



# Číslicové spracovanie obrazov

## Prednáška č. 4

- **Reprezentácia obrazu vo frekvenčnom spektre - DCT obrazu**
- Skalárne kvantovanie obrazu
- Vektorové kvantovanie obrazu

# Reprezentácia obrazu vo frekvenčnom spektre - DCT

- Výhodou DCT je, že spektrálne koeficienty majú iba reálnu zložku
- Na rozdiel od DFT sa DCT obrazu vykonáva po blokoch
- Transformačné jadro môže byť pomerne malé. Najčastejšie sa stretávame s blokmi rozmeru  $8 \times 8$  op

$$F(x, y) = A(x)A(y) \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} f_{i,k} \cos\left(\frac{\pi x(2i+1)}{2N}\right) \cos\left(\frac{\pi y(2k+1)}{2N}\right)$$
$$A(j) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & \text{ak } j = 0 \\ 1 & \text{inde} \end{cases}$$

$$U = \begin{bmatrix} 0.3536 & 0.3536 & 0.3536 & 0.3536 & 0.3536 & 0.3536 & 0.3536 & 0.3536 \\ 0.4904 & 0.4157 & 0.2778 & 0.0975 & -0.0975 & -0.2778 & -0.4157 & -0.4904 \\ 0.4619 & 0.1913 & -0.1913 & -0.4619 & -0.4619 & -0.1913 & 0.1913 & 0.4619 \\ 0.4157 & -0.0975 & -0.4904 & -0.2778 & 0.2778 & 0.4904 & 0.0975 & -0.4157 \\ 0.3536 & -0.3536 & -0.3536 & 0.3536 & 0.3536 & -0.3536 & -0.3536 & 0.3536 \\ 0.2778 & -0.4904 & 0.0975 & 0.4157 & -0.4157 & -0.0975 & 0.4904 & -0.2778 \\ 0.1913 & -0.4619 & 0.4619 & -0.1913 & -0.1913 & 0.4619 & -0.4619 & 0.1913 \\ 0.0975 & -0.2778 & 0.4157 & -0.4904 & 0.4904 & -0.4157 & 0.2778 & -0.0975 \end{bmatrix}$$

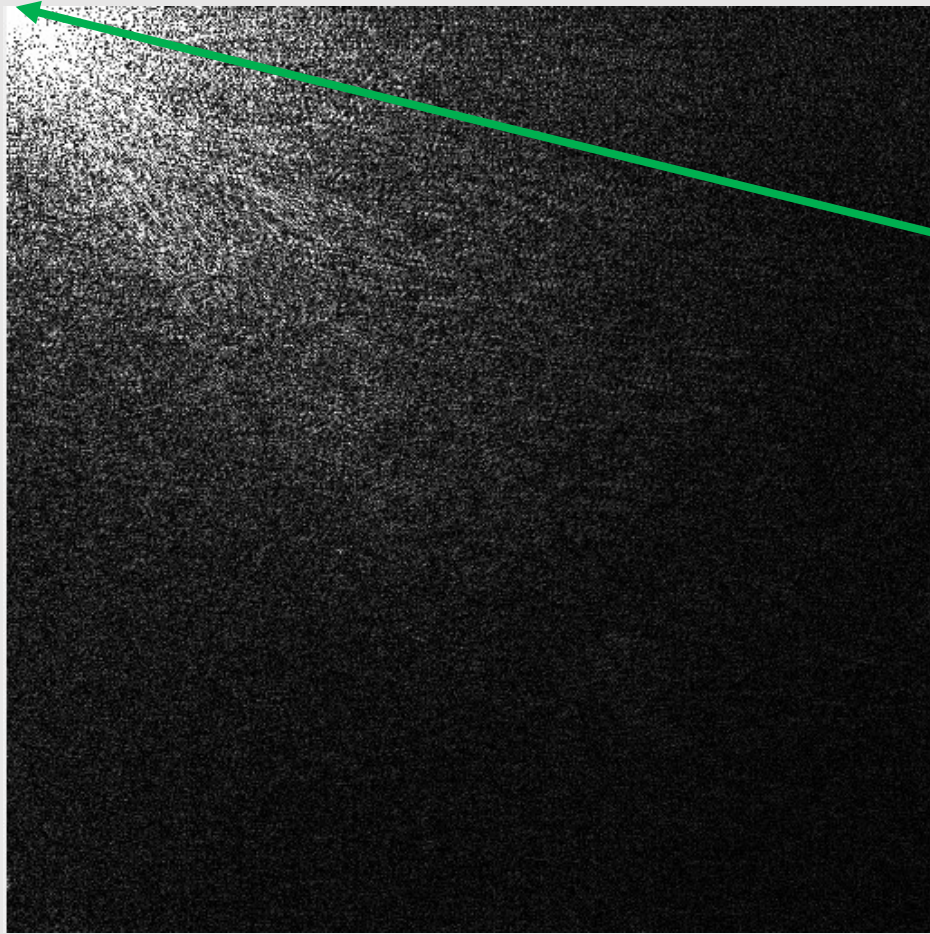
Častejšie stretávame s maticovým zápisom

