画像の早期処理









4











2階調



3階調









16階調



6階調



32階調







• 処理概念:処理対象に依存しない処理



• 処理手法の分類

処理目的に着目した分類 ノイズ除去フィルタリング、平滑化フィルタリング 強調フィルタリング、幾何学的補正フィルタリング ドメインに着目した分類 画像空間フィルタリング 、波数空間フィルタリング 手法の線形性に着目した分類 線形フィルタリング 非線形フィルタリング

7

平滑化処理(目的)

- 線形フィルタ方式(手法)
 - *近傍画素の線形加重平均

*回路構成が容易

- *無条件平均化でぼけが発生
- 非線形フィルタ方式(手法)
 - *目的別の個別的な演算を定義

*線形フィルタよりも柔軟性大 *ボケを抑制した平滑化等に有効 *処理時間の増大、経験的調整が必要

8

線形フィルタ平滑化 (手法・目的)

- 近傍領域での加重平均
- 重みをマスクパターンとして表現
- (例)



単純平均

8 0 0 4 8 $\frac{1}{8}$ $\frac{1}{8}$ $\frac{1}{8}$ 0 0

加重平均

知的画像処理(2) 非線形ランクフィルタ平滑化 (手法・目的)

9

最大値,最小値,中間値(メディアン)等のフィルタ

(例) 3x3 メディアンフィルタ



選択的局所非線形平滑化 (手法・目的)

- •9種類の局所的領域(下図)
- •各領域の画素の分散を計算

•すべての領域が閾値以下で、注目点を平均化

(エッジの存在を確認)



非線形フィルタ処理例







原画像

Minフィルタ

Maxフィルタ

知的画像処理(2) 12

画像強調(目的)

• 濃度勾配を利用したエッジ強調(手法)



知的画像処理(2) 13

-1

1

差分処理(手法)

•微分演算の差分化(例)

$$\Delta x \equiv \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \approx f(i, j) - f(i, j-1)$$
$$\Delta y \equiv \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \approx f(i, j) - f(i-1, j)$$



1次差分エッジ強調 (手法・目的)

•近似の仕方により複数の1次差分が存在

- •線形フィルタとしてマスク表現
- •1次差分フィルタの例





 Λx



 Δy

Sobelフィルタ

Laplacianエッジ強調 (手法・目的)

•ラプラシアン演算 (ℑ) $\Im f(x, y) = (\nabla f)^T (\nabla f) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}$

•ラプラシアン近似とマスク表現

-4	1
1	0
	-4 1

4近傍2次差分

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

8近傍2次差分

非極値抑制エッジ強調法 (手法・目的)

• 非極値抑制の概要



非極値抑制差分処理の例













ゼロ交差エッジ強調 (手法・目的)

•ガウス関数による平滑化とラプラシアン $abla^2(G\otimes f) = (
abla^2 G)\otimes f$ $G = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \qquad$ ガウス関数 注目点からの距離 r



Canny法エッジ強調(1/3) (手法・目的) $L(x, y) = G(x, y) \otimes f(x, y)$ f(x, y) : 画像関数 G(x, y): ガウス関数



空間曲線座標系

知的画像処理(2) 20

Canny法エッジ強調 (2/3)



知的画像処理(2) 21 Canny法エッジ強調 (3/3)

•ディジタル画像での扱い





(b) Pの8近傍点



Canny法によるエッジ抽出例









 $\sigma^2 = 1.0$

 $\sigma^2 = 2.0$

 $\sigma^2 = 3.0$







 $\sigma^2 = 12.0$

 $\sigma^2 = 4.0$

弛緩法エッジ強調 (手法・目的)

エッジの強さと方向に基づく確率的反復法
 エッジ集合
 エッジラベル集合
 A = $\{a_1, a_2, ..., a_n\}$ A = $\{\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_m\}$

エッジ a_i がラベル λ_u を持つ確率: $P_i(\lambda_u)$

$$\sum_{\lambda_{u}} P_{i}(\lambda_{u}) = 1, (i = 1, 2, ..., n)$$

•確率の更新(弛緩法)

$$P_{i}^{(k+1)}(\lambda_{u}) = \frac{P_{i}^{(k)}(\lambda_{u})[1+q_{i}^{(k)}]}{\sum \left\{ P_{i}^{(k)}(\lambda_{u})[1+q_{i}^{(k)}] \right\}}$$
$$q_{i}^{(k)} = \sum_{j} d_{ij} \left[\sum_{\lambda_{v}} \gamma_{ij}(\lambda_{u},\lambda_{v}) P_{j}^{(k)}(\lambda_{v}) \right]$$



