



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Κατανομή και εκχώρηση
ασύρματων πόρων -
Πολλαπλή πρόσβαση

Περίληψη



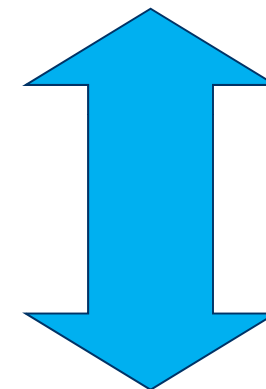
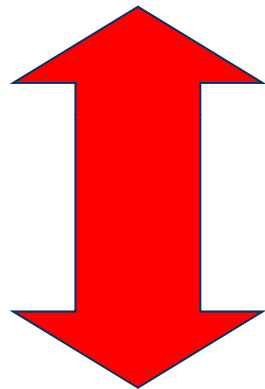
- Σχήματα κατανομής διαύλων
 - Σταθερή κατανομή
 - Δυναμική κατανομή
 - Υβριδική κατανομή
- Δανεισμός διαύλων
- Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης
 - FDMA
 - TDMA
 - CDMA
- Ασύρματη χωρητικότητα κυψελωτών συστημάτων

Εισαγωγή



Κατανομή διαύλων

Πολλαπλή πρόσβαση
Εκχώρηση



Απόδοση φάσματος

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)



- 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



- 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 (CDMA) ή με συστήματα στενής ζώνης και μεταπήδηση συχνότητας (π.χ. FH/TDMA)



- 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



- 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)

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



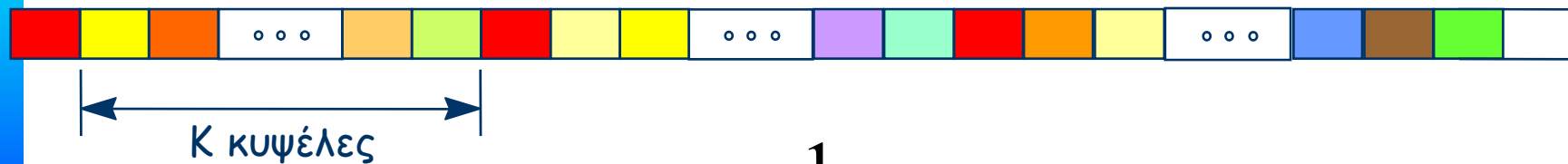
Παράδειγμα 5.2

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.

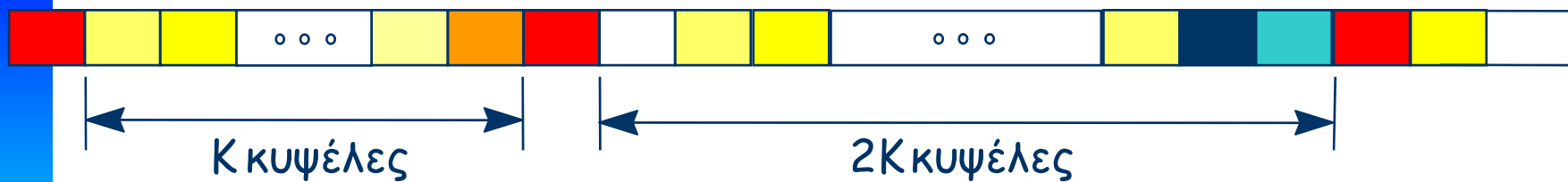
Πλήρως αποκεντρωμένη DCA



Παράδειγμα 5.2



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



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

Υβριδική κατανομή διαύλων



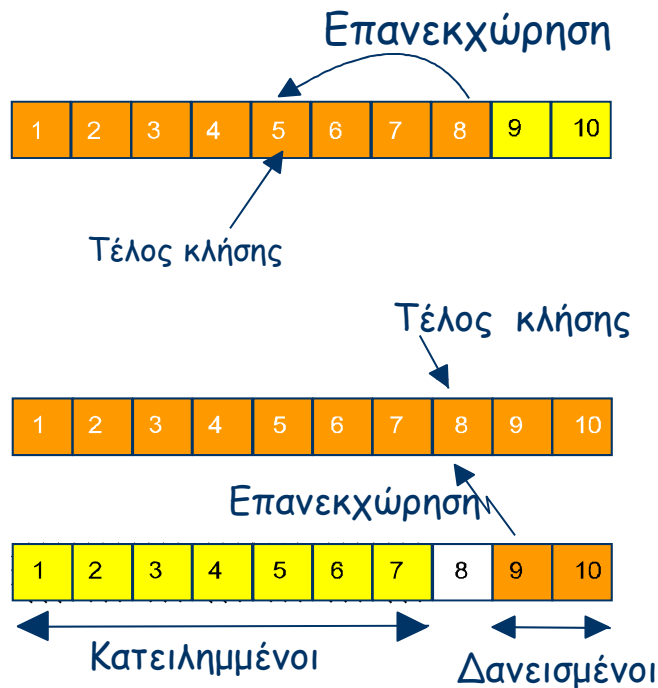
- Μίγμα FCA και DCA
- Ο συνολικός αριθμός διαύλων διαιρείται στο σταθερό και στο δυναμικό σύνολο
- Η εκχώρηση διαύλου από το δυναμικό σύνολο ακολουθεί οποιαδήποτε από τις στρατηγικές DCA
- Παράμετρος επίδοσης είναι ο λόγος σταθερών προς τους δυναμικούς διαύλους

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 με διάταξη διαύλων και επανεκχώρηση



Δίαυλοι της θεωρούμενης κυψέλης

Κατειλημμένοι δίαυλοι της θεωρούμενης κυψέλης

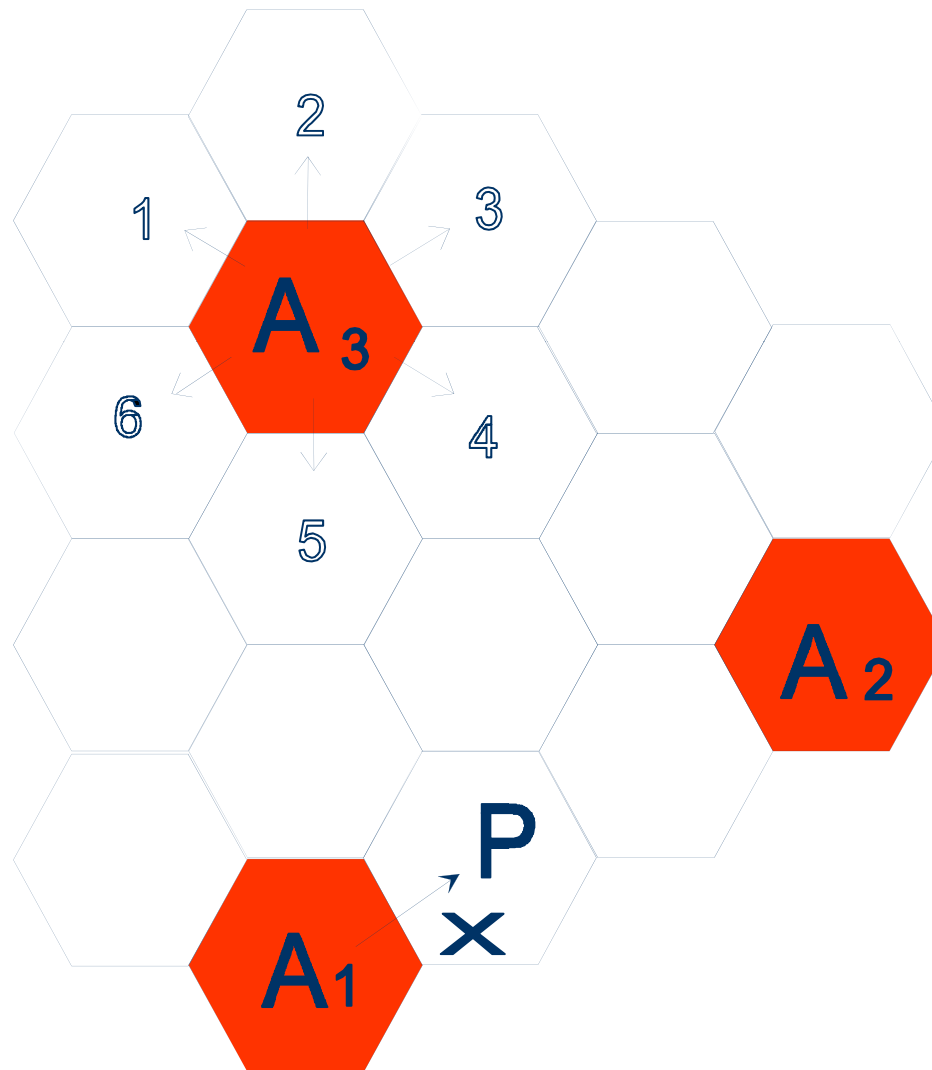
Δίαυλοι γειτονικής κυψέλης

Κατειλημμένοι δίαυλοι της θεωρούμενης κυψέλης

Δίαυλοι γειτονικής κυψέλης

Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Δανεισμός με κατευθυντικό κλείδωμα



