



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ενότητα 5 : Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης – Ασύρματη μετάδοση – Χωρητικότητα συστημάτων

Δημοσθένης Βουγιούκας
Επίκουρος Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Περίληψη

4

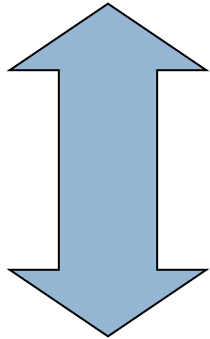
- Σχήματα κατανομής διαύλων
 - ▣ Σταθερή κατανομή
 - ▣ Δυναμική κατανομή
 - ▣ Υβριδική κατανομή
- Δανεισμός διαύλων
- Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης
 - ▣ FDMA
 - ▣ TDMA
 - ▣ CDMA
- Ασύρματη χωρητικότητα κυψελωτών συστημάτων

Εισαγωγή

5

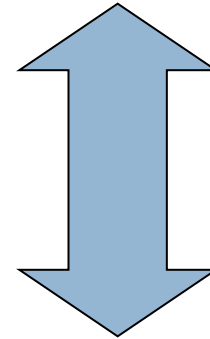
Κατανομή διαύλων

Εκχώρηση



Απόδοση φάσματος

Πολλαπλή πρόσβαση



Αποτελεσματική
χρησιμοποίηση του
φάσματος

Κατανομή διαύλων

6

- Διαίρεση φάσματος σε διαύλους που δεν παρεμβάλλουν μεταξύ τους
- Η κατανομή των διαύλων γίνεται έτσι, ώστε να επιτυγχάνεται υψηλότερη απόδοση φάσματος

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

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

Διαίρεση φάσματος σε διαύλους

7

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

Τεχνικές Κατανομής Καναλιών

- Για να είναι ευχαριστημένοι οι χρήστες, πρέπει να τους δίδεται ένα κανάλι μόλις το ζητήσουν.
- Μια αποδεκτή πιθανότητα μη αποδοχής κλήσης (call blocking, grade of service - GoS) είναι 2%.
- Η GoS μεταβάλλεται με τον χρόνο και την τοποθεσία.
- Ο στόχος είναι να διατηρηθεί ομοιόμορφη GoS σε όλο το σύστημα.
- Υπάρχουν τρεις τύποι αλγόριθμων για διάθεση καναλιών:
 - Σταθερή διάθεση καναλιών (Fixed Channel Allocation, FCA)
 - Δυναμική διάθεση καναλιών (Dynamic Channel Allocation, DCA)
 - Υβριδική κατανομή (Hybrid Channel Allocation, HCA)

Σταθερή κατανομή

- Το διαθέσιμο φάσμα έχει εύρος W Hz και κάθε κανάλι καταλαμβάνει εύρος B Hz. Ο συνολικός αριθμός των καναλιών είναι:

$$N_c = W/B$$

- Για ομάδα μεγέθους K , ο αριθμός των καναλιών ανά κυψέλη είναι:

$$C_c = N_c/K$$

- Για ελαχιστοποίηση της παρεμβολής ACI (*adjacent channel interference*), γειτονικά σε συχνότητα κανάλια διατίθενται σε διαφορετικές κυψέλες.
- Η FCA είναι η βέλτιστη μέθοδος κατανομής καναλιών για ομοιόμορφη κίνηση σε όλες τις κυψέλες.
- Μια μη ομοιόμορφη FCA στρατηγική, είναι ακόμα πιο αποτελεσματική αν είναι δυνατόν να διαπιστωθεί ο βαθμός εξυπηρέτησης (GoS) σε πραγματικό χρόνο και να ρυθμιστεί η διάθεση των καναλιών σύμφωνα μ' αυτόν.
- Αυτό απαιτεί την χρησιμοποίηση πολύπλοκου αλγόριθμου κατανομής καναλιών.

Σταθερή κατανομή

10

- Ο ίδιος αριθμός διαύλων σε κάθε κυψέλη
- Είναι αποδοτική, αν η κίνηση είναι ομοιόμορφη
 - ▣ Ολικό blocking = blocking ανά κυψέλη
- Μη ομοιόμορφη κίνηση
 - ▣ Υψηλό blocking σε μερικές κυψέλες
 - ▣ Άνεση σε άλλες κυψέλες

Σταθερή κατανομή

11

- 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)

Δυναμική κατανομή

12

- Όλα τα κανάλια μπαίνουν σε μια κοινή δεξαμενή, και διατίθενται στις νέες κλήσεις σύμφωνα με ένα σχέδιο επαναχρησιμοποίησης. Το κανάλι επιστρέφει στην δεξαμενή μόλις περατωθεί η κλήση.
- 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

Δυναμική κατανομή

13

- 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 διαφοροποιεί τα διάφορα σχήματα DCA
- Η συνάρτηση κόστους εξαρτάται από:
 - Πιθανότητα αποκλεισμού στην περιοχή της κυψέλης
 - Απόσταση επαναχρησιμοποίησης
 - Μετρήσεις στους ραδιοδιαύλους των επιμέρους χρηστών
 - Μέση πιθανότητα αποκλεισμού του συστήματος

Δυναμική κατανομή

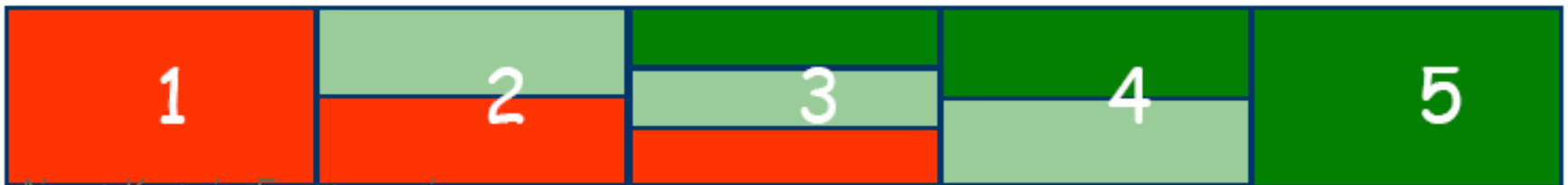
14

- 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 μεταξύ των σταθμών βάσης

Κεντρική DCA

15

- **Μέγιστη ομαδοποίηση (Maximum Packing, MP)**
Μια κλήση (ή μεταπομπή) αποκλείεται μόνο όταν δεν μπορεί να γίνει ανακατανομή των κλήσεων σε όλους τους διαύλους του συστήματος, ώστε να εξυπηρετηθεί.
 - ▣ Κάθε ομάδα επαναχρησιμοποίησης διαφέρει από την άλλη κατά μία τουλάχιστον κυψέλη
 - ▣ Κάθε κυψέλη περιέχει μία τουλάχιστον ομάδα
- Ομάδες Επαναχρησιμοποίησης για $K=3$
 - ▣ $G_1=(1,2,3)$, $G_2=(2,3,4)$, $G_3=(3,4,5)$



Κεντρική DCA

16

□ Αλγόριθμος MAXMIN

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

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

$$\max_{j \in C} \min_{i \in S} \{S / I(d_i)\}$$

δίαυλοι

κινητά

Αποκεντρωμένη DCA

17

- 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

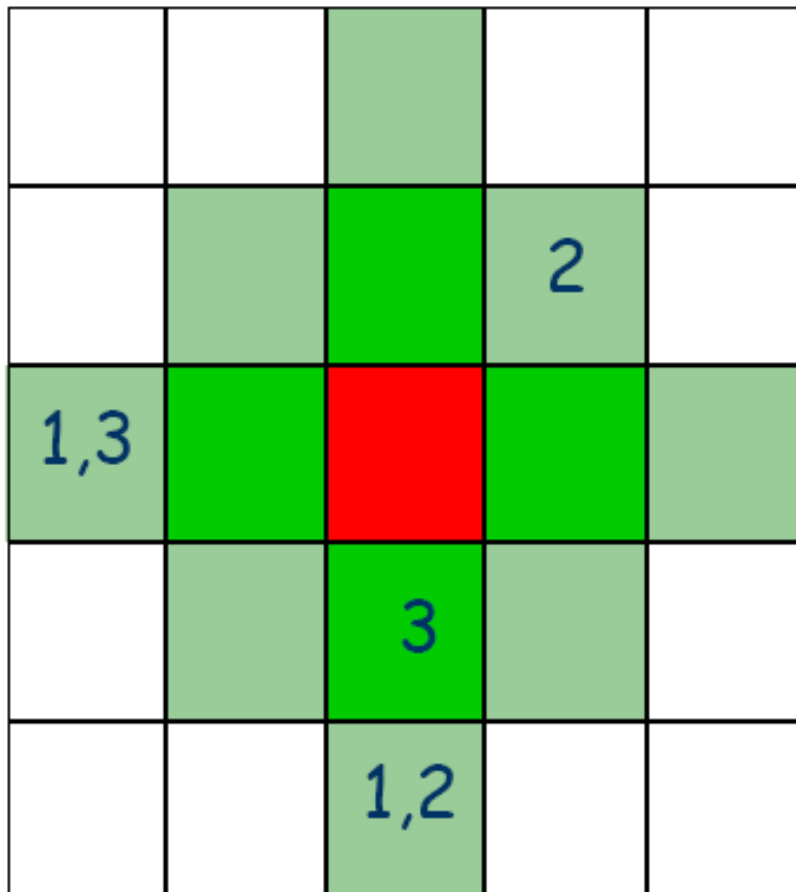
18

- Δυναμική απόκτηση πόρων
 - Συνάρτηση ανταμοιβής/κόστους
 - Ανταμοιβή
 - Σχετίζεται με την απελευθέρωση διαύλου
 - Είναι ο αριθμός των κυψελών στη γειτονιά παρεμβολής του ΣΒ που θα μπορούν να καταλάβουν τον υπόψη δίαυλο μετά την απελευθέρωσή του.
 - Κόστος
 - Σχετίζεται με την εκχώρηση διαύλου
 - Είναι ο αριθμός των κυψελών στη γειτονιά παρεμβολής του ΣΒ που θα στερηθούν τη χρήση του υπόψη διαύλου.

Αποκεντρωμένη DCA

19

□ Δυναμική απόκτηση πόρων



Συνάρτηση κόστους

Ραδιοδίαυλος 1: 2




Ραδιοδίαυλος 2: 1

Ραδιοδίαυλος 3: Αποκλείεται

Συνάρτηση ανταμοιβής

Ραδιοδίαυλος 1: 2

Ραδιοδίαυλος 2: 1

-  Δοθείσα κυψέλη
-  Γειτονιά παρεμβολής
-  Γειτονιά DRA

Πλήρως αποκεντρωμένη DCA

20

- Αυτοπροσαρμοζόμενη κατανομή διαύλων
- Ο αλγόριθμος εκχώρησης εκτελείται κλήση προς κλήση
 - ▣ Διαχωρισμός διαύλων (Channel Segregation)
 - Βασίζονται σε κριτήρια περιορισμού παρεμβολής (TDMA) – Συνάρτηση προτεραιότητας
 - ▣ Διαχωρισμός διαύλων με μεταβλητό κατώφλι
 - Χρησιμοποιεί κατατάξεις προτεραιότητας με μεταβλητό κατώφλι παρεμβολής.
 - ▣ Αλγόριθμοι ελάχιστης παρεμβολής (CT2, DECT)
 - RMI, RMIR, SMI

Πλήρως αποκεντρωμένη DCA

21

- 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

22

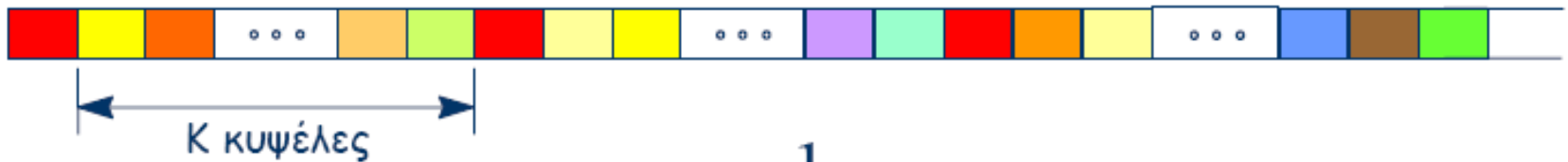
□ Παράδειγμα 5.2

Γραμμικό κυψελωτό σύστημα με πλήρως αποκεντρωμένη DCA. Ένας δίαυλος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε K διαδοχικές κυψέλες εκατέρωθεν της κυψέλης στην οποία χρησιμοποιείται. 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.

