

Κεφάλαιο 2

Μετάδοση δεδομένων

- Μάθημα 2.1: Βασικές έννοιες
- Μάθημα 2.2: Χαρακτηριστικά μετάδοσης δεδομένων
- Μάθημα 2.3: Ασυγχρόνιστη και συγχρονισμένη σειραϊκή μετάδοση
- Μάθημα 2.4: Συγκριτική αξιολόγηση
- Μάθημα 2.5: Κώδικες ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων



Κεφάλαιο 2: Μετάδοση δεδομένων

Σκοπός

Σκοπός του Κεφαλαίου 2 είναι να γνωρίσει ο μαθητής τα χαρακτηριστικά και τις τεχνικές της ψηφιακής μετάδοσης δεδομένων. Ο μαθητής θα πρέπει να κατανοεί πλήρως όλες τις βασικές έννοιες, τις μορφές και τους τρόπους της ψηφιακής μετάδοσης. Επίσης θα πρέπει να κατανοεί τις κύριες τεχνικές αντιμετώπισης των διάφορων προβλημάτων της ψηφιακής επικοινωνίας, τη λειτουργία της ασυγχρόνιστης και της συγχρονισμένης μετάδοσης, της παράλληλης και της σειραϊκής μετάδοσης, καθώς και τις μεθόδους κωδικοποίησής τους (κώδικες ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων).

Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Με την ολοκλήρωση της μελέτης αυτού του κεφαλαίου ο μαθητής θα πρέπει:

- ✓ Να κατανοεί τις βασικές έννοιες της ψηφιακής μετάδοσης δεδομένων και να διακρίνει τα βασικά χαρακτηριστικά της, όπως είναι η κωδικοποίηση της πληροφορίας, ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων, η χωρητικότητα και το εύρος ζώνης καναλιού.
- ✓ Να διακρίνει τις μορφές μετάδοσης δεδομένων (μονόπλευρη, ημίπλευρη, αμφίπλευρη επικοινωνία).
- ✓ Να διακρίνει την παράλληλη από τη σειραϊκή επικοινωνία και να αναγνωρίζει τις διαφορές τους.
- ✓ Να κατανοεί τις διαφορές μεταξύ της ασυγχρόνιστης και της συγχρονισμένης σειραϊκής επικοινωνίας.
- ✓ Να συγκρίνει τον αναλογικό με τον ψηφιακό τρόπο μετάδοσης.
- ✓ Να συγκρίνει το σειραϊκό με τον παράλληλο τρόπο μετάδοσης.
- ✓ Να συγκρίνει το συγχρονισμένο με τον ασυγχρόνιστο σειραϊκό τρόπο μετάδοσης.
- ✓ Να κατανοεί το ρόλο που διαδραματίζουν στη μετάδοση δεδομένων οι κώδικες ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων.
- ✓ Να αξιολογεί την ποιότητα ενός καναλιού μετάδοσης.
- ✓ Να αναγνωρίζει τους τρόπους προστασίας και ελέγχου της πληροφορίας κατά τη μετάδοση.



Προερωτήσεις

1. Τι είναι πληροφορία και ποιές μορφές μπορεί να πάρει;
2. Γιατί χρειάζεται η κωδικοποίηση δεδομένων και πώς πραγματοποιείται;
3. Τι εννοούμε, όταν λέμε χωρητικότητα μέσου μετάδοσης και τι εύρος ζώνης καναλιού;
4. Πώς αντιλαμβάνεσαι την έννοια της κατεύθυνσης της μετάδοσης;
5. Σε τι διαφέρει η σύνδεση σημείου προς σημείο από τη σύνδεση εκπομπής;
6. Αν πλεονεκτεί η οπτική μετάδοση δεδομένων γιατί δεν υλοποιείται παντού;
7. Τι εννοούμε, όταν λέμε σειραϊκή και τι παράλληλη μετάδοση;
8. Τι σημαίνει ασυγχρόνιστη μετάδοση ψηφιακών δεδομένων;
9. Είναι αποδοτικότερη η συγχρονισμένη μετάδοση ψηφιακών δεδομένων από την ασυγχρόνιστη;
10. Πώς μπορούμε να ελέγξουμε αν η πληροφορία που λαμβάνει ο δέκτης είναι ίδια με την πληροφορία που στέλνει ο πομπός;
11. Ανιχνεύονται τα λάθη κατά τη μετάδοση δεδομένων και, αν ναι, διορθώνονται;



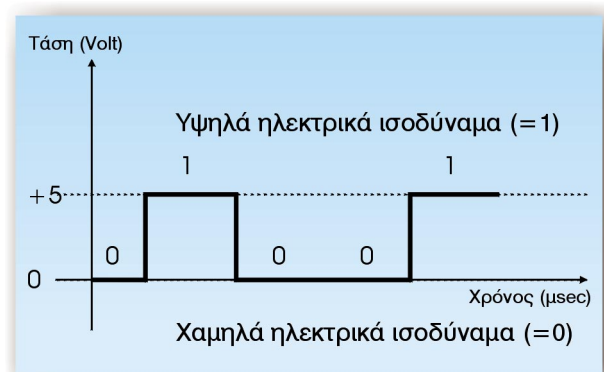
Μάθημα 2.1: Βασικές έννοιες

2.1.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 1, η πληροφορία, που στην ουσία συνιστά σήμα, μπορεί να είναι οποιασδήποτε μορφής: μια ομιλία στο τηλέφωνο, η εικόνα που λαμβάνει μια κάμερα από ένα βιντεοτηλέφωνο, κάποιο πληκτρολογημένο μήνυμα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, ένα μήνυμα τηλεομοιοτυπίας (*fax*), μια ιστοσελίδα (*WWW page*) από περιήγηση στο Διαδίκτυο (*Internet*) και γενικώς στιδήποτε άλλο μπορεί να διακινηθεί μέσα σε ένα σύστημα με τη μορφή δεδομένων (*data*). Τα **δεδομένα**, που αποτελούν το ακατέργαστο πληροφοριακό υλικό (κείμενο, γραφικά, εικόνα, ήχος, βίντεο κτλ.), μπορεί να είναι είτε ανεξάρτητα το ένα από το άλλο είτε να συνδυάζο-



Στο γνωστό δεκαδικό σύστημα αρίθμησης χρησιμοποιούμε τα δέκα ψηφία 0, 1, 2, ..., 9, σε αντιδιαστολή με το δυαδικό σύστημα αρίθμησης στο οποίο χρησιμοποιούμε μόνο τα ψηφία 0 και 1.



Σχήμα 2.1: Το δυαδικό (ψηφιακό) σήμα.



Το **bit**, η μικρότερη μονάδα δεδομένων, ισοδυναμεί με έναν παλμό σήματος ή με ένα σημείο σε κάποιο μαγνητικό μέσο που είναι ικανό να αποθηκεύσει το δυαδικό ψηφίο 0 ή 1.

νται μεταξύ τους. Η βασική μονάδα δεδομένων είναι το **δυαδικό ψηφίο (binary digit)**, το οποίο αναφέρεται διεθνώς ως **bit** και παίρνει δύο τιμές, 1 και 0, σύμφωνα με το δυαδικό σύστημα αρίθμησης που έχει βάση το 2.

Τόσο κατά την επεξεργασία των δεδομένων όσο και κατά τη μετάδοσή τους τα ψηφία παριστάνονται με ηλεκτρικά ισοδύναμα (παλμούς) υψηλής ή χαμηλής στάθμης. Έτσι, για την παράσταση των δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, ένα σήμα υψηλής στάθμης (π.χ. +5 Volt) παριστάνει το δυαδικό ψηφίο 1, ενώ ένα σήμα χαμηλής στάθμης (π.χ. 0 Volt) το δυαδικό ψηφίο 0 (σχήμα 2.1).



2.1.2 Κωδικοποίηση δεδομένων

Στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα τα δεδομένα παρουσιάζονται με τον ίδιο τρόπο που απεικονίζονται και στο εσωτερικό ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Συνδυάζονται κατά ομάδες, συνηθέστερα των 8 δυαδικών ψηφίων, τους γνωστούς **χαρακτήρες** (*bytes*), οι οποίοι συνιστούν τη βάση των κωδικών παράστασης των αριθμών, των αλφαριθμητικών χαρακτήρων, των ειδικών συμβόλων κτλ. και αποτελούν τα συστατικά στοιχεία των δεδομένων. Επομένως ο **κώδικας** είναι ένα σύνολο από σύμβολα και κανόνες οι οποίοι μας βοηθούν να παραστήσουμε κάποια πληροφορία. Στους κώδικες κάθε χαρακτήρας αντιστοιχεί σε έναν και μοναδικό αλφαριθμητικό ή αριθμητικό χαρακτήρα, σε ένα σημείο στίξης, σε ένα ειδικό σύμβολο κτλ. Γνωστοί κώδικες, οι οποίοι προσδιορίζουν τη μοναδική παράσταση ενός χαρακτήρα με συγκεκριμένο αριθμό δυαδικών ψηφίων, είναι οι κώδικες *ASCII*, *BCD* και *EBCDIC*.

Ειδικότερα, στον κώδικα *ASCII* χρησιμοποιούνται επτά δυαδικά ψηφία (τρανζίστορ), με τα οποία μπορούμε να παραστήσουμε 2^7 (δηλαδή 128) διαφορετικούς χαρακτήρες. Συνοπτικά, ο κώδικας περιλαμβάνει 26 κεφαλαία λατινικά γράμματα, 26 μικρά γράμματα, 10 αριθμούς, σημεία στίξης, σύμβολα και 33 ειδικούς χαρακτήρες. Οι ειδικοί χαρακτήρες χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό της πληροφορίας, τον έλεγχο της επικοινωνίας, τον έλεγχο των συσκευών κτλ.

Όμως η ανάγκη να παρασταθούν και άλλοι χαρακτήρες, όπως για παράδειγμα το αλφάβητο μιας άλλης γλώσσας εκτός από την αγγλική, οδήγησε στη δημιουργία του επεκτεταμένου κώδικα *ASCII*. Στον κώδικα αυτό χρησιμοποιούνται οκτώ δυαδικά ψηφία και επομένως μπορούν να παρασταθούν 2^8 (δηλαδή 256) διαφορετικοί χαρακτήρες. Για την Ελλάδα η επέκταση του *ASCII* στα οκτώ δυαδικά ψηφία ονομάζεται *ΕΛΟΤ 928* και έγινε από τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης. Οι πρώτοι 128 χαρακτήρες είναι σχεδόν όμοιοι με τους αντίστοιχους του κώδικα *ASCII*, ενώ στους επόμενους 128 έχουμε τα ελληνικά γράμματα (κεφαλαία και μικρά). Αξίζει να σημειωθεί πως ο *ΕΛΟΤ 928* έχει υιοθετηθεί από το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (*ISO: International Standards Organization*) και αναφέρεται ως *ISO 8859-7*. Στο εξής, όταν θα αναφερόμαστε στον κώδικα *ASCII*, θα εννοούμε τον επεκτεταμένο κώδικα.

Ένας άλλος κώδικας είναι ο *BCD*, που χρησιμοποιεί έξι δυαδικά ψηφία για την παράσταση ενός χαρακτήρα, με αποτέλεσμα να προκύπτουν 2^6 (δηλαδή 64) διαφορετικοί χαρακτήρες. Οι χαρακτήρες αυτοί αποτελούνται από τα λατινικά γράμματα (μικρά και κεφαλαία), από 28 ειδικά σύμβολα και από τα σημεία στίξης. Όταν ο κώδικας χρησιμοποιείται στην επικοινωνία, ένα επιπλέον ψηφίο πλαισιώνει καθέναν από τους 64 χαρακτήρες, γνωστό και ως δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας, προκειμένου να ανιχνευτούν τυχόν σφάλματα μετάδοσης μέσω της τεχνικής της δυαδικής ισοτιμίας.

Επέκταση του κώδικα *BCD* στα οκτώ δυαδικά ψηφία αποτελεί ο κώδικας *EBCDIC*, ο οποίος περιλαμβάνει λατινικούς και ελληνικούς χαρακτήρες, κεφαλαία και μικρά, ειδικούς χαρακτήρες και σημεία στίξης. Ο κώδικας *EBCDIC* δε χρησιμοποιείται συχνά στη μετάδοση δεδομένων, παραμένει ωστόσο ένας σημαντικός κώδικας, κυρίως λόγω της ευρείας χρήσης του εξοπλισμού της εταιρείας IBM.



Με ένα τρανζίστορ μπορούμε να παραστήσουμε 2 καταστάσεις, δηλαδή 2^1 . Με κ τρανζίστορ μπορούμε να παραστήσουμε 2^k διαφορετικές καταστάσεις.



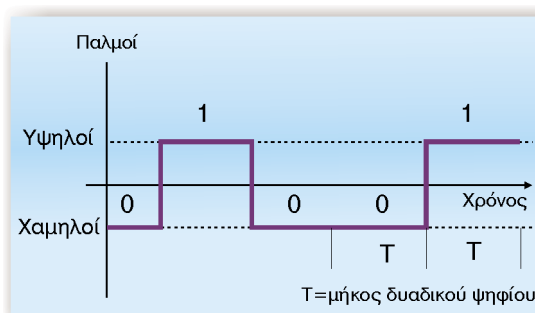
Σύμφωνα με τον κώδικα *ASCII*, κάθε σύμβολο αντιστοιχεί σε οκτώ δυαδικά ψηφία, τα οποία αποτελούν ένα χαρακτήρα. Όμως στον *ΕΛΟΤ 928*, αν και ορισμένα γράμματα του ελληνικού αλφαβήτου είναι ίδια με του λατινικού, η παράστασή τους δεν είναι η ίδια.

Για παράδειγμα, το γράμμα Α του λατινικού αλφαβήτου παριστάνεται με το χαρακτήρα 01000001, ενώ του ελληνικού ως 01000000.



2.1.3 Περίοδος ενός δυαδικού ψηφίου

Συνοφασμένη με την έννοια της μετάδοσης δεδομένων είναι η περίοδος ενός δυαδικού ψηφίου. Όπως αναφέρθηκε, τα δυαδικά ψηφία παριστάνονται στο φορέα με ηλεκτρικά ισοδύναμα ή παλμούς (υψηλούς, χαμηλούς). Οι παλμοί αυτοί μεταδίδονται με κάποια χρονική διάρκεια που είναι σταθερή. Επομένως ως **περίοδος (T)** ενός δυαδικού ψηφίου ορίζεται η χρονική διάρκεια του παλμού (σχήμα 2.2). Η περίοδος ενός δυαδικού ψηφίου αναφέρεται επίσης και ως **μήκος ή διάρκεια δυαδικού ψηφίου**.



Σχήμα 2.2: Περίοδος ενός δυαδικού ψηφίου

2.1.4 Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων

Έχοντας καθορίσει τη χρονική διάρκεια ενός δυαδικού ψηφίου, είναι δυνατόν να οριστεί το πρώτο χαρακτηριστικό της γραμμής μετάδοσης, που είναι ο **ρυθμός μετάδοσης δεδομένων**. Πρόκειται για τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων που τοποθετεί ο πομπός στο μέσο μετάδοσης ανά μονάδα χρόνου. Επειδή ως μονάδα χρόνου θεωρούμε συνήθως το ένα δευτερόλεπτο, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μετριέται σε **αριθμό δυαδικών ψηφίων ανά δευτερόλεπτο** (*bps: bits per second*).

Επομένως, αν ένας πομπός μεταδίδει m δυαδικά ψηφία ανά δευτερόλεπτο, τότε ο ρυθμός μετάδοσης της γραμμής θα είναι m δυαδικά ψηφία ανά δευτερόλεπτο ή, απλούστερα, m bps. Τυπικές τιμές ρυθμού μετάδοσης είναι οι: 2.400 bps, 9.600 bps, 14.400 bps, 33,6 Kbps, 56 Kbps, 2 Mbps, 10 Mbps, 34 Mbps, 155 Mbps και 2 Gbps.

Παράδειγμα Ι

Για ρυθμό μετάδοσης 2.400 bps απαιτείται φορέας που να εναλλάσσει το σήμα του (δηλαδή να έχει συχνότητα) 2.400 φορές το δευτερόλεπτο. Στην περίπτωση αυτή η περίοδος ενός δυαδικού ψηφίου θα είναι:



Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων εξαρτάται τόσο από το είδος του μέσου μετάδοσης όσο και από τις δυνατότητες του διαποδιαμορφωτή που υπάρχει στον πομπό και στο δέκτη.



$$T = \frac{1}{v} = \frac{1}{2.400} \text{ sec} = 0,000416 \text{ sec ή } 416 \text{ μsec}$$

όπου:

T = η περίοδος ενός δυαδικού ψηφίου και
 v = ο αριθμός των εναλλαγών του σήματος.

Επομένως, αν ένας πομπός στέλνει μια σειρά από δυαδικά ψηφία τα οποία έχουν χρονική διάρκεια T sec το καθένα και κατά τη μετάδοσή τους χρησιμοποιεί M λογικές στάθμες, τότε ο ρυθμός μετάδοσης S μπορεί να δοθεί από τον τύπο:

$$S = \frac{1}{T} \cdot \log_2 M$$

όπου:

S = ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων,
 T = η χρονική διάρκεια κάθε δυαδικού ψηφίου και
 M = οι στάθμες που χρησιμοποιούνται κατά τη μετάδοση.

Παράδειγμα II

Εάν ένας πομπός χρησιμοποιεί 2 λογικές στάθμες για τη μετάδοση, ενώ κάθε δυαδικό ψηφίο διαρκεί 29,762 μsec, τότε ο ρυθμός μετάδοσης θα είναι:

$$S = \frac{1}{29,762 \cdot 10^{-6}} \cdot \log_2 2 = 33.600 \text{ bps}$$

Είναι φανερό ότι, για να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης σε ένα κανάλι, αρκεί ο πομπός να στέλνει τα δυαδικά ψηφία με μικρότερη περίοδο το καθένα ή να χρησιμοποιεί περισσότερες λογικές στάθμες. Βέβαια ο ρυθμός μετάδοσης είναι ένα τεχνικό χαρακτηριστικό, που εξαρτάται από την τεχνολογία του φορέα.

Σημειώνουμε ότι, αν ο φορέας έχει δυνατότητα μετάδοσης 2.400 bps και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά χαρακτήρων *ASCII*, για την παράσταση των οποίων απαιτούνται 8 δυαδικά ψηφία για κάθε χαρακτήρα, τότε σε ένα δευτερόλεπτο θα μεταδοθούν:

$$S = \frac{Q}{n} = \frac{2.400}{8} = 300 \text{ Bps}$$

όπου:

S = ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων σε Bps (*Bytes per second*),
 Q = η δυνατότητα μετάδοσης του φορέα σε bps και
 n = το πλήθος των ψηφίων του χαρακτήρα.



Στην ψηφιακή μετάδοση οι λογικές στάθμες είναι 2, ο παλμός για το λογικό 0 και ο παλμός για το λογικό 1.



