

Formáty obrazu

David Bařina

22. března 2013

Obsah

1 Pojmy

2 Nekomprimované formáty

3 Bezeztrátové formáty

4 Ztrátové formáty

- potřeba komprese: obraz ve FullHD rozlišení $1920 \times 1080 \times 3 \approx 6$ MB
- komprese: žádná, bezztrátová, ztrátová
- formáty: BMP, TIFF, GIF, PNG, JPEG-LS, JPEG, JPEG-2000, ...



- data (BMP, TIFF)
- data → RLE (BMP, TGA, TIFF)
- data → predikce → kontextový EC (JPEG-LS)
- data → predikce → RLE → EC
- data → predikce → slovníková metoda (PNG)
- data → slovníková metoda (GIF)
- data → transformace → RLE+EC (JPEG)
- data → transformace → kontextový EC (JPEG 2000)

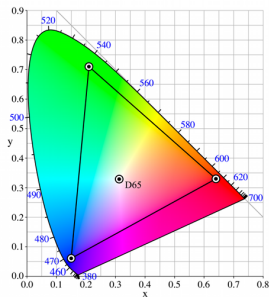
Barva

- barva
- primární barvy monitorů R, G a B
- jas
- ITU-R BT.601

$$Y = 0,299R + 0,587G + 0,114B$$

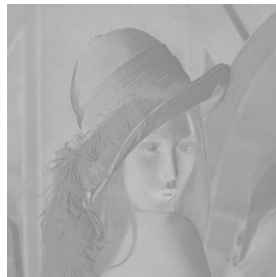
Barevné modely a prostory

- model
- chromatický diagram CIE xy
- prostor, gamut



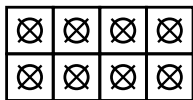
- transformace RGB

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} +0,299 & +0,587 & +0,114 \\ -0,16875 & -0,33126 & +0,5 \\ +0,5 & -0,41869 & -0,08131 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

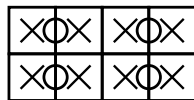


Podvzorkování

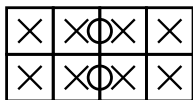
- Y vs. C_b , C_r
- člověkem nepozorovatelné
- blok, makropixel
- $J:a:b$, 4:4:4, 4:2:2, 4:1:1, 4:2:0
- centroidy



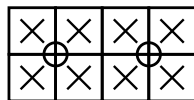
4:4:4



4:2:2



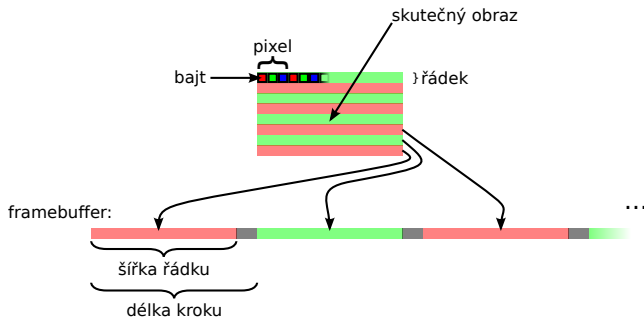
4:1:1



4:2:0

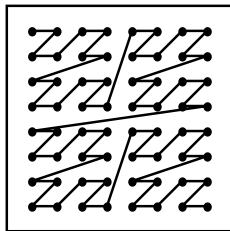
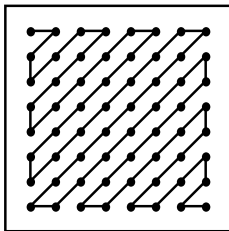
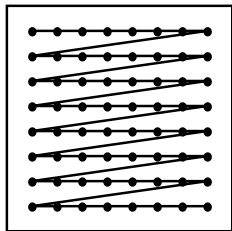
Formát pixelu

- model + uložení v paměti
- RGB24 vs. BGR24
- planární: $R_0R_1R_2 \dots G_0G_1G_2 \dots B_0B_1B_2 \dots$
- prokládané: $R_0G_0B_0R_1G_1B_1 \dots$



