

Digitalne (znakovne) komunikacije

TKO

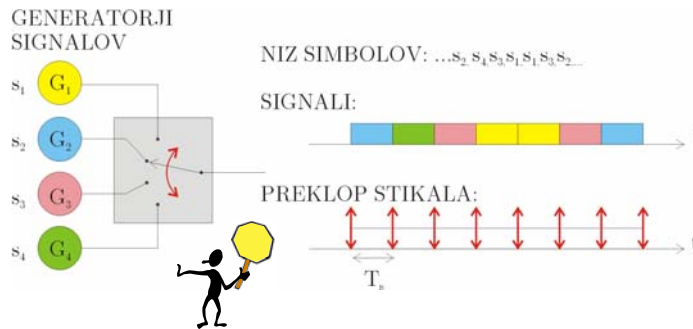
Komunikacije z dogovorjenimi znaki

- **Informacijo** prenašamo v obliki zaporedja dogovorjenih **znakov** ali simbolov.
- **M** znakov izberemo tako, da so med seboj čim bolj ločljivi !
- en znak lahko nosi v povprečju največ $b_s = \log_2(M)$ bitov informacije
- eden od starejših načinov znakovnih komunikacij ☺ :



Znakovna ali simbolna frekvenca

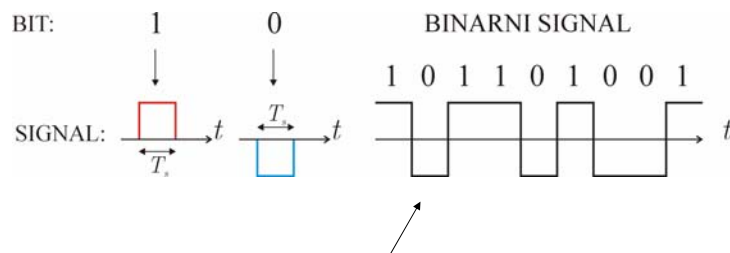
- Vsak znak predstavlja določeni **električni signal**, ki ima omejen čas trajanja T_s
- Zaporedje znakov (simbolov) se prenaša po komunikacijskem mediju kot zaporedje električnih signalov.
- **Znakovna ali simbolna frekvenca f_s** (ang: baud-rate) določa število znakov, ki jih prenašamo v eni sekundi: $f_s = 1/T_s$



3

Binarni signal

- Binarni signal vsebuje dva različna znaka.
- Koda znaka je zapisana z enim bitom: 0, 1

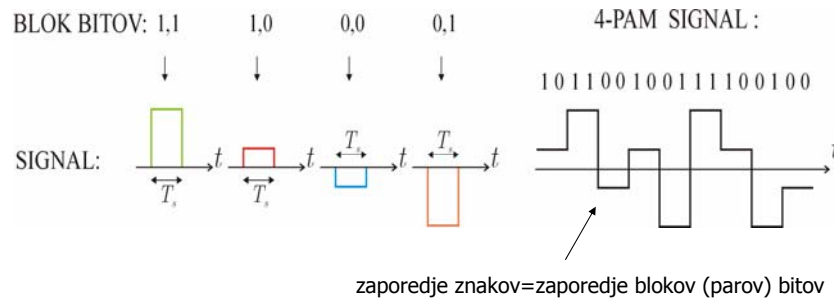


zaporedje znakov=zaporedje bitov

4

Primer komunikacije s štirimi znaki

- V enakem času lahko prenesemo dvakrat več bitov informacije:



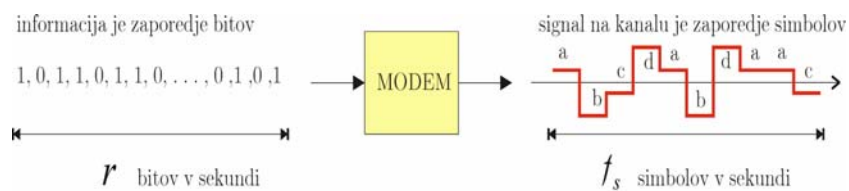
- Grayevo kodiranje znakov: "sosedni" znaki se razlikujejo samo za en bit.