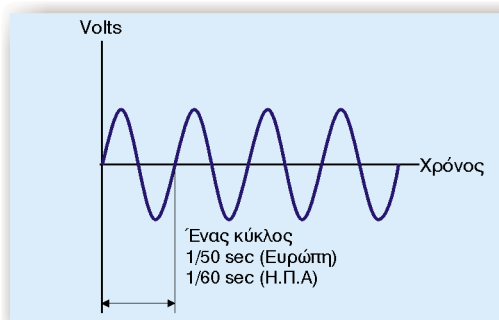
2.1.5 Χωρητικότητα γραμμών επικοινωνίας

Όπως είναι γνωστό και από το Μάθημα 1.2, η **χωρητικότητα** (*capacity*) εκφράζει τη δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων μιας γραμμής επικοινωνίας και ορίζεται ως το μέγιστο ποσό των πληροφοριών που μπορεί να μεταδοθεί διαμέσου της γραμμής αυτής κάτω από ιδανικές συνθήκες. Επειδή η μικρότερη μονάδα πληροφορίας που χρησιμοποιείται είναι το δυαδικό ψηφίο, η δυνατότητα αυτή είναι βολικό να εκφράζεται σε ρυθμό μετάδοσης, δηλαδή σε αριθμό δυαδικών ψηφίων ανά δευτερόλεπτο (*bps*), που μπορεί να μεταφέρει η γραμμή. Φυσικά αυτή η πληροφορία, με αυτή τη μορφή, μεταβιβάζεται στο μέσο μετάδοσης, όπως για παράδειγμα μια τηλεφωνική γραμμή, προκειμένου να διαμορφωθούν τα ψηφιακά δεδομένα σε κάποιας μορφής ημιτονοειδές σήμα (φέρων) και να μεταδοθούν.

Υπάρχει περιορισμός στη συχνότητα του αναλογικού σήματος που μπορεί να μεταφερθεί. Για παράδειγμα, στις κανονικές τηλεφωνικές γραμμές είναι γνωστό ότι το όριο αυτό βρίσκεται στην περιοχή των 3.000 Hz (σχήμα 2.3). Οι αρχικές τεχνικές επέτρεπαν διαμορφώσεις του ενός δυαδικού ψηφίου ανά κύκλο της θεμελιώδους φέρουσας συχνότητας, με αποτέλεσμα ένας διαποδιαμορφωτής (*modem*) των 1.200 bps να χρησιμοποιείται από φορέα των 1.200 Hz διαμορφώνοντας ένα μόνο δυαδικό ψηφίο ανά κύκλο. Νεότερες τεχνικές επέτρεψαν τη διαμόρφωση περισσότερων δυαδικών ψηφίων ανά κύκλο της φέρουσας συχνότητας, με αποτέλεσμα διαποδιαμορφωτές των 2.400 bps, που χρησιμοποιούν φορείς των 1.200 Hz, να διαμορφώνουν δύο δυαδικά ψηφία ανά κύκλο. Ανάλογα, διαποδιαμορφωτές των 4.800 bps, που χρησιμοποιούν φορείς των 1.600 Hz, διαμορφώνουν τρία δυαδικά ψηφία ανά κύκλο, ενώ διαποδιαμορφωτές των 9.600 bps, που χρησιμοποιούν φορείς των 2.400 Hz, διαμορφώνουν τέσσερα δυαδικά ψηφία ανά κύκλο.



Η μονάδα baud δε χρησιμοποιείται συχνά, σε αντιδιαστολή με τη μονάδα bps, που είναι πολύ γνωστή και έχει σαφέστερο νόημα.



Σχήμα 2.3: Ο κύκλος εκφράζει την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ισοδύναμων σημείων του κύματος

Η **φέρουσα συχνότητα**, όπως περιγράφηκε παραπάνω, αποτελεί ένα άλλο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της γραμμής μεταφοράς δεδομένων, που λέγεται επίσης και **ρυθμός διαμορφωμένου σήματος** ή **ρυθμός σηματοδότησης** (*baud rate*). Πρόκειται για τον αριθμό των αλλαγών της τάσης του διαμορφωμένου σήματος ανά δευτερόλεπτο,



που μετριέται σε **baud**. Επομένως σε ένα σύστημα μετάδοσης στο οποίο χρησιμοποιούνται μόνο δύο στάθμες τάσης ο ρυθμός μετάδοσης δυαδικών ψηφίων, που μετριέται σε bps, θα είναι ίσος με το ρυθμό σηματοδοσίας, που μετριέται σε baud.

Στο χώρο των υπολογιστών οι δύο όροι, ρυθμός μετάδοσης (*bps*) και ρυθμός σηματοδοσίας (*baud*), παρουσιάζονται συχνά ως συνώνυμοι. Αυτό δε δημιουργεί πρόβλημα, αρκεί οι όροι αυτοί να χρησιμοποιούνται με συνέπεια. Για παράδειγμα, θα μπορούσε κάποιος να αναφερθεί ισοδύναμα σε διαμορφωμένη των 9.600 baud ή διαμορφωμένη των 9.600 bps που χρησιμοποιεί φορέα των 2.400 baud, εννοώντας την ύπαρξη τεσσάρων σταθμών (αλλαγών τάσης), που επιτρέπουν το πέρασμα τεσσάρων δυαδικών ψηφίων ανά κύκλο σε φορέα συχνότητας 2.400 Hz.

Παράδειγμα III

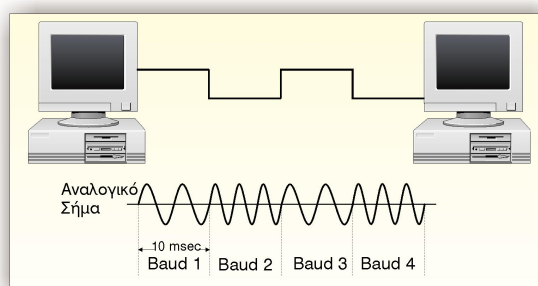
Αν ένα σύστημα μετάδοσης χρησιμοποιεί τέσσερις στάθμες τάσης για τη μετάδοση του διαμορφωμένου σήματος, τότε κάθε μεταβολή του διαμορφωμένου σήματος μπορεί να μεταφέρει δύο δυαδικά ψηφία. Επομένως ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων θα είναι διπλάσιος του ρυθμού μετάδοσης διαμορφωμένου σήματος.

Για παράδειγμα, αν το διαμορφωμένο σήμα αλλάζει δύο στάθμες τάσης κάθε 10 ms (σχήμα 2.4), τότε σύμφωνα με τον τύπο $S = \left(\frac{1}{T}\right) \cdot \log_2 M$ θα έχουμε:

$$S = \frac{1}{0,010} \cdot \log_2 2 = 100 \text{ bps}$$

δηλαδή ο ρυθμός του διαμορφωμένου σήματος ή ρυθμός σηματοδοσίας θα είναι 100 bps. Ο ρυθμός αυτός διπλασιάζεται, αν ανά 10 ms το διαμορφωμένο σήμα αλλάζει 4 στάθμες τάσης, αφού με εφαρμογή του ίδιου τύπου προκύπτει ότι ο ρυθμός σηματοδοσίας είναι 200 bps.

Συνεπώς σε συστήματα κωδικοποίησης με περισσότερα από δύο επίπεδα τάσης μπορούμε να πετύχουμε υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης.



Σχήμα 2.4: Ρυθμός μετάδοσης διπλάσιος του ρυθμού σηματοδοσίας



Στην πράξη, τον τελικό χρήστη τον ενδιαφέρει ο ρυθμός μετάδοσης της **ωφέλιμης** ή **καθαρής πληροφορίας**. Πρόκειται για ένα άλλο χαρακτηριστικό της γραμμής μετάδοσης, το οποίο εκφράζει τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων πληροφορίας που τοποθετεί ο πομπός στο μέσο μετάδοσης. Για παράδειγμα, υποθέτοντας ότι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι m bps, δηλαδή ότι σε ένα δευτερόλεπτο μεταφέρονται m δυαδικά ψηφία, εννοούμε ότι στα ψηφία αυτά υπάρχουν και πρόσθετες πληροφορίες, όπως είναι τα ψηφία εκκίνησης και τέλους της μετάδοσης, αν πρόκειται για ασυγχρόνιστη μετάδοση, ή τα ψηφία συγχρονισμού, αν πρόκειται για συγχρονισμένη μετάδοση (Μάθημα 2.4), τα ψηφία ελέγχου σφαλμάτων κτλ. Επομένως η ωφέλιμη πληροφορία που μεταφέρεται και ενδιαφέρει τελικά το χρήστη δεν είναι m δυαδικά ψηφία αλλά λίγο μικρότερη.

Παράδειγμα IV

Στην ασυγχρόνιστη επικοινωνία, με ένα ψηφίο εκκίνησης και ένα ψηφίο τέλους, κάθε χαρακτήρας (byte) απαιτεί 10 δυαδικά ψηφία (8+2). Αφού λοιπόν στα 10 δυαδικά ψηφία τα 8 συνιστούν την ωφέλιμη πληροφορία, ανάλογα στα 1.200 δυαδικά ψηφία η ωφέλιμη πληροφορία θα είναι 960 δυαδικά ψηφία. Επομένως, για ρυθμούς μετάδοσης 1.200 bps, ο ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας θα είναι 960bps.

Όπως αναφέρθηκε στο Μάθημα 1.2, στην περίπτωση της ψηφιακής μετάδοσης η χωρητικότητα C μιας γραμμής μετάδοσης ορίζεται ως ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης ψηφιακών δεδομένων που δεν ενέχει σφάλμα. Η χωρητικότητα είναι στενά συνυφασμένη με το εύρος ζώνης, το οποίο μετριέται σε Hertz και εκφράζει τη διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και στην ελάχιστη συχνότητα στην οποία μπορεί η γραμμή να μεταδώσει. Στην περίπτωση αυτή το εύρος ζώνης εκφράζει το μέγιστο αριθμό των δυαδικών ψηφίων που μπορούν να μεταφερθούν μέσω του καναλιού στη μονάδα του χρόνου. Επομένως ένας πομπός με ρυθμό μετάδοσης ίσο ή μικρότερο από το εύρος ζώνης του καναλιού θα μπορέσει να μεταδώσει χωρίς σφάλμα την πληροφορία. Εάν ο ρυθμός μετάδοσης του πομπού είναι μεγαλύτερος, τότε η πληροφορία θα φτάσει στο δέκτη λανθασμένη, χωρίς αυτός να μπορεί να τη διορθώσει.

Στην ιδανική περίπτωση του καναλιού χωρίς θόρυβο, ο τύπος του Nyquist δίνει τη χωρητικότητα του καναλιού ως:

$$C = 2 \cdot B \cdot \log_2 M$$

όπου:

M = ο αριθμός των διαφορετικών καταστάσεων (στάθμες τάσης) του σήματος,

B = το εύρος ζώνης συχνοτήτων του καναλιού σε Hertz και

C = η χωρητικότητα του καναλιού σε bps.



Παράδειγμα V

Σε ένα κανάλι χωρίς θόρυβο, με εύρος ζώνης 3 KHz (τυπική τιμή για τηλεφωνικές γραμμές) και δύο διαφορετικές καταστάσεις σήματος η χωρητικότητα θα είναι:

$$C = 2 \cdot 3.000 \cdot \log_2 2 = 6.000 \text{ bps}$$

Επομένως ένα χωρίς θόρυβο κανάλι 3 KHz δεν μπορεί να μεταδώσει δυαδικά σήματα με ρυθμό μεγαλύτερο από 6.000 bps. Σε περίπτωση που υπάρχει θόρυβος, η κατάσταση χειροτερεύει αμέσως. Όπως αναφέρθηκε και στο Μάθημα 1.4, ο θόρυβος υπολογίζεται από το λόγο της ισχύος του σήματος προς την ισχύ του θορύβου και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{SNR} = 10 \log_{10}(\text{S/N}) \text{ db}$$

Η σχέση που προσδιορίζει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης, δηλαδή τη χωρητικότητα, και περιλαμβάνει το θόρυβο δίνεται από το θεώρημα του Shannon και είναι:

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

όπου:

B = το εύρος του καναλιού (σε Hz) και

S/N = το SNR (σε decibel).

Παράδειγμα VI

Ένα κανάλι που χρησιμοποιεί εύρος ζώνης 3 KHz και SNR ίσο με 30 db, ή $\text{S/N} = 10^3$ (τυπικές παράμετροι για μια αναλογική τηλεφωνική σύνδεση), θα έχει χωρητικότητας:

$$\begin{aligned} C &= 3.000 \cdot \log_2(1 + 1.000) = 3.000 \cdot \log_2 2^{10} = \\ &= 3.000 \cdot 10 \cdot \log_2 2 = 3.000 \cdot 10 \cdot 1 = 30 \text{ Kbps} \end{aligned}$$

Στην πραγματικότητα όμως ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων σε τέτοια κανάλια δεν υπερβαίνει τα 9,6 Kbps.

Παράδειγμα VII

Αν ένα κανάλι έχει εύρος ζώνης 3 KHz και SNR 20 db, τότε η μέγιστη χωρητικότητά του θα είναι:

$$C = B \log_2(1 + \text{S/N}) = 3.000 \log_2(1 + \text{S/N}).$$



Όμως:

$$\text{SNR} = 10 \log_{10}(\text{S/N}) \Leftrightarrow 20 = 10 \log_{10}(\text{S/N}) \Leftrightarrow \log_{10}(\text{S/N}) = 2 \Leftrightarrow \text{S/N} = 100$$

Συνεπώς:

$$C = 3.000 \log_2(1 + 100) \text{ bps} \sim 19.975 \text{ bps}$$



Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Δεδομένα, πληροφορία, δυαδικό ψηφίο (*bit*), χαρακτήρας (*byte*), κώδικας, περίοδος δυαδικού ψηφίου, φέρουσα συχνότητα, ρυθμός διαμορφωμένου σήματος (*baud*), ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας, χωρητικότητα, ωφέλιμη πληροφορία.

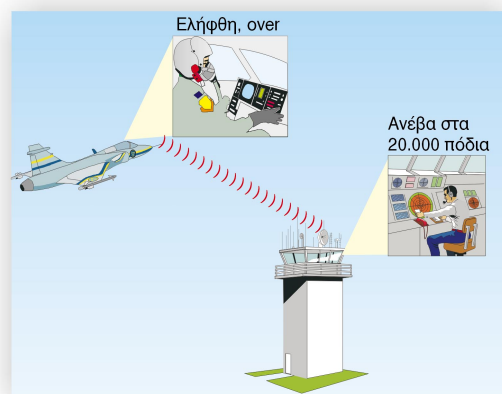
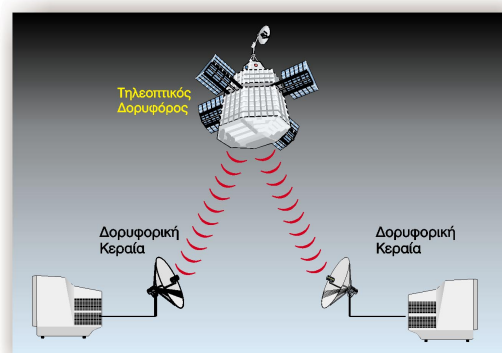


Μάθημα 2.2: Χαρακτηριστικά μετάδοσης δεδομένων

2.2.1 Μορφές μετάδοσης δεδομένων

Η γραμμή επικοινωνίας είναι ένα μέσο το οποίο μεταφέρει πληροφορίες σε ένα δίκτυο επικοινωνίας δεδομένων. Επειδή η γραμμή επικοινωνίας μεταφέρει δεδομένα, συχνά αναφέρεται και ως γραμμή δεδομένων ή γραμμή μετάδοσης ή απλώς γραμμή. Συνήθως η γραμμή αποτελείται από ένα ή περισσότερα κανάλια, με κάθε κανάλι να μεταφέρει πληροφορίες προς τη μία ή την άλλη κατεύθυνση της γραμμής. Γενικά και σε σχέση με την κατεύθυνση των δεδομένων μπορούν να αναγνωριστούν τρία είδη, που περιγράφονται στη συνέχεια.

- ✓ **Μετάδοση μονόπλευρης κατεύθυνσης (simplex):** Σ' αυτή τη μορφή μετάδοσης οι πληροφορίες κινούνται πάντοτε μόνο προς τη μία κατεύθυνση. Η μετάδοση αυτή λέγεται απλώς και **μονόπλευρη** ή **μονόδρομη**. Παραδείγματα τέτοιας μορφής μετάδοσης αποτελούν οι μεταδόσεις εκπομπής, όπως είναι π.χ. οι ραδιοφωνικές εκπομπές, όπου η πληροφορία μεταδίδεται πάντα από το ραδιοφωνικό πομπό προς τους δέκτες ή η αποστολή δεδομένων από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή προς κάποια τερματική διάταξη.
- ✓ **Μη ταυτόχρονη μετάδοση αμφίπλευρης κατεύθυνσης (half duplex):** Εδώ οι πληροφορίες μπορούν να κινούνται και προς τις δύο κατευθύνσεις αλλά όχι ταυτόχρονα. Η μετάδοση αυτή λέγεται απλώς και **ημίπλευρη** ή **μη ταυτόχρονη αμφίδρομη**. Κλασικό παράδειγμα μιας τέτοιας μετάδοσης αποτελεί ο ασύρματος, όπου ο εκάστοτε ομιλητής πρέπει πρώτα να σταματήσει να μιλά, λέγοντας το γνωστό «over», για να μπορέσει ο άλλος να μιλήσει. Ο χρόνος που απαιτείται για την αλλαγή της κατεύθυνσης ροής των πληροφοριών ονομάζεται **χρόνος επανεπιστροφής (turnaround time)**.
- ✓ **Ταυτόχρονη μετάδοση αμφίπλευρης κατεύθυνσης (full duplex):** Στην περίπτωση αυτή οι πληροφορίες μπορούν να κινούνται ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις. Η μετάδοση αυτή λέγεται απλώς και **αμφίπλευρη** ή **αμφίδρομη**. Κλασικό παράδειγμα αυτής της μορφής μετάδοσης είναι η τηλεφωνική επικοινωνία, όπου και οι δύο συνομιλητές μπορούν να μιλούν ταυτόχρονα. Στη μετάδοση αυτή είτε υπάρ-



Σχήμα 2.5: Παραδείγματα μετάδοσης μονόπλευρης, ημίπλευρης και αμφίπλευρης κατεύθυνσης



χουν διαφορετικά κυκλώματα λήψης και εκπομπής είτε δημιουργούνται λογικά κανάλια για λήψη και εκπομπή στο ίδιο μέσο μετάδοσης. Εννοείται ότι στην αμφίπλευρη μετάδοση δεν υπάρχει χρονική καθυστέρηση (χρόνος επανεπιστροφής) για την αλλαγή της κατεύθυνσης ροής των πληροφοριών.

Στο σχήμα 2.5 απεικονίζονται ένα παράδειγμα μονόπλευρης μετάδοσης, ένα ημίπλευρης και ένα αμφίπλευρης.