Průchody vícerozměrnými daty

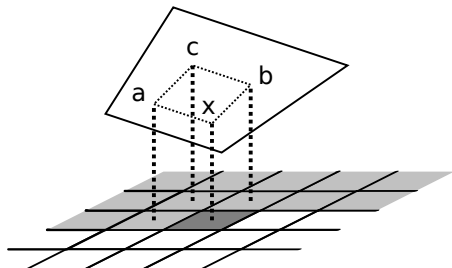
- linearizace
- rastrový průchod (všude), zig-zag (JPEG), z-křivka (EZW, SPIHT), jiné (EBCOT)



Prediktory

- predikce symbolu x , min. chyba
- řád prediktoru, doména
- lin. a nelin. prediktory

	c	b	d	
	a	x		



$$p = a + b - c$$

Prediktory

- triviální: a , b , c , d
- průměr, medián
- p (proložení rovinou)
- MED (JPEG-LS)

$$\hat{x} = \begin{cases} \min(a, b) & : c \geq \max(a, b) \\ \max(a, b) & : c \leq \min(a, b) \\ p & \end{cases}$$

- Paeth (PNG)

$$\hat{x} = \arg \min_{x \in a, b, c} |p - x|$$

Transformace

- řídká reprezentace obrazu
- ztrátové metody (kvantování)
- často DCT, DWT
- bloky, blokový efekt

DCT (diskrétní kosinová transformace)

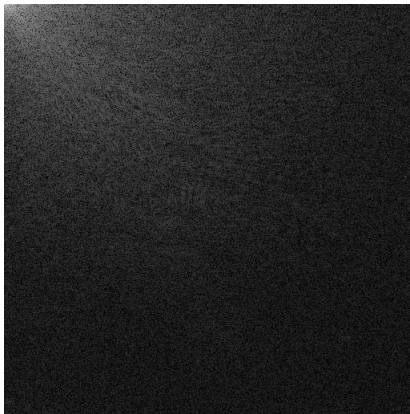
$$g_{k,j}[n, m] = \lambda_k \lambda_j \frac{2}{N} \cos \left[\frac{k\pi}{N} \left(n + \frac{1}{2} \right) \right] \cos \left[\frac{j\pi}{N} \left(m + \frac{1}{2} \right) \right]$$

$$c[k, j] = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} f[n, m] g_{k,j}[n, m]$$

$$f[n, m] = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} c[k, j] g_{k,j}[n, m]$$

$$0 \leq k, j < N \quad \lambda_k = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & : k = 0 \\ 1 & \end{cases}$$

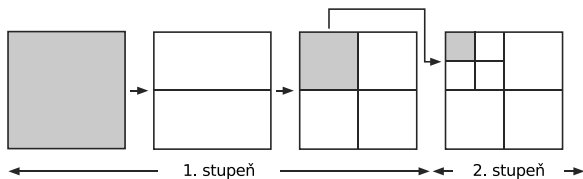
DCT (diskrétní kosinová transformace)



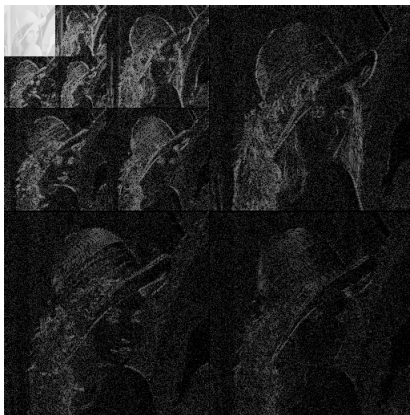
DWT (diskrétní vlnková transformace)

