

Multimediální systémy

Jan Outrata



KATEDRA INFORMATIKY
UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

přednášky



Získání obsahu

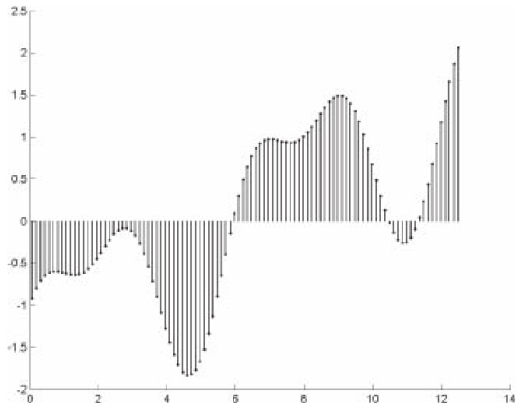
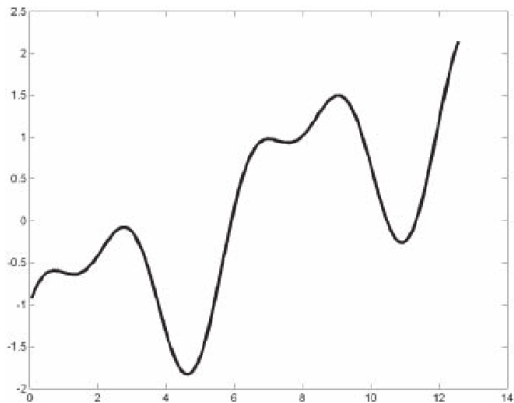
- text, grafika, animace: přímo
 - audio: jednorozměrný signál v čase
 - obraz: dvojrozměrný signál v prostoru
 - video: trojrozměrný signál v prostoru (2 dimenze) a čase
- převod **spojitého analogového signálu** ze záznamového zařízení na digitální data – oblast **zpracování signálu**
- určuje kvalitu a kvantitu digitalizovaného obsahu

- **analogový signál** = spojitá funkce domény (času, prostoru nebo obojího) reprezentující úroveň signálu, např. amplituda v čase
- **digitální signál** = posloupnost diskrétních hodnot úrovní signálu vyjádřených v binární (digitální) formě získaných ve specifických bodech domény (času, prostoru nebo obojího), např. velikost amplitudy v pravidelných stejně velkých intervalech času

Obrázek: Analogový a digitální signál

Výhody digitálního signálu (a obráceně nevýhody analogového)

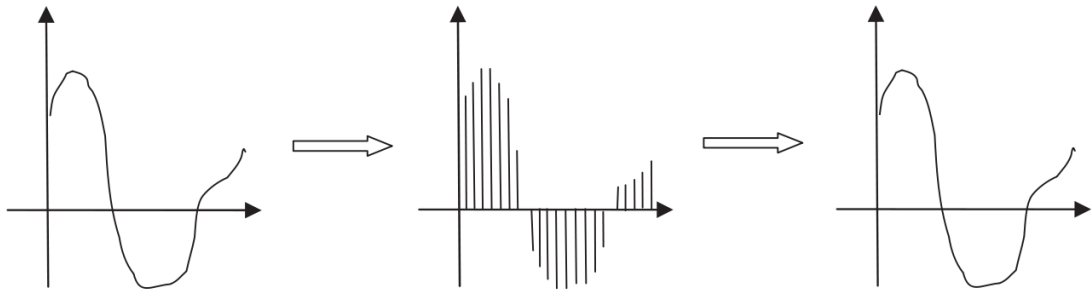
- jednotná reprezentace pro uložení a přenos – v digitální formě na záznamová média, v počítačové síti; ale obvykle objemná...
- jednoduchá editace a kombinace (včetně interaktivity) – přístup k „jednotkám“ informace, např. pixel; ale některé úpravy mohou být (výpočetně) náročnější...
- efektivní uložení, přenos, zabezpečení – komprese, šifrování; ale může být degradace informace...
- vyšší spolehlivost – možnost uložení bez (další) degradace informace, médii, prostředím, časem, např. tzv. „duchy“ u analogového videa; ale nároky na úložný



