Filtrace šumu a poruch

Ilona Janáková

Computer Vision Group
Department of Control and Instrumentation
Faculty of Electrical Engineering and Communications
Brno University of Technology

Rozvrh přednášky:

1. Řetězec zpracování obrazu.
2. Šum, zkreslení, poruchy.
3. Filtrace šumu.
4. Filtrace ve frekvenční oblasti.
5. Rekonstrukce obrazu – filtrace poruch.

Filtrace šumu a poruch

Ilona Janáková

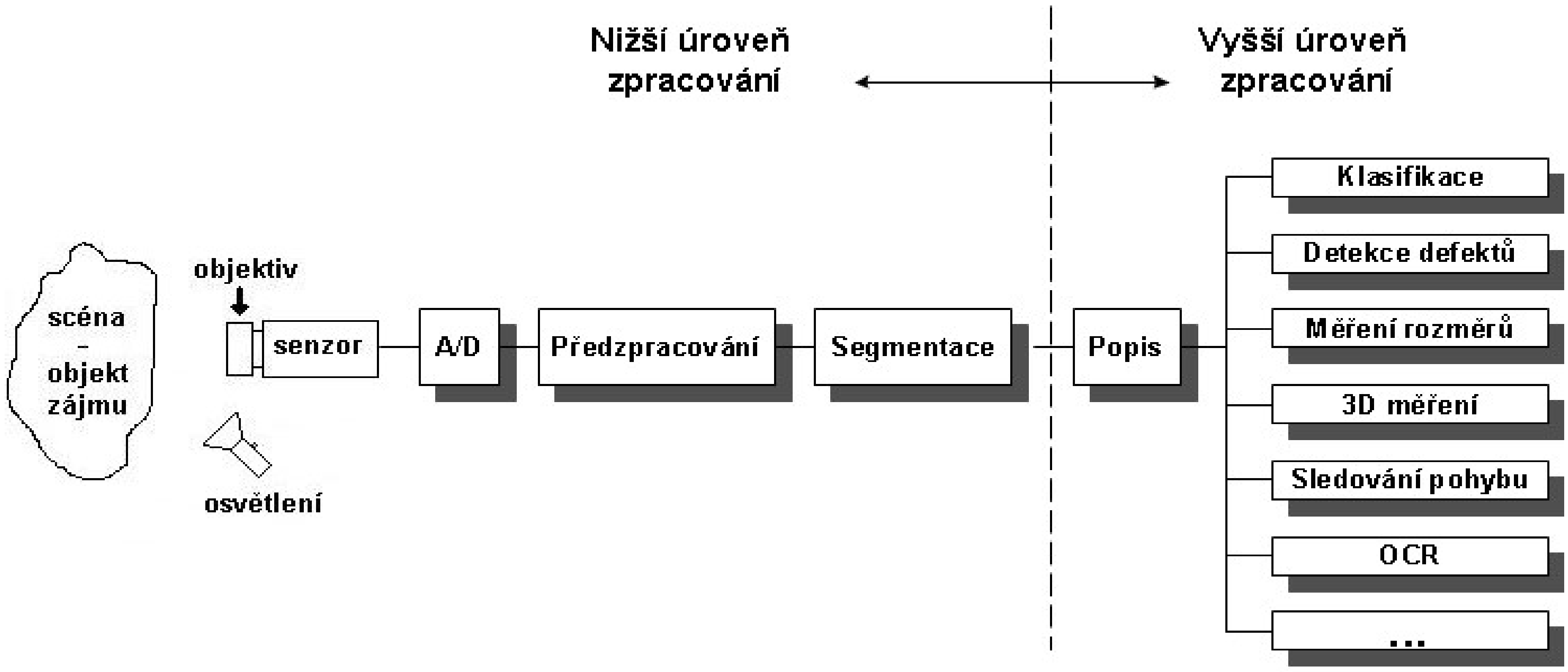
Computer Vision Group
Department of Control and Instrumentation
Faculty of Electrical Engineering and Communications
Brno University of Technology

Rozvrh přednášky:

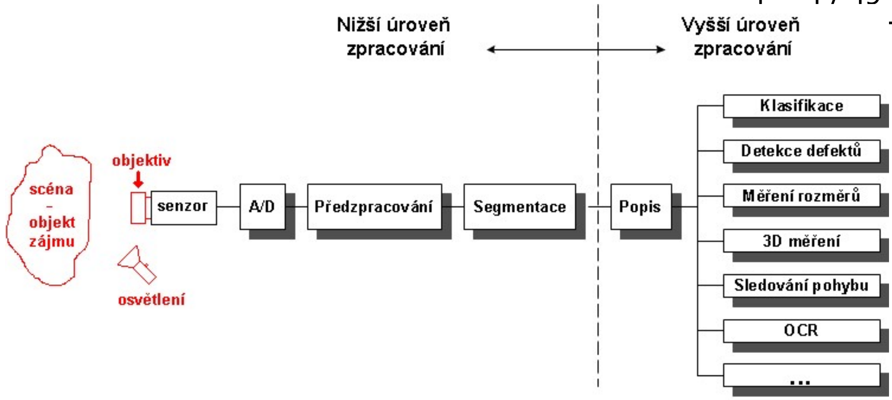
1. **Řetězec zpracování obrazu.**
2. Šum, zkreslení, poruchy.
3. Filtrace šumu.
4. Filtrace ve frekvenční oblasti.
5. Rekonstrukce obrazu – filtrace poruch.

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



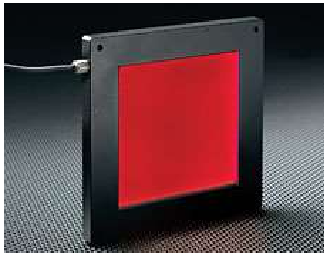
Řetězec zpracování obrazu – osvětlení, objektiv



Osvětlení

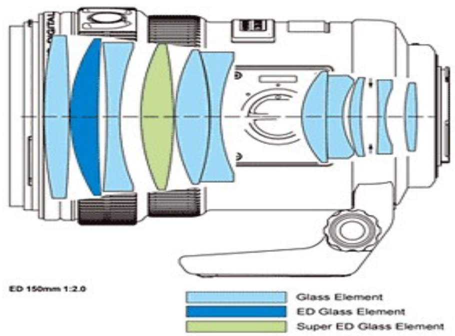
- typ zdroje – sluneční světlo, žárovka, zářivka, výbojka, LED dioda, laser, …
- provedení, orientace – bodové, plošné, kruhové, světelný pruh, vzor, … přímé, směrové, rovnoběžné, difusní, boční, zadní …
- vyzařovací charakteristika, intenzita, polarizace, koherence, …
- vlnová délka – IR, viditelné,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



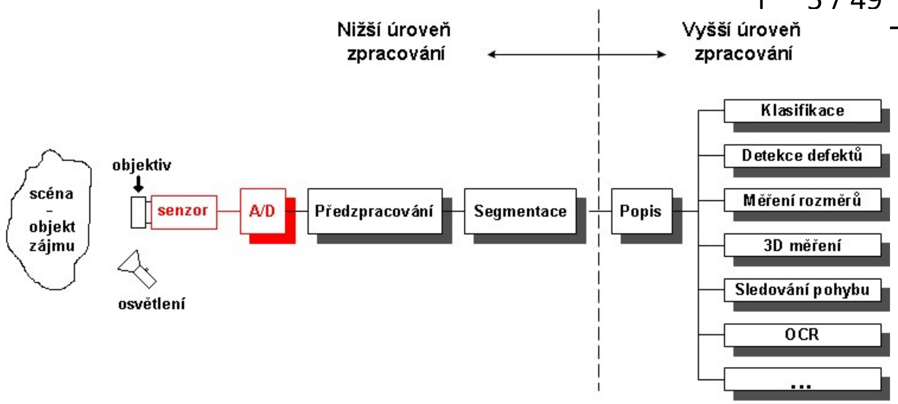


Objektiv

- 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

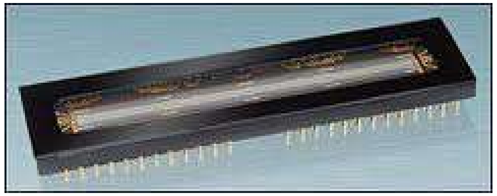



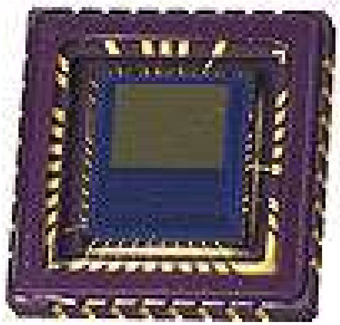
Řetězec zpracování obrazu – senzor, A/D převod



Senzor

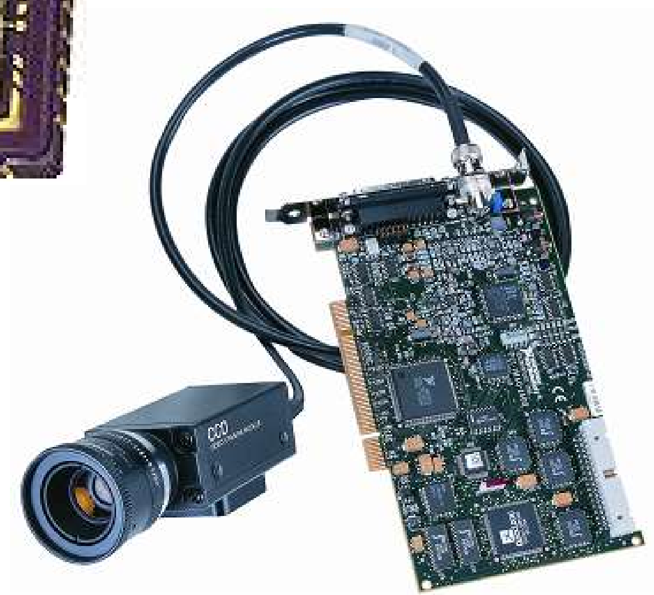
- typ – řádkový (lineární) x plošný (maticový), barevný (jeden x tři čipy), monochromatický
- technologie – CCD, CMOS, progresivní, prokládaný (interlaced)
- rozměr senzoru – nejčastěji 1/3“, 1/2“, 2/3“, rozměr pixelu, pixelové rozlišení, video standard
- spektrální citlivost
- data rate, kontrolní a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



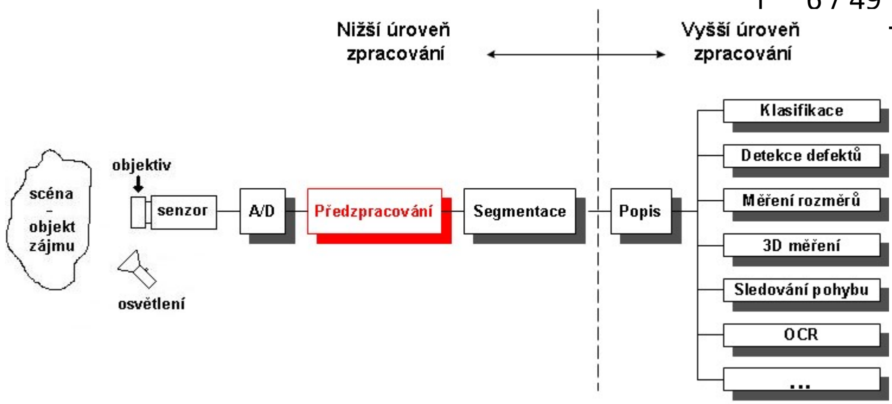


A/D převod

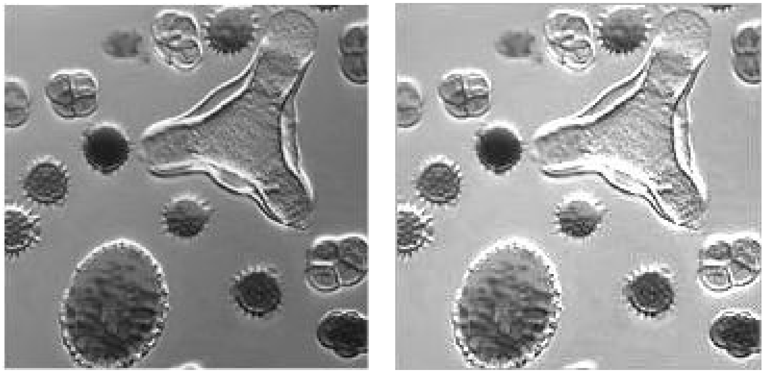
- v závislosti na použitém senzoru - digitalizační karta do PC, součást kamery, …
- vzorkování a kvantování
- programovatelná hradlová pole, signálové procesory
- mohou být řešeny i některé operace předzpracování obrazu – DFT, prahování, …



