



Κινητές επικοινωνίες

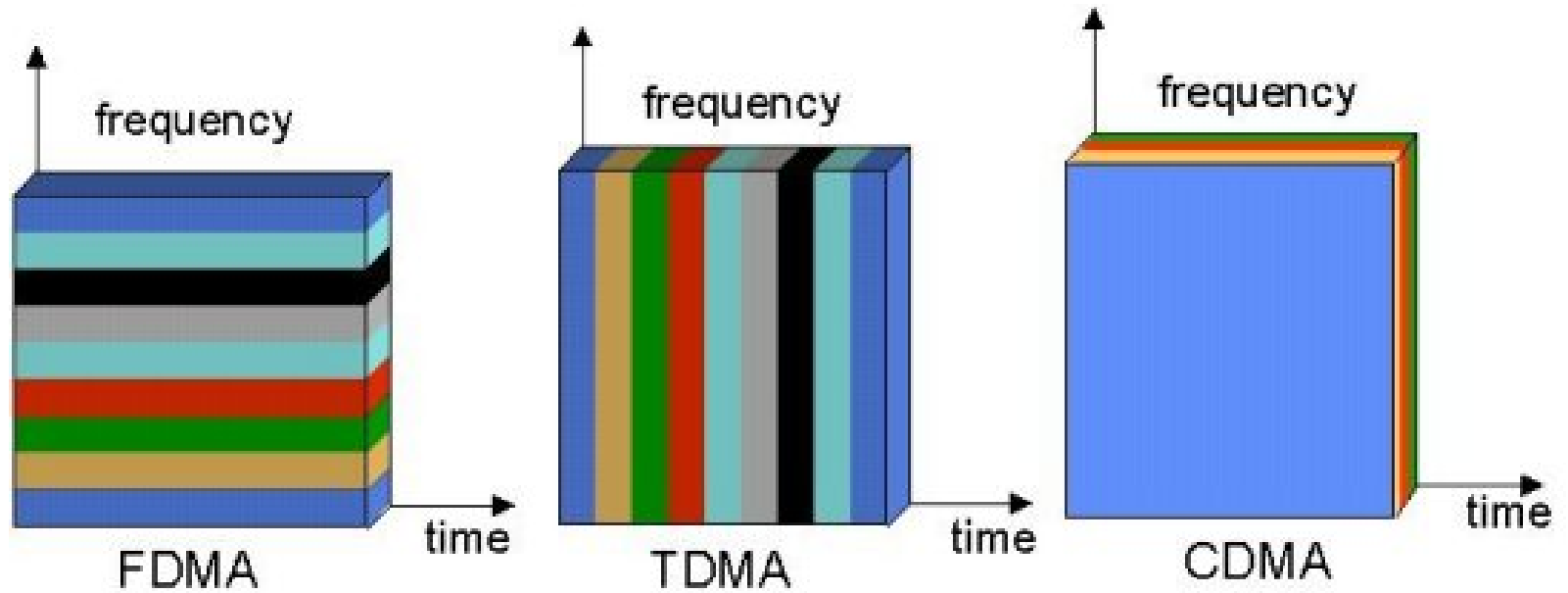
Κεφάλαιο 6

Τεχνικές πολυπλεξίας -
CDMA

Πολυπλεξία

- Η πολυπλεξία επιτρέπει την παράλληλη μετάδοση δεδομένων από διαφορετικές πηγές χωρίς αλληλοπαρεμβολές.
- Τρία βασικά είδη
 - **TDM/TDMA** (Time Division Multiple Access): Πολυπλεξία στο χρόνο
 - **FDM/FDMA** (Frequency Division Multiple Access): Πολυπλεξία στη συχνότητα
 - **WDM** (Wavelength Division Multiplexing): Ειδική περίπτωση FDM για οπτικές ίνες (πολύ υψηλές συχνότητες)
 - **CDMA** (Code Division Multiple Access): Πολυπλεξία κώδικα
- Συνδυασμοί των παραπάνω