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Αλγόριθμοι δανεισμού

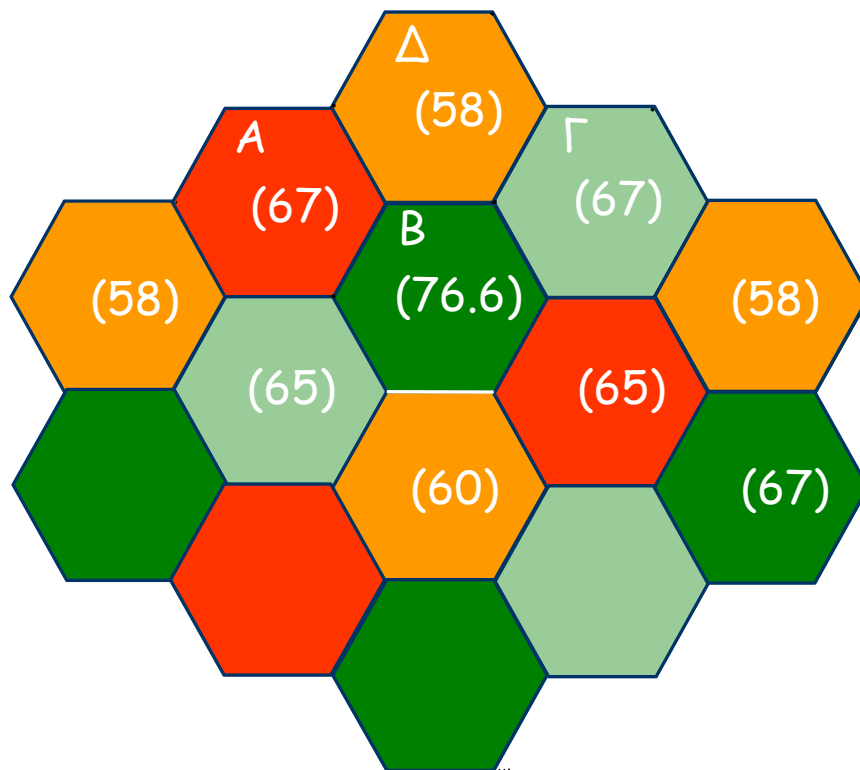


- Πολύπλοκη διαχείριση του συστήματος
 - Απαιτείται κατανομημένη διαχείριση του συστήματος
- Αυξημένο φορτίο σηματοδότησης
- Διάδοση του δανεισμού

Αλγόριθμοι δανεισμού



Παράδειγμα 5.3



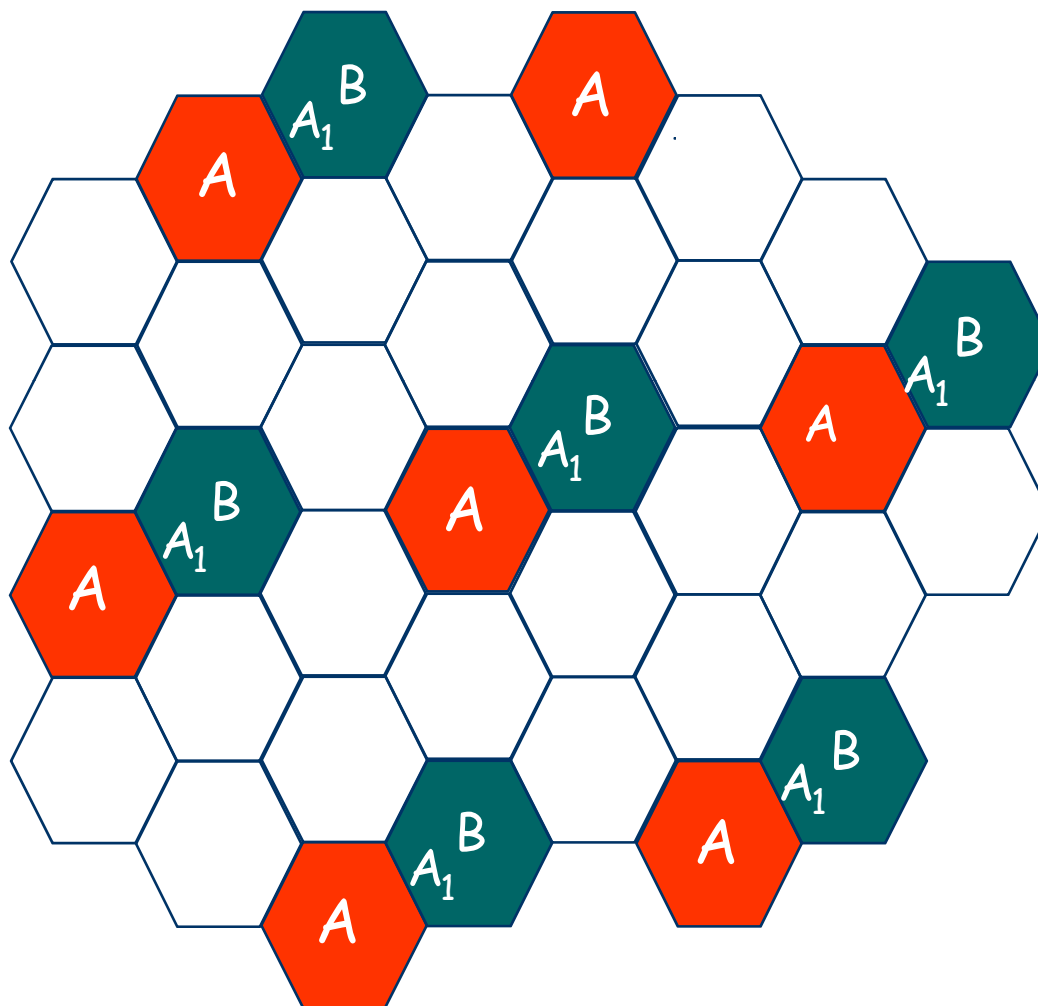
$$C_{ολ} = 332$$

$$K = 4$$

$$GOS \leq 1\%$$

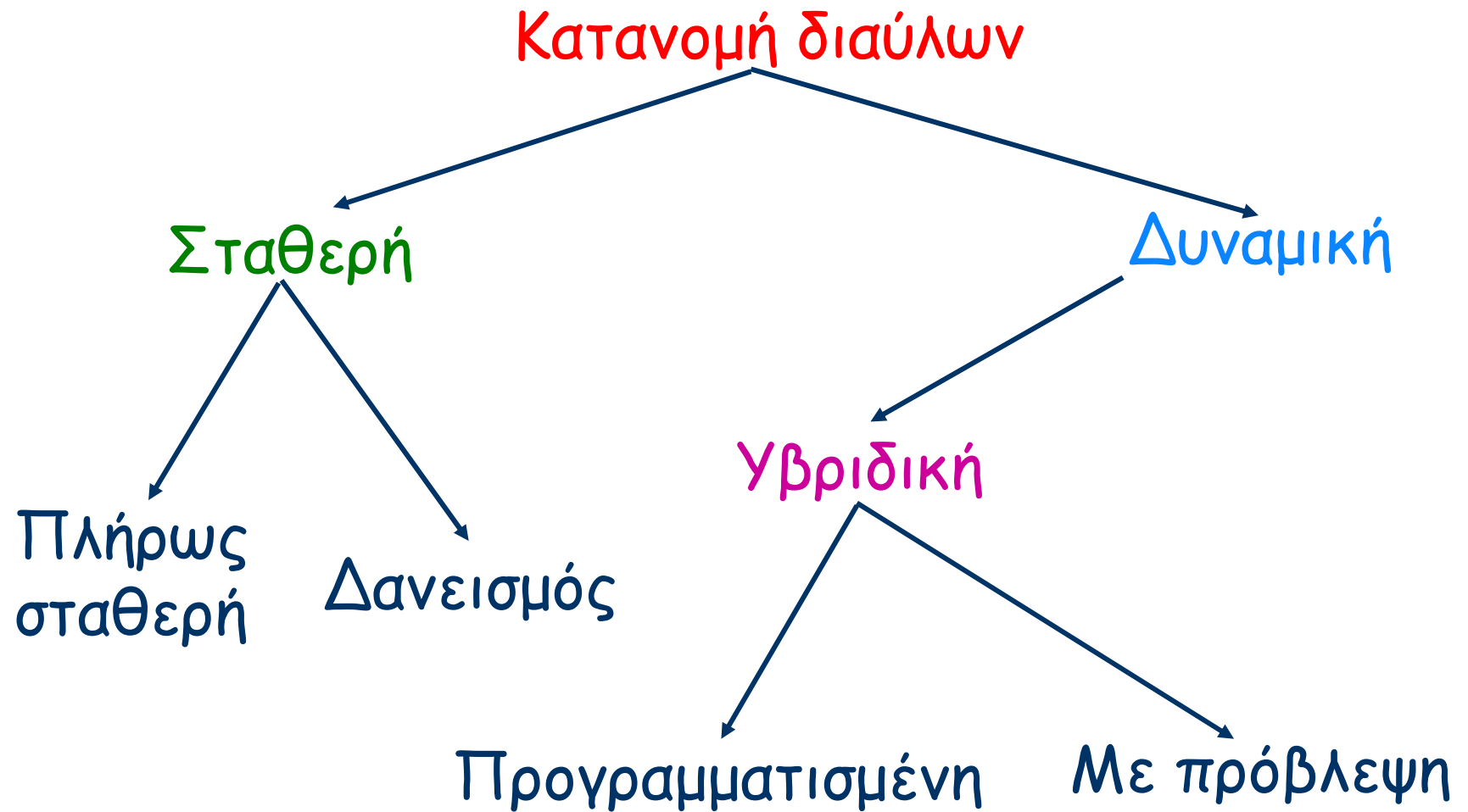
Δανεισμός με κλείδωμα

Αλγόριθμος δανεισμού χωρίς κλείδωμα



Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Ανακεφαλαίωση κατανομής διαύλων



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

Λύση 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

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.

