

MULTIMEDIÁLNÍ A HYPERMEDIÁLNÍ SYSTEMY

9)
Komprese bitmapového
obrazu

Petr Lobaz, 16. 4. 2013

KOMPRESSE OBRAZU

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

KOMPRESSE OBRAZU

BEZZTRÁTOVÁ KOMPRESSE

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

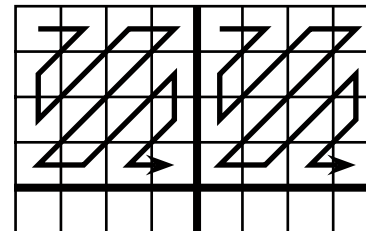
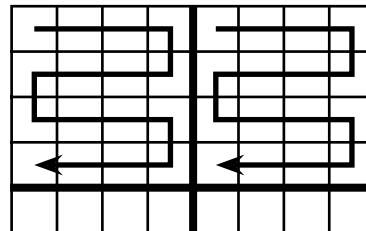
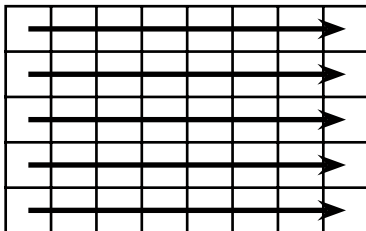
ZTRÁTOVÁ KOMPRESSE

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

BEZZTRÁTOVÁ KOMPRESSE

RLE

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



BEZZTRÁTOVÁ KOMPRESSE

HUFFMANOVO 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

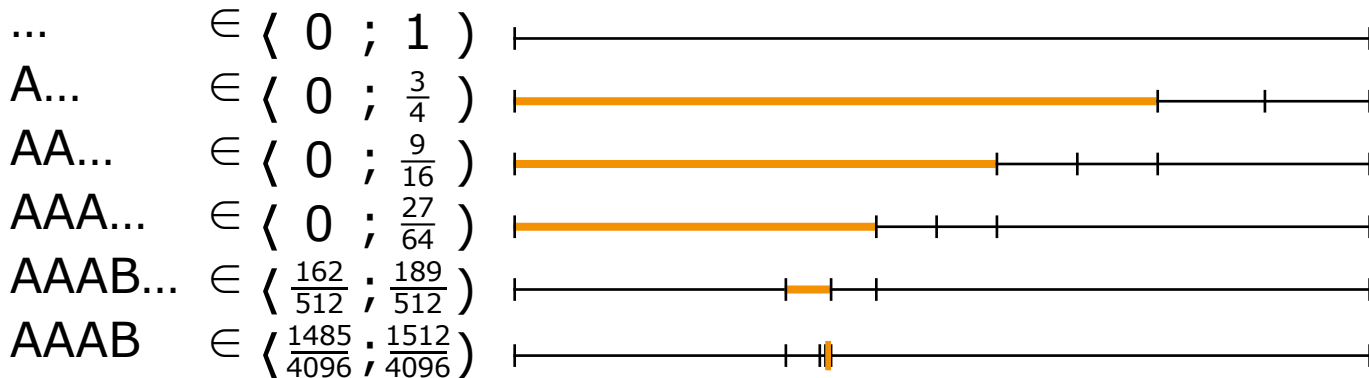
- nahrazení známé sekvence znaků kódem
- adaptivní
- patentovaná technologie

ARITMETICKÉ KÓDOVÁNÍ

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

$$p_A = 0,11_2 \left(\frac{3}{4}\right) \quad p_B = 0,001_2 \left(\frac{1}{8}\right) \quad p_{\text{EOF}} = 0,001_2 \left(\frac{1}{8}\right)$$

AAAB \Rightarrow 0101111



$\langle \underline{0,010111001101} ; \underline{0,010111101000} \rangle$

ARITMETICKÉ KÓDOVÁNÍ

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

NORMALIZACE INTERVALU

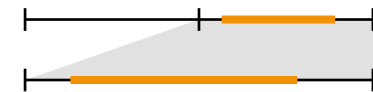
E_1 $HI < 1/2 \Rightarrow$ první bit bude 0

$HI := HI*2; LO := LO*2$



E_2 $LO > 1/2 \Rightarrow$ první bit bude 1

$HI := HI*2 - 1; LO := LO*2 - 1$



E_3 $1/4 < LO < HI < 3/4 \Rightarrow$ další bit bude \bar{x}

$HI := HI*2 - 1/2; LO := LO*2 - 1/2$



ARITMETICKÉ KÓDOVÁNÍ

KOMPRESSE

LO := 0; HI := 1; E₃bitů := 0;

→ A := vstup(); /* EOF ⇒ vnější smyčka už se nevrátí */
zkrať LO, HI podle pravděpodobnosti A

→ lze provést E₁?

E₁; výstup(0); E₃bitů × výstup(1); E₃bitů := 0;

lze provést E₂?

E₂; výstup(1); E₃bitů × výstup(0); E₃bitů := 0;

→ lze provést E₃?