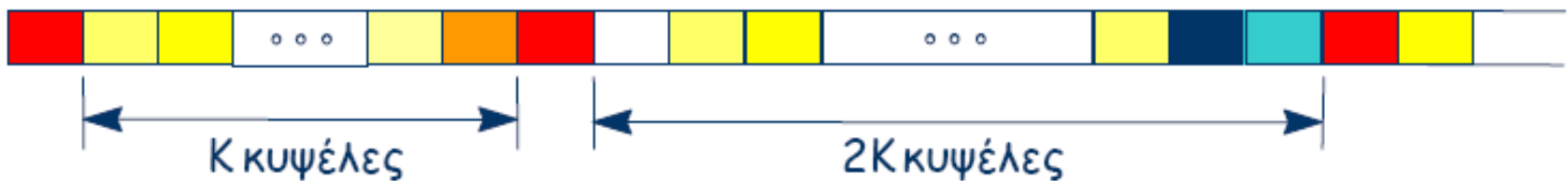
Πλήρως αποκεντρωμένη DCA

23

□ Παράδειγμα 5.2



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



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

Υβριδική κατανομή διαύλων

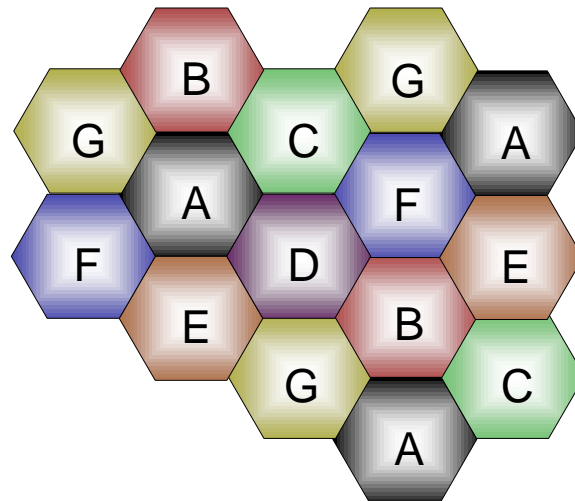
24

- 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 καναλιών

25

- Γίνεται προσωρινός δανεισμός συχνοτήτων από κυψέλες μικρής κυκλοφορίας σε κυψέλες με μεγάλη κυκλοφορία.
- Προσωρινός δανεισμός : Το κανάλι επιστρέφει μόλις περατωθεί η σχετική κλήση.
- Αν η κυψέλη D δανειστεί κανάλια από τη κυψέλη A, οι γειτονικές κυψέλες A δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτά τα κανάλια



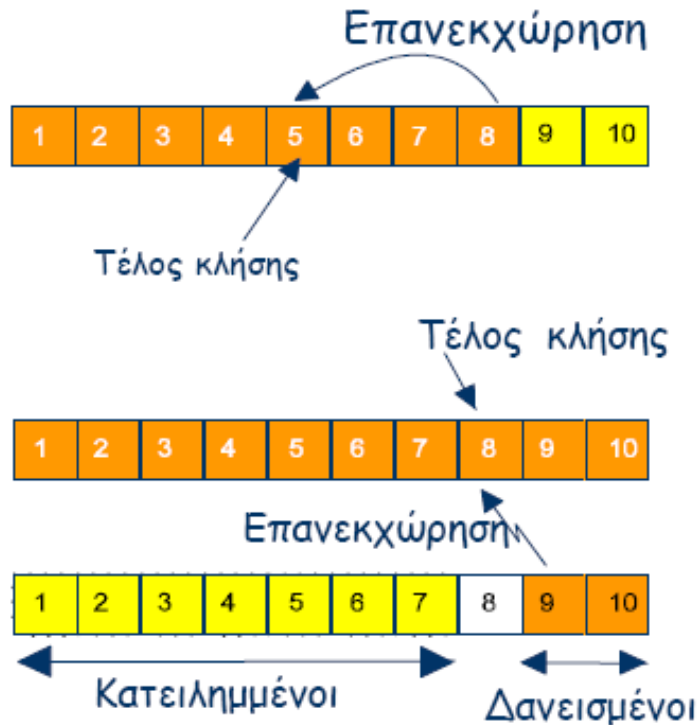
Αλγόριθμοι δανεισμού

26

- Αλγόριθμος απλού δανεισμού
 - Οι ομάδες διαύλων κατανέμονται μόνιμα στις κυψέλες με την ίδια μέθοδο όπως στην FCA. Όταν καταφθάνει μία κλήση και εάν υπάρχουν ελεύθεροι δίαυλοι, ένας από αυτούς εκχωρείται στην κλήση αυτή, ενώ αν δεν υπάρχει ελεύθερος δίαυλος, η κυψέλη δανείζεται κάποιον από τη γειτονική της, προκαλώντας τη μικρότεροι παρεμβολή.
- Αλγόριθμος δανεισμού με διάταξη διαύλων
 - Οι δίαυλοι μπορούν να εκχωρηθούν με δανεισμό, αλλά είναι διατεταγμένοι ανάλογα με την πιθανότητα δανεισμού τους.

Αλγόριθμος δανεισμού με επανεκχώρηση διαύλων

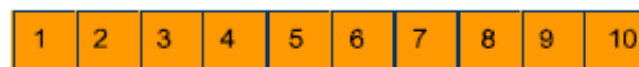
27



Δίαυλοι της θεωρούμενης κυψέλης

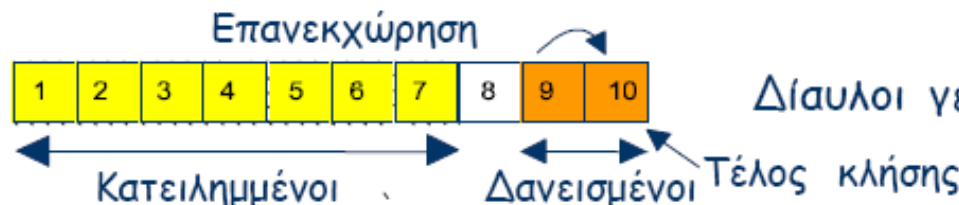
Κατειλημμένοι δίαυλοι της θεωρούμενης κυψέλης

Δίαυλοι γειτονικής κυψέλης



Κατειλημμένοι δίαυλοι της θεωρούμενης κυψέλης

Δίκτυα Κιν

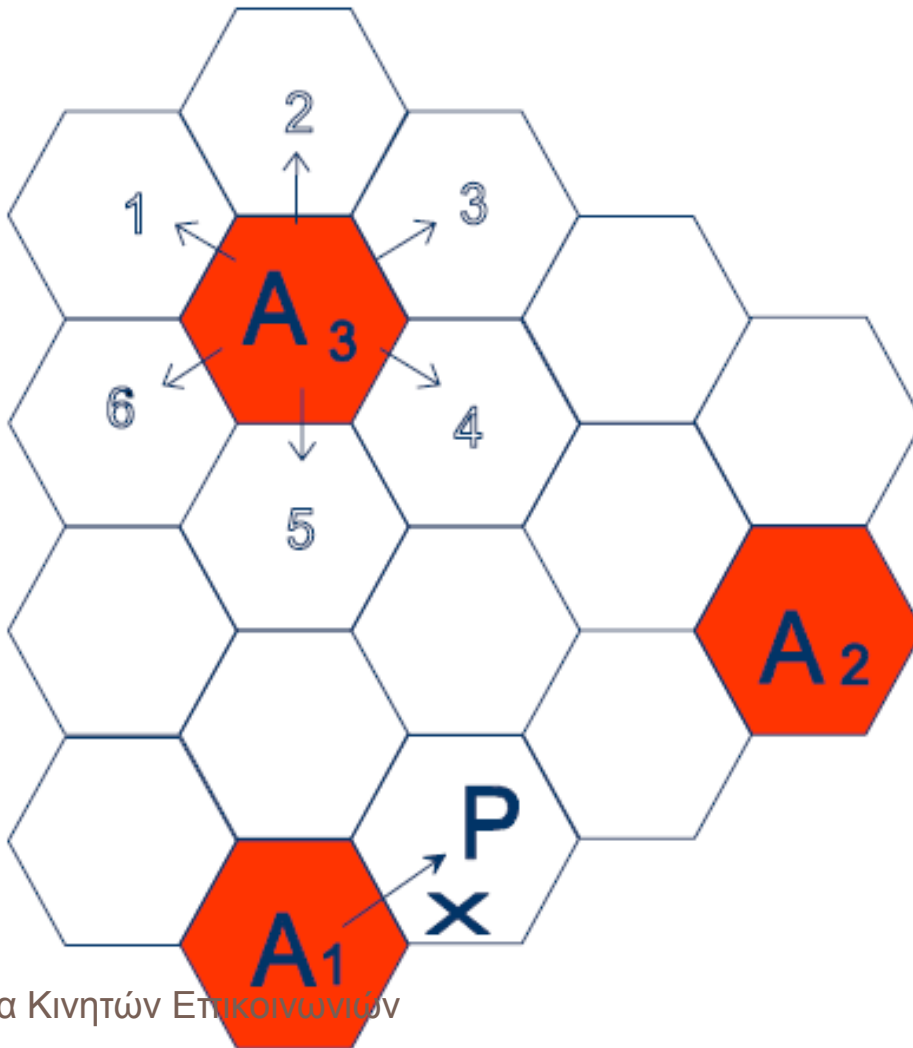


Δίαυλοι γειτονικής κυψέλης

Τέλος κλήσης

Αλγόριθμος δανεισμού με κατευθυντικό κλείδωμα

28



Αν ο διάυλος X είναι δανεισμένος στην κυψέλη P από την A_1 και οι A_1 , A_2 , A_3 είναι ομοδιαυλικές. Τότε, ο ίδιος διάυλος στην κυψέλη A_3 θα εμποδίζεται από το να εκχωρηθεί με δανεισμό μόνο προς τις κατευθύνσεις 3,4 και 5. Μπορεί όμως να εκχωρηθεί με δανεισμό προς τις κατευθύνσεις 1,2 και 6.

