

情報デザイン専攻

画像情報処理論及び演習II

-フィルタ処理・エッジ強調-
セパレート実装、方向フィルタ、形態作用素

第8回講義
水曜日1限
教室6218

吉澤 信
shin@riken.jp, 非常勤講師
大妻女子大学 社会情報学部

独立行政法人
理化学研究所

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

今日の授業内容

www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/index.html
www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/Lec19.pdf

- 線形フィルタのセパレート実装、Guassainピラミッド.
- 方向フィルタ、Log-Gaborフィルタと方向ピラミッド.
- 形態作用素.
- 演習: Report06.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

セパレート実装

✓ 1次元フィルタを次元(方向)別にn回適用してn次元線形畳み込みを効率よく適用する実装方法.

- 線形フィルタ(畳み込み和):

$$I(i, j) = \sum_{m=-h_y}^{h_y} \sum_{n=-h_x}^{h_x} f(i+m, j+n)h(m, n)$$

I 出力画像 f 入力画像 h カーネル画像: フィルタ

もしも分離可能なら ↓ $h(m, n) = h_y(m)h_x(n)$

$$I(i, j) = \sum_{m=-h_y}^{h_y} h_y(m) \left(\sum_{n=-h_x}^{h_x} f(i+m, j+n)h_x(n) \right)$$

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

セパレート実装2

✓ 例えば、2次元のアルゴリズムはx方向のフィルタ結果へy方向のフィルタを適用する.

$$I(i, j) = \sum_{m=-h_y}^{h_y} h_y(m) \left(\sum_{n=-h_x}^{h_x} f(i+m, j+n)h_x(n) \right)$$

$tmp(i, j) = \sum_{n=-h_x}^{h_x} f(i, j+n)h_x(n)$

for(i)
for(j)
for(n)
tmp(i, j) += h(n)f(i, j+n);

X方向のフィルタ

$I(i, j) = \sum_{m=-h_y}^{h_y} f(i+m, j)h_y(m)$

for(j)
for(i)
for(m)
I(i, j) += h(m)tmp(i+m, j);

Y方向のフィルタ

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

セパレート実装3

✓ 計算量は画像の縦横をsy,sxとすると、
 $O((2h_x+1)(2h_y+1)s_x s_y) \rightarrow O(2(h_x+h_y+1)s_x s_y)$

速度 $2 \frac{(2h_x+1)(2h_y+1)}{h_x+h_y+1}$ 倍 $h_x=h_y=h \Rightarrow \frac{2h+1}{2}$ 倍

✓ 例1: ソーベル作用素は、9/6=1.5倍:

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow (-1 \ 0 \ 1) * \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} * (1 \ 2 \ 1)$$

$h_x = h_y = 1 \Rightarrow (2h_x+1)(2h_y+1) = 9, \quad 2(h_x+h_y+1) = 6$

✓ h_x, h_y が大きいほど効率的 → Gaussianフィルタ.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

セパレート実装4

✓ 例2: Gaussianフィルタ: $I(x, y) = \iint f(x-u, y-v)g_\sigma(u, v)dudv$

- 分離: $g_\sigma(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)$

高次元のGaussianは $= \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)\right) \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right)\right)$
低次元Gaussianの積. $= g_\sigma(x)g_\sigma(y)$

$$I(i, j) = \sum_{m=-h_y}^{h_y} g_\sigma(m) \left(\sum_{n=-h_x}^{h_x} f(i+m, j+n)g_\sigma(n) \right)$$

Ex13.zip内のSeparableGaussian.cxxに実際の実装があります.

$\frac{2h+1}{2}$ 倍なので、もし半径h=100なら約100倍速い!

$h(m, n) = h_y(m)h_x(n)$ が重要.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

Gaussianピラミッド

✓ 例3: Gaussianピラミッド作成時のExpandとReduce操作.

$$g_k = [g_{k-1} * G(k\sigma)]^\downarrow, \quad g_0 = f.$$

✓ 5-tap filter:

$$\frac{1}{16} (1 \ 4 \ 6 \ 4 \ 1)$$

Pyramid表現

✓ 平滑化(Gaussian, Wavelet等)をdown sampling (↓ Reduce操作)しながら行う多重解像度表現の一種. 逆操作はupsampling(↑ Expand操作).

復習: 前期画像合成

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

方向微分

✓ 通常の座標軸に沿った方向の微分(微小変化率)ではなく、任意の方向(ベクトル)に沿った微分.

✓ 勾配と方向微分したいベクトルとの内積.

LaplacianとDoG, LoG

LoG: Laplacian of Gaussian. $LoG_\sigma = \Delta g_\sigma(x, y)$

DoG: Difference of Gaussian. $g_\sigma(x, y) = \frac{1}{2\sigma^2} \exp(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2})$

$$\frac{\partial f(x, y)}{\partial t} = \nabla f \cdot \mathbf{t}$$

✓ 例えば、LoGやDoGを与えられた方向に適用してもOK!

