

# Předzpracování obrazu

Ilona Janáková



---

Rozvrh přednášky:

1. Řetězec zpracování obrazu.
2. Předzpracování obrazu.
3. Šum, zkreslení.
4. Bodové jasové transformace.
5. Geometrické transformace.
6. Lokální předzpracování.
7. Další techniky předzpracování.

# Předzpracování obrazu

Ilona Janáková



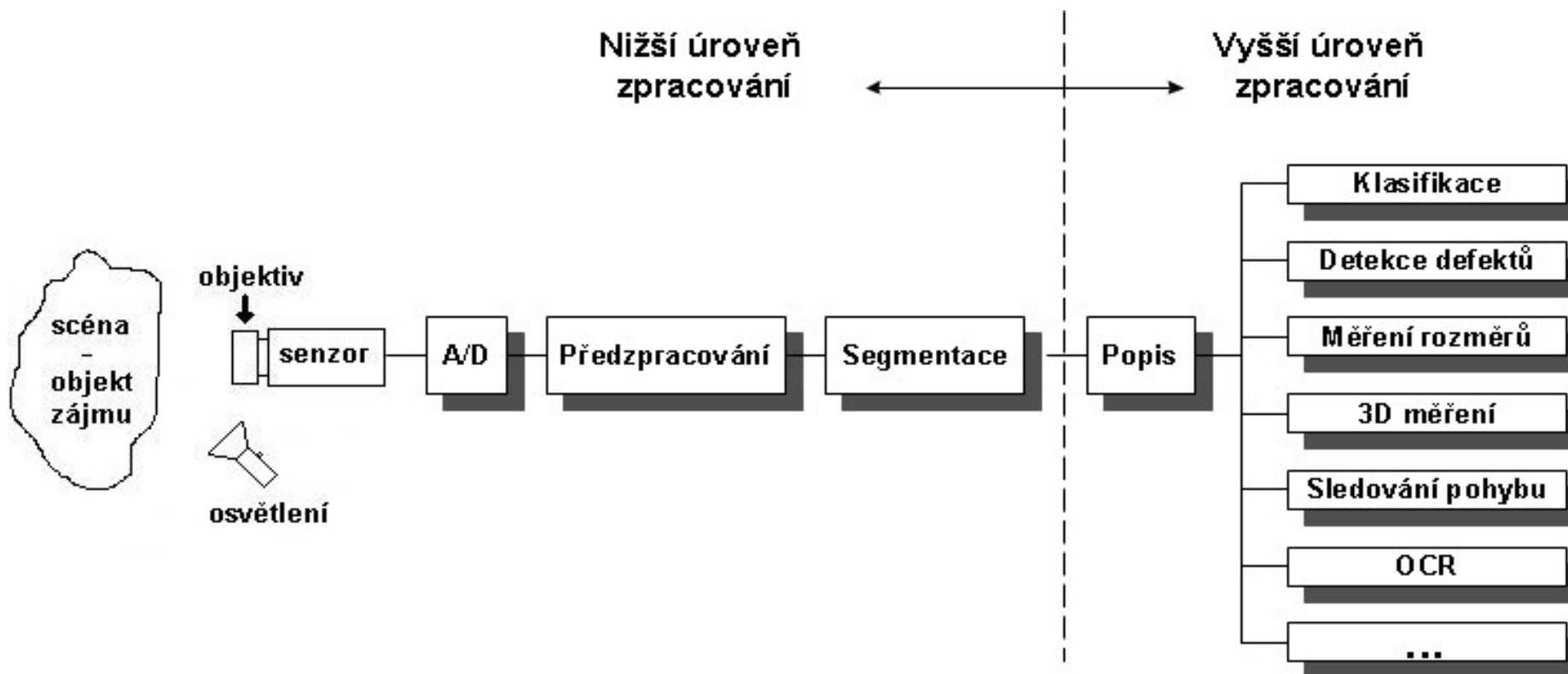
---

Rozvrh přednášky:

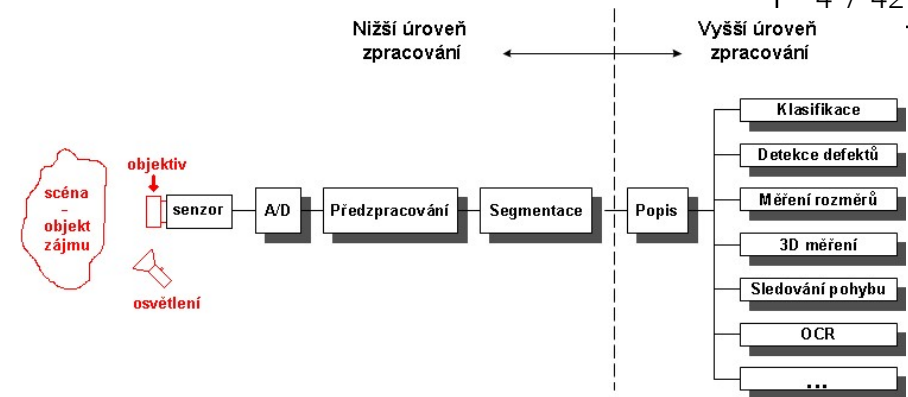
- 1. Řetězec zpracování obrazu.**
2. Předzpracování obrazu.
3. Šum, zkreslení.
4. Bodové jasové transformace.
5. Geometrické transformace.
6. Lokální předzpracování.
7. Další techniky předzpracování.

# Řetězec zpracování obrazu

- ▶ Vhodný postup operací (bloků) vedoucí k danému výsledku (měření, rozpoznání objektů, inspekce výroby atd.)
- ▶ Je lepší, pokud hned od začátku víme k čemu bude obraz použit a k tomu směřujeme všechny jednotlivé kroky

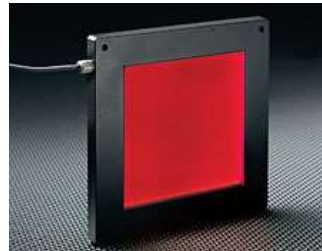


# Řetězec zpracování obrazu – osvětlení, objektiv



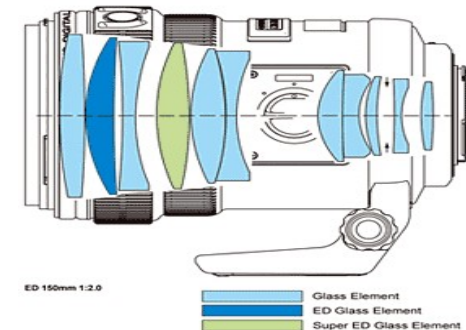
## ▮ Osvětlení

- typ zdroje – sluneční světlo, žárovka, zářivka, výbojka, LED dioda, laser, ...
- provedení, orientace – bodové, plošné, kruhové, světelný pruh, vzor, ... přímé, směrové, rovnoběžné, difusní, boční ...
- vyzařovací charakteristika, intenzita, polarizace, koherence, ...
- vlnová délka – IR, viditelné, UF

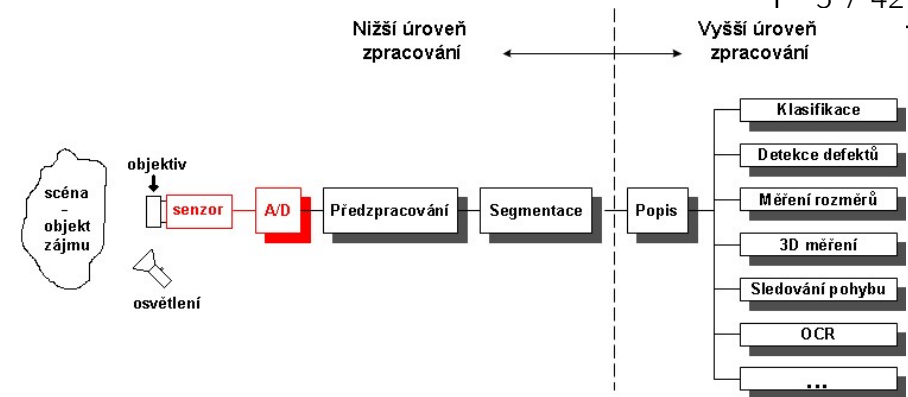


## ▮ Objektiv

- ohnisková vzdálenost – zorný úhel, zorné pole, zvětšení, rozsah ostření, hloubka ostrosti
- světelné číslo, clona – množství světla, které propustí na senzor, průměr clony, světelná řada
- vady objektivů
- přídavné filtry

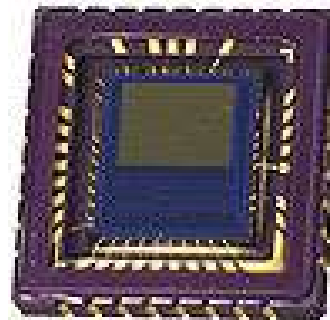
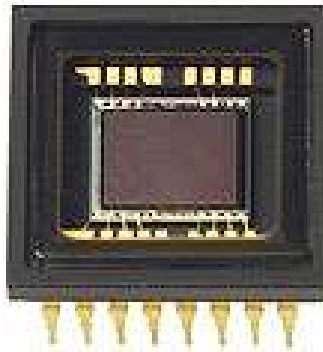


# Řetězec zpracování obrazu – senzor, A/D převod



## ► Senzor

- typ – řádkový (lineární) x plošný (maticový), barevná (jeden x tři čipy), černobílá
- technologie – CCD, CMOS, progresivní, prokládaný (interlaced)
- rozměr senzoru – nejčastěji 1/3", 1/2", 2/3", rozměr pixelu, pixelové rozlišení, video standard
- spektrální citlivost
- data rate, kontrolní a řídicí signály, interface
- expoziční doba, závěrka

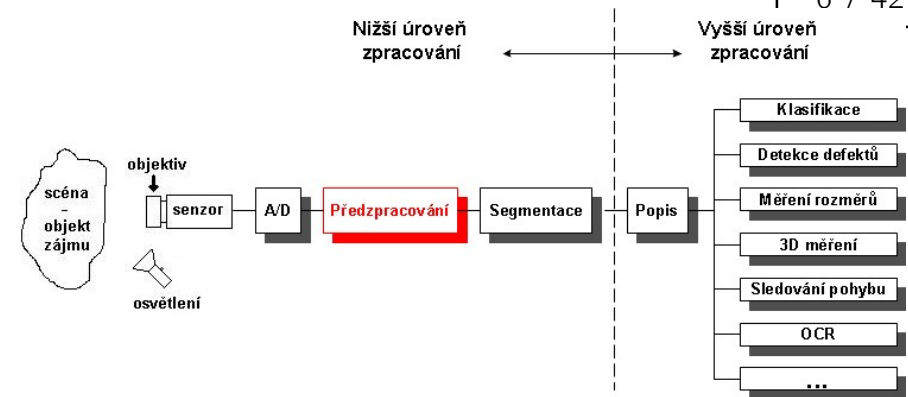


## ► A/D převod

- v závislosti na použité kameře - digitalizační karta do PC, součást inteligentní kamery, ...
- vzorkování a kvantování
- programovatelná hradlová pole, signálové procesory
- Mohou být řešeny i některé operace předzpracování obrazu – DFT, prahování, ...