Αλγόριθμοι δανεισμού

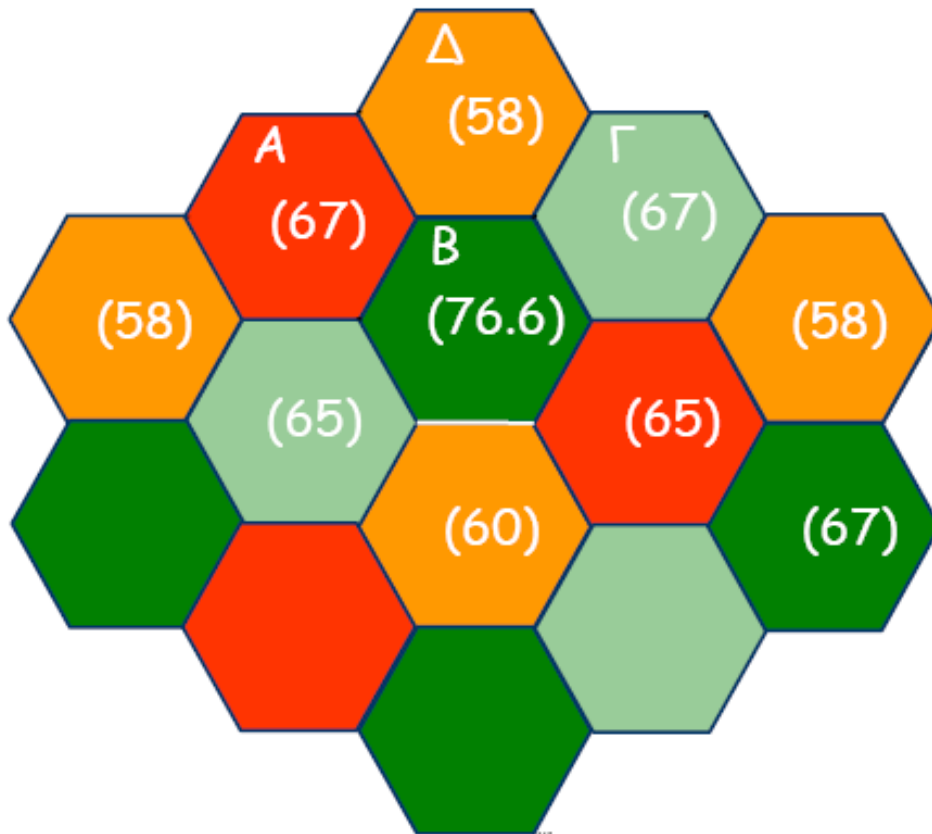
29

- Πολύπλοκη διαχείριση του συστήματος
 - ▣ Απαιτείται κατανεμημένη διαχείριση του συστήματος
- Αυξημένο φορτίο σηματοδοσίας
- Διάδοση του δανεισμού

Αλγόριθμοι δανεισμού

30

□ Παράδειγμα 5.3



$$C_{ολ} = 332$$

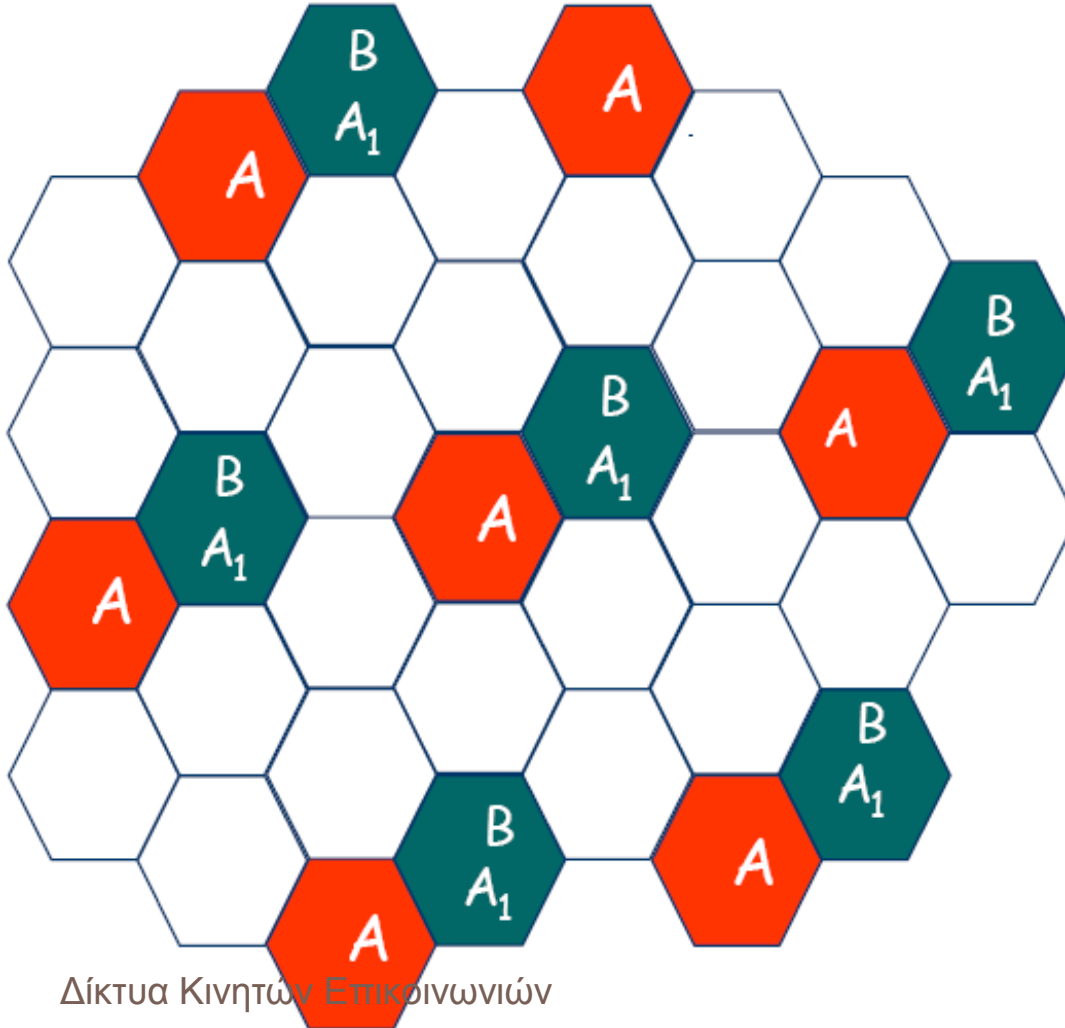
$$K = 4$$

$$GOS \leq 1\%$$

Δανεισμός με κλείδωμα

Αλγόριθμος δανεισμού χωρίς κλείδωμα

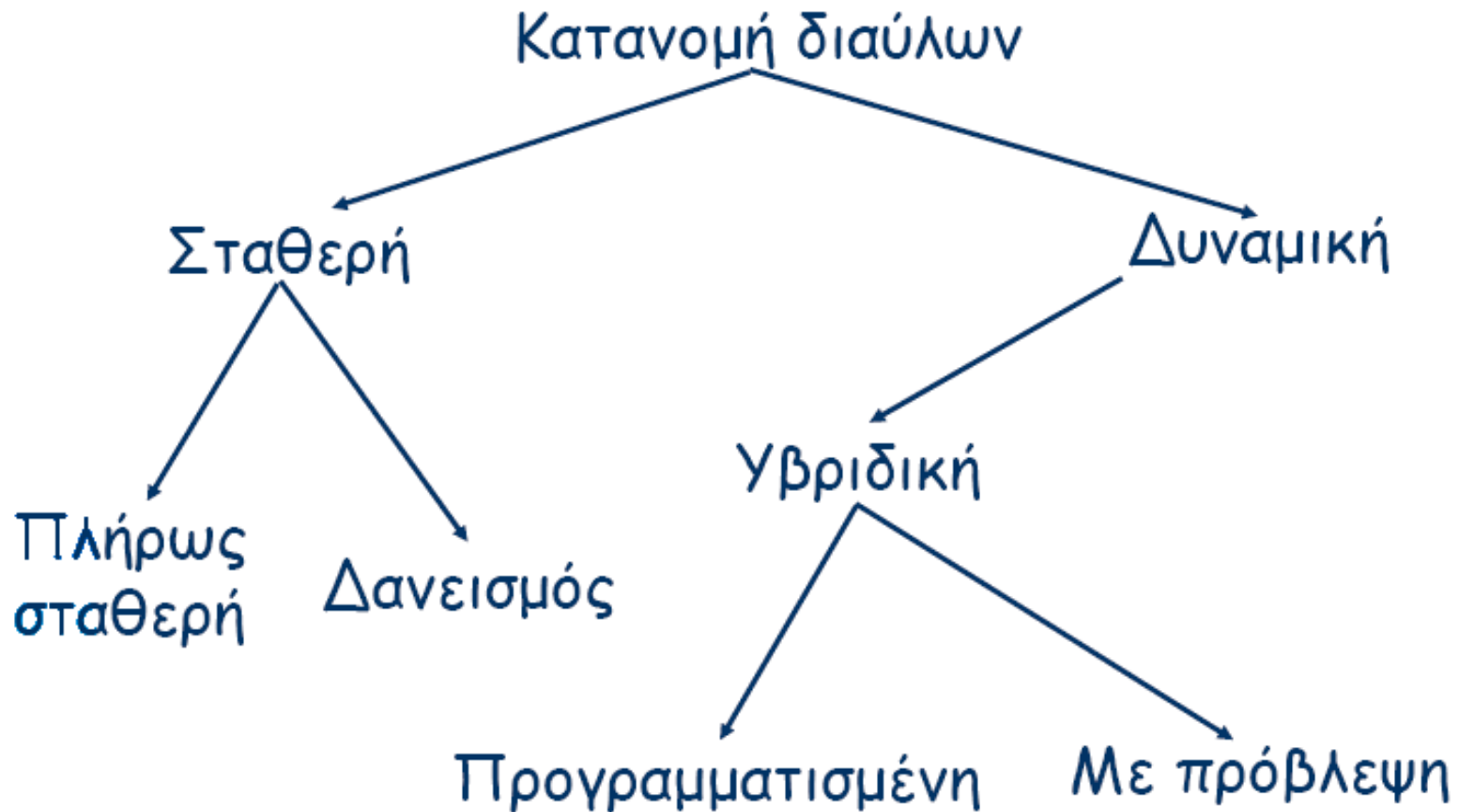
31



- Δεν απαιτεί κλείδωμα των διαύλων διότι χρησιμοποιεί δανεικούς διαύλους με περιορισμένη στάθμη ισχύος, ώστε να περιορίζεται η παρεμβολή με ομοδιαυλικές κυψέλες.
- Επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση ενός διαύλου σε όλες τις κυψέλες εκτός από αυτή που παραχωρήθηκε με δανεισμό.
- Χωρίζει την κυψέλη σε 6 ομάδες και οι δίαυλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο στην αντίστοιχη γειτονική κυψέλη.

