

Vaja 7: Prostorsko filtriranje slik

Pripravili: Peter Naglič, Robert Korez, Tomaž Vrtovec

<https://e.fe.uni-lj.si>

Rok oddaje poročila: 27. maj 2020 (do 23:59)

Navodila

Prostorsko filtriranje je definirano kot lokalna preslikava sivinskih vrednosti slike, ki jo izvedemo z operatorjem \mathcal{T} v prostoru slike:

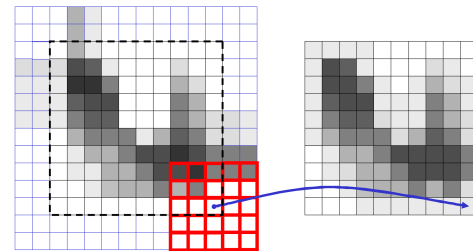
$$g(x, y) = \mathcal{T}(f(x, y)),$$

kjer je $f(x, y)$ vhodna slika, $g(x, y)$ filtrirana slika in \mathcal{T} lokalni operator (jedro filtra $w(i, j)$), določen na pravokotni diskretni domeni velikosti $M \times N$, pri čemer sta M in N celi lihi števili; $M = 2m + 1$ in $N = 2n + 1$. Filtrirano sliko $g(x, y)$ dobimo tako, da operator premikamo in računamo njegov odziv v vsaki diskretni točki slike s pomočjo konvolucije:

$$g(x, y) = \sum_{i=-m}^m \sum_{j=-n}^n w(i, j) \cdot f(x - i, y - j),$$

Kadar so koeficienti filtra $w(i, j)$ simetrični glede na središče, je filtriranje enako korelaciji slike s filtrom.

Problem računanja odziva na robu slike ponavadi rešimo tako, da diskretno domeno slike razširimo v x in y smeri za vrednost m in n , in sicer na vsaki strani slike. Sivinske vrednosti nato ekstrapoliramo preko roba slike in tako dosežemo enakomeren prehod sivinskih vrednosti.



Glajenje slik najenostavneje izvedemo tako, da izračunamo aritmetično povprečje vseh sivinskih vrednosti slike znotraj domene filtra. Poleg aritmetičnega povprečja se pogosto uporablja tudi uteženo povprečje, ki bolj poudari središče filtra in zato zmanjša učinek glajenja, ter glajenje z Gausovim jedrom, ki ima koeficiente določene na podlagi Gaussove porazdelitve:

$$w(i, j) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{i^2+j^2}{2\sigma^2}}.$$

Aritmetično
povprečje

	1	1	1
$\frac{1}{9} \times$	1	1	1
	1	1	1

Uteženo
povprečje

	1	2	1
$\frac{1}{16} \times$	2	4	2
	1	2	1

Gaussov
filter

0,01	0,08	0,01
0,08	0,64	0,08
0,01	0,08	0,01

($\sigma = 0,5$)

Ostrenje slik je analogno prostorskemu odvajanju sivinskih vrednosti. Ostrenje slik se lahko izvede tako, da se vhodni sliki $f(x, y)$ odšteje drugi odvod slike $\nabla^2 f(x, y)$:

$$o(x, y) = f(x, y) - c \left(\nabla^2 f(x, y) \right),$$

pri čemer konstanta c določa stopnjo ostrenja, drugi odvod se najenostavneje izračuna z Laplaceovim operatorjem. Za ostrenje slik se pogosto se uporablja tudi maskiranje neostrih področij, pri čemer vhodni sliki $f(x, y)$ najprej odštejemo njeno (z Gaussovimi filtrom) zglajeno različico $F(x, y)$ in tako dobimo masko neostrih področij $m(x, y)$, ki jo nato prištejemo vhodni sliki na podlagi stopnje ostrenja c :

$$m(x, y) = f(x, y) - F(x, y) \quad \implies \quad o(x, y) = f(x, y) + c \left(m(x, y) \right).$$