# Řetězec zpracování obrazu – předzpracování

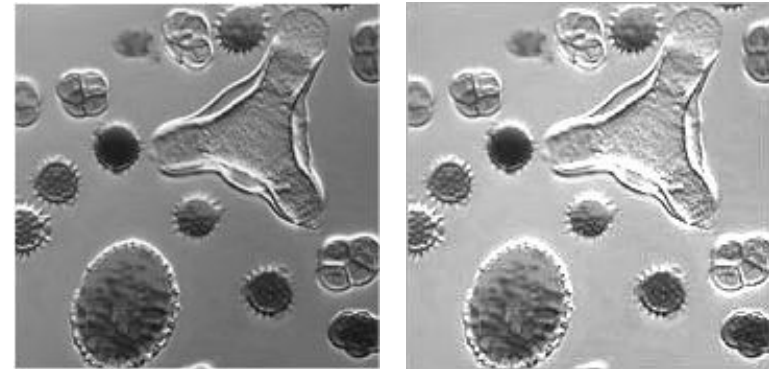


## ► Cíl předzpracování:

- potlačit šum
- odstranit zkreslení
- potlačit či zvýraznit rysy obrazu

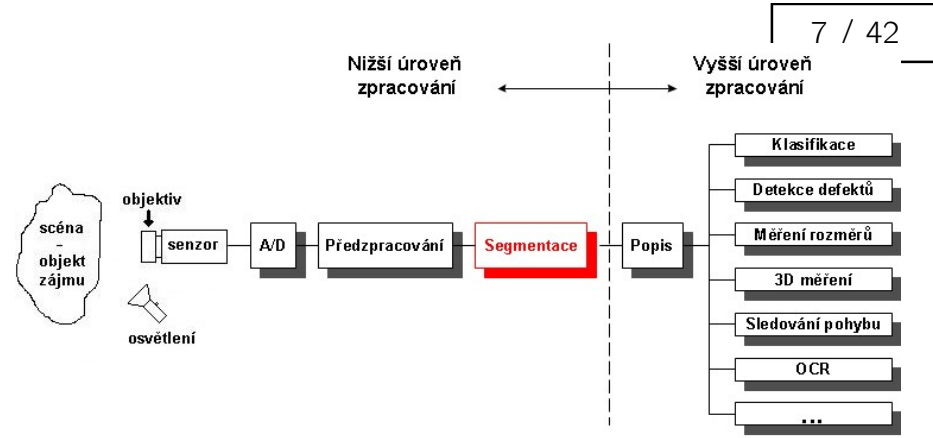
## ► Vstupem i výstupem předzpracování je obraz

- $g(i,j)$  ... element vstupního obrazu
- $f(i,j)$  ... element výstupního (transformovaného) obrazu





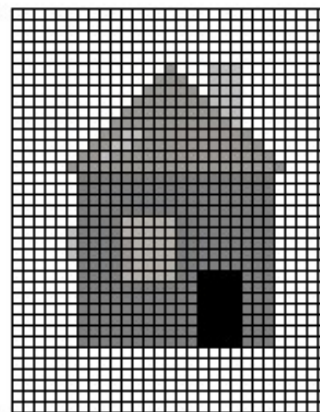
# Řetězec zpracování obrazu – segmentace



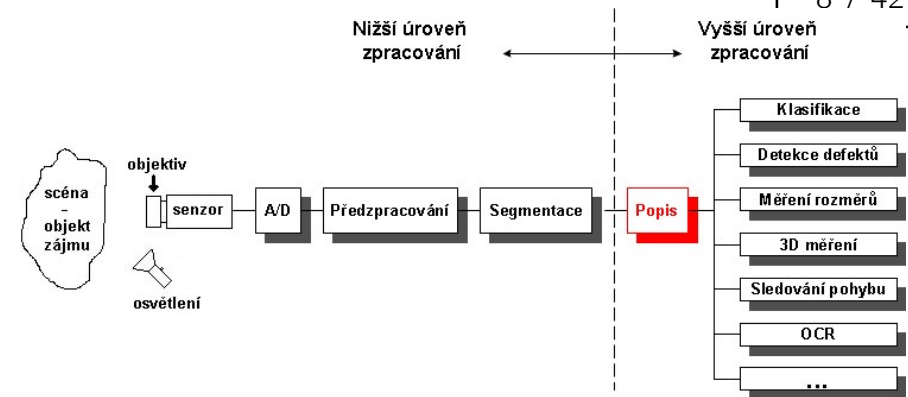
## ► Cíl segmentace:

- rozčlenit obraz do částí, které souvisí s předměty či oblastmi reálného světa
  - oddělení objektů od pozadí, analýza obsahu obrazu
- obraz chystáme pro další krok = popis
- redukce dat

- Vstupem segmentace je obraz, výstup může být různý podle použité metody - obraz, části obrazu, poloha objektu v obrazu atd.



# Řetězec zpracování obrazu – popis



## ► Cíl popisu:

- popsat objekty v obrazu (kvalitativně nebo kvantitativně)
  - vede k porozumění obrazu
- Výstup je ovlivněn tím, na co se popis bude používat - vyjádření určité vlastnosti, příznakový vektor, seznam primitiv atd.

## Kvantitativní - vektor příznaků

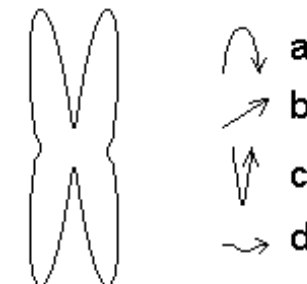
1. barva vlasů (černá = 0, hnědá = 1, blond = 2, rezavá = 3)
2. pohlaví (muž = 0, žena = 1)
3. výška = 175 cm
4. vousy (ne = 0, ano = 1)
5. vzdělání (základní = 0, středoškolské = 1, vysokoškolské = 2)

$$\mathbf{x} = [0, 1, 175, 0, 2]$$

Vektor  $\mathbf{x}$  tedy popisuje 1,75 m vysokou brunetu s vysokoškolským vzděláním, která nemá vousy.

## Kvalitativní – řetězec primitiv

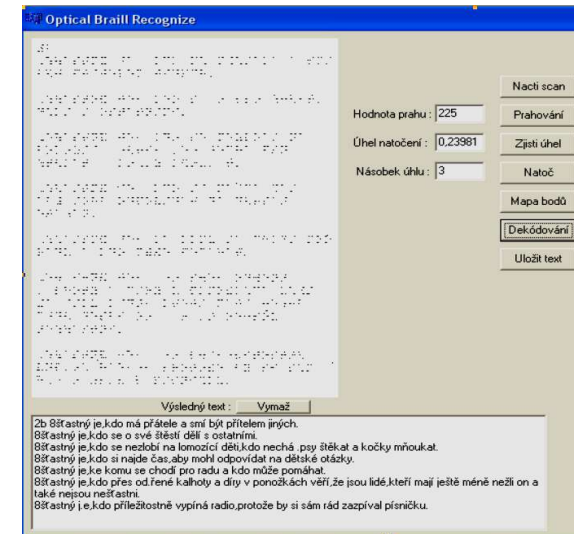
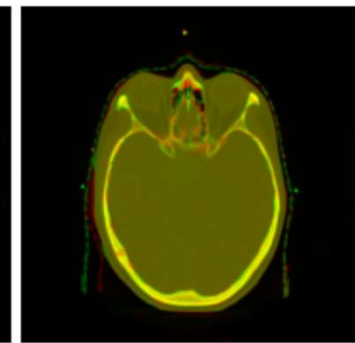
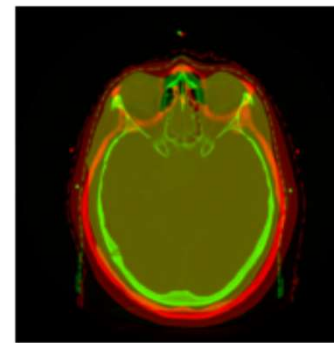
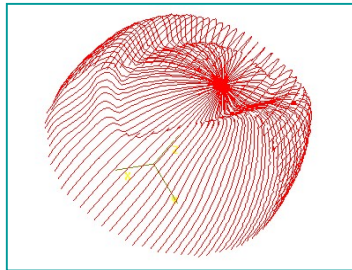
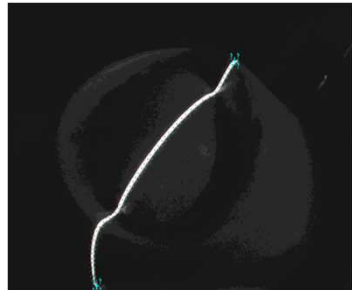
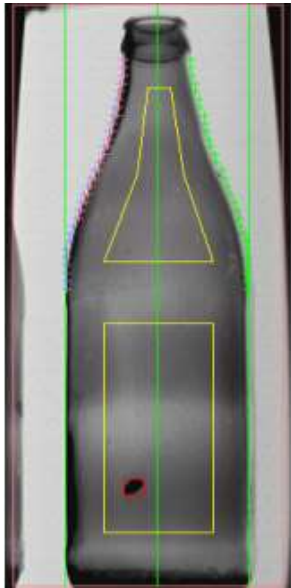
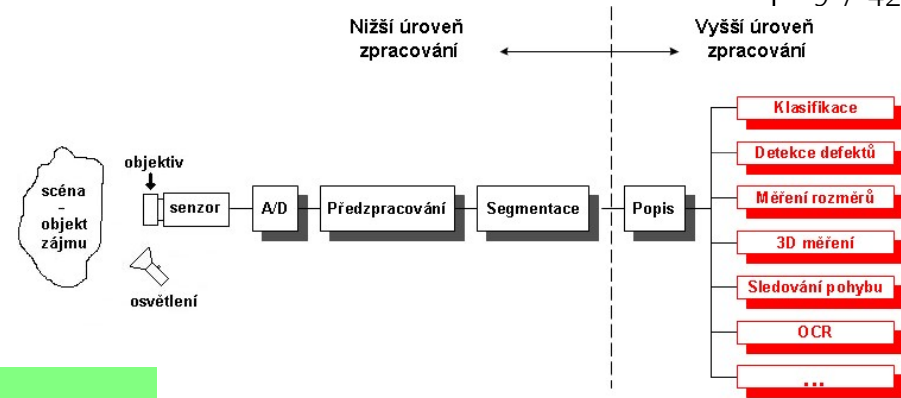
### Popis chromozómu



babcbabdbabcbabd



# Řetězec zpracování obrazu – aplikace



# Předzpracování obrazu

Ilona Janáková



---

Rozvrh přednášky:

1. Řetězec zpracování obrazu.
- 2. Předzpracování obrazu.**
3. Šum, zkreslení.
4. Bodové jasové transformace.
5. Geometrické transformace.
6. Lokální předzpracování.
7. Další techniky předzpracování.