Ανακεφαλαίωση κατανομής διαύλων

32



Μεταπομπή

33

- Προετοιμασία μεταπομπής
 - Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος υποβιβάζεται λόγω κακών συνθηκών
 - Ο χρήστης διασχίζει τα σύνορα της κυψέλης.
 - Το σύστημα χρειάζεται να αναδιατάξει τον καταμερισμό των πόρων, ώστε να διευθετήσει νέες υπηρεσίες.
- Κριτήρια έναρξης μεταπομπής
 - Ισχύς του λαμβανόμενου σήματος (RSS)
 - Λόγος φέροντος – προς – παρεμβολή (CIR)
 - Απόσταση μεταξύ κινητού και ΣΒ
 - Κριτήρια σχετικά με το δίκτυο

Αλγόριθμοι μεταπομπής

- **Hard Handoff:** Κατά τη διάρκεια της μεταπομπής το κινητό είναι συνδεδεμένο με ένα μόνο Σταθμό Βάσης κάθε χρονική στιγμή (συστήματα GSM).
 - ▣ Η ζεύξη με τον παλιό ΣΒ διακόπτεται ταυτόχρονα με την αποκατάσταση της ζεύξης με το νέο ΣΒ.
- Hard Handoff έχουμε ακόμα στις μεταπομπές μεταξύ διαφορετικών συστημάτων
 - ▣ π.χ. μεταπομπή από WCDMA-FDD σε WCDMA-TDD ή GSM
- **Soft Handoff:** Κατά τη διάρκεια της μεταπομπής οι ραδιοζεύξεις προστίθενται και αφαιρούνται με τέτοιο τρόπο ώστε το κινητό να διατηρεί συνεχώς τουλάχιστον μια ενεργή ραδιοζεύξη.
- **Softer Handoff:** είναι μια ειδική περίπτωση του Soft Handoff όπου οι ραδιοζεύξεις που προστίθενται και αφαιρούνται ανήκουν στον ίδιο ΣΒ (handoff μεταξύ διαφορετικών sectors)

Αλγόριθμοι μεταπομπής

35

- Από την πλευρά του χρήστη είναι προτιμότερη η απόρριψη μίας νέας κλήσης από την εξαναγκασμένη λήξη μίας κλήσης σε μεταπομπή.
- Ο σχεδιασμός των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας γίνεται συνήθως έτσι, ώστε:
 - Η πιθανότητα απόρριψης νέων κλήσεων να είναι μικρότερη του 5%, ενώ
 - Η πιθανότητα εξαναγκασμένης λήξης μίας κλήσης να είναι μικρότερη από 0,5%
- Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για να το επιτύχουμε αυτό είναι να δεσμεύσουμε πόρους αποκλειστικά για κλήσεις που προέρχονται από μεταπομπή (**guard channel schemes**)

Πολλαπλή πρόσβαση

36

- 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

37

- Αρχικά, επιλέγουμε μια βασική τεχνολογία
 - Για να απομονώσουμε την κίνηση από τους διάφορους 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 του σταθμού βάσης διευκολύνει την πολλαπλή πρόσβαση

Βασικοί στόχοι στη σχεδίαση

38

- **Ευελιξία:** δυνατότητα εξυπηρέτησης ολοκληρωμένης κίνησης φωνής, δεδομένων και video και δυνατότητα αντιμετώπισης της περιαγωγής (roaming) 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

39

- Έλλειψη φάσματος
 - ▣ Δύσκολα βρίσκεται διαθέσιμο φάσμα
 - ▣ Λίγες συχνότητες διατίθενται για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων
 - ▣ Τα σχήματα πολλαπλής πρόσβασης πρέπει να μην σπαταλούν εύρος ζώνης

