



# ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

## ΣΤΟΧΟΙ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου  
θα είστε ικανοί:

- Να διακρίνετε τα είδη πηγών και σημάτων, που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα συστήματα επικοινωνιών.
- Να εξηγείτε την επικράτηση των ψηφιακών τεχνικών στα συστήματα επικοινωνιών.
- Να χρησιμοποιείτε την περιγραφή σημάτων τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας.
- Να αναφέρετε τα βασικά μέρη ψηφιακού επικοινωνιακού συστήματος καθώς και το ρόλο τους.
- Να αντιλαμβάνεστε την επίδραση της χωρητικότητας καναλιού στο μέγιστο ρυθμό, με τον οποίο είναι δυνατό να μεταδοθούν δεδομένα μέσα από το επικοινωνιακό κανάλι.
- Να ορίζετε τους όρους, που χρησιμοποιούνται, για να περιγράψουν την ταχύτητα μετάδοσης στη ψηφιακή μετάδοση.

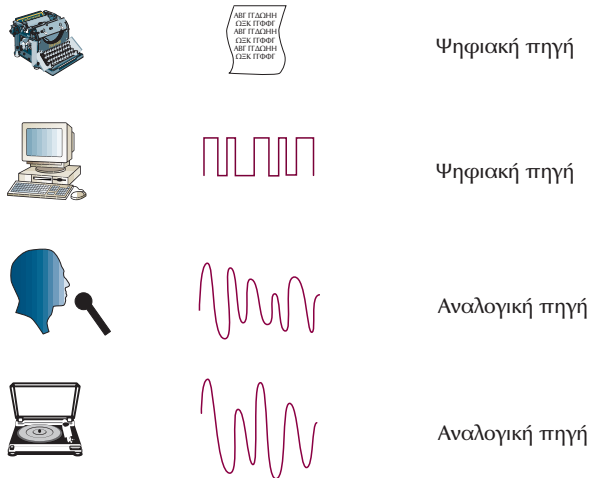
## Εισαγωγή

Με τη βοήθεια επικοινωνιακού συστήματος, κάθε μορφή πληροφορίας (κείμενο, φωνή, εικόνα) είναι δυνατό να μεταδοθεί σε απόσταση. Ανάλογα με το μέσο μετάδοσης και το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσεται το επικοινωνιακό σύστημα είναι δυνατόν, για τη μετάδοση, να χρησιμοποιούνται αναλογικά ή και ψηφιακά σήματα. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε την επίδραση των ψηφιακών τεχνικών και του μέσου μετάδοσης στην επιτυχή μετάδοση δεδομένων.

### 2.1 Ψηφιακές και αναλογικές πηγές και επικοινωνιακά συστήματα

Τα σήματα, που θέλουμε να μεταδώσουμε με ένα επικοινωνιακό σύστημα, μπορεί να προέρχονται κατευθείαν από την πηγή ή να προκύπτουν μετά από κάποιες λειτουργίες επεξεργασίας της πληροφορίας που παράγεται από την πηγή.

Η πηγή μπορεί να είναι ψηφιακή ή αναλογική. Η **ψηφιακή πηγή** πληροφορίας παράγει πεπερασμένο πλήθος πιθανών μηνυμάτων. Η γραφομηχανή είναι καλό παράδειγμα ψηφιακής πηγής. Υπάρχει πεπερασμένος αριθμός χαρακτήρων (μηνυμάτων), που μπορούν να παραχθούν. Η **αναλογική πηγή** πληροφορίας παράγει μηνύματα, που ανήκουν σε συνεχές πεδίο τιμών. Το μικρόφωνο αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα αναλογικής πηγής. Η παραγόμενη τάση εξόδου περιγράφει την πληροφορία του ήχου και μπορεί να παίρνει τιμές μέσα σε συνεχόμενο πεδίο τιμών.

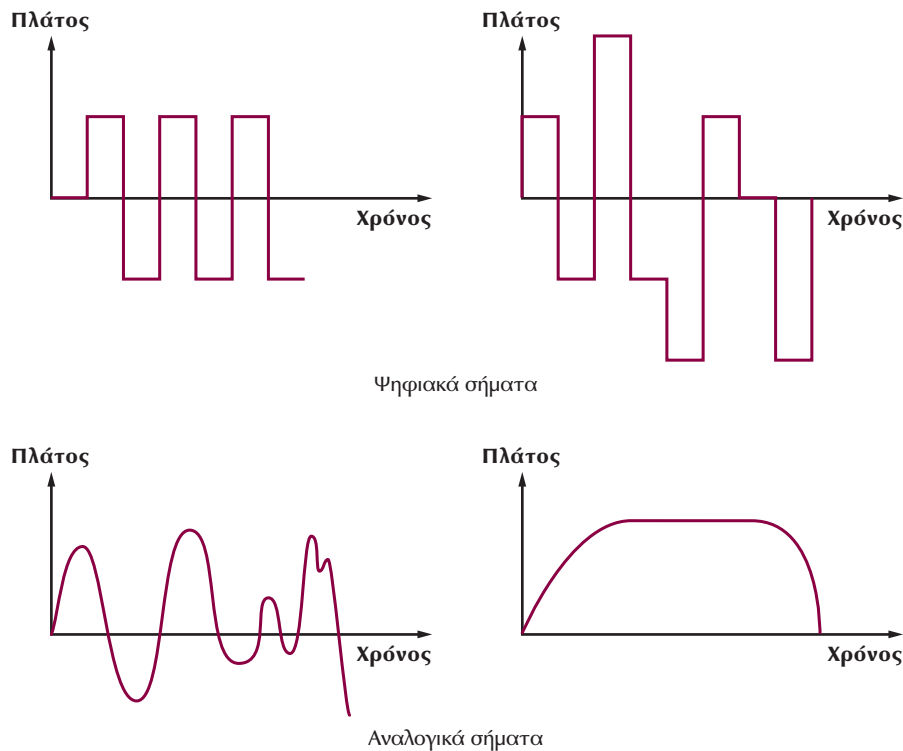


**Σχήμα 2-1** Παραδείγματα πηγών πληροφορίας

Ανάλογα με το είδος της πηγής πληροφορίας, ονομάζουμε και το σύστημα επικοινωνίας. Έτσι ένα **ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας** μεταφέρει πληροφο-

ρία από μία ψηφιακή πηγή στον προορισμό. Ένα **αναλογικό σύστημα επικοινωνίας** μεταφέρει πληροφορία από μια αναλογική πηγή στον προορισμό.

Για να γίνει δυνατή η μετάδοση πληροφορίας σε απόσταση, είναι απαραίτητο αυτή να μετατραπεί σε κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα, ψηφιακό ή αναλογικό. Το **ψηφιακό σήμα** ορίζεται σαν συνάρτηση του χρόνου, η οποία μπορεί να παίρνει τιμές μόνο μέσα από διακριτό σύνολο τιμών. Ειδικότερα, στο δυαδικό ψηφιακό σήμα, επιτρέπονται μόνο δύο τιμές. Το **αναλογικό σήμα** είναι συνάρτηση του χρόνου, η οποία μπορεί να παίρνει τιμές μέσα από συνεχόμενο πεδίο τιμών.



**Σχήμα 2-2** Η πληροφορία μπορεί να μεταδοθεί με τη μορφή ψηφιακού ή αναλογικού σήματος

### Επισήμανση

Οι όροι αναλογικό και ψηφιακό χρησιμοποιούνται αντίστοιχα με τους όρους συνεχές και διακριτό και μπορεί να αφορούν τρία τουλάχιστον θέματα: δεδομένα, σήματα και μετάδοση.

Τα δεδομένα είναι οντότητες, που μεταφέρουν πληροφορία. Τα σήματα είναι η ηλεκτρική ή ηλεκτρομαγνητική αναπαράσταση των δεδομένων. Μετάδοση είναι η ανταλλαγή δεδομένων με τη βοήθεια της διάδοσης και επεξεργασίας των σημάτων.

Συνήθως το ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας χρησιμοποιεί ψηφιακά ηλεκτρικά σήματα. Βέβαια, μπορεί να χρησιμοποιεί ακόμη και αναλογικά ηλεκτρικά (ή ηλεκτρομαγνητικά) σήματα. Για παράδειγμα, η πληροφορία από δυαδική πηγή πληροφορίας είναι δυνατό να μεταδοθεί χρησιμοποιώντας ημιτονικό σήμα 1000 Hz για την αναπαράσταση του δυαδικού ψηφίου 1 και ημιτονικό σήμα 500 Hz για την αναπαράσταση του δυαδικού ψηφίου 0. Σ' αυτή την περίπτωση, αν και η πληροφορία της ψηφιακής πηγής μεταδίδεται στον προορισμό με τη χρήση αναλογικών κυματομορφών, το σύστημα λέγεται και πάλι ψηφιακό.