2.2.2 Τρόποι ψηφιακής μετάδοσης δεδομένων

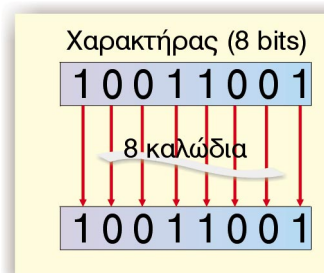
2.2.2.1 Παράλληλη μετάδοση δεδομένων

Ως **παράλληλη μετάδοση** (*parallel transmission*) νοείται η ομαδική μεταφορά χαρακτήρων. Στην ψηφιακή μετάδοση υλοποιείται με την ταυτόχρονη μεταφορά των δυαδικών ψηφίων κάθε χαρακτήρα (σχήμα 2.6α). Κατά συνέπεια για κάθε δυαδικό ψηφίο του χαρακτήρα αφιερώνεται μια ιδιαίτερη γραμμή μετάδοσης. Στην πράξη όμως χρησιμοποιούνται καλώδια πολλών αγωγών, τα οποία επιτρέπουν την ταυτόχρονη διέλευση των ψηφιακών σημάτων. Το μεγάλο μειονέκτημα της παράλληλης μετάδοσης είναι το μεγάλο μήκος της καλωδίωσης που απαιτείται, με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους της σύνδεσης. Σε αντιδιαστολή, το βασικό πλεονέκτημα της μετάδοσης αυτής είναι ο μικρότερος χρόνος μεταφοράς των δεδομένων σε σύγκριση με αυτόν της σειραϊκής μετάδοσης.

Η παράλληλη μετάδοση χρησιμοποιείται ευρύτατα στην επικοινωνία μεταξύ της κεντρικής μονάδας ενός συστήματος ηλεκτρονικών υπολογιστών και των περιφερειακών του μονάδων, όπως είναι για παράδειγμα οι εκτυπωτές, οι ταινίες, οι δίσκοι, οι ψηφιακές κάμερες κτλ. Οι περιφερειακές αυτές συσκευές πρέπει να βρίσκονται σε κοντινή απόσταση (συνήθως μικρότερη από 15 μέτρα) από την κεντρική μονάδα. Σε τέτοια απόσταση η παράλληλη μετάδοση μπορεί να πετύχει υψηλούς ρυθμούς, ενώ είναι ενδεχόμενο να δημιουργηθούν προβλήματα, όσο η απόσταση μεγαλώνει.



Η σημασία της παράλληλης μετάδοσης έγκειται στο γεγονός ότι τα δυαδικά ψηφία ενός χαρακτήρα μεταδίδονται όλα μαζί, αν και οι ίδιοι οι χαρακτήρες μεταδίδονται ο ένας μετά τον άλλο (σειραϊκά).



Σχήμα 2.6α: Παράλληλη μετάδοση πληροφορίας



Η παράλληλη μετάδοση δεδομένων συνδέεται με τον καταμερισμό του χώρου, ενώ η σειραϊκή με τον καταμερισμό του χρόνου.

2.2.2.2 Σειραϊκή μετάδοση δεδομένων

Στη **σειραϊκή μετάδοση** (*serial transmission*) ψηφιακών δεδομένων τα δυαδικά ψηφία κάθε χαρακτήρα στέλνονται διαδοχικά, το ένα μετά το άλλο (σε σειρά), από τον πομπό στο δέκτη, διαμέσου μίας γραμμής επικοινωνίας (σχήμα 2.6β). Παρά το γεγονός ότι με την παράλληλη σύνδεση η μεταφορά των δεδομένων είναι ταχύτερη, η σειραϊκή μετάδοση χρησιμοποιείται περισσότερο, επειδή:



- ✓ Απαιτούνται λιγότεροι αγωγοί από ό,τι στην παράλληλη μετάδοση, με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος σύνδεσης.
- ✓ Η υφιστάμενη παραμόρφωση του σήματος κατά τη μεταφορά της πληροφορίας είναι μικρότερη από ό,τι στην παράλληλη μετάδοση.

Στις σειραϊκές συνδέσεις χρησιμοποιούνται καλώδια τα οποία επιτρέπουν τη διέλευση των δεδομένων μέσα από ένα μόνο αγωγό. Η μεταφορά δεδομένων είναι αργή, αλλά το σήμα ελέγχεται από τον πομπό και περνά το μέσο με τις μικρότερες κατά το δυνατόν παραμορφώσεις. Από το δέκτη χρησιμοποιείται η ίδια τεχνική, με τον αντίστροφο όμως τρόπο. Αφού τα δεδομένα που λαμβάνονται είναι μια σειρά από δυαδικά ψηφία, θα πρέπει να είναι γνωστό το σημείο που τερματίζεται ένας χαρακτήρας και αρχίζει ο επόμενος. Για το σκοπό αυτό στη σειραϊκή μετάδοση εφαρμόζονται δύο τεχνικές, η συγχρονισμένη και η ασυγχρονιστή μετάδοση. Σε κάθε περίπτωση ο συγχρονισμός μεταξύ του σημείου αποστολής (πομπός) και του σημείου αποδοχής (δέκτης) του σήματος είναι απαραίτητος.

Τόσο με την έννοια του συγχρονισμού του πομπού και του δέκτη όσο και με τις δύο τεχνικές σειραϊκής μετάδοσης δεδομένων θα ασχοληθούμε στο επόμενο μάθημα.



Σχήμα 2.6β: Σειραϊκή μετάδοση πληροφορίας.

Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Μετάδοση μονόπλευρης κατεύθυνσης, μη ταυτόχρονη μετάδοση αμφίπλευρης κατεύθυνσης, ταυτόχρονη μετάδοση αμφίπλευρης κατεύθυνσης, παράλληλη μετάδοση, σειραϊκή μετάδοση.



Μάθημα 2.3: Ασυγχρόνιστη και συγχρονισμένη σειραϊκή μετάδοση

2.3.1 Εισαγωγή

Όπως είναι ήδη γνωστό, για να είναι επιτυχής η μεταφορά της πληροφορίας από ένα σημείο σε ένα άλλο, πρέπει να υπάρχει συνεργασία μεταξύ του πομπού και του δέκτη, δηλαδή ο χρόνος αποστολής ενός δυαδικού ψηφίου από τον πομπό πρέπει να συμπίπτει με το χρόνο ανίχνευσης του μέσου μετάδοσης από το δέκτη. Μικρές αποκλίσεις στα συστήματα χρονισμού του πομπού και του δέκτη συσσωρεύονται και μπορεί να οδηγήσουν σε λήψη εσφαλμένης πληροφορίας ή και σε απώλεια δεδομένων. Ανάλογα με τον τρόπο μετάδοσης των δεδομένων, έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές τεχνικές συγχρονισμού των κυκλωμάτων του πομπού και του δέκτη, τις οποίες και θα αναλύσουμε στη συνέχεια.

Πριν προχωρήσουμε όμως στην αναλυτική παρουσίαση των δύο τεχνικών μετάδοσης δεδομένων, είναι απαραίτητο να δοθεί ο ορισμός μερικών εννοιών που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια.

- ✓ **Ομάδα** (*block*) ονομάζεται ένα μικρό σύνολο χαρακτήρων που είναι έτοιμοι προς μετάδοση. Στην περίπτωση μηνυμάτων με πολλούς χαρακτήρες, είναι δυνατόν πολλές ομάδες να συνιστούν ένα **πλαίσιο** (*frame*).
- ✓ **Προπορευόμενα δυαδικά ψηφία** (*preamble bits*) ονομάζονται τα δυαδικά ψηφία που προηγούνται της ομάδας δεδομένων και καθορίζουν την αρχή της.
- ✓ **Παρεπόμενα δυαδικά ψηφία** (*postamble bits*) ονομάζονται τα δυαδικά ψηφία που ακολουθούν την ομάδα δεδομένων και καθορίζουν το τέλος της.

Μία από τις βασικές απαιτήσεις κατά τη μεταφορά των ψηφιακών δεδομένων είναι η συσκευή - δέκτης να γνωρίζει το ρυθμό μετάδοσης και τις χρονικές στιγμές άφιξης των δυαδικών ψηφίων που στέλνονται από τη συσκευή - πομπό. Για το λόγο αυτό ο **συγχρονισμός** μεταξύ του σημείου που στέλνει και του σημείου που λαμβάνει το σήμα είναι απαραίτητη προϋπόθεση, ώστε να μην υπάρξει εσφαλμένη λήψη ή και απώλεια δεδομένων. Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλων κυκλωμάτων χρονισμού, τα οποία καθορίζουν το ρυθμό μετάδοσης και λήψης στον πομπό και στο δέκτη αντίστοιχα. Αν, για παράδειγμα, ο πομπός στέλνει ένα δυαδικό ψηφίο κάθε 10 ms, θα πρέπει αντίστοιχα ο δέκτης να ανιχνεύει το μέσο μετάδοσης κάθε 10 ms και κατά προτίμηση στη μέση περίπου της διάρκειας εκπομπής ενός δυαδικού ψηφίου.

Παράδειγμα VIII

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7, ο συγχρονισμός του πομπού με το δέκτη γίνεται μέσω ενός φορέα που αντιστοιχεί σε ένα περιοδικό σήμα περιόδου T . Έτσι ο πομπός στέλνει ανά δευτερόλεπτο $1/T$ αριθμό δυαδικών ψηφίων. Για παράδειγμα, στην περίπτωση αποστολής δεδομένων με ρυθμό μετάδοσης 1.600 bps, ο πομπός στέλνει ένα δυαδικό ψηφίο κάθε $1/1.600$ sec και ο δέκτης πρέπει να ελέγχει το μέσο μετάδο-



σης ακριβώς κάθε 1/1.600 sec.

Η χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ της ασυγχρόνιστης και της συγχρονισμένης μετάδοσης συνίσταται στο γεγονός ότι στην ασυγχρόνιστη τα δύο σημεία επικοινωνίας πρέπει να βρίσκονται σε συγχρονισμό μόνο κατά το χρονικό διάστημα που γίνεται η μετάδοση και η λήψη ενός χαρακτήρα. Το χρονικό διάστημα μεταξύ των διαδοχικών μεταδόσεων δύο χαρακτήρων δεν έχει συγχρονισμό και λέγεται **άεργος χρόνος** (*idle time*). Αντίθετα, στη συγχρονισμένη μετάδοση τα σημεία που επικοινωνούν πρέπει να βρίσκονται σε διαρκή συγχρονισμό. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιείται μια ξεχωριστή γραμμή συγχρονισμού ή ενσωματώνεται η πληροφορία συγχρονισμού στα δεδομένα.

Στην ασυγχρόνιστη μετάδοση οι χαρακτήρες μεταδίδονται ένας - ένας, αφού όμως πριν και μετά από κάθε χαρακτήρα μεταδοθούν ειδικά ψηφία που σηματοδοτούν την έναρξη και το τέλος της αποστολής του, με σκοπό να ειδοποιηθεί ο αποδέκτης που παίρνει το μήνυμα. Αντίθετα, στη συγχρονισμένη μετάδοση οι χαρακτήρες αποστέλλονται συνήθως κατά ομάδες.

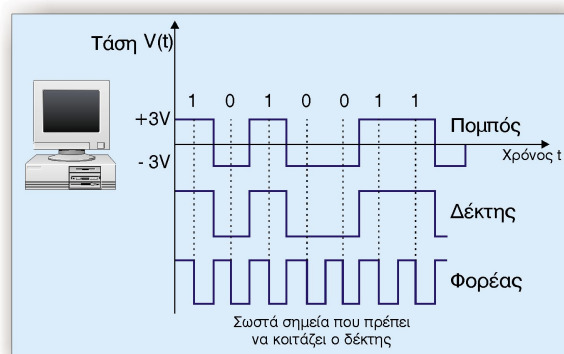
Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο συγχρονισμός στη σειραϊκή μετάδοση μπορεί να επιτευχθεί είτε με ασυγχρόνιστη είτε με συγχρονισμένη μετάδοση. Στην πρώτη περίπτωση κάθε χαρακτήρας του μηνύματος υφίσταται ανεξάρτητο χειρισμό, με αποτέλεσμα ο δέκτης να επανασυγχρονίζεται αμέσως μετά τη λήψη του. Αντίθετα στη δεύτερη περίπτωση το όλο μήνυμα, υπό μορφή πλαισίου χαρακτήρων, μεταδίδεται σαν συνεχόμενη σειρά δυαδικών ψηφίων και ο δέκτης έχει την ευθύνη του συγχρονισμού κάθε εισερχόμενου δυαδικού ψηφίου και για όλη τη διάρκεια μετάδοσης του πλαισίου.

Όμως, ανεξάρτητα από το αν η μετάδοση είναι συγχρονισμένη ή ασυγχρόνιστη, η σειραϊκή μετάδοση παρουσιάζει ορισμένα, όπως θα δούμε σε επόμενα μαθήματα, προβλήματα συγχρονισμού μεταξύ πομπού και δέκτη, τα οποία μπορεί να διευθετηθούν με διεργασίες γνωστές ως:

- ✓ **συγχρονισμός προσανατολισμένος προς δυαδικό ψηφίο** (*bit ή clock oriented synchronization*),
- ✓ **συγχρονισμός προσανατολισμένος προς χαρακτήρα** (*character ή byte oriented synchronization*) και
- ✓ **συγχρονισμός προσανατολισμένος προς πλαίσιο** (*frame ή block oriented synchronization*).

2.3.2 Ασυγχρόνιστη μετάδοση

Η παλαιότερη και πιο απλή μέθοδος μετάδοσης είναι η **ασυγχρόνιστη μετάδοση** (*asynchronous transmission*). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, τα δεδομένα μεταδίδονται με τη μορφή χαρακτήρων. Ο συγχρονισμός ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη γίνεται με τη βοήθεια του **παλμού αρχής** (*pulse start*) και του **παλμού τέρματος** (*pulse stop*) που πλαισιώνουν κάθε μεταδιδόμενο χαρακτήρα. Με βάση τους παλμούς αυ-



Σχήμα 2.7: Συγχρονισμός



τούς ο δέκτης αναγνωρίζει την αρχή και το τέρμα του εκάστοτε μεταδιδόμενου χαρακτήρα (σχήμα 2.8). Έτσι, κατά τη μετάδοση, πριν από κάθε χαρακτήρα υπάρχει ο παλμός αρχής, που έχει την τιμή του δυαδικού ψηφίου 0. Το δυαδικό αυτό ψηφίο χρησιμοποιείται για να ειδοποιήσει το δέκτη ότι ακολουθούν τα υπόλοιπα δυαδικά ψηφία που αποτελούν το χαρακτήρα. Μετά τη μετάδοση του χαρακτήρα ακολουθεί ο παλμός τέρματος, που μπορεί να είναι, ανάλογα με την περίπτωση, ένα ή δύο δυαδικά ψηφία. Όταν δεν υπάρχουν δεδομένα προς μετάδοση, ο πομπός στέλνει έναν παλμό τέρματος.

Ο δέκτης αναγνωρίζει την αρχή ενός καινούριου χαρακτήρα με τη μετάβαση από το 1 στο 0.

Η ασυγχρόνιστη μετάδοση (σχήμα 2.8) είναι ο απλούστερος τρόπος σειραϊκής μετάδοσης. Η αποστολή της πληροφορίας γίνεται με τη διαδοχική μετάδοση χαρακτήρων του ίδιου κώδικα (π.χ. ASCII). Κάθε χαρακτήρας μεταδίδεται χωριστά, ενώ τα χρονικά διαστήματα που μεσολαβούν στη μετάδοση των χαρακτήρων ποικίλλουν. Για την αναγνώριση της αρχής και του τέρματος κάθε χαρακτήρα υπάρχει μια καλά καθορισμένη διαδικασία που προβλέπει τα ακόλουθα:

✓ Το δυαδικό ψηφίο είναι το ελάχιστο ποσό πληροφορίας που μπορεί να αποσταλεί. Κάθε δυαδικό ψηφίο αντιστοιχεί σε μία λογική στάθμη (λογικό 1 ή λογικό 0), που υποδεικνύει μία στάθμη τάσης (π.χ. +12 Volt για το λογικό 1 και -12 Volt για το λογικό 0).

- ✓ Όταν δε μεταδίδονται χαρακτήρες, η γραμμή μετάδοσης θεωρείται ότι βρίσκεται σε υψηλή λογική στάθμη, δηλαδή στο λογικό 1, ενώ, όταν μεταδίδονται χαρακτήρες, η γραμμή θεωρείται ότι βρίσκεται σε χαμηλή λογική στάθμη, δηλαδή στο λογικό 0.
- ✓ Για την αποστολή ενός χαρακτήρα ο πομπός ρίχνει τη στάθμη στο λογικό 0 για χρονικό διάστημα ενός δυαδικού ψηφίου, προκειμένου να σηματοδοτήσει την έναρξη της αποστολής του. Αυτή η πτώση της τάσης παριστάνει τον παλμό αρχής.
- ✓ Ο πομπός στέλνει στο δέκτη διαδοχικά τα δυαδικά ψηφία που αντιστοιχούν στο χαρακτήρα που μεταδίδεται. Προαιρετικά, ο πομπός μπορεί να συμπεριλάβει στην αποστολή του και ένα δυαδικό ψηφίο που ονομάζεται **δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας** ή **bit ισοτιμίας** (*parity bit*), το οποίο χρησιμοποιείται από το δέκτη προκειμένου να αναγνωρίσει τυχόν λάθος στη μετάδοση.
- ✓ Η αποστολή τερματίζεται με την επαναφορά της στάθμης του μέσου μετάδοσης στο λογικό 1, τουλάχιστον για χρονικό διάστημα ενός δυαδικού ψηφίου, πριν ξεκινήσει η μετάδοση του επόμενου χαρακτήρα. Αυτή η ανόρθωση της τάσης παριστάνει τον παλμό τέρματος και μπορεί να έχει διάρκεια ίση με 1, 1,5 ή 2 φορές τη διάρκεια ενός δυαδικού ψηφίου.

Για την απόκτηση των δυαδικών ψηφίων από το χαρακτήρα ο δέκτης πρέπει να γνωρίζει τη διάρκεια κάθε δυαδικού ψηφίου. Στην ασυγχρόνιστη μετάδοση ο δέκτης επανασυγχρονίζεται με κάθε παλμό τέρματος, με αποτέλεσμα να επιτρέπεται μια



Σχήμα 2.8: Ασυγχρόνιστη μετάδοση ενός χαρακτήρα



μικρή απόκλιση σε ό,τι αφορά το χρόνο διάρκειας των δυαδικών ψηφίων. Ο ρόλος του παλμού αρχής είναι να προκαλέσει την εκκίνηση ενός χρονοδιακόπτη (ρολόι) που υπάρχει στο δέκτη, ο οποίος θα κάνει δειγματοληψία στη γραμμή τόσες φορές όσα είναι τα δυαδικά ψηφία του χαρακτήρα που αποστέλλεται (π.χ. 8 φορές, αν πρόκειται για χαρακτήρα *ASCII*) και με συχνότητα που καθορίζεται από το ρυθμό της μετάδοσης. Ο παλμός τέρματος χρησιμοποιείται για να επαναφέρει το δέκτη σε μια τέτοια κατάσταση, ώστε να μπορεί να αναγνωρίσει ένα νέο παλμό αρχής.

