KOMPRESE STATICKÝCH OBRAZŮ STANDARD JPEG

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Kurz: **VIDEOTECHNIKA A MULTIMÉDIA**

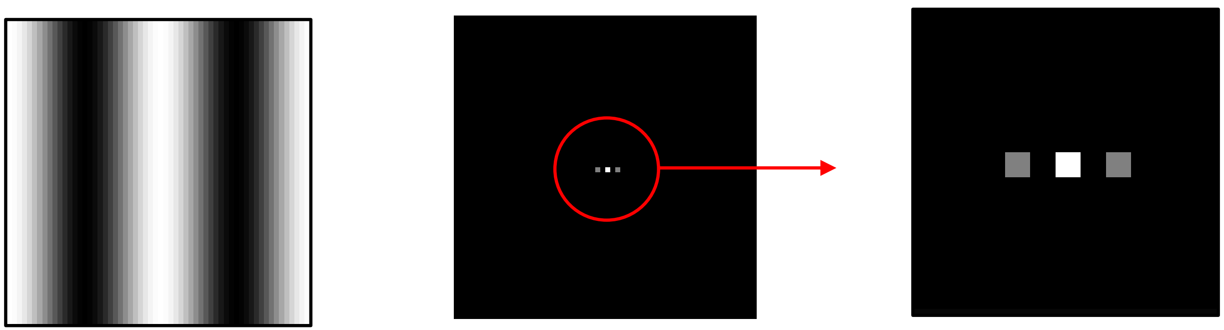
Lektor: Kamil Říha

Komprese obrazu: základní myšlenka

- **Bezztrátová komprese**: odstraňuje statistickou nadbytečnost (redundance), obraz je možné rekonstruovat úplně, bez jakýchkoli změn.
- **Ztrátová komprese**: odstraňuje nevratně takovou informaci, která nemá pro daného diváka v dané situaci význam – jsou irelevantní. Obraz není možné zrekonstruovat v původní podobě.
- Některé malé detaily v obraze není lidský zrakový orgán schopen vnímat, ty je možné selektivně odstranit a tím uspořit paměťovou/přenosovou kapacitu.
- Jemné jasové detaily odpovídají vysokým frekvencím obrazového signálu: je tedy na místě použít vhodnou transformační metodu pro z prostorové do frekvenční oblasti a v této oblasti vybrat pouze důležité frekvence.
- V praxi používána zejména diskrétní kosinová transformace (DCT) v kompresi JPEG, diskrétní vlnková transformace (DWT) v JPEG 2000.
- Díky menší citlivosti oka na barvy než na jas je možné v prvním kroku komprese podvzorkovat barevné kanály (první ztrátový krok).

DFT funkce dvou proměnných - 2D DFT

jednoduché příklady 2D amplitudových spekter

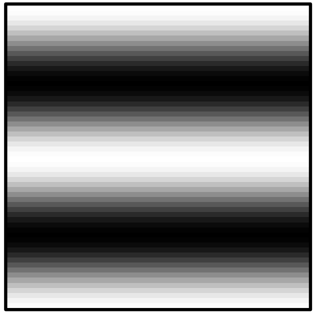


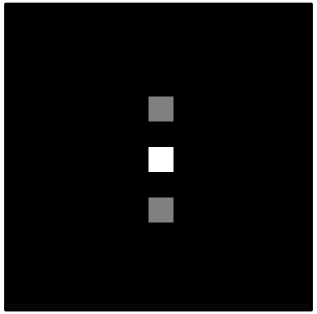
$$f(x,y) \approx \cos\left(4 \cdot \pi \cdot \frac{x}{M}\right)$$

$$F(u,v) = \mathcal{F}\left(f(x,y)\right)$$

DFT funkce dvou proměnných - 2D DFT

jednoduché příklady 2D amplitudových spekter



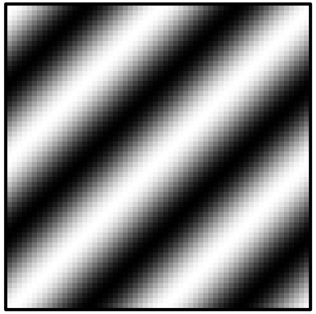


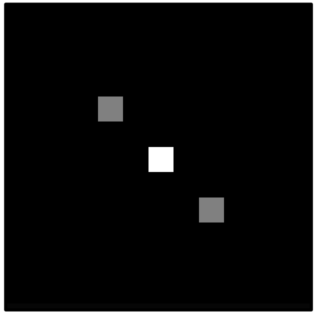
$$f(x,y) \approx \cos\left(4 \cdot \pi \cdot \frac{y}{N}\right)$$

$$F(u,v) = \mathcal{F}\left(f(x,y)\right)$$

DFT funkce dvou proměnných - 2D DFT

jednoduché příklady 2D amplitudových spekter



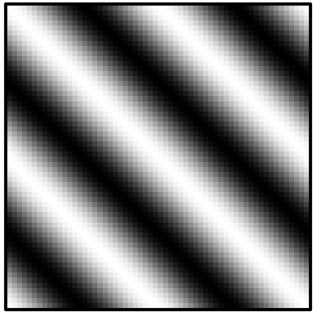


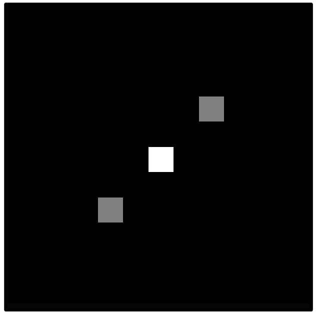
$$f(x,y) \approx \cos\left[4 \cdot \pi\left(\frac{x}{M} + \frac{y}{N}\right)\right]$$

