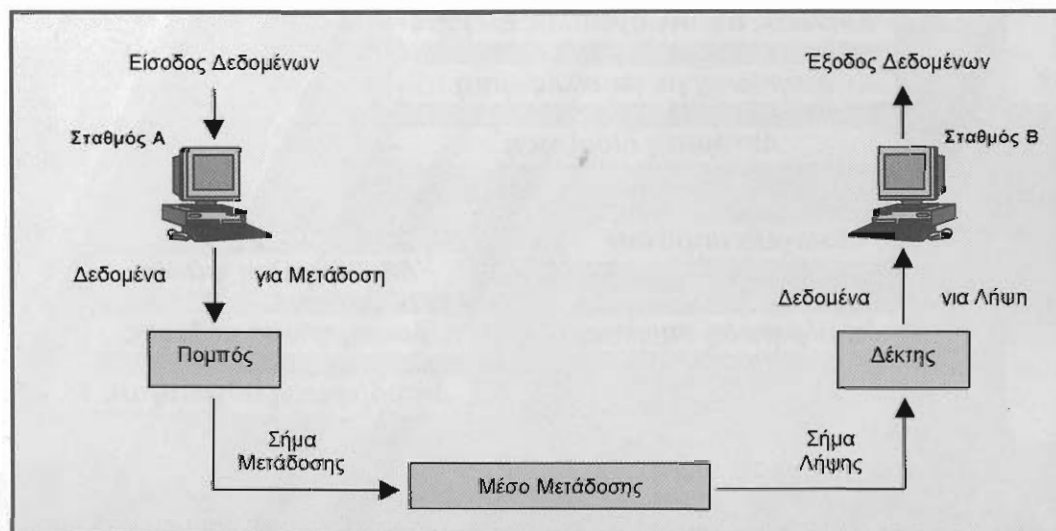


Στόχοι

Όταν τελειώσετε αυτό το κεφάλαιο θα πρέπει να μπορείτε να

- περιγράφετε ένα μοντέλο επικοινωνίας δεδομένων
- ορίζετε την έννοια των κωδίκων και να εξηγείτε τη χρήση τους
- διακρίνετε τους ευρύτερα χρησιμοποιούμενους κώδικες
- ορίζετε τι είναι σήμα και ποια είναι τα χαρακτηριστικά του
- εξηγείτε τεχνικές μετάδοσης δεδομένων (σειριακή, παράλληλη, μονόδρομη, αμφίδρομη κλπ)
- ορίζετε το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, διαμορφωμένου σήματος, πληροφορίας
- εξηγείτε θέματα συγχρονισμού και τη χρήση της σύγχρονης και ασύγχρονης επικοινωνίας
- περιγράφετε τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση και διόρθωση σφαλμάτων
- περιγράφετε θέματα διαμόρφωσης σήματος
- αναγνωρίζετε τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα μέσα μετάδοσης.

Μοντέλο Επικοινωνίας Δεδομένων



1. Επικοινωνίες Δεδομένων

Είναι γνωστό πως στην εποχή που ζούμε κλειδί για την ανάπτυξη είναι η πρόσβαση στην πληροφορία. Δεν είναι τυχαία η εξέλιξη των Μέσων Μαζικής Επικοινωνίας, των Τηλεπικοινωνιακών εταιριών, των εταιριών Κινητής Τηλεφωνίας κλπ. Η απόσταση γίνεται λιγότερο δεσμευτική και οι χρήστες Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (και άλλων συσκευών) μπορούν να επικοινωνήσουν άμεσα, σε οποιοδήποτε σημείο του κόσμου κι αν βρίσκονται. Χάλκινα καλώδια, οπτικές ίνες, επικοινωνιακοί δορυφόροι, ασύρματες ζεύξεις αποτελούν τις σύγχρονες λεωφόρους της πληροφορικής.

1.1. Μοντέλο Επικοινωνίας Δεδομένων

Με τον όρο "Επικοινωνία Δεδομένων" αναφερόμαστε στις έννοιες, τις αρχές και τους τρόπους μετάδοσης δεδομένων μεταξύ υπολογιστικών συστημάτων. Οι γνώσεις αυτές είναι απαραίτητες για την εύκολη και ορθή κατανόηση των δικτύων και των υπηρεσιών που παρέχουν. Το διπλανό σχήμα παρουσιάζει ένα επικοινωνιακό μοντέλο αναφοράς για την καλύτερη κατανόηση της έννοιας "Επικοινωνία Δεδομένων".

Ο σταθμός Α επεξεργάζεται τις πληροφορίες που έχουν εισαχθεί. Όταν χρειαστεί να μεταδώσει δεδομένα τα κωδικοποιεί και ο πομπός τα μετατρέπει σε διαμορφωμένο σήμα κατάλληλο για μεταφορά από το μέσο μετάδοσης. Ο δέκτης λαμβάνει, αποδιαμορφώνει το σήμα και μεταφέρει τα δεδομένα στον σταθμό Β για περαιτέρω επεξεργασία. Ζητήματα τα οποία προκύπτουν άμεσα και θα συζητηθούν αναλυτικά στη συνέχεια του βιβλίου αφορούν :

- την αναπαράσταση (κωδικοποίηση) των δεδομένων που πρόκειται να μεταδοθούν
- το συγχρονισμό των στοιχείων που συμμετέχουν στην μετάδοση
- τον έλεγχο της ροής της πληροφορίας
- τη διόρθωση των σφαλμάτων μετάδοσης
- την ασφάλεια της πληροφορίας
- την έναρξη, τον τερματισμό και τη διαχείριση της μετάδοσης

2. Κώδικες

Όπως ήδη γνωρίζουμε ο ηλεκτρονικός υπολογιστής λειτουργεί με βάση το δυαδικό σύστημα αρίθμησης. Δηλαδή το αλφάβητο του αποτελείται από το δυαδικό ψηφίο (bit) 0 και το δυαδικό ψηφίο 1. Η αποθήκευση οποιουδήποτε αριθμού γίνεται με βάση τη δυαδική του αναπαράσταση. Έτσι, ο αριθμός $(12)_{10}$ στο δεκαδικό σύστημα θα αποθηκευθεί ως $(1100)_2$ στο δυαδικό σύστημα. Για την αναπαράσταση πιο σύνθετων οντοτήτων χρησιμοποιείται κατάλληλη ακολουθία από δυαδικά ψηφία. Ο άνθρωπος για την αναπαράσταση της πληροφορίας χρησιμοποιεί τα γράμματα του αλφαβήτου, τους αριθμούς, τα σημεία στίξης και άλλους χαρακτήρες και σύμβολα. Τη γεφύρωση του χάσματος που προκύπτει από τη διαφορετική αναπαράσταση της πληροφορίας την αναλαμβάνουν οι κώδικες.

Ο κώδικας (ηλεκτρονικών υπολογιστών) είναι μια αμφιμονοσήμαντη αντιστοίχιση συμβόλων ενός αλφαβήτου σε ακολουθία από δυαδικά ψηφία. Βασικό χαρακτηριστικό ενός κώδικα είναι ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων που χρησιμοποιεί για την αναπαράσταση του χαρακτήρα. Οι περισσότεροι κώδικες χρησιμοποιούν σταθερό αριθμό δυαδικών ψηφίων για κάθε χαρακτήρα (αν και αυτό δεν είναι δεσμευτικό). Η ύπαρξη σταθερού πλήθους δυαδικών ψηφίων σχεδόν πάντα βοηθά σε θέματα μετάδοσης πληροφορίας. Κώδικες με μεταβλητό αριθμό δυαδικών ψηφίων μπορεί να πλεονεκτούν σε άλλα σημεία.

	C	D	Γ	Δ
Morse	— · — ·	— · ·		
BCD	110011	110100		
ASCII	1000011	1000100		
ELOT 928	01000011	01000100	11000011	11000100

Μερικοί από τους πιο γνωστούς και διαδεδομένους κώδικες είναι οι ASCII, BCD, EBCDIC, BAUDOT και ο νεότερος UNICODE. Ειδικά για την Ελλάδα (λόγω διαφορών με το Λατινικό αλφάβητο) ιδιαίτερη χρήση έχει ο κώδικας ΕΛΟΤ 928. Στη συνέχεια δίνουμε κάποιες πληροφορίες για μερικούς από τους πιο σημαντικούς κώδικες.

2.1. ASCII (American Standard Code for Information Interchange)

Ο κώδικας αυτός χρησιμοποιεί 7 δυαδικά ψηφία για την παράσταση ενός χαρακτήρα. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να απεικονίσει μέχρι $128 (2^7)$ χαρακτήρες. Πολλές φορές για λόγους ανίχνευσης σφαλμάτων (θα αναλυθούν μέθοδοι στη συνέχεια) χρησιμοποιείται ένα επιπλέον δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας (parity bit). 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 κλπ. Ο Πίνακας παρουσιάζει τους ASCII χαρακτήρες, τη δεκαδική τιμή τους και το συνδυασμό πλήκτρων που τους παράγουν.

Αναπαράσταση χαρακτήρων σε
διαφορετικούς κώδικες

Ο κώδικας ASCII

Char	Χαρακτήρας	Τιμή	Χαρακτήρας	Τιμή	Χαρακτήρας	Τιμή	Χαρακτήρας	Τιμή
@	NUL	0	SP	32	@	64		96
A	SOH	1	!	33	A	65	a	97
B	STX	2	"	34	B	66	b	98
C	ETX	3	#	35	C	67	c	99
D	END	4	\$	36	D	68	d	100
E	ENQ	5	%	37	E	69	e	101
F	ACK	6	&	38	F	70	f	102
G	DEL	7	'	39	G	71	g	103
H	BS	8	(	40	H	72	h	104
I	HT	9	)	41	I	73	i	105
J	LF	10	*	42	J	74	j	106
K	VT	11	=	43	K	75	k	107
L	FF	12	.	44	L	76	l	108
M	CR	13	-	45	M	77	m	109
N	SO	14		46	N	78	n	110
O	SI	15	/	47	O	79	o	111
P	DLE	16	0	48	P	80	p	112
Q	DC1	17	1	49	Q	81	q	113
R	DC2	18	2	50	R	82	r	114
S	DC3	19	3	51	S	83	s	115
T	DC4	20	4	52	T	84	t	116
U	NAK	21	5	53	U	85	u	117
V	SYN	22	6	54	V	86	v	118
W	ETB	23	7	55	W	87	w	119
X	CAN	24	8	56	X	88	x	120
Y	EM	25	9	57	Y	89	y	121
Z	SUB	26	:	58	Z	90	z	122
[	ESC	27		59	[	91	[	123
\	FS	28	<	60	\	92	\	124
]	GS	29	=	61	]	93	]	125
^	RS	30	>	62	^	94	^	126
_	US	31	?	63	_	95	DEL	127

2.2. BCD (Binary Coded Decimal)

Ο κώδικας BCD χρησιμοποιεί 6 δυαδικά ψηφία για την αναπαράσταση ενός χαρακτήρα και χρησιμοποιήθηκε κατά κανόνα ως εσωτερικός κώδικας κάποιων ηλε-

Ο κώδικας BCD ▼

Χαρακτήρας	Τμή	Χαρακτήρας	Τμή	Χαρακτήρας	Τμή	Χαρακτήρας	Τμή
0	000000	Blank	010000		100000	+	110000
1	000001	/	010001	I	100001	A	110001
2	000010	S	010010	K	100010	B	110010
3	000011	T	010011	L	100011	C	110011
4	000100	U	010100	M	100100	D	110100
5	000101	V	010101	N	100101	E	110101
6	000110	W	010110	O	100110	F	110110
7	000111	X	010111	P	100111	G	110111
8	001000	Y	011000	Q	101000	H	111000
9	001001	Z	011001	R	101001	I	111001
Space	001010	*	011010	!	101010	?	111010
=	001011	.	011011	\$	101011	.	111011
-	001100	(	011100	*	101100	)	111100
>	001101	-	011101	1	101101	[	111101
√	001110	/	011110	:	101110	<	111110
	001111	Cancel	011111	Δ	101111	→	111111

2.3. EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code)

Ο κώδικας EBCDIC αποτελεί επέκταση του BCD στα 8 bit. Ο κώδικας περιλαμβάνει λατινικά γράμματα (κεφαλαία και μικρά), αριθμούς, σημεία στίξης, ειδικούς χαρακτήρες αλλά και ελληνικούς χαρακτήρες (οι θέσεις των Ελληνικών χαρακτήρων μπορεί να διαφέρουν σε κάποιες εκδόσεις του EBCDIC). Ο κώδικας αυτός δε χρησιμοποιεί δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας αλλά κατά κανόνα χρησιμοποιείται σε πρωτόκολλα σύγχρονης μετάδοσης (BSC, SDLC) στα οποία υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι ελέγχου σφαλμάτων.