$$F = \frac{1}{U_1 U_2} U \cdot f \cdot U^T$$

$U$  – transformačné jadro

$U_1 U_2$  – konštanty pre zachovanie ortonormality

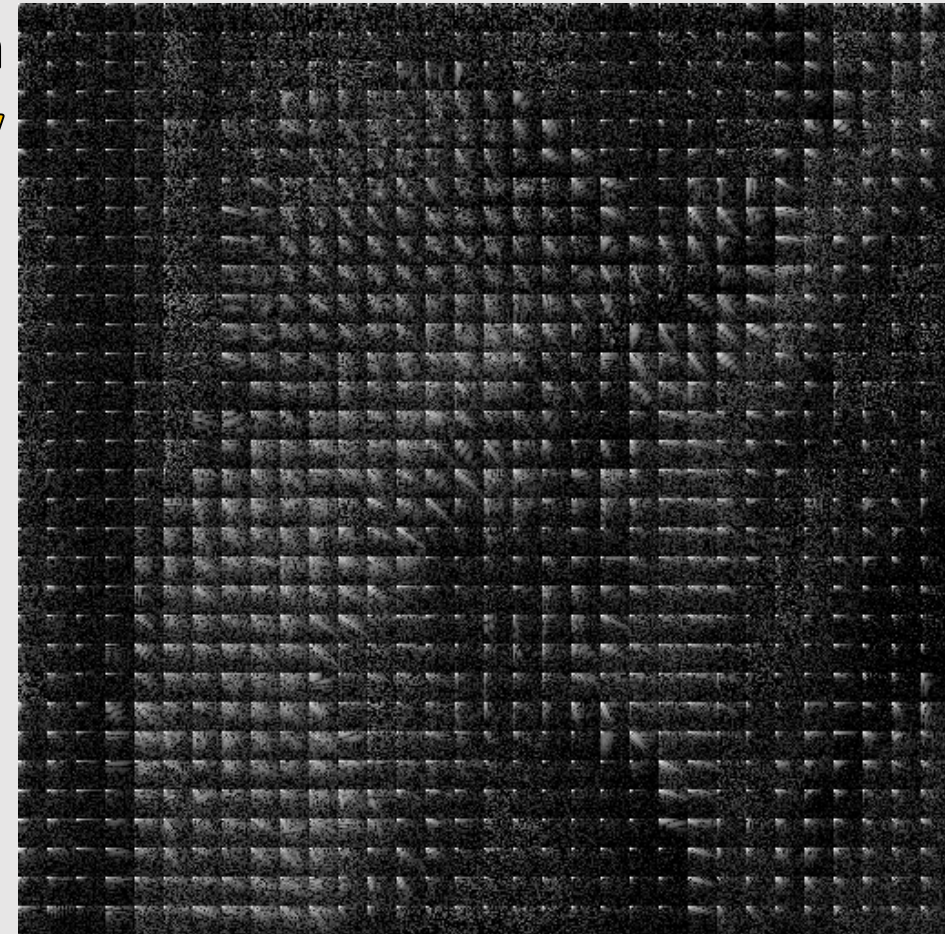
# Reprezentácia obrazu vo frekvenčnom spektre - DCT



Energia je stláčaná na spektrálne koeficienty s nízkou frekvenciou



DCT celého obrazu – 1 blok s rozmerom totožným s rozmerom obrazu (256x256)

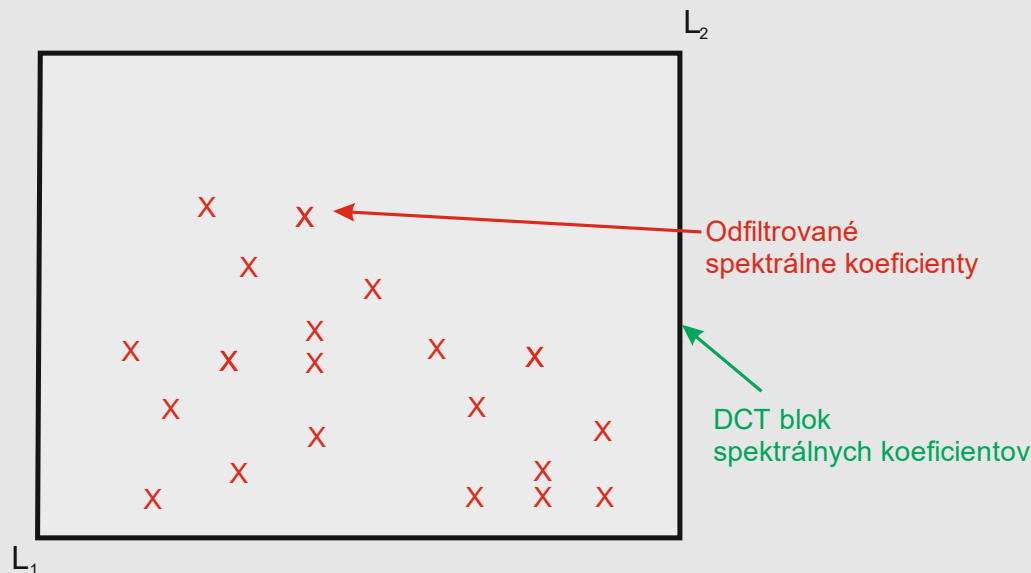


DCT celého obrazu – 1024 blokov s rozmerom 8x8

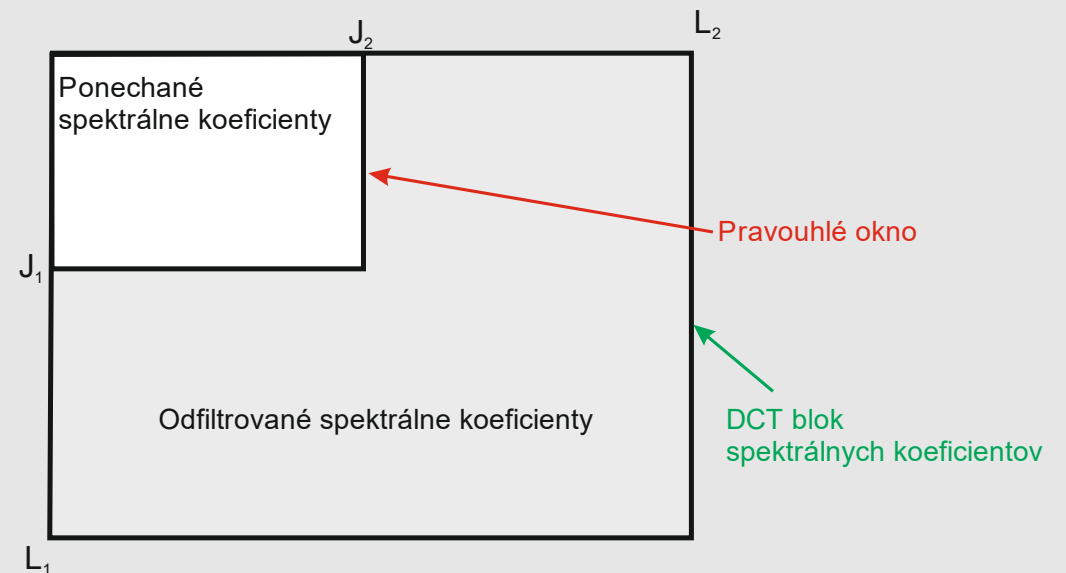
# Zonálna a prahová filtrácia DCT koeficientov

Pre účely potlačenia irelevancie a zvýšenie kompresie sa častokrát na obrázky v transformovanej oblasti aplikuje selekcia spektrálnych koeficientov. To znamená, že niektoré spektrálne koeficienty sa pred ďalším spracovaním potlačia (znulujú). Poznáme **zonálnu** a **prahovú** filtráciu.

- Zonálna filtrácia ponecháva iba koeficienty v zvolenom pravouhlom okne.
- Prahová filtrácia ponecháva iba koeficienty, ktorých hodnota (zvyčajne absolútna) prevyšuje stanovený prah.



