Předzpracování obrazu v lokálním okolí

Václav Hlaváč

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická, katedra kybernetiky
Centrum strojového vnímání
`http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac, hlavac@fel.cvut.cz`

Poděkování Ing. Tomáši Svobodovi, PhD., jehož několik průsvitek jsem použil.

Osnova přednášky:

- Filtrace šumu (a hranová detekce, v jiné přednášce).
- Šum a jeho statistická podstata.
- Prostorově invariantní filtry.
- Diskrétní 2D konvoluce.
- Separabilní filtry.
- Nelineární filtrace šumu.

Předzpracování obrazu, úvod

Vstupem je obraz, výstupem je obraz.

Obraz se neinterpretuje.

Cíl

- Potlačit **zkreslení** (např. korekce geometrického zkreslení díky zakřivenosti Země u družicového snímku).
- Zvýšení **kontrastu** (jen pro prohlížení obrazu člověkem).
- Odstranění šumu.
- **Zdůraznění charakteristik** obrazu pro další zpracování, např. nalézání hran.

Lokální operace předzpracování

Obvykle se nevyužívají specifické znalosti o obraze a charakteru poruch.

Dělení z hlediska použití:

1. Vyhlazování.
2. Hledání hran (gradientní operátory, ostření).

Dělení podle vlastností rovnic:

1. Lineární.
2. Nelineární.

Statistický princip filtrace šumu

Nechť je každý pixel obrazu zatížen náhodným aditivním šumem:

- statisticky nezávislým,
- s nulovou střední hodnotou μ,
- směrodatnou odchylkou σ.

Mějme i realizací, $i = 1, \ldots n$. Odhad správné hodnoty je

$$\frac{g_1 + \ldots + g_n}{n} + \frac{\nu_1 + \ldots + \nu_n}{n} \,.$$

Výsledkem je náhodná veličina s $\mu' = 0$ a $\sigma' = \sigma / \sqrt{n}$.

Vyhlazování z více obrazů bez rozmazání

Předpoklady: n obrazů téže neměnné scény, u nichž lze předpokládat náhodné poruchy nezávislé na signálu.

Správné hodnota jasu: $f(i,j)$ se odhaduje pro každý pixel obrazu z náhodné populace tvořené pixely v téže pozici ve všech vstupních obrazech $g_k(i,j)$ např. obyčejným průměrováním,

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

Příklad: Potlačení tepelného šumu kamery u přesných měření. Typicky se správná hodnota odhaduje asi z 50 obrazů.

Problém: potřebujeme filtrovat šum z jediného obrazu

- Nezbývá než se spolehnout na nadbytečnost údajů v obraze.
- Sousední pixely mají převážně stejnou nebo podobnou hodnotu jasu.
- Hodnotu jasu můžeme opravit na základě analýzy bodů v okolí. Použije se typický reprezentant z okolí nebo kombinace několika hodnot.
- Problém rozmazávání na jasových přechodech.

Obecná lokální filtrace

- Správná hodnota (nová hodnota) se odhaduje z malého okolí.
- Přístup je založen na představě, že se celý obraz systematicky (např. po řádcích) prochází. Kolem reprezentativního bodu je zkoumáno malé okolí $\mathcal{O}$, často malý obdélník (též okno).
- Výsledek analýzy je zapsán do výstupního obrazu jako hodnota reprezentativního pixelu.
- Vlastnosti filtru mohou být v každém pixelu obrazu jiné.

Operátory nezávislé na posunu
též prostorově invariantní filtry

- Speciální případ lokální filtrace.
- Vlastnosti filtru jsou ve všech polohách stejné.
- Shoduje se s představou frekvenční filtrace (např. Fourierova transformace), kdy působení filtru je prostorově omezené. Např. filtrace Gaussiánem s malým rozptylem.