# Předzpracování obrazu

- ▮ Cíl předzpracování = zlepšení obrazu z hlediska dalšího zpracování
  - potlačit šum
  - odstranit zkreslení
  - potlačit či zvýraznit rysy obrazu
  
- ▮ Vstupem i výstupem předzpracování je obraz
  - $g(i,j)$  ... element vstupního obrazu
  - $f(i,j)$  ... element výstupního (transformovaného) obrazu
  
- ▮ Využívá se nadbytečnosti údajů v obrazu
  - sousední pixely mají většinou podobnou hodnotu jasu
  
- ▮ Řadu operací předzpracování můžeme zjednodušit vhodným nastavením scény, výběrem senzoru, objektivu atd.
  
- ▮ Předzpracování musíme vztahovat k tomu, co chceme z obrazu získat, co s ním chceme dělat dál

# Předzpracování obrazu – metody

1. Bodové jasové transformace
  - jasová korekce
  - transformace jasové stupnice
  
2. Geometrické transformace
  - plošná transformace
  - jasová transformace
  
3. Lokální předzpracování
  - vyhlazování obrazu
  - detekce hran, ostření
  
4. Filtrace obrazu v kmitočtové oblasti
  
5. Restaurace obrazu
  
6. Matematická morfologie

# Předzpracování obrazu

Ilona Janáková



---

Rozvrh přednášky:

1. Řetězec zpracování obrazu.
2. Předzpracování obrazu.
- 3. Šum, zkreslení.**
4. Bodové jasové transformace.
5. Geometrické transformace.
6. Lokální předzpracování.
7. Další techniky předzpracování.

# Šum, zkreslení

## Šum – typy:

- bílý = idealizovaný, používá se pro simulace nejhorších degradací obrazu, ve výkonovém spektru má rovnoměrně zastoupeny všechny frekvence
- Gaussův = aproximace degradace obrazu
- typu „pepř a sůl“ – u binárních obrazů, impulsní šum – u obrazů s více jasovými úrovněmi = zrnění
- aditivní = vzniká při přenosu obrazu nebo snímání
- multiplikativní = šum TV rasteru, charakter vodorovných pruhů
- kvantizační = není použit dostatečný počet jasových úrovní

## Šum – vznik:

- při digitalizaci
- při přenosu obrazu

## Zkreslení a poruchy – příklady:

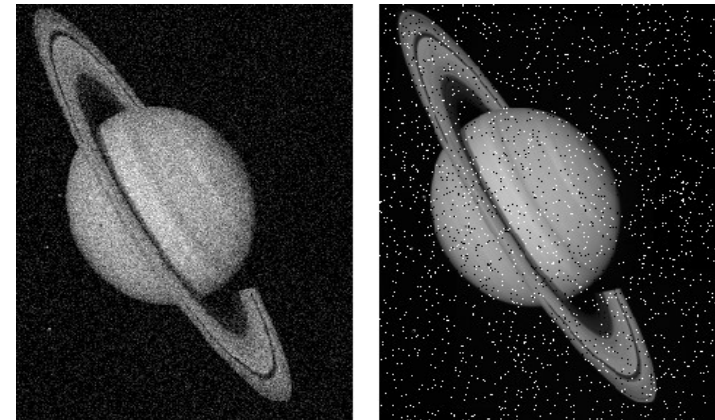
- radiální zkreslení – poduška, soudek
- tangenciální zkreslení
- rozmazání

## Zkreslení – vznik:

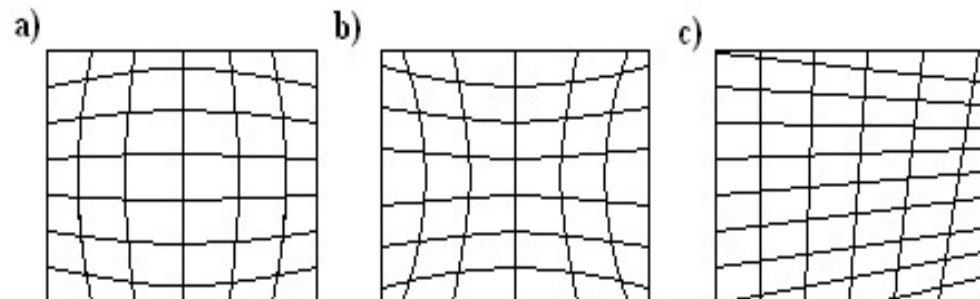
- vada optické soustavy
- nelinearita opticko-elektrického senzoru
- nelinearita záznamového materiálu (zrnitost filmového materiálu)
- vzájemný pohyb snímače a předmětu
- nevhodné zaostření
- turbulence atmosféry



Příklad soudkovitého zkreslení



Bílý šum, šum typu „pepř a sůl“



Zkreslení - a) soudek, b) poduška, c) tangenciální - natočení detektoru k ose optiky



# Předzpracování obrazu

Ilona Janáková



---

Rozvrh přednášky:

1. Řetězec zpracování obrazu.
2. Předzpracování obrazu.
3. Šum, zkreslení.
- 4. Bodové jasové transformace.**
5. Geometrické transformace.
6. Lokální předzpracování.
7. Další techniky předzpracování.

# Bodové jasové transformace

- ▮ Jas v bodě výstupního obrazu závisí pouze na jasu bodu ve vstupním obrazu = pro úpravu jednoho konkrétního pixelu použijeme jen tento pixel vstupního obrazu

## ▮ a) Jasová korekce

- poruchy hardwaru – jiná citlivost jednotlivých světlocitlivých prvků snímače (vadné pixely), nerovnoměrné osvětlení, jiná citlivost snímacího a digitalizačního zařízení = systematické chyby

$$f(i, j) = e(i, j) \cdot g(i, j) \quad \text{předpokládá se multiplikativní model poruchy } e(i, j)$$

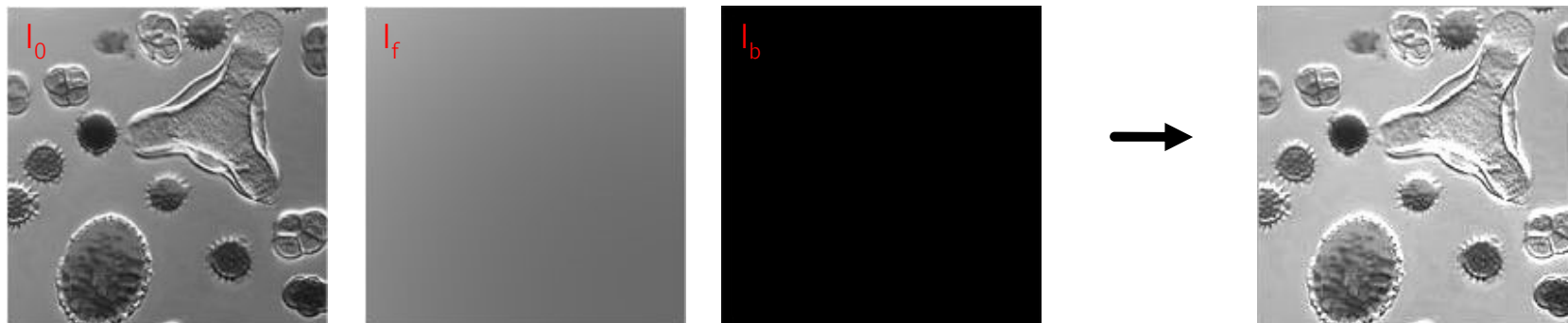
### Určení degrační fce $e(i, j)$

- při stálých světelných podmínkách pořídíme obraz o známém  $g(i, j)$  - nejlépe obraz o konstantním jase  $c \Rightarrow f_c(i, j)$ .

$$e(i, j) = \frac{f_c(i, j)}{c}$$

- nebo pořídíme obraz s objektem  $I_0$ , obraz za stejných světelných podmínek bez objektu  $I_f$  – korekce osvětlení a obraz za tmy (zakrytý objektiv)  $I_b$  – korekce nelinearity snímače

$$I_c(i, j) = M \cdot \frac{I_0(i, j) - I_b(i, j)}{I_f(i, j) - I_b(i, j)} \quad , \text{ kde konstantou } M \text{ měníme kontrast výsledného obrazu}$$



