



Sdělovací prostředí

KIV/PD

Přenos dat

Martin Šimek

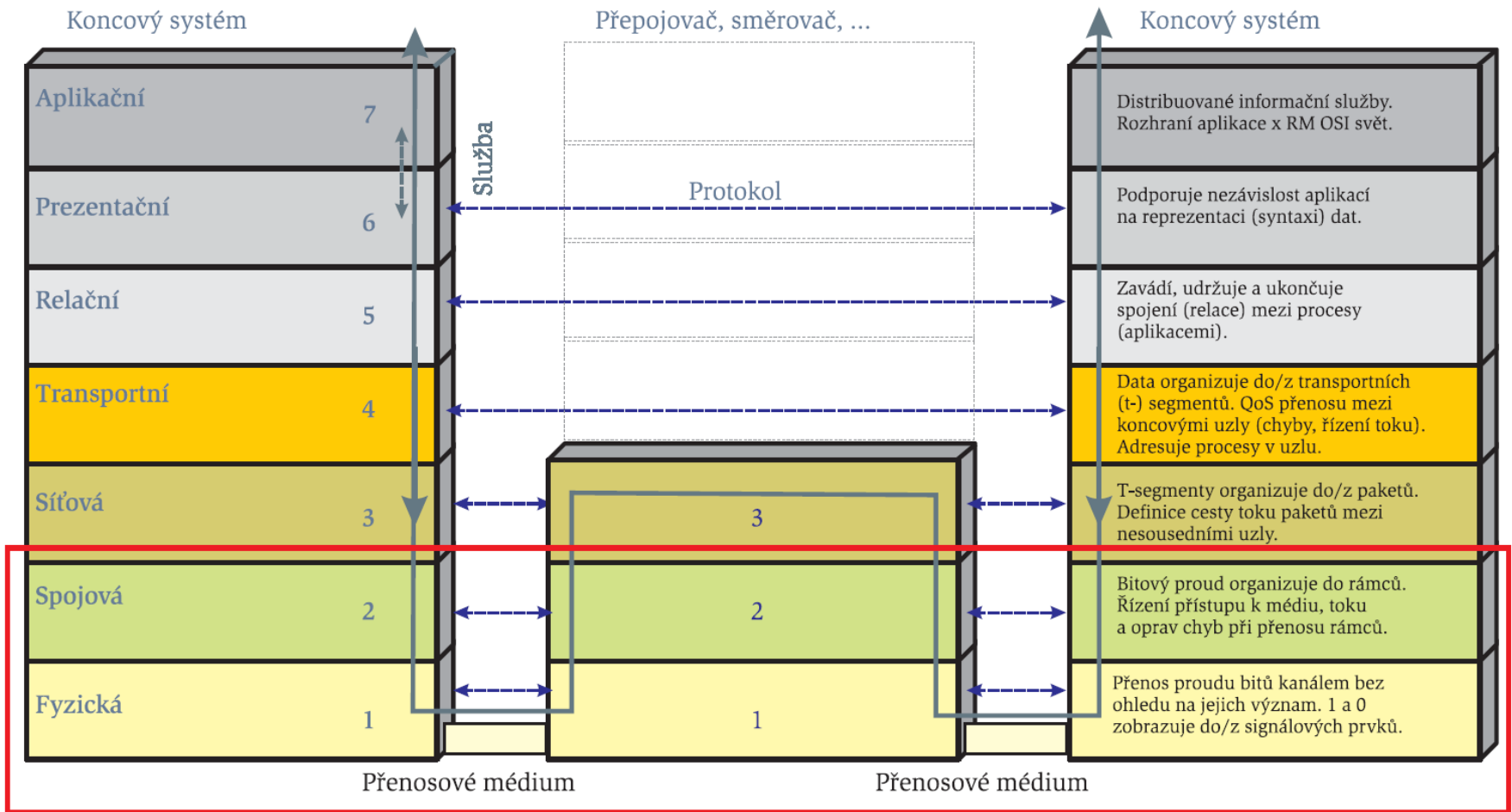
Orientační přehled obsahu předmětu

2

- principy přenosu dat mezi 2 propojenými zařízeními
- předmětem studia je přímá cesta, ne komunikační síť
- jak se přenáší signály přenosovým médiem
- svět analogových resp. digitálních signálů a dat
- čím jsou určovány vlastnosti přenosových kanálů
- jak se kódují informace do signálových prvků
- jak se řeší výskyty chyb během přenosu
- řízení datového spoje v širším významu – řízení toku, přístup k médiu, ...
- případové studie vybraných konkrétních protokolů

