



## Předzpracování obrazu a videosignál

Karel Fliegel  
([fliegek@fel.cvut.cz](mailto:fliegek@fel.cvut.cz))



## ❑ Předzpracování obrazu

- ❖ Vzorkování a kvantizace obrazu
- ❖ Histogram a převodní charakteristika LUT
- ❖ Diskrétní 2D konvoluce a filtrace obrazu
- ❖ 2D DFT a filtrace obrazu v oblasti prostorových kmitočtů

## ❑ Videosignál

- ❖ Nelineární převodní charakteristika a korekce gamma
- ❖ Vznik videosignálu v analogové televizi
- ❖ Přenosové signály barevné televize
- ❖ Digitalizace videosignálu a bitové toky
- ❖ Barevné vzorkovací rastry
- ❖ Videosignály podle doporučení ITU-R Rec. BT. 601, 709, 2020
- ❖ Rozšířený barevný gamut WCG

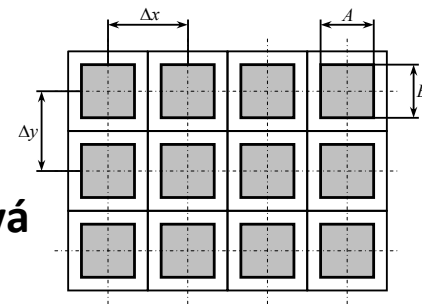
## ❑ Aspekty digitalizace obrazu ve snímacím systému

### ❖ Digitalizace spojité obrazové funkce $f(x, y)$

- **Vzorkování obrazu** v matici  $M \times N$  obrazových bodů
- **Kvantování jasové úrovně** každého vzorků do  $n$  intervalů
  - Jemnější vzorkování (větší  $M, N$ ) a kvantování (větší  $n$ ) → lepší aproximace a kvalita obrazu

### ❖ Vzorkování obrazu zahrnuje dvě úlohy

- (1) **Uspořádání vzorkovacích bodů do rastru**
  - Obvykle se používá **pravidelná mřížka** → nejčastěji **čtvercová**
- (2) **Vzdálenost mezi vzorky** (vzorkovací teorém)



### ❖ Kvantování jasové úrovně

- Nejčastěji se kvantuje do  $n$  **stejných intervalů**
- Pro  $b$  bitů na pixel (**bits per pixel [bpp]**) potom je počet úrovní  $n = 2^b$
- V multimédiích obvykle **8 bpp** pro **standardní dynamický rozsah SDR**

## □ Kvantizace obrazu v multimediální technice

### ❖ Stanovení **minimálního počtu kvantizačních úrovní**

- Vychází z **Weber-Fechnerova zákona** a **prahového kontrastu**

$$\frac{\Delta L}{L_0} = k \approx 0,015 \div 0,02$$

- Gradační **stupnice jasu** s těmito úrovněmi

$$L_{\min} < L_1 < L_2 < \dots < L_i < L_{i+1} < \dots < L_{\max}$$

- Pro **každý stupeň** platí vzhledem k **prahovému kontrastu**

$$\frac{L_{i+1} - L_i}{L_i} = k \Rightarrow \frac{L_{i+1}}{L_i} = 1 + k$$

- **Počet rozlišitelných gradačních stupňů**  $n$

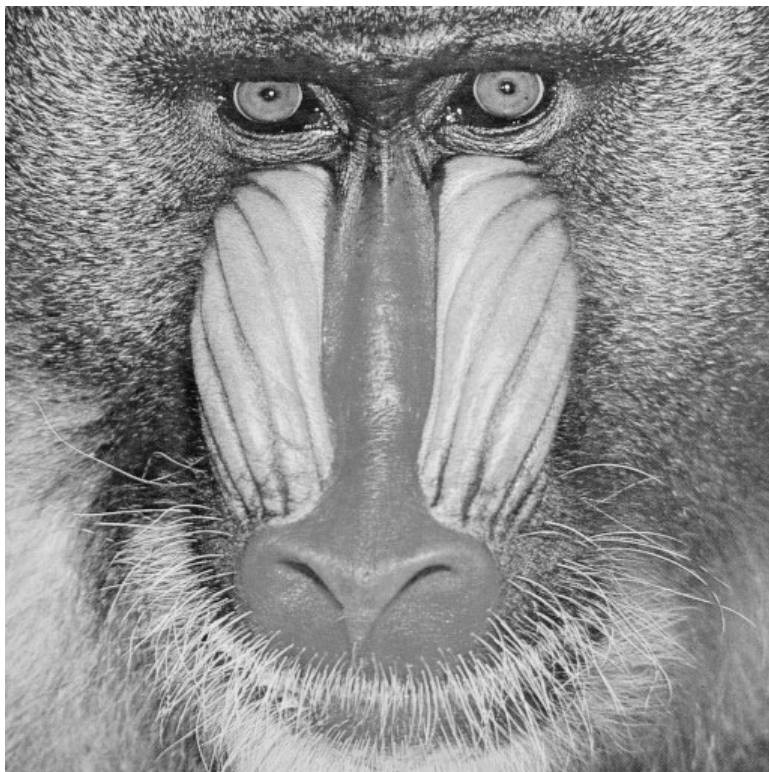
$$\frac{L_{\max}}{L_{\min}} = (1 + k)^n \Rightarrow n = \frac{\log \frac{L_{\max}}{L_{\min}}}{\log(1 + k)}$$

- Pro zvolený **prahový kontrast**  $k = 0,02$  a **dynamický rozsah**  $\frac{L_{\max}}{L_{\min}} = 100$

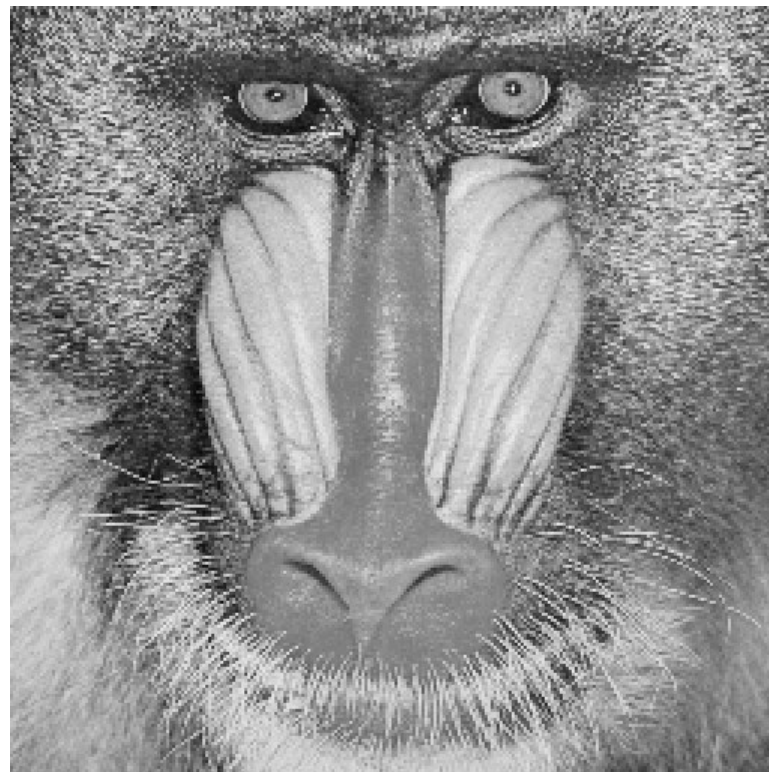
### ❖ **Minimální počet kvantizačních úrovní** $n = 230 \Rightarrow 8 \text{ bpp}$