$$F(u,v) = \mathcal{F}\left(f(x,y)\right)$$

DFT funkce dvou proměnných - 2D DFT

jednoduché příklady 2D amplitudových spekter



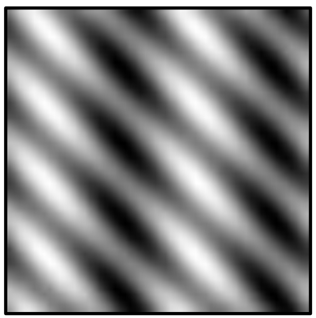


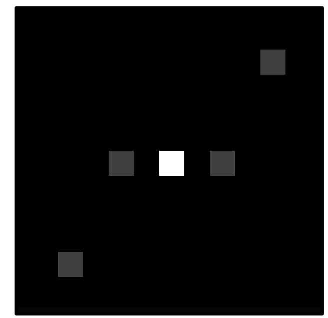
$$f(x,y) \approx \cos\left[4 \cdot \pi \left(\frac{x}{M} - \frac{y}{N}\right)\right]$$

$$F(u,v) = \mathcal{F}\left(f(x,y)\right)$$

DFT funkce dvou proměnných - 2D DFT

jednoduché příklady 2D amplitudových spekter



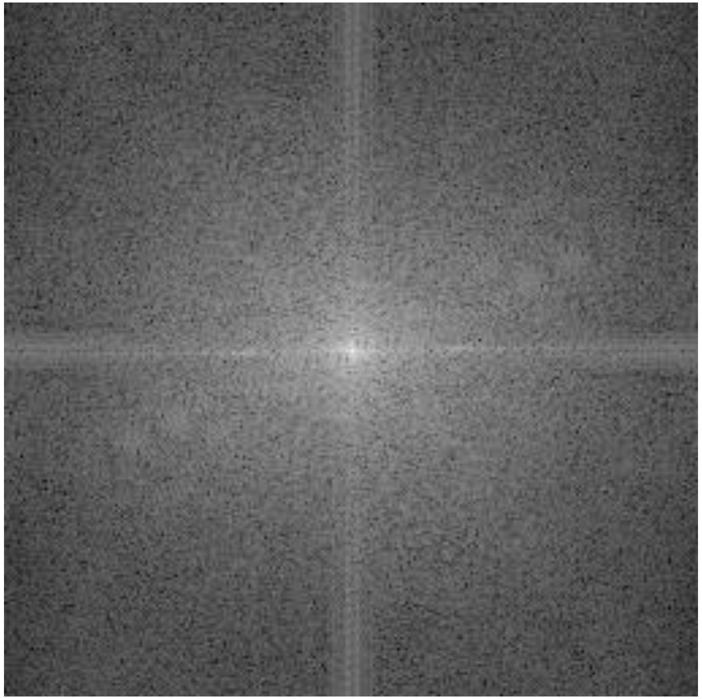


$$f(x,y) \approx \sin\left(4 \cdot \pi \cdot \frac{x}{M}\right) + \sin\left[8 \cdot \pi \left(\frac{x}{M} + \frac{y}{N}\right)\right]$$

$$F(u,v) = \mathcal{F}\left(f(x,y)\right)$$

DFT funkce dvou proměnných - 2D DFT

příklad 2D DFT spektra reálného obrazu



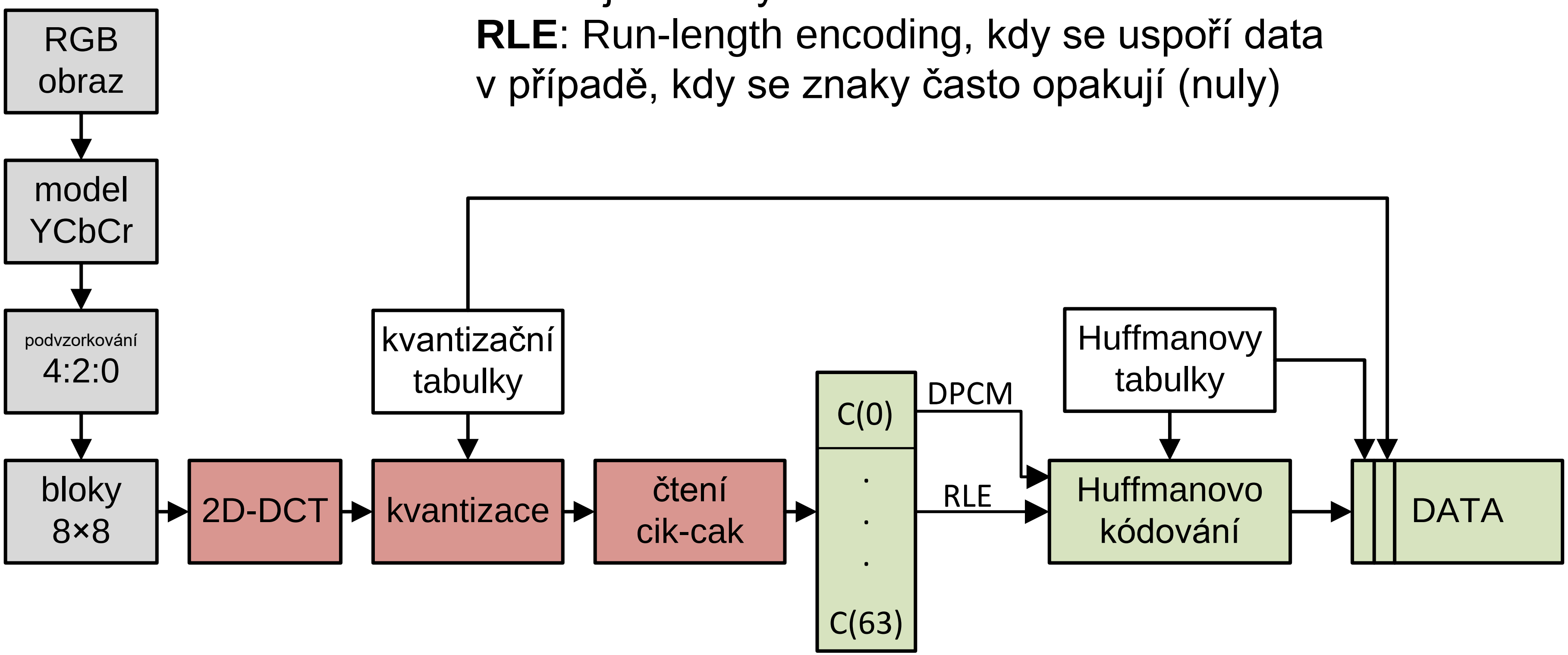
Standard JPEG (Joint Picture Expert Group)