**Prahová filtrácia 2D bloku DCT koeficientov**



**Zonálna filtrácia 2D bloku DCT koeficientov**

# Zonálna a prahová filtrácia DCT koeficientov



**Prahová filtrácia 2D bloku DCT koeficientov**



**Zonálna filtrácia 2D bloku DCT koeficientov**

# Zonálna a prahová filtrácia DCT koeficientov

## Prahová filtrácia

- veľkosť bloku = 8 x 8 op
- zvolený prah = 25.000
- SNR = 25.416 dB
- stredná hodnota počtu 0 na blok = 60.588

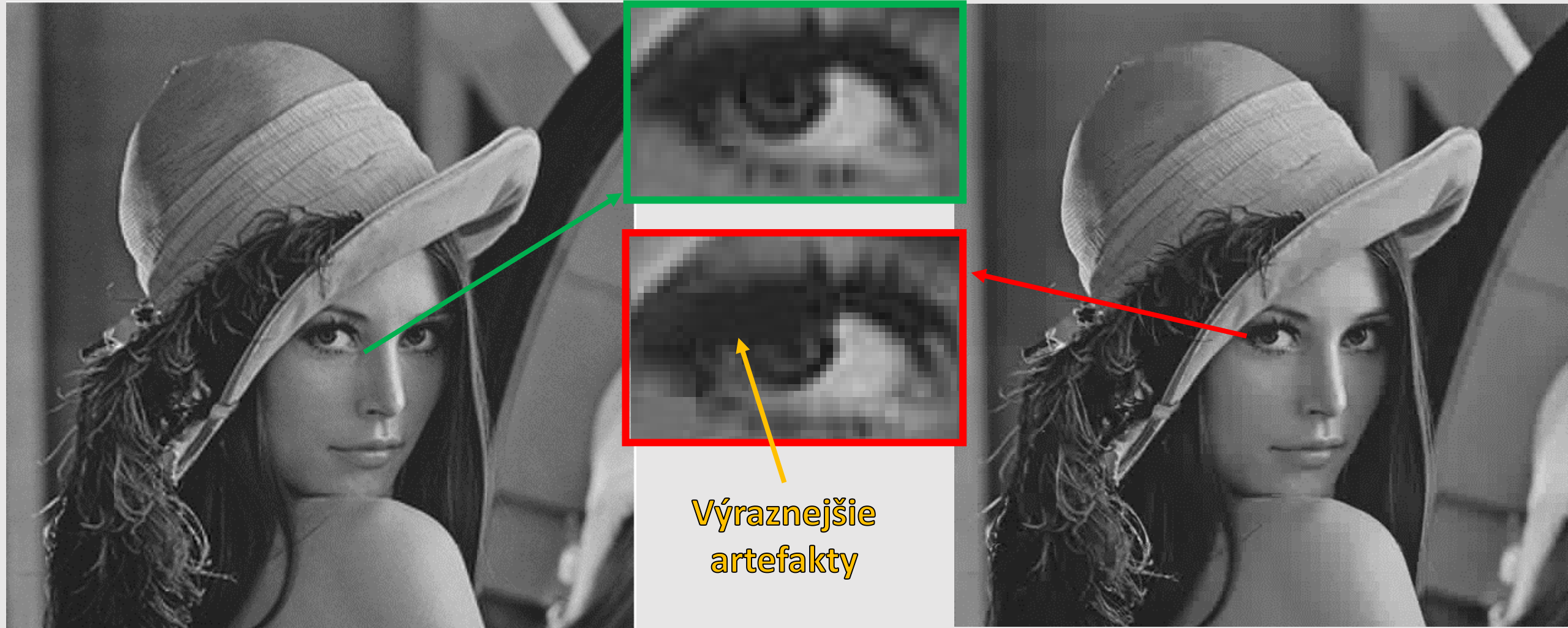
## Zonálna filtrácia

- veľkosť bloku = 8 x 8 op
- veľkosť oblasti = 4 x 4 op
- SNR = 25.746 dB
- stredná hodnota počtu 0 na blok = 48.000

**Prahová filtrácia 2D bloku DCT  
koeficientov**

**Zonálna filtrácia 2D bloku DCT  
koeficientov**

# Zonálna a prahová filtrácia DCT koeficientov



**Prahová filtrácia 2D bloku DCT koeficientov**

**Zonálna filtrácia 2D bloku DCT koeficientov**

**Výraznejšie artefakty**



# Číslicové spracovanie obrazov

## Prednáška č. 4

- Reprezentácia obrazu vo frekvenčnom spektre - DCT obrazu
- **Skalárne kvantovanie obrazu**
- Vektorové kvantovanie obrazu



# Skalárne kvantovanie obrazu

Kvantovanie vo všeobecnosti znamená redukciu veľkého množstva spojitéch alebo časovo diskretných hodnôt na menšie množstvo.

Hodnotám sa na základe rozhodovacích úrovní priradzuje kvantizačná hodnota, ktorá je definovaná množinou kvantizačných úrovní.

- Optimálne lineárne skalárne kvantovanie (OLSK)
- Optimálne nelineárne skalárne kvantovanie (ONSK)
- Suboptimálne skalárne kvantovanie