Řetězec zpracování obrazu – předzpracování

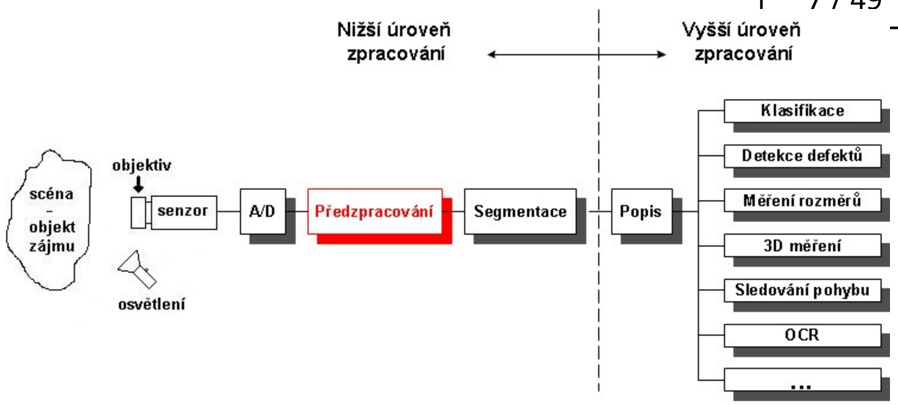


- **Cíl předzpracování:**
  - potlačit šum, poruchy, zkreslení
  - potlačit či zvýraznit rysy obrazu



- Vstupem i výstupem předzpracování je obraz
- *g(x,y)* … element vstupního obrazu
- *f(x,y)* … element výstupního (transformovaného) obrazu

Řetězec zpracování obrazu – předzpracování

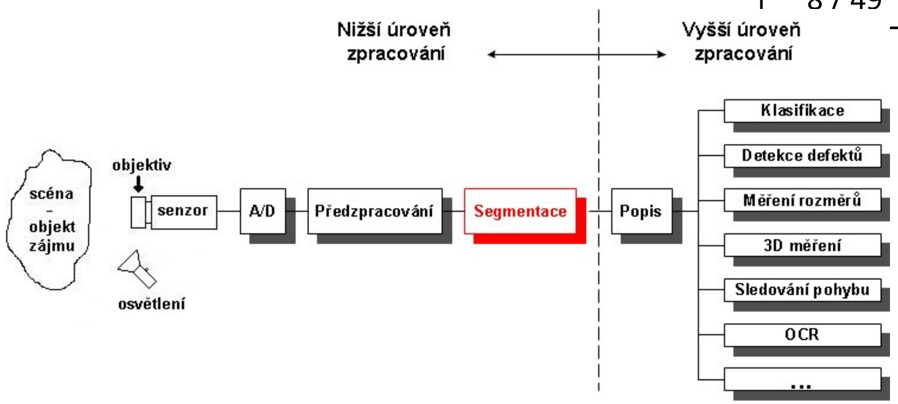


- využívá se nadbytečnosti údajů v obrazu - sousední pixely mají většinou podobnou hodnotu jasu
- řadu operací předzpracování můžeme zjednodušit vhodným nastavením scény, výběrem senzoru, objektivu atd.
- předzpracování musíme vztahovat k tomu, co chceme z obrazu získat, co s ním chceme dělat dál

METODY:

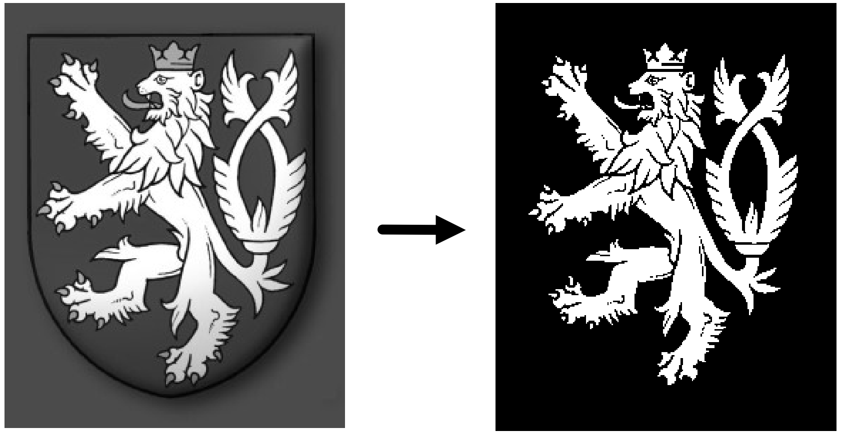
1. Jasové transformace
   - jasová korekce
   - transformace jasové stupnice
2. Geometrické transformace
   - plošná transformace
   - jasová transformace
3. Lokální předzpracování
   - vyhlazování obrazu
   - detekce hran, ostření
4. Filtrace obrazu v kmitočtové oblasti
5. Restaurace obrazu
6. Matematická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

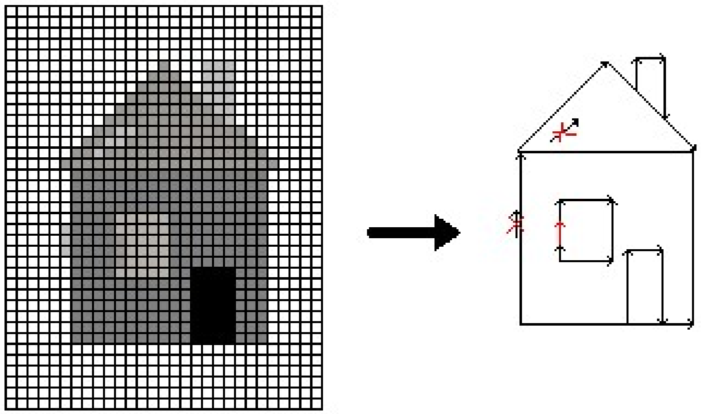
Řetězec zpracování obrazu – segmentace



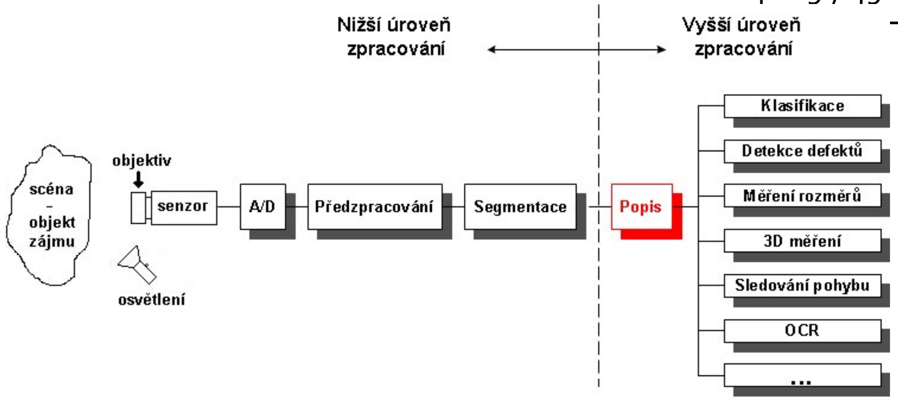
- **Cíl segmentace:**
  - rozčlenit obraz do částí, které souvisí s předměty či oblastmi reálného světa
    - oddělení objektů od pozadí, analýza obsahu obrazu
  - obraz chystáme pro další krok = popis
  - redukce dat

- 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

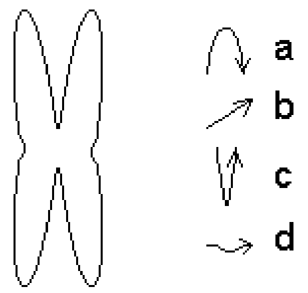
1.barva vlasů (černá = 0, hnědá = 1, blond = 2, rezavá = 3)
2.pohlaví (muž = 0, žena = 1)
3.výška = 175 cm
4.vousy (ne = 0, ano = 1)
5.vzdělání (základní = 0, středoškolské = 1, vysokoškolské = 2)

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

Vektor ***x*** tedy popisuje 1,75 m vysokou brunetu s vysokoškolským vzděláním, která nemá vousy.

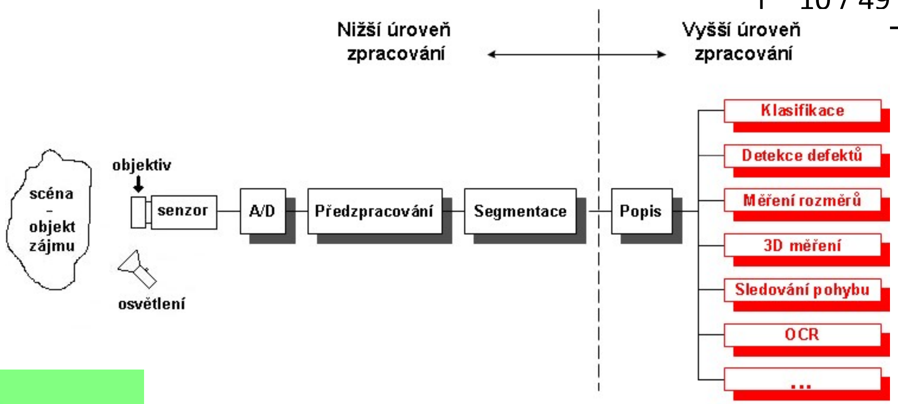
Kvalitativní – řetězec primitiv

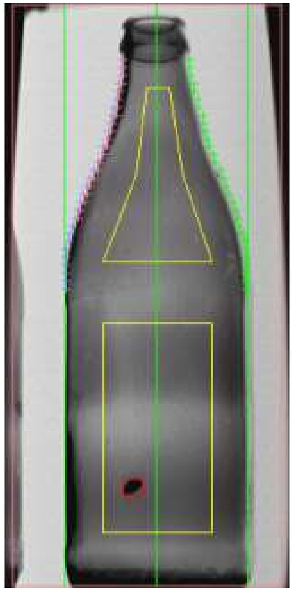
Popis chromozómu

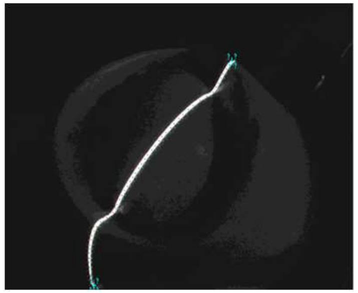


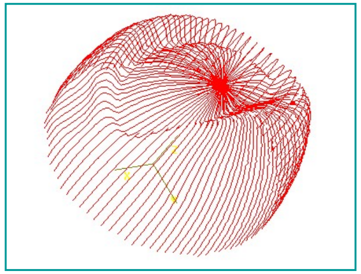
babcbabdbabcbabd

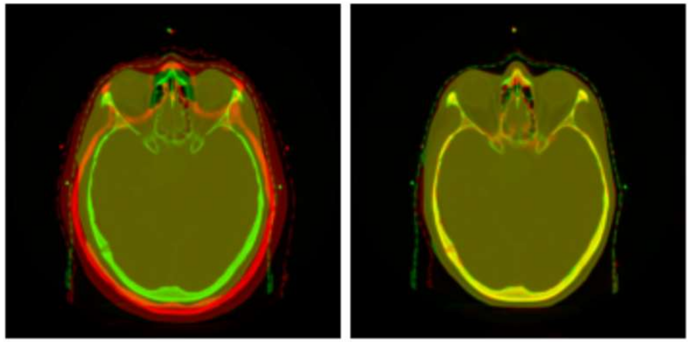
Řetězec zpracování obrazu – aplikace

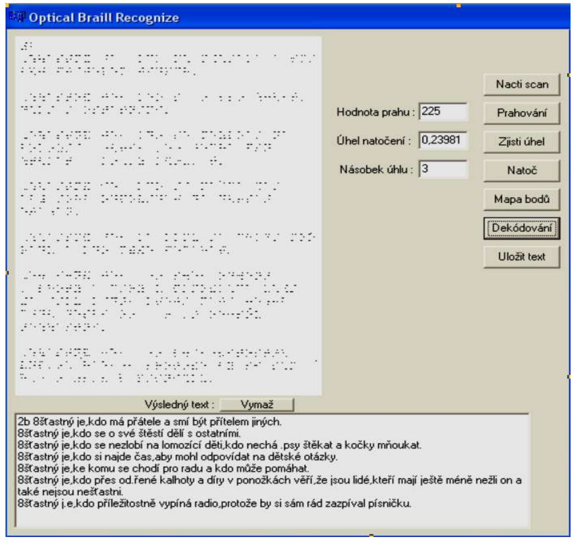












Filtrace šumu a poruch

Ilona Janáková

Computer Vision Group
Department of Control and Instrumentation
Faculty of Electrical Engineering and Communications
Brno University of Technology

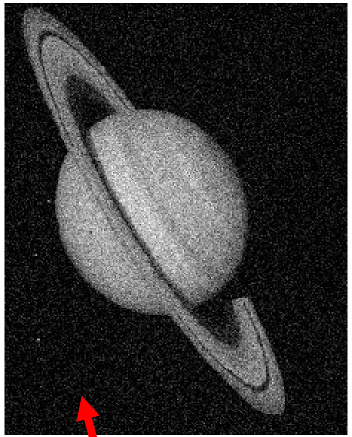
Rozvrh přednášky:

1. Řetězec zpracování obrazu.
2. **Šum, zkreslení, poruchy.**
3. Filtrace šumu.
4. Filtrace ve frekvenční oblasti.
5. Rekonstrukce obrazu – filtrace poruch.