5

Informacijski pretok

- Informacijski pretok ali hitrost prenosa informacije** (information transfer rate) je produkt znakovne frekvence s povprečnim številom bitov informacije, ki jih nosi en znak:

$$r = b_s \cdot f_s$$



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

6

Omejitve pri prenosu informacije

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



$$r = r_1 \quad b_s = 1, f_s = f_1$$



$$r = 4 r_1 \quad b_s = 1, f_s = 4 f_1$$



$$r = 3 r_1 \quad b_s = 3, M = 8, f_s = f_1$$



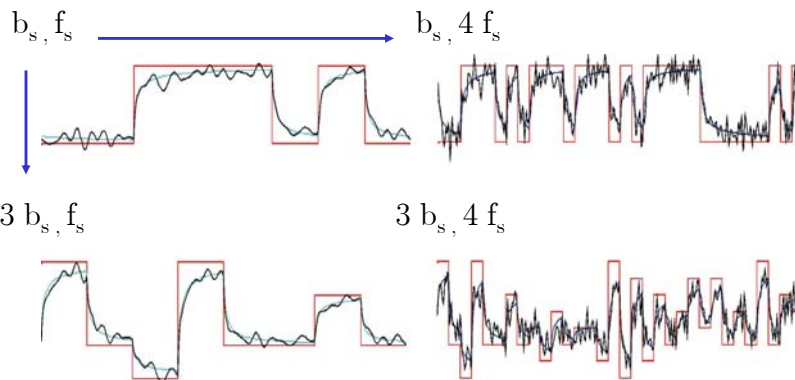
$$r = 12 r_1 \quad b_s = 3, M = 8, f_s = 4 f_1$$

- Če povečamo znakovno hitrost, razširimo **spekter signala**.
- Če povečamo število znakov M , se ob nespremenjeni moči signala zmanjša **razlika med znaki**.

7

Popačitve na fizikalnem kanalu

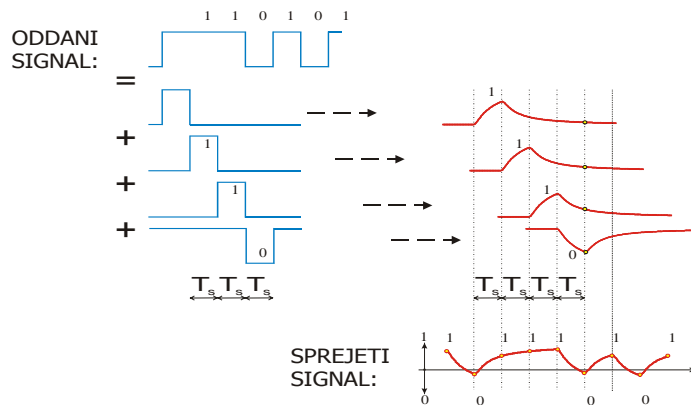
- popačenje signala in šum zmanjšujeta prepoznavnost znakov:



8

Disperzija impulzov in interferenca

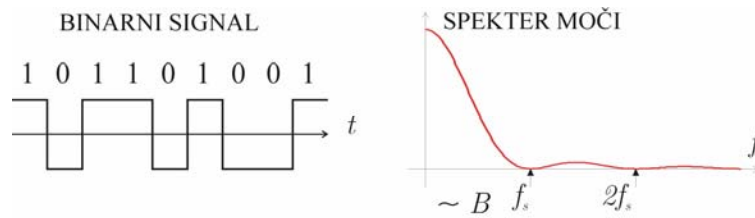
- Zaradi disperzije se impulzi v sprejemniku prekrivajo med seboj:



9

Spekter binarnega signala

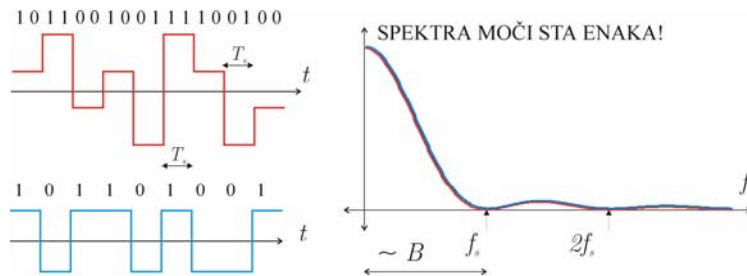
- Za prenos potrebujemo frekvenčni pas v katerem se nahaja večji del moči signala.
- Več kot 90% moči binarnega signala se nahaja do znakovne frekvence f_s :



