Úpravy obrazu

Vybrané partie z IT

Mgr. Markéta Trnečková, Ph.D.

Palacký University, Olomouc

Obraz

- Aritmetické operace
- Logické operace
- množinové operace

Aritmetické operace

- **Obrazy**: f, g (velikost $M \times N$)
- **Aritmetické operace** (prvek po prvku):
  - sčítání
  - odčítání
  - násobení
  - dělení

Součet obrazů

- $h(x,y) = f(x,y) + g(x,y)$
- $\forall x \in \{0,\dots,M\},\ \forall y \in \{0,\dots,N\}$
- **Aplikace**
  - Morfing
  - Minimalizace šumu (průměrováním)

Obraz 1.

Obraz 2.

Morfing.

Součet obrazů

- $h(x,y) = f(x,y) + g(x,y)$
- $\forall x \in \{0,\ldots,M\}$, $\forall y \in \{0,\ldots,N\}$
- **Aplikace**
  - Morfing
  - Minimalizace šumu (průměrováním)

Jeden z obrazů obsahující šum.

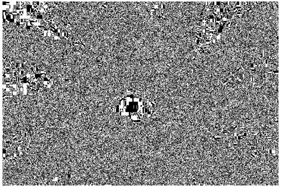
Zprůměrovaný obraz.

Rozdíl obrazů

- $h(x,y) = f(x,y) - g(x,y)$
- $\forall x \in \{0,\dots,M\},\ \forall y \in \{0,\dots,N\}$
- **Aplikace**
  - Zvýraznění rozdílů

Původní obraz.

Upravený obraz.



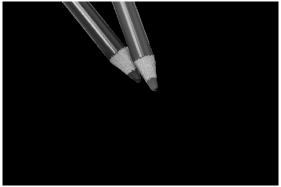
Rozdíl.

Součin obrazů

- $h(x, y) = f(x, y) \cdot g(x, y)$
- $\forall x \in \{0, \dots, M\}, \ \forall y \in \{0, \dots, N\}$
- **Aplikace**
  - Maskování
  - Stínování

Původní obraz.

ROI.



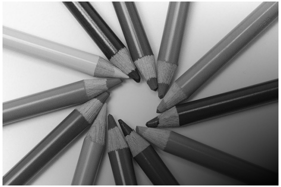
Součin ROI a obrazu.

Součin obrazů

- $h(x, y) = f(x, y) \cdot g(x, y)$
- $\forall x \in \{0, \ldots, M\}, \ \forall y \in \{0, \ldots, N\}$
- **Aplikace**
  - Maskování
  - Stínování

Původní obraz.

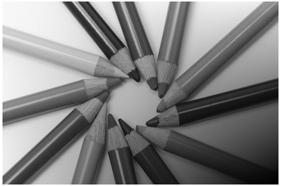
Obraz stínu.



Součin stínu a obrazu.

Podíl obrazů

- $h(x, y) = f(x, y)/g(x, y)$
- $\forall x \in \{0, \ldots, M\}$, $\forall y \in \{0, \ldots, N\}$
- **Aplikace**
  - Odstranění stínu



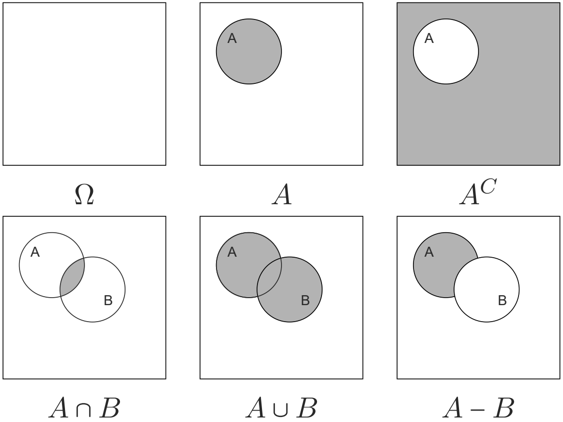
Obraz obsahující stín.

Obraz stínu.