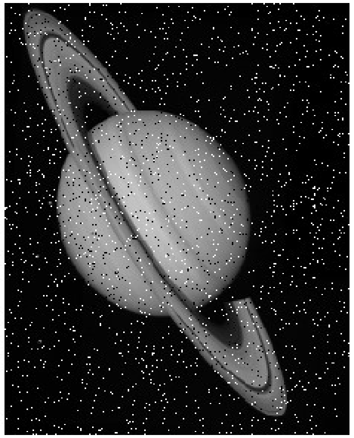
Šum, zkreslení, poruchy

Šum
- data bez významu, nenesou informaci, jsou jen nechtěným vedlejším produktem jiných aktivit

Typy:
- typu „pepř a sůl“= zrnění, impulsní šum - u obrazů s více jasovými úrovněmi
- Gaussovský = hustota pravděpodobnosti šumu má gaussovo rozložení
- Poissonovský (Photon counting) – u senzorů pracujících jako čítač fotonů (CCD)
- bílý = idealizovaný, používá se pro simulace nejhorších degradací obrazu, ve výkonovém spektru má rovnoměrně zastoupeny všechny frekvence
- kvantizační = není použit dostatečný počet jasových úrovní
- aditivní = vzniká při přenosu obrazu nebo snímání
- multiplikativní = šum TV rasteru, charakter vodorovných pruhů



Bílý šum



Šum „pepř a sůl“

Gaussovský šum

Vznik:
- především při získávání, digitalizaci a přenosu obrazu
- generovaný elektrický signál může být ovlivněn:
    - jiným elmag. zářením (radiové vlny, mikrovlny)
    - nerovnoměrností struktury
    - teplotními kmity krystalové mřížky
    - teplotou polovodičových součástek a integrovaných obvodů
    - při transportu náboje ze senzoru atd.
- nejvíce patrný při špatných světelných podmínkách – pro dostatečnou expozici je třeba vyšší citlivost (vyšší zesílení)

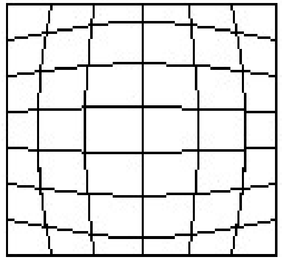
Šum, zkreslení, poruchy

- **Zkreslení a další poruchy**

- **Příklady:**
  - radiální zkreslení – poduška, soudek
  - tangenciální zkreslení - perspektiva
  - rozmazání pohybem

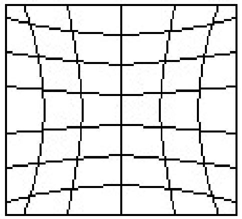
- **Vznik:**
  - vada optické soustavy
  - nelinearita opticko-elektrického senzoru
  - nelinearita záznamového materiálu
  - nerovnoměrné osvětlení
  - nevhodné zaostření
  - vzájemný pohyb snímače a předmětu
  - turbulence atmosféry

a)

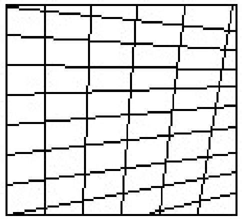


a) soudkovitého zkreslení

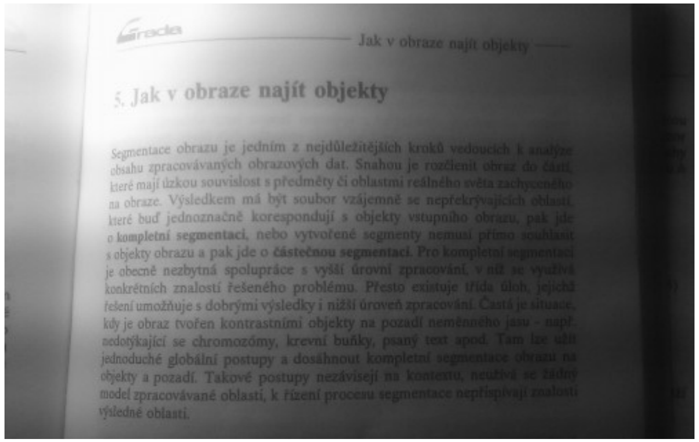
b)



c)



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



Jak v obraze najít objekty

5. Jak v obraze najít objekty

Segmentace obrazu je jedním z nejdůležitějších kroků vedoucích k analýze obsahu zpracovávaných obrazových dat. Snahou je rozčlenit obraz do částí, které mají úzkou souvislost s předměty či oblastmi reálného světa zachyceného na obraze. Výsledkem má být soubor vzájemně se nepřekrývajících oblastí, které buď jednoznačně korespondují s objekty vstupního obrazu, pak jde o **kompletní segmentaci**, nebo vytvořené segmenty nemusí přímo souhlasit s objekty obrazu a pak jde o **částečnou segmentaci**. Pro kompletní segmentaci je obecně nezbytná spolupráce s vyšší úrovní zpracování, v níž se využívá konkrétních znalostí řešeného problému. Přesto existuje třída úloh, jejichž řešení umožňuje s dobrými výsledky i nižší úroveň zpracování. Častá je situace, kdy je obraz tvořen kontrastními objekty na pozadí neměnného jasu - např. nedotýkající se chromozómy, krevní buňky, psaný text apod. Tam lze užít jednoduché globální postupy a dosáhnout kompletní segmentace obrazu na objekty a pozadí. Takové postupy nezávisejí na kontextu, neužívá se žádný model zpracovávané oblasti, k řízení procesu segmentace nepřispívají znalosti výsledné oblasti.

Nerovnoměrné osvětlení

Pohyb objektu i snímače

Filtrace šumu a poruch

Ilona Janáková

Computer Vision Group
Department of Control and Instrumentation
Faculty of Electrical Engineering and Communications
Brno University of Technology

Rozvrh přednášky:

1. Řetězec zpracování obrazu.
2. Šum, zkreslení, poruchy.
3. **Filtrace šumu.**
4. Filtrace ve frekvenční oblasti.
5. Rekonstrukce obrazu – filtrace poruch.

Filtrace šumu

- Filtrace dat = proces, který transformuje data takovým způsobem, že struktury určitého charakteru zesiluje či potlačuje
- Filtrace šumu = vyhlazování = zeslabení statistických fluktuací
- řeší se jako potlačení vyšších frekvencí
  = potlačení náhodného šumu,
  = ale i jiných náhlých změn (ostré čáry a hrany)
- využívá se nadbytečnosti dat = stejné pixely v čase nebo okolí
- Provádí se v rámci bloku operací „Předzpracování obrazu“

METODY:

1. Časová filtrace - filtrace přes více snímků
2. Prostorová filtrace
   - Lineární filtry
   - Nelineární filtry
   - Matematická morfologie
3. Filtrace ve frekvenční oblasti

1. Časová filtrace

- **Filtrace přes více snímků**
- pro statické scény lze použít průměrování stejných pixelů přes více snímků nebo jiná statistika (medián atd.)
- výhodou je, že nerozmazává hrany

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

- pro dynamické scény, kdy se pohybuje objekt před statickým pozadím
  - nejjednodušší je pořídit snímky bez objektu
  - anebo, pokud to není možné, lze použít model prostředí (pozadí), např. model s lineárním zapomínáním

$$b(i,j) = \alpha \cdot g_k(i,j) + (1-\alpha)\cdot b(i,j)$$

kde α představuje míru zapomínání, např. α=0.001

- pro dynamické scény, kdy se např. pohybuje kamera, nebo chceme filtrovat šum pohybujícího se objektu, je třeba nejdříve analyzovat vlastnosti pohybu (např. optický tok)

2. Prostorová filtrace – lokální předzpracování

- pro filtraci jednoho obrazu v jeho prostorových souřadnicích se používají lokální operace - využívá se nadbytečnosti dat = stejné pixely v okolí
- lokální operace využívají pro výpočet jasu bodu ve výstupním obrazu jen lokální okolí odpovídajícího bodu ve vstupním obrazu – buď typický reprezentant nebo kombinace hodnot

- **Podle cíle:**

- potlačení šumu - vyhlazování obrazu
- detekce hran (gradientní operátory, ostření)

- **Zda jsou prostorově invariantní nebo závislé na poloze v obrazu**

- **Podle funkčního vztahu:**

- lineární
- nelineární

- Lokální lineární filtry - intenzita bodu je rovna součtu součinů intenzit bodů v okolí a příslušných váhových koeficientů (matice koeficientů = filtr)

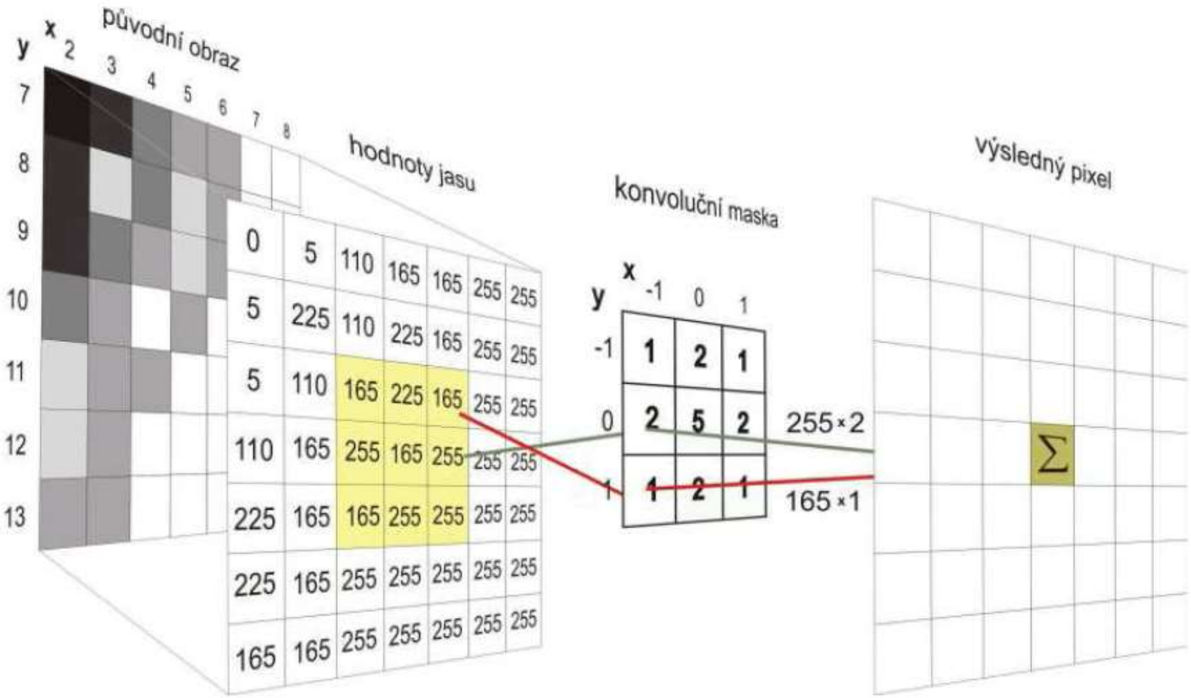
- Lokální nelineární filtry - intenzita bodu není dána lineární kombinací vstupních hodnot, ale jiným algoritmem, nejčastěji vybírá některou z hodnot ve stanoveném okolí

2. Lokální lineární filtry – konvoluce

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

$$g(x,y) = f(x,y) * h(x,y) = \sum_{i=-M/2}^{M/2} \sum_{j=-N/2}^{N/2} f(x-i, y-j) \cdot h(i,j)$$

- součet váhových koeficientů vyhlazovacích filtrů musí vždy být roven jedné



2. Lokální lineární filtry - průměrování

- **Lokální aritmetický průměr**
- lineární operace, proto můžeme řešit konvolucí
- rozmazává hrany