## ❑ Demonstrace vzorkování (1/4)

❖ Ukázka vlivu volby **hustoty vzorkování** na vzorkovaný obraz



Originál

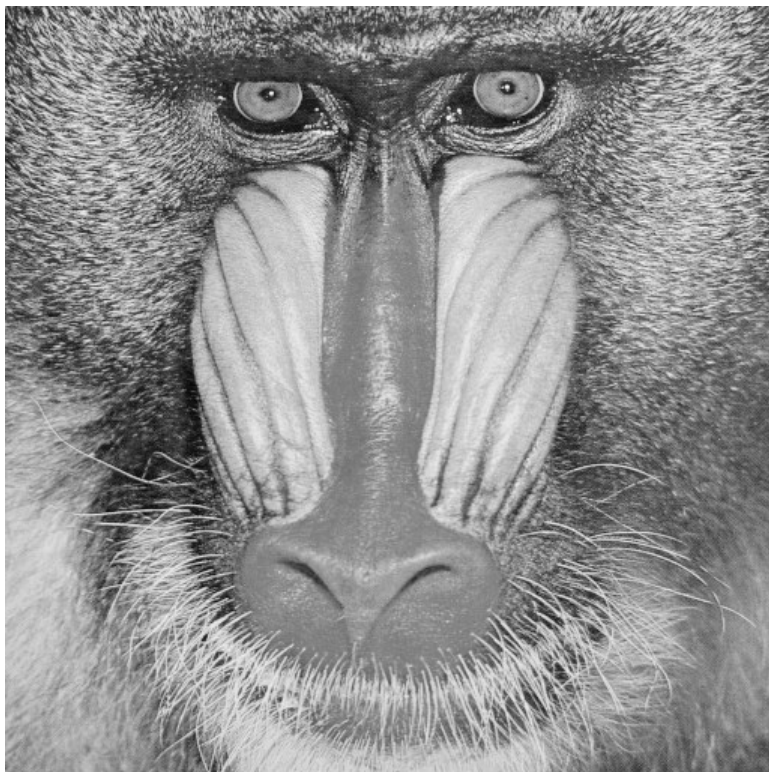


Vzorkování  
256x256

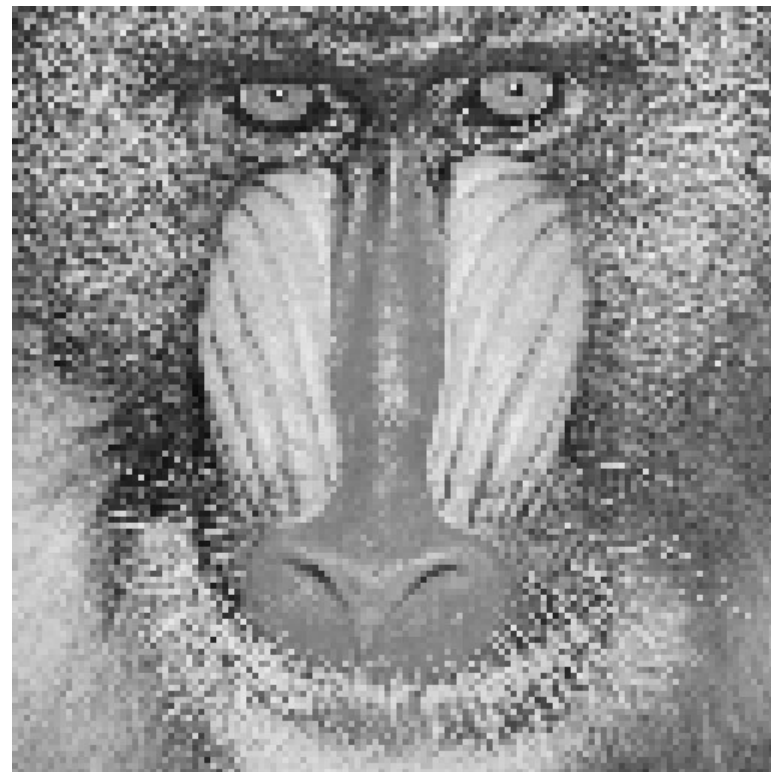


## ❑ Demonstrace vzorkování (2/4)

❖ Ukázka vlivu volby **hustoty vzorkování** na vzorkovaný obraz



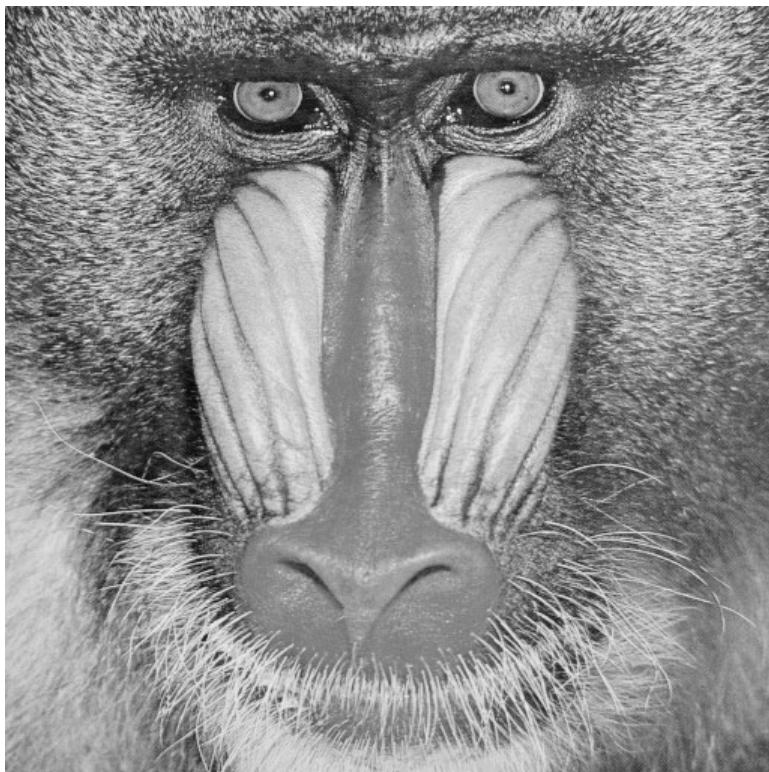
Originál



Vzorkování  
128x128

## ❑ Demonstrace vzorkování (3/4)

❖ Ukázka vlivu volby **hustoty vzorkování** na vzorkovaný obraz



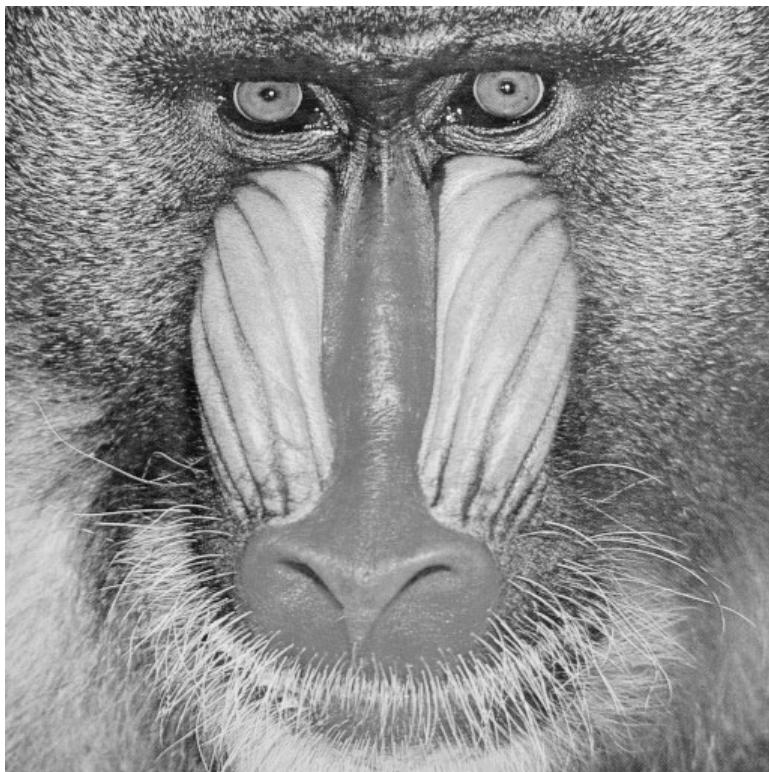
Originál



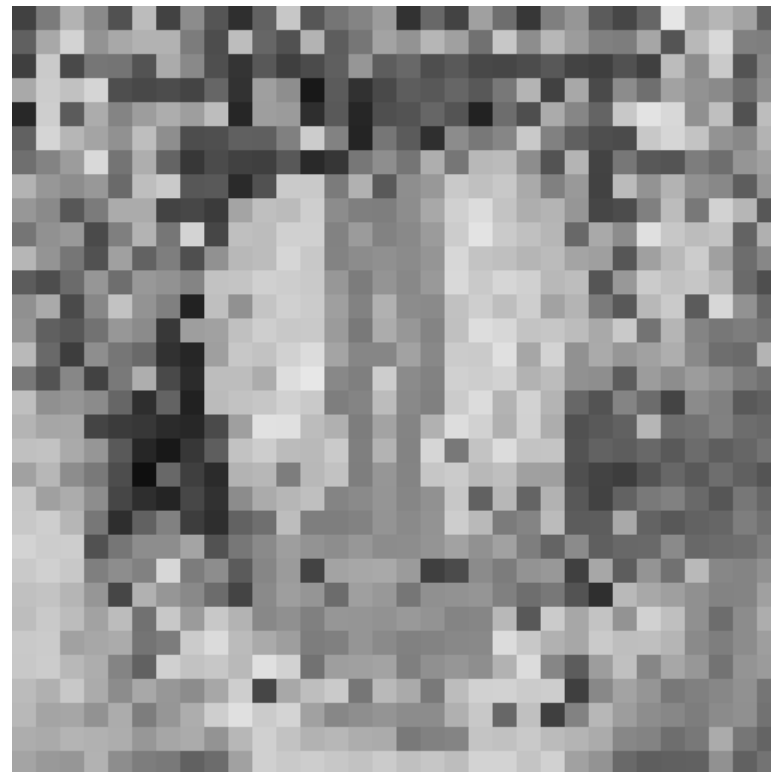
Vzorkování  
64x64

## ❑ Demonstrace vzorkování (4/4)

- ❖ Ukázka vlivu volby **hustoty vzorkování** na vzorkovaný obraz



Originál

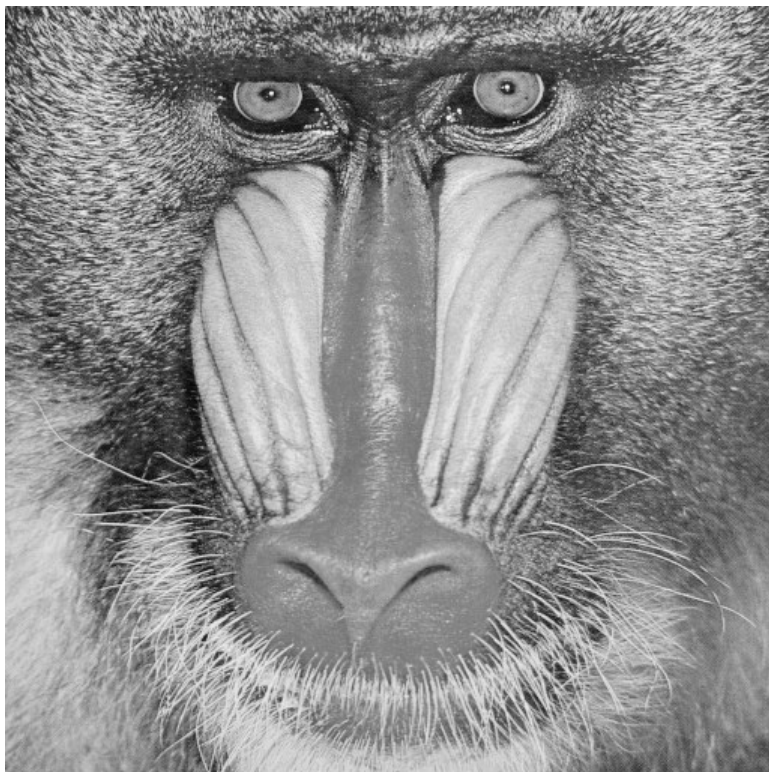


Vzorkování  
32x32

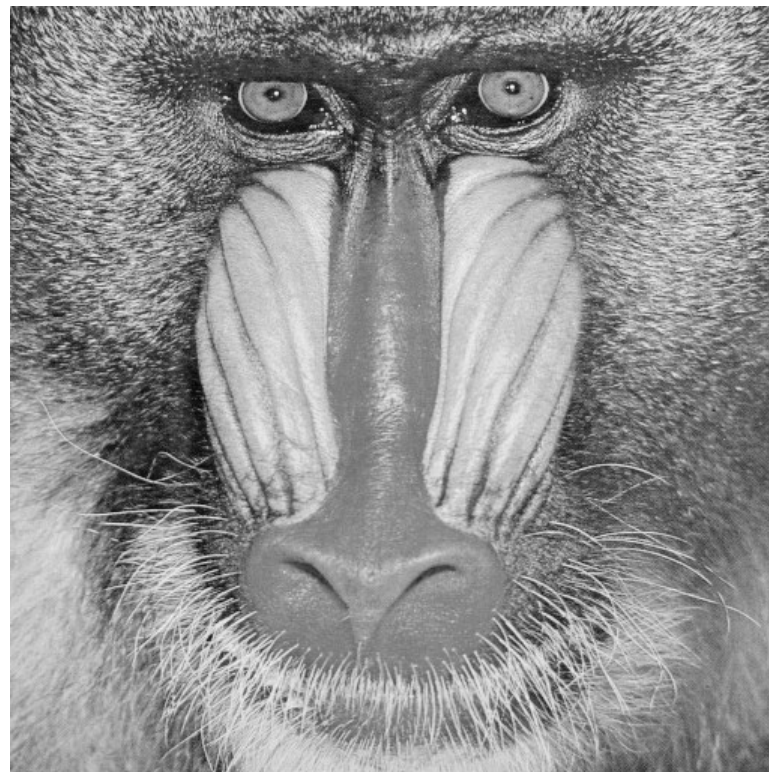


## ❑ Demonstrace kvantizace (1/5)

❖ Ukázka vlivu **počtu kvantizačních úrovní** na kvantovaný obraz



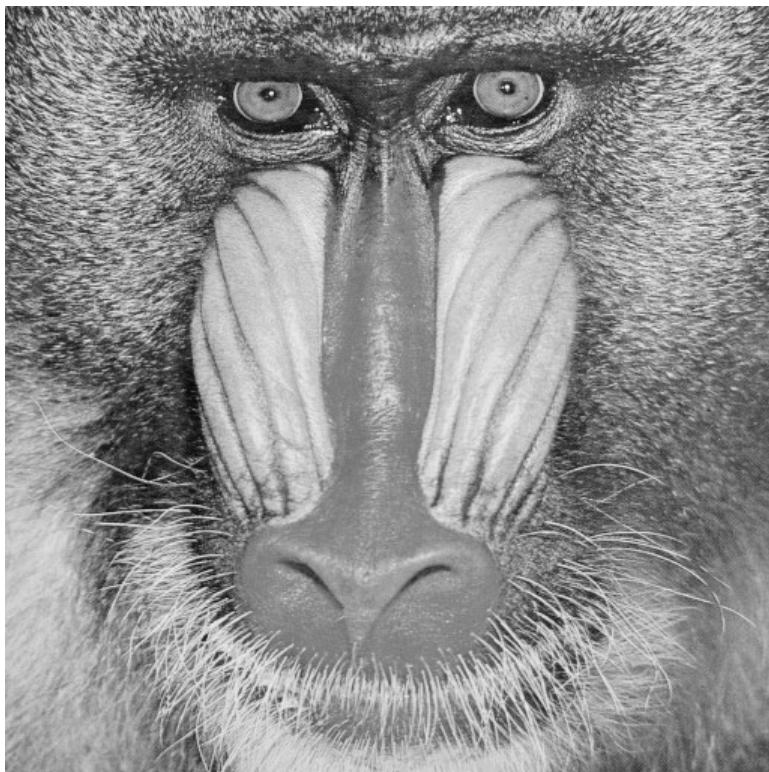
Originál



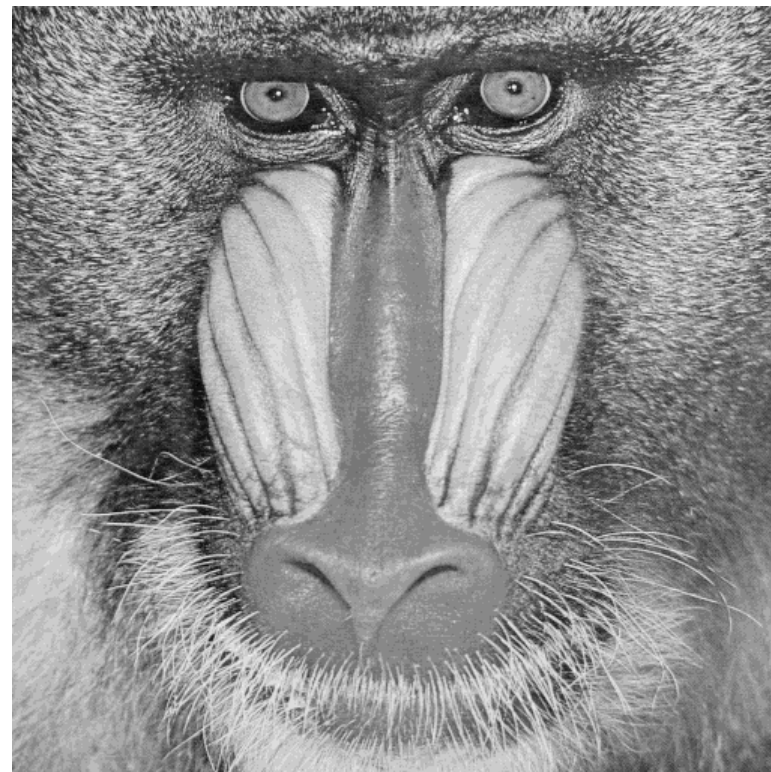
Kvantizace  
6 bitů, 64 úrovní

## ❑ Demonstrace kvantizace (2/5)

❖ Ukázka vlivu **počtu kvantizačních úrovní** na kvantovaný obraz



Originál

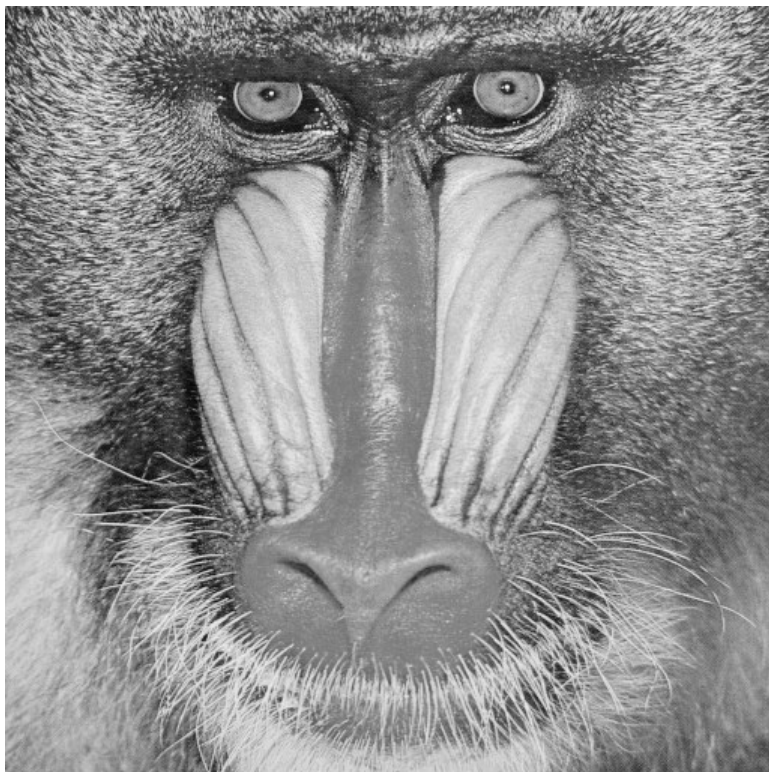


Kvantizace  
4 bity, 16 úrovní

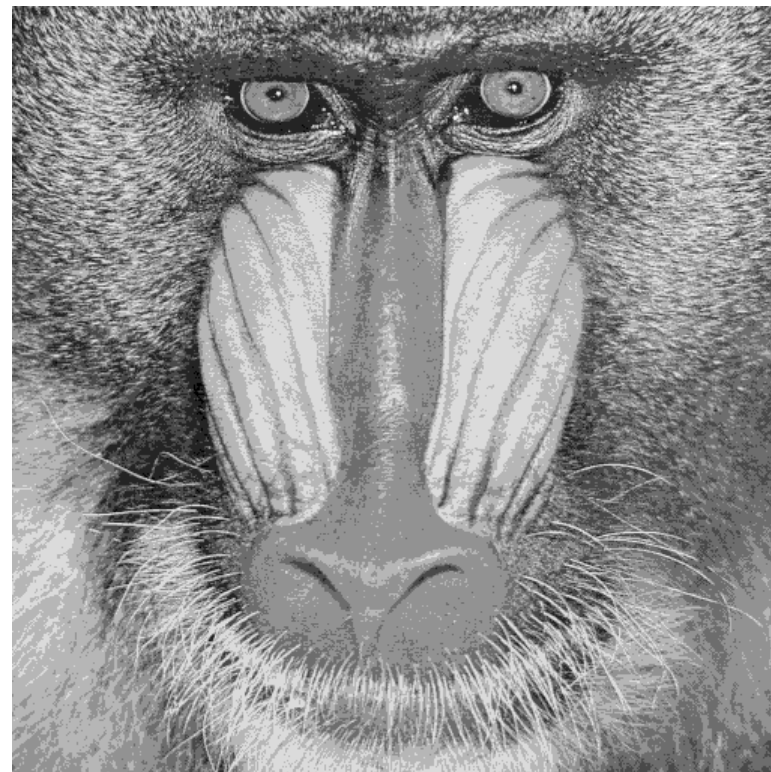


## ❑ Demonstrace kvantizace (3/5)

❖ Ukázka vlivu **počtu kvantizačních úrovní** na kvantovaný obraz



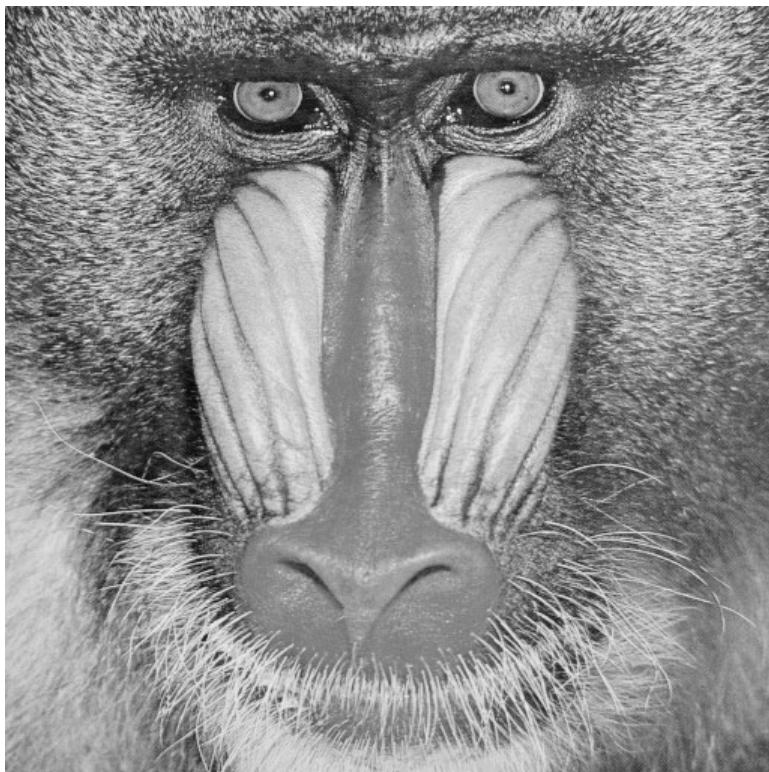
Originál



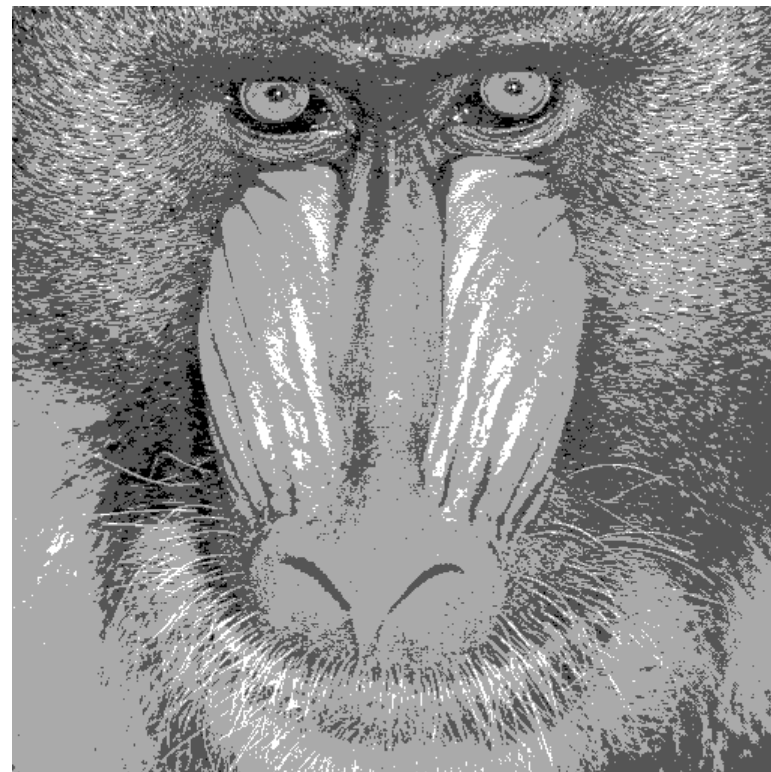
Kvantizace  
3 bity, 8 úrovní

## ❑ Demonstrace kvantizace (4/5)

❖ Ukázka vlivu **počtu kvantizačních úrovní** na kvantovaný obraz



Originál

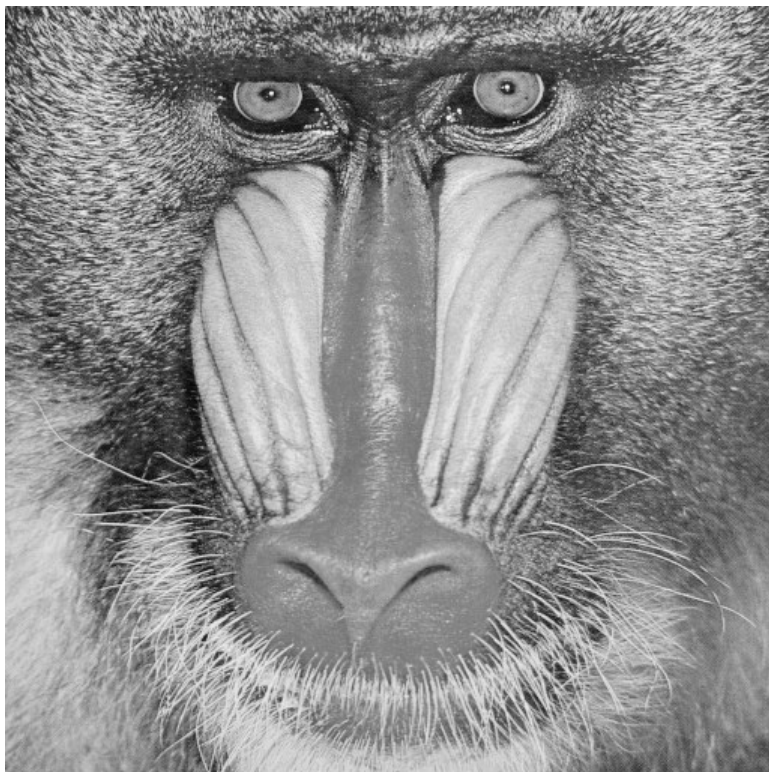


Kvantizace  
2 bity, 4 úrovně

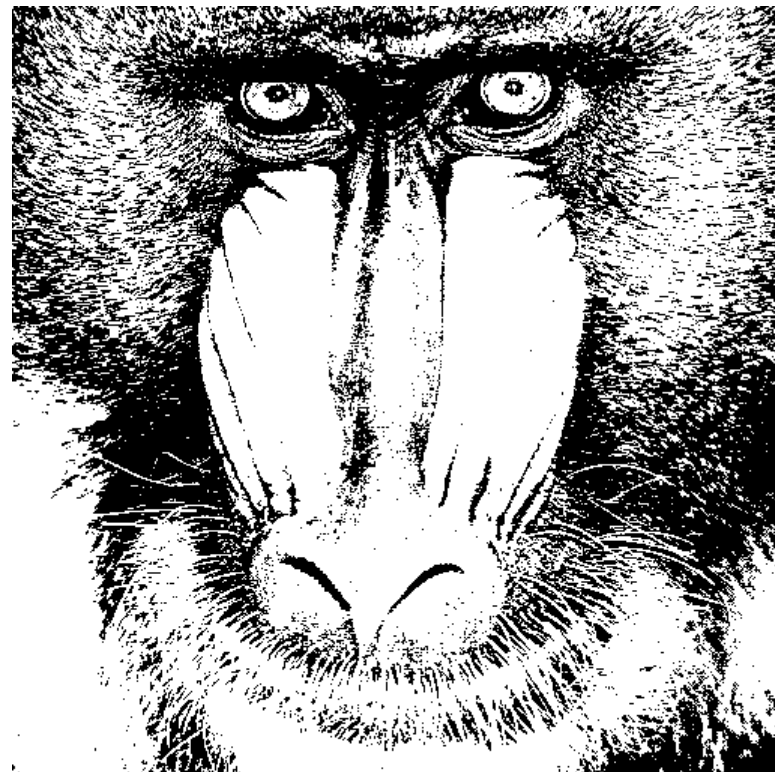


## ❑ Demonstrace kvantizace (5/5)

❖ Ukázka vlivu **počtu kvantizačních úrovní** na kvantovaný obraz



Originál

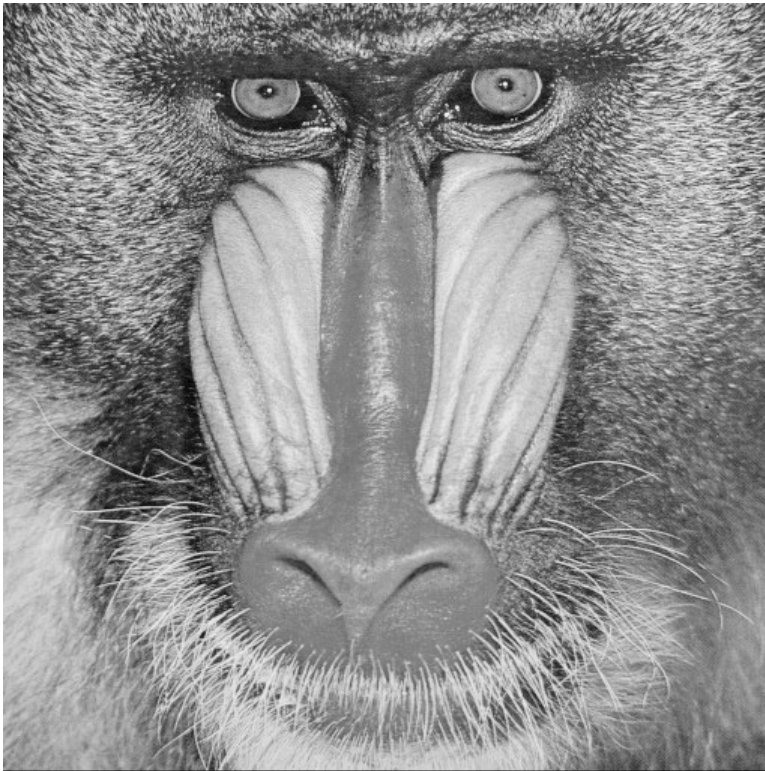


Kvantizace  
