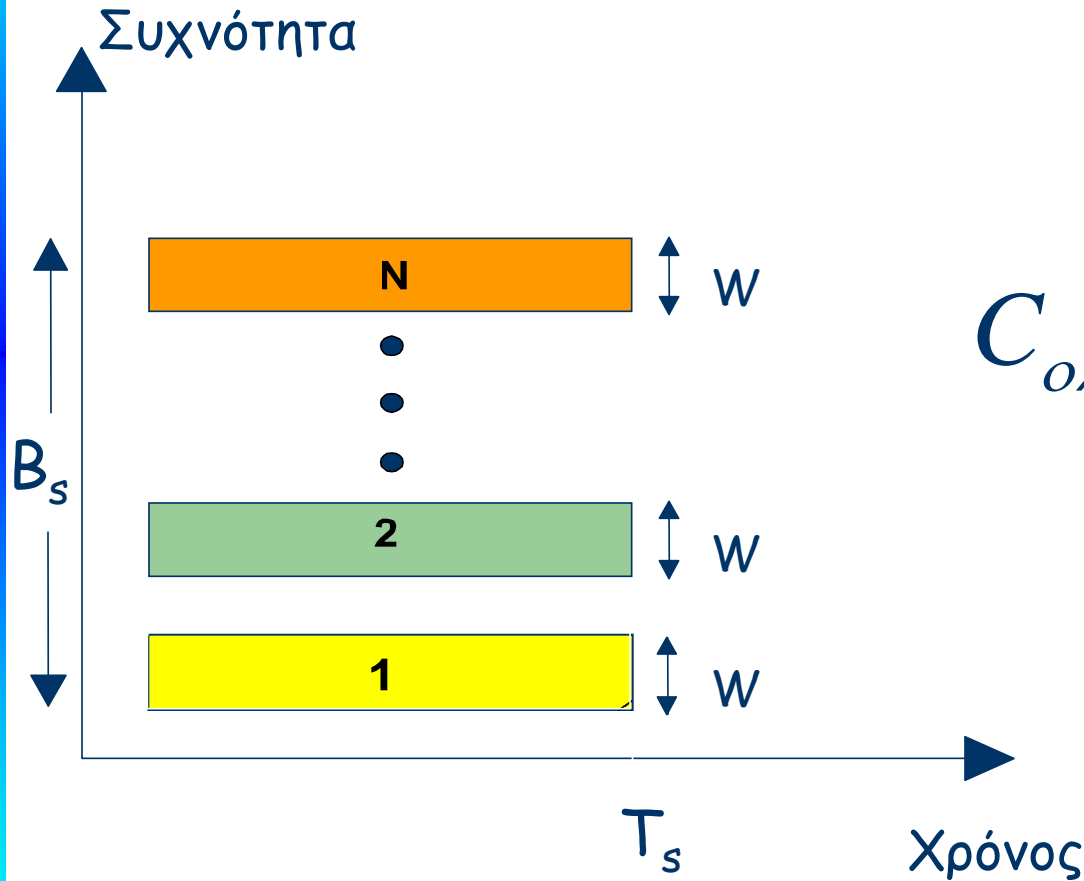
## FDMA

- Όλοι οι σταθμοί μεταδίδουν ταυτόχρονα, αλλά σε διαφορετικές συχνότητες
- Ο αριθμός συχνοτήτων είναι περιορισμένος
  - Κυψελωτή δομή, επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων
- Είναι πολύ απλή
- Μειονεκτήματα
  - χαμηλή απόδοση φάσματος
  - ακατάλληλη για υπηρεσίες πολυμέσων
  - ακριβότεροι σταθμοί βάσης σε σχέση με τη TDMA
  - η μη γραμμικότητα των ενισχυτών προκαλεί ενδοδιαμόρφωση

# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



## FDMA



$$C_{ολ} = \frac{B_s - 2B_G}{W}$$

# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



## TDMA

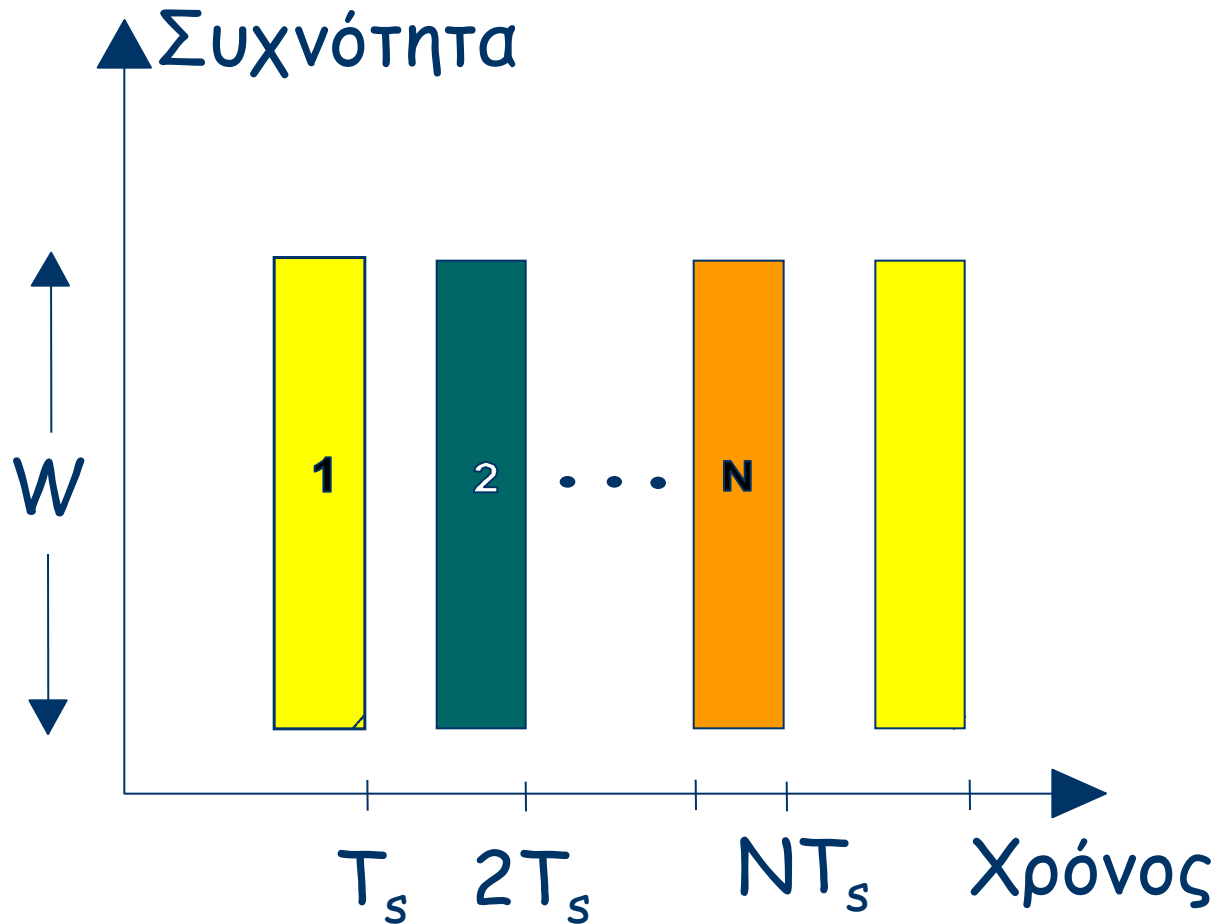
- Όλοι οι σταθμοί μεταδίδουν δεδομένα στην ίδια συχνότητα, αλλά σε διαφορετικούς χρόνους
- Ανάγκη συγχρονισμού
- Πλεονεκτήματα
  - μπορεί να δοθεί διαφορετικό εύρος ζώνης σε διαφορετικούς χρήστες
  - τα κινητά μπορεί να χρησιμοποιούν τους νεκρούς χρόνους για να καθορίσουν τον καλύτερο σταθμό βάσης
  - μπορεί να παραμείνουν κλειστά όταν δεν εκπέμπουν
- Μειονεκτήματα
  - πλεονάζουσα πληροφορία για συγχρονισμό
  - μεγαλύτερα προβλήματα με τις πολλαπλές διαδρομές



# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



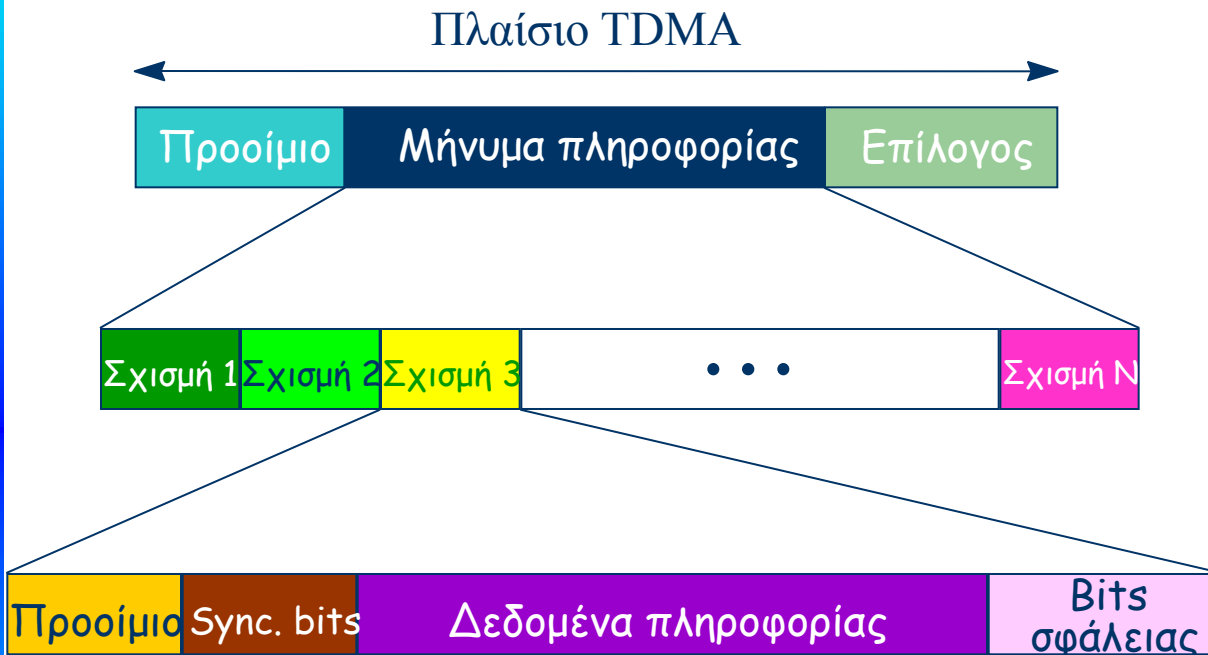
## ΤDMA



# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



## Δομή πλαισίου TDMA



$$b_f = T_f R$$

$$\eta_f = \left( 1 - \frac{b_{oh}}{b_f} \right)$$

$$b_{oh} = n_r b_r + n_t b_p + n_t b_g + n_r b_g \quad C_{ol} = \frac{m(B_s - 2B_G)}{W}$$

# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



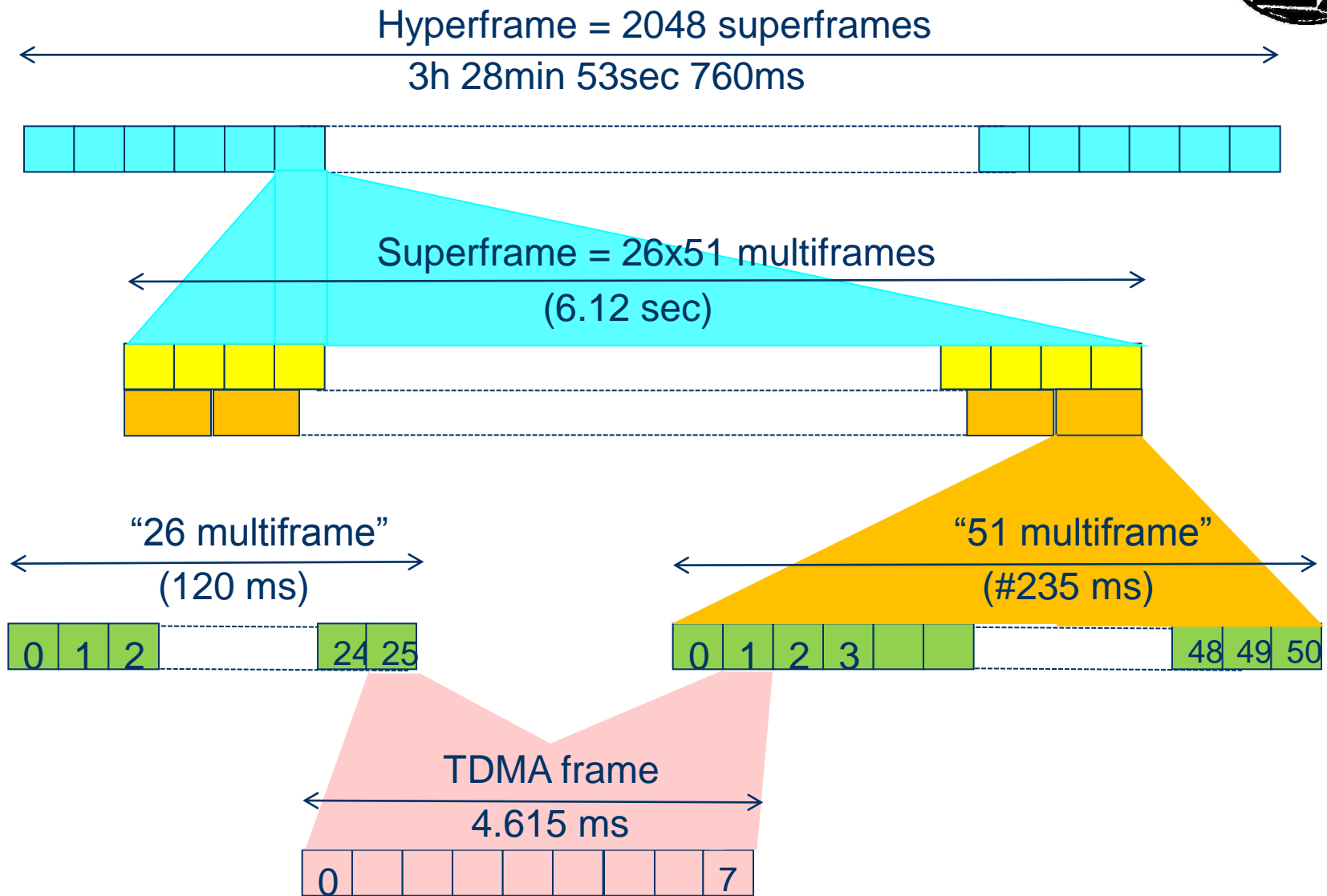
## TDMA

### Παράδειγμα 5.4

GSM, TDMA με 8 slots και κάθε slot περιέχει 156.25 bit. Κάθε slot αποτελείται από 6 bit προοιμίου, 26 bit συγχρονισμού, 8.25 bit χάριτος και δύο ριπές δεδομένων κίνησης των 58 bit. Τα δεδομένα στον δίαυλο μεταδίδονται με ρυθμό 270.833 kbps. Να βρεθούν:

α)  $T_{\text{bit}}$ , β)  $T_{\text{slot}}$  γ)  $T_{\text{frame}}$  δ) πόσο χρόνο πρέπει να περιμένει ένας χρήστης, μεταξύ δύο διαδοχικών μεταδόσεων; ε) η απόδοση πλαισίου, στ) ο αριθμός των χρηστών που εξυπηρετούνται ταυτόχρονα στο GSM. Αγνοείστε την ύπαρξη εύρους ζώνης ασφαλείας.