Obraz bez stínu.

Množinové operace

- **Základní pojmy**
  - univerzum Ω
  - prvek množiny $a \in A$
  - prázdná množina $\varnothing$
  - Vennův diagram
  - podmnožina $B \subseteq A$
  - komplement A^C
  - průnik množin $A \cap B$
  - sjednocení množin $A \cup B$
  - rozdíl $A - B$



Ω $\quad A \quad A^C$

$A \cap B \quad A \cup B \quad A - B$

Množinové operace

- **Množina**:
  - objekty v obraze
  - pixely splňující nějakou vlastnost

Originální obraz.

Množina A.

Množina B.

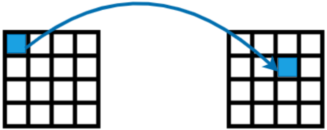
Logické operace

- pravda (true, nebo 1) a nepravda (false, 0)
- binární obrázky
- **negace** (NOT), **logický součin** (AND), **logický součet** (OR) a **exkluzivní součet** (XOR)

a	b	$not\ a$	$a\ and\ b$	$a\ or\ b$	$a\ xor\ b$
0	0	1	0	0	0
0	1	1	0	1	1
1	0	0	0	1	1
1	1	0	1	1	0

Úpravy obrazu

- **Geometrické transformace**



- **Jasové transformace**

- **Operace s okolím**

Geometrické transformace

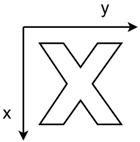
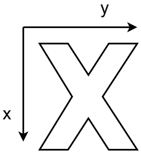
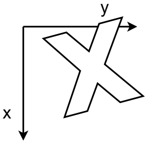
- transformace souřadnic: $(x, y) = T(v, w)$
- **afinní transformace**

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

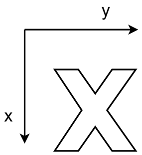
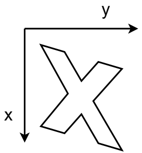
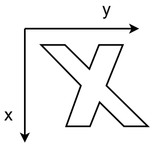
- výpočet nových souřadnic

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ w \\ 1 \end{bmatrix}$$

Geometrické transformace

Název	Afinní matice	Rovnice	Ukázka
Identita	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = w$	
Zvětšení	$\begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = c_x v$ $y = c_y w$	
Otočení	$\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v\cos\theta - w\sin\theta$ $y = v\sin\theta + w\cos\theta$	

Geometrické transformace

Název	Afinní matice	Rovnice	Ukázka
Posunutí	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + t_x$ $y = w + t_y$	
Zkosení (vertikální)	$\begin{bmatrix} 1 & s_v & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + s_v w$ $y = w$	
Zkosení (horizontální)	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ s_h & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = s_h v + w$	

Geometrické transformace – aplikace

- **Dopředné mapování**
- **Zpětné mapování**
  - $(v, w) = T^{-1}(x, y)$

Interpolace – demonstrace

- obrázek 1×6 pixelů chceme ho zvětšit $1.5\times$ v ose x

- zvětšení $1.5\times$ v ose x (výsledný obrázek 1×9)

- zvětšení pixelů na původní velikost – výběr barvy
  - nejbližší soused

  - bilineární interpolace

  - bikubická interpolace

Warping

- **Jednoúčelové**

- **Obecné**

Warping – síť

Původní obraz.

Síť.

Modifikovaná síť.

Výsledný obraz.

Warping – magnety

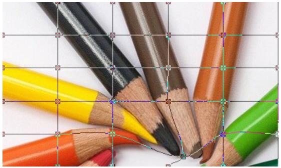
Původní obraz.

Magnet.

Výsledný obraz.

Warping – síť

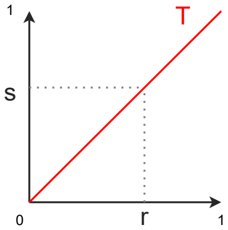

Původní obraz.


Modifikovaná síť.


Výsledný obraz.