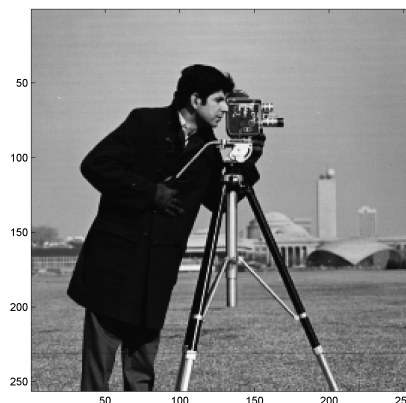
Slike lahko ostrimo tudi s pomočjo prvih odvodov oz. gradientov. Vektorska slika gradienta $\nabla f(x, y)$ v vsaki točki slike (x, y) kaže v smeri največje spremembe funkcije $f(x, y)$, komponenti gradienta $\nabla_x f(x, y)$ in $\nabla_y f(x, y)$, ki predstavljata parcialna odvoda slike v x in y smeri, pa najpogosteje izračunamo s pomočjo Sobelovega operatorja. Velikost oz. amplitudo gradienta $|\nabla f(x, y)|$ izračunamo v vsaki točki slike kot:

$$|\nabla f(x, y)| = \sqrt{\left(\nabla_x f(x, y) \right)^2 + \left(\nabla_y f(x, y) \right)^2}.$$

Laplaceov operator	Sobelov operator za x smer	Sobelov operator za y smer																											
<table border="1"><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>-8</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	1	1	1	1	-8	1	1	1	1	<table border="1"><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>-2</td><td>0</td><td>2</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	-1	0	1	-2	0	2	-1	0	1	<table border="1"><tr><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr></table>	-1	-2	-1	0	0	0	1	2	1
1	1	1																											
1	-8	1																											
1	1	1																											
-1	0	1																											
-2	0	2																											
-1	0	1																											
-1	-2	-1																											
0	0	0																											
1	2	1																											

Pri **statističnem filtriranju** sivinske vrednosti slikovnih elementov znotraj domene filtra uredimo po velikostnem redu od največje do najmanjše. Najbolj znan statistični filter je medianin filter. Mediana je po definiciji sredinska vrednost v urejenem nizu vrednosti, torej je odziv medianinega filtra velikosti $N \times N$ enak $\frac{N(N+1)}{2}$ -ti največji sivinski vrednosti. Poleg mediane lahko določimo tudi filter maksimalne vrednosti in filter minimalne vrednosti.

Dana je slika cameraman-256x256-08bit.raw velikosti $X \times Y = 256 \times 256$, ki je zapisana z 8 biti v obliki surovih podatkov (RAW).



1. Napišite funkcijo za prostorsko filtriranje slike z jedrom:

```
def kernelFiltering(iImage, iKernel)
```

kjer je `iImage` vhodna slika in `iKernel` jedro filtra dimenzije $N \times N$. Funkcija vrne matriko filtriranih vrednosti `oImage`, ki ima enake dimenzije kot vhodna slika.

2. Uporabite različna jedra filtrov za glajenje slik (aritmetično povprečje, uteženo povprečje, Gaussovo jedro) ter zgladite sliko. Rezultate prikažite na zaslon.
3. Izostrite sliko s postopkom na podlagi Laplaceovega operatorja in z maskiranjem neostrih področij s poljubno stopnjo ostrenja. Rezultate prikažite na zaslon.
4. Določite gradientne slike v x in y smeri s pomočjo Sobelovega operatorja. Izračunajte tudi amplitudno sliko gradienta. Rezultate prikažite na zaslon.
5. Napišite funkcijo za statistično filtriranje slike:

```
def statisticalFiltering(iImage, iLength, iFunc)
```

kjer je `iImage` vhodna slika, `iLength` je dolžina N jedra filtra dimenzije $N \times N$, `iFunc` pa je ime statistične funkcije v knjižnici Numpy, npr. `np.median`. Filtriranje opravite na naslednji način:

```
oValue = iFunc(iArea)
```

kjer je `iArea` področje sivinskih vrednosti, ki ustreza danemu položaju filtra na sliki, `oValue` pa filtrirana vrednost na danem položaju filtra. Funkcija vrne filtrirano sliko `oImage`.