RM ISO OSI, konceptuální model

3



Základní fakta o komunikacích

4

- reprezentace faktů, pojmu, hlasu, textu, obrazu, videa, ... = **data** (informace)
- data jsou předmětem **přenosu dat** mezi zdrojem a cílem (cíli)
- veškeré formy přenosů dat lze **reprezentovat signály**
 - **signál** v kontextu komunikací – časová funkce šíření změn vybraných vlastností komunikačního prostředí
 - **reprezentovat** – vyjadřovat elementární prvky informací (symboly, znaky, ...) specifickými vlastnostmi signálu
- klasifikace signálů podle komunikačního prostředí
 - optický, elektrický, **elektromagnetický**, akustický, mechanický, pneumatický, hydraulický, ...

Elektromagnetický signál

5

- časová funkce změn elektromagnetických vlastností přenosového prostředí (médiá)
- veličiny reprezentující elektromagnetismus
 - ▣ proud, napětí, ...
- vlastnosti veličin využívané pro reprezentaci přenášených dat
 - ▣ **intenzita** signálu – reprezentace množství energie, A
 - ▣ rychlost opakování typového vzorku signálu – **frekvence**, f
 - ▣ posunutí průběhu signálu v čase – **fáze**, φ

Přenos signálů sdělovacím prostředím

6

- harmonický signál

$$f(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

- superpozice signálů

$$f_k(t) = A_k \cdot \sin(\omega_k t + \varphi_k)$$

$$F(t) = f_1(t) + f_2(t) + \dots$$

- jsou-li ω_k celými násobky jedné a téže frekvence ω , pak je signál $F(t)$ daný superpozicí také harmonický tj.

$$F_n(t) = A_0 + \sum_{k=1}^n A_k \cdot \sin(k\omega t + \varphi_k)$$

- když rozepíšeme

$$\sin(k\omega t + \varphi_k) = \cos k\omega t \cdot \sin \varphi_k + \sin k\omega t \cdot \cos \varphi_k$$

- pak dostaneme goniometrický polynom

$$F_n(t) = A_0 + \sum_{k=1}^n (a_k \cdot \cos k\omega t + b_k \cdot \sin k\omega t)$$

Frekvenční spektrum signálu

7

- pro harmonický signál je spektrum diskrétní
- pro neharmonický signál je spektrum spojitě
- k čemu to je?
 - ▣ mohou ovlivnit výběr sdělovacího prostředí
 - ▣ analýzou mohou zjistit přenosové parametry prostředí a přizpůsobit jim signál tak, aby prošel co nejméně zkreslený

Charakteristiky sdělovacího prostředí

8

- linearita sdělovacího prostředí

$$y_1(t) + y_2(t) = f(x_1(t)) + f(x_2(t))$$

- zkreslení signálu průchodem – **útlum** a **fázový posun**

- **přenosová** charakteristika $H(\omega)$

- charakterizována komplexní funkcí

- **fázová** charakteristika

$$\varphi = \varphi_{y_n} - \varphi_{x_n}$$

- závislost úhlu na frekvenci

- **amplitudová** charakteristika $|H(\omega_n)| = \frac{A_{y_n}}{A_{x_n}}$

- snížení amplitudy na výstupu

- častěji se udává útlumová charakteristika v decibelech (dB)

$$A(\omega_n) = -20 \cdot \log \frac{A_{y_n}}{A_{x_n}} = -20 \cdot \log |H(\omega_n)|$$

Základní přenosové pojmy

9

- **modulační rychlost** (baudová rychlost)
 - ▣ jak rychle lze měnit přenášený signál
 - při přenosu v přeloženém pásmu jak rychle lze modulovat
 - při přenosu v základním pásmu jak rychle lze měnit samotný signál
 - ▣ počet změn signálu za jednotku času
- nelze zvyšovat donekonečna
 - ▣ omezení šířkou pásma a schopností příjemce detekovat změny
- **přenosová rychlost**
 - ▣ objem dat přenesených za jednotku času
 - ▣ $V_{\text{přenosová}} = V_{\text{modulační}} \cdot \log_2(M)$
 - ▣ M – počet možných stavů přenášeného signálu