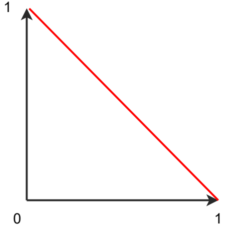
Obraz

- $f(x,y)$ – jasová hodnota vstupního obrazu
- $g(x,y)$ – jasová hodnota výstupního obrazu
- **Transformační funkce** T:
  - $s = g(x,y)$ závisí na $r = f(x,y)$
  - $s = T(r)$
  - **lookup tabulka**

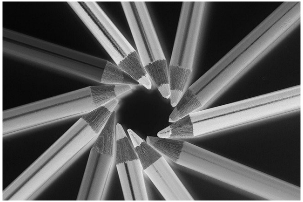


Negativ obrázku

$T(r) = 1 - r$



Původní obraz.



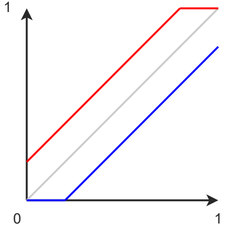
Negativ.

Změna jasu

Jas = celková světlost obrazu

$T(r) = r + c$

c konstanta



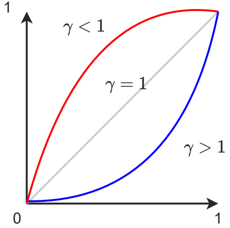
Zvýšení jasu.

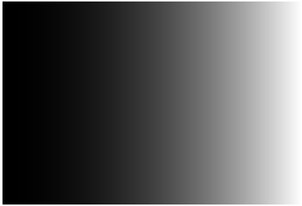
Snížení jasu.

Gamma transformace

$T(r) = c \cdot r^{\gamma}$

c a γ kladné konstanty





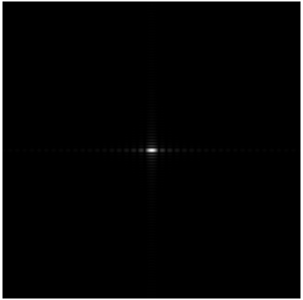
$\gamma > 1$

$\gamma < 1$

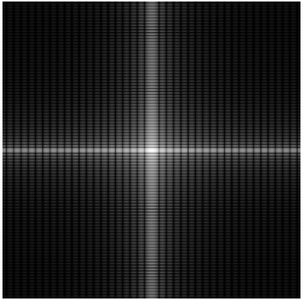
Logaritmická transformace

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

c konstanta a $r \geq 0$



Před aplikací.



Po aplikaci.

Změna kontrastu

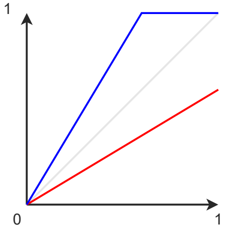
Kontrast = rozdíl mezi nejsvětlejší a nejtmavší částí obrazu

$T(r) = c \cdot r$

c kladná konstanta

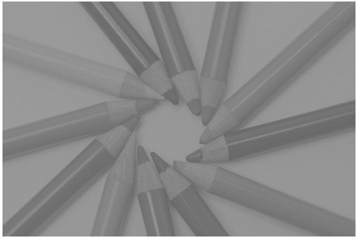
$T(r) = c \cdot (r + c_1) + c_2$

c_1 a c_2 konstanty



Roztažení kontrastu

Roztažení kontrastu = zvětšení rozsahu intenzit vstupního obrazu na celý možný rozsah intenzit



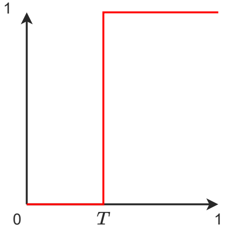
Example

Jak by vypadala funkce roztažení kontrastu pro obrázek, kde nejnižší jasová hodnota je rovna 100 a nejvyšší 156?