Τα ψηφιακά συστήματα επικοινωνίας παρουσιάζουν αριθμό πλεονεκτημάτων σε σχέση με τα αναλογικά:

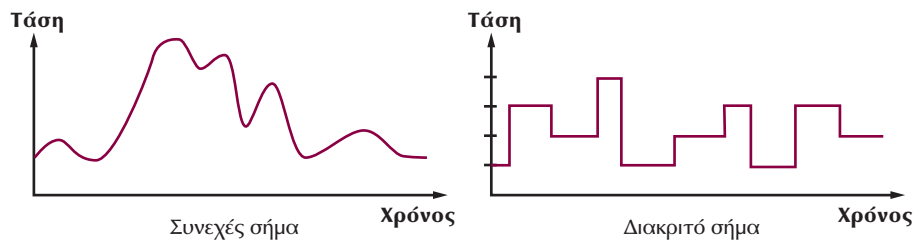
- Χρησιμοποιούν σχετικά φθηνά ψηφιακά κυκλώματα.
- Μπορούν να εφαρμόζονται εύκολα τεχνικές ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.
- Παρέχουν μεγάλη ασφάλεια, μέσω της κρυπτογράφησης των δεδομένων.
- Ενοποιούν τη μετάδοση, μέσα από το ίδιο ψηφιακό σύστημα, ποικιλίας μορφών δεδομένων, όπως φωνή, εικόνα, video, κείμενο.
- Το πρόβλημα της αλλοίωσης του σήματος, καθώς μεταδίδεται μέσα από το επικοινωνιακό κανάλι, είναι πιο εύκολο να λυθεί με τη χρήση αναγεννητικών σταθμών και κατάλληλης κωδικοποίησης.

Μειονέκτημα των ψηφιακών συστημάτων επικοινωνίας είναι, ότι απαιτούν μεγαλύτερο εύρος ζώνης απ' ό,τι τα αναλογικά συστήματα και συγχρονισμό μεταξύ εκπομπής και λήψης. Επειδή τα πλεονεκτήματα των ψηφιακών συστημάτων είναι πολύ πιο σημαντικά από τα μειονεκτηματά τους, γίνονται όλο και πιο δημοφιλή και προτιμώνται για την ανάπτυξη των σύγχρονων δικτύων επικοινωνιών.

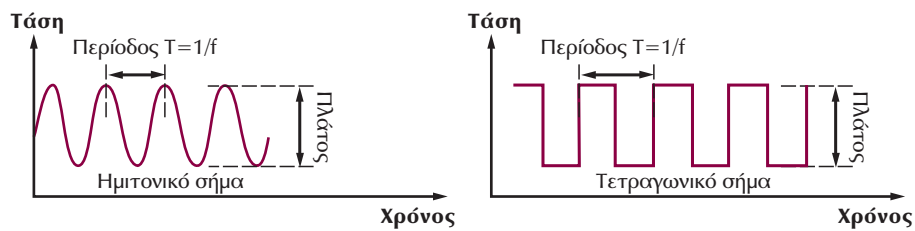
### 2.1.1 Αναπαράσταση σημάτων στο πεδίο του χρόνου, στο πεδίο της συχνότητας

Κάθε ηλεκτρικό (ή ηλεκτρομαγνητικό) σήμα μπορεί να περιγραφεί με δύο τρόπους: είτε σαν συνάρτηση του χρόνου είτε σαν συνάρτηση της συχνότητας. Στην πρώτη περίπτωση, μιλάμε για την αναπαράσταση του σήματος στο **πεδίο του χρόνου (time-domain)**, ενώ στη δεύτερη στο **πεδίο της συχνότητας (frequency-domain)**.

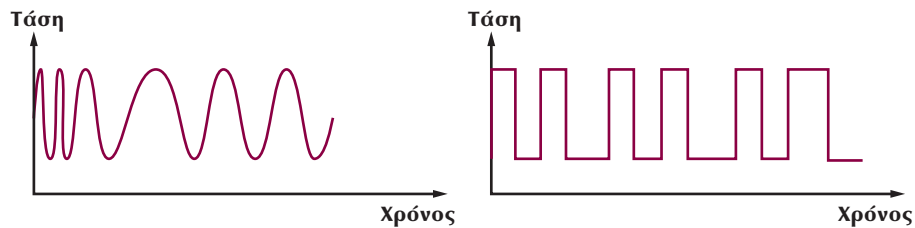
Ένα σήμα, στο πεδίο του χρόνου, μπορεί να είναι συνεχές ή διακριτό (Σχήμα 2-3), περιοδικό ή μη περιοδικό (Σχήμα 2-4) και σε κάθε χρονική στιγμή χαρακτηρίζεται από το πλάτος του. Η πιο απλή μορφή σήματος είναι το περιοδικό, όπου ουσιαστικά η ίδια μορφή σήματος επαναλαμβάνεται με το χρόνο. Βασικά χαρακτηριστικά περιοδικού σήματος, εκτός από το πλάτος, είναι η συχνότητα  $f$  και η περίοδος  $T=1/f$ . Στο Σχήμα 2-4α φαίνονται τα χαρακτηριστικά πλάτος, περίοδος και συχνότητα δύο πολύ γνωστών περιοδικών σημάτων, του ημιτονικού και του τετραγωνικού σήματος.