10

Spekter zaporedja impulzov

- Povečanje števila amplitud impulzov ne vpliva na spekter signala:

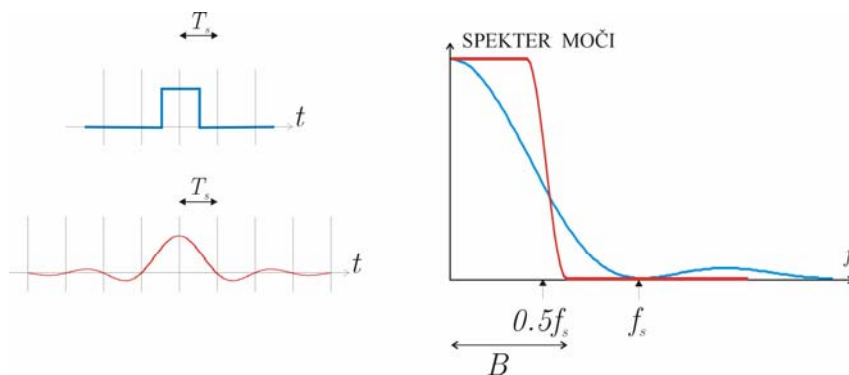


- Širina spektra je odvisna od trajanja impulzov in tudi od oblike impulzov.

11

Oblika impulzov in spekter

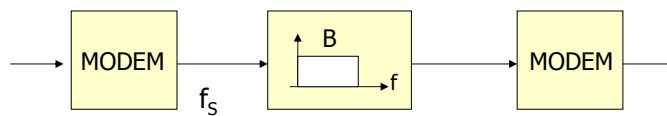
- Širina spektra signala je najmanj polovica znakovne frekvence:



12

Omejitve s pasovno širino

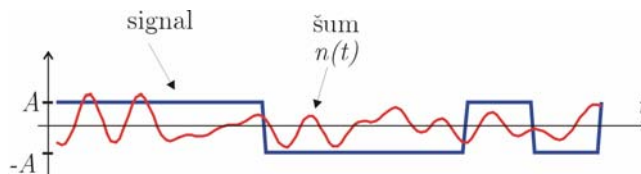
- "Na frekvenčno omejenem kanalu s pasovno širino B lahko prenašamo največ $2B$ znakov v sekundi". (H. Nyquist, 1927)
- Če je znakovna frekvenca večja od $2B$, ne moremo preprečiti interference zaradi prekrivanja znakov.
- Primer:
 - Po kanalu s pasovno širino $B=1\text{MHz}$ lahko prenašamo največ 2 milijona znakov v sekundi. (2Mbaud)



13

Omejitve zaradi šuma

- Zaradi šuma so znaki v sprejemniku manj prepoznavni.
- Če je moč šuma prevelika v primerjavi z močjo signala, nastopijo napake pri prepoznavanju znakov v sprejemniku.
- Verjetnost napake je odvisna od razmerja med močjo signala in močjo šuma.

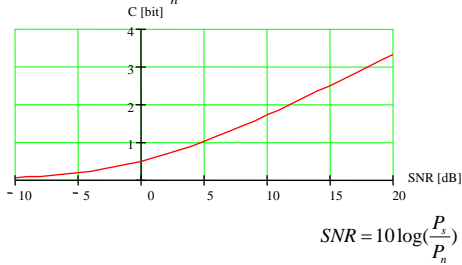


14

Kapaciteta kanala

- Kapaciteta kanala nam pove teoretično maksimalno število bitov, ki jih lahko v enem znaku prenesemo po šumnem kanalu brez izgube informacije. Odvisna je od razmerja med močjo signala in močjo šuma:

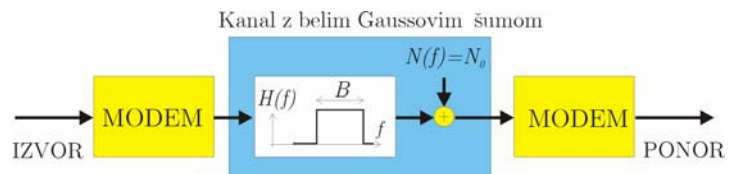
$$C = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_n} \right)$$