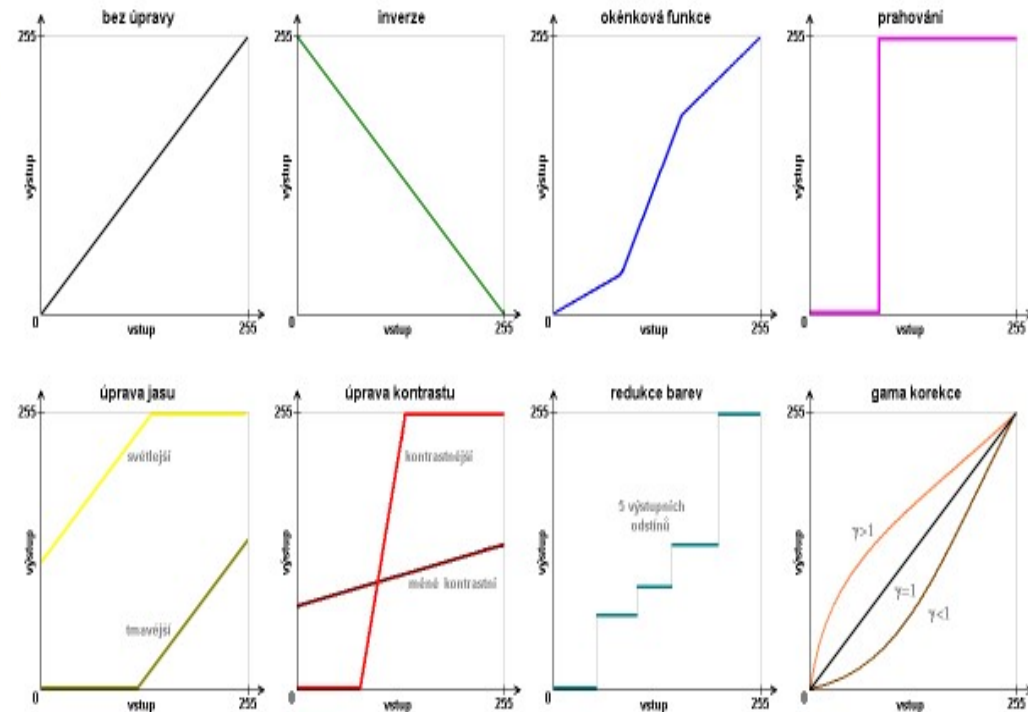
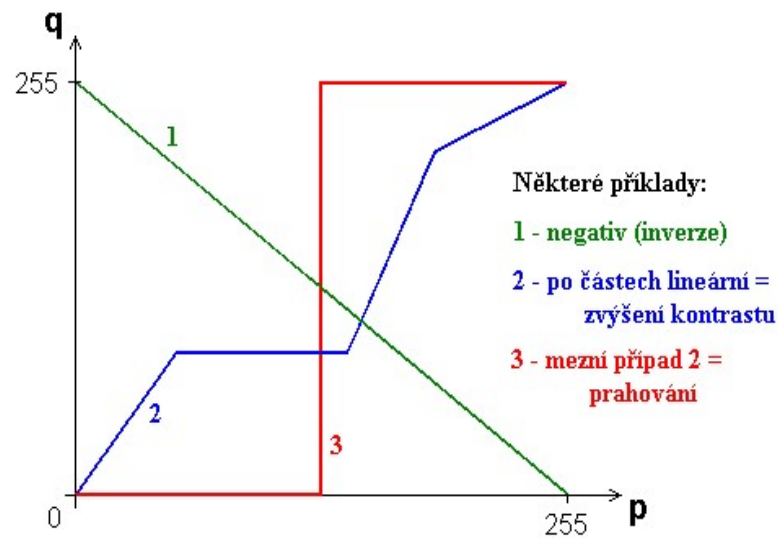
Původní snímek, snímek pozadí, snímek za tmy, obrázek po korekci

# Bodové jasové transformace

## ► b) Transformace jasové stupnice

- transformace  $T$  výchozí stupnice jasu  $p$  na novou stupnici  $q$ :  $q = T(p)$
- jen určitá hodnota jasu ve vstupním obrazu je transformována na jinou hodnotu, bez ohledu na pozici
- příklady: inverze, prahování, ekvalizace histogramu, roztažení histogramu, úprava kontrastu

Transformace jasové stupnice



# Bodové jasové transformace

## ► b) Transformace jasové stupnice – ekvalizace histogramu

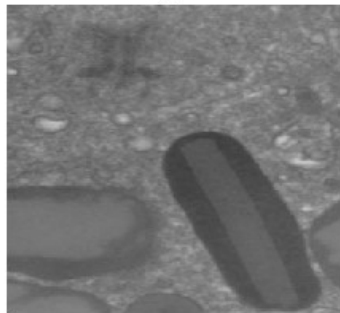
- algoritmus, který změní rozložení intenzit v obrazu tak, aby se v něm vyskytovaly intenzity přibližně se stejnou četností – snaha o zvýšení kontrastu.
- má-li původní obraz interval jasů  $\langle p_0, p_k \rangle$  a histogram  $H(p)$ , cílem je najít takovou monotónní transformaci  $q = T(p)$ , aby výsledný histogram  $G(p)$  byl rovnoměrný pro celý výstupní interval  $\langle q_0, q_k \rangle$

$$q = T(p) = \left( \frac{q_k - q_0}{N \times M} \right) \cdot \sum_{i=p_0}^p H(i) + q_0$$

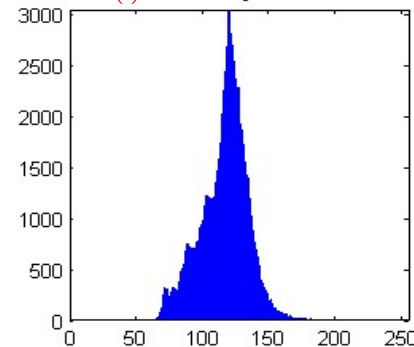
V tomto případě ale nezáleží pouze na jasu v daném bodě ale i na rozložení jasu v celém snímku - histogramu

$$\sum_{i=p_0}^p H(i) \dots \text{kumulativní histogram}$$

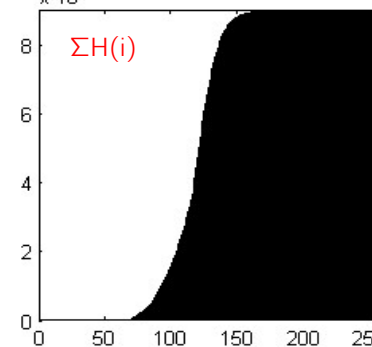
MxN Original



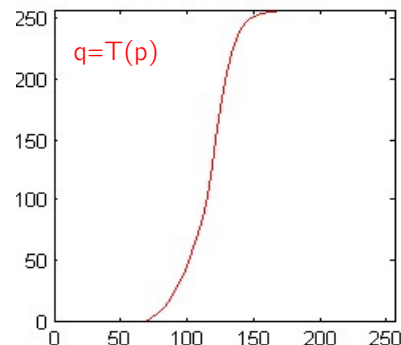
H(i) Histogram



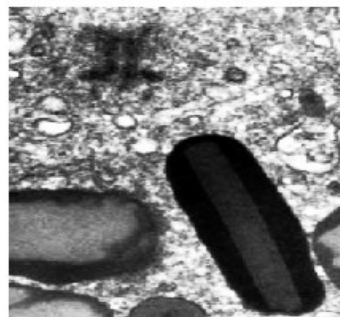
$\times 10^4$  Kumulativní hist.



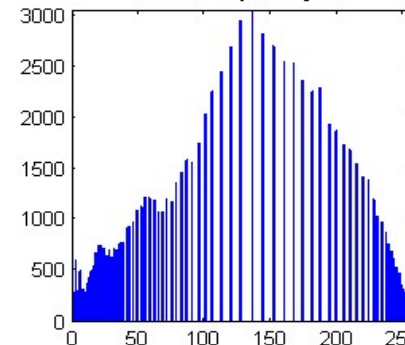
Transformační fce



Ekvalizovaný obrazek



Ekvalizovaný histogram



# Předzpracování obrazu

Ilona Janáková



---

Rozvrh přednášky:

1. Řetězec zpracování obrazu.
2. Předzpracování obrazu.
3. Šum, zkreslení.
4. Bodové jasové transformace.
- 5. Geometrické transformace.**
6. Lokální předzpracování.
7. Další techniky předzpracování.

# Geometrické transformace

## ► Cíl

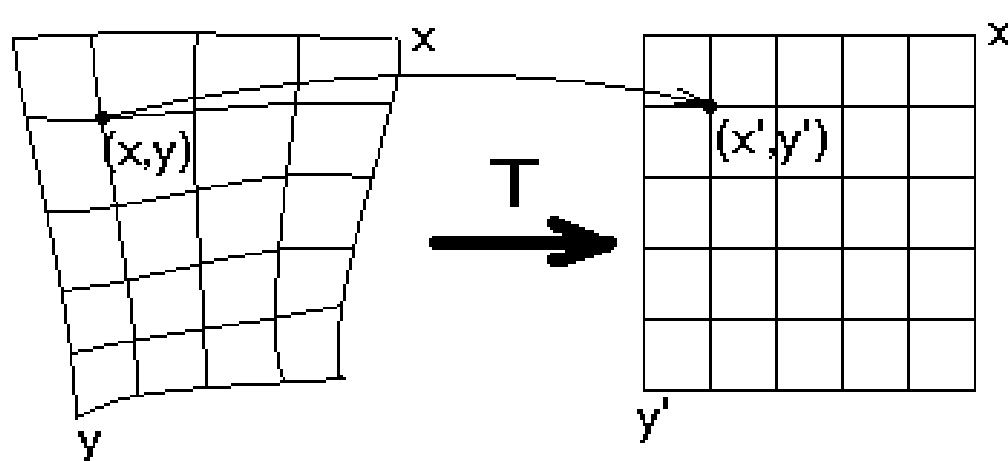
- odstranění geometrických zkreslení – zkosení vůči snímané ploše, širokouhlé snímače, ...
- změna rozlišení obrazu, posunutí, otočení, zkosení 2D obrazu
- „rovnání prostoru“ (např. letecké snímky)

## ► Dva kroky

- plošná transformace - transformace souřadnic bodů
- jasová transformace - aproximace jasové funkce

## ► Problémy

- obecně nepřihadí diskrétním celočíselným souřadnicím ve vstupním obrazu celočíselné souřadnice v obrazu výstupním – mohou vzniknout díry nebo naopak několik pixelů se mapuje na totéž místo
- část původního obrazu může ležet mimo nový obraz
- transformace většinou nejsou invertovatelné



$$f = T(g) :$$

$$x' = Tx(x, y)$$

$$y' = Ty(x, y)$$



# Geometrické transformace – plošná transformace

- Najde k diskretnímu bodu  $(x,y)$  ve vstupním obrazu odpovídající bod ve výstupním obrazu  $(x',y')$  – obecně spojité souřadnice

## • Určení transformačních vztahů:

- jsou dány předem – rotace, zvětšení, zkosení, ...
- je nutné je hledat na základě znalosti původního i transformovaného obrazu - obvykle pomocí známých (vlíčovacích) bodů, které lze snadno najít v obou obrazech

- Transformační vztahy se většinou aproximují polynomem  $n$ -tého řádu

$$x' = \sum_{r=0}^n \sum_{k=0}^{n-r} a_{rk} x^r y^k, \quad y' = \sum_{r=0}^n \sum_{k=0}^{n-r} b_{rk} x^r y^k$$

- pokud nedochází k náhlým změnám pozic, vystačíme si většinou s polynomem do stupně  $n = 3$
- Koeficienty  $a_{rk}$  a  $b_{rk}$  lze určit pomocí vlíčovacích bodů – množiny sobě odpovídajících bodů  $(x,y)$  a  $(x',y')$  a metody nejmenších čtverců