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

Αμφιδρόμηση



FDD



TDD

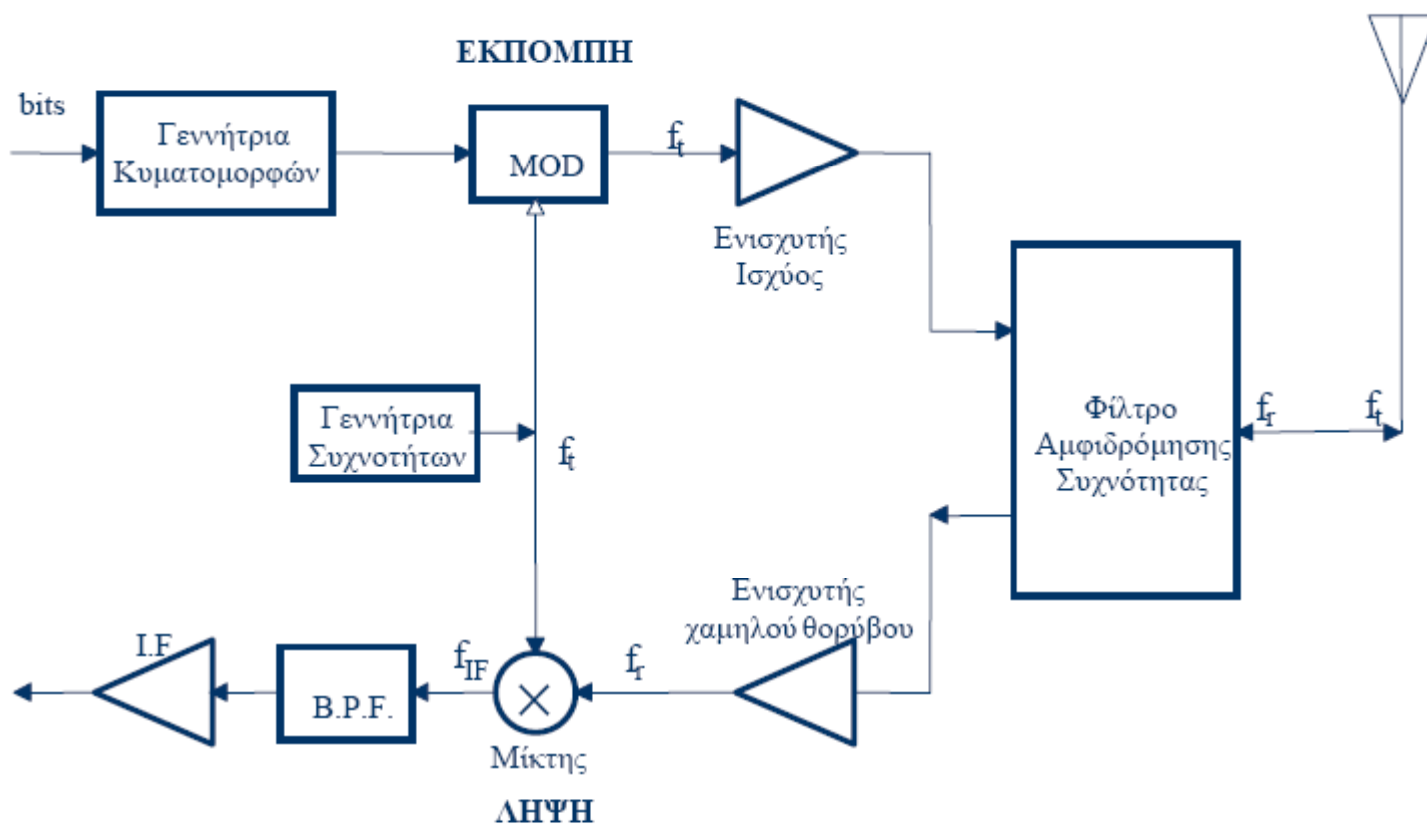


Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

FDD



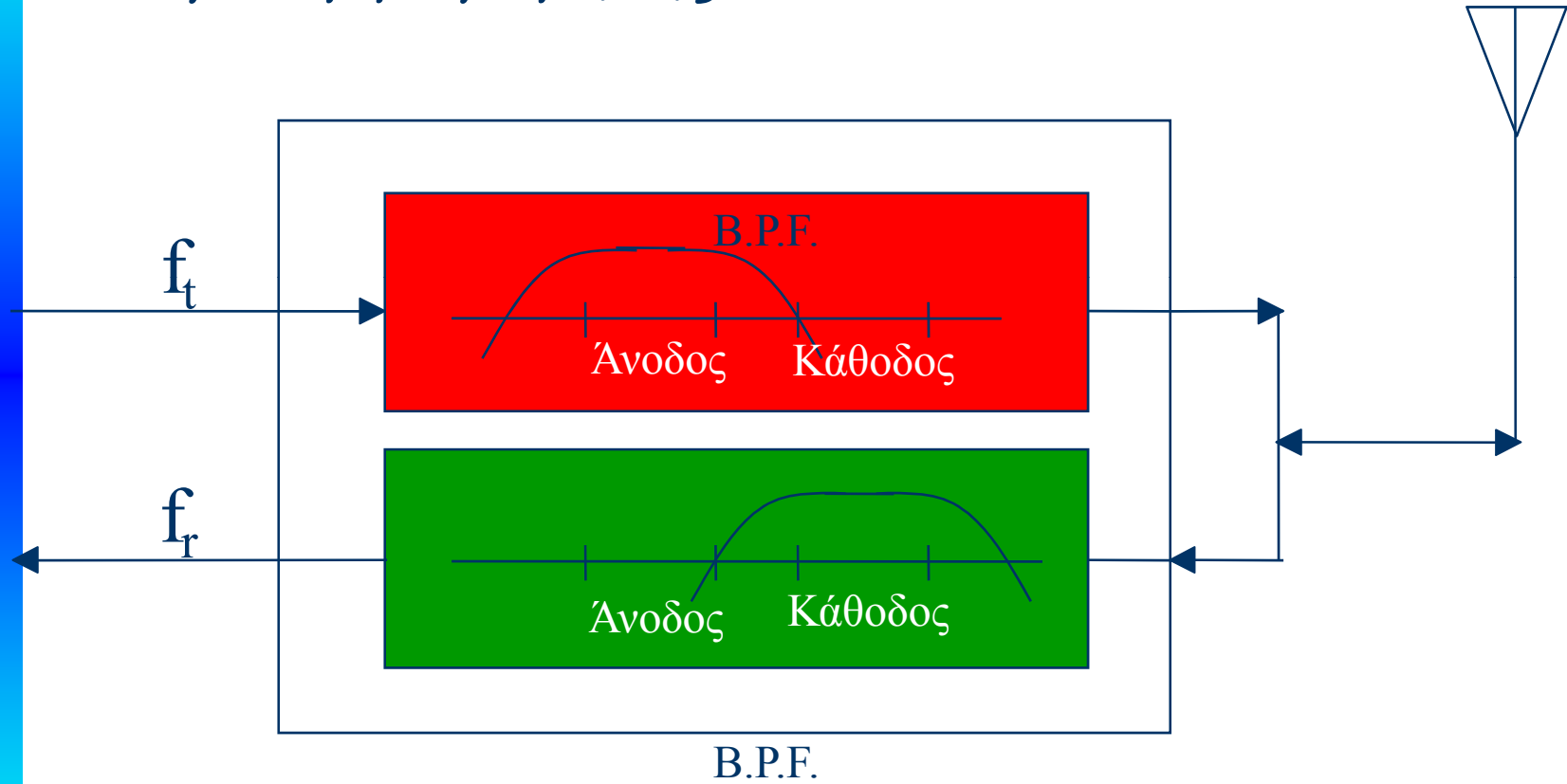
Αρχιτεκτονική πομποδέκτη



FDD



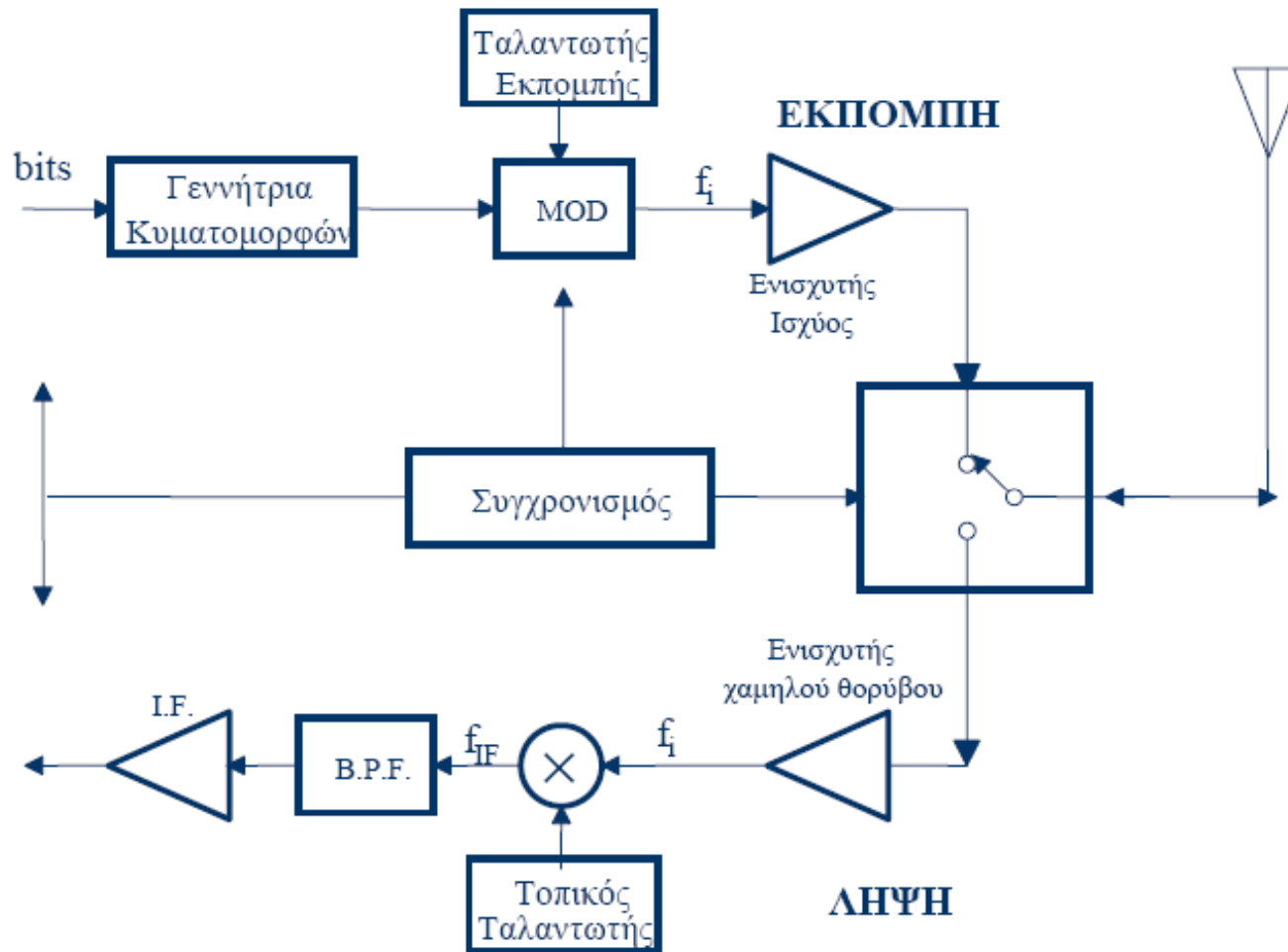
Φίλτρο αμφιδρόμησης



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



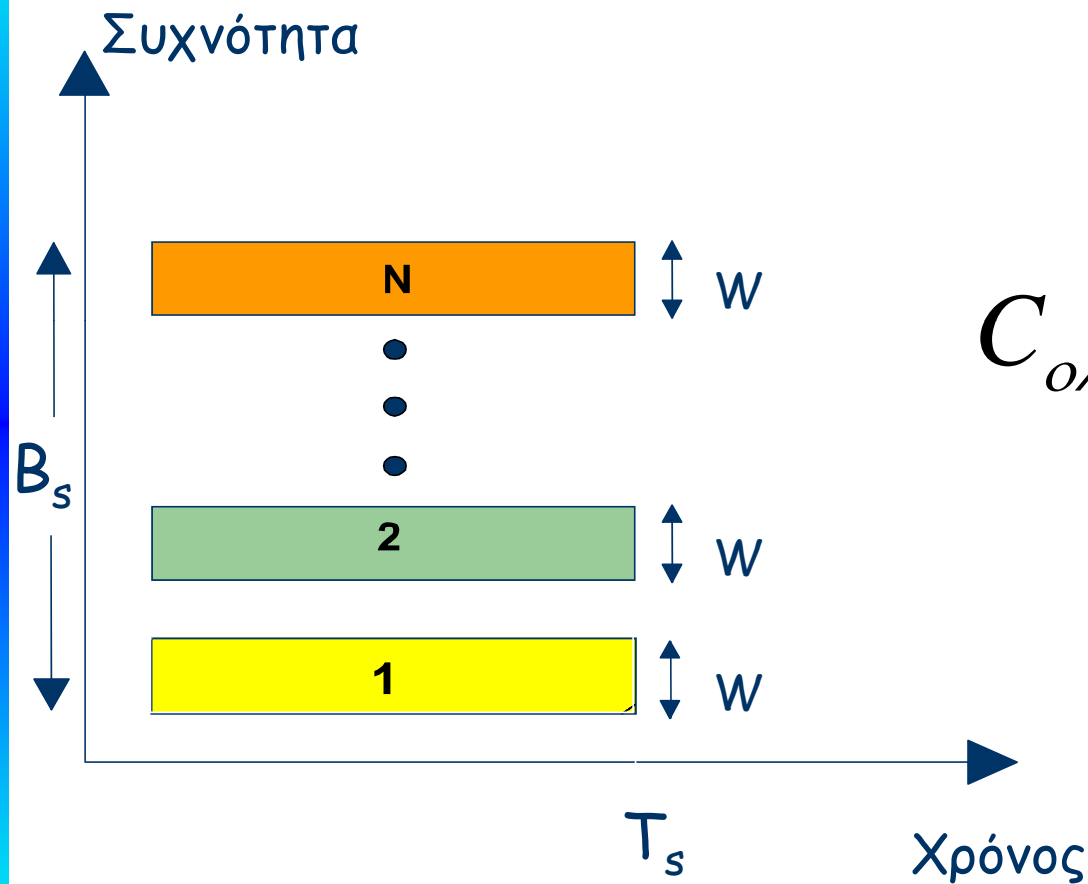
Κυψελωτό σύστημα	Τεχνική πολλαπλής πρόσβασης
Advanced Mobile Phone System (AMPS)	FDMA/FDD
Global System for Mobile (GSM)	TDMA/FDD
U.S. Digital Cellular (USDC)	TDMA/FDD
Japanese Digital Cellular (JDC)	TDMA/FDD
Cordless Telephone 2 (CT2)	FDMA/TDD