Prahování

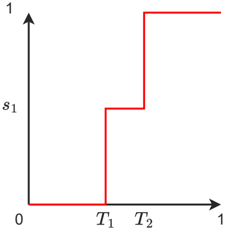
$$T(r) = \begin{cases} s_0 & \text{pro } r < prah \\ s_1 & \text{pro } r \geq prah \end{cases}$$

- **Volba prahu**:
  - experimentálně
  - matematicky

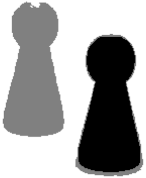


Prahování – více prahů

$$T(r) = \begin{cases} s_0 & \text{pro } r < T_1 \\ s_1 & \text{pro } T_1 \leq r < T_2 \\ \dots & \\ s_n & \text{pro } T_n \leq r \end{cases}$$

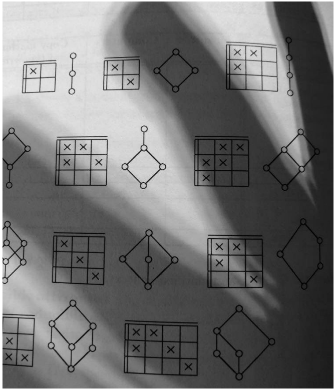


Původní obrázek.

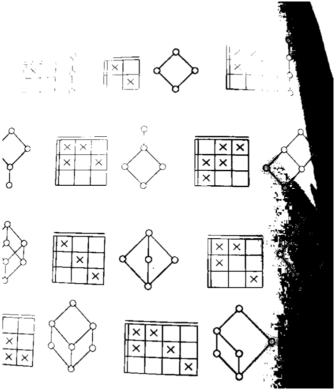


Naprahovaný obrázek.

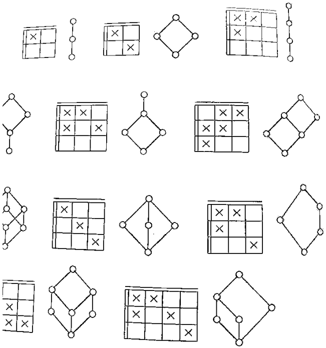
Adaptivní prahování



Původní obrázek.

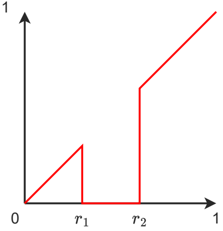


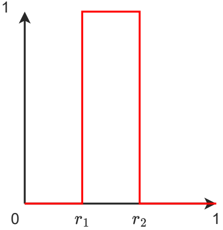
Globální prahování.



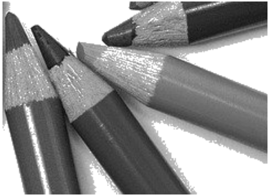
Adaptivní prahování.

Ořezávání hodnot intenzity





Původní obraz



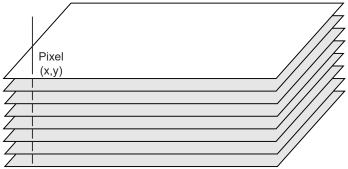
Výsledný obraz.

Ořezávání bitů

Bitové roviny

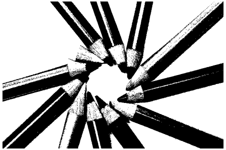
Bitová rovina 1 – nejméně významné bity

Bitová rovina 8 – nejvíce významné bity

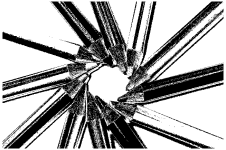


Ořezávání bitů

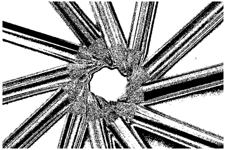
Původní obraz



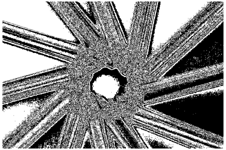
Bitová rovina 8.



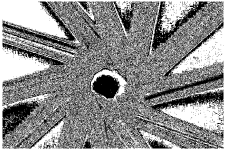
Bitová rovina 7.



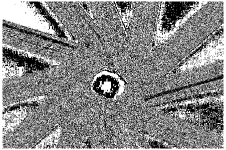
Bitová rovina 6.