**Σχήμα 2-3** Συνεχή και διακριτά σήματα



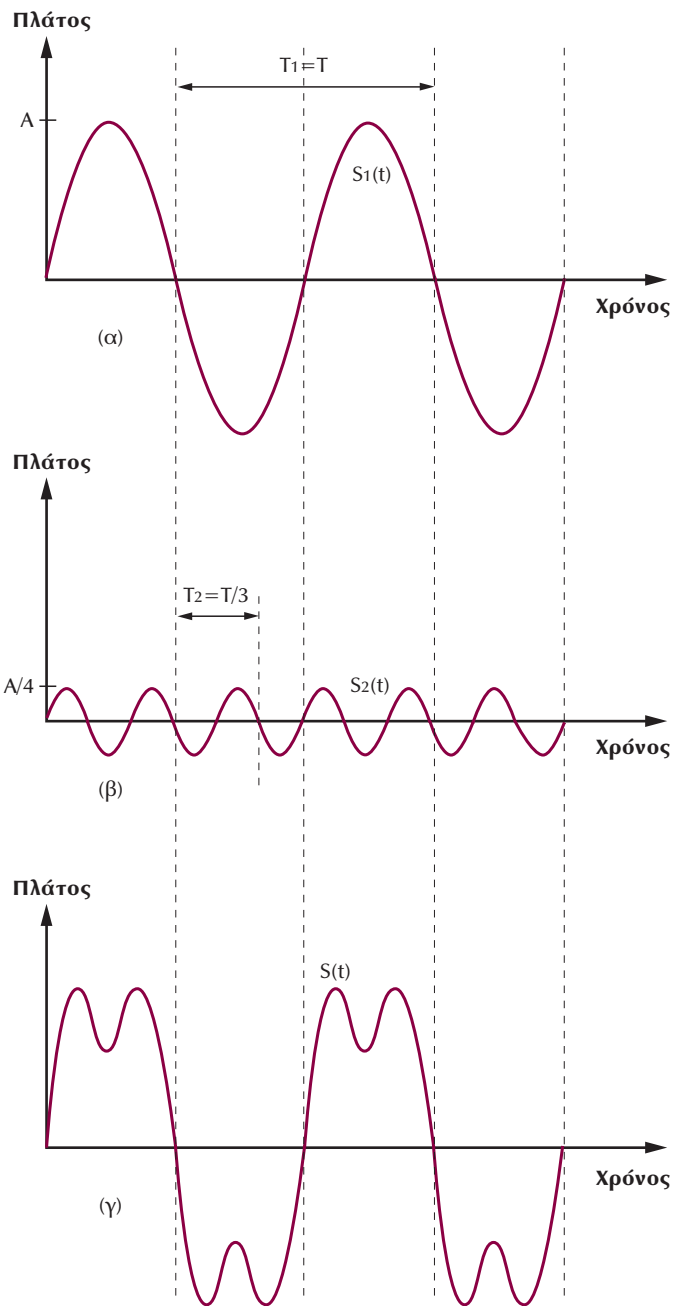
(α) Περιοδικά σήματα



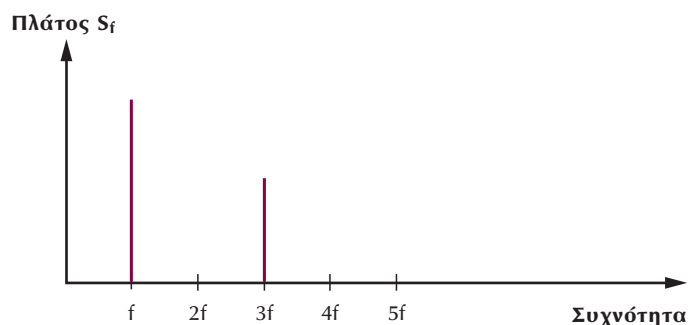
(β) Μη περιοδικά σήματα

**Σχήμα 2-4** Περιοδικά, μη περιοδικά σήματα

Αποδεικνύεται, ότι στην πραγματικότητα κάθε σήμα, προκύπτει από τη σύνθεση ημιτονικών σημάτων διάφορων συχνοτήτων. Το γεγονός αυτό έχει πολύ μεγάλη σημασία, γιατί βοηθάει να περιγραφεί η επίδραση του μέσου μετάδοσης στη μετάδοση του σήματος. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 2-5 φαίνεται το σήμα  $s(t)$ , το οποίο προκύπτει από δύο ημιτονικά σήματα, το ένα συχνότητας  $f$  και το άλλο συχνότητας  $3f$ . Στο Σχήμα 2-6 φαίνεται η αναπαράσταση  $S(f)$  του ίδιου σήματος στο πεδίο της συχνότητας.



**Σχήμα 2-5** Αναπαράσταση σήματος στο πεδίο του χρόνου (α)  $s_1(t) = \sin(2\pi ft)$ : ημιτονικό σήμα συχνότητας  $f$  (β)  $s_2(t) = \sin(2\pi(3f)t)$ : ημιτονικό σήμα συχνότητας  $3f$  (γ)  $s(t) = \sin(2\pi ft) + \sin(2\pi(3f)t)$  Το σήμα  $s(t)$  είναι η σύνθεση των σημάτων  $s_1(t)$  και  $s_2(t)$

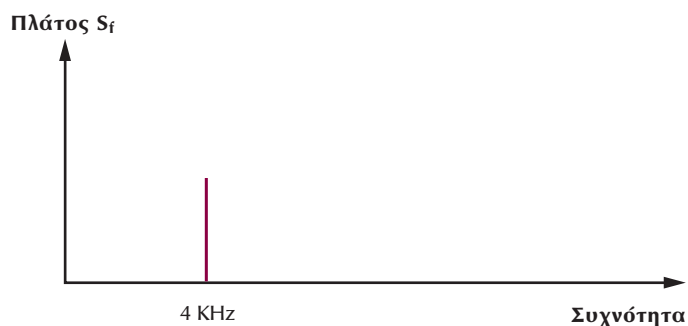


**Σχήμα 2-6** Αναπαράσταση στο πεδίο της συχνότητας του σήματος  $s(t) = \sin(2\pi ft) + \sin(2\pi(3f)t)$

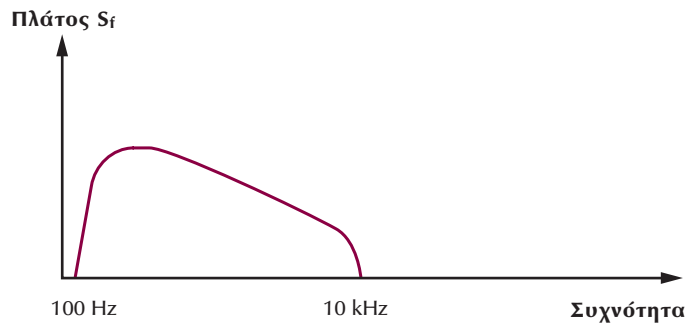
Έτσι, βλέπουμε, ότι για κάθε σήμα υπάρχει μια συνάρτηση στο πεδίο του χρόνου  $s(t)$ , η οποία περιγράφει το πλάτος του σήματος σε κάθε χρονική στιγμή, και μια συνάρτηση στο πεδίο της συχνότητας  $S(f)$ , η οποία περιγράφει το μέγιστο πλάτος κάθε συνιστώσας συχνότητας του σήματος.

#### Συχνότητα σήματος, Φάσμα σήματος

Σήμα, που περιέχει μία μόνο συχνότητα, περιγράφεται στο πεδίο συχνοτήτων από μία γραμμή σε ένα σημείο του άξονα συχνοτήτων, που λέγεται **φασματική γραμμή**. Όταν το σήμα περιέχει συνιστώσες σε περιοχή συχνοτήτων, τότε μιλάμε για το **φάσμα συχνοτήτων** του σήματος ή για το **εύρος ζώνης (bandwidth)** του σήματος. Για παράδειγμα, όταν ο ήχος ενός διαπασών οδηγηθεί σε μικρόφωνο, το ηλεκτρικό σήμα, που παράγεται, περιέχει μία μόνο συχνότητα, έστω 4 kHz (Σχήμα 2-7), ενώ όταν η ανθρώπινη ομιλία οδηγηθεί σε μικρόφωνο παράγεται ηλεκτρικό σήμα με φάσμα, που ξεκινάει από τους 100 Hz και φθάνει στους 10 kHz (Σχήμα 2-8). Στη δεύτερη, μάλιστα, περίπτωση, όπως παρατηρούμε, οι διάφορες συνιστώσες συχνότητες δεν έχουν το ίδιο πλάτος. Η μεγαλύτερη ενέργεια του σήματος ομιλίας είναι συγκεντρωμένη στις χαμηλές συχνότητες, κι αυτός είναι κι ο λόγος για τον οποίο στις τηλεφωνικές επικοινωνίες αρκεί η μετάδοση της περιοχής 100 Hz έως 3400 Hz του φάσματος της ανθρώπινης ομιλίας.



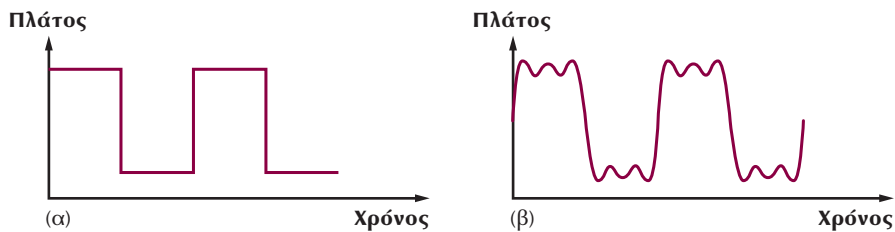
**Σχήμα 2-7** Αναπαράσταση ήχου διαπασών στο πεδίο συχνοτήτων



**Σχήμα 2-8** Αναπαράσταση ανθρώπινης ομιλίας στο πεδίο συχνοτήτων

### Σημείωση

Στις επικοινωνίες δεδομένων χρησιμοποιούνται σήματα, που περιέχουν τετραγωνικούς παλμούς. Δυστυχώς, όπως αποδεικνύεται, τέτοιου είδους σήματα έχουν άπειρο φάσμα συχνοτήτων, γεγονός που περιορίζει και τη ταχύτητα μετάδοσης, που μπορεί να επιτευχθεί. Η εξασθένιση των συνιστωσών υψηλής συχνότητας έχει σαν συνέπεια το σήμα τετραγωνικής μορφής να λαμβάνεται στη λήψη παραμορφωμένο (Σχήμα 2-9). Μάλιστα, αν η ταχύτητα μετάδοσης αυξηθεί, είναι δυνατό η παραμόρφωση να αυξηθεί τόσο πολύ, ώστε να καταστεί αδύνατη η ορθή λήψη του σήματος.