- = Analog to Digital Conversion, ADC
- = **vzorkování (sampling)** a **kvantizace**
- obrácený převod (Digital to Analog Conversion, DAC) = **interpolace** – pro prezentaci obsahu pomocí (analogového) prezentačního zařízení
- cílem je signál co nejpodobnější původnímu analogovému signálu před digitalizací (zachování signálových charakteristik)

Obrázek: Převod analogového signálu na digitální a zpět

Převod analogového na digitální signál



- = **diskretizace** spojitého signálu na posloupnost diskrétních hodnot (**vzorků**)
 - jednorozměrný analogový signál (v doméně t): $x(t)$
- **navzorkovaný signál**: $\mathbf{x}_s(\mathbf{n}) = \mathbf{x}(\mathbf{nT})$, $n = 1, 2, \dots, T$ je vzorkovací perioda, $f = 1/T$ je **vzorkovací frekvence**
 - perioda/frekvence – kritický parametr, podvzorkování vede k artefaktům (aliasům) při prezentaci, nadvzorkování k redundantní reprezentaci
 - přibližné hodnoty – získané měřením (a filtrováním) signálu a průměrováním hodnot



- Nyquist, 1920s, Shannon, 1950
- popisuje vztah mezi (digitální) reprezentací signálu a vzorkovací frekvencí
- = pro plnou rekonstrukci ze vzorků musí být analogový signál vzorkován s frekvencí rovnou alespoň dvojnásobku maximální frekvence v signálu, tzv. **Nyquist vzorkovací frekvencí**:

Theorem (Sampling theorem)

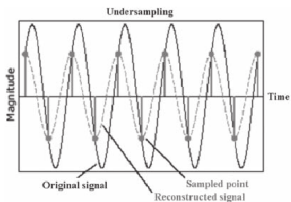
- 1 *Signál $f(t)$ s maximální frekvencí ωF je plně určen vzorky $f_s(nT)$, jestliže $\frac{2\pi}{T} > 2\omega F$.*
- 2 *Spojité signál $f(t)$ lze zrekonstruovat ze vzorků $f_s(nT)$ pomocí konvoluce s filtrem $r(t) = \text{sinc}\left(\frac{\omega F(t-nT)}{2\pi}\right)$.*

- při podvzorkování nejsou zachyceny vyšší frekvence, artefakty „rozostření“ = **aliasing** (= ztráta informace při digitalizaci), efekty např. plochost a tupost zvuku, rozostření obrazu nebo tzv. moiré efekt u opakujících se vzorů v obrazu, jiná rychlost a směr pohybujících se částí videa apod.

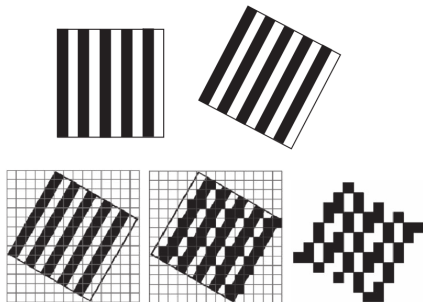
Obrázek: Efekty aliasingu

- potřeba znát **frekvenční rozsah** signálu, nebo určit podle požadovaného typu signálu, např. hudba nebo řeč

Vzorkovací věta (Sampling theorem)



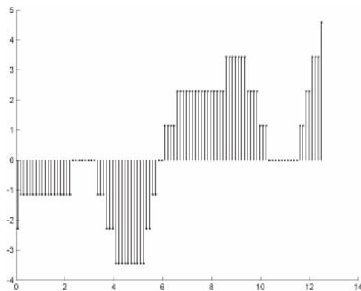
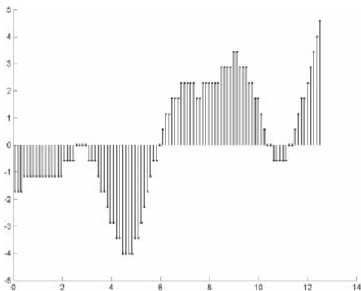
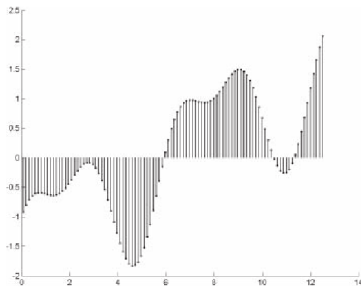
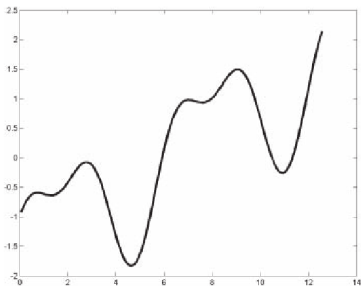
Vzorkovací věta (Sampling theorem)



