KATEDRA
INFORMATIKY
UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Komprese

Počítačová grafika

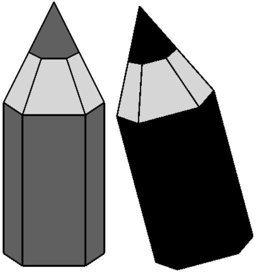
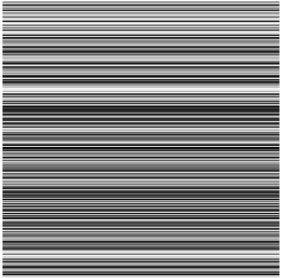
Mgr. Markéta Trnečková, Ph.D.

Typy obrazů

- *binární (B/W) – 1 bit/pixel*
- v odstínech šedi (gray scale) – 1 byte/pixel
- *indexový (pseudo color) – 1 byte/pixel*
- indexový (direct color) – 3 byte/pixel
- *plně barevný (color) – 3-4 složky"*
  - *low color (15 bit)*
  - *high color (16 bit)*
  - *true color (24 bit)*
  - *super true color (32 bit)*
  - *deep color (48 bit)*

Redundance

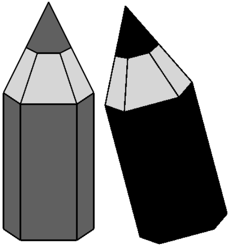
- *Redundance kódování – informaci kódujeme více bity, než je potřeba*
- Redundance prostorová – korelace mezi pixely
- *Nerelevantní informace – informace, kterou lidské oko nedokáže zpracovat*


Redundance

- **Redundantní data** – reprezentace obsahuje opakující se nebo nerelevantní informaci
- **Kód nesoucí informaci** – b, b'
- *Relativní redundance dat*
  $R = 1 - \frac{1}{C}$
- Kompresní poměr
  $C = \frac{b}{b'}$

Redundance kódování



- **Délka** – počet bitů každé informace
- 8-**bitový kód** – každá barva je kódována 8 bity
- Pro obrázek obsahující 4 barvy je 8-bitový kód zbytečný
- **Fixní** *m*-**bitový kód** – každý kus informace kódován *m* bity

Příklad

Jaký je kompresní poměr a relativní redundance kódování, pokud obrázek zakódujeme místo 8-bitovým kódem pouze 2-bitovým kódem?

Redundance kódování

- Fixní m-bitový kód není vždy optimální
- **Variabilní délka kódu** – Huffmanovo kódování
- $r_k \in [0, L-1]$ – intenzity v obraze
- velikost obrazu: $M \times N$
- n_k – počet výskytů intenzity r_k
- $P(r_k) = \frac{n_k}{M \cdot N}$ – pravděpodobnost výskytu intenzity
- $L(r_k)$ – počet bitů potřebných k reprezentaci hodnoty r_k
- **Průměrný počet bitů potřebných k reprezentaci každého pixelu** – $L_{avg} = \sum_{k=0}^{L-1} L(r_k)P(r_k)$
- **Celkový počet bitů potřebných k reprezentaci každého pixelu** – $M \cdot N \cdot L_{avg}$

Příklad

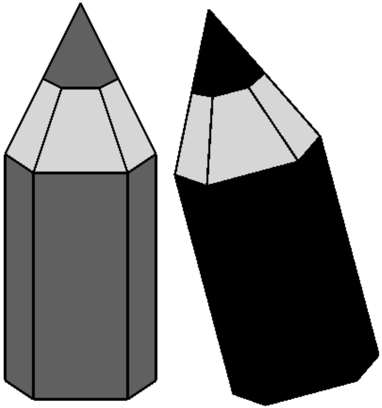
Jaký je průměrný počet bitů potřebných k reprezentaci každého pixelu, pokud použijeme fixní m-kód?

Redundance kódování – Příklad

- Velikost: 440×440
- Intenzity: 0, 96, 214 a 255

Fixní 8-kód

intenzita	kód
r_0	00000000
r_{96}	01100000
r_{214}	11010110
r_{255}	11111111



Příklad

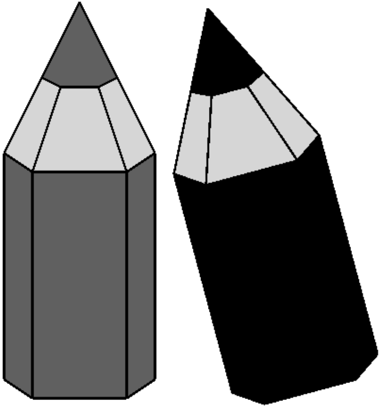
Jak velký fixní m-kód potřebujeme pro zakódování tohoto obrázku? Jak by vypadal?