$$a_{j+1} = (a_j * h) \downarrow 2$$

$$d_{j+1} = (a_j * g) \downarrow 2$$

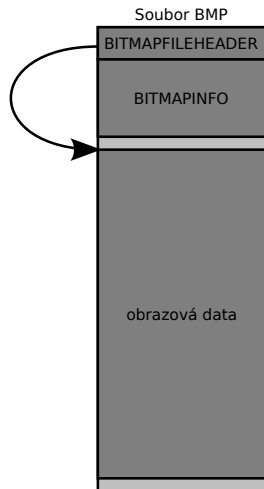


Dvourozměrná DWT



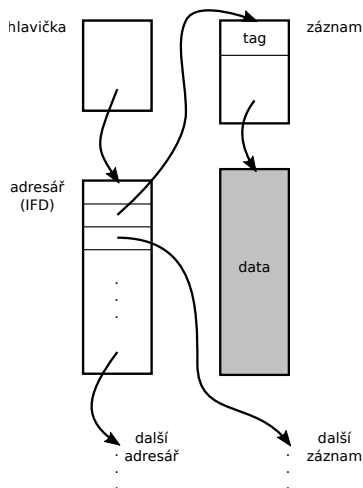
BMP

- BMP (DIB)
- nekomprimovaný, příp. RLE
- pojme: 1, 4, 8 indexy do palety;
16, 24, 32 RGB (pořadí BGR)
- řádky vzhůru nohama,
zarovnány na 32 bitů
- Windows API, MSDN
- struktury BITMAPFILEHEADER
(hlavička, offset dat),
BITMAPINFOHEADER (rozměry,
komprese)



TIFF

- TIFF (Tagged Image File Format), 1986, 1992, Adobe
- více stran, fragmentace dat, průhlednost, kolorometrie
- komprese: RLE, LZW, JPEG
- struktura: analogie FS
- hlavička, IFD, záznam (entry), tag, typ+počet, data
- typy: byte (8 bitů), ascii (znaky), short (16), long (32), ...

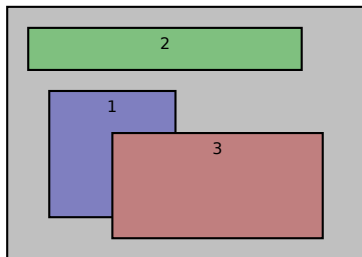


TIFF

- tagy: Compression (žádná, PackBits, LZW, JPEG), ImageLength, ImageWidth, BitsPerSample, ColorMap, SamplesPerPixel
- fragmentace: proužky, dlaždice
- pojme: černobílé (2 úrovně), šedotónové (16 nebo 256 úrovní), paletové (16 nebo 256), RGB (16M), CMYK (2^{32}) nebo $YCbCr$ (2^{24})
- další: Artist (tvůrce obrázku), Copyright, DateTime, ImageDescription, Make (výrobce zařízení), Model (model zařízení), Orientation, Software, ...
- PackBits: varianta RLE, po bajtech
 - ▶ načte n
 - ▶ 0 až 127: na výstup $n + 1$ bajtů beze změny
 - ▶ -127 až -1 : další bajt na výstup $(-n + 1)$ krát

GIF

- GIF (Graphics Interchange Format), CompuServe, 1987 (GIF87a), 1989 (GIF89a)
- LZW (patenty, PNG)
- pojme: rámce (paleta až 8 bitů), animace, True Color (16M)
- průhledné pixely (89a)
- logická obrazovka, rámce, barva pozadí



GIF

- globální a lokální barevné palety
- LZW: clear code, EOF
- komprese po řádcích
- progresivní přenost: pruhy 8 řádků, 4 průchody

řádek sekvenčně	průchod prokládání	řádek prokládaně
1	1	1
2	4	5
3	3	3
4	4	6
5	2	2
6	4	7
7	3	4
8	4	8

- hledejte: true color gif

PNG

- PNG (Portable Network Graphics), náhrada GIF
- Deflate
- rozšiřitelný, prokládání, alfa kanál

typ obrazu	kanály	bitové hloubky
paleta	indexy	1, 2, 4, 8
stupně šedi	Y	1, 2, 4, 8, 16
stupně šedi s průhledností	Y, A	8, 16
true color	R, G, B	8, 16
true color s průhledností	R, G, B, A	8, 16

- komprese: predikce (filtrace) + Deflate

- predikce: na řádky, po bajtech, 5 prediktorů

prediktor	predikovaná hodnota
žádný	0
levý	b
horní	a
průměr	$\lfloor (a + b)/2 \rfloor$
Paeth	(dříve)

PNG

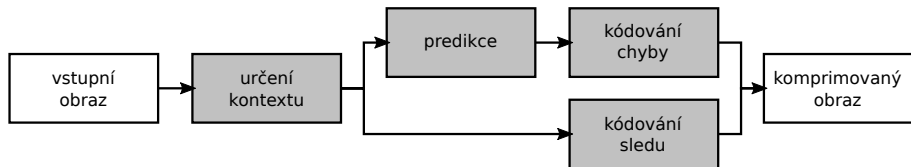
- prokládání: Adam7 (8 × 8 pixelů, 7 kroků, dvojnásobné rozlišení)