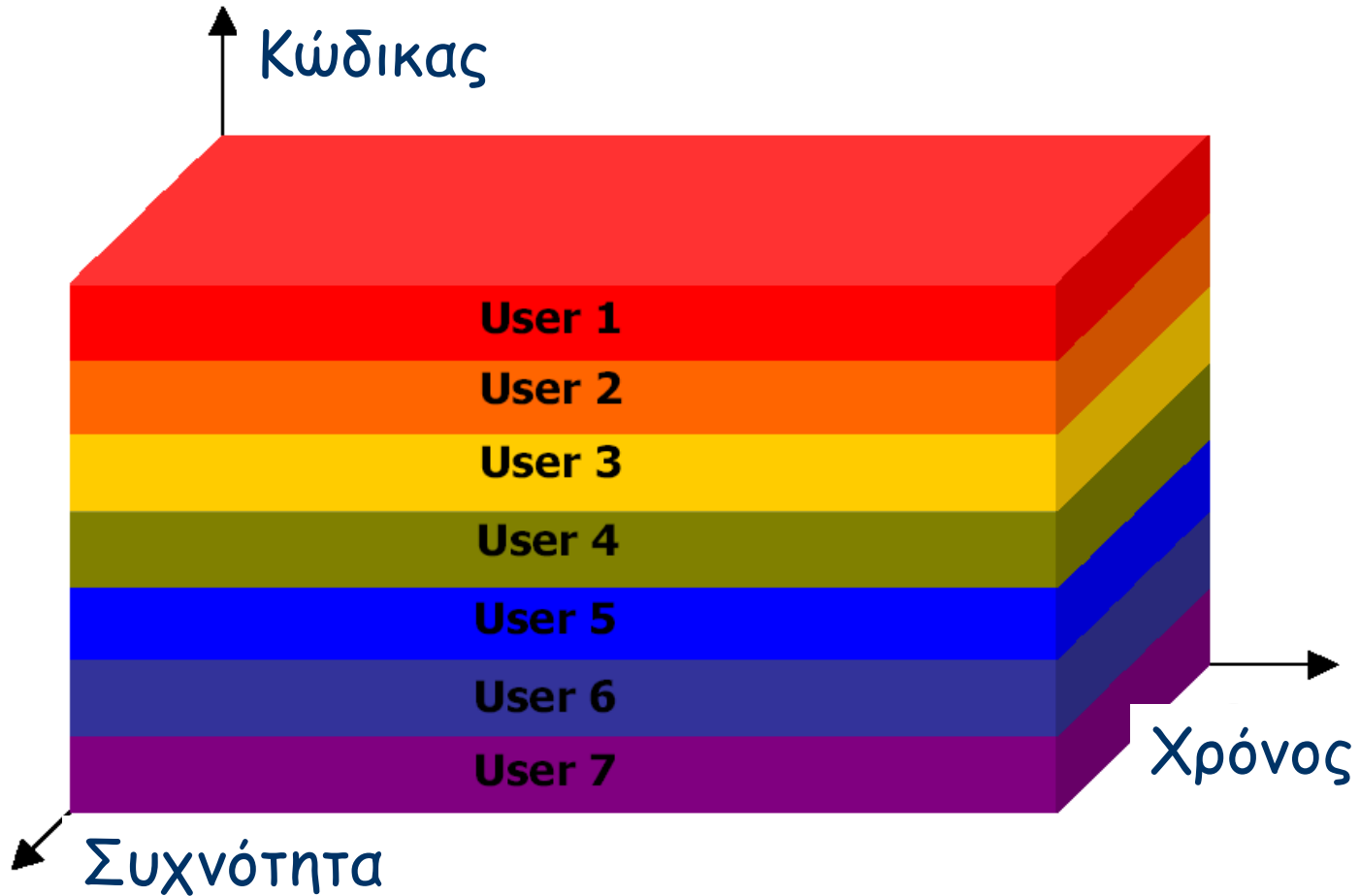
# Ιεραρχία πλαισίων στο GSM



# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



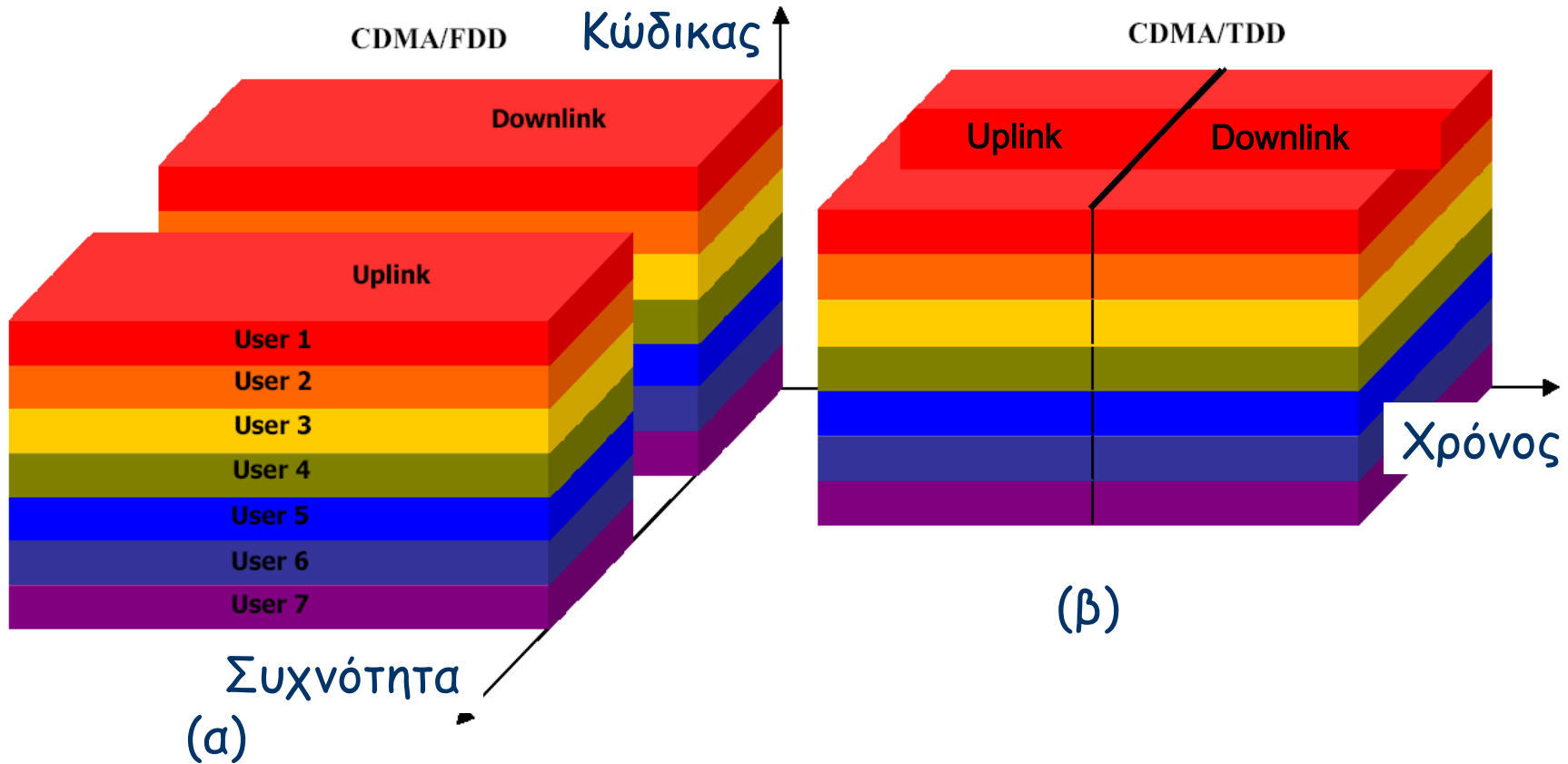
## CDMA



# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



## CDMA



# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



## CDMA

- CDMA ευθείας ακολουθίας (Direct Sequence CDMA, DS/CDMA)
- CDMA με μεταπήδηση συχνότητας (Frequency Hopping CDMA, FH/CDMA)
- CDMA με μεταπήδηση χρόνου (Time Hopping CDMA, TH/CDMA)
- Υβριδικά συστήματα CDMA

# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



## DS/CDMA

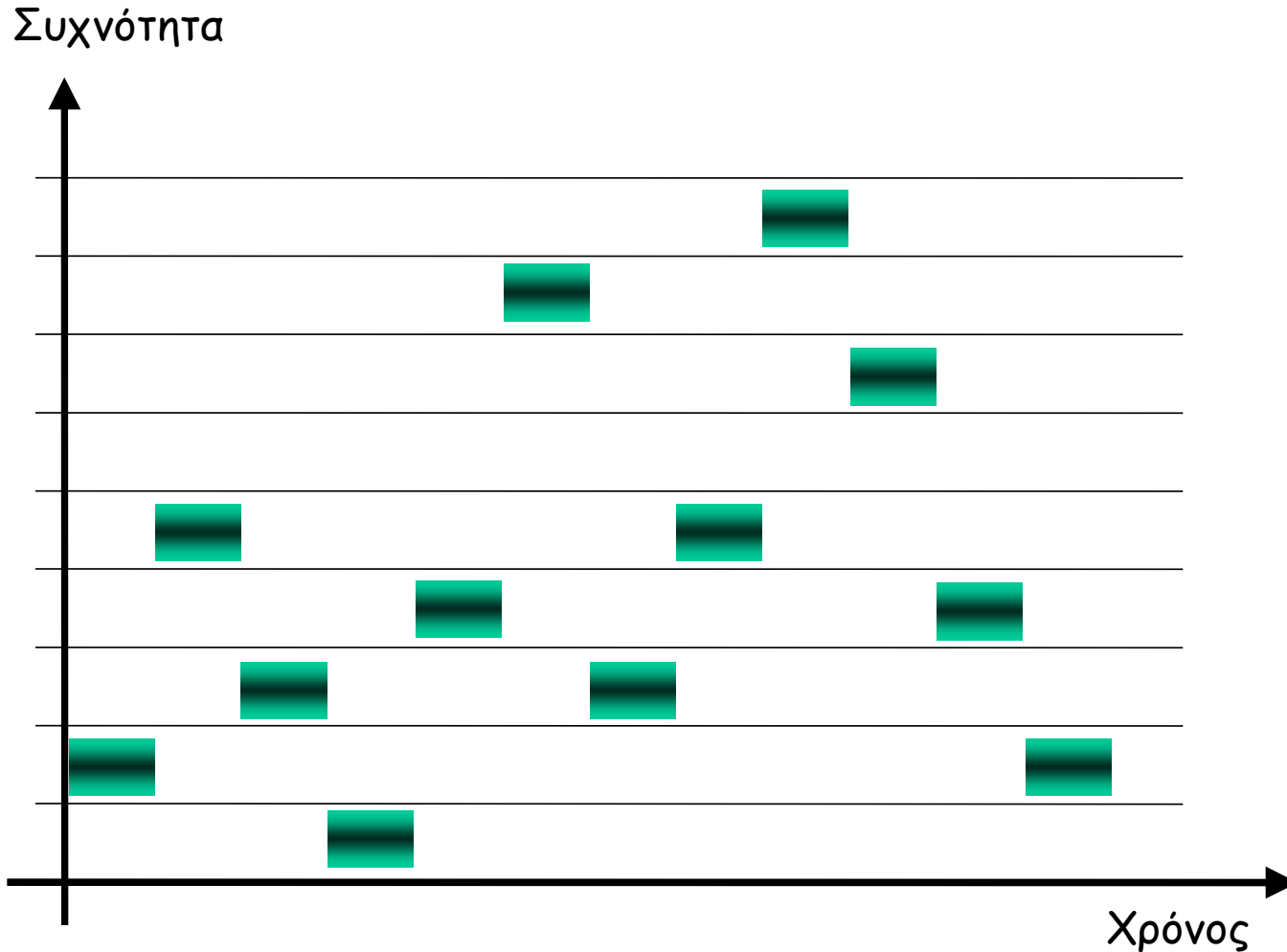
- Πλεονεκτήματα
  - Εύκολη η κωδικοποίηση
  - Ο συνθέτης συχνοτήτων είναι απλή γεννήτρια
  - Ομόδυνη αποδιαμόρφωση. Δεν απαιτείται συγχρονισμός μεταξύ χρηστών
- Μειονεκτήματα
  - Δυσκολία ανάκτησης και διατήρησης του συγχρονισμού
    - Το σφάλμα πρέπει να είναι μικρό κλάσμα του  $T_{ch} \Rightarrow$  περιορισμός του εύρους ζώνης σε 10 - 20 MHz



# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



## FH/CDMA



# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



## FH/CDMA

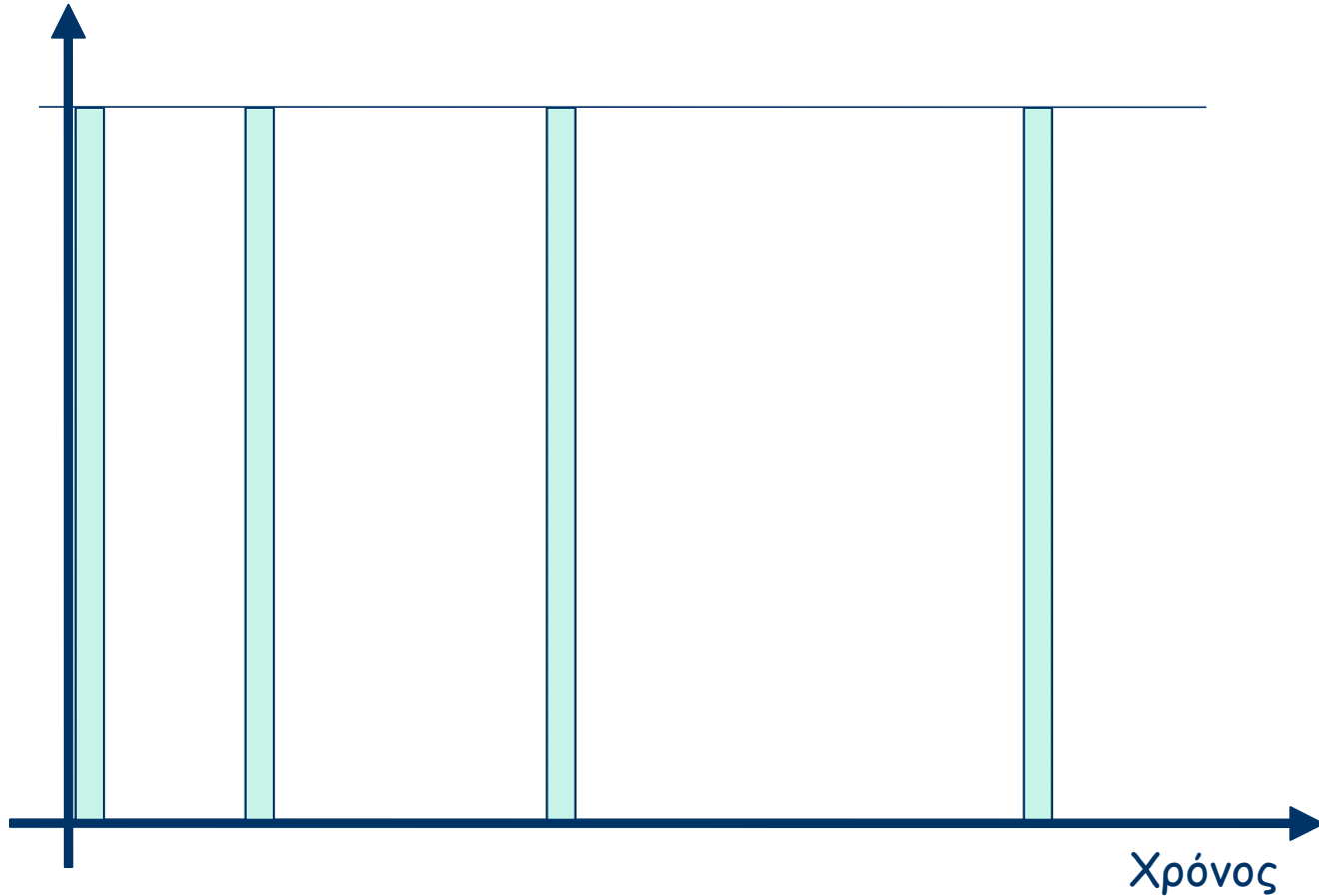
- Χρησιμοποιεί μέρος του εύρους ζώνης αλλά η θέση του μέρους αυτού μεταβάλλεται χρονικά
- Πλεονεκτήματα
  - Ευκολότερος συγχρονισμός από ότι στην DS/CDMA
  - Οι διάφορες ζώνες συχνοτήτων δεν χρειάζεται να είναι γειτονικές στο φάσμα
  - Η πιθανότητα να μεταδίδουν πολλοί χρήστες ταυτόχρονα στην ίδια περιοχή συχνοτήτων είναι μικρή
- Μειονεκτήματα
  - Απαιτείται πολύπλοκος συνθέτης συχνοτήτων
  - Απότομη μεταβολή του σήματος κατά τη μεταπήδηση ⇒ αύξηση του εύρους ζώνης
  - Δύσκολη η ομόδυνη αποδιαμόρφωση
- FFH/CDMA, SFH/CDMA

# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



## ΤΗ/CDMA

Συχνότητα



# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



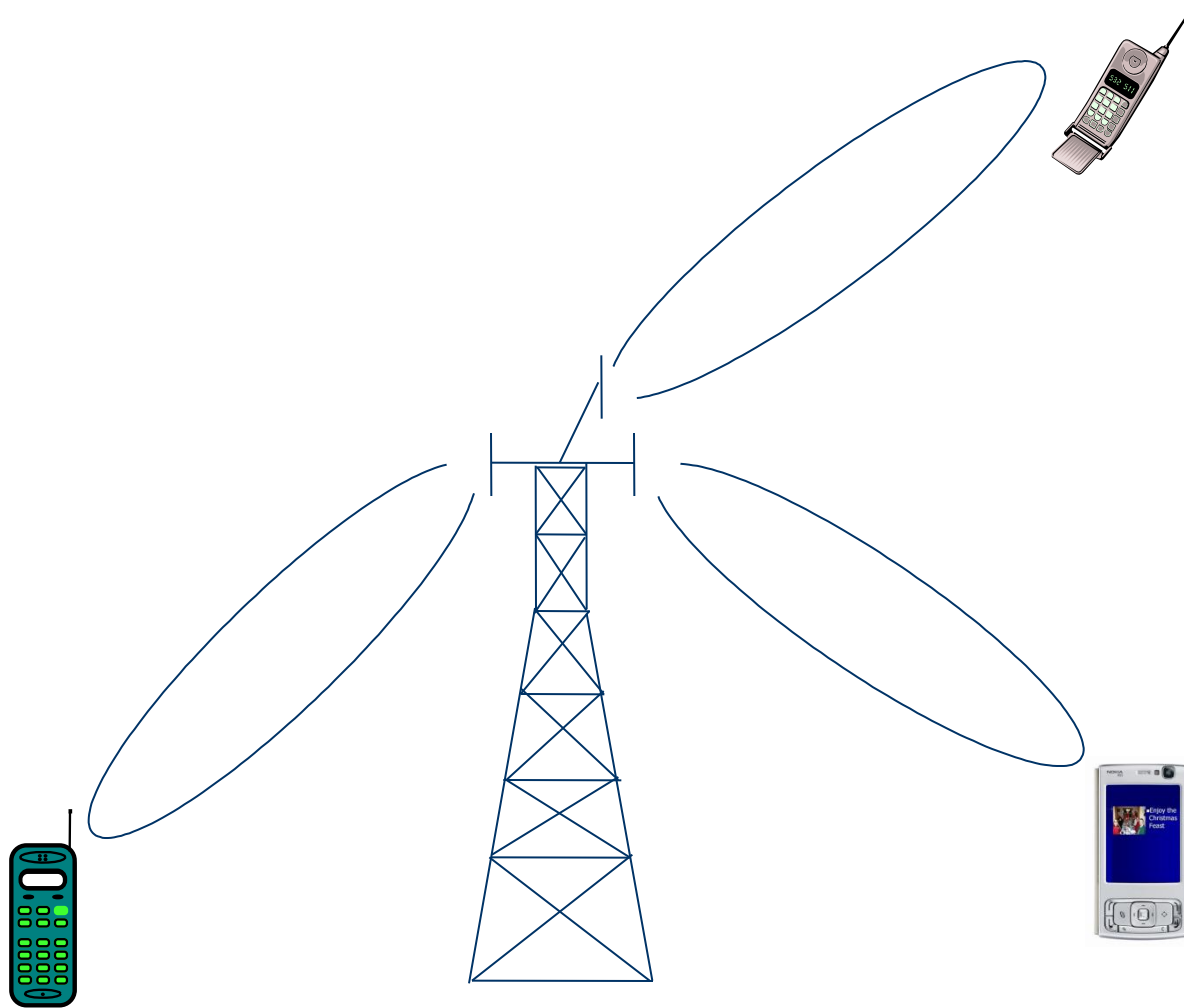
## ΤΗ/CDMA

- Ο χρόνος διαιρείται σε πλαίσια και κάθε πλαίσιο σε  $M$  χρονοσχισμές
- Κατά τη διάρκεια ενός πλαισίου ο χρήστης μεταδίδει σε μία από τις χρονοσχισμές σύμφωνα με κάποιον κώδικα
- Πλεονεκτήματα
  - Ευκολότερη υλοποίηση από την FH/CDMA
  - Χρήσιμη όταν υπάρχει περιορισμός ως προς τη μέση ισχύ και όχι ως προς τη μέγιστη (μετάδοση με ριπές)
  - Το φαινόμενο near-far είναι πολύ πιο ασήμαντο, γιατί κάθε τερματικό μεταδίδει μόνο του
- Μειονεκτήματα
  - Απαιτείται πολύς χρόνος για τον συγχρονισμό, ενώ ο χρόνος που πρέπει να συγχρονιστεί ο δέκτης είναι πολύ μικρός

# Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης



## Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χώρου



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

# Ασύρματη χωρητικότητα



Ο μέγιστος αριθμός διαύλων που μπορεί να παρέχει το σύστημα σε καθορισμένη ζώνη συχνοτήτων

$$C_c = \frac{B_s}{W \times K} \quad a = \sqrt{3K} \quad a = \left[ 6 \left( \frac{S}{I} \right)_{\min} \right]^{\frac{1}{n}}$$

$$C_c = \frac{B_s}{W \times \left[ \frac{6}{3^{\frac{n}{2}}} \left( \frac{S}{I} \right)_{\min} \right]^{\frac{2}{n}}} \quad \begin{matrix} n=4 \\ \Rightarrow \end{matrix} \quad C_c = \frac{B_s}{W \times \sqrt{\frac{2}{3} \left( \frac{S}{I} \right)_{\min}}}$$

# Ασύρματη χωρητικότητα



Για τη σύγκριση των διαφόρων συστημάτων, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας ισοδύναμος λόγος ( $S/I$ ), δεδομένου ότι κάθε σύστημα έχει διαφορετική τιμή  $(S/I)_{\min}$

Κρατώντας σταθερά τα  $C_c$  και  $B_s$ , για  $n = 4$

$$\left(\frac{S}{I}\right)_{\text{ισ}} = \left(\frac{S}{I}\right)_{\min} \times \left(\frac{W}{W'}\right)^2$$

Για σταθερό αριθμό χρηστών ανά ραδιοδιάυλο, θα διατηρηθεί η ίδια ποιότητα υπηρεσίας σε σύστημα με μισό εύρος ζώνης διαύλου, μόνο όταν το  $(S/I)_{\min}$  τετραπλασιασθεί.

# Ασύρματη χωρητικότητα



Στα ψηφιακά κυψελωτά συστήματα

$$\frac{S}{I} = \frac{E_b \times R_b}{I} = \frac{E_c \times R_c}{I} \quad \left(\frac{S}{I}\right)_{\min} = \frac{E_c \times R_c}{I} = \left(\frac{W'}{W}\right)^2$$
$$\left(\frac{S}{I}\right)_{\text{ισ}} = \frac{E'_c \times R'_c}{I'}$$

Δεδομένου ότι  $R \sim W$ , αν η στάθμη παρεμβολής είναι ίδια για τα δύο συστήματα:

$$\frac{E_c}{E'_c} = \left(\frac{W'}{W}\right)^3$$

Αν το εύρος ζώνης  $W$  του διαύλου υποδιπλασιαστεί, τότε η ενέργεια ανά κωδικό σύμβολο οκταπλασιάζεται.





## Παράδειγμα 5.6

Εκτιμήστε τα παρακάτω 4 κυψελωτά συστήματα και επιλέξτε εκείνο με την μέγιστη ασύρματη χωρητικότητα.

$$A: W = 20kHz, (S/I)_{\min} = 18dB$$

$$B: W = 24kHz, (S/I)_{\min} = 14dB$$

$$\Gamma: W = 12kHz, (S/I)_{\min} = 20dB$$

$$\Delta: W = 6kHz, (S/I)_{\min} = 10dB$$



## Παράδειγμα 5.6

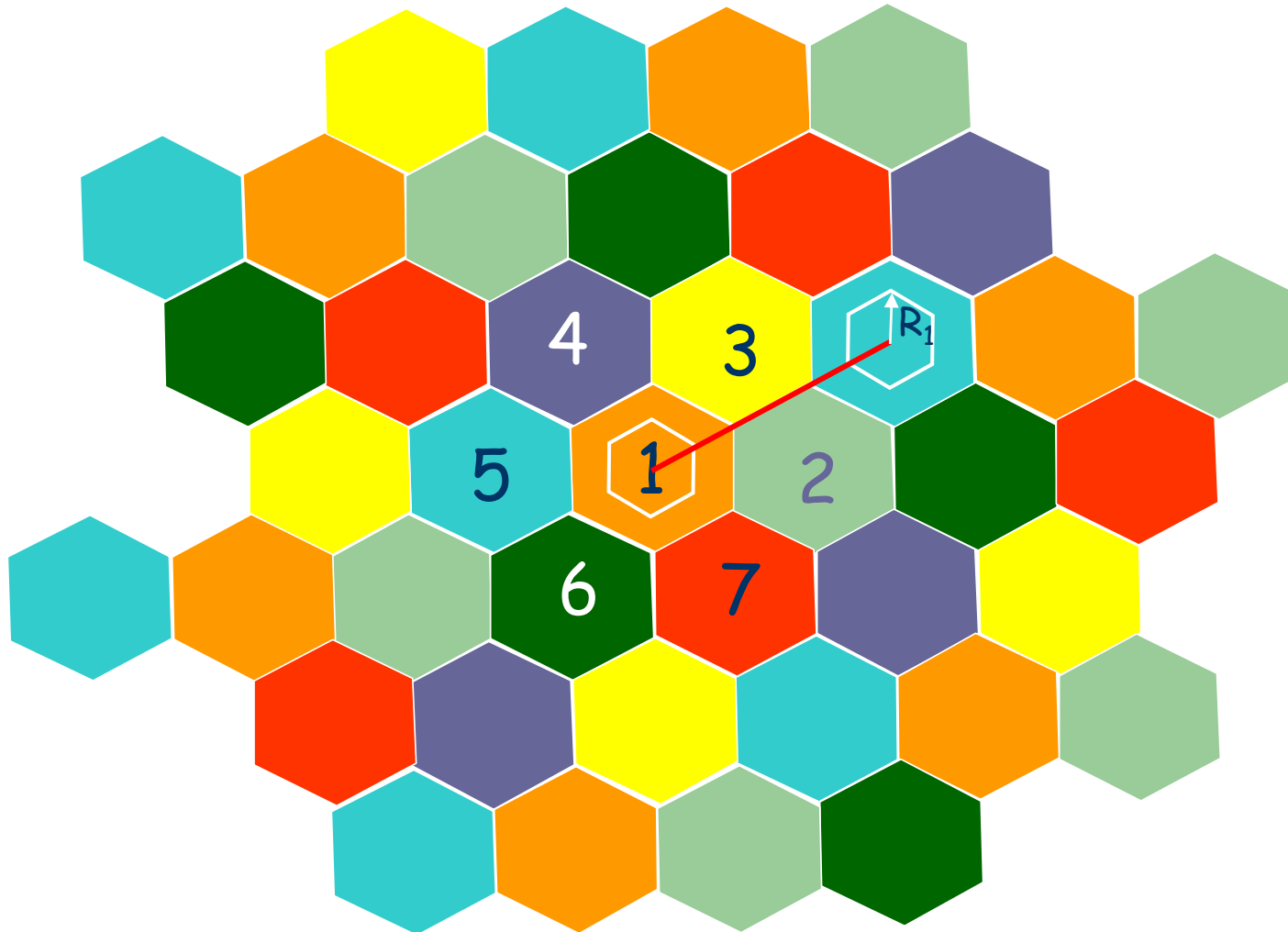
$$A: (S/I)_{i\sigma} = 18 + 20 \log \frac{20}{20} = 18 \text{ dB}$$