1 bit, 2 úrovně



## ❑ Demonstrace vzorkování a kvantizace

❖ Ukázka současného vlivu **vzorkování** a **kvantizace**



Originál



Vzorkování 64x64  
Kvantizace 3 bity, 8 úrovní

## □ Histogram digitálního obrazu

❖ Popisuje statistické vlastnosti obrazu

❖ Diskrétní funkce

$$h(r_k) = n_k$$

–  $r_k$  je  $k$ -tá úroveň intenzity obrazu

–  $n_k$  je počet obrazových bodů s intenzitou  $r_k$

❖ Histogram se často normuje

$$p(r_k) = \frac{n_k}{M N}$$

–  $M N$  je celkový počet obrazových bodů

❖ Histogram tvoří základ řady metod

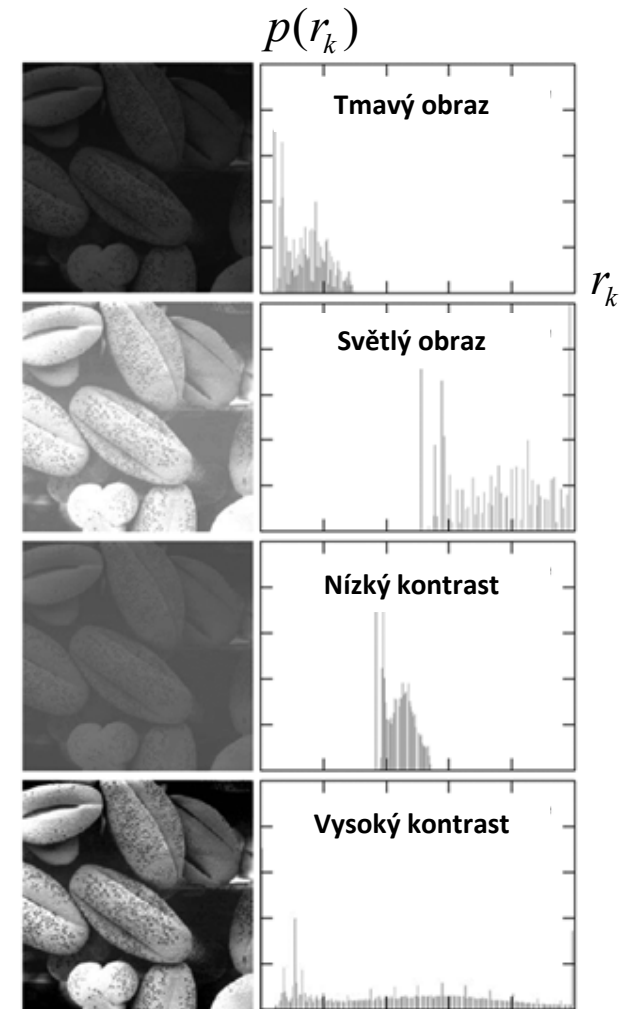
- Manipulace s histogramem

- Vylepšení obrazu,...

- ... metoda vyrovnání histogramu

- Statistické vlastnosti z histogramu

- Komprese, segmentace,...



## ❑ Převodní charakteristika LUT (Look-Up Table)

### ❖ Transformace intenzity pomocí převodní charakteristiky

- Patří mezi **bodové operátory** aplikované v **prostorové oblasti**
- **Zpracování v prostorové oblasti**

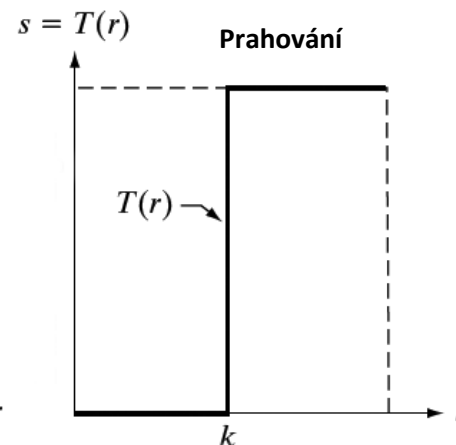
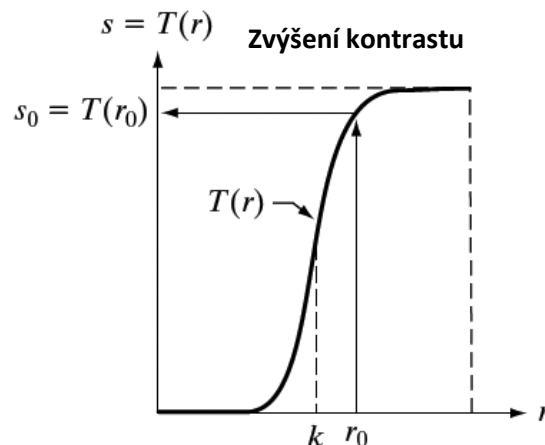
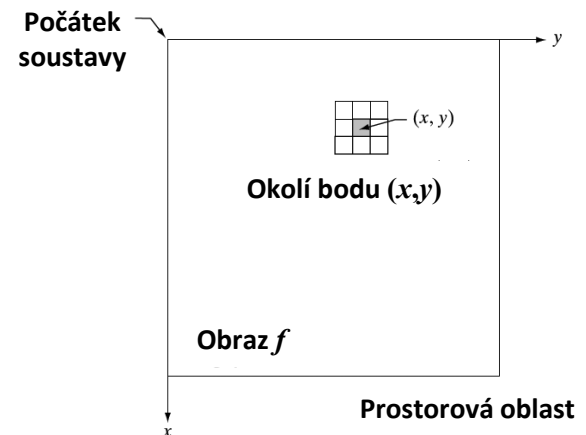
$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$

- **Zpracování pro nejmenší okolí (1x1)**

$$s = T(r)$$

– Transformace intenzity

### ❖ Ukázka převodní charakteristiky



## ❑ Převodní charakteristika LUT (Look-Up Table)

### ❖ Vybrané převodní charakteristiky

- **Negativ**

- Převod **negativ – pozitiv**

$$s = T(r) = L - 1 - r$$

- **Log transformace**

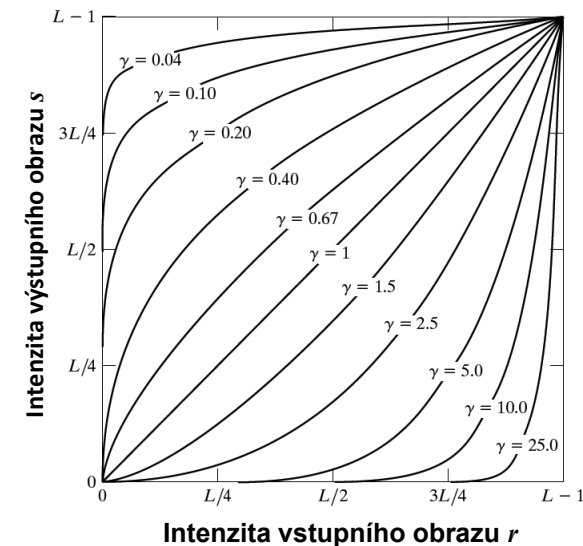
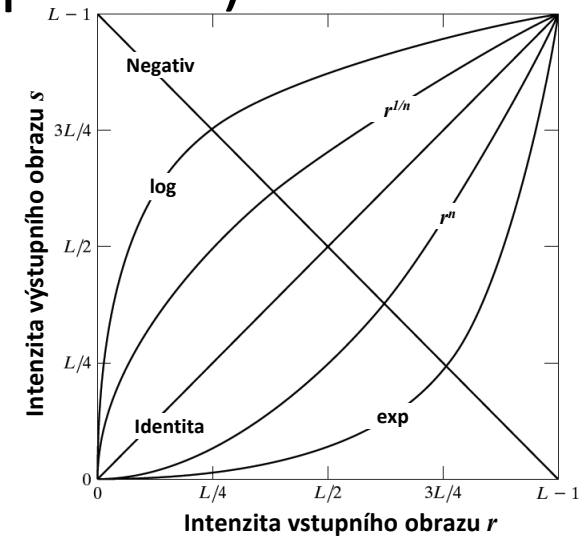
- Mapování **většího rozsahu**

$$s = T(r) = c \log(1 + r)$$

- **Gamma charakteristika**

- Korekce **gamma zkreslení**

$$s = T(r) = cr^\gamma$$



## □ Roztažení histogramu

### ❖ Zvýšení kontrastu (roztažení histogramu, contrast stretching)

- Rozšíří dynamiku obrazu do plného rozsahu
  - Snížený kontrast dán např. špatným nasvícením scény, malým DR snímáče, špatnou expozicí, ...