Σχηματική αναπαράσταση



Πολυπλεξία στη Συχνότητα (Frequency Division Multiple Access)

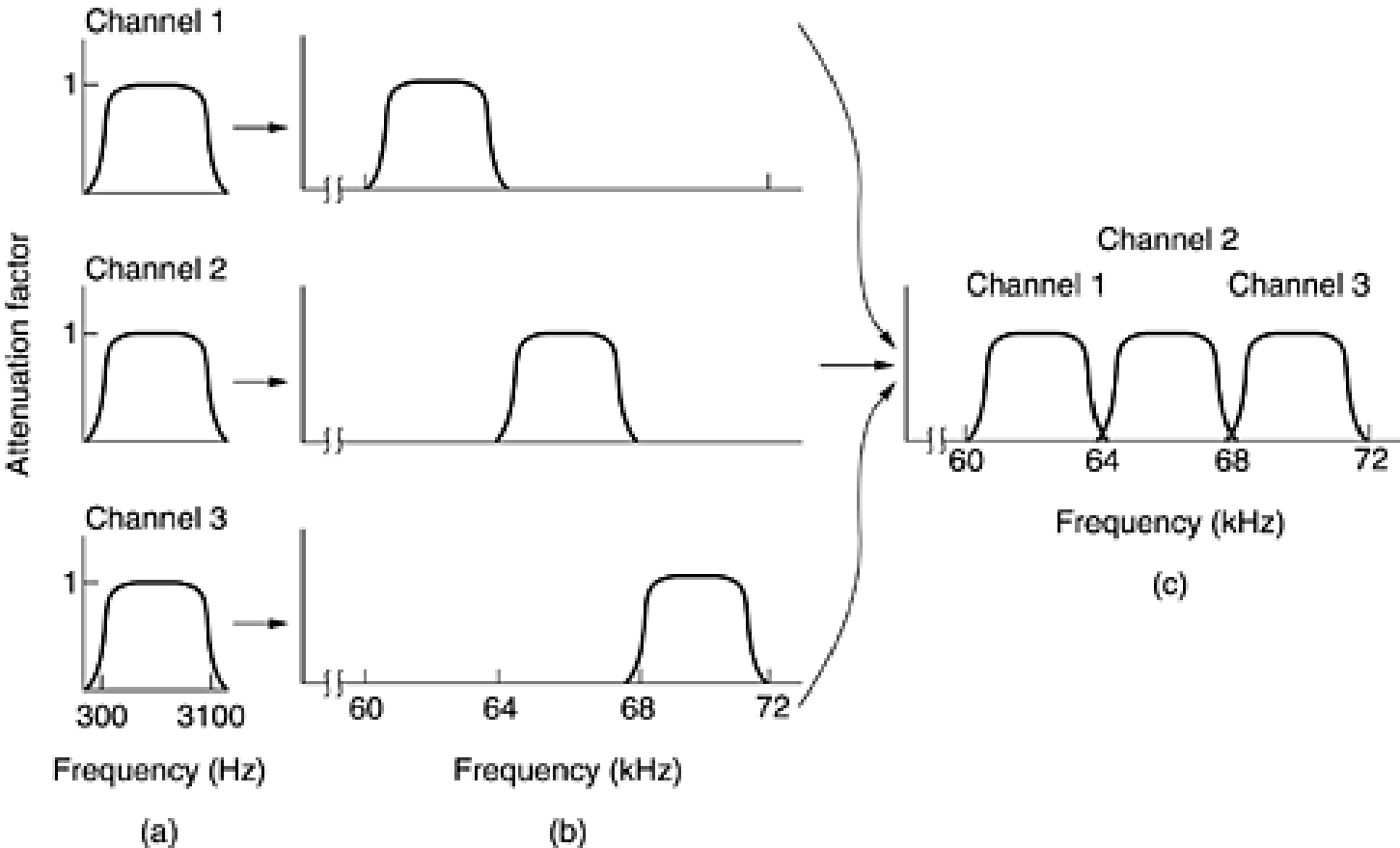
- Η πληροφορία διοχετεύεται σε κανάλια που διαφοροποιούνται μεταξύ τους στη συχνότητα φέροντος.