- = vyjádření navzorkovaného signálu jako posloupnosti binárních (digitálních) hodnot
- **digitální signál**: $\mathbf{x}_q(\mathbf{n}) = \mathbf{Q}(\mathbf{x}_s(\mathbf{n}))$, $n = 1, 2, \dots$, kde Q je zaokrouhlovací funkce mapující vzorky na nejbližší binární hodnotu s uložením do b bitů
- počet b bitů pro hodnotu udává počet $N = 2^b$ různých binárních hodnot vzorků (a tedy **kvantizačních úrovní** analogového signálu z rozsahu R) a přesnost binární reprezentace (kvantizační krok $\delta = R/2^b$) – kritický parametr

Obrázek: Kvantizace s různým počtem úrovní

- zaokrouhlování na konečný počet úrovní = rozdíly analogových signálů = **kvantizační chyby** – max. polovina kvantizačního kroku





6 bits



5 bits



4 bits



3 bits



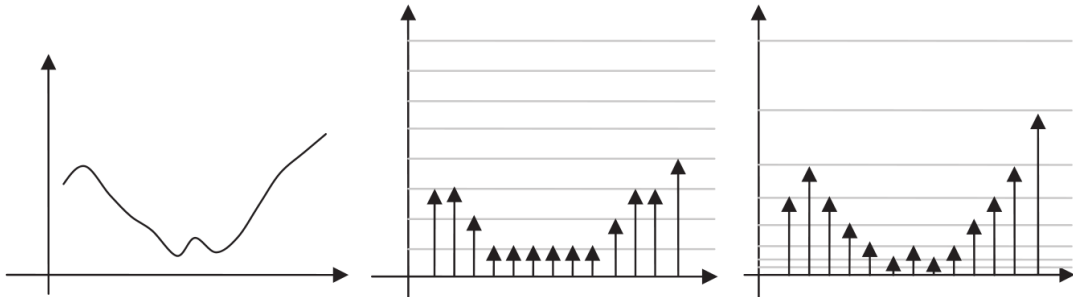
2 bits



1 bit

- *kolik bitů pro vzorek?* – záleží na hodnotovém rozsahu signálu, jeho typu, použití apod., např. hudba nebo řeč
- **kvantizační schéma** – rozložení kvantizačních úrovní v hodnotovém rozsahu signálu, např. uniformní, lineární, logaritmické (např. u dynamického rozsahu audia), určuje distribuci chyby

Obrázek: Kvantizační schémata



= počet bitů pro digitální signál za sekundu

- závisí na periodě/frekvenci vzorkování a počtu bitů pro vzorek:

$$\begin{aligned}\text{bit rate} &= \frac{\text{bitů}}{s} = \frac{\text{počet vzorků}}{s} \times \frac{\text{bitů}}{\text{vzorek}} \\ &= \text{vzorkovací frekvence} \times \text{bitů na vzorek}\end{aligned}$$

- ideální hodnota = kompromis mezi uložením maxima informace (bez redundance) a minimální velikostí dat (s akceptovatelnou degradací informace)