## Příklady:

### Bilineární transformace

$$x' = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy$$

$$y' = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy$$

### Afinní transformace

$$x' = a_0 + a_1x + a_2y$$

$$y' = b_0 + b_1x + b_2y$$

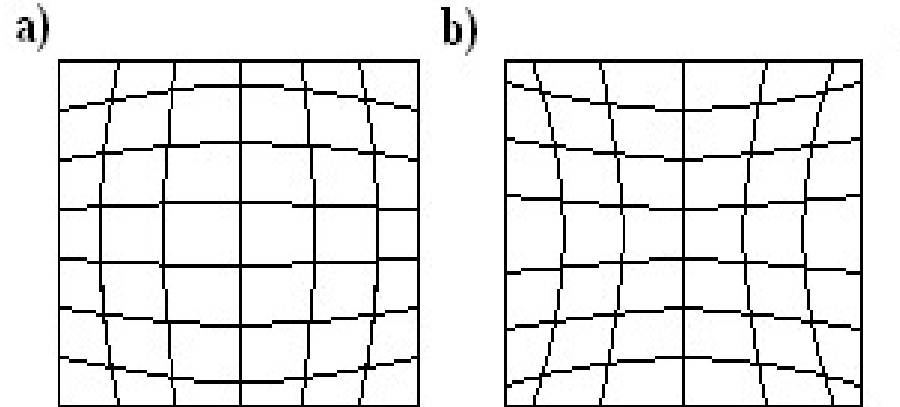
# Geometrické transformace – plošná transformace

Příklady:

## Radiální zkreslení

$$x' = x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6)$$

$$y' = y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6)$$



Zjednodušení - zkreslení je symetrické podle středu obrazu

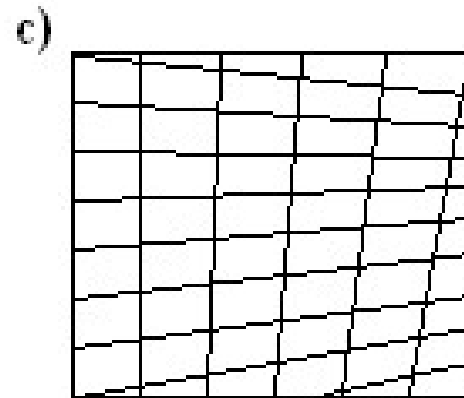
$r$  ... je radiální vzdálenost

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

## Tangenciální zkreslení

$$x' = x + 2p_1 y + p_2 (r^2 + 2x^2)$$

$$y' = y + p_1 (r^2 + 2y^2) + 2p_2 x$$

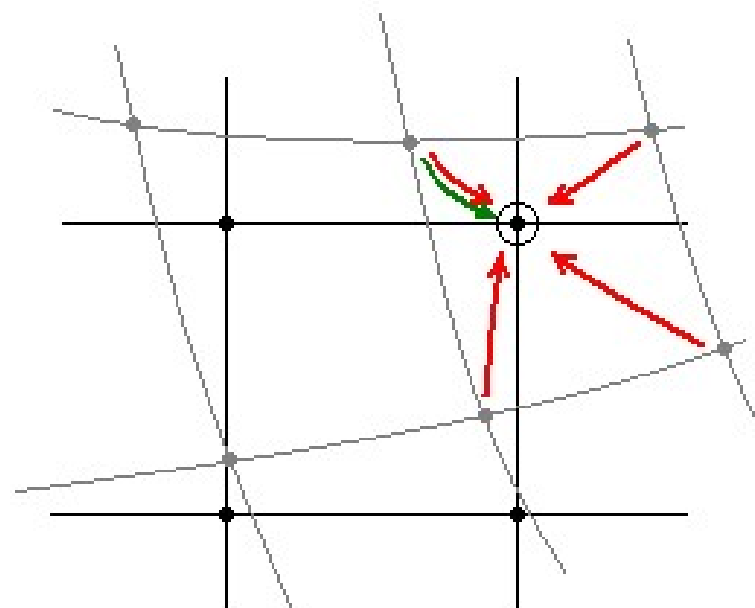


# Geometrické transformace – jasová transformace

- ▶ Najde jas, který bude ve výstupním obrazu po geometrické transformaci odpovídat jednotlivým pixelům
- ▶ Transformované souřadnice  $x'$ ,  $y'$  leží mimo rastr, přitom geometricky transformovaný obraz musí být reprezentován maticí

## ▶ Možná řešení:

- interpolace metodou nejbližšího souseda
- aritmetický průměr čtyř nejbližších sousedů
- lineární interpolace
- kubická interpolace
- ...



- ⊙ bod získaný plošnou transformací
- aritmetický průměr 4 nejbližších sousedů
- nejbližší

# Geometrické transformace – změna rozlišení

- ▮ Zmenšení i zvětšení
- ▮ několik různých algoritmů lišících se v kvalitě rekonstrukce a v časové náročnosti
- ▮ většinou separabilní operace – možné aplikovat zvlášť na řádek a pak na sloupec – konvoluce (konv. jádro  $h(x)$ )

## ▮ a) Interpolace nejbližším sousedem

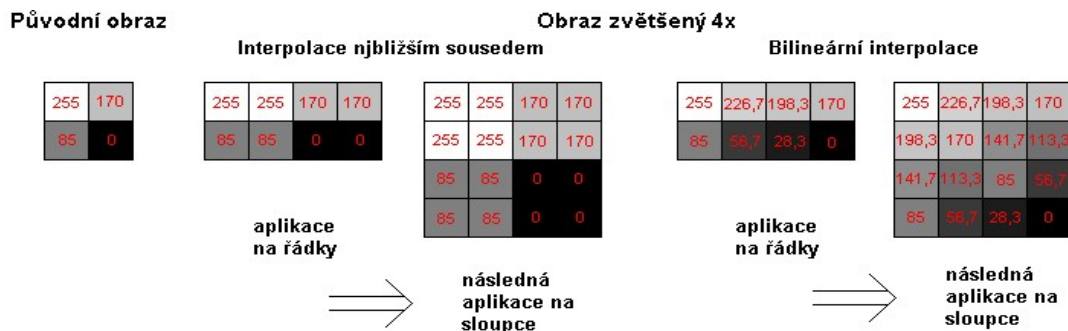
- nejjednodušší – *nearest neighbour interpolation, point shift, sample and hold*
- výpočet spojité funkce  $g(x)$  z diskrétní funkce  $f(x_k)$  definované v diskrétních bodech  $x_k, k = 1, \dots, n$ :

$$g(x) = f(x_k); \quad \frac{x_{k-1} + x_k}{2} < x \leq \frac{x_k + x_{k+1}}{2} \quad \text{jádro } h(x) = \begin{cases} 1 & \text{pro: } 0 \leq |x| < 0.5 \\ 0 & \text{pro: } 0.5 \leq |x| \end{cases}$$

## ▮ b) Bilineární transformace

- postupná aplikace lineární interpolace
- dva sousední vzorky v bodech  $x_0$  a  $x_1$  s hodnotami  $f_0$  a  $f_1$  - body se proloží úsečkou a hledaná hodnota v bodě  $x$  se vypočte jako:

$$f(x) = f_0 + \left[ \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} (f_1 - f_0) \right] \quad \text{jádro } h(x) = \begin{cases} 1 - |x| & \text{pro: } 0 \leq |x| < 1 \\ 0 & \text{pro: } 1 \leq |x| \end{cases}$$



- ▮ c..) Polynomiální, goniometrické, exponenciální, Parzenovo okno (B-spline plochou), ...

# Geometrické transformace – otočení obrazu

- Plošná transformace otočení obrazu o úhel  $\alpha$

$$x' = x \cos \alpha - y \sin \alpha$$

$$y' = x \sin \alpha + y \cos \alpha$$

- **Otočení o násobky devadesáti stupňů**

- záměna pixelů na příslušných pozicích v matici

- **Otočení o obecný úhel**

- dvouprůchodový algoritmus (*two-pass algorithm*) – na řádky a sloupce jsou použity jiné transformace

1. průchod – na všechny řádky

$$x' = x \cos \alpha - y \sin \alpha \quad \text{meziobraz} \quad I(x', y)$$

2. průchod – nelze aplikovat transformaci  $y' = x \sin \alpha + y \cos \alpha$ , protože ta je funkcí  $x$ , se kterým již bylo počítáno. Proto  $x$  vyjádříme jako funkci  $x'$  a  $y$  a dosadíme do předchozího:

$$y' = \frac{x' \sin \alpha + y}{\cos \alpha}$$

- výpočet hodnoty ( $y$ ), která se bude mapovat do výstupního obrazu, lze použít libovolnou metodu převzorkování v okolí bodu  $[u, v]$

# Předzpracování obrazu

Ilona Janáková



---

Rozvrh přednášky:

1. Řetězec zpracování obrazu.
2. Předzpracování obrazu.
3. Šum, zkreslení.
4. Bodové jasové transformace.
5. Geometrické transformace.
- 6. Lokální předzpracování.**
7. Další techniky předzpracování.