ラベル間の適合度係数の例

知的画像処理(2) 25 他緩法によるエッジ強調例





原画像

繰返し:1回、閾値:0.7



繰返し:4回、閾値:0.7







繰返し:5回、閾値:0.7



繰返し:3回、閾値:0.7



繰返し:8回、閾値:0.7







視覚特性に沿った階調化

ヒストグラム平滑化処理の例





信号処理と画像処理

	信号処理系	画像処理系	
処理の 応答	実時間性が求められる	ある程度の処理時間 が許容される	
記憶域	メモリ容量に対する 制限が厳しい	大容量のメモリ使用が 容認され易い	
入出力 の流れ	オンラインでの対応 が厳しく求められる	オフラインでの対応が 容認され易い	
系の持 つ特徴	線形性・因果性	非線形性・非因果性	

信号処理システム



線形システムとは $T\{a_1x_1(n)+a_2x_2(n)\}=a_1T\{x_1(n)\}+a_2T\{x_2(n)\}$ を満たす 時不変システムとは

入力x(n)に対する出力がy(n)であるとき、 入力 $x_1(n) = x(n-n_d)$ に対する出力 $y_1(n)$ が $y_1(n) = T\{x_1(n)\} = y(n-n_d)$ を満たす.

 W_{1N}

 $W_{M\Lambda}$

2次元システム(画像フィルタ)



画像フィルタ

画像フィルタマスク

画像フィルタ出力:

$$y(i, j) = \sum_{m=1}^{M} \sum_{n=1}^{N} \frac{w_{mn}}{w_{mn}} \cdot x(i + m - [M/2] - 1, j + n - [N/2] - 1)$$

画像フィルタマスク配列 →

M

N

空間不変な線形システム の2次元インパルス応答

画像フィルタの特性



知的画像処理(2) 33

2次元線形システム(1/3)

$$f(x,y)$$
 2次元システム $g(x,y) = O\{f(x,y)\}$ $O\{\bullet\}$

線形2次元システムでは、

$$O\{a_1f_1(x,y)+a_2f_2(x,y)\}=a_1O\{f_1(x,y)\}+a_2O\{f_2(x,y)\}$$

を満たす.ここで、
入力: $f(x,y)=\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}f(\xi,\eta)\delta(x-\xi,y-\eta)d\zeta d\eta$
出力: $g(x,y)=O\{f(x,y)\}$



ただし、
$$\delta(x-\xi,y-\eta) = \begin{cases} 1, & x=\zeta, y=\eta \end{pmatrix}$$
のとき
0、それ以外のとき

入力を代入して変形すると

$$g(x, y) = O\{\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\xi, \eta) \delta(x - \xi, y - \eta) d\zeta d\eta\}$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\xi,\eta) O\{\delta(x-\xi,y-\eta)\} d\zeta d\eta$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\xi,\eta) \underline{h(x,y;\xi,\eta)} d\zeta d\eta$$

ここで、 $h(x, y; \xi, \eta) = O\{\delta(x - \xi, y - \eta)\}$ は、 2次元インパルス応答を表す.

入力信号とインパルス応答の 積分を、右式のように表す. $g(x,y) = f(x,y) \otimes h(x,y)$ (帯込み積分)

2次元線形システム(3/3)

$h(x, y; \xi, \eta) \implies x - \xi \ge y - \eta$ のみに依存するとき,

O{·}: 空間不変 (space invariant)システム

インパルス応答 システムの応答(周波数・位相)特性を解析する ことが可能。

離散処理システムでは:

$$g(m,n) = \sum_{i} \sum_{j} f(i,j) \cdot h(m-i,n-j)$$
$$= f(m,n) \otimes h(m,n)$$

2次元系列とその表現





2次元系列*x*(*m*,*n*)の例

2次元系列の図式表現例

$$\delta(x-\xi, y-\eta)$$

= $\begin{cases} 1, (x=\zeta, y=\eta) \\ 0, (それ以外) \end{cases}$

X(

$$m,n) = 1 \times \delta(m,n)$$

+ 0.5 × $\delta(m-1,n-1)$
+ 0.3 × $\delta(m-2,n-2)$

2次元系列の数式表現例

2次元システムの入出力関係

$$y(m,n) = x \otimes h = \sum_{i} \sum_{j} x(i,j) \cdot h(m-i,n-j)$$





入力x1, x2, x3に対応する出力をy1, y2, y3とすると $y[n_1, n_2] = y1[n_1, n_2] + y2[n_1, n_2] + y3[n_1, n_2]$ と表される。



知的画像処理(2) 2次元システムの連結(1/2)

システムの縦続接続

システムの並列接続



 $h0(m,n) = h1(m,n) \otimes h2(m,n)$

39



h0(m, n) = h1(m, n) + h2(m, n)

^{知的画像処理(2)} 2次元システムの連結(2/2)



40

知的画像処理(2) 41 2次元系列のZ変換

2次元系列*x(m,n)*のZ変換

$$X(z_1, z_2) = \sum_{m = -\infty}^{\infty} \sum_{n = -\infty}^{\infty} x(m, n) z_1^{-m} z_2^{-n}$$

z_1, z_2は複素変数

Z変換は、フーリエ変換と密接な関係

●畳込み演算

 $y(n_1, n_2) = (x \otimes h)(n_1, n_2) \iff Y(z_1, z_2) = X(z_1, z_2) \cdot H(z_1, z_2)$

フーリエ変換 ⇔ Z変換

$$X(e^{j\omega 1}, e^{j\omega 2}) = X(z_1, z_2)\Big|_{z_1 = e^{j\omega 1}, z_2 = e^{j\omega 2}}$$

ただし,

2次元系列 $x(n_1,n_2)$ のZ変換、フーリエ変換を $X(z_1,z_2), X(e^{j\omega 1},e^{j\omega 2})$ とする.