**Σχήμα 2-9** (α) Τετραγωνικό σήμα (β) Παραμορφωμένο τετραγωνικό σήμα λόγω της εξασθένισης των συνιστωσών υψηλής συχνότητας

## 2.2 Κωδικοποίηση δεδομένων

Τόσο τα αναλογικά όσο και τα ψηφιακά δεδομένα είναι δυνατό να αναπαρασταθούν (κωδικοποιηθούν) από αναλογικά ή ψηφιακά σήματα. Η συγκεκριμένη κωδικοποίηση, που τελικά επιλέγεται, εξαρτάται από τις ειδικότερες απαιτήσεις, το επικοινωνιακό σύστημα, το μέσο μετάδοσης και τον διαθέσιμο επικοινωνιακό εξοπλισμό. Οι δυνατότητες, που υπάρχουν είναι:



### Αναλογικά δεδομένα, αναλογικά σήματα

Τα αναλογικά δεδομένα μεταδίδονται κατευθείαν ή διαμορφώνουν μια φέρουσα συχνότητα. Παράγεται, έτσι, αναλογικό σήμα, που καταλαμβάνει την ίδια ή διαφορετική περιοχή συχνοτήτων και μπορεί να μεταδίδεται εύκολα μέσα από αναλογικό σύστημα μετάδοσης. Οι βασικές τεχνικές διαμόρφωσης, που χρησιμοποιούνται, είναι η διαμόρφωση πλάτους (Amplitude Modulation, AM), η διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Modulation, FM) και η διαμόρφωση φάσης (Phase Modulation, PM).

### Αναλογικά δεδομένα, ψηφιακά σήματα

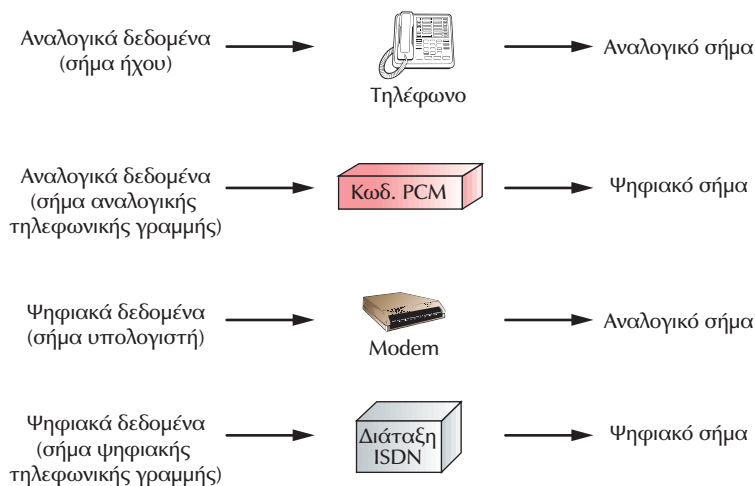
Τα αναλογικά δεδομένα, όπως η φωνή και το video, συχνά ψηφιοποιούνται, για να είναι δυνατό να χρησιμοποιήσουν ψηφιακά μέσα μετάδοσης. Πολύ διαδεδομένη τεχνική είναι η παλμοκωδική διαμόρφωση (Pulse Code Modulation, PCM), όπου τα αναλογικά δεδομένα δειγματοληπτούνται περιοδικά, κβαντίζονται σε τιμή μέσα από καθορισμένο σύνολο τιμών και κωδικοποιούνται σε σειρά bits.

### Ψηφιακά δεδομένα, αναλογικά σήματα

Το modem, για παράδειγμα, μετατρέπει τα ψηφιακά δεδομένα του υπολογιστή σε αναλογικό σήμα, ώστε να είναι δυνατή η μετάδοσή τους μέσα από απλή τηλεφωνική γραμμή. Οι βασικές τεχνικές, που χρησιμοποιούνται, είναι η ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους (Amplitude Shift Keying, ASK), η ψηφιακή διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Shift Keying, FSK) και η ψηφιακή διαμόρφωση φάσης (Phase Shift Keying, PSK). Σε όλες αυτές τις τεχνικές διαμόρφωσης, τα ψηφιακά δεδομένα επιδρούν σε ένα χαρακτηριστικό μιας φέρουσας συχνότητας (πλάτος, συχνότητα, φάση).

### Ψηφιακά δεδομένα, ψηφιακά σήματα

Ο πιο απλός τρόπος να αναπαρασταθούν ψηφιακά δεδομένα είναι με σήμα με δύο επίπεδα τάσης, ένα για το δυαδικό ψηφίο 0 και ένα για το δυαδικό ψηφίο 1.



**Σχήμα 2-10** Οι τέσσερις περιπτώσεις κωδικοποίησης δεδομένων

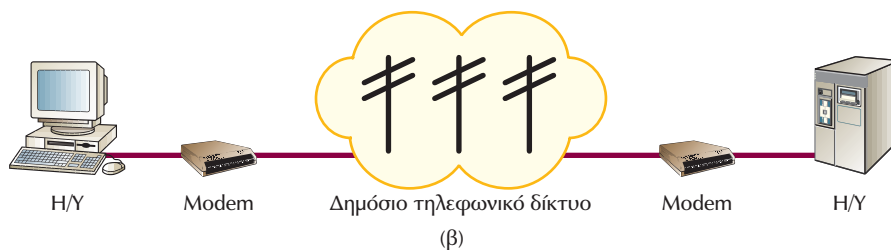
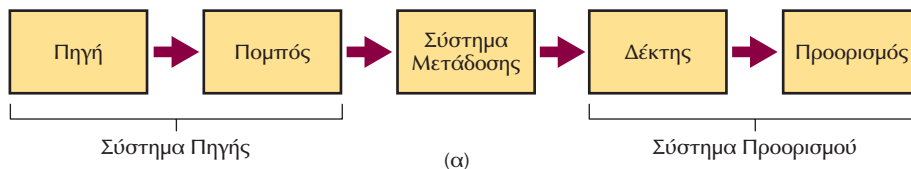
## 2.3 Το μοντέλο ψηφιακού επικοινωνιακού συστήματος

### 2.3.1 Απλουστευμένο μοντέλο συστήματος επικοινωνίας

Ο βασικός σκοπός ενός επικοινωνιακού συστήματος είναι η ανταλλαγή πληροφορίας (δεδομένων) μεταξύ δύο μερών. Παράδειγμα τέτοιου συστήματος είναι η επικοινωνία μεταξύ δύο υπολογιστών μέσω του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου, ή η ανταλλαγή σημάτων φωνής μεταξύ δύο συνδρομητών του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου.

Θα παρουσιάσουμε, τώρα ένα απλουστευμένο μοντέλο επικοινωνιακού συστήματος με τη βοήθεια του Σχήματος 2-11. Τα βασικά μέρη του μοντέλου αυτού είναι:

- 1. Πηγή.** Η συσκευή, που παράγει τα δεδομένα, που θα μεταδοθούν. Για παράδειγμα, πηγές είναι το τηλέφωνο και ο υπολογιστής.
- 2. Πομπός.** Συνήθως τα δεδομένα, που παράγει μια πηγή δεν μεταδίδονται απευθείας με τη μορφή, την οποία έχουν, όταν δημιουργούνται. Αντίθετα, ένας πομπός μετασχηματίζει και κωδικοποιεί την πληροφορία με τέτοιο τρόπο, ώστε να παράγει ηλεκτρομαγνητικά σήματα, τα οποία μπορούν να μεταδοθούν μέσα από κάποιο σύστημα μετάδοσης. Για παράδειγμα, ένα modem δέχεται ροή δυαδικών ψηφίων (ψηφιακό σήμα) από τη συσκευή, με την οποία είναι συνδεδεμένο (π.χ. υπολογιστής) και τη μετατρέπει σε αναλογικό σήμα, το οποίο μπορεί εύκολα να μεταδοθεί μέσα από το τηλεφωνικό δίκτυο.
- 3. Σύστημα μετάδοσης.** Μπορεί να είναι απλή επικοινωνιακή γραμμή (π.χ. τηλεφωνική γραμμή, ασύρματη ζεύξη) ή σύνθετο δίκτυο που συνδέει την πηγή με τον προορισμό.
- 4. Δέκτης.** Δέχεται το σήμα από το σύστημα μετάδοσης και το μετατρέπει σε μορφή κατανοητή στη συσκευή προορισμού. Για παράδειγμα, το modem δέχεται το αναλογικό σήμα, που έρχεται μέσω επικοινωνιακής γραμμής και το μετατρέπει σε ψηφιακό σήμα (που είναι και η μορφή του σήματος, που κατανοεί ο υπολογιστής).
- 5. Προορισμός.** Από το δέκτη τα δεδομένα οδηγούνται στη συσκευή προορισμού.

