

MULTIMEDIÁLNÍ A HYPERMEDIÁLNÍ SYSTÉMY

9)
Komprese bitmapového
obrazu

Petr Lobaz, 16.4.2013

KOMPRESSE OBRAZU

- symetrická – komprese i dekomprese stejná složitost nesymetrická
- ztrátová x neztrátová
- neadaptivní – např. RLE semiadaptivní – preprocessing + neadaptivní komprese adaptivní – průběžně reaguje na charakter vstupu

MHS – Komprese bitmapového obrazu

2 / 63

KOMPRESSE OBRAZU

BEZTRÁTOVÁ KOMPRESSE

- run length encoding (RLE)
- Huffmanovo kódování
- LZ77, LZW
- aritmetické kódování

ZTRÁTOVÁ KOMPRESSE

- fourierovské transformace
- waveletová transformace
- fraktálová komprese, triangularizační přístupy, ...
– v praxi se zatím nepoužívají

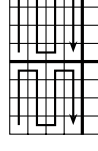
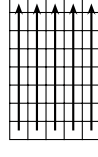
MHS – Komprese bitmapového obrazu

3 / 63

BEZTRÁTOVÁ KOMPRESSE

RLE

- Run Length Encoding
- redukce opakujících se prvků
- př.: AAAB ⇒ 3A1B
- bitová, bytová nebo pixelová úroveň
- po řádcích, blocích nebo zig-zag
- varianty pro lepší kompresní poměr, pro speciální použití



MHS – Komprese bitmapového obrazu

4 / 63

BEZTRÁTOVÁ KOMPRES

HUFFMANOV KÓDOVÁNÍ

- prefixový kód
- pravděpodobnost znaku $p \Rightarrow$ znak kódován $-\lceil \log_2 p \rceil$ bity
- semiadaptivní – preprocessing
- neadaptivní
 - CCITT Group 3, CCITT Group 4 – pro 1bitové obrázky

LZW

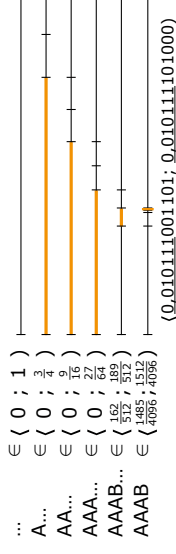
- nahrazení známé sekvence znaků kódem
- adaptivní
- patentovaná technologie

ARITMETICKÉ KÓDOVÁNÍ

- přiřazuje kód skupině znaků
- \Rightarrow jeden znak může „zabírat“ necelý počet bitů
- patentovaná technologie
- příklad

$$P_A = 0,11_2 \left(\frac{3}{4}\right) \quad P_B = 0,001_2 \left(\frac{1}{8}\right) \quad P_{EOF} = 0,001_2 \left(\frac{1}{8}\right)$$

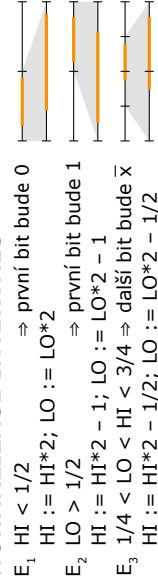
$$AAAB \Rightarrow 0101111$$



ARITMETICKÉ KÓDOVÁNÍ

- praktický problém: přesnost výpočtu
- P_i vyjádřeny zlomky $P_1/T, P_2/T, \dots, T = \sum P_i$
- P_i a T celá čísla s omezenou bitovou přesností
- interval (LO, HI)

NORMALIZACE INTERVALU



ARITMETICKÉ KÓDOVÁNÍ

KOMPRES

$LO := 0; HI := 1; E_3 \text{ bitů} := 0;$
 $A := \text{vstup}(); /* EOF \Rightarrow$ vnější smyčka už se nevrátí */
 zkrať LO, HI podle pravděpodobnosti A

\leftarrow lze provést E_1 ?
 E_1 : výstup(0); E_3 bitů \times výstup(1); E_3 bitů := 0;
 lze provést E_2 ?
 E_2 : výstup(1); E_3 bitů \times výstup(0); E_3 bitů := 0;
 \leftarrow lze provést E_3 ?
 E_3 : E_3 bitů++;
 výstup bitů pro výsledný interval a zbylých E_3 bitů

ARITMETICKÉ KÓDOVÁNÍ

DEKOMPRESE

LO := 0; HI := 1;

do C načti maximum bitů (např. 31)

(⇒ připojím-li 0/1, patří C stále stejnému znaku A)

↑ výstup(A)

zkráť LO, HI podle pravděpodobnosti A

↑ lze provést E₁ nebo E₂?

E₁ ⇒ E₁; C := C*2 + vstup()

E₂ ⇒ E₂; nuluj nejvyšší bit C; C := C*2 + vstup()

↑ lze provést E₃?

