



## Osnove znakovnih (digitalnih) komunikacij

---

Gradniki TK sistemov



## Vsebina

---

- Informacijski pretok in simbolna hitrost
- Biti, simboli in signalne oblike
  - zapis informacije s signali
  - izbira signalov za prenos
- Omejitve hitrosti prenosa informacije
  - omejitve s pasovno širino kanala
  - omejitve s šumom na kanalu
  - zgled
- Bit/s, baud, Hz ?

## Informacijski pretok in simbolna hitrost

- **Informacijo** prenašamo v obliki zaporedja določenih signalnih oblik, ki jih imenujemo **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:

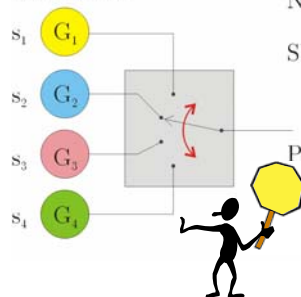


3

## Informacijski pretok in 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:  $f_s = 1/T_s$

GENERATORJI  
SIGNALOV



NIZ SIMBOLOV: ...s<sub>2</sub> s<sub>4</sub> s<sub>3</sub> s<sub>1</sub> s<sub>1</sub> s<sub>3</sub> s<sub>2</sub>...

SIGNALI:



PREKLOP STIKALA:

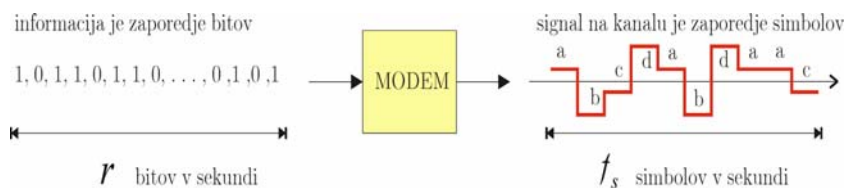


4

## 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

5

## Informacijski pretok in simbolna hitrost

- Povprečna informacija, ki jo nosi en simbol je odvisna od kodirnega postopka:
  - Pri kodiranem prenosu vnaša **kanalni kodirnik** poleg informacijskih bitov še **redundanco**, ki nam omogoča odkrivanje napak, odpravljanje napak ali pa celo preprečevanje napak pri prenosu.
  - pri prenosu brez vnašanja redundance lahko prenašamo z vsakim simbolom največ  **$b_s = \log_2(M)$**  bitov.

- ZGLEDI:

$$r = b_s \cdot f_s$$

prenosni sistem	$f_s$ [simbol/s]	$r$ [bit/s]	$b_s$ [bit/simbol]
V.29 modem 16-QAM	2400	9600	4
V.32 modem 32-TCM	2400	9600	4
V.34 modem 960-TCM	3429	28800	8.4
ISDN modem 2B1Q	80 k	160 k	2

6

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

7

## Omejitve hitrosti prenosa informacije

- Informacijski pretok izražamo s produktom simbolne hitrosti in števila bitov na simbol, ki narašča z logaritmom števila vseh simbolov:

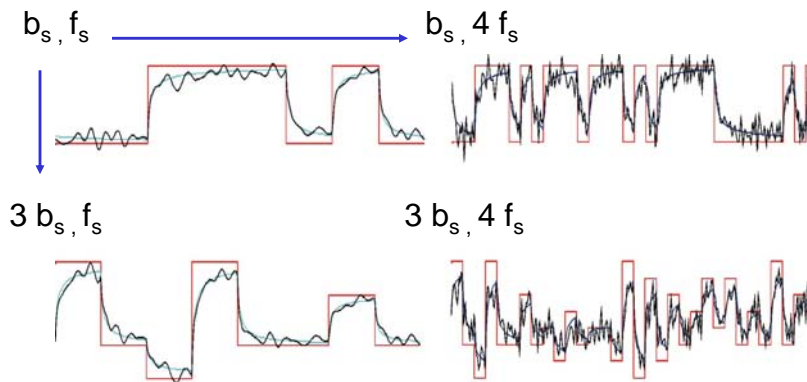
$$r = b_s \cdot f_s \quad b_s \leq \log_2 M$$