Tabulka: Příklady bit rate u různých signálů

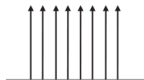
Signal	Sampling rate	Quantization	Bit rate
Speech	8 KHz	8 bits per sample	64 Kbps
Audio CD	44.1 KHz	16 bits per sample	706 Kbps (mono) 1.4 Mbps (stereo)
Teleconferencing	16 KHz	16 bits per sample	256 Kbps
AM Radio	11 KHz	8 bits per sample	88 Kbps
FM Radio	22 KHz	16 bits per sample	352 Kbps (mono) 704 Kbps (stereo)
NTSC TV image frame	Width – 486 Height – 720	16 bits per sample	5.6 Mbits per frame
HDTV (1080i)	Width – 1920 Height – 1080	12 bits per pixel on average	24.88 Mbits per frame

- typy signálu: spojité, hladké, symetrické, periodické atd.
- (lineární) invariantní v doméně = (lineární) transformace, kde výstupní hodnoty v daném bodě domény závisí pouze na vstupních hodnotách ve stejném bodě domény, ne na bodě nebo změně hodnot domény
- **konvoluce**: $f * g = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) \cdot g(t - \tau) d\tau$
- vzorkování = konvoluce vstupního signálu a tzv. impulse response funkce (fungující jako filtr) – **doménový pohled**
- **impulse response funkce** – např. (Diracova) Delta ($\delta(x) = 0$ pro $x \neq 0$, $\lim_{x \rightarrow 0} \delta(x) = \infty$, $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) dx = 1$, jednotka konvoluce), comb, box, step, sinc ($= \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$)

Obrázek: Grafy impulse response funkcí



Delta function



Comb function

$$\Delta_T(t) \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT)$$

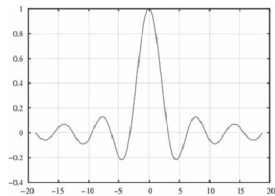


Step function $H(x) = \int_{-\infty}^x \delta(t) dt$



Box function

$$\text{rect}(t) = \Gamma(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } |t| > \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \text{if } |t| = \frac{1}{2} \\ 1 & \text{if } |t| < \frac{1}{2} \end{cases}$$



Sinc function $\text{Sa}(x) = \text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$



- **frekvenční pohled** – ve **frekvenční doméně** (doméně frekvence změn hodnot): součin transformovaného vstupního signálu a tzv. transfer funkce = transformovaná impulse response funkce
- nahrazení konvoluce součinem, transformace = **Fourierova transformace**

– Fourier, 1807, Dirichlet

= reprezentace periodického spojitého signálu $f(t)$ jako součtu vážených sum sinusovek a kosinusovek (Fourierova řada):

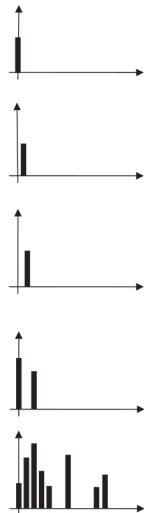
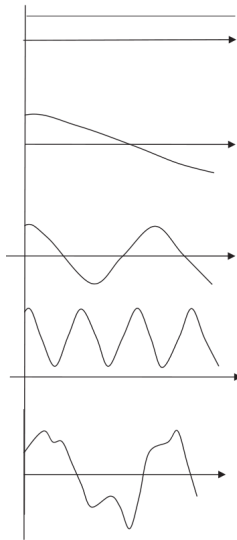
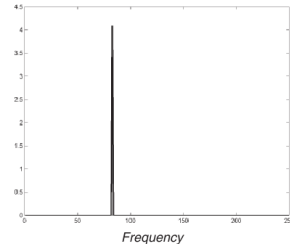
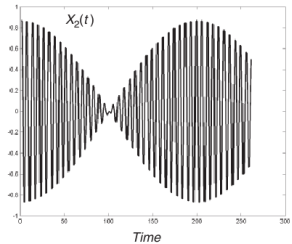
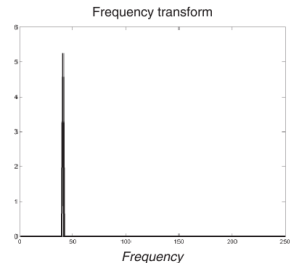
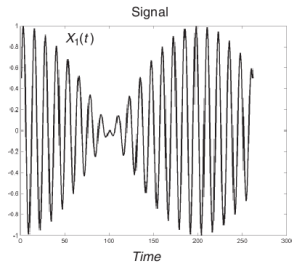
$$f(t) = \sum_{i=0}^{i=\infty} A_i \times \sin(i\omega t) + \sum_{j=0}^{j=\infty} B_j \times \cos(j\omega t)$$