Περιορισμοί

40

- 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

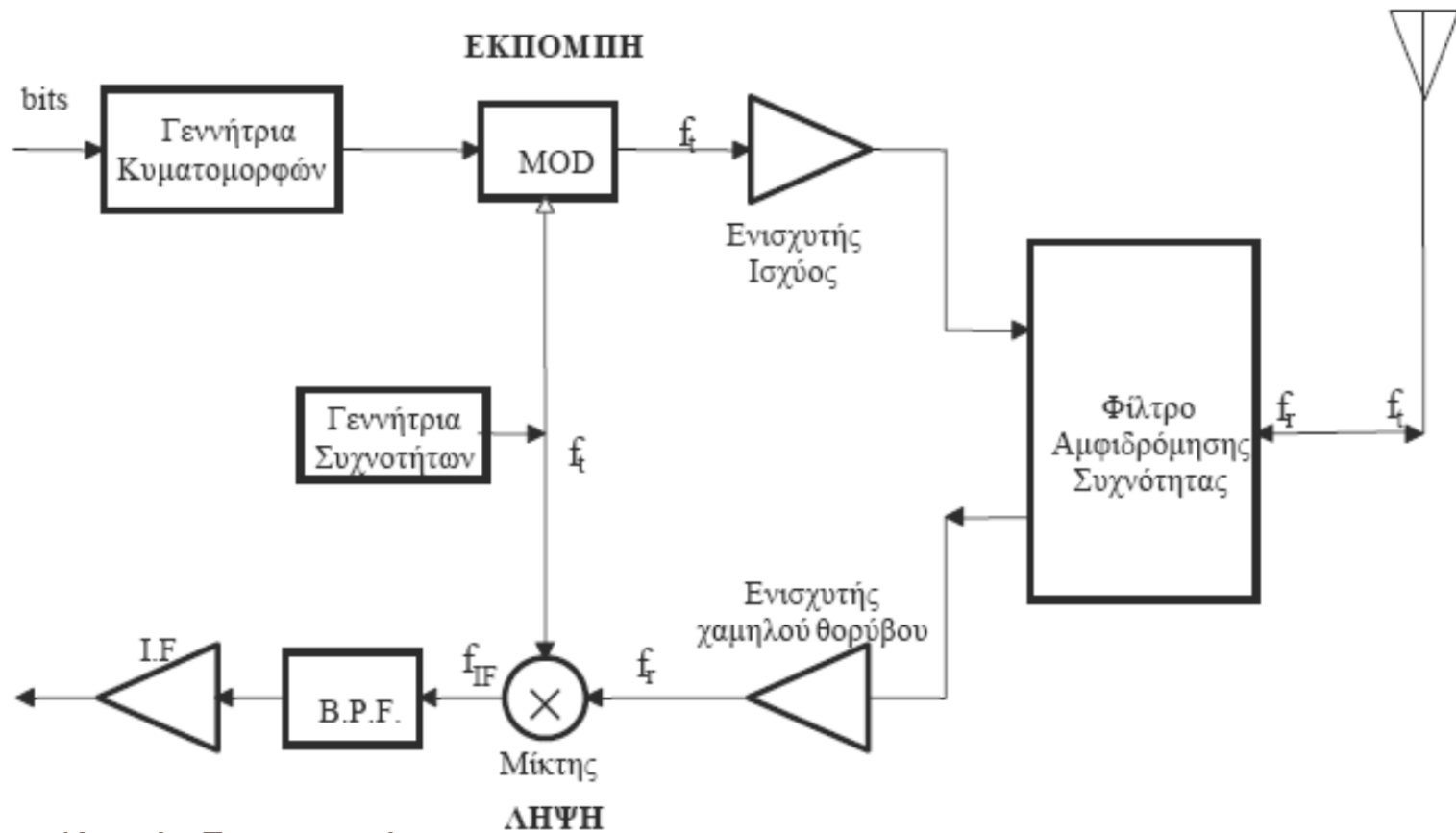
41



FDD

42

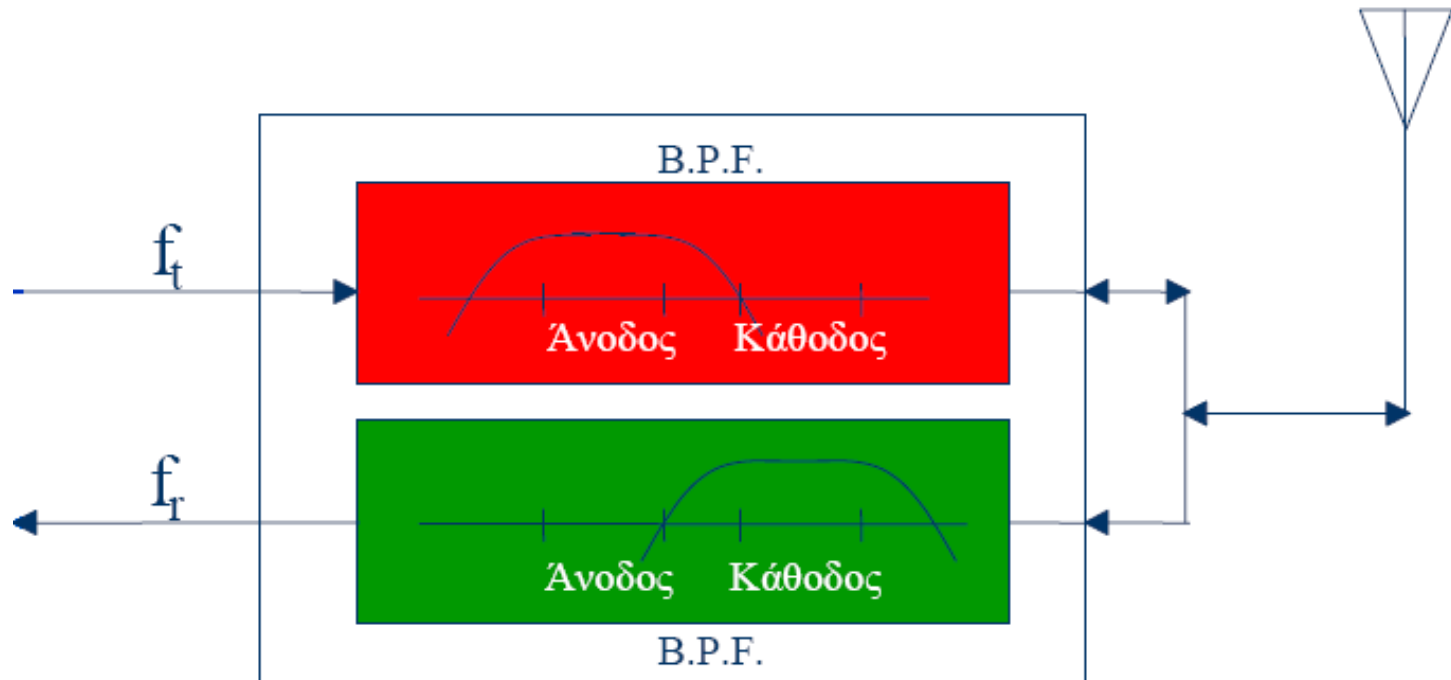
□ Αρχιτεκτονική Πομποδέκτη



FDD

43

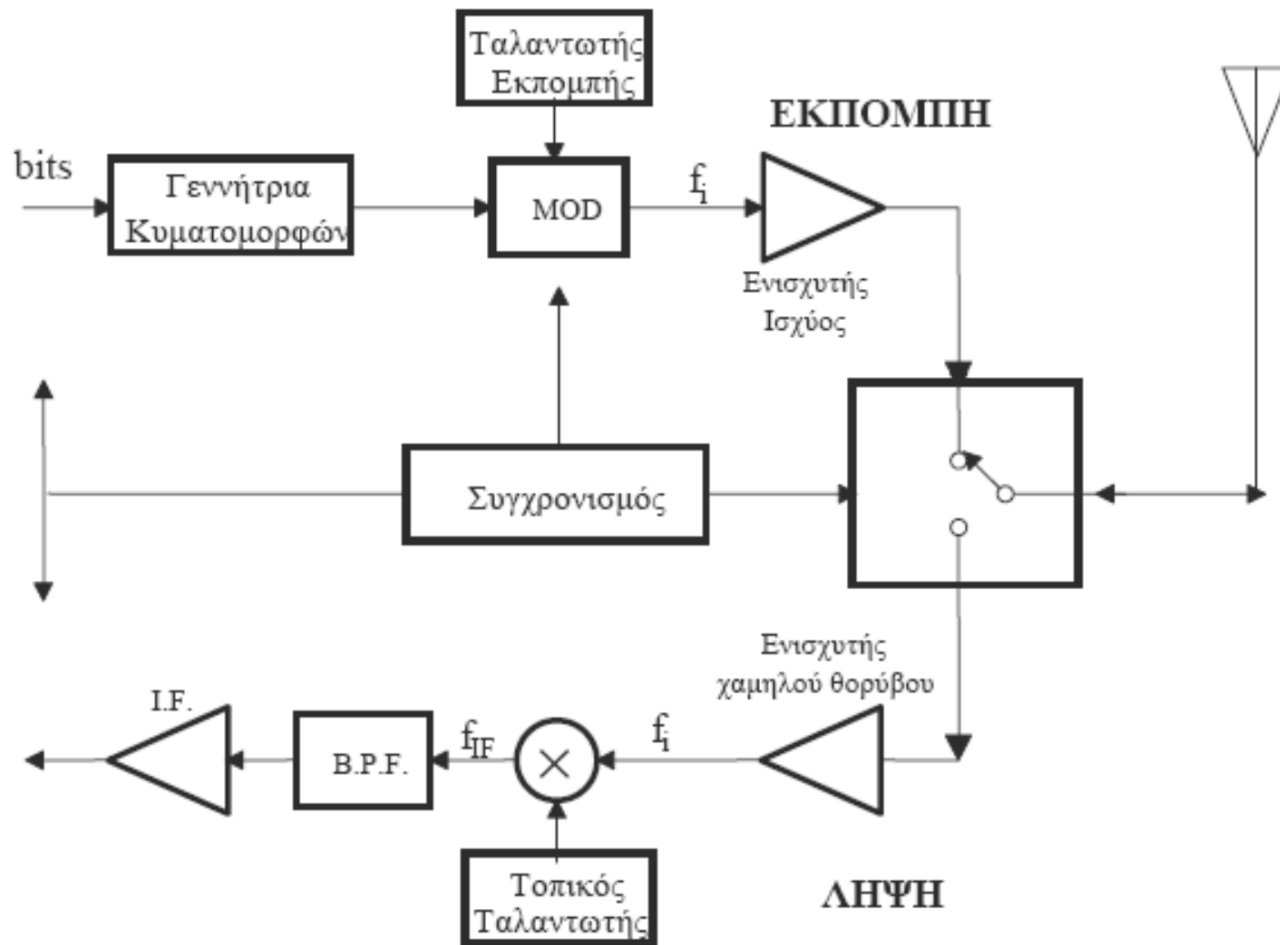
- Φίλτρο αμφιδρόμησης συχνότητας



TDD

44

□ Αρχιτεκτονική Πομποδέκτη



Πολλαπλή πρόσβαση σε φυσικούς διαύλους

45

- Απομόνωση 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)