15

Omejitev s šumom in pasovno širino

- Količina informacije, ki jo lahko v eni sekundi prenesemo po komunikacijskem kanalu je omejena z:
 - močjo signala P_s ,
 - močjo šuma P_n in
 - širino frekvenčnega pasu B .



$$r_{\max} = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_n} \right)$$

16

Zgled:

- Koliko bitov v sekundi lahko teoretično prenašamo po frekvenčno omejenem kanalu z belim Gaussovim šumom s podatki:
 - pasovna širina kanala je 4000 Hz
 - razmerje signal/šum na kanalu je konstantno 30dB, kar ustreza razmerju moči $P_s/P_n=1000$
- Odgovor: Največja hitrost prenosa po takšnem kanalu je približno 40.000 bitov v sekundi:
 - $r_{\max}=4000 \log_2(1001)=39869$ bit/s

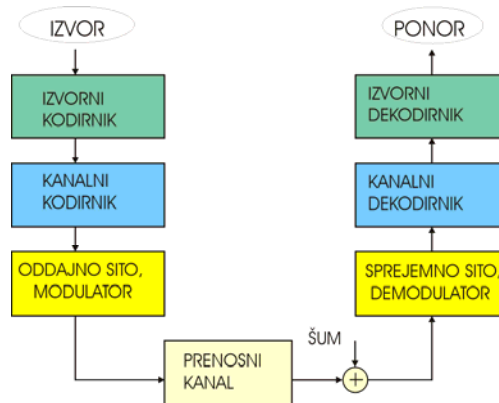
$$r_{\max} = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_n} \right)$$

17

Kodiranje signalov

V modelu prenosnega sistema nastopata dve vrsti kodiranja:

- kodiranje izvora ali **izvorno kodiranje**
- kodiranje za prenos ali **kanalno kodiranje**



18

Namen kanalnega kodiranja

- Kanalni kodirnik **dodaja redundanco** informacijskemu signalu.
- Učinek kodiranja se stopnjuje glede na delež redundance:
 - Če dodamo malo redundance, lahko **detektiramo napake** pri prenosu,
 - Če v kanalnem kodirniku dodamo več redundance, lahko v sprejemniku na kanalnem dekodirniku detektiramo in tudi **popravljamo napake**.



- Učinkoviti postopki kanalnega kodiranja in dekodiranja uporabljajo dekodiranje na osnovi prepoznavanja najbolj verjetnih dolgih znakovnih zaporedij.

19

Odkrivanje in popravljanje napak

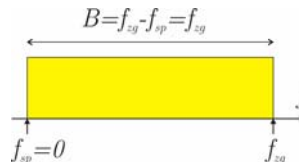
- Napake odkrivamo običajno z dodajanjem redundance v obliki paritete ali v obliki ciklične redundance (CRC).
 - Paritetni bit v 7B-8B kodi pove ali je v predhodnih 7 bitih sodo ali liho število enic:
 - 00110111 ni napake
 - 00010111 prišlo je do napake
 - Namesto paritetnega bita lahko dodamo CRC. CRC je lahko dolg več bitov in ga izračunamo na osnovi vseh bitov v bloku s pomočjo polinoma. CRC omogoča odkrivanje več napak v bloku.
- Da bi lahko napako popravili, moramo dodati več redundance.
Primer popravljanja je bločno kodiranje z dvakratno pariteto:

0	1	0	1	1	0	1	1
1	0	0	0	0	0	1	1
0	1	0	1	1	1	0	1
0	0	1	1	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	1
0	1	0	1	0	0	1	0
1	0	0	0	1	0	1	0
0	1	1	0	1	0	1	

20

Delitev frekvenčnih pasov

- **Osnovni frekvenčni pas** (baseband) je frekvenčno območje v katerem se nahaja večji del moči signala izvora. V znakovnih komunikacijah z bipolarno ali večnivojsko kodo uporabljamo frekvenčno področje od 0Hz naprej:

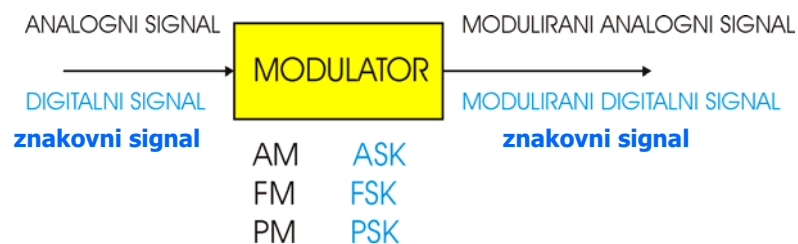


- Znakovna komunikacija v osnovnem pasu je mogoča le po žičnih kabljih.
- Radijske znakovne komunikacije ne potekajo v osnovnem pasu, pač v višjih frekvenčnih pasovih (passband).

