Kapitola 25

Analýza a zpracování obrazu, počítačové vidění a robotika

25.1 Rozsah látky

Seznam oficiálních státnicových otázek:

Matematický model obrazu, 2D Fourierova transformace a konvoluce, vzorkování a kvantování obrazu, změna kontrastu a jasu, odstranění šumu, detekce hran, inverzní a Wienerův filtr, určení vzájemné polohy snímků, problém korespondence bodu a objektu, odstranění geometrických zkreslení snímků, detekce hranic objektů, detekce oblastí, příznaky pro popis a rozpoznávání 2D objektů, momentové invarianty, wavelety a jejich použití, statistická teorie rozpoznávání, klasifikace s učením (Bayessův, lineární a k-NN klasifikátor), klasifikace bez učení (hierarchické a iterační shlukování), počítačové vidění, úvod do počítačové robotiky, plánování cesty mobilního robota.

25.2 Matematický model obrazu

Obrazová funkcia (spojitá), 2D:

$$f : U \subset \mathbb{R}^2 \to \mathbb{R}^n$$

$f : [x, y] \to [a_1, a_2, ..., a_n]$
(poloha bodu v rovine -> atributy obrazu (farba, priehladnost, ... — $\mathbb{R}^4$ pre 3529)))
Digiálny rastrový obraz:

$$I :< 0..m-1 > \times < 0..n-1 > \to \mathbb{R}^n$$

Digitalizácia pomocou filtru $\underline{d}$:

$$I_f(i, j) = \iint_{R^2} f(x, y) d(x - i, y - j) \mathrm{d}x\mathrm{d}y$$

$\underline{d}$ vyjadruje snímaciu charakteristiku digitalizačného zariadenia (fotočidlo, CCD prvok, ...)

25.3 2D Fourierova transformace a konvoluce

Spojité verze

- Dopředná Fourierova transformace: $F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-2\pi i(ux+vy)} dxdy$
- Zpětná Fourierova transformace: $f(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) e^{2\pi i(ux+vy)} dudv$
- Konvoluce: $(f * g)(x, y) = (g * f)(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(a, b) g(x - a, y - b) dadb$

Vlastnosti

- Convolution theorem: $\mathcal{F}\{f * g\} = \mathcal{F}\{f\} \cdot \mathcal{F}\{g\}$
- Linearita: $\mathcal{F}\{a \cdot f + b \cdot g\} = a \cdot \mathcal{F}\{f\} + b \cdot \mathcal{F}\{g\}$
- Shift theorem: $\mathcal{F}\{f(x - x_0, y - y_0)\}(u, v) = e^{-2\pi i(ux_0+vy_0)} F(u, v)$
- Rotace: $\mathcal{F}\{Rot(f)\} = Rot(\mathcal{F}\{f\})$

Diskrétní verze

- Dopředná Fourierova transformace: $F_{n,m} = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{M-1} f_{k,l} e^{-2\pi i(\frac{km}{M}+\frac{ln}{N})}$
- Zpětná Fourierova transformace: $f_{k,l} = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{M-1} F_{n,m} e^{2\pi i(\frac{km}{M}+\frac{ln}{N})}$
- Konvoluce: $(f * g)[m,n] = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} f(i,j)g(m-i,n-j)$

25.4 Vzorkování a kvantování obrazu

Matematický model vzorkování, Shannon theorem

$f(x,y) \cdot s(x,y) = d(x,y)$, kde f je původní funkce, s je vzorkovací fce (pole delta funkcí) a d je navzorkovaný obraz.

- $F(u,v) * S(u,v) = D(u,v)$
- $s(x,y) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \delta(x - i\Delta x, y - j\Delta y)$
- $S(u,v) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \delta(u - i\frac{1}{\Delta x}, v - j\frac{1}{\Delta y})$

Fourierův obraz navzorkované funkce ($D(u,v)$) je tvořen do mřížky poskládanými spektry původní funkce s roztečemi $\frac{1}{\Delta x}$ a $\frac{1}{\Delta y}$. Dokážeme zrekonstruovat původní funkci pouze pokud se nám jednotlivá spektra neslijí a to platí jen pokud je původní funkce frekvenčně omezená a vzorkujeme s dostatečnou frekvencí:

$\Delta x \leq \frac{1}{2W_u}$ a $\Delta y \leq \frac{1}{2W_v}$, kde W_u a W_v jsou maximální frekvence v základních směrech.

Potřebujeme dvakrát vyšší frekvenci než je maximální přítomná frekvence v původní fci.

