

Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα II

Διάλεξη 9: Εισαγωγή στην τεχνική πολυπλεξίας Code Division Multiple Access - CDMA

Δρ. Μιχάλης Παρασκευάς
Επίκουρος Καθηγητής

Ατζέντα

- Ορισμός
- Σχέση CDMA με την TDMA και την FDMA
- Τρόπος λειτουργίας της CDMA
- Φασματική αξιοποίηση της CDMA
- Αλγόριθμοι παραγωγής CDMA κωδίκων
- Ασκήσεις

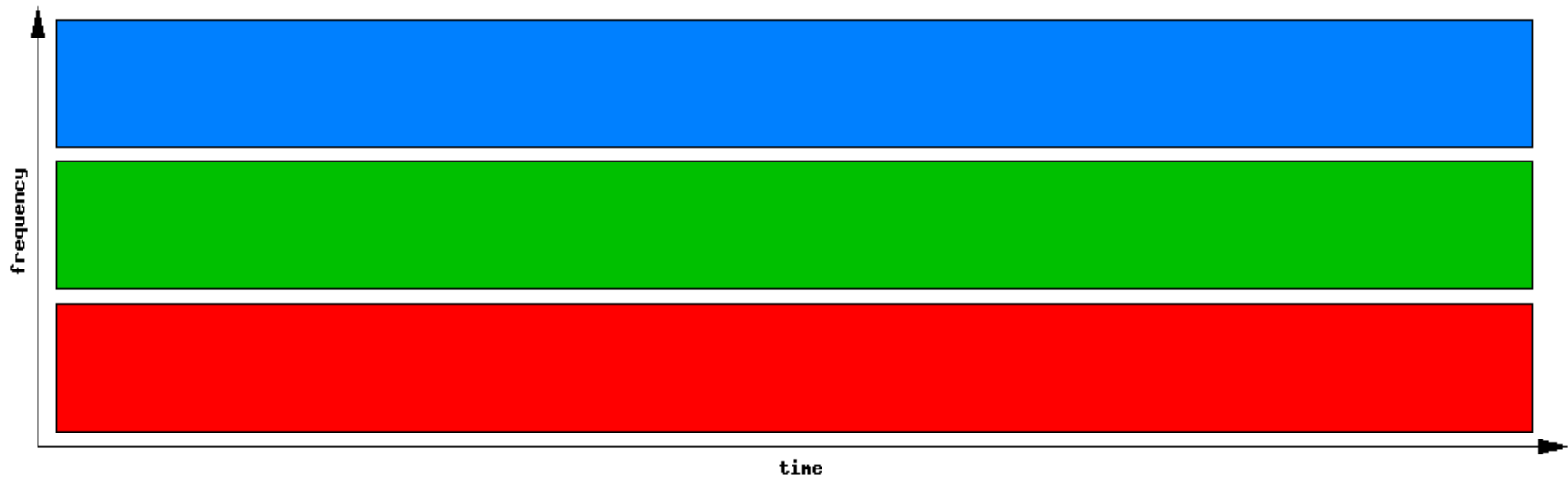
CDMA – Ορισμός

- Σχήμα πολύπλεξης σημάτων, δηλαδή «Ταυτόχρονος» διαμοιρασμός του ίδιου μέσου από πολλά σήματα
- CDMA = Code Division Multiple Access
- Cellular Standard: IS-95 (digital, 2nd generation)
- Ανάπτυξη στις Η.Π.Α το 1996
- Χρήση σε στρατιωτικές εφαρμογές από δεκαετίες
- Βάση των συστημάτων 3ης γενιάς (3G)
- Όλοι οι χρήστες
 - σε **όλο** το (ίδιο) **φάσμα συχνοτήτων**
 - ίσως την ίδια στιγμή ή συνεχώς
 - με **ιδιαιτέρο κωδικό**
 - που χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση του σήματος, συνεχώς

Βασικά σχήματα πολύπλεξης

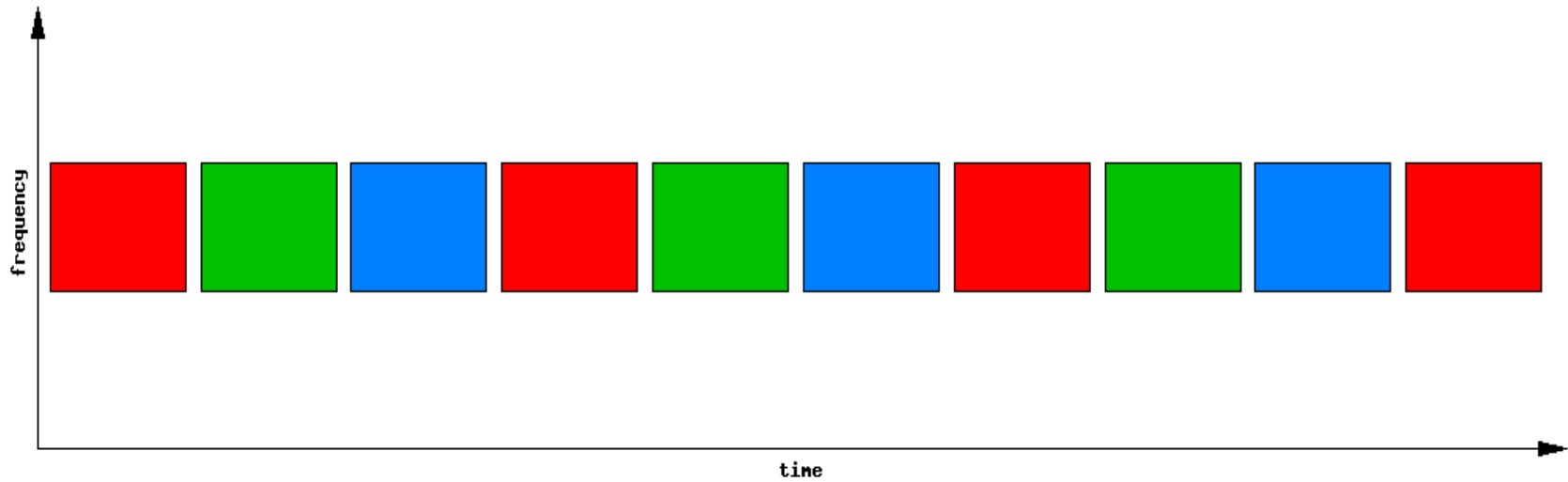
- FDMA = Frequency Division Multiple Access
- TDMA = Time Division Multiple Access
- CDMA = Code Division Multiple Access
- Στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας η ανάγκη για βέλτιστη πολύπλεξη ήταν και είναι μεγάλη
 - Μεγάλος αριθμός πομποδεκτών