Έτσι, πολλές συνομιλίες είναι δυνατόν να λάβουν χώρα ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας κάποιες από τις συχνότητες του συστήματος.

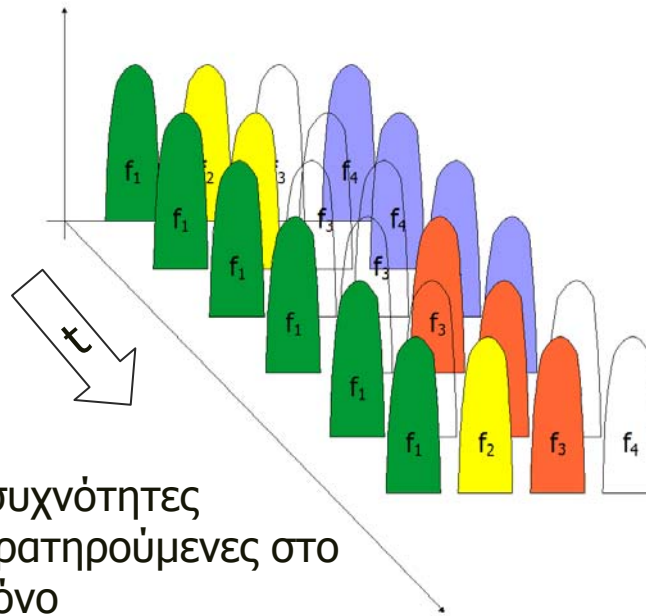


Στο GSM, έχουμε (τυπικά) το πολύ 15 διαφορετικές συχνότητες σε μία κυψέλη.

FDMA



[FDMA σε σχέση με το χρόνο]

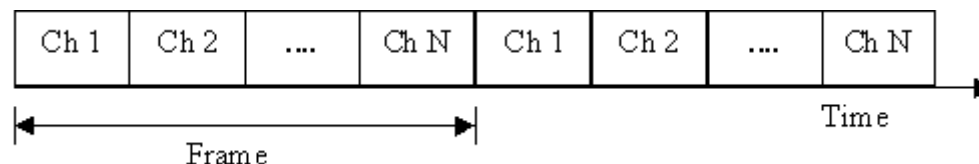


Πολυπλεξία στο Χρόνο (Time Division Multiple Access)

- Η πληροφορία διοχετεύεται σε τμήματα που διαδέχονται το ένα το άλλο στο χρόνο. Κάθε χρήστης μεταδίδει συγκεκριμένη χρονική στιγμή που καλείται χρονοθυρίδα.

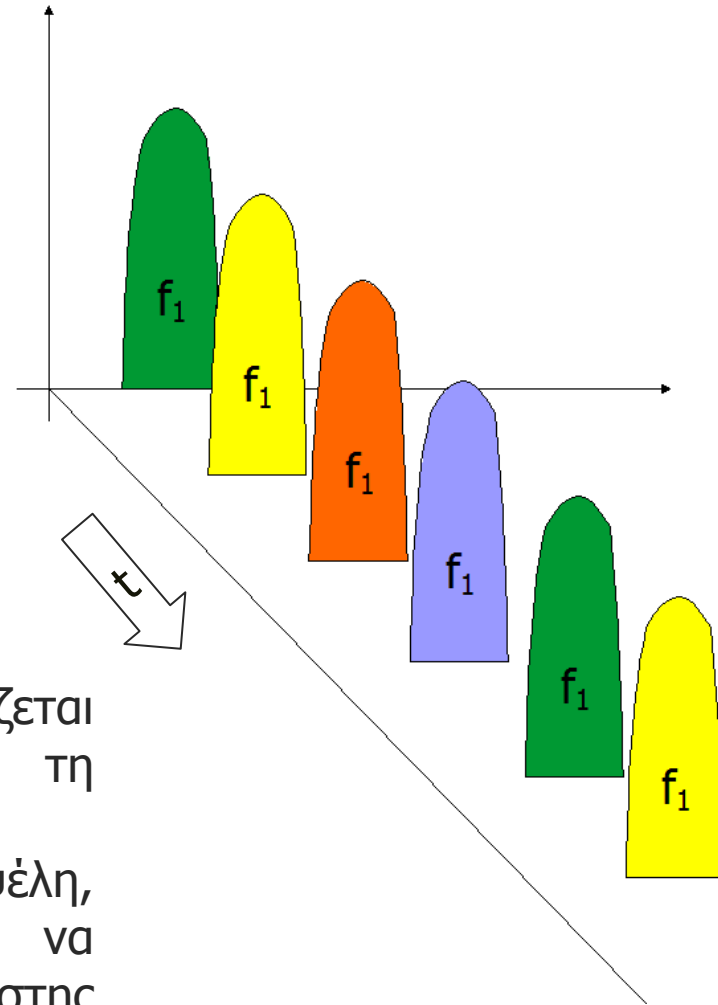
Έτσι, πολλές συνομιλίες είναι δυνατόν να λάβουν χώρα ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας μια συχνότητα.