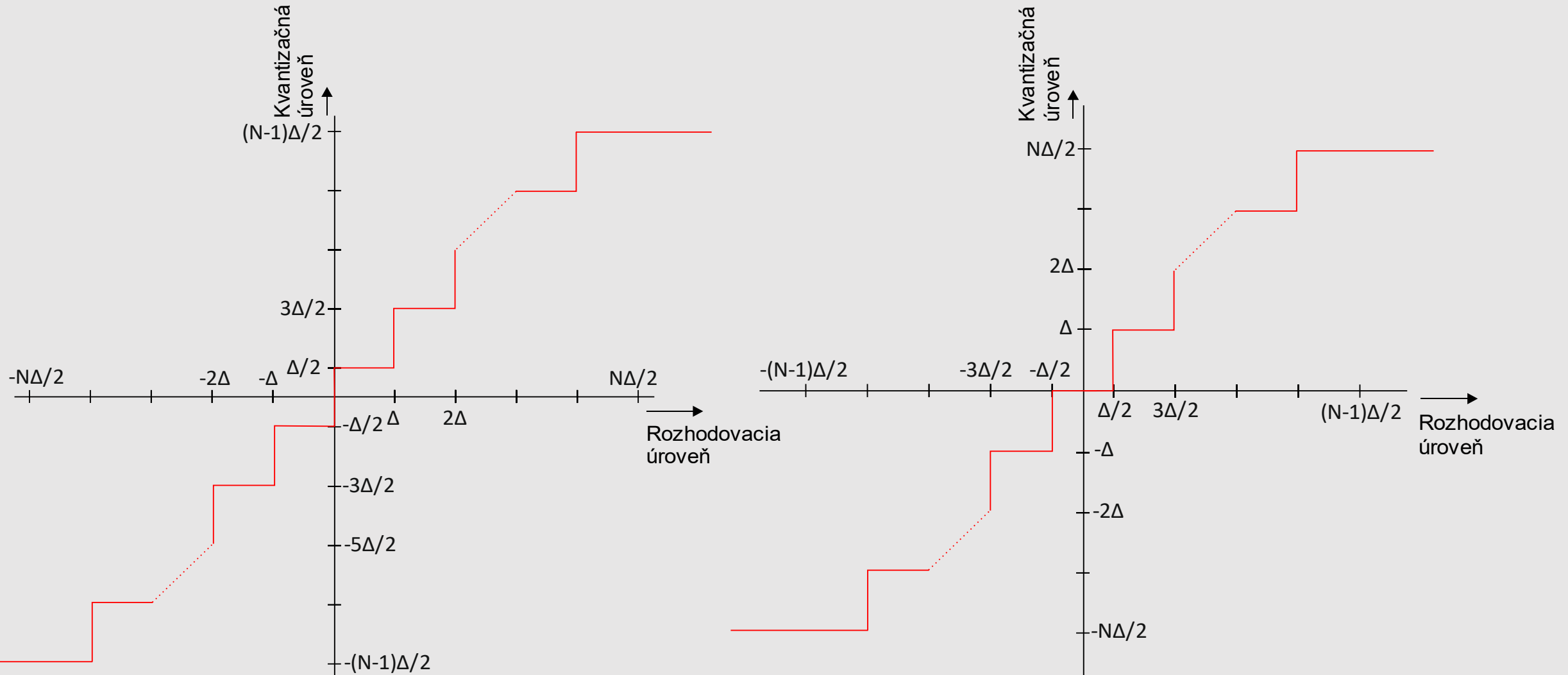
**Optimálne kvantovanie:** rozhodovacie a kvantizačné úrovne sú rozložené najlepšie, ako je vzhľadom na obmedzujúce parametre možné. (Pomerne zložitý výpočet + pre každý obraz je potrebné úrovne voliť inak.)

**Suboptimálne kvantovanie** nemusí byť pre daný vstupný signál/obraz najvhodnejšie, ale vzhľadom na požiadavky je prijateľné.

**Zákaz používania slovíčka: OPTIMALNEJŠIE resp. jeho iných tvarov napr. NAJOPTIMALNEJŠIE**

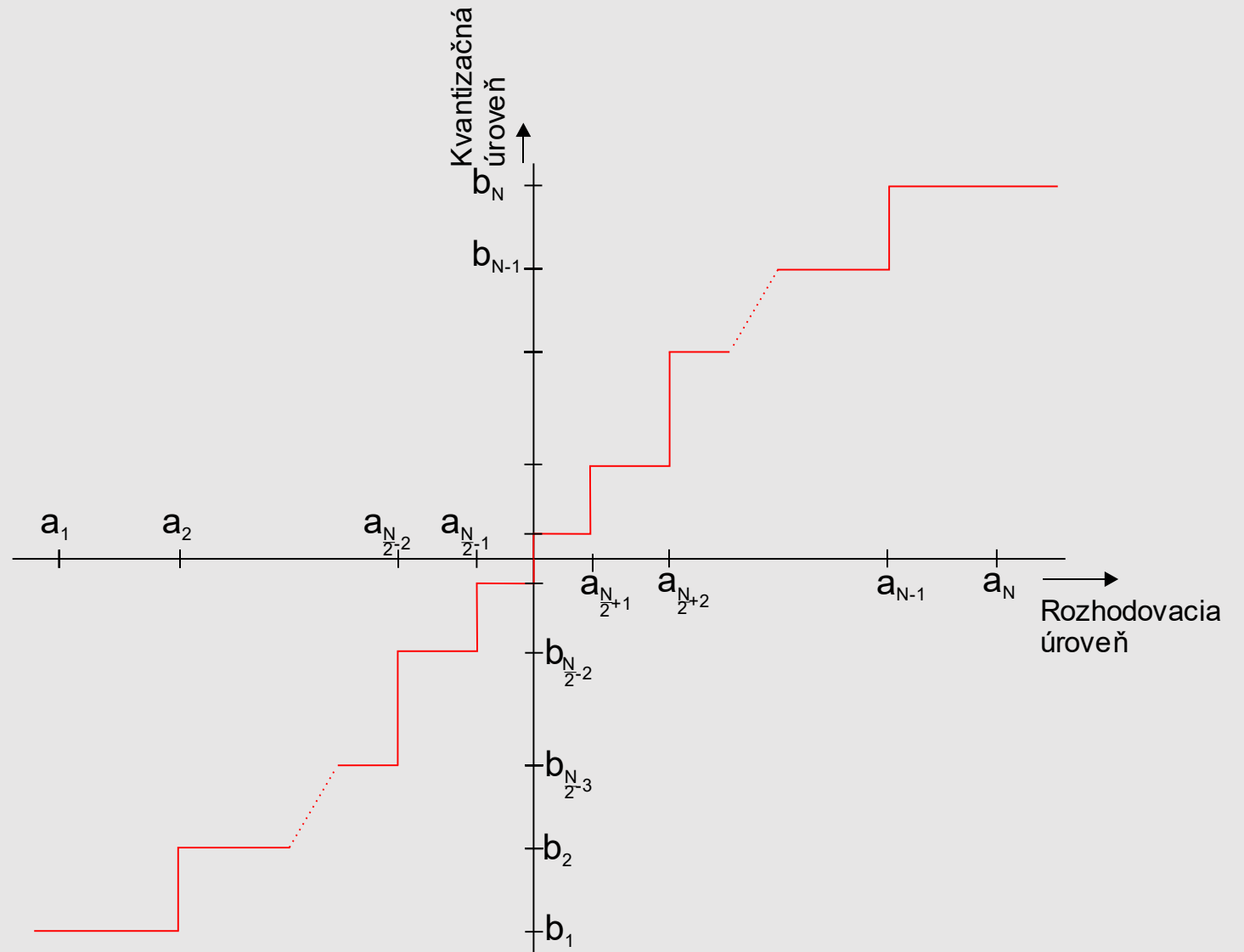
# Skalárne kvantovanie – Lineárne kvantovanie

