

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](http://www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/index.html)  
[www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/Lec21.pdf](http://www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/Lec21.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: Report05.

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

高次元のGaussianは  $(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp(-\frac{x^2}{2\sigma^2}))(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp(-\frac{y^2}{2\sigma^2}))$   
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

↓ Reduce ↑ Expand

復習: 前期画像合成

✓ 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).

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

Kernel画像

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

Quadrature Filter Set Kernels: Real and Imaginary

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

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

Block diagram of the Steerable Pyramid structure.

a. Original image

b. Filter kernels

c. Steerable pyramid decomposition

d. Reconstructed image

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MorphologicalOperators.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 Hat2

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 Outlines Filled Image

Shin Yoshizawa: shin@riken.jp

## 演習: 形態フィルタ

[www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/index.html](http://www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/index.html)  
[www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/Lec21.pdf](http://www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/Lec21.pdf)

[www.riken.jp/briect/Yoshizawa/Lectures/Ex13.zip](http://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=Report05の内容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

## 来週の前定

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	
4回	
5回	フィルタ処理・エッジ強調
6回	
7回	
8回	
9回	計算Photography Artistic Stylization
10回	動画処理
11回	
12回	
13回	
14回	エッジ・形状・特徴抽出とパターン認識の基礎
15回	+補講