

Digitalni prenos signalov v osnovnem pasu

Digitalne komunikacije II
- 3. sklop laboratorijskih vaj

Vsebina

- UVOD:
 - Osnove digitalnega prenosa
 - Bit, baud Hz ?
 - Kaj omejuje hitrost prenosa informacije ?
 - Impulzno amplitudna modulacija
 - Intersimbolna interferenca
- 3. Sklop laboratorijskih vaj
 - Digitalni prenosni sistem
 - Mera intersimbolne interference in očesni diagram
 - Vpliv šuma na napake pri prenosu
 - Eksperimenti na simulatorju
 - Eksperimenti z moduli TIMS

DK-II A. Umek 2002

2

Zapis informacije s simboli (znaki)

- Informacijo** prenašamo v obliki zaporedja določenih signalnih oblik ali znakov, ki jih imenujemo tudi **simboli**
- M** simbolov izberemo tako, da so med seboj čim bolj ločljivi !
- en simbol lahko nosi v povprečju največ $b_s = \log_2(M)$ bitov informacije
- eden od starejših načinov digitalnih komunikacij:

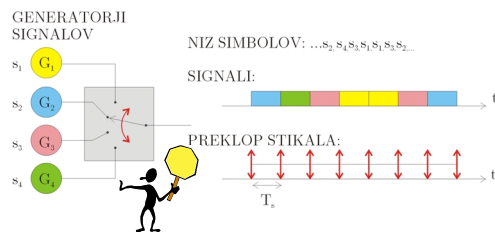


DK-II A. Umek 2002

3

Simbolna hitrost

- Vsak simbol predstavlja **električni signal**, ki ima omejen čas trajanja T_s
- Simbolna hitrost f_s (baud-rate)** je število simbolov, ki jih prenašamo v eni sekundi: $f_s = 1/T_s$



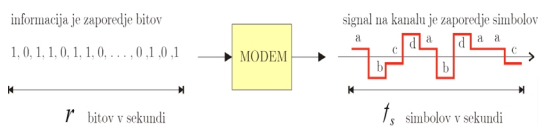
DK-II A. Umek 2002

4

Informacijski pretok in simbolna hitrost

- Informacijski pretok ali hitrost prenosa informacije** (information transfer rate) je produkt simbolne hitrosti s povprečnim številom bitov, ki jih prenaša en simbol:

$$r = b_s \cdot f_s$$



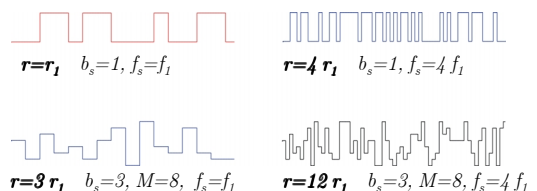
- Informacijski pretok merimo v bitih na sekundo: **bit/s**, kbit/s, Mbit/s

DK-II A. Umek 2002

5

Omejitve hitrosti prenosa informacije

- Kako povečamo hitrost prenosa informacije ?** $r = b_s \cdot f_s$



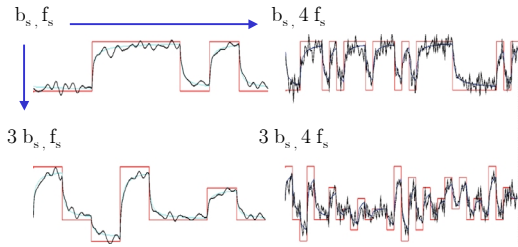
- Če povečamo simbolno hitrost, razširimo spekter signala !**
- Če povečamo število nivojev M, se ob nespremenjeni moči signala zmanjša distanca med simboli !**

DK-II A. Umek 2002

6

Praktične omejitve hitrosti na fizičnem kanalu

- Popačenje signala povzroča disperzija zaradi nelinearne fazne karakteristike prenosne poti in različne vrste šuma:

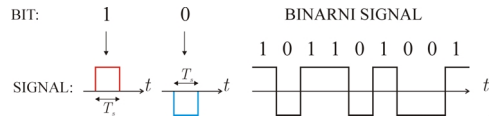


DK-II A. Umek 2002

7

Impulzno amplitudna modulacija

- Impulzno amplitudna modulacija **PAM** (Pulse Amplitude Modulation) se najpogosteje uporablja za digitalni prenos v osnovnem pasu.
- Informacijo zapišemo z amplitudo impulzov omejenega trajanja.
- Najpreprostejši je binarni prenos s pravokotnimi impulzi:



- Pri binarnem prenosu vsak simbol nosi en bit informacije, zato je hitrost prenosa informacije enaka simbolni hitrosti:

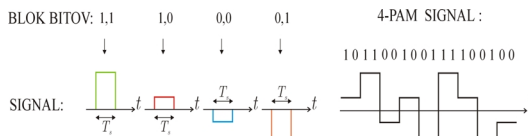
$$r = f_s$$

DK-II A. Umek 2002

8

Večnivojski PAM

- Več bitov v enakem času lahko prenesemo z več nivoji:



- Uporabimo **Grayevo kodiranje** simbolov: sosedni simboli se razlikujejo samo za en bit: BER=SER,
- Pri M-PAM prenosu vsak simbol nosi $\log_2(M)$ bitov informacije, zato je hitrost prenosa informacije enaka:

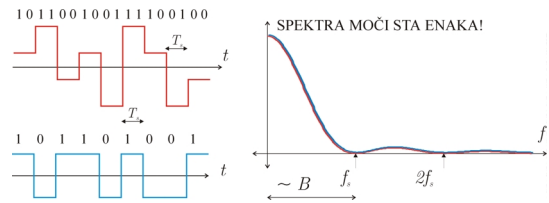
$$r = f_s \log_2 M$$

DK-II A. Umek 2002

9

Spekter M-PAM signalov

- Sprememba števila nivojev ne vpliva na spekter signala:



- S pravokotno oblikovanjem M-PAM signalom lahko prenašamo po kanalu s pasovno širino B približno $B \log_2 M$ bitov v sekundi.
- Hitrost je lahko tudi skoraj dvakrat večja, če uporabimo izravnalnik v sprejemniku!

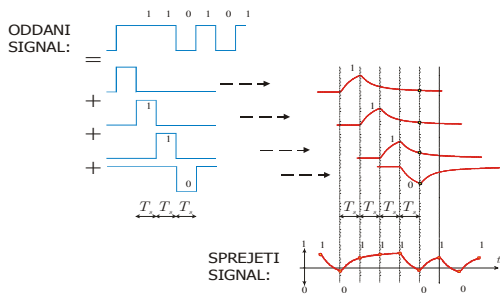
$$r \approx B \log_2 M$$

DK-II A. Umek 2002

10

Intersimbolna interferenca

- Zaradi časovne disperzije se simboli prekrivajo med seboj:

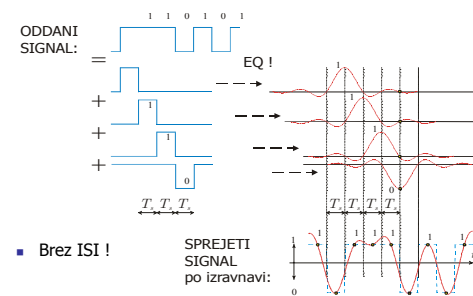


DK-II A. Umek 2002

11

Izločitev ISI:

- Kakšno prekrivanje simbolov lahko dopuščamo ?



- Brez ISI !

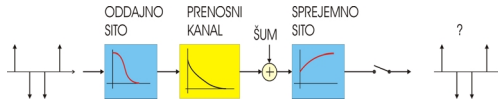
SPREJETI SIGNAL po Izravnavi:

DK-II A. Umek 2002

12

Izravnava prenosne karakteristike kanala

- Na prenosnem kanalu nastopi popačenje signala zaradi neravne prenosne karakteristike in zaradi šuma, ki se prišteva k signalu.
- Izravnavo popačene prenosne karakteristike kanala izvaja sito v sprejemniku, ki ga imenujemo **izravnalnik** (equalizer).



- Optimalnega sita za izravnavo ni mogoče vnaprej določiti, zato se uporablja adaptivni izravnalnik.
- Načelni princip delovanja: **izravnalnik v svoji optimalni nastavitvi minimizira intersimbolno interferenco in šum v sprejemniku.**

DK-II A. Umek 2002

13

Laboratorijske vaje

- Namen vaj je preveriti delovanje preprostega digitalnega prenosnega sistema, ki uporablja binarno kodo.
- Glavna naloga je ugotoviti kako na kvaliteto prenosa vplivata šum in intersimbolna interferenca.
- Vaje potekajo na simulatorju Simulink in z moduli TIMS.