- Po úsecích lineární převodní charakteristika

- Tvar charakteristiky dán pozicí řídicích bodů

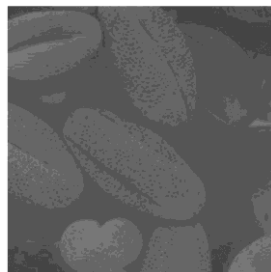
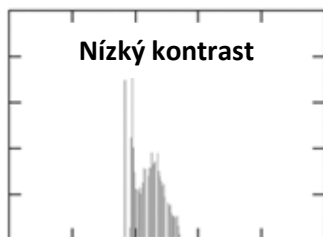
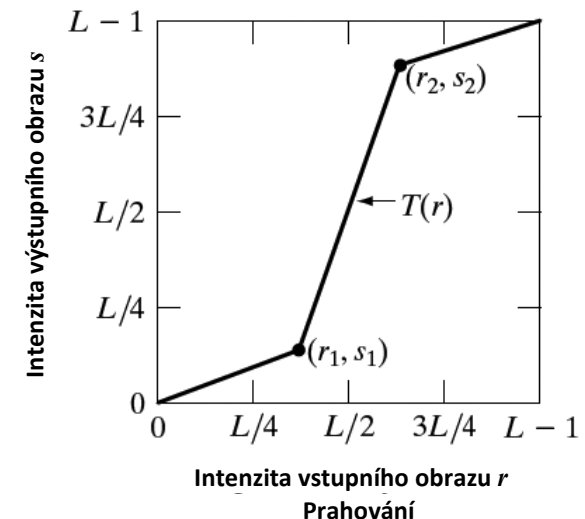
$$(r_1, s_1), (r_2, s_2)$$

- Typické nastavení

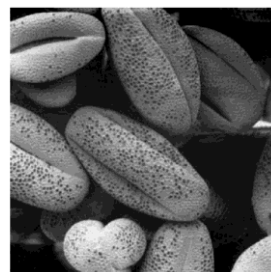
$$(r_1, s_1) = (r_{\min}, 0)$$

$$(r_2, s_2) = (r_{\max}, L - 1)$$

- Bere v úvahu **minimální** a **maximální** intenzitu



Nízký kontrast



Roztažení histogramu



Vysoký kontrast



Prahování



## □ Vyrovnání (ekvalizace) histogramu

### ❖ Metoda pro vylepšení kontrastu v obraze

- **Obraz s diskrétními hodnotami intenzity**

- Normovaný **histogram obrazu**

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{M N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

- $r_k$  je  $k$ -tá **úroveň intenzity** obrazu

- $n_k$  je **počet** obrazových **bodů** s **intenzitou**  $r_k$

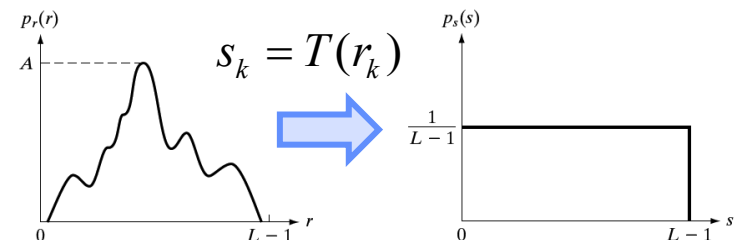
- $M N$  je celkový **počet obrazových bodů**

- $L$  celkový počet možných diskrétních úrovní v obraze

- **Diskrétní podoba transformace pro vyrovnání (ekvalizaci) histogramu**

$$s_k = T(r_k) = (L-1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j) =$$

$$= \frac{L-1}{M N} \sum_{j=0}^k n_j, \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$



## □ Vyrovnání (ekvalizace) histogramu

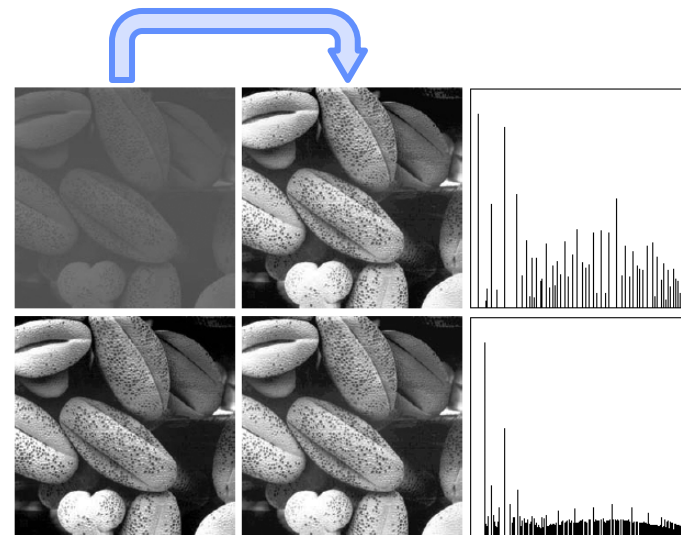
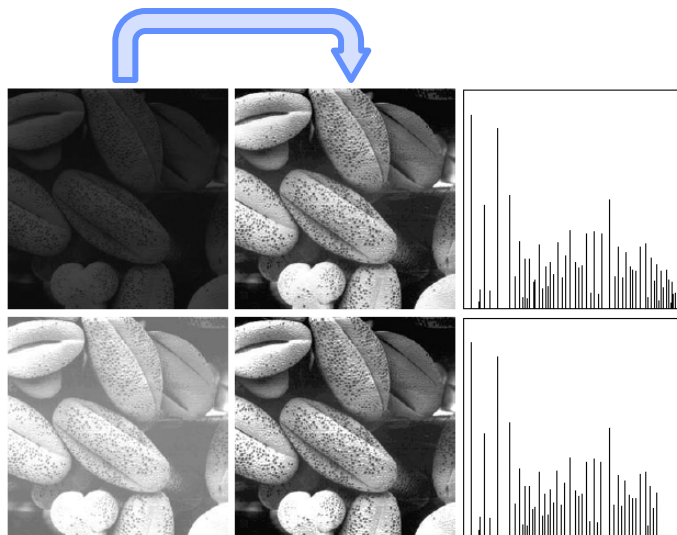
### ❖ Metoda pro vylepšení kontrastu v obraze

- Diskrétní podoba transformace pro vyrovnání (ekvalizaci) histogramu

$$s_k = T(r_k) = \frac{L-1}{M N} \sum_{j=0}^k n_j$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

- Ukázka aplikace vyrovnání histogramu

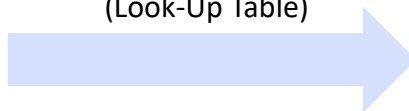


## Ukázka roztažení histogramu (zvýšení kontrastu)

Vstupní obrázek



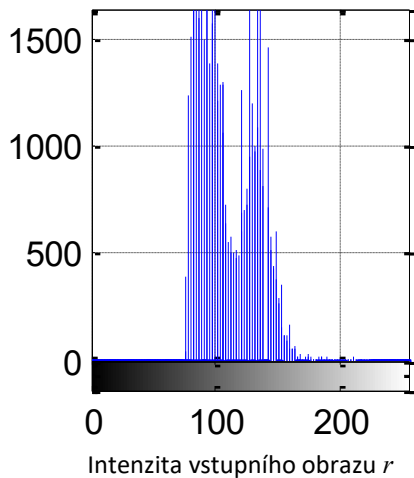
Aplikace převodní  
charakteristiky LUT  
(Look-Up Table)



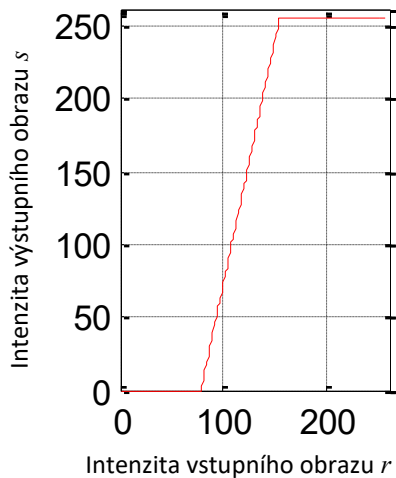
Výstupní obrázek



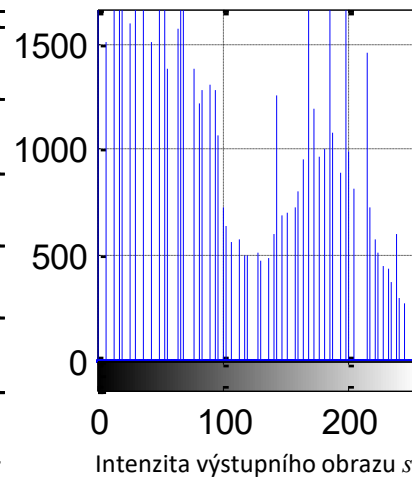
Histogram vstupního obrázku



LUT



Histogram výstupního obrázku



## Ukázka vyrovnání (ekvalizace) histogramu

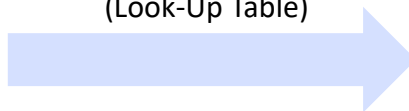
Vstupní obrázek



Výstupní obrázek



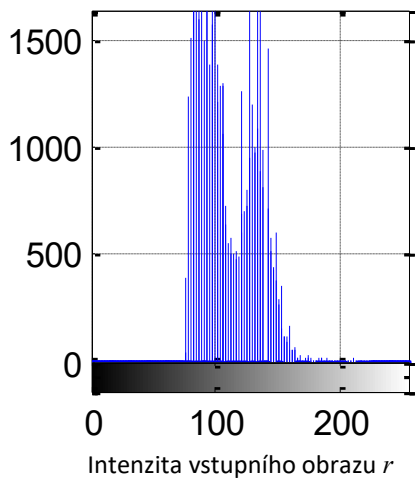
Aplikace převodní  
charakteristiky LUT  
(Look-Up Table)



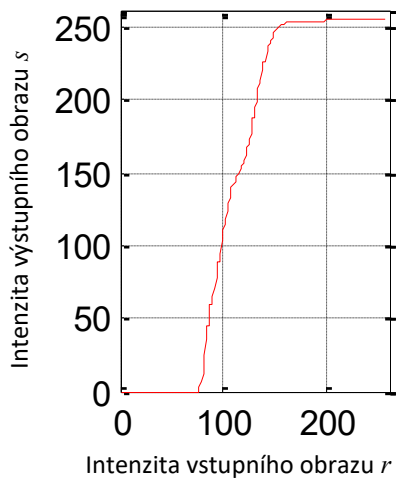
$$s_k = T(r_k) = \frac{L-1}{M N} \sum_{j=0}^k n_j$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

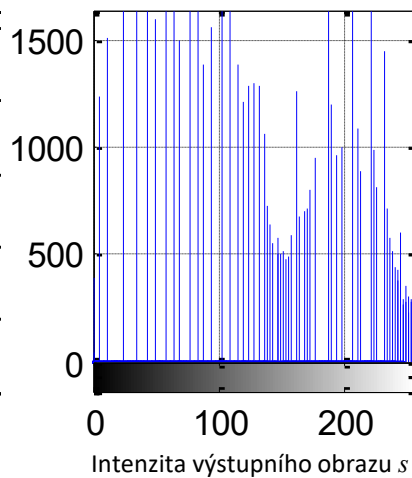
Histogram vstupního obrázku



LUT



Histogram výstupního obrázku



## □ 2D konvoluce ve spojitém prostoru

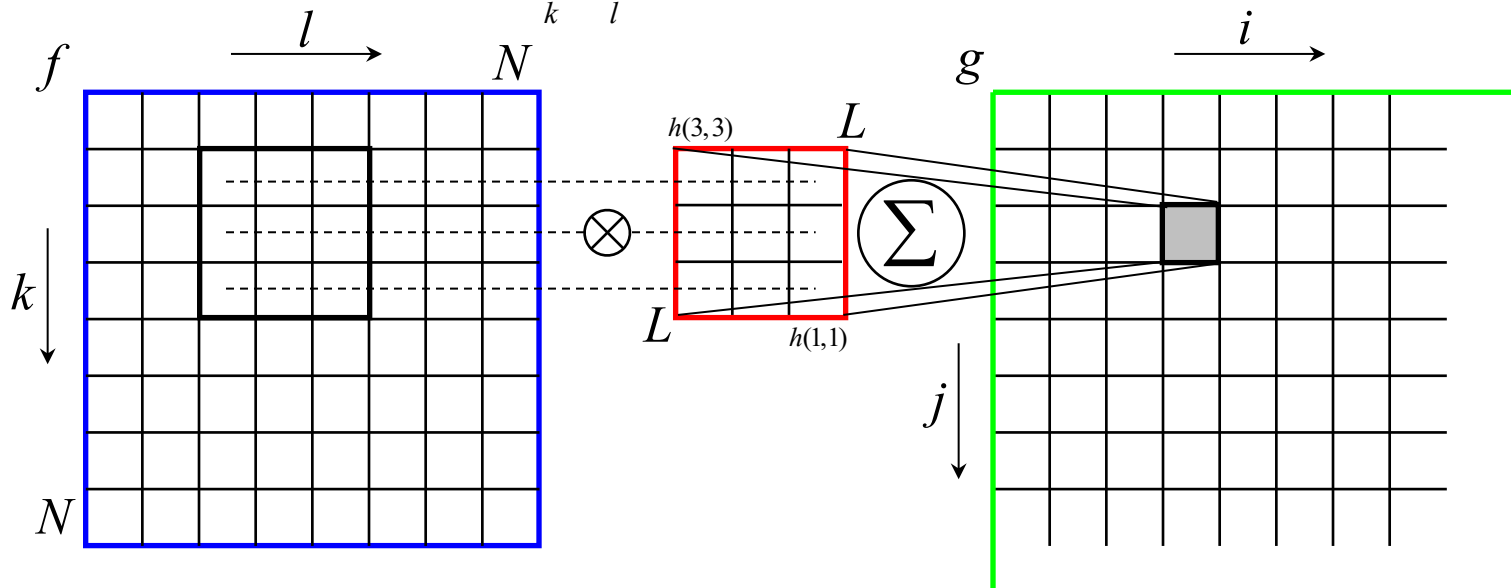
❖ Definována **konvolučním integrálem**

$$g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) = \int_{\mathbb{R}^2} f(\alpha, \beta) h(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta$$

## □ 2D konvoluce v diskrétní podobě

❖ **Různé definice** (zde kladné indexy...)

$$g(i, j) = \sum_k \sum_l f(i - k + 1, j - l + 1) h(k, l)$$





## ❑ Vyhlažující prostorové filtry

- Používají se k **vyhlazení obrazu** a **potlačení šumu**
- V **předzpracování** obrazu
  - Potlačení detailů, potlačení šumu (lineární, nelineární), ...

## ❖ Lineární **vyhlazující filtry**

- **Průměrování obrazových bodů** pod konvoluční maskou
  - Průměrující filtry, **dolní propust**
  - **Nahrazení hodnoty** obrazového bodu **průměrem** z okolních bodů
  - **Potlačení ostrých přechodů** v obraze
- **Aritmetický průměr** a **váhováný průměr**
  - **Váhováný průměr** dává větší význam **střednímu obrazovému bodu**

$$\frac{1}{9} \times \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} \quad \frac{1}{16} \times \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline 2 & 4 & 2 \\ \hline 1 & 2 & 1 \\ \hline \end{array}$$

## ❑ Vyhlažující prostorové filtry

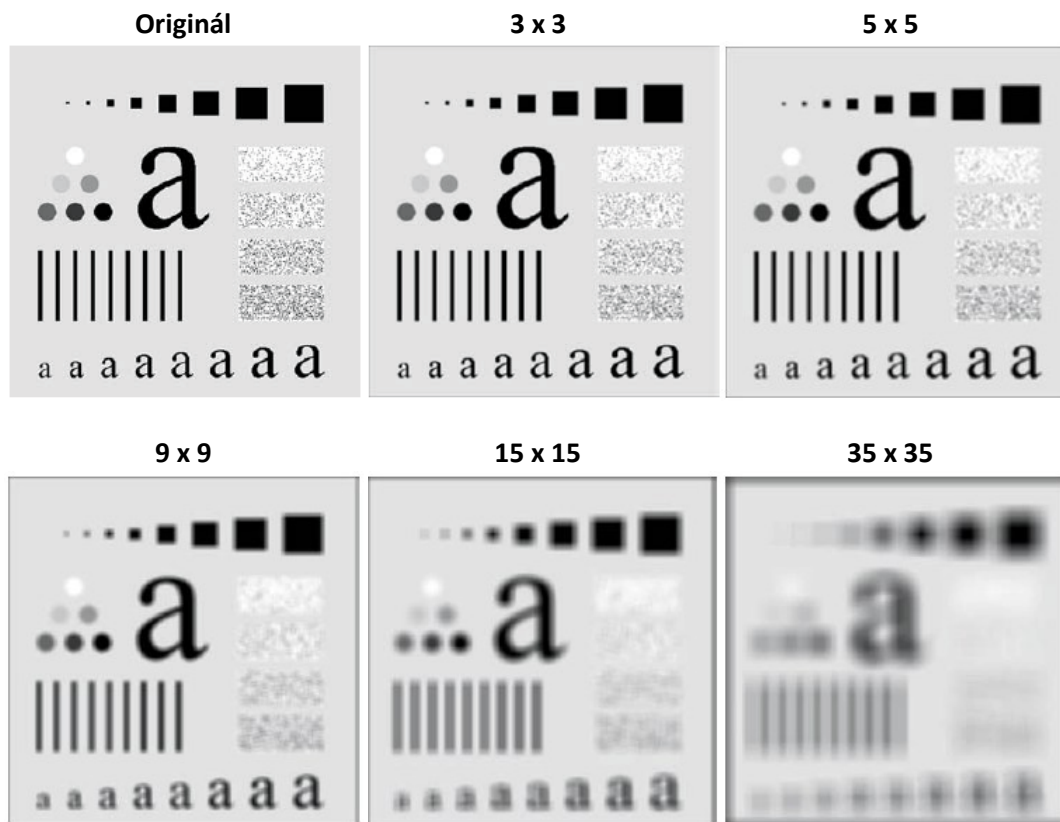
### ❖ Lineární vyhlazující filtry

- Aritmetický průměr příklad
  - Potlačení šumu, detailů

$$\frac{1}{9} \times$$

1	1	1
1	1	1
1	1	1

3 x 3



## ❑ Zostřující prostorové filtry

### ❖ Použití směrových derivací (gradient)

- Diskrétní aproximace gradientu pomocí masky (3 x 3)
- Aproximace gradientu pomocí Sobelova operátoru (3 x 3)
  - Lze vypočítat pomocí lineární filtrace

$$g_x(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)$$

$$g_y(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)$$

- Aproximace velikosti gradientu (nelineární operace)

$$M(x, y) \approx |(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)| + |(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)|$$