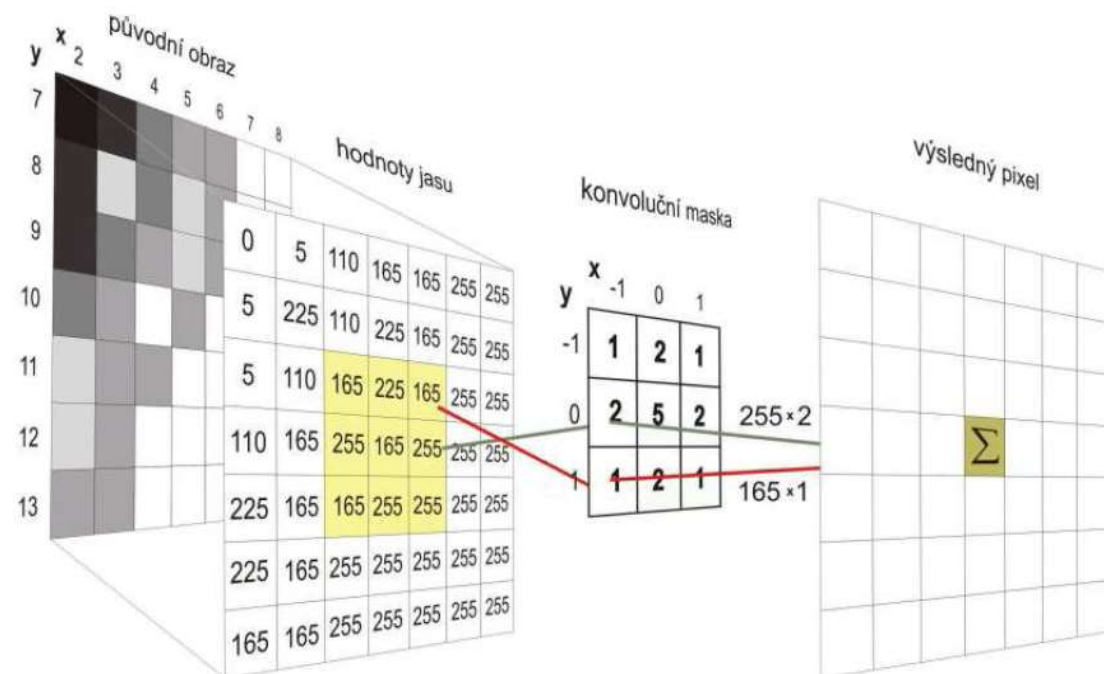
# Lokální předzpracování

- Využívají pro výpočet jasů bodu ve výstupním obrazu jen lokální okolí odpovídajícího bodu ve vstupním obrazu
- **Podle cíle:**
  - potlačení šumu - vyhlazování obrazu
  - zvýraznění rysů - detekce hran (gradientní operátory, ostření)
- **Podle funkčního vztahu:**
  - lineární – lineární kombinace intenzit obrazu a vhodného filtru
  - nelineární – jiný algoritmus, nejčastěji typický reprezentant

## Lokální lineární předzpracování

- jas v bodě  $(i,j)$  je dán lineární kombinací jasů v okolí  $O$  (velikosti  $M \times N$ ) vstupního obrazu  $g$  s váhovými koeficienty  $h$  (konvoluční jádro = **filtr**).
- pro izoplanární systémy (nezávislé na poloze) = diskrétní konvoluce:

$$f(i, j) = \sum_{m=i-M/2}^{i+M/2} \sum_{n=j-N/2}^{j+N/2} h(m-i, n-j) g(m, n)$$



# Lokální předzpracování – vyhlazování obrazu

- ▶ Potlačení vyšších frekvencí = potlačení náhodného šumu, ale i jiných náhlých změn (ostré čáry a hrany)
- využívá se nadbytečnosti dat = stejné pixely v okolí

## ▶ Metody:

1. Průměrování
2. Filtr s Gaussovým rozložením
3. Medián
4. Jiné statistiky – modus/minimum/maximum/..., konzervativní filtr
5. Vyhlazování rotující maskou

## ▶ 1. Průměrování



### Přes více (n) obrazů

$$f(i, j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n g_k(i, j)$$

- nerozmazává hrany (u statických scén), pro dynamické scény je vhodné pořídit model prostředí (pozadí)

### V jednom obrazu

- lokální aritmetický průměr – můžeme řešit konvolucí – rozmazává hrany

Př. filtrů 3x3:

$$h = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

zvýšení váhy středu:  $h = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$

nebo 4-sousedů:  $h = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$

- průměrování s omezením změn – povolení jen určitých změn mezi původním jasem a výsledkem průměrování

# Lokální předzpracování – vyhlazování obrazu

## 2. Filtr s Gaussovým rozložením

- Gaussovo (normální) rozložení:

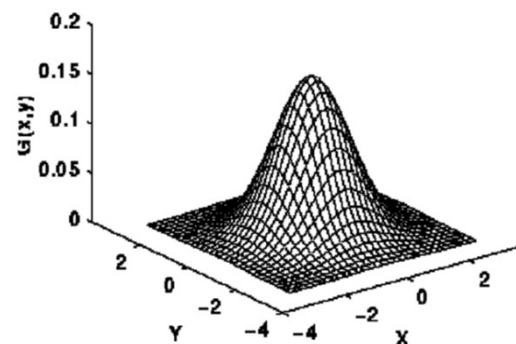
$$1D: G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad \rightarrow \quad 2D: G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

kde  $x, y$  jsou souřadnice obrazu a  $\sigma$  je směrodatná odchylka (udává velikost okolí, na kterém filtr pracuje)

Př. filtru 5x5:

1	4	7	4	1
4	16	26	16	4
7	26	41	26	7
4	16	26	16	4
1	4	7	4	1

$\frac{1}{273}$



## 3. Medián

- medián číselné posloupnosti je číslo, které se po uspořádání podle velikosti nachází uprostřed této posloupnosti
- výhoda: redukuje rozmazávání hran
- nevýhoda: poškozují tenké čáry a ořezává ostré rohy

10	10	15	16	16
10	10	15	16	16
10	10	10	16	16
10	10	15	16	16
10	10	15	16	16

10 10 10 10 **15** 15 16 16 16

**10 → 15**

10	10	5	10	10
10	10	5	10	10
10	10	5	10	10
10	10	5	10	10
10	10	5	10	10

5 5 5 10 10 **10** 10 10 10 10

**5 → 10**

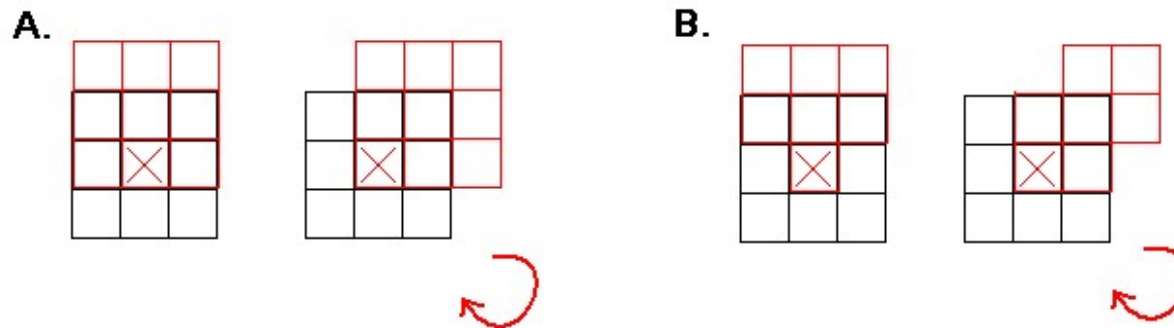
## 4. Jiné statistiky - modus/minimum/maximum/..., konzervativní filtr

# Lokální předzpracování – vyhlazování obrazu

## 5. Vyhlazování rotující maskou

- podle homogenity (např. rozptylu) jasu hledá k filtrovanému bodu část jeho okolí, ke které pravděpodobně patří a tu pak použije pro výpočet
- mírně ostřící charakter
- osm pozic stejné masky, různé masky

Př. masek (A, B) a naznačení prvních dvou pozic masek:



### Algoritmus:

1. Přes všechny body  $(i,j)$  obrazu
2. Přes všechny pozice masky (8 pozic)
3. Výpočet rozptylu jasu

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{(M,N) \in O} \left( g(i,j) - \frac{1}{n} \sum_{(M,N) \in O} g(i,j) \right)^2$$

O...okolí (MxN), n...počet bodů masky

4. Výběr pozice s nejmenším rozptylem
5. Přiřazení bodu  $(i,j)$  výstupního obrazu hodnotu aritmetického průměru jasů vybrané masky

# Lokální předzpracování – vyhlazování obrazu

## ► Ukázka výsledků

- obrázek zatížen šumem typu „pepř a sůl“ s hustotou 0,02

Original



Prumer 3x3



Prumer 5x5



Prumer 7x7



Gauss 3x3, sigma = 0,7



Gauss 5x5, sigma = 0,7



Median 3x3



Median 5x5



# Lokální předzpracování – detekce hran

- ▮ Zdůraznění vyšších frekvencí = zvýraznění obrazových elementů, kde se jasové fce náhle mění (velký modul gradientu), ale bohužel i šumu
- vychází se z toho, že hrana je místo, kde se náhle mění jas a toto místo se musí zdůraznit
- ▮ hrana je určena velikostí (velikost gradientu obrazové fce) a směrem

$$|\nabla g| = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad \varphi = \arctg\left(\frac{\partial g}{\partial y} / \frac{\partial g}{\partial x}\right)$$

- ▮ parciální derivace v obrazech nahrazeny diferencemi:

$$\Delta_i g(i, j) = g(i, j) - g(i-1, j)$$

$$\Delta_j g(i, j) = g(i, j) - g(i, j-1)$$

- ▮ Ostření = úprava obrazu tak, aby v něm byly strmější hrany

$$f(i, j) = g(i, j) - C \cdot S(i, j)$$

kde  $C$  ... koeficient udávající sílu ostření,  $S(i, j)$  ... strmost změny v určitém bodě, např. gradient nebo Laplacián

- ▮ Posouzení kvality hranových detektorů

- dobrá detekce - odolnost vůči šumu
- dobrá lokalizace - detekované hranové body co nejbližší středu hrany
- jedinečná odezva - měla by existovat jen jedinečná odezva na skutečnou hranu



# Lokální předzpracování – detekce hran

## Operátory neinvariantní vůči rotaci

- několik masek (rotace jedné): Robertsův, Sobelův, Prewittové, Kirschův, ....
- aproximace první derivace

$$h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad h_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix},$$

*Roberts*

$$h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}, \quad h_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \dots$$

*Sobel*

$$h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}, \quad h_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \dots$$

*Prewitt*

$$h_1 = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ 3 & 0 & 3 \\ -5 & -5 & -5 \end{bmatrix}, \quad h_2 = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 3 \\ -5 & 0 & 3 \\ -5 & -5 & 3 \end{bmatrix}, \dots$$

*Kirsch*

# Lokální předzpracování – detekce hran

## Operátory invariantní vůči rotaci

- jedna maska pro všechny směry
- většinou vychází z aproximace **druhé derivace** – detekce průchodu nulou

## Laplacián

$$\nabla^2 g = \frac{\partial^2 g}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 g}{\partial^2 y} \quad \Rightarrow \quad h_4 = \begin{matrix} \text{⊕} \\ \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad h_8 = \begin{matrix} \text{⊗} \\ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

