Zaštitno kodiranje signala

Laboratorijska vježba 1

SP

Kodovi
(BCD, Grayev i Manchester kod)

Student:

prezime	Ime	mat. broj
	Laboratorij	Datum

1. 1. KODOVI (BCD, GRAYEV I MANCHESTER KOD)

1.1. 1.1. KODOVI

Podaci iz digitalnih uređaja preslikavaju se u binarne znamenke koristeći standardizirane kodove. Oni omogućuju da se osim brojeva mogu prikazivati slova i znakovi. Kod je definirana kombinacija binarnih znamenaka koja se dodjeljuje dekadskoj znamenci, slovu ili znaku.

Ako se kodiranjem žele prikazati znamenke dekadskoga brojevnoga sustava, potrebno je koristiti kombinacije od najmanje četiri bita. S četiri bita može se dobiti $2^4 = 16$ različitih kombinacija. Kako je za prikaz znamenaka dekadskoga brojevnoga sustava potrebno svega 10 kombinacija, osmišljeni su brojni su načini za kodiranje dekadskih znamenaka. Najčešći kodovi su: BCD, Excess-3, Aikenov i Grayev kod.

Kodovi što osim brojeva omogućuju prikaz (kodiranje) slova i znakova, nazivaju se alfanumerički kodovi. To su kodovi s više od četiri bita kako bi se postigao potreban broj kombinacija.

1.1.1. 1.1.1. BCD KOD

Za kodiranje dekadskih znamenaka u BCD kodu (*Binary Coded Decimal*) koristi se prvih deset kombinacija prirodnoga binarnoga niza od 4 bita. To znači da se svaka dekadska znamenka prikazuje pripadnim binarnim brojem. Stoga se ovaj kod ponekad naziva i *prirodan binaran dekadski kodiran* NBCD (*Natural Binary Coded Decimal*).

BCD kod naziva se težinski kod (*weighted code*), jer bitovi kombinacija imaju težine 2^3, 2^2, 2^1 i 2^0. Zbroj težina brojevnih mjesta na kojima je binarna znamenka 1, daju vrijednost kodirane dekadske znamenke. Kod sadrži i kombinaciju 0000 što znači da se prekid u prijenosu podataka može shvatiti kao podatak 0. Zbog toga razloga, kombinacija binarnih znamenaka "sve 0" najčešće se dinamički i aktivno ne koristi, ali je dobrodošla za neke kratkotrajne i statičke provjere. Također, ta kombinacija u različitim dužinama neophodna je za dovođenje nekih sklopova u stanje početnih uvjeta.

1.1.1.1. 1.1.1.1. Pretvorba

Jedna stvar koja čini BCD tako korisnim jeste jednostavnost pretvorbe iz BCD u dekadski. Svaka dekadska znamenka pretvara se u BCD kod od 4 bita, jedna po jedna. Ovdje je 37_{10} u prirodnome BCD kodu:

```
0011   0111
  3      7
```

U pravilu, lako je pretvoriti prirodan BCD kod u dekadski kod, jer se BCD kod podudara s binarnim brojevima. Ostali BCD sustavi koriste različite vrijednosti mjesta pa zahtijevaju više promišljanja za pretvorbu (iako je proces isti). Vrijednosti mjesta za BCD sustave što nisu prirodni naznačeni su imenom sustava; Tako, primjerice, 5421 sustav predstavlja broj $1001_{BCD5421}$ kao:

$$1001_{bcd5421} = (1 \times 5) + (0 \times 4) + (0 \times 2) + (1 \times 1)$$

$$1001_{bcd5421} = 6_{10}$$

Tablica 1.1. BCD kod

Dekadska znamenka	Binarna 8421	
0	0000	Preostalih 6 binarnih kombinacija: 1010, 1011, 1100, 1101, 1110 i 1111, iako se izravno ne koriste, mogu poslužiti kao dodatna zalihost u dinamičkim uvjetima rada nekoga sustava ili za neka dodatna kodiranja
1	0001	
2	0010	
3	0011	
4	0100	
5	0101	
6	0110	
7	0111	
8	1000	
9	1001	

1.1.1.2. Primjer: Kodiranje i dekodiranje u BCD kodu.

753_{10} = 0111 0101 0011 $_{BCD}$ 0110 1001 0100 $_{BCD}$ = 694_{10}

```
0011        6
0101        9
0111        4
```

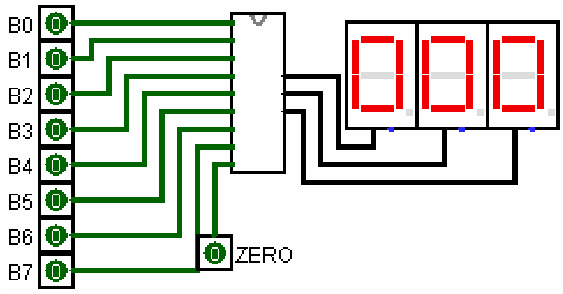
Potrebno je razlikovati broj prikazan u binarnome brojevnome sustavu od istoga broja prikazanoga u binarnome kodu, iako se u oba slučaja radi o nizu bitova. Kombinacija bitova u binarnome brojevnome sustavu označava uvijek određen broj.

Kombinacija bitova u kodu može označavati broj, ali i znakove ili slova, dakle općenito neki podatak.

1.1.1.3. *Primjer: Binarna kombinacija 10000110 u dekadskome i BCD kodu*

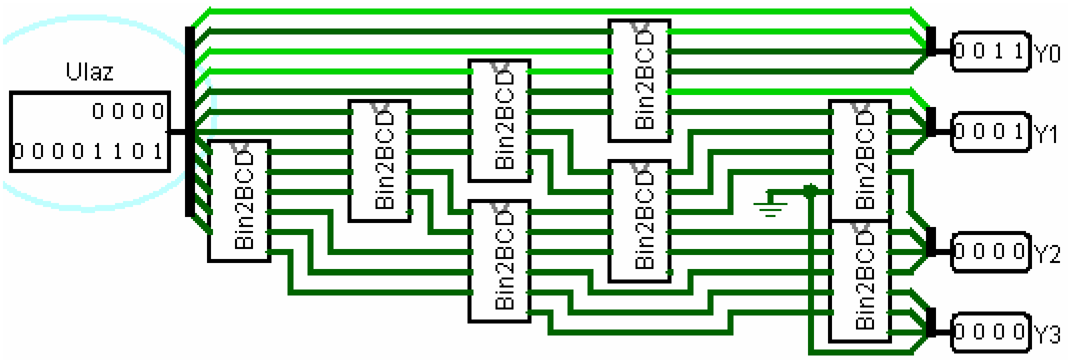
U dekadskome sustavu, binarnoj kombinaciji 10000110_2 broj 134_{10}. Ista kombinacija u BCD kodu odgovara dekadskome broju 86_{10}.