Η ταχύτητα κάθε καναλιού υποβιβάζεται κατά τον αριθμό των χρονοθυρίδων



[TDMA

Στο GSM η χρήση του TDMA γίνεται για τη διαφοροποίηση των οχτώ καναλιών που υπάρχουν σε κάθε συχνότητα (πλαίσιο 8 χρονοθυρίδων).



- Άρα, το κανάλι στο GSM προσδιορίζεται από τη συχνότητα αλλά και από τη χρονοθυρίδα.
- Αν K συχνότητες διαθέτει μία κυψέλη, τότε ταυτόχρονα μπορούν να εξυπηρετηθούν $8K$ χρήστες (ένας χρήστης για κάθε μία από τις 8 χρονοθυρίδες και για κάθε συχνότητα)

Εισαγωγικά Στοιχεία για το CDMA

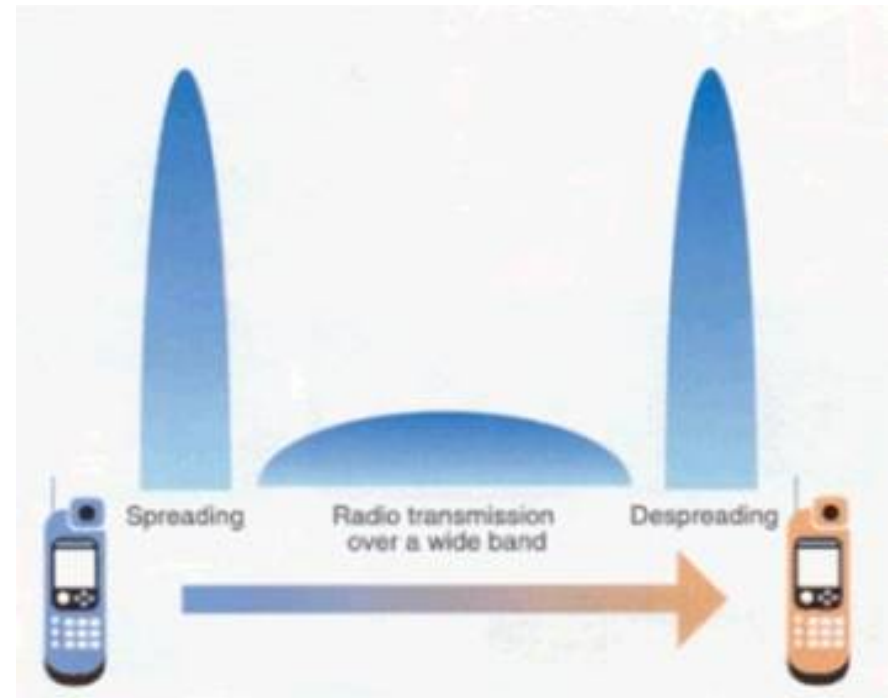
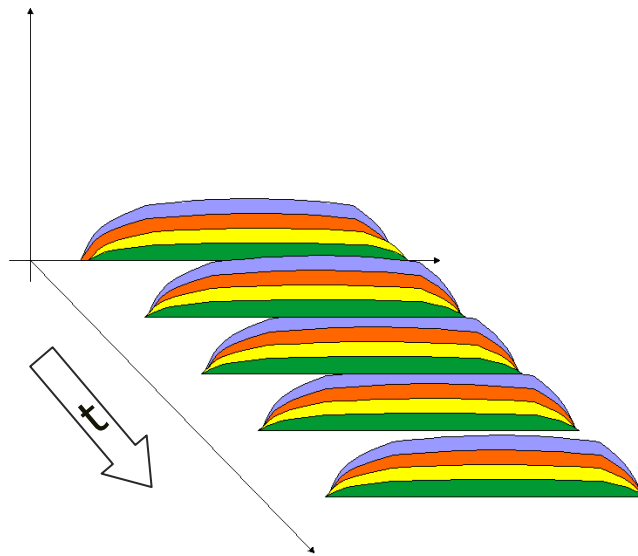
- CDMA: Code Division Multiple Access
- χρήση σε στρατιωτικές εφαρμογές από δεκαετίες
- βάση των συστημάτων 3ης γενιάς (UMTS)

- όλοι οι χρήστες
 - σε όλο το φάσμα συχνοτήτων (στο ίδιο)
 - την ίδια στιγμή
 - με **ιδιαίτερο κώδικα**, που χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση του σήματος
- Η CDMA τεχνική πρόσβασης αποτελεί παράδειγμα των τεχνικών πρόσβασης ευρέου φάσματος (spread spectrum)

Πολυπλεξία Κώδικα (Code Division Multiple Access)

- Η πληροφορία πολλαπλασιάζεται με μία κωδική ακολουθία (κώδικας), που είναι μοναδική για κάθε χρήστη.
- Στον δέκτη, ένας νέος πολλαπλασιασμός με τον ίδιο κώδικα λαμβάνει χώρα. Οι κώδικες είναι τέτοιοι ώστε να μπορεί ο δέκτης να αναγνωρίσει το μήνυμα του αποστολέα, χωρίς να τον επηρεάζουν οι μεταδόσεις άλλων χρηστών που επίσης λαμβάνει.
- Άρα: μεταδίδουν πολλοί χρήστες ταυτόχρονα, στην ίδια συχνότητα, χωρίς πρόβλημα (αρκεί οι κώδικες των χρηστών να είναι κατάλληλοι)

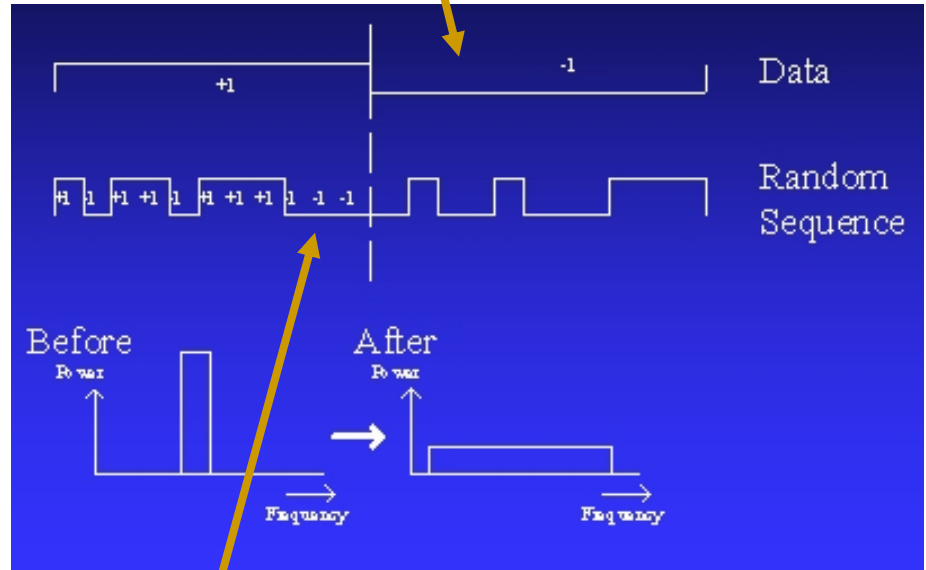
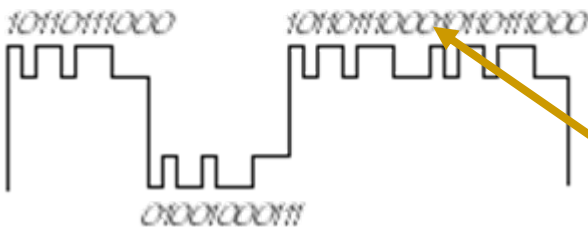
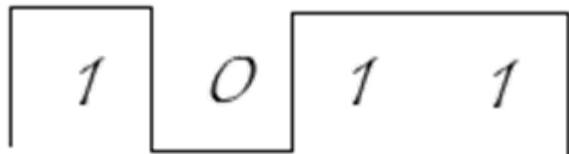
[CDMA]



Μεταφορική Παρουσίαση των τεχνικών πολλαπλής πρόσβασης

- 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 ένας, μετά ο άλλος 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

Πολλαπλασιασμός με κώδικα



Δεδομένα πολλαπλασιασμένα με κώδικα

Η ακολουθία του κώδικα είναι μεγαλύτερης συχνότητας. Ο πολλαπλασιασμός με αυτήν την ψευδοτυχαία ακολουθία προκαλεί τη διεύρυνση του φάσματος του σήματος