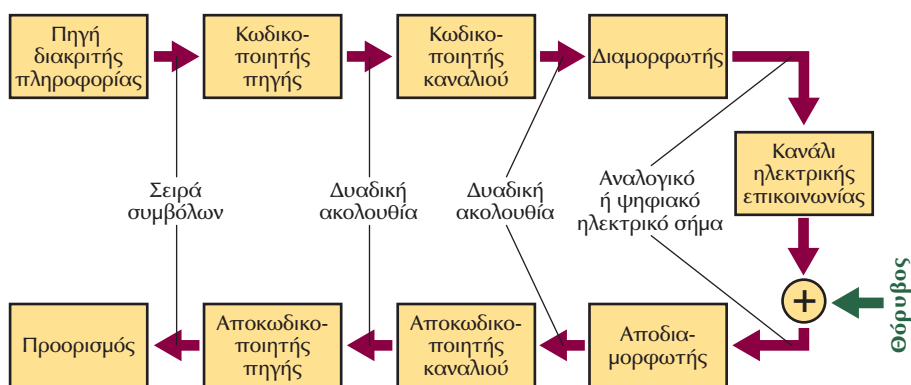


**Σχήμα 2-11** (α) Απλουστευμένο μοντέλο επικοινωνιακού συστήματος  
(β) Παράδειγμα επικοινωνιακού συστήματος

### 2.3.2 Αναλυτικό μοντέλο ψηφιακού συστήματος επικοινωνίας

Για την περίπτωση επικοινωνιών δεδομένων, από το απλό μοντέλο, που παρουσιάσαμε στην προηγούμενη παράγραφο, μπορεί να προκύψει το αναλυτικό μοντέλο ψηφιακού συστήματος επικοινωνίας (Σχήμα 2-12).

Ο τελικός σκοπός ενός ψηφιακού συστήματος επικοινωνίας είναι η διαβίβαση μηνυμάτων (ή ακολουθίας συμβόλων), που προέρχονται από μια πηγή, σ' ένα σημείο προορισμού, με όσο γίνεται μεγαλύτερο ρυθμό και υψηλότερη πιστότητα. Η πηγή και το σημείο προορισμού βρίσκονται, φυσικά, σε απόσταση μεταξύ τους και το επικοινωνιακό κανάλι συνδέει την πηγή με το σημείο προορισμού.



Σχήμα 2-12 Λειτουργικά τμήματα ψηφιακού συστήματος επικοινωνίας

Το κανάλι δέχεται ηλεκτρικά/ηλεκτρομαγνητικά σήματα. Η έξοδος του είναι, συνήθως, παραμορφωμένη παραλλαγή της εισόδου του, λόγω της μη ιδανικής συμπεριφοράς του καναλιού. Επιπλέον, η πληροφορία μπορεί να υποστεί φθορά από απρόβλεπτα ηλεκτρικά σήματα (θόρυβο), τόσο από τεχνητές (man-made) όσο και από φυσικές αιτίες. Η παραμόρφωση και ο θόρυβος εισάγουν σφάλματα στην πληροφορία, που θέλουμε να διαβιβάσουμε και, έτσι, περιορίζουν το ρυθμό, με τον οποίο η πληροφορία θα μπορούσε να μεταδοθεί από την πηγή στον προορισμό.

Η πιθανότητα εσφαλμένης αποκωδικοποίησης συμβόλων του μηνύματος στο δέκτη, χρησιμοποιείται συχνά σα μέτρο των επιδόσεων του συστήματος ψηφιακής επικοινωνίας. Η κύρια λειτουργία του κωδικοποιητή καναλιού, του διαμορφωτή, του αποδιαμορφωτή και τέλος του αποκωδικοποιητή καναλιού είναι να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις υποβάθμισης του σήματος από το κανάλι και να μεγιστοποιήσουν το ρυθμό και την ακρίβεια της πληροφορίας, που μεταδίδεται.

Ας δούμε, τώρα, πιο αναλυτικά, καθένα από τα λειτουργικά τμήματα του ψηφιακού συστήματος επικοινωνίας (Σχήμα 2-12):

### **Πηγή διακριτής πληροφορίας.**

Οι πηγές πληροφορίας, όπως είδαμε, μπορούν να ταξινομηθούν σε πηγές αναλογικής και διακριτής πληροφορίας. Οι πηγές αναλογικής πληροφορίας, όπως το μικρόφωνο, όταν διεγείρεται από ομιλία, η κάμερα τηλεόρασης που τραβάει μια σκηνή, δίνουν ένα ή περισσότερα συνεχώς μεταβαλλόμενα σήματα. Αντίθετα, η έξοδος των πηγών διακριτής πληροφορίας, όπως το τηλέτυπο ή το ηλεκτρολόγιο υπολογιστή, αποτελείται από σειρά διακριτών συμβόλων. Μια πηγή αναλογικής πληροφορίας μπορεί πάντα να μετασχηματισθεί σε πηγή διακριτής πληροφορίας με τις διεργασίες της δειγματοληψίας και της κβάντισης.

### **Κωδικοποιητής / Αποκωδικοποιητής πηγής.**

Η είσοδος του κωδικοποιητή πηγής είναι σειρά από σύμβολα, που φθάνουν με ρυθμό  $r$  σύμβολα το δευτερόλεπτο. Ο κωδικοποιητής πηγής μετατρέπει αυτή την ακολουθία συμβόλων σε δυαδική ακολουθία από 0 και 1, αντιστοιχώντας καθορισμένες κωδικές λέξεις στα σύμβολα, που φθάνουν στην είσοδό του. Έτσι στην έξοδο του κωδικοποιητή πηγής παράγεται ψηφιακό σήμα με ρυθμό  $s$  bits το δευτερόλεπτο. Ο απλούστερος τρόπος, για να πετύχει ένας κωδικοποιητής τη λειτουργία αυτή, είναι να αντιστοιχίσει σε κάθε σύμβολο του αλφαβήτου της πηγής δυαδική κωδική λέξη σταθερού μήκους. Για το τηλέτυπο π.χ., αυτό μπορεί να γίνει με την αντιστοίχιση κωδικών λέξεων των 5 bits, από 00000 έως 11111, στα 32 σύμβολα του αλφαβήτου της πηγής και με την αντικατάσταση κάθε συμβόλου της ακολουθίας εισόδου με την αντίστοιχη κωδική λέξη. Έτσι με ρυθμό συμβόλων  $r=10$  symbols/sec, ο ρυθμός ψηφιακών δεδομένων στην έξοδο του κωδικοποιητή πηγής θα είναι  $s=50$  bits/sec.

Στο δέκτη αντίστοιχα, ο αποκωδικοποιητής πηγής μετατρέπει τη δυαδική έξοδο του αποκωδικοποιητή καναλιού σε ακολουθία συμβόλων. Ο αποκωδικοποιητής είναι πολύ απλός όταν το σύστημα χρησιμοποιεί κωδικές λέξεις σταθερού μήκους, αλλά γίνεται πολύ περίπλοκος στην περίπτωση συστήματος που χρησιμοποιεί κωδικές λέξεις μεταβλητού μήκους.

### **Κωδικοποιητής / Αποκωδικοποιητής καναλιού.**

Η ψηφιακή κωδικοποίηση είναι μια μέθοδος για την επίτευξη μετάδοσης υψηλής αξιοπιστίας και απόδοσης. Κατά τη ψηφιακή κωδικοποίηση πηγής, επιλέγεται μικρός αριθμός σημάτων, συχνά δύο, για τη μετάδοση μέσα από το κανάλι, οπότε ο αποδιαμορφωτής πρέπει απλά να διακρίνει μεταξύ δύο διαφορετικών γνωστών κυματομορφών. Ο έλεγχος του σφάλματος επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του κωδικοποιητή καναλιού, ο οποίος προσθέτει bits στην έξοδο του κωδικοποιητή πηγής. Ενώ τα ίδια τα πρόσθετα bits δεν φέρουν πληροφορία, επιτρέπουν στο δέκτη να ανιχνεύσει ή και να διορθώσει μερικά από τα σφάλματα των bits, που μεταφέρουν την πληροφορία.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι κωδικοποίησης καναλιού, η **κωδικοποίηση κατά τμήμα** και η **συγκεραστική μέθοδος κωδικοποίησης**. Στην πρώτη, ο κωδικοποιητής καναλιού παίρνει τμήμα από bits πληροφορίας του κωδικοποιητή πηγής και προσθέτει κάποια bits ελέγχου. Στη δεύτερη μέθοδο, η ακολουθία bits, που μεταφέρουν πληροφορία, κωδικοποιείται κατά συνεχή τρόπο με κατάλληλη συνεχή ανάμιξη bits, που φέρουν πληροφορία και bits ελέγχου σφάλματος.