Digital European Cordless Telephone (DECT)	TDMA/TDD
U.S.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

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

FDMA



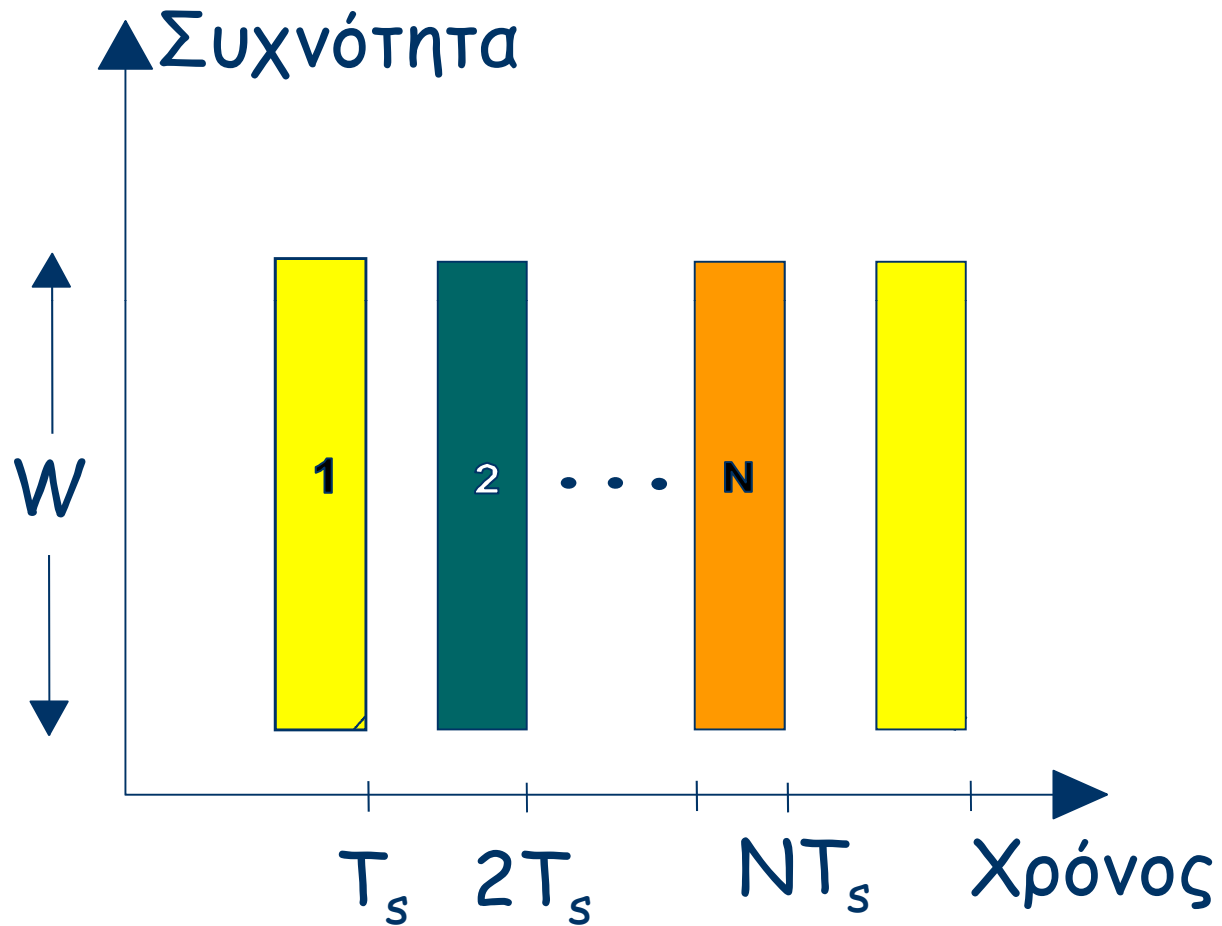
$$C_{ολ} = \frac{B_s - 2B_G}{W}$$

TDMA

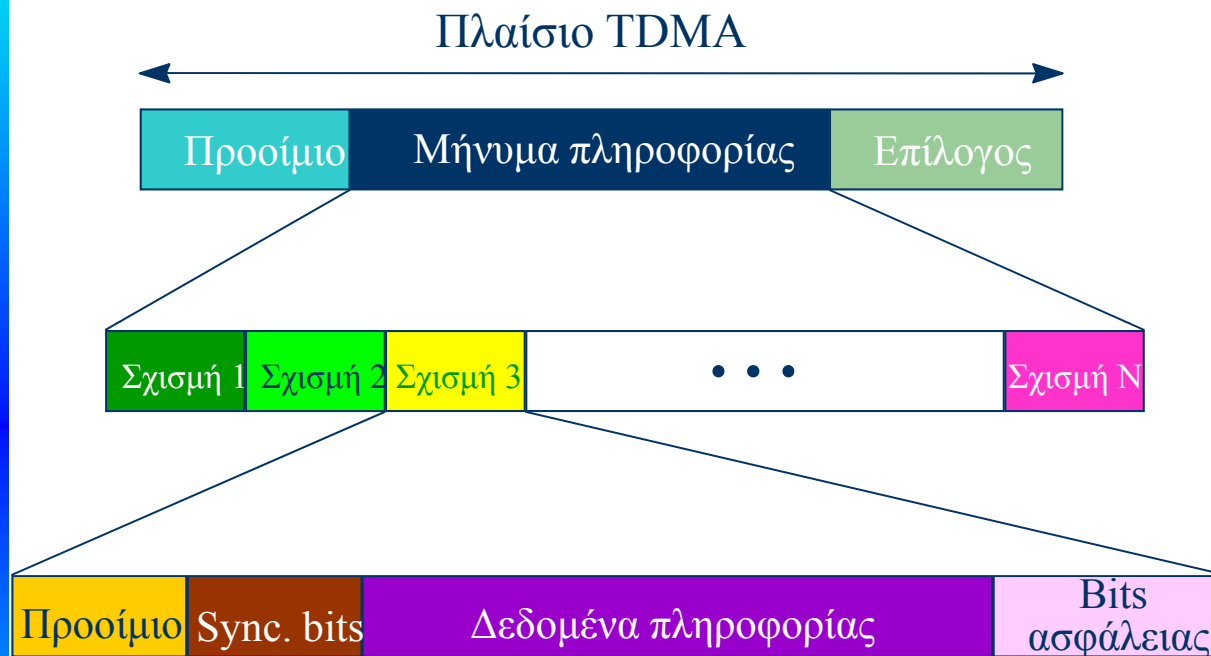


- Όλοι οι σταθμοί μεταδίδουν δεδομένα στην ίδια συχνότητα, αλλά σε διαφορετικούς χρόνους
- Ανάγκη συγχρονισμού
- Πλεονεκτήματα
 - μπορεί να δοθεί διαφορετικό εύρος ζώνης σε διαφορετικούς χρήστες
 - τα κινητά μπορεί να χρησιμοποιούν τους νεκρούς χρόνους για να καθορίσουν τον καλύτερο σταθμό βάσης
 - μπορεί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

