

# デジタルメディア処理

担当: 井尻 敬

## フィルタ処理2：非線形フィルタ，ハーフトーニング

### 達成目標

- 非線形フィルタ処理（エッジ保存平滑化フィルタ）の計算法と効果を説明できる
- ハーフトーン処理の計算法と効果を説明できる

### Contents

- 線形フィルタの復習
- 非線形フィルタ
- ハーフトーニング

## 非線形フィルタ

## 空間フィルタとは

復習

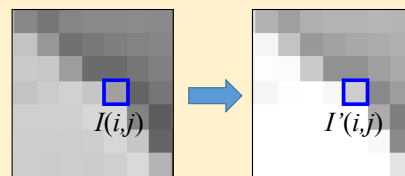
- 空間フィルタとは周囲の情報を利用して画素値を決めるフィルタ
- 空間フィルタは、線形フィルタと非線形フィルタに分けられる

### トーンカーブ：

出力画素  $I'(i,j)$  を求めるのに  
入力画素  $I(i,j)$  のみを利用

入力画像： $I(i,j)$

出力画像： $I'(i,j)$

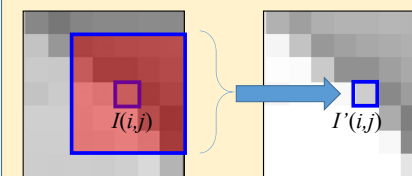


### 空間フィルタ：

出力画素  $I'(i,j)$  を求めるのに  
入力画素  $I(i,j)$  の周囲画素も利用

入力画像： $I(i,j)$

出力画像： $I'(i,j)$



## 線形フィルタとは

出力画素値を，入力画像の周囲画素の重み付和で計算する

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

出力画像  $I'(i,j)$

フィルタ  $h(i,j)$   
各画素に重みが入っている

入力画像  $I(i,j)$

## 準備：平均と分散

実数値の集合  $\{x_i | i = 1, \dots, N\}$  が与えられたとき、

その平均は  $\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ ，分散は  $\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2$  で与えられる

- 以下の集合の平均と分散を求めよ  
 $\{3, 0, 3, 5, 4, 3, 5, 1\}$
- 以下の集合AとBどちらが分散が大きい  
A:  $\{3, 4, 3, 4, 3, 2, 2\}$ , B:  $\{3, 5, 3, 5, 3, 1, 1\}$

## エッジ保存平滑化フィルタ

平滑化フィルタでは、画素  $(i, j)$  を計算するため周囲の画素の平均を計算した

1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25	1/25

エッジ保存平滑化フィルタでは、以下9種の領域を考え、一番分散の小さな領域の平均値を、その画素の値とする

入力画像

出力画像



平滑化フィルタ



エッジ保存平滑化フィルタ



## 中央値フィルタ(Median filter)

- 中央値 (median)とは…

数値の集合の代表値

数値の小さい順に並べ、ちょうど中央に位置する値

入力 : 6, 2, 1, 5, 3, 12, 1000

平均 :  $1/7 \times (6+2+1+5+3+12+1000) = 147$

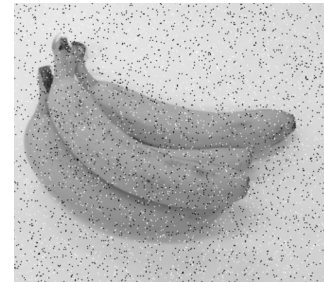
中央値 : 1, 2, 3, 5, 6, 12, 1000 → 5

中央値と平均値は、用途によって使い分ける

→ 年収など、外れ値の影響が大きい対象には中央値を

## 中央値フィルタ(Median filter)

ImageJ  
Process>Filters>Gaussian Blur  
Process>Filters>median



Salt & pepper noise image



Gaussian filter



Median filter

- + 画素( $i,j$ )を中心とする 幅 $h$ の窓内の中央値を新しい画素値とする
- + 外れ値 (スパイクノイズ) を除去出来る
- + 特徴(エッジ)をある程度保存する