21

Digitalne modulacije

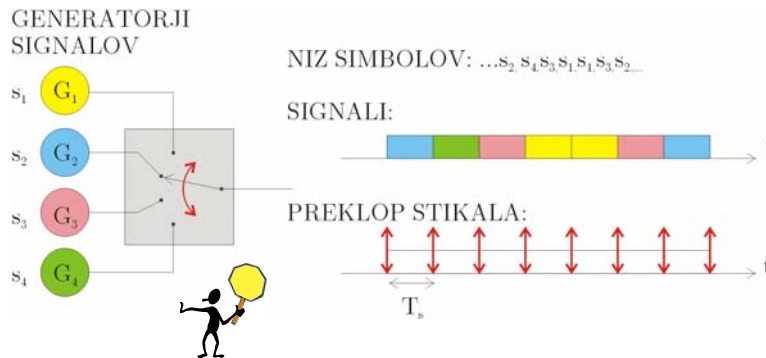
- Osnovni digitalni modulacijski postopki so podobni analognim modulacijskim postopkom, razlika je v signalu na vhodu modulatorja:



22

Digitalni modulator

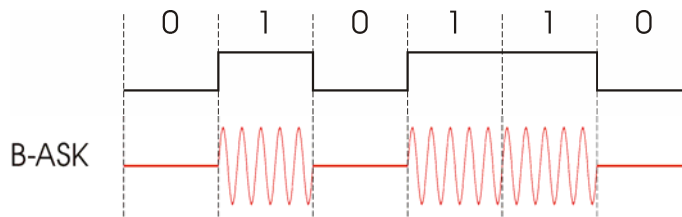
- Vsak znak predstavlja električni signal.
- Izberemo M harmoničnih signalov, ki se razlikujejo po amplitudi, fazi ali frekvenci !



23

Amplitudna modulacija ASK

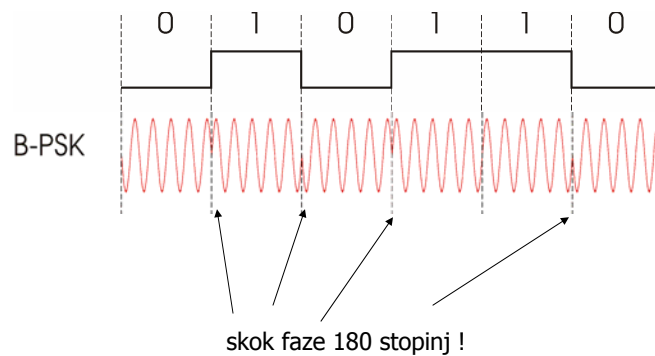
- **ASK** (Amplitude-Shift Keying) , "amplitudni skok" .
Znaki se razlikujejo po amplitudi nosilca.
- Najbolj preprost je binarni ASK (BASK):



24

Fazna modulacija **PSK**

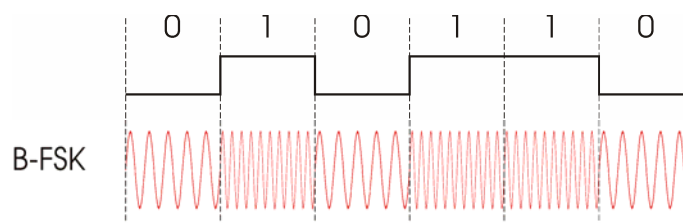
- PSK (Phase Shift Keying) , "fazni skok". Znaki se razlikujejo po fazi nosilca.
- Najbolj enostaven PSK je binarni PSK (BPSK):



25

Frekvenčna modulacija **FSK**

- FSK (Frequency Shift Keying) , "frekvenčni skok". Znaki se razlikujejo po frekvenci nosilca.
- Najbolj enostaven FSK je binarni FSK (BFSK):



26