Nyquistova věta

10

- platí pro idealizovaný kanál bez šumu
- určuje maximální rychlost přenosu dat C [b/s] víceúrovňovým signálem v kanálu se šířkou pásma B [Hz]
- $C = 2B \log_2 M$
 - ▣ M – počet signálových úrovní/prvků signálu (2,4,8,16, ...)
- variace Nyquistovy věty pro binární signál – $C=2B$
 - ▣ rychlost přenosu dat kanálem bez šumu binárním signálem
 - ▣ např. v telefonním pásmu 3kHz lze binárně přenášet data rychlostí až 6kb/s, ale ne rychleji

Poměr signál/šum

11

- **SNR** – Signal to Noise Ratio
- poměr výkonu datového signálu N_1 a výkonu šumového signálu N_2
- typicky měřený na straně přijímače $SNR_{dB} = 10 \log_{10} \frac{N_1}{N_2}$
- poměr SNR na vstupu přijímače je klíčovým bodem návrhu komunikačního systému
 - **SNR > 10dB** – výkon šumu nepřesahuje 10% výkonu signálu, přenos dat lze řešit bez zabezpečování proto vlivu šumu
 - **10dB > SNR > 4dB** – realizace přenosu dat vyžaduje aplikaci zabezpečení proti vlivu šumu
 - **SNR < 4dB** – výkon šumu se blíží 50% výkonu signál, prakticky neumožňuje přenos dat

BER, Bit Error Rate

12

- pravděpodobnost výskytu 1bitové chyby během přenosu dat
- typické vyjadřování
 - ▣ BER 10^{-6} značí výskyt 1 chyby na přenos 10^6 bitů
- metody vylepšování BER
 - ▣ opravné kódy
- BER je vymežována hodnotou SNR, zvýšení BER se vyvolává
 - ▣ snížením výkonu signálu – ztrátou směřování antény, útlumem signálu, ...
 - ▣ zvýšením výkonu šumu – interferencemi, vznik zdroje šumu, ...

Shannonova věta

13

- rychlost přenosu dat C kanálem se šířkou pásma B se šumem o nenulovém výkonu
- $C = B \log_2(1 + S/N)$
- reprezentace teoretického maxima dosažitelné přenosové rychlosti přenosu dat v reálném přenosovém kanálu
- v praxi se často pracuje s nižšími rychlostmi než se Shannonovou rychlostí
- impulsní šum, zkreslování útlumem a zpoždování se neuvažuje
- nepopisuje se způsob dosažení Shannonovy rychlosti

Ilustrace významu obou kritérií

14

- necht' dolní a horní mezní frekvence kanálu jsou 3 a 4 MHz
 - ▣ šířka pásma je tedy $B = 1\text{MHz}$
- necht' $\text{SNR} = 24\text{dB} = 10 \log_{10}(\text{S/N})$, tudíž $\text{S/N} = 251$
- nejvyšší dosažitelná rychlost C podle Shannona

$$C = 10^6 \cdot \log_2(1 + 251) \approx 10^6 \cdot 5 = 8 \text{ Mb / s}$$

- potřebný počet signálových prvků M pro dosažení C při dané šířce pásma B se odvodí podle Nyquistovy věty

$$C = 2B \cdot \log_2 M, \text{ tj. } 8 \cdot 10^6 = 2 \cdot 10^6 \cdot \log_2 M$$

$$\text{tj. } 4 = \log_2 M \text{ a tudíž } M = 16$$

- toto splňuje např. modulační schéma 16-QAM

Přenosové kanály

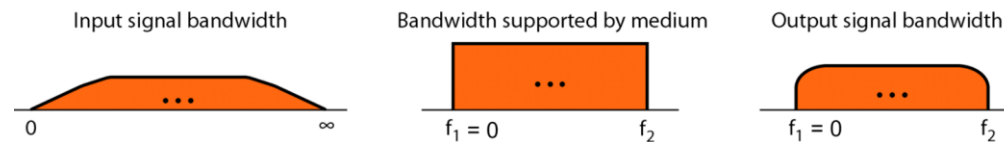
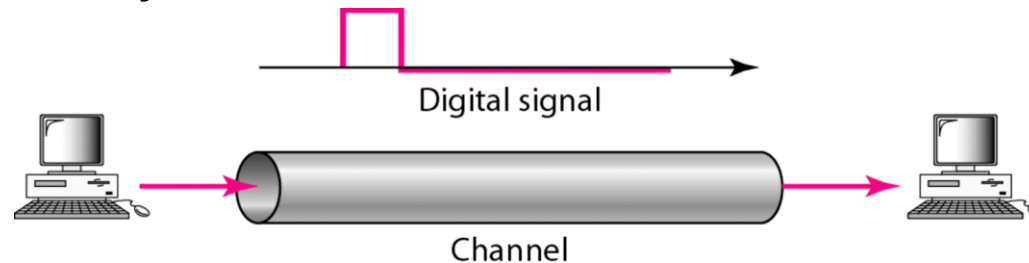
15