↑ lze provést E₃; nuluj druhý nejvyšší bit C; C := C*2 + vstup()

ARITMETICKÉ KÓDOVÁNÍ

DALŠÍ VLASTNOSTI

- výpočet odhadu pravděpodobnosti znaku lze po každém znaku adaptovat
- po každém znaku lze měnit vstupní abecedu
- výsledný interval lze kódovat i v jiné než dvojkové soustavě

TRANSFORMACE SIGNÁLU

- signál $\mathbf{f} = [f_0, f_1, f_2, f_3, \dots, f_{N-1}]$
- náhrada signálu $\mathbf{f}[\cdot]$ součtem báзовých signálů
 - triviální báze:
$$\mathbf{b}_0 = [1, 0, 0, 0, \dots, 0, 0]$$
$$\mathbf{b}_1 = [0, 1, 0, 0, \dots, 0, 0]$$
$$\vdots$$
$$\mathbf{b}_{N-1} = [0, 0, 0, 0, \dots, 0, 1]$$
 - alternativní báze:
$$\mathbf{f} = f_0 \cdot \mathbf{b}_0 + f_1 \cdot \mathbf{b}_1 + \dots + f_{N-1} \cdot \mathbf{b}_{N-1}$$
$$\mathbf{f} = f'_0 \cdot \mathbf{b}'_0 + f'_1 \cdot \mathbf{b}'_1 + \dots + f'_{N-1} \cdot \mathbf{b}'_{N-1}$$

TRANSFORMACE SIGNÁLU

- báзовé signály často vycházejí z teorie funkcí
 - ⇒ báзовé funkce
 - volba báзовých funkcí závisí na charakteru signálu \mathbf{f}
 - periodické x neperiodické
 - aproximující spojité x nespojitě (pulsní) funkce
 - s omezeným x neomezeným spektrem
 - nenulové na omezeném x neomezeném intervalu
 - ...
 - báзовé signály ideálně tvoří ortogonální (ortonormální) bázi daného prostoru signálů
- $\mathbf{f} \cdot \mathbf{b}_k = (f_0 \cdot \mathbf{b}_{k0} + f_1 \cdot \mathbf{b}_{k1} + \dots + f_{N-1} \cdot \mathbf{b}_{k(N-1)}) \cdot \mathbf{b}_k = f_k$
- $\mathbf{f} \cdot \mathbf{b}'_k = (f'_0 \cdot \mathbf{b}'_{k0} + f'_1 \cdot \mathbf{b}'_{k1} + \dots + f'_{N-1} \cdot \mathbf{b}'_{k(N-1)}) \cdot \mathbf{b}'_k = f'_k (\mathbf{b}'_k \cdot \mathbf{b}'_k)$

FOURIEROVA TRANSFORMACE

- **bázové signály** $\mathbf{c}_k = \cos(2\pi k i/N)$, $\mathbf{s}_k = \sin(2\pi k i/N)$, $k = 0 \dots N/2$
- **diskrétní Fourierova transformace** signálu délky N :
$$\mathbf{x}[i] = \sum_{k=0}^{N/2} \mathbf{a}[k] \cos \frac{2\pi k i}{N} + \mathbf{b}[k] \sin \frac{2\pi k i}{N}$$

$$\bar{\mathbf{a}}[k] = \sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{x}[i] \cos \frac{2\pi k i}{N}$$

$$\mathbf{a}[k] = \begin{cases} \bar{\mathbf{a}}[0]/N & k = 0 \\ \bar{\mathbf{a}}[N/2]/N & k = N/2 \\ 2\bar{\mathbf{a}}[k]/N & \text{jinak} \end{cases}$$
- N vzorků $\Rightarrow 2 \times (N/2+1)$ koeficientů, ale $\mathbf{s}_0 = \mathbf{s}_{N/2} = \mathbf{0}$
 \Rightarrow pro N vzorků N koeficientů

FOURIEROVA TRANSFORMACE

PŘÍKLAD

$$N = 4$$
$$\mathbf{c}_0 = [\cos 2\pi \cdot 0 \cdot 0/4, \cos 2\pi \cdot 0 \cdot 1/4, \dots, \cos 2\pi \cdot 0 \cdot 3/4] = [1, 1, 1, 1]$$
$$\mathbf{c}_1 = [\cos 2\pi \cdot 1 \cdot 0/4, \cos 2\pi \cdot 1 \cdot 1/4, \dots, \cos 2\pi \cdot 1 \cdot 3/4] = [1, 0, -1, 0]$$
$$\mathbf{c}_2 = [\cos 2\pi \cdot 2 \cdot 0/4, \cos 2\pi \cdot 2 \cdot 1/4, \dots, \cos 2\pi \cdot 2 \cdot 3/4] = [1, -1, 1, -1]$$
$$\mathbf{s}_0 = [0, 0, 0, 0]$$
$$\mathbf{s}_1 = [\sin 2\pi \cdot 1 \cdot 0/4, \sin 2\pi \cdot 1 \cdot 1/4, \dots, \sin 2\pi \cdot 1 \cdot 3/4] = [0, 1, 0, -1]$$
$$\mathbf{s}_2 = [0, 0, 0, 0]$$

FOURIEROVA TRANSFORMACE

- **bázové signály** $\mathbf{c}_k = \cos(2\pi k i/N)$, $\mathbf{s}_k = \sin(2\pi k i/N)$, $k = 0 \dots N/2$