2.4. ΕΛΟΤ 928 (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης)

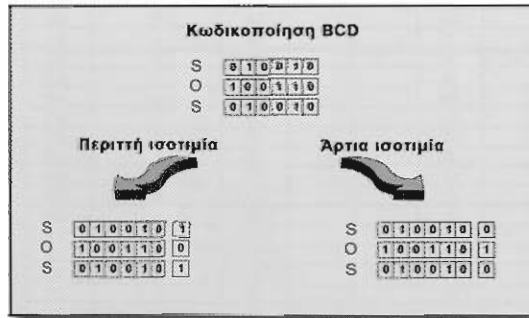
Ο κώδικας αυτός αποτελεί επέκταση του ASCII στα 8 Bit από τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης.

Οι πρώτοι 128 χαρακτήρες είναι σχεδόν όμοιοι με τους αντίστοιχους στον κώδικα ASCII, ενώ στους επόμενους 128 έχουμε τα Ελληνικά γράμματα (κεφαλαία και μικρά).

Αξίζει να σημειωθεί πως ο ΕΛΟΤ 928 έχει υιοθετηθεί από τον οργανισμό τυποποίησης ISO (International Standard Organization) και αναφέρεται ως ISO8859-7.

ητρονικών υπολογιστών (π.χ. Cyber 171 της Control Data). Οι 64 (2^6) διαφορετικοί χαρακτήρες συνοδεύονται από δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας (parity bit) όταν ο κώδικας χρησιμοποιείται για επικοινωνία. Το επιπλέον δυαδικό ψηφίο που πλαισιώνει τα 6 bit του κώδικα BCD προσδιορίζει την αριτιότητα (odd parity) ή μη (even parity) του πλήθους των δυαδικών ψηφίων που έχουν τιμή 1. Με τον τρόπο αυτόν, έχουμε τη δυνατότητα ανίχνευσης

συγκεκριμένου τύπου σφαλμάτων (περιττός αριθμός σφαλμάτων). Η ανίχνευση σφαλμάτων με την τεχνική της δυαδικής ισοτιμίας περιγράφεται λεπτομερώς στην παράγραφο 8.7.



►► Ο κώδικας ΕΛΟΤ 928

Bits b7b6b5b4 b3b2b1b0	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
0000			SP	0	@	P	-	p					I	Π	ύ	π
0001			!	1	A	Q	a	q					#	A	P	α
0010			"	2	E	R	b	r					*	E	P	β
0011			#	3	C	S	c	s					Δ	C	S	γ
0100			\$	4	D	T	d	t					Δ	T	δ	τ
0101			%	5	E	U	e	u					-	E	Y	ε
0110			^	6	F	V	f	v					Δ	Z	φ	ζ
0111			?	7	G	W	g	w					Δ	H	κ	η
1000			!	8	H	X	h	x					E	Θ	ψ	η
1001			!	9	I	Y	i	y					Θ	H	Ι	ι
1010			*	:	J	Z	j	z					!	I	K	κ
1011			+	<	K	[	k	[					<	Δ	V	λ
1100			.	<	L	]	l	]					!	Θ	M	μ
1101			.	=	M	^	m	^					!	Y	N	ν
1110			.	>	N	_	n	_					!	Y	E	η
1111			/	?	O	o	o	DEL					!	Θ	O	ο

8.2. Unicode

Οι κώδικες που αναφέραμε χρησιμοποιούν από 6 έως 8 bit και είναι κατάλληλοι για την αναπαράσταση περιορισμένων πλήθους χαρακτήρων. Για την αναπαράσταση αλφαβήτων διαφορετικών γλωσσών χρησιμοποιούνται άλλοι κώδικες (π.χ. ο ΕΛΟΤ 928 για το Ελληνικό αλφάβητο). Έγγραφα που περιέχουν πληροφορίες και δεδομένα από διαφορετικά αλφάβητα (διεθνείς συμφωνίες, διακηρύξεις, συμβάσεις μεταξύ κρατών κλπ) καθώς και έγγραφα γλωσσών με ιδιογράμματα (Ιαπωνικά, Κινέζικα) παρουσιάζουν πρόβλημα κατά τη κωδικοποίηση. Ο κώδικας Unicode χρησιμοποιεί 16 bit (65536 χαρακτήρες) και παρέχει την δυνατότητα κωδικοποίησης πολυγλωσσικού κειμένου.

Υποστηρίζει αριθμούς, σύμβολα, σημεία στίξης και ένα μεγάλο σύνολο από γραφές (Latin, Greek, Cyrillic, Armenian, Hebrew, Arabic, Devanagari, Bengali, Gurmukhi, Gujarati, Oriya, Tamil, Telugu, Kannada, Malayalam, Thai, Lao, Georgian, Tibetan, Japanese Kana, και ένα σύνολο Κινεζικών/Ιαπωνικών/Κορεάτικων ιδιογραμμάτων στην έκδοση 2.0).

	1F8	1F9	1FA	1FB	1FC	1FD	1FE	1FF
0	Ǻ 1F80	ǻ 1F81	Ǽ 1FA0	Ǿ 1FB0	˘ 1FC0	ĩ 1FD0	ũ 1FE0	
1	Ǻ 1F81	ǻ 1F82	Ǽ 1FA1	Ǿ 1FB1	˘ 1FC1	ĩ 1FD1	ũ 1FE1	
2	Ǻ 1F82	ǻ 1F83	Ǽ 1FA2	Ǿ 1FB2	˘ 1FC2	ĩ 1FD2	ũ 1FE2	ǿ 1FF2
3	Ǻ 1F83	ǻ 1F84	Ǽ 1FA3	Ǿ 1FB3	˘ 1FC3	ĩ 1FD3	ũ 1FE3	ǿ 1FF3
4	Ǻ 1F84	ǻ 1F85	Ǽ 1FA4	Ǿ 1FB4	˘ 1FC4		ř 1FE4	ǿ 1FF4
5	Ǻ 1F85	ǻ 1F86	Ǽ 1FA5				ř 1FE5	
6	Ǻ 1F86	ǻ 1F87	Ǽ 1FA6	Ǿ 1FB6	˘ 1FC6	ĩ 1FD6	ũ 1FE6	ǿ 1FF6
7	Ǻ 1F87	ǻ 1F88	Ǽ 1FA7	Ǿ 1FB7	˘ 1FC7	ĩ 1FD7	ũ 1FE7	ǿ 1FF7
8	Ǻ 1F88	ǻ 1F89	Ǽ 1FA8	Ǿ 1FB8	˘ 1FC8	ĩ 1FD8	ũ 1FE8	ǿ 1FF8
9	Ǻ 1F89	ǻ 1F8A	Ǽ 1FA9	Ǿ 1FB9	˘ 1FC9	ĩ 1FD9	ũ 1FE9	ǿ 1FF9
A	Ǻ 1F8A	ǻ 1F8B	Ǽ 1FAA	Ǿ 1FBA	˘ 1FCA	ĩ 1FDA	ũ 1FEA	ǿ 1FFA
B	Ǻ 1F8B	ǻ 1F8C	Ǽ 1FAB	Ǿ 1FBB	˘ 1FCB	ĩ 1FDB	ũ 1FEB	ǿ 1FFB
C	Ǻ 1F8C	ǻ 1F8D	Ǽ 1FAC	Ǿ 1FBC	˘ 1FCC		ř 1FEC	ǿ 1FFC
D	Ǻ 1F8D	ǻ 1F8E	Ǽ 1FAD	Ǿ 1FBD	˘ 1FCD	ĩ 1FDD	ũ 1FED	ǿ 1FFD
E	Ǻ 1F8E	ǻ 1F8F	Ǽ 1FAE	Ǿ 1FBE	˘ 1FCE	ĩ 1FDE	ũ 1FEE	ǿ 1FFE
F	Ǻ 1F8F	ǻ 1F90	Ǽ 1FAF	Ǿ 1FBF	˘ 1FCF	ĩ 1FDF	ũ 1FEF	

Δεσμεύει 6400 χαρακτήρες για δική του χρήση ενώ υπάρχουν ακόμα 18000 αχρησιμοποίητοι κωδικοί για μελλοντική υποστήριξη και άλλων γραφών.

Οι 128 πρώτοι χαρακτήρες (U+0000 έως U+007F) προέρχονται από το ευρύτατα χρησιμοποιούμενο Λατινικό αλφάβητο και ταυτίζονται με τον κώδικα ASCII, ακολουθεί το Ελληνικό αλφάβητο (Greek, U+0370 έως U+03FF) και οι υπόλοιπες γραφές. Ο κώδικας είναι συμβατός με τον διεθνώς τυποποιημένο κώδικα ISO/IEC 10646-1 γνωστό ως UCS (Universal Character Set). Ο UCS είναι κώδικας των 32 bit. Ο πίνακας παρουσιάζει μερικούς από τους χαρακτήρες του Ελληνικού πολυτονικού συστήματος (Greek Extended, U+1F00 έως U+1FFF) που υποστηρίζει ο κώδικας Unicode.

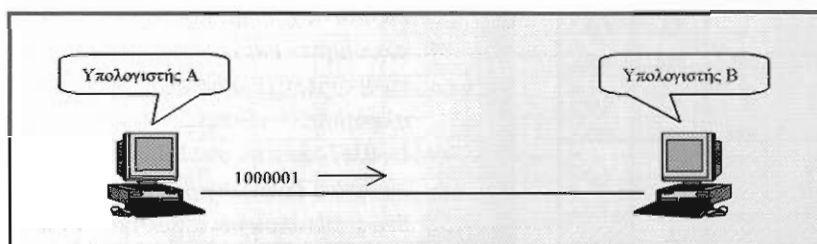
2.6. Άλλοι Κώδικες

Οι κώδικες που αναφέραμε στο τρέχον κεφάλαιο είναι οι πλέον διαδεδομένοι και οι πιο κατάλληλοι για επικοινωνία και μεταφορά δεδομένων. Φυσικά υπάρχουν και άλλοι κώδικες με πιο εξειδικευμένη χρήση καθώς και κώδικες που δε χρησιμοποιούνται πια.

Ο πίνακας παρουσιάζει μερικούς από τους χαρακτήρες του Ελληνικού πολυτονικού συστήματος που υποστηρίζει ο κώδικας Unicode

3. Στοιχεία σημάτων

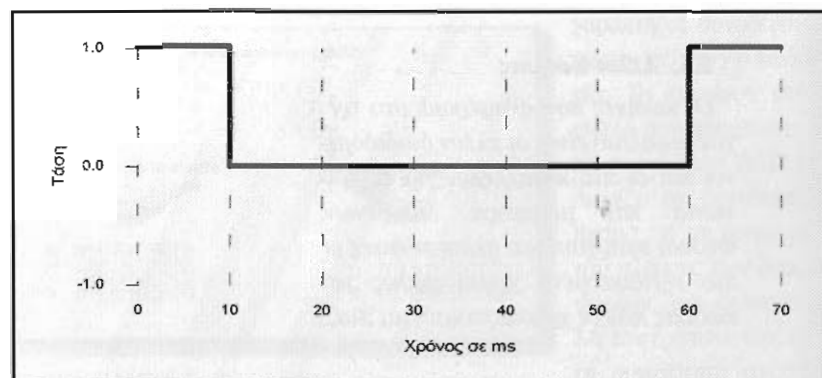
Ας υποθέσουμε, ότι έχουμε δύο υπολογιστές συνδεδεμένους με ένα καλώδιο, όπως δείχνει η εικόνα που ακολουθεί, και ότι θέλουμε να μεταφέρουμε από τον Α στο Β την ακολουθία δυαδικών ψηφίων 1000001 που αντιστοιχεί στο χαρακτήρα Α στον κώδικα ASCII.



Επίσης ας υποθέσουμε ότι ο υπολογιστής Α χρησιμοποιεί τάση +1 Volt για την αναπαράσταση του δυαδικού 1 και 0 Volt για την αναπαράσταση του δυαδικού 0. Ο χρόνος μετάδοσης κάθε δυαδικού ψηφίου είναι 10 ms. Το επόμενο σχήμα απεικονίζει το σήμα που θα μεταφερθεί στο καλώδιο ως συνάρτηση του χρόνου.