1.1.1.4. *Primjer: Pretvorba binarnoga broja u BCD kod pomoću simulacijskoga alata LogiSim 2.7.1.*



Slika 1.1: Pretvorba binarnoga broja u BCD kod

1.1.1.5. *Primjer: Sklop za pretvorbu binarnoga broja u BCD format*



Slika 1.2: Pretvorba binarnoga broja u BCD

1.1.2. 1.1.2. EXCESS-3 KOD

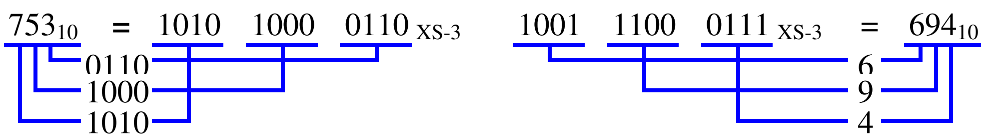
Za kodiranje dekadskih znamenaka u Excess-3 kodu (skraćeno XS-3 kodu) koristi se srednjih deset kombinacija binarnoga niza od 4 bita, a odbacuju se prve tri i zadnje tri kombinacije (vidi tablicu 1.2).

Tablica 1.2. Excess-3 kod

Dekadska znamenka	Binarna kombinacija	Komplementi
0	0011	1100
1	0100	1011
2	0101	1010
3	0110	1001
4	0111	1000
5	1000	0111
6	1001	0110
7	1010	0101
8	1011	0100
9	1100	0011

Excess-3 kod razlikuje se od BCD koda i po tome što nije težinski, ali je samo-komplementan (*self-complemented*). To znači da se komplement bilo koje znamenke dobije zamjenom nula jedinicama i jedinica nulama. Osim toga, u Excess-3 kodu ne pojavljuju se kombinacije sa sve četiri nule niti sve četiri jedinice, što može biti korisno za otkrivanje prekida u prijenosu podataka.

1.1.2.1. *Primjer: Kodiranje i dekodiranje Excess-3 kodom.*



1.1.2.2. *Primjer: Pretvorba BCD koda u Excess-3 kod*

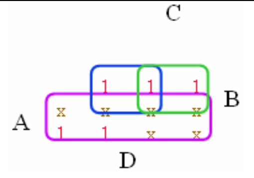
1.1.2.3. *Algoritam:*

1. odrediti broj ulaza i izlaza,
2. napisati tablicu istine,
3. minimizirati Booleov izraz za svaki izlaz i
4. generirati zahtijevani krug.

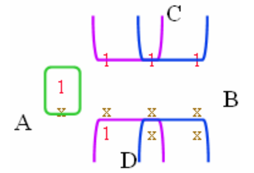
1.1.2.4. *Primjer: Oblikovati krug za pretvorbu BCD koda u Excess-3 kod.*

BCD kod opisuje dekadske znamenke od 0 do 9 i sastoji se od 4 bita, a u ovome primjeru Excess-3 kod koristi početne kombinacije binarnoga niza od 4 bita (16 kombinacija) i ne koristi zadnjih 6 kombinacija.

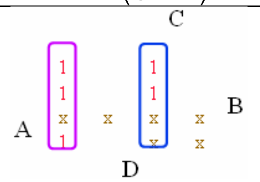
A	B	C	D	w	x	y	z
0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	1	1	0	1	1	0
0	1	0	0	0	1	1	1
0	1	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	1
0	1	1	1	1	0	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1
1	0	0	1	1	1	0	0
1	0	1	0	x	x	x	x
1	0	1	1	x	x	x	x
1	1	0	0	x	x	x	x
1	1	0	1	x	x	x	x
1	1	1	0	x	x	x	x
1	1	1	1	x	x	x	x



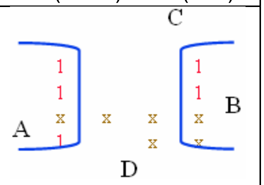
w =
A+B C+BD =
A + B (C + D)



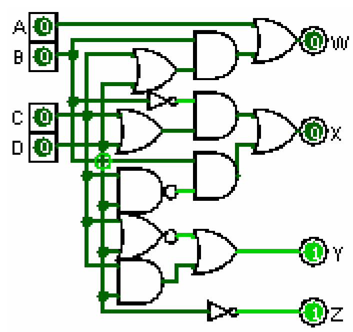
x =
B'C+ B'D+BC'D' =
~B(C+D)+B ~(CD)



y =
C'D' + CD =
~(C + D) + C D



z =
D' =
~D



1.1.3. 1.1.3. AIKENOV KOD

U Aikenovu[1] kodu koristi se prvih pet i zadnjih pet kombinacija niza od 4 bita, a odbacuje se srednjih šest kombinacija. Kod je samo-komplementan i težinski, s težinama mjesta 2 4 2 1.

Tablica 1.3. Aikenov kod

Dekadska znamenka	Binarna kombinacija 8421
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	1011
6	1100
7	1101
8	1110
9	1111

1.1.3.1. *Primjer: Pretvorba dekadskoga u Aikenov kod*

729_{10} = 1101 0010 1111 $_{AK}$ 1101 0010 1111 $_{AK}$ = 729_{10}

1111 7

0010 2

1101 9

[1] Howard Aiken, američki znanstvenik sveučilišta Harvard, konstruktor prvoga elektromehaničkoga računala MARK I

1.1.4. 1.1.4. GRAYEV KOD

Grayev kod nije težinski, a svaka kombinacija razlikuje od prethodne za samo jedan bit. Grayev kod temelji se na zrcalnome (*reflected*) binarnome brojevnome sustavu. Stoga taj kod spada u skupinu zrcalnih kodova (*reflected codes*).

Brojevi zrcalnoga binarnoga brojevnoga sustava dobiju se na sljedeći način: znamenke 0 i 1 napišu se jedna ispod druge. Ispod njih se povuče zamišljena crta zrcaljenja (*reflected line*), a ispod nje napišu se znamenke 1 i 0 kao zrcalna slika. Sada se ispred gornjih znamenaka dodaju nule, a ispred donjih jedinice. Na taj način dobije se skupina od 4 kombinacije po 2 bita.

0	00
1	01
—crta zrcaljenja	—
1	11
0	10

Ako se ispod njih povuče nova zrcalna crta/crta zrcaljenja i ispod nje napišu zrcalne kombinacije pa se gornjima dodaju nule, a donjima jedinice, dobije se 8 kombinacija od 3 bita.