- **diskrétní Fourierova transformace** signálu délky N :

$$\mathbf{x}[i] = \sum_{k=0}^{N/2} \mathbf{a}[k] \cos \frac{2\pi k i}{N} + \mathbf{b}[k] \sin \frac{2\pi k i}{N}$$

$$\bar{\mathbf{a}}[k] = \sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{x}[i] \cos \frac{2\pi k i}{N}$$

$$\mathbf{a}[k] = \begin{cases} \bar{\mathbf{a}}[0]/N & k = 0 \\ \bar{\mathbf{a}}[N/2]/N & k = N/2 \\ 2\bar{\mathbf{a}}[k]/N & \text{jinak} \end{cases}$$

- N vzorků $\Rightarrow 2 \times (N/2+1)$ koeficientů, ale $\mathbf{s}_0 = \mathbf{s}_{N/2} = \mathbf{0}$
 \Rightarrow pro N vzorků N koeficientů

FOURIEROVA TRANSFORMACE

PŘÍKLAD

$$N = 4$$
$$\mathbf{c}_0 = [\cos 2\pi \cdot 0 \cdot 0/4, \cos 2\pi \cdot 0 \cdot 1/4, \dots, \cos 2\pi \cdot 0 \cdot 3/4] = [1, 1, 1, 1]$$
$$\mathbf{c}_1 = [\cos 2\pi \cdot 1 \cdot 0/4, \cos 2\pi \cdot 1 \cdot 1/4, \dots, \cos 2\pi \cdot 1 \cdot 3/4] = [1, 0, -1, 0]$$
$$\mathbf{c}_2 = [\cos 2\pi \cdot 2 \cdot 0/4, \cos 2\pi \cdot 2 \cdot 1/4, \dots, \cos 2\pi \cdot 2 \cdot 3/4] = [1, -1, 1, -1]$$
$$\mathbf{s}_0 = [0, 0, 0, 0]$$
$$\mathbf{s}_1 = [\sin 2\pi \cdot 1 \cdot 0/4, \sin 2\pi \cdot 1 \cdot 1/4, \dots, \sin 2\pi \cdot 1 \cdot 3/4] = [0, 1, 0, -1]$$
$$\mathbf{s}_2 = [0, 0, 0, 0]$$

FOURIEROVA TRANSFORMACE

DISKRÉTNÍ KOSINOVÁ TRANSFORMACE (DCT)

- vzorky se opakují v obráceném pořadí, tj.
 $\mathbf{x}[0], \mathbf{x}[1], \dots, \mathbf{x}[N-2], \mathbf{x}[N-1], \mathbf{x}[N-2], \dots, \mathbf{x}[2], \mathbf{x}[1]$



- $2N - 2$ vzorků $\Rightarrow N$ cos členů, $N - 2$ sin členů
– zkonstruovaný signál symetrický \Rightarrow sin členy nulové
 \Rightarrow pro N vzorků N koeficientů
- přímý výpočet závisí vzorku, podle kterého se zrcadlí

FOURIEROVA TRANSFORMACE

VÍCEROZMĚRNÁ FT / DFT / DCT

- separabilitní
 \Rightarrow transformace na řádky, pak na sloupce výsledku
- příklad: 2D DCT

$$\bar{\mathbf{a}}[u,v] = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{x}[i,j] \cos \frac{\pi(2i+1)u}{2N} \cos \frac{\pi(2j+1)v}{2N}$$
$$= \sum_{j=0}^{N-1} \left(\sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{x}[i,j] \cos \frac{\pi(2i+1)u}{2N} \right) \cdot \cos \frac{\pi(2j+1)v}{2N}$$

WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

- bázové funkce „omezené“ v časové i frekvenční oblasti
- bázové funkce
 - s různými frekvencemi
 - s různými posuvy
- spojitá WT (CWT):

$$F(u,s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \psi^* \left(\frac{t-u}{s} \right) dt$$

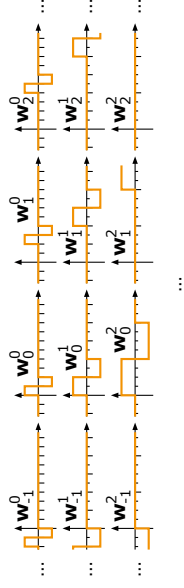
kde ψ je tzv. wavelet:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0, \quad |\psi| = 1, \quad \psi^* \text{ je komplexně sdružená funkce}$$

WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

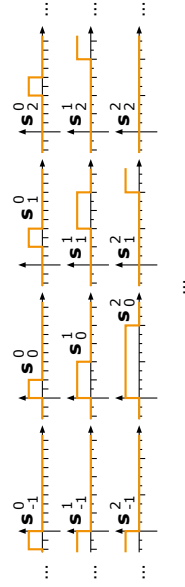
DISKRÉTNÍ WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

- funkce nahrazeny diskrétními signály
- změny měřítka po oktávách (1, 2, 4, 8, ...)
- posuvy odpovídají příslušnému měřítku
- w^i – wavelet o frekvenci f a posuvu i



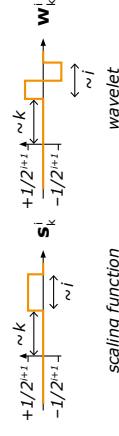
WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

- vedle „součinů“ s wavelety uchováváme i „ztracenou informaci“ – součin se škálovací funkcí (scaling function)
- s^i – scale function o frekvenci f a posuvu i



WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

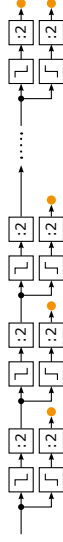
- příklad: Haarova báze



scaling function	wavelet						
0	16	8	32	8	4	4	8
součin s s^0	8	20		6	2		6
součin s w^0	-8	-12		2	-2		-2
součin s s^1			14				6
součin s w^1			-6				0
součin s s^2					10		4
součin s w^2							4

WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

- DWT v pojmech teorie filtrů:
 - vstup $\mathbf{x}[i]$
 - analyzační filtry \mathbf{g} (dolní propust), \mathbf{h} (horní propust)
 - syntetizační filtry $\tilde{\mathbf{g}}, \tilde{\mathbf{h}}$
- dopředná DWT:
 - aplikace filtru \mathbf{g} , podvzorkování (zachování sudých vzorků) \Rightarrow signál $\mathbf{a}^1[i]$
 - aplikace filtru \mathbf{h} , podvzorkování \Rightarrow signál $\mathbf{b}^1[i]$
 - rekurzivně na signál $\mathbf{a}^1[i] \Rightarrow$ signály $\mathbf{a}^2[i], \mathbf{b}^2[i]$
 - ...



WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

- zpětná DWT:
 - signál $\mathbf{a}^k[i]$ převzorkovat na $\tilde{\mathbf{a}}^k[i]$:
 $\tilde{\mathbf{a}}^k[2i] = \mathbf{a}^k[i], \tilde{\mathbf{a}}^k[2i+1] = 0$
 - signál $\mathbf{b}^k[i]$ převzorkovat na $\tilde{\mathbf{b}}^k[i]$
 - aplikace filtru $\tilde{\mathbf{g}}$ na $\tilde{\mathbf{a}}^k[i] \Rightarrow$ signál $\mathbf{A}^k[i]$
 - aplikace filtru $\tilde{\mathbf{h}}$ na $\tilde{\mathbf{b}}^k[i] \Rightarrow$ signál $\mathbf{B}^k[i]$
 - $\mathbf{a}^{k-1}[i] = \mathbf{A}^k[i] + \mathbf{B}^k[i]$
 - rekurzivní aplikace na $\mathbf{a}^{k-1}[i], \mathbf{b}^{k-1}[i]$
 - $\mathbf{a}^0[i] = \mathbf{x}[i]$

WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

- příklad:

$\mathbf{g} = [\frac{1}{2}; \frac{1}{2}]$	$\mathbf{h} = [\frac{1}{2}; -\frac{1}{2}]$	$\tilde{\mathbf{g}} = [1; 1]$	$\tilde{\mathbf{h}} = [-1; 1]$
signál \mathbf{x}	0 16 8 32	8 4 4 8	4 4 4 8
$\mathbf{x} \otimes \mathbf{g}$	8 12 20 20	6 6 6 6	4 4 4 4
\mathbf{a}^1	8 4 -8	4 -12 12	2 0 -2 4
$\mathbf{x} \otimes \mathbf{h}$	-8 4 -12 2	-2	
\mathbf{b}^1	8 0 20 0	6 0 6 0	6 0 6 0
$\tilde{\mathbf{a}}^1$	8 8 20 20	6 6 6 6	6 6 6 6
\mathbf{A}^1	-8 0 -12 0	2 0 -2 0	0 0 -2 0
\mathbf{B}^1	-8 8 -12 12	2 -2 -2 2	2 -2 -2 2
$\mathbf{A}^1 + \mathbf{B}^1$	0 16 8 32	8 4 4 8	4 4 4 8

WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

- PŘÍKLADY FILTRŮ**
- Haarovy ortonormální filtry:

$$\mathbf{g} = [\frac{1}{\sqrt{2}}; \frac{1}{\sqrt{2}}] \quad \mathbf{h} = [\frac{1}{\sqrt{2}}; \frac{-1}{\sqrt{2}}] \quad \tilde{\mathbf{g}} = [\frac{1}{\sqrt{2}}; \frac{1}{\sqrt{2}}] \quad \tilde{\mathbf{h}} = [\frac{-1}{\sqrt{2}}; \frac{1}{\sqrt{2}}]$$
- Daubechies-4 ortonormální filtry:

$$\mathbf{g} = [0,483; 0,837; 0,224; -0,129]$$

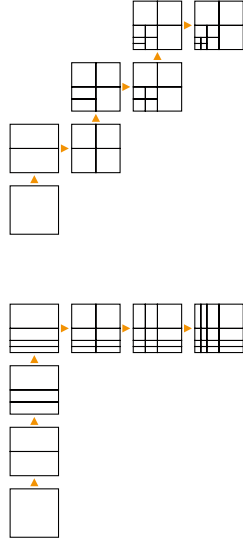
$$\mathbf{h} = [-0,129; -0,224; 0,837; -0,483]$$

$$\tilde{\mathbf{g}} = [-0,129; 0,224; 0,837; 0,483]$$

$$\tilde{\mathbf{h}} = [-0,483; 0,837; -0,224; -0,129]$$
- biortogonální filtry – \mathbf{g}/\mathbf{h} se liší koeficienty nebo i délkou

WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

- 2D waveletová transformace:
 - nejdříve kompletní transformace řádků, pak sloupců
 - střídavě kroky pro řádky a sloupce



METADATA

EXIF

- Exchangeable Image File Format
- standard pro uchování vedlejší informace v obrazu
- typické použití: uložení parametrů fotoaparátu, objektivu, snímacích podmínek, data/času snímání, náhledu, parametrů obrazu
- standardní podpora v JPG/JFIF, TIFF

IPTC

- záznam textových dat k obrázku
- původně pro novinářské účely
- tagy např. titulky, klíčová slova, autorská práva, ...