Πολλαπλή πρόσβαση σε φυσικούς διαύλους

46

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

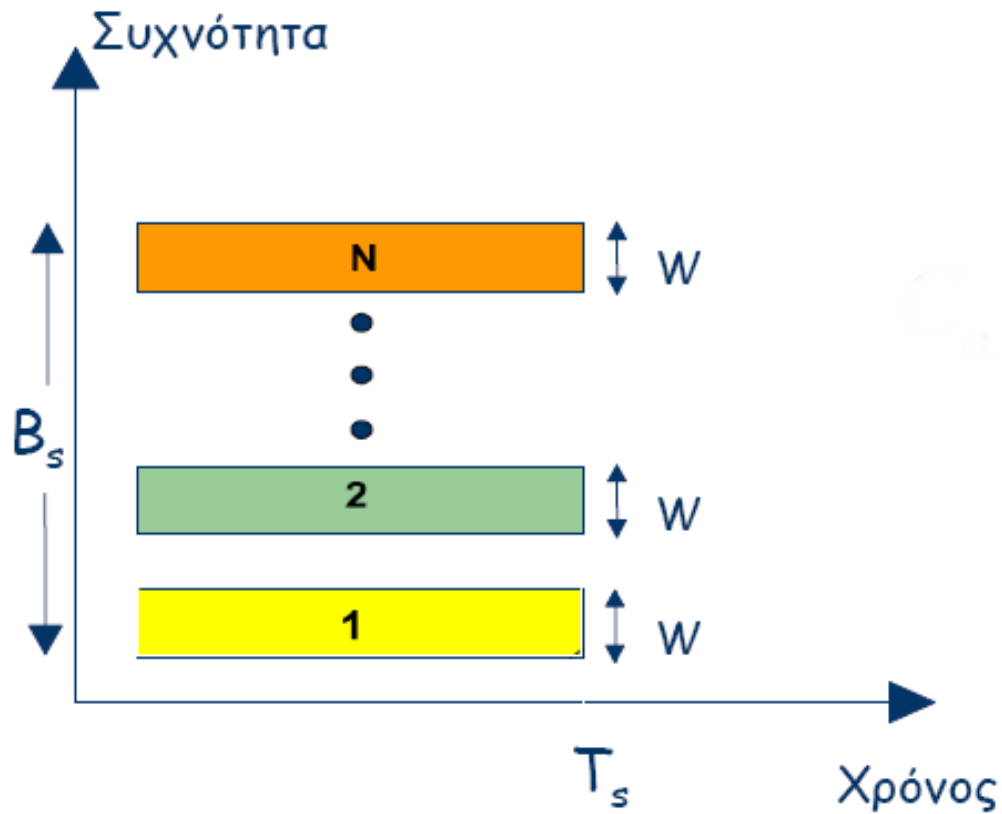
FDMA

47

- 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

48



$$C_{ολ} = \frac{B_s - 2B_G}{W}$$

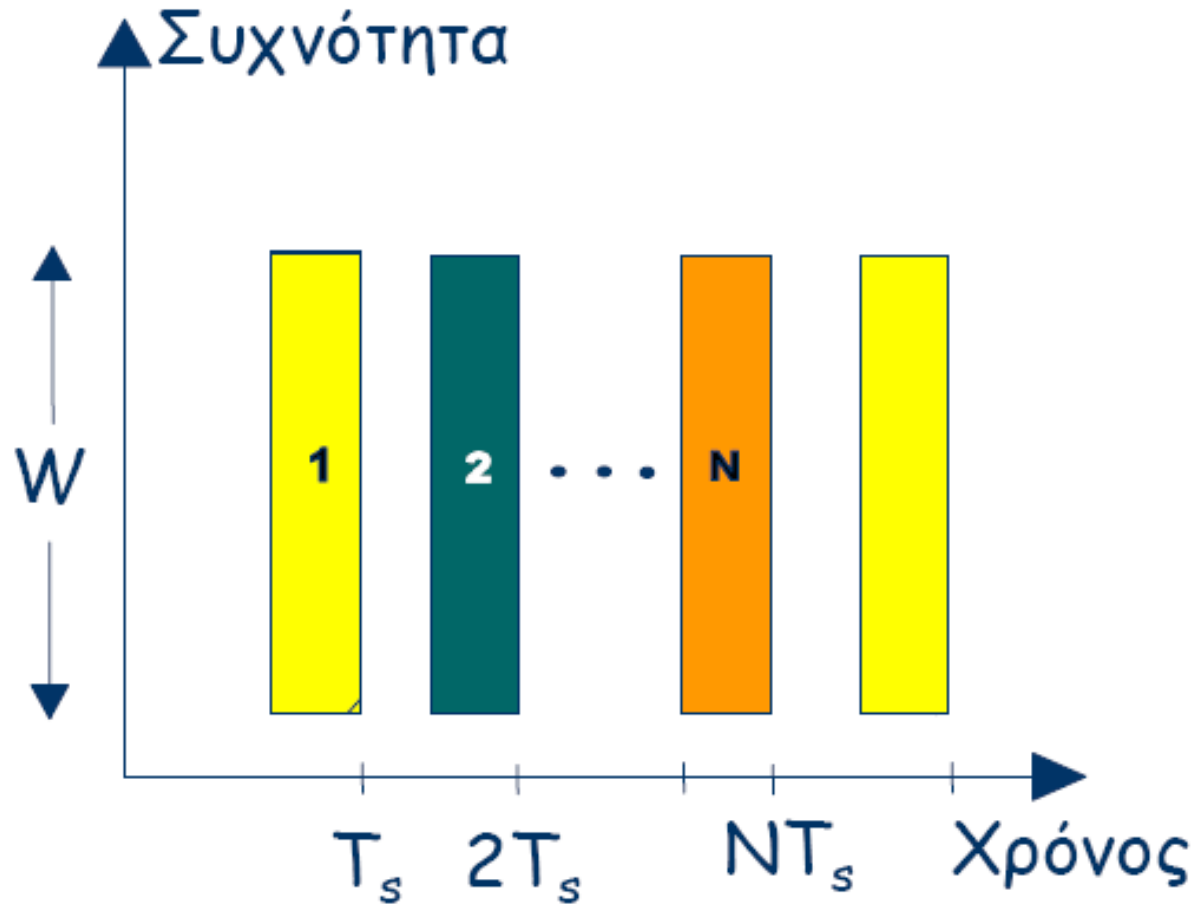
TDMA

49

- 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

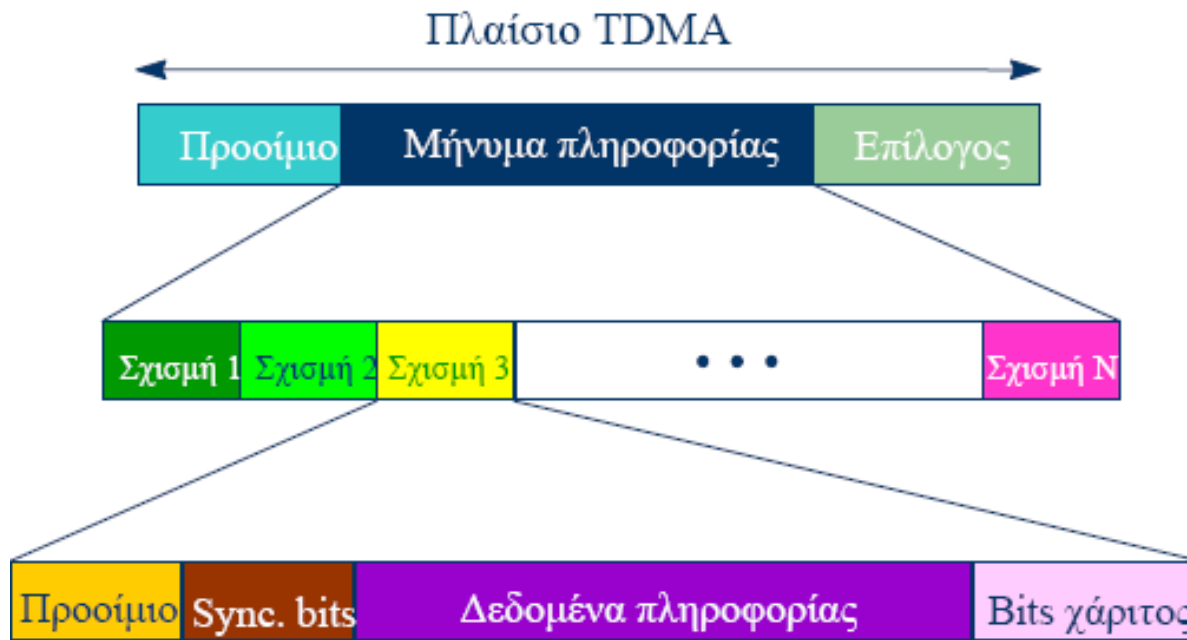
TDMA

50



Δομή πλαισίου TDMA

51



Αριθμός bits/πλαίσιο

$$b_f = T_f R$$

Απόδοση Πλαίσιο

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

Bits Επιβάρυνσης

$$b_{oh} = n_r b_r + n_t b_p + n_t b_g + n_r b_g$$

$$C_{ολ} = \frac{m(B_S - 2B_G)}{W}$$

Διαθέσιμος Αριθμός Διαύλων

□ Παράδειγμα 5.4

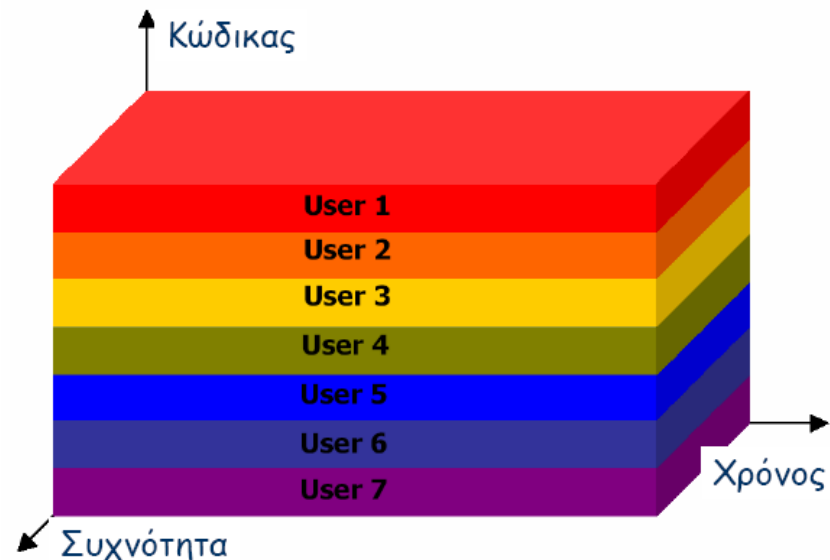
GSM, TDMA με 8 slots και κάθε slot περιέχει 156.25 bit. Κάθε slot αποτελείται από 6 bit προοιμίου, 26 bit συγχρονισμού, 8.25 bit χάριτος και δύο ριπές δεδομένων κίνησης των 58 bit. Τα δεδομένα στον δίαυλο μεταδίδονται με ρυθμό 270.833 kbps. Να βρεθούν:

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 ($B_s=25\text{MHz}$). Αγνοείστε την ύπαρξη εύρους ζώνης ασφαλείας.

CDMA

53

- Στο CDMA το σήμα στενής ζώνης (μήνυμα) πολλαπλασιάζεται με ένα σήμα μεγαλύτερου εύρους ζώνης που ονομάζεται spreading signal (code) πριν από τη διαμόρφωση και την εκπομπή. Αυτό ονομάζεται άπλωμα (spreading).
- Η τεχνική CDMA επίσης ονομάζεται DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), με τον όρο DSSS να είναι πιο γενικός.
- Το μήνυμα αποτελείται από σύμβολα.
- Έχει μία περίοδο συμβόλου και έναν ρυθμό συμβόλου (symbol rate)

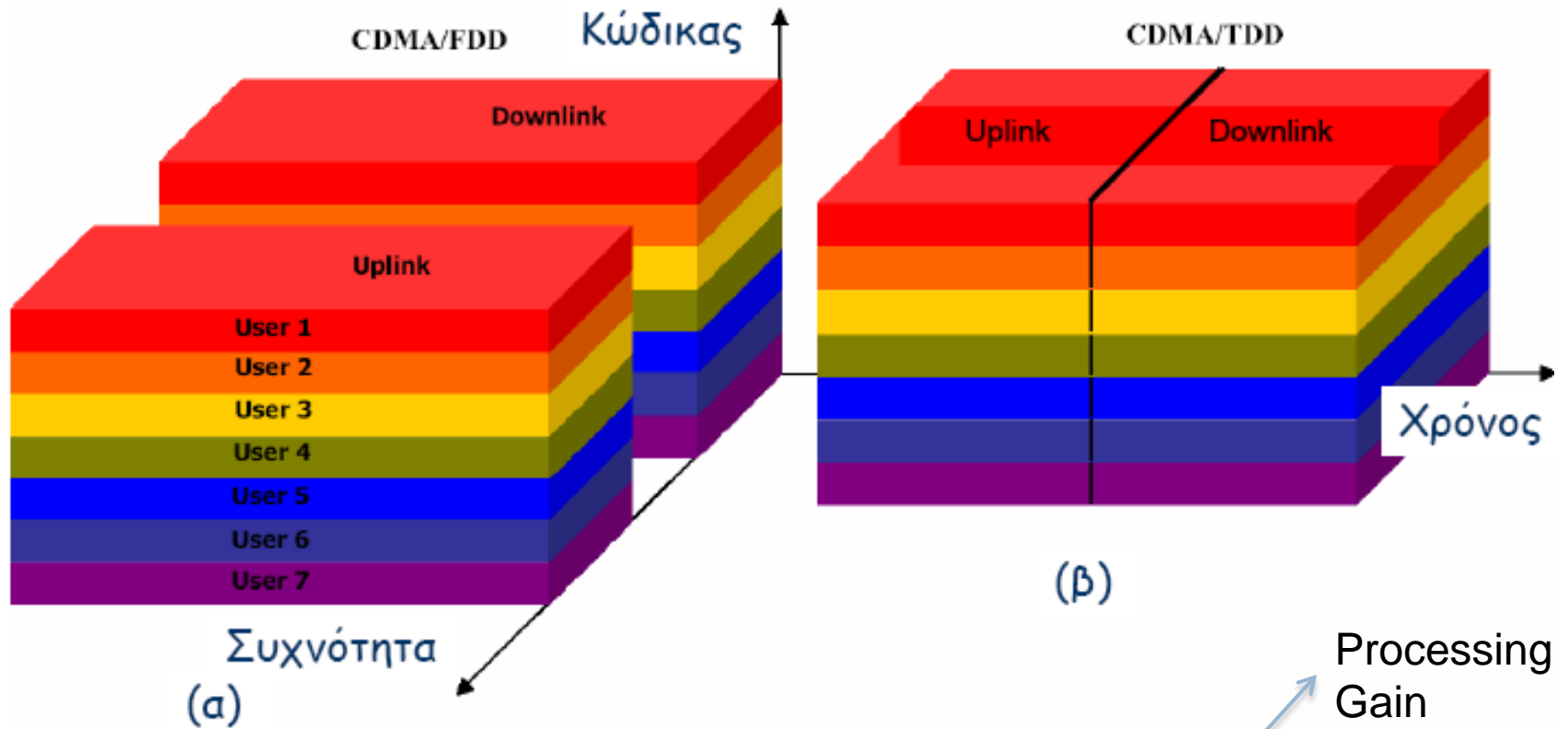


CDMA

54

- Στην CDMA σημαντικό ρόλο παίζει ο τύπος των κωδίκων που χρησιμοποιούνται.
 - **Ορθογωνικοί κώδικες:** Πεπερασμένος και μικρός αριθμός κωδικών σε δεδομένο εύρος ζώνης, αλλά μηδενική παρεμβολή (πλήρης ορθογωνιότητα).
 - **Ημι-ορθογωνικοί κώδικες:** Πάρα πολύ μεγάλος αριθμός κωδικών σε δεδομένο εύρος ζώνης, αλλά υπάρχει μια μικρή εναπομείνασα παρεμβολή μεταξύ κωδικών.
- Η παραγωγή των σημάτων γίνεται συνήθως με την τεχνική **Direct Sequence (DS-CDMA)**.

CDMA



Αριθμός Χρηστών:

$$N_u = 1 + \frac{G_s}{E_b / I_t}$$

Processing Gain

Φ.Π.Ι. παρεμβολής

$$G_s = \frac{W_s}{R_b}$$

CDMA

56

- 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

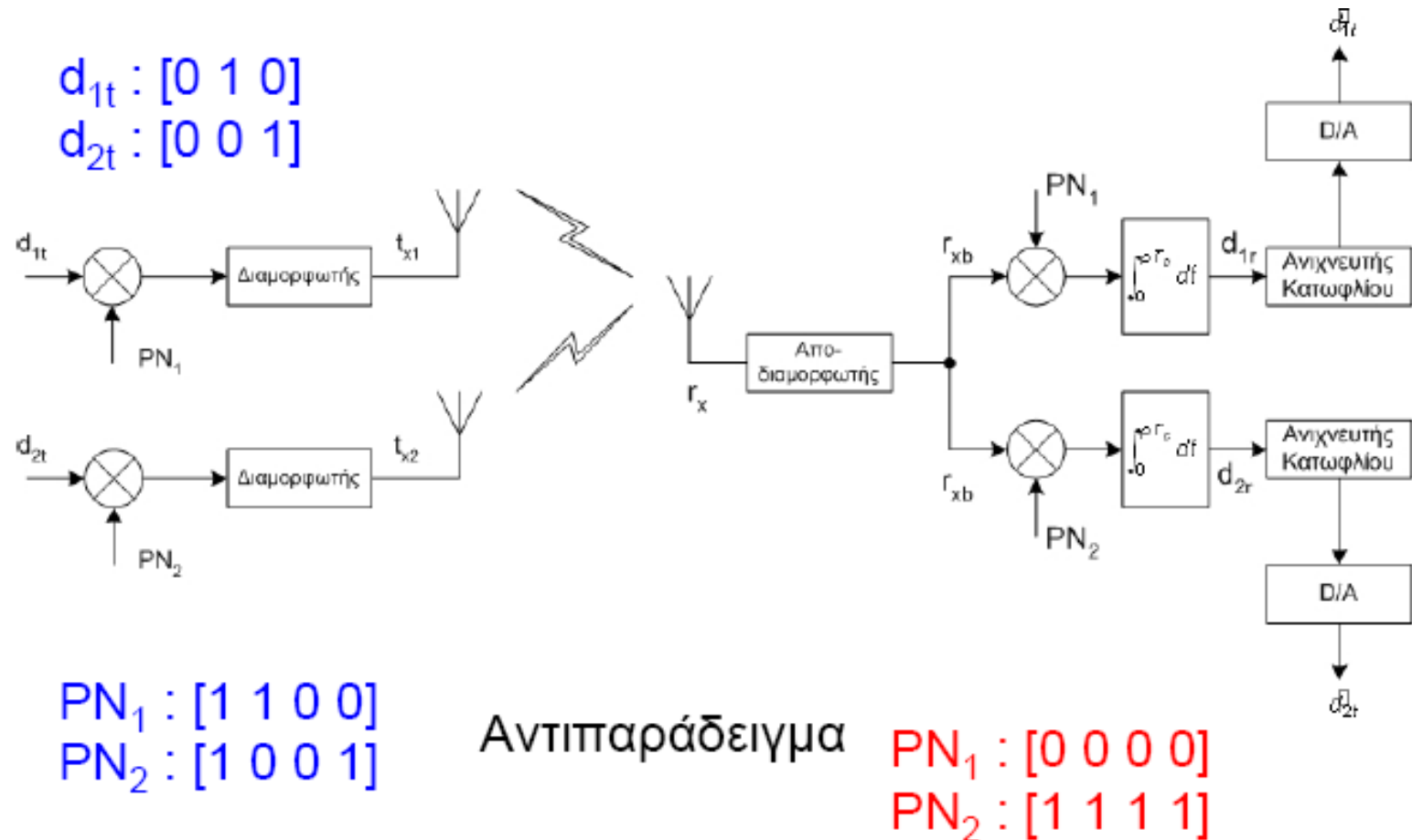
DS/CDMA

57

- 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} → περιορισμός του εύρους ζώνης σε 10 –20 MHz