00	000
01	001
11	011
10	010
— crta zrcaljenja	——
10	110
11	111
01	101
00	100

Na isti način povuče se nova *zrcalna crta/crta zrcaljenja* i ispod nje napišu zrcalne kombinacije pa se gornjima dodaju nule, a donjima jedinice te se dobije 16 kombinacija od 4 bita.

000	0000
001	0001
011	0011
010	0010
110	0110
111	0111
101	0101
100	0100
— crta zrcaljenja	———
100	1100
101	1101
111	1111
110	1110
010	1010
011	1011
001	1001
000	1000

Na ovaj način može se dobiti broj kombinacija po želji. Za Grayev kod koristi se prvih deset kombinacija niza od 4 bita (tablica 1.4.).

Tablica 1.4. Zrcalni binarni brojevni sustav

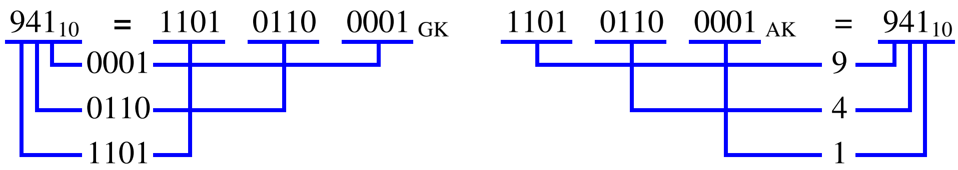
0	00
1	01
— crta zrcaljenja	—
1	11
0	10

00	000
01	001
11	011
10	010
— crta zrcaljenja	——
10	110
11	111
01	101
00	100

000	0000
001	0001
011	0011
010	0010
110	0110
111	0111
101	0101
100	0100
— crta zrcaljenja	——
100	1100
101	1101
111	1111
110	1110
010	1010
011	1011
001	1001
000	1000

Zrcalni binarni brojevni sustav	
0	0000
1	0001
2	0011
3	0010
4	0110
5	0111
6	0101
7	0100
8	1100
9	1101
10	1111
11	1110
12	1010
13	1011
14	1001
15	1000

1.1.4.1. *Primjer: Kodiranje Grayevim kodom.*



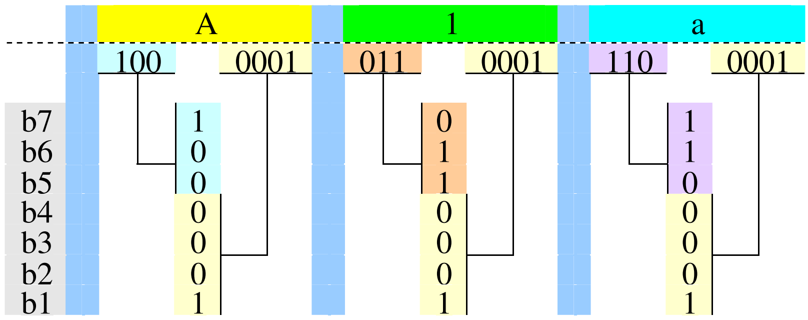
1.1.5. 1.1.5. ALFANUMERIČKI KODOVI

Među alfanumeričkim kodovima najčešće je u uporabi kod poznat pod nazivom ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*). To je kod od 7 bitova što daje 128 kombinacija. To je dovoljno za prikaz svih znamenaka, slova i znakova. Kod se koristi u prijenosu podataka između računala i ulazno-izlaznih uređaja.

Tablica 1.5. ASCII kod

				b7	0	0	0	0	1	1	1	1
				b6	0	0	1	1	0	0	1	1
				b5	0	1	0	1	0	1	0	1
b4	b3	b2	b1		0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	@	P		p
0	0	0	1	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	2	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0	0	1	1	3	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0	1	0	0	4	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
0	1	0	1	5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1	0	0	0	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0	A	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1	B	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1	1	0	0	C	FF	FS	,	<	L	\	l	|
1	1	0	1	D	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1	1	1	0	E	SO	RS	.	>	N	¬	n	–
1	1	1	1	F	SI	US	/	?	O	_	O	DEL

1.1.5.1. Primjer: Kodiranje ASCII kodom podatka A1a.

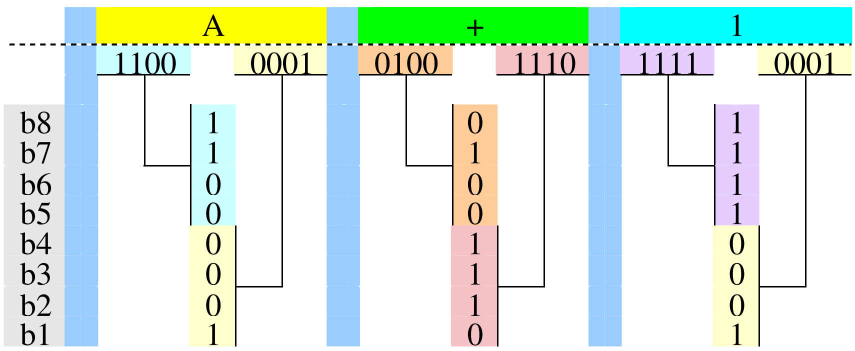


Uz ASCII kod vrijedno je spomenuti i kod od 8 bitova EBCDI (*Extended BCD Interchange Code*). Kod daje ukupno 256 mogućih kodnih kombinacija, što je više od potrebe za znamenke, slova i znakove pa ostaje velik dio kombinacija za uporabu kao upravljačke naredbe.

Tablica 1.6. EBCDI kod

				b8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
				b7	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
				b6	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
				b5	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
b4	b3	b2	b1		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	0	0	0	0	NUL				SP	&	_									0
0	0	0	1	1							/		a	j			A	J		1
0	0	1	0	2									b	k	s		B	K	S	2
0	0	1	1	3									c	l	t		C	L	T	3
0	1	0	0	4	PF	RES	BYP	PN					d	m	u		D	M	U	4
0	1	0	1	5	HT	NL	LF	RS					e	n	v		E	N	V	5
0	1	1	0	6	LC	BS	EOB	UC					f	o	w		F	O	W	6
0	1	1	1	7	DEL	1L	PRE	EOT					g	p	x		G	P	X	7
1	0	0	0	8									h	q	y		H	Q	Y	8
1	0	0	1	9									i	r	z		I	R	Z	9
1	0	1	0	A		SM			¢	!	^	:								
1	0	1	1	B					.	$	,	#								
1	1	0	0	C					<	*	%	@								
1	1	0	1	D					(	)	·	'								
1	1	1	0	E					+	;	>	=								
1	1	1	1	F						¬	?	"								

1.1.5.2. Primjer: Kodiranje EBCDI kodom podatka A + 1.



1.1.6. 1.1.6. KODOVI ZA OTKRIVANJE POGREŠAKA

U digitalnim sustavima signali se u pravilu prenose kanalom spojenim na dulje ili kraće veze. Unatoč velikoj pouzdanosti digitalnih sklopova, pri prijenosu informacija povremeno se pojavljuju pogreške i moraju se otkriti.