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

方向(Orientation) フィルタ

✓ 方向特徴フィルタ(log Gabor). 角度: 0, 45, 90, 135

Imaginary

4方向の例

Kernel画像

Real

Quadrature Filter Set Kernels: Real and Imaginary

$G \exp(i\theta) = G(x-t)(\sin(\theta)i + \cos(\theta))$

強度 $(f_{real}^2 + f_{imaginary}^2)^{1/2}$

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

Steerable Pyramid

✓ 方向特徴フィルタ(log Gabor)によるOrientation Pyramid.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

Steerable Pyramid

a

b

c

d

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

形態作用素(Morphological Operator)

✓ Flat Structuring Element (SE)と呼ばれる二値化画像(Binary Image: b)の内側の輝度値の最小値・最大値等で、評価画素の輝度値を置き換える.

- Erosion(収縮):
- Dilation(膨張):
- Opening(穴あけ):
- Closing(穴埋め):

Structuring Element はグレースケール画像でもよいが本講義では取り扱わない.

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

形態作用素(Morphological Operator)2

✓ Flat Structuring Element (SE)と呼ばれる二値化画像 (Binary Image: b)の内側の輝度値の最小値・最大値等で、評価画素の輝度値を置き換える。

- Erosion(収縮): $[f - b](x) = \min_{t \in b} \{f(x - t)\}$
- Dilation(膨張): $[f + b](x) = \max_{t \in b} \{f(x - t)\}$
- Opening(穴あけ): $(f \circ b) = [[f - b] + b]$
- Closing(穴埋め): $(f \bullet b) = [[f + b] - b]$
- Top Hat: $T_{\text{hat}}(f) = f - (f \circ b)$
- Bottom Hat: $B_{\text{hat}}(f) = (f \bullet b) - f$

SEは円をよく使う。

Ex13.zip内のMorphological Operators.hに実装があります。

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

Erosion

Erosion(収縮): 白い部分がSE分だけ収縮する。
Minフィルタと同じ。 $[f - b](x) = \min_{t \in b} \{f(x - t)\}$

Structured Elementは円でその半径 r が

$r=1$ $r=2$ $r=3$ $r=4$ $r=5$ $r=10$

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

Dilation

Dilation(膨張): 白い部分がSE分だけ膨張する。
Maxフィルタと同じ。 $[f + b](x) = \max_{t \in b} \{f(x - t)\}$

Structured Elementは円でその半径 r が

$r=1$ $r=2$ $r=3$ $r=4$ $r=5$ $r=10$

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

Opening

Opening(穴あけ): 白に黒い穴がSE分だけあく。
Erosion後にDilation。 $(f \circ b) = [[f - b] + b]$

Structured Elementは円でその半径 r が

$r=1$ $r=2$ $r=3$ $r=4$ $r=5$ $r=10$

$r=4$ $r=8$ $r=16$ $r=20$ $r=32$

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

Closing

Closing(穴埋め): 白に黒い穴がSE分だけ埋まる。
Dilation後にErosion。 $(f \bullet b) = [[f + b] - b]$

Structured Elementは円でその半径 r が

$r=1$ $r=2$ $r=3$ $r=4$ $r=5$ $r=10$

$r=4$ $r=8$ $r=16$ $r=20$ $r=32$

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

Top Hat

TopHat: 穴あけで消えた部分を強調:
入力からOpeningを引く。 $T_{\text{hat}}(f) = f - (f \circ b)$

Structured Elementは円でその半径 r が

$r=3$ $r=4$ $r=5$ $r=10$ $r=20$ $r=30$

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

Top Hat

Shading Correctionに非常によい. $r=5$

入力画像 大津の二値化 TopHat画像 大津の二値化

$r=20$

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

Bottom Hat

BottomHat: 穴埋めで消えた部分を強調.
Closingから入力を引く. $B_{\text{hat}}(f) = (f \cdot b) - f$

Structured Elementは円でその半径 r が

$r=3$ $r=4$ $r=5$ $r=10$ $r=20$ $r=30$

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

Bottom Hat2

Shading Correctionに非常によい. $r=5$

入力画像 大津の二値化 BottomHat画像 大津の二値化

$r=20$

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

Morphologicalフィルタ

Original Image Filled Image Original Image Filled Image

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

演習: 形態フィルタ

www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/index.html
www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/Lec19.pdf
www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/Ex13.zip

✓makeでコンパイル後にプログラムを各.cxxを見て実行してみましょう!

- Gaussianフィルタのセパレート実装.
- 形態作用素.

前回までの内容=Report06の内容
 (Lec16.pdf, Lec17.pdf, Lec18.pdf)が出来ていない人はそちらを先にやりましょう!

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

再来週の予定

✓ 来週は祝日なので、次回は再来週(11/30)です.
 ✓ 第6回レポートの〆切は再来週です.

内容(9): HDRI・
 計算Photography・
 Artistic Stylization
 合成、アーティスト処理・NPR

1回	画像フォーマット
2回	周波数分解
3回	フィルタ処理・エッジ強調
4回	計算Photography Artistic Stylization
5回	計算Photography Artistic Stylization
6回	計算Photography Artistic Stylization
7回	計算Photography Artistic Stylization
8回	計算Photography Artistic Stylization
9回	計算Photography Artistic Stylization
10回	計算Photography Artistic Stylization
11回	計算Photography Artistic Stylization
12回	計算Photography Artistic Stylization
13回	エッジ・形状・特徴抽出とパターン認識の基礎
14回	エッジ・形状・特徴抽出とパターン認識の基礎
15回	エッジ・形状・特徴抽出とパターン認識の基礎
16回	補講