Př. filtrů:

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

$$h = \frac{1}{25}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

1D horizontální:

$$h = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

1D vertikální:

$$h = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

- **Průměr se zvýšením váhy středu**

zvýšení váhy středu:

$$h = \frac{1}{10}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

nebo 4-sousedů:

$$h = \frac{1}{16}\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

2. Lokální lineární filtry – filtr s Gaussovým rozložením

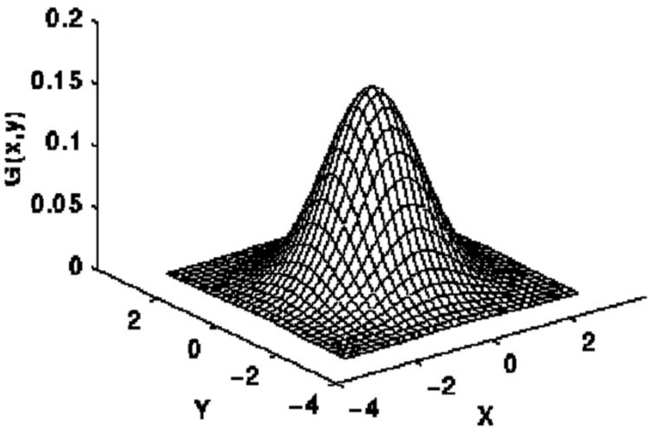
Filtr s Gaussovým rozložením

- Gaussovo (normální) rozložení:

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

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

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



Př. filtru 5x5:

$\frac{1}{273}$

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

Průměrování s omezením změn

- povolení jen určitých změn mezi původním jasem a výsledkem průměrování (menších/větších než)
- vypočítáme konvoluci, porovnáme s původním jasem a podle výsledku zvoleného kritéria buď dosadíme novou hodnotu, nebo necháme původní

2. Lokální nelineární filtry – hodnota z okolí

Medián (kvantil $Q_{0,5}$)

- medián číselné posloupnosti je číslo, které se po uspořádání podle velikosti nachází uprostřed této posloupnosti
- výhoda: redukuje rozmazávání hran; nevýhoda: poškozuje 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

$10 \; 10 \; 10 \; 10 \; \boxed{15} \; 15 \; 16 \; 16 \; 16$

$10 \rightarrow 15$

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

$5 \; 5 \; 5 \; 10 \; 10 \; \boxed{10} \; 10 \; 10 \; 10 \; 10$

$5 \rightarrow 10$

Modus

- hodnota, která se v daném okolí vyskytuje nejčastěji (je to hodnota intenzity s největší relativní četností)

Minimum/maximum

- označovaný také jako eroze/dilatace, vybírá z blízkého okolí bod s minimální/maximální hodnotou intenzity a tu pak dosadí do výsledného bodu
- minimum - potlačení šumu ve tmavých částech obrazu, ale také zeslabení čar a eroze objektu (světlý objekt na tmavém pozadí)
- maximum - potlačení šumu ve světlých částech obrazu, ale také zesiluje čáry a zvětšuje objekt

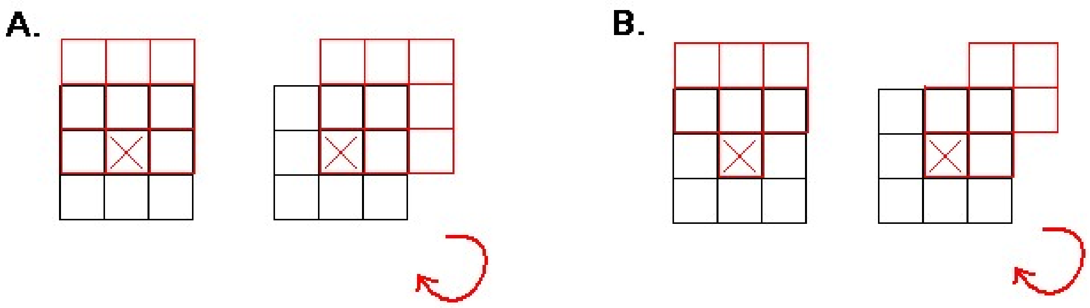
Konzervativní filtr

- k odfiltrování izolovaných pixelů s výjimečně vysokou nebo nízkou intenzitou (například šum typu sůl a pepř)
- nalezne min. a max. hodnotu intenzity z okolí počítaného pixelu
- je-li hodnota tohoto pixelu mezi minimem a maximem, je ponechána původní hodnota
- jinak je pixel nahrazen novou hodnotou, jež je odvozena z nepostižených sousedních pixelů. Např. v případě, že je jeho hodnota menší než minimum, je nahrazen tímto minimem a naopak.

2. Lokální nelineární filtry – rotující maska

- **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
- částečně řeší problémy s rozmazáváním a porušováním tenkých čar a ostrých rohů, dokonce mírně ostřící charakter, nevýhodou je však vyšší časová náročnost výpočtu
- osm, resp. devět pozic stejné masky, různé masky

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



Algoritmus:

1. Přes všechny body *(x,y)* obrazu
    2. Přes všechny pozice masky
        3. Výpočet rozptylu jasu

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

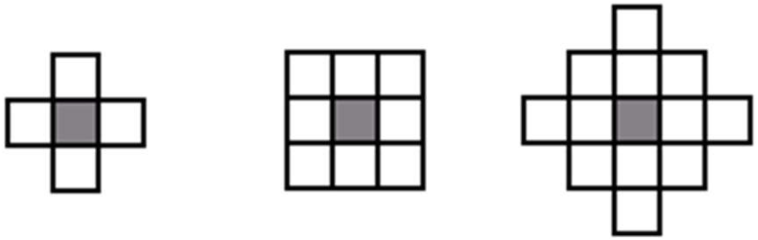
O … okolí (*M*x*N*), *n* … počet bodů masky

4. Výběr pozice s nejmenším rozptylem
5. Přiřazení bodu *(x,y)* výstupního obrazu hodnotu např. aritmetického průměru jasů vybrané pozice masky

2. Lokální filtry - volba tvaru a velikosti filtru

Tvar

- filtry jsou nejčastěji voleny tvaru čtverce (osmiokolí) s lichým počtem prvků – 3x3, 5x5, 7x7 ,… - vhodné především pro řešení konvolucí
- lze však použít filtry různých tvarů – např. tvar kříže (čtyřokolí), nesymetrické filtry, horizontální a vertikální (např. 1x3 nebo 3x1)



Velikost

- velikost filtru musí být volena tak, aby nebyly filtrovány malé detaily v obrazu
- větší vyhlazovací filtry lépe potlačují šum, ale bohužel i další rysy obrazu
- např. větší průměrovací filtr více sníží rozdíl intenzity zašuměného pixelu a jeho okolí bez šumu (více hodnot pro průměr), ale větší okolí je také ovlivněno tímto šumem, více rozmaže hrany
- např. větší okolí pro výpočet mediánu potlačí i silnější čáry a více „ohladí“ rohy

2. Lokální filtry – ukázka výsledků

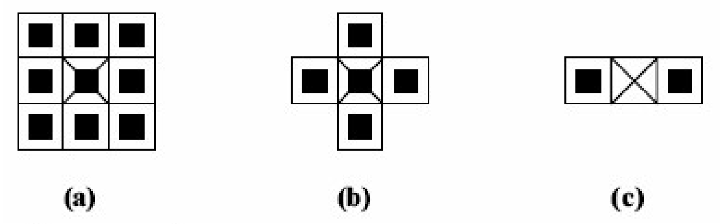
Ukázka výsledků

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

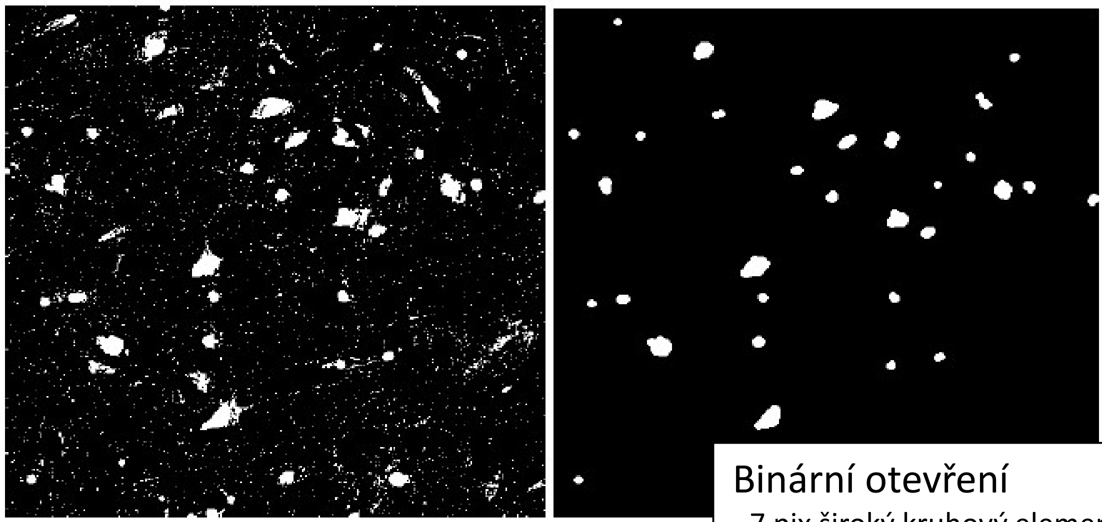
2. Matematická morfologie

- **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)

- 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



- **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

Filtrace šumu a poruch

Ilona Janáková

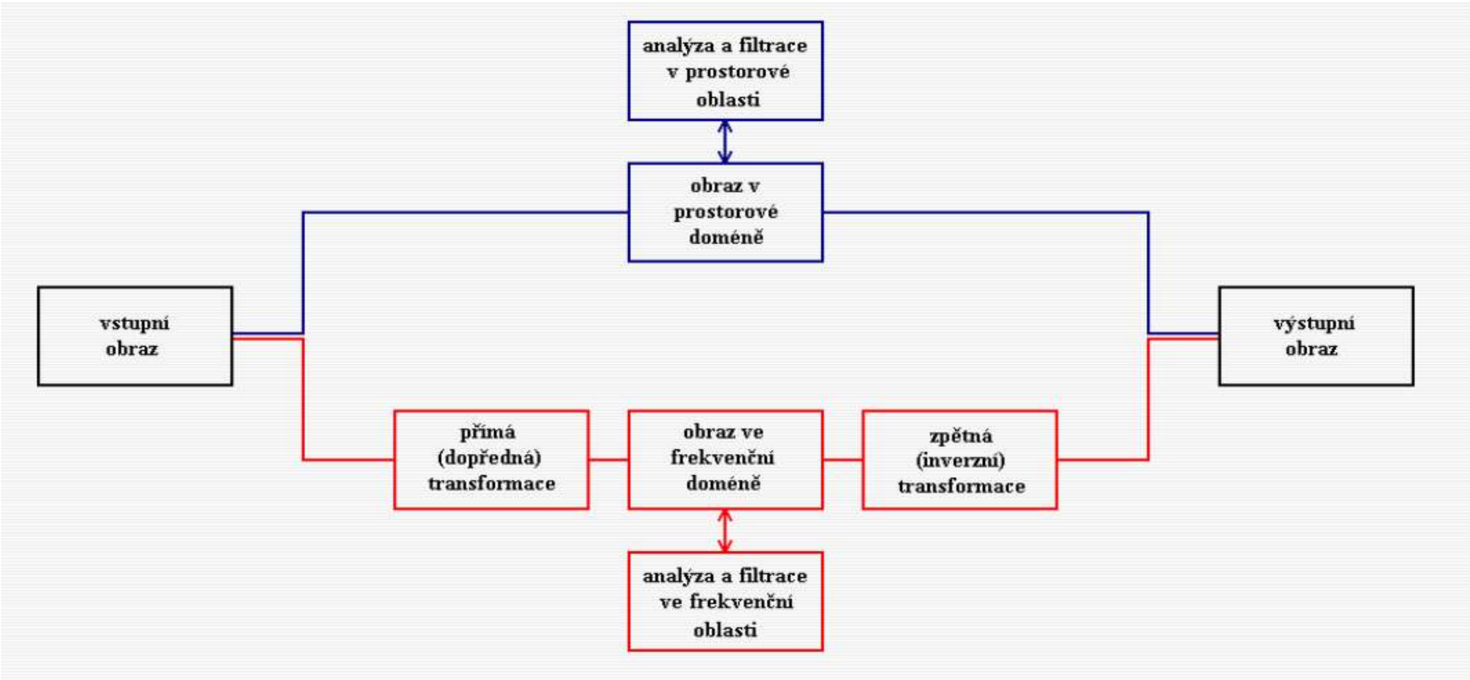
Computer Vision Group
Department of Control and Instrumentation
Faculty of Electrical Engineering and Communications
Brno University of Technology

Rozvrh přednášky:

1. Řetězec zpracování obrazu.
2. Šum, zkreslení, poruchy.
3. Filtrace šumu.
4. **Filtrace ve frekvenční oblasti.**
5. Rekonstrukce obrazu – filtrace poruch.