Za siguran prijenos kodiranih podataka koristi često se *metoda pariteta*. Svakoj binarnoj kombinaciji kojom se prikazuje digitalni podatak, dodaje se (barem) jedan bit. Dodatan bit naziva se *paritetan bit* (*parity bit*), a svojstvo mu je da u kombinaciji s povećanim brojem bitova uvijek postoji paran broj jedinica *paran paritet* (*even parity*) ili neparan broj jedinica - *neparan paritet* (*odd parity*). Pogreška u prijenosu što uzrokuje promjenu jednoga bita, mijenja paritet jedinica u podatku, a to upućuje na pogrešku.

1.1.6.1. Primjer: Kod s parnim paritetom.

Slovu *A* kodiranome ASCII kodom pridružena je binarna kombinacija 1000001. Ova kombinacija ima *paran* broj jedinica. Stoga je dodatan paritetan bit jednak 0 pa je *A* u ASCII kodu s *parnim* paritetom 01000001, što opet ukupno daje *paran* broj jedinica.

Slovo *C* kodirano ASCII kodom je 1000011, što daje *neparan* broj jedinica. Stoga je paritetan bit 1 pa je *C* u ASCII kodu s parnim paritetom 11000011, što ukupno daje *paran* broj jedinica.

1.1.6.2. Primjer: Kod s neparnim paritetom.

Slovo *A* u ASCII kodu je 1000001, dakle sadrži *paran* broj jedinica. Prema tome, u kodu s *neparnim* paritetom *A* će biti 11000001, što ukupno daje *neparan* broj jedinica.

Slovo *C* u ASCII kodu je 1000011, dakle sadrži *neparan* broj jedinica. U kodu s *neparnim* paritetom *C* će biti 01000011, što opet daje *neparan* broj jedinica.

1.1.7. 1.1.7. KODOVI ZA ISPRAVAK POGREŠAKA

Kodovi za ispravak pogrešaka omogućuju točno odredi mjesto pogreške u podatku. Takvi kodovi sastoje se od određenoga broja informacijskih bitova z i ispitnih bitova i. Mjesto pogreške otkriva se višestrukim ispitivanjem pariteta određenih kombinacija informacijskih i ispitnih bitova. Takvim ispitivanjem dobije se *ispitan broj* koji pokazuje mjesto pogreške.

Ispitni broj od i bitova može pokazati pogrešku na ukupno (2^n–1) položaja bitova. Što je veći broj znakovnih bitova, potreban je veći broj ispitnih bitova. Kako se ukupna kodna kombinacija sastoji od z znakovnih i i ispitnih bitova, da bi se u takvome kodu moglo utvrditi mjesto pogreške mora biti ispunjen uvjet:

$$2^i \geq z + i + 1$$

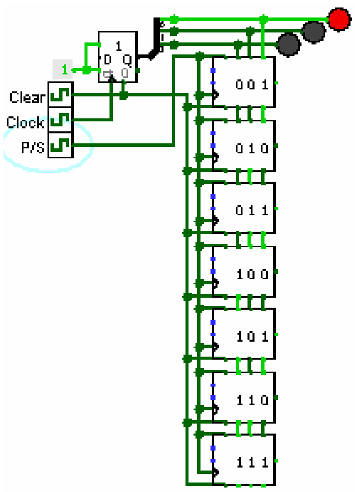
Kao primjer takvoga koda razmotrit će se Hammingov kod za dekadske znamenke (tablica 1.16.).

Tablica 1.7. Hammingov kod za dekadske znamenke

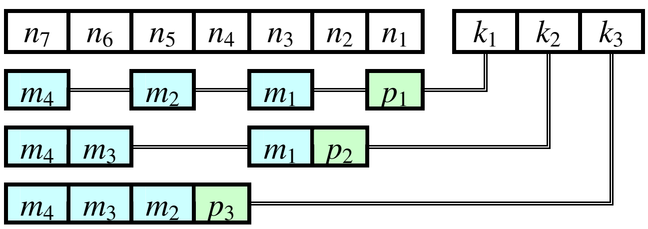
Položaj bita	n_7	n_6	n_5	n_4	n_3	n_2	n_1
Bitovi koda	m_4	m_3	m_2	p_3	m_1	p_2	p_1
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	1	1
2	0	0	1	1	0	0	1
3	0	0	1	1	1	1	0
4	0	1	0	1	0	1	0
5	0	1	0	1	1	0	1
6	0	1	1	0	0	1	1
7	0	1	1	0	1	0	0
8	1	0	0	1	0	1	1
9	1	0	0	1	1	0	0

$$\mathbf{H'} = \mathbf{H}^T =$$

$$\begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \end{array}
\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} 2^2 & 2^1 & 2^0 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{array}
\begin{array}{l} \\ \to 1 \to 2^0 = 1 \cong 1 \\ \to 1 \to 2^1 = 2 \cong 2 \\ \quad 2^0 + 2^1 \quad \cong 3 \\ \to 1 \to 2^2 = 4 \cong 4 \\ \quad 2^2 + 2^0 \quad \cong 5 \\ \quad 2^2 + 2^1 \quad \cong 6 \\ 2^2 + 2^1 + 2^0 \cong 7 \end{array}$$



Znakovni bitovi m_1, m_2, m_3 i m_4 služe za prikaz dekadskih znamenaka, a ispitni bitovi p_1, p_2 i p_3 su dodatni bitovi za paritet. Ispitivanje pariteta izvodi se tri puta.



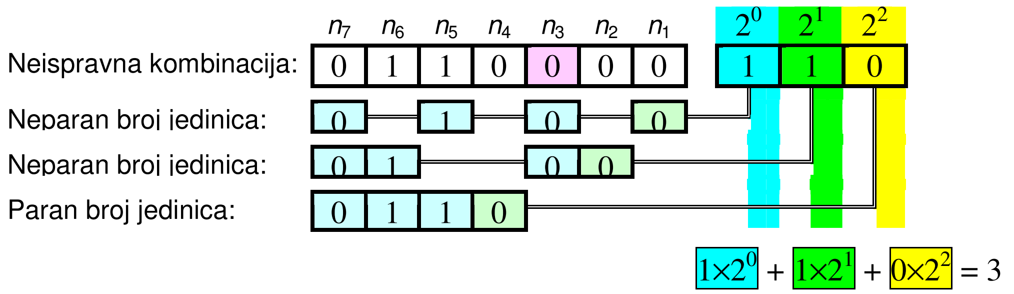
Slika 1.4. Prikaz ispitivanja Hammingovim kodom

U prvome ispitivanju ispituju se bitovi n_7, n_5, n_3 i n_1, a rezultat se bilježi u k_1. U drugome ispitivanju ispituju se bitovi n_7, n_6, n_3 i n_2, rezultat se bilježi u k_2. U trećemu ispitivanju ispituju se bitovi n_7, n_6, n_5 i n_4, a rezultat se bilježi u k_3. Ako je ispitivanje pariteta uspješno, tj. u ispitivanoj kombinaciji ima paran broj jedinica, onda se rezultat ispitivanja označava s 0. Kada ispitivanje pariteta nije uspješno, tj. kada je u ispitivanoj kombinaciji neparan broj jedinica, onda se rezultat ispitivanja označava s 1.