- Sobelův operátor provádí mírné vyhlazení

- Větší důraz na střední řádek/sloupec (koeficienty - 2)
- Součet prvků v masce dává nulu
- Toto je základní vlastnost derivačního operátoru

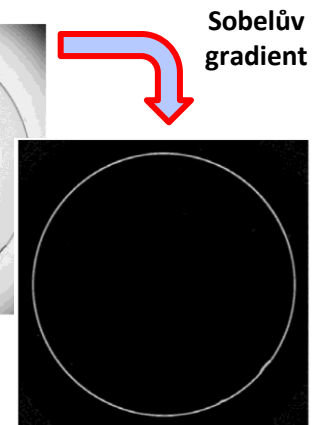
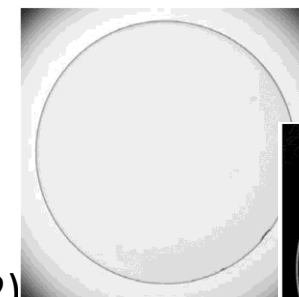
			$z_1$	$z_2$	$z_3$
			$z_4$	$z_5$	$z_6$
			$z_7$	$z_8$	$z_9$

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

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



## ❑ Zostřující prostorové filtry

### ❖ Použití neostré masky (unsharp masking)

- Klasické použití ve **fotografické** a **tiskové** technice

- **Odečtení vyhlazeného obrazu od originálu**

- **Postup aplikace**

- (1) Rozostření (**vyhlazení**) **originálního** obrázku

- (2) **Odečtení vyhlazeného** obrázku od originálu (**maska**)

- (3) **Přičtení masky** k originálu

$$I_{high} = I - (h_{\sigma} * I)$$

- (3) **Přičtení masky** k originálu

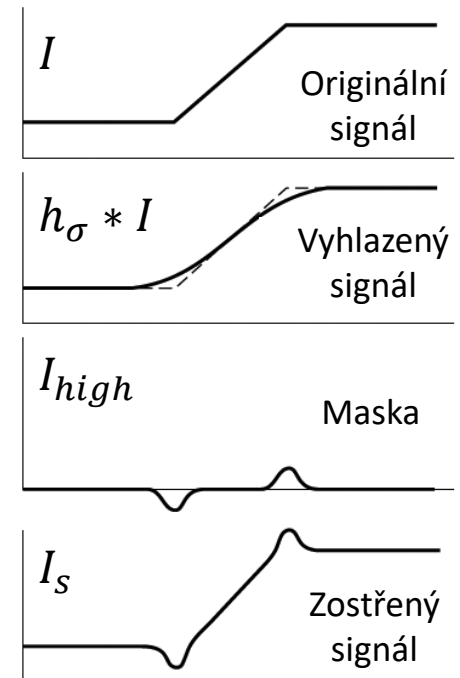
$$I_s = I + \alpha \cdot I_{high} = (1 + \alpha) \cdot I - \alpha \cdot (h_{\sigma} * I)$$

- **Nastavení filtrace** (síly ostření) konstantou  $\alpha$

- $\alpha = 1$  **Neostrá maska (unsharp masking)**

- $\alpha > 1$  **Zesílení vysokých kmitočtů (highboost filtering)**

- $\alpha < 1$  **Potlačení vlivu neostré masky**



## ❑ Zostřující prostorové filtry

### ❖ Použití neostré masky (unsharp masking)

- Originální obrázek

Original image





## ❑ Zostřující prostorové filtry

### ❖ Použití neostré masky (unsharp masking)

- Zostřený obrázek – příklad efektu přeostrění

Sharpened by the unsharp mask - sigma = 5, alpha = 1,5



## ❑ 2D diskretní Fourierova transformace

### ❖ Dvoudimenzionální diskretní FT (2D DFT)

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)}$$

$$u = 0, 1, 2, \dots, M - 1$$

$$v = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

- $f(x, y)$  **digitální obraz** o rozměru  $M \times N$
- $u, v$  diskretní prostorové kmitočty

### ❖ Inverzní dvoudimenzionální diskretní FT (2D IDFT)

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)}$$

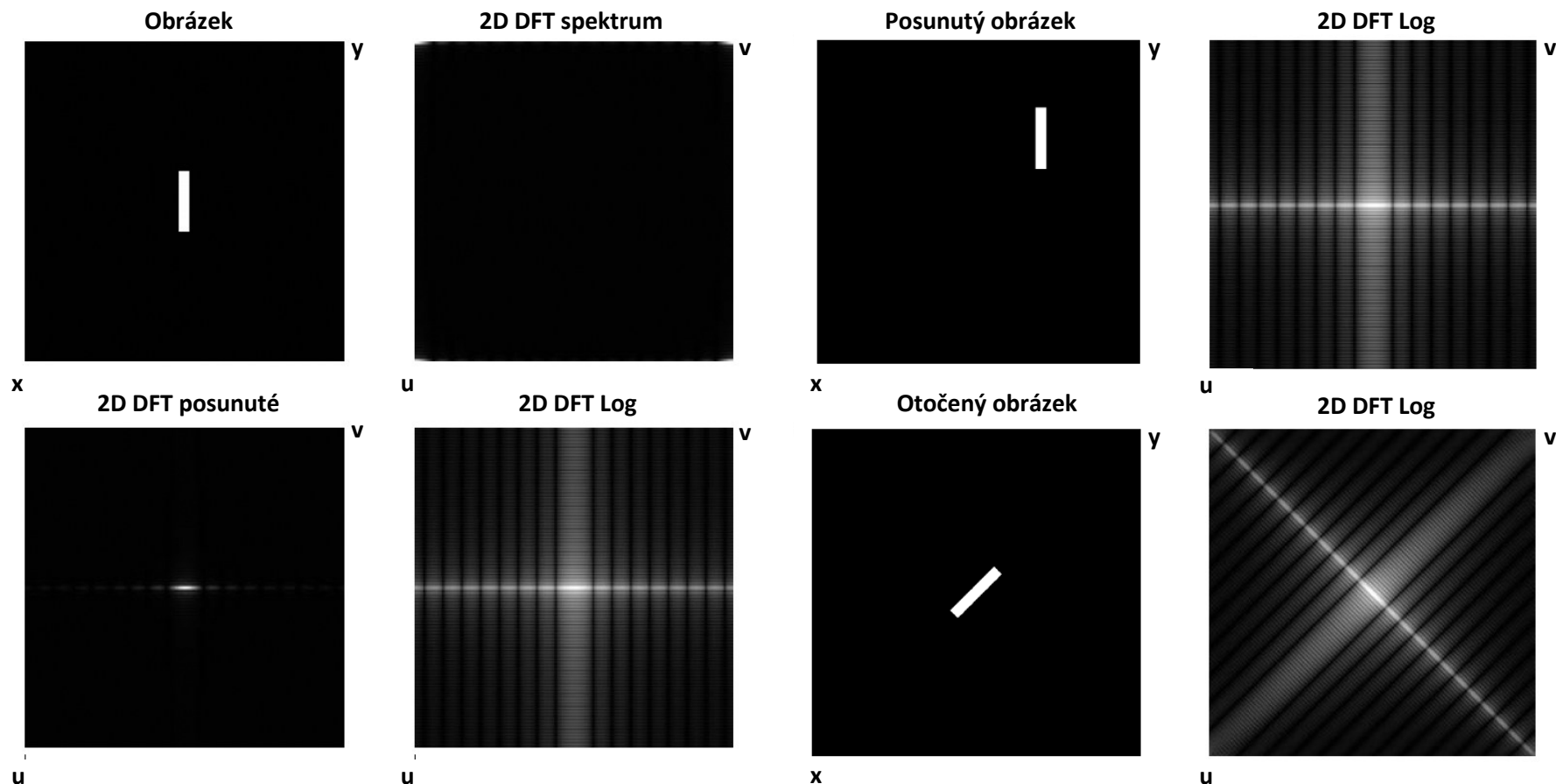
$$x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$$

$$y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

- $F(u, v)$  **diskretní 2D spektrum** o rozměru  $M \times N$
- $x, y$  diskretní prostorové souřadnice

## 2D diskrétní Fourierova transformace

### Ukázka výpočtu a zobrazení spektra



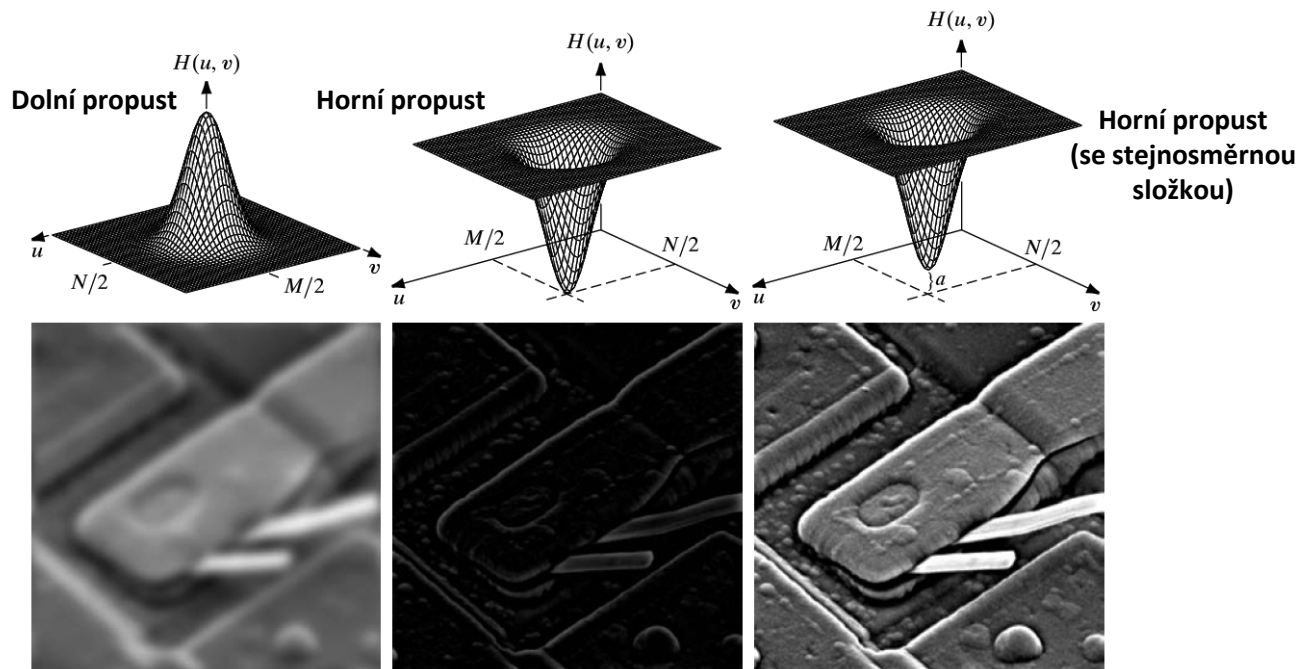
## ❑ Základy filtrace v kmitočtové oblasti

❖ **Filtrovaný obraz** v prostorové oblasti se **vypočítá** jako

$$g(x, y) = \text{IDFT}[H(u, v)F(u, v)]$$

- $F(u, v)$  **2D DFT** obrazové funkce  $f(x, y)$  o rozměru  $M \times N$
- $H(u, v)$  **Přenosová funkce** filtru (filtrační maska)

❖ **Ukázka filtrace v kmitočtové oblasti**





## □ Vyhlazování obrazu v kmitočtové oblasti

### ❖ Ukázka aplikace ideálního filtru



## ❑ Vyhlazování obrazu v kmitočtové oblasti

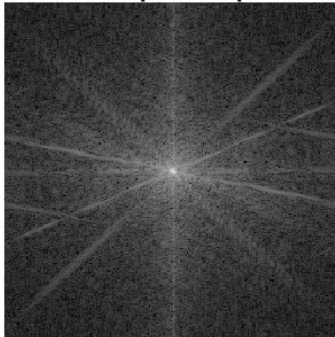
### ❖ Ukázka aplikace ideálního filtru

- Ukázka filtrace v kmitočtové oblasti pomocí jednoduchého filtru (ideální **dolní propust**)

Input image



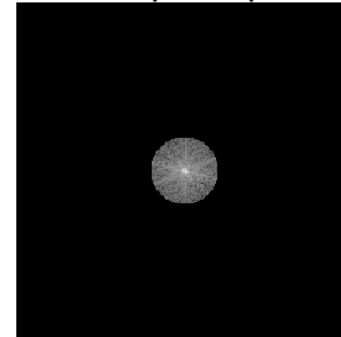
2D DFT amplitude spectrum



Output image



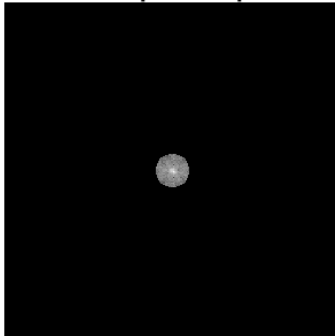
2D DFT amplitude spectrum



Output image



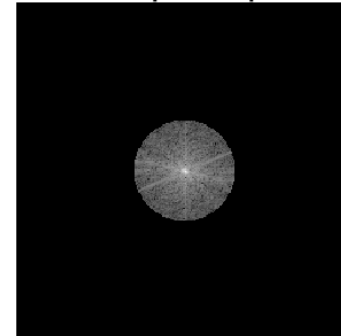
2D DFT amplitude spectrum



Output image



2D DFT amplitude spectrum



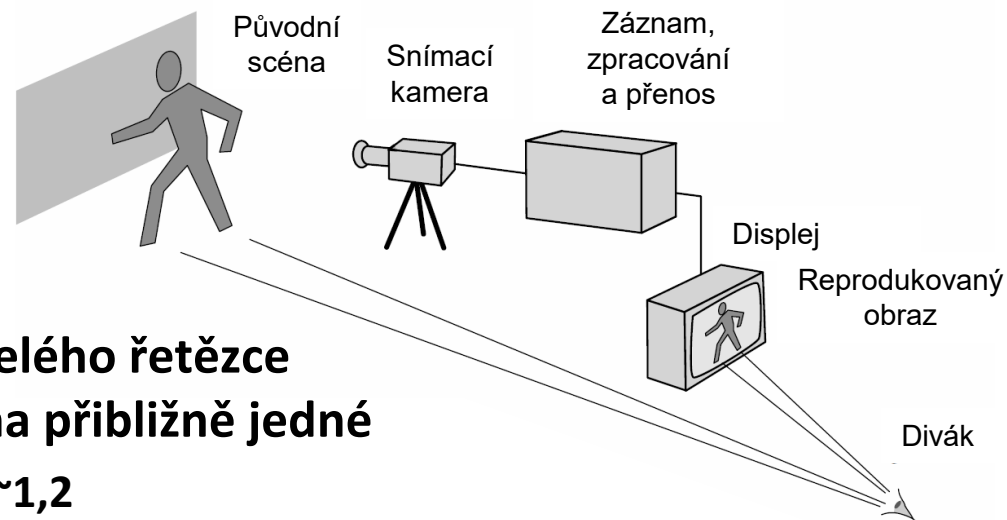
## ❑ Snímání a reprodukce v klasickém televizním systému