- Hitrost prenosa informacije bi bila neomejena, če lahko neomejeno povečujemo  $b_s$  ali  $f_s$  ? ..... **DA !**
- Ali lahko neomejeno povečujemo vsaj enega od obeh faktorjev ?
- **NE !**
- **Simbolna hitrost je omejena s pasovno širino kanala !**
- **Število bitov na simbol je omejeno s šumom na kanalu !**
- **Omejitve hitrosti prenosa informacije določa fizični prenosni kanal !**

8

## Praktične omejitve hitrosti na fizičnem kanalu

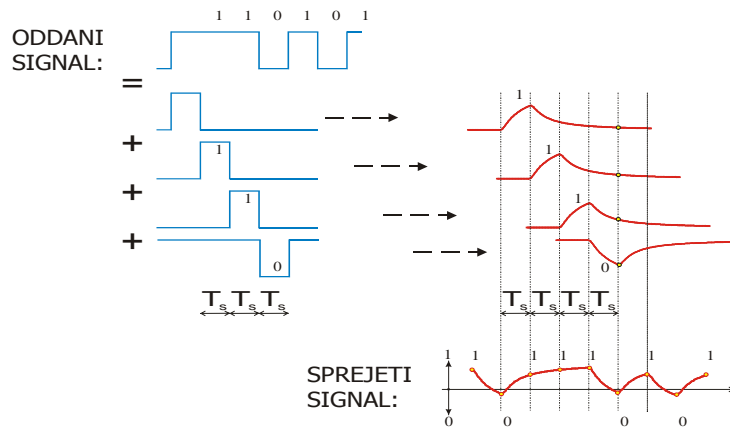
- Popačenje signala zaradi šuma in disperzije:



9

## Omejitve s pasovno širino kanala ?

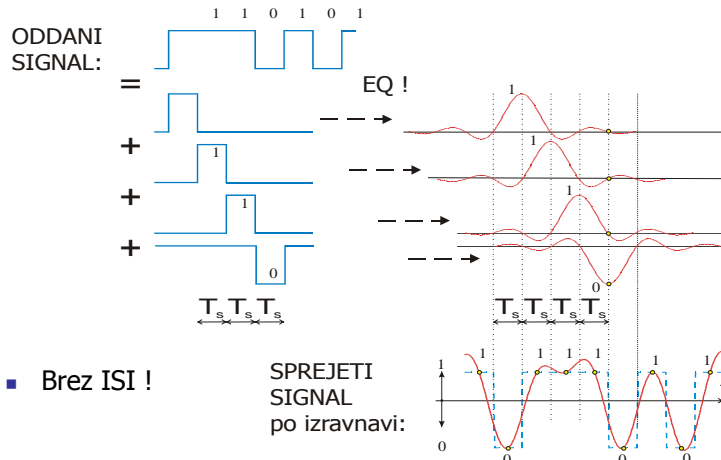
- Zaradi časovne disperzije se simboli prekrivajo med seboj:



10

## Omejitve s pasovno širino kanala ?

- Kakšno prekrivanje simbolov lahko dopuščamo ?



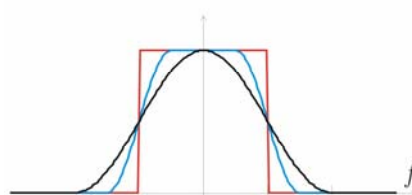
- Brez ISI !