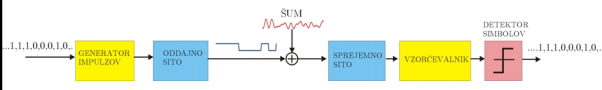
DK-II A. Umek 2002

14

Binarni PAM

Glavne značilnosti modela prenosnega sistema PAM-2 so:

- oddajnik je enobitni D/A pretvornik
- detektor je preprosti enobitni A/D pretvornik
- na kanalu se prišteva beli Gaussov šum



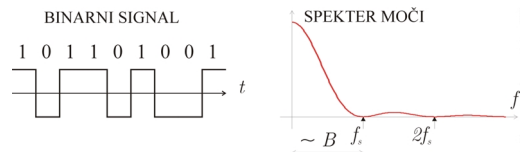
- Kvaliteto digitalne zveze določa pogostost napak pri prenosu.
- BER (bit-error-rate) je relativni delež napačno prenešenih bitov
- Na kvaliteto zveze vplivata intersimbolna interferenca in šum.
- S sprejemnim sitom uravnavamo velikost ISI in šuma v sprejemniku.
- Za dani primer je optimalno sprejemno sito povprečevalnik.

DK-II A. Umek 2002

15

Spekter binarnega signala

- Za prenos potrebujemo frekvenčni pas v katerem se nahaja večji del moči signala. V pasu do simbolne frekvence f_s se pri pravokotnih impulzih nahaja več kot 90% moči:

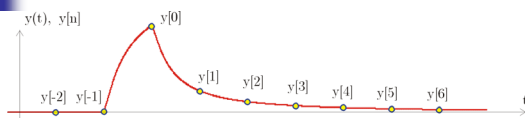


- Če omejimo frekvenčni pas na kanalu ali v sprejemniku, začne ISI naraščati.
- Na kanalu z dodanim šumom se moč šuma v sprejemniku zmanjša, če omejimo frekvenčni pas v sprejemnem situ.

DK-II A. Umek 2002

16

Mera za intersimbolno interferenco



- Velikost intersimbolne interferencje izražamo z maksimalno vrednostjo ISI:

$$ISI = \frac{\sum_{n \neq 0} y(t_0 + nT)}{y(t_0)}$$

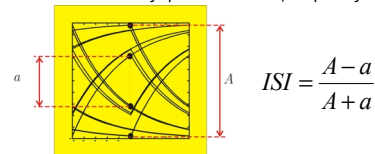
- Zaradi intrisimbolne intreferece se poveča občutljivost na šum. Če je $ISI > 1$ nastopajo napake tudi če ni šuma na kanalu.

DK-II A. Umek 2002

17

ISI in diagram odprtine očesa

- Maksimalno vrednost ISI lahko ugotovimo z meritvijo očesnega diagrama. Očesni diagram izmerimo z osciloskopom. Osciloskop nam pokaže očesni diagram, če pri meritvi podatkovnega signala prožimo časovno bazo s taktom simbolne frekvence.
- Zaradi persistence ekrana vidimo naenkrat množico zaporedij signalnih oblik, ki pa so vse sinhronizirane na fazo simbolne frekvence. Rezultat je periodični vzorec, ki spominja na oko:



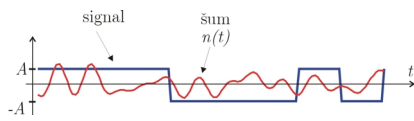
$$ISI = \frac{A - a}{A + a}$$

- Pri majhni intersimbolni interferenci je oko odprto: razlika med a in A je majhna. Če je interferenca velika npr. $ISI=1$ postane oko popolnoma zaprto!

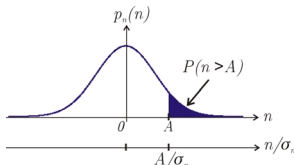
DK-II A. Umek 2002

18

Vpliv šuma na verjetnost napake P_e



- Napaka nastopi, če je šum večji od signala. Če ima šum Gaussovo porazdelitev verjetnosti amplitude, lahko verjetnost dogodka $P(n > A)$ izračunamo:



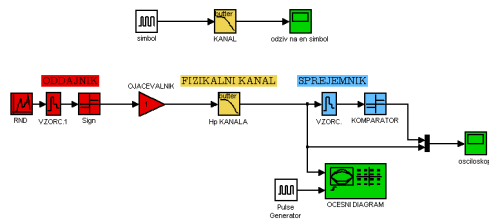
A/σ_n	$P(n > A)$
1	0.16
2	0.023
3	0.0013
4	0.000032
5	0.00000029

NALOGE:

- Preverite vpliv šuma in intrasimbolne interference na kvaliteto binarnega prenosa signalov.
- Velikost intrasimbolne interference ocenite na osnovi meritve odprte binarnega očesa pred vzorčevalnikom v sprejemniku. Ugotovite kako narašča ISI, če pri prenosu pravokotnih impulzov uporabimo nizko sito v sprejemniku!
- Za primer, če je na kanalu beli šum ugotovite, kako je kvaliteta zveze odvisna od pasovne širine nizkega sita v sprejemniku.
- Naloge rešite z eksperimenti:
 - A) na simulatorju z elementi knjižnice SIMULINK in
 - B) z vezji TIMS