Na taj način dobije se kombinacija od 3 bita koja označava mjesto bita *n* na kojemu se nalazi pogreška. Ako su sva tri ispitivanja uspješna, svi *k* bitovi su 0, što znači da nema pogreške u kodnim bitovima.

1.1.7.1. *Primjer: Treba ispraviti pogrešku u kodnoj kombinaciju 0110000 sustava*

Sustav radi u Hammingovome kodu.

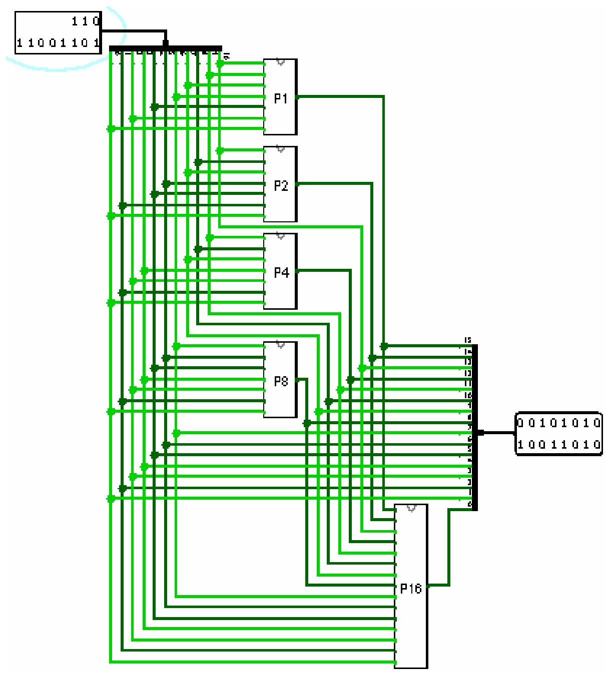


Slika 1.5: Shema Hammingova koda

Pogreška je na mjestu bita n_3, što znači da je ispravna kodna kombinacija [0110100].

1.1.7.2. *Primjer: Izračun pariteta za Hammingov (15, 11) kod*

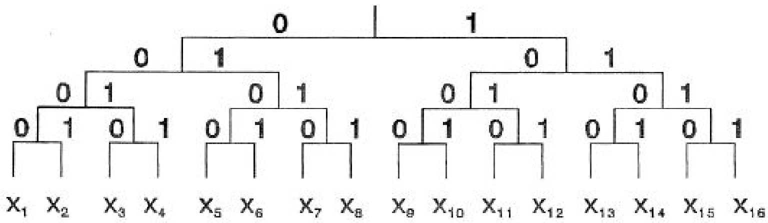
Ovaj krug ima 11 ulaznih bitova i isprepletene paritetne bitove po potrebi za stvoriti broj od 16 bitova s Hammingovim paritetom. Također, ukupan paritetan bit (bit 16) računa se i pridružuje Hammingovome kodu.



Slika 1.6: Računanje ukupnoga Hammingova pariteta

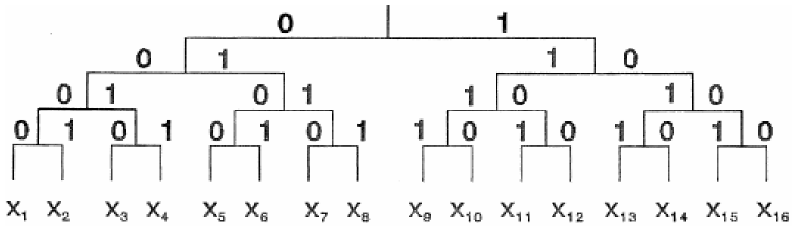
1.2. 1.2. Grayev kod

Kod što proizlazi iz stabla kao na slici 1.7je tzv. *prirodan kod.*



Slika 1.7Generiranje ravnomjernoga binarnoga koda pomoću kodnoga stabla (stabla odlučivanja)

U primjenama je još zanimljiv *simetričan kod* koji nastaje zavrtanjem jedne (desne) polu-krošnje stabla oko svoje sredine (*sub-mean*)



Slika 1.8:Simetričan kod

Grayev kod generira se iz prirodnoga koda prema relaciji:

$$G(x_i) = x_1,\ x_1 \oplus x_2,\ x_2 \oplus x_3,\ \ldots,\ x_{m-1} \oplus x_m \qquad (1)$$

gdje su x_i elementi kodne riječi $\mathbf{x}_i = [x_1, x_2, \ldots, x_m]$.

Grayov kod zanimljiv je zbog toga što se susjedne kodne skupine razlikuju samo u jednome elementu (Hammingova udaljenost je 1). Tablica 1.8ilustrira ove kodove uz $N = 16$.

1.2.1. 1.2.1. ZADATAK: PREMA FORMULI (1)POPUNITE PRILOŽENU TABLICU:

Tablica 1.8Ravnomjerni binarni kodovi uz m = 4 bîta/poruka

poruka	simetričan kod	prirodan kod	Grayev kod	x_1	x_2	x_3	x_4		x_1	$x_1 \oplus x_2$	$x_2 \oplus x_3$	$x_3 \oplus x_4$
1	0000	0000		0	0	0	0					
2	0001	0001		0	0	0	1					
3	0010	0010		0	0	1	1					
4	0011	0011		0	0	1	0					
5	0100	0100		0	1	1	0					
6	0101	0101		0	1	1	1					
7	0110	0110		0	1	0	1					
8	0111	0111		0	1	0	0					
9	1111	1000		1	1	0	0					
10	1110	1001		1	1	0	1					
11	1101	1010		1	1	1	1					
12	1100	1011		1	1	1	0					
13	1011	1100		1	0	1	0					
14	1010	1101		1	0	1	1					
15	1001	1110		1	0	0	1					
16	1000	1111		1	0	0	0					