*Laplaceův*

## Cannyho hranový detektor

## Operátor LoG (Marr-Hildreth)

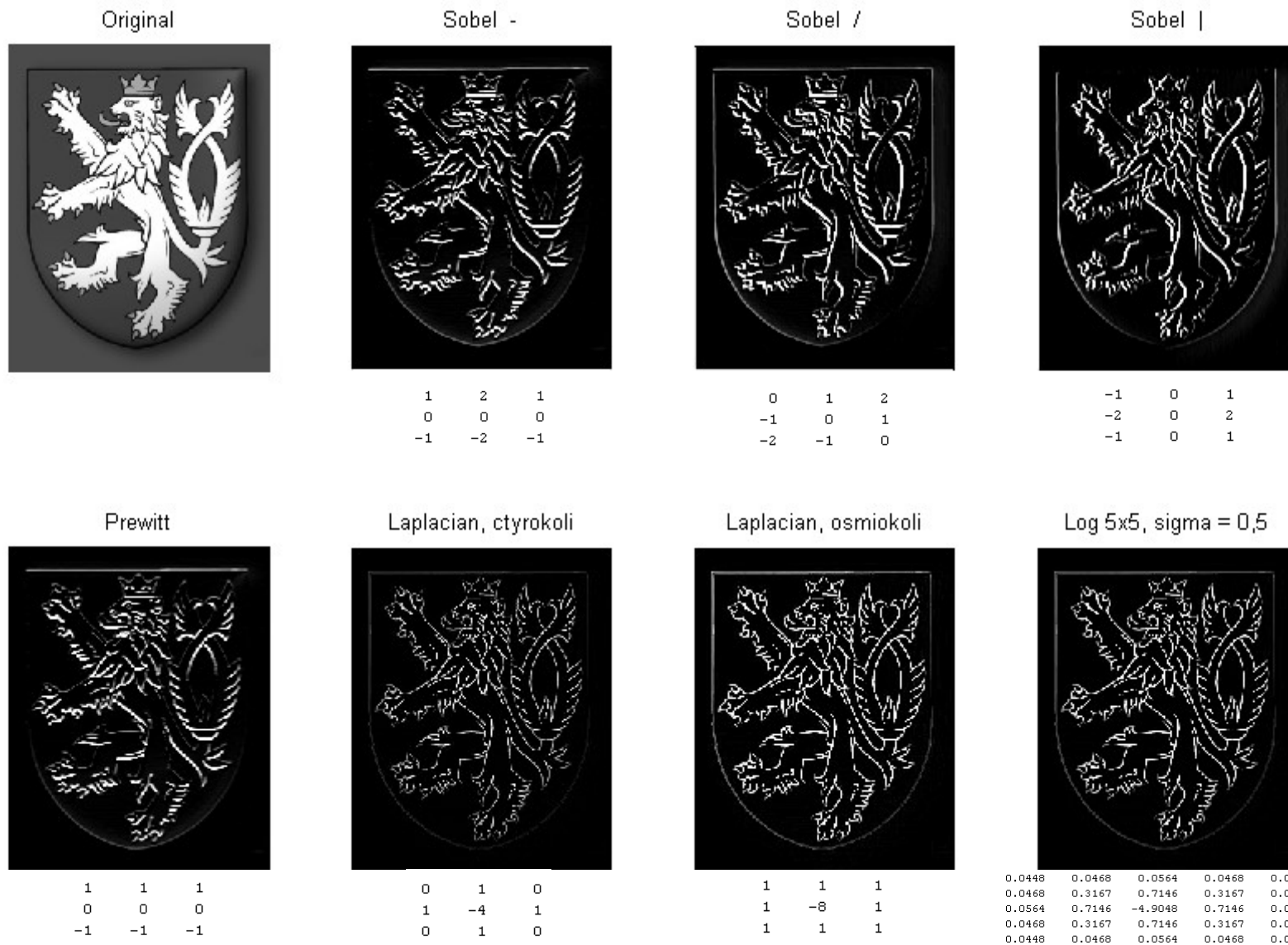
- druhá derivace hledána pomocí filtru s Gaussovým rozložením  $G$  a Laplaceova operátoru
- derivace Gaussova filtru lze spočítat předem analyticky (nezávisí na konkrétním obrazu)

$$\nabla^2 (G * g) = (\nabla^2 G) * g = 0$$

## Operátor DoG - rozdíl Gaussovek - aproximace LoG

# Lokální předzpracování – detekce hran

## Ukázka výsledků



# Předzpracování obrazu

Ilona Janáková



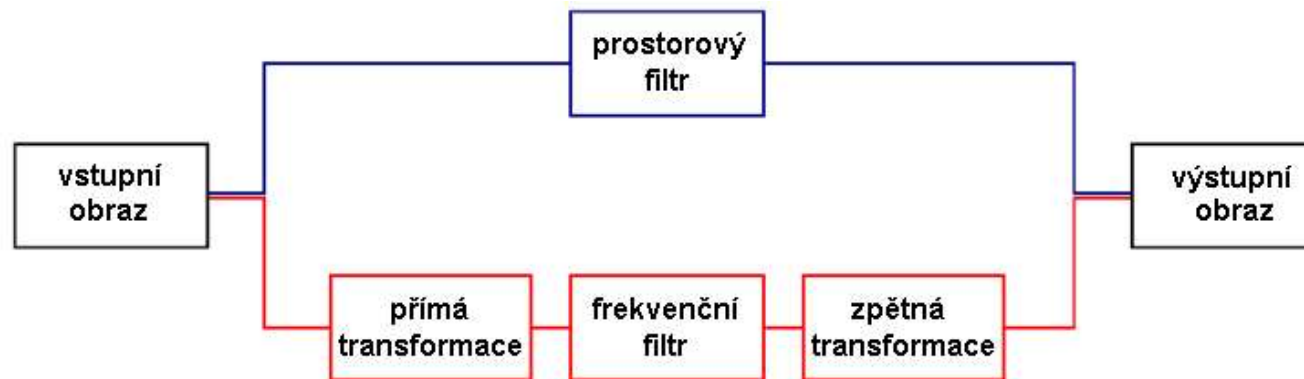
---

Rozvrh přednášky:

1. Řetězec zpracování obrazu.
2. Předzpracování obrazu.
3. Šum, zkreslení.
4. Bodové jasové transformace.
5. Geometrické transformace.
6. Lokální předzpracování.
- 7. Další techniky předzpracování.**

# Filtrace obrazu v kmitočtové oblasti

- Je nutné převést obraz do frekvenční reprezentace, tam provést filtraci a nakonec převést zpět
- nejčastěji Fourierova transformace, kosínová, vlnková (wavelet)
- Ize aplikovat na celém obraze či jen na výřezu



## Fourierova transformace

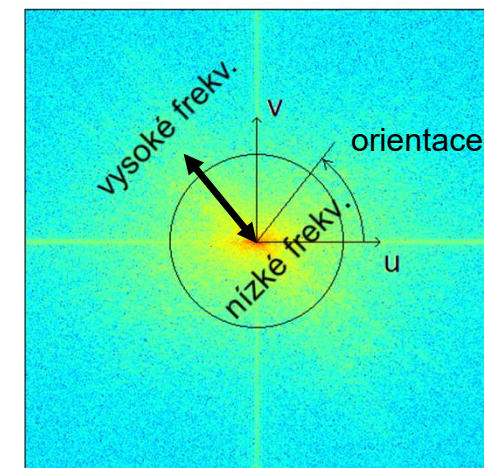
- využívá se amplitudová char. nebo výkonová spektrální hustota

$$F(u, v) = \sum_{y=0}^{R-1} \sum_{x=0}^{S-1} f(x, y) \cdot \exp\left(-\frac{2\pi j \cdot x \cdot u}{S} + \frac{-2\pi j \cdot y \cdot v}{R}\right)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{R \cdot S} \cdot \sum_{v=0}^{R-1} \sum_{u=0}^{S-1} F(u, v) \cdot \exp\left(\frac{2\pi j \cdot x \cdot u}{S} + \frac{2\pi j \cdot y \cdot v}{R}\right)$$

## Konvoluční teorém – konvoluci předmětů odpovídá součin jejich spekter

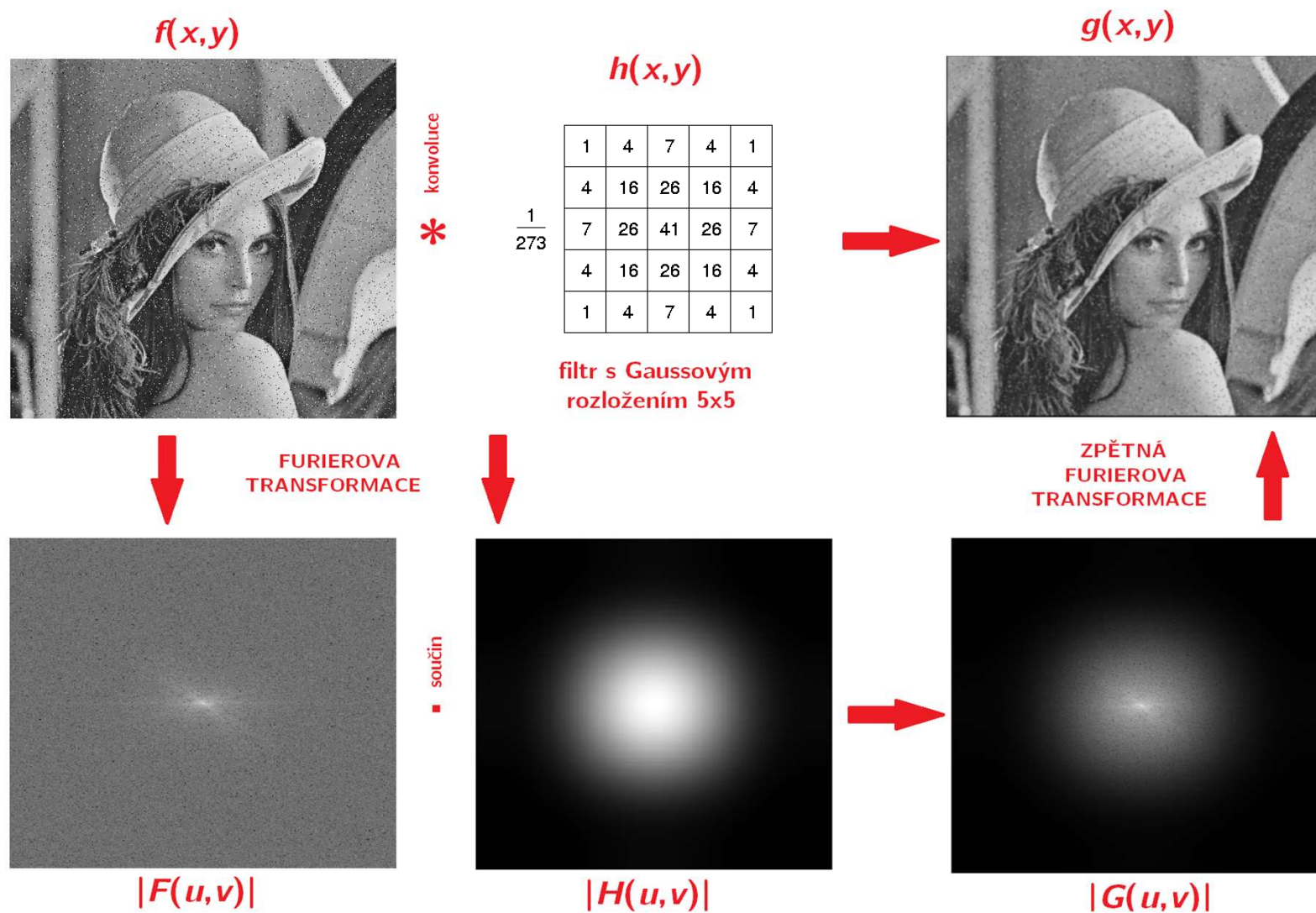
- volbou koeficientů ve frekvenční oblasti lze modifikovat obraz v prostorové oblasti (např. realizovat filtr typu dolní propust pro vyhlazení obrazu)