- definován ve standardech ISO/IEC 10918 a ITU T.81
- první mezinárodní standard pro kompresi barevných, šedotónových a černo-bílých digitálních statických obrazů
- v praxi soubory s příponou většinou *.jpg nebo *.jpeg
- podporuje zejména ztrátovou kompresi pomocí diskrétní kosinové transformace (DCT)
- umožňuje i bezeztrátovou kompresi
- je navržen zejména pro kompresi fotografických nebo fotorealistickýh snímků
- nepodporuje označení průhledné barvy
- pokročilejší JPEG 2000 využívající DWT se v praxi příliš nepoužívá (patentované algoritmy)

- Celkem 4 módy kódování:
- **základní mód** – ztrátové kódování (kompresní poměr ~1:20),
- **rozšířený mód** – ztrátové kódování, progresivní kódování, DC všech bloků, 1. AC všech bloků, atd.,
- **bezeztrátové kódování,**
- **hierarchické kódování** – několik prostorových rozlišení.

JPEG kodér

DPCM: difrenční PCM, kdy se kóduje jen rozdíl DC složek jednotlivých bloků
RLE: Run-length encoding, kdy se uspoří data v případě, kdy se znaky často opakují (nuly)



Diskrétní Fourierova transformace

$$F(u) = \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x)\mathrm{e}^{-j2\pi u\frac{x}{M}}$$

$f(x)$… transformovaná diskrétní funkce

u…prostorová frekvence, $u = 0,1,2,\dots M-1,\quad x = 0, 1, 2, \dots M-1$

$j = \sqrt{-1}$

By User:Bunzil via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

Fourierova transformace v 1D

diskrétní Fourierova transformace (DFT)

Eulerův vztah $e^{-j\Theta} = \cos\Theta - j\sin\Theta$ pro $\frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x) e^{-j2\pi u \frac{x}{M}}$

$$F(u) = \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x)[\cos\left(2\pi u \frac{x}{M}\right) - j\,sin\left(2\pi u \frac{x}{M}\right)]$$

$F(u) = |F(u)| e^{j\phi(u)}$, kde

$|F(u)| = \sqrt{\mathrm{Re}^2(u) + \mathrm{Im}^2(u)}$ je amplitudové spektrum

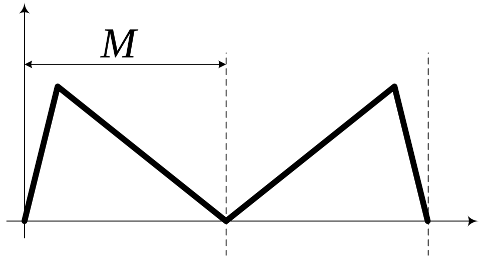
$\phi(u) = \tan^{-1}(\mathrm{Im}(u)/\mathrm{Re}(u))$ je fázové spektrum

Diskrétní kosinová transformace

- upravená verze DFT, kdy je transformovaná funkce (obrazový řádek, sloupec) upravena tak, aby byla sudá
- DFT sudé funkce obsahuje pouze kosinové složky
- sudá funkce: $f(x) = f(-x)$

$$F(u) = \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x)\left[\cos\left(2\pi u \frac{x}{M}\right) - j\sin\left(2\pi u \frac{x}{M}\right)\right] = \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x) e^{-j2\pi u\frac{x}{M}}$$

Odvození DCT z DFT



$$F(u) = \frac{1}{M} \sum_{x=0}^{M-1} f(x) e^{-j2\pi u \frac{x}{M}}$$

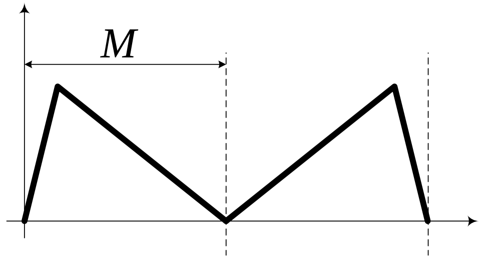
nechť je transformovaná funkce symetricky rozšířená (sudá):

$$f(x) = \begin{cases} f(x) & \text{pro } 0 \leq x \leq M-1 \\ f(2M-1-x) & \text{pro } M \leq x \leq 2M-1 \end{cases}$$

potom je její DFT:

$$F(u) = \frac{1}{2M} \sum_{x=0}^{2M-1} f(x) e^{-j2\pi u \frac{x}{2M}}$$

Odvození DCT z DFT



$$F(u) = \frac{1}{2M}\sum_{x=0}^{2M-1} f(x) e^{-j2\pi u\frac{x}{2M}}$$

$$F(u) = \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x) e^{-j2\pi u\frac{x}{2M}} + \frac{1}{M}\sum_{x=M}^{2M-1} f(2M-1-x) e^{-j2\pi u\frac{x}{2M}}$$

substituce : $m = 2M - 1 - x$

$$F(u) = \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x) e^{-j2\pi u\frac{x}{2M}} + \frac{1}{M}\sum_{m=M-1}^{0} f(m) e^{-j2\pi u\frac{2M-1-m}{2M}}$$

$$F(u) = \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x) e^{-j2\pi u\frac{x}{2M}} + \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x) e^{-j2\pi u\frac{2M-1-x}{2M}}$$

Odvození DCT z DFT

$$F(u) = \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x) e^{-j2\pi u \frac{x}{2M}} + \frac{1}{M}\sum_{m=M-1}^{0} f(m) e^{-j2\pi u \frac{2M-1-m}{2M}}$$