Redundance kódování – Příklad

Kód s proměnlivou délkou

intenzita	$P(r_k)$	kód	délka kódu
r_0	0.26	01	2
r_{96}	0.2	000	3
r_{214}	0.11	001	3
r_{255}	0.43	1	1

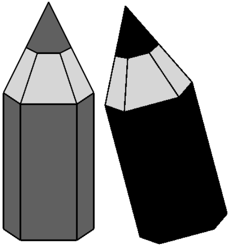
- Průměrná délka: $L_{avg} =?$
- Komprese a relativní redundance 8-kódu:
  $C =?$
  $R =?$



Redundance kódování – Příklad

Kód s proměnlivou délkou

intenzita	$P(r_k)$	kód	délka kódu
r_0	0.26	01	2
r_{96}	0.2	000	3
r_{214}	0.11	001	3
r_{255}	0.43	1	1



- Průměrná délka:
  $L_{avg} = 0.26 \cdot 2 + 0.2 \cdot 3 + 0.11 \cdot 3 + 0.43 \cdot 1 = 1.88$
- Komprese a relativní redundance 8-kódu:
  $C = \frac{440 \cdot 440 \cdot 8}{440 \cdot 440 \cdot 1.88} = \frac{8}{1.88} \approx 4.25$
  $R = 1 - \frac{1}{4.26} \approx 0.76$

Příklad

Jaký je průměrný počet bitů potřebných k reprezentaci každého pixelu, pokud použijeme fixní m-kód?

Huffmanův kód

- Každý znak (barva) je kódován jedním kódem
- Znaky vyskytující se častěji jsou kódovány kratším kódem
- Znaky se seřadí dle pravděpodobnosti výskytu a postupně se shlukují
- Poté se vytváří kód
- Viz příklad
- Kód je jednoznačně dekódovatelný – není možné ho dekódovat jinak
- Dekódování – čteme zleva doprava a hledáme

Příklad

Vytvořte Huffmanův kód pro řetězec 'barbaraabarboraubaru'.

Příklad – Huffmanův kód

Vytvořte Huffmanův kód pro řetězec 'barbaraabarboraubaru'.

- Postupné shlukování:

Symbol	Pravděpodobnost	Redukce 1	Redukce 2	Redukce 3
a	0.35	0.35	0.35	0.6
b	0.25	0.25	0.25	
r	0.25	0.25	0.4	0.4
u	0.10	0.15		
o	0.05			

Příklad – Huffmanův kód

Vytvořte Huffmanův kód pro řetězec 'barbaraabarboraubaru'.

- Vytvoření kódu:

Symbol	Pravdepod.	Kód	Redukce 1		Redukce 2		Redukce 3	
a	0.35	**11**	0.35		0.35	**11**	0.6	**1**
b	0.25	**10**	0.25		0.25	**10**		
r	0.25	**01**	0.25	**01**	0.4	**0**	0.4	**0**
u	0.10	**001**	0.15	**00**				
o	0.05	**000**						

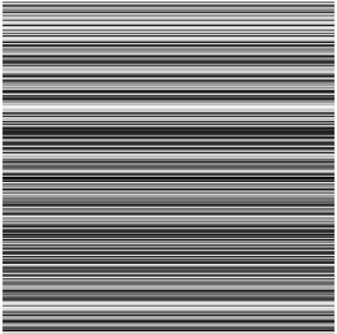
Příklad – Huffmanův kód

Vytvořte Huffmanův kód pro řetězec 'barbaraabarboraubaru'.

- **Kód**:
  - a – '11'
  - b – '10'
  - r – '01'
  - u – '001'
  - o – '000'
- **Výsledný řetězec**: '10111011011011111101101100000111001101101001'
- **Dekódování**:
  - 1. validní kód zleva – '10' = b
  - 2. – '11' = a
  - 3. – '01' = r

Redundance prostorová

- Velikost: 256×256
- Intenzity: $0, \ldots, 255$
- Kód: Každý řádek intenzita + počet opakování
- Každý pixel kódován 2 byty
- RLE komprese



Příklad

Spočítejte kompresi a relativní redundanci 8-bitového kódu vůči tomuto kódu.