S-1) Disperzija impulzov in ISI

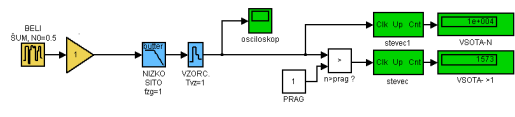
- Ocenite velikost intersimbolne interference pri prenosu pravokotnih impulzov!
 - za model kanala izberemo najprej nizko sito prvega reda z mejno frekvenco $f_{zg} = f_s$ in preverite rezultate modeliranja s teoretičnim modelom!
 - na osnovi opazovanja odprte očesa določite potek ISI(f_{zg}) za primer, če je kanal "ostro" nizko sito (izberite visok red Butterworthovega sita)!



S-2) Vpliv šuma na število napak

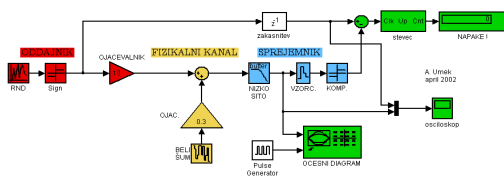
Preverite lastnosti šumnega izvora:

- nastavite gostoto šuma N_0 tako, da bo efektivna vrednost šuma v frekvenčnem pasu ($-f_{zg}, f_{zg}$) enaka 1! $n_{eff} = 2 f_{zg} N_0$
 - izmerite relativno frekvenco dogodka $n(k T_{bit}) > 1, 2, 3, \dots$
 - postopek ponovite pri polovični mejni frekvenci sita f_{zg} !
- Preverite rezultate modeliranja s teoretičnim modelom!



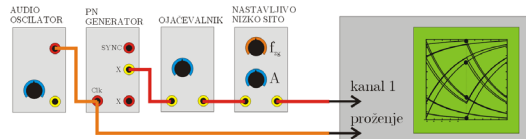
S-3) PAM oddajnik in sprejemnik v Simulinku

- z elementi knjižnice sestavite PAM oddajnik in sprejemnik!
- nastavite parametre:
 - amplituda signala $V=1$, simbolna hitrost $f_s=1$
 - efektivna vrednost šuma v frekvenčnem pasu $(0, f_s)$ $n_{eff}=(1, 1/2, 1/3)$
 - mejna frekvenca nizkega sita v sprejemniku: $f_{zg}=(2f_s, f_s, 0.5 f_s)$
- rezultate vpišite v tabelo BER(f_{zg}, n_{eff})



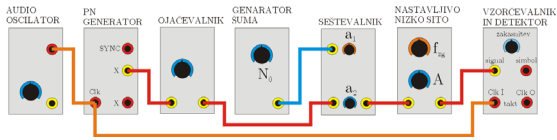
T-1) Očesni diagram

- sestavite PAM-2 oddajnik in nastavite parametre:
 - simbolna hitrost $f_s=2000$ baud
 - amplituda signala $V=2V$
 - mejna frekvenca nizkega sita $f_{zg}=(4000\text{Hz}, 2000\text{Hz}, 1000\text{Hz}, 500\text{Hz} \dots)$
- izmerite očesni diagram za različne nastavitve f_{zg} in izračunajte ISI!



T-2) PAM z moduli TIMS

- sestavite PAM-2 oddajnik in sprejemnik in nastavite parametre:
 - simbolna hitrost f_s
 - amplituda signala X
 - gostota moči šumnega izvora N_0
 - mejna frekvenca nizkega sita v sprejemniku f_{zg}
- preverite časovni potek in spekter signala v vseh točkah !
- izmerite pogostost napak *BER* za različne nastavitve N_0 in f_{zg} !



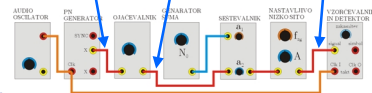
DK-II A. Umek 2002

25

T-3) Linijske kode

- V prenosni sistem na sliki vključite še linijski kodirnik v oddajniku in linijski dekodirnik v sprejemniku.
- Izmerite in skicirajte potek spektra na izhodu oddajnika, če uporabimo različne linijske kode:
 - bipolarno (**NRZ**)
 - bifazno (**BiΦ**) ali Manchester,
 - **AMI** (Alternate Mark Inversion)
 - **Duo-Binary** (PR 1+D)
 - **Dicode** (PR 1-D)
- Preverite katere kode so občutljive za primer, če kanal ne prenaša enosmerne komponente !

dodaj linijski kodirnik ! dodaj kanalno sito ! dodaj linijski dekodirnik !



DK-II A. Umek 2002

26