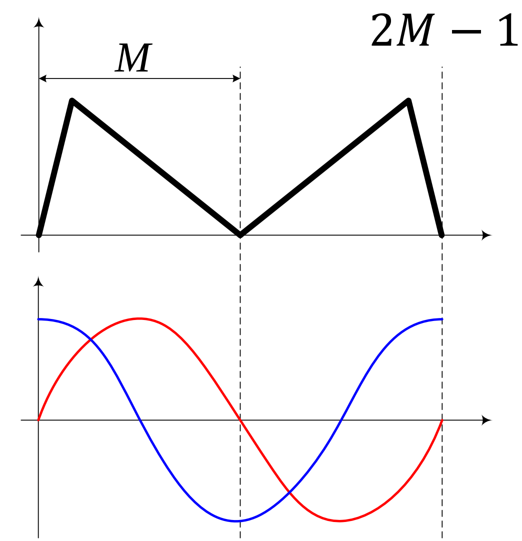
$$F(u) = \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x) e^{-j2\pi u \frac{x}{2M}} + \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x) e^{-j2\pi u \frac{2M-1-x}{2M}}$$

Kamil Říha

Odvození DCT z DFT

$$F(u)=\frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x)e^{-j2\pi u\frac{x}{2M}}+\frac{1}{M}\sum_{m=M-1}^{0} f(m)e^{-j2\pi u\frac{2M-1-m}{2M}}$$

$$F(u)=\frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x)e^{-j2\pi u\frac{x}{2M}}+\frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x)e^{-j2\pi u\frac{2M-1-x}{2M}}$$

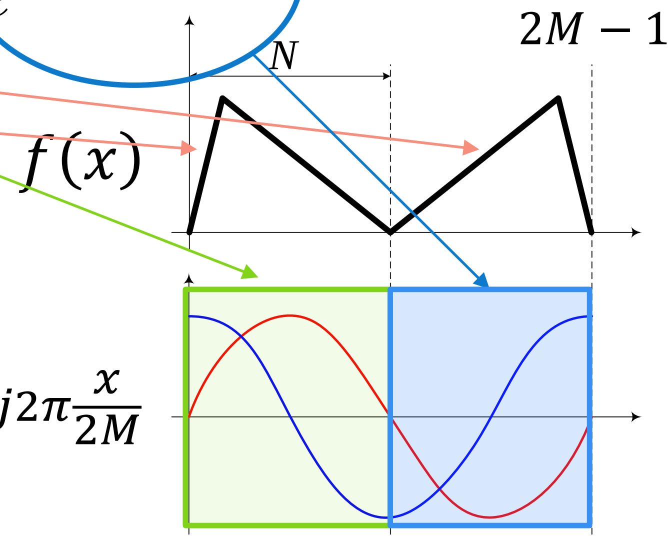


pro první harmonickou: $e^{-j2\pi\frac{x}{2M}}$

Odvození DCT z DFT

$$F(u)=\frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x)e^{-j2\pi u\frac{x}{2M}}+\frac{1}{M}\sum_{m=M-1}^{0} f(m)e^{-j2\pi u\frac{2M-1-m}{2M}}$$

$$F(u)=\frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x)e^{-j2\pi u\frac{x}{2M}}+\frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x)e^{-j2\pi u\frac{2M-1-x}{2M}}$$



pro první harmonickou: $e^{-j2\pi\frac{x}{2M}}$

Odvození DCT z DFT

$$F(u) = \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x) e^{-j2\pi u \frac{x}{2M}} + \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x) e^{-j2\pi u \frac{2M-1-x}{2M}}$$

$$F(u) = \frac{1}{2M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x)\left[e^{-j2\pi u \frac{x}{2M}} + e^{-j2\pi u \frac{2M-1-x}{2M}} \right]$$

$= 1$

$$e^{-j2\pi u \frac{2M-1-x}{2M}} = e^{-j2\pi u \frac{2M}{2M}} e^{j2\pi u \frac{1}{2M}} e^{j2\pi u \frac{x}{2M}} = e^{j2\pi u \frac{1}{2M}} e^{j2\pi u \frac{x}{2M}}$$

$$F(u) = \frac{1}{2M} e^{j\pi u \frac{1}{M}} \sum_{x=0}^{M-1} f(x)\left[e^{-j\pi u \frac{1}{2M}} e^{-j2\pi u \frac{x}{2M}} + e^{j\pi u \frac{1}{2M}} e^{j2\pi u \frac{x}{2M}} \right]$$

Odvození DCT z DFT

$$F(u) = \frac{1}{2M} e^{j\pi u \frac{1}{M}} \sum_{x=0}^{M-1} f(x) \left[e^{-j\pi u \frac{1}{2M}} e^{-j2\pi u \frac{x}{2M}} + e^{j\pi u \frac{1}{2M}} e^{j2\pi u \frac{x}{2M}} \right]$$

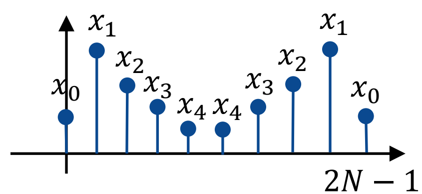
$$F(u) = \frac{1}{2M} e^{j\pi u \frac{1}{M}} \sum_{x=0}^{M-1} f(x) \left[e^{-j\pi u \frac{1+2x}{2M}} + e^{j\pi u \frac{1+2x}{2M}} \right]$$

$$e^{-j\theta} = \cos(\theta) - \mathrm{j} \cdot \sin(\theta)$$

$$e^{j\theta} = \cos(\theta) + \mathrm{j} \cdot \sin(\theta)$$

$$F(u) = \frac{1}{\cancel{2}M} e^{j\pi u \frac{1}{M}} \sum_{x=0}^{M-1} f(x) \cancel{2} \cos\left(\pi u \frac{1+2x}{2M} \right)$$

komplexní číslo



Odvození DCT z DFT

$$F(u) = \frac{1}{2M} e^{j\pi u \frac{1}{M}} \sum_{x=0}^{M-1} f(x) \left[e^{-j\pi u \frac{1}{2M}} e^{-j2\pi u \frac{x}{2M}} + e^{j\pi u \frac{1}{2M}} e^{j2\pi u \frac{x}{2M}} \right]$$