OBRAZOVÉ FORMÁTY

BMP

- Windows, OS/2
- paletované (1, 4, 8 bitů), 24 bitů truecolor
- grayscale, rgb
- bez komprese, RLE
- velká podpora, snadná implementace

PICT

- MacOS
- paletované (1, 8 bitů), 24 bitů truecolor
- grayscale, rgb
- RLE, JPEG

OBRAZOVÉ FORMÁTY

TGA

- Targa Image File
- zejména PC
- paletované (8 bitů), 16, 24, 32 bitů truecolor
- grayscale, rgb
- bez komprese, RLE
- podpora uživatelských dat
- zpracování videa

OBRAZOVÉ FORMÁTY

TIFF

- Tagged Image File Format
- paletovaný (1 – 8 bitů), 24 bitů truecolor
- standardně grayscale, rgb, cmyk, lab
- bez komprese, RLE, LZW, CCITT G3/G4, JPEG (verze 6)
- stripes, tiles
- extrémně rozšiřitelný (tags)
- komplikovaný
- DTP, vědecká data

OBRAZOVÉ FORMÁTY

PSD

- Adobe Photoshop Document
- paletovaný (1, 8 bitů), 8/16 bitů na kanál truecolor
- grayscale, rgb, cmyk, lab, multichannel
- bez komprese, RLE
- podpora vrstev, vektorových dat, ...
- DTP, grafika
- pokud možno používat jen jako pracovní formát
- interní formát Adobe ⇒ není dobrý standard

OBRAZOVÉ FORMÁTY

EPS, PDF

- Encapsulated PostScript, Portable Document Format
- obecné formáty s podporou bitmap, užití v DTP

OPENEXR

- zpracování filmu, HDRI – uchování silných odlesků
- 16 bitů/kanál, float; 32 bitů/kanál, float/int

CINEON

- zpracování filmu, starší než OpenEXR
- 10 bitů/kanál, neuniformní kvantizace – záznam denzity
- v současnosti nahrazen formátem DPX

OBRAZOVÉ FORMÁTY

GIF

- Graphics Interchange Format
- paletovaný (1 – 8 bitů), rgb
- LZW ⇒ není zdarma
- ideální pro obrázky s velkými jednobarevnými plochami
- progresivní, prokládaný (4 průchody, po řádcích)
- verze 87a – původní
- verze 89a
 - podpora více obrázků v souboru (animace)
 - jednoduchá podpora průhlednosti
- uživatelská data
- web

OBRAZOVÉ FORMÁTY

PNG

- Portable Network Graphics, náhrada formátu GIF
- paletovaný (1 – 8 bitů), 8/16 bitů truecolor
- rgb, rgba
- ideální pro obrázky s velkými jednobarevnými plochami
- modifikace LZ77 (zip deflate), filtrace
- progresivní, prokládaný (Adam7)
- uživatelská data, web



OBRAZOVÉ FORMÁTY

RAW

- „hrubá“ lineární data ze senzoru digitálního fotoaparátu
- postprocessing nutné udělat na počítači
- interpolace dat – odstranění (Bayerovy) masky



- gama korekce, vyvážení bílé, úprava barev, ostrosti, ...
- DNG – formát nezávislý na zařízení

OBRAZOVÉ FORMÁTY

PNG

- Portable Network Graphics, náhrada formátu GIF
- paletovaný (1 – 8 bitů), 8/16 bitů truecolor
- rgb, rgba
- ideální pro obrázky s velkými jednobarevnými plochami
- modifikace LZ77 (zip deflate), filtrace
- progresivní, prokládaný (Adam7)
- uživatelská data, web



OBRAZOVÉ FORMÁTY

JPEG / JFIF

- Joint Photographic Experts Group
- JPEG File Interchange Format
- typický 8 bitů na kanál
- grayscale, $Y^*C_B^*C_R^*$ (+ modifikace $R^*G^*B^*$, CMYK, YCCK aj.)

$$Y^* = rR^* + gG^* + bB^*$$

$$C_B^* = k_1(Y^* - B^*)$$

$$C_R^* = k_2(Y^* - R^*)$$

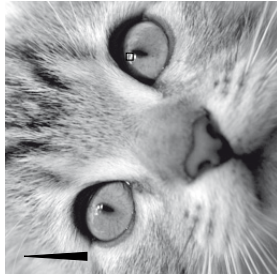
$$r, g, b, k_1, k_2 \text{ reálná čísla}$$

- JPEG kompresní schéma
- pro obrázky se spojitými tóny (fotografie)
- progresivní, prokládaný
- DTP, web, obecné použití

KOMPRESJE JPEG

- převod do vhodného barevného prostoru ($Y^*C_B^*C_R^*$)
- (volitelně) podvzorkování $2h1v$ nebo $2h2v$
- rozdělení na bloky 8×8 pixelů, 2D DCT
- $b_{uv}[x,y] = \cos [(2x+1)u\pi/16] \cdot \cos [(2y+1)v\pi/16]$
- váhování koeficientů DCT – kvalita komprese kvantizace
- zig-zag převod do 1D signálu
- DC člen kódován DPCM, AC člen pomocí RLE
- Huffmanovo nebo aritmetické kódování
- typická chyba – ztráta detailů, bloky