1	6	4	6	2	6	4	6
7	7	7	7	7	7	7	7
5	6	5	6	5	6	5	6
7	7	7	7	7	7	7	7
3	6	4	6	3	6	4	6
7	7	7	7	7	7	7	7
5	6	5	6	5	6	5	6
7	7	7	7	7	7	7	7

- struktura: bloky (typ, velikost) – kritické a pomocné
- blok: velikost, název, data, CRC
- název: čtyři písmena (kritický, registrovaný, –, nekopírovat)
- kritické: IHDR (hlavička), PLTE (paleta), IDAT (obrazová data), IEND (patička)

JPEG-LS

- náhrada za JPEG (bezeztrátový), není modifikace JPEG
- základem LOCO-I (LOW COMplexity LOSSless COMpression for Images)
- prediktor + kontext. EC (Riceův), mimoto varianta RLE
- komprese po řádcích
- obecná metoda, pojme např. RGB, paletové obrázky
- souborový formát založen na JIF (dále)



JPEG-LS

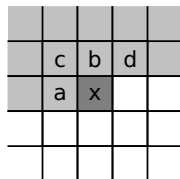
- gradient $D = (D_1, D_2, D_3)$ (hladkost, hrana)

$$D_1 = R_d - R_b$$

$$D_2 = R_b - R_c$$

$$D_3 = R_c - R_a$$

- vybere režim komprese (nulový gradient)
- gradient se kvantuje: $D_i \rightarrow Q_i \in \langle -4, 4 \rangle$
- $9^3 = 729$, sloučit, 365 kontextů

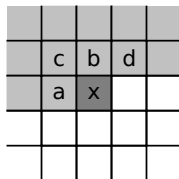


JPEG-LS

- prediktor MED
- hodnota na hraně, příp. proložení rovinou

$$P_x = \begin{cases} \min(R_a, R_b) & : R_c \geq \max(R_a, R_b) \\ \max(R_a, R_b) & : R_c \leq \min(R_a, R_b) \\ R_a + R_b - R_c & \end{cases}$$

- následně korekce predikce podle kontextu
- téměř bezztrátová metoda: kvantování chyby predikce



JPEG-LS

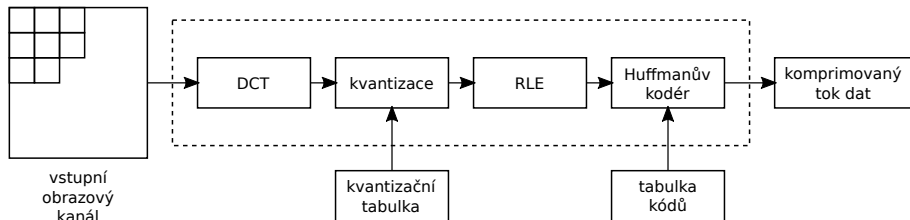
- kódování chyby predikce
- Golombův-Riceův kód s omezenou max. délkou
- parametr kódu závislý na kontextu
- mapování záporných hodnot

$$E_M = \begin{cases} 2 \cdot |E| & : E \geq 0 \\ 2 \cdot |E| - 1 & : E < 0 \end{cases}$$

JPEG

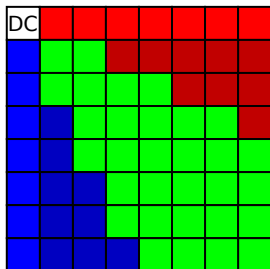
- výbor JPEG (Joint Photographic Experts Group), 1992
- standard ISO/IEC 10918-1, doporučení CCITT/ITU-T T.81
- nesprávně souborový formát (správně JFIF nebo Exif)
- ztrátová i bezztrátová komprese
- sekvenční a progresivní přenos
- definuje JIF
- základní (baseline) postup: povinný, 8 bitů, Huff. kód s 2 AC + 2 DC, sekvenční
- rozšířený postup: 8 + 12 bitů, 4 AC + 4 DC