Ο αποκωδικοποιητής καναλιού ξαναβρίσκει τα bits, που φέρουν την πληροφορία από την αποκωδικοποιημένη δυαδική ακολουθία. Στον αποκωδικοποιητή καναλιού πραγματοποιείται η ανίχνευση σφάλματος, ή ακόμη και η διόρθωση σφάλματος. Ο αποκωδικοποιητής λειτουργεί κατά μπλοκ ή κατά συνεχή τρόπο, ανάλογα με το τύπο της κωδικοποίησης, που χρησιμοποιείται στο σύστημα.

Σπουδαίες παράμετροι εδώ είναι η απόδοση του κώδικα (πηλίκo ρυθμού δεδομένων στην είσοδο του κωδικοποιητή προς το ρυθμό δεδομένων στην έξοδο), η πολυπλοκότητα και ο χρόνος καθυστέρησης, που συνεπάγεται η κωδικοποίηση - αποκωδικοποίηση.

#### **Διαμορφωτής, αποδιαμορφωτής.**

Ο διαμορφωτής δέχεται στην είσοδό του ακολουθία δυαδικών ψηφίων και τη μετατρέπει σε κυματομορφή (αναλογική ή ψηφιακή), κατάλληλη για μετάδοση μέσω του επικοινωνιακού καναλιού. Η διαμόρφωση χρησιμοποιείται αποτελεσματικά για τη μείωση των επιπτώσεων του θορύβου του καναλιού, για την προσαρμογή του μεταβιβαζόμενου σήματος με τα χαρακτηριστικά του καναλιού, για την πολύπλεξη πολλών σημάτων και για να υπερνικηθούν μερικοί περιορισμοί των συσκευών.

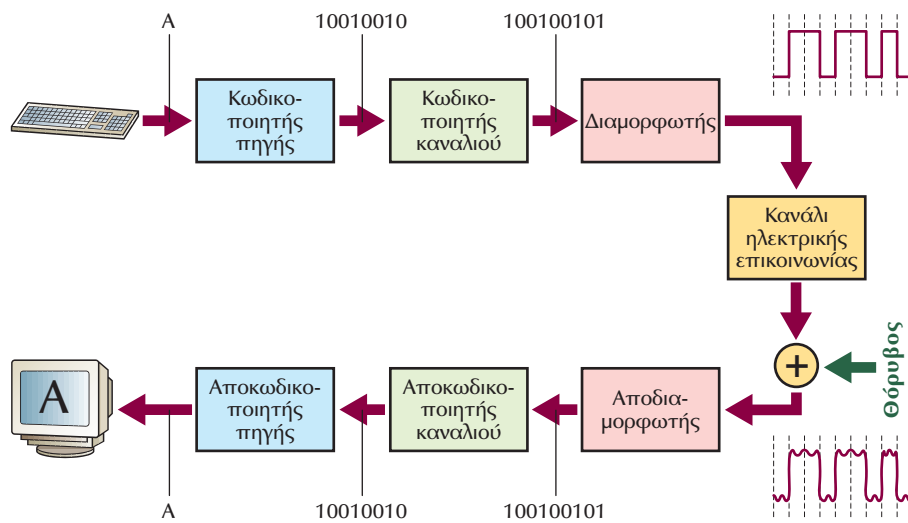
Η διαμόρφωση είναι αντιστρεπτή διαδικασία και η ανάκτηση του μηνύματος, που φέρει η κυματομορφή, που παράγεται από το διαμορφωτή, γίνεται από τον αποδιαμορφωτή.

#### **Επικοινωνιακό κανάλι.**

Το επικοινωνιακό κανάλι πραγματοποιεί την ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ πηγής και προορισμού. Το κανάλι μπορεί να είναι ζευγάρι σύρματα ή τηλεφωνικό καλώδιο ή ακόμη και ο ελεύθερος χώρος, μέσα στον οποίο διαδίδεται το ακτινοβολούμενο σήμα, που μεταφέρει την πληροφορία. Εξαιτίας φυσικών περιορισμών, το κανάλι επικοινωνίας δεν έχει την ίδια συμπεριφορά σε όλες τις συχνότητες κι έτσι το σήμα, που φέρει την πληροφορία, υφίσταται συχνά κατά τη διέλευσή του μέσα από το κανάλι, **παραμόρφωση**. Εκτός από την παραμόρφωση, το σήμα υφίσταται και **εξασθένιση**, η ισχύς του, δηλαδή, μειώνεται προοδευτικά. Επιπλέον, το σήμα «λερώνεται» από ανεπιθύμητα, απρόβλεπτα ηλεκτρικά σήματα, που αναφέρονται ως **θόρυβος (noise)**. Ένδειξη της ποιότητας του καναλιού αποτελεί ο λόγος σήματος προς θόρυβο (Signal to Noise Ratio, SNR), που μπορεί να διατηρηθεί στην έξοδό του.

### Παράδειγμα

Για τη μετάδοση της εξόδου του πληκτρολογίου υπολογιστή χρησιμοποιείται ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας (Σχήμα 2-13). Καταρχήν, το πληκτρολόγιο παράγει έστω το γράμμα «Α» της ελληνικής αλφαβήτου. Χρησιμοποιώντας τον κώδικα ASCII, ο κωδικοποιητής πηγής το μετατρέπει στην ακολουθία bits «10010010». Για τον έλεγχο του σφάλματος, ο κωδικοποιητής καναλιού προσθέτει bit ίσο με το 0 όταν ο αριθμός των bits εισόδου είναι άρτιος, και ίσο με το 1, όταν είναι μονός. Έτσι, στην έξοδο του κωδικοποιητή καναλιού εμφανίζεται η ακολουθία «100100101». Ο διαμορφωτής μπορεί να παράγει ψηφιακή κυματομορφή, όταν η μετάδοση πρόκειται να γίνει μέσα από κανάλι βασικής ζώνης ή αναλογική κυματομορφή όταν η μετάδοση πρόκειται να γίνει μέσα από κανάλι ζώνης διέλευσης. Μετά, το σήμα μεταδίδεται μέσα από το κανάλι, δέχεται την επίδραση του θορύβου αλλά και των χαρακτηριστικών του καναλιού και φθάνει στον προορισμό του, όπου και γίνεται η αντίστροφη διαδικασία αποδιαμόρφωσης, αποκωδικοποίησης και αναπαραγωγής της πληροφορίας. Τελικά, το γράμμα «Α» εμφανίζεται στον προορισμό π.χ. στην οθόνη υπολογιστή.



Σχήμα 2-13 Μετάδοση της εξόδου του πληκτρολογίου ενός υπολογιστή

## 2.4 Η επίδραση του μέσου μετάδοσης

Σε οποιοδήποτε σύστημα επικοινωνίας, γενικά, το σήμα στη λήψη διαφέρει από αυτό που εκπέμφθηκε, εξαιτίας παραγόντων, που εμφανίζονται κατά τη μετάδοση

του σήματος μέσα από το μέσο μετάδοσης (επικοινωνιακό κανάλι). Ειδικά, στη μετάδοση ψηφιακών σημάτων μπορεί να συμβούν σφάλματα bit (bit errors), έτσι που το 1 να λαμβάνεται σαν 0 και το 0 σαν 1. Όσο περισσότερα είναι τα σφάλματα αυτά, τόσο χειρότερο είναι το σύστημα επικοινωνίας. Οι κυριότεροι παράγοντες που εμφανίζονται κατά τη διέλευση του σήματος μέσα από το μέσο μετάδοσης και επηρεάζουν την ποιότητα του συστήματος επικοινωνίας, είναι η εξασθένιση του σήματος, η καθυστέρηση μετάδοσης και ο θόρυβος. Τους παράγοντες αυτούς θα μελετήσουμε στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο που αφορά και το μέσο μετάδοσης.

Η ικανότητα μετάδοσης πληροφορίας μέσα από επικοινωνιακό κανάλι εξαρτάται από τους παραπάνω παράγοντες και χαρακτηρίζεται από τη χωρητικότητα καναλιού.

### 2.4.1 Χωρητικότητα καναλιού

Στα ψηφιακά συστήματα επικοινωνίας, τα προβλήματα μετάδοσης περιορίζουν το ρυθμό, με τον οποίο τα δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν. Ο μέγιστος ρυθμός, με τον οποίο είναι δυνατό να μεταδοθούν δεδομένα μέσα από επικοινωνιακό κανάλι, ονομάζεται **χωρητικότητα καναλιού (channel capacity)**.