FDMA (Frequency Division Multiple Access)

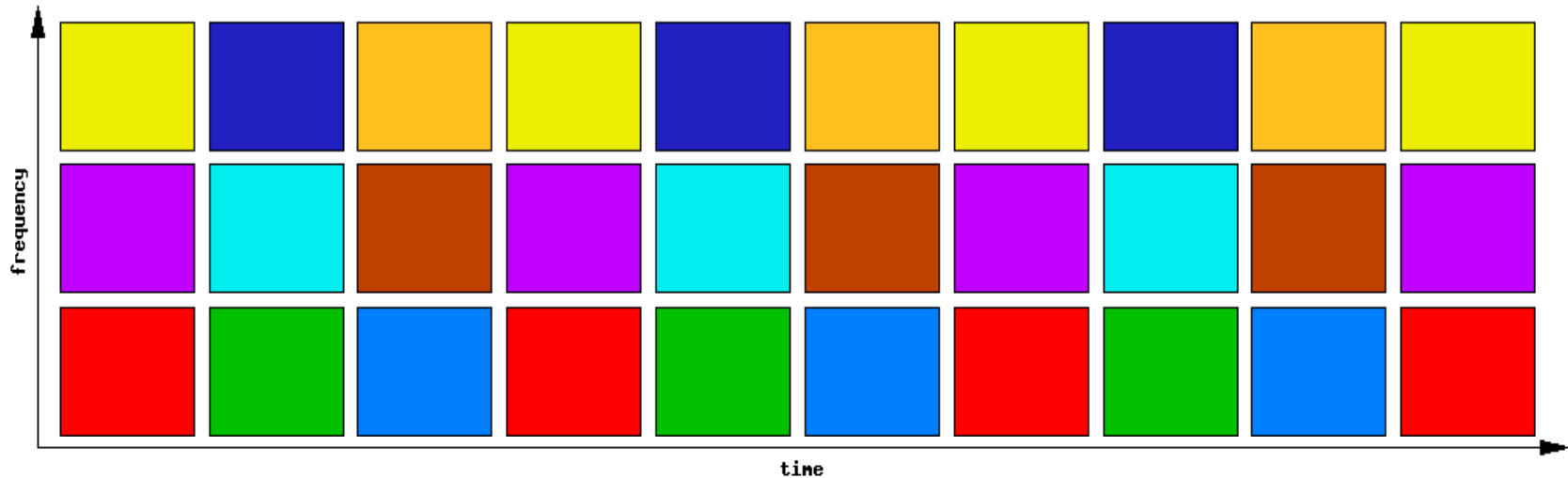


(Κινητά δίκτυα 1^{ης} Γενιάς)

TDMA (Time Division Multiple Access)

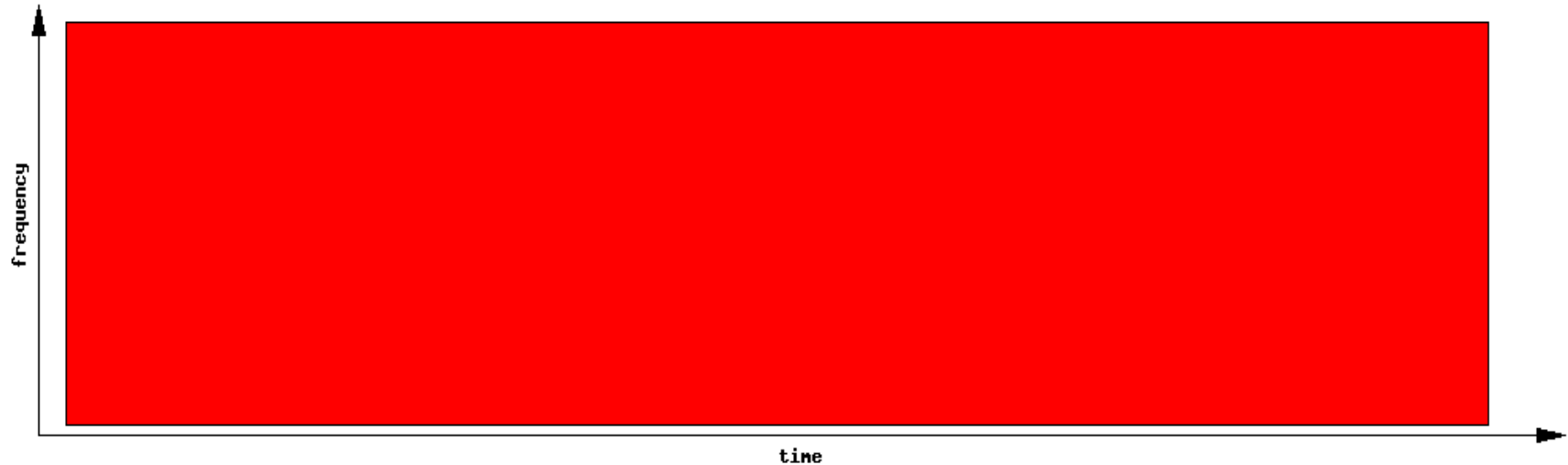


Συνδυασμός FDMA και TDMA (F/TDMA)