Lokální lineární předzpracování

- Nová hodnota je vypočítána jako lineární kombinace hodnot obrazové funkce v okolí.
- Připomínka: Linearita, tj. 2 vlastnosti: aditivita a homogenita.
- U skutečných obrazů je předpoklad linearity narušen
  - Hodnotu pixelu nelze vynásobit libovolným skalárem nebo výsledek součtu nemůže být jakýkoliv. Problém saturace díky omezenému rozsahu hodnot obrazové funkce, typicky $\langle 0, 255 \rangle$.
  - Problémy na okraji obrazu. Maska přesahuje.

Diskrétní 2D konvoluce

Příspěvek jednotlivých pixelů v okolí $\mathcal{O}$ je vážen v lineární kombinaci koeficienty h podle

$$g(x,y) = \sum_{(m,n)} \sum_{\in \mathcal{O}} h(x-m,\, y-n)\; f(m,n)\,.$$

Konvoluční jádro h, též konvoluční maska.

Často se používá obdélníkové okolí $\mathcal{O}$ s lichým počtem řádků a sloupců, a tak může reprezentativní bod ležet uprostřed konvoluční masky.

Obyčejné průměrování

Průměrování v okolí 3×3

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

Dvě varianty zvýraznění pixelů blíže středu masky

$$h = \frac{1}{10}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad h = \frac{1}{16}\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Obyčejné průměrování, příklad 1

Originál 256×256

Přidán umělý šum

Průměrování 3×3

Obyčejné průměrování, příklad 2

Originál 256×256

Přidán umělý šum

Průměrování 7×7

Separabilní filtry

Příklad: binomický 2D filtr rozměru 5×5 (prvek je součtem dvou předchozích čísel v Pacsalově trojúhelníku)

$$\begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \\ \\ h_1 \\ \\ \\ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} & & h_2 & & \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 4 \\ 6 \\ 4 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} .$$

Separabilita $\Rightarrow$ úspora výpočtů

Rozměr konvoluční masky je $2N + 1$.

$$
\begin{aligned}
g(x, y) &= \sum_{m=-N}^{N} \sum_{n=-N}^{N} h(x - m,\, y - n)\, f(m, n) \\
&= \sum_{m=-N}^{N} \sum_{n=-N}^{N} h(m, n)\, f(x + m, y + n) \\
&= \sum_{m=-N}^{N} h_1(m) \sum_{n=-N}^{N} h_2(n)\, f(x + m, y + n)
\end{aligned}
$$

Separabilita $\Rightarrow$ úspora výpočtů 2

- Pro náš 5×5 filtr potřebuje přímý výpočet 25 násobení a 24 sčítání pro každý pixel.
- Při použití separabilního filtru stačí 10 součinů a 8 součtů.

- Ještě výraznější by byla úspora v případě konvoluční filtrace 3D obrázku (např. z tomografu). Pro konvoluční jádro rozměru $9 \times 9 \times 9$ by na každý voxel bylo potřeba 729 součinů a 728 součtů
- Pro separovatelný filtr stačí 27 součinů a 24 součtů na voxel.

Ověření separability a rozklad

Každý filtr s hodností 1 je separovatelný.

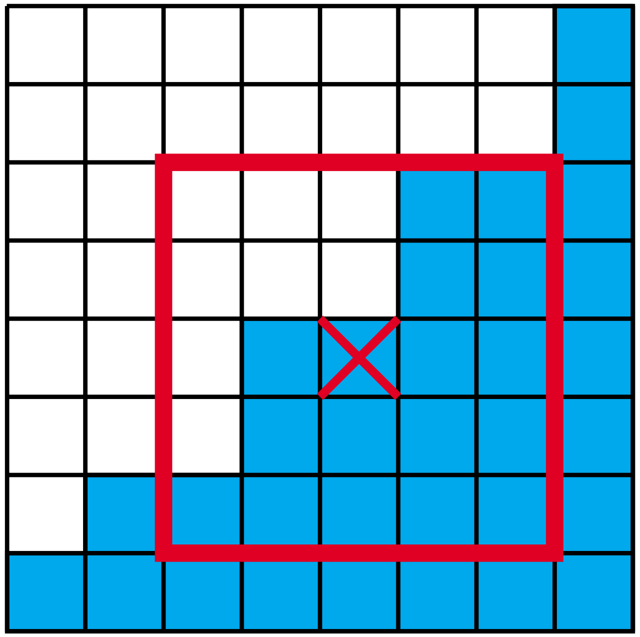
Rozklad pomocí singulárního rozkladu (SVD).

```
[u,s,v] = svd(A);
s = diag(s);
tol = length(A) * max(s) * eps;
rank = sum(s > tol);
if (rank == 1)
  hcol = u(:,1) * sqrt(s(1));
  hrow = conj(v(:,1)) * sqrt(s(1));
  y = conv2(hcol, hrow, x, shape);
else
  %Nonseparable stencil
end
```