TDMA



Δομή πλαισίου TDMA



$$b_f = T_f R$$

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

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

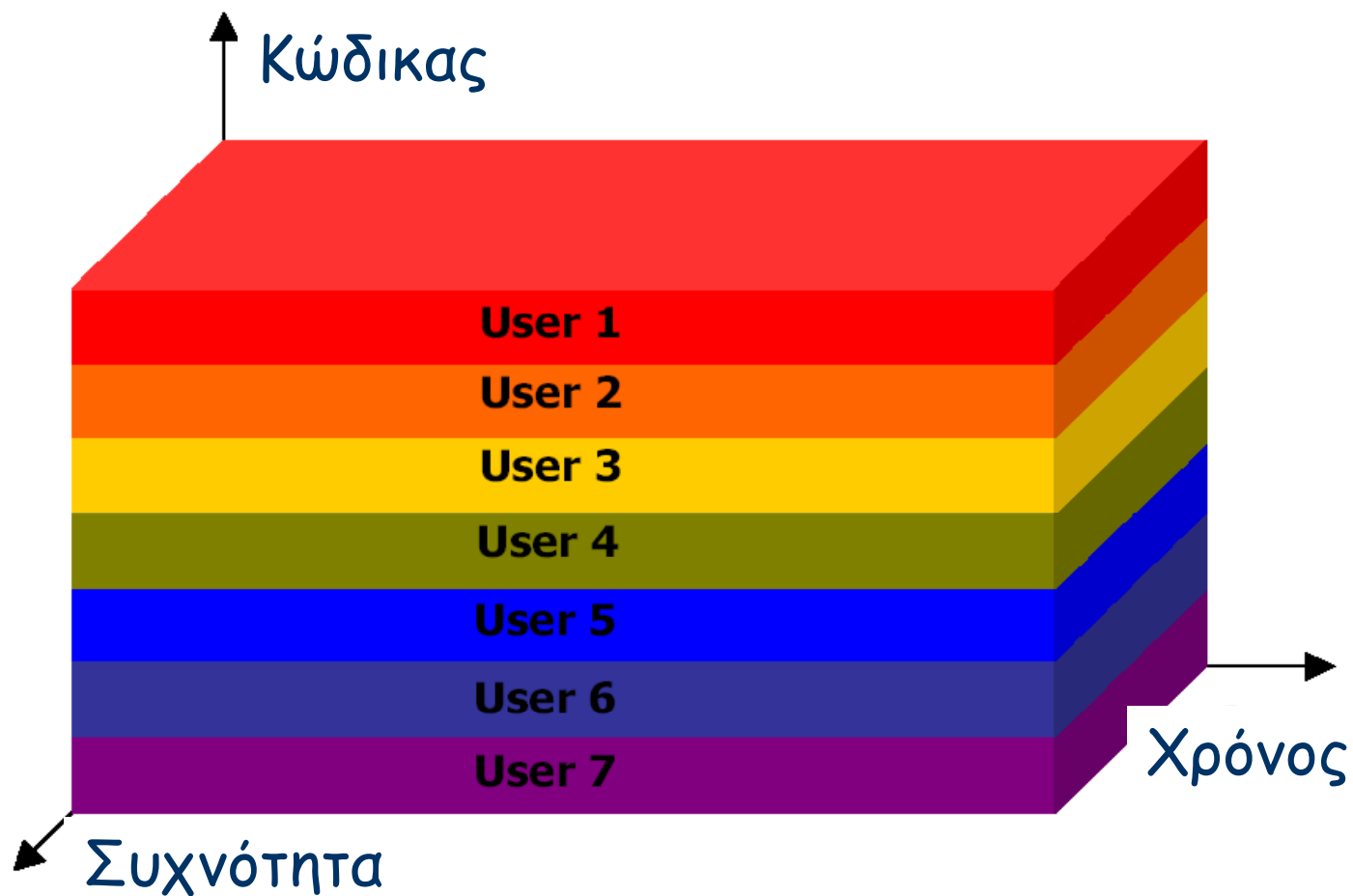


Παράδειγμα 5.4

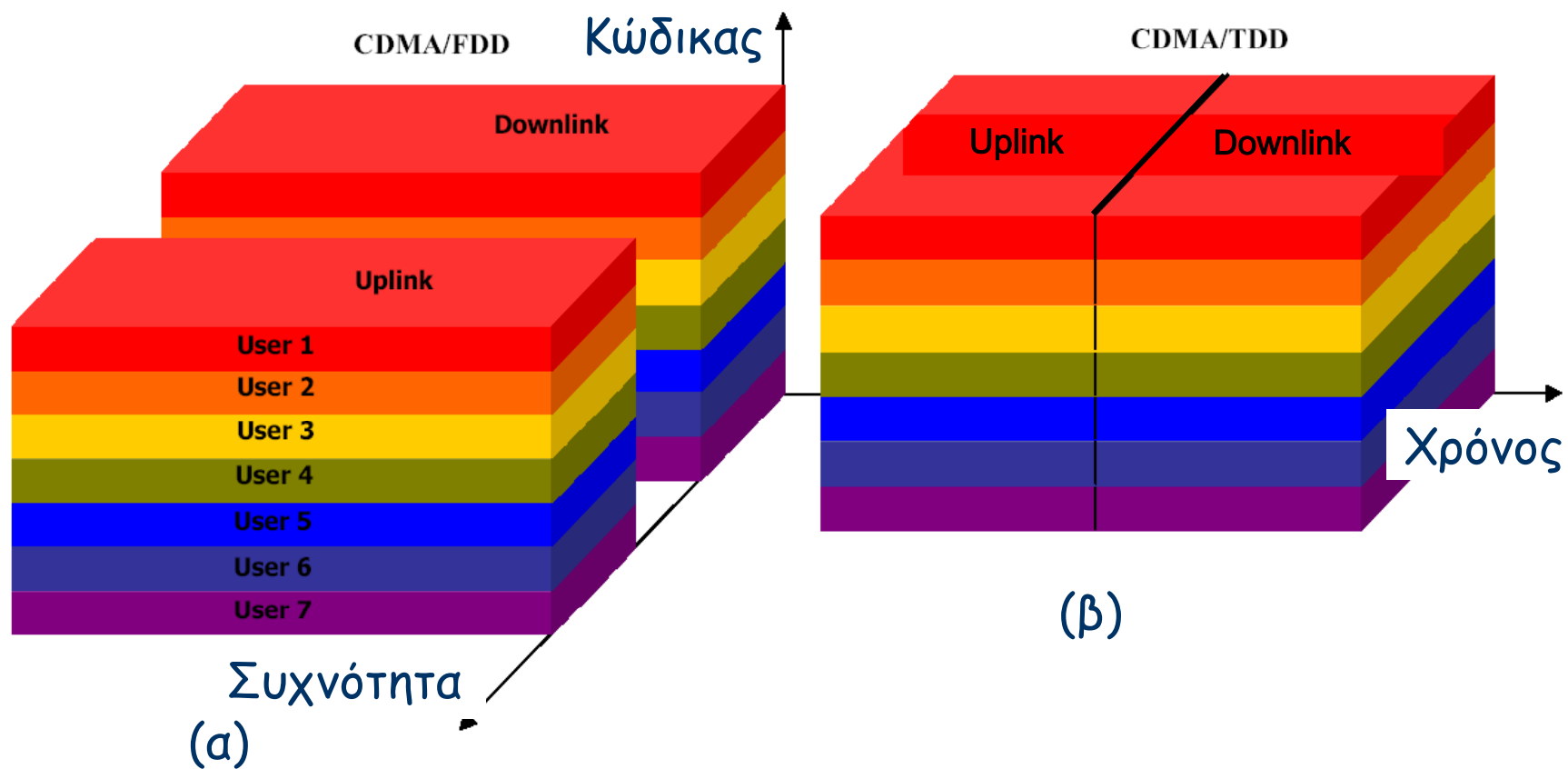
GSM, TDMA με 8 slots και κάθε slot περιέχει 156.25 bit. Κάθε slot αποτελείται από 6 bit προοιμίου, 26 bit συγχρονισμού, 8.25 bit χάριτος και δύο ριπές δεδομένων κίνησης των 58 bit. Τα δεδομένα στον δίαυλο μεταδίδονται με ρυθμό 270.833 kbps. Να βρεθούν:

α) T_{bit} , β) T_{slot} γ) T_{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.