Αναλογικό σήμα ►►

Ψηφιακό σήμα ▼



Παρατηρούμε πως το συγκεκριμένο σήμα παίρνει μόνο δύο διακεκριμένες τιμές (0 Volt ή 1 Volt). Ένα τέτοιο σήμα καλείται ψηφιακό σήμα. Γενικότερα, ψηφιακό είναι το σήμα το οποίο παίρνει μόνο διακεκριμένες τιμές και παρουσιάζει ασυνεχείς ποσότητες.

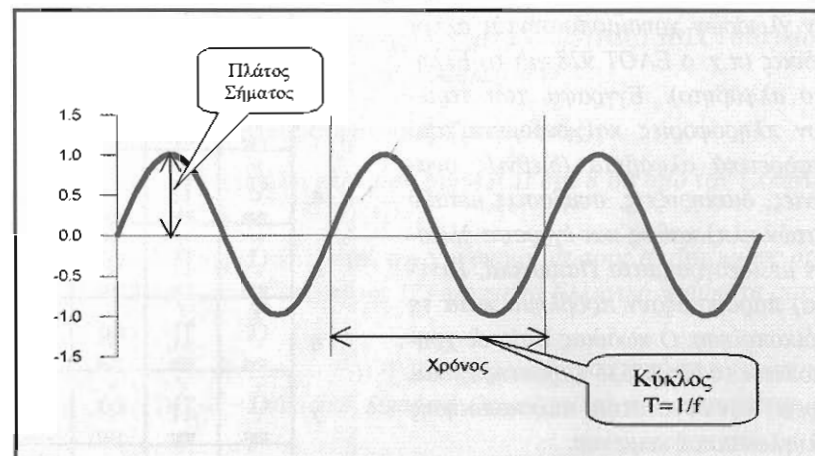
Μια άλλη κατηγορία σημάτων είναι τα αναλογικά σήματα τα οποία παρουσιάζουν συνεχείς ποσότητες και

μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή σε ένα διάστημα ελαχίστου - μεγίστου $[m, M]$.

►► Σήματα με διαφορά φάσης $3\pi/2$

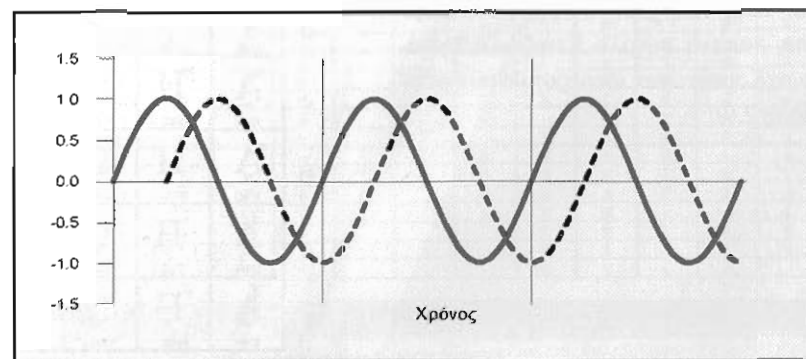
Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός σήματος είναι:

- Η συχνότητα (frequency), που εκφράζει τον αριθμό των επαναλήψεων του σήματος στη μονάδα του χρόνου. Μονάδα μέτρησης είναι ο κύκλος ανά δευτερόλεπτο (Hertz). Ένα σήμα περιόδου T έχει συχνότητα $f=1/T$.



- Το πλάτος (amplitude), που εκφράζει τη μέγιστη τιμή ενός σήματος μετρούμενη από τη μέση τιμή του.

- Η φάση (phase), που εκφράζει την προπορεία ή την υστέρηση ενός σήματος ως προς σήμα αναφοράς ίδιας συχνότητας του οποίου ο κύκλος ξεκινά τη χρονική στιγμή $t=0$. Τα σήματα του κάτωθι σχήματος παρουσιάζουν διαφορά φάσης $3\pi/2$ ή ισοδύναμα 270° .



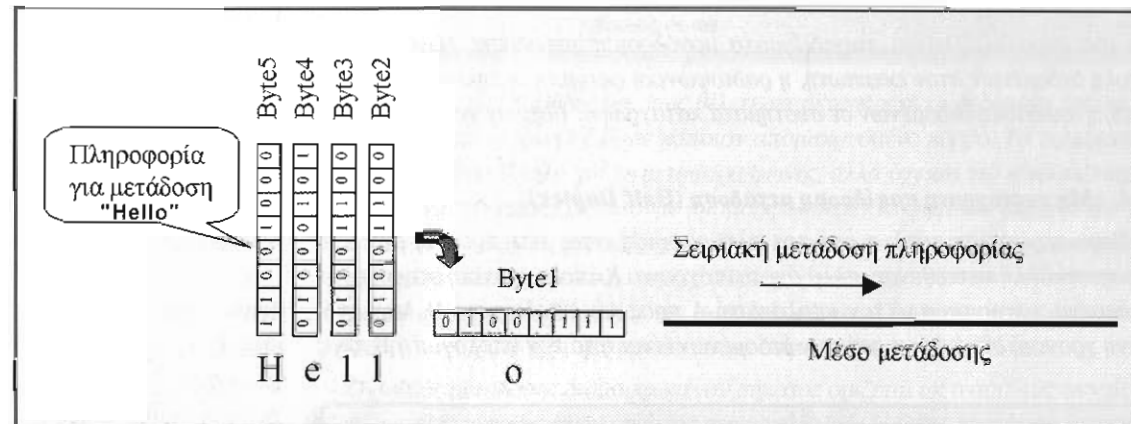
4. Μετάδοση

Στο πρόσφατο παρελθόν ο άνθρωπος χρησιμοποίησε ηχητικά σήματα, σήματα καπνού καθώς και οπτικά σήματα για την μεταφορά πληροφορίας. Ο φορέας της πληροφορίας ήταν η ατμόσφαιρα και ο όγκος της μεταδιδόμενης πληροφορίας ήταν μικρός. Ο άνθρωπος είχε το ρόλο του πομπό και του δέκτη. Ο συγχρονισμός του δέκτη με τον πομπό ήταν κάτι αυτονόητο. Στα ηχητικά σήματα πρέπει ο δέκτης να αναγνωρίζει το ηχητικό σήμα από τους υπόλοιπους ήχους (που αποτελούν θόρυβο). Στα οπτικά σήματα πρέπει να παρατηρεί την κατεύθυνση από την οποία προέρχονται. Σε κάθε περίπτωση ο δέκτης πρέπει να είναι συντονισμένος με τον πομπό.

Σ' ένα επικοινωνιακό μοντέλο, όπως αυτό που προαναφέρθηκε, η μεταδιδόμενη πληροφορία αρχικά κωδικοποιείται με τη χρήση κάποιου κώδικα. Η παραγόμενη ακολουθία δυαδικών ψηφίων θα διαμορφωθεί από τον πομπό σε σήμα το οποίο θα μεταφερθεί στο μέσο μετάδοσης. Ο δέκτης θα πρέπει να παρακολουθεί το μέσο μετάδοσης για να αναγνωρίσει και να αποδιαμορφώσει τη μεταδιδόμενη πληροφορία. Διαφορετικές τεχνικές μετάδοσης προκύπτουν ανάλογα με τον τρόπο διαχείρισης της μεταφερόμενης πληροφορίας, το είδος του μέσου μεταφοράς, και τον τρόπο συντονισμού του δέκτη με τον πομπό.

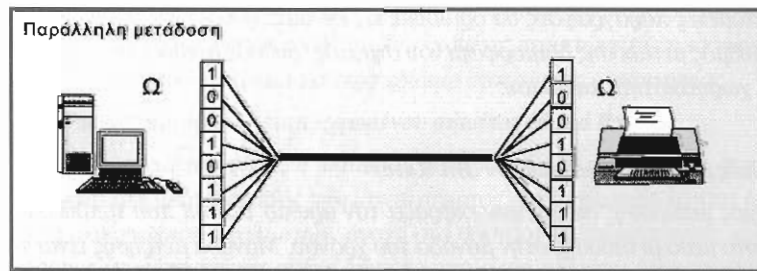
4.1. Σειριακή μετάδοση

Η σειριακή μετάδοση είναι μια ευρύτατα χρησιμοποιούμενη τεχνική, κατά την οποία τα προς μετάδοση δυαδικά ψηφία τοποθετούνται το ένα μετά το άλλο στο ίδιο φυσικό μέσο μετάδοσης. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει τη λειτουργία της σειριακής μετάδοσης. Το πιο αντιπροσωπευτικό παράδειγμα σειριακής μετάδοσης είναι η διασύνδεση V.24/V.28 ή RS-232. Στην περίπτωση που το λιγότερο σημαντικό ψηφίο εκπέμπεται πρώτο έχουμε σειριακή μετάδοση LSB (Least Significant Bit), που είναι και η πιο συνηθισμένη. Αν το περισσότερο σημαντικό ψηφίο εκπέμπεται πρώτο, τότε έχουμε σειριακή μετάδοση MSB (Most Significant Bit).



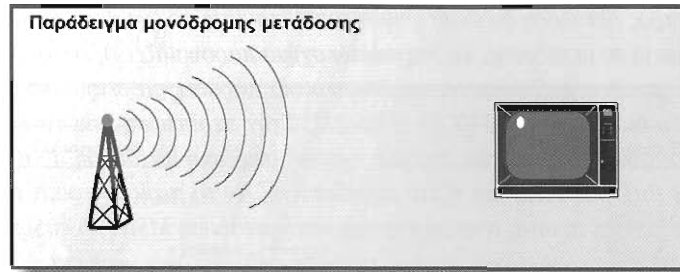
4.2. Παράλληλη μετάδοση

Εναλλακτική της σειριακής μετάδοσης είναι η παράλληλη. Αντί να στέλνουμε ένα δυαδικό ψηφίο κάθε φορά στο μέσο μετάδοσης, μεταφέρουμε ταυτόχρονα όλα τα δυαδικά ψηφία ενός χαρακτήρα (συνήθως 8) σε αντίστοιχες γραμμές μεταφοράς. Προφανώς η παράλληλη μετάδοση είναι ταχύτερη της σειριακής αλλά χρειαζόμαστε τόσες γραμμές όσες και τα δυαδικά ψηφία ενός χαρακτήρα. Η απαίτηση των πολλών γραμμών περιορίζει την παράλληλη μετάδοση σε μικρές αποστάσεις. Η πιο αντιπροσωπευτική παράλληλη διασύνδεση είναι του εκτυπωτή με το σταθμό εργασίας.



4.3. Μονόδρομη μετάδοση (Simplex)

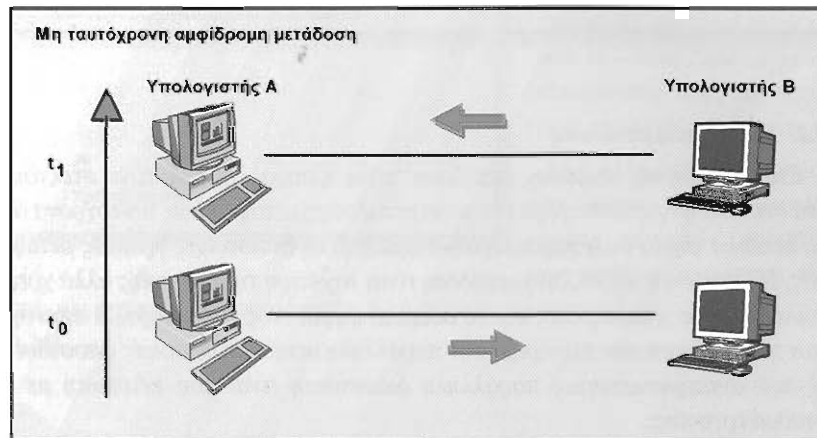
Στη μονόδρομη μετάδοση η πληροφορία μεταφέρεται μόνο προς τη μία κατεύθυνση. Η ροή των δεδομένων είναι από τον πομπό προς το δέκτη και δεν μπορεί



να αντιστραφεί. Τυπικά παραδείγματα μονόδρομης μετάδοσης είναι η αποστολή δεδομένων στον εκτυπωτή, η ραδιοφωνική εκπομπή, η τηλεοπτική εκπομπή, η αποστολή δεδομένων σε συστήματα καταγραφής (logging system) κλπ.