### ❖ Principiální nelinearita

- **Nelineární převodní charakteristika** mezi **jasem ve scéně** a **výstupním napětím** u **starších snímacích elektronek**
- **Lineární převodní charakteristika** u **novějších elektronek** a **CCD/CMOS**

### ❖ Reprodukce obrazu

- **Jas snímané scény** je na displeji reprodukován v příslušném poměru
- **Nelinearita v kameře** a na **displeji**



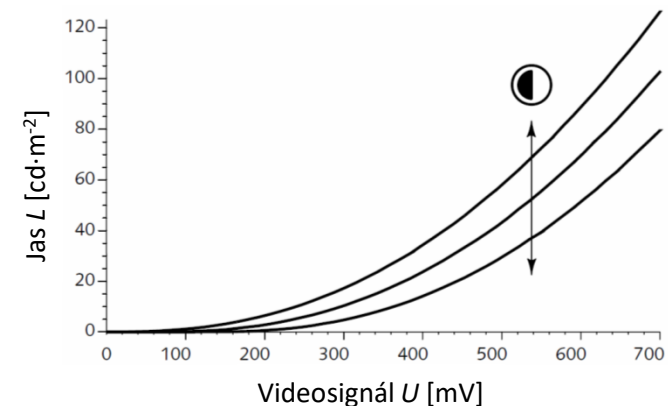
- **Hodnota gama celého řetězce** by měla být rovna **přibližně jedné**  
– **Prakticky okolo ~1,2**

## ❑ Snímání a reprodukce v klasickém televizním systému

### ❖ Typická převodní charakteristika původních CRT displejů

- Nelineární závislost jasu na budicím napětí
- Jas je přibližně úměrný 2,5 mocnině budicího napětí (prakticky  $\gamma_E = 2 \div 2,8$ )  

$$L = U^{\gamma_E}$$

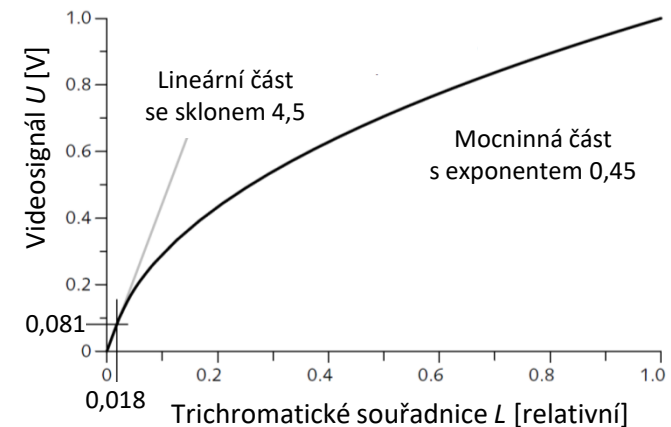


### ❖ Zpracování v TV kameře

- Gama korekce (podle doporučení Rec. 709)
- Založen na mocninné křivce s mocninou  $\gamma_D = 0,45$

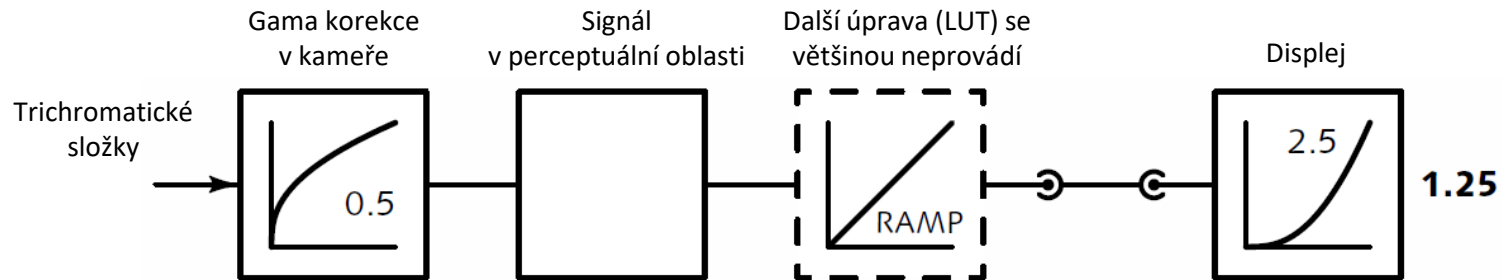
$$U = L^{\gamma_D}$$

- Sklon takové křivky v počátku je nekonečný
- Potlačení šumu v tmavých oblastech díky lineárnímu počátku



## ❑ Snímání a reprodukce v klasickém televizním systému

### ❖ Nelinearity v jednotlivých částech řetězce



## ❑ Další významné dopady korekce gama

### ❖ Příznivě ovlivňuje poměr signál/šum

- Šum je **viditelnější v tmavých částech** obrazu
- Korekcí gama v kameře jsou **nízké úrovně zesíleny**
- Při zobrazení jsou **nízké úrovně kvadratickou charakteristikou stlačeny**
- Tím dochází k **potlačení šumových složek**

### ❖ Korekce gama se používá i dnes

- Snímače a zobrazovače mají obvykle **lineární převodní charakteristiku**
- To je nutno na straně **kamery a displeje korigovat**

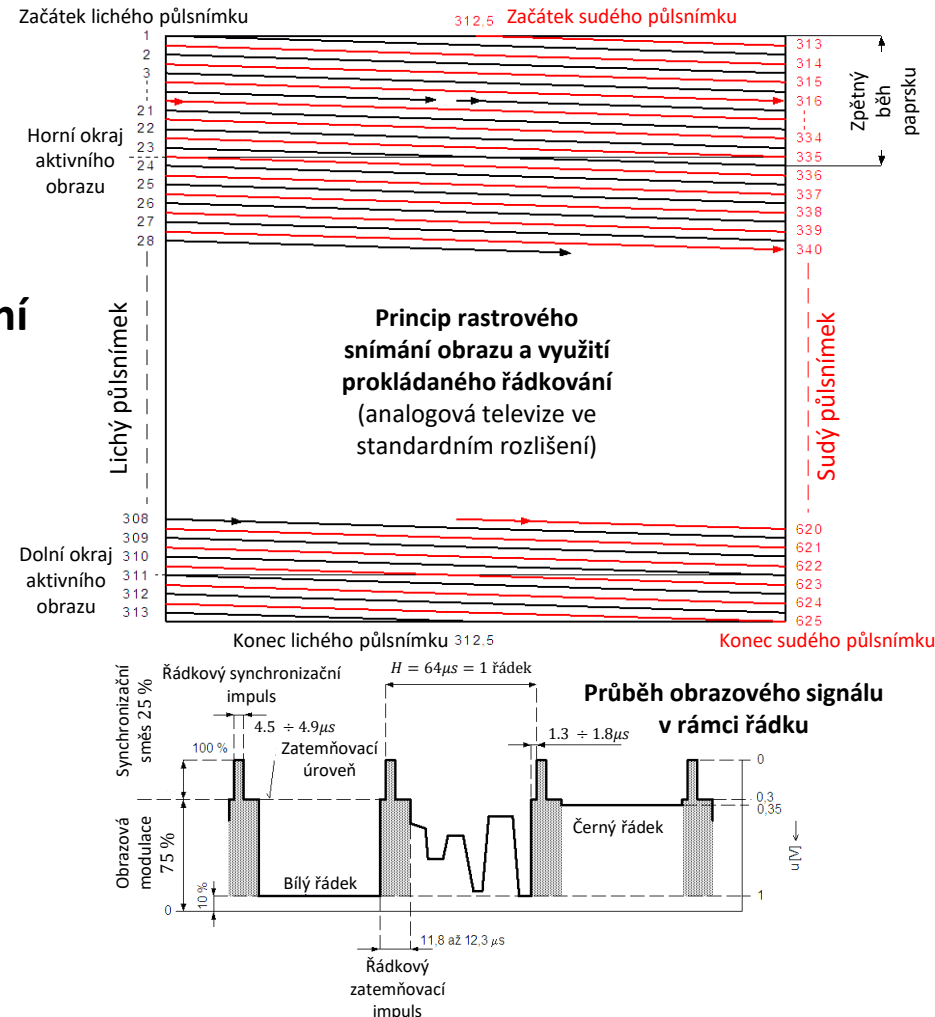


## Vznik videosignálu v analogové televizi

## ❖ Postupné **rastrové** snímání řádků obrazového pole

- **Obraz rozdělen na pulsničky**
- **Prokládané řádkování**
  - Snímání **lichých a sudých řádků**
  - Vyšší **pulsníkový kmitočet**  
**potlačení jevu blikání při zachování**  
**snímkového kmitočtu**
- **„Evropský“ televizní standard**
  - **Počet řádků**  $n = 625$
  - **Snímkový kmitočet**  $f = 25 \text{ fps}$
  - **Poměr stran**  $r = 4:3$
  - **Maximální kmitočet**  
obrazového signálu  $f_{\max}$

$$f_{\max} = \frac{1}{2} \cdot n \cdot r \cdot n \cdot f \approx 6,5 \text{ MHz}$$



## ❑ Vznik videosignálu v analogové televizi

### ❖ Periodický charakter videosignálu

- Diskrétní čárové spektrum
  - Vzdálenost hlavních čar dána řádkovým kmitočtem  $f_h = 15\,625\text{ Hz}$
  - Vzdálenost postranních čar dána pulsnímkovým kmitočtem  $f_v = 50\text{ Hz}$

### • „Evropský“ televizní standard

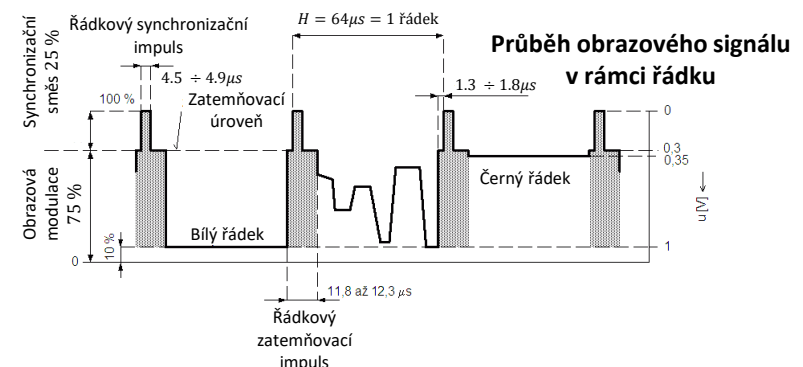
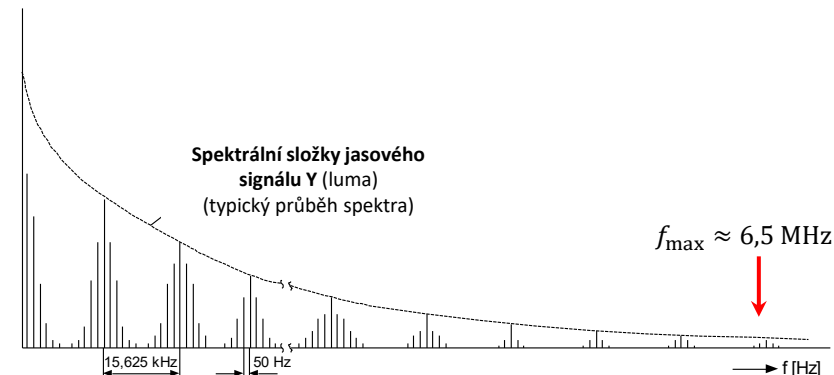
- Maximální kmitočť  $f_{\max}$

$$f_{\max} \approx 6,5\text{ MHz}$$

### • „Americký“ televizní standard

- Počet řádek  $n = 525$
- Snímkový kmitočť  $f = 30\text{ fps}$
- Maximální kmitočť  $f_{\max}$

$$f_{\max} \approx 5,5\text{ MHz}$$



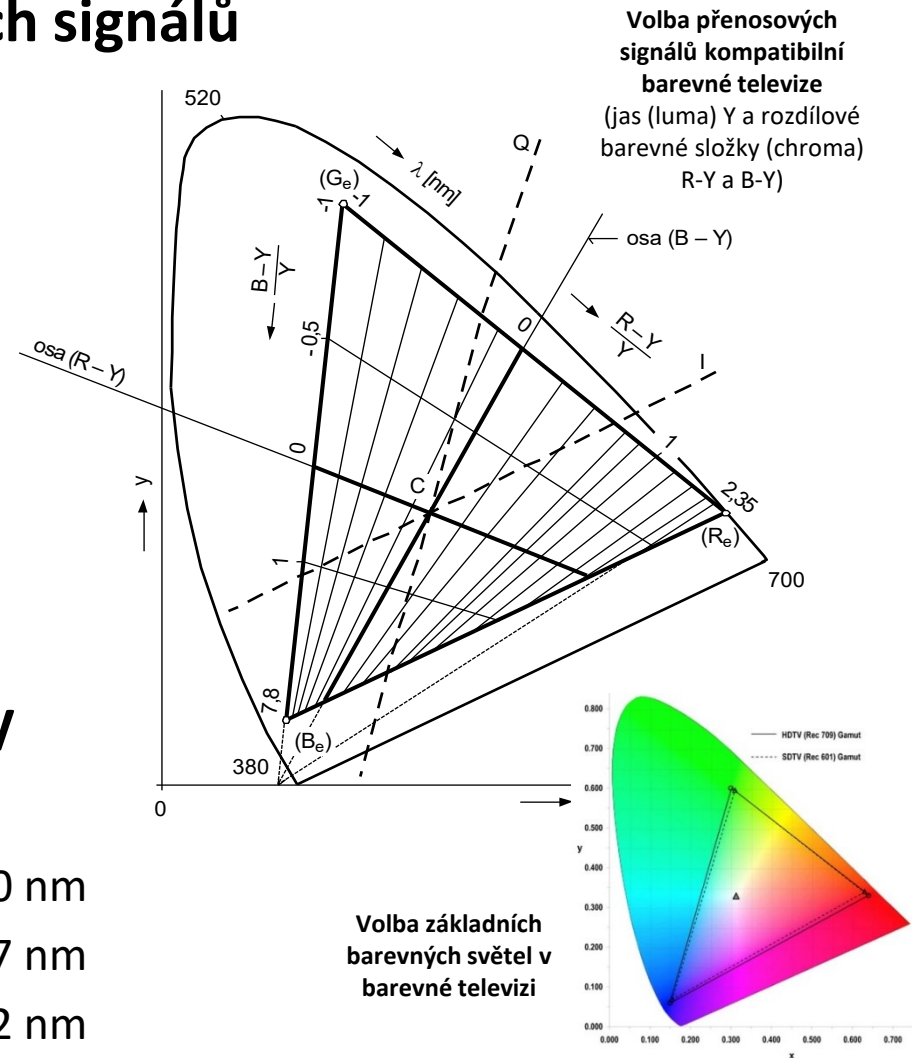
## ❑ Přenosové signály barevné televize

### ❖ Výběr vhodných přenosových signálů

- RGB signál transformován
  - Jasový (luma) signál Y
  - Barevné rozdílové (chroma) signály R-Y, B-Y
- Kompatibilita s černobílou televizí
- Ušetření přenosového pásma
  - HVS má menší prostorové rozlišení v barvách

### ❖ Základní barvy analogové TV

- Určeno podle CRT fosforů
  - R:  $x = 0,67$   $y = 0,33$   $\lambda = 610$  nm
  - G:  $x = 0,21$   $y = 0,71$   $\lambda = 537$  nm
  - B:  $x = 0,14$   $y = 0,08$   $\lambda = 472$  nm



## ❑ Přenosové signály barevné televize

### ❖ Maticová konverze RGB → Y, R-Y, B-Y

$$\begin{bmatrix} Y \\ R-Y \\ B-Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.701 & -0.587 & -0.114 \\ -0.299 & -0.587 & 0.886 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

### ❖ Maticová konverze Y, R-Y, B-Y → RGB

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -0.509 & -0.194 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y \\ R-Y \\ B-Y \end{bmatrix}$$