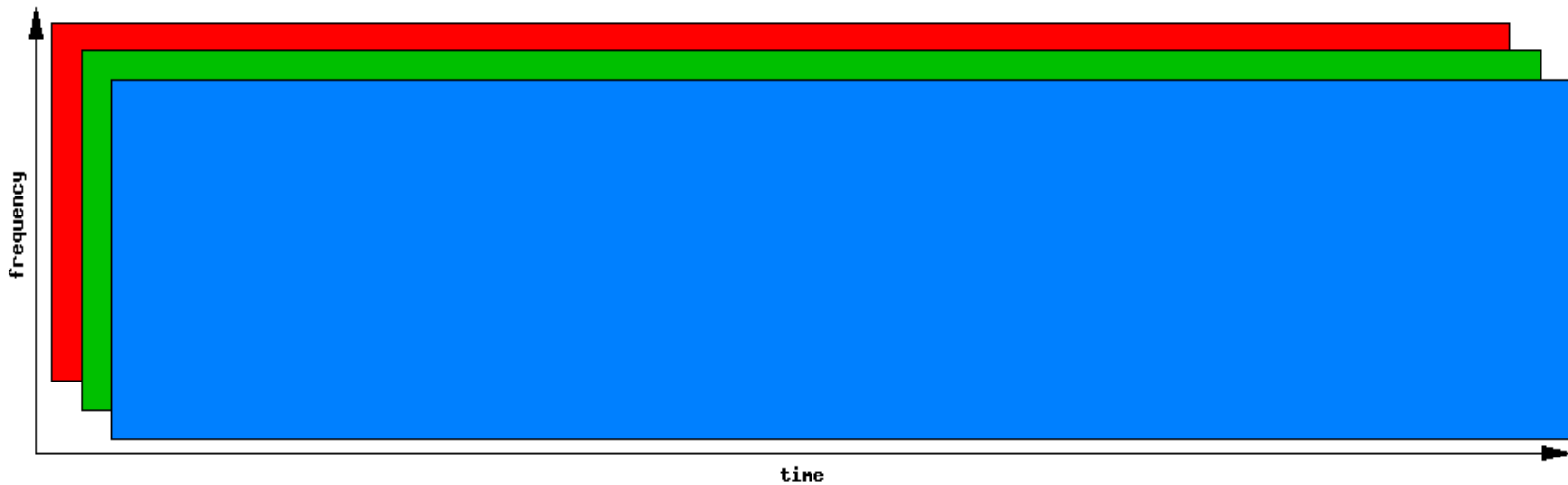
(Κινητά δίκτυα 2^{ης} Γενιάς)