- Lineárny N-úrovňový kvantizátor má rozhodovacie a kvantizačné úrovne rozložené rovnomerne.
- Kvantizačný krok  $\Delta$  je rovnaký pre každú úroveň



# Skalárne kvantovanie – Nelineárne kvantovanie

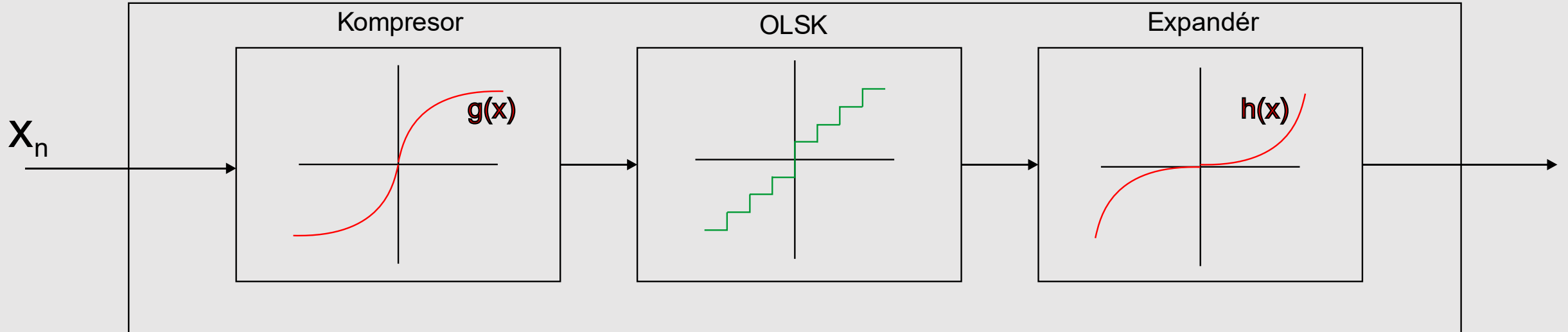
- Nelineárny N-úrovňový kvantizátor nemá rozhodovacie a kvantizačné úrovne rozložené nerovnomerne.
- Kvantizačné kroky a kvantizačné úrovne sa menia s nerovnakým krokom.
- V porovnaní s LSK pre rovnaký počet úrovní dosahuje lepší pomer odstupu signálu od šumu.
- Lepšie vlastnosti v porovnaní s LSK sú dosiahnuté vďaka lepšiemu prispôsobeniu nelinearite rozdelenia pravdepodobnosti vstupného signálu.



# Skalárne kvantovanie – Návrh NSK (kompandovanie)

## Metóda kompandovania vzoriek

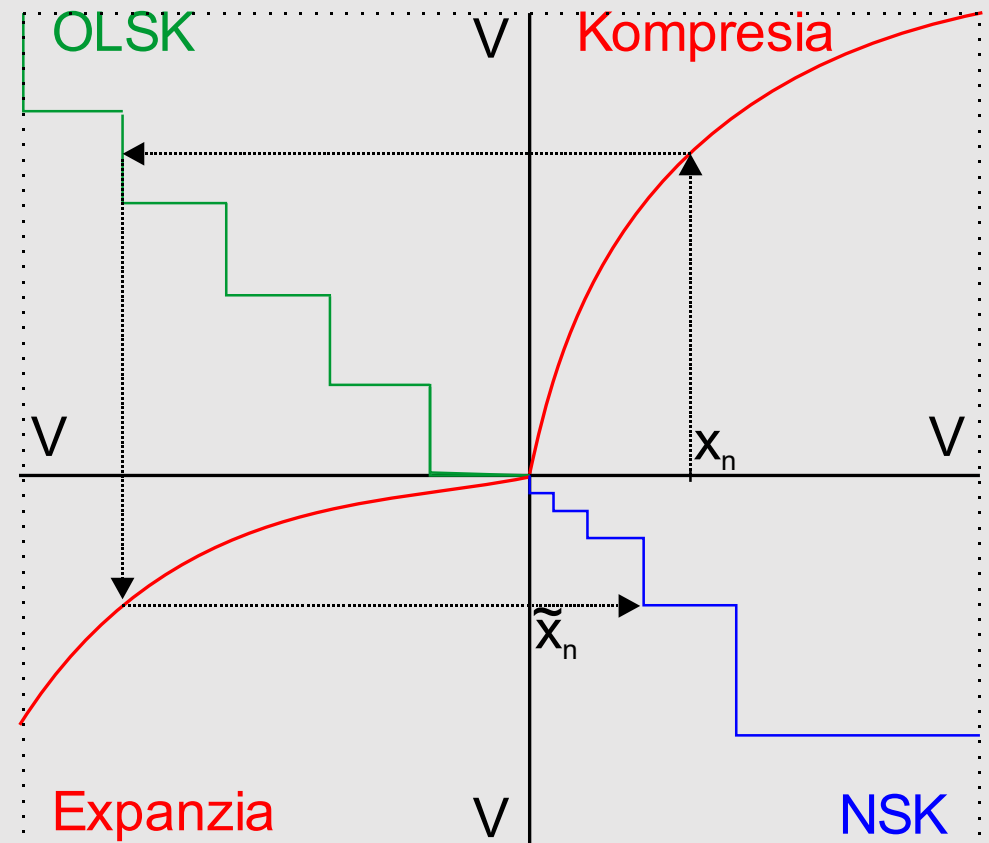
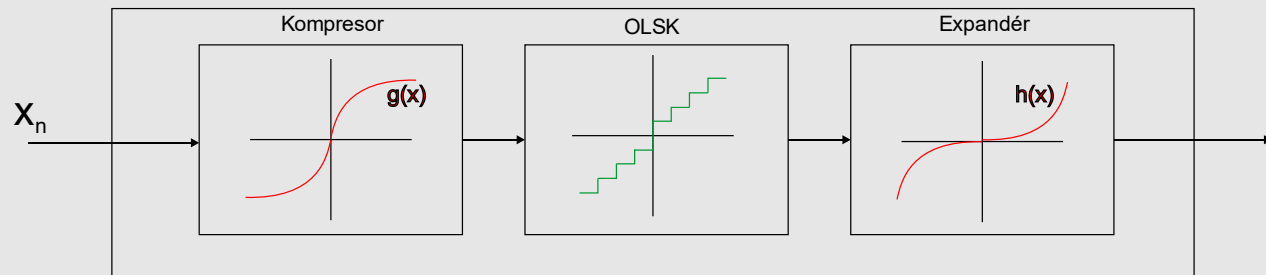
- Princíp tejto metódy návrhu nelineárneho skalárneho kvantizátora (NSK) spočíva v prepočte rozhodovacích úrovní OLSK cez nelineárnu kompresnú funkciu  $g(x)$  na vstupe a kvantizačných úrovní cez nelineárnu expanznú funkciu  $h(x)$  na výstupe.
- Účinnosť NSK sa v závislosti od tvaru kompresnej krivky približuje k účinnosti ONSK.