RLE

- **run-length pair** – dvojice počet opakování a intenzita (nejčastěji index do palety)
- 2 bytová reprezentace
- speciální kódy 1. byte $= 0$:
  - 2. byte $0 =$ konec řádku
  - 2. byte $1 =$ konec obrázku

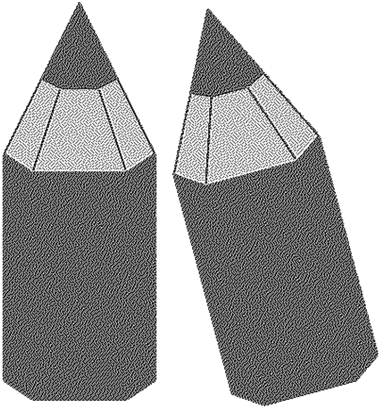
Příklad

Jak bude vypadat zakódovaný řetězec 'aaaabbcccaabb'?

Nerelevantní informace

- Velikost: 440×440
- Fixní 8-kód – celková délka: $440 \cdot 440 \cdot 8$
- Zaokrouhlení: 1 intenzita

Nerelevantní informace



JEPG komprese

- Ztrátová kompresní metoda
- **Kroky**:
  - Obrázek převedeme do barevného modelu YCbCr – jednotlivé složky pak zpracováváme zvlášť
  - Podvzorkujeme barevné složky (jasovou ne)
  - Rozdělíme na 8×8 bloky
  - Aplikujeme DCT
  - Provedeme kvantizaci (vydělíme kvantizační tabulkou – různé tabulky pro různé kvality výsledku) a výsledek zaokrouhlíme
  - Bloková data se pomocí zik-zak metody převedou na sekvenci
  - Sekvenci kódujeme pomocí bezztrátové kompresní metody, např. RLE

Příklad – JEPG komprese
Pomocí JPEG komprese zakódujte následující blok

139	144	149	153	155	155	155	155
144	151	153	156	159	156	156	156
150	155	160	163	158	156	156	156
159	161	162	160	160	159	159	159
159	160	161	162	162	155	155	155
161	161	161	161	160	157	157	157
162	162	161	163	162	157	157	157
162	162	161	161	163	158	158	158

Příklad – JEPG komprese

Diskrétní kosinová transformace

DCT (dopředná) $F(u,v) = \frac{1}{4}c(u)c(v)[\sum_{x=0}^{7}\sum_{y=0}^{7} f(x,y)\cos\frac{(2x+1)u\pi}{16}\cos\frac{(2y+1)v\pi}{16}]$

DCT (zpětná)

$f(u,v) = \frac{1}{4}[\sum_{u=0}^{7}\sum_{v=0}^{7} c(u)c(v)F(u,v)\cos\frac{(2x+1)u\pi}{16}\cos\frac{(2y+1)v\pi}{16}]$

$$c(u), c(v) = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ pro } u, v = 0$$
$$= 1 \text{ jinak}$$

1259.6	-1.0	-12.1	-5.2	2.1	-1.7	-2.7	1.3
-22.6	-17.5	-6.2	-3.2	-2.9	-0.1	0.4	-1.2
-10.9	-9.3	-1.6	1.5	0.2	-0.9	-0.6	-0.1
-7.1	-1.9	0.2	1.5	0.9	-0.1	-0.0	0.3
-0.6	-0.8	1.5	1.6	-0.1	-0.7	0.6	1.3
1.8	-0.2	1.6	-0.3	-0.8	1.5	1.0	-1.0
-1.3	-0.4	-0.3	-1.5	-0.5	1.7	1.1	-0.8
-2.6	1.6	-3.8	-1.8	1.9	1.2	-0.6	-0.4

Příklad – JEPG komprese

Kvantizační tabulka

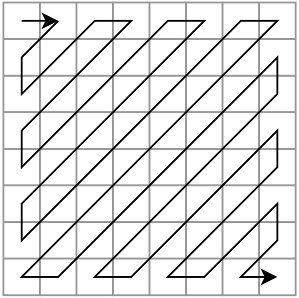
16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	61
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Příklad – JEPG komprese
Po kvantizaci

79	0	-1	0	0	0	0	0
-2	-1	0	0	0	0	0	0
-1	-1	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Příklad – JEPG komprese