4.4. Μη ταυτόχρονη αμφίδρομη μετάδοση (Half Duplex)

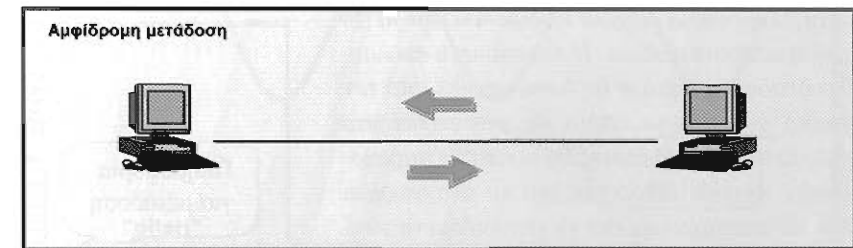
Στην περίπτωση αυτή, η ροή της πληροφορίας είναι είτε προς τη μία είτε προς την άλλη κατεύθυνση, αλλά όχι ταυτόχρονα. Κάποια χρονική στιγμή t_0 τα δεδομένα κινούνται από τον υπολογιστή A προς τον υπολογιστή B. Μια επόμενη χρονική στιγμή t_1 η ροή των δεδομένων είναι από τον υπολογιστή B προς



τον A. Η μη ταυτόχρονη αμφίδρομη μετάδοση είναι ευρύτατα χρησιμοποιούμενη. Ο χρόνος καθυστέρησης για την αλλαγή της κατεύθυνσης ροής των δεδομένων ονομάζεται turnaround time.

4.5. Αμφίδρομη μετάδοση (Full Duplex)

Σ' αυτή τη μορφή της επικοινωνίας η πληροφορία κινείται ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις. Δηλαδή, την ίδια χρονική στιγμή ο σταθμός λαμβάνει δεδομένα και συγχρόνως εκπέμπει δεδομένα. Σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχουν διαφορετικά κυκλώματα λήψης και εκπομπής. Σε άλλες περιπτώσεις



δημιουργούνται λογικά κανάλια (για λήψη και εκπομπή) στο ίδιο μέσο μετάδοσης. Η αμφίδρομη μετάδοση είναι ευρύτατα διαδεδομένη στην επικοινωνία υπολογιστικών συστημάτων. Φυσικά, στην αμφίδρομη μετάδοση δεν υπάρχει χρονική καθυστέρηση για αλλαγή της κατεύθυνσης ροής των δεδομένων.

5. Ρυθμός μετάδοσης

Στις επόμενες παραγράφους θα ορίσουμε τις έννοιες: ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, ρυθμός μετάδοσης διαμορφωμένου σήματος, ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας και χωρητικότητα καναλιού.

5.1. Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (Bit Rate)

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων εκφράζει τον αριθμό των bit που τοποθετεί ο πομπός στο μέσο μετάδοσης στην μονάδα του χρόνου. Μονάδα μέτρησης είναι τα bps (Bits Per Second). Τυπικές τιμές ρυθμού μετάδοσης είναι 2400 bps, 9600 bps,

14400 bps, 28800 bps, 33600 bps, 2 Mbps, 10 Mbps, 34 Mbps, 155 Mbps. Στην περίπτωση της σειριακής μετάδοσης ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$S = (1/T) \log_2 M \text{ όπου:}$$

T : η χρονική διάρκεια ενός αποσπελλόμενου δυαδικού ψηφίου σε sec

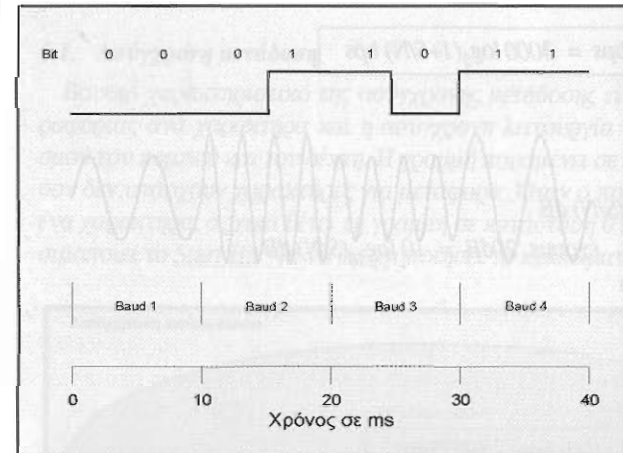
M : ο αριθμός των διαφορετικών καταστάσεων του σήματος

S : ο ρυθμός μετάδοσης σε bps

Μερικές φορές στη βιβλιογραφία, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων αναφέρεται ως ταχύτητα μετάδοσης (transmission speed). Όμως, η χρήση του όρου ταχύτητα μετάδοσης αποφεύγεται για να μη δημιουργείται σύγχυση με την ταχύτητα διάδοσης (propagation speed), η οποία αναφέρεται στην ταχύτητα διάδοσης του σήματος στο

μέσο μετάδοσης. Η ταχύτητα διάδοσης

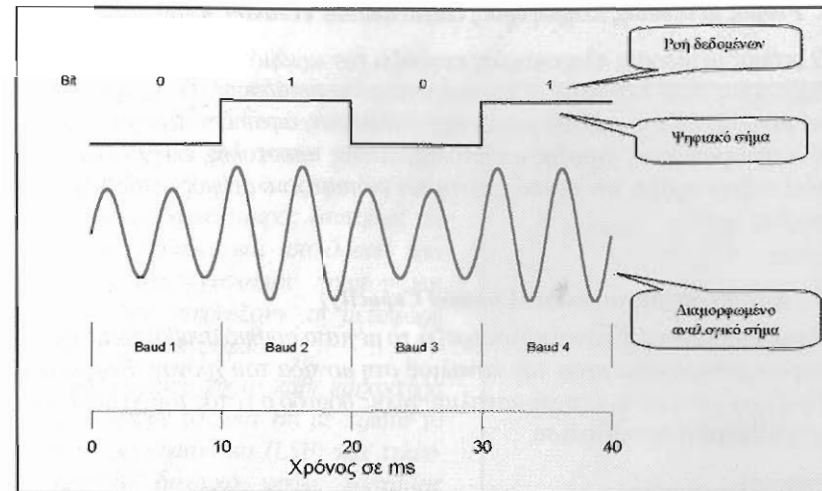
μετρείται σε m/sec και είναι κλάσμα της ταχύτητας διάδοσης του φωτός (3×10^8 m/sec). Τυπική τιμή της ταχύτητας διάδοσης είναι 2×10^8 m/sec για χαλκίνα καλώδια.



Η ταχύτητα διάδοσης επηρεάζει το round trip delay (ο χρόνος από την έναρξη της μετάδοσης μέχρι την λήψη σήματος επιβεβαίωσης από τον παραλήπτη), που αν και αρχικά φαίνεται αμελητέα ποσότητα, σε ορισμένες περιπτώσεις (επικοινωνία απομακρυσμένων σταθμών) είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στοιχείο της επικοινωνίας.

5.2. Ρυθμός μετάδοσης διαμορφωμένου σήματος (Baud Rate)

Όπως έχουμε αναφέρει, η μετάδοση δεδομένων από έναν κόμβο σε έναν άλλο ανάγεται στη μετάδοση ενός ψηφιακού σήματος. Για τεχνικούς λόγους (συγχρονισμός, αναγνώριση σφαλμάτων, ανοχή στο θόρυβο) τις περισσότερες φορές μεταδίδουμε ένα μετασχηματισμένο σήμα το οποίο και καλείται διαμορφωμένο σήμα.



◀ Bit rate ίσο με Baud rate

Φανταστείτε, για παράδειγμα, πως θέλετε να μεταφέρετε τα δεδομένα σας με τη βοήθεια γραμμών του Ο.Τ.Ε. σε κάποιον απομακρυσμένο κόμβο. Το τηλεφωνικό δίκτυο είναι κατάλληλο για τη μεταφορά φωνής, αλλά όχι και για ψηφιακό σήμα. Η λύση είναι να κωδικοποιήσουμε (διαμορφώσουμε) το ψηφιακό σήμα σε αναλογικό, το οποίο και θα μεταφέρουμε. Στον απομακρυσμένο κόμβο το ακουστικό σήμα θα το αποκωδικοποιήσουμε (αποδιαμορφώσουμε) για την απόκτηση του αρχικού σήματος και συνεπώς και των δεδομένων. Την τεχνική και διάφορους τρόπους διαμόρφωσης σημάτων θα δούμε στην συνέχεια του βιβλίου.

Ο ρυθμός μετάδοσης διαμορφωμένου σήματος ορίζεται ως ο αριθμός των μεταβολών του διαμορφωμένου σήματος στη μονάδα του χρόνου. Η μονάδα μέτρησης είναι το Baud.

Ο ρυθμός μετάδοσης διαμορφωμένου σήματος δεν εκφράζει πάντα και το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Αν, για παράδειγμα, το διαμορφωμένο σήμα έχει τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις, τότε κάθε μεταβολή του διαμορφωμένου σήματος μπορεί να μεταφέρει δύο δυαδικά ψηφία (ρυθμός μετάδοσης δεδομένων διπλάσιος του ρυθμού μετάδοσης διαμορφωμένου σήματος). Για παράδειγμα, στο κάτω αριστερό σχήμα έχουμε το διαμορφωμένο σήμα να αλλάζει κατάσταση κάθε 10 ms. Δηλαδή, Baud rate ίσο με 100 Baud. Επίσης, ανά 10 ms μεταφέρονται δύο δυαδικά ψηφία, δηλαδή bit rate ίσο με 200 bps. Συνεπώς, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι διπλάσιος του ρυθμού μετάδοσης διαμορφωμένου σήματος.

◀◀ Bit Rate διπλάσιο του Baud Rate

5.3. Ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας (Information Transfer Rate)

Ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας εκφράζει τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων πληροφορίας που τοποθετεί ο πομπός στο μέσο μετάδοσης. Ο αριθμός αυτός είναι μικρότερος του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, αφού δεν περιέχει δυαδικά ψηφία συγχρονισμού, έναρξης αποστολής, τέλους αποστολής, ελέγχου σφαλμάτων κλπ. Στην πράξη, τον τελικό χρήστη τον ενδιαφέρει ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας.

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

Ο λόγος S/N πρέπει να μετράται στην πλευρά του δέκτη (αφού εκεί θα πρέπει να διαχωρίσουμε το σήμα από το θόρυβο). Στην πράξη χρησιμοποιούμε το ρυθμό σήματος προς θόρυβο (Signal to Noise Rate) που εκφράζεται από τον επόμενο τύπο σε dB.

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

5.4. Χωρητικότητα καναλιού (Channel Capacity)

Η χωρητικότητα του καναλιού εκφράζει το μέγιστο αριθμό συμβόλων που μπορούμε να μεταφέρουμε μέσω του καναλιού στη μονάδα του χρόνου. Εκφράζεται σε bps. Στην ιδανική περίπτωση καναλιού χωρίς θόρυβο ο τύπος του Nyquist δίνει τη χωρητικότητά του καναλιού.

$$C = 2 B \log_2 M$$

όπου

- M : ο αριθμός των διαφορετικών καταστάσεων του σήματος
- B : το εύρος ζώνης συχνοτήτων του καναλιού σε Hertz
- C : η χωρητικότητα του καναλιού σε bps

Αν υποθέσουμε πως έχουμε κανάλι χωρίς θόρυβο με εύρος ζώνης 3000 Hz (τυπική τιμή για τηλεφωνικές γραμμές) και με 8 διαφορετικές καταστάσεις σήματος, τότε η χωρητικότητά του είναι:

$$C = 2 \times 3000 \times \log_2 8 = 18000 \text{ bps}$$

Φυσικά η τιμή που μας δίνει ο τύπος είναι η μέγιστη θεωρητική, μια και στην πράξη πάντοτε έχουμε θόρυβο αλλά και απώλειες λόγω κατασκευαστικών ατελειών. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τύποι που λαμβάνουν υπόψη τους και το θόρυβο στο μέσο μετάδοσης. Ο τύπος των Shannon-Hartley εκφράζει τη χωρητικότητα καναλιού συναρτήσει του λόγου S/N , όπου S η ισχύς του σήματος σε watt και N η ισχύς του θορύβου (σε watt) στο κανάλι μετάδοσης.