11

## Omejitve s pasovno širino kanala

PREVAJALNA KARAKTERISTIKA KANALA

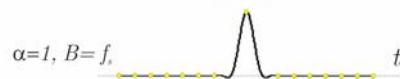
$H(f)$



PASOVNA ŠIRINA KANALA :  $B = f_N(1 + \alpha)$

IMPULZNI ODZIV KANALA

$h(t)$



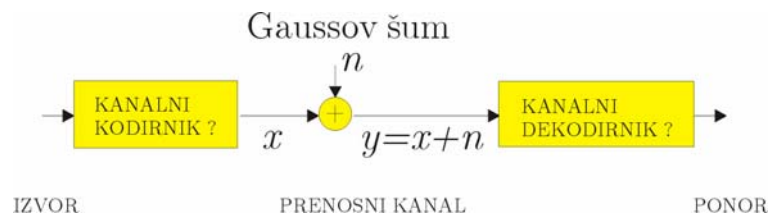
- **Nyquistov teorem:** Po frekvenčno omejenem kanalu s pasovno širino  $B$  lahko brez interference med simboli prenašamo največ  $f_s = 2B$  simbolov v sekundi !

12

## Omejitve s šumom: kapaciteta kanala

- Kapaciteta komunikacijskega kanala določa maksimalno število bitov, ki jih lahko prenesemo po komunikacijskem kanalu brez napak.
- Shannonova formula za kapaciteto diskretnega Gaussovega kanala:

$$C = \frac{1}{2} \log_2 \left( 1 + \frac{\sigma_x^2}{\sigma_n^2} \right)$$

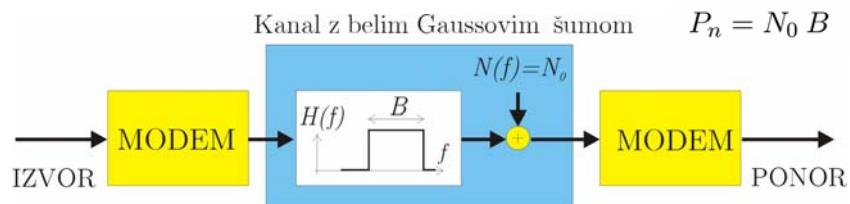


13

## Omejitev s šumom in pasovno širino

- Shannonova formula za kapaciteto frekvenčno omejenega kanala z belim Gausovim šumom:

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



- Povezava z Nyquistovim teoremom:

$$r_{max} = \max\{f_s b_s\} = 2B C$$

14

## Omejitev s šumom in pasovno širino

### Zgled:

- Koliko bitov v sekundi lahko teoretično prenašamo po frekvenčno omejenem kanalu z belim Gaussovimi 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 40.000 bitov v sekundi:
  - $r_{max}=4000 \log_2(1001)=39869$  bit/s
- Komentar: Rezultat predstavlja **zgornjo teoretično mejo**, ki se ji lahko pri nizkih frekvencah zelo približamo z uporabo sodobnih kodirnih in modulacijskih postopkov.
- Praktični prenosni sistemi delujejo s sprejemljivo pogostostjo napak (BER).

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

15

## Bit/s, baud, Hz ?

ISDN naročniška zveza (osnovni dostop) omogoča prenos:

- dveh B kanalov s kapaciteto 64kbit/s,
- enega D kanala s prenosno kapaciteto 16kbit/s,
- dodatnih 16kbit/s potrebujemo za servisiranje fizičnega nivoja.
- ISDN modema, ki sta priključena vsak na svoji strani telefonske linije morata prenašati  **$r=160$  kbit/s** v obe smeri zveze.
- V ISDN modemu se uporablja štirinivojski prenos, kar pomeni, da vsak simbol prenaša dva bita informacije. Simbolna hitrost je zato polovico manjša od bitne hitrosti in znaša  **$f_s=80$  k baudov**.
- Prenos brez intersimbolne interference lahko poteka največ z dvema simboli na sekundo na 1 Hz pasovne širine. Za prenos s simbolno hitrostjo 80k baudov potrebujemo teoretično najmanj  **$B_{MIN}=40$  kHz** širok frekvenčni pas. Za lažjo implementacijo modemov praktično uporabljamo dvakrat širši frekvenčni pas:  **$B=80$  kHz**.

16