E₃; E₃bitů++;

výstup bitů pro výsledný interval a zbylých E₃ bitů

ARITMETICKÉ KÓDOVÁNÍ

DEKOMPRESSE

LO := 0; HI := 1;

do C načti maximum bitů (např. 31)

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

→ výstup(A)

zkrať LO, HI podle pravděpodobnosti A

→ lze provést E_1 nebo E_2 ?

$E_1 \Rightarrow E_1; C := C*2 + vstup()$

$E_2 \Rightarrow E_2; \text{nuluj nejvyšší bit } C; C := C*2 + vstup()$

→ lze provést E_3 ?

$E_3; \text{nuluj druhý nejvyšší bit } C; C := C*2 + vstup()$

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}[\]$ součtem bázových signálů

– triviální báze:

$$\mathbf{b}_0 = [1, 0, 0, 0, \dots, 0, 0]$$

$$\mathbf{b}_1 = [0, 1, 0, 0, \dots, 0, 0]$$

\vdots

$$\mathbf{b}_{N-1} = [0, 0, 0, 0, \dots, 0, 1]$$

$$\mathbf{f} = f_0 \cdot \mathbf{b}_0 + f_1 \cdot \mathbf{b}_1 + \dots + f_{N-1} \cdot \mathbf{b}_{N-1}$$

– alternativní báze:

$$\mathbf{f} = f'_0 \cdot \mathbf{b}'_0 + f'_1 \cdot \mathbf{b}'_1 + \dots + f'_{N-1} \cdot \mathbf{b}'_{N-1}$$

TRANSFORMACE SIGNÁLU

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

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

$$N = 4$$

$$\begin{aligned} \mathbf{c}_0 &= [\cos 2\pi \cdot 0 \cdot 0/4, \cos 2\pi \cdot 0 \cdot 1/4, \dots, \cos 2\pi \cdot 0 \cdot 3/4] = \\ &= [1, 1, 1, 1] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{c}_1 &= [\cos 2\pi \cdot 1 \cdot 0/4, \cos 2\pi \cdot 1 \cdot 1/4, \dots, \cos 2\pi \cdot 1 \cdot 3/4] = \\ &= [1, 0, -1, 0] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{c}_2 &= [\cos 2\pi \cdot 2 \cdot 0/4, \cos 2\pi \cdot 2 \cdot 1/4, \dots, \cos 2\pi \cdot 2 \cdot 3/4] = \\ &= [1, -1, 1, -1] \end{aligned}$$

$$\mathbf{s}_0 = [0, 0, 0, 0]$$

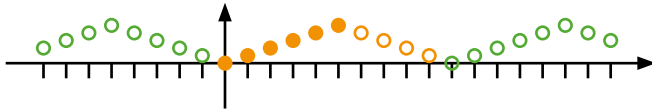
$$\begin{aligned} \mathbf{s}_1 &= [\sin 2\pi \cdot 1 \cdot 0/4, \sin 2\pi \cdot 1 \cdot 1/4, \dots, \sin 2\pi \cdot 1 \cdot 3/4] = \\ &= [0, 1, 0, -1] \end{aligned}$$

$$\mathbf{s}_2 = [0, 0, 0, 0]$$

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

- separabilní
⇒ transformace na řádky, pak na sloupce výsledku
- příklad: 2D DCT

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

WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

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

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

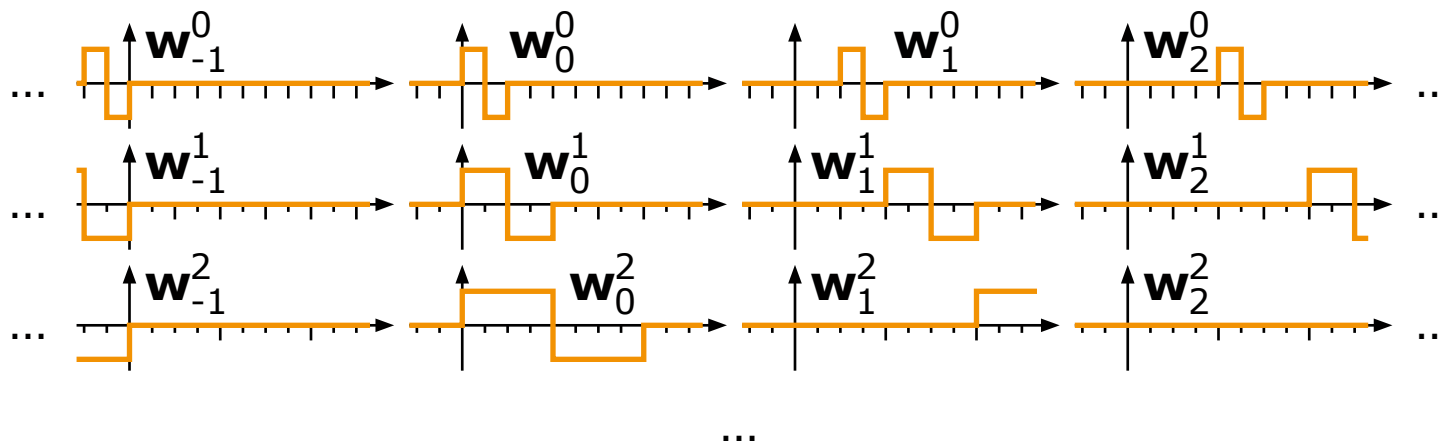
kde ψ je tzv. wavelet:

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

WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

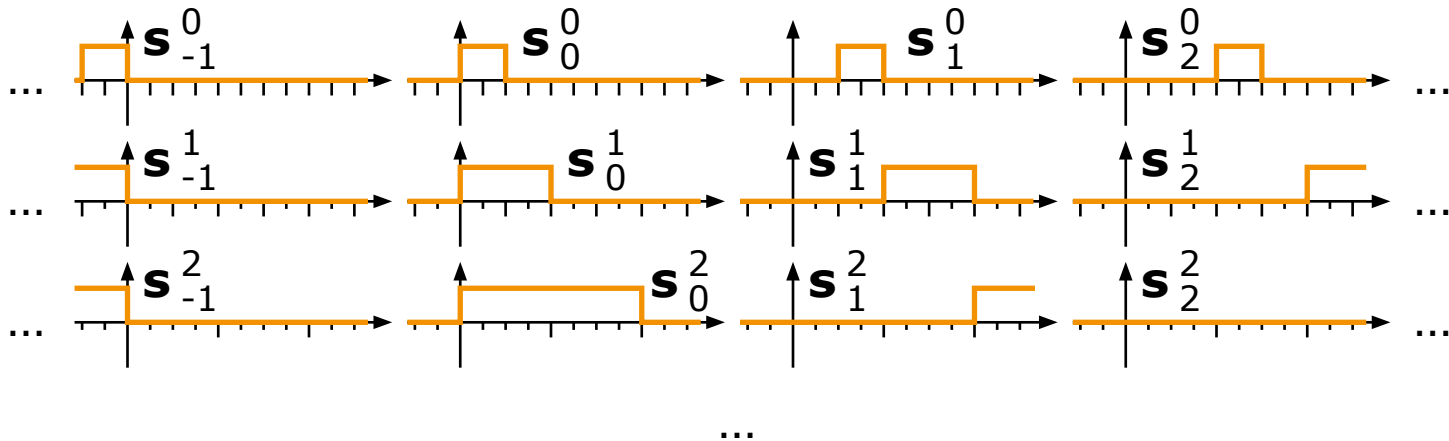
DISKRÉTNÍ WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

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



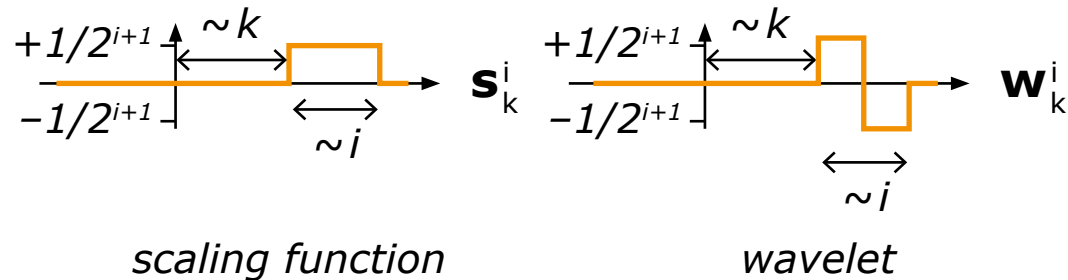
WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

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



WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

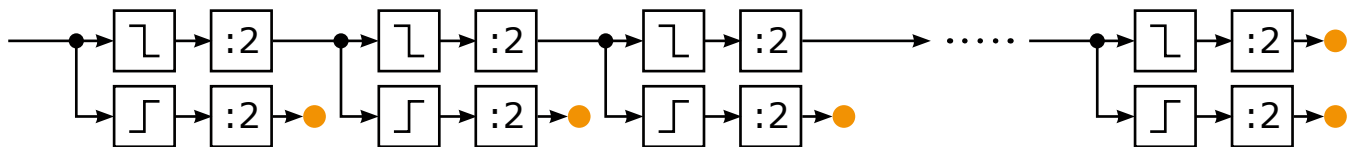
- příklad:
Haarova
báze



signál	0	16	8	32	8	4	4	8
součin s \mathbf{s}^0		8		20		6		6
součin s \mathbf{w}^0		-8		-12		2		-2
součin s \mathbf{s}^1				14				6
součin s \mathbf{w}^1				-6				0
součin s \mathbf{s}^2								10
součin s \mathbf{w}^2								4

WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

- DWT v pojmech teorie filtrů:
 - vstup $\mathbf{x}[]$
 - 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 $\check{\mathbf{a}}^k[i]$:
 $\check{\mathbf{a}}^k[2i] = \mathbf{a}^k[i], \check{\mathbf{a}}^k[2i+1] = 0$
 - signál $\mathbf{b}^k[i]$ převzorkovat na $\check{\mathbf{b}}^k[i]$
 - aplikace filtru $\check{\mathbf{g}}$ na $\check{\mathbf{a}}^k[i] \Rightarrow$ signál $\mathbf{A}^k[i]$
aplikace filtru $\check{\mathbf{h}}$ na $\check{\mathbf{b}}^k[i] \Rightarrow$ 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:

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

WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

PŘÍKLADY FILTRŮ

- Haarovy ortonormální filtry:

$$\mathbf{g} = \left[\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}} \right] \quad \mathbf{h} = \left[\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{-1}{\sqrt{2}} \right] \quad \tilde{\mathbf{g}} = \left[\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}} \right] \quad \tilde{\mathbf{h}} = \left[\frac{-1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}} \right]$$

- Daubechies-4 ortonormální filtry:

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

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

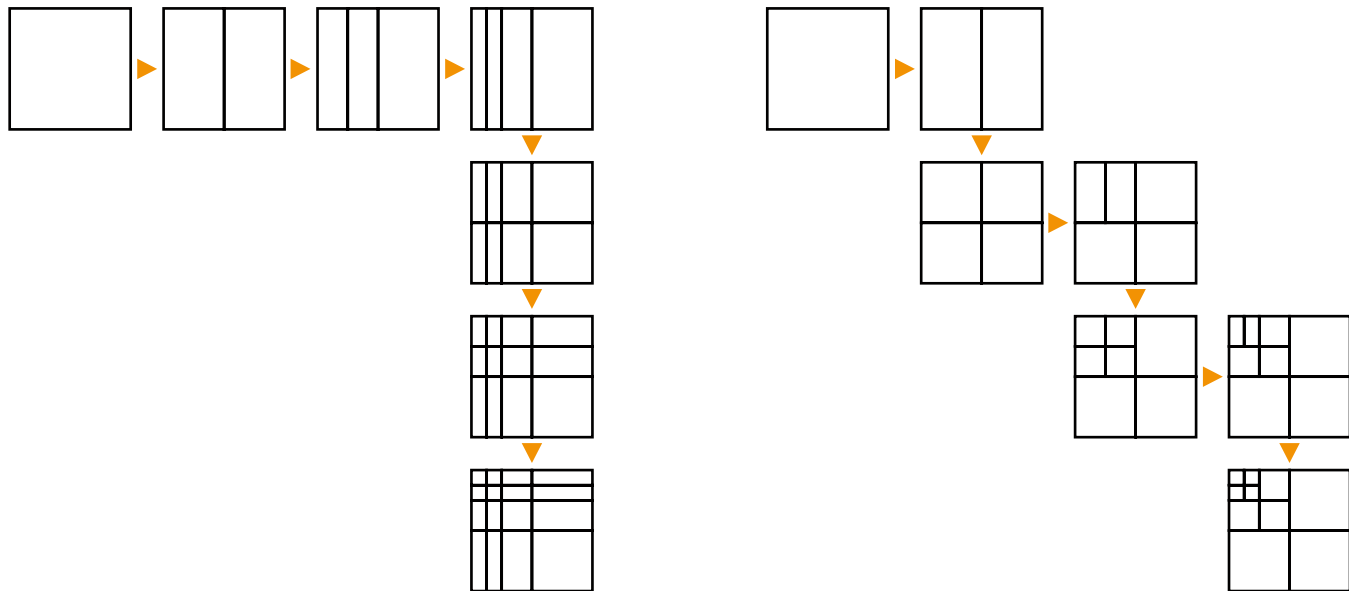
$$\tilde{\mathbf{g}} = [-0,129; 0,224; 0,837; \underline{0,483}]$$

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

- biortogonální filtry – \mathbf{g}/\mathbf{h} se liší koeficienty nebo i délkou

WAVELETOVÁ TRANSFORMACE

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



METADATA

EXIF

- Exchangeable Image File Format
- standard pro uchování vedlejší informace v obraze
- 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. titulek, 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
- paletované (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

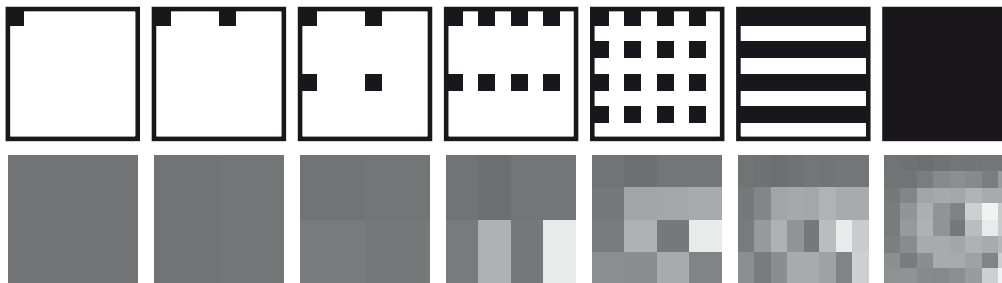
GIF

- 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

R	G	R	G	R	G
G	B	G	B	G	B
R	G	R	G	R	G
G	B	G	B	G	B
R	G	R	G	R	G

barva:



G:

100 - 100 - 0 -

B:

- 100 - 0 - 0

interp. G:

100 100 100 50 0 0

interp. B:

100 100 50 0 0 0

interp. barva:



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

OBRAZOVÉ FORMÁTY

JPEG / JFIF

- Joint Photographic Experts Group
JPEG File Interchange Format
- typicky 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 reálná čísla

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

KOMPRESSE JPEG

- převod do vhodného barevného prostoru ($Y^'C_B C_R$)
- (volitelně) podvzorkování 2h1v nebo 2h2v
- rozdělení na bloky 8×8 pixelů, 2D DCT
$$\mathbf{b}_{uv}[x,y] = \cos [(2x+1)u\pi/16] \cdot \cos [(2y+1)v\pi/16]$$
- 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

KOMPRESSE JPEG



původní obrázek

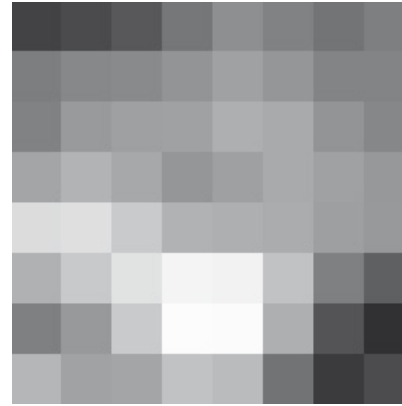


obrázek po DCT kvantizaci

KOMPRESSE JPEG



*původní
obrázek*



*obrázek po
kvantizaci
DCT
koeficientů*

1	2	3	4	5	6	7	8
2	4	6	8	10	12	14	16
3	6	9	12	15	18	21	24
4	8	12	16	20	24	28	32
5	10	15	20	25	30	35	40
6	12	18	24	30	36	42	48
7	14	21	28	35	42	49	56
8	16	24	32	40	48	56	64

*kvantizační
koeficienty*

◀ *ilustrativní*
▶ *reálné*
(8×)

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	151	187	180	162
18	22	37	56	168	109	103	177
24	35	55	64	181	104	113	192
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	199

KOMPRESSE JPEG

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

*původní
obrázek*

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*

KOMPRESSE 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

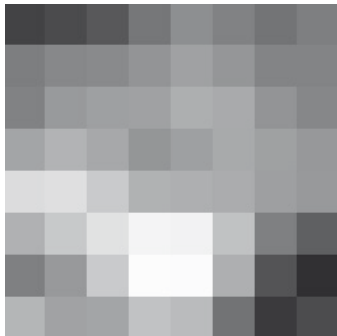
DCT
koeficienty
po kvantizaci
(a pro
ilustraci po
dekvantizaci)

KOMPRESSE JPEG



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

*původní
obrázek*



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

*obrázek
po
kvantizaci
DCT
koeficientů*

KOMPRESSE JPEG

KÓDOVÁNÍ AC ČLENŮ

- kódování bity $\langle zzzz \rangle \langle kkkk \rangle \langle bb\dots b \rangle$
 - $kkkk$ – kategorie koeficientu (a počet bitů b)
 $1 = \{-1, 1\}$ $2 = \{-3, -2, 2, 3\}$ $3 = \{-7\dots-4, 4\dots7\}$
 $4 = \{-15\dots-8, 8\dots15\}$ $5 = \{-31\dots-16, 16\dots31\}$...
 - $zzzz$ – počet nulových koeficientů před kódovaným
 - b – bity pro přesnou hodnotu koeficientu
- kódy $\langle zzzz \rangle \langle kkkk \rangle$ kódovány Huffmanovým kódem
- 11110000 – 16 nul za sebou
- 00000000 – do konce sekvence následují jen nuly (EOB)

KOMPRESSE 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, 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

BEZZTRÁTOVÝ 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

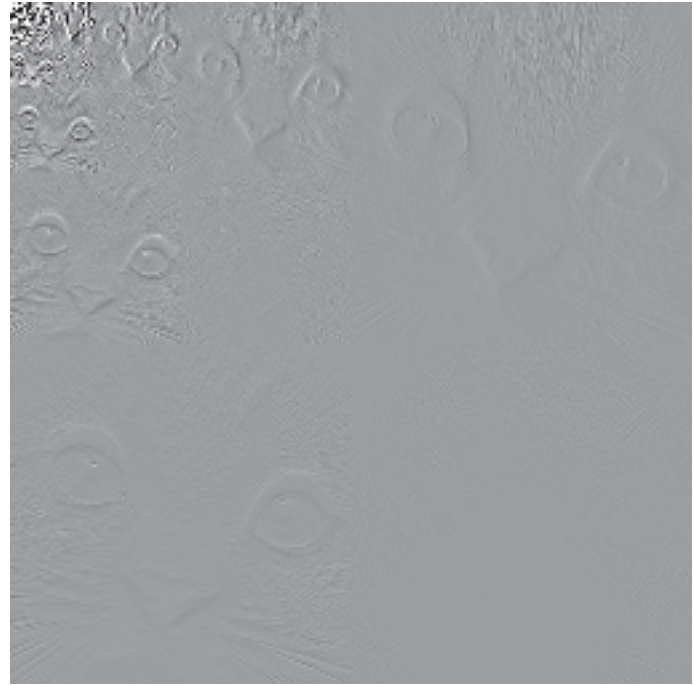
KOMPRESSE JPEG 2000

- (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 subpásma
- 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.