KOMPRESI JPEG



původní obrázek



obrázek po DCT kvantizaci

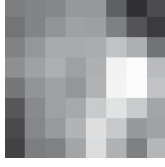
MHS – Komprese bitmapového obrázku

37 / 63

KOMPRESI JPEG



původní obrázek



obrázek po kvantizaci DCT koeficientů

1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

kvantizační koeficienty
 ▼ ilustrativní
 ► reálné
 (8x)

16	11	10	16	124	140	151	161
12	12	14	19	126	158	160	155
14	13	16	24	140	157	169	156
14	17	22	29	158	169	160	192
18	22	26	34	168	180	169	192
24	25	35	44	181	194	181	192
28	35	44	54	181	194	181	192
36	44	54	64	181	194	181	192
44	54	64	74	181	194	181	192
52	64	74	84	181	194	181	192
60	74	84	94	181	194	181	192
68	84	94	104	181	194	181	192
76	94	104	114	181	194	181	192
84	104	114	124	181	194	181	192
92	114	124	134	181	194	181	192
100	124	134	144	181	194	181	192
108	134	144	154	181	194	181	192
116	144	154	164	181	194	181	192
124	154	164	174	181	194	181	192
132	164	174	184	181	194	181	192
140	174	184	194	181	194	181	192

MHS – Komprese bitmapového obrázku

38 / 63

KOMPRESI JPEG

31	46	62	88	97	95	92	82
83	108	98	126	158	111	107	90
103	131	124	116	151	144	104	104
136	144	133	127	134	151	133	134
191	216	196	148	136	148	143	117
139	203	216	240	237	147	107	65
122	118	176	255	255	161	58	21
141	122	131	172	166	99	29	3

původní obrázek

DCT koeficienty

128.30	19.57	-34.22	5.22	2.76	-5.36	-2.64	0.35
-23.72	-38.10	30.56	-2.97	-8.02	-2.80	-0.62	0.16
-30.40	-3.40	-22.22	4.72	13.45	2.99	-0.53	0.13
9.86	1.54	-8.32	-7.19	-3.15	2.54	-4.25	1.23
-11.60	-2.46	26.32	-0.27	-6.22	4.87	3.20	-2.16
-3.22	-12.21	-12.13	2.29	4.46	2.22	4.11	-1.82
-2.65	1.89	1.90	-3.03	-4.19	-2.38	-1.40	0.47
-0.10	1.91	3.35	1.91	-3.33	0.89	3.91	-0.19

MHS – Komprese bitmapového obrázku

39 / 63

KOMPRESI JPEG

128.30	19.57	-34.22	5.22	2.76	-5.36	-2.64	0.35
-23.72	-38.10	30.56	-2.97	-8.02	-2.80	-0.62	0.16
-30.40	-3.40	-22.22	4.72	13.45	2.99	-0.53	0.13
9.86	1.54	-8.32	-7.19	-3.15	2.54	-4.25	1.23
-11.60	-2.46	26.32	-0.27	-6.22	4.87	3.20	-2.16
-3.22	-12.21	-12.13	2.29	4.46	2.22	4.11	-1.82
-2.65	1.89	1.90	-3.03	-4.19	-2.38	-1.40	0.47
-0.10	1.91	3.35	1.91	-3.33	0.89	3.91	-0.19

DCT koeficienty

128.00	20.00	-33.00	4.00	5.00	-6.00	0.00	0.00
-24.00	-40.00	30.00	0.00	-10.00	0.00	0.00	0.00
-30.00	-6.00	-18.00	0.00	15.00	0.00	0.00	0.00
8.00	0.00	-12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-10.00	0.00	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-12.00	-18.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

DCT koeficienty po kvantizaci (a pro ilustraci po dekvantizaci)

MHS – Komprese bitmapového obrázku

40 / 63

KOMPRESI JPEG



původní
obrázek

31	46	62	88	97	95	92	82
83	108	98	126	158	111	97	90
103	131	124	116	151	144	104	104
136	144	133	127	134	151	133	134
191	216	196	148	136	148	143	117
139	203	216	240	237	147	107	65
122	118	176	255	255	161	58	21
141	122	131	172	166	99	29	3



obrázek
po
kvantizaci
DCT
koeficientů

31	38	51	83	110	96	80	92
91	102	105	116	132	119	98	98
96	123	130	132	148	143	116	101
136	154	140	118	130	142	131	121
207	211	183	152	149	145	129	122
151	181	214	240	237	172	93	59
93	122	183	251	250	149	47	16
157	133	136	173	164	79	23	39

KOMPRESI JPEG

KÓDOVÁNÍ AC ČLENŮ

- kódování bity <zzzz><kkkk><bb...b>
 - kkkk – kategorie koeficientu (a počet bitů b)
 - 1 = {-1, 1} 2 = {-3, -2, 2, 3} 3 = {-7...-4, 4...7}
 - 4 = {-15...-8, 8...15} 5 = {-31...-16, 16...31} ...
 - zzzz – počet nulových koeficientů před kódovaným
 - b – bity pro přesnou hodnotu koeficientu
- kódy <zzzz><kkkk> kódovány Huffmanovým kódem
- 11110000 – 16 nul za sebou
- 00000000 – do konce sekvence následují jen nuly (EOB)