#### *Τύπος του Nyquist (κανάλι χωρίς θόρυβο)*

Ο Nyquist έδειξε, ότι στην περίπτωση καναλιού χωρίς θόρυβο και με εύρος ζώνης  $B$ , είναι δυνατό να μεταδοθούν δεδομένα με ρυθμό  $2B$ . Αν το μεταδιδόμενο σήμα είναι δυαδικό (δύο επίπεδα τάσης), ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης μέσα από κανάλι (χωρίς θόρυβο) με εύρος ζώνης  $B$  είναι  $2B$  bps.

#### **Παράδειγμα**

Ένα τηλεφωνικό κανάλι και ένα modem, χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ υπολογιστών. Υποθέστε, ότι το τηλεφωνικό κανάλι έχει εύρος ζώνης  $B=3400$  Hz. Τότε, ο μέγιστος ρυθμός, με τον οποίο μπορούν να μεταδοθούν bits μέσα από το τηλεφωνικό κανάλι, είναι  $2B=6800$  bps.

Βέβαια, είναι δυνατό το μεταδιδόμενο σήμα να έχει περισσότερες από δύο καταστάσεις, δηλαδή, να χρησιμοποιούνται περισσότερα από δύο σύμβολα. Σε αυτή την περίπτωση, κάθε σύμβολο αναπαριστά αριθμό bits. Αν, για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται 4 σύμβολα (επίπεδα τάσης), το κάθε σύμβολο αναπαριστά 2 bits. Έτσι, στη γενική περίπτωση, που χρησιμοποιούνται  $M$  διαφορετικά σύμβολα για τη μετάδοση σήματος μέσα από κανάλι εύρους ζώνης  $B$ , η χωρητικότητα του καναλιού είναι:

$$C = 2B \log_2 M$$

Όπως βλέπουμε, με δεδομένο το εύρος ζώνης του καναλιού, είναι δυνατό να αυξηθεί ο ρυθμός δεδομένων, χρησιμοποιώντας μεγαλύτερο αριθμό διαφορετικών συμβόλων για την αναπαράσταση του σήματος. Κάτι τέτοιο, βέβαια, συνεπάγεται μια αύξηση στην πολυπλοκότητα του δέκτη ο οποίος θα πρέπει να μπορεί να αναγνωρίσει, ποιο από τα  $M$  διαφορετικά σύμβολα έλαβε, αντί ποιο από τα 2. Ακόμη ο θόρυβος και άλλα προβλήματα μετάδοσης περιορίζουν στην πράξη το δυνατό αριθμό των διαφορετικών συμβόλων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

### Τύπος του Shannon (κανάλι με θόρυβο)

Τα κανάλια χωρίς θόρυβο είναι ιδανική περίπτωση. Στην πραγματικότητα, σε κάθε μετάδοση πληροφορίας μέσα από ένα επικοινωνιακό κανάλι προστίθενται και διάφορα ανεπιθύμητα σήματα, δηλαδή θόρυβος. Το πόσο καταστροφική είναι η επίδραση του θορύβου εξαρτάται και από τη στάθμη του ωφελιμου σήματος. Αυτοί οι δύο παράγοντες, μετρώνται με τη βοήθεια του **λόγου σήματος προς θόρυβο (Signal to Noise Ratio, SNR)**, ο οποίος είναι το πηλίκο της ισχύος του σήματος προς την ισχύ του θορύβου. Συνήθως, ο λόγος SNR μετράται στην είσοδο του δέκτη, γιατί εκεί γίνεται η κατάλληλη επεξεργασία, ώστε μεταξύ άλλων να αφαιρεθεί και ο ανεπιθύμητος θόρυβος. Ο λόγος SNR δίνεται σε db (decibels) σύμφωνα με τη σχέση:

$$(SNR)_{db} = 10 \log_{10} \frac{\text{ισχύς σήματος}}{\text{ισχύς θορύβου}}$$

### Παράδειγμα

Σε δέκτη όπου η ισχύς του σήματος είναι 1000 φορές μεγαλύτερη από την ισχύ του θορύβου, ο λόγος SNR είναι 30 db.

Αν γνωρίζουμε τις παραμέτρους του καναλιού επικοινωνίας, όπως το εύρος ζώνης και το λόγο  $S/N$ , τότε μπορούμε να υπολογίσουμε τη χωρητικότητα  $C$  του καναλιού, που αντιπροσωπεύει το θεωρητικά μέγιστο δυνατό ρυθμό διαβίβασης ψηφιακών δεδομένων (data) χωρίς σχεδόν κανένα λάθος, από τον ακόλουθο τύπο που είναι γνωστός και σαν κανόνας Shannon-Hartley:

$$C = B \log_2 (1 + S/N) \text{ bits/sec}$$

Η χωρητικότητα  $C$  αποτελεί θεωρητικό όριο. Στα κανάλια, που χρησιμοποιούνται στην πράξη, ο ρυθμός δεδομένων είναι πολύ μικρότερος από  $C$ .



### Παράδειγμα

Σε τυπική τηλεφωνική σύνδεση με χρησιμοποιήσιμο εύρος ζώνης  $\sim 3$  kHz και λόγο  $S/N = 10^3$ , η χωρητικότητα του καναλιού είναι περίπου 30.000 bits/sec, γιατί σύμφωνα με τον τύπο Shannon-Hartley είναι:

$$C = 3.000 \log_2(1 + 1000) \text{ bits/sec} = 30.000 \text{ bits/sec}$$

## 2.5 Ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων

Στα δίκτυα δεδομένων υπάρχει η έννοια του πόσο γρήγορα μπορούν να μεταδίδονται τα δεδομένα. Για να αποδοθεί αυτή η έννοια, χρησιμοποιούνται διάφοροι όροι, με διαφορετική σημασία ο καθένας.

### 2.5.1 Ρυθμός μετάδοσης bit

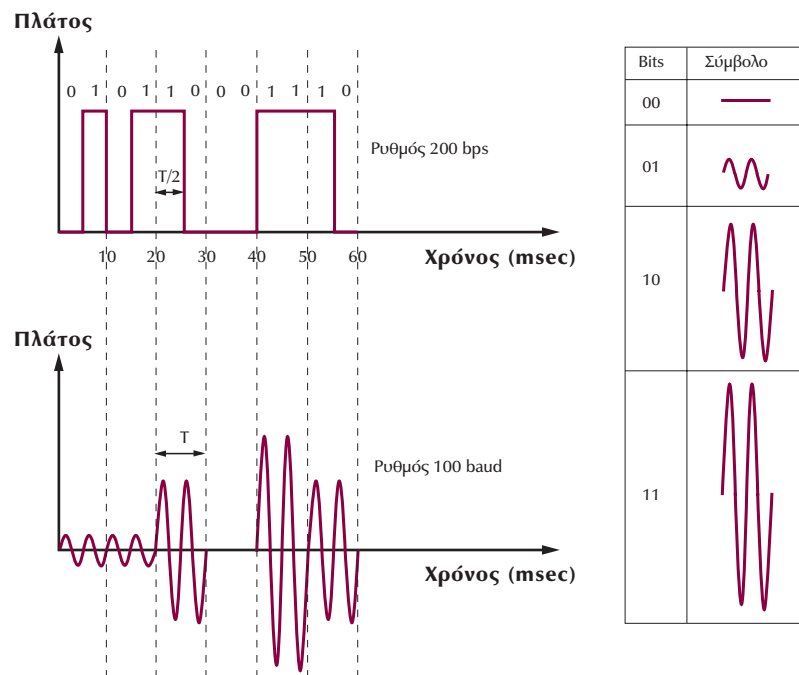
Ο **ρυθμός μετάδοσης bit (bit rate)**, είναι ο αριθμός των bits, που περνά από σημείο του τηλεπικοινωνιακού δικτύου δεδομένων σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Συνήθως μετρείται σε bits ανά δευτερόλεπτο (bits per second, bps), ή και τα πολλαπλάσια kbps ( $10^3$  bps) και Mbps ( $10^6$  bps). Για την περίπτωση της δυαδικής μετάδοσης, όπου το μεταδιδόμενο σήμα έχει δύο δυνατές καταστάσεις (0 και 1), το bit rate  $R$  εξαρτάται από το χρόνο  $T$ , που διαρκεί το bit και συγκεκριμένα είναι:

$$R = \frac{1}{T}$$

### 2.5.2 Ρυθμός μετάδοσης συμβόλων

Ο **ρυθμός μετάδοσης συμβόλων (baud rate)**, είναι ο αριθμός των συμβόλων (bauds), που μεταδίδονται κάθε δευτερόλεπτο και χρησιμοποιείται, κυρίως, στις περιπτώσεις μετάδοσης μέσω modem. Ο baud rate δεν εκφράζει κατ' ανάγκη το ρυθμό μετάδοσης των bits (bit rate). Αν η τεχνική διαμόρφωσης, που χρησιμοποιείται, αντιστοιχεί ένα bit σε κάθε μεταβολή του διαμορφωμένου σήματος, τότε το baud rate ταυτίζεται με το bit rate. Συχνά, όμως, το bit rate είναι μεγαλύτερο του baud rate και αυτό επιτυγχάνεται με διαμορφώσεις, όπου σε κάθε μεταβολή του διαμορφωμένου σήματος (baud) αντιστοιχούν περισσότερα από ένα bits.