- **digitální data** přenášená **digitálními signály**
 - ▣ přenos v základním pásmu (baseband) – **kódování**
 - ▣ NRZ-L, NRZI, Bipolar-AMI, Manchester, ...
- **digitální data** přenášená **analogovými signály**
 - ▣ vysílač ovlivňuje některé z charakteristik analogového signálu – **digitální modulace**
 - ▣ ASK, FSK, PSK (Shift Keying)
- **analogová data** přenášená **digitálními signály**
 - ▣ analogová data se **digitalizují** vzorkováním a pro vysílání se kódují např. pulzně kódovou modulací PCM
- **analogová data** přenášená **analogovými signály**
 - ▣ analogová data modulují nosný analogový signál (Modulation)

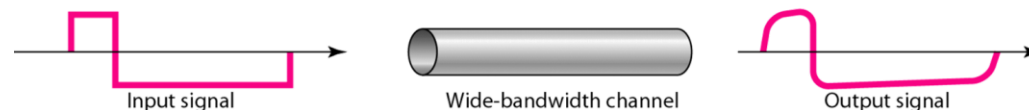
Přenos v základním pásmu, baseband

16

- je snaha přenášet stejnosměrný signál a měnit (modulovat) jej podle přenášených dat
 - ▣ vliv omezené šířky přenosového pásma na signály obdélníkového průběhu je velký – pouze na kratší vzdálenosti
 - ▣ u některých přenosových cest jej není možné použít, protože nepřenesou stejnosměrnou složku