- váhy = **frekvenční koeficienty** A_i, B_j = tzv. spektrální komponenty – určují amplitudy základních frekvencí (násobky $\omega = 2\pi/T$) v signálu a **plně signál reprezentují ve frekvenční doméně** jako funkci základních frekvencí
- běžnější reprezentace pomocí pouze kosinusovek (nebo analogicky sinusovek) = **kosinová** (sinová) **transformace**:

$$f(t) = \sum_{i=0}^{i=\infty} B_i \times \cos(i\omega t), B_i = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \times \cos(i\omega t) dt$$



Obrázek: Fourierova (kosinová) transformace analogového signálu



- pro digitální signál s diskrétními hodnotami - **diskrétní Fourierova** nebo **kosinová transformace** (**DFT** nebo **DCT**):

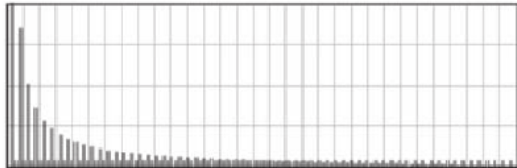
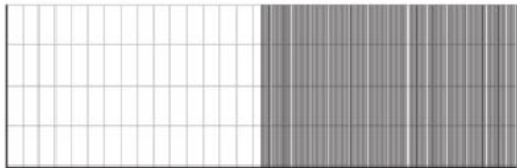
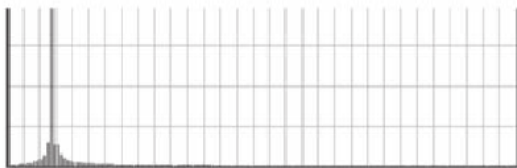
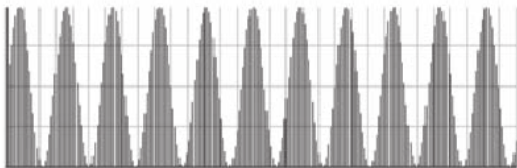
$$f_s(n) = \sum_{i=0}^{i=N-1} A_i \times \sin\left(\frac{i(2n+1)\pi}{2N}\right) + \sum_{j=0}^{j=N-1} B_j \times \cos\left(\frac{j(2n+1)\pi}{2N}\right), n = 0, \dots, N-1$$

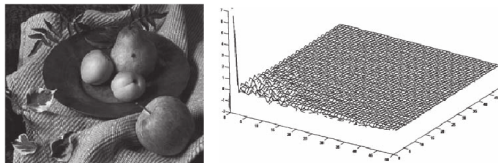
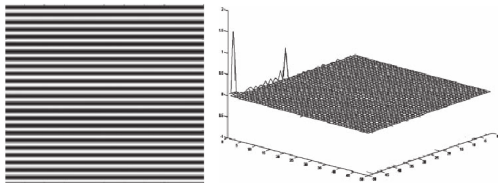
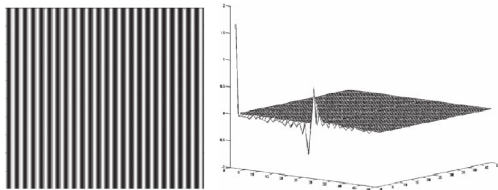
$$f_s(n) = \sum_{i=0}^{i=N-1} B_i \times \cos\left(\frac{i(2n+1)\pi}{2N}\right), B_i = \sum_{n=0}^{n=N-1} f_s(n) \times \cos\left(\frac{i(2n+1)\pi}{2N}\right)$$

Obrázek: Diskrétní Fourierova (kosinová) transformace digitálního signálu

- lze zobecnit pro lib. počet dimenzí signálu

Obrázek: Fourierova (kosinová) transformace signálu dvojrozměrného signálu (obrazu)