JPEG

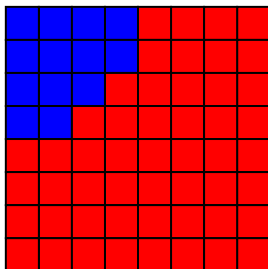


- vstup $YCbCr$
- složky lze podvzorkovat (4:2:2 a 4:2:0)
- bloky 8×8 , artefakty (na okrajích rozšířit)
- DCT
- koeficienty: 1 DC + 63 AC
- zatím plně invertibilní

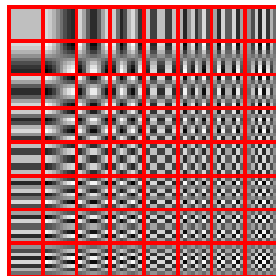
JPEG



(a) Směry hran



(b) Frekvence



(c) Bázové funkce

- kvantování, kvantizační tabulka (parametr JPEGu)

$$S_{v,u}^q = \text{round}(S_{v,u}/Q_{v,u})$$

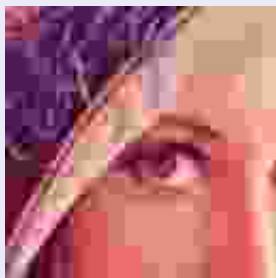
JPEG

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

17	18	24	47	99	99	99	99
18	21	26	66	99	99	99	99
24	26	56	99	99	99	99	99
47	66	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99

JPEG

blokový efekt



- linearizace zig-zag, nulové více ke konci, EOB
- DC zapsán rozdílově
- AC pomocí RLE předcházejících nul
- následně arit. nebo Huff. kódování (5–10 %)
- Huffman: tabulky pro DC a AC koeficienty

JPEG

- 15+ nul pomocí ZRL
- AC/DC kód = Huffmanův kód (tabulky) + další přidané bity
- Huffmanův kód nesmí být jen bity 1
- indexování tabulek kódů
 - ▶ DC: určí se kategorie
 - ▶ AC: kategorie + délka sledu

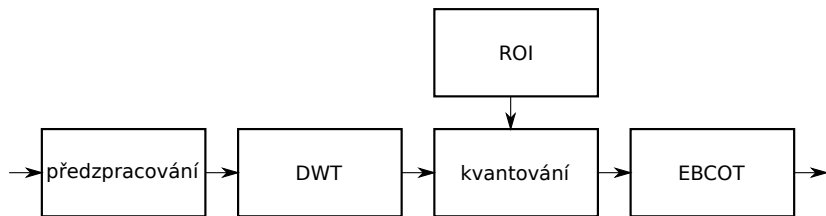
kategorie	rozsah hodnot
0	0
1	-1, 1
2	-3, -2, 2, 3
3	-7... -4, 4... 7
4	-15... -8, 8... 15
5	-31... -16, 16... 31
...	
10	-1023... -512, 512... 1023
11	-2047... -1024, 1024... 2047

JIF, JFIF, Exif, SPIFF

- datový tok, big endian
- rozdělen do segmentů, max. 65 535 B
- segment uvozen markerem 0xff + 0x01 až 0xfe
- markery: APP0 (hlavička JFIF), APP1 (Exif), SOF0 (začátek obrázku v základním režimu), SOS (začátek komprimovaných dat), RST_m (restartovací značky), DHT (definice Huffmanových tabulek), DQT (definice kvantizačních tabulek)
- JIF rozšířen na JFIF a Exif (nekompatibilní), JFIF+Exif
- náhledy, metadata (model fotoaparátu)
- Exif: TIFF (náhled JFIF)
- SPIFF se neujal

JPEG 2000

- nástupce JPEG
- mnohá vylepšení, lepší kvalita při stejném kompresním poměru, výpočetně náročnější
- ztrátová i bezztrátová komprese
- formálně ISO/IEC 15444-1, ITU-T T.800
- založen na DWT