CDMA



CDMA



CDMA



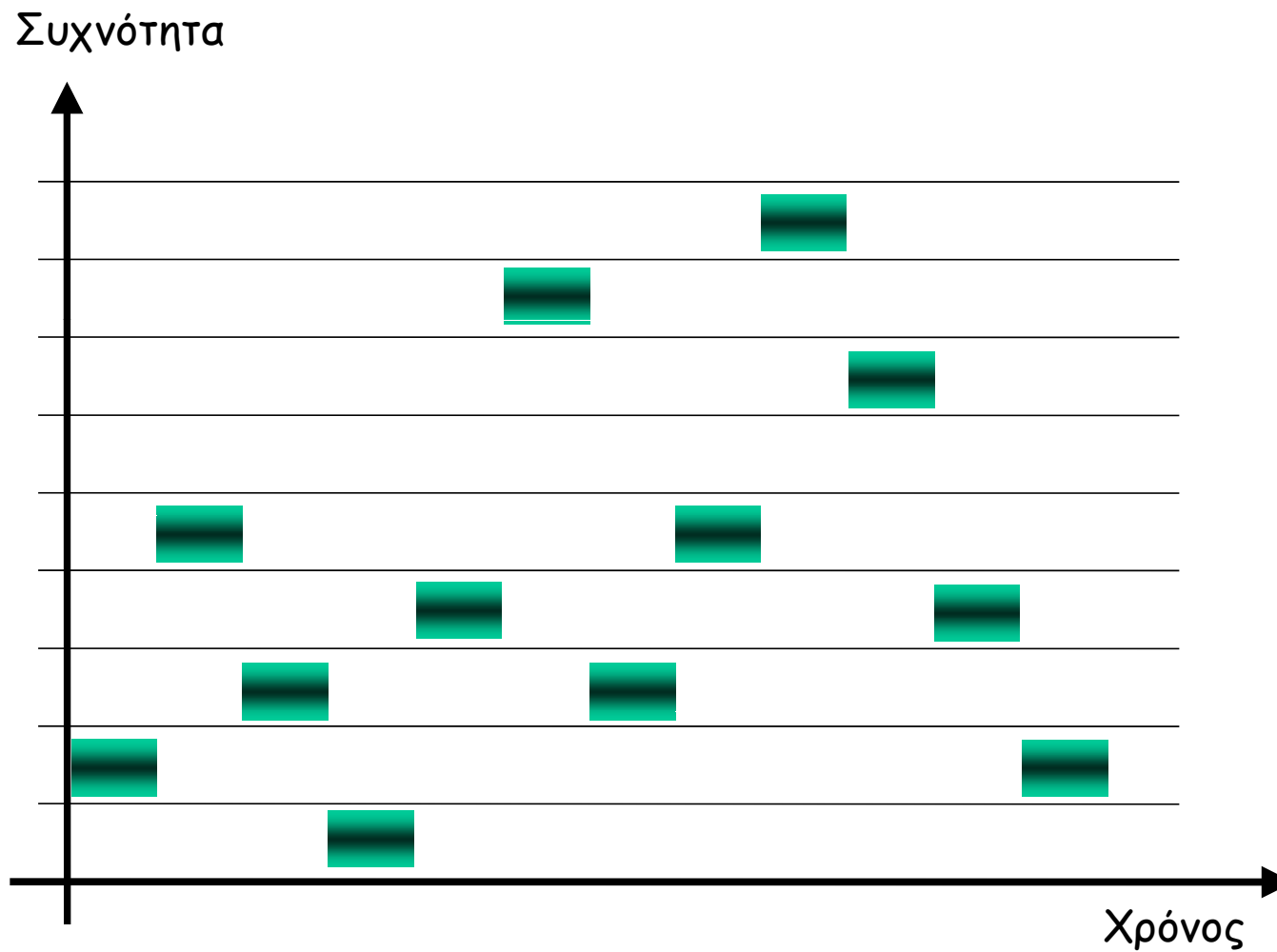
- CDMA ευθείας ακολουθίας (Direct Sequence CDMA, DS/CDMA)
- CDMA με μεταπήδηση συχνότητας (Frequency Hopping CDMA, FH/CDMA)
- CDMA με μεταπήδηση χρόνου (Time Hopping CDMA, TH/CDMA)
- Υβριδικά συστήματα CDMA

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

FH/CDMA



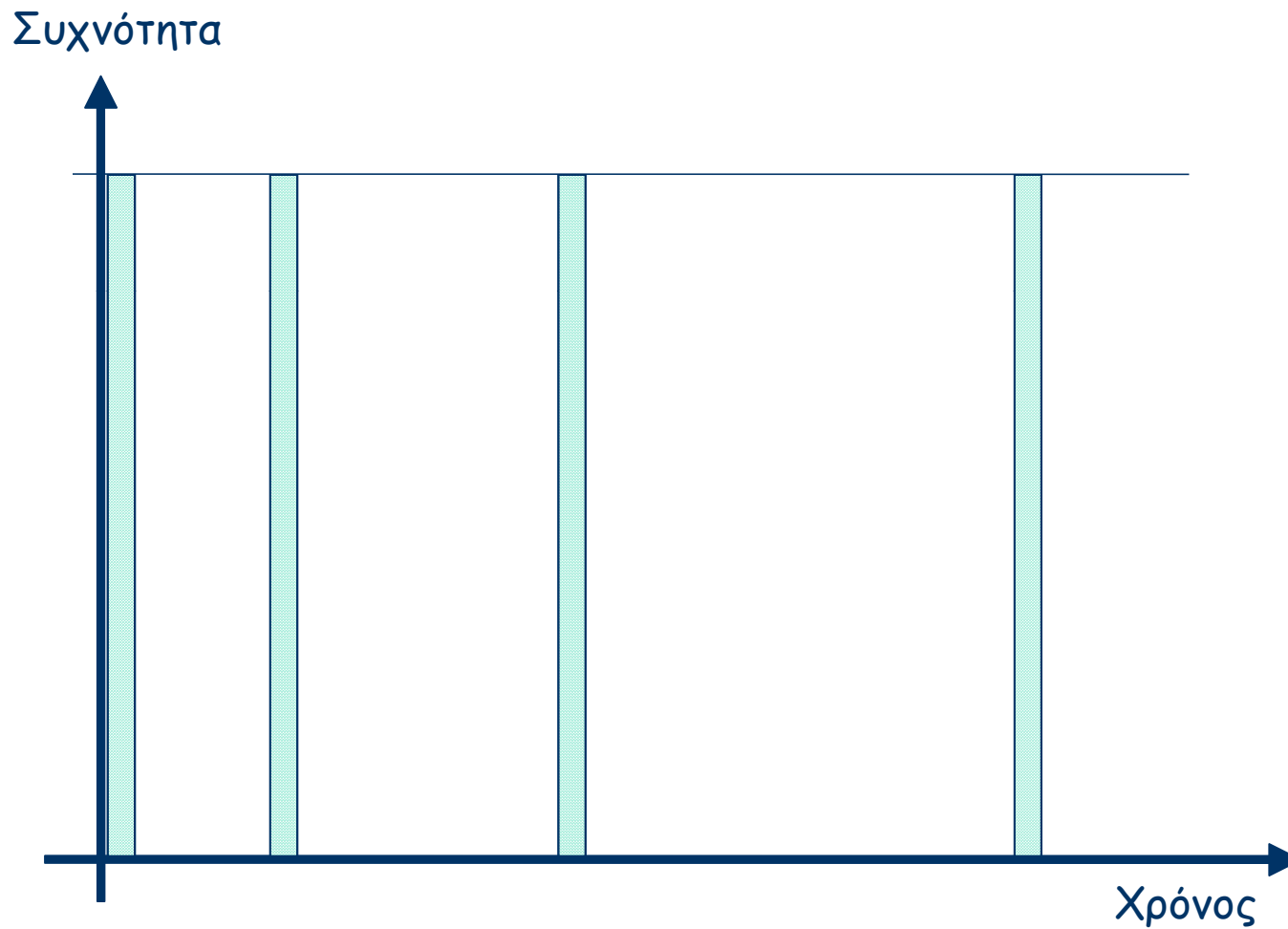
Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

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

ΤΗ/CDMA



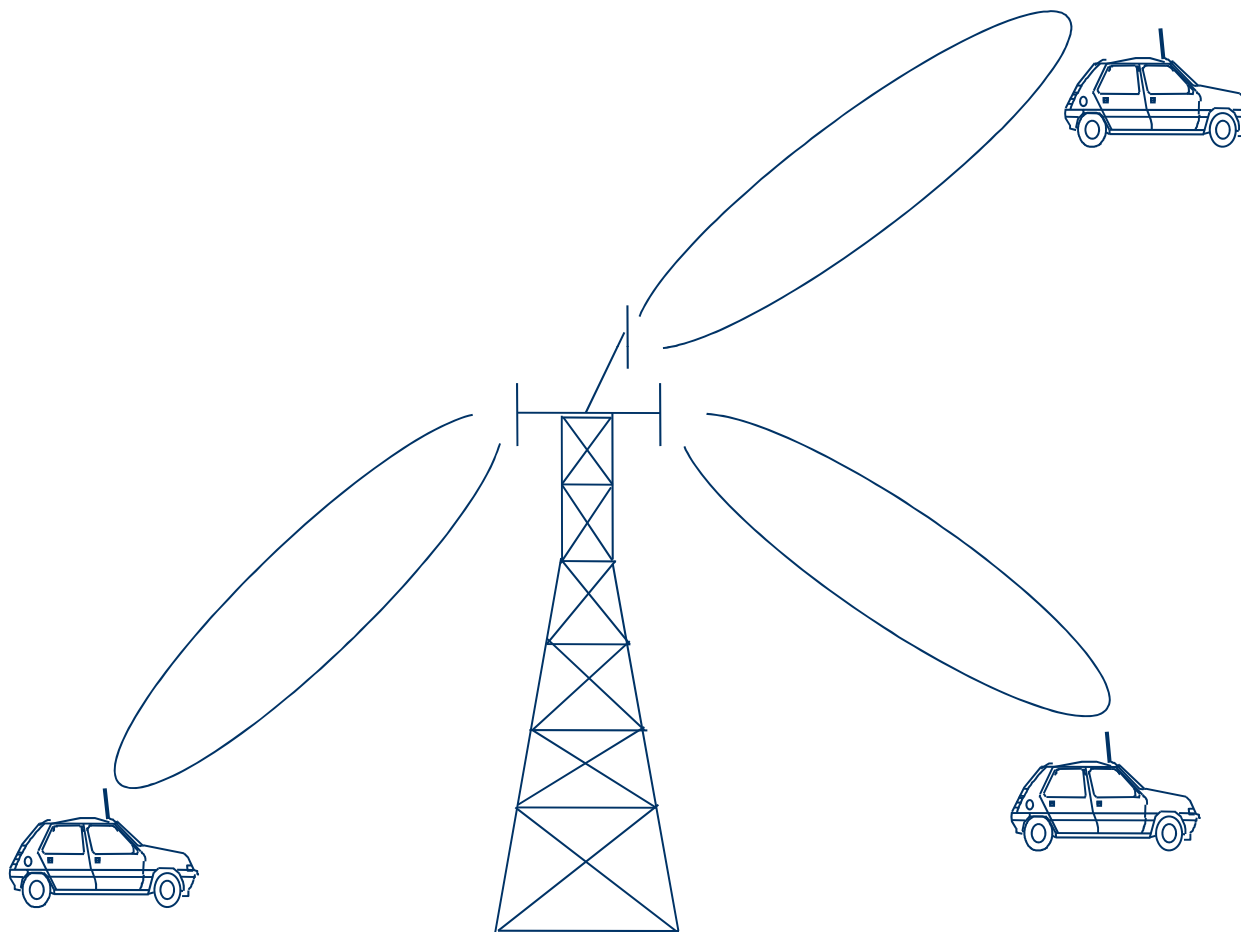
Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