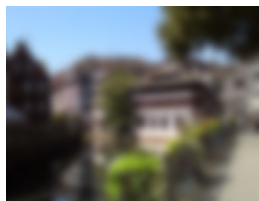
## バイラテラルフィルタ

画像中の領域境界(強いエッジ)をまたがずに平滑化

単純な平滑化

元画像

特徴保存平滑化



(Gaussian filter)

(bilateral filter)

写真は Shin Yoshizawa  
氏により提供されたもの

## バイラテラルフィルタ

ImageJ  
Plug in>Process > Bilateral Filters



Original image



Bi-Lateral Filer  
Spatial radi:3  
Range radi:50



Bi-Lateral Filer  
Spatial radi:5  
Range radi:80

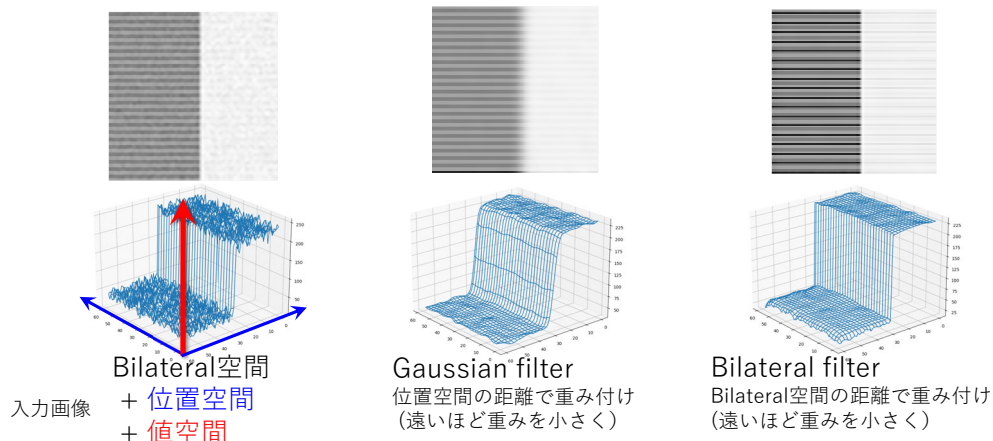
ブラー効果により顔の"あら"が消える  
輪郭が保持されるのでフィルターをかけたことに気づきにくい  
あまり強くかけすぎると不自然な画像になる

# バイラテラルフィルタ

最も有名な特徴保存フィルタの1つ

空間的距離だけでなく、画素値の差を利用して重み計算

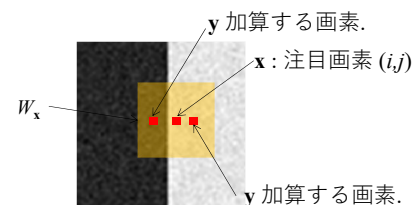
画像は [CG-Arts協会 デジタル画像処理 図5.37] を参考に井尻が再作成したもの



# バイラテラルフィルタ

$$I_{new}(\mathbf{x}) = \frac{\sum_{\mathbf{y} \in W_{\mathbf{x}}} h(\mathbf{x}, \mathbf{y}) I(\mathbf{y})}{\sum_{\mathbf{y} \in W_{\mathbf{x}}} h(\mathbf{x}, \mathbf{y})}$$

$\mathbf{x}$  : 注目画素位置  
 $\mathbf{y}$  : 局所窓内の画素位置  
 $W_{\mathbf{x}}$  :  $\mathbf{x}$  が中心の局所窓



Gaussian filter :

$$h(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = G_s(|\mathbf{x} - \mathbf{y}|)$$

Bilateral filter :

$$h(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \underbrace{G_s(|\mathbf{x} - \mathbf{y}|)}_{\text{Spatial Kernel}} \cdot \underbrace{G_h(|I(\mathbf{x}) - I(\mathbf{y})|)}_{\text{Intensity Kernel}}$$