Για να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά της ασυγχρόνιστης μετάδοσης, συνήθως αναφέρονται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων ανά χαρακτήρα, η ύπαρξη ή μη δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας, καθώς και η χρονική διάρκεια (σε αριθμό δυαδικών ψηφίων) του παλμού τέρματος. Για παράδειγμα, γράφοντας «28800 bps 8N1» εννοούμε ασυγχρόνιστη μετάδοση στα 28.800 bps με 8 δυαδικά ψηφία ανά χαρακτήρα, χωρίς δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας (*None parity*) και με διάρκεια παλμού τέρματος ένα δυαδικό ψηφίο.

Επειδή η υλοποίησή της είναι εύκολη, η ασυγχρόνιστη επικοινωνία έχει καθιερωθεί ως κύρια μέθοδος στην περίπτωση συσκευών χαμηλού κόστους, όπως είναι για παράδειγμα η κατηγορία των προσωπικών υπολογιστών (*PC*).

2.3.3 Συγχρονισμένη μετάδοση

Αντίθετα από την ασυγχρόνιστη μετάδοση, όπου κάθε χαρακτήρας μεταδίδεται χωριστά, στη **συγχρονισμένη μετάδοση** (*synchronous transmission*) οι χαρακτήρες μεταδίδονται κατά ομάδες (σχήμα 2.9).

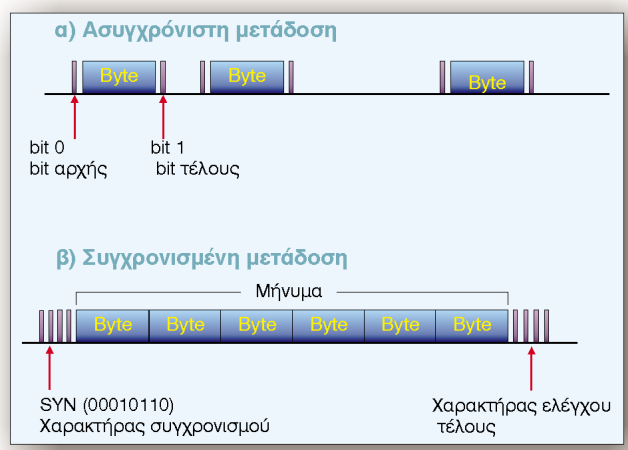
Όμως, επειδή τα δυαδικά ψηφία των δεδομένων οδηγούνται στο δέκτη το ένα μετά το άλλο, πρέπει να υπάρχει ένας τρόπος που να καθορίζει πού αρχίζει το μήνυμα και πού τελειώνει. Ο καθορισμός της αρχής και του τέλους του μηνύματος γίνεται με την αποστολή ειδικών χαρακτήρων, των προπορευόμενων και των παρεπόμενων δυαδικών ψηφίων αντίστοιχα, και λέγεται **συγχρονισμός**. Το πώς είναι δομημένες οι μορφές των προπορευόμενων και των παρεπόμενων δυαδικών ψηφίων εξαρτάται από το εάν η μετάδοση είναι προσανατολισμένη προς χαρακτήρα, προς δυαδικό ψηφίο ή προς πλαίσιο.

Συνήθως η συγχρονισμένη σειραϊκή μετάδοση εφαρμόζεται στην αποστολή μεγάλου αριθμού δεδομένων, όπου απαιτούνται υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στην επικοινωνία απομακρυσμένων συστημάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών, στο βιντεοτηλέφωνο, το οποίο σήμερα αποτελεί ένα από τα πιο εξελιγμένα μέσα επικοινωνίας στο χώρο της τηλεφωνίας, κ.α. Το κόστος της σειραϊκής επικοινωνίας δε θεωρείται σήμερα υψηλό, αυξάνεται όμως με το μήκος της καλωδιακής εγκατάστασης.

Στην περίπτωση της συγχρονισμένης σειραϊκής μετάδοσης που είναι **προσανατολισμένη προς χαρακτήρα** (*character oriented*), η αναγνώριση εκκίνησης μιας ομάδας χαρακτήρων γίνεται με την αποστολή ενός ειδικού χαρακτήρα στην αρχή της ομάδας, που ονομάζεται **χαρακτήρας συγχρονισμού (SYNC)**. Είναι όμως ενδεχόμενο ο χαρακτήρας



Στον κώδικα ASCII ο χαρακτήρας συγχρονισμού είναι γνωστός ως **SYN** και έχει τιμή 3232 στο δεκαεξαδικό ή 000 10 110 στο δυαδικό σύστημα αρίθμησης.



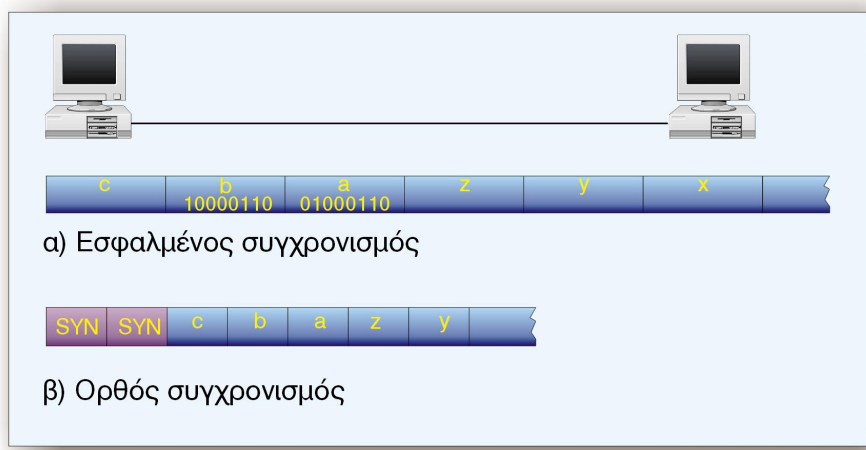
Σχήμα 2.9: Παράσταση ασυγχρόνιστης και συγχρονισμένης μετάδοσης

συγχρονισμού να εκφράζει επίσης και κάποιο χαρακτήρα δεδομένων που αποστέλλεται, με αποτέλεσμα ο δέκτης να θεωρήσει, εσφαλμένα, ότι ξεκινά μια νέα ομάδα χαρακτήρων. Για την αποφυγή ενός τέτοιου ενδεχόμενου ο χαρακτήρας συγχρονισμού αποστέλλεται δύο φορές στην αρχή κάθε πακέτου. Κατόπιν αποστέλλονται οι χαρακτήρες της πληροφορίας, ενώ το τέλος της ομάδας βεβαιώνεται με την αναγνώριση από το δέκτη ενός άλλου χαρακτήρα τερματισμού, που συμβολίζεται ως **EOB (End Of Block)**. Στο σχήμα 2.10 απεικονίζεται μία τυπική περίπτωση

εσφαλμένης και μία περίπτωση ορθής συγχρονισμένης μετάδοσης.

Η διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου να επιτευχθεί ο συγχρονισμός είναι η ακόλουθη:

- ✓ Ο δέκτης που περιμένει μήνυμα συγκρίνει την τιμή του **καταχωρητή μετατόπισης (shift register)** με την τιμή που έχει ο χαρακτήρας συγχρονισμού.
- ✓ Αν οι δύο αυτές τιμές δε συμπέσουν, δεν επιτυγχάνεται συγχρονισμός (σχήμα 2.11).
- ✓ Αν οι δύο αυτές τιμές συμπέσουν, επιτυγχάνεται συγχρονισμός.
- ✓ Στην περίπτωση συγχρονισμού ένας μετρητής αυξάνεται κατά μία μονάδα κάθε φορά που εισέρχεται ένα δυαδικό ψηφίο στο δέκτη (σχήμα 2.12). Όταν ο μετρητής καταγράψει την είσοδο όλων των δυαδικών ψηφίων του χαρακτήρα (π.χ. 8



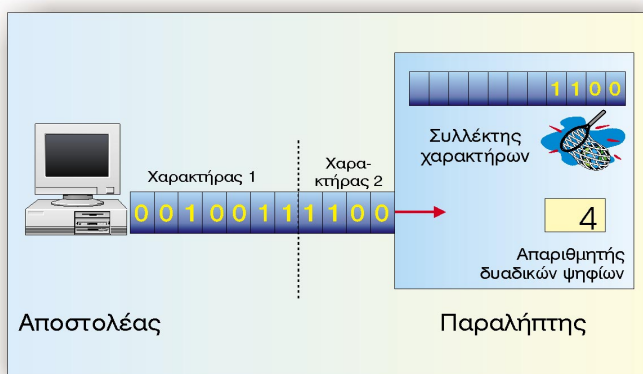
Σχήμα 2.10: Παράδειγμα εσφαλμένης και ορθής συγχρονισμένης μετάδοσης



δυναμικά ψηφία για ASCII χαρακτήρες), ο μετρητής μηδενίζεται, προκειμένου να μετρήσει τα δυναμικά ψηφία του χαρακτήρα που ακολουθεί.

- ✓ Ένας ειδικός χαρακτήρας, γνωστός ως **EOF** (*End Of File*), σηματοδοτεί τον τερματισμό της μετάδοσης του μηνύματος.

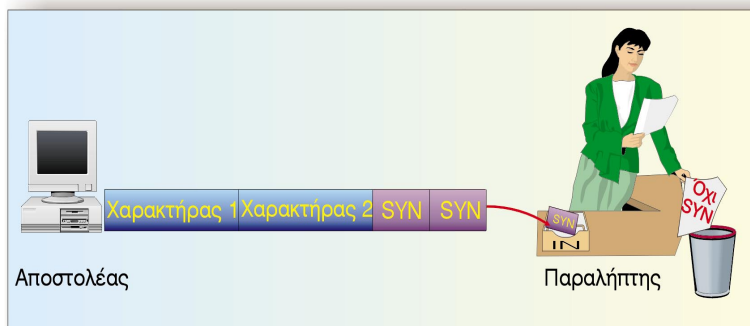
Η διαδικασία συγχρονισμού στη σειραϊκή μετάδοση δεδομένων προϋποθέτει τη χρησιμοποίηση ενός κοινού ρολογιού, στο μινιπομπό για τη μετακίνηση των δεδομένων από τον καταχωρητή μετατόπιση στη γραμμή μετάδοσης, στο δε δέκτη για τον έλεγχο του χρόνου στη γραμμή της δειγματοληψίας. Η ύπαρξη κοινού ρολογιού στον πομπό και στο δέκτη απαλλάσσει τη μετάδοση από τη χρησιμοποίηση των παλμών αρχής και τέρματος κάθε χαρακτήρα που μεταδίδεται. Επομένως, προκειμένου να συγχρονιστεί ο δέκτης με τον πομπό, είναι αναγκαίο, εκτός από το σήμα που μεταφέρει την πληροφορία, να μεταδίδεται και το σήμα χρονισμού.



Σχήμα 2.12: Διαδικασία συγχρονισμού

τος στα αντίστοιχα δυαδικά ψηφία που παριστάνει, τα οποία τοποθετούνται στη συνέχεια σε σειρά, το ένα μετά το άλλο, προκειμένου να γίνει η μετάδοση. Το κύκλωμα αυτό τοποθετείται στον πομπό, ενώ και από την πλευρά του δέκτη απαιτείται αναλογικά η μετατροπή των δυαδικών ψηφίων, ένα προς ένα, και η αντιστοίχισή τους σε χαρακτήρες. Μ' αυτό τον τρόπο στον πομπό γίνεται η **κατάτμηση** του χαρακτήρα, ενώ στο δέκτη η **επανασύνθεσή** του. Το ηλεκτρονικό κύκλωμα που κάνει αυτές τις μετατροπές έχει τυποποιηθεί και ονομάζεται **πρότυπο κύκλωμα RS-232C** (περισσότερα γι' αυτό στην επόμενη παράγραφο). Τέλος, όπως και στην ασυγχρόνητη σειραϊκή μετάδοση, έτσι και στη συγχρονισμένη χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές για την αναγνώριση λαθών κατά τη μετάδοση, όπως είναι το δυαδικό ψηφίο ισότητας, ο κώδικας *CRC* κτλ., θέματα που θα αναλυθούν στο Μάθημα 2.6.

Στην περίπτωση της μετάδοσης που είναι **προσανατολισμένη προς δυαδικό ψηφίο** (*bit oriented*), το τμήμα των δεδομένων αντιμετωπίζεται σαν μια διαδοχή από δυαδικά



Σχήμα 2.11: Παράδειγμα εσφαλμένου συγχρονισμού

δεται και το σήμα χρονισμού. Εναλλακτικές τεχνικές χρησιμοποιούν ξεχωριστή γραμμή συγχρονισμού ή ενσωματώνουν την πληροφορία συγχρονισμού στα δεδομένα. Σε κάθε περίπτωση ο ακριβής χρόνος αποστολής και άφιξης κάθε δυαδικού ψηφίου είναι γνωστός.

Πέρα από το συγχρονισμό πομπού και δέκτη, απαιτείται ένα κύκλωμα μετατροπής κάθε χαρακτήρα του μηνύμα-

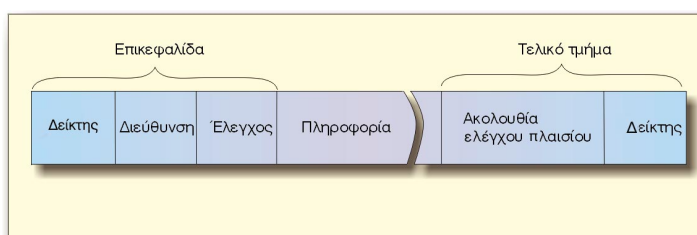


Το ρολόι είναι συσκευή του υπολογιστή που εκπέμπει παλμούς ορισμένης συχνότητας. Το σήμα χρονισμού που εκπέμπει είναι μια τετραγωνική κυματομορφή με συχνότητα ίση με το ρυθμό μετάδοσης.



ψηφία. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, δύο ειδικής μορφής χαρακτήρες δηλώνουν την αρχή μιας ομάδας, ενώ ένας ειδικός χαρακτήρας, με το συμβολισμό **EOT** (*End Of Transmission*), σηματοδοτεί τον τερματισμό της μετάδοσης του μηνύματος.

Στη μετάδοση που είναι **προσανατολισμένη προς πλαίσιο** (*frame oriented*) η σειρά χαρακτήρων του μηνύματος ομαδοποιείται και διαιρείται σε πλαίσια (*frames*), τα οποία συμπεριλαμβάνουν και τους χαρακτήρες συγχρονισμού. Ο πομπός και ο δέκτης πρέπει να βρίσκονται σε πλήρη συγχρονισμό για όλο το χρονικό διάστημα που διαρκεί η μετάδοση του πλαισίου. Το συνολικό πλαίσιο αποκτά μια συγκεκριμένη δομή (σχήμα 2.13) και αποτελείται από τους χαρακτήρες συγχρονισμού, οι οποίοι με τη σειρά τους συγκροτούν την **επικεφαλίδα** (*header*), το μήνυμα που μερικές φορές μπορεί να είναι μεταβλητού μήκους, το **τέλος του κειμένου** (*trailer*) κτλ.



Σχήμα 2.13: Δομή πλαισίου μετάδοσης

2.3.4 Το κύκλωμα EIA-232D/V.24

Το κύκλωμα *EIA-232D* έχει αναγνωριστεί ως το διεθνές πρότυπο σύμφωνα με το οποίο όλες οι μονάδες επικοινωνιών μπορούν να συνδεθούν φυσικά με μια γραμμή επικοινωνίας. Καθιερώθηκε το 1986, σε αντικατάσταση του κυκλώματος *RS-232C*, με το οποίο διαφοροποιείται ελάχιστα. Είναι επίσης γνωστό και ως πρότυπο *V.24*. Διαθέτει 25 ακροδέκτες, καθένας από τους οποίους προορίζεται για συγκεκριμένη λειτουργία. Για παράδειγμα, ο ακροδέκτης 1 αφορά τη γείωση της συσκευής, ο 2 μεταδίδει δεδομένα από το τερματικό στο διαποδιαμορφωτή, ο 3 λαμβάνει δεδομένα από το διαποδιαμορφωτή, ο 4 χρησιμοποιείται για να ζητηθεί να αποσταλούν δεδομένα στο διαποδιαμορφωτή, ο 5 για να δηλωθεί ότι ο διαποδιαμορφωτής είναι έτοιμος να δεχτεί δεδομένα κτλ.

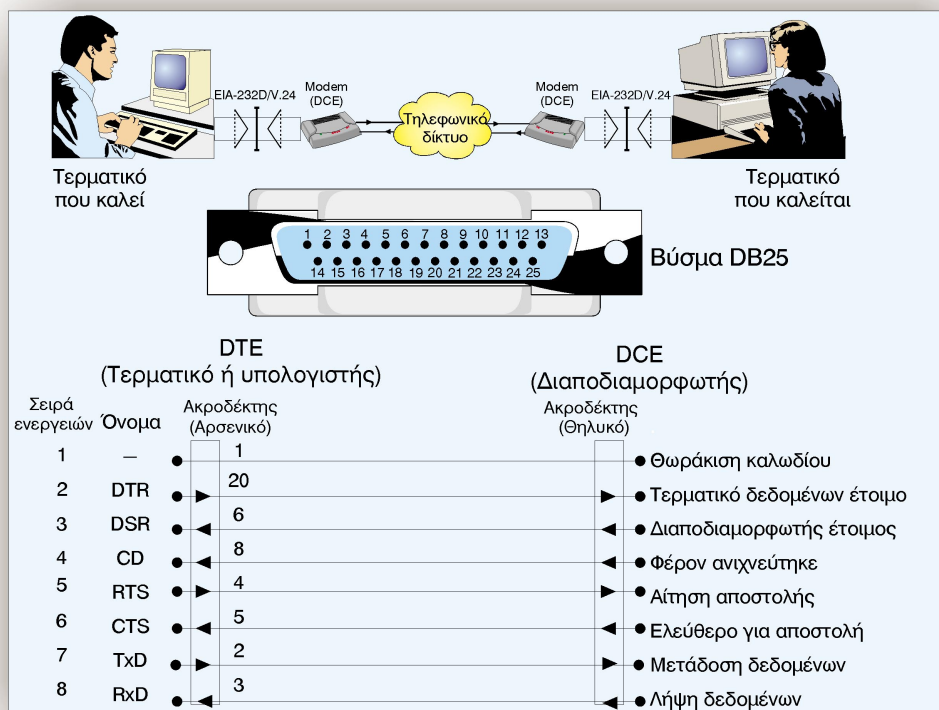
Αναλυτικότερα:

- ✓ Οι μηχανικές προδιαγραφές του κυκλώματος *EIA-232 D/V.24* αφορούν ένα συνδετήρα 25 ακροδεκτών, με πλάτος $47,04 \pm 1,3$ mm (από κέντρο σε κέντρο βίδας) και με εξίσου ακριβείς προδιαγραφές για όλες τις άλλες διαστάσεις. Η επάνω σειρά έχει ακροδέκτες με αρίθμηση από 1 έως 13 (από αριστερά προς τα δεξιά), ενώ η κάτω σειρά έχει ακροδέκτες με αρίθμηση από 14 έως 25 (με την ίδια σειρά) (σχήμα 2.14).
- ✓ Οι ηλεκτρικές προδιαγραφές του κυκλώματος *RS-232C/D* ορίζουν ότι μια τάση από -15 έως -3 Volt παριστάνει το δυαδικό ψηφίο 1, ενώ μια άλλη τάση από $+3$ έως $+15$ Volt παριστάνει το δυαδικό ψηφίο 0.
- ✓ Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων δεν υπερβαίνει τα 20 Kbps.