Postavlja se, međutim, pitanje *ekonomičnosti* ravnomjernoga koda. Mjera ekonomičnosti E, tzv. je *učinkovitost* (*effectiveness*) koda definirana izrazom:

$$E = \frac{I(X)}{C_{koda}} = \frac{H(X)}{C_{koda}} = \frac{H}{C_{koda}} \qquad (2)$$

gdje $I(X)$ predstavlja *vlastitu informaciju*

Budući da vrijedi:

$$H(X) = \sum_{i=1}^{N} p(x_i)\,\mathrm{ld}\,p(x_i) \qquad \left[\frac{\text{bitova}}{\text{simbol u}}\right]$$

proizlazi da djelotvornost koda ovisi o razdiobi vjerojatnosti:

$$P_x = \{p(x_1), p(x_2), \ldots, p(x_N)\}$$

Ako bi poruke bile jednako vjerojatne, onda bi vrijedilo:

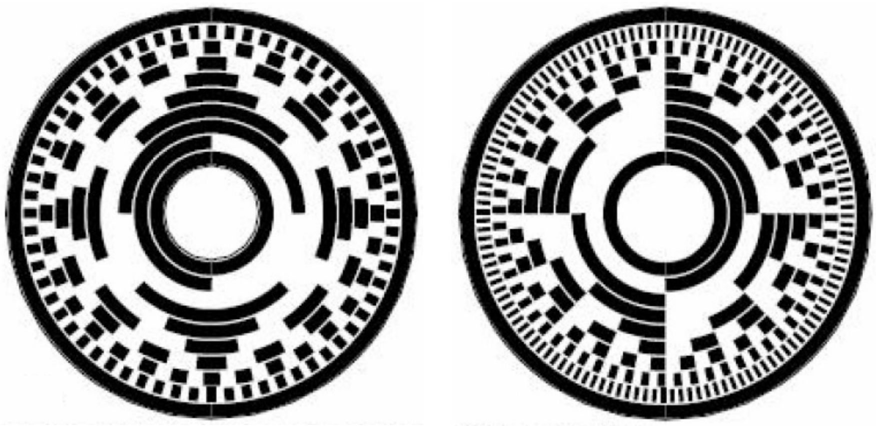
$$H = \text{ld}\, N = C_{abecede}$$

Uz $N = L^m$ vrijedi $C_{abecede} = C_{koda}$ pa je učinkovitost koda $E = 1$.

U situacijama ako je $N \neq L^m$, učinkovitiji su neravnomjerni kodovi. Problem učinkovitosti ravnomjernoga koda još je izrazitiji ako je razdioba vjerojatnosti neravnomjerna.

1.2.2. 1.2.2. ROTACIJSKI GRAYEV KOD

Često je poželjno koristiti kotačić za kodiranje digitalnih ulaza u krug. Kao primjer, razmotrimo rotirajuće dugme na radiju. Dugme je pričvršćeno na osovinu koja ima malen, čist disk u kojemu je urezan kod, slično kao na slici dolje. Dok se disk okreće, urezani obrasci propuštaju ili sprječavaju prolaz zrake svjetlosti, što se onda kodira u binaran ulaz.

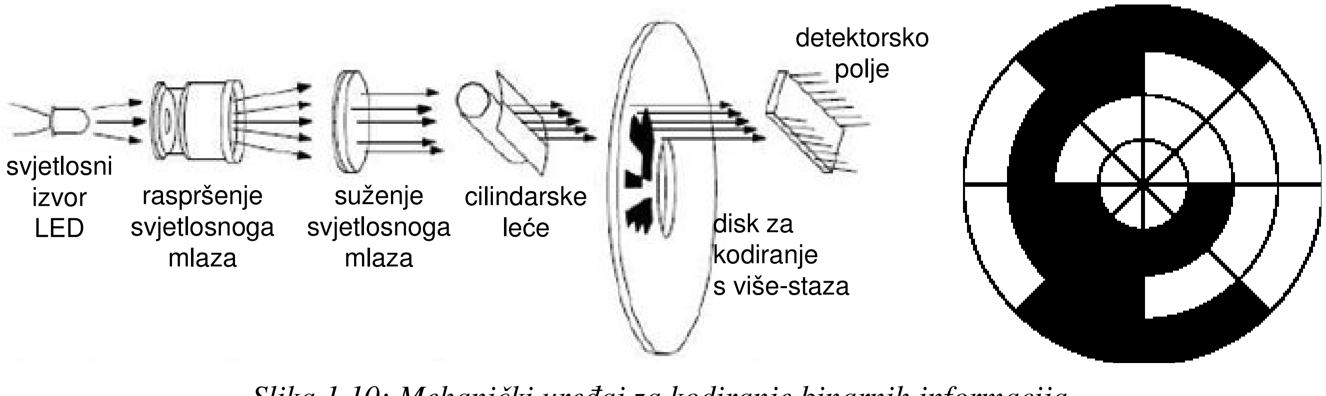


Slika 1.9: Okretanje diska apsolutnoga Gray koda od 8 bitova.

a) Okretanja za jedno mjesto prirasta, suprotno kazaljkama na satu, izazvat će promjenu samo jednoga bita.

b) Isto zakretanje binarno kodiranoga diska uzrokovat će promjene svih bitova u određenome slučaju (255-0), prikazano referentnom crtom u 12 sati

Jedan od najvećih izazova korištenja mehaničkoga uređaja za kodiranje binarnih informacija je osiguranje da je ulaz stabilan. Kako se kotač okreće, svjetlosni snop propušta se do čitača, ako se dva od ugraviranih područja mijenjaju istovremeno (dakle, mijenjaju se dva bita odjednom), postoji velika vjerojatnost da će ulaz oscilirati između dviju ili više vrijednosti u kratkome vremenu. Na primjer, zamislite da se kodiran kruga mijenja iz 11 u 00 u jednome trenutku. Budući da je nemoguće stvoriti mehanički kotač dovoljno točan za promjenu tih bitova u točno istome vremenskome trenutku (imajte na umu da senzori svjetla "vide" neki ulaz nekoliko milijuna puta u sekundi), dok se bitovi mijenjaju iz 11 u 00 oni će se također promijeniti iz 10 ili 01 u nekoliko mikrosekundi.



Slika 1.10: Mehanički uređaj za kodiranje binarnih informacija

Cijela promjena može oblikovati uzorak poput 00-01-10-00-10-11. Takva nestabilnost bit će dovoljna za stvaranje pustoši u digitalnome krugu. Rješenje problema stabilnosti je izrezati disk s kodom oblikovanim na način da odjednom postoji samo jedna promjena bita. Kod što se koristi za taj zadatak je Grayev kod. Osim toga, Grayev kod je ciklički, pa kada dosegne svoju maksimalnu vrijednost, može se vratiti na svoju minimalnu vrijednost promjenom samo jednoga bita.