3. Filtrace ve frekvenční oblasti

- Převod do frekvenční oblasti - nejčastěji Fouriérova nebo kosínová, vlnková (wavelet) transformace
- lze aplikovat na celém obrazu či jen na výřezu



Filtrace v prostorové oblasti

- lineární kombinace vstupního obrazu s koeficienty (většinou lokálního) filtru
  – konvoluce obrazu s filtrem

X

Filtrace ve frekvenční oblasti

- převod do frekvenční oblasti (např. Fourierova transformace), tam filtrace a převod zpět
  – součin spekter obrazu a filtru

3. 1D Fourierova transformace

- Provádí jednoznačný obousměrný převod signálů mezi časovou reprezentací *f*(*t*) a frekvenční reprezentací *F*(ξ)
- umožňuje analyzovat frekvenční obsah (spektrum) signálu
- každá 1D funkce se dá vyjádřit jako integrál (vážený součet) mnoha komplexních exponenciál -sinusovek a kosinusovek

- **Spojitá**

- $\mathcal{F}\{f(t)\} = F(\xi)$, $f(t) = \mathcal{F}^{-1}\{F(\xi)\}$

$$F(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-2\pi i \cdot \xi \cdot t} dt \qquad f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\xi) \cdot e^{2\pi i \cdot \xi \cdot t} d\xi$$

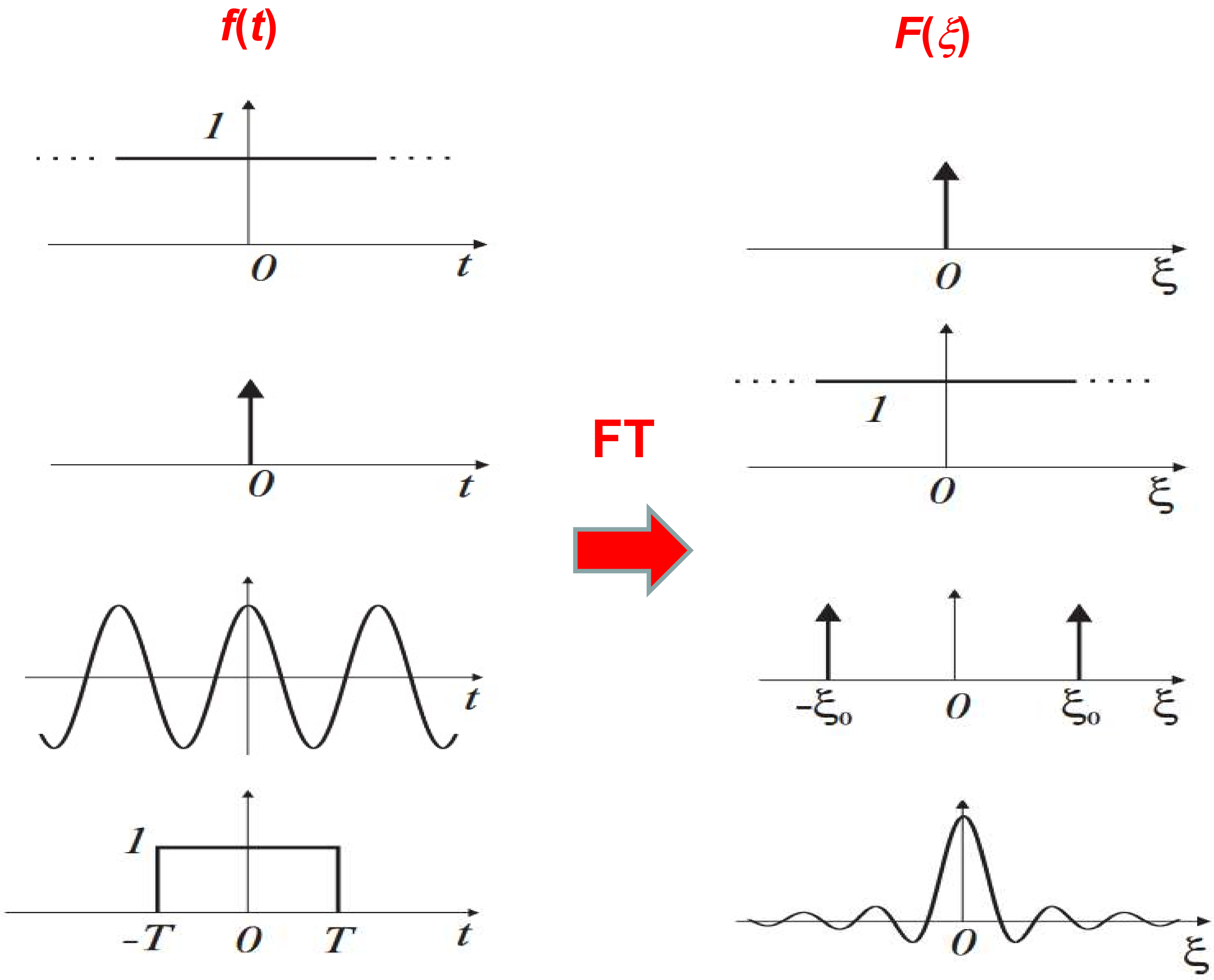
ξ … frekvence
$2\pi\xi$ … úhlová frekvence

- **Diskrétní**

- $\mathcal{F}\{f(n)\} = F(k)$, $f(n) = \mathcal{F}^{-1}\{F(k)\}$

$$F(k) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \cdot e^{\frac{-2\pi i \cdot k \cdot n}{N}} \qquad f(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} F(k) \cdot e^{\frac{2\pi i \cdot k \cdot n}{N}}$$

3. 1D Fourierova transformace - příklady



Obrázky převzaty z: http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/11DigZprObr/12FourierTxCz.pdf

3. 2D Fourierova transformace

- 2D Fourierova transformace = dvojnásobná 1D Fourierova transformace

$$F(u,v) = \frac{1}{M}\sum_{y=0}^{M-1}\left[\frac{1}{N}\sum_{x=0}^{N-1} f(x,y)\cdot \exp\left(\frac{-2\pi i\cdot x\cdot u}{N}\right) f(x,y)\right]\exp\left(\frac{-2\pi i\cdot y\cdot v}{M}\right)$$

- výraz v hranatých závorkách odpovídá 1D Fourierově transformaci m−tého řádku. Nyní je každý řádek nahrazen Fourierovským spektrem a může se následně vypočítat 1D diskrétní Fourierovou transformací každého sloupce.

- **2D diskrétní Fouriérova transformace**

$$F(u,v) = \frac{1}{MN}\sum_{y=0}^{M-1}\sum_{x=0}^{N-1} f(x,y)\cdot \exp\left(\frac{-2\pi i\cdot x\cdot u}{N} + \frac{-2\pi i\cdot y\cdot v}{M}\right)$$

F(*u*, *v*) … frekv. spektrum obrazu
u, *v* … frekvenční souřadnice
M, *N* … rozměry obrazu
f(*x*, y) … obrazová funkce

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

- každou obrazovou funkci *f*(*x*,*y*) lze rozložit na lineární kombinaci harmonických (sinusovek, kosinusovek, obecněji ortonormálních) funkcí

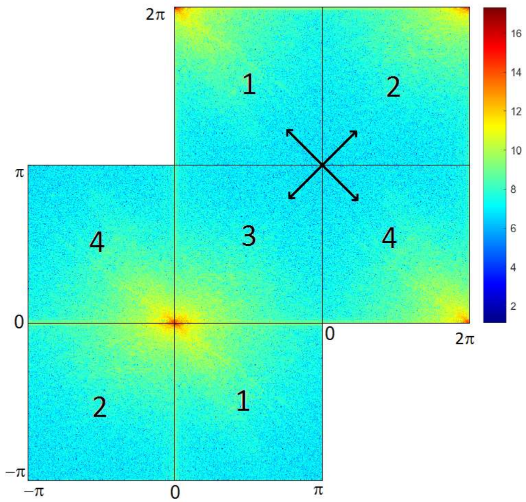
3. 2D Fourierova transformace - zobrazení

Centrované spektrum

- využívá se amplitudová charakteristika nebo výkonová spektrální hustota
- pro zobrazení se většinou používá centrované spektrum – s počátkem souřadnic (0, 0) ve středu spektra
- díky symetriím spektra lze jen prohodit jednotlivé kvadranty
- pro zobrazení je také někdy vhodnější (pro snížení rozsahu) použít logaritmus spektra

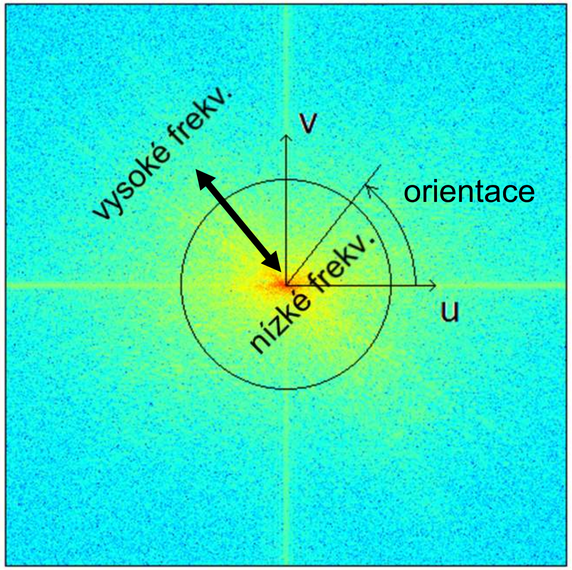
f(*x*, *y*)