Ας υποθέσουμε πως έχουμε κανάλι με εύρος ζώνης 3000 Hz και SNR 20 dB. Η μέγιστη θεωρητική χωρητικότητα του από τον τύπο των Shannon-Hartley είναι:

$$C = B \log_2(1+S/N) \text{ bps} = 3000 \log_2(1+S/N) \text{ bps}$$

όμως:

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

για $SNR=20\text{dB}$ έχουμε $20\text{dB} = 10 \log_{10}(S/N) \text{ dB}$
οπότε $S/N = 100$

και συνεπώς:

$$C = 3000 \log_2(1+100) \text{ bps} \sim 19975 \text{ bps}$$

6. Συγχρονισμός

Στη διαδικασία μεταφοράς δεδομένων εμπλέκονται δύο μέρη. Η πλευρά που εκπέμπει τα δεδομένα και η πλευρά που λαμβάνει τα δεδομένα. Για να είναι επιτυχής η μεταφορά της πληροφορίας, πρέπει να υπάρχει συνεργασία μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Αν, για παράδειγμα, ο πομπός αποστέλλει ένα δυαδικό ψηφίο κάθε 10 ms, αντίστοιχα ο δέκτης θα πρέπει να ανιχνεύει το μέσο μετάδοσης κάθε 10 ms και κατά προτίμηση στο μέσο της διάρκειας εκπομπής ενός bit. Μικρές αποκλίσεις στα συστήματα χρονισμού του πομπού και του δέκτη συσσωρεύονται και μπορούν να οδηγήσουν σε λήψη εσφαλμένης πληροφορίας ή και χάσιμο 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.

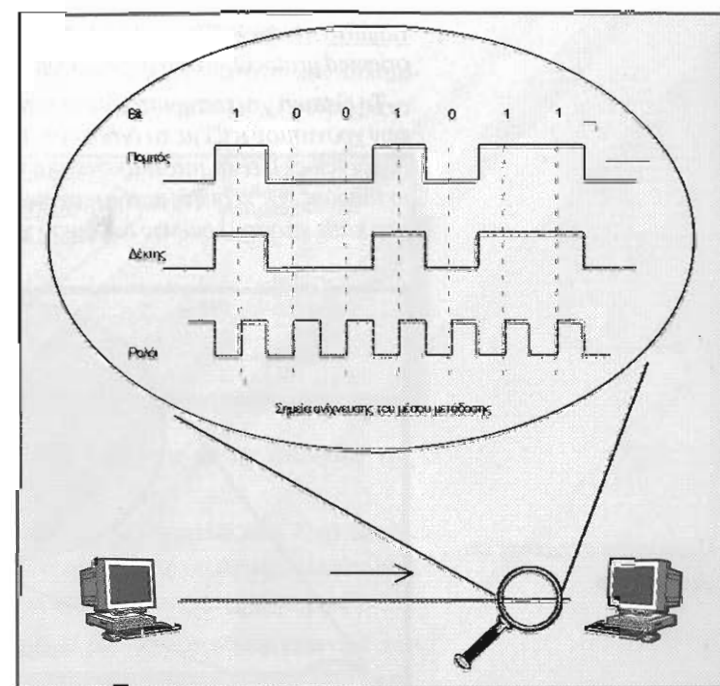
6.1. Ασύγχρονη μετάδοση

Βασικό χαρακτηριστικό της ασύγχρονης μετάδοσης είναι η μεταφορά της πληροφορίας ανά χαρακτήρα και η ασύγχρονη λειτουργία των κυκλωμάτων χρονισμού του πομπού και του δέκτη. Η γραμμή παραμένει σε λογική κατάσταση 1 εφόσον δεν υπάρχουν χαρακτήρες για μεταφορά. Όταν ο πομπός θέλει να μεταδώσει ένα χαρακτήρα, αρχικά θέτει τη γραμμή σε κατάσταση 0 (Start Bit). Ο δέκτης χρησιμοποιεί το Start Bit για να ενεργοποιήσει τα κυκλώματα χρονισμού του και στη

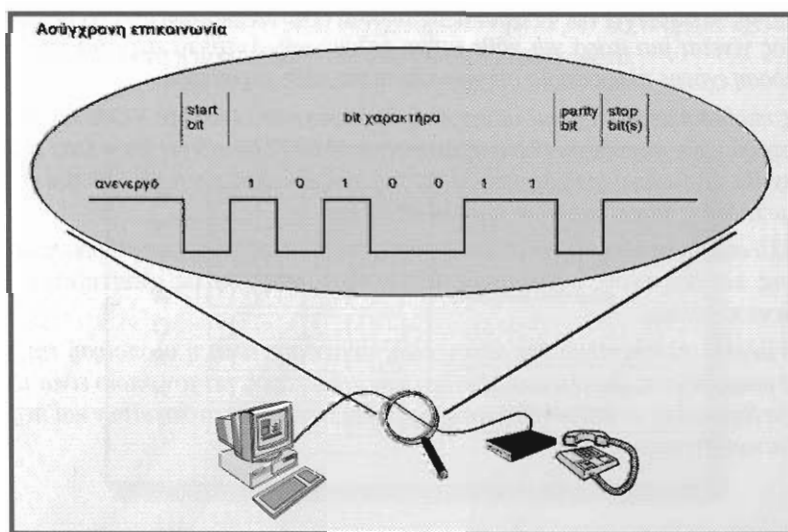
συνέχεια ανάλογα με την ταχύτητα της επικοινωνίας διαβάσει ένα προς ένα τα υπόλοιπα δυαδικά ψηφία του χαρακτήρα. Επειδή ο αριθμός των bit ενός χαρακτήρα είναι μικρός (συνήθως 8), πιθανές ατέλειες και αποκλίσεις των συστημάτων χρονισμού πομπού και δέκτη δεν επηρεάζουν τη μεταφορά των δυαδικών ψηφίων.

Τα δυαδικά ψηφία κάθε χαρακτήρα ακολουθούν το Start Bit με πρώτο το λιγότερο σημαντικό (LSB) και τελευταίο το δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας (parity), αν υπάρχει. Μετά τη μετάδοση του χαρακτήρα η γραμμή επανέρχεται σε λογική κατάσταση 1 για διάστημα τουλάχιστον ενός bit. Το δυαδικό αυτό ψηφίο καλείται Stop Bit. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να έχουμε 1,5 ή 2 Stop Bit. Ο δέκτης μετά τη λήψη του Stop Bit περνά σε κατάσταση ανίχνευσης του μέσου μετάδοσης μέχρι τη νέα λήψη ενός Start Bit και την έναρξη ενός κύκλου λήψης νέου χαρακτήρα.

Επειδή κάθε χαρακτήρας οριοθετείται με τη χρήση Start και Stop Bit η ασύγχρονη μετάδοση ονομάζεται και start/stop μετάδοση. Συνήθως για να προσδιορίσουμε τα χαρακτηριστικά της ασύγχρονης μετάδοσης, αναφέρουμε το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων ανά χαρακτήρα, την ύπαρξη ή μη δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας και τον αριθμό των Stop Bit (π.χ., γράφοντας "28800 bps 8N1" εννοούμε ασύγχρονη μετάδοση στα 28800 bps με 8 δυαδικά ψηφία ανά χαρακτήρα, χωρίς δυαδικό ισοτιμίας (None Parity) και με ένα Stop Bit). Η ασύγχρονη μετάδοση είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος διασύνδεσης τερματικών, modem και άλλων συσκευών. Ακόμα, λόγω της εύκολης υλοποίησης με συσκευές χαμηλού κόστους έχει καθιερωθεί ως κύρια μέθοδος επικοινωνίας στην κατηγορία των προσωπικών υπολογιστών (PC).



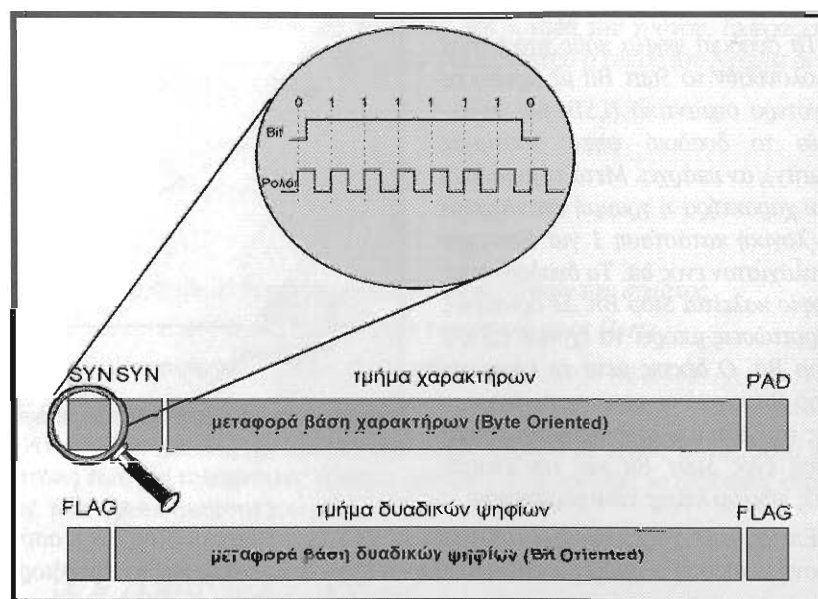
Συγχρονισμός πομπού και δέκτη



6.2. Σύγχρονη μετάδοση

Στη σύγχρονη μετάδοση η μεταφορά της πληροφορίας είναι οργανωμένη σε τιμήματα (block). Τα τιμήματα μπορεί να αποτελούνται από χαρακτήρες (Byte oriented protocol) ή από δυαδικά ψηφία (Bit oriented protocol).

Το βασικό χαρακτηριστικό της σύγχρονης μετάδοσης είναι η αποστολή σημάτων χρονισμού μαζί με τα δεδομένα. Το σήμα χρονισμού, το οποίο ονομάζεται και ρολόι (clock), είναι μια τετραγωνική κυματομορφή με συχνότητα ίση με το ρυθμό μετάδοσης. Οι κορυφές των ανερχόμενων ακμών συμπίπτουν χρονικά με το μέσο του κάθε αποστέλλομένου δυαδικού ψηφίου.



Παράδειγμα σύγχρονης επικοινωνίας. ►

Το σήμα χρονισμού για τα δεδομένα αποστολής είναι ανεξάρτητο από το σήμα χρονισμού των δεδομένων λήψης. Το σήμα χρονισμού των δεδομένων λήψης εξάγεται από τα λαμβανόμενα δεδομένα ή υπάρχει τοπικό ρολόι που συγχρονίζεται με το ρολόι των δεδομένων αποστολής.

Το σήμα χρονισμού είναι απαραίτητο για τη σωστή αναγνώριση των bit κατά τη μετάδοση. Όμως στη σύγχρονη μετάδοση, στην οποία δεν υπάρχουν οριοθέ-

τες (start/stop bit όπως στην ασύγχρονη μετάδοση) μεταξύ των χαρακτήρων των τιμημάτων, υπάρχει ανάγκη αναγνώρισης της αρχής ενός τιμήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των χαρακτήρων SYN και PAD στην αρχή και στο τέλος ενός τιμήματος χαρακτήρων αντίστοιχα. Ο δέκτης με την αναγνώριση δύο διαδοχικών χαρακτήρων SYN (0x32 ή 0x16 για κώδικες 7 δυαδικών ψηφίων) αναγνωρίζει την αρχή ενός τιμήματος χαρακτήρων και λαμβάνει τους χαρακτήρες που ακολουθούν μέχρι τη λήψη ενός χαρακτήρα PAD (0xf1 ή 0x7f για κώδικες 7 δυαδικών ψηφίων). Μετά τη λήψη του PAD ο δέκτης ανιχνεύει το κανάλι και περιμένει και πάλι το χαρακτήρα SYN για ένα νέο κύκλο μεταφοράς τιμήματος χαρακτήρων.

Στην περίπτωση που το τιμήμα αποτελείται από δυαδικά ψηφία, τότε η αρχή και το τέλος του οριοθετείται από συγκεκριμένη ακολουθία δυαδικών ψηφίων που ονομάζεται σημαία (FLAG). Η σημαία αποτελείται από τα 8 ακόλουθα δυαδικά ψηφία: 01111110 (0x7e).

Η σύγχρονη μετάδοση χρησιμοποιείται περισσότερο σε μεγάλα υπολογιστικά συστήματα, κυρίως λόγω του αυξημένου κόστους υλοποίησης. Στην επόμενη ενότητα θα αναπτύξουμε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της σύγχρονης μετάδοσης.