CDMA

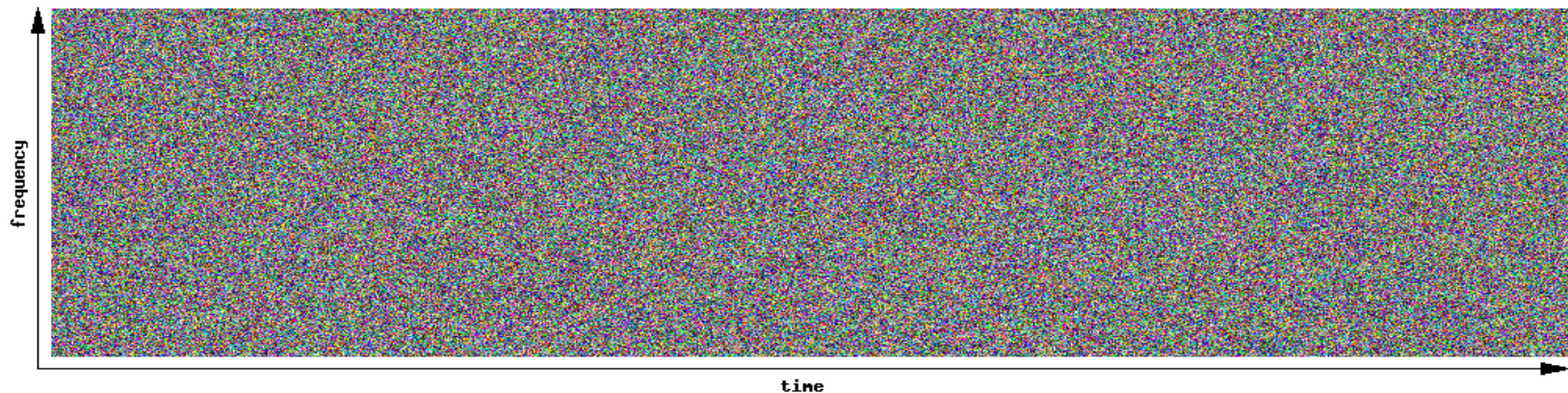


- Κάθε σήμα μεταδίδεται «πάνω» σε όλα τα υπόλοιπα
- Δίκτυα κινητής 3^{ης} Γενιάς

CDMA: Εναλλακτικές απεικονίσεις



ή



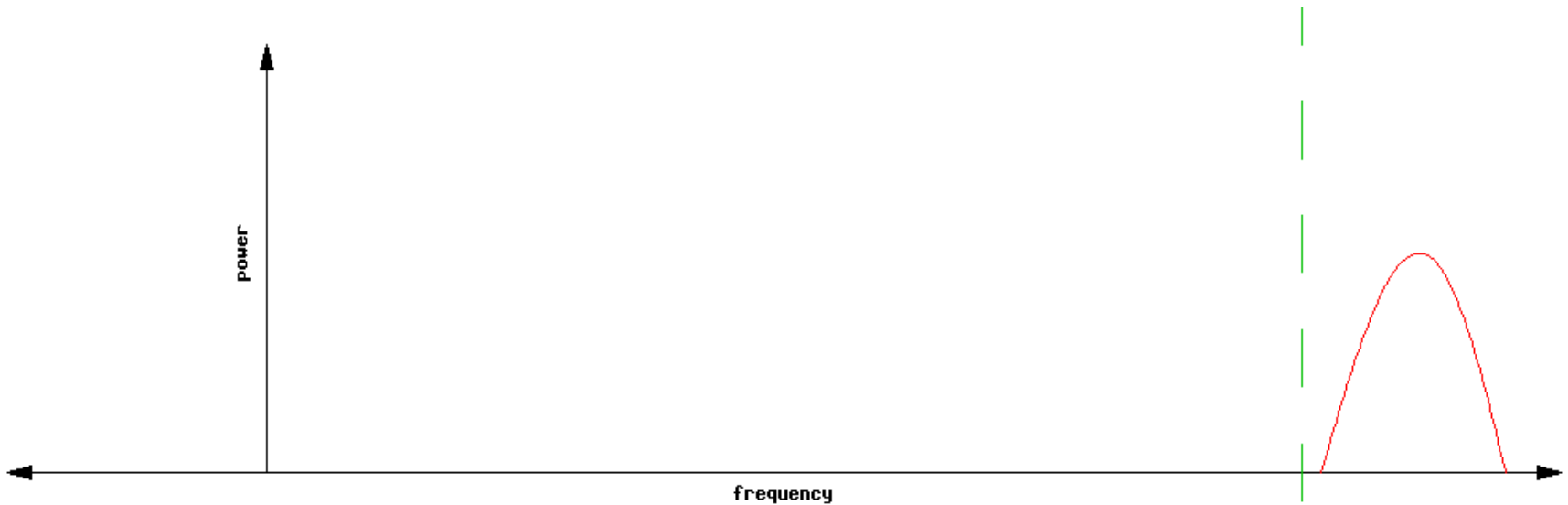
Σχήματα πολύπλεξης: Ένα παράδειγμα

- Έστω ότι σ' ένα μεγάλο δωμάτιο, πολλά ζευγάρια ανθρώπων συνομιλούν:
 - με το TDMA όλα τα άτομα βρίσκονται οπουδήποτε στο δωμάτιο, αλλά ο καθένας **περιμένει τη σειρά του** για να μιλήσει (πρώτα μιλάει ο 1^{ος}, μετά ο 2^{ος} κ.ο.κ.)
 - με το FDMA οι άνθρωποι στο δωμάτιο χωρίζονται σε ομάδες, όπου κάθε ομάδα βρίσκεται σε **αρκετή απόσταση** από την άλλη ώστε οι ομάδες να συνομιλούν ταυτόχρονα αλλά ανεπηρέαστα η μία από την άλλη
 - με το CDMA όλα τα άτομα βρίσκονται οπουδήποτε στο δωμάτιο και μιλάνε ταυτόχρονα, αλλά σε **διαφορετική γλώσσα** ώστε αυτοί που μιλάνε την ίδια γλώσσα επικοινωνούν, ενώ απορρίπτουν τις άλλες συνομιλίες σαν θόρυβο

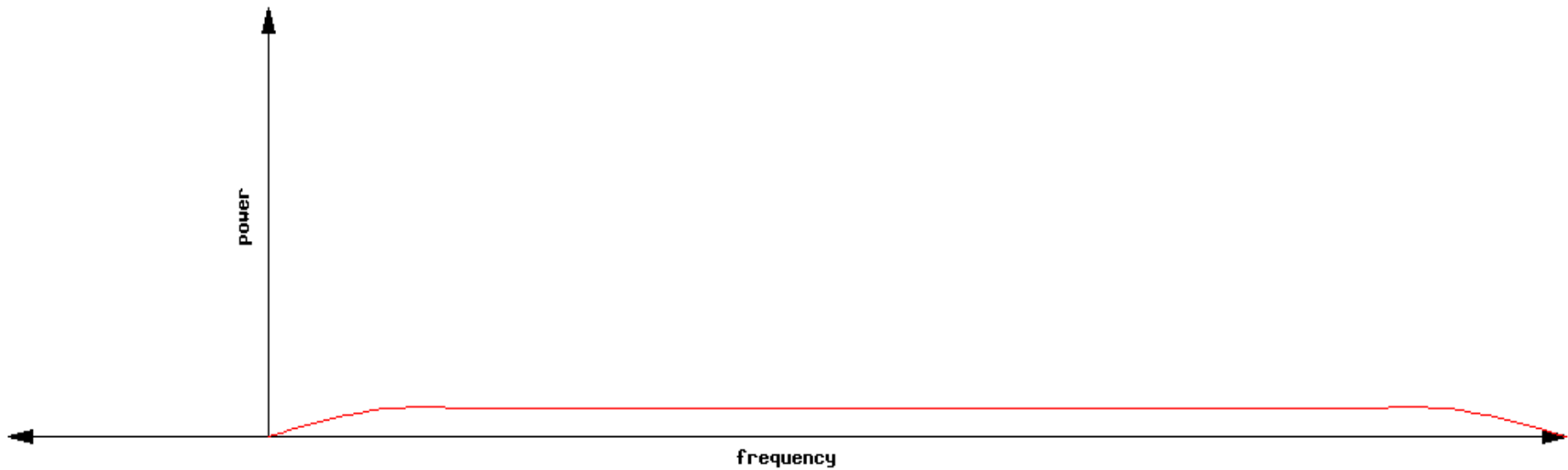
CDMA – Τρόπος λειτουργίας

- Άρα στην CDMA, όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν όλο το διαθέσιμο φάσμα («απλώνουν» το σήμα τους σε όλο το διαθέσιμο φάσμα)
- Για να το επιτύχει αυτό, ο κάθε χρήστης χρησιμοποιεί έναν **μοναδικό κώδικα** (cdma code)
- Εάν κάποιος λάβει ένα κωδικοποιημένο σήμα, μπορεί να το επαναφέρει στην αρχική του κατάσταση κάνοντας χρήση του ίδιου μοναδικού κώδικα.
- Εάν κάποιος λάβει ένα κωδικοποιημένο σήμα και χρησιμοποιήσει λάθος κώδικα για την απόπλεξή του, τότε θα παράξει σήμα εκτός της αναμενόμενης συχνότητας (και άρα μπορεί να το απορρίψει)
- Άρα όλοι οι χρήστες λαμβάνουν όλα τα σήματα, αλλά μπορούν και επιλέγουν αυτό που τους αφορά κάνοντας χρήση του κώδικα που έχουν συμφωνήσει με τον πομπό

