

# Základní principy přenosu dat

Petr Grygárek

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

1

## Reprezentace dat signálem

Přenášená data reprezentujeme pomocí změn vhodné fyzikální veličiny v čase – signálu  
Na signál můžeme pohlížet jako na funkci času

- $g(t)$

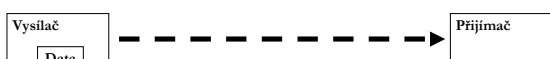
Obvykle používané veličiny nesoucí informaci

- Napětí, proud
- Intenzita světelného záření
- Akustický tlak
- ...

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

2

## Médium



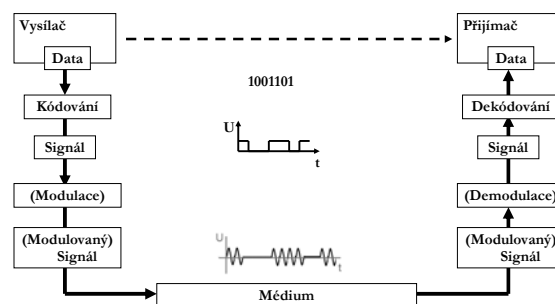
Signál se šíří médiem (prostředím)

- Metalické vedení
  - (koaxiál, kroucená dvojlinka, ...)
- Optické vlákno
- Vzduch
- ...

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

3

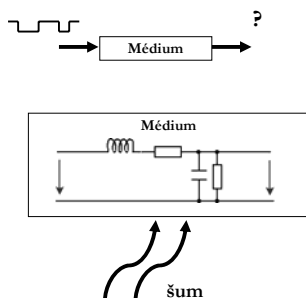
## Přenos dat médiem pomocí signálu



© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

4

## Působení média na signál



© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

5

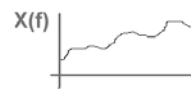
## Parametry média

- Útlum
- Rychlost šíření signálu
- Přeslechy
- Útlum odrazu
- ...

Obecně závislé na přenášené frekvenci

⇒ snaha využívat co nejvyšší pásmo frekvencí

- (rozdíly v hodnotách frekvenčně závislých parametrů na spodním a horním okraji pásma nebudou velké)

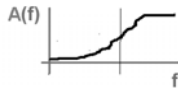


© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

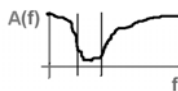
6

## Použitelný frekvenční rozsah média

Médium používáme v rozsahu frekvencí, kde má výhodné parametry



Médium se chová jako dolní propust



Médium se chová jako pásmová propust

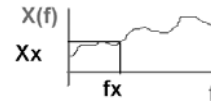
Ve frekvenční charakteristice může být i více využitelných „oken“

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

7

## Jak médium ovlivní signál ?

- Sinusový signál – jediná frekvence.  
Hodnotu parametru média pro danou frekvenci můžeme odečíst z charakteristiky (např. útlum)



- Obecný signál - ???

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

8

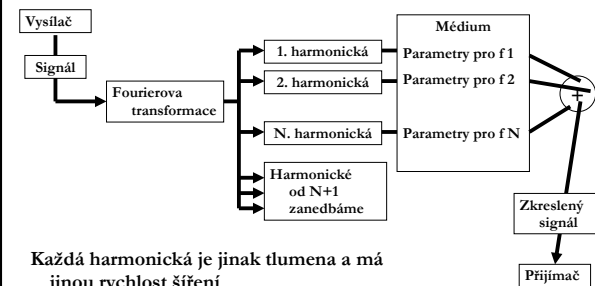
## Rozklad signálu na harmonické složky

- Signál můžeme rozložit na součet (nekonečného počtu) sinusových signálů (harmonických) o postupně se zvětšujících frekvencích – násobcích základní frekvence
- Jednotlivé harmonické mají různou amplitudu a fázové posunutí oproti základní frekvenci (první harmonické)
- Posoudíme vliv parametrů média na každou harmonickou zvlášť, výsledky sečteme

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

9

## Vyšetření působení média na signál



Každá harmonická je jinak tlumena a má jinou rychlost šíření

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

10

## Jak signál rozložit na harmonické složky ?

- Použití Fourierovy řady
- Je-li  $g(t)$  rozkládaný (periodický) signál a  $T$  jeho perioda:

$$g(t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega t) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cos(n\omega t) + \frac{1}{2}c$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(n\omega t) dt$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(n\omega t) dt$$

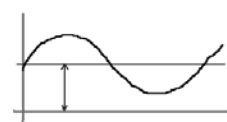
$$c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