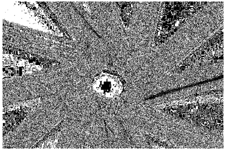
Bitová rovina 5.



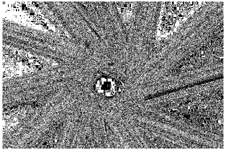
Bitová rovina 4.



Bitová rovina 3.



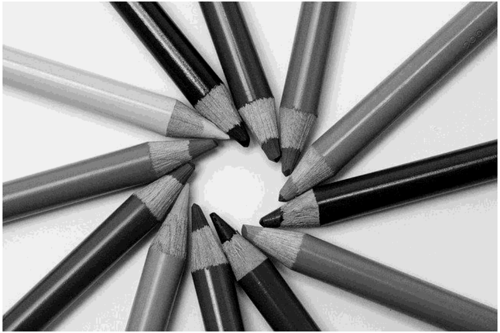
Bitová rovina 2.



Bitová rovina 1.

Ořezávání bitů

Původní obraz

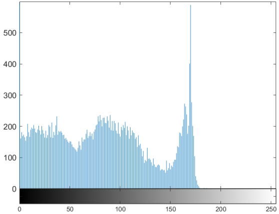


4 nejvíce významné bity

Ekvalizace histogramu

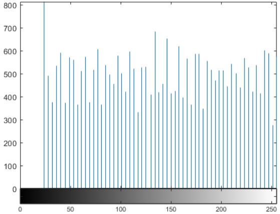
$$s_k = T(r_k) = (L-1)\sum_{j=0}^{k} p_r(r_j)$$

Vstupní obraz.



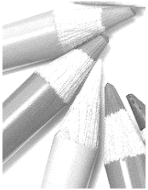
Histogram.

Výstupní obraz.

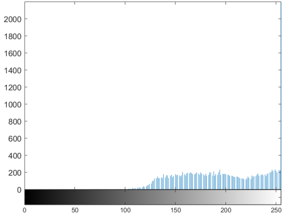


Histogram.

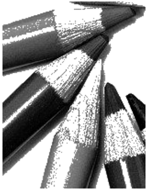
Ekvalizace histogramu



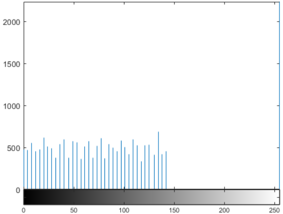
Vstupní obraz.



Histogram.

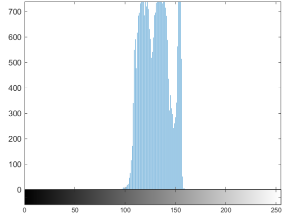


Výstupní obraz.



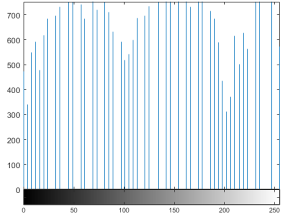
Histogram.

Vstupní obraz.



Histogram.

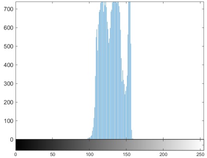
Výstupní obraz.



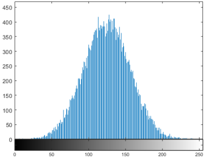
Histogram.

Specifikace histogramu

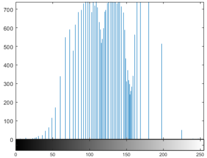
Vstupní obraz.



Histogram.



Specifikovaný histogram.



Histogram výsledného obrazu.

Výsledný obraz.

Jasové operace barevných obrazů

Úprava každé složky zvlášť

- $s_j = T_j(r_j)$,
- $j = 1, 2, \ldots, n$ (n počet složek)

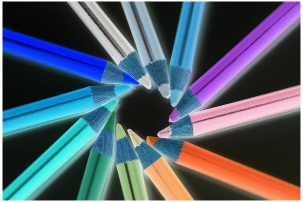
Změna jasu

- V **RGB** všechny složky
- $s_j = r_j + k$
- V **HSI** pouze jasová složka I
- $s_i = r_i + k$, $s_j = r_j$, pro $j \in \{h, s\}$

Barevný komplement

- V **RGB** všechny složky
- $s_r = 1 - r_r,\ s_g = 1 - r_g,\ s_b = 1 - r_b$
- V **HSI** není přímočaré

Původní obrázek.