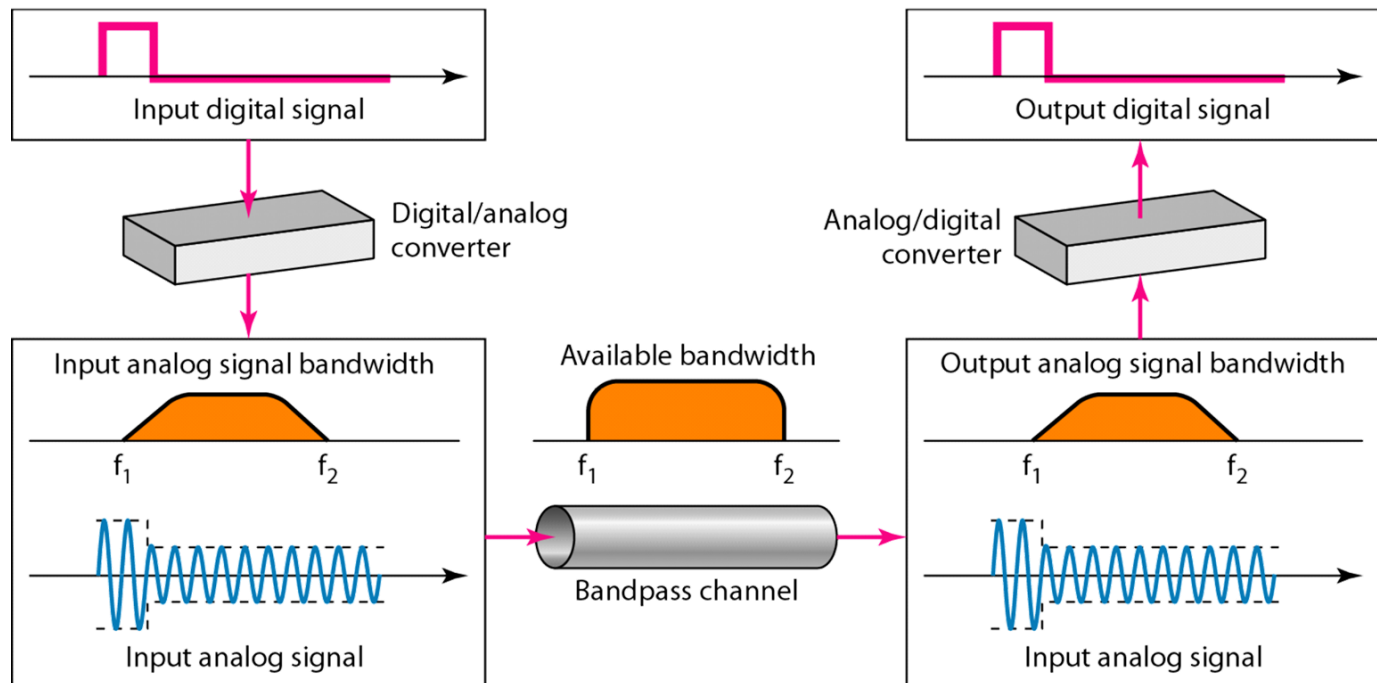
KIV/PD – Přenos dat



Přenos v přeloženém pásmu, broadband

17

- je snaha přenášet takový signál, který daná přenosová cesta nejlépe přenáší
 - ▣ vliv přenosových charakteristik prostředí na signál je minimální – větší vzdálenosti



Defekty při přenosu signálů

18

- **útlum, slábnutí (Attenuation)**
 - ▣ slábnutí signálu, ztráta energie
 - ▣ způsobuje např. odpor média (oteplování média)
- **zkreslování (Distortion)**
 - ▣ ztráta tvaru
 - ▣ způsobuje rozdílnost rychlostí šíření signálu na různých frekvencích
- **šum (Noise)**
 - ▣ vliv cizorodé energie
 - ▣ termální šum, indukovaný signál, přeslech, impulzní šum, ...

Útlum, slábnutí

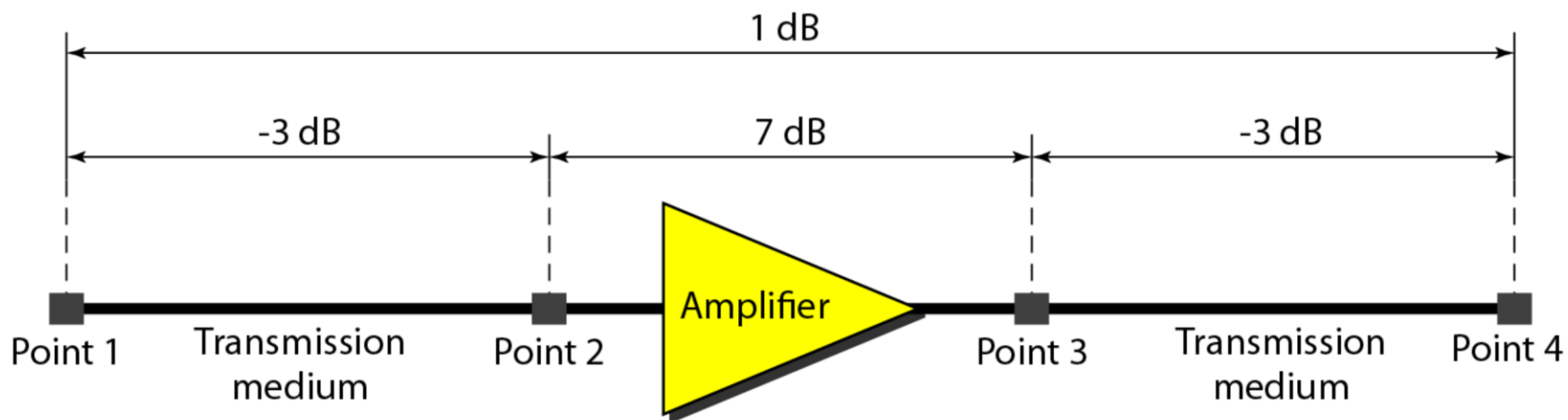
19

- signál v přenosovém médiu slábne se vzdáleností
 - ▣ ve vodičích exponenciálně
 - ▣ vyjadřuje se v decibelech na jednotkovou vzdálenost
 - ▣ při bezdrátovém přenosu slábnutí ovlivňuje navíc i atmosféra
- útlum je rostoucí funkcí frekvence
 - ▣ negativní dopad na analogové vysílání
 - ▣ digitální vysílání je odolnější
 - ▣ většina energie pulsu se vysílá složkami blízkými základní frekvenci
- signál vysílaný výkonem P_1 je přijímaný s výkonem $P_2=0,5 P_1$
 - ▣ útlum = $10 \log_{10}(P_2/P_1) = 10 \log_{10}(0,5 P_1/P_1) = 10 \log_{10}(0,5) = 10(-0,3) = 3 \text{ dB}$