KOMPRESI JPEG

- vstupní sekvence
128 (DC), **20**, **-24**, -30, -40, -33, **4**, 30, -6, 8,
-10, 0, -18, 0, 5, -6, -10, 0, -12, 0, -6, 0, -12,
30, 0, 15, 0, 0, 0, 0, 0, 0, **-18**, 0, 0, 0, ..., 0
- výstupní sekvence (AC)
20 → 0000 0101 00100 (kat. 5, 20 - 16 = 4)
-24 → 0000 0101 10111 (kat. 5, -24 + 15 = -9)
4 → 0000 0011 000 (kat. 3, 4 - 4 = 0)
...
-18 → 0111 0101 11101 (kat. 5, -18 + 15 = -3)
→ 0000 0000 (EOB)

OBRAZOVÉ FORMÁTY

BEZTRÁTOVÝ JPEG

- jako JPEG
- místo DCT a kvantizace predikční schéma

JBIG

- schéma pro 1bitové obrázky
- aritmetické kódování

OBRAZOVÉ FORMÁTY

JPEG 2000

- 1–16 bitů na kanál truecolor
- ztrátové i bezztrátové kompresní schéma
- DWT – diskrétní waveletová transformace
- progresivní, přírůstkový
- region of interest
- náhodný přístup do souboru
- odolnost vůči chybám
- watermarking

OBRAZOVÉ FORMÁTY

KOMPRESI JPEG 2000

- (volitelně) převod do vhodného barvového prostoru
- (volitelně) podvzorkování – nedoporučuje se
- rozdělení na bloky
- korekce DC posuvu – střední hodnota má být 0
- 2D DWT \Rightarrow koeficienty pro subpásmo
- kvantizace subpásem, uspořádání do code-blocks
- převod code-blocks po bitových rovinách do 1D proudu (speciální kódování), aplikace ROI
- aritmetické kódování
- ořezávání proudu dat (hlavní zdroj ztráty)

DWT



původní obrázek



2D DWT, Haarova báze

DWT



2D DWT, báze Daubechies4

2D DWT, Haarova báze

DWT



H. báze, 1/64 koeficientů

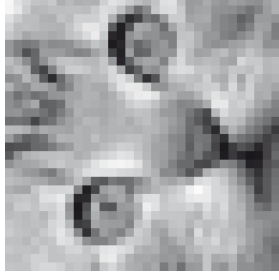


H. báze, 1/64 největších k.

MHS – Kompresi bitmapového obrazu

49 / 63

DWT



H. báze, 1/64 koeficientů



H. báze, 1/64 největších k.

MHS – Kompresi bitmapového obrazu

50 / 63

DWT



D4 báze, 1/64 koeficientů



D4 báze, 1/64 největších k.

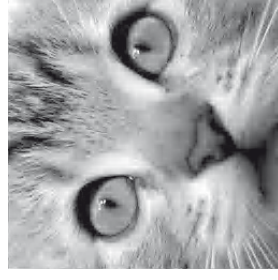
MHS – Kompresi bitmapového obrazu

51 / 63

DWT



H. báze, 1/16 největších k.



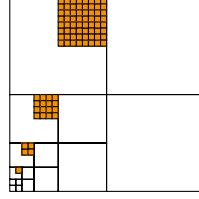
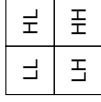
D4 báze, 1/16 největších k.

MHS – Kompresi bitmapového obrazu

52 / 63

KOMPRESI DWT KOEFICIENTŮ

- samostatná aplikace DWT + kvantizace
 - nepřilíš efektivní
 - ukládání nulových koeficientů + mapy jejich umístění
- mapa příliš rozsáhlá
 - trik: je-li malý koeficient, je pravděpodobně malé i příslušné vysokofrekvenční pásmo
- EZW (Embedded Image Coding using Zerotree Wavelets)
 - zjemňující se kvantizace
 - kódování po bitových rovinách



KOMPRESI DWT KOEFICIENTŮ

- binární kvantizace rozsahu (0, M)
 - kódy 0, 1 odpovídají hodnotám M/4, 3M/4
 - chyba kvantizace max. ±M/4
- postupné aproximace čísla X z rozsahu (0, M)
 - 1. bit – odhad M/4 nebo 3M/4, chyba odhadu M/4
 - 2. bit – přidat M/8 nebo -M/8, chyba odhadu M/8
 - ...
- příklad: X = 42, M = 50

práh 25,0000	bit	1	odhad	37,5000		chyba	12,5000
37,5000		1		43,7500			6,2500
43,750		0		40,6250			3,1250
40,625		1		42,1875			1,5625