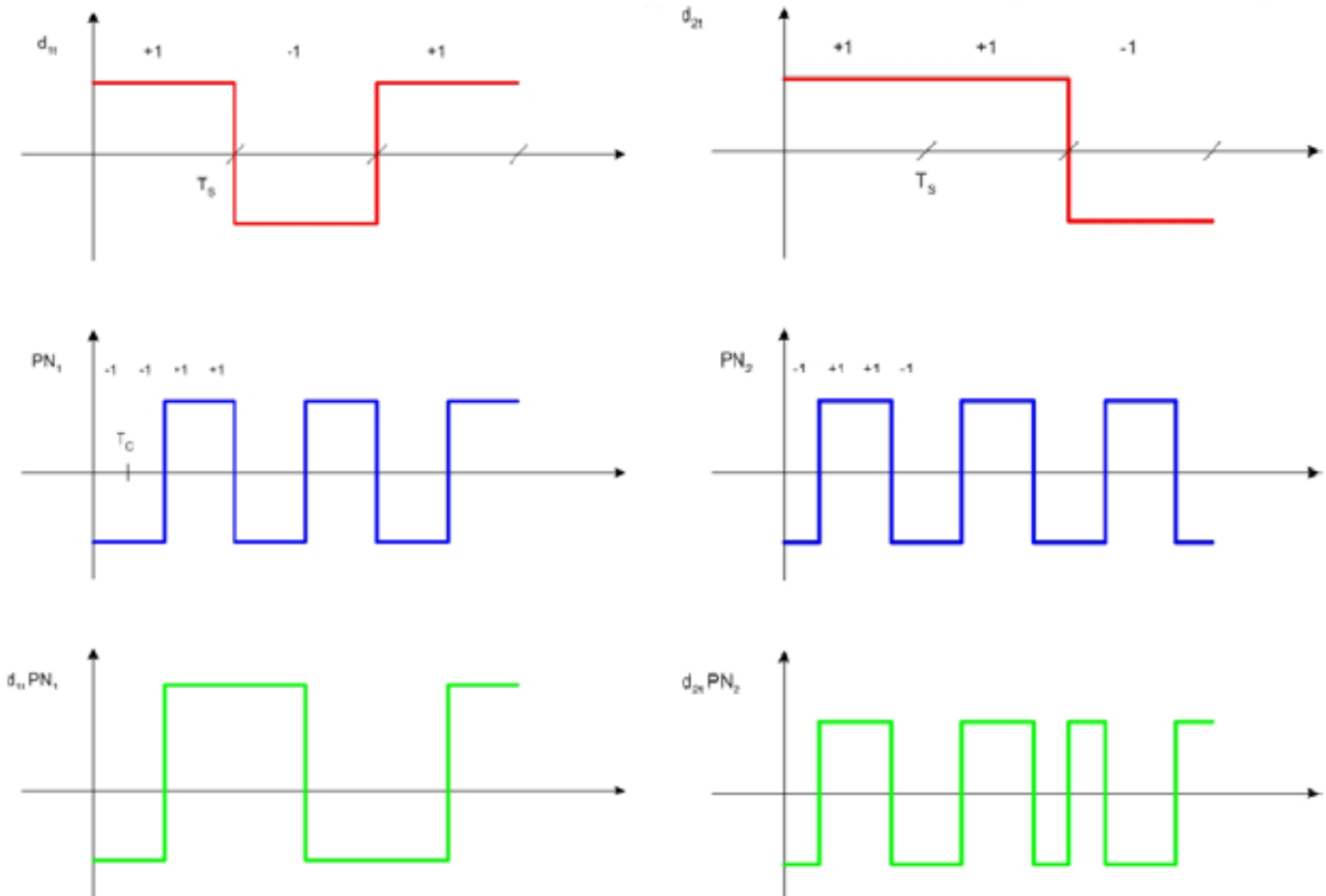
DS/CDMA

58



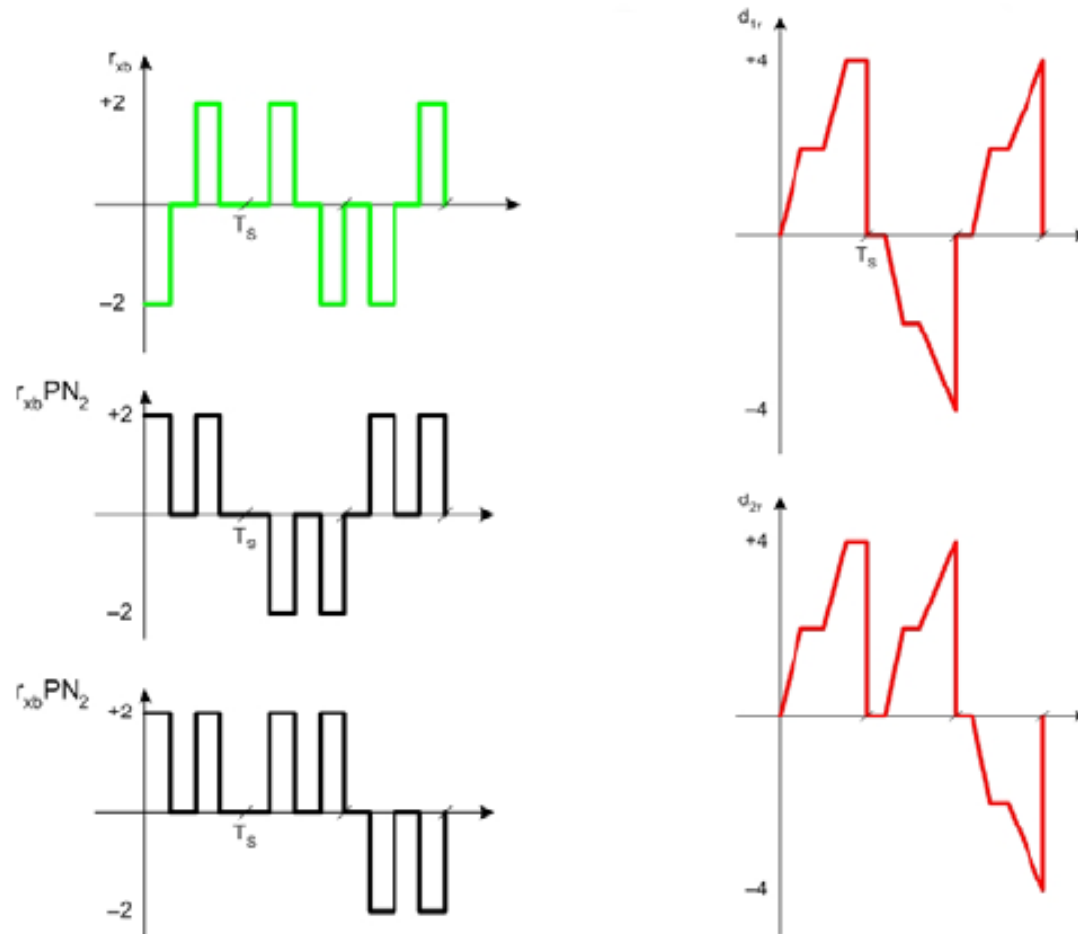
DS/CDMA

59



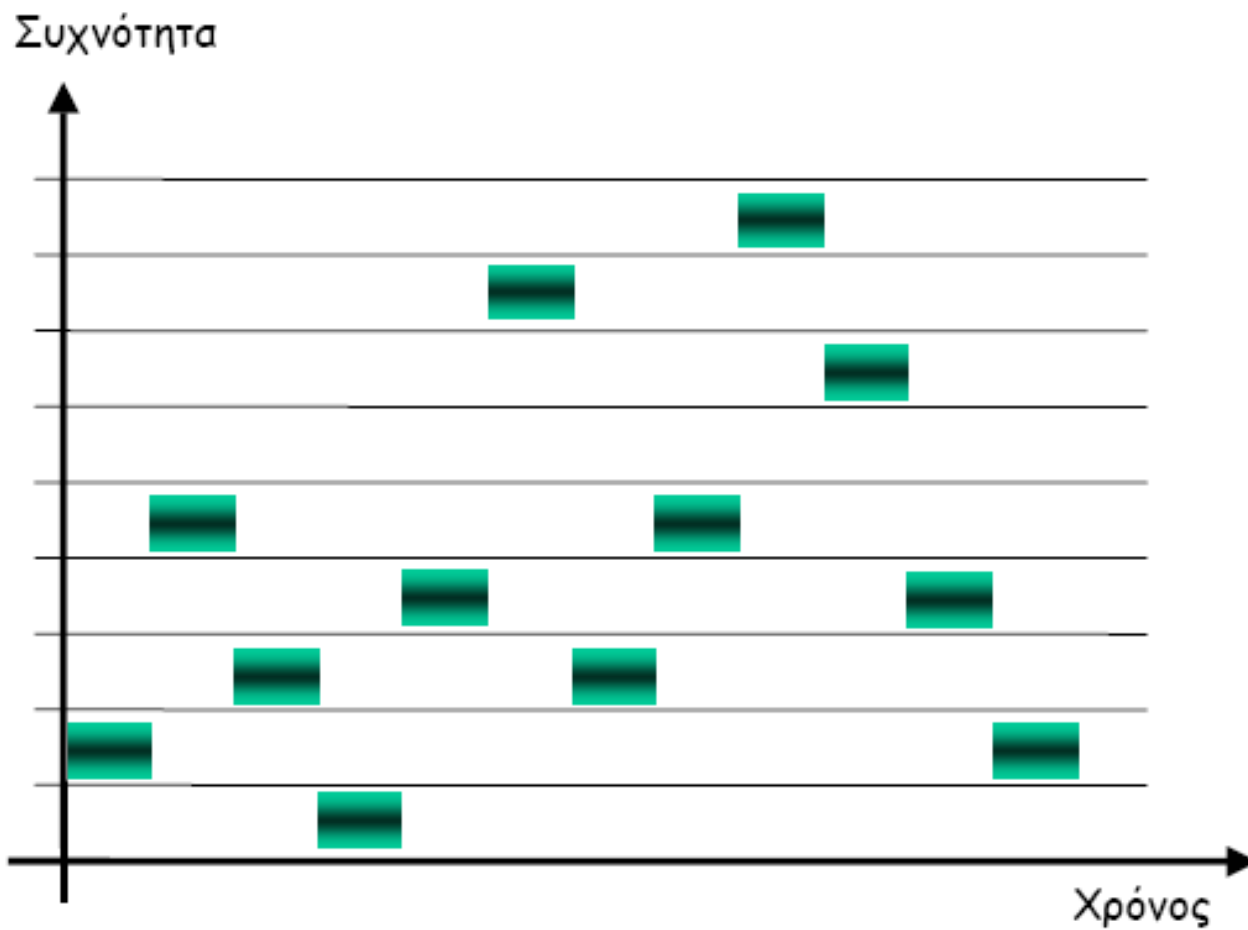
DS/CDMA

60



FH/CDMA

61



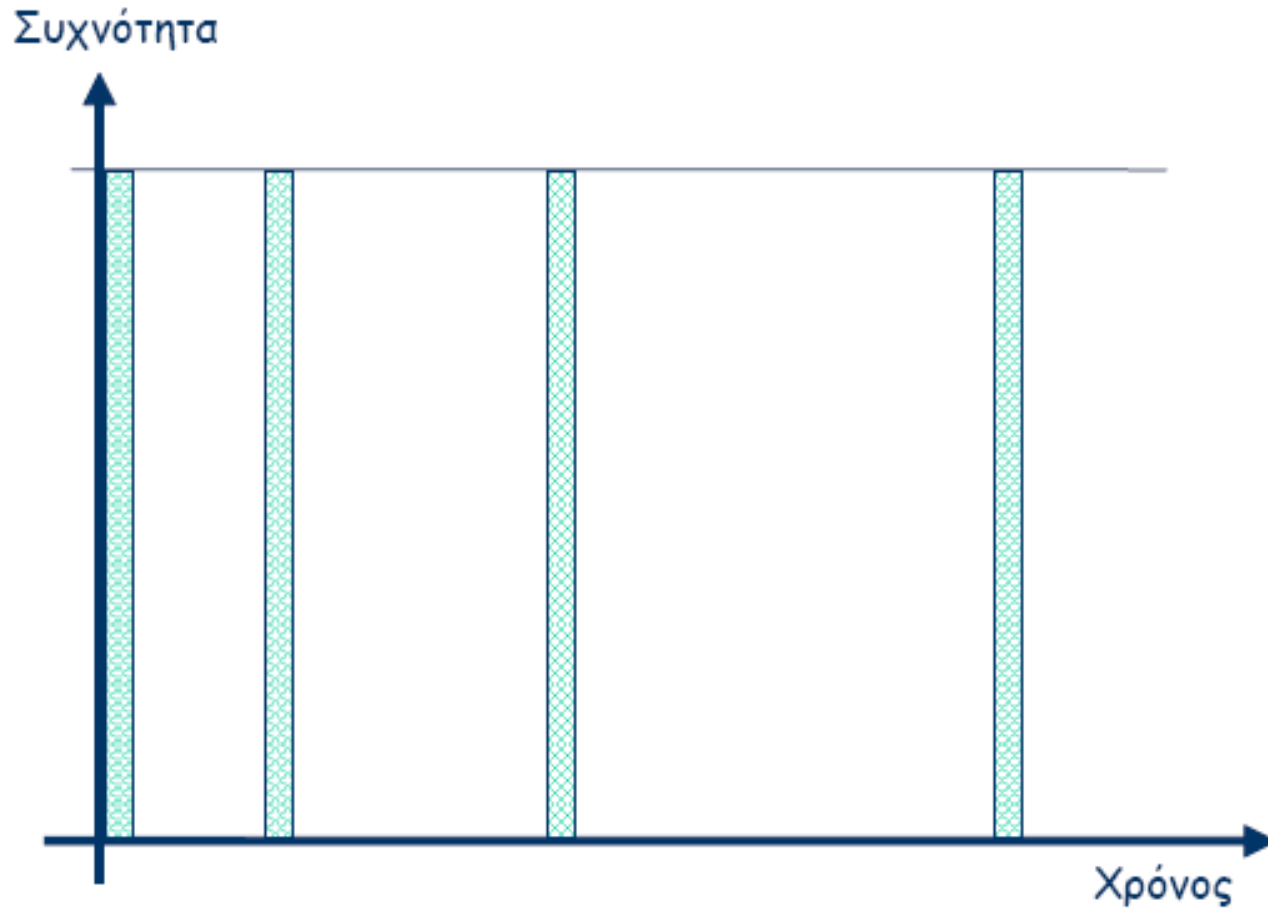
FH/CDMA

62

- 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

63



ΤΗ/CDMA

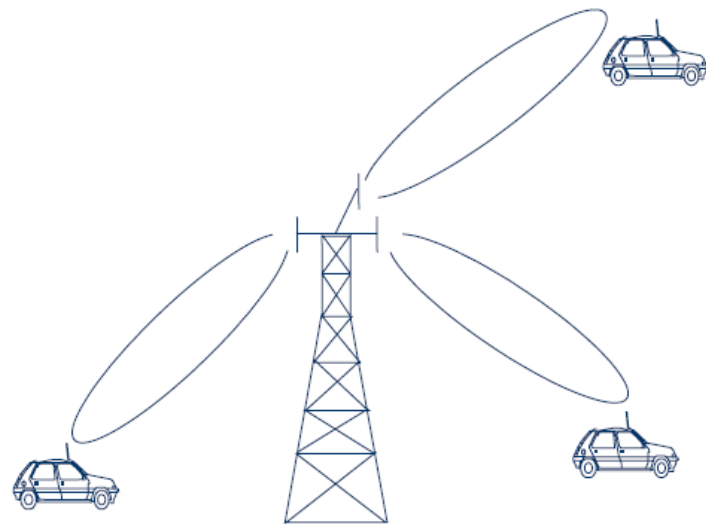
64

- 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
 - 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 (SDMA)

65

- Έλεγχος της ακτινοβολούμενης Η/Μ ακτινοβολίας για κάθε χρήστη στην περιοχή κάλυψης.
- Για τον έλεγχο χρησιμοποιούνται έξυπνες (**smart**) προσαρμοστικές (**adaptive**) κεραιές (**antennas**).
- Σε κάθε περιοχή που εξυπηρετείται από ένα λοβό ακτινοβολίας, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε άλλες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης (π.χ. FDMA, TDMA ή και CDMA)



Ασύρματη χωρητικότητα

66

- Ο μέγιστος αριθμός διαύλων (χωρητικότητα) που μπορεί να παρέχει το σύστημα σε καθορισμένη ζώνη συχνοτήτων