6.3. Σύγκριση σύγχρονης και ασύγχρονης μετάδοσης

Από την ανάπτυξη της λειτουργίας της ασύγχρονης και σύγχρονης μετάδοσης είναι προφανές πως η σύγχρονη μετάδοση πλεονεκτεί σε ρυθμό μεταφοράς πληροφορίας. Η απόδοση της σύγχρονης μετάδοσης είναι υψηλότερη αφού ο συγχρονισμός γίνεται μια φορά για κάθε τιμήμα δεδομένων. Αντίθετα στην ασύγχρονη μετάδοση έχουμε πληροφορία συγχρονισμού για κάθε χαρακτήρα.

Ας υποθέσουμε πως έχουμε ασύγχρονη μετάδοση στα 14400 bps 8 Odd 1. Για τη μεταφορά κάθε χαρακτήρα (7 bit) απαιτούνται 10 bit (7 bit + Start Bit + Stop Bit + Parity Bit). Δηλαδή ο ρυθμός μεταφοράς της πληροφορίας είναι το 70% του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων, δηλαδή 10080 bps.

Άλλο σημείο στο οποίο υπερτερεί η σύγχρονη μετάδοση είναι σε μεθόδους διάγνωσης και διόρθωσης σφαλμάτων. Τις τεχνικές αυτές θα τις αναπτύξουμε σε επόμενο κεφάλαιο.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της ασύγχρονης μετάδοσης είναι η υλοποίησή της 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.

7. Αναγνώριση και διόρθωση σφαλμάτων

Ο πιο συνηθισμένος και διαδεδομένος τρόπος για την επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων είναι το τηλέφωνο. Πολλές φορές θα σας έτυχε, κυρίως σε μακρινές κλήσεις, η ποιότητα της επικοινωνίας να μην είναι καλή. Η παραμόρφωση της φωνής αλλά και το χάσιμο συλλαβών ή και λέξεων μας φέρνουν σε δύσκολη θέση. Τις περισσότερες φορές μπορούμε να καταλάβουμε από τα συμφραζόμενα τις λέξεις που έχουν χαθεί και να συνεχίσουμε τη συνομιλία. Αντίθετα με την τηλεφωνική επικοινωνία, στην επικοινωνία δεδομένων, τα σφάλματα και το χάσιμο της πληροφορίας οδηγούν τη μετάδοση σε ναυάγιο. Για το λόγο αυτόν έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων που θα παρουσιάσουμε στη συνέχεια. Οι πιο συνηθισμένες αιτίες προβλημάτων που οδηγούν σε λήψη δεδομένων με σφάλματα ή σε απώλεια πληροφορίας είναι :

- Κανένα φυσικό μέσο μετάδοσης δεν είναι τέλειο (αυτό σημαίνει ότι το μεταδιδόμενο σήμα με τον έναν ή τον άλλο τρόπο αλλοιώνεται)
- Το σήμα εξασθενεί καθώς περνά από το φυσικό μέσο μετάδοσης
- Η ύπαρξη θορύβου στο μέσο μετάδοσης αλλοιώνει το σήμα
- Τα συνηθισμένα μέσα μετάδοσης (τηλεφωνικές γραμμές) είναι σχεδιασμένα για μεταφορά φωνής και όχι δεδομένων

Το πρώτο βήμα για επικοινωνία χωρίς λάθη (error free communication) είναι η ανίχνευση των σφαλμάτων. Στη συνέχεια, ανάλογα με την τεχνική που έχει επιλεγεί, τα δεδομένα επανεκπέμπονται ή διορθώνονται αυτόματα.

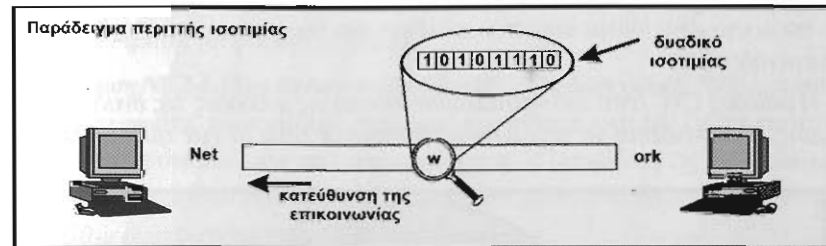
N	1	0	0	1	1	1	0	1
E	1	0	0	0	1	0	1	0
T	1	0	1	0	1	0	0	0
W	1	0	1	0	1	1	1	0
O	1	0	0	1	1	1	1	0
R	1	0	1	0	0	1	0	0
K	1	0	0	1	0	1	1	1
	0	1	0	0	0	1	1	1

Διαδικά Ισοτιμίας

Χαρακτήρας ελέγχου της ομάδας

7.1. Ανίχνευση σφαλμάτων με την τεχνική της δυαδικής ισοτιμίας

Η μέθοδος της δυαδικής ισοτιμίας (parity bit) είναι η απλούστερη και παλαιότερη από τις τεχνικές ανίχνευσης σφαλμάτων που θα εξετάσουμε. Ο ρυθμός ανα-



γνώρισης σφαλμάτων δεν είναι πολύ υψηλός. Αντίθετα με τις επιδόσεις της, εφαρμόζεται ευρύτατα κυρίως λόγω της απλότητάς της.

Στην τεχνική αυτή κάθε χαρακτήρας (ας υποθέσουμε ότι χρειάζεται 7 bit) μεταδίδεται από τον πομπό μαζί με ένα ακόμα bit που ονομάζεται bit δυαδικής ισοτιμίας. Η τιμή του εξαρτάται από το πλήθος των δυαδικών ψηφίων που έχουν τιμή 1.

Στην περίπτωση της περιττής ισοτιμίας (odd parity) ο αριθμός των bit που εκπέμπεται (χαρακτήρας + parity bit) και έχουν τιμή 1 είναι περιττός. Αντίθετα, στην άρτια ισοτιμία (even parity) ο αριθμός των bit που εκπέμπεται (χαρακτήρας + parity bit) και έχουν τιμή 1 είναι άρτιος. Αδύνατο σημείο της τεχνικής αυτής είναι η μη αναγνώριση άρτιου αριθμού σφαλμάτων. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η απλότητα του αλγορίθμου υλοποίησής της.

7.2. Δισδιάστατη τεχνική ελέγχου ισοτιμίας

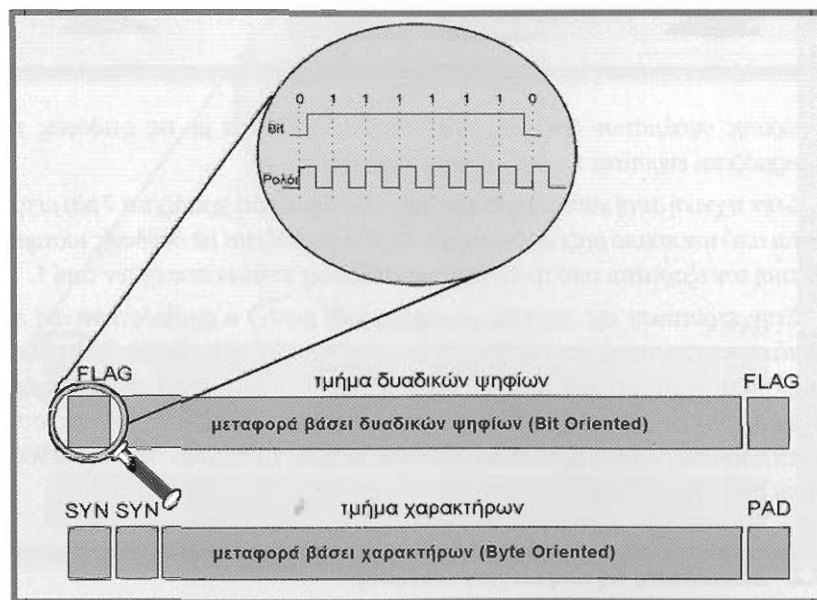
Στην τεχνική αυτή οι χαρακτήρες οργανώνονται σε ομάδες (blocks). Η μετάδοση κάθε χαρακτήρα της ομάδας γίνεται με τη μέθοδο της δυαδικής ισοτιμίας. Μετά την αποστολή της ομάδας αποστέλλεται ένας χαρακτήρας που αποτελείται από δυαδικά ισοτιμίας. Το πρώτο δυαδικό ισοτιμίας προέρχεται από τα πρώτα bit των χαρακτήρων της ομάδας. Το δεύτερο δυαδικό ισοτιμίας προέρχεται από τα δεύτερα bit των χαρακτήρων της ομάδας, κλπ. Η μέθοδος αυξάνει δραματικά την πιθανότητα ανίχνευσης σφάλματος.

Δισδιάστατος έλεγχος ισοτιμίας

7.3. Μέθοδος κυκλικού πλεονασματικού ελέγχου (Cyclic Redundancy Check)

Στη μέθοδο αυτή η πληροφορία προς μετάδοση οργανώνεται σε τμήματα των n δυαδικών ψηφίων (block). Τα n δυαδικά ψηφία θεωρούνται συντελεστές ενός πολυωνύμου το οποίο και διαιρείται modulo-2 με πολυώνυμο γνωστό τόσο στον πομπό όσο και στο δέκτη. Το υπόλοιπο της διαίρεσης προσαρτάται στο block και το σύνολο αποστέλλεται στο δέκτη. Ο δέκτης εκτελεί και αυτός τη διαίρεση και αν το υπόλοιπο είναι ίδιο με αυτό που στάλθηκε τότε θεωρεί πως δεν υπήρξε σφάλμα στη μετάδοση.

Η μέθοδος CRC είναι πιο αποτελεσματική από τις μεθόδους της δυαδικής ισότητας. 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),

CRC-16(11000000000000101) και το

CCITT-16(10001000000100001).

7.4. Διόρθωση σφαλμάτων με επανεκπομπή

Οι μέθοδοι που εξετάσαμε παραπάνω μάς επιτρέπουν την αναγνώριση σφαλμάτων στα δεδομένα λήψης. Αφού γίνει η αναγνώριση λήψης λανθασμένου block δεδομένων, το επόμενο βήμα είναι η διόρθωσή του. Στην περίπτωση της διόρθωσης με επανεκπομπή (Automatic Repeat reQuest - ARQ) ο δέκτης αποστέλλει στον πομπό μηνύματα επιβεβαίωσης λήψης (ACKnowledgement - ACK) ή εσφαλμένης λήψης (Negative ACKnowledgement - NAK). Αν ο πομπός λάβει NAK για κάποιο block m , τότε το αποστέλλει ξανά.

Σε γενικές γραμμές, στη λειτουργία της διόρθωσης σφαλμάτων με επανεκπομπή αφού ο πομπός αποστείλει το block k μπορεί να:

- (α) περιμένει επιβεβαίωση (ACK ή NAK) για την αποστολή του επόμενου block (stop and wait ARQ)
- (β) συνεχίζει στην αποστολή των επόμενων blocks και στην περίπτωση λήψης NAK για το block n να επαναλάβει όλα τα blocks από το n και μετά (Go - Back - N)
- (γ) συνεχίζει στην αποστολή των επόμενων block και στην περίπτωση λήψης NAK για κάποιο block να επαναλάβει τα συγκεκριμένα μόνο block (επιλεκτική επανεκπομπή - selective retransmission)

7.5. Αυτόματη διόρθωση σφαλμάτων

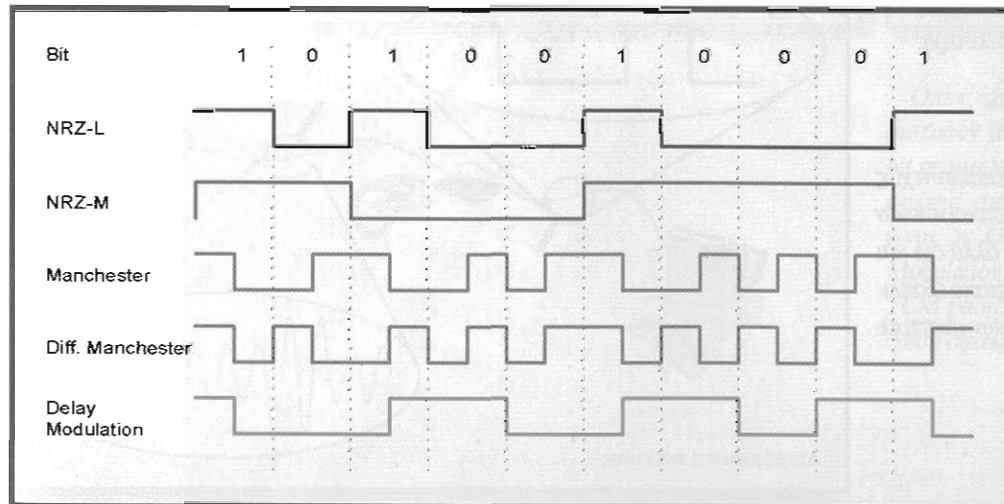
Στην τεχνική αυτή μαζί με τα bit της πληροφορίας στέλνουμε επιπλέον bit που μας βοηθούν όχι μόνο να ανιχνεύσουμε τα τυχόν σφάλματα, αλλά και να τα διορθώσουμε. Η μέθοδος της αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων (Forward Error Correction - FEC) είναι πολύ χρήσιμη ειδικά στην περίπτωση της μονόδρομης μετάδοσης μια και ο δέκτης δεν μπορεί να στείλει ACK ή NAK. Ο πλέον γνωστός κώδικας αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων είναι ο κώδικας Hamming.