6. Filtrirajte sliko z medianinim filtrom (`np.median`), filtrom maksimalne vrednosti (`np.max`) ter filtrom minimalne vrednosti (`np.min`). Rezultate prikažite na zaslon.
7. V splošnem dinamično območje filtriranih vrednosti ne sovпада z dinamičnim območjem slike, ki jo filtriramo. Pri prikazovanju odzivov (npr. slika odziva Laplaceovega operatorja, slika maske neostrih področij, slika odziva Sobelovega operatorja) zato spremenite dinamično območje prikazanih vrednosti na 8 bitov (med 0 in 255).

Vprašanja

Odgovore na sledeča vprašanja zapišite v poročilo, v katerega vstavite tudi zahtevane izrise slik ali grafov. Izvorno kodo priložite v obliki datoteke `.py` ter jo skupaj s poročilom arhivirajte v `.zip` ali `.rar` datoteko.

1. Zapišite jedro filtra velikosti $N \times N = 5 \times 5$ za glajenje z aritmetičnim povprečjem, za glajenje z uteženim povprečjem ter za glajenje z Gaussovim jedrom pri $\sigma = 2$.
2. Priložite slike, zglajene aritmetičnim povprečjem ($N \times N = 3 \times 3$), uteženim povprečjem ($N \times N = 3 \times 3$) ter Gaussovim jedrom ($N \times N = 3 \times 3$ in $\sigma = 0,5$). Za kaj se v splošnem uporablja glajenje slik?

- Priložite slike, izostrene z Laplaceovim operatorjem ter z maskiranjem neostrih področij. Uporabite velikost jedra filtrov $N \times N = 3 \times 3$, standardni odklon $\sigma = 2$ in stopnjo ostrenja $c = 2$. Priložite tudi sliko odziva na Laplaceov operator ter sliko maske neostrih področij. Za kaj se v splošnem uporablja ostrenje slik? Kaj je pomanjkljivost ostrenja, ki je opazna tudi na pridobljenih slikah?
- Priložite slike Sobelovih gradientov v x in y smeri ter amplitudno sliko Sobelovega gradienta. Uporabite velikost jedra filtra velikosti $N \times N = 3 \times 3$. Za kaj se v splošnem uporablja določanje gradientov slik?
- Priložite slike, filtrirane z medianinim filtrom, filtrom maksimalne vrednosti in filtrom minimalne vrednosti. Uporabite velikost jedra filtra $N \times N = 3 \times 3$. Za kaj se v splošnem uporablja statistično filtriranje slik? Kaj povzroči uporaba vsakega od navedenih filtrov na sliki? Kakšna je bistvena razlika med filtriranjem z medianinim filtrom in s filtri za glajenje slik?

Dodatek

Odgovore na sledeče probleme ni potrebno prilagati k poročilu, prispevajo pa naj k boljšemu razumevanju vsebine.

- Napišite funkcije za določanje koeficientov jedra filtra aritmetičnega povprečja, filtra uteženega povprečja in Gaussovega filtra:

```
def getAritmeticAverageKernel(iLength)
def getWeightedAverageKernel(iLength)
def getGaussianKernel(iLength, iStd)
```

kjer je `iLength` poljubna velikost jedra filtra N , `iStd` pa standardni odklon Gaussove porazdelitve. Funkcija vrne jedro pripadajočega filtra `oKernel`. Upoštevajte, da so koeficienti jedra simetrični ter da mora biti vsota vseh koeficientov enaka 1.

- Pri filtriranju dvodimenzionalnih (2D) slik je jedro poljubnega filtra podano z 2D matriko. Podobno je pri filtriranju tridimenzionalnih (3D) slik jedro poljubnega filtra podano s 3D matriko. Recimo, da za določanje gradienta v x smeri uporabimo naslednjo obliko Sobelovega operatorja:

`SobelX(:, :, 1) =`

	-1	0	1
=	-2	0	2
	-1	0	1

`SobelX(:, :, 2) =`

	-2	0	2
=	-4	0	4
	-2	0	2

`SobelX(:, :, 3) =`

	-1	0	1
=	-2	0	2
	-1	0	1

Kakšna je oblika pripadajočih Sobelovih operatorjev za filtriranje 3D slik v y in z smeri?