Το κύκλωμα *RS-232D* συνιστά πρότυπο και αποτελεί εξέλιξη του κυκλώματος *RS-232C*. Σχεδιάστηκε από το Σύνδεσμο Ηλεκτρονικών Βιομηχανιών (*EIA: Electronic Industry Association*) και αναφέρεται ως πρότυπο **EIA/RS-232C**.

- ✓ Το μήκος της επιτρεπόμενης καλωδίωσης φθάνει τα 15 μέτρα.
- ✓ Οι λειτουργικές προδιαγραφές καθορίζουν τα κυκλώματα που είναι συνδεδεμένα σε καθέναν από τους 25 ακροδέκτες, καθώς και το περιεχόμενό τους (σχήμα 2.14). Καθένα από αυτά τα κυκλώματα εκτελεί μια ειδική λειτουργία.
- ✓ Από τις 25 λειτουργίες που καθορίζονται από τους αντίστοιχους ακροδέκτες οι 8 υλοποιούνται σχεδόν πάντοτε. Η υλοποίησή τους γίνεται με την ακόλουθη σειρά:



Σχήμα 2.14: Το κύκλωμα EIA-232D/V.24

- Όταν η τερματική μονάδα τεθεί σε λειτουργία, τίθεται σε λογικό 1 η λειτουργία **τερματικό δεδομένων έτοιμο** (*DTR: Data Terminal Ready*), που καθορίζεται από τον ακροδέκτη 20.
- Όταν ο διαποδιαμορφωτής τεθεί σε λειτουργία, τίθεται σε λογικό 1 η λειτουργία **διαποδιαμορφωτής έτοιμος** (*DSR: Data Set Ready*), που καθορίζεται από τον ακροδέκτη 6.
- Όταν ο διαποδιαμορφωτής ανιχνεύσει ένα φέρον στην τηλεφωνική γραμμή, τίθεται σε λογικό 1 η λειτουργία **φέρον ανιχνεύτηκε** (*CD: Carrier Detect*), που καθορίζεται από τον ακροδέκτη 8.
- Η λειτουργία **αίτηση αποστολής** (*RTS: Request To Send*), που καθορίζεται από τον ακροδέκτη 4, δηλώνει ότι η τερματική μονάδα θέλει να στείλει δεδομένα.
- Η λειτουργία **ελεύθερο για αποστολή** (*CTS: Clear To Send*), που καθορίζεται από τον ακροδέκτη 5, δηλώνει ότι ο διαποδιαμορφωτής είναι προετοιμασμένος για να λάβει δεδομένα.
- Η λειτουργία **μετάδοση δεδομένων** (*TxD: Transmitted Data*), που καθορίζεται από τον ακροδέκτη 2, δηλώνει ότι τα δεδομένα μεταδίδονται στο κύκλωμα μετάδοσης.
- Η λειτουργία **λήψη δεδομένων** (*RxD: Received Data*), που καθορίζεται από



τον ακροδέκτη 3, δηλώνει ότι τα δεδομένα παραλήφθηκαν από το κύκλωμα λήψης.

Είναι αξιοσημείωτο ότι η διαδοχή των λειτουργιών βασίζεται σε ζεύγη δράσης - αντίδρασης. Για παράδειγμα, όταν το τερματικό θέσει σε λογικό 1 τη λειτουργία *RTS* (αίτηση αποστολής), ο διαποδιαμορφωτής, εάν είναι σε θέση να πάρει δεδομένα, αποκρίνεται με τη λειτουργία *CTS* (ελεύθερο για αποστολή). Τέλος, παρέχονται και άλλα πρόσθετα κυκλώματα, όπως για παράδειγμα η επιλογή του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, η δοκιμή και ο έλεγχος του διαποδιαμορφωτή, ο χρονισμός των δεδομένων, η αναγνώριση σημάτων κουδουνιού, η αποστολή δεδομένων στην αντίθετη κατεύθυνση σε ένα δευτερεύον κανάλι κτλ., όμως σπανίως χρησιμοποιούνται στην πράξη.

2.3.5 Το κύκλωμα RS-499

Το κύκλωμα *RS-499* είναι το νεότερο πρότυπο, το οποίο οφείλει την επικράτησή του αφ' ενός στην αδυναμία του *EIA/RS-232D/V.24* να ξεπεράσει τους τεχνικούς περιορισμούς των 15 μέτρων καλωδίωσης και του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης των 20 Kbps και αφ' ετέρου στην υποστήριξή του από ολόκληρο τον τεχνικό κόσμο. Είναι γνωστό ότι το *ANSI (American National Standards Institute)* δεν αναγνωρίζει το *EIA-232D/V.24* ως πρότυπο, ενώ αντίθετα αναγνωρίζει ως πρότυπο τη διεπαφή *RS-499*. Τα κυκλώματα που περιλαμβάνει το *RS-499* ανέρχονται σε 37 ή 9, ανάλογα με το αν χρησιμοποιείται κανάλι επιστροφής, οπότε και απαιτούνται λιγότερα κυκλώματα. Αποτέλεσμα των διαφορετικών ηλεκτρικών και φυσικών διεπαφών που χρησιμοποιεί το *RS-499* είναι ότι έχει την ικανότητα να λειτουργεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις, που προσεγγίζουν τα 60 μέτρα, καθώς και σε μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, που φθάνουν τα 2 Mbps.



Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Ομάδα, πλαίσιο (*frame*), προπορευόμενα δυαδικά ψηφία, παρεπόμενα δυαδικά ψηφία, συγχρονισμός, άεργος χρόνος, συγχρονισμός προσανατολισμένος προς δυαδικό ψηφίο, συγχρονισμός προσανατολισμένος προς χαρακτήρα, συγχρονισμός προσανατολισμένος προς πλαίσιο, ασυγχρονιστη μετάδοση, παλμός αρχής, παλμός τέρματος, δυαδικό ψηφίο ισότητας, συγχρονισμένη μετάδοση, χαρακτήρας συγχρονισμού (*SYNC*), χαρακτήρας τερματισμού (*EOB*), καταχωρητής ολίσθησης, χαρακτήρας τερματισμού μετάδοσης μηνύματος (*EOF*), ρολόι, κύκλωμα *RS-232C*, κύκλωμα *EIA-232D/V.24*, κύκλωμα *RS-499*, επικεφαλίδα (*header*), τελικό τμήμα (*trailer*), αποσύνθεση, ανασύνθεση, λειτουργία φέρον ανιχνεύτηκε, λειτουργία αίτηση αποστολής, λειτουργία ελεύθερο για αποστολή, λειτουργία μετάδοση δεδομένων, λειτουργία λήψη δεδομένων.



Μάθημα 2.4: Συγκριτική αξιολόγηση

2.4.1 Σύγκριση ψηφιακής και αναλογικής μετάδοσης

Η ψηφιακή μετάδοση έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι της αναλογικής. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Οι ψηφιακοί παλμοί έχουν μικρότερη ευαισθησία στο θόρυβο από ό,τι τα αναλογικά σήματα. Ο λόγος είναι ότι ο δέκτης μπορεί να αναγνωρίσει ευκολότερα τις δύο διακριτές στάθμες του ψηφιακού σήματος από ό,τι τις θεωρητικά άπειρες στάθμες ενός αναλογικού σήματος.
- ✓ Η ψηφιακή μετάδοση παρουσιάζει πολύ χαμηλό ρυθμό εμφάνισης σφαλμάτων. Βέβαια τα αναλογικά κυκλώματα διαθέτουν ενισχυτές που προσπαθούν να εξουδετερώσουν την εξασθένηση του σήματος στη γραμμή, αλλά δεν μπορούν να την εξουδετερώσουν εντελώς, ιδιαίτερα εάν η εξασθένηση είναι διαφορετική για διαφορετικές συχνότητες. Επειδή το λάθος είναι αθροιστικό, τα σήματα που διατρέχουν μεγάλες αποστάσεις περνούν μέσα από πολλούς ενισχυτές, με αποτέλεσμα να υφίστανται σημαντική παραμόρφωση. Σε αντιδιαστολή, οι ψηφιακοί ενισχυτές μπορούν να αποκαταστήσουν το εξασθενημένο εισερχόμενο σήμα ακριβώς στην αρχική του μορφή, επειδή οι μόνες πιθανές τιμές είναι 0 και 1. Οι ψηφιακοί ενισχυτές δεν επηρεάζονται από λάθη που συσσωρεύονται.
- ✓ Στην ψηφιακή μετάδοση όλες οι πληροφορίες, όπως είναι η φωνή, τα δεδομένα, η μουσική, οι εικόνες, το βίντεο κτλ., μπορούν να συνδυαστούν προκειμένου να γίνει μια πιο αποτελεσματική χρήση του εξοπλισμού.
- ✓ Η ψηφιακή μετάδοση έχει πολύ υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων από ό,τι η αναλογική. Τους ρυθμούς αυτούς είναι δυνατόν να επιτύχουμε χρησιμοποιώντας τις γραμμές της τηλεπικοινωνιακής δομής που υπάρχει.
- ✓ Η ψηφιακή μετάδοση και οι σχετικές μ' αυτήν τεχνικές γίνονται συνεχώς φθηνότερες από την αναλογική μετάδοση. Αυτό συμβαίνει, επειδή το κόστος των ψηφιακών υπολογιστών και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων συνεχώς μειώνεται.
- ✓ Στην ψηφιακή μετάδοση γίνεται καλύτερη διαχείριση των ψηφιακών σημάτων από ό,τι στην αναλογική.
- ✓ Στην ψηφιακή μετάδοση ο ρυθμός μπορεί να αυξομειώνεται, έτσι ώστε να προσαρμόζεται ανάλογα με τις διάφορες απαιτήσεις μετάδοσης και τους τύπους των συσκευών.

Εκτός από αυτά τα πλεονεκτήματα, τα ψηφιακά συστήματα επεξεργασίας σημάτων (πληροφοριών) μάς παρέχουν πολύ περισσότερες δυνατότητες και υπηρεσίες



Οι υπηρεσίες που προσφέρει η ψηφιακή μετάδοση στηρίζουν όλες τις τηλεματικές εφαρμογές οι οποίες έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα. Οι πλέον ενδιαφέρουσες υπηρεσίες είναι το μετά από απαίτηση βίντεο (*video on demand*), η τηλεδιάσκεψη, η τηλεεργασία, το εικονοτηλέφωνο κτλ.



Με την **πολυπλεξία** επιτυγχάνεται η ταυτόχρονη και χωρίς αλληλεπιδράσεις μετάδοση χωριστών σημάτων μέσα από το ίδιο μέσο μετάδοσης.



από ό,τι τα αντίστοιχα αναλογικά συστήματα, επειδή βασίζονται σε υπολογιστές γενικού ή ειδικού σκοπού. Για παράδειγμα, σε ένα ψηφιακό τηλεφωνικό κέντρο μπορούμε να έχουμε ένα πλήθος από συμπληρωματικές υπηρεσίες, που υλοποιούνται από τους υπολογιστές στους οποίους το ψηφιακό κέντρο βασίζεται. Οι υπηρεσίες αυτές είναι αδύνατον να υπάρξουν σε ένα αναλογικό κέντρο.

2.4.2 Σύγκριση παράλληλης και σειραϊκής μετάδοσης

Η συγκριτική αξιολόγηση της παράλληλης και της σειραϊκής μετάδοσης δεδομένων δείχνει τη συμπληρωματικότητά τους. Ειδικότερα, το κύριο πλεονέκτημα της παράλληλης σύνδεσης συνίσταται στο γεγονός ότι προσφέρει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, εφόσον την ίδια χρονική στιγμή μεταφέρονται οκτώ δυαδικά ψηφία (ένας χαρακτήρας). Το μεγάλο μειονέκτημά της όμως συνίσταται στο συγκριτικά υψηλότερο κόστος καλωδίωσης, που αυξάνεται με την απόσταση. Επιπρόσθετα στην παράλληλη μετάδοση υπάρχει μεγάλη παραμόρφωση σε συνδέσεις που υπερβαίνουν τα 15 μέτρα.

Σε αντίθεση, το κύριο πλεονέκτημα της σειραϊκής μετάδοσης δεδομένων συνίσταται στο συγκριτικά χαμηλότερο κόστος σύνδεσης, αφού χρησιμοποιούνται πολύ λιγότεροι αγωγοί από ό,τι στην παράλληλη. Επίσης η μετάδοση αυτής της μορφής είναι πιο αξιόπιστη, ακόμα και σε μακρινές συνδέσεις, αφού η παραμόρφωση είναι μικρότερη.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η παράλληλη μετάδοση δεδομένων χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις στις οποίες η απόσταση είναι πολύ μικρή, οπότε και η διαφορά του κόστους είναι μηδαμινή, ενώ ο ρυθμός μετάδοσης είναι πολλαπλάσιος.

2.4.3 Σύγκριση συγχρονισμένης και ασυγχρόνιστης σειραϊκής μετάδοσης

Τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τη σύγκριση μεταξύ συγχρονισμένης και ασυγχρόνιστης ψηφιακής μετάδοσης είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Ο πομπός και ο δέκτης που χρησιμοποιούνται στην ασυγχρόνιστη μετάδοση είναι πολύ πιο απλοί από αυτούς της συγχρονισμένης. Αυτό οφείλεται στα απλούστερα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται στην ασυγχρόνιστη μετάδοση.
- ✓ Η συγχρονισμένη μετάδοση αξιοποιεί καλύτερα το κανάλι σε σχέση με την ασυγχρόνιστη. Η αποστολή κάθε χαρακτήρα στην ασυγχρόνιστη μετάδοση χρειάζεται πρόσθετα δυαδικά ψηφία, πέρα από αυτά που σχετίζονται με την πληροφορία, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση της μετάδοσης του χαρακτήρα. Αντίθετα, στη συγχρονισμένη μετάδοση χρειάζεται μόνο μία μικρή ακολουθία δυαδικών ψηφίων, στην αρχή και στο τέλος του πλαισίου, για τη μετάδοση ενός σαφώς μεγαλύτερου αριθμού χαρακτήρων.



- ✓ Στη συγχρονισμένη μετάδοση είναι πάντα γνωστός ο αριθμός των χαρακτήρων που μεταδίδονται σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ενώ στην ασυγχρόνιστη δεν είναι.
- ✓ Η συγχρονισμένη μετάδοση έχει καλύτερη απόδοση στην αναγνώριση σφαλμάτων από ό,τι η ασυγχρόνιστη.
- ✓ Η συγχρονισμένη μετάδοση υπερτερεί σε μεθόδους γνώσης και διόρθωσης σφαλμάτων. Τις τεχνικές αυτές θα τις αναπτύξουμε στο επόμενο κεφάλαιο.
- ✓ Η ασυγχρόνιστη μετάδοση είναι υλοποιήσιμη με πολύ μικρό κόστος εξοπλισμού. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο είναι ιδιαίτερα δημοφιλής σε μια μεγάλη κατηγορία υπολογιστικών συστημάτων και περιφερειακών συσκευών.

Από την ανάπτυξη της λειτουργίας της ασυγχρόνιστης και της συγχρονισμένης μετάδοσης είναι φανερό πως η συγχρονισμένη μετάδοση έχει περισσότερα πλεονεκτήματα όσον αφορά το ρυθμό μεταφοράς της πληροφορίας. Η απόδοση της συγχρονισμένης μετάδοσης είναι υψηλότερη, αφού ο συγχρονισμός γίνεται μια φορά για κάθε τμήμα δεδομένων. Αντίθετα, στην ασυγχρόνιστη μετάδοση έχουμε πληροφορία συγχρονισμού για κάθε χαρακτήρα.

Παράδειγμα IX

Ας υποθέσουμε πως έχουμε ασυγχρόνιστη μετάδοση στα 14.400 bps 8 Odd 1. Για τη μεταφορά κάθε χαρακτήρα ωφέλιμης πληροφορίας (7 bits) απαιτούνται 10 δυαδικά ψηφία (7 bits + start bit + stop bit + parity bit). Επομένως ο ρυθμός μεταφοράς της ωφέλιμης πληροφορίας είναι το 70% του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων, δηλαδή 10.080 bps.

Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

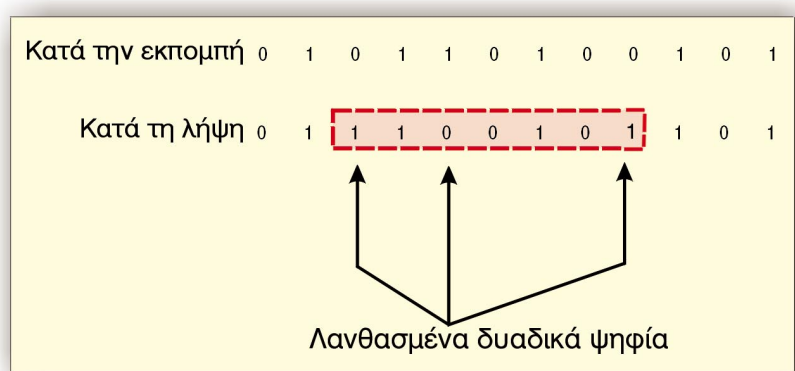
Ευαισθησία στο θόρυβο, κόστος σύνδεσης, κόστος εξοπλισμού, αύξο-μείωση ρυθμού μετάδοσης, συμπληρωματικές υπηρεσίες, αποτελεσματική χρήση εξοπλισμού, αναγνώριση σφαλμάτων.



Μάθημα 2.5: Κώδικες ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων

2.5.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα μαθήματα, κατά τη μετάδοση δεδομένων μέσω των γραμμών επικοινωνίας συμβαίνουν σφάλματα. Λέμε ότι δημιουργήθηκε κάποιο **σφάλμα** (*error*), όταν διαπιστωθεί ότι τα δεδομένα που έφτασαν στο σταθμό προορισμού διαφέρουν από αυτά που στάλθηκαν από το σταθμό αποστολής. Επειδή ο προφανής στόχος είναι η εκμηδένιση κάθε αιτίας σφάλματος, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων, οι σπουδαιότερες από τις οποίες θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.