Χρήση φάσματος AM – SSB (σήμα φωνής)



Χρήση φάσματος CDMA



Χρήση κώδικα

Παράδειγμα κώδικα CDMA

CDMA Παράδειγμα

- Έστω το ψηφιακό σήμα 110100
- Αντικαθιστώ (για λόγους ευκολίας πράξεων τα 0 με -1)
- Προκύπτει το σήμα εισόδου 11-11-1-1



- Έστω ο υψίσυχνος κώδικας 1-1-1-11-111



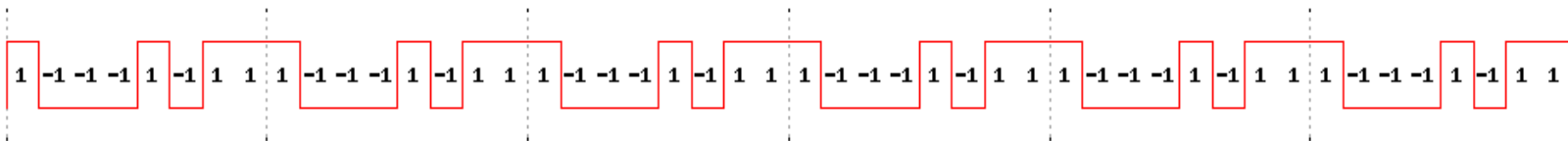
- Παρατηρήστε πως για κάθε σύμβολο του σήματος πληροφορίας αντιστοιχεί ένα ολόκληρο σύμβολο του κώδικα