Negativní projevy podvzorkování

- aliasing (stráta vysoko frekvenčnej informacie — hrany, detaily)
- Moiré efekt — falešné nízké frekvence

Kvantování

- Diskretizace oboru hodnot signálu — vždy ztrátové.
- Často se kvantizér navrhuje tak aby využíval vlastnosti lidského oka — např. nerozlišitelným jasovým úrovním se přiřazuje stejná hodnota

25.5 Změna kontrastu a jasu

- ekvalizace histogramu
- převodní funkce pro jasové úrovně (LUT — lookup table)
- gamma korekce

25.6 Odstranění šumu

Šum sa vyčísluje ako logaritmus pomeru signalu k šumu v decibeloch `dB` (Signal-to-Noise Ratio). Čím viac decibelov tým lepší odstup signálu od šumu -> kvalitnejší obraz.

$$\text{SNR} = 10log\frac{D(f)}{D(n)}[\text{dB}]$$

f — signál, n — šum

Modely šumu:

- Aditivní náhodný šum $g = f + n$
- Gaussovský bílý šum
- Impulsní šum (sůl a pepř)

Noise reduction: (nedám za to ruku do ohňa)

- bílý šum -> Priemerovanie v čase (prosté/vážené)
- impulsní šum -> Mediánový filter (pre pixel vyberáme intenzitu medianu v okolí), iné nelineárne filtre,
- low-pass filter (napr. Gauss) — zbaví vysokofrekvenčného šumu (rovnako ako aj každej inej vysokofrekvenčnej informácie — hrany)
- Rotujúce okno — pokus o odstranenie vysokofrekvenčného šumu a zachovania hran zaroveň. Može vytvárať artefakty.
- Priemerovanie podél hran

25.7 Detekce hran

Lidské vnímání je založeno na detekci hran (edge detection), tedy změnou jasu hrany vidíme objekty. Toho se taktéž ve velké míře používá v segmentačních technikách pro zpracování obrazu. Mnoho metod segmentace právě vychází z detekce hran pro odlišení objektů v obraze. Hranu v obraze je charakterizovat gradientem, tedy velikostí a směrem. Existuje také mnoho filtrů pracující s detekcí hran v obraze a hrany hrají také klíčovou roli pro příznaky a posléze klasifikace podle vektorů příznaků. Mezi geometrické příznaky patří např. pravoúhlost, podlouhlost, kruhovost či vzdálenost pixelů od okraje, tedy hrany. Vektor příznaků, označme jej např. vc =(x1, x2,...,xn), kde xi je daný příznak. Tyto příznaky pak slouží jako vstupy (např. pro perceptron), a pomocí nich se klasifikuje výstup (třída).

25.8 Inverzní a Wienerův filtr

Předpokládáme, že známe funkci, která poškodila obraz.

Ideální případ — bez šumu:

$g(x,y) = (f*h)(x,y)$, kde h je funkce poškození, prostorově neměnná (stejná pro celý obraz).

Z Convolution theoremu dostaneme:

$$G = F \cdot H$$
$$F = G \cdot \frac{1}{H}$$

V praxi je však běžně přítomen i šum, který dekonvoluci stěžuje:

$g(x,y) = (f*h)(x,y) + n(x,y)$, kde n je aditivní šum, nezávislý na obrazové fci.

$$G = F \cdot H + N$$
$$F = G \cdot \frac{1}{H} - \frac{N}{H}$$

Z posledního výrazu je vidět, že šum bude nejvíce ovlivňovat výsledek na frekvencích, kde bude H téměř nulové.

Wienerův filtr

Wienerův filtr se snaží vypořádat se šumem a najít nejlepší opravu obrazu z hlediska nejmenších čtverců (matematicky správné, ale neideální pro člověka)

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

25.9 Určení vzájemné polohy snímků, problém korespondence bodu a objektu

25.10 Detekce hranic objektů, detekce oblastí

25.11 Příznaky pro popis a rozpoznávání 2D objektů, momentové invarianty

25.12 Wavelety a jejich použití

http://users.rowan.edu/~polikar/WAVELETS/WTtutorial.html

http://pagesperso-orange.fr/polyvalens/clemens/wavelets/wavelets.html

http://cnx.org/content/m11140/latest/

25.13 Statistická teorie rozpoznávání, klasifikace s učením (Bayessův, lineární a k-NN klasifikátor), klasifikace bez učení (hierarchické a iterační shlukování)

25.14 Počítačové vidění

25.15 Úvod do počítačové robotiky, plánování cesty mobilního robota

25.16 Předměty

- Digitální zpracování obrazu
- Speciální funkce a transformace ve zpracování obrazu
- Rozpoznávání vzorů
- Úvod do mobilní robotiky
- Počítačové vidění a inteligentní robotika

25.17 Materiály

- Slajdy: Flusser J., Zitová B. `http://staff.utia.cas.cz/zitova/prednasky/`, Hlaváč V. `http://cmp.felk.cvut.cz/~hlavac/HlavacTeachPresentCz.htm`, Štanclová J. `http://www.ksi.mff.cuni.cz/~stanclova/`
- Flusser J., Zitová B., Image registration methods: a survey, AVČR `http://library.utia.cas.cz/prace/20030125.pdf`
- Gonzales R. C., Woods R. E., Digital Image Processing `http://www.imageprocessingbook.com/index_dip2e.htm`

For more details look freelance writing opportunities site.