11

## Stejnoseměrná složka

- Posunutí signálu v „ose y“
- Obvody navazující přijímač a vysílač na médium stejnosměrnou složku zpravidla nepřenášejí
  - telefonní síť, Ethernet – galvanické oddělení (transformátor - přenáší pouze změny)

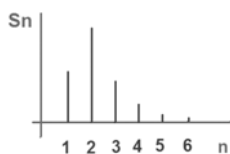


© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

12

## Spektrum signálu

- Určuje, jakou část výkonu signálu nese která harmonická
  - Posuzování vlivu zanedbání (odfiltrování) jednotlivých harmonických



$$S_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$$

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

13

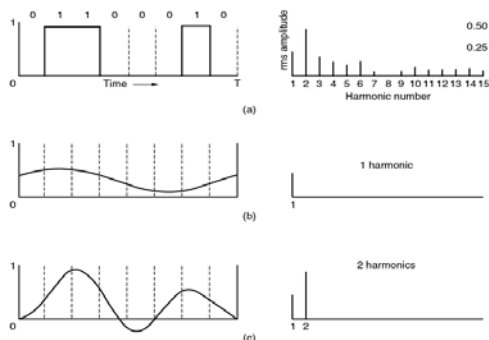
## Kontrolní otázka

Kolik čar ve spektru a kde bude mít sinusový signál ?

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

14

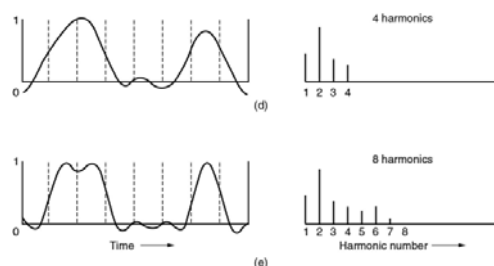
## Příklad (1)



© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

15

## Příklad (2)



© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

16

## Přenos v základním a přeloženém pásmu

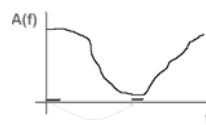
- V základním pásmu (baseband)
  - Přenáší se přímo frekvenční spektrum vzniklé zakódováním sekvence jedniček a nul
- V přeloženém pásmu (broadband)
  - frekvenční spektrum zakódované sekvence jedniček a nul se překládá do frekvenčního pásma, kde má médium vhodné charakteristiky
    - nebo mimo oblast, kde již nějaký signál přenášen je

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

17

## Přenos v přeloženém pásmu

- Přeložení signálu do frekvenční oblasti vhodné pro přenos médiem - modulace



- Řešení problému s kanály, které nepřenášejí stejnosměrnou složku
- Možnost vícenásobného využití média

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

18

## Modulace - princip

- Zvolíme sinusový signál o frekvenci vhodné pro přenos médiem – modulovaný signál (nosná)

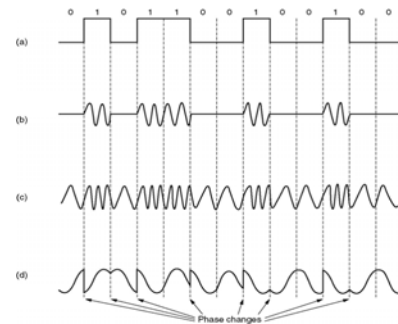
$$s(t) = A \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

- Měníme jeho parametry v závislosti na přenášených datech – modulačním signálu
  - Amplitudu
  - Frekvenci
  - Fázi
  - Kombinaci těchto parametrů

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

19

## Amplitudová, frekvenční a fázová modulace



© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

20

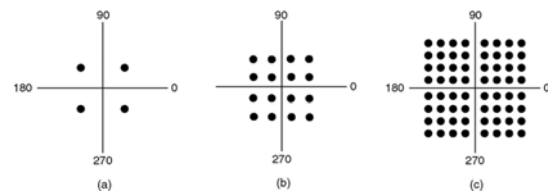
## Fázová modulace

- $2^n$  možností změny fáze zakóduje jednou změnou současně  $n$  bitů
- Např. změna o 45, 135, 225 a 315 stupňů
- Omezeno schopnostmi přijímacích obvodů rozlišit počet stupňů změny fáze

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

21

## Kvadrurně-amplitudová modulace (QAM)



Kombinace fázové a amplitudové modulace

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

22

## Přenosová vs. modulační rychlost

- Modulační rychlost – počet změn v signálu za jednotku času
  - Baud [Bd]
- Přenosová rychlost – počet bitů přenesených za jednotku času
  - b/s, bps

Přenosová rychlost může být vyšší než modulační – jednou změnou v signálu můžeme vyjádřit najednou více bitů (máme-li dost možných „druhů“ změn)

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

23

## Maximální dosažitelná přenosová rychlost

Existuje Vztah mezi požadovanou bitovou rychlostí a minimální šířkou pásma k tomu potřebnou ?