Komplement.

Tónování

- V **RGB** všechny složky
- gamma korekce se stejným gamma

Původní obrázek.

Tónování s $\gamma = 1.5$.

Původní obrázek.

Tónování s $\gamma = 0.5$.

Barevná korekce

- V **RGB** jedna složka
- gamma korekce


Původní obrázek.


R, $\gamma = 1.5$.


R, $\gamma = 0.5$.


Původní obrázek.


G, $\gamma = 1.5$.


G, $\gamma = 0.5$.


Původní obrázek.


B, $\gamma = 1.5$.


B, $\gamma = 0.5$.

Vyrovnání histogramu

- V **RGB** všechny složky
- V obraze se objevují i barvy, které v původním nebyly
- V **HSI** složka I

Původní obrázek.

V RGB.

Původní obrázek.

V HSI.

Práce přímo s barevnými pixely

$$g_r = a_{11} f_r + a_{12} f_g + a_{13} f_b$$
$$g_g = a_{21} f_r + a_{22} f_g + a_{23} f_b$$
$$g_r = a_{31} f_r + a_{32} f_g + a_{33} f_b$$

Maticově

$$T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

S průhledností a offsetem

$$T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{bmatrix}$$

Příklady

Změna jasu

$$T_1 = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ k & k & k & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Zvýraznění barev

$$T_2 = \begin{bmatrix} s_r + s & s_r & s_r & 0 & 0 \\ s_g & s_g + s & s_g & 0 & 0 \\ s_b & s_b & s_b + s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matice můžeme skládat (násobení matic)

Příklady

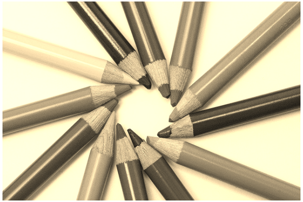
Šedotónový obraz

$$\begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 & 0 & 0 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 & 0 & 0 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sépia efekt

$$\begin{bmatrix} 0.393 & 0.349 & 0.272 & 0 & 0 \\ 0.769 & 0.686 & 0.534 & 0 & 0 \\ 0.189 & 0.168 & 0.131 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Původní obrázek.



Sépia.

Výměna barevných složek (RGB do BGR)

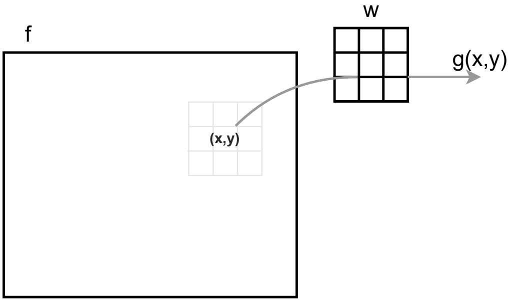
$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Původní obrázek.

BGR.

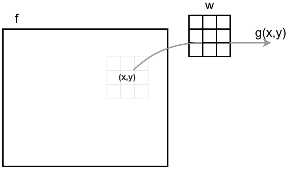
Filtrování

- **Operace s okolím**, neighbourhood operations
- **Vstupní obraz** f
- **Výstupní obraz** g
- **Filtr** (maska) w
  - Lineární filtry
  - Nelineární filtry



Lineární filtry

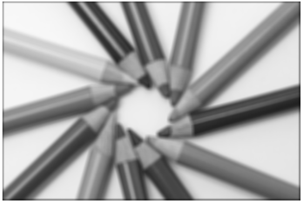
- w **velikosti** 3×3
- $g(x,y) = w(-1,-1)f(x-1,y-1) + w(-1,0)f(x-1,y) + \cdots + w(1,1)f(x+1,y+1)$
- **Obecně** filtr velikosti $m \times n$ ($m = 2a+1$ a $n = 2b+1$)
- $g(x,y) = \sum_{s=-a}^{a} \sum_{t=-b}^{b} w(s,t) f(x+s, y+t)$
- **zero padding**: zvětšení o a na obou koncích ve směru x a o b ve směru y