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

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



Παράδειγμα 5.6

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

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

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

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

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

Ασύρματη χωρητικότητα



Παράδειγμα 5.6

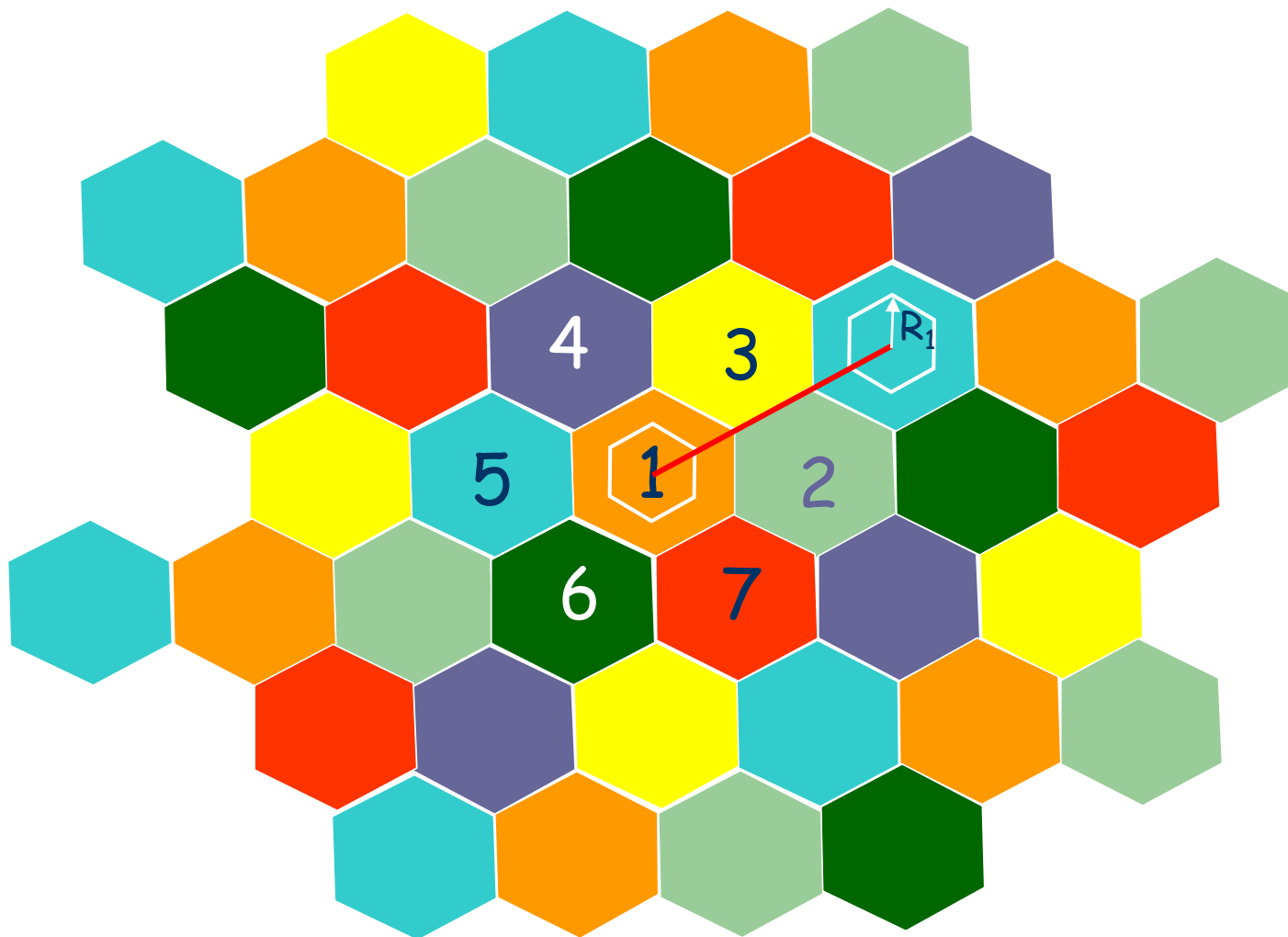
$$A: (S/I)_{i\sigma} = 18 + 20 \log \frac{20}{20} = 18 \text{ dB}$$

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

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

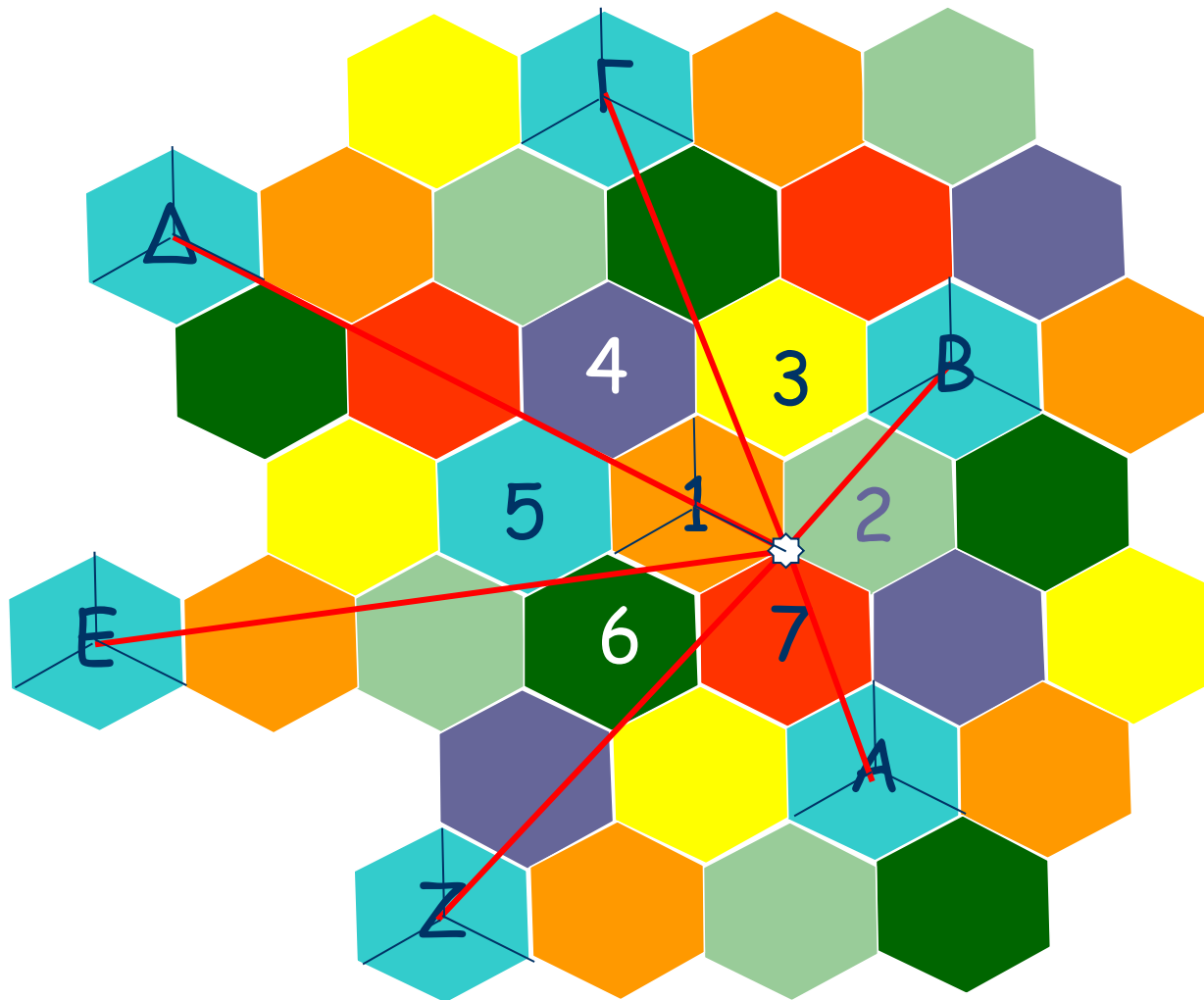
$$\Delta: (S/I)_{i\sigma} = 18 + 20 \log \frac{20}{6} = 28.46 \text{ dB}$$