$$B: (S/I)_{i\sigma} = 18 + 20 \log \frac{20}{24} = 16.42 \text{ dB}$$

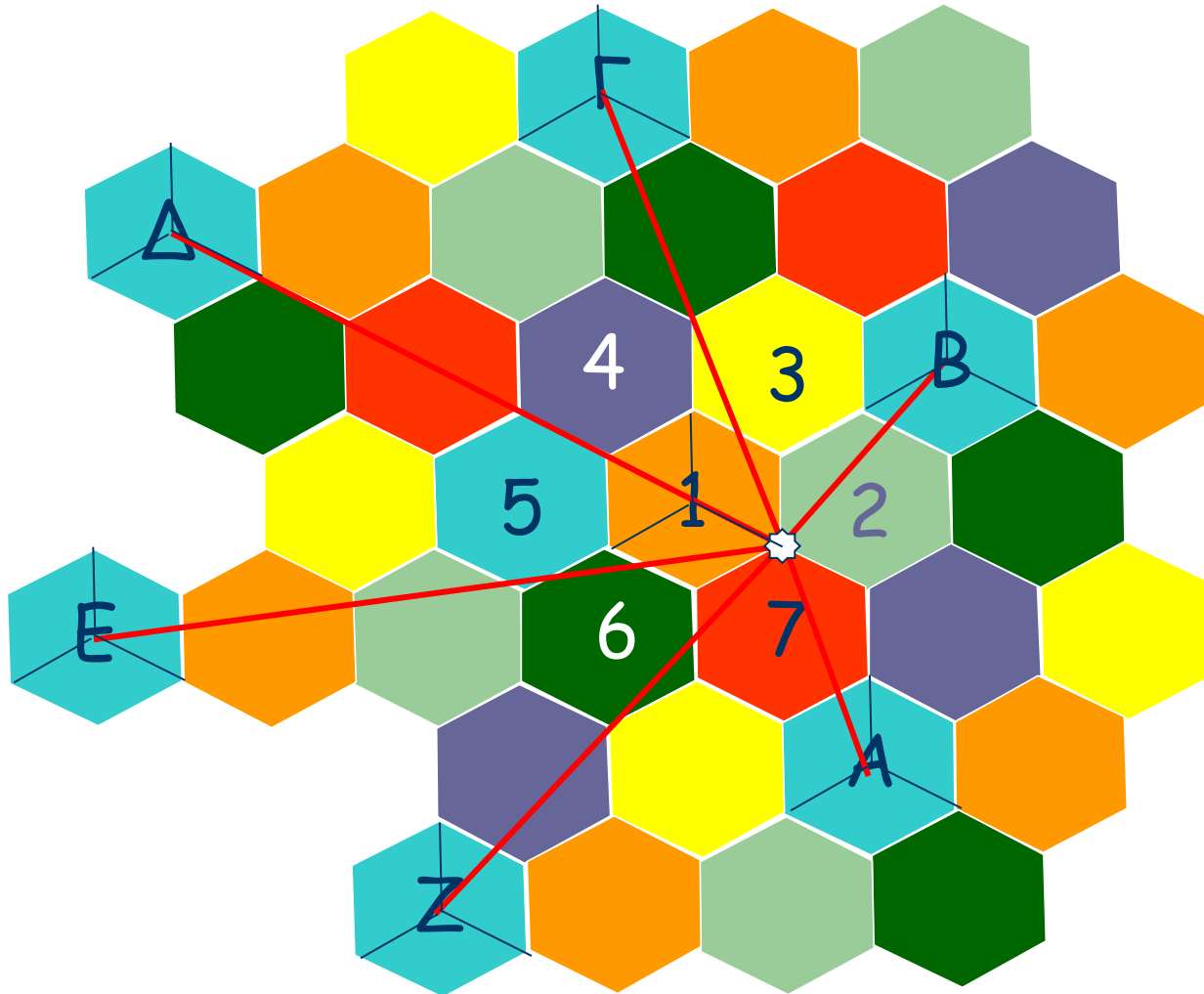
$$\Gamma: (S/I)_{i\sigma} = 18 + 20 \log \frac{20}{12} = 22.44 \text{ dB}$$