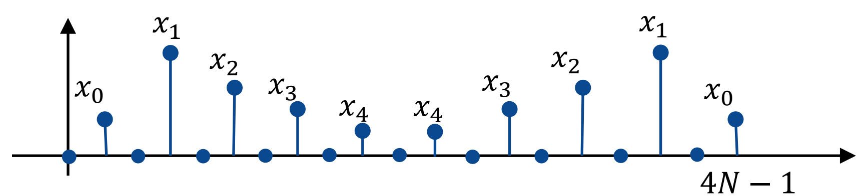
$$F(u) = \frac{1}{2M} e^{j\pi u \frac{1}{M}} \sum_{x=0}^{M-1} f(x) \left[e^{-j\pi u \frac{1+2x}{2M}} + e^{j\pi u \frac{1+2x}{2M}} \right]$$

$$e^{-j\theta} = \cos(\theta) - \mathrm{j} \cdot \sin(\theta)$$

$$e^{j\theta} = \cos(\theta) + \mathrm{j} \cdot \sin(\theta)$$

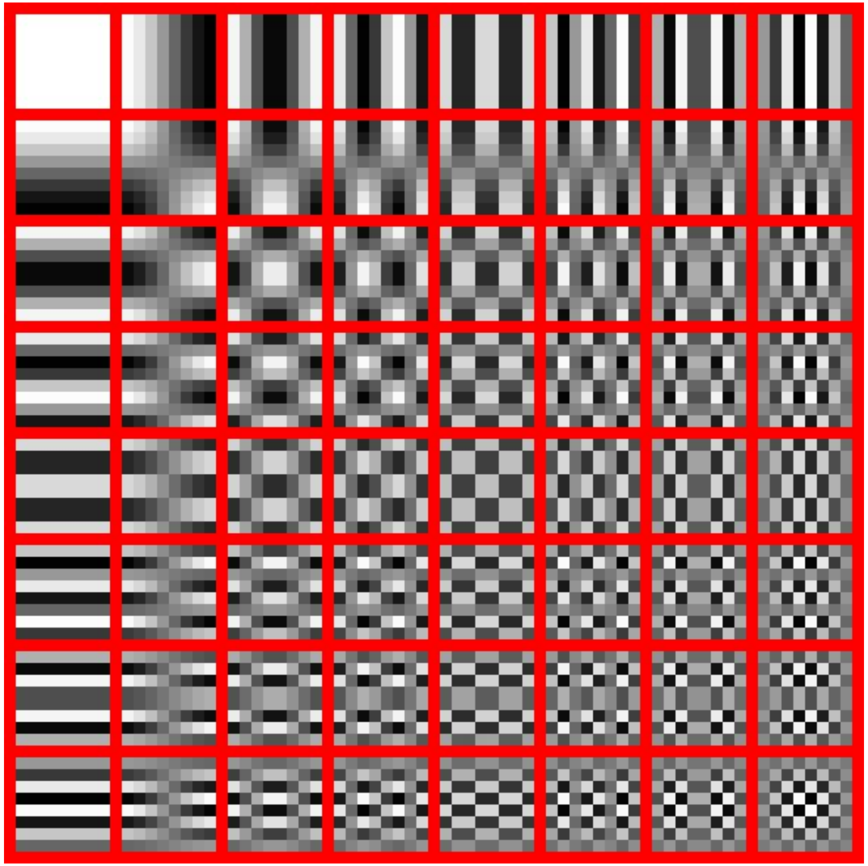
$$F(u) = \frac{1}{\cancel{2}M} e^{j\pi u \frac{1}{M}} \sum_{x=0}^{M-1} f(x) \cancel{2} \cos\left(\pi u \frac{1+2x}{2M} \right)$$

vykrátí se, když se zdrojová funkce navíc „zředí“ nulami u lichých prvků



DCT použití v JPEG

- v každém bloku jsou 2D DCT koeficienty vypočteny jako součet všech vstupních vzorků, váhovaných kosinovou funkcí
- výsledkem je tedy opět blok 8×8
- frekvenční koeficienty samy o sobě tedy nepředstavují žádnou kompresi, pouze jinou formu dat
- DC komponent (střední hodnota) je umístěn v levém horním rohu
- čím větší vzdálenost od DC složky, tím vyšší frekvence (detaily)
- samotná ztrátová komprese je realizována při **kvantování**



By FelixH commonswiki via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

JPEG – kvantování

- prvky matice frekvenčních koeficientů $\mathbf{G}$ označme $g_{i,j}$
- kvantizované koeficienty jsou vypočteny pomocí prvků $k_{i,j}$ kvantizační (empirické) tabulky (viz příklad)
- kvantizované DCT koeficienty jsou vypočteny:

$$b_{i,j} = \mathrm{round}\left(\frac{g_{i,j}}{k_{i,j}}\right)$$

- kontrolní otázka: jak bude vypadat tabulka pro 100% kvalitu, tedy pro bezztrátovou kompresi?