- Nyquistova věta:
  - Signál, který neobsahuje frekvence vyšší než  $H$  může být plně zrekonstruován ze vzorků (samples) snímaných s frekvencí  $2H$ .
    - Před vzorkováním nutná filtrace dolní propustí o mezním kmitočtu  $H$

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

24

## Maximální dosažitelná přenosová rychlost (2)

- Pokud při vzorkování kvantizujeme na  $V$  diskrétních úrovní, potřebujeme pro přenos takto vzorkovaného signálu minimálně bitový tok  $2 \cdot H \cdot \log_2(V)$  [b/s]

Úvahu můžeme otočit:

- Máme-li kanál s maximální přenášenou frekvencí  $H$  a rozlišujeme-li  $V$  diskrétních úrovní signálu, můžeme přenést maximální bitový tok  $2 \cdot H \cdot \log_2(V)$  [b/s]

## Maximální přenosová rychlost v prostředí se šumem

- Pro termický šum platí Shannonova věta

$$\text{max\_bps} = H \cdot \log_2(1 + S/N)$$

$S/N$  je poměr výkonu užitečného signálu a šumu (odstup signálu od šumu, často vyjadřovaný spíše v dB ( $10 \cdot \log(S/N)$ ))

## Shannonova věta - příklad

Mějme telefonní kanál přenášející frekvence 300-3400 Hz s odstupem signálu od šumu 30 dB (1000/1):

$$\text{max\_bps} = 3100 \cdot \log_2(1 + 1000/1) = 30,9 \text{ kbps}$$

## Přenos v základním pásmu

- Digitální signál se přenáší v původním pásmu
- Nepoužívá se modulace
- Pro metalická vedení v LAN, optická vlákna (i WAN)
- Bez použití nosné frekvence potřebujeme jiný mechanismus fázové synchronizace přijímače s vysílačem

## Kódování dat při přenosu v základním pásmu

- Zajištění výskytu změn v signálu pro časovou synchronizaci přijímače
  - fázová synchronizace, korekce časové základny přijímače
  - větší množství změn v signálu za časovou jednotku vede k vyšším frekvencím v signálu a tudíž potřebě širšího frekvenčního pásma pro jeho přenos
- Odstranění stejnosměrné složky
  - vazební obvody by stejnosměrnou složku nepřenely, nemožnost rozpoznání dlouhých sekvencí nul od sekvencí jedniček

Nesměšovat s kódováním pro účely komprese nebo utajení

## Kód Non Return to Zero (NRZ)

- přímé dvoustavové kódování
- binární 0: nízká úroveň, binární 1: vysoká úroveň

## Problémy kódu NRZ

- Pokud se nepřenáší stejnosměrná složka, nerozlišíme sekvenci nul od sekvence jedniček



- Při dlouhých sekvencích nul/jedniček nelze ze signálu obnovit časově dosynchronizovat přijímač
  - „Následovalo po sobě 1000 nebo 1001 jedniček?“

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

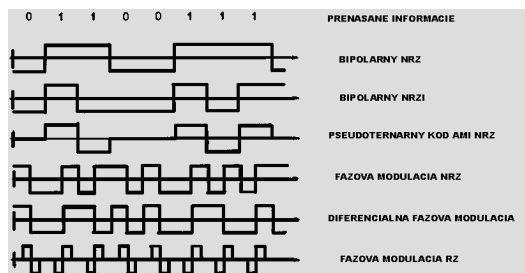
31

## Nejčastější kódování pro přenos v základním pásmu

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

32

## Některá vybraná kódování



(převzato z <http://alf.fei.tuke.sk/pai/exam/04.html>)

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

33

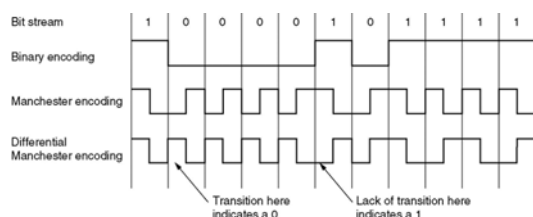
## Manchester Diferenciální Manchester

- Manchester
  - Kódování směrem změny uprostřed bitového intervalu
    - binární 0-sestup signálu, binární 1-vzestup signálu.
  - Na začátku bitového intervalu změna jen je-li potřebná
  - Použití v Ethernetu (10Mbps) na metalickém vedení
- Diferenciální Manchester
  - Kódování změnou nebo absencí změny na začátku intervalu
    - binární 0-změna, binární 1-absence změny
  - Uprostřed intervalu změna vždy (směr podle potřeby)