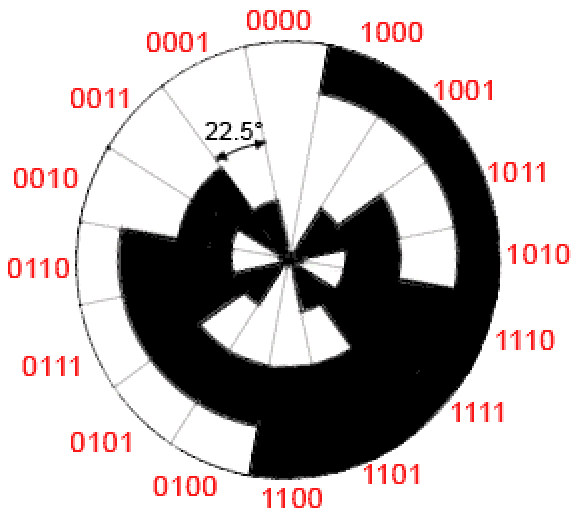
Na gornjoj slici, svaki od koncentričnih prstena za jedan bit u broju od 3 bita. Uočite kako se disk okreće, propušta u točno određenim točkama, crna područja ("blokirana zraka svjetla") promijenit će se samo jedan bit istovremeno; što je obilježje uzorka Grayeva koda.

1.2.3. 1.2.3. ČITANJE INFORMACIJE POLOŽAJA U MEHANIČKIM UREĐAJIMA

Binarni kodovi se ne koriste samo za izlaz podataka. Još jedan poseban binaran kod što se intenzivno koristi za čitanje informacije položaja u mehaničkim uređajima kao što su rotirajuće osovine je Gray kod. To je 4 bitni kod koji koristi svih 16 vrijednosti, a vrijednosti se mijenjati od 0 do 15_{10}, a binarne vrijednosti koda mijenjaju se samo 1 bit u vremenu, (vidi tablicu 1.6.4). Binarne vrijednosti su kodirane na rotirajućemu disku (slika 1.3) i kao se disk okreće, svijetla i tamna područja čita optičkih senzor.

Kako samo jedan senzor vidi promjenu u bilo kojemu trenutku, to smanjuje pogreške koje bi se mogle stvoriti kako senzori prolaze od svjetla na tamna područja (0-1) ili natrag. Problem s ovom vrstom istraživanja je da, ako se dva ili više senzora smiju mijenjati istovremeno, ne može se jamčiti da će se podaci senzora promijeniti istovremeno. Ako se to dogodi, postojalo bi kratko vrijeme kada se može generirati kriv binaran kod, sugerirajući da je disk u drugom položaju u odnosu na njegov stvaran položaj. Jedan bit u vremenu kao značajka Grayeva koda učinkovito eliminira takve pogreške.

Uočite također da je niz binarnih vrijednosti također rotira stalno, s kodom za 15 promjena natrag prema 0 uz promjenu samo 1 bita. Diskom kodiranim s 4 bita kako prikazuje slika 1.11, položaj se očitava svakih 22,5°, ali s više bitova, može se postići veća točnost.



Slika 1.11. Disk s Gray kodom za 4 bita

1.2.4. 1.2.4. PREGLED KLJUČNIH POJMOVA

alfanumerički kodovi (*Alphanumeric Codes*)

- kodovi kojima je prikazuju znakovi, znamenke i slova

Aikenov kod

- težinski kod i kod što sam stvara komplement, s težinama mjesta 2421.

ASCII kod (*American Standard Code for Information Interchange*)

- alfanumerički kod od 7 bitova

BCD (*Binary Coded Decimal*) kod

- težinski kod od 4 bita s težinama mjesta 8421

EBCDI kod (*Extended BCD Interchange Code*)

- alfanumerički kod od 8 bitova

Excess-3 (XS-3) kod

- kod od 4 bita što sam stvara komplement

Grayev kod

- kod od 4 bita u kojemu se iduća kombinacija razlikuje od prethodne samo za jedan bit, tzv. zrcalni kod

Hammingov kod

- kod što omogućuje ispravak jednostruke pogreške

neparan paritet (*odd parity*)

- dodavanje paritetnoga bita binarnoj kombinaciji koda tako da je ukupan broj jedinica u kombinaciji neparan

paran paritet (*even parity*)

- dodavanje paritetnoga bita binarnoj kombinaciji koda tako da je ukupan broj jedinica u kombinaciji paran

paritetan bit (*parity bit*)

- dodatan bit što se dodaje osnovnoj kombinaciji nekoga koda radi otkrivanja moguće pogreške u prijenosu

zrcalni ili odrazni binarni brojevni sustavi (*reflected binary number systems*)

- binarni brojevni sustavi u kojima se brojevi redom razlikuju od prethodnoga za jedan bit, oni su osnova Grayeva koda

kod što sam stvara komplement (*self-complemented code*)

- kod u kojemu se kombinacija za komplement bilo koje znamenke dobije jednostavnom zamjenom nula jedinicama i obrnuto

težinski kod (*weighted code*)

- kod u kojemu znamenke kombinacije imaju određene težine mjesta

Tablica 1.9: Pregled kodova sazdanih od 4 bita

	Dekadska kombinacija u kodu			
Binarna kombinacija	BCD	XS-3	Aikenov	Grayev
0000	0		0	0
0001	1		1	1
0010	2		2	3
0011	3	0	3	2
0100	4	1	4	7
0101	5	2		6
0110	6	3		4
0111	7	4		5
1000	8	5		
1001	9	6		
1010		7		
1011		8	5	
1100		9	6	8
1101			7	9
1110			8	
1111			9	

Tablica 1.10: Stari ASCII kod sa slovima hrvatske abecede (pojedini rjeđe korišteni znakovi koristili su se zamjenski za 10 hrvatskih specifičnih malih i velikih slova)

				b7	0	0	0	0	1		1		1		1	
				b6	0	0	1	1	0		0		1		1	
				b5	0	1	0	1	0		1		0		1	
b4	b3	b2	b1		0	1	2	3	4		5		6		7	
0	0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	Ž	@	P		ž	`	p	
0	0	0	1	1	SOH	DC1	!	1	A		Q		a		q	
0	0	1	0	2	STX	DC2	"	2	B		R		b		r	
0	0	1	1	3	ETX	DC3	#	3	C		S		c		s	
0	1	0	0	4	EOT	DC4	$	4	D		T		d		t	
0	1	0	1	5	ENQ	NAK	%	5	E		U		e		u	
0	1	1	0	6	ACK	SYN	&	6	F		V		f		v	
0	1	1	1	7	BEL	ETB	'	7	G		W		g		w	
1	0	0	0	8	BS	CAN	(	8	H		X		h		x	
1	0	0	1	9	HT	EM	)	9	I		Y		i		y	
1	0	1	0	A	LF	SUB	*		J		Z		j		z	
1	0	1	1	B	VT	ESC	+	;	K		Š	[	k		š	{
1	1	0	0	C	FF	FS	,	<	L		Đ	\	l		đ	|
1	1	0	1	D	CR	GS	-	=	M		Ć	]	m		ć	}
1	1	1	0	E	SO	RS	>		N		Č	^	n		č	~
1	1	1	1	F	SI	US	/	?	O		_		o		DEL	