Zig zag



79 0 -2 -1 -1 -1 0 0 -1 -1 0 0 0 . . . 0

Příklad – JEPG komprese

Expandované koeficienty před ICDT

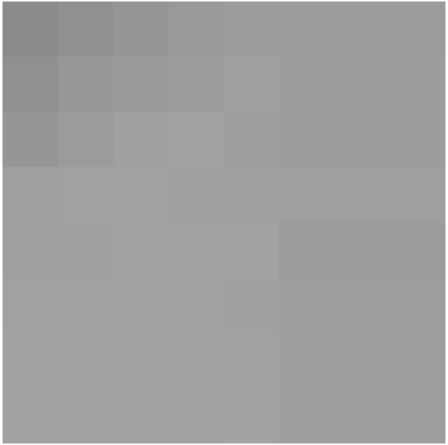
1264	0	-10	0	0	0	0	0
-24	-12	0	0	0	0	0	0
-14	-13	0	0	0	0	0	0
-14	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Příklad – JEPG komprese
Rekonstruovaná data

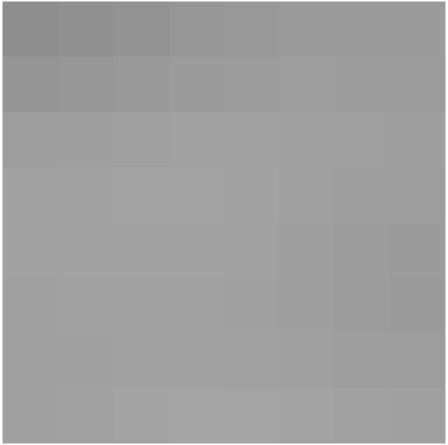
142	144	147	150	152	155	155	155
149	150	153	155	156	157	156	156
157	158	159	161	161	160	159	158
162	162	163	163	162	160	158	157
162	162	162	162	161	158	156	155
160	161	161	161	160	158	156	154
160	160	161	162	161	160	158	157
160	161	163	164	164	163	161	160

JEPG komprese

Rekonstruovaná data



Původní data



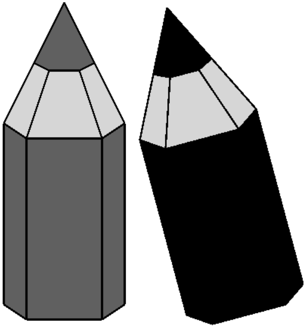
Nová data

Informace

- **Náhodná událost** – E
- **Pravděpodobnost náhodné události** – E
- **Informace** – $I(E) = \log \frac{1}{P(E)} = -\log P(E)$
- **Základ logaritmu** = jednotky (v obraze 2)
- **Entropie** = průměrná informace
  $H = -\sum_{j=1}^{J} P(a_j) \log P(a_j)$
- **Matlab**: `J = entropy(I)`

Redundance kódování – Příklad

intenzita	$P(r_k)$
r_0	0.26
r_{96}	0.2
r_{214}	0.11
r_{255}	0.43

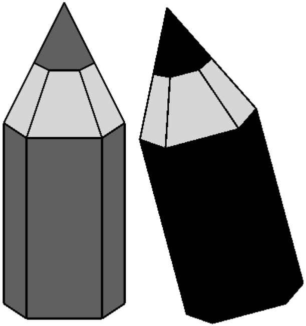


Příklad

Jaká je entropie tohoto obrazu?

Redundance kódování – Příklad

intenzita	$P(r_k)$
r_0	0.26
r_{96}	0.2
r_{214}	0.11
r_{255}	0.43



$$H = -[0.26 \cdot \log_2 0.26 + 0.2 \cdot \log_2 0.2 + 0.11 \cdot \log_2 0.11 + 0.43 \cdot \log_2 0.43] \approx 1.843 \text{ bit/pixel.}$$

Měření kvality komprese

- Objektivní hodnocení
- Subjektivní hodnocení – fidelity kriteria

Objektivní měření

- **Hodnota vstupního obrazu**: $f(x,y)$
- **Hodnota výstupního obrazu**: $\hat{f}(x,y)$
- **Chyba**: $e(x,y) = |\hat{f}(x,y) - f(x,y)|$
- **Celková chyba**: $\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} |\hat{f}(x,y) - f(x,y)|$
- **root-mean-square error**
  $e_{rms} = \left[\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}[\hat{f}(x,y) - f(x,y)]^2\right]^{\frac{1}{2}}$
- **mean-square signal-to-noise ratio**
  $SNR_{ms} = \frac{\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} \hat{f}(x,y)^2}{\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}[\hat{f}(x,y)-f(x,y)]^2}$

Subjektivní hodnocení