- **analogový filter:** (hardwarové) odfiltrování nechtěných frekvencí, např. šumu, ekvalizace, analogového signálu před digitalizací, pro snížení potřebné bit rate
- **digitální filter:** (numerické) obecné úpravy (např. i různé „efekty“) digitálního signálu, pomocí **digitálních signálových procesorů (DSP)**

Výhody digitálních filtrů

- obecné úpravy signálu – včetně adaptace filtru podle signálu
- snadná tvorba, změna, kombinace – programovatelnost
- stabilita (vzhledem k času a prostředí) – software
- zvládnutí i velmi nízkých frekvencí – narozdíl od analogových

Kategorizace

- **low-pass** - odstraňují vyšší frekvence, pro předcházení/odstranění aliasingu (tzv. **antialiasing**) při podvzorkování, např. často u obrázků

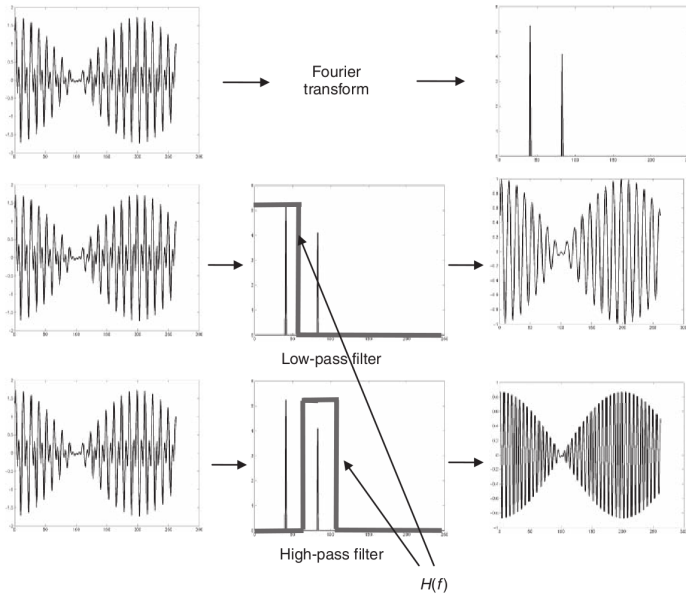
Obrázek: Ilustrace antialiasingu při podvzorkování

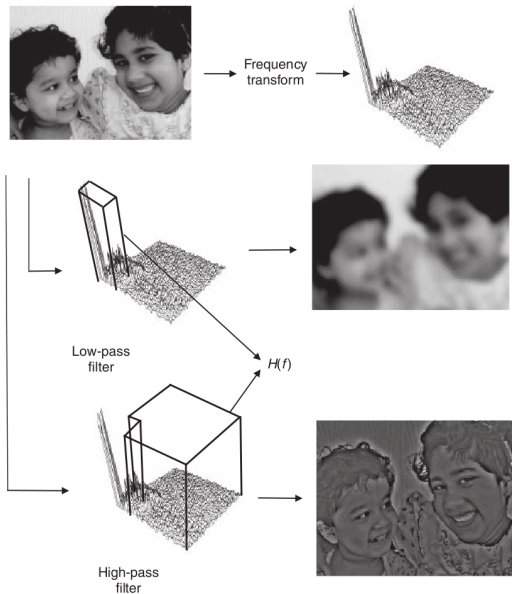
- **high-pass** - odstraňují nižší frekvence, pro zaostření signálu (tzv. **sharpening**)
- **band-pass** - odstraňují frekvence mimo definované pásmo, pro zvýraznění frekvencí v signálu

= efekty ve frekvenční doméně → studie a použití skrze frekvenční doménu

Obrázek: Efekty filtrů







- hranice mezi zachovanými a odstraněnými frekvencemi nebývá ostrá (složitost až nemožnost realizace filtru) – aproximace, tzv. **filter roll-off** = další chyby

Obrázek: Frekvenční charakteristiky filtrů (ideální a reálné)

→ vzorkovací frekvence bývá „o něco“ vyšší než Nyquistova, např. 44 kHz místo 40 kHz u audia (CD kvality) s max. frekvencí 20 kHz