EZW KOMPRESI

- M := maximální DWT koeficient (v absolutní hodnotě)
- výběr prahu důležitosti $M/2 \leq T < M$, obvykle $(M+1)/2$
- dominantní průběh (DP):
 - kódování koeficientů X v pořadí LL, HL, LH, HH
 - POS: $|X| > T, X > 0$ | nahradit X nulou
 - NEG: $|X| > T, X < 0$ | a vyloučit z dalších DP
 - ZTR: $|X| \leq T$, všichni následníci X jsou $\leq T$
 - IZ: $|X| \leq T$, alespoň jeden následník X je $> T$
- vedlejší průběh (VP):
 - T < POS $\leq M \Rightarrow$ odhad POS je 3T/2 \Rightarrow chyba T/2
 - pro POS a NEG koeficienty zapsat 0/1 pro chybu T/4
 - T := T/2, pokračovat v DP a VP

EZW KOMPRESI

63	-51	10	8	40	6	5	6	63	POS	48	1	56
18	44	49	20	8	-9	3	-3	-51	NEG	-48	1	-56
6	20	2	5	7	5	-7	-2	18	ZTR			
15	12	-9	19	-8	2	0	0	44	POS	48	0	40
8	5	-4	6	2	3	2	1	10	IZ			
9	6	1	0	1	1	1	1	8	ZTR			
-3	8	10	12	0	3	2	1	49	POS	48	1	56
16	18	6	2	1	2	3	3	20	ZTR			
								2	ZTR			
								5	ZTR			
								-9	ZTR			
								19	ZTR			
								..				

DP: M = 63 VP: práh 48
T = 32 odhad 40, 56

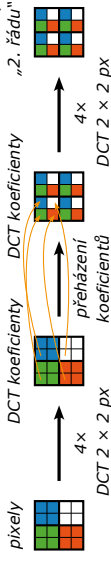
odhad po VP
VP
odhad před VP
DP
Koeficient

EZW KOMPRES

- kódování DP – aritmetický kódér, abeceda 4 nebo 3 znaky (v posledních pásmech neexistují IZ)
- kódování VP – aritmetický kódér, abeceda 2 znaky
- využití adaptivního aritmetického kódéru
- kódování/dekódování se dá kdykoliv ukončit
- každý bit zlepšuje kvalitu
- algoritmy SPIHT (Set Partitioning in Hierarchical Trees), JPEG2000 založeny na EZW

DALŠÍ TECHNIKY

- užití jiného barevného prostoru než $Y'CbCr$
 - $Y'CbCr$ podobný, výpočet v celočíselné aritmetice
$$Y' = [G + (R + B) / 2] / 2$$
$$Cb = [G - (R + B) / 2] / 2, Cr = (R - B) / 2$$
- celočíselná obdoba DCT
- bloky pro DCT jiné než 8×8 pixelů (často 4×4 px)
- predikce bloku z okolních bloků, kódování rezidua
- hierarchické užití DCT / integer DCT



EZW KOMPRES

- kódování DP – aritmetický kódér, abeceda 4 nebo 3 znaky (v posledních pásmech neexistují IZ)
- kódování VP – aritmetický kódér, abeceda 2 znaky
- využití adaptivního aritmetického kódéru
- kódování/dekódování se dá kdykoliv ukončit
- každý bit zlepšuje kvalitu
- algoritmy SPIHT (Set Partitioning in Hierarchical Trees), JPEG2000 založeny na EZW

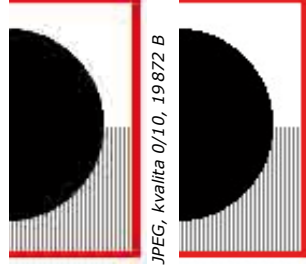
KOMPRES OBRAZU



128 x 128 px, RGB

data	49 152 B
BMP	49 206 B
PNG	1 214 B
JP2 lossless	4 131 B
GIF	800 B
JPG	19 – 22 KB
JP2	7 KB

KOMPRES OBRAZU



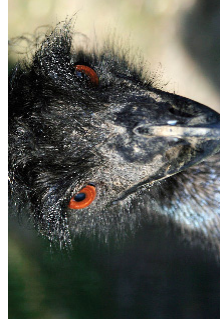
JPEG, kvalita 0/10, 19 872 B

JPEG2000, 1 799 B

JPEG, kvalita 8/10, 22 918 B

JPEG2000, 6 689 B

KOMPRESSE OBRAZU



320 x 213 px, RGB

data	204 480 B
BMP	204 536 B
PNG	150 341 B
JP2 lossless	115 950 B
GIF	61 591 B
JPG	31 - 62 KB
JP2	max. 86 KB

MHS - Kompresse bitmapového obrazu

61 / 63

KOMPRESSE OBRAZU

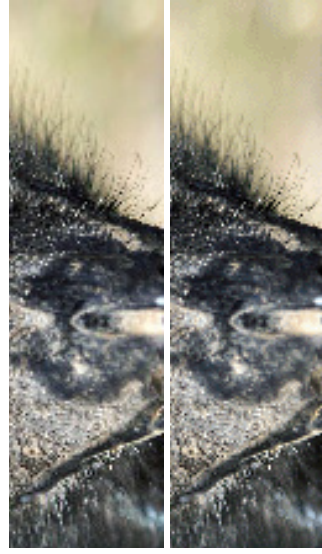


0.155 bpp/31 690 B 0.188 bpp/38 500 B 0.302 bpp/61 800 B

MHS - Kompresse bitmapového obrazu

62 / 63

KOMPRESSE OBRAZU



GIF, 61 591 KB JPEG, 61 723 KB

MHS - Kompresse bitmapového obrazu

63 / 63