8. Διαμόρφωση ψηφιακών σημάτων

Όπως έχουμε αναφέρει η επικοινωνία ψηφιακών συστημάτων τελικά ανάγεται στη μεταφορά ακολουθίας από δυαδικά ψηφία σε ένα μέσο μετάδοσης. Τις περισσότερες φορές η φύση του μέσου μετάδοσης απαγορεύει τη διέλευση του σήματος μετάδοσης χωρίς προηγούμενη επεξεργασία. Η επεξεργασία που καθιστά το σήμα κατάλληλο για διέλευση από το μέσο μετάδοσης ονομάζεται **διαμόρφωση**.

Διαφορετικοί τρόποι διαμόρφωσης χρησιμοποιούνται ανάλογα με το σήμα (ψηφιακό ή αναλογικό) και τον τρόπο μετάδοσης (ψηφιακή ή αναλογική μετάδοση). Το δικό μας ενδιαφέρον εστιάζεται σε διαμόρφωση ψηφιακών σημάτων για ψηφιακή ή αναλογική μετάδοση. Οι τεχνικές διαμόρφωσης που προκύπτουν αξιολογούνται με βάση :

- το εύρος ζώνης συχνοτήτων που καταλαμβάνουν
- την ευκολία συγχρονισμού
- την ευκολία αναγνώρισης σφαλμάτων
- την απλότητα υλοποίησης
- την ευαισθησία στο θόρυβο



8.1. Ψηφιακή μετάδοση ψηφιακών σημάτων

Στην περίπτωση της ψηφιακής μετάδοσης υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία μεθόδων διαμόρφωσης (κωδικοποίησης) του σήματος ανάλογα με τις απαιτήσεις και τους στόχους της επικοινωνίας. Το σχήμα παρουσιάζει μερικές από τις πιο γνωστές διαμορφώσεις ψηφιακού σήματος για ψηφιακή μετάδοση.

Διαμόρφωση NRZ-L (Non Return to Zero Level) Στη διαμόρφωση NRZ-L η κατάσταση του σήματος είναι σταθερή στη διάρκεια μετάδοσης ενός bit. Συγκεκριμένα, με υψηλή στάθμη συμβολίζουμε το 1 και με χαμηλή το 0. Παραλλαγή της NRZ-L είναι η NRZ-M (Non Return to Zero Mark), στην οποία το 1 κωδικοποιείται με αλλαγή στάθμης ενώ το 0 με διατήρηση του σήματος στην ίδια στάθμη.

Η NRZ-L είναι ο απλούστερος τρόπος διαμόρφωσης και χρησιμοποιείται ευρύτατα από υπολογιστές και τεμαχικές συσκευές. Η NRZ-M χρησιμοποιείται στα σύγχρονα πρωτόκολλα επικοινωνίας SDLC και HDLC κυρίως λόγω της ευκολίας εξαγωγής σήματος χρονισμού, ακόμα και όταν ο πομπός δεν εκπέμπει (συνεχείς εναλλαγές στάθμης).

Διαμόρφωση Manchester Στη διαμόρφωση Manchester έχουμε αλλαγή της στάθμης του σήματος στη μέση κάθε μεταδιδόμενου δυαδικού ψηφίου. Το 1 κωδικοποιείται με μετάβαση από υψηλή στάθμη σε χαμηλή ενώ το 0 από χαμηλή σε υψηλή. Η διαμόρφωση Manchester προσφέρεται για συγχρονισμό μια και έχουμε αλλαγή κατάστασης στο μέσο κάθε δυαδικού ψηφίου. Επίσης, μπορούμε να ανιχνεύσουμε και λάθη, αν υπάρχει απουσία αλλαγής στάθμης.

Παραλλαγή της Manchester είναι η **διαφορική Manchester** (Differential Manchester) στην οποία έχουμε αλλαγή στάθμης στο μέσο κάθε δυαδικού ψηφίου. Το λογικό 0 διατηρεί την προηγούμενη στάθμη του σήματος. Το λογικό 1 μεταβάλλει τη στάθμη του σήματος στην αρχή κάθε δυαδικού ψηφίου. Το πλεονέκτημα των διαφορικών κωδικοποιήσεων είναι η δυνατότητά τους να περάσουν από κανάλια που δε διατηρούν πολικότητα μια και μας ενδιαφέρει η μεταβολή στη στάθμη και όχι το επίπεδό της (χαμηλή, υψηλή).

Συνημμένες διαμορφώσεις ψηφιακού σήματος



Διαμόρφωση Delay Modulation Στην κωδικοποίηση Delay Modulation το 1 κωδικοποιείται με αλλαγή στάθμης στο μέσο του δυαδικού ψηφίου. Το 0 δεν αλλάζει τη στάθμη του σήματος αν ακολουθείται από 1. Αν ακολουθείται από 0 αλλάζει τη στάθμη στο τέλος του δυαδικού ψηφίου. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι το στενό εύρος ζώνης που απαιτεί. Μειονέκτημά της η ευαισθησία στο θόρυβο.

Διαμόρφωση 4B/5B (4 out of 5) Όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων, τόσο ακριβότερη και δυσκολότερη είναι η δημιουργία αξιόπιστων (0.005% απόκλιση) κυκλωμάτων χρονισμού (ρολόι). Για ένα δίκτυο οπτικών ινών FDDI (100 Mbps) η χρήση κωδικοποίησης Manchester απαιτεί ρολόι 200 Megabaud. Σε τέτοιες περιπτώσεις ένα block από σύμβολα (δυαδικά ψηφία) κωδικοποιείται σε ακολουθία από δυαδικά ψηφία. Στο FDDI χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση 4B/5B στην οποία 4 δυαδικά ψηφία κωδικοποιούνται σε 5 δυαδικά ψηφία (πρότυπο ISO 9314.1) που μεταφέρονται με NRZ κωδικοποίηση και συνεπώς το ρολόι τρέχει στα 125 MHz. Από τους 32 (2^5) δυνατούς συνδυασμούς οι 24 είναι χρησιμοποιούμενοι και οι 8 αχρησιμοποίητοι. Το θετικό της διαμόρφωσης 4B/5B είναι ο περιορισμός της ταχύτητας του ρολογιού, αλλά θυσιάζει τη δυνατότητα αυτόματου συγχρονισμού που προσφέρει η Manchester. Ακόμα, η ύπαρξη μη νόμιμων συνδυασμών βοηθά στην ανίχνευση σφαλμάτων.

Κλείνοντας, θα πρέπει να αναφέρουμε πως δεν υπάρχει βέλτιστη μέθοδος διαμόρφωσης του σήματος. Ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής, τις απαιτήσεις κόστους και απλότητας κατασκευής μπορούμε να επιλέξουμε τη μέθοδο που ταιριάζει καλύτερα.

8.2. Αναλογική μετάδοση ψηφιακών σημάτων

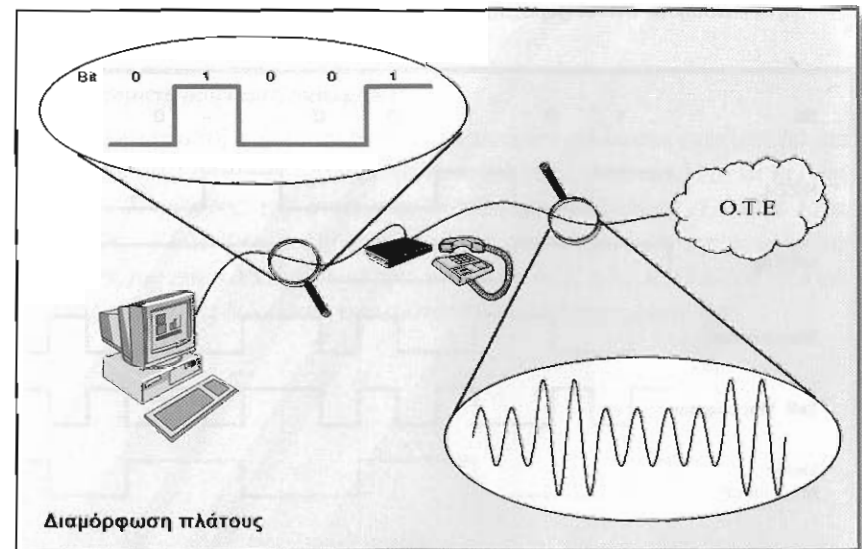
Η ψηφιακή μετάδοση έχει καλύτερα χαρακτηριστικά από την αναλογική και συνεχώς κερδίζει έδαφος. Παρόλα αυτά εδώ και πολλά χρόνια οι οργανισμοί τηλεπικοινωνιών έχουν επενδύσει τεράστια ποσά σε υλικό κατάλληλο για μεταφορά φωνής αλλά όχι και δεδομένων. Το υπάρχον τηλεφωνικό δίκτυο συνεχώς αναβαθμίζεται με ψηφιακό εξοπλισμό και μπορεί να καλύψει τις ανάγκες διασύνδεσης μεταξύ υπολογιστικών συστημάτων όπου κι αν βρίσκονται.

Το πρόβλημα είναι πως το τηλεφωνικό δίκτυο είναι σχεδιασμένο για μεταφορά φωνής (ακουστικών συχνοτήτων) αλλά όχι και δεδομένων που απαιτούν ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Η διαμόρφωση του ψηφιακού σήματος είναι η λύση στο πρόβλημα. Τη διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση την αναλαμβάνουν ειδικές συσκευές που ονομάζονται *modem* (modulator - demodulator). Αυτό που γίνεται στην πραγματικότητα είναι η μετάδοση ενός αναλογικού σήματος (φέρων σήμα ή φορέας) πάνω στο οποίο φορτώνεται το ψηφιακό σήμα μεταβάλλοντας ένα ή περισσότερα από τα χαρακτηριστικά του (πλάτος, συχνότητα, φάση).

Πολλές φορές υπάρχει ταυτόχρονη μεταβολή περισσότερων χαρακτηριστικών του αναλογικού σήματος για την κωδικοποίηση μεγαλύτερου πλήθους δυαδικών ψηφίων σε μία κατάσταση του αναλογικού σήματος.

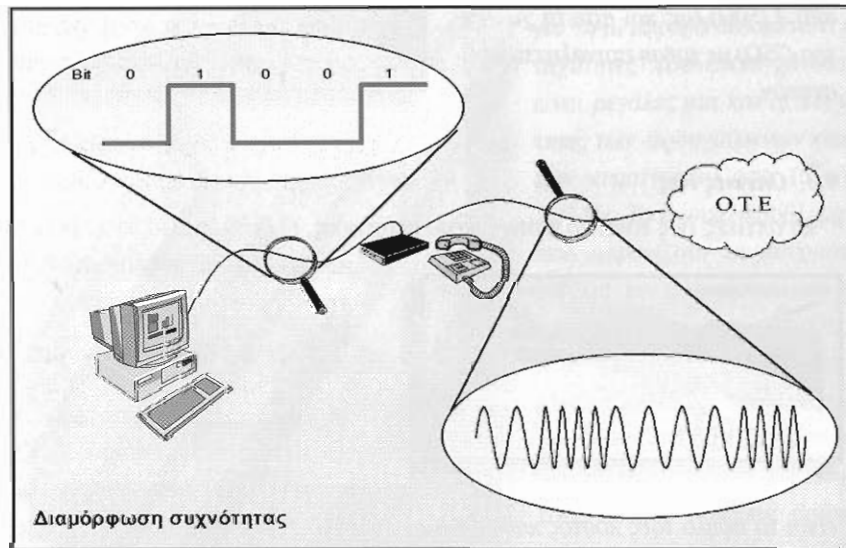
8.2.1. Διαμόρφωση πλάτους

Κατά τη διαμόρφωση πλάτους (ASK - Amplitude Shift Keying) το πλάτος του αναλογικού σήματος (φορέα) που μεταδίδεται από το modem μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος.