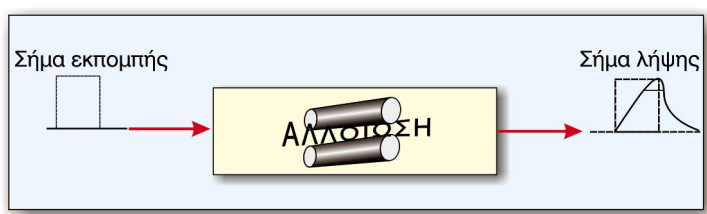
Σχήμα 2.15: Σφάλματα υπό μορφή δέσμης κατά τη μετάδοση

Τα σφάλματα που δημιουργούνται μπορεί να είναι είτε μεμονωμένα είτε υπό μορφή δέσμης. **Μεμονωμένα** ή **ανεξάρτητα** λέγονται εκείνα τα σφάλματα των οποίων η παρουσία δεν επηρεάζει το σύνολο της πληροφορίας που μεταδίδεται. Για παράδειγμα, ένα λανθασμένο δυαδικό ψηφίο σε οποιαδήποτε θέση ενός μηνύματος δεν επηρεάζει όλο το μήνυμα. Όμως, πρακτικά, τα σφάλματα που εντοπίζονται σε μια μετάδοση δεδομένων είναι συνήθως συγκεντρωμένα ή, όπως συνηθίζεται να λέγεται, είναι υπό μορφή **δέσμης** (σχήμα 2.15).

Σε μια μετάδοση δεδομένων ενδιαφέρει το **ποσοστό σφαλμάτων**, δηλαδή η αναλογία των λανθασμένων δυαδικών ψηφίων που ελήφθησαν ως προς το συνολικό αριθμό των δυαδικών ψηφίων που εστάλησαν. Για παράδειγμα, σε μια τηλεφωνική σύνδεση το ποσοστό σφαλμάτων είναι συνήθως της τάξης του 10^{-6} .

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, οι πιο συνηθισμένες αιτίες προβλημάτων που οδηγούν σε λήψη εσφαλμένων δεδομένων ή σε απώλεια πληροφορίας είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Κανένα φυσικό μέσο μετάδοσης δεν είναι



Σχήμα 2.16: Αλλοίωση σήματος



τέλειο. Αυτό σημαίνει ότι το μεταδιδόμενο σήμα που τα διαπερνά αλλοιώνεται με τον έναν ή τον άλλο τρόπο. Η αλλοίωση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η ταχύτητα μετάδοσης ενός σήματος ποικίλλει ανάλογα με τη συχνότητά του (σχήμα 2.16).

- ✓ Το σήμα εξασθενεί, καθώς διαπερνά το φυσικό μέσο μετάδοσης. Η εξασθένηση οφείλεται στη μείωση του πλάτους του σήματος και στη διανυόμενη απόσταση (σχήμα 2.17).
- ✓ Η ύπαρξη θορύβου στο μέσο μετάδοσης αλλοιώνει το σήμα. Για το θόρυβο και τα είδη του έχει ήδη γίνει αναφορά στο Μάθημα 1.4.
- ✓ Τα συνήθη μέσα μετάδοσης, όπως είναι οι τηλεφωνικές γραμμές, είναι σχεδιασμένα για μεταφορά φωνής (αναλογική μετάδοση) και όχι δεδομένων (ψηφιακή μετάδοση).

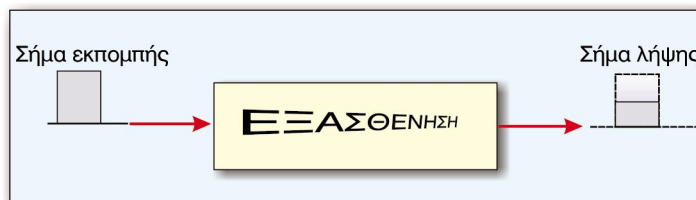
Στην ψηφιακή μετάδοση το αποτέλεσμα κάποιου σφάλματος είναι, στη χειρότερη των περιπτώσεων, η καταστροφή των δυαδικών ψηφίων ή η αλλαγή της τιμής ενός ψηφίου από 1 σε 0 και αντίστροφα. Επομένως, αντίθετα με την τηλεφωνική επικοινωνία, στην οποία υπάρχουν όρια ανοχής, στην επικοινωνία δεδομένων τα σφάλματα και η απώλεια της πληροφορίας οδηγούν τη μετάδοση σε διακοπή. Έτσι προκύπτει η αναγκαιότητα της καθιέρωσης μηχανισμών που να επιτρέπουν, αν όχι τη διόρθωση, τουλάχιστον τον εντοπισμό των σφαλμάτων.

Η αντιμετώπιση των σφαλμάτων γίνεται στην πράξη με τους ακόλουθους γενικούς μηχανισμούς:

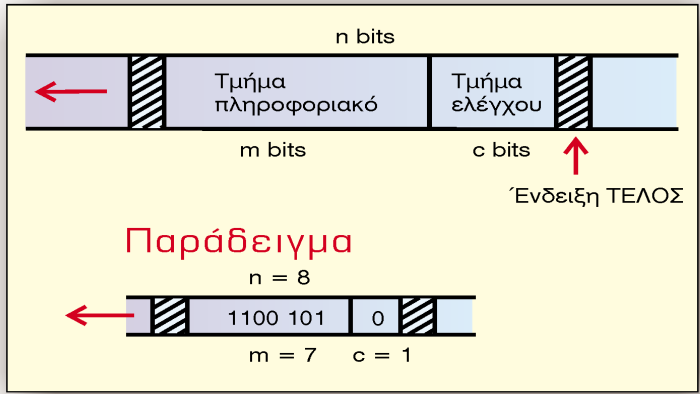
- ✓ **Αγνόηση των σφαλμάτων.** Αυτή η λύση γίνεται δεκτή, όταν η παρουσία σφαλμάτων δε δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στην πράξη. Τέτοια περίπτωση αποτελεί η μετάδοση τηλεγραφικών κειμένων, όπου ένα λάθος, (π.χ. παράλειψη άρθρου) δε δυσκολεύει την ανάγνωση του κειμένου.
- ✓ **Ανίχνευση των σφαλμάτων.** Η λύση αυτή προτείνεται, όταν τα σφάλματα εντοπίζονται στο σταθμό προορισμού. Σ' αυτή την περίπτωση δίνεται συνήθως κάποια αναφορά προς το σταθμό αποστολής ότι η πληροφορία έφτασε λανθασμένη, προκειμένου να επαναμεταδοθεί.
- ✓ **Ανίχνευση και διόρθωση των σφαλμάτων.** Η λύση αυτή προτείνεται, όταν τα σφάλματα εντοπίζονται στο σταθμό προορισμού. Σ' αυτή την περίπτωση γίνεται ανίχνευση των σφαλμάτων και προσπάθεια διόρθωσής τους, χωρίς να απαιτείται επαναμετάδοση.

Η ανίχνευση μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα προειδοποιητικό σήμα που εκπέμπεται από το σταθμό προορισμού, μόλις εντοπιστεί το σφάλμα. Όσο για τη διόρθωση, μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με αποκωδικοποιητή, που διορθώνει αυτόματα κάποια από τα παραγόμενα σφάλματα (άμεση διόρθωση σφαλμάτων), είτε με επαναμετάδοση, όταν ο αποκωδικοποιητής δεν μπορεί να εντοπίσει τα λάθη.

Στην περίπτωση της ανίχνευσης ή της ανίχνευσης και διόρθωσης των σφαλμάτων,



Σχήμα 2.17: Εξασθένηση σήματος



Σχήμα 2.18: Πληροφοριακό τμήμα και τμήμα ελέγχου

μεταβιβάζονται τόσο η ωφέλιμη ή καθαρή πληροφορία, δηλαδή οι απαιτούμενοι κώδικες της πληροφορίας, όσο και οι πρόσθετες ή πλεοναστικές πληροφορίες, που χρησιμοποιούνται στην ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων. Οι πρόσθετες αυτές πληροφορίες καλούνται και **δυναμικά ψηφία ελέγχου**. Η ακολουθία των n δυαδικών ψηφίων που μεταβιβάζονται αποτελείται από δύο τμήματα. Το πρώτο είναι το **πληροφοριακό τμήμα**, που αποτελείται από m δυαδικά ψηφία, στο οποίο περιέχεται η πληροφορία που μεταβιβάζεται, ενώ το δεύτερο είναι το **τμήμα ελέγχου**, που αποτελείται από c δυαδικά ψηφία, έτσι ώστε $n = m + c$. Συνήθως το τμήμα ελέγχου αποτελεί και το τέλος της ακολουθίας των δυαδικών ψηφίων που μεταβιβάζονται

(σχήμα 2.18).

Το τμήμα ελέγχου δημιουργείται στο σταθμό αποστολής, πάντα με βάση το πληροφοριακό τμήμα και σύμφωνα με κάποιον προκαθορισμένο αλγόριθμο κωδικοποίησης, που ονομάζεται **κωδικοποίηση ελέγχου σφάλματος**. Η κωδικοποίηση ελέγχου σφάλματος:

- ✓ έχει σκοπό τον περιορισμό της πιθανότητας να συμβεί σφάλμα κατά τη μετάδοση της ψηφιακής πληροφορίας,
- ✓ βασίζεται σε μια καλά υπολογισμένη χρήση πρόσθετης (πλεοναστικής) πληροφορίας και
- ✓ πραγματοποιείται από τον κωδικοποιητή και τον αποκωδικοποιητή του μέσου μετάδοσης.

Όταν η πληροφορία φτάσει στο σταθμό προορισμού, αναδημιουργείται το τμήμα ελέγχου, σύμφωνα με τον ίδιο αλγόριθμο, και συγκρίνεται με το τμήμα ελέγχου που μεταβιβάστηκε. Αν δεν υπάρχει απόλυτη συμφωνία των τμημάτων αυτών, τότε διαπιστώνεται το σφάλμα με βάση το σύστημα κωδικοποίησης που εφαρμόστηκε και ακολούθως εντοπίζεται η θέση του εσφαλμένου δυαδικού ψηφίου, προκειμένου να γίνει η διόρθωσή του.

Οι κώδικες που εφαρμόζονται στη μετάδοση πληροφοριών διαιρούνται σε **ανιχνευτικούς κώδικες** (*error detection codes*) και σε **διορθωτικούς κώδικες** (*error correcting codes*). Οι πρώτοι δίνουν τη δυνατότητα να διαπιστωθεί η ύπαρξη των σφαλμάτων, ενώ οι δεύτεροι επιτρέπουν επιπλέον και τον εντοπισμό των θέσεων των εσφαλμένων δυαδικών ψηφίων. Το τμήμα ελέγχου των διορθωτικών κωδίκων είναι πάντα πολύ μεγαλύτερο από το τμήμα ελέγχου των ανιχνευτικών κωδίκων. Επομένως η διόρθωση σφαλμάτων απαιτεί πολύ περισσότερα δυαδικά ψηφία ελέγχου από ό,τι η ανίχνευση σφαλμάτων.



2.5.2 Κώδικες ανίχνευσης σφαλμάτων

Η μεταβίβαση μιας πληροφορίας σε ένα σύστημα μετάδοσης δεδομένων επιβάλλει σχεδόν πάντα την πραγματοποίηση του ελέγχου της μετάδοσης, δηλαδή το αν ο αποδέκτης πήρε πραγματικά αυτό που έστειλε ο αποστολέας. Υπάρχουν αρκετά συστήματα ελέγχου της μετάδοσης, πολλά από τα οποία προϋποθέτουν αρκετή εμπειρία στις τεχνικές μετάδοσης, σε συνδυασμό με γνώσεις που στηρίζονται σε προηγμένες μαθηματικές τεχνικές. Ασφαλώς στόχος του κεφαλαίου αυτού δεν είναι να δώσει με λεπτομέρεια όλες τις υπάρχουσες τεχνικές ελέγχου της μετάδοσης δεδομένων, πολλές από τις οποίες είναι ακόμη αντικείμενο μελέτης, αλλά μάλλον να παρουσιάσει τις απλούστερες από αυτές, προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος αντιμετώπισης των σφαλμάτων.

2.5.2.1 Ανίχνευση σφαλμάτων με την τεχνική του δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας

Μερικά συστήματα μετάδοσης δεδομένων χρησιμοποιούν τον **κατακόρυφο έλεγχο πλεονασμού** (*VRC: Vertical Redundancy Checking*), μια τεχνική σύμφωνα με την οποία κάθε χαρακτήρας που μεταδίδεται συνοδεύεται από ένα **δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας** (*parity bit*). Ο έλεγχος αυτός λέγεται και **έλεγχος ισοτιμίας** (*parity check*). Κατά την αποστολή ο πομπός θέτει στο δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας την τιμή 0 ή 1. Η θέση του δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας καθορίζεται από το εκάστοτε πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση της πληροφορίας.

Υπάρχουν δύο κλασικοί έλεγχοι ισοτιμίας, ο **έλεγχος περιττής ισοτιμίας** (*odd parity check*) και ο **έλεγχος άρτιας ισοτιμίας** (*even parity check*). Ο έλεγχος είναι απλός και πραγματοποιείται ως εξής:

Στο μεταφερόμενο χαρακτήρα μετράμε τα ψηφία που έχουν τιμή 1 και:

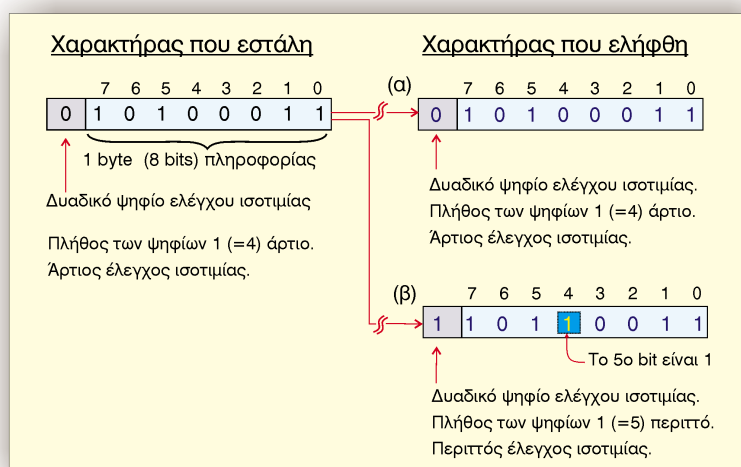
- ✓ αν ο συνολικός αριθμός των δυαδικών ψηφίων που έχουν την τιμή 1 είναι περιττός, λέμε ότι έχουμε περιττό έλεγχο ισοτιμίας·
- ✓ αν ο συνολικός αριθμός των δυαδικών ψηφίων που έχουν την τιμή 1 είναι άρτιος, λέμε ότι έχουμε άρτιο έλεγχο ισοτιμίας.

Όταν ο δέκτης ανιχνεύσει σφάλμα στο ψηφίο ισοτιμίας, γνωρίζει ότι έχει συμβεί σφάλμα μετάδοσης.

Παράδειγμα X

Στο σχήμα 2.19 περιγράφονται δύο σενάρια μεταφοράς ενός χαρακτήρα πληροφορίας.

Σχήμα 2.19: Ανίχνευση σφάλματος με την τεχνική του δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας





Στην πρώτη περίπτωση έχουμε μεταφορά χωρίς σφάλμα, επειδή το άρτιο ψηφίο ισοτιμίας της αποστολής είναι σύμφωνο με το άρτιο ψηφίο ισοτιμίας της λήψης. Επομένως στην περίπτωση αυτή υπάρχει άρτιος έλεγχος ισοτιμίας (σχήμα 2.19α). Στη δεύτερη περίπτωση έχουμε εσφαλμένη μεταφορά, επειδή το άρτιο ψηφίο ισοτιμίας της αποστολής δε συμφωνεί με το περιττό ψηφίο ισοτιμίας της λήψης (σχήμα 2.19β). Αυτό συνέβη, γιατί κατά τη μεταφορά της πληροφορίας υπήρξε σφάλμα στο 5ο ψηφίο.

Ο έλεγχος ισοτιμίας είναι η παλαιότερη από τις τεχνικές ανίχνευσης σφαλμάτων. Τα πλεονεκτήματά της είναι η απλότητα του αλγορίθμου και η εύκολη υλοποίησή της. Έτσι, αντίθετα με τις επιδόσεις της, που δε θεωρούνται υψηλές, ειδικά όταν ο ρυθμός μετάδοσης είναι υψηλός, η μέθοδος, εφαρμόζεται ευρύτατα. Αυτό συμβαίνει, επειδή ο ρυθμός αναγνώρισης των σφαλμάτων είναι χαμηλός, με αποτέλεσμα, όταν δημιουργηθεί κάποιο σφάλμα, να αλλοιώνονται πολλά γειτονικά ψηφία. Ο έλεγχος ισοτιμίας σ' αυτή την περίπτωση μπορεί να δώσει θετικό αποτέλεσμα, ωστόσο πρέπει να έχουμε υπόψη μας το ενδεχόμενο να υπάρχουν και σφάλματα που δεν ανιχνεύτηκαν.

Ένα πρόσθετο μειονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η μη αναγνώριση άρτιου αριθμού σφαλμάτων. Είναι αυτονόητο ότι κάθε περιττός αριθμός σφαλμάτων που θα δημιουργηθεί στη μετάδοση θα προκαλέσει την αύξηση ή τη μείωση των ψηφίων 1 στην ακολουθία των δυαδικών ψηφίων και επομένως θα αλλάξει την τιμή του δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας (από άρτια σε περιττή ή αντίστροφα). Αν όμως δημιουργηθεί άρτιος αριθμός σφαλμάτων, τότε δε θα αλλάξει η τιμή του δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας και επομένως δε θα ανιχνευτούν αυτά τα σφάλματα.

Παράδειγμα XI

Στο σχήμα 2.20 ο χαρακτήρας αποτελείται από 7 bits πληροφορίας και από 1 bit που παριστάνει το δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας. Με τα υπογραμμισμένα δυαδικά ψηφία () δηλώνονται οι σειρές στις οποίες ανιχνεύτηκε το σφάλμα. Με τον αστερίσκο (*) σημειώνονται οι εσφαλμένες σειρές που δεν ανιχνεύονται με τη μέθοδο της ισοτιμίας. Όπως φαίνεται, η μέθοδος της ισοτιμίας δεν ανιχνεύει όλα τα σφάλματα. Δηλαδή δεν μπορεί να ανιχνεύσει άρτιο αριθμό σφαλμάτων, αφού το δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας που στάλθηκε είναι ίδιο με το δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας που έφτασε στον παραλήπτη.

Ακολουθία των 7+1 bits που στάλθηκε	Ακολουθία των 7+1 bits που έφτασε
1 0 1 1 0 0 1 0	1 0 <u>0</u> 1 0 0 1 1
1 1 1 0 1 0 1 1	1 <u>0</u> 1 <u>1</u> 1 0 1 1*
1 0 0 0 0 0 0 1	1 0 0 0 0 0 0 1
1 0 0 0 0 0 0 1	<u>0</u> 0 <u>1</u> 0 <u>1</u> 0 0 0
1 0 0 0 0 1 1 1	1 <u>1</u> <u>1</u> 0 0 <u>0</u> <u>0</u> 1*

Σχήμα 2.20: Αδυναμία ανίχνευσης σφαλματος με την τεχνική του δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας

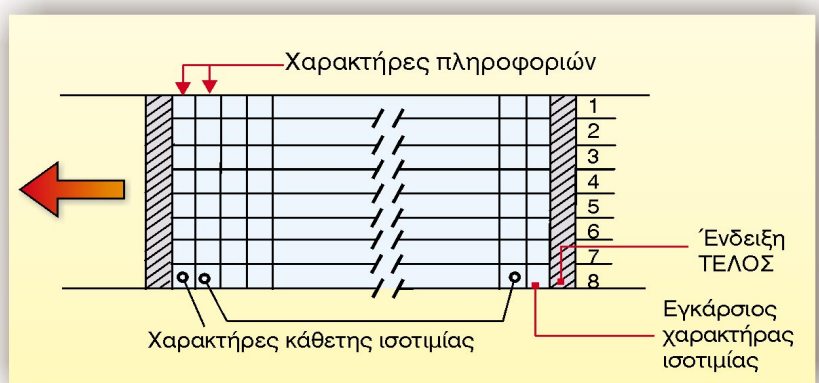
Η μέθοδος που περιγράφηκε εφαρμόζεται ευρύτατα στην πράξη, επειδή χρησιμοποιεί απλούς αλγορίθμους δημιουργίας και ελέγχου της ισοτιμίας και επομένως μη δαπανηρά κυκλώματα.

