Restaurace (obnovení) obrazu při známé degradaci

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: T. Svoboda a T. Werner za několik obrazovek této přednášky.

Osnova přednášky:

- .
- .
- .
- .
- .
- .

Myšlenky restaurace obrazu

- Technika předzpracování snažící se využít apriorní znalosti matematického modelu poruchy.
- Snaha o nalezení modelu poruchy a odhadu jeho parametrů pro konkrétní třídu obrázků.
- Vede na řešení inverzní úlohy.
- Obvykle se uvažuje lineární model poruchy (konvoluce přes celý obrázek).
- Dvě kategorie metod: deteministické a statistické.

Model poruchy – konvoluce

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

kde $f(x,y)$ je neporušený obrázek, $g(x,y)$ je degradovaný obrázek, $\nu(x,y)$ je aditivní šum. $h(x,y)$ je prostorově nezávislý model degradace.

$$\begin{aligned} g(i,j) &= (f * h)\,(i,j) + \nu(i,j)\ . \\ G(u,v) &= F(u,v)\, H(u,v) + N(u,v)\ . \end{aligned}$$

Tři dobře modelovatelné degradace

1. Rozostření objektivu.
2. Rozmazání pohybujícího se objektu ve scéně při dlouhých expozičních časech.
3. Turbulencí atmosféry při sledování scény přes vysokou vrstvu vzduchu, např. v dálkovém průzkumu Země nebo v astronomii.

Jednotlivé poruchy budeme vyjadřovat pomocí konvolučního jádra $H(u, v)$ ve vztahu

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

Relativní pohyb mezi objektem a kamerou

- Uvažujme konstantní rychlost objektu V ve směru osy x vzhledem ke kameře v době otevření závěrky po dobu T.
- Model poruchy je

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

Rozostřený objektiv

- Rozmazání objektivu špatným zaostřením tenké čočky při malé hloubce ostrosti může být popsáno jako

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

kde J_1 je Besselova funkce prvního druhu, $r^2 = u^2 + v^2$, a je posun v obraze.

- Poslední parametr ukazuje, že model není prostorově invariantní.

Turbulence atmosféry

- Poruchy jsou způsobeny tepelnými nehomogenitami v atmosféře (tetelení vzduchu), které vedou k mírnému ohýbání procházejícího světla.
- Matematický model degradace byl stanoven pokusně

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

kde c je konstanta daná typem turbulence, která se většinou určí experimentem.

Inverzní filtrace (1)

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

- Pracuje spolehlivě pro obrazy, které nejsou zatíženy šumem.
- Pokud šum není zanedbatelný, projeví se ve vztahu aditivní chyba, která se uplatňuje pro frekvence, kde má inverzní filtr malou amplitudu.
- To většinou nastává pro vysoké frekvence, a proto obraz obnovený inverzním filtrem má rozmazané ostré hrany.

Inverzní filtrace (2)