Άσκηση 5.1



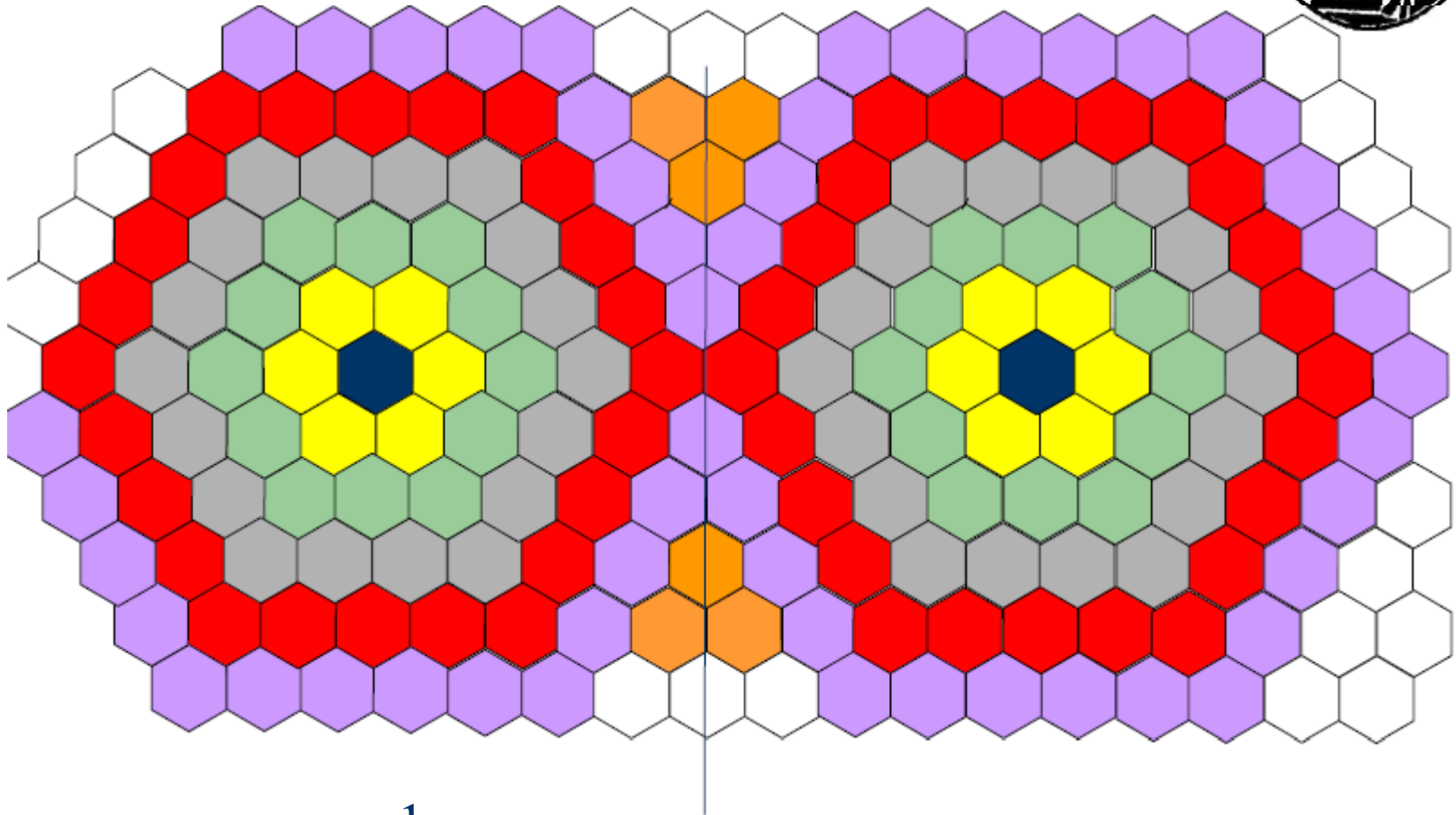
Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Άσκηση 5.2



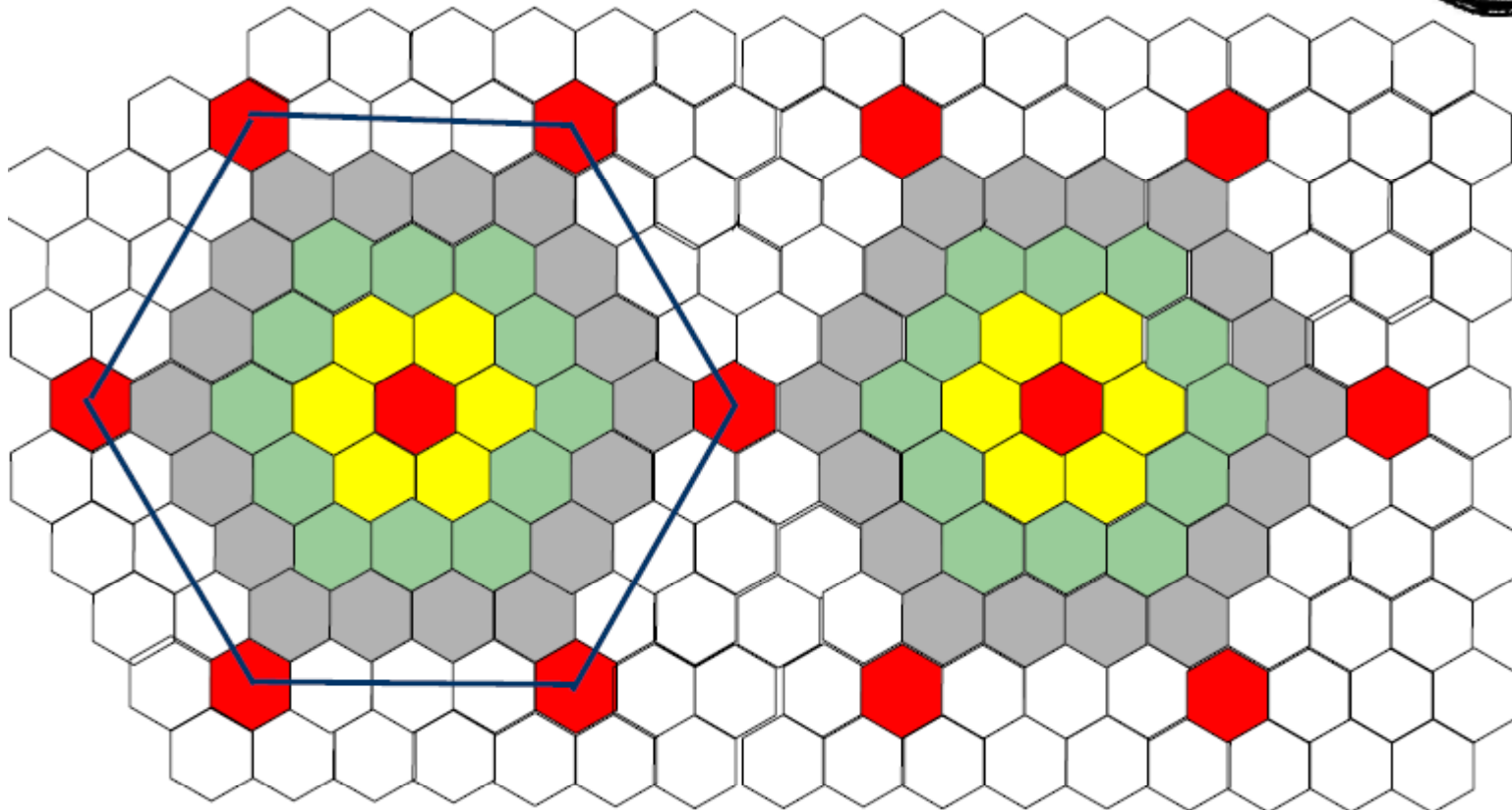
Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών

Άσκηση 5.3



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

Άσκηση 5.3

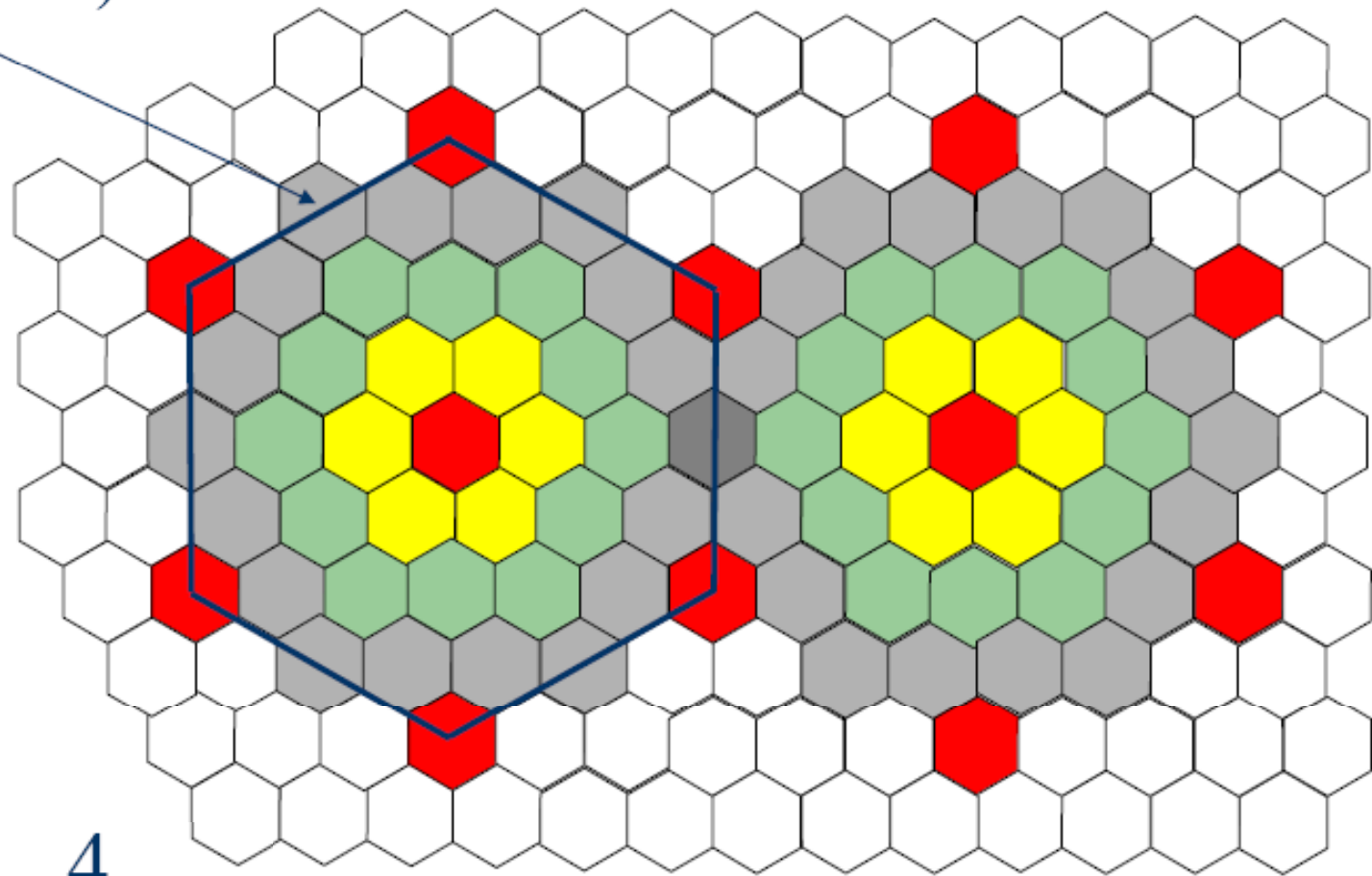


$$C_{\max} = \frac{3}{1 + 3(N + 1)^2}$$

Άσκηση 5.3



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



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

Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών