



Μετάδοση πληροφορίας - Διαμόρφωση

ΜΥΕ006: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

Ευάγγελος Παπαπέτρου



Διάρθρωση μαθήματος

- Μετάδοση - Βασικές έννοιες
- Διαμόρφωση
 - ορισμός
 - είδη διαμόρφωσης
- Παραδοσιακές τεχνικές διαμόρφωσης
 - Amplitude Modulation (AM)
 - Amplitude Shift Keying (ASK)
 - Multiple Frequency Shift Keying (MFSK)
 - Pulse Code Modulation (PCM)
 - Delta Modulation (DM)
- Τεχνικές διευρυμένου φάσματος
 - Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
 - Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
 - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

Μετάδοση - Βασικές έννοιες

Εισαγωγή

- Τα σήματα που μεταδίδονται σε ένα ασύρματο δίκτυο μεταφέρουν δεδομένα
 - ως συνέπεια περιέχουν πολλές *συχνοτικές συνιστώσες*
- Μετάδοση: η διέλευση μέσα από ένα κανάλι ενός σήματος που αποτελείται από πολλές *συχνοτικές συνιστώσες*

Αναπαράσταση σήματος-Πεδίο χρόνου (1/2)

- Κάθε σήμα που μεταφέρει πληροφορία μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση του χρόνου
 - Αναλογικό σήμα: λαμβάνει τιμές από ένα συνεχές πεδίο
 - Ψηφιακό σήμα: λαμβάνει διακριτές τιμές
 - Πλάτος σήματος: η μεγαλύτερη τιμή του σε όλο το πεδίο του χρόνου
- Περιοδικό σήμα
 - κάθε σήμα (αναλογικό ή ψηφιακό) για το οποίο ισχύει $s(t) = s(t+T)$
 - T – περίοδος σήματος, συχνότητα $f=1/T$
 - Φάση ϕ – υποδεικνύει τη χρονική στιγμή μέσα σε μια περίοδο του σήματος

Αναπαράσταση σήματος-Πεδίο χρόνου (2/2)

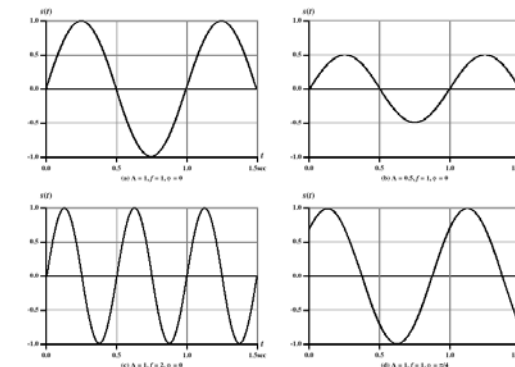


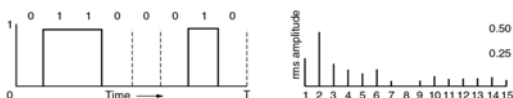
Figure 2.3 $s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$

Αναπαράσταση σήματος-Πεδίο συχνότητας(1/2)

- Κάθε σήμα μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση της συχνότητας
 - ένα σήμα μπορεί να θεωρηθεί ως άθροισμα περιοδικών σημάτων διαφορετικών συχνοτήτων

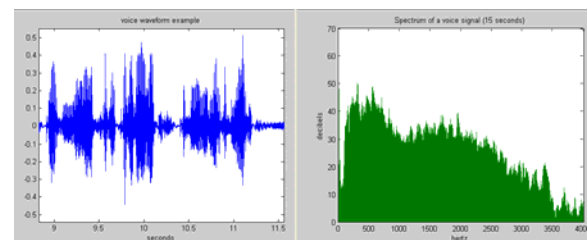
□Ανάλυση Fourier

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$



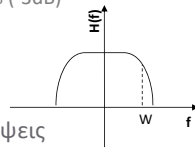
Αναπαράσταση σήματος-Πεδίο συχνότητας(2/2)

- Φάσμα: οι συχνότητες που ένα σήμα περιέχει
- Πληροφοριακό περιεχόμενο
 - μεγαλύτερο όσο περισσότερες συχνότητες περιέχονται σε ένα σήμα



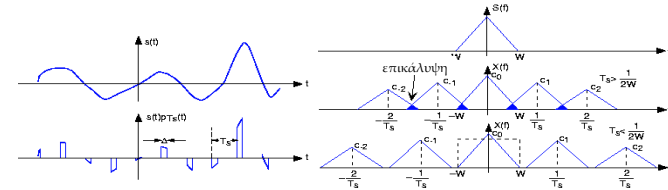
Μοντελοποίηση καναλιού μετάδοσης

- Κάθε φυσικό μέσο μετάδοσης χαρακτηρίζεται από:
 - τη συνάρτηση μεταφοράς $H(f)$
 - εύρος ζώνης συχνοτήτων W (Hz)
 - το σύνολο των συχνοτήτων που μπορούν να μεταδοθούν μέσα από το κανάλι με εξασθένιση μικρότερη από 50% (-3dB)
 - τα επίπεδα θορύβου
- Η συνάρτηση μεταφοράς μπορεί:
 - να μεταβάλλεται με το χρόνο, π.χ. διαλείψεις
 - να μην είναι ομοιόμορφη σε όλο το εύρος συχνοτήτων
 - παραμόρφωση του σήματος

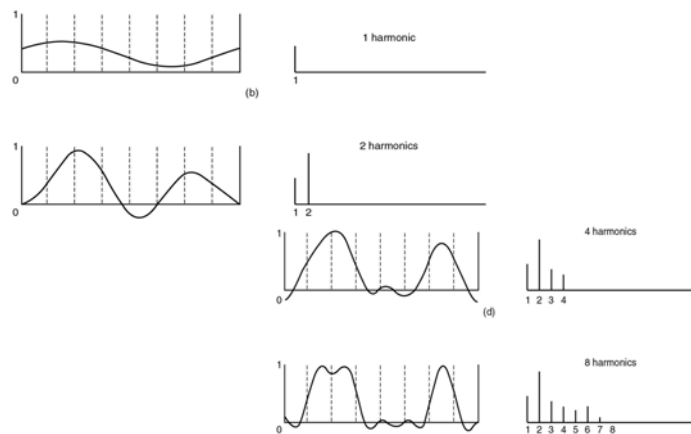


Ψηφιοποίηση: Δειγματοληψία

- Η ψηφιακή μετάδοση στηρίζεται στην αρχή της **δειγματοληψίας**
- **Θεώρημα δειγματοληψίας (Nyquist)**
 - ο ελάχιστος ρυθμός λήψης δειγμάτων είναι $2W$ δείγματα/sec
- Η ψηφιοποίηση επιτυγχάνεται με **κβάντιση των δειγμάτων**
 - η πληροφορία που αντιστοιχεί στον ρυθμό αυτό είναι $2W \log_2(V)$ (bps) όπου V ο αριθμός των κβαντισμένων επιπέδων της δειγματοληψίας



Ψηφιοποίηση: ανάκτηση σήματος

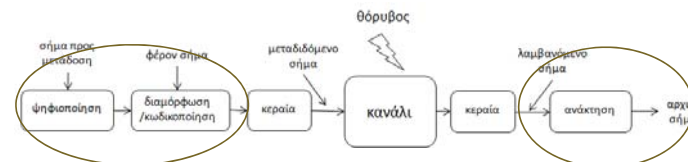


Διαμόρφωση

Εισαγωγή

- ❑ Όλα τα σήματα πληροφορίας δεν είναι κατάλληλα για μετάδοση μέσα από οποιοδήποτε κανάλι
- ❑ Πολλές φορές το σήμα πληροφορίας πρέπει να **μετατραπεί** ώστε να μεταδοθεί μέσα από ένα κανάλι
 - η μετατροπή επιτυγχάνεται με τη **διαμόρφωση**
- ❑ Η διαμόρφωση μπορεί επίσης να έχει ως στόχους
 - την ανοχή σε θόρυβο και παρεμβολές
 - το χρονισμό πομπού και δέκτη
 - μείωση του κόστους και της πολυπλοκότητας των τηλ. διατάξεων

Διαμόρφωση: Ορισμός



Διαμόρφωση: η διαδικασία μεταβολής των παραμέτρων ενός σήματος αναφοράς με βάση το σήμα πληροφορίας με σκοπό την παραγωγή ενός κατάλληλου σήματος για μετάδοση

- ❑ Το σήμα αναφοράς είναι συνήθως ένα ημίτονο και καλείται **φέρον σήμα**
 - παράμετροι που μπορεί να μεταβάλλονται: πλάτος, συχνότητα, φάση

Είδη διαμόρφωσης (1/2)

- ❑ Οι τεχνικές διαμόρφωσης κατηγοριοποιούνται με βάση
 - το είδος του σήματος πληροφορίας,
 - το είδος του μεταδιδόμενου σήματος, και
 - το είδος του καναλιού
- ❑ Βασικές κατηγορίες
 - αναλογικές τεχνικές
 - τόσο το σήμα πληροφορίας όσο και το διαμορφωμένο σήμα είναι αναλογικά
 - σημαντικότερες τεχνικές: Amplitude Modulation (AM), Frequency Modulation (FM), κλπ
 - ψηφιακές τεχνικές
 - το σήμα πληροφορίας είναι ψηφιακό και το διαμορφωμένο σήμα είναι αναλογικό
 - σημαντικότερες τεχνικές : Amplitude Shift Keying (ASK), κλπ

Είδη διαμόρφωσης (2/2)

- ❑ Βασικές κατηγορίες (συνέχεια)
 - Analog to Digital Pulse Modulation
 - το σήμα πληροφορίας είναι αναλογικό ενώ το διαμορφωμένο σήμα είναι ψηφιακό
 - είναι ιδιαίτερα σημαντικές σε αρκετά ψηφιακά ασύρματα δίκτυα
 - σημαντικότερες τεχνικές: Pulse Code Modulation (PCM), διαμόρφωση δέλτα (Delta Modulation), κλπ
 - line coding ή digital baseband modulation
 - το σήμα πληροφορίας όσο και το διαμορφωμένο σήμα είναι ψηφιακά
 - σημαντικότερες τεχνικές: NRZ (non-return-to-zero), Manchester, κλπ

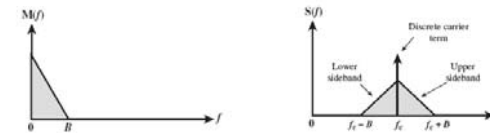
Παραδοσιακές τεχνικές διαμόρφωσης

Amplitude Modulation (AM)

- Αναλογική τεχνική
- Τα δεδομένα διαμορφώνουν το πλάτος του φέροντος σήματος

$$s(t) = [1 + n_a x(t)] \cos 2\pi f_c t$$

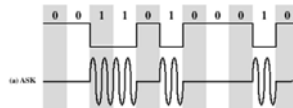
- $x(t)$: σήμα πληροφορίας
- n_a λόγος πλάτους του σήματος πληροφορίας προς το πλάτος του φέροντος σήματος



Amplitude Shift Keying (ASK)

- Ψηφιακή τεχνική
- Κάθε bit πληροφορίας αναπαρίσταται με την ύπαρξη ή όχι του φέροντος σήματος, το οποίο έχει σταθερό πλάτος

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{binary 1} \\ 0 & \text{binary 0} \end{cases}$$



□ Ιδιότητες:

- ευάλωτη σε απότομες μεταβολές του κέρδους
- συνήθως υποστηρίζει χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης

□ Χρησιμοποιείται:

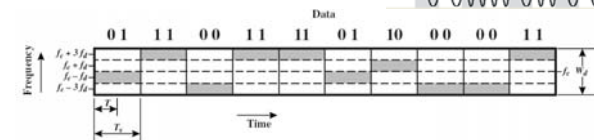
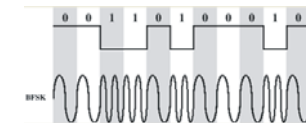
- οπτικά δίκτυα
- σε γραμμές μεταφοράς δεδομένων φωνής με ρυθμό μετάδοσης μέχρι 1200 bps

Multiple Frequency Shift Keying (MFSK)

- Ψηφιακή τεχνική
- Κάθε bit πληροφορίας αναπαρίσταται με τη μετάδοση σε $M=2^L$ διαφορετικές συχνότητες
- ένα σύνολο από L bits καλείται σύμβολο

$$s(t) = A \cos(2\pi f_i t) \quad , 1 \leq i \leq M$$

- $f_i = f_c + (2i - 1 - M)f_d$
- $f_c = \eta$ συχνότητα του φέροντος
- $f_d = \Delta$ διαφορά συχνοτήτων



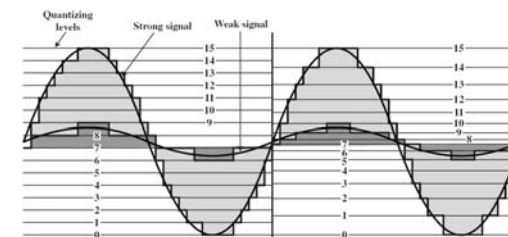
Pulse Code Modulation (PCM) (1/3)

- Στηρίζεται στην υλοποίηση του θεωρήματος της δειγματοληψίας και την κβάντιση των δειγμάτων
- Η διαδικασία της δειγματοληψίας είναι γνωστή ως Pulse Amplitude Modulation (PAM)
 - οι παραγόμενοι παλμοί μπορούν να έχουν οποιαδήποτε τιμή



Pulse Code Modulation (PCM) (2/3)

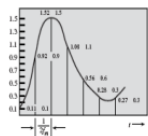
- Οι παλμοί PAM προσεγγίζονται (κβάντιση) με M επίπεδα
- Τα επίπεδα κβαντοποίησης μπορεί να είναι ίδια (γραμμική κωδικοποίηση) ή όχι (μη γραμμική)



Pulse Code Modulation (PCM) (3/3)

- Τα κβαντισμένα δείγματα αναπαρίστανται από $n = \log_2(M)$ bits
 - μεταδίδονται τα bits που αναπαριστούν τους παλμούς PAM
- Η κβάντιση παραμόρφωση στο σήμα πληροφορίας
 - η παραμόρφωση μετρείται με ένα ισοδύναμο θορύβου που καλείται θόρυβος κβαντοποίησης

$$SNR_{dB} = 20 \log 2^n + 1.76 = 6.02n + 1.76 dB$$



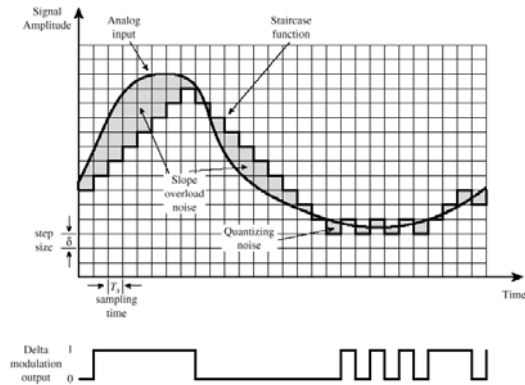
Θετ	Βinary Επιπέδων	PCM κωδικοί	Θετ	Βinary Επιπέδων	PCM κωδικοί
0	0000	---	8	1000	---
1	0001	---	9	1001	---
2	0010	---	10	1010	---
3	0011	---	11	1011	---
4	0100	---	12	1100	---
5	0101	---	13	1101	---
6	0110	---	14	1110	---
7	0111	---	15	1111	---

Delta Modulation (1/2)

- Η διαμόρφωση Δέλτα χρησιμοποιείται για να βελτιώσει
 - την απόδοση της PCM
 - την πολυπλοκότητα υλοποίησης της PCM
- Το σήμα προσεγγίζεται από μια συνάρτηση μορφής κλίμακας
 - η συνάρτηση κινείται πάνω ή κάτω κατά ένα επίπεδο κβάντισης σε κάθε διάστημα δειγματοληψίας
 - ουσιαστικά προσεγγίζεται η παράγωγος του σήματος δεδομένων
 - η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται από: α) το μέγεθος του επιπέδου κβάντισης, β) το διάστημα δειγματοληψίας

Τεχνικές μετάδοσης με φασματική εξάπλωση

Delta Modulation (2/2)



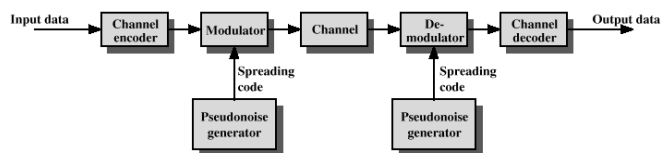
Εισαγωγή

- Χρησιμοποιείται σε ψηφιακά συστήματα
 - έχει εφαρμοστεί στα ασύρματα δίκτυα νέας γενιάς, π.χ. δίκτυα IEEE 802.11
- Πλεονεκτήματα
 - ταυτόχρονη χρήση όλου του φάσματος από χρήστες
 - μεγαλύτεροι ρυθμοί μετάδοσης
 - ανθεκτικότητα στην επιλεκτική συμπεριφορά του καναλιού σε διαφορετικές συχνότητες
 - αξιοπιστία και ασφάλεια στη μετάδοση δεδομένων
- Μειονεκτήματα
 - σχετικά υψηλό κόστος υλοποίηση πομποδεκτών

Διασπορά φάσματος

- Το σήμα πληροφορίας *διαμορφώνεται* με μια ακολουθία ψηφίων
 - η ακολουθία ψηφίων καλείται *κώδικας* ή *ακολουθία εξάπλωσης*
- Αποτέλεσμα διαδικασίας: *διασπορά φάσματος του σήματος πληροφορίας*
- Λήψη:
 - ο παραλήπτης χρησιμοποιώντας την ίδια διαδικασία και τον *ίδιο κώδικα* λαμβάνει το αρχικό σήμα πληροφορίας
 - κάθε άλλος χρήστης που δεν γνωρίζει τον κώδικα δεν μπορεί να λάβει τα δεδομένα και αντιλαμβάνεται το μεταδιδόμενο σήμα ως θόρυβο

Σύστημα διευρυμένου φάσματος



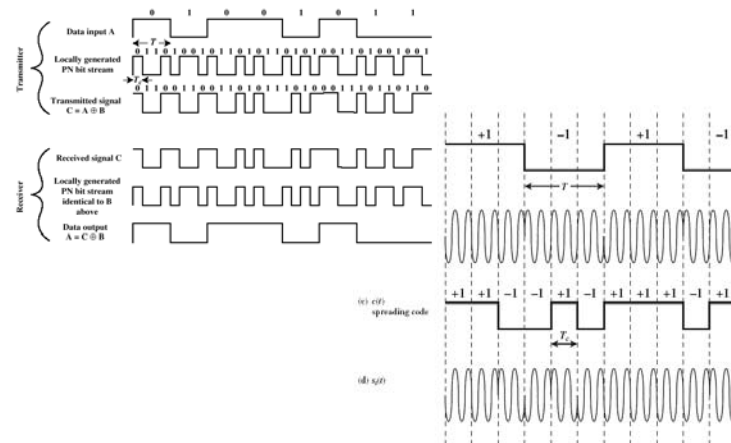
Είδη διασποράς φάσματος

- Υπάρχουν δύο σημαντικές τεχνικές διασποράς φάσματος
 - διασπορά ευθείας ακολουθίας – Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
 - διασπορά με αναπήδηση συχνότητας – Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
- Κάθε τεχνική ορίζει διαφορετικό τρόπο με τον οποίο μπορεί να συνδυαστεί ο κώδικας διασποράς με το σήμα πληροφορίας

Direct Sequence (DSSS) (1/4)

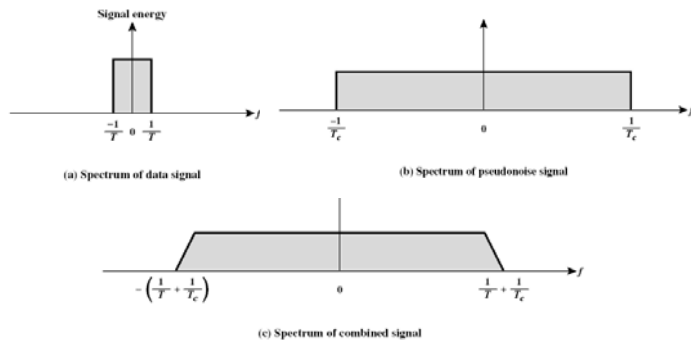
- Το σήμα πληροφορίας συνδυάζεται απ'ευθείας με τον κώδικα διασποράς
 - ο ρυθμός του κώδικα διασποράς είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό του σήματος πληροφορίας
 - αποτέλεσμα: κάθε bit του σήματος πληροφορίας «μετασχηματίζεται» σε μια ακολουθία bits του μεταδιδόμενου σήματος
- Ο συνδυασμός του κώδικα διασποράς με το σήμα πληροφορίας μπορεί να είναι:
 - πολλαπλασιασμός
 - η πράξη XOR

Direct Sequence (DSSS) (2/4)

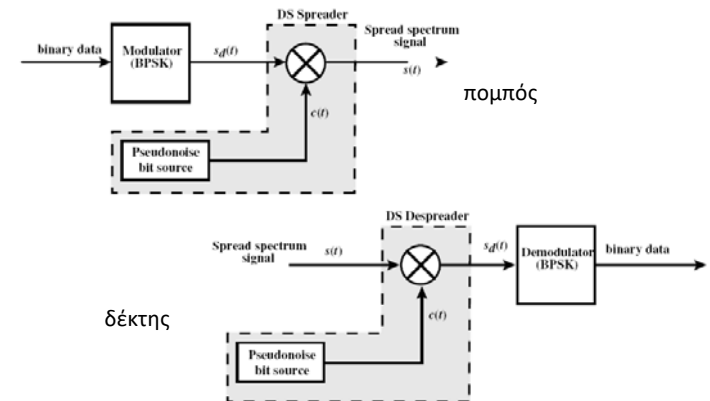


Direct Sequence (DSSS) (3/4)

- Αποτέλεσμα είναι η εξάπλωση του φάσματος
 - η εξάπλωση είναι ευθέως ανάλογη του ρυθμού του κώδικα διασποράς



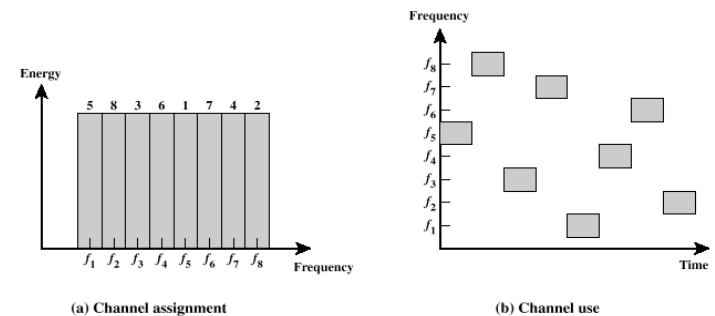
Direct Sequence (DSSS) (4/4)



Frequency Hopping (FHSS) (1/4)

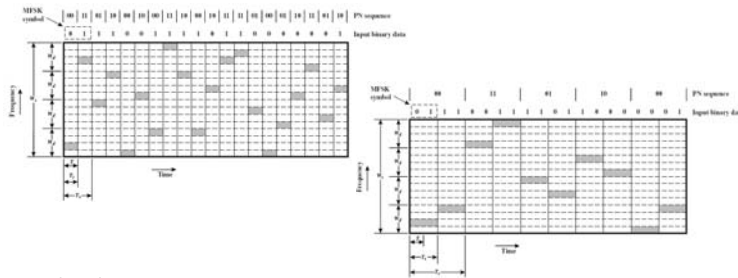
- Το διαθέσιμο εύρος ζώνης συχνοτήτων χωρίζεται σε μικρότερες περιοχές συχνοτήτων
 - κάθε περιοχή συχνοτήτων χαρακτηρίζεται από ένα φέρον σήμα
 - κάθε περιοχή συχνοτήτων έχει εύρος που μπορεί να υποστηρίξει τη μετάδοση του σήματος πληροφορίας
- Το σήμα πληροφορίας διαμορφώνεται *περιοδικά* σε διαφορετική περιοχή συχνοτήτων
 - η επιλογή της περιοχής συχνοτήτων γίνεται με βάση τον κώδικα διασποράς

Frequency Hopping (FHSS) (2/4)

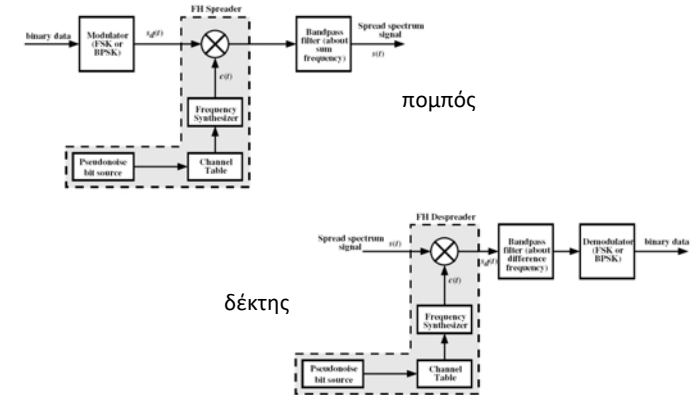


Frequency Hopping (FHSS) (3/4)

- Διακρίνονται δύο είδη αναπήδησης ανάλογα με τη σχέση της περιόδου αλλαγής φέροντος (T_c) και της διάρκειας ενός μεταδιδόμενου συμβόλου (T_s):
 - αργή αναπήδηση ($T_c \geq T_s$)
 - γρήγορη αναπήδηση ($T_c \leq T_s$)

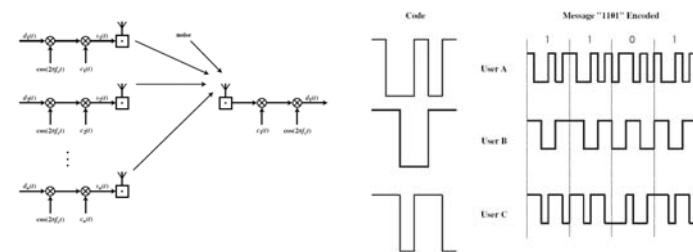


Frequency Hopping (FHSS) (4/4)



Code Division Multiple Access (CDMA) (1/3)

- Η διασπορά φάσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υλοποιηθεί πολλαπλή πρόσβαση σε ένα κανάλι
 - κάθε χρήστης χρησιμοποιεί διαφορετικό κώδικα διασποράς
 - ο δέκτης χρησιμοποιεί τον ίδιο κώδικα για να λάβει δεδομένα



Code Division Multiple Access (CDMA) (2/3)

- Οι κώδικες διασποράς πρέπει να είναι ορθογώνιοι
 - μηδενική συσχέτιση μεταξύ των κωδικών

$$\sum_{k=0}^{M-1} \phi_i(k\tau) \phi_j(k\tau) = 0, i \neq j$$

- Παράδειγμα ορθογώνιων κωδικών: κώδικες Walsh

$$W_1(0) \quad W_{2n} \begin{pmatrix} W_n & W_n \\ W_n & \bar{W}_n \end{pmatrix}$$

- μη ορθογώνιοι κώδικες μπορούν να χρησιμοποιηθούν
 - σε πραγματικά συστήματα λόγω αδυναμίας παραγωγής μεγάλου πλήθους ορθογώνιων κωδικών
 - παρεμβολή μεταξύ των χρηστών
 - φαινόμενο near-far
- παράδειγμα μη ορθογώνιων κωδικών: PN κώδικες

Code Division Multiple Access (CDMA) (3/3)

□ Κώδικες PN

- οι ακολουθίες είναι κατ' ουσία περιοδικές αλλά μοιάζουν να είναι τυχαίες
- ψευδοτυχαία παραγωγή με βάση έναν αλγόριθμο και έναν αριθμό (seed)
- Ιδιότητες: ομοιόμορφη κατανομή, ευελιξία δημιουργίας, χαμηλή συσχέτιση

□ Άλλα χαρακτηριστικά κωδίκων διασποράς

- ίδιο πλήθος συμβόλων 0 και 1 – ομοιότητα με θόρυβο
 - χαμηλή κατανάλωση ισχύος
- δυνατότητα ανεξάρτητης αναπαραγωγής σε πομπό και δέκτη

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

□ Κεντρική ιδέα: παράλληλη μετάδοση ακολουθιών bit

- οι ακολουθίες προέρχονται από διαδοχικά πλαίσια δεδομένων
- κάθε ακολουθία μεταδίδεται χρησιμοποιώντας διαφορετικό φέρων