Πιο αναλυτικά

- Βασικές αρχές του CDMA
 - D = ρυθμός του σήματος δεδομένων
 - Κάθε bit μηνύματος κωδικοποιείται με k chips (με απλά λόγια, θα λέγαμε ότι κωδικοποιείται με k άλλα bit, που διαρκούν το ίδιο χρονικό διάστημα)
 - Τα chips προσδιορίζονται για κάθε bit μονοσήμαντα, ανάλογα με τον χρήστη
 - Ο ρυθμός των νέων κωδικοποιημένων bit (Chip) είναι πια μεγαλύτερος : kD

Παράδειγμα

- Κώδικας του χρήστη $A = (1, -1, -1, 1, -1, 1)$
(ισοδύναμα, μπορούσαμε να γράφαμε $(1,0,0,1,0,1)$ και να μετατρέπαμε εκ των υστέρων τα '0' σε '-1')
 - Για να στείλει το bit '1' : $(1, -1, -1, 1, -1, 1)$
 - Για να στείλει το bit '0' : $(-1, 1, 1, -1, 1, -1)$
 - Κώδικας του χρήστη $B = (1, 1, -1, -1, 1, 1)$
 - Έστω ότι στέλνει ο A το bit '1' – άρα, στέλνεται το $(1,-1,-1,1,-1,1)$
 - Ο παραλήπτης δεν ξέρει ποιος εκπέμπει τι. Πολλαπλασιάζει αυτό που λαμβάνει (received pattern) με τους κώδικες του κάθε χρήστη:
 - (Κώδικας A) x (received pattern) =
 $1 \times 1 + (-1) \times (-1) + (-1) \times (-1) + 1 \times 1 + (-1) \times (-1) + 1 \times 1 = 6$
 - (Κώδικας B) x (received pattern) =
 $1 \times 1 + (1) \times (-1) + (-1) \times (-1) + (-1) \times 1 + 1 \times (-1) + 1 \times 1 = 0$
- Άρα, ο παραλήπτης καταλαβαίνει ότι μετέδωσε ο A το bit '1' (αν ο πολλαπλασιασμός με τον κώδικα του A έδινε -6, θα καταλάβαινε ότι θα είχε μεταδώσει ο A το bit '0').