2.5.2.2 Ανίχνευση σφαλμάτων με τη διαδιάστατη τεχνική ελέγχου ισοτιμίας

Η τεχνική του **διαδιάστατου ελέγχου ισοτιμίας**, που είναι γνωστή και ως **διαμήκης έλεγχος πλεονασμού** (*LRC: Longitudinal Redundancy Checking*), χρησιμοποιεί πρόσθετα ψηφία ελέγχου προκειμένου να ελεγχθεί η ορθότητα μιας ολόκληρης ομάδας χαρακτήρων (σχήμα 2.21). Σύμφωνα μ' αυτή την τεχνική ανίχνευσης σφαλμάτων, το μήνυμα που αποστέλλει ο πομπός και είναι οργανωμένο σε ομάδες χαρακτήρων υφίσταται επεξεργασία από έναν αριθμητικό αλγόριθμο, ο οποίος παράγει ένα αριθμητικό αποτέλεσμα (χαρακτήρα) που μεταδίδεται μαζί με το μήνυμα.

Κάθε στήλη του πίνακα χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση ενός αλφαριθμητικού

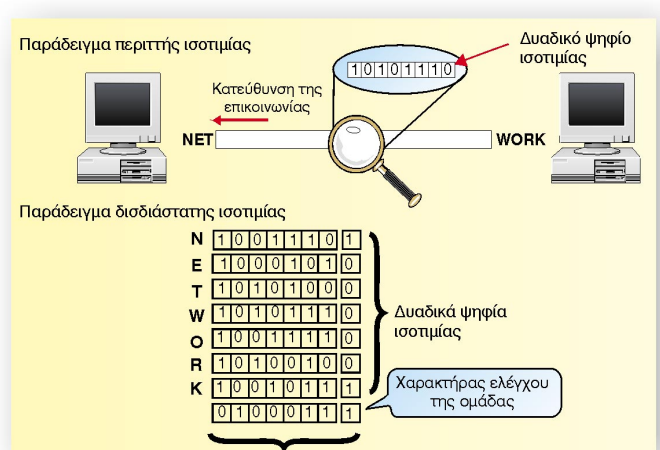
Ο χαρακτήρας του αριθμητικού αποτελέσματος που παράγεται από τον αλγόριθμο αποτελείται από τον οριζόντιο δυαδικό ψηφία ελέγχου, δηλαδή από δυαδικά ψηφία ισοτιμίας, καθένα από τα οποία προέρχεται από τα αντίστοιχα δυαδικά ψηφία των χαρακτήρων της ομάδας και μεταβιβάζεται τελευταίο. Τα οριζόντια δυαδικά ψηφία ελέγχου αποτελούν το λεγόμενο χαρακτήρα ισοτιμίας (*parity byte*), που λέγεται και άθροισμα ελέγχου (*checksum*), και δημιουργούνται στο σταθμό αποστολής.



Σχήμα 2.21: Διαδιάστατη τεχνική ελέγχου ισοτιμίας

χαρακτήρα, όπως γίνεται στον κατακόρυφο έλεγχο ισοτιμίας. Είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί και εγκάρσιος έλεγχος πλεονασμού, με αποτέλεσμα να δημιουργείται και πρόσθετος εγκάρσιος χαρακτήρας ισοτιμίας (σχήμα 2.22).

Το μήνυμα που λαμβάνει ο δέκτης υφίσταται επεξεργασία από τον ίδιο αλγόριθμο, ενώ το παραγόμενο αριθμητικό αποτέλεσμα συγκρίνεται με το αποτέλεσμα που έλαβε μαζί με το μήνυμα. Αν τα συγκρινόμενα αριθμητικά αποτελέσματα είναι ίδια, ο δέκτης θεωρεί ότι το μήνυμα είναι σωστό. Διαφορετικά, θεωρεί ότι έχει συμβεί κάποιο σφάλμα. Η μέθοδος αυτή αυξάνει δυναμικά την πιθανότητα ανίχνευσης σφάλματος, καθώς επίσης και τη δυνατότητα εντοπισμού της θέσης ενός μεμονωμένου λανθασμένου δυαδικού ψηφίου. Στα περισσότερα συστήματα που χρησιμοποιούν διαμήκη έλεγχο πλεονασμού τα μηνύματα στα οποία εντοπίζεται σφάλμα επαναμεταδίδονται.



Σχήμα 2.22: Εγκάρσιος και διαμήκης έλεγχος ισοτιμίας



2.5.2.3* Μέθοδος κυκλικού πλεονασμού ελέγχου

Η μέθοδος του **κυκλικού πλεονασμού ελέγχου** (*CRC: Cyclic Redundancy Check*) ονομάζεται και **πολυωνυμικός κώδικας**. Υπάρχουν πολλοί κώδικες οι οποίοι στηρίζονται στη χρησιμοποίηση ακολουθιών (σειρών) από δυαδικά ψηφία υπό μορφή πολυωνυμικών παραστάσεων με συντελεστές 0 και 1. Η πληροφορία που μεταδίδεται οργανώνεται σε πλαίσια των k δυαδικών ψηφίων. Σε ένα πλαίσιο των k bits τα k δυαδικά ψηφία θεωρούνται συντελεστές ενός πολυωνύμου $k-1$ βαθμού, που περιλαμβάνει k όρους, από x^{k-1} έως x^0 , ονομάζεται **γεννήτορας** και συμβολίζεται με $G(x)$. Το πιο σημαντικό δυαδικό ψηφίο είναι το αριστερό, δηλαδή ο συντελεστής του x^{k-1} . Το επόμενο σημαντικό δυαδικό ψηφίο είναι ο συντελεστής του x^{k-2} κ.ο.κ.

Παράδειγμα XII

Το πλαίσιο 110001 των 6 bits παριστάνει ένα πολυώνυμο 5ου βαθμού με 6 όρους, που έχουν συντελεστές τα δυαδικά ψηφία 1, 1, 0, 0, 0 και 1. Επομένως το πολυώνυμο θα είναι το: $x^5 + x^4 + x^0$.

Οι πράξεις στα πολυώνυμα γίνονται modulo 2, σύμφωνα με τους κανόνες της άλγεβρας, που σημαίνει ότι δεν υπάρχουν κρατούμενα στην πρόσθεση και δανεικά στην αφαίρεση. Αυτό φαίνεται και στις τέσσερις πράξεις που ακολουθούν.

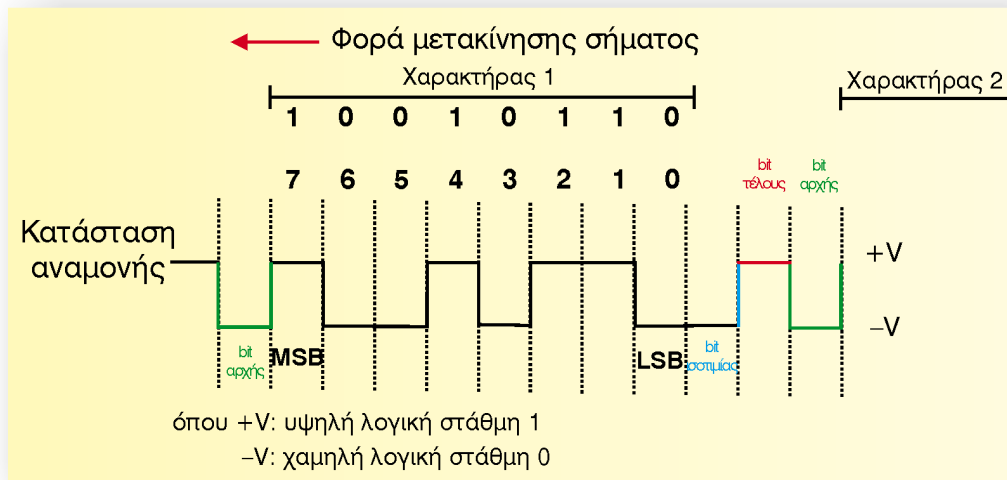
1001101	00110011	11110000	01010101
+ 11001010	+ 11001101	- 10100110	- 10101111
-----	-----	-----	-----
01010001	11111110	01010110	11111010

Όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος του πολυωνυμικού κώδικα, ο πομπός και ο δέκτης πρέπει να συμφωνήσουν εκ των προτέρων στη μορφή του πολυωνύμου - γεννήτορα, δηλαδή του $G(x)$. Τόσο το πιο σημαντικό όσο και το λιγότερο σημαντικό δυαδικό ψηφίο του πολυωνύμου - γεννήτορα πρέπει να είναι το δυαδικό ψηφίο 1. Το **πιο σημαντικό ψηφίο** (*MSB: Most Significant Bit*) είναι το ψηφίο εκκίνησης της πληροφορίας στη γραμμή μετάδοσης, δηλαδή το 7ο ή το 8ο δυαδικό ψηφίο (σχήμα 2.23). Ακολουθώς εμφανίζονται όλα τα άλλα δυαδικά ψηφία και τελευταίο το **λιγότερο σημαντικό ψηφίο** (*LSB: Least Significant Bit*), που είναι το 0 ή το 1ο δυαδικό ψηφίο.

Για να υπολογιστεί το άθροισμα ελέγχου μερικών πλαισίων των m bits, τα οποία αντιστοιχούν στο πολυώνυμο $M(x)$, πρέπει κάθε πλαίσιο να είναι μεγαλύτερο από το πολυώνυμο - γεννήτορα. Η βασική ιδέα είναι να προσαρτηθεί ένα άθροισμα στο τέλος του πλαισίου, έτσι ώστε το πολυώνυμο που παριστάνεται από το πλαίσιο μαζί με το άθροισμα ελέγχου να διαιρείται ακριβώς με το $G(x)$. Όταν ο δέκτης πάρει το πλαίσιο μαζί με το άθροισμα ελέγχου, το διαιρεί με το $G(x)$ και, αν υπάρχει υπόλοιπο, σημαίνει ότι υπήρξε σφάλμα μετάδοσης. Άρα αντί για πράξεις επάνω σε κώδικες - λέξεις είναι δυνατόν να γίνονται πράξεις στα αντίστοιχα πολυώνυμα που αυτές αντιπροσωπεύουν.



Τα 8 ψηφία που συνθέτουν ένα χαρακτήρα αριθμούνται από το 0 έως το 7.



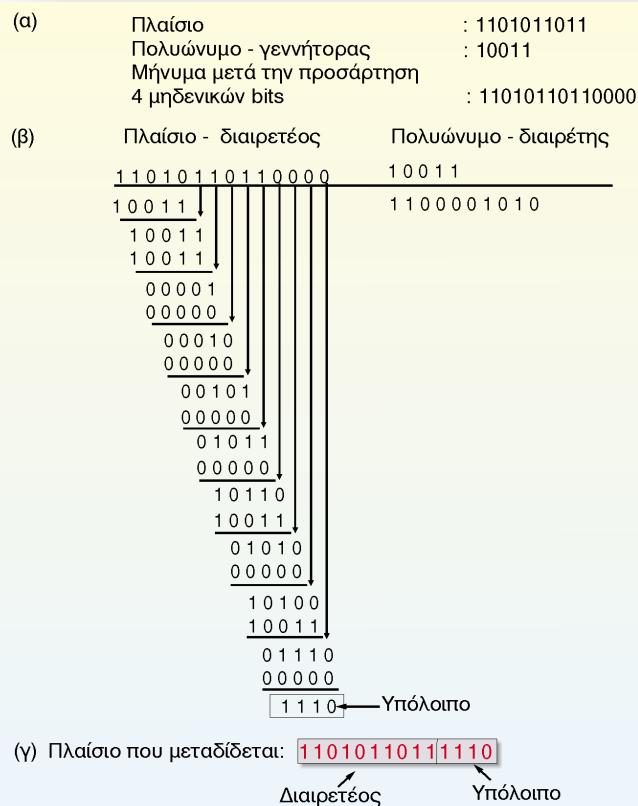
Σχήμα 2.23: Μετάδοση των δυαδικών ψηφίων στη γραμμή επικοινωνίας

Η μέθοδος ελέγχου μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

- ✓ Πριν από τη μετάδοση η πληροφορία χωρίζεται σε πλαίσια (σχήμα 2.24α).
- ✓ Κάθε πλαίσιο διαιρείται με ένα προκαθορισμένο πολυώνυμο. Η διαίρεση γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως και η δεκαδική. Ο διαιρέτης λέμε ότι χωράει σε ένα διαιρετέο, όταν ο διαιρετέος έχει τόσα δυαδικά ψηφία όσα έχει και ο διαιρέτης, μόνο που η αφαίρεση γίνεται **modulo 2**, όπως στο προηγούμενο παράδειγμα (σχήμα 2.24β).
- ✓ Τόσο το πλαίσιο της πληροφορίας όσο και το υπόλοιπο της διαίρεσης αποστέλλονται στον αποδέκτη (σχήμα 2.24γ).
- ✓ Ο αποδέκτης διαιρεί το πλαίσιο της πληροφορίας με το ίδιο προκαθορισμένο πολυώνυμο και εξετάζει αν το υπόλοιπο της διαίρεσης που υπολόγισε συμπίπτει με το υπόλοιπο που του έστειλε ο πομπός. Η όλη διαδικασία φαίνεται στο σχήμα 2.25.

Η μέθοδος CRC είναι πιο αποτελεσματική από τις

Σχήμα 2.24: Διαίρεση δυαδικών αριθμών





μεθόδους της δυαδικής ιστιμίας. Η πιθανότητα να περάσουν απαρατήρητα λάθη σε ένα τμήμα δυαδικών ψηφίων είναι πολύ μικρή, π.χ. της τάξης του 10^{-9} . Μερικά από τα πιο γνωστά πολυώνυμα - διαιρέτες είναι τα:

CRC-12

(1100000001111)

$$x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x^1 + x^0$$

CRC-16

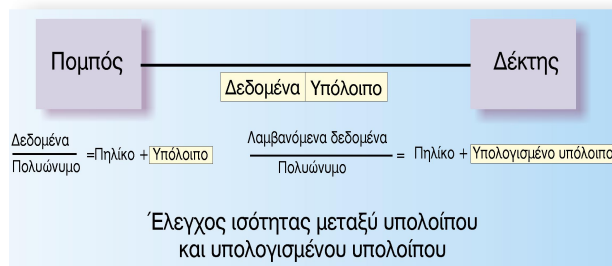
(110000000000000101)

$$x^{16} + x^{15} + x^2 + x^0$$

CCITT-16

(10001000000100001)

$$x^{16} + x^{12} + x^5 + x^0$$



Σχήμα 2.25: Διαδικασία ελέγχου κυκλικού κώδικα.

2.5.3 Κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων

Από τη στιγμή που ανιχνευθούν τα σφάλματα το σύστημα θα πρέπει να προχωρήσει αυτόματα σε κάποια διορθωτική ενέργεια. Η διόρθωση των σφαλμάτων μπορεί να γίνει με δύο τεχνικές: η πρώτη ονομάζεται τεχνική του **αυτόματου αιτήματος επαναμετάδοσης** (*ARQ: Automatic repeat ReQuest*) και αφορά τη διόρθωση των σφαλμάτων με απόρριψη των εσφαλμένων δεδομένων και επαναμετάδοση των ορθών· η δεύτερη ονομάζεται τεχνική της **αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων** (*AEC: Automatic Error Correction*) και αφορά τη διόρθωση των εσφαλμένων δεδομένων με χρήση διάφορων τεχνικών.

Ωστόσο μερικά συστήματα μετάδοσης δεδομένων αφήνουν το σφάλμα να το διορθώσει ο ίδιος ο χρήστης αργότερα. Για παράδειγμα, σε πολλά συστήματα που δε χρησιμοποιείται η αυτόματη επαναμετάδοση είναι εύκολο για το χρήστη να εισαγάγει και πάλι από το τερματικό του το μήνυμα που ελήφθη λανθασμένα ή να ζητήσει την επαναμετάδοσή του. Γενικά, θεωρείται πολύ καλύτερο να υπάρχει κάποιος τρόπος αυτόματης επαναμετάδοσης των εσφαλμένων μηνυμάτων, κάτι που τα περισσότερα από τα νέα συστήματα μετάδοσης δεδομένων πραγματοποιούν.

Οι τρόποι διόρθωσης των σφαλμάτων περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

2.5.3.1 Διόρθωση σφαλμάτων με επαναμετάδοση

Στα συστήματα χειρισμού δεδομένων συναντώνται πολλές διαφορετικές μέθοδοι ανίχνευσης σφαλμάτων και αυτόματης επαναμετάδοσης. Τα συστήματα αυτά διαφέρουν ως προς τον αριθμό των χαρακτήρων που μπορούν να επαναμεταδώσουν, όταν γίνει η ανίχνευση σφάλματος. Μερικά επαναμεταδίδουν ένα μόνο χαρακτήρα, ενώ άλλα επαναμεταδίδουν πολλούς χαρακτήρες ή και πολλά μηνύματα. Υπάρχουν δύο πλεονεκτήματα όσον αφορά την επαναμετάδοση μικρής ποσότητας δεδομένων:



- ✓ **Μετάδοση** είναι η αποστολή του μηνύματος από τον πομπό.
- ✓ **Επαναμετάδοση ή επανεκπομπή** είναι η επανάληψη της μετάδοσης.
- ✓ **Αναμετάδοση** είναι η μετάδοση ενός μηνύματος το οποίο λαμβάνεται εξασθενημένο και προωθείται ενισχυμένο.



- ✓ Εξασφαλίζεται μικρότερος χρόνος επαναμετάδοσης. Ασφαλώς, σε κανονικές συνθήκες, είναι πιο γρήγορη η επαναμετάδοση 5 χαρακτήρων παρά 500. Ωστόσο, αν ο ρυθμός σφαλμάτων είναι ένας εσφαλμένος χαρακτήρας στους 100.000 (τυπικό νούμερο στην τηλεφωνία), η επί τοις εκατό απώλεια σε ρυθμό μετάδοσης δεν είναι σημαντική. Θα ήταν σημαντική, αν έπρεπε να επαναμεταδοθεί μια ομάδα τουλάχιστον 5.000 χαρακτήρων.
- ✓ Εξασφαλίζεται μείωση του απαιτούμενου αποθηκευτικού χώρου. Είναι φυσικό, όταν επαναμεταδίδεται μια μεγάλη ομάδα δεδομένων, να υπάρχει πρόβλεψη προσωρινής αποθήκευσής τους, μέχρι να επιβεβαιωθεί από το δέκτη ότι η μετάδοση είναι ορθή. Για παράδειγμα, τα δεδομένα που εισάγονται από το πληκτρολόγιο αποθηκεύονται σε μια ενδιάμεση μνήμη, προκειμένου να είναι διαθέσιμα στην περίπτωση που θα χρειαστεί να επαναμεταδοθούν αυτόματα. Σε μερικές περιπτώσεις αρκετές συσκευές εισόδου συνδέονται σε μια μονάδα ελέγχου, που διαθέτει τον απαιτούμενο αποταμιευτή.