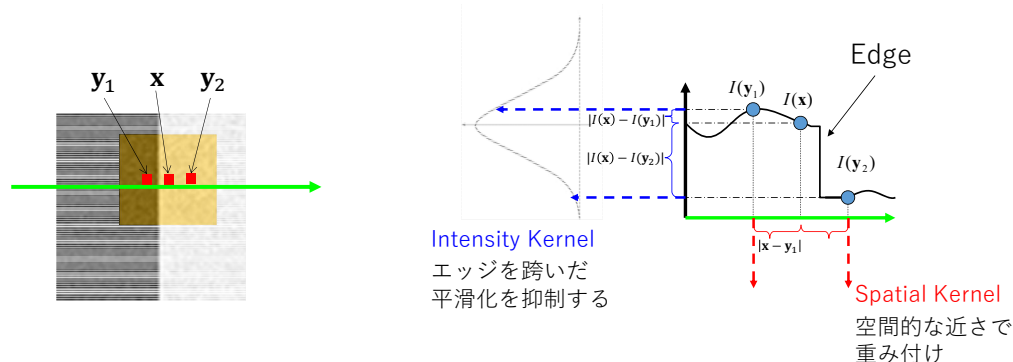
$G_{\sigma}$  は標準偏差  $\sigma$  のガウス関数

※ 『カーネル』 は窓内の画素値に依存するので線形フィルタではない

# バイラテラルフィルタ

注目画素位置  $\mathbf{x} = (i, j)$   
 窓内の画素位置  $\mathbf{y} = (i + m, j + n)$

$$h(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = G_s(|\mathbf{x} - \mathbf{y}|) \cdot G_h(|I(\mathbf{x}) - I(\mathbf{y})|)$$

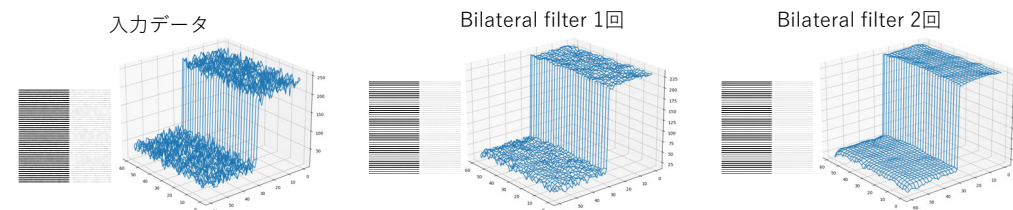


# バイラテラルフィルタ (パラメタ)

$$h(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = G_s(|\mathbf{x} - \mathbf{y}|) \cdot G_h(|I(\mathbf{x}) - I(\mathbf{y})|)$$

パラメタ  $h$  : 平滑化したい領域の輝度値の標準偏差の 0.5-2.0 倍程度をよく用いる  
 複数回適用すると良い結果が出やすい  
 カラー画像はチャンネル毎でなく、以下を用いて同じ重みを利用するとよい

$$|I(\mathbf{x}) - I(\mathbf{y})| = \left| \begin{pmatrix} R(\mathbf{x}) - R(\mathbf{y}) \\ G(\mathbf{x}) - G(\mathbf{y}) \\ B(\mathbf{x}) - B(\mathbf{y}) \end{pmatrix} \right|$$



## まとめ：空間フィルタ（非線形）

- エッジ保存効果のあるフィルタを紹介した
  - エッジ保存平滑化
  - メディアンフィルタ
  - バイラテラルフィルタ
- 線形フィルタと比べ計算量は大きい、特殊な効果が得られる

