Restaurace (obnovení) obrazu při známé degradaci

Václav Hlaváč

České vysoké učení technické v Praze

Centrum strojového vnímání *(přemosťuje skupiny z)*

Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky

Fakulta elektrotechnická, katedra kybernetiky

http://people.ciirc.cvut.cz/hlavac, hlavac@ciirc.cvut.cz

Poděkování: T. Svoboda, T. Werner, P. Kohout

Osnova přednášky:

- Lineární model porušení obrazu.
- Tři užitečné modely degradace.
- Inverzní filtrace.
- Pseudoinverzní filtrace.
- Wienerova filtrace.
- Příklady.

Myšlenky restaurace obrazu

- Restaurace obrazu je technika předzpracování snažící se využít apriorní znalosti matematického modelu porušení obrazu.
- Snaha o nalezení modelu poruchy a odhadu jeho parametrů pro konkrétní třídu obrázků vyplývající z konkrétní aplikace.
- Vede na řešení inverzní úlohy k úloze modelování poruchy.
- Obvykle se uvažuje lineární model poruchy (konvoluce přes celý obrázek).
- Dvě kategorie metod: deterministické 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 (ale nepozorovatelný) obrázek,

$g(x,y)$ je degradovaný obrázek,

$\nu(x,y)$ je aditivní šum a

$h(x,y)$ je prostorově nezávislý konvoluční model degradace.

$$g(i,j) \quad = \quad (f * h)\,(i,j) + \nu(i,j)\ .$$

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

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 pro ilustraci nejjednodušší zvláštní případ.

  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 a 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.
- Konstanta c se většinou určuje experimentem pro konkrétní třídu úloh.

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 (analogie dělení nulou).
- To většinou nastává pro vysoké frekvence, a proto obraz obnovený inverzním filtrem má rozmazané původně ostré hrany.

Inverzní filtrace (2)

originál

rozmazáno

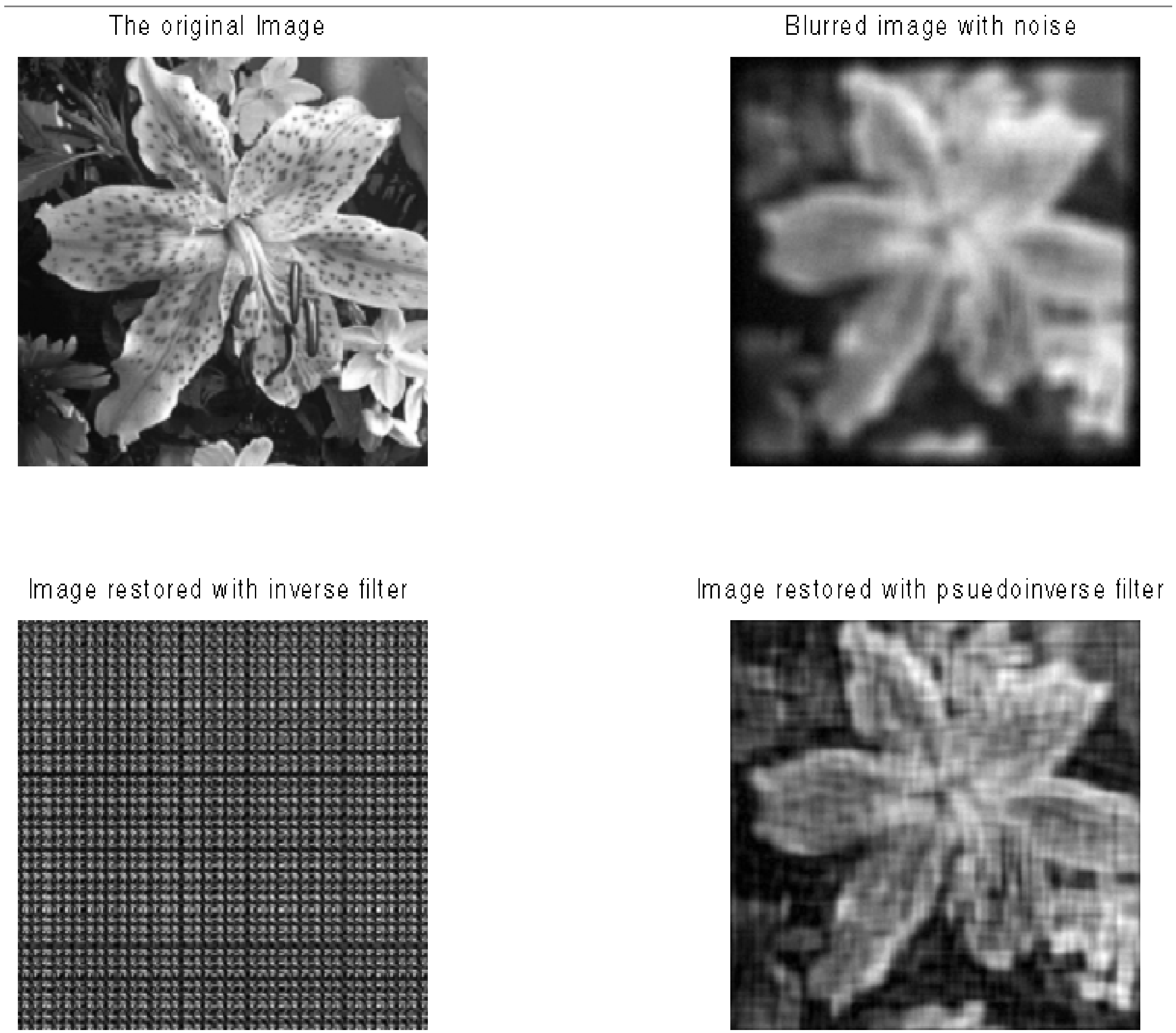
inverzně filtrováno

Inverzní filtrace (3)

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

- Změny velikosti amplitudy šumu v obrazu se projeví negativně na výsledku.
- Velikost modulu komplexní funkce $H(u,v)$ klesá s rostoucími frekvencemi rychleji než $N(u,v)$, a proto artefakty způsobené šumem mohou převážit nad užitečnou informací v obraze.
- 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. Předpokládá se nezávislost šumu na signálu a 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 stochastických 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 $\hat{f}$ 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

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

- 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.