JPEG 2000

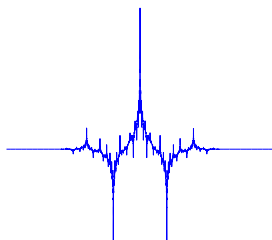
- transformace barevného modelu RCT, ICT

$$Y_r = \left\lfloor \frac{R + 2G + B}{4} \right\rfloor$$

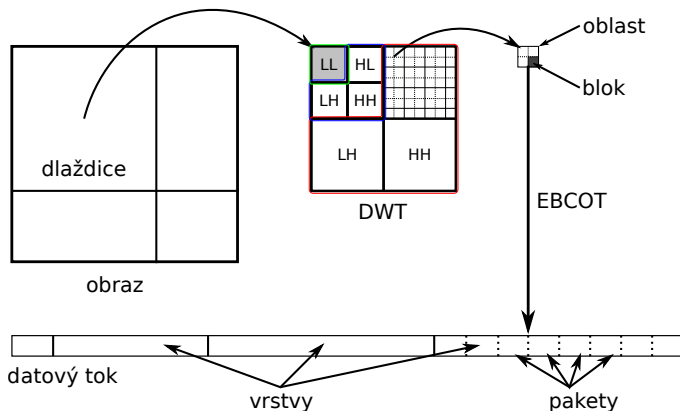
$$C_b = B - G$$

$$C_r = R - G$$

- rozsekání na dlaždice (blokový efekt)
- DWT (CDF 9/7, 5/3)

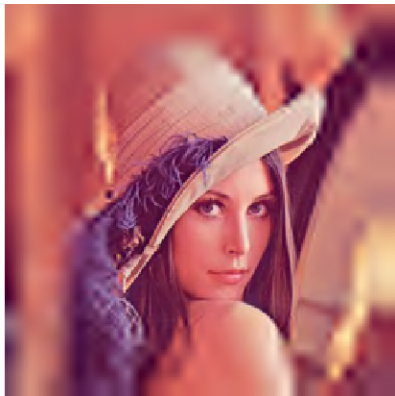
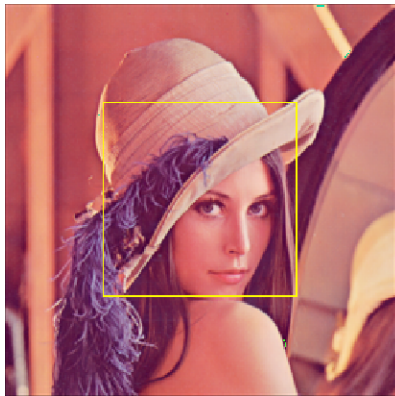


JPEG 2000



- úroveň, rozlišení, podpásma (LL, HL, LH, HH)
- kvantování, ROI (Maxshift)
- oblasti, bloky, EBCOT
- vrstvy (zvyšování kvality), pakety, datový tok

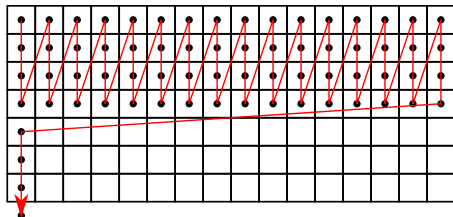
JPEG 2000



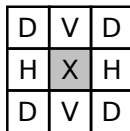
JPEG 2000

EBCOT

- profil 0: bloky 32×32 nebo 64×64
- bitové roviny od MSB po LSB
- bity bloku po proužcích výšky 4



- tři průchody: propagace významnosti, upřesnění magnitudy, úklid
- kontextový AC, kontext 8okolí

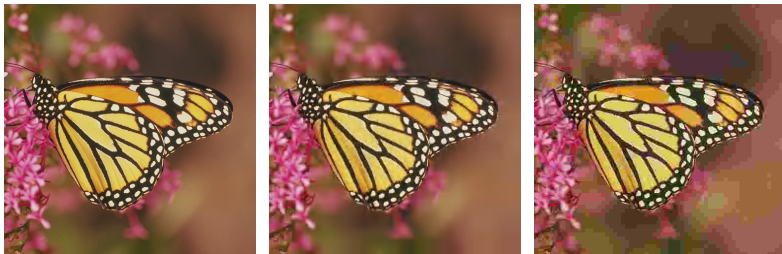


JPEG 2000

- pakety: barevná složka, dlaždice, rozlišení, oblast, vrstva
- 4 osy progresivního přenosu: kvalita, barevná složka, rozlišení, pozice
- pořadí může být měněno
- datový tok kompatibilní s JIF, jiné markery
- souborový formát JP2
- metadata v XML (např. XMP)