3	2	2	3	5	8	10	12
2	2	3	4	5	12	12	11
3	3	3	5	8	11	14	11
3	3	4	6	10	17	16	12
4	4	7	11	14	22	21	15
5	7	11	13	16	21	23	18
10	13	16	17	21	24	24	20
14	18	19	20	22	20	21	20

By FelixH commonswiki via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

JPEG – kvantování

- příklad matice DCT koeficientů před kvantováním:

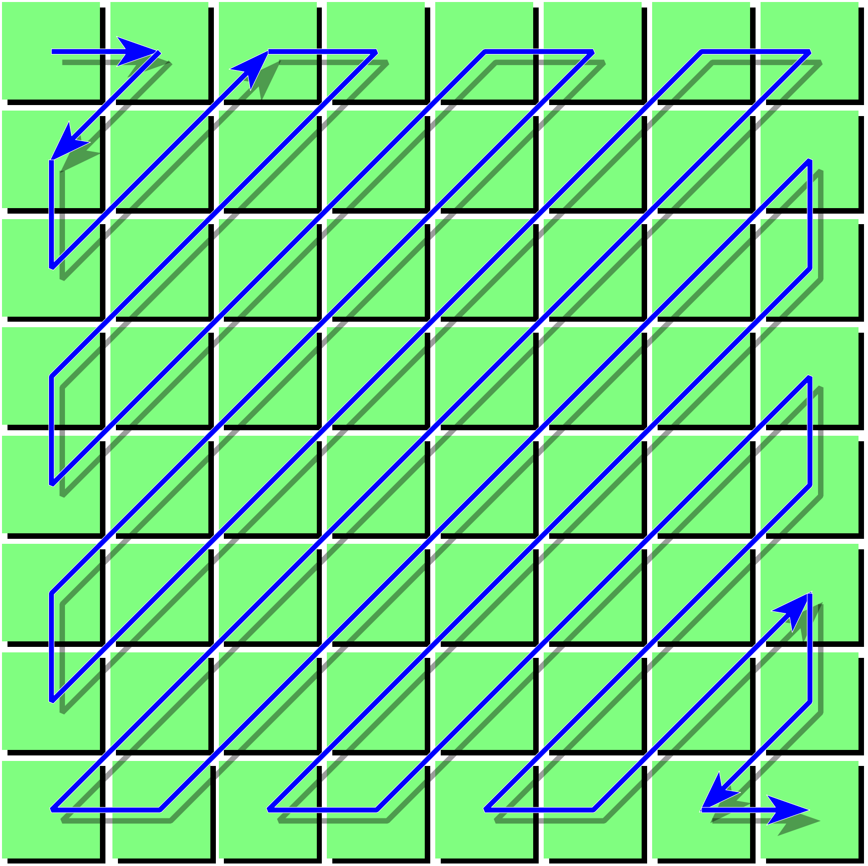
1019	-4	2	0	-3	5	-5	3
-5	5	-2	-2	5	-5	4	-3
2	-2	1	0	-2	3	-2	2
1	-1	1	1	-2	1	-1	1
-3	3	-2	1	3	-5	5	-4
7	-7	1	3	-6	6	-5	3
-6	7	-2	-4	6	-6	5	-2
-2	-1	5	-4	0	5	-8	6

- a výsledek kvantování:

340	-2	1	0	-1	1	-1	0
-3	3	-1	-1	1	0	0	0
1	-1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
-1	1	0	0	0	0	0	0
1	-1	0	0	0	0	0	0
-1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Čtení cik-cak

- kvantované hodnoty jsou vyčteny od DC složky v pořadí od nejnižších frekvencí po nejvyšší (detaily)



By Alex Khristov via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

Huffmanovo kódování

- každá hodnota může být kódována jinou délkou kódového slova
- hodnoty jsou tříděny podle empiricky stanovených pravděpodobností výskytu
- pravděpodobnější hodnoty jsou kódovány kratším slovem
- nepravděpodobnější hodnoty jsou kódovány delším slovem
- žádné (kratší) slovo nesmí být začátkem jiného (delšího) slova
- Postup:
  - kódované prvky jsou seřazeny podle pravděpodobnosti výskytu od nejvyšší
  - poslední dvě pravděpodobnosti jsou sečteny a výsledek je zařazen do ostatních hodnot podle velikosti výsledné (sečtené) pravděpodobnosti
  - tento postup je opakován tak dlouho, dokud není součet pravděpodobností posledních dvou prvků roven jedné (všechny prvky byly analyzovány)
  - posledním dvěma prvkům jsou přiřazeny kódové znaky 0 (prvku s nižší pravděpodobností) a 1 (prvku s vyšší pravděpodobností)
  - zpětně přiřazujeme hodnoty 0 nebo 1 všem prvkům v řadě

Huffmanovo kódování – příklad

x_4 (p=0,6)
x_3 (p=0,22)
x_5 (p=0,08)
x_1 (p=0,06)
x_2 (p=0,04)

Huffmanovo kódování – příklad

x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)
x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)
x_5 (p=0,08)		x_{12} (p=0,1)
x_1 (p=0,06)		x_5 (p=0,08)
x_2 (p=0,04)		

Huffmanovo kódování – příklad

x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)	
x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)	
x_5 (p=0,08)		x_{12} (p=0,1)		x_{125} (p=0,18)	
x_1 (p=0,06)		x_5 (p=0,08)			
x_2 (p=0,04)					

Huffmanovo kódování – příklad

x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)	
x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)		x_{1235} (p=0,4)	
x_5 (p=0,08)		x_{12} (p=0,1)		x_{125} (p=0,18)			
x_1 (p=0,06)		x_5 (p=0,08)					
x_2 (p=0,04)							

Huffmanovo kódování – příklad

x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)	1
x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)		x_{1235} (p=0,4)	0
x_5 (p=0,08)		x_{12} (p=0,1)		x_{125} (p=0,18)			
x_1 (p=0,06)		x_5 (p=0,08)					
x_2 (p=0,04)							

Huffmanovo kódování – příklad

x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)	1
x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)	1	x_{1235} (p=0,4)	0
x_5 (p=0,08)		x_{12} (p=0,1)		x_{125} (p=0,18)	0		
x_1 (p=0,06)		x_5 (p=0,08)					
x_2 (p=0,04)							

Huffmanovo kódování – příklad

x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)	1
x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)	1	x_{1235} (p=0,4)	0
x_5 (p=0,08)		x_{12} (p=0,1)	1	x_{125} (p=0,18)	0		
x_1 (p=0,06)		x_5 (p=0,08)	0				
x_2 (p=0,04)							