ln|*F*(*u*, *v*)|

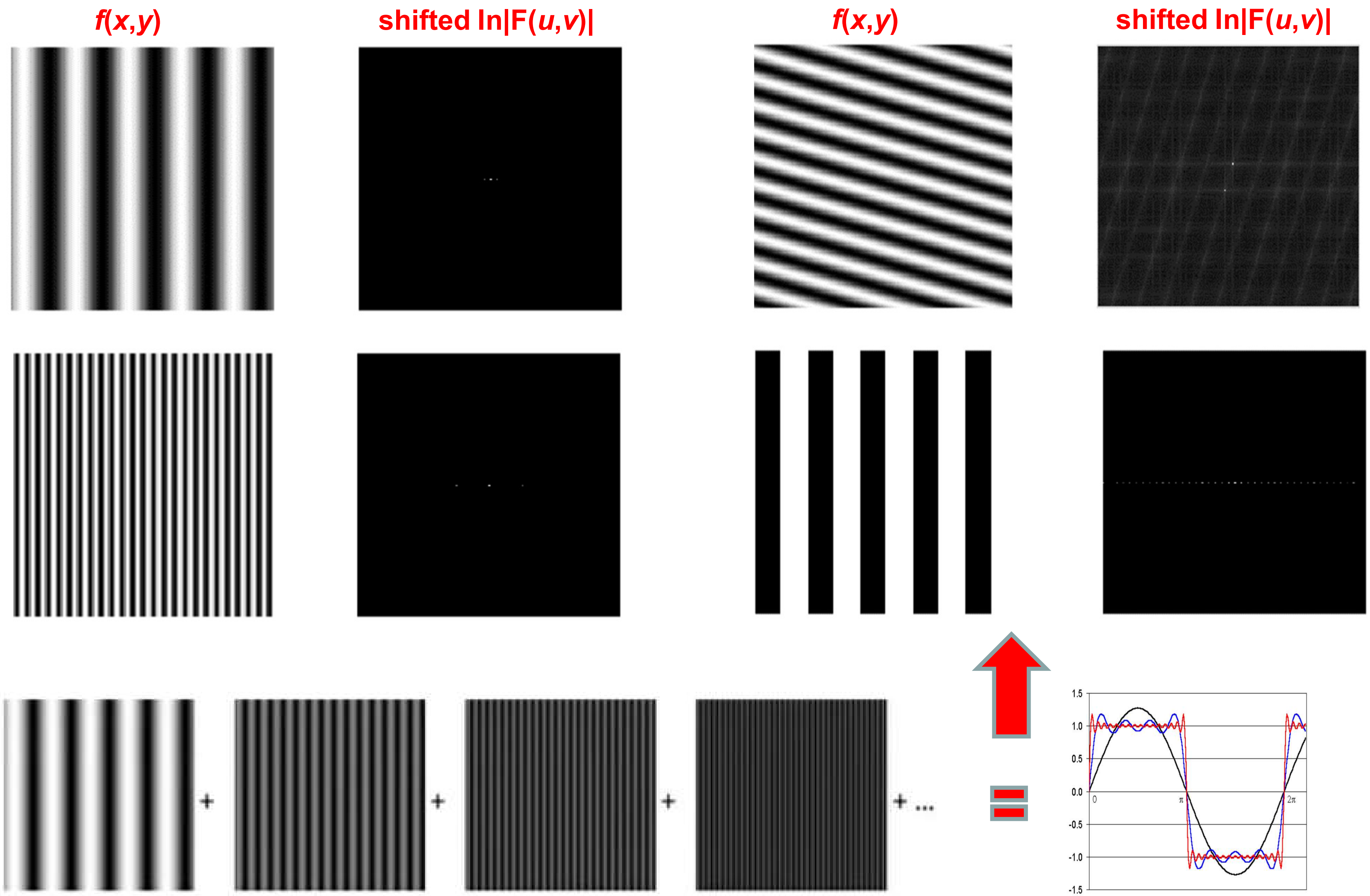


Shifted ln|*F*(*u*, *v*)|

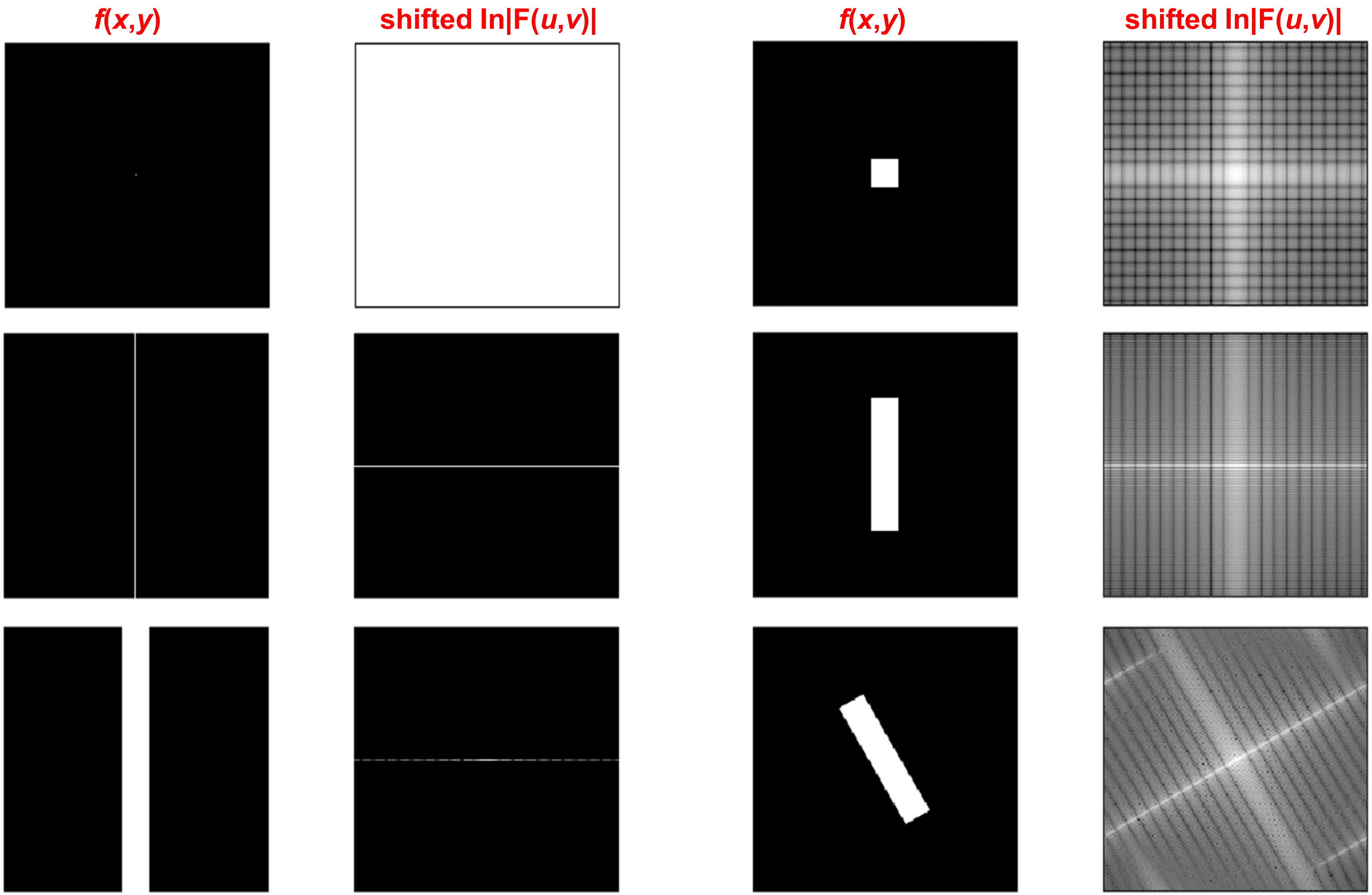
Shifted ln|*F*(*u*, *v*)|



3. 2D Fourierova transformace - příklady



3. 2D Fourierova transformace - příklady



3. Filtrace obrazu v kmitočtové oblasti

Konvoluční teorém

- konvoluci předmětů odpovídá součin jejich spekter a součinu předmětů odpovídá konvoluce spekter

$$f(x, y) * h(x, y) \sim F(u,v) \cdot H(u,v)$$

$$f(x, y) \cdot h(x, y) \sim F(u,v) * H(u,v)$$

, kde $F(u,v) = \mathrm{FT}\{f(x, y)\}$, $H(u,v) = \mathrm{FT}\{h(x, y)\}$

$$\boxed{\boldsymbol{f(x, y) * h(x, y) \Leftrightarrow F(u,v) \cdot H(u,v)}}$$

Filtrace v kmitočtové oblasti

- filtrace lze díky konvolučnímu teorému převést na násobení spekter signálu a filtru

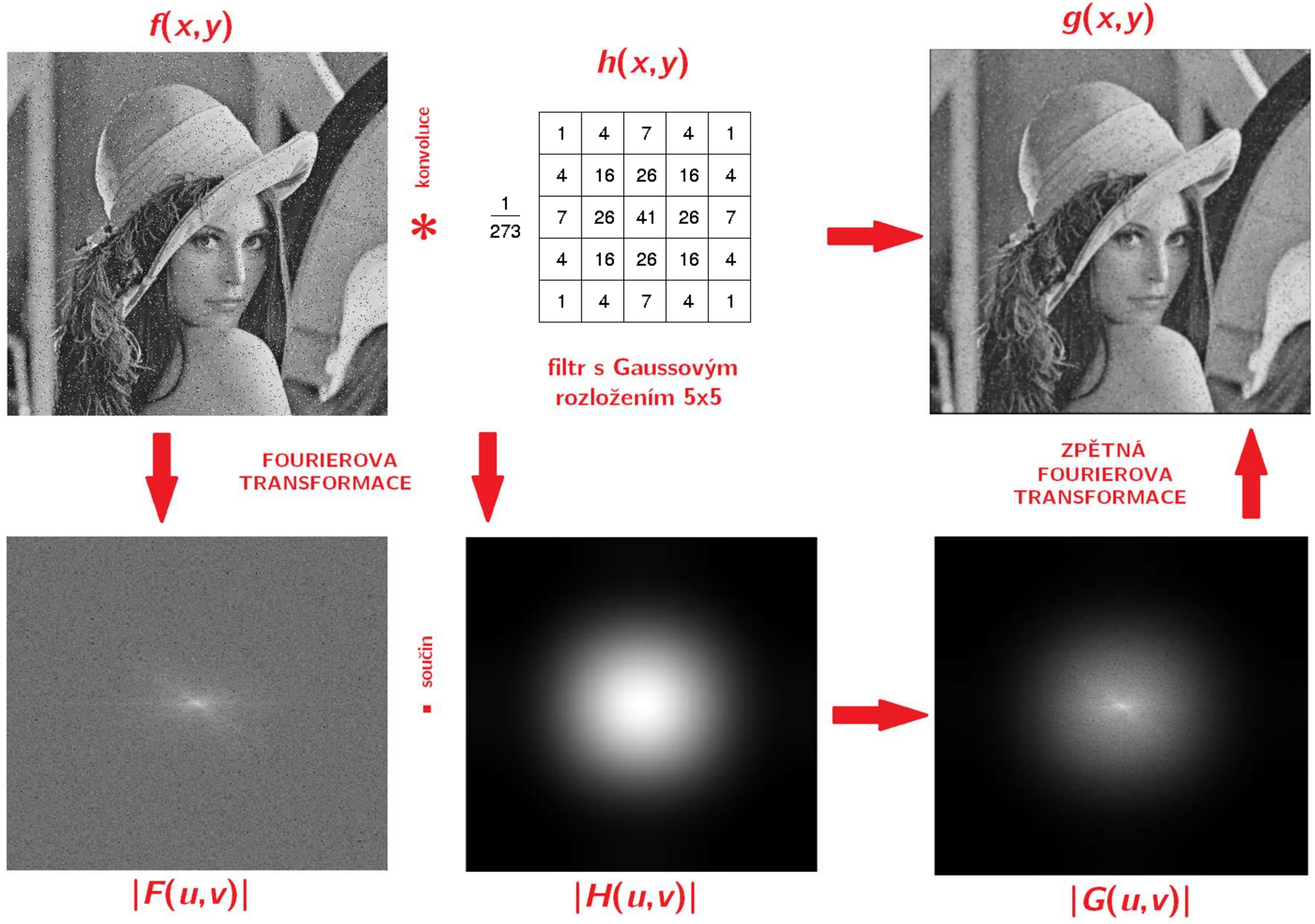
1. $F(u, v) = \mathrm{FT}\{f(x, y)\}$
2. $G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v)$ = násobení sobě odpovídajících prvků v maticích (matice musí mít stejný rozměr)
3. $g(x, y) = \mathrm{FT}^{-1}\{G(u, v)\}$

Výhody:

- pro velké matice může být rychlejší
- lze realizovat libovolné typy filtrů - filtry se dají flexibilněji měnit
- podle tvaru křivky filtru je názorně vidět, jaký bude mít účinek - které šumy či detaily v obraze zahladí

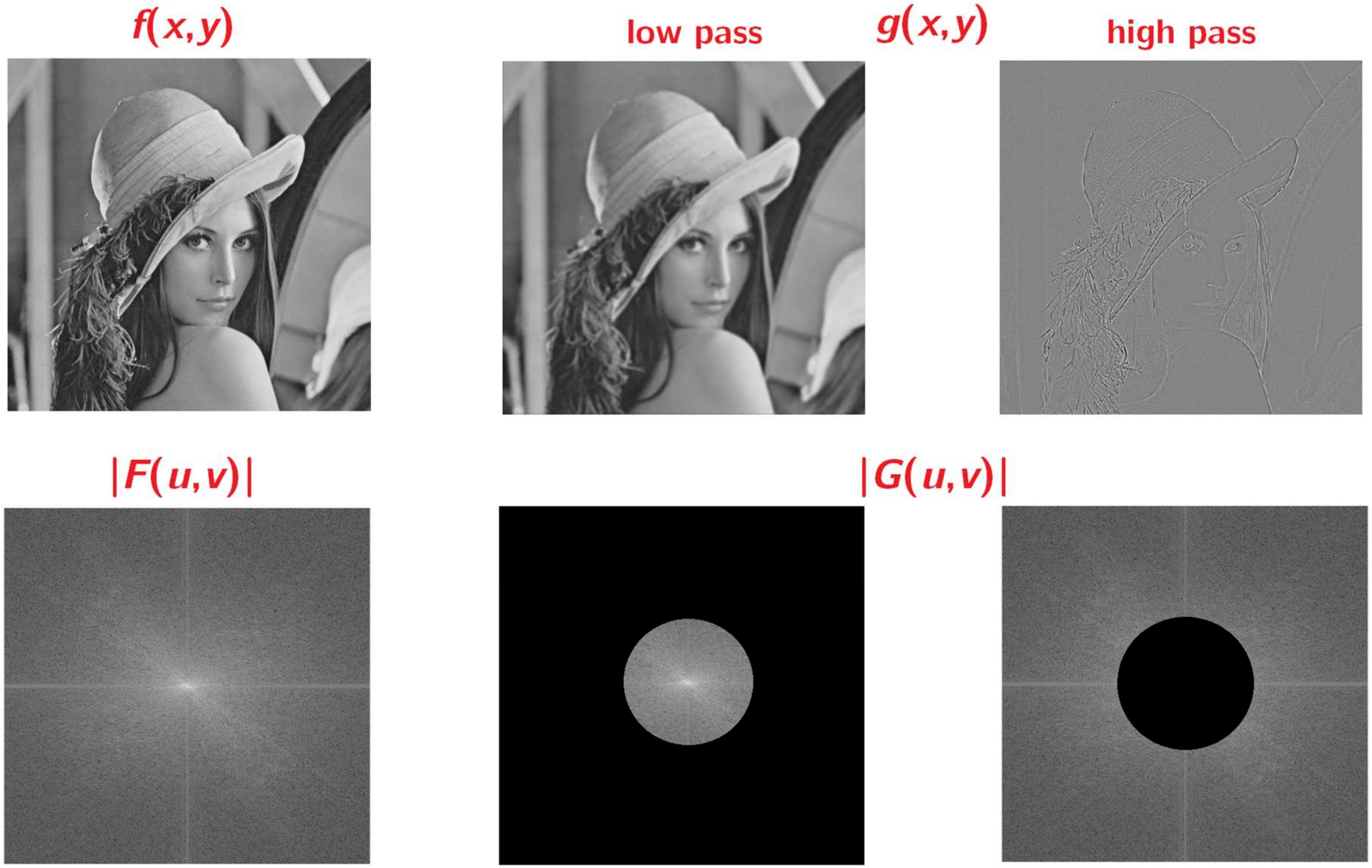
3. Filtrace obrazu v kmitočtové oblasti

- 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)