$$\Delta: (S/I)_{i\sigma} = 18 + 20 \log \frac{20}{6} = 28.46 \text{ dB}$$

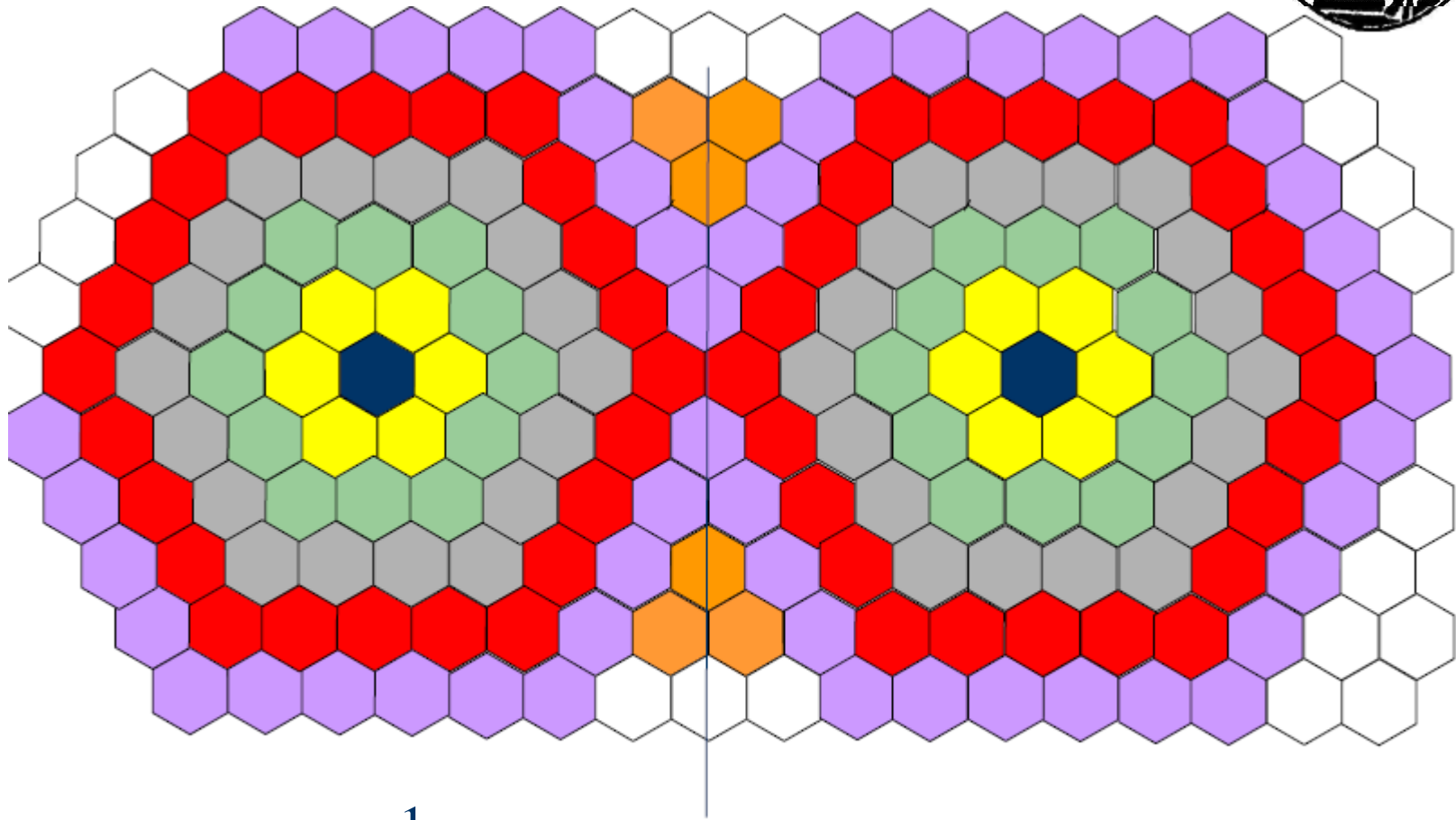
# Άσκηση 5.1



# Άσκηση 5.2

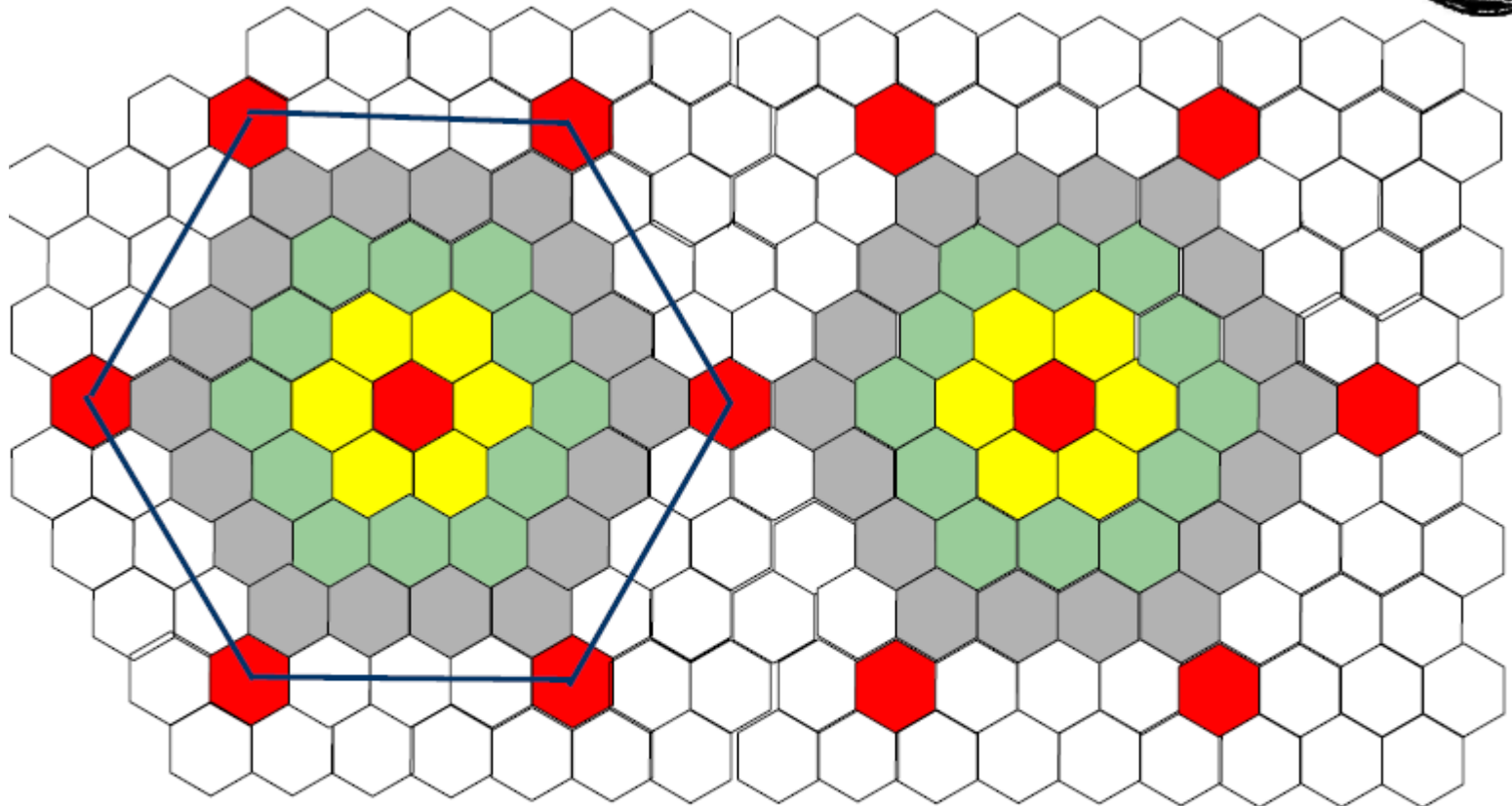


# Άσκηση 5.3



$$C_{\min} = \frac{1}{1 + 6N(2N + 1)}$$

# Άσκηση 5.3

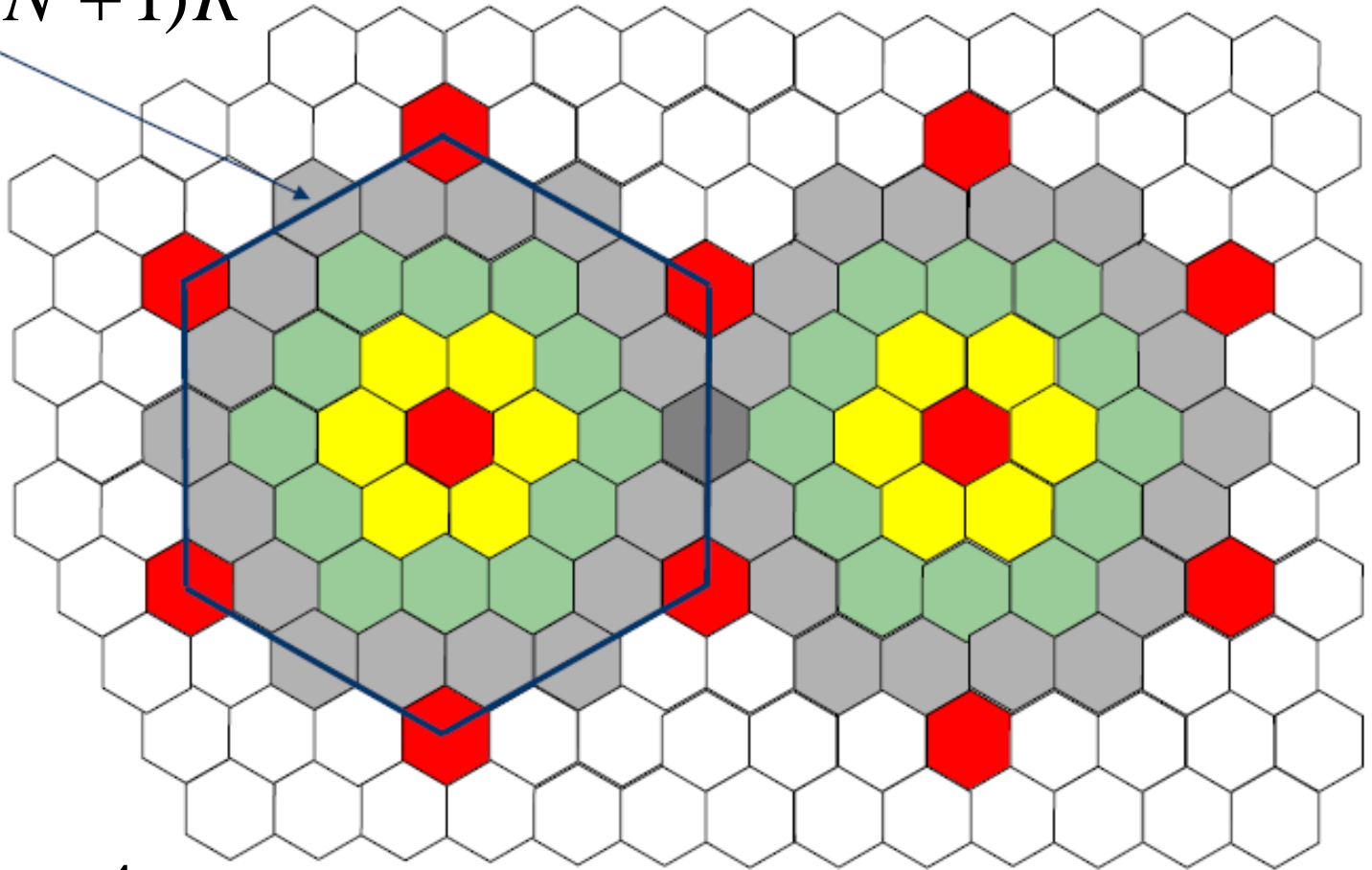


$$C_{\max} = \frac{3}{1 + 3(N + 1)^2}$$

# Άσκηση 5.3



$$R' = \frac{3}{2}(N+1)R$$



$$C_{\max} = \frac{4}{3(N+1)^2}$$