CDMA Παράδειγμα

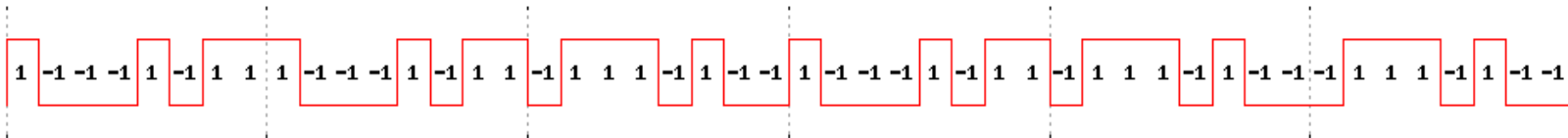
Σήμα εισόδου



Κώδικας CDMA



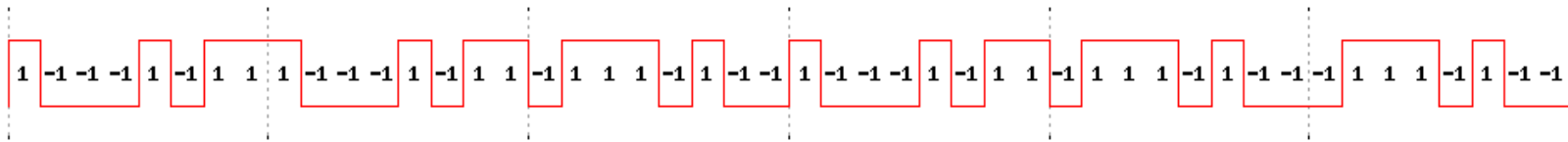
Πολλαπλασιασμός των δύο σημάτων



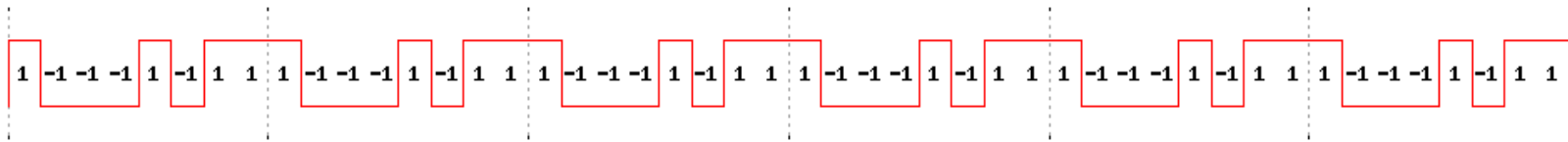
...μετάδοση

CDMA Παράδειγμα

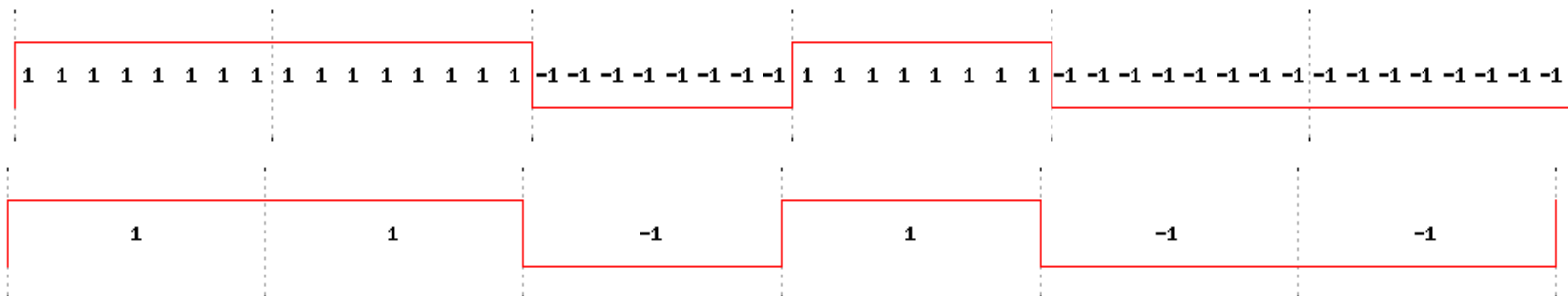
Λήψη σήματος



Πολλαπλασιασμός με τον ίδιο κώδικα CDMA

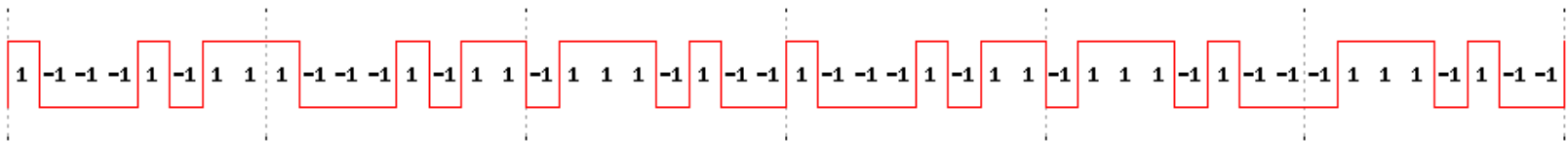


Αποτέλεσμα

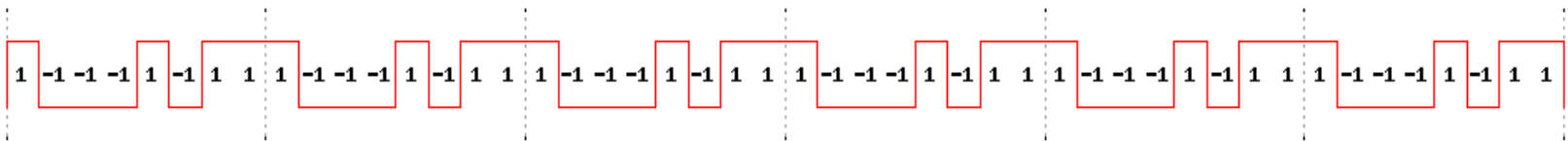


CDMA Παράδειγμα: Λάθος κώδικας

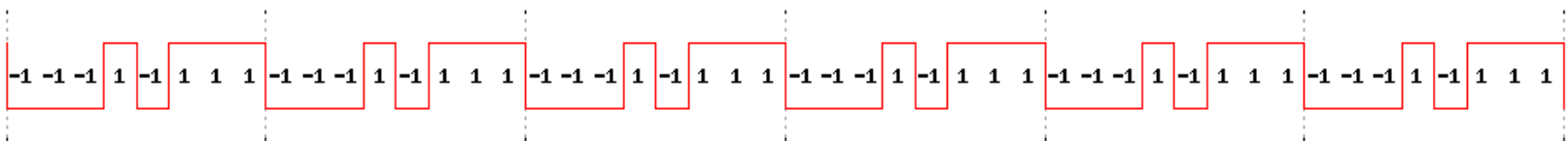
Λαμβανόμενο σήμα



Κώδικας CDMA

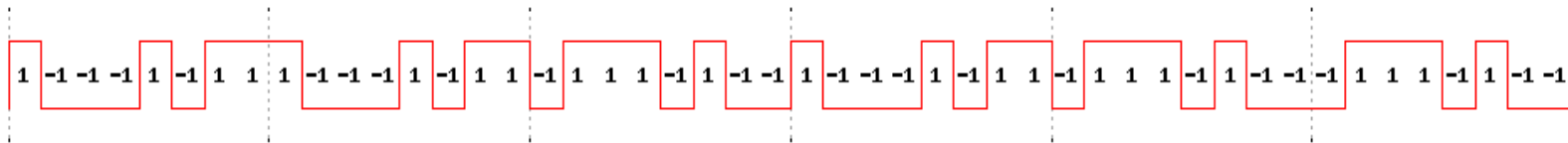


Λάθος Κώδικας CDMA (ολίσθηση κατά ένα bit)