3. 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 detaily

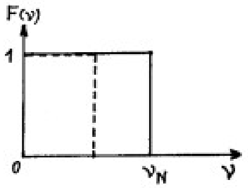


3. Filtrace obrazu v kmitočtové oblasti

- **Dolnofrekvenční (low-pass) filtry -** pro nízké frekvence má hodnotu blízkou 1 a pro vysoké frekvence dosahuje nebo se blíží k nule

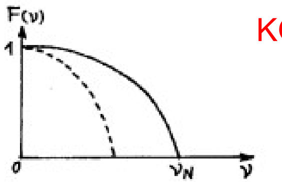
ν_N … „cutoff"

plnou čarou … slabší filtr
čárkovanou čarou … silnější filtr
Síla filtrace je nepřímo úměrná ploše pod grafem filtru ve frekv. oblasti



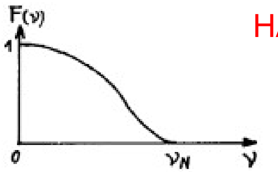
OBDÉLNÍKOVÝ

$$F(\nu) = \begin{cases} 1, & \nu \leq \nu_N \\ 0, & \nu > \nu_N \end{cases}$$



KOSÍNOVÝ

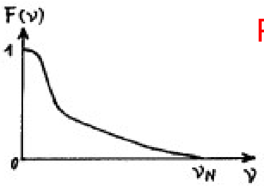
$$F(\nu) = \begin{cases} cos\dfrac{\pi\nu}{\nu_N}, & \nu \leq \nu_N \\ 0, & \nu > \nu_N \end{cases}$$



HAMMING

$$F(\nu) = \begin{cases} \alpha + (1-\alpha)\cdot cos\dfrac{\pi\nu}{\nu_N}, & \nu \leq \nu_N \\ 0, & \nu > \nu_N \end{cases}$$

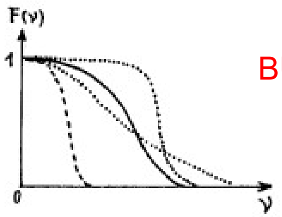
α – form faktor $(0 \leq \alpha \leq 1)$



PARZEN

$$F(\nu) = \begin{cases} 1-\left(\dfrac{\nu}{\nu_N}\right)^2\cdot\left(1-\dfrac{\nu}{\nu_N}\right), & \nu \leq \nu_N/2 \\ 2\left(1-\dfrac{\nu}{\nu_N}\right)^3, & \nu_N/2 \leq \nu \leq \nu_N \\ 0, & \nu > \nu_N \end{cases}$$

polynom 2. a 3. stupně



BUTTERWORTH

$$F(\nu) = \frac{1}{1+\left(\dfrac{\nu}{\nu_N}\right)^{2n}}$$

n – řád (form-faktor) – určuje strmost filtru

Další filtry např.:

- Gaussian,
- Chebyshev,
- Bessel
- …

1D → **2D**

Převzato z:
http://astronuklfyzika.cz/Filtry.htm

Filtrace šumu a poruch

Ilona Janáková

Computer Vision Group
Department of Control and Instrumentation
Faculty of Electrical Engineering and Communications
Brno University of Technology

Rozvrh přednášky:

1. Řetězec zpracování obrazu.
2. Šum, zkreslení, poruchy.
3. Filtrace šumu.
4. Filtrace ve frekvenční oblasti.
5. **Rekonstrukce obrazu – filtrace poruch.**

Rekonstrukce obrazu – filtrace poruch

- 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:**

- apriorní – parametry poruchy jsou známé nebo je 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 přímek v obrazu a nalezením odpovídající přenosové funkce po degradaci, odhadování spektrálních vlastností šumu v oblastech obrazu, o kterých víme, že jsou poměrně stejnorodé, …)

METODY:

1. Bodové jasové korekce
2. Geometrické transformace
3. Rekonstrukce obrazu ve frekvenční oblasti

1. Bodové jasové korekce

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

- **Jasová korekce**
- poruchy hardwaru - systematické chyby
  - jiná citlivost jednotlivých světlocitlivých prvků snímače + vadné pixely,
  - nerovnoměrné osvětlení,
  - jiná citlivost snímacího a digitalizačního zařízení

- při stálých světelných podmínkách pořídíme obraz o známém rozložení jasu - nejlépe obraz o konstantním jase $c \Rightarrow f_c(x,y)$

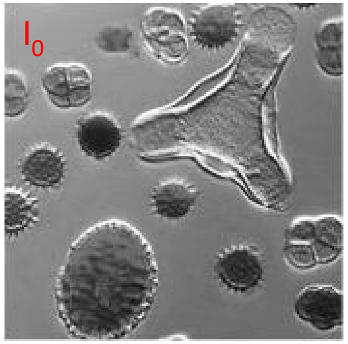
$$e(x,y) = \frac{f_c(x,y)}{c} \quad \Longrightarrow \quad f(x,y) = e(x,y).g(x,y)$$

- předpokládá se multiplikativní model poruchy *e*(*x*,*y*)

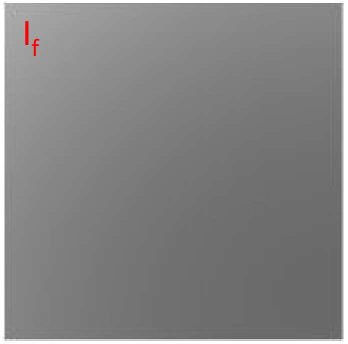
- nebo pořídíme obraz s objektem I_0, obraz za stejných světelných podmínek bez objektu I_f – korekce osvětlení a obraz za tmy (zakrytý objektiv) I_b – korekce nelinearity snímače

$$f(x,y) = M \cdot \frac{I_0(x,y) - I_b(x,y)}{I_f(x,y) - I_b(x,y)}$$

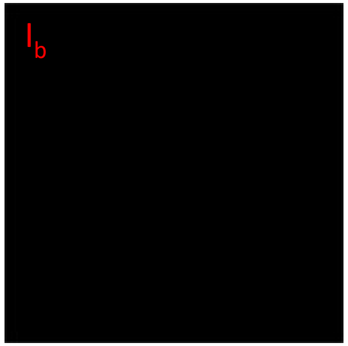
, kde konstantou *M* měníme kontrast výsledného obrazu



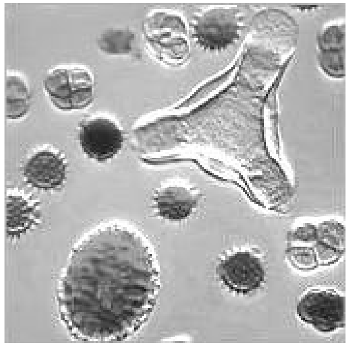
Původní snímek



Snímek pozadí



Snímek za tmy


Obrázek po korekci

2. Geometrické transformace

Cíl

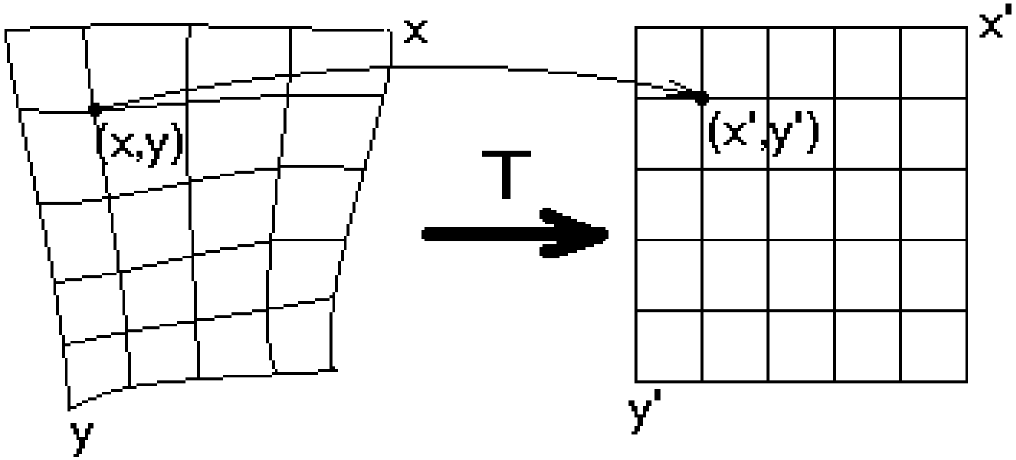
- odstranění geometrických zkreslení – zkosení vůči snímané ploše, širokoúhlé snímače, …
- změna rozlišení obrazu, posunutí, otočení, zkosení 2D obrazu
- „rovnání prostoru“ (např. letecké snímky)

Dva kroky

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

Problémy

- obecně nepřiřadí 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) :

$x' = Tx(x, y)$

$y' = Ty(x, y)$

2. Geometrické transformace – plošná transformace

- Najde k diskrétnímu 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 (vlícovacích) 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 polynom do stupně $n = 3$
- Koeficienty a_{rk} a b_{rk} lze určit např. metodou nejmenších čtverců (množiny sobě odpovídajících bodů (*x*,*y*) a (*x'*,*y'*))

Příklady:

Bilineární transformace

$$x' = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 xy$$
$$y' = b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 xy$$