Nelineární vyhlazování

Cíl: omezit rozmazávání hran při vyhlazování.

1. princip: najít část okolí, ve kterém se jas kvalitativně nemění.

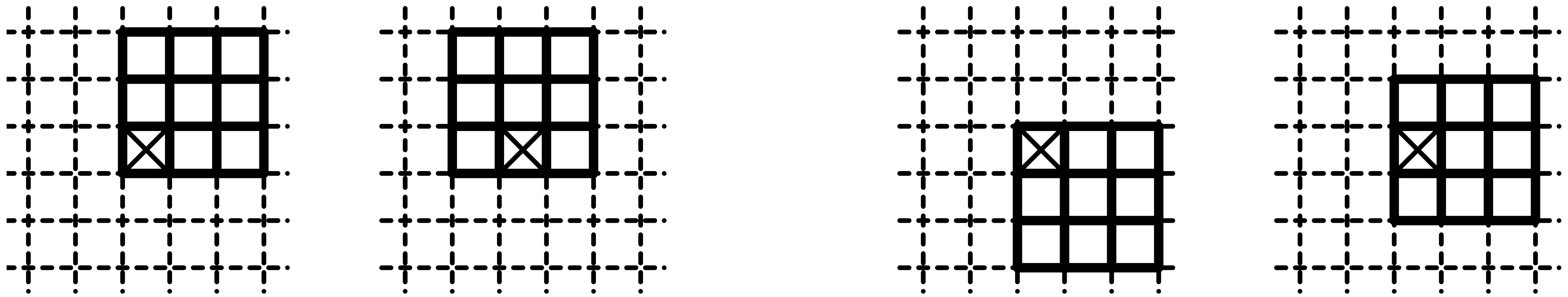


2. princip – robustní statistika: střední hodnota je špatným odhadem, pokud existují vychýlené hodnoty.

Metoda rotující masky

V okolí 5×5 vyhledává homogenní část rotující maska 3×3.

Celkem 9 poloh, 1 uprostřed $+$ 8 na obrázku.



1 2 $\cdots$ 7 8

Z masek se vybere ta, kde má jas nejmenší rozptyl.

Filtrace mediánem

- Medián $=$ výběrový kvantil.
- Nechť je x náhodnou veličinou. Medián M je hodnota, pro kterou je pravděpodobnost jevu $x < M$ rovna jedné polovině.
- Výpočet mediánu je pro diskrétní obrazovou funkci jednoduchý. Stačí uspořádat vzestupně hodnoty jasu v lokálním okolí a medián určit jako prvek, který je uprostřed této posloupnosti.
- Aby se snadno určil prostřední prvek, používají se posloupnosti s lichým počtem prvků, typicky okolí 3×3, 5×5, atd.
- Výpočet ještě urychlí skutečnost, že k nalezení mediánu stačí částečné uspořádání posloupnosti.

Medián, příklad

100	98	102
99	105	101
95	100	255

Aritmetický průměr = 117,2

Medián: 95 98 99 100 100 101 102 105 255

Robustní, protože snese méně než 50 % vychýlených hodnot.

Medián, příklad Hradčany

Originál 256×256

Přidán umělý šum

Medián 3×3

- Filtraci mediánem lze použít iterativně.
- Hlavní nevýhodou filtrace mediánem v obdélníkovém okolí je to, že porušuje tenké čáry a ostré rohy v obraze.