[Ιδιότητες κωδίκων]

- 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 μετάδοσε τίποτα).
- Συμπέρασμα: **Οι κώδικες πρέπει να είναι ορθογώνιοι, δηλαδή:**
(κώδικας A) x (κώδικας B) = 0
για κάθε ζευγάρι χρηστών A,B

[Παράδειγμα]

- Έστω ότι οι κώδικες τριών χρηστών σε CDMA σύστημα είναι οι εξής:
A: (-1 +1 +1 -1 -1 +1 +1 -1)
B: (-1 +1 -1 +1 +1 -1 +1 -1)
C: (-1 +1 +1 -1 +1 -1 -1 +1)

Ο δέκτης λαμβάνει την ακολουθία chip (+1 +1 +1 +1 +3 -1 -1 +3).
Ποιοι από τους χρήστες μετέδωσαν και τι?

[Λύση]

- Ο παραλήπτης πολλαπλασιάζει την ακολουθία που λαμβάνει με τον κώδικα του κάθε χρήστη:
- Για τον A:
$$(-1) \times (1) + 1 \times 1 + 1 \times 1 + (-1) \times 1 + (-1) \times 3 + 1 \times (-1) + 1 \times (-1) + (-1) \times 3 = -8$$
Άρα, ο A έστειλε το bit '0'
- Για τον B:
$$(-1) \times (1) + 1 \times 1 + (-1) \times 1 + 1 \times 1 + 1 \times 3 + (-1) \times (-1) + 1 \times (-1) + (-1) \times 3 = 0$$
Άρα, ο B δεν έστειλε τίποτα
- Για τον C:
$$(-1) \times (1) + 1 \times 1 + 1 \times 1 + (-1) \times 1 + 1 \times 3 + (-1) \times (-1) + (-1) \times (-1) + 1 \times 3 = 8$$
Άρα, ο C έστειλε το bit '1'

[Κάποια σχόλια]

- Στο προηγούμενο παράδειγμα, αν αθροίσουμε τα σήματα που έστειλαν ο A και ο C, δεν θα βρούμε το λαμβανόμενο σήμα που έφτασε στον δέκτη. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι υπάρχει τουλάχιστον ένας ακόμα χρήστης, πέρα από τους A,C, που μετέδωσε κάτι
 - Αυτό μπορούσε να το υποθέσει κανείς και από το νούμερο 3 που παίρνει η τιμή ενός chip που φτάνει στον δέκτη. Το 3 μπορεί να προκύψει από υπέρθεση 3 χρηστών, άρα τουλάχιστον 3 χρήστες μετέδωσαν.