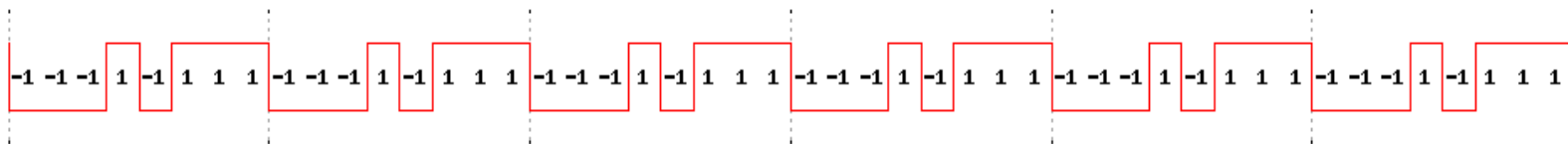


CDMA Παράδειγμα: Λάθος κώδικας

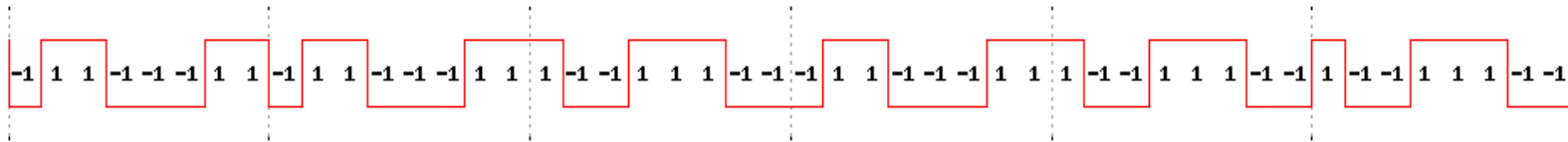
Λαμβανόμενο σήμα



Λάθος κώδικας



Αποτέλεσμα



Σήμα εκτός συχνότητας

CDMA Κώδικες

- Για να μπορεί να πραγματοποιηθεί η τεχνική CDMA, πρέπει οι κώδικες του κάθε χρήστη να έχουν συγκεκριμένες ιδιότητες, έτσι ώστε να μην υπάρχει περίπτωση να αποφανθεί ο παραλήπτης λάθος (δηλαδή, αν πολλαπλασιάσει με κώδικα άλλου χρήστη από αυτόν που εξέπεμψε, να πάρει αποτέλεσμα που να του δώσει να καταλάβει ότι πράγματι ο συγκεκριμένος χρήστης δεν μετέδωσε τίποτα).
- **Συμπέρασμα**
 - Οι κώδικες πρέπει να είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους, δηλαδή:
 - $(\text{κώδικας } A) \times (\text{κώδικας } B) = 0$ για κάθε ζευγάρι χρηστών A,B

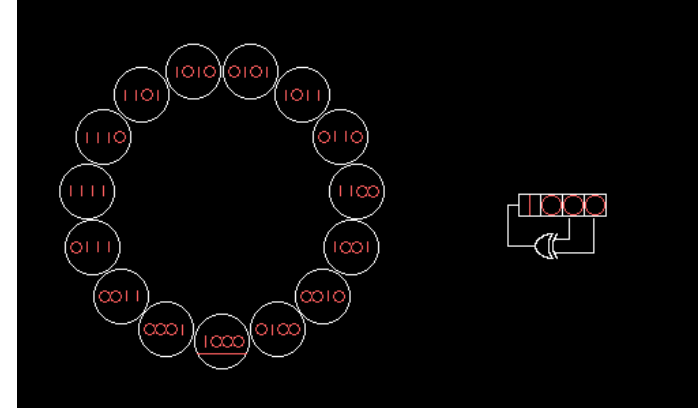
Σύγκριση τεχνικών πολύπλεξης

Τεχνική	Πλεονεκτήματα
FDMA	Απλότητα στην υλοποίηση
TDMA	Καλύτερη εκμετάλλευση φάσματος
CDMA	Βέλτιστη χρήση φάσματος

Αλγόριθμοι Παραγωγής CDMA κωδίκων

LFSR (1/3)

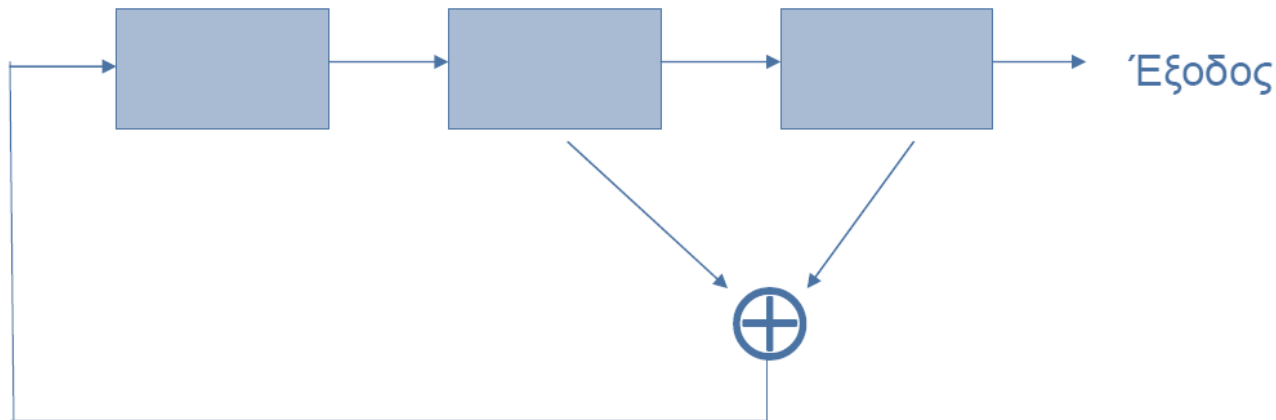
- Γραμμικοί καταχωρητές ολίσθησης με ανάδραση (Linear feedback shift register)
- Ένας LFSR αποτελείται από N βαθμίδες (θέσεις μνήμης): το περιεχόμενο κάθε μιας είναι είτε '0' είτε '1'
- Κάποιες από τις βαθμίδες αυτές γίνονται xor και το αποτέλεσμα πηγαίνει πίσω στην πρώτη βαθμίδα
- Αν ο LFSR βρίσκεται σε μία κατάσταση (δηλαδή οι βαθμίδες του έχουν μία συγκεκριμένη τιμή), τότε η επόμενη κατάστασή του προσδιορίζεται εύκολα από τον ακόλουθο κανόνα:
 - Όλες οι βαθμίδες (η τιμή τους δηλαδή) ολισθαίνουν κατά μία θέση δεξιά
 - Η νέα τιμή για την πρώτη βαθμίδα είναι το αποτέλεσμα της παραπάνω XOR πράξης



Αλγόριθμοι Παραγωγής CDMA κωδίκων

LFSR (2/3)

- Παράδειγμα: LFSR τριών βαθμίδων
 - Αν η αρχική κατάσταση είναι 001, τότε η έξοδος είναι 1 (η δεξιότερη βαθμίδα).
 - Την επόμενη χρονική στιγμή, η κατάσταση θα είναι 100 και η έξοδος 0.
 - Το 100 προκύπτει ως εξής: το «1» είναι το XOR που είχαν αρχικά η δεύτερη και η τρίτη βαθμίδα (που ήταν 0 και 1 αντίστοιχα), ενώ το «00» είναι απλά ολισθημένες οι τιμές που είχαν αρχικά η πρώτη με τη δεύτερη βαθμίδα.