DWT



H. báze, 1/64 koeficientů



H. báze, 1/64 největších k.

DWT

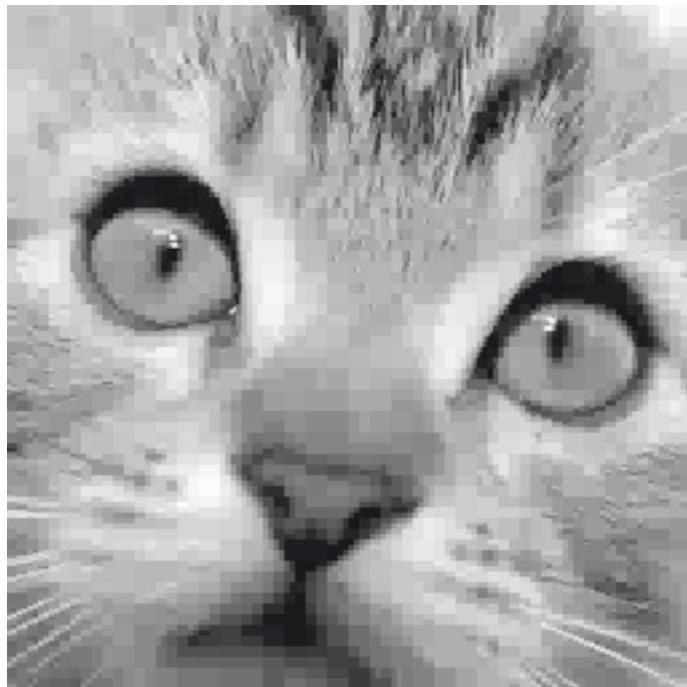


D4 báze, 1/64 koeficientů



D4 báze, 1/64 největších k.

DWT



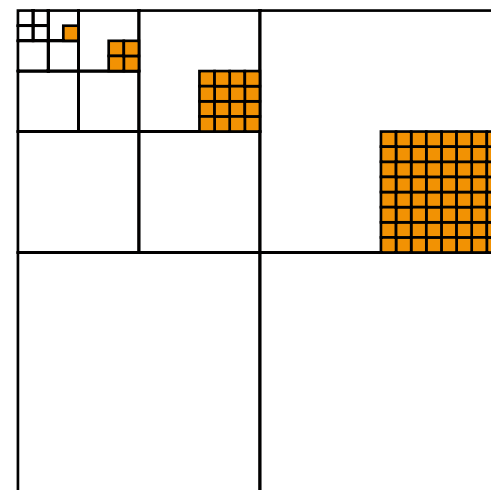
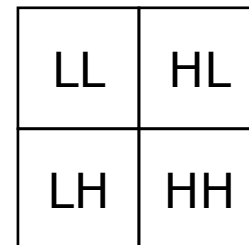
H. báze, 1/16 největších k.



D4 báze, 1/16 největších k.

KOMPRESSE DWT KOEFICIENTŮ

- samostatná aplikace DWT + kvantizace
 - nepříliš efektivní
- ukládání nenulových 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



KOMPRESSE DWT KOEFICIENTŮ

- binární kvantizace rozsahu $\langle 0, M \rangle$
 - kódy 0, 1 odpovídají hodnotám $M/4, 3M/4$
 - chyba kvantizace max. $\pm M/4$
- postupné aproximace čísla X z rozsahu $\langle 0, M \rangle$
 - 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 KOMPRESSE

- $M :=$ 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 KOMPRESSE

63	-51	10	8	40	6	5	6
18	44	49	20	8	-9	3	-3
6	20	2	5	7	5	-7	-2
15	12	-9	19	-8	2	0	0
8	5	-4	6	2	3	2	1
9	6	1	0	1	1	1	1
-3	8	10	12	0	3	2	1
16	18	6	2	1	2	3	3

DP: M = 63
T = 32

VP: práh 48
odhad 40, 56

63 **POS** 48 **1** 56
 -51 **NEG** -48 **1** -56
 18 **ZTR**
 44 **POS** 48 **0** 40
 10 **IZ**
 8 **ZTR**
 49 **POS** 48 **1** 56
 20 **ZTR**
 2 **ZTR**
 5 **ZTR**
 -9 **ZTR**
 19 **ZTR**
 ...