Útlum, slábnutí

20

- dB je logaritmická míra, v kaskade lze útlumy a zesílení vyjádřené v dB sčítat (odečítat)

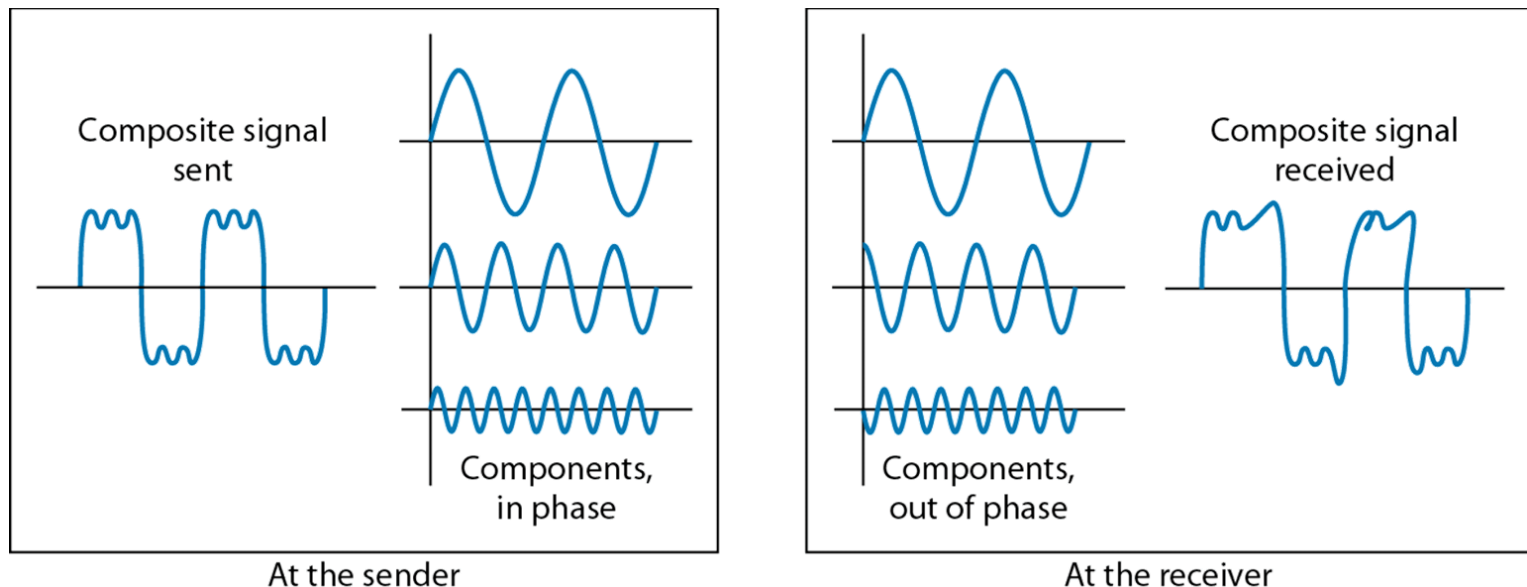


$$\text{dB} = -3 + 7 - 3 = +1$$

Zkreslování složeného (obecného) signálu

21

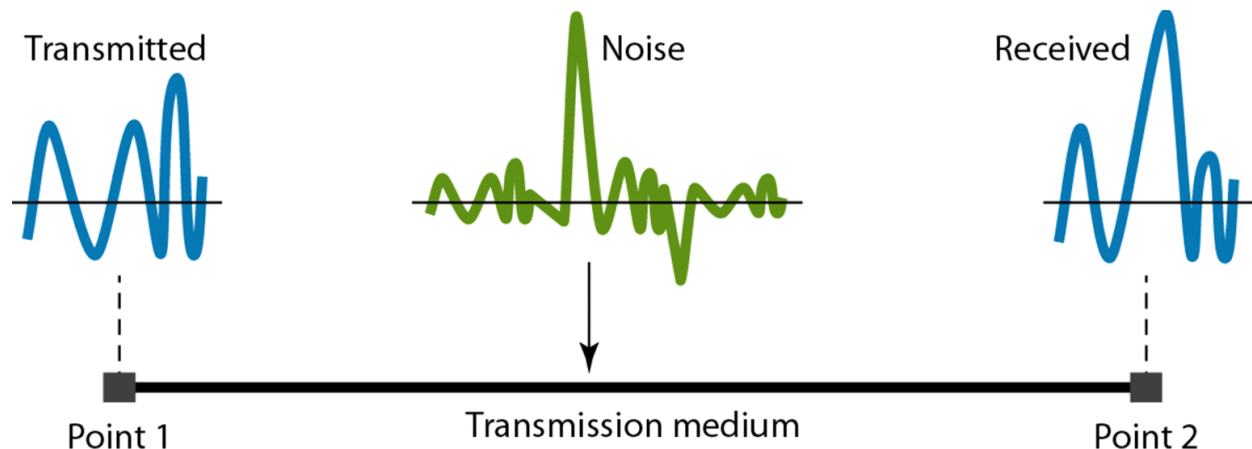
- zkreslování složeného signálu je způsobováno různým zpoždováním složek
 - ▣ problém vodičových přenosových médií
 - ▣ např. složky blízké centrální frekvenci šířky pásma se šíří rychleji
 - ▣ pomaleji šířené složky způsobují **mezisymbolovou interferenci**



Šum

22

- dodatečný signál vkládaný mezi vysílač a přijímač
 - ▣ **termální** – vlivem kmitání elektronů
 - ▣ **mezimodulační** – při šíření 2 signálů současně vzniká rovněž signál na součtové frekvenci
 - ▣ **přeslechy** – šířením signálu mezi vodiči (vodiče fungují jako antény)