1.2.5. 1.2.5. ODGOVORITE NA POSTAVLJENA PITANJA I RIJEŠITE ZADATKE

1. U čemu se razlikuju BCD kod i Excess-3 kod?

2. Objasnite pojmove težinski i samo-komplementirajući kod.

3. Kodirajte BCD kodom broj 395_{10}.

4. Koji broj dekadskoga brojevnoga sustava odgovara binarnoj kombinaciji 100001100010 u BCD kodu?

5. Koliko binarnih znamenaka treba da se broj 128_{10} napiše u binarnome, a koliko u BCD kodu?

6. Kodirajte XS-3 kodom broj 395_{10}.

7. Koji broj dekadskoga brojevnoga sustava odgovara binarnoj kombinaciji 101110010101 u XS-3 kodu?

8. Kodirajte Grayevim kodom broj 286_{10}.

   Koji broj dekadskoga brojevnoga sustava odgovara binarnoj kombinaciji 001011010111 u Grayevu kodu?

9. Kodirajte Aikenovim kodom broj 728_{10}.

10. Koji broj dekadskoga brojevnoga sustava odgovara binarnoj kombinaciji 110001001111 u Aikenovu kodu?

11. Kodirajte podatak Y : 5 u ASCII kodu.

12. Koji je sadržaj podatka 1011000 0101011 0111000 zadanoga u ASCII kodu?

13. Kodirajte podatak Y : 8 u EBCDI kodu.

14. Koji je sadržaj podatka 11100010 11010111 01001110 zadanoga u EBCDI kodu?

15. Objasnite funkciju paritetnoga bita.

16. U tablici ASCII koda pronađite binarnu kombinaciju za slova *s* i *S* i odredite vrijednost paritetnoga bita prema uvjetima za paran paritet?

17. U tablici ASCII koda pronađite binarnu kombinaciju za slova *p* i *P* i odredite vrijednosti paritetnoga bita prema uvjetima za neparan paritet?

18. Nađite ispravnu kombinaciju za podatak 0011001 0111101 zadan Hammingovim kodom.

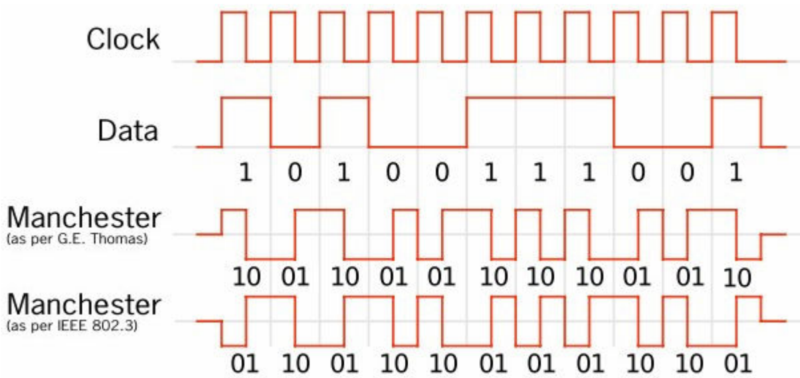
1.3. 1.3. Manchester kod za IEEE 802.3 i E.G. Thomas

exclusive ORed with the clock.doc (za Tonka i Marka) (VIT)19.12.2015,

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\Manchester i Konvolucija\Manchester code.circ

Manchester Encoding.doc, Manchester i konvolucijski kod.doc, tonko.doc,

Manchester 1.jpg, Manchester 2.jpg, Manchester 3.jpg



Slika 1.12: Manchester kod

1.3.1. KODER

Manchester code.circ, (VIT)

1.3.2. DEKODER

Manchester kod.circ

1.4. 1.4. Dodatna literatura

f:\KNJIGE\RAČUNALA\Exploring Digital Logic with Logisim\Lab Manual for Logisim\Lab Manual for Logisim.doc (VIT-vježba)

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\All about Digital Modulation\232 Trellis Code ModulationH.doc (VIT)

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\A Commonsense approach to the theory of error correcting codes\232 Trellis.doc (VIT)

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\Error Control Coding Second Edition\Sedamnaest i osamnaest.doc (VIT)

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\Digital Communications 3rd Ed Glover-Grant\Digital Communications 3rd Ed.doc (bit error probability)

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\LOGISIM-win-2.7.1\Logisim_.doc

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\LOGISIM-win-2.7.1\Flip Flop.doc (C++ program)

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\Digital Communications Fundamentals and Applications 2.Ed\Chapter 06 Channel Coding 1.doc (VIT-zadatak)

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\MODULACIJE\Digital Modulation.doc (VIT - Matlab)

f:\KNJIGE\RAČUNALA\Exploring Digital Logic with Logisim\Exploring Digital Logic with Logisim\Exploring Digital Logic with Logisim.doc (VIP i VIT)

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\Communication Systems Engineering 2nd Edition\CSI2Ed za studente.doc

f:\KNJIGE\RAČUNALA\Exploring Digital Logic with Logisim\Digital design\Digital Design-ADOBE.doc

f:\KNJIGE\RAČUNALA\Exploring Digital Logic with Logisim\Exploring Digital Logic with Logisim\Gray Code.doc

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\LOGISIM-win-2.7.1\PRIJEVODI\BrkićH.doc (VIT)

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\LOGISIM-win-2.7.1\PRIJEVODI\FišićH.doc (VIT)

f:\KNJIGE\RAČUNALA\Exploring Digital Logic with Logisim\Exploring Digital Logic with Logisim\Exploring Digital Logic with Logisim_.doc (VIT-vježbe)

f:\KNJIGE\RAČUNALA\Exploring Digital Logic with Logisim\Exploring Digital Logic with Logisim\POG 0-9.doc (VIT-vježbe)

f:\KNJIGE\RAČUNALA\Exploring Digital Logic with Logisim\ Lab Manual for Logisim \POG 0-9.doc (VIT-vježbe)

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\LOGISIM-win-2.7.1\Summary of Shift RegistersH.doc (VIT-lab?)

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\Communication Systems Engineering 2nd Edition\SOLUTIONS MANUAL-Adobe.doc

f:\KNJIGE\Telekomunikacije\Error Control Coding Second Edition\PRIJEVODI\ŠP-CHAPTER 18-up-VAL.doc (VIT-prijevod)