originál

rozmazáno

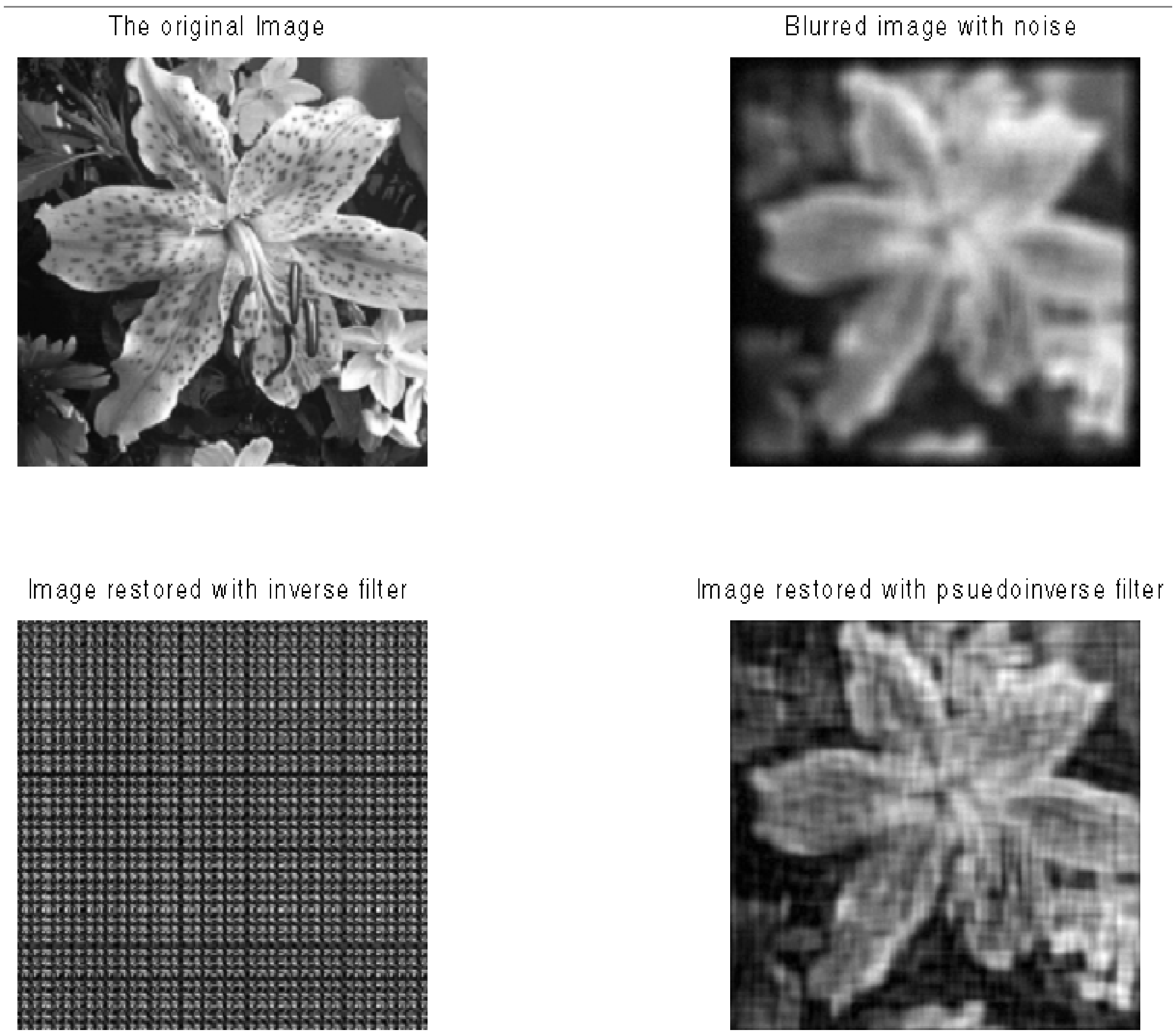
inv. filtrace

Inverzní filtrace (3)

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

- Také změny velikosti amplitudy šumu v obrazu se projeví negativně na výsledku.
- Velikost modulu $H(u,v)$ klesá s rostoucími frekvencemi rychleji než $N(u,v)$, a proto artefakty způsobené šumem mohou převážit nad užitečnou informací.
- Lékem bývá použít inverzní filtraci v takovém okolí počátku roviny u,v, kde $H(u,v)$ spolehlivě dominuje. Výsledek bývá obvykle použitelný.

Pseudoinverzní filtrace



Wienerova filtrace (1)

- Pracuje pro nezanedbatelný šum, který má odhadnutelné statistické vlastnosti (nezávislost šumu na signálu, stacionarita v širším smyslu).
- Nechť f je správný (ale nepozorovatelný) obraz, g je pozorovaný degradovaný obraz a $\hat{f}$ je odhad správného obrazu.
- Úloha se vyjádří jako optimalizace řešením přeurčené soustavy lineárních rovnic minimalizujících středněkvadratickou chybu

$$e^2 = \mathcal{E}\left\{\left(f(i,j) - \hat{f}(i,j)\right)^2\right\} ,$$

kde $\mathcal{E}$ označuje operátor střední hodnoty.

Wienerova filtrace (2)

- Pokud nejsou na řešení rovnice kladeny další omezující podmínky, potom je odhad $\hat{f}$ podmíněnou střední hodnotou ideálního obrazu f za podmínky pozorovaného obrazu g.
- Problémem je, že většinou není známa podmíněná pravděpodobnost správného obrazu f za podmínky, že je k dispozici pozorovaný obraz g.
- Optimální odhad je navíc obecně na obrazu g nelineárně závislý.

Wienerova filtrace (3)

- Hledá se filtr H_W, $\hat{F}(u,v) = H_W(u,v)\, G(u,v)$.
- Použije se princip ortogonality

$$\mathcal{E}\left\{[f(x,y) - g(x,y)]\, \nu(x',y')\right\} = 0\ .$$

- Vyjádří se pomocí korelačních funkcí R

$$R_{\upsilon\nu}(k,l) = f(k,l) * R_{\nu\nu}(k,l)\ .$$

Wienerova filtrace (4)

Vyjádří se ve Fourierově transformaci, aby byly použity výkonové spektrální hustoty

$$H_W(u,v) = \frac{S_{f\nu}(u,v)}{S_{\nu\nu}(u,v)} = \frac{H^*(u,v)}{|H(u,v)|^2 + \frac{S_{\nu\nu}(u,v)}{S_{ff}(u,v)}} \,,$$

Příklad, rozmazání pohybem

Vlevo: Obraz rozmazaný pohybem o 5 pixelů ve směru osy x.

Vpravo: Výsledek restaurace Wienerovým filtrem.

Příklad, rozmazání rozostřením objektivu

Vlevo: Špatně zaostřenému objektivu.

Vpravo: Výsledek restaurace Wienerovým filtrem.