 - ▣ **impulsní** – krátké pulsy v náhodné pozici s velkou amplitudou (vnější rušení, poruchy v komunikačním systému, ...)



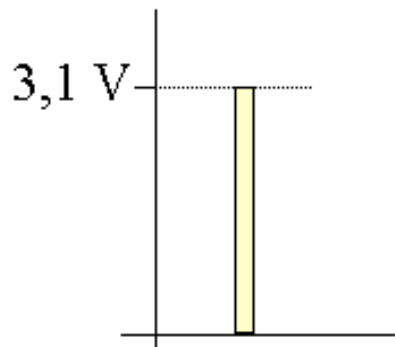
Analogový vs. digitální přenos (kanál)

23

- analogový přenos
 - ▣ zajímá mě okamžitá hodnota přenášené veličiny
- digitální přenos
 - ▣ zajímá mě, zda hodnota spadá do intervalu
- každý přenos je „v podstatě“ analogový
 - ▣ o povaze rozhoduje pouze interpretace
- analogový přenos není nikdy ideální
- digitální přenos může být ideální

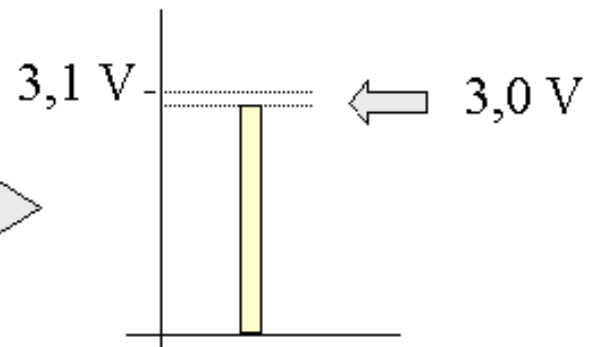
Analogový vs. digitální přenos (kanál), 2

24



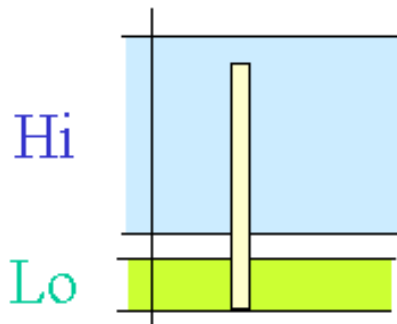
odesílá se "hodnota 3,1"

analogový přenos
vliv útlumu



přijata je "hodnota 3,0"

odesílá se "hodnota Hi(gh)"



digitální přenos
vliv útlumu