# Skalárne kvantovanie – Návrh NSK (kompandovanie)

## Metóda kompandovania vzoriek

- Princíp tejto metódy návrhu nelineárneho skalárneho kvantizátora (NSK) spočíva v prepočte rozhodovacích úrovní OLSK cez nelineárnu kompresnú funkciu  $g(x)$  na vstupe a kvantizačných úrovní cez nelineárnu expanznú funkciu  $h(x)$  na výstupe.
- Účinnosť NSK sa v závislosti od tvaru kompresnej krivky približuje k účinnosti ONSK.



$$g(x) = V_1 + (V_2 - V_1) \frac{\int_{V_1}^x \sqrt[3]{f(a)} da}{\int_{V_1}^{V_2} \sqrt[3]{f(a)} da}$$

$f(a)$  je rozloženie pravdepodobnosti vstupných vzoriek.  
 $V_1, V_2$  je vstupný rozsah vzoriek

# Skalárne kvantovanie – Suboptimálne kvantovanie

Návrh optimálneho kvantizátora v spracovaní obrazov je pomerne nepraktický, a preto sa častejšie stretávame s kvantovaním pomocou kvantizačných indexov. Tieto indexy sa vypočítajú pomocou zaokrúhlenia podielu hodnoty obrazového prvku a veľkosti kvantizačného kroku  $\Delta$ .

$$Q_{i,j} = \left\lfloor \frac{x_{i,j}}{\Delta} \right\rfloor$$

$$\Delta = \frac{\tilde{x}_{max}}{N}$$

kde  $Q_{i,j}$  je hodnota kvantizačného indexu a  $x_{i,j}$  je hodnota obrazového prvku. Procesom dekvantizácie je potom možné získať kvantizačnú úroveň tak, že sa prijaté kvantizačné indexy prenášobia počtom úrovní. Veľkosť kroku je daná podielom hodnoty maximálnej kvantizačnej úrovne a počtu kvantizačných úrovní

# Skalárne kvantovanie – Suboptimálne kvantovanie

$$Q_{i,j} = \left\lfloor \frac{x_{i,j}}{\Delta} \right\rfloor$$

$$\Delta = \frac{\tilde{x}_{max}}{N} = \frac{255}{N}$$



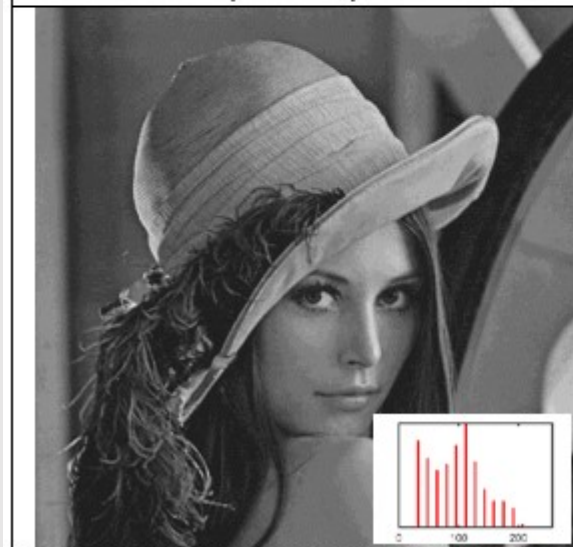
N=2, SNR=1,59dB



N=4, SNR=14.63dB



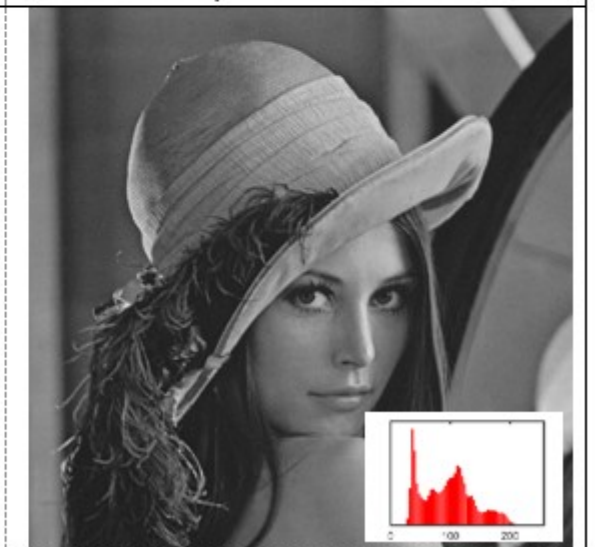
N=8, SNR=21.39dB



N=16, SNR=27.16dB



N=32, SNR= 33.03dB



N=64, SNR=38.72dB

# Skalárne kvantovanie – *Kvantovanie v transf. priestore*





Pri obrazoch transformovaných pomocou niektorej z diskretných ortogonálnych transformácií (napr. DCT) je možné každý transformačný koeficient kvantovať rozdielnym krokom

Najznámejšie sú tieto rozdielne kvantizačné kroky definované v maticiach.

$$Q_{i,j} = \left\lfloor \frac{x_{i,j}}{\Delta} \right\rfloor$$

$$\Delta = \frac{\tilde{x}_{max}}{N} = \frac{255}{N}$$

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	62
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

	65	72	65	54	60	68	63	92
	54	59	62	56	57	57	47	51
	56	63	72	60	51	60	68	50
	54	54	62	66	62	56	57	48
	111	72	53	53	59	63	54	69
	188	131	92	63	48	62	60	65
	230	201	197	150	75	57	47	53
	240	230	257	230	144	92	57	57
	685	192	29	-16	8	14	20	-4
	-242	-218	-5	19	-16	-25	-11	4
	157	101	-31	-45	0	-2	8	-4
	-46	-24	81	34	12	-13	6	-4
	25	-27	-34	-7	15	-8	0	-1
	4	12	8	-17	-10	5	-2	1
	15	-12	14	10	-5	2	-1	1
	9	1	7	-6	-1	1	3	-1
	688	187	30	-16	0	0	0	0
	-240	-216	0	19	-26	0	0	0
	154	104	-32	-48	0	0	0	0
	-42	-17	88	29	0	0	0	0
	18	-22	-37	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
	64	72	68	53	51	65	76	76
	59	69	69	56	49	56	63	62
	47	59	65	62	59	59	56	49
	54	54	55	60	67	69	61	51
	108	82	56	47	55	63	65	63
	183	144	96	65	52	50	58	69
	225	207	179	143	96	59	52	63
	228	242	252	226	155	82	50	54