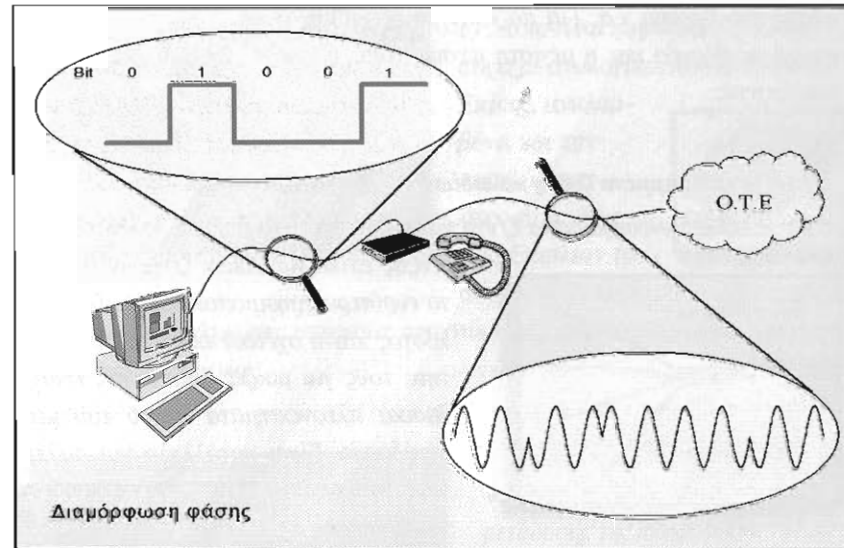
8.2.2. Διαμόρφωση συχνότητας

Κατά τη διαμόρφωση συχνότητας (FSK - Frequency Shift Keying) η συχνότητα του αναλογικού σήματος (φορέα) που μεταδίδεται από το modem μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος.



8.2.3. Διαμόρφωση φάσης

Κατά τη διαμόρφωση φάσης (PSK - Phase Shift Keying) η φάση του αναλογικού σήματος (φορέα) που μεταδίδεται από το modem μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος.



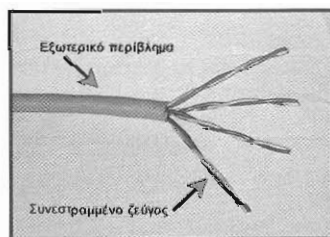
Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, συχνά γίνεται ταυτόχρονη μεταβολή των χαρακτηριστικών του αναλογικού σήματος για την κωδικοποίηση περισσότερων του ενός bit σε μία κατάσταση του αναλογικού σήματος. Δύο από τις πιο γνωστές διαμορφώσεις συνδυασμένης μεταβολής χαρακτηριστικών του αναλογικού σήματος είναι η QAM (Quadrature Amplitude Modulation) και η TCM (Trellis Code Modulation). Η QAM είναι συνδυασμός διαμόρφωσης πλάτους και φάσης. Η TCM βασίζεται στη QAM και επιπλέον διαθέτει μηχανισμό για αυτόματη διόρθωση σφαλμάτων.

9. Μέσα μετάδοσης

Η επιλογή του κατάλληλου μέσου μετάδοσης είναι κρίσιμη για την αποδοτική λειτουργία της επικοινωνίας. Παράγοντες που καθορίζουν το μέσο μετάδοσης που θα επιλεγεί είναι το κόστος, η ταχύτητα, η ευκολία διαχείρισης, η απόσταση, η ανοχή στο θόρυβο κ.ά. Για παράδειγμα σε βιομηχανικό περιβάλλον η μέγιστη ανοχή σε θόρυβο και η μέγιστη φυσική αντοχή μπορεί να είναι καθοριστικοί παράγοντες.

9.1. Συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων

Τα χάλκινα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων είναι το παλιότερο σύστημα επίτευξης επικοινωνιακών ζεύξεων αλλά και το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο. Το χαμηλό κόστος και η σχετικά ικανοποιητική ταχύτητά τους για μικρές αποστάσεις είναι τα βασικά πλεονεκτήματά αυτού του μέσου μετάδοσης. Είναι κατάλληλα για διέλευση και ψηφιακών και αναλογικών σημάτων. Στα σύγχρονα κτίρια η ύπαρξη καλωδίωσης συνεστραμμένων ζευγών βοηθά στην εύκολη και φθηνή εξυπηρέτηση των επικοινωνιακών αναγκών.

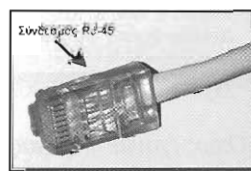


Τα χάλκινα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων είναι το παλιότερο σύστημα επίτευξης επικοινωνιακών ζεύξεων αλλά και το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο. Το χαμηλό κόστος και η σχετικά ικανοποιητική ταχύτητά τους για μικρές αποστάσεις είναι τα βασικά πλεονεκτήματά αυτού του μέσου μετάδοσης. Είναι κατάλληλα για διέλευση και ψηφιακών και αναλογικών σημάτων. Στα σύγχρονα κτίρια η ύπαρξη καλωδίωσης συνεστραμμένων ζευγών βοηθά στην εύκολη και φθηνή εξυπηρέτηση των επικοινωνιακών αναγκών.

και ψηφια-

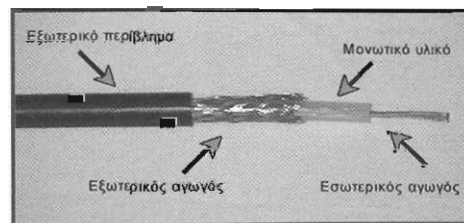
κών και ανα-

λογικών σημάτων. Στα σύγχρονα κτίρια η ύπαρξη καλωδίωσης συνεστραμμένων ζευγών βοηθά στην εύκολη και φθηνή εξυπηρέτηση των επικοινωνιακών αναγκών.

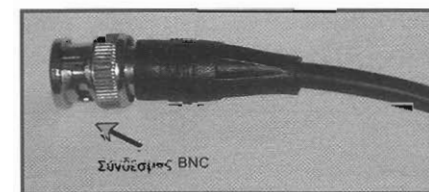


9.2. Ομοαξονικά καλώδια

Ένα πολύ συνηθισμένο μέσο μετάδοσης είναι το ομοαξονικό καλώδιο. Χρησιμοποιείται καλώδιο δύο τύπων, 50 Ω (για ψηφιακή - baseband μετάδοση) και 75 Ω (για αναλογική - broadband μετάδοση). Το κόστος του είναι λογικό (φυσικά υψηλότερο των συνεστραμμένων ζευγών) και



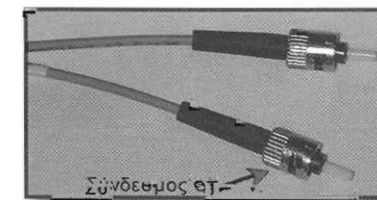
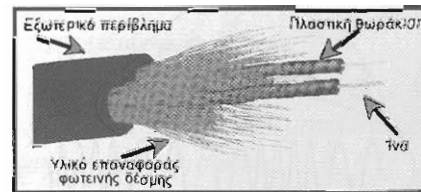
οι επιτευχόμενες ταχύτητές του ικανοποιητικές (από 10 - 100 Mbits). Οι αποστάσεις που καλύπτονται είναι από 3 (50Ω) έως και αρκετά χιλιόμετρα (75Ω) με χρήση επαναληπτών/ενισχυτών.



9.3. Οπτικές ίνες

Οι οπτικές ίνες είναι το νεότερο μέσο μετάδοσης. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι πολύ υψηλός και καλύπτουν αποστάσεις αρκετών χιλιομέτρων. Έχουν καλή συμπεριφορά ως προς το θόρυβο και παρέχουν αυξημένη ασφάλεια από υποκλοπές και παρεμβάσεις. Τα μειονεκτήματά των οπτικών ινών είναι το υψηλό τους κόστος καθώς και οι δυσκολίες στην εγκατάσταση, σύνδεση και διαχείρισή τους.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει βελτίωση στα προβλήματα εγκατάστασης, σύνδεσης και διαχείρισης οπτικών ινών. Επίσης, οι τιμές τους γίνονται περισσότερο ανταγωνιστικές με τη διάδοσή τους. Στα επόμενα χρόνια αναμένεται θεαματική αύξηση χρήσης οπτικών ινών ως μέσον μετάδοσης.



9.4. Ασύρματες ζεύξεις

Το τελευταίο μέσο μετάδοσης που θα αναφέρουμε είναι η ατμόσφαιρα. Ηλεκτρομαγνητικά κύματα (μικροκύματα, υπέρυθρες ακτίνες, laser κλπ) χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων. Οι ταχύτητες που επιτυγχάνονται είναι μεγάλες μια και οι συχνότητες των προηγούμενων κυμάτων κυμαίνονται από 10^9 έως 10^{15} Hz. Τα βασικά προβλήματα που εμφανίζουν οι ασύρματες ζεύξεις είναι η ασφάλεια της πληροφορίας, η ευαισθησία στις καιρικές συνθήκες και η ανάγκη φύλαξης και συντήρησης των πομπών, δεκτών και αναμεταδοτών (που για ευνόητους λόγους συνήθως βρίσκονται σε υψηλά και δυσπρόσιτα σημεία). Οποιοσδήποτε έχει μία κεραία μπορεί να παρακολουθεί τη μεταδιδόμενη πληροφορία.

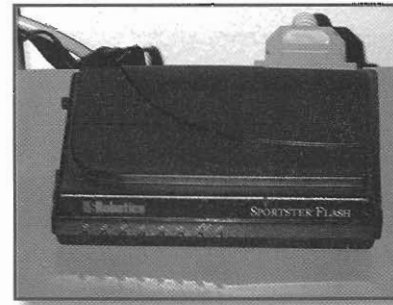
9.5. Συσκευές επικοινωνίας

Στο σημείο αυτό και πριν αρχίσουμε την αναφορά μας στα δίκτυα, παραθέτουμε μερικές από τις πιο γνωστές συσκευές επικοινωνίας δεδομένων.



Τερματικά : συσκευές που παρεμβάλλονται μεταξύ χρήστη και υπολογιστή. Με τη βοήθεια του πληκτρολογίου μεταφέρει ο χρήστης δεδομένα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή (H/Y) και με τη βοήθεια της οθόνης ο H/Y στο χρήστη. Μπορεί

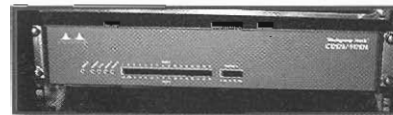
να είναι απλές συσκευές επικοινωνίας σε χαμηλές ταχύτητες (dummy terminals) ή και ακριβές γρήγορες συσκευές (X terminals στα 10 Mbits).



Modem : συσκευή για τη μετατροπή ψηφιακού σήματος σε αναλογικό σήμα το οποίο είναι κατάλληλο για μεταφορά με αναλογικό μέσο μετάδοσης. Επίσης, αναλαμβάνει και την ακριβώς αντίστροφη διαδικασία. Επιπλέον τα σύγχρονα modem



προσφέρουν εξελιγμένες υπηρεσίες αναγνώρισης / διόρθωσης λαθών καθώς και συμπίεσης δεδομένων.



Πολυπλέκτες : συσκευές συγκέντρωσης πολλών αργών γραμμών και μετάδοσης της πληροφορίας μέσω μιας γρήγορης σύνδεσης. Απαραίτητη προϋπόθεση, το άθροισμα των ρυθμών

μετάδοσης των αργών γραμμών να μην ξεπερνά το ρυθμό μετάδοσης της γρήγορης γραμμής.

Συγκεντρωτές : συσκευές συγκέντρωσης πολλών αργών γραμμών και μετάδοσης της πληροφορίας μέσω μιας γρήγορης σύνδεσης. Το άθροισμα των ρυθμών μετάδοσης των αργών γραμμών μπορεί και να ξεπερνά το ρυθμό μετάδοσης της γρήγορης γραμμής.