2次元システムの特性解析

2次元インパルス応答 $h(n_1, n_2)$ のZ変換を $H(z_1, z_2)$ と すると,

$$H(z_1, z_2) = \sum_{n_1 = -\infty}^{\infty} \sum_{n_2 = -\infty}^{\infty} h(n_1, n_2) z_1^{-n_1} z_2^{-n_2}$$

従って、
$$h(n_1, n_2)$$
のフーリエ変換 $H(e^{j\omega 1}, e^{j\omega 2})$ は、
 $H(e^{j\omega 1}, e^{j\omega 2}) = H(z_1, z_2) \Big|_{z_1 = e^{j\omega 1}, z_2 = e^{j\omega 2}}$
 $= A(\omega_1, \omega_2) \cdot e^{j\phi(\omega_1, \omega_2)}$

これより、 $H(e^{j\omega_1}, e^{j\omega_2})$ の振幅特性と位相特性は それぞれ、 $A(\omega_1, \omega_2)$ 、 $\phi(\omega_1, \omega_2)$ となる。

2次元システムの例(1/3)

$$\underbrace{x(n_1,n_2)}_{h(n_1,n_2)} \xrightarrow{y(n_1,n_2)}$$

入出力関係:入力 $x(n_1, n_2)$ に対するシステムの出力が $y(n_1, n_2) = \frac{1}{4} \{ x(n_1, n_2) + x(n_1 - 1, n_2) + x(n_1, n_2 - 1) + x(n_1 - 1, n_2 - 1) \}$

このシステムのインパルス応答は、
$$h(n_1,n_2) = \frac{1}{4} \left\{ \delta(n_1,n_2) + \delta(n_1-1,n_2) + \delta(n_1,n_2-1) + \delta(n_1-1,n_2-1) \right\}$$
と表される.

これより、 $H(z_1, z_2) = \frac{1}{4} \left\{ 1 + z_1^{-1} + z_2^{-1} + z_1^{-1} z_2^{-1} \right\}$ $= \frac{1}{4} (1 + z_1^{-1}) (1 + z_2^{-1})$



 ω_2

$h(n_1, n_2) \mathcal{O} \mathcal{O} - \mathcal{V} \mathbf{I} \mathcal{Z} \mathcal{D} \mathbf{k} \mathbf{k},$ $H(e^{j\omega 1}, e^{j\omega 2}) = H(z 1, z 2) \Big|_{z 1 = e^{j\omega 1}, z 2 = e^{j\omega 2}}$ $= \frac{1}{4} (1 + e^{-j\omega 1}) (1 + e^{-j\omega 2})$ $= \cos\left(\frac{\omega_1}{2}\right) \cos\left(\frac{\omega_2}{2}\right) \cdot e^{-j\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}}$

従って, 振幅特性:
$$A(\omega_1, \omega_2) = \cos\left(\frac{\omega_1}{2}\right)\cos\left(\frac{\omega_2}{2}\right)$$
,

位相特性: $\phi(\omega_1, \omega_2) = -\frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)$ ……直線位相



2次元システムの例(2/3)



各インパルス応答のZ変換は、 $H1(z_1, z_2) = \frac{1}{16}(1+2z_1^{-1}+z_1^{-2})(1+2z_2^{-1}+z_2^{-2})$ $H2(z_1, z_2) = \frac{1}{16}(z_1^{-1}+2+z_1^{-1})(z_2^{-1}+2+z_2^{-1})$ 各インパルス応答のフーリエ変換は、 $H1(e^{j\omega_1}, e^{j\omega_2}) = \frac{1}{16}(2+2\cos\omega_1)(2+2\cos\omega_2) \cdot e^{-j(\omega_1+\omega_2)}$ 振幅特性 $H2(e^{j\omega_1}, e^{j\omega_2}) = \frac{1}{16}(2+2\cos\omega_1)(2+2\cos\omega_2) \quad \dots \quad$ 零位相









各インパルス応答のZ変換は、 $H1(z_1, z_2) = (z_1^{-1} - 2 + z_1^{-1})$ $H2(z_1, z_2) = (z_2^{-1} - 2 + z_2^{-1})$ 各インパルス応答のフーリエ変換は, $H1(e^{j\omega_1}, e^{j\omega_2}) = 4\sin^2\left(\frac{\omega_1}{2}\right) \cdot e^{j\pi}$ $H2(e^{j\omega_1}, e^{j\omega_2}) = 4\sin^2\left(\frac{\omega_2}{2}\right) \cdot e^{j\pi}$