Σύγκριση των τεχνικών

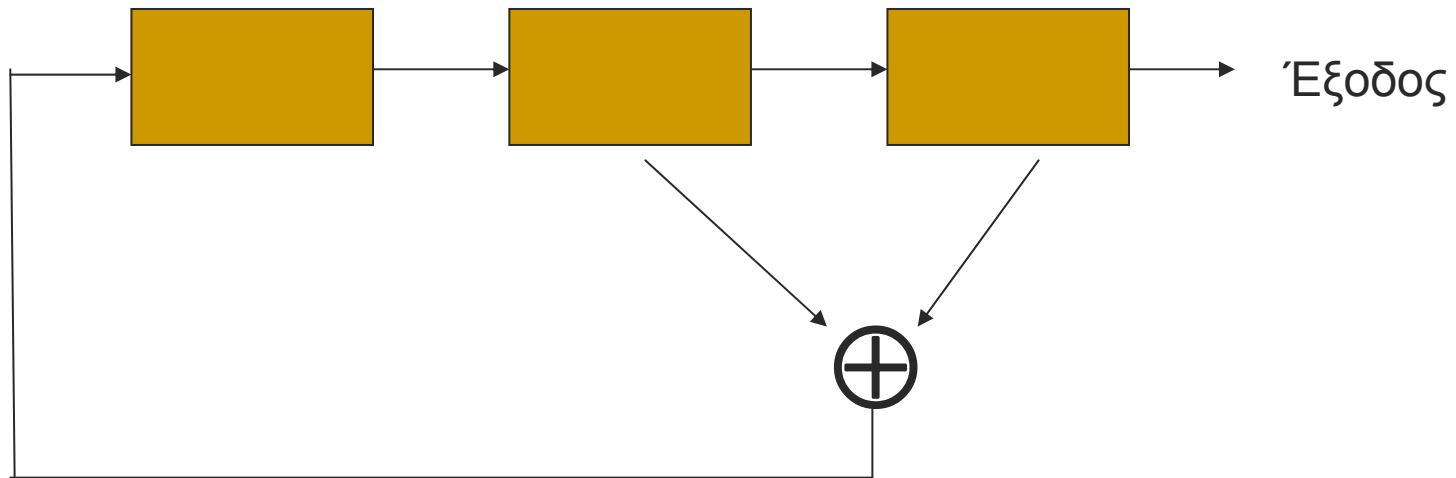
Τεχνική	Πλεονεκτήματα
FDMA	Απλότητα στην υλοποίηση.
TDMA	Καλύτερη εκμετάλλευση φάσματος.
CDMA	Βέλτιστη χρήση φάσματος.

Πώς φτιάχνουμε κατάλληλους κώδικες?

- Τυπική περίπτωση: με γραμμικούς καταχωρητές ολίσθησης με ανάδραση (LFSR).
- 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

Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας ενός LFSR

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.

Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας ενός LFSR (II)

- 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:

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

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)**

[Γιατί LFSR?]

- Όταν ένας LFSR μήκους L περνάει από όλες τις πιθανές καταστάσεις ($2^L - 1$), τότε η ακολουθία που παράγεται έχει καλές ιδιότητες αυτοσυσχέτισης, δηλαδή αν πολλαπλασιαστεί με οποιαδήποτε ολίσθηση του εαυτού της δίνει πάντα αποτέλεσμα -1 (δεν μπορεί να δώσει αποτέλεσμα 0 που είναι αυτό που θα θέλαμε ιδανικά, λόγω του ότι το πλήθος των ψηφίων της είναι περιττός αριθμός. Δίνει όμως πάντα -1).
- Σαν κώδικες λοιπόν, λαμβάνονται οι διάφορες ολισθήσεις ακολουθίας που παράγεται από LFSR που περνάνε από όλες τις καταστάσεις

[Παράδειγμα]

- Ο προηγούμενος LFSR μήκους 3 είχε σαν έξοδο την ακολουθία 1001011, η οποία αντιστοιχεί στον κώδικα (1,-1,-1,1,-1,1,1).
- Ας θεωρήσουμε μία οποιαδήποτε ολίσθηση της ακολουθίας αυτής: έστω ολίσθηση δύο θέσεων, δηλαδή προκύπτει η 1110010. Αυτή αντιστοιχεί σε κώδικα (1,1,1,-1,-1,1,-1).
- Πολλαπλασιάζοντας τους δύο κώδικες, έχουμε:
$$1 \times 1 + (-1) \times 1 + (-1) \times 1 + 1 \times (-1) + (-1) \times (-1) + 1 \times 1 + 1 \times (-1) = -1$$
- Το ίδιο αποτέλεσμα (-1) θα προκύψει και για οποιαδήποτε άλλη ολίσθηση της ακολουθίας! Άρα, μπορούμε να έχουμε (για το συγκεκριμένο παράδειγμα) 7 ορθογώνιους κώδικες.

Άλλος τρόπος παραγωγής κωδίκων

- **Ακολουθίες Gold:** κατασκευάζονται με πράξη XOR μεταξύ δύο m-sequences που προκύπτουν από δύο διαφορετικούς LFSR.
- Παρουσιάζουν επίσης καλές ιδιότητες ετεροσυσχέτισης (δηλαδή, ορθογωνιότητας).