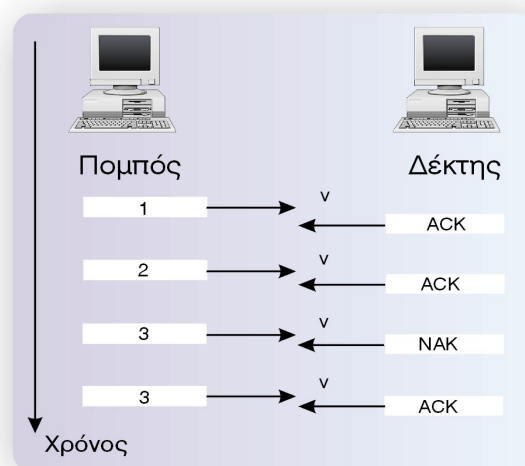
Η χρησιμοποίηση μικρών ομάδων χαρακτήρων για επαναμετάδοση έχει και μειονεκτήματα, που είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Οι κώδικες ανίχνευσης σφαλμάτων μπορεί να είναι αποδοτικότεροι, όταν χρησιμοποιούνται μεγάλες ομάδες δεδομένων.
- ✓ Όταν οι ομάδες δεδομένων αποστέλλονται με συγχρονισμένο τρόπο μετάδοσης, μεσολαβεί ένα χρονικό διάστημα ανάμεσα στις αναγνωρίσεις των χαρακτήρων ελέγχου και στις διαδικασίες επαναφοράς της γραμμής, το οποίο μένει ανεκμετάλλετο. Όσο περισσότερα είναι τα δεδομένα που μεταδίδονται ανάμεσα στις αναγνωρίσεις, τόσο ελαχιστοποιείται ο χρόνος που χάνεται. Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα μετάδοσης είναι σε θέση να συμβιβάζει με τον καλύτερο τρόπο τους παραπάνω συντελεστές.

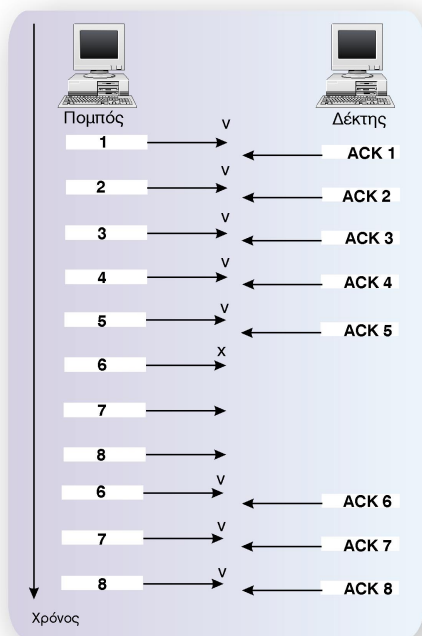
Όπως σημειώθηκε, μετά την αναγνώριση της λήψης κάποιας λανθασμένης ομάδας δεδομένων ακολουθεί η διόρθωσή της. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η τεχνική του αυτόματου αιτήματος επαναμετάδοσης (ARQ), ο δέκτης αποστέλλει στον πομπό μηνύματα **επιβεβαίωσης λήψης (ACK: ACKnowledgement)** ή **εσφαλμένης λήψης (NAK: Negative Acknowledgement)**, προκειμένου αυτός να ενεργήσει ανάλογα. Γενικά, τρεις είναι οι τεχνικές διόρθωσης σφαλμάτων με επαναμετάδοση.

✓ Τεχνική άμεσης αναγνώρισης

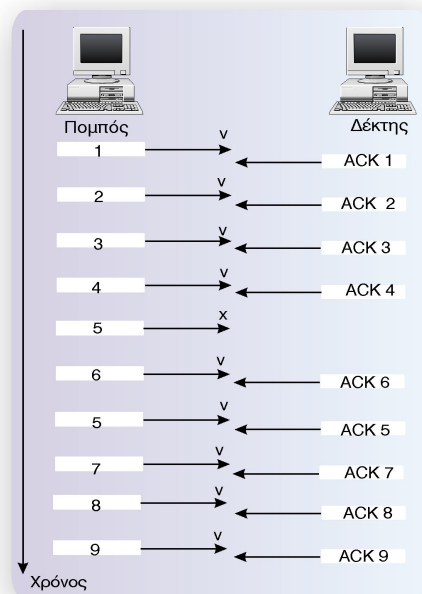
Σ' αυτή την περίπτωση ο πομπός, αφού στείλει μια ομάδα δεδομένων, περιμένει να πάρει επιβεβαίωση (ACK ή NAK), προκειμένου να αποστείλει την επόμενη ομάδα δεδομένων. Αν ο πομπός πάρει επιβεβαίωση λήψης (ACK), συνεχίζει κανονικά την αποστολή της επόμενης ομάδας. Αν όμως λάβει αρνητική επιβεβαίωση (NAK) για κάποια ομάδα δεδομένων, τότε επαναμεταδίδει το σύνολο των χαρακτήρων του



Σχήμα 2.26: Τεχνική της άμεσης αναγνώρισης.



Σχήμα 2.27: Τεχνική της έμμεσης αναγνώρισης.



Σχήμα 2.28: Τεχνική της έμμεσης αναγνώρισης με επιλεκτική επαναμετάδοση

μηνύματος. Η τεχνική αυτή είναι γνωστή και ως **σταμάτα και περίμενε διόρθωση με αίτημα επαναμετάδοσης** (*stop and wait ARQ*) (σχήμα 2.26).

✓ Τεχνική έμμεσης αναγνώρισης

Μ' αυτή τη μέθοδο ο πομπός στέλνει συνεχώς ομάδες χαρακτήρων, χωρίς να περιμένει σήμα αναγνώρισης (*ACK* ή *NAK*) από το δέκτη για κάθε ομάδα. Όμως, αν ανιχνευθεί σφάλμα από το δέκτη, τότε ο πομπός επαναμεταδίδει όλες τις ομάδες, από την ομάδα που εντοπίστηκε το σφάλμα έως την τελευταία που έχει ήδη μεταδοθεί. Η τεχνική αυτή λέγεται και **πήγαινε πίσω - N διορθώσεις με αίτημα επαναμετάδοσης** (*go back - N ARQ*) (σχήμα 2.27).

✓ Τεχνική έμμεσης αναγνώρισης με επιλεκτική επαναμετάδοση

Η μέθοδος αυτή ακολουθεί την ίδια διαδικασία με την τεχνική της έμμεσης αναγνώρισης, με τη διαφορά ότι το σήμα αρνητικής αναγνώρισης (*NAK*) του σταθμού του παραλήπτη προκαλεί την επαναμετάδοση μόνο της ομάδας των χαρακτήρων στην οποία αναφέρεται και όχι όλων των ομάδων που έχουν ήδη μεταδοθεί. Για παράδειγμα, αν ο πομπός έχει στείλει τις ομάδες χαρακτήρων 1, 2, 3 και λάβει *NAK* 1, επαναμεταδίδει μόνο την ομάδα 1 και συνεχίζει τη μετάδοση από την ομάδα 4. Η τεχνική αυτή λέγεται και **επιλεκτική επαναμετάδοση** (*selective retransmission*) (σχήμα 2.28).

Σε πιο σύνθετους σχηματισμούς ειδικά πλαίσια, που λέγονται **πλαίσια ελέγχου**, μεταδίδονται μεταξύ των σταθμών που επικοινωνούν προκειμένου να ελέγξουν τυχόν σφάλματα. Σε άλλες περιπτώσεις τα πλαίσια δεδομένων είναι δυνατόν να μεταφέρουν δυαδικά ψηφία ελέγχου, τα οποία χρησιμοποιούνται ως θετικές αναγνωρίσεις. Μ' αυτό τον τρόπο, όταν απαιτείται μια θετική αναγνώριση, χρησιμοποιείται ένα πλαίσιο δεδομένων για τη μεταφορά της, με αποτέλεσμα να μειώνεται η επιβάρυνση της μετάδοσης στην περίπτωση που δεν υπάρχουν σφάλματα.

Είναι δυνατόν:

- ✓ Οι χαρακτήρες ελέγχου, τα ίδια τα πλαίσια ελέγχου και οι χαρακτήρες τέλους μετάδοσης να αλλοιωθούν από το θόρυβο. Αν συμβεί αυτό, υπάρχει κίνδυνος:
 - να χαθεί ένα ολόκληρο πλαίσιο ή
 - να ενωθούν δύο πλαίσια.
- ✓ Κατά τη διαδικασία του αυτόματου αιτήματος επαναμετάδοσης ένα πλαίσιο να σταλεί δύο φορές.

Για να αποφευχθούν τα σφάλματα αυτά, υπάρχει ένας μετρητής που μετρά μόνο τα μονά ή μόνο τα ζυγά πλαίσια που μεταδίδονται. Σε μερικές περιπτώσεις αποστέλλεται ένας χαρακτήρας ελέγχου που δηλώνει ότι πρόκειται για μετάδοση μονού ή ζυγού πλαισίου.

Είναι δύσκολο να χαθούν δύο πλαίσια μαζί ή να μεταδοθούν δύο πλαι-



σια δύο φορές, έτσι που να μην μπορεί ο μετρητής να ανιχνεύσει το σφάλμα. Ωστόσο, για να αποφευχθεί και αυτή η σπάνια περίπτωση, τα περισσότερα νέα σχήματα χρησιμοποιούν αύξοντες αριθμούς, αντί του μετρητή που μετρά μόνο τα μονά ή μόνο τα ζυγά πλαίσια. Οι αύξοντες αριθμοί, εκτός του ότι παρέχουν καλύτερη προστασία, ελαχιστοποιώντας τα χαμένα ή τα διπλά πλαίσια, επιτρέπουν τη μετάδοση περισσότερων δεδομένων, πριν χρειαστεί η επιβεβαίωση λήψης.

2.5.3.2 Αυτόματη διόρθωση σφαλμάτων

Το χαρακτηριστικό της τεχνικής της αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων είναι ότι, μαζί με τα δυαδικά ψηφία της πληροφορίας, αποστέλλονται και ορισμένα άλλα τα οποία βοηθούν όχι μόνο στην ανίχνευση τυχόν σφαλμάτων αλλά και στη διόρθωσή τους. Συγκεκριμένα, στο μεταδιδόμενο κώδικα μπορεί να ενσωματωθούν πρόσθετα δυαδικά ψηφία, έτσι ώστε ο ίδιος ο κώδικας να προχωρεί στην αυτόματη διόρθωση σφαλμάτων, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση της ανίχνευσης. Επειδή η επαναμετάδοση του μηνύματος δεν είναι απαραίτητη, ο δέκτης δεν μπορεί να στείλει *ACK* ή *NAK*. Για το λόγο αυτό η μέθοδος είναι γνωστή και ως **πρόσθια διόρθωση σφαλμάτων** (*FEC: Forward Error Correction*).

Σε περιπτώσεις που υπάρχει πολύς θόρυβος η μέθοδος απαιτεί μεγάλο αριθμό πρόσθετων ψηφίων. Επομένως οι κώδικες που δίνουν ασφαλή αποτελέσματα με την πρόσθια διόρθωση σφαλμάτων μειονεκτούν, επειδή μειώνουν τη χωρητικότητα της γραμμής επικοινωνίας.

Η αυτόματη διόρθωση σφαλμάτων μπορεί να πάρει διάφορες μορφές. Ο πλέον γνωστός κώδικας αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων είναι ο **κώδικας Hamming**, που διορθώνει απλά σφάλματα με την προσθήκη δυαδικών ψηφίων ελέγχου. Παράδειγμα χρησιμοποίησης της μεθόδου της αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων αποτελεί το σχήμα κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται στους δίσκους *CD-ROM*, στους οποίους το φυσικό μέσο αποθήκευσης είναι πολύ ευαίσθητο σε σφάλματα. Το σύστημα αυτό σχεδιάστηκε με την προοπτική να διορθώνεται αυτόματα ένας μεγάλος αριθμός σφαλμάτων, ώστε το σύστημα αποθήκευσης να έχει τον απαιτούμενο βαθμό αξιοπιστίας.

Αν η γραμμή επικοινωνίας είναι μονόπλευρη, η τεχνική πρόσθιας διόρθωσης σφαλμάτων, όπως αυτή που χρησιμοποιείται στους δίσκους *CD-ROM*, είναι πάρα πολύ χρήσιμη. Όμως ένας τυπικός δίαυλος υποστηρίζει αμφίπλευρη μετάδοση, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η επαναμετάδοση. Γενικά, όταν πρόκειται για γραμμές μετάδοσης φωνής, οι κώδικες πρόσθιας διόρθωσης σφαλμάτων δεν καλύπτουν ούτε το συνολικό κόστος ούτε το εύρος ζώνης, στο βαθμό που το καλύπτουν οι κώδικες ανίχνευσης σφαλμάτων, οι οποίοι έχουν ήδη σχεδιαστεί, ώστε να συνδυάζονται με τη δυνατότητα αυτόματης επαναμετάδοσης των δεδομένων που παρουσιάζουν κάποιο σφάλμα.



Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Σφάλμα, μεμονωμένα σφάλματα, δέσμη σφαλμάτων, ποσοστό σφαλμάτων, αγνόηση σφαλμάτων, ανίχνευση σφαλμάτων, ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων, καθαρή πληροφορία, πρόσθετη πληροφορία, δυαδικά ψηφία ελέγχου, πληροφοριακό τμήμα, τμήμα ελέγχου, κωδικοποίηση ελέγχου σφάλματος, ανιχνευτικοί κώδικες, διορθωτικοί κώδικες, κατακόρυφος έλεγχος πλεονασμού, έλεγχος ισοτιμίας, έλεγχος περιττής ισοτιμίας, έλεγχος άρτιας ισοτιμίας, διαμήκης έλεγχος πλεονασμού, κυκλικός έλεγχος πλεονασμού, γεννήτορας, πιο σημαντικό ψηφίο, λιγότερο σημαντικό ψηφίο, αυτόματο αίτημα επαναμετάδοσης, αυτόματη διόρθωση σφαλμάτων, επιβεβαίωση λήψης, εσφαλμένη λήψη, τεχνική άμεσης αναγνώρισης, τεχνική έμμεσης αναγνώρισης, επιλεκτική επαναμετάδοση, πλαίσια ελέγχου, πρόσθια διόρθωση σφαλμάτων.



Ανακεφαλαίωση

Το κεφάλαιο αυτό πραγματεύθηκε τις γνώσεις και τα στοιχεία που απαιτούνται για την κατανόηση του αντικειμένου της ψηφιακής μετάδοσης δεδομένων. Σε συνδυασμό με τις γνώσεις που αποκτήθηκαν από το Κεφάλαιο 1 και αφορούσαν κυρίως την αναλογική μετάδοση, αναλύθηκαν έννοιες που αφορούν την ψηφιακή μετάδοση της πληροφορίας, όπως είναι η κωδικοποίηση των δεδομένων και ο ρυθμός μετάδοσής τους, η χωρητικότητα της γραμμής επικοινωνίας κτλ. (Μάθημα 2.1). Παρουσιάστηκαν τα είδη μετάδοσης όσον αφορά την κατεύθυνσή της (μονόπλευρη, ημίπλευρη και αμφίπλευρη) και δόθηκαν οι βασικές αρχές της παράλληλης και της σειραϊκής μετάδοσης (Μάθημα 2.2). Στη συνέχεια αναλύθηκαν οι αρχές της συγχρονισμένης και της ασυγχρόνιστης σειραϊκής μετάδοσης (Μάθημα 2.3). Ακολούθησε συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ του αναλογικού και του ψηφιακού τρόπου μετάδοσης δεδομένων, μεταξύ της παράλληλης και της σειραϊκής μετάδοσης και τέλος μεταξύ της συγχρονισμένης και της ασυγχρόνιστης σειραϊκής μετάδοσης δεδομένων (Μάθημα 2.4). Το κεφάλαιο ολοκληρώθηκε με τη μελέτη των τεχνικών ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων (Μάθημα 2.5).





Ερωτήσεις

1. Τι είναι πληροφορία και τι δεδομένα σε ένα επικοινωνιακό σύστημα; Ποιές μορφές μπορεί να έχει η πληροφορία;
2. Τι είναι η κωδικοποίηση δεδομένων και πώς πραγματοποιείται;
3. Πώς μετριέται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και πώς ο ρυθμός διαμορφωμένου σήματος ενός καναλιού;
4. Τι εννοούμε, όταν λέμε χωρητικότητα ενός μέσου μετάδοσης και τι εύρος ζώνης καναλιού;
5. Τι παριστάνει το SNR και ποιός ο ρόλος του;
6. Πόσα είδη επικοινωνίας έχουμε σε σχέση με την κατεύθυνση της πληροφορίας;
7. Σε τι διαφέρει η μονόπλευρη από την ημίπλευρη επικοινωνία;
8. Σε τι συνίσταται η αμφίπλευρη επικοινωνία και σε τι διαφέρει από τις άλλες; Δώσε ένα παράδειγμα.
9. Πώς αντιλαμβάνεσαι την έννοια της κατεύθυνσης της μετάδοσης μιας πληροφορίας; Τι σημαίνει μετάδοση δεδομένων σημείου προς σημείο και τι εκπομπή δεδομένων;
10. Ποιες είναι οι κύριες διαφορές μεταξύ ενός αναλογικού και ενός ψηφιακού σήματος;
11. Τι εννοούμε, όταν λέμε οπτική μετάδοση δεδομένων;
12. Τι εννοούμε, όταν λέμε σειραϊκή και τι παράλληλη μετάδοση;
13. Τι είναι η ασυγχρόνιστη μετάδοση ψηφιακών δεδομένων;
14. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά και ποια τα πλεονεκτήματα της συγχρονισμένης μετάδοσης ψηφιακών δεδομένων;
15. Ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά των διαποδιαμορφωτών;
16. Τι είναι το κύκλωμα $EA-232D/v24$ και από πόσους ακροδέκτες αποτελείται; Να αναφέρεις τις λειτουργίες των βασικότερων από αυτούς.
17. Πώς μπορούμε να ελέγξουμε αν η πληροφορία που λαμβάνει ο δέκτης είναι ίδια με την πληροφορία που στέλνει ο πομπός;
18. Ποιες μεθόδους ανίχνευσης σφαλμάτων γνωρίζεις;
19. Ποιες μεθόδους διόρθωσης σφαλμάτων γνωρίζεις;