# Skalárne kvantovanie obrazu – Kvantizačná chyba

- **Kvantovanie je ireverzibilný t. z. nevratný proces. Kvantovaním vždy dochádza k strate informácie teda vzniku kvantizačnej chyby**
- Kvantizačnú chybu môžeme nazvať aj **kvantizačný šum**
- Z matematického hľadiska sa skalárnym kvantovaním transformuje postupnosť náhodných premenných  $X_n$  na postupnosť diskretných náhodných premenných  $\tilde{X}_n$ .

$$q_n = X_n - \tilde{X}_n$$

- Šum častokrát vyhodnocujeme v **decibeloch dB** parametrom: **Odstup signálu od šumu (SNR)**

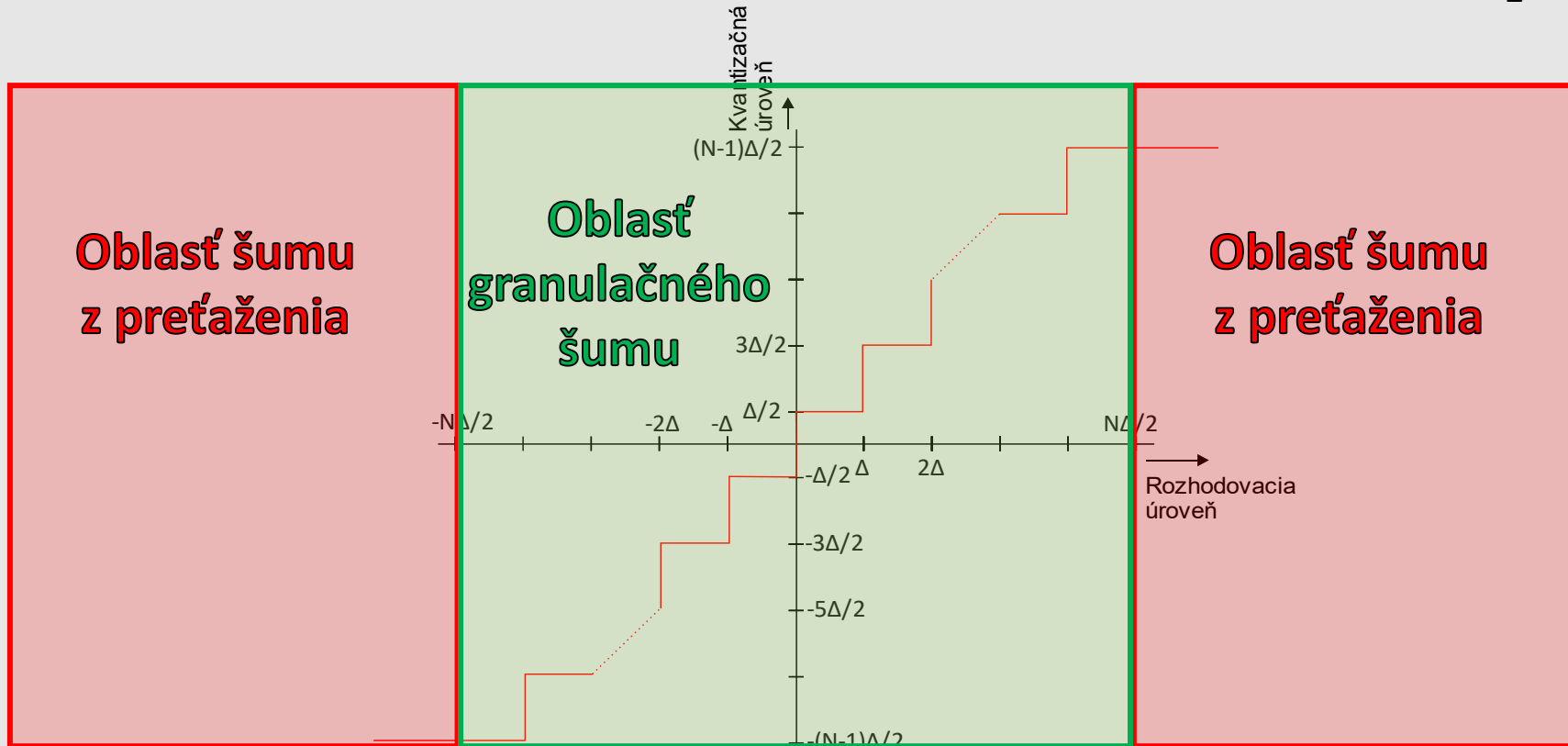
$$SNR = 10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{E([X - E(X)]^2)}{E[(X_n - \tilde{X}_n)^2]} \right]$$

Stredná hodnota výkonu pôvodného signálu  
Stredná hodnota výkonu kvantizačného šumu

# Skalárne kvantovanie obrazu – Kvantizačná chyba

Kvantizačný má dvojakú povahu, teda skladá sa z dvoch zložiek.

- **granulačný šum ( $q_1$ )** - rozdiel medzi vstupnou hodnotou vzorky a jej priradenej kvantizačnej hladiny. Tento šum sa uplatňuje pre všetky vstupné vzorky v rozsahu rozhodovacích úrovní.
- **šum z preťaženia ( $q_2$ )** – zložka šumu tvorená rozdielom hodnoty vzorky, ktorej hodnota prevyšuje vstupný rozsah kvantizátora a jej priradenej maximálnej kvantizačnej hodnoty.
- **Celkový šum** je potom rovný súčtu šumu z preťaženia a granulačného šumu  $q = q_1 + q_2$



# Skalárne kvantovanie obrazu – Kvantizačná chyba

Hodnotu kvantizačného šumu je možné ovplyvňovať troma spôsobmi:

- **Voľba počtu kvantizačných úrovní**

- Čím viac kvantizačných úrovní, tým bude kvantizačná úroveň bližšie k hodnote vstupnej vzorky.

- **Rozložením rozhodovacích a kvantizačných úrovní**

- Niekedy je vhodnejšie, ak je kvantizačný krok (skok medzi úrovňami) pre rôzne úrovne iný. Vstupný signál sa pre rôzne úrovne môže chovať inak. Niekedy v istej oblasti je zmena hodnoty vzorky jemnejšia ako v inej. Vhodné rozloženie rozhodovacích a kvantizačných úrovní vo veľkej miere závisí aj od štatistických vlastností obrazu.