**Shifted  $\ln|F(u, v)|$**

# Filtrace obrazu v kmitočtové oblasti

- Konvoluční teorém - oba způsoby filtrace - v prostorové i frekvenční oblasti - jsou **ekvivalentní** a dávají identický výsledek (pokud je filtr ve frekv. oblasti FT obrazem konvolučního filtru v prostorové oblasti)





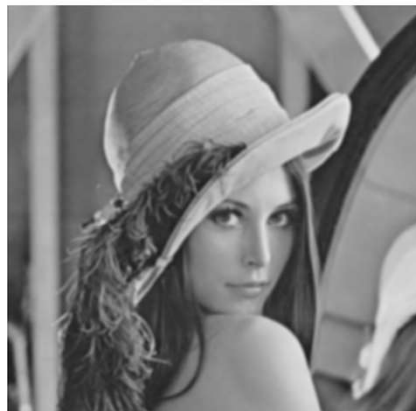
# Filtrace obrazu v kmitočtové oblasti

- ▶ Low pass – dolnofrekvenční filtry → vyhlazování obrazu
- ▶ High pass – hornofrekvenční filtry → zvýraznění hran
- ▶ ↪ pásmové filtry → kromě vyhlazování jsou schopny zaostřovat a zvýrazňovat details

$f(x,y)$



low pass

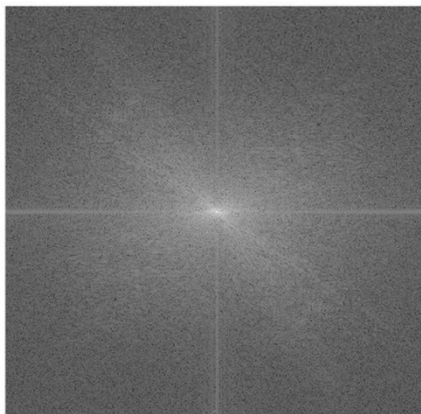


$g(x,y)$

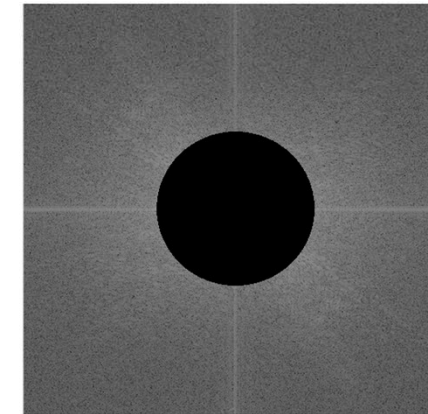
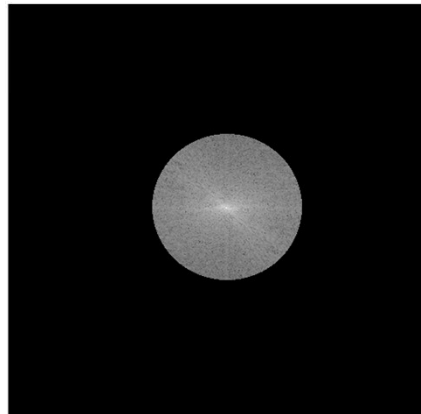


high pass

$|F(u,v)|$



$|G(u,v)|$



# Restaurace obrazu

- ▮ Snaha o potlačení porušení obrazu na základě znalosti charakteru poruchy nebo jejího odhadu
  - čím lepší je znalost degradace, tím lepší jsou výsledky, proto se degradace modelují
- ▮ **Modely poruch se dělí:**
  - apriorní – parametry poruchy jsou známy nebo lze získat před obnovením (např. ohodnocení vlastností snímacího zařízení, rozmazání – modelujeme směr a rychlost pohybu, ...)
  - aposteriorní – znalosti o poruše jsou získávány až analýzou degradovaného obrazu (určování charakteru poruch vyhledáváním osamělých bodů nebo přímků v obrazu a nalezením odpovídající přenosové funkce po degradaci, odhadování spektrálních vlastností šumu v oblastech obrazu, o kterých víme, že jsou poměrně stejnorodé, ...)
- ▮ Obvykle se uvažuje lineární model poruchy (konvoluce přes celý obrázek)

$$g(x, y) = \int \int_{(a,b) \in \mathcal{O}} f(a, b) h(a, b, x, y) da db + v(x, y)$$

$$g(x, y) = (f * h)(x, y) + v(x, y)$$

$$G(u, v) = F(u, v)H(u, v) + N(u, v),$$

kde  $f(a, b)$  je neporušený obraz,  $g(x, y)$  je degradovaný obraz,  $v(x, y)$  je aditivní šum a  $h(x, y)$  je prostorově nezávislý model poruchy

- ▮ **Úloha rekonstrukce** obrazu spočívá v nalezení rekonstrukčního filtru  $h_R$ , resp.  $H_R$ , tak aby rozdíl mezi požadovaným obrazem  $f$  a výsledným zrekonstruovaným  $f_R$  byl co nejmenší

$$\varepsilon = \|f_R - f\|$$

$$f_R(x, y) = [f(x, y) * h(x, y) + v(x, y)] * h_R(x, y)$$

$$F_R(u, v) = [F(u, v)H(u, v) + N(u, v)]H_R(u, v)$$



# Restaurace obrazu

## ► Příklady filtrů:

### Relativní pohyb mezi objektem a kamerou

- konstantní pohyb objektu ve směru osy  $x$ , rychlostí  $V$  pod dobu  $T$  (v době otevření závěrky)

$$H(u, v) = \frac{\sin(\pi V T u)}{\pi V u}$$

### Rozostřený objekt

- špatné zaostření tenké čočky při malé hloubce ostrosti ( $J_1$  je Besselova fce prvního řádu,  $r^2 = u^2 + v^2$ ,  $a$  je posun v obrazu) – model je prostorově závislý

$$H(u, v) = \frac{J_1(ar)}{ar}$$

### Inverzní filtrace

- vhodné jen pro obrazy, které nejsou zatíženy šumem - rekonstrukční filtr  $H_R(u, v)$  a rekonstruovaný obraz  $F_R(u, v)$  lze zapsat:

$$H_R(u, v) = \frac{1}{H(u, v)} \quad F_R(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)} = R(u, v)$$

- u obrazů se šumem rozmazává ostré hrany (aditivní chyba pro vysoké frekvence – malá amplituda filtru)

$$F(u, v) = G(u, v)H^{-1}(u, v) - N(u, v)H^{-1}(u, v)$$

### Wienerova filtrace

- vhodné i pro nezanedbatelný šum, který má však odhadnutelné statistické vlastnosti
- minimalizace středněkvadratickou chybu mezi  $f$  - správný (ale nepozorovaný) obraz a  $\hat{f}$  - odhad správného obrazu

# Matematická morfologie

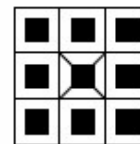
## ► Používá se pro:

- předzpracování (odstranění šumu, zjednodušení tvaru objektů)
- zdůraznění struktury objektů (kostra, ztenčování, zesilování, výpočet konvexního obalu, označování objektů)
- popis objektů číselnými charakteristikami (plocha, obvod, projekce)

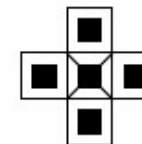
► technika zpracování geometrických struktur původně založená na teorii množin

► úlohu vyhodnocení obrazu geometrizuje, základem jsou tvar objektů a transformace, které ho zachovávají

► jsou realizované jako relace obrázku s jinou menší bodovou množinou = **strukturní element** – elementem systematicky pohybujeme v obrazu



(a)



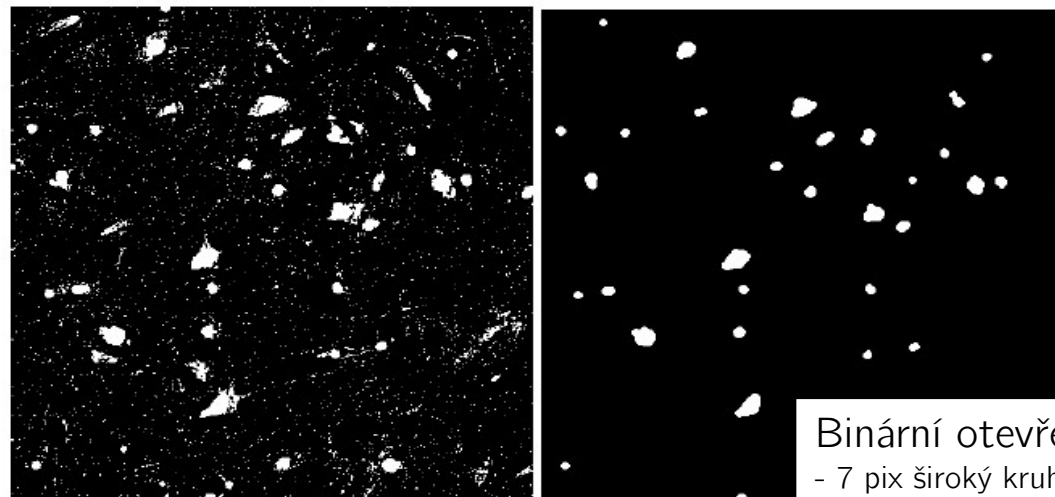
(b)



(c)

## ► Základní operace:

- dilatace – vektorový součet
- eroze – vektorový rozdíl
- otevření
- uzavření
- transformace  
Tref či miň (Hit or miss)
- ztenčování
- zesilování



Binární otevření  
- 7 pix široký kruhový element