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

34

## Kódování Manchester a Diferenciální Manchester - příklad



© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

35

## Return Zero (RZ) Non Return to Zero Inverted (NRZI)

- RZ
  - Třístavový (úrovně napětí 0, -1, +1)
    - První polovina bitového intervalu kóduje hodnotu bitu
      - +1 při kódování binární 1
      - 1 při kódování binární 0
    - Ve druhé polovině vždy nulová úroveň
- NRZI
  - Dvoustavový
  - kódování binární 1: inverze signálu
  - kódování binární 0: úroveň signálu zůstává

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

36

## Alternate Mark Inversion (AMI)

- 3 úrovně amplitudy signálu (0, +1, -1)
  - Binární nula: nulová hodnota
  - Binární jednička: střídavě úroveň +1 a -1
- Porušení pravidel střídání možno použít pro označení významného bodu v datech (začátku rámce)
- Použití v ISDN (BRI S/T)

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

37

## HDB3

- AMI neřeší problém dlouhých posloupností nul
- HDB3 = modifikace AMI
  - po třech nulách vkládá jedničku
  - vložená jednička se pozná porušením pravidla střídání polarity
- Standardizován pro telekomunikační rozhraní E1-E3
  - Digitální spoje mezi ústřednami (PCM)

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

38

## Code Mark Inversion (CMI)

- Pro přenos AMI/HDB3 přes optická vedení
- U optických vedení nelze vyjádřit dvojí polaritu (3 úrovně, jen „svítí-nesvítí“)
- Jedna ze tří úrovní se vyjádří kombinací dvojice bitů (jedna kombinace zůstane nevyužita).

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

39

## 4B5B, 5B6B, ...

- Čtveřice bitů se mapují na vhodně vybrané bitové kombinace o šířce pěti bitů
  - (nebo pětice bitů na kombinace o šířce 6 bitů)
- Kombinace vybrány s ohledem na “přiměřený” výskyt změn a vyvážení výsledného datového toku
- Některé kombinace označují zvláštní stavy
  - začátek a konec rámce, prázdná linka
- Použití: Fast Ethernet

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

40

## 2B1Q

- jedním ze 4 možných stavů (amplitud) se kódují vždy 2 bity současně
- Použití: BRI ISDN (rozhraní U)

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

41

## Klasifikace přenosů dat

© 2005 Petr Grygárek, FEI VŠB TUOstrava, Počítačové sítě (Bc.)

42

## Podle směru využívání média

- Simplex – pouze v jednom směru
  - Příklad: TV vysílání
- Half duplex – v obou směrech, ale střídavě
  - Příklad: vysílačky, Ethernet s rozbočovači (hub)
- Full duplex – v obou směrech současně
  - Příklad: přepínání Ethernet

## Podle způsobu přenosu bitů znaků

- Paralelní
- Sériový
  - Asynchronní
  - Synchronní

V počítačových sítích téměř výhradně sériový přenos (menší náklady na přenosové médium)

## Sériový přenos asynchronní (arytmický)

- přenos po znacích (znaky 8, nebo také 7,6 či 5 bitů)
- přijímač a vysílač si udržují vlastní hodiny, hodiny přijímače se synchronizují jen fázově a pouze před začátkem vysílání znaku (start bit)
  - z důvodu rozdílů v jinak nezávisle běžících hodinách vysílače a přijímače lze bez nebezpečí rozsynchronizování přenést jen několik bitů (znak)
- na konci znaku paritní bit (zabezpečení)
- mezi znaky pauza (stop bit s hodnotou 1, tedy opačnou, než má start bit (0))
- vlivem potřeby neustálé synchronizace mezi znaky a meziznakové mezery nižší efektivita než u synchronního přenosu
- použití: nízkorychlostní znakově orientované přenosy
  - terminály, průmyslové automaty, komunikační porty PC (COM)

## Sériový přenos synchronní

- synchronizace vysílače a přijímače udržována neustále
- přenos po rámcích, rámec obsahuje vždy hlavičku a data proměnné délky, typicky stovky bajtů až jednotky kB, na konci rámce kontrolní součet
- začátky a konce rámců v bitovém toku vyznačeny speciální značkou (křídlová značka)
- při neaktivitě na lince klidový bitový vzor (opakující si křídlové značky)
- použití u vysokorychlostních komunikací
  - Směrovače a synchronní modemy pro pronajaté linky, ...