### ❖ Princip konstantního jasu

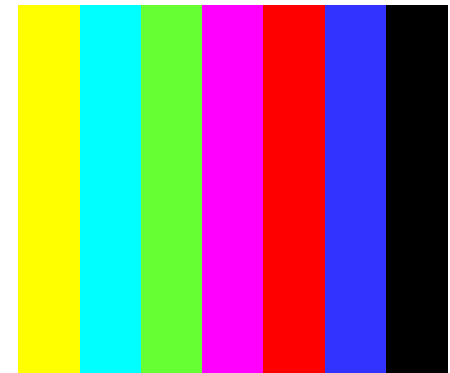
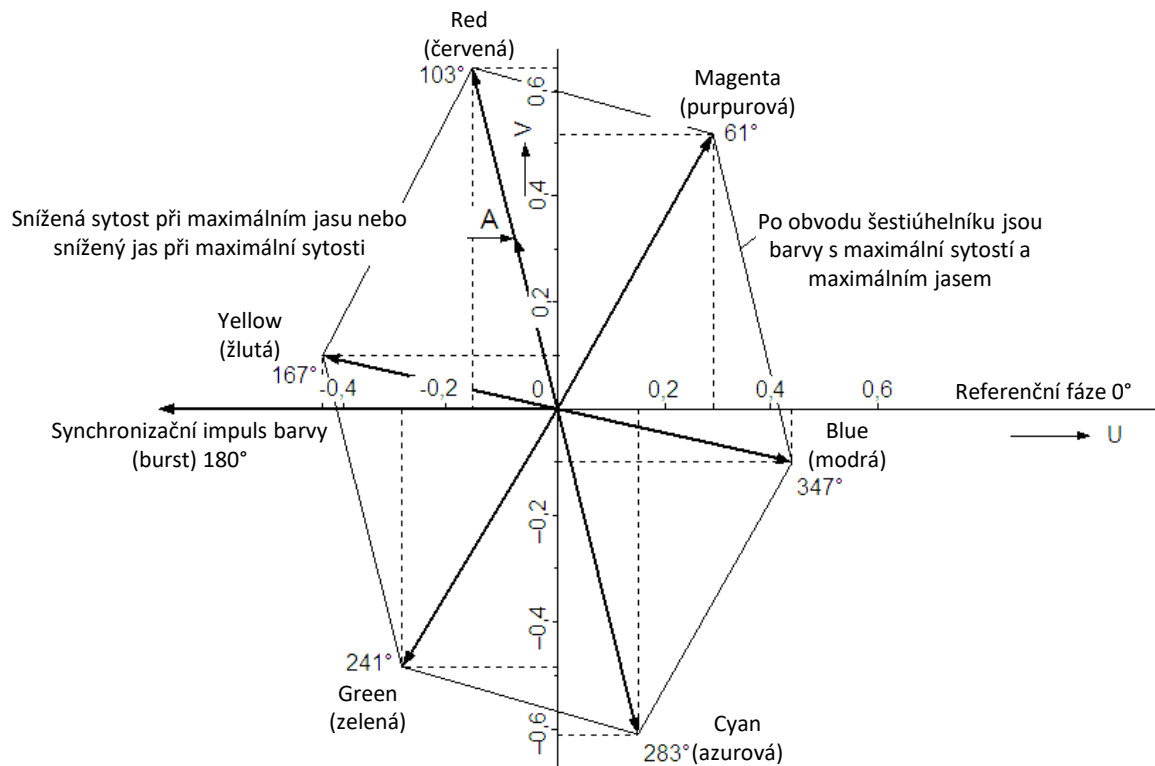
- Veškerá informace o jasu scény je přenášena jasovým signálem
- Rozdílové chrominanční signály R-Y, B-Y nepřispívají k celkovému jasu Y

$$\begin{aligned} Y_{TOT} &= Y + 0.30(R-Y) + 0.59(G-Y) + 0.11(B-Y) = \\ &= 0.30 \cdot R + 0.59 \cdot G + 0.11 \cdot B \end{aligned}$$

## ❑ Přenosové signály barevné televize

### ❖ Využití vektoru chrominance pro kompatibilní barevnou TV

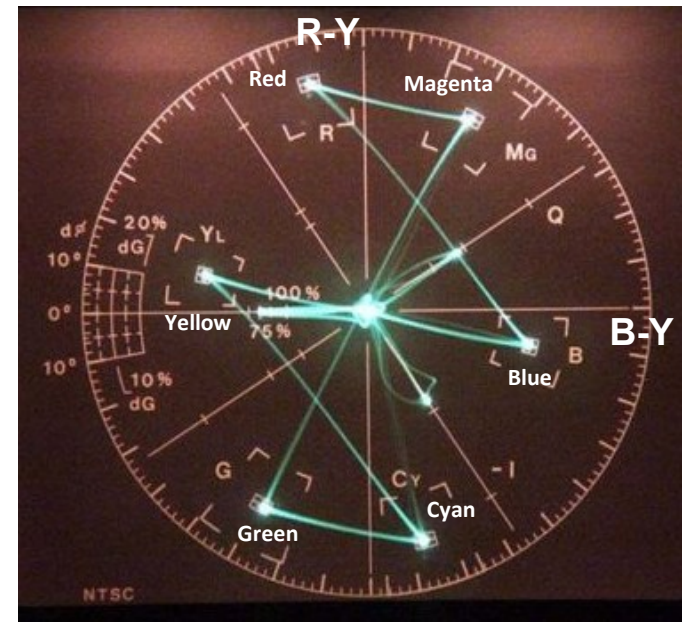
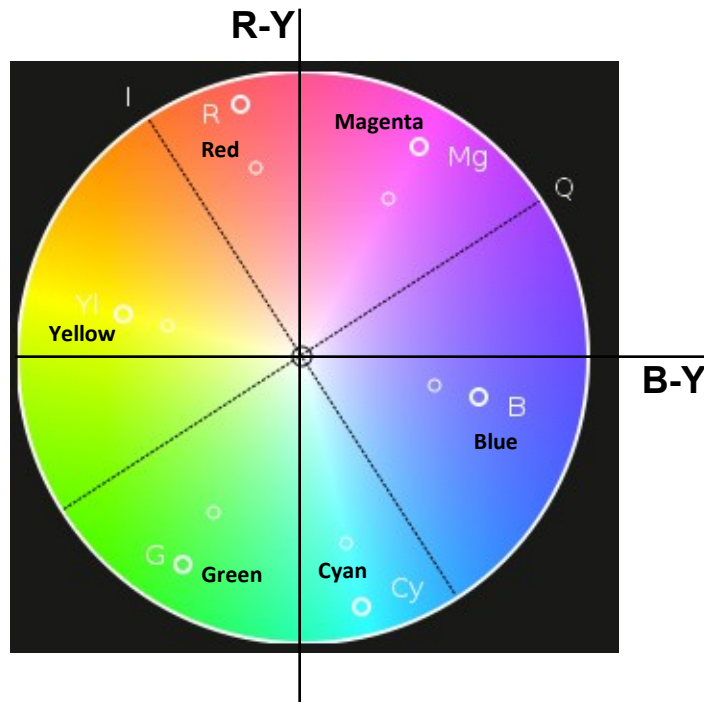
- Rozdílové barevné signály R-Y, B-Y – značí se také U, V nebo Cr, Cb





## ❑ Přenosové signály barevné televize

### ❖ Vektorskop (typ osciloskopu) - zobrazení vztahu R-Y a B-Y

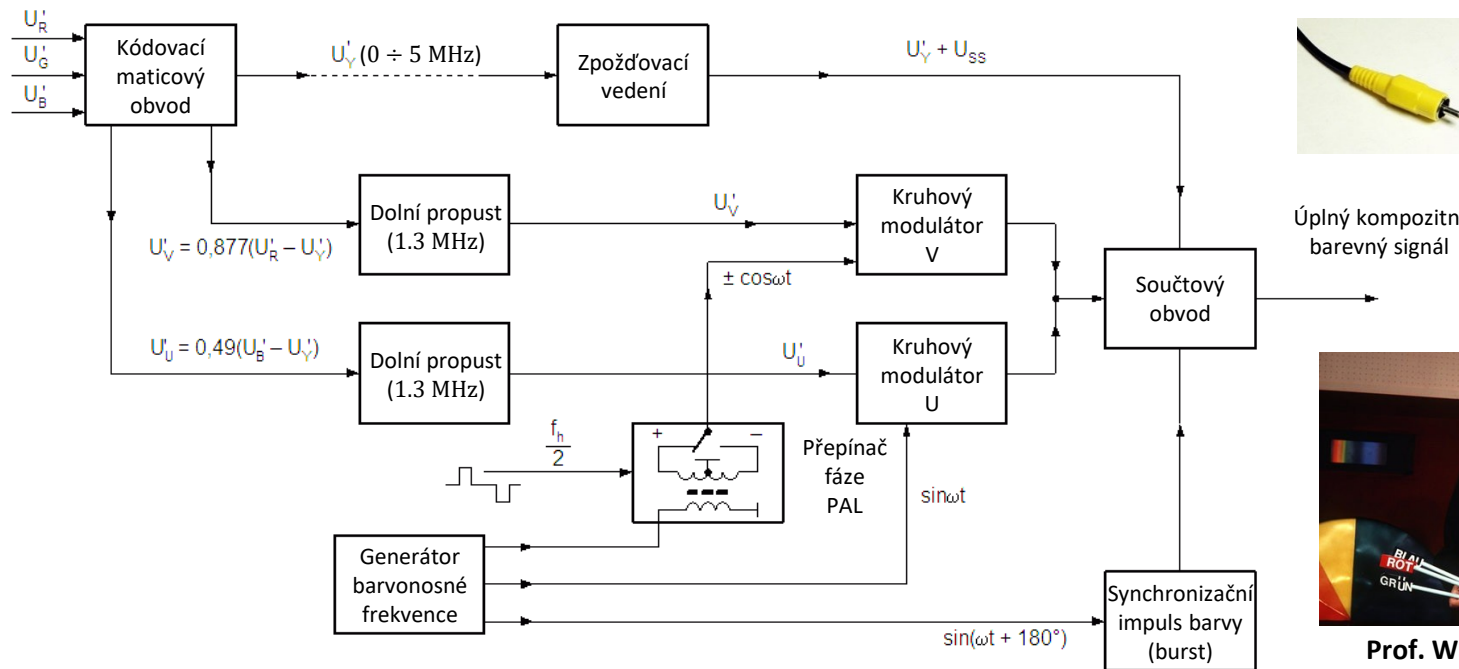


$$\begin{bmatrix} Y \\ R-Y \\ B-Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.701 & -0.587 & -0.114 \\ -0.299 & -0.587 & 0.886 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

## ❑ Přenosové signály barevné televize

### ❖ Kodér barevné analogové TV v systému PAL (1963)

- **PAL** (Phase Alternating Line) - přepínání signálu (R-Y) o  $180^\circ$
- Vznik úplného kompozitního analogového barevného signálu
  - Používán i v současnosti (starší bezpečnostní kamery, „žlutý RCA cinch“, ...)



Úplný kompozitní barevný signál

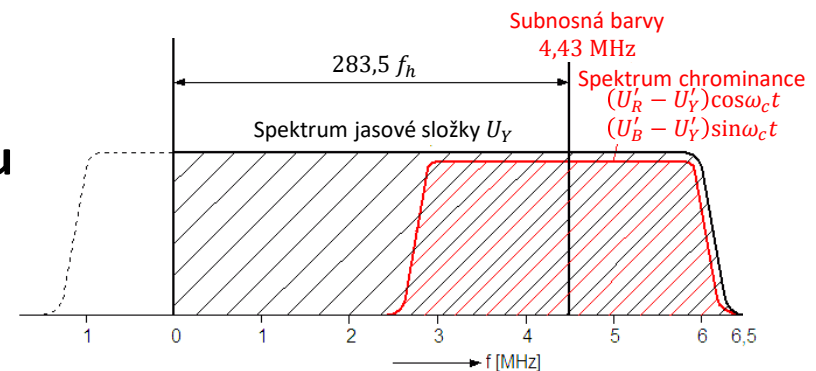


**Prof. Walter Bruch (1908 - 1990)**  
(vynálezce PAL, Telefunken, Německo, 1963)

## ❑ Přenosové signály barevné televize

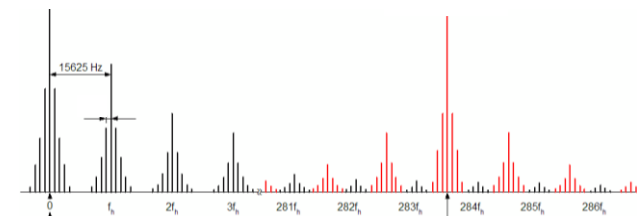
### ❖ Kodér barevné analogové TV v systému PAL

- Využití kvadrurní amplitudové modulace (QAM) pro přenos chrominance
  - Chrominanční signály **modulují pomocnou nosnou**  $f_c \approx 4,43$  MHz
- Přenos **synchronizačního impulsu barvy** (SIB, „burst“)



### ❖ Proložení spektra jasového signálu a barvonosné

- Použito v systémech PAL a NTSC
- **Frekvenční multiplex**
- **Menší šířka pásma chrominance**
  - Okolo 1,3 MHz (PAL)



Proložení spektra jasové a chrominanční složky

## □ Doporučení mezinárodní telekomunikační unie

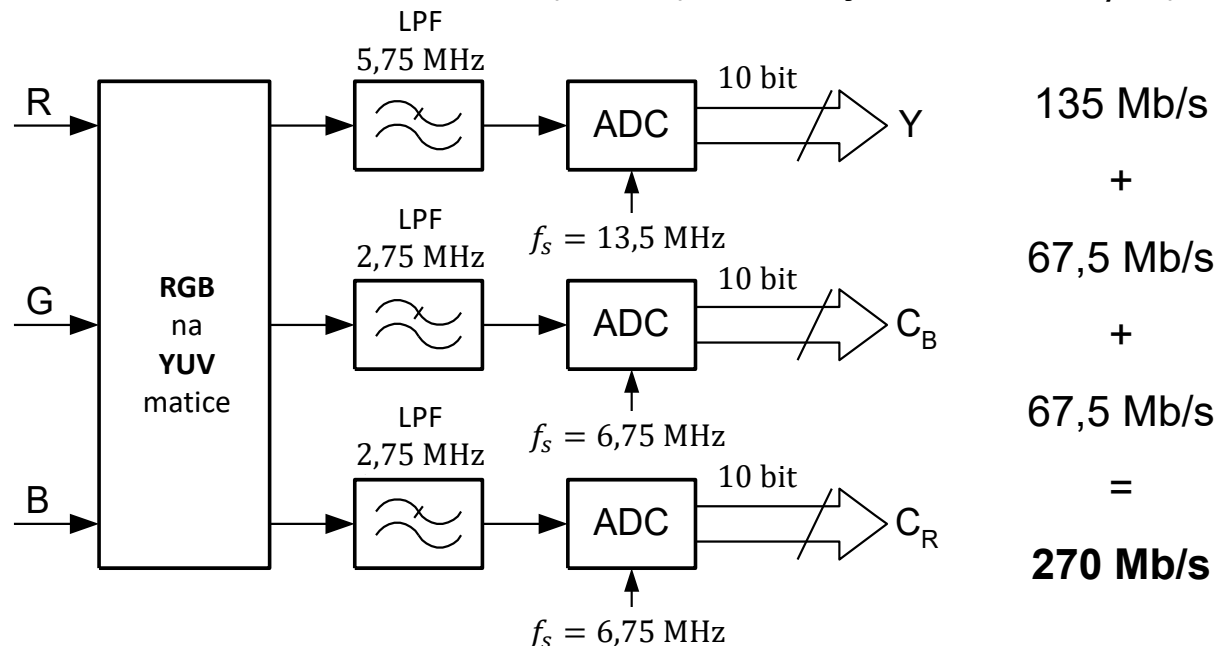
### ❖ International Telecommunication Union (ITU)

### ❖ Vybraná doporučení ITU pro digitální televizní standardy

- ITU-R Rec. **BT.601-7** (03/2011) – **standardní rozlišení (SD)**  
**Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide screen 16:9 aspect ratios** (první verze 1982)
- ITU-R Rec. **BT.709-6** (06/2015) – **vysoké rozlišení (HDTV)**  
**Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange** (první verze 1993)
- ITU-R Rec. **BT.2020-2** (10/2015) – **ultra vysoké rozlišení (UHDTV)**  
**Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange** (první verze 2014)
- ITU-R Rec. **BT.2100-2** (07/2018) – **vysoký dynamický rozsah (HDR)**  
**Image parameter values for high dynamic range television for use in production and international programme exchange** (první verze 2016)