JPEG 2000

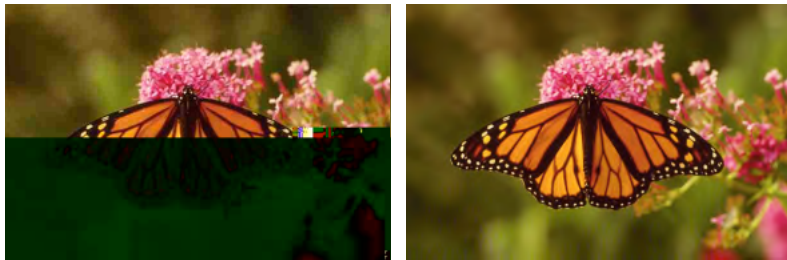
Srovnání s JPEG (108:1, ImageMagick)



Obrázek: originál, JPEG 2000, JPEG

JPEG 2000

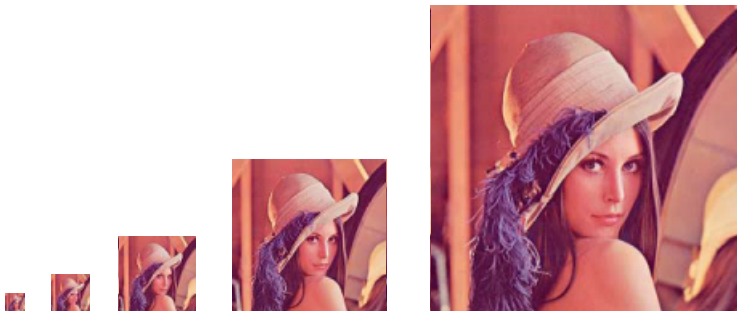
Odolnost vůči chybám



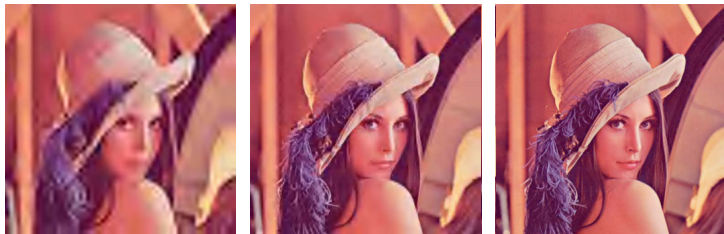
Obrázek: JPEG, JPEG 2000

JPEG 2000

Progresivní přenos (rozlišení)

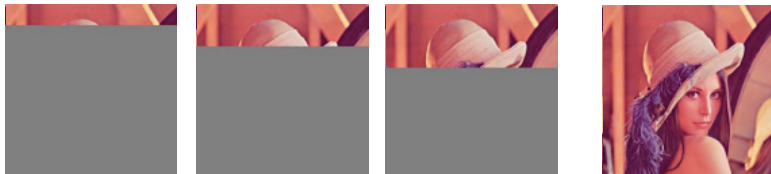


Progresivní přenos (kvalita)



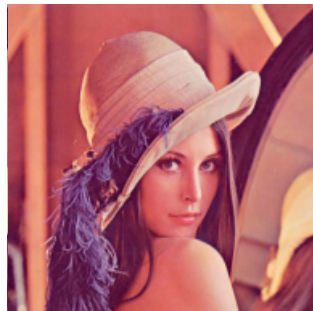
JPEG 2000

Progresivní přenos (pozice)



JPEG 2000

Progresivní přenos (komponenty)



Shrnutí

- barvy, prediktory
- BMP: nekomprimovaný, RLE pro palety
- TIFF: adresářová struktura, tagy, LZW, RLE, JPEG
- GIF: LZW, 256 barev, 16M barev
- PNG: Deflate, prediktory
- JPEG-LS: kontext, prediktor, Golombovy-Riceovy kódy
- JPEG: $YCbCr$, DCT, RLE, Huffmanův kód, JIF, segmenty, markery, JFIF, Exif
- JPEG 2000: DWT, EBCOT