Για παράδειγμα, αν το modem έχει ρυθμό baud 100 και κάθε baud αντιστοιχεί σε 2 bits, τότε ο bit rate είναι 200 bps. Φυσικά, επειδή 2 bits μπορούν να δώσουν 4 διαφορετικούς συνδυασμούς, το modem θα πρέπει να μπορεί να στέλνει 4 διαφορετικά σύμβολα (bauds).



**Σχήμα 2-14** Ρυθμός μετάδοσης bit διπλάσιος του ρυθμού μετάδοσης συμβόλων. Κάθε ζευγάρι bit αναπαρίσταται από τις αντίστοιχες κυματομορφές του πίνακα

### 2.5.3 Ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας

Στις μεταδόσεις δεδομένων, εκτός από τα bits, που αφορούν την πληροφορία, συνήθως μεταδίδονται και επιπλέον χαρακτήρες ελέγχου, όπως π.χ. τα bits έναρξης και τέλους (start και stop bit). Έτσι, όταν σε μετάδοση το ζητούμενο είναι με ποιο ρυθμό μεταδίδεται η καθαρή πληροφορία, χρησιμοποιείται ο **ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας (information rate)**, ο οποίος μετριέται σε bps, και είναι, προφανώς, μικρότερος από το ρυθμό μετάδοσης bit.

#### Παράδειγμα

Έστω μετάδοση χαρακτήρων των 10 bits, στα οποία τα 3 είναι bits ελέγχου, με ρυθμό μετάδοσης bit 300 bps. Η καθαρή πληροφορία σε κάθε χαρακτήρα είναι σε ποσοστό 70%. Έτσι, ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας είναι  $300 \text{ bps} \times 0,7 = 210 \text{ bps}$ .

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Υπάρχουν αναλογικές αλλά και ψηφιακές πηγές πληροφορίας. Τα δεδομένα, που παράγουν οι πηγές αυτές, μεταδίδονται στον προορισμό τους με τη χρήση αναλογικών ή και ψηφιακών σημάτων. Στα σύγχρονα συστήματα επικοινωνίας έχουν επικρατήσει ψηφιακές τεχνικές τουλάχιστον σε μέρος των λειτουργιών τους, ενώ στο μέλλον η επικράτηση αυτή προβλέπεται να είναι καθολική λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν.

Στην κατανόηση των συστημάτων επικοινωνίας βοηθά πάρα πολύ, εκτός από τη χρονική περιγραφή και η περιγραφή των σημάτων στο πεδίο της συχνότητας. Άμεση σχέση έχουν έννοιες, όπως το εύρος ζώνης καναλιού και η χωρητικότητα του καναλιού.

Σκοπός κάθε συστήματος επικοινωνίας είναι, η πληροφορία που παράγει η πηγή, να φθάσει στον προορισμό γρήγορα και χωρίς αλλοιώσεις. Ένα ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας, αποτελείται από την πηγή, τον κωδικοποιητή πηγής, τον κωδικοποιητή καναλιού, το διαμορφωτή, το κανάλι, τον αποδιαμορφωτή, τον αποκωδικοποιητή καναλιού, τον αποκωδικοποιητή πηγής και τον προορισμό.

Με τη βοήθεια των τύπων του Nyquist και του Shannon είναι δυνατό να έχουμε ένδειξη για την ικανότητα μεταφοράς δεδομένων μέσα από αθόρυβο ή ενθόρυβο κανάλι αντίστοιχα.

Για τη μέτρηση της ταχύτητας μετάδοσης των δεδομένων μέσα από σύστημα επικοινωνίας, χρησιμοποιούνται όροι όπως ρυθμός μετάδοσης bit (bit rate), ρυθμός μετάδοσης συμβόλων (baud rate) και ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας (information rate) με διαφορετική σημασία ο καθένας.

## Ερωτήσεις – Ασκήσεις

1. Για τη μετάδοση δεδομένων μέσα από ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας:
  - α. Χρησιμοποιούνται μόνο ψηφιακά σήματα.
  - β. Χρησιμοποιούνται μόνο αναλογικά σήματα.
  - γ. Είναι δυνατό να χρησιμοποιούνται ψηφιακά ή και αναλογικά σήματα.
2. Ποια τα πλεονεκτήματα των ψηφιακών συστημάτων επικοινωνίας;
3. Σχεδιάστε το φάσμα συχνοτήτων σήματος, που περιέχει:
  - α. Τη συχνότητα 5 kHz.
  - β. Τις συχνότητες 5 kHz και 10 kHz.
  - γ. Τη συχνότητα 19 kHz και την περιοχή συχνοτήτων 23 έως 53 kHz.
4. Το άπειρο ..... ενός ψηφιακού σήματος περιορίζει την ταχύτητα μετάδοσής του.

5. Αναφέρετε το είδος δεδομένων και σήματος, που χρησιμοποιείται σε καθεμία από τις παρακάτω περιπτώσεις:
  - α. Ραδιοφωνία AM.
  - β. Κλασική τηλεφωνία.
  - γ. Τηλεφωνία ISDN.
  - δ. Εγγραφή μουσικού CD.
  - ε. Αντιγραφή μουσικού CD.
  - στ. Επικοινωνία πληκτρολογίου με υπολογιστή.
6. Σχεδιάστε το απλοποιημένο μοντέλο επικοινωνιακού συστήματος.
7. Ο τελικός σκοπός ενός ψηφιακού συστήματος επικοινωνίας είναι η διαβίβαση μηνυμάτων, που προέρχονται από μια πηγή, σ' ένα σημείο προορισμού, με όσο γίνεται μεγαλύτερο ..... και υψηλότερη .....
8. Στα ψηφιακά συστήματα επικοινωνίας, ο έλεγχος του σφάλματος επιτυγχάνεται με τη βοήθεια:
  - α. Του κωδικοποιητή και αποκωδικοποιητή πηγής.
  - β. Του κωδικοποιητή και αποκωδικοποιητή καναλιού.
  - γ. Του διαμορφωτή.
9. Ο μέγιστος ρυθμός, με τον οποίο είναι δυνατό να μεταδοθούν δεδομένα μέσα από επικοινωνιακό κανάλι ονομάζεται:
  - α. Εύρος ζώνης καναλιού.
  - β. Χωρητικότητα καναλιού.
  - γ. Ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας.
10. Σε ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας χρησιμοποιείται κανάλι με εύρος ζώνης  $B=4\text{kHz}$ .
  - α. Ποιος ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης αν χρησιμοποιούνται 4 σύμβολα και το κανάλι είναι ιδανικό (χωρίς θόρυβο);
  - β. Αν το κανάλι είναι ενθόρυβο κι έχει λόγο  $S/N=1000$ , βρείτε τη χωρητικότητα του καναλιού. Τι εκφράζει ο ρυθμός που βρήκατε;
11. Ο ρυθμός μετάδοσης συμβόλων (baud rate):
  - α. Είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό μετάδοσης bit.
  - β. Είναι μικρότερος ή και ίσος με το ρυθμό μετάδοσης bit.
  - γ. Είναι η μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορούν να μεταδοθούν δεδομένα μέσα από κανάλι.

## Βιβλιογραφία

1. Αλεξόπουλος Α., Λαγογιάννης Γ., *Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών*, 1997.
2. Roden M., *Analog and Digital Communication Systems*, 4<sup>th</sup> ed., Prentice Hall, 1996.
3. Stallings W., *Data & Computer Communications*, 6<sup>th</sup> ed., Prentice Hall, 2000.
4. Walrand J., *Δίκτυα Επικοινωνιών*, εκδ. Παπασωτηρίου, 1997.