Αλγόριθμοι Παραγωγής CDMA κωδίκων

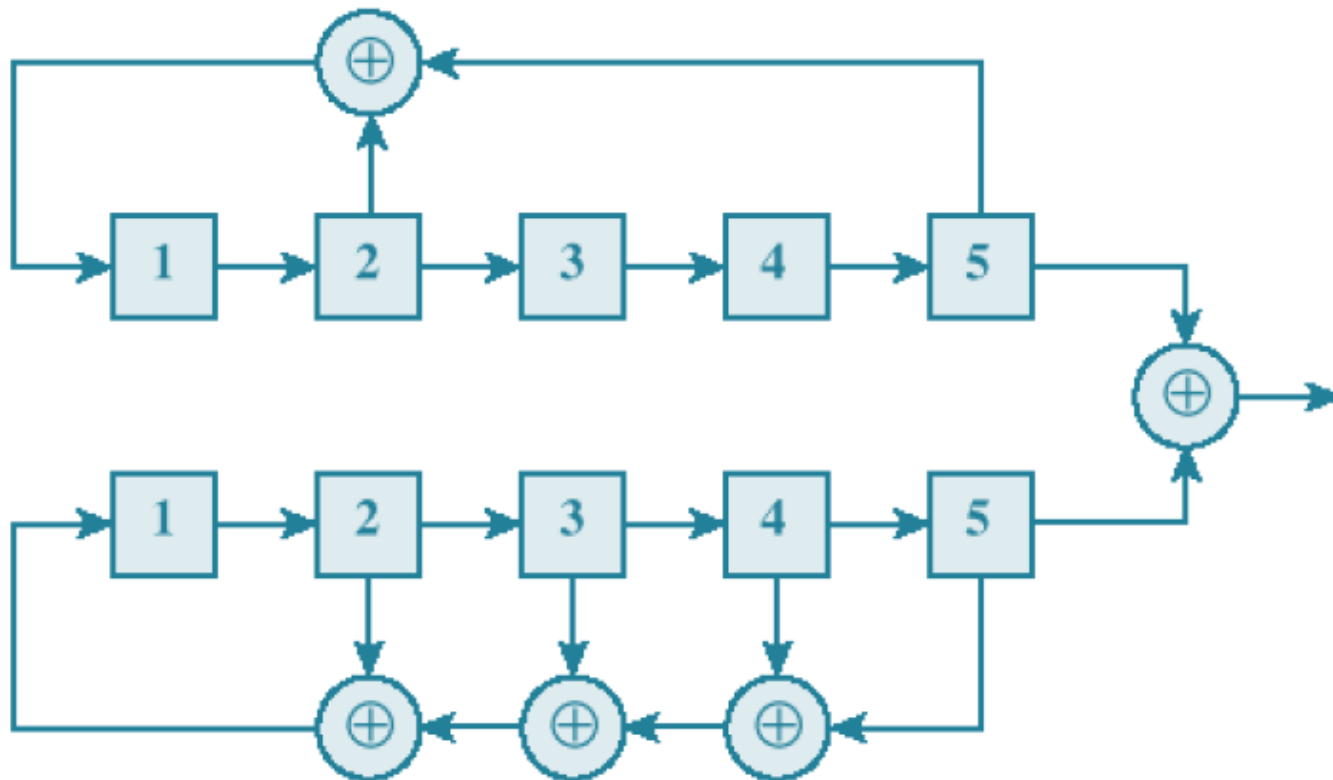
LFSR (3/3)

- Στον προηγούμενο LFSR, αν θεωρήσουμε ότι η αρχική κατάσταση είναι η 001, οι διαδοχικές καταστάσεις από τις οποίες περνάει (και η αντίστοιχη έξοδος που παράγεται) είναι αυτές που εμφανίζονται στον διπλανό πίνακα
- Η 001 έχει ξαναεμφανιστεί, οπότε οι καταστάσεις επαναλαμβάνονται. Άρα, ο συγκεκριμένος LFSR παράγει την ακολουθία 1001011, η οποία επαναλαμβάνεται περιοδικά.
- Ακολουθίες που παράγονται από LFSR που περνάνε από όλες τις πιθανές καταστάσεις (όπως η 1001011 που μόλις είδαμε) ονομάζονται ακολουθίες μεγίστου μήκους (*maximal-length sequences* ή *m-sequences*)

Κατάσταση	Έξοδος
001	1
100	0
010	0
101	1
110	0
111	1
011	1
001	1

Αλγόριθμοι Παραγωγής CDMA κωδίκων Ακολουθίες Gold

- Κατασκευάζονται με πράξη XOR μεταξύ δύο m-sequences που προκύπτουν από δύο διαφορετικούς LFSR.
- Παρουσιάζουν καλές ιδιότητες ετεροσυσχέτισης (δηλαδή, ορθογωνιότητας).



Άσκηση 1

Θεωρούμε το ψηφιακό σήμα πληροφορίας 100110101, με διάρκεια bit $T_s = 8\text{ ns}$ καθώς και τον κώδικα cdma (1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1), με διάρκεια bit 1 ns. Να υπολογιστεί η κωδικοποιημένη μορφή του σήματος πληροφορίας. Στην συνέχεια να γίνει η αποκωδικοποίηση του σήματος και να ελεγχθεί ο ορθότητά της.

Λύση

- [illegible]

[illegible]

Άσκηση 1

- Επαλήθευση

[illegible]

Άσκηση 2

Να παραχθεί ο κώδικας CDMA που αντιστοιχεί σε έναν LFSR τεσσάρων βαθμίδων, με αρχική κατάσταση 0100.

Χρονική Στιγμή	Κατάσταση	Έξοδος
0	0100	0
1	0010	0
2	1001	1
3	1100	0
4	0110	0
5	1011	1
6	0101	1
7	1010	0
8	1101	1
9	1110	0
10	1111	1
11	0111	1
12	0011	1
13	0001	1
14	1000	0
15	0100	

Άρα ο κώδικας είναι ο
001001101011110