Vyhlazovací filtry – Průměrování

- prvky matice rovny $1/(m \cdot n)$
- maska 3×3
$$\begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix}$$
- **Vážené průměrování** – prvky blíže mají vyšší váhu
- maska 3×3
$$\begin{bmatrix} 1/16 & 2/16 & 1/16 \\ 2/16 & 4/16 & 2/16 \\ 1/16 & 2/16 & 1/16 \end{bmatrix}$$

Maska velikosti 3×3.



Maska velikosti 10×10.

Ostřící filtry

- založené na derivaci – 1. a 2. derivace

Laplaceův filtr

- **Vertikální**: $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1,y) + f(x-1,y) - 2f(x,y)$
- **Horizontální**: $\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x,y+1) + f(x,y-1) - 2f(x,y)$
- **Dohromady**: $\nabla^2 = f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1) - 4f(x,y)$
- **Filtr**:

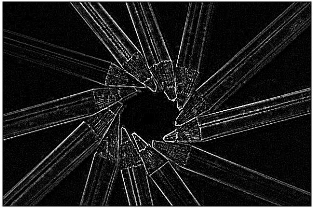
$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

- **Diagonální**: $f(x+1,y-1) + f(x-1,y+1) - 2f(x,y)$ a $f(x-1,y-1) + f(x+1,y+1) - 2f(x,y)$
- **Filtr**:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Laplaceův filtr

Původní obraz.



Hrany v obraze.

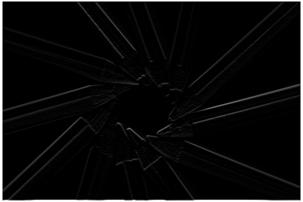
Zvýrazněné hrany.

Robertsův filtr

- diagonální hrany
- $\nabla f(x,y) = (f(x,y) - f(x-1,y)) + (f(x,y+1) - f(x+1,y))$
- **Filtr**:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Původní obraz.



Hrany v obraze.

Sobelův filtr

- **Vodorovné hrany**:
- $\frac{\partial f}{\partial x} = (f(x+1,y-1)+2f(x+1,y)+f(x+1,y+1))-(f(x-1,y-1)+2f(x-1,y)+f(x-1,y+1))$
- **Filtr**:

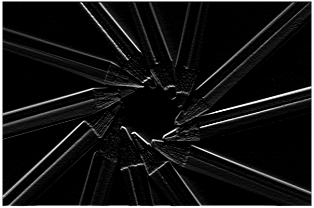
$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

- **Svislé hrany**:
- $\frac{\partial f}{\partial y} = (f(x-1,y+1)+2f(x,y+1)+f(x+1,y+1))-(f(x-1,y-1)+2f(x,y-1)+f(x+1,y-1))$
- **Filtr**:

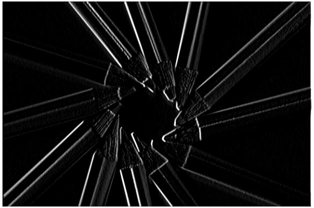
$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Sobelův filtr

Původní obraz.



Vodorovné hrany v obraze.



Svislé hrany v obraze.

Prewittové filtr

- **Vodorovné hrany**:
- $\frac{\partial f}{\partial x} = (f(x+1, y-1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y+1)) - (f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1))$
- **Filtr**:

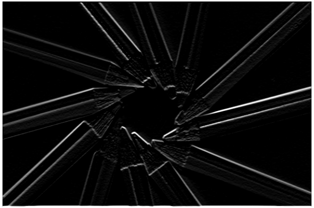
$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- **Svislé hrany**:
- $\frac{\partial f}{\partial y} = (f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1)) - (f(x-1, y-1) + 2f(x, y-1) + f(x+1, y-1))$
- **Filtr**:

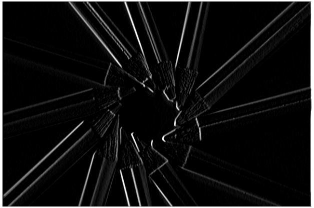
$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Prewittové filtr

Původní obraz.