<i>koeficient</i>
<i>DP</i>
<i>odhad před VP</i>
<i>VP</i>
<i>odhad po VP</i>

EZW KOMPRESSE

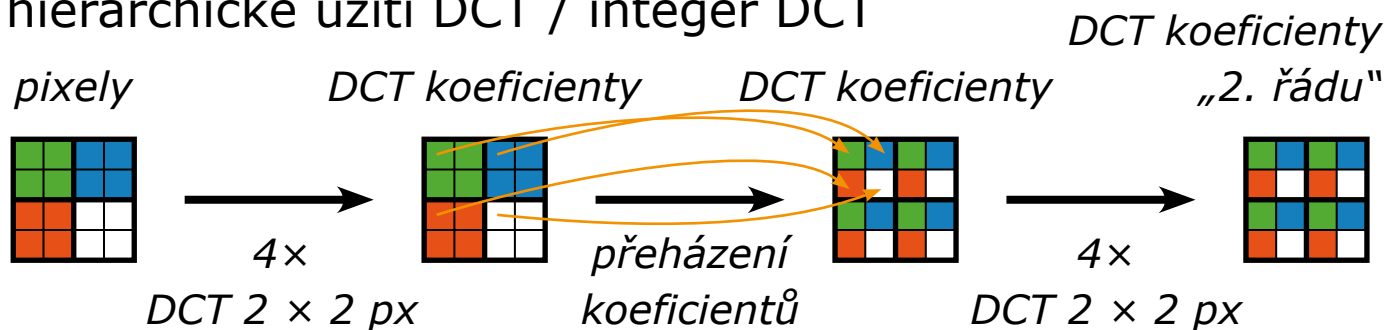
- kódování DP – aritmetický kodér, abeceda 4 nebo 3 znaky (v posledních pásmech neexistují IZ)
- kódování VP – aritmetický kodér, abeceda 2 znaky
- využití adaptivního aritmetického kodéru
- kódování/dekódování se dá kdykoliv ukončit
- každý bit zlepšuje kvalitu

- algoritmy SPIHT (Set Partitioning in Hierarchical Trees), JPEG2000 založeny na EZW

DALŠÍ TECHNIKY

- užití jiného barevného prostoru než $Y' C_B C_R$
 - $Y' C_G C_O$ podobný, výpočet v celočíselné aritmetice
$$Y' = [G + (R + B) / 2] / 2$$
$$C_G = [G - (R + B) / 2] / 2, C_O = (R - B) / 2$$

- 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



KOMPRESSE OBRAZU



128 × 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

KOMPRESSE OBRAZU



JPEG, kvalita 0/10, 19872 B



JPEG2000, 1799 B



JPEG, kvalita 8/10, 22918 B



JPEG2000, 6689 B

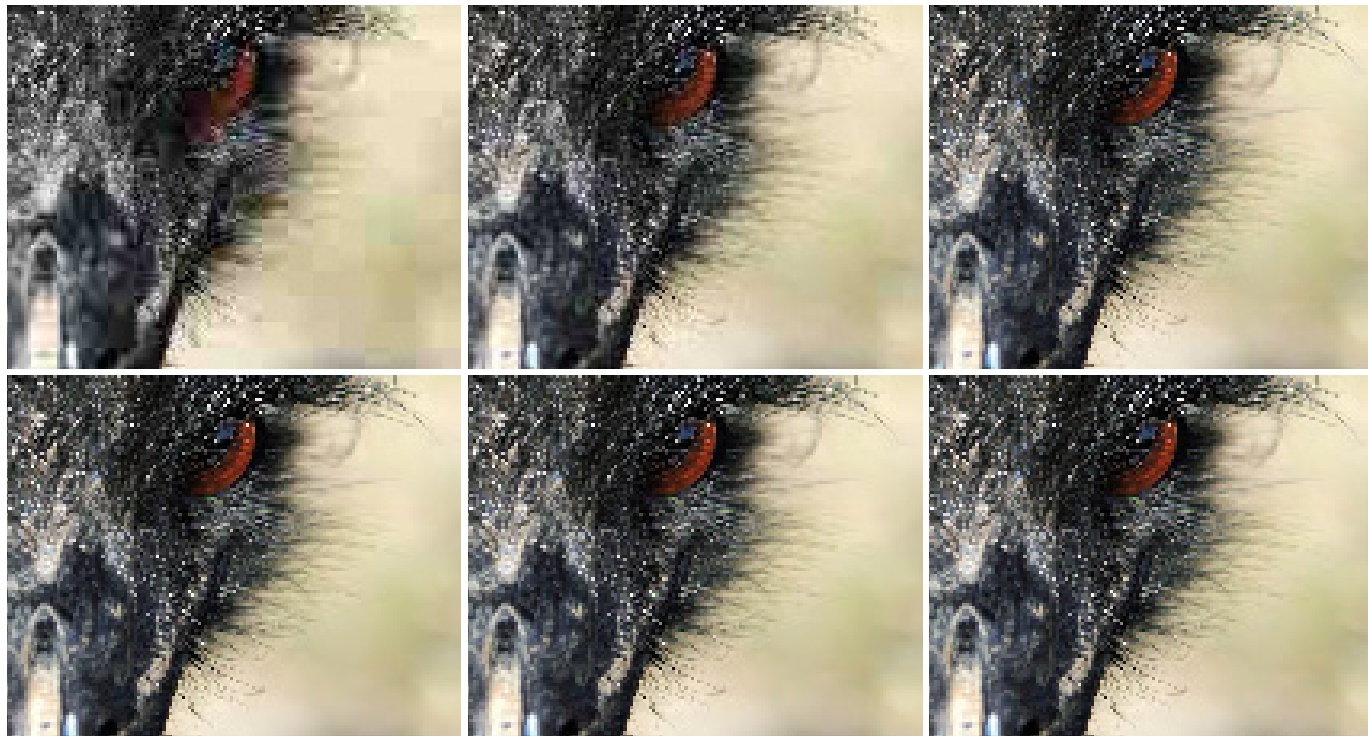
KOMPRESSE OBRAZU



320 × 213 px, RGB

data	204480 B
BMP	204536 B
PNG	150341 B
JP2 lossless	115950 B
GIF	61591 B
JPG	31–62 KB
JP2	max. 86 KB

KOMPRESSE OBRAZU

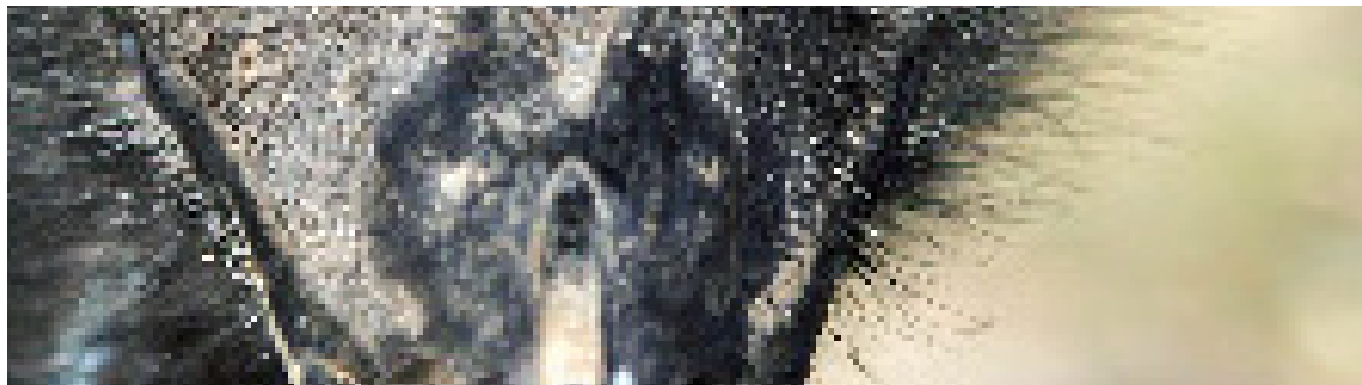


0.155 bpp/31690 B

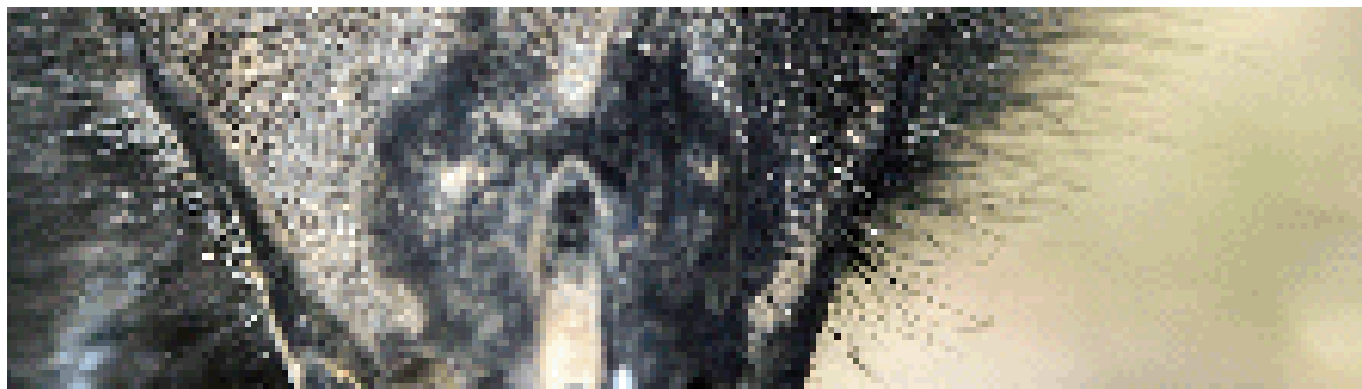
0.188 bpp/38500 B

0.302 bpp/61800 B

KOMPRESSE OBRAZU



JPEG, 61 723 KB



GIF, 61 591 KB