- **Využitím štatistických vlastností vstupnej premennej**

# Skalárne kvantovanie – Prahovanie obrazu

Prahovanie hrá dôležitú úlohu v procese segmentácie obrazu a tiež pri filtrácii op resp. spektrálnych koeficientov. V istom zmysle je prahovanie možné považovať za špeciálny prípad kvantizácie.

## Filtrácia prahovaním

Ponecháva prvky obrazu, ktorých hodnota prevyšuje prahovú hodnotu. Ostatné prvky sú potlačené (nulované).

$$x'(i,j) = \begin{cases} x(i,j) & \text{ak } x(i,j) > p \\ 0 & \text{inde} \end{cases}$$



Hodnota prahu 135



# Skalárne kvantovanie – Prahovanie obrazu

Prahovanie hrá dôležitú úlohu v procese segmentácie obrazu a tiež pri filtrácii op resp. spektrálnych koeficientov. V istom zmysle je prahovanie možné považovať za špeciálny prípad kvantizácie.

## Vytváranie binárnych masiek prahovaním

Vytvára sa binárna maska, teda binárny obraz, ktorého prvky majú hodnotu 1 tam kde prvky obrazu prevýšili hodnotu prahu, ostatné prvky sú nulové.

$$M(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{ak } x(i, j) > p \\ 0 & \text{inde} \end{cases}$$



Hodnota prahu 135





# Číslicové spracovanie obrazov

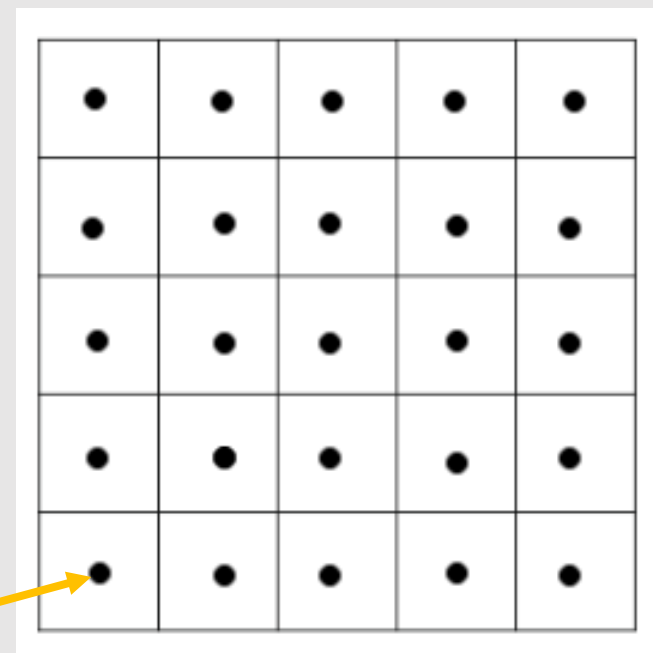
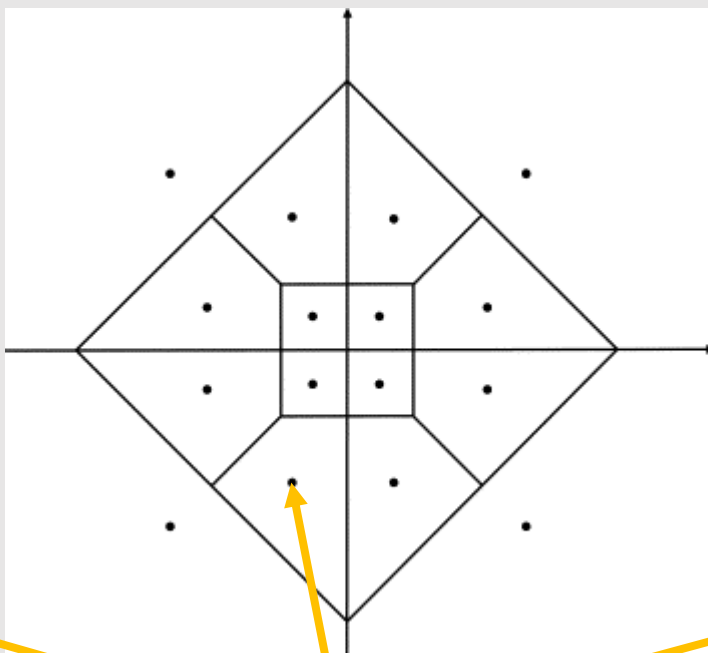
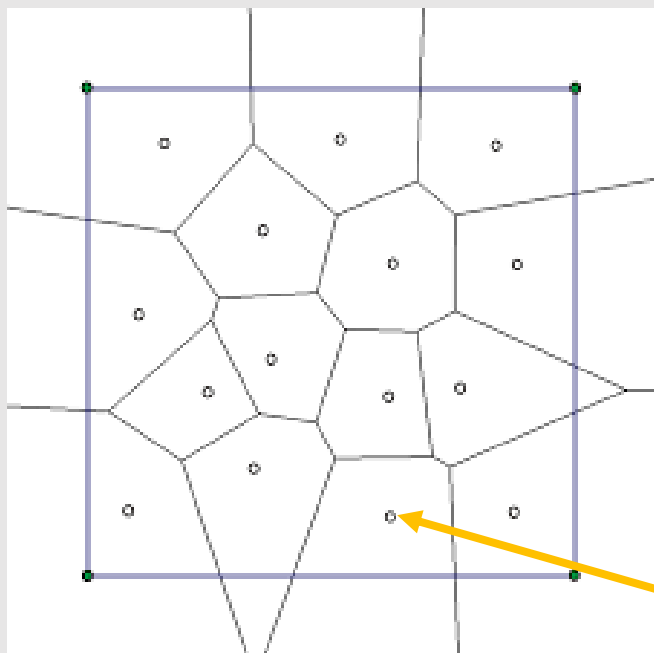
## Prednáška č. 4

- Reprezentácia obrazu vo frekvenčnom spektre - DCT obrazu
- Skalárne kvantovanie obrazu
- **Vektorové kvantovanie obrazu**

# Vektorové kvantovanie

Účinnosť kvantovania je možné **vektorovým kvantizátorom** výrazne zvýšiť.

Princíp spočíva v rozdelení obrazu (v obr. alebo trans. priestore) na bloky. Tieto bloky môžu byť jedorozmerné postupnosti prvkov alebo tiež dvojrozmerné s rôznym tvarom:



Celému regiónu sa priradí jedno kódové slovo resp. kvantizačný index





# Ďakujem za pozornosť!

Nabudúce

- Vnútrosnímková predikcia obrazu
- Medzisnímková predikcia obrazu