Huffmanovo kódování – příklad

x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)	1
x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)	1	x_{1235} (p=0,4)	0
x_5 (p=0,08)		x_{12} (p=0,1)	1	x_{125} (p=0,18)	0		
x_1 (p=0,06)	1	x_5 (p=0,08)	0				
x_2 (p=0,04)	0						

Huffmanovo kódování – příklad

x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)	**1**
x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)	**1**	x_{1235} (p=0,4)	**0**
x_5 (p=0,08)		x_{12} (p=0,1)	**1**	x_{125} (p=0,18)	**0**		
x_1 (p=0,06)	**1**	x_5 (p=0,08)	**0**				
x_2 (p=0,04)	**0**						

$$x_1 \rightarrow 0$$

Huffmanovo kódování – příklad

x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)	**1**
x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)	**1**	x_{1235} (p=0,4)	**0**
x_5 (p=0,08)		x_{12} (p=0,1)	**1**	x_{125} (p=0,18)	**0**		
x_1 (p=0,06)	**1**	x_5 (p=0,08)	**0**				
x_2 (p=0,04)	**0**						

$$x_1 \rightarrow 00$$

Kamil Říha

Huffmanovo kódování – příklad

x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)	**1**
x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)	**1**	x_{1235} (p=0,4)	**0**
x_5 (p=0,08)		x_{12} (p=0,1)	**1**	x_{125} (p=0,18)	**0**		
x_1 (p=0,06)	**1**	x_5 (p=0,08)	**0**				
x_2 (p=0,04)	**0**						

$$x_1 \rightarrow 001$$

Huffmanovo kódování – příklad

x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)	**1**
x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)	**1**	x_{1235} (p=0,4)	**0**
x_5 (p=0,08)		x_{12} (p=0,1)	**1**	x_{125} (p=0,18)	**0**		
x_1 (p=0,06)	**1**	x_5 (p=0,08)	**0**				
x_2 (p=0,04)	**0**						

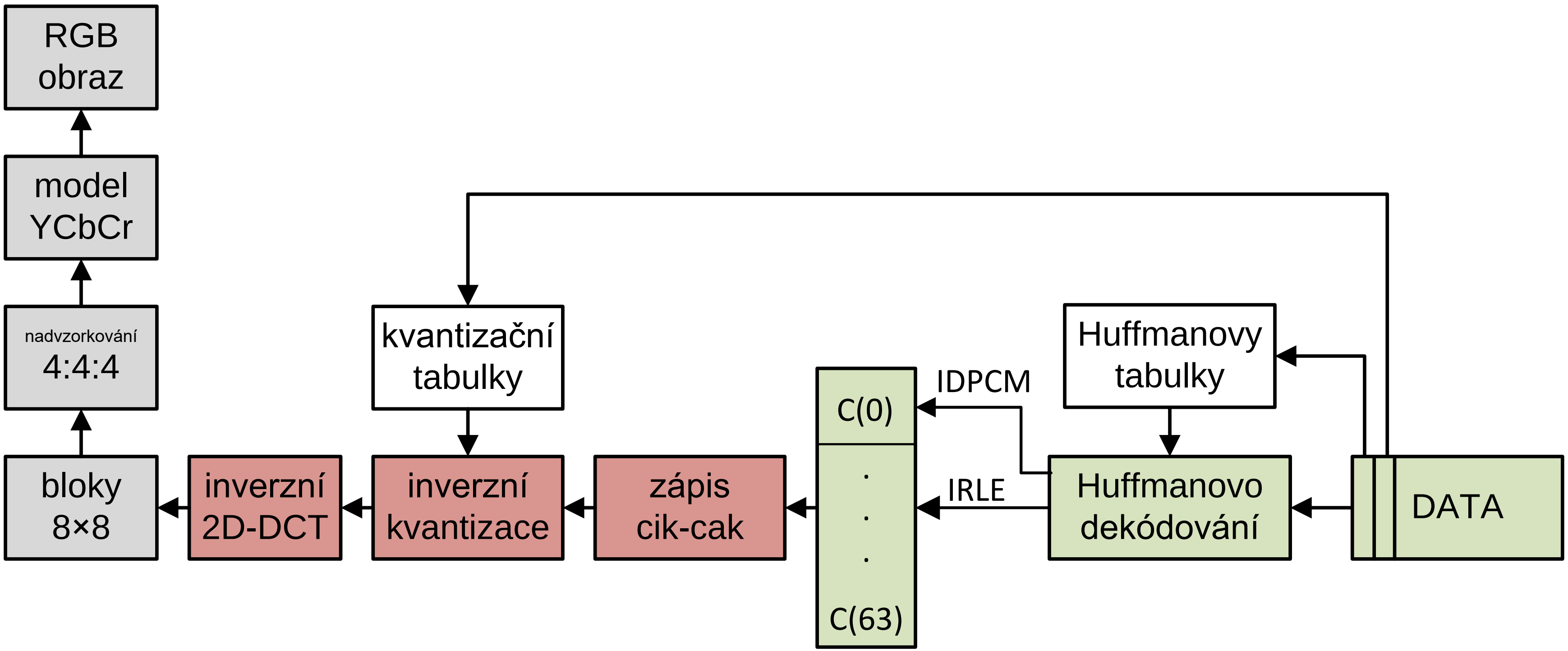
$$x_1 \rightarrow 0011$$

Huffmanovo kódování – příklad

x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)		x_4 (p=0,6)	**1**
x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)		x_3 (p=0,22)	**1**	x_{1235} (p=0,4)	**0**
x_5 (p=0,08)		x_{12} (p=0,1)	**1**	x_{125} (p=0,18)	**0**		
x_1 (p=0,06)	**1**	x_5 (p=0,08)	**0**				
x_2 (p=0,04)	**0**						