Afinní transformace

$$x' = a_0 + a_1 x + a_2 y$$
$$y' = b_0 + b_1 x + b_2 y$$

2. 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

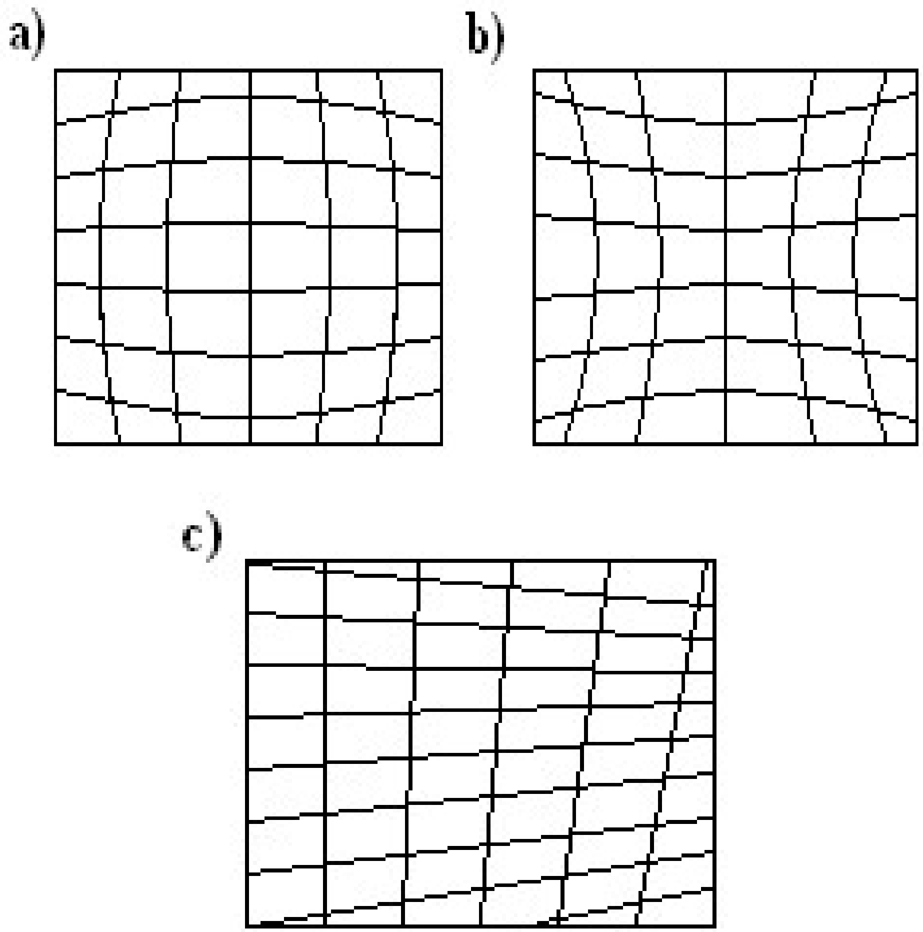
$$x' = x + 2p_1 y + p_2(r^2 + 2x^2)$$

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

Otočení obrazu

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

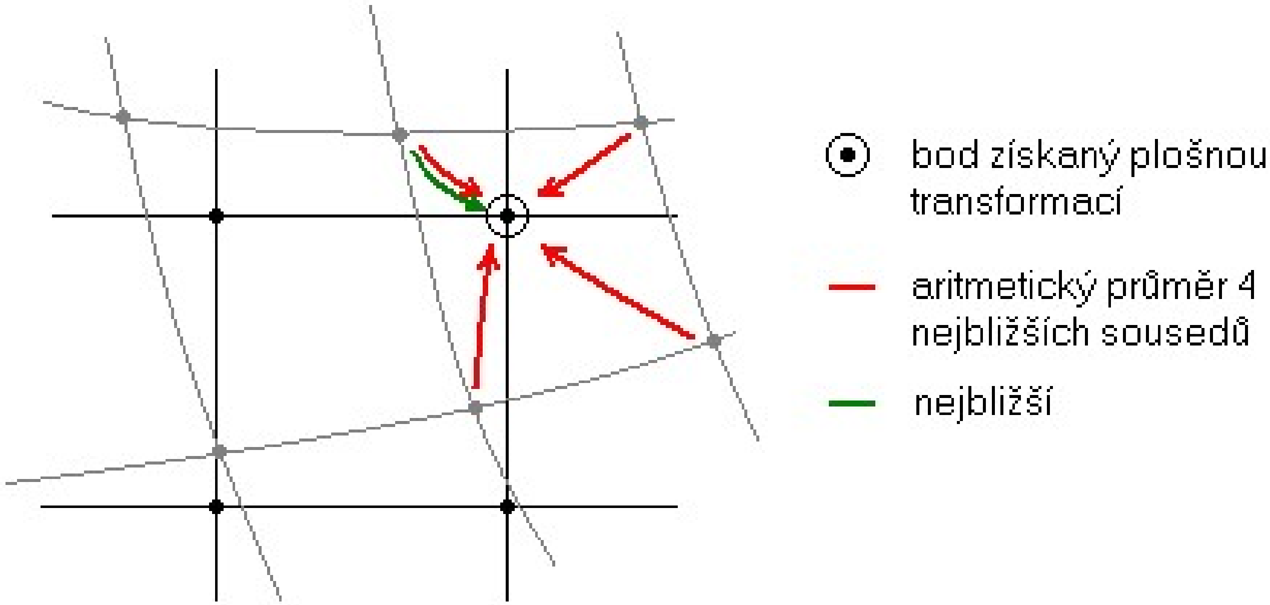
$$y' = x\sin\alpha + y\cos\alpha$$



2. 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:
- metoda nejbližšího souseda
- aritmetický průměr čtyř nejbližších sousedů
- lineární interpolace
- kubická interpolace
- …



3. Rekonstrukce obrazu ve frekvenční oblasti

- Snaha o nalezení modelu poruchy a odhadu jeho parametrů pro konkrétní třídy obrazů (konkrétní aplikace = stejná porucha)
- → řešení inverzní úlohy k úloze modelování poruchy

- Obvykle se uvažuje lineární model poruchy (konvoluce přes celý obrázek)

$$g(x,y)=\int\int_{(a,b)\in O} f(a,b)h(a,b,x,y)dadb+\nu(x,y)$$

kde *f*(*a*,*b*) … neporušený obraz, který ovšem není k dispozici, proto se jej snažíme zrekonstruovat
g(*x*,*y*) … pořízený degradovaný obraz,
v(*x*,*y*) … aditivní šum
h(*x*,*y*) … prostorově nezávislý model poruchy

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

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

- 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

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

$$f_R(x,y)=\left[f(x,y)*h(x,y)+\nu(x,y)\right]*h_R(x,y)$$

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

3. Rekonstrukce obrazu ve frekvenční oblasti

- Příklady dobře modelovatelných degradací:

- **Relativní pohyb mezi objektem a kamerou**

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

$$H(u,v)=\frac{\sin(\pi VTu)}{\pi Vu}$$

- **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

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

- **Turbulence atmosféry**

• poruchy způsobeny tepelnými nehomogenitami v atmosféře (tetelení vzduchu), které vedou k mírnému ohýbání procházejícího světla, např. v dálkovém průzkumu Země nebo v astronomii

(*c* je konstanta daná typem turbulence, určuje se většinou experimentálně)

$$H(u,v)=e^{-c\left(u^2+v^2\right)^{5/6}}$$

Převzato z: http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/11DigZprObr/25ImagRestorationCz.pdf

3. Rekonstrukce obrazu ve frekvenční oblasti

Inverzní filtrace

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

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

- u obrazů se šumem = šumová katastrofa - projeví se aditivní chyba (inverzní filtr systému DP je HP jehož přenos roste s frekvencí nade všechny meze – šumové složky jsou v horní části pásma mimořádně zesíleny)

$$F_R(u,v) = R(u,v) + \frac{N(u,v)}{H(u,v)}$$

Pseudoinverzní filtrace - použití inverzní filtraci jen v takovém okolí počátku roviny u,v, kde $H(u,v)$ spolehlivě dominuje nad $N(u,v)$ = nízké frekvence

Wienerova filtrace

- vhodné i pro nezanedbatelný šum - šum má odhadnutelné statistické vlastnosti a je nezávislý na signálu
- minimalizace středněkvadratické chyby mezi f - správný (ale nepozorovaný) obraz a $\hat{f}$ - odhad správného obrazu

$$MSE = E\left[f(x,y) - \hat{f}\,(x,y)\right] \qquad H_R(u,v) = \frac{S_{fv}(u,v)}{S_{vv}(u,v)} = \frac{H^*(u,v)}{|H(u,v)|^2 + \frac{S_{vv}(u,v)}{S_{ff}(u,v)}}$$

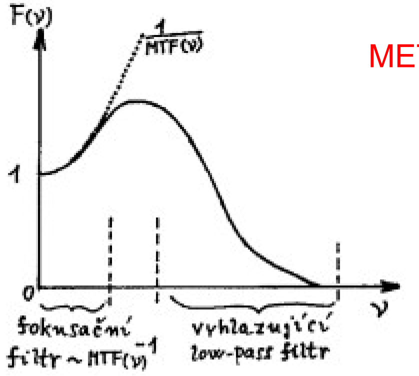
- nejjednodušší odhad spektrální výkonové hustoty původního nezrekonstruovaného obrazu $S_{ff}(u,v)$ je uvažovat spektrální hustotu šumu $S_{vv}(u,v) = \sigma^2$, a tedy:

$$S_{ff}(u,v) \approx S_{gg}(u,v) - \sigma^2$$

3. Rekonstrukce obrazu ve frekvenční oblasti

Pásmové filtry

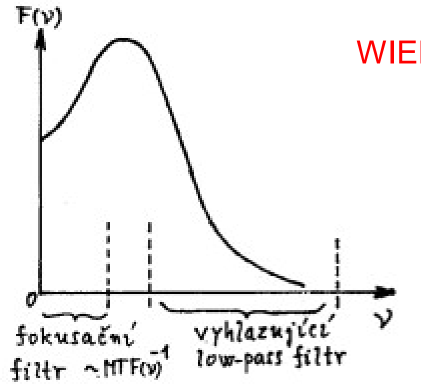
- jsou schopny zaostřovat a zvýrazňovat detaily - současně s vyhlazováním
- skládají se ze dvou částí:
  - počáteční vzestupná část – zesílení vyšších frekvencí = fokusace (zaostřování detailů v obraze)
  - plynule navazující klesající část – jako u low-pass filtrů = vyhlazení statistických fluktuací (šumů)



METZ

$$F(\nu) = \frac{1}{MTF(\nu)} \cdot \left[1 - \left(1 - MTF(\nu)^2\right)^k\right]$$

MTF(ν) … modulační přenosová fce
k … form-faktor – určuje relativní zastoupení fokusovací a vyhlazovací části



WIENER

Obrázky převzaty z:http://astronuklfyzika.cz/Filtry.htm

Hommomorfní filtr

- je schopný normalizovat současně jas přes celý snímek a zvýšit kontrast, potlačit multiplikativní (signálově závislý) šum
- hlavní myšlenka spočívá v 1. použití funkce logaritmu pro oddělení komponent osvětlení *i* a odrazivosti *r*, 2. potom filtrace ve frekvenční oblasti, 3. převod zpět do prostorových souřadnic a 4. návrat z logaritmu

$$1.\ z(x,y) = \ln f(x,y) = \ln i(x,y) + \ln r(x,y)$$

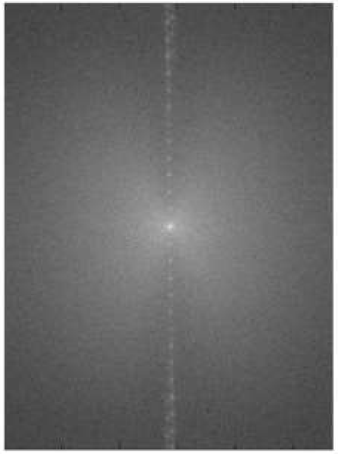
$$2.\ S(u,v) = H(u,v)I(u,v) + H(u,v)R(u,v)$$

$$3.\ s(x,y) = FT^{-1}\{S(u,v)\}$$

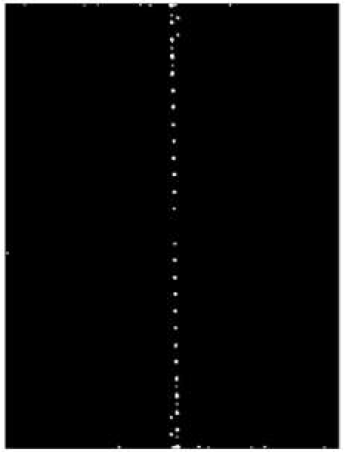
$$4.\ g(x,y) = \exp\big(s(x,y)\big)$$

Filtrace obrazu v kmitočtové oblasti

- **Příklad speciálních filtrů pro danou úlohu**

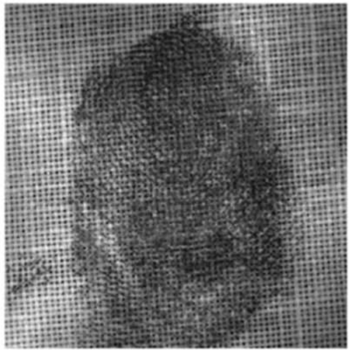


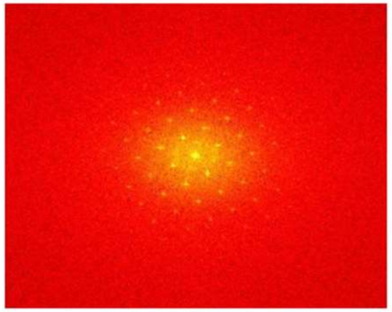
$|F(u,v)|$



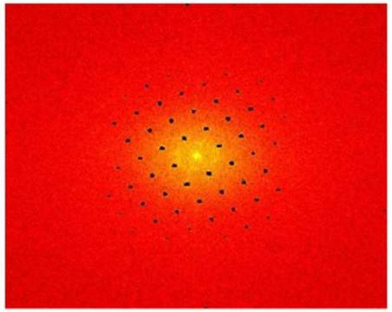
remove peaks

join lines removed





$|F(u,v)|$



remove peaks

Periodic background removed

Převzato z: http://www.robots.ox.ac.uk/~az/lectures/ia/lect2.pdf