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

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

Ασύρματη χωρητικότητα

67

- 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 m και B_s και 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

68

□ Παράδειγμα 5.6

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

$$A: W = 18kHz, (S / I)_{\min} = 17dB$$

$$B: W = 25kHz, (S / I)_{\min} = 15dB$$

$$\Gamma: W = 15kHz, (S / I)_{\min} = 20dB$$

$$\Delta: W = 6.25kHz, (S / I)_{\min} = 9dB$$

Ασύρματη χωρητικότητα

69

$$A: (S/I)_{i\sigma} = 17 + 20 \log \frac{6.25}{18} = 7.81dB$$

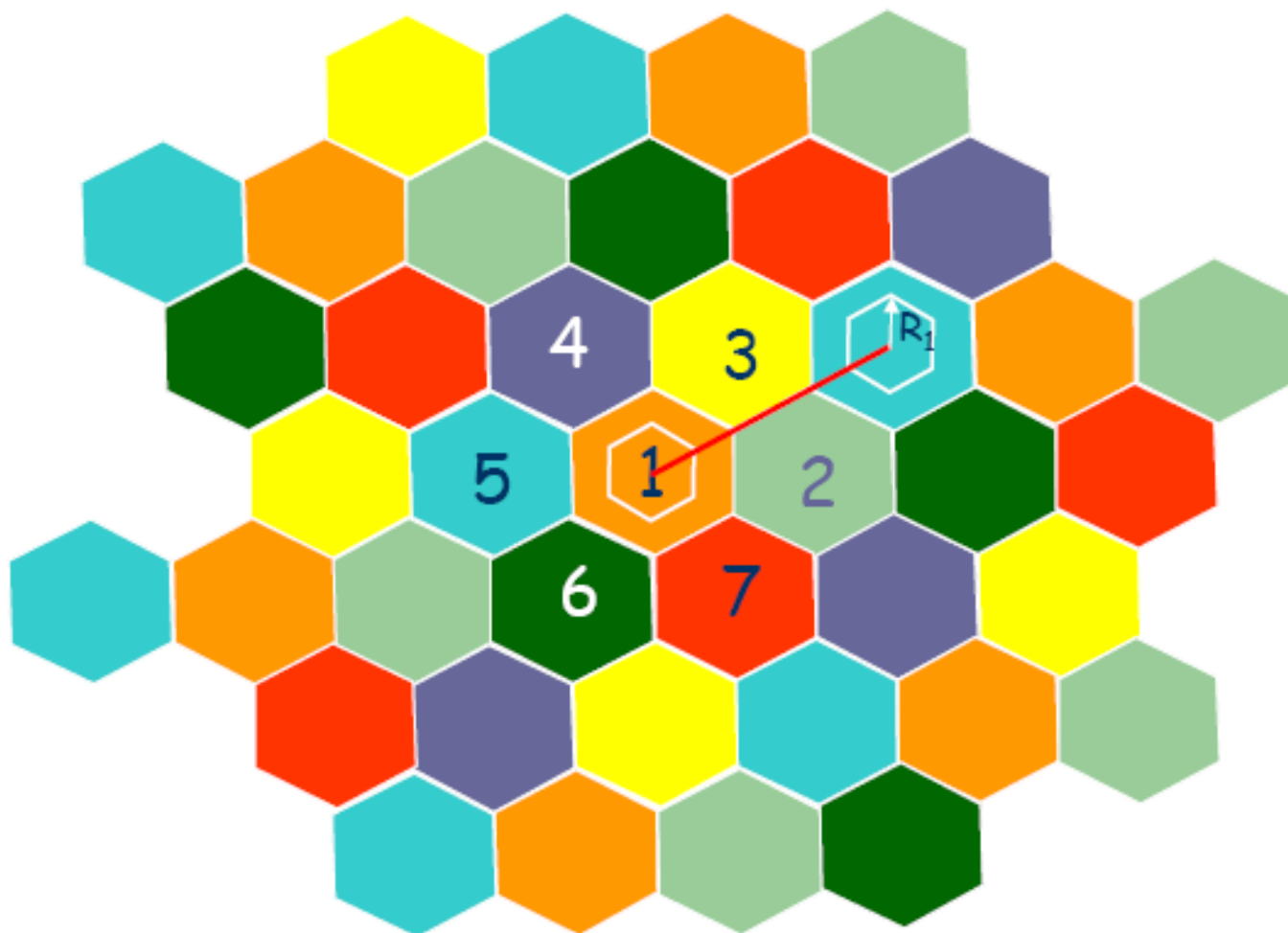
$$B: (S/I)_{i\sigma} = 15 + 20 \log \frac{6.25}{25} = 2.96dB \quad \leftarrow \text{min}$$

$$\Gamma: (S/I)_{i\sigma} = 20 + 20 \log \frac{6.25}{15} = 12.4dB$$

$$\Delta: (S/I)_{i\sigma} = 9 + 20 \log \frac{6.25}{6.25} = 9dB$$

Άσκηση 1

70



Άσκηση 2 (Προς Παράδοση)

71