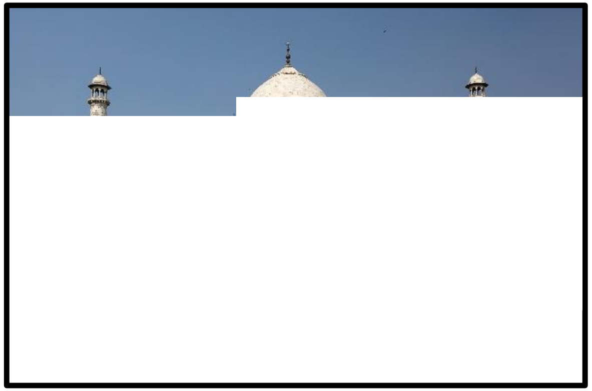
$$x_1 \rightarrow 0011$$
$$x_2 \rightarrow 0010$$
$$x_3 \rightarrow 01$$
$$x_4 \rightarrow 1$$
$$x_5 \rightarrow 000$$

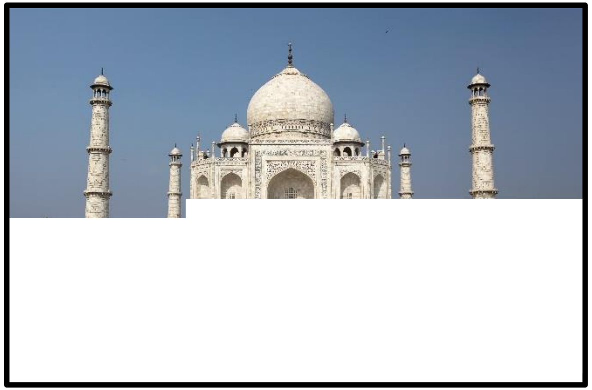
Dekodér JPEG



Módy kódování JPEG

Základní (sekvenční) mód: všechny koeficienty jednoho bloku jsou kódovány postupně (sekvenčně), taktéž jednotlivé bloky. Nevýhodou je, že data jsou uložena v paměti postupně a v plném rozlišení, takže je možné načítat pouze postupně.





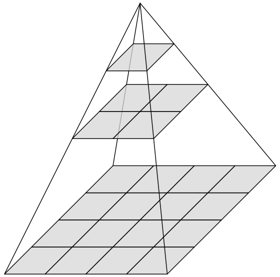
Módy kódování JPEG

Progresivní (rozšířený) mód: kvantované koeficienty jsou uloženy do mezipaměti a přeneseny později. Nejdříve jsou přeneseny DC složky všech bloků, dále existují dvě varianty:

- spektrální selekce: postupně jsou přenášeny všechny AC složky všech bloků od nejnižších frekvencí po nejvyšší, (případně určité rozsahy nízkých frekvencí)
- postupná aproximace: postupně jsou přenášeny jednotlivé bity (případně jejich rozsahy) všech AC složek v pořadí od MSB

Módy kódování JPEG

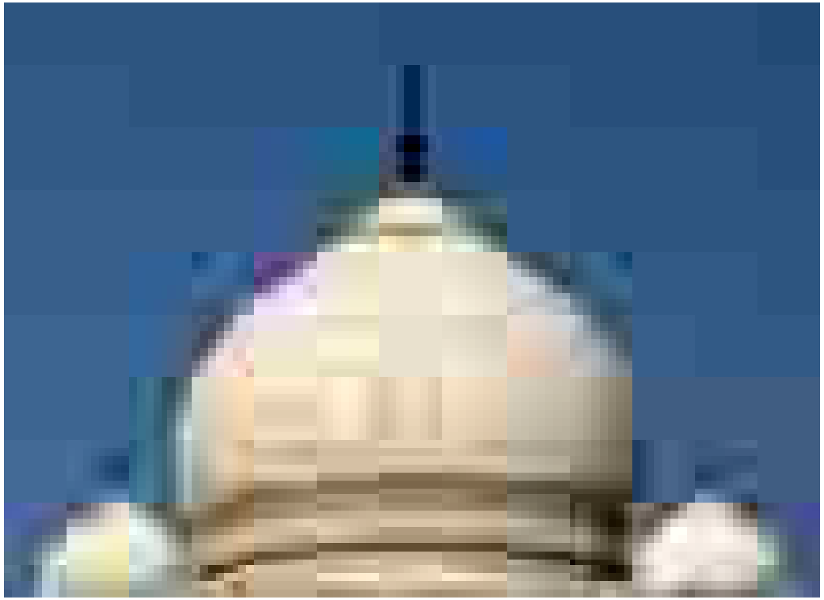
Hierarchický mód: podobný progresivnímu, postupného zvyšování kvality je však dosaženo pomocí různých úrovní podvzorkování, kdy je nejdříve přenesena verze s menším rozlišením a postupně jsou přenášeny *rozdílové informace* úrovní s vyšším rozlišením.



Typické JPEG artefakty

detail téměř bez komprese:

detail s vysokou kompresí (blokové artefakty):



Typické JPEG artefakty

detail bez komprese:

detail s vysokou kompresí:

Kritéria hodnocení kvality komprimovaných obrazů

- **subjektivní**: nákladné testování subjektivního dojmu souboru diváků
- **objektivní**: vyjádření rozdílnosti komprimovaného snímku od originálu
  - označme x_i jasové hodnoty pixelů (barevných elementů) originálu
  - označme x_i' jasové hodnoty pixelů (barevných elementů) komprimovaného obrazu
  - střední kvadratická chyba, MSE (Mean Square Error)

$$MSE = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}(x_i - x_i')^2$$

  - poměr signálu k šumu, SNR (Signal to Noise Ratio) $[dB]$

$$SNR = 10\log_{10}\frac{P^2}{MSE^2}$$

kde P je interval hodnot vstupního jasu $P = \max\{x_1 \dots x_M\} - \min\{x_1 \dots x_M\}$

  - špičkový poměr signál/šum, PSNR (Peak Signal to nise Ratio)

$$PSNR = 10\log_{10}\frac{N^2}{MSE^2}$$

kde N je maximální hodnota vstupních dat, tj. typicky 255 pro 8 bitů

Děkuji za pozornost