## □ Digitalizace složkového videosignálu

- ❖ Digitalizované složky jas Y a rozdílové barevné R-Y (U), B-Y (V)
- ❖ Doporučení ITU-R Rec. BT.601 (1982)
  - Parametry digitalizace pro videosignál ve standardním rozlišení SD
    - Vzorkovací kmitočty: Jas (Y) 13,5 MHz, Chrominance ( $C_B$  a  $C_R$ ) 6,75 MHz
    - Digitalizace provedena po gamma korekci
    - Lineární kvantizace PCM 8bit (10 bit) – bitový tok 216 Mb/s (270 Mb/s)

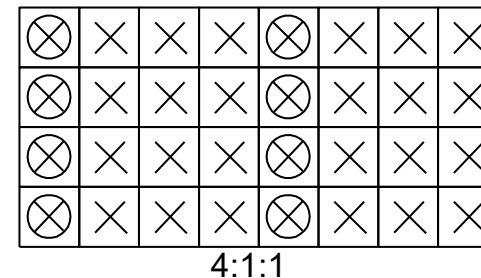
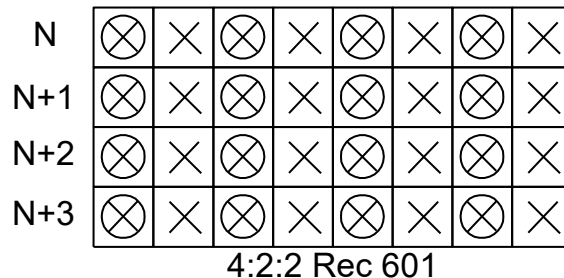




## □ Digitalizace složkového videosignálu

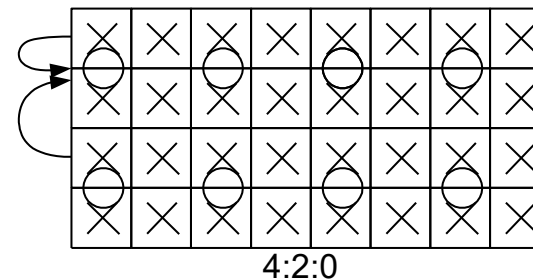
### ❖ Vzorkovací formáty – podvzorkování barevných složek

- **J:a:b** – značení podvzorkování barevných složek
  - **J** – šířka bloku jasových vzorků (základ 4)
  - a** – počet chroma vzorků v horním řádku
  - b** – počet chroma vzorků ve spodním řádku
- **Typické formáty 4:4:4** – bez podvzorkování, **4:2:2** – horizontálně na polovinu, **4:1:1** – horizontálně na čtvrtinu, **4:2:0** – horizontálně i vertikálně na polovinu



⊗ Jasové vzorky Y

○ Chrominanční vzorky (R-Y, B-Y)



## ❑ Rec. BT.601 – digitalizace prokládaného SD signálu

### ❖ Původní verze CCIR z roku 1982

(Comité consultatif international pour la radio)

- Kódování **televizních signálů** v SD rozlišení **525/60Hz** a **625/50Hz**
- **720 jasových** a **360 barevných vzorků** na řádku v **YCbCr 4:2:2**
- **Počet aktivních řádků** na snímek **576** („Evropská“ PAL varianta)
- **Vzorkování jasového signálu 13,5 MHz**
- **Kvantizace 8 nebo 10 bitů PCM** v YCbCr prostoru

### ❖ Definice **nelineární převodní charakteristiky**

$$E = \begin{cases} 4,5L & 0 \leq L < 0,018 \\ 1,099L^{0,45} - 0,099 & 0,018 \leq L \leq 1 \end{cases}$$

–  $L$ - jas v obraze,  $E$ - odpovídající obrazový signál

- **Lineární** v blízkosti nuly, **gamma charakteristika** pro vyšší jasy

### ❖ Odvození **luma signálu**

$$E'_Y = 0,299E'_R + 0,587E'_G + 0,114E'_B$$

## ❑ Rec. BT.709 – specifikace HDTV 16:9 formátu

- ❖ Pracovní verze ITU-T od roku 1990
- ❖ Part 2 specifikuje **1080i** a **1080p** se čtvercovým vzorkováním
  - Snímání v **progresivním** a **prokládaném** módu
  - Definice **CIF** (Common Interchange Format)
- ❖ Snímkové kmitočty **60, 50, 30, 25** and **24 Hz**
- ❖ Kódování **R'G'B'** a **Y'C<sub>B</sub>C<sub>R</sub>** v 8 nebo 10 bitové kvantizaci
- ❖ Definice **nelineární převodní charakteristiky** jako u BT.601
- ❖ Odvození **luma signálu** (i chroma **odlišné od ITU-R BT.601**)

$$E'_Y = 0,2126E'_R + 0,7152E'_G + 0,0722E'_B$$

Parametr	Hodnoty
Poměr stran	16:9
Aktivních vzorků na řádku	1 920
Vzorkovací mřížka	Pravoúhlá
Aktivních řádek	1 080
Poměr stran pixelů	1:1 (čtvercové obrazové body)

## ❑ Rec. BT.2020 – specifikace UHDTV formátu

### ❖ Pracovní verze ITU-T od roku 2012

### ❖ Specifikuje zejména...

- Rozlišení – 3840 x 2160 (UHD I) a 7680 x 4320 (UHD II, ~24 Gb/s!)
- Snímkový kmitočet – 120, 100, 60, 50, 30, 25, 24 Hz
- Vzorkování barev – 4:4:4, 4:2:2 a 4:2:0
- Bitovou hloubku – 10 nebo 12 bitové kvantizace
- Barevný prostor – mnohem širší gamut než z BT.709

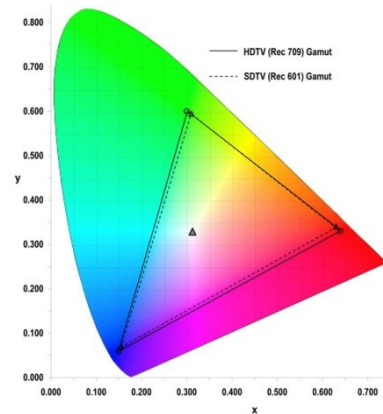
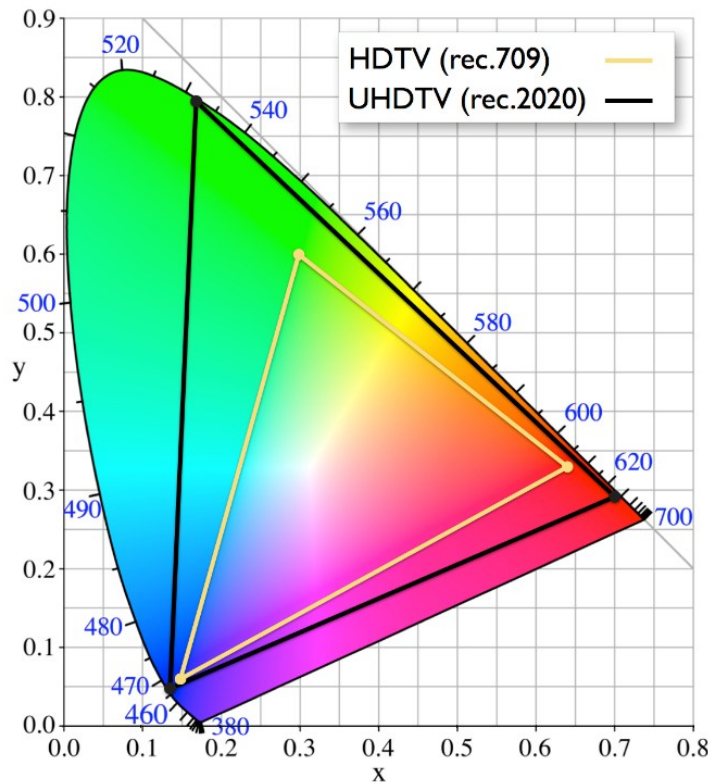
### ❖ Základní charakteristiky

Parametr	Hodnoty	
Poměr stran	16:9	
Počet obrazových bodů (horizontálně × vertikálně)	7 680 × 4 320	3 840 × 2 160
Vzorkovací mřížka	Pravoúhlá	
Poměr stran pixelů	1:1 (čtvercové obrazové body)	
Adresování pixelů	Pořadí pixelů v řádku zleva doprava a řádky uspořádané shora dolů	

## □ Rec. BT.601, 709, 2020

### ❖ Porovnání barevných gamutů

- ITU-R Rec. 601 a 709 mají **velmi podobné pokrytí**
- ITU-R Rec. 2020 má **rozšířený barevný gamut WCG** (Wide Color Gamut)



Parametr	ITU-R Rec. BT.601		ITU-R Rec. BT.709		ITU-R Rec. BT.2020	
CIE 1931	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
R	0,640	0,330	0,640	0,330	<b>0,708</b>	<b>0,292</b>
G	0,290	0,600	<b>0,300</b>	0,600	<b>0,170</b>	<b>0,797</b>
B	0,150	0,060	0,150	0,060	<b>0,131</b>	<b>0,046</b>
Pokrytí CIE 1931	~35,9 %		35,9 %		75,8 %	
Referenční bílá ( <i>D</i> <sub>65</sub> )	<i>x</i>			<i>y</i>		
	0,3127			0,3290		



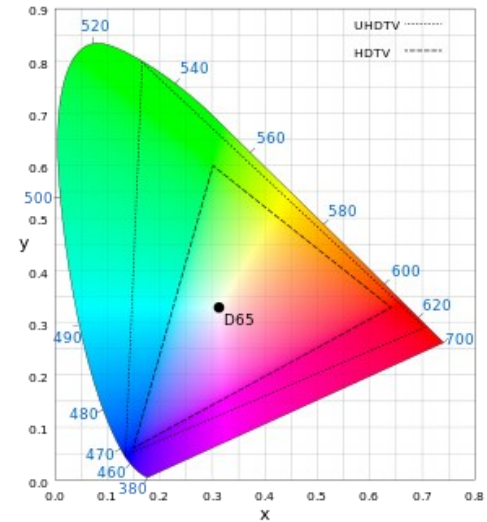
## ❑ Systémy s **ultra vysokým rozlišením (UHDTV)**

### ❖ Požadavek na **vyšší snímkový kmitočet**

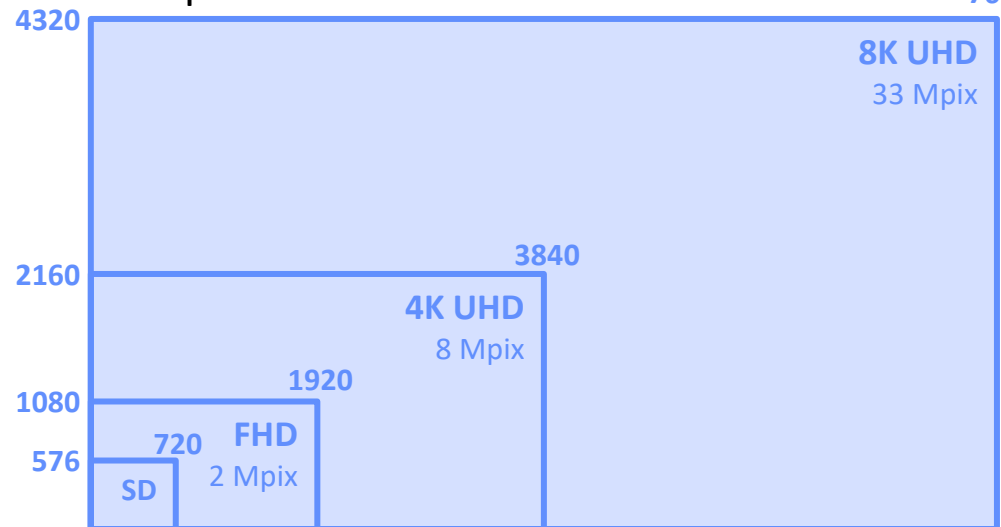
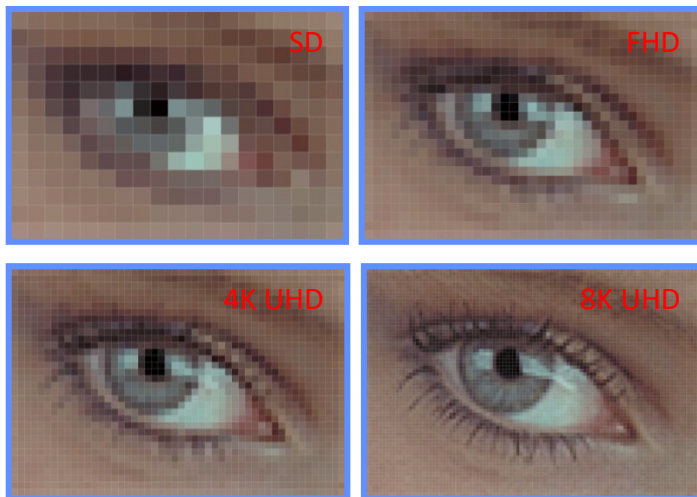
- Zmenšení pozorovací vzdálenosti
  - 1,5 H pro 4K a 0,75 H pro 8K
  - Vyrůstá nebezpečí vjemu trhaného pohybu

### ❖ Možnost rozšíření barevného gamutu

- Rozšířený gamut pro UHDTV (ITU-R BT.2020)
  - **Větší rozsah** reprodukováných **barev** oproti HDTV



7680



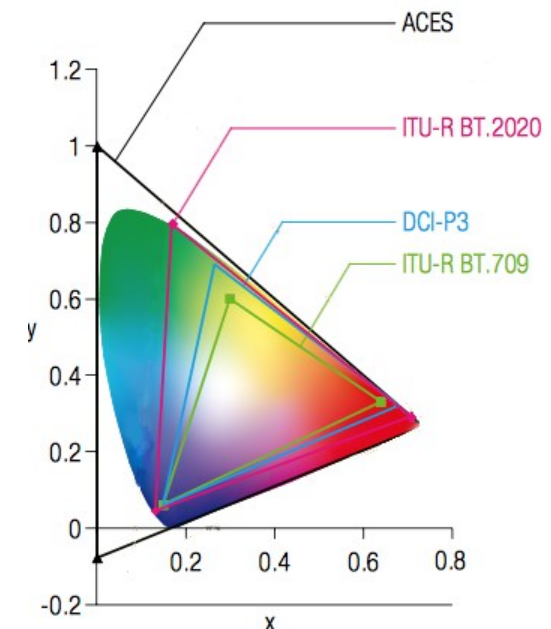
## □ DCI-P3

- ❖ Navržen DCI (Digital Cinema Initiatives) pro **digitální kino**
- ❖ Pokrývá 45,5 % CIE 1931
  - Sytější zelená a červená proti Rec. 709

## □ ACES (Academy Color Encoding System)

- ❖ Navržen AMPAS (Academy of Motion Picture Arts and Sciences)
- ❖ Pokrývá 100 % CIE 1931
  - Nereálné základní barvy

Parametr	Rec. BT.709		Rec. BT.2020		ACES		DCI-P3	
CIE 1931	x	y	x	y	x	y	x	y
R	0,640	0,330	0,708	0,292	0,7347	0,2653	0,680	0,320
G	0,300	0,600	0,170	0,797	0,0000	1,0000	0,265	0,690
B	0,150	0,060	0,131	0,046	0,0001	-0,0770	0,150	0,060
Bílý bod	0,3127	0,3290	0,3127	0,3290	0,32168	0,3290	0,314	0,351
Pokrytí CIE 1931	35,9 %		75,8 %		100 %		45,5 %	



- ❑ Gonzalez, R. C., Woods, R. E. **Digital image processing**, Prentice-Hall, 2007.
- ❑ Gonzalez, R. C., Woods, R. E., Eddins, S. L. **Digital image processing using MATLAB**, Gatesmark, 2009.
- ❑ Poynton, C. **Digital Video and HDTV Algorithms and Interfaces**, Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2003.
- ❑ ITU-R Rec. **BT.601-7** (03/2011) **Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide screen 16:9 aspect ratios**
- ❑ ITU-R Rec. **BT.709-6** (06/2015) **Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange**
- ❑ ITU-R Rec. **BT.2020-2** (10/2015) **Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange**



# Audiovizuální technika

Děkuji za pozornost!