Vodorovné hrany v obraze.



Svislé hrany v obraze.

Nelineární filtry

- nelze je zadat maskou
- volí se velikost okolí, na pixely v okolí je aplikována nelineární operace
- $g(x, y)$ a okolí 3×3, vezmeme hodnoty v okolí $f(x, y)$ – $f(x-1, y-1)$, $f(x-1, y)$, $\ldots$, $f(x+1, y+1)$

Percentilové filtry (statistické)

- $0.$ percentil – nejmenší hodnota v okolí (*min filtr*)
- $50.$ percentil – střední hodnota v okolí (*median filtr*)
- $100.$ percentil – největší hodnota v okolí (*max filtr*)

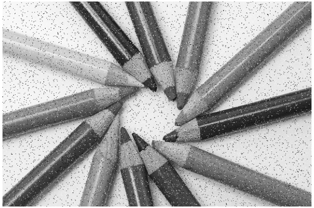
Percentilové filtry

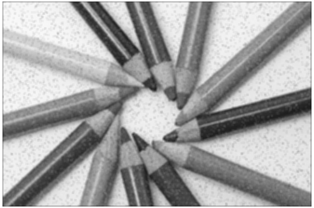
Původní obraz.

Min filtr.

Max filtr.

Mediánový filtr


Původní obraz.


Filtrování průměrováním.


Mediánová filtrace.

Filtrování barevných obrázků

- nepracujeme s intenzitami, každý pixel = vektor hodnot

Filtrování barevných obrázků – Průměrování

RGB

$$g(x,y) = \begin{bmatrix} \frac{1}{(2a+1)\cdot(2b+1)} \sum_{s=-a}^{a} \sum_{t=-b}^{b} f_r(x+s, y+t) \\ \frac{1}{(2a+1)\cdot(2b+1)} \sum_{s=-a}^{a} \sum_{t=-b}^{b} f_g(x+s, y+t) \\ \frac{1}{(2a+1)\cdot(2b+1)} \sum_{s=-a}^{a} \sum_{t=-b}^{b} f_b(x+s, y+t) \end{bmatrix}$$

HSI

pouze jasová složka I

Filtrování barevných obrázků – Průměrování

Původní obraz.

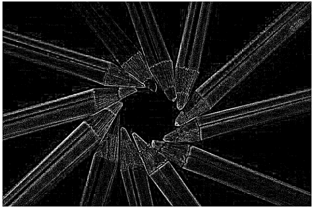
Filtrace v RGB.

Filtrace v HSI.

Filtrování barevných obrázků – Průměrování

Filtrace v RGB.

Filtrace v HSI.



Rozdíl.

Filtrování barevných obrázků – Ostření

RGB

$$g(x,y) = \begin{bmatrix} \nabla^2 = f_r(x+1,y) + f_r(x-1,y) + f_r(x,y+1) + f_r(x,y-1) - 4f_r(x,y) \\ \nabla^2 = f_g(x+1,y) + f_g(x-1,y) + f_g(x,y+1) + f_g(x,y-1) - 4f_g(x,y) \\ \nabla^2 = f_b(x+1,y) + f_b(x-1,y) + f_b(x,y+1) + f_b(x,y-1) - 4f_b(x,y) \end{bmatrix}$$

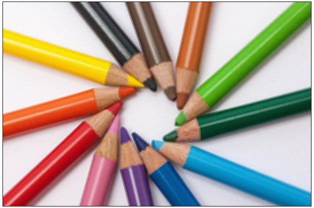
HSI

pouze jasová složka I

Filtrování barevných obrázků – Ostření

Původní obraz.

Filtrace v RGB.



Filtrace v HSI.