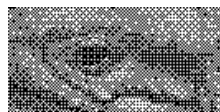


写真は Shin Yoshizawa氏により提供されたもの

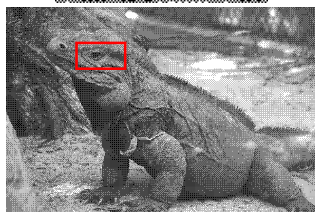
## ハーフトーン処理

### ハーフトーン処理

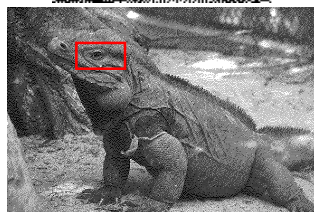
- グレースケール画像を白黒2値画像に変換する
  - 白黒画素の密度により濃淡を表現する
  - 画素が十分細かければ人の目に濃淡として認識される



濃度パターン法



ディザ法

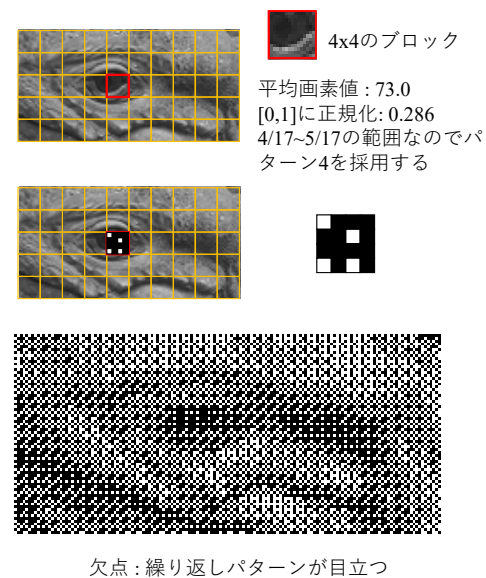
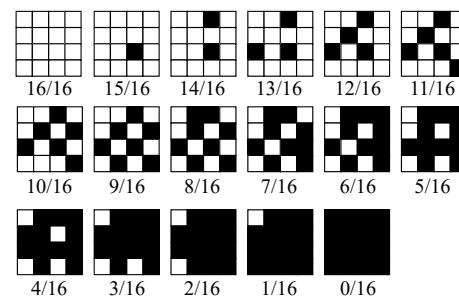


誤差拡散

### 濃度パターン法

1. 元画像を4X4のブロックに分割
2. 各ブロックの平均輝度値を計算
3. 各ブロックについて似た平均輝度値をもつパターンを選択し、置き換える

※ブロックのサイズは変更可（今回は4x4）



欠点：繰り返しパターンが目立つ

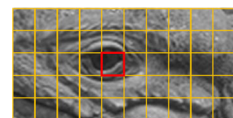


## ディザ法

1. 元画像を4x4のブロックに分割
2. 4x4のディザパターンを用意
3. 各ブロックの画素においてディザパターンと比較

ディザパターンの値以上 → 白  
ディザパターンの値より小さい → 黒

※比較する際、画像の画素値を[0,255]から[0,16]に変更しておく

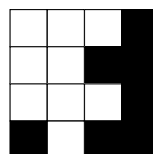


0	8	2	10
12	4	14	6
3	11	1	9
15	7	13	5

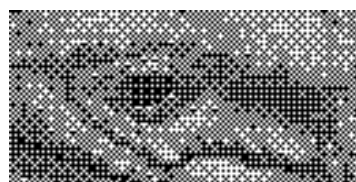
ディザパターン

10	8	2	5
11	7	8	3
9	8	6	4
12	11	6	2

4x4のブロック  
[0,16]に変換済み



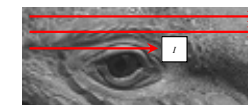
出力パターン



欠点：繰り返しパターンが目立つ

## 誤差拡散法

- 左上からラスタスキャンし一画素ずつ以下の通り2値化する
- 注目画素の画素値が1のとき



### 1. 二値化処理

$I > 127 \rightarrow$  注目画素を白に

$I \leq 127 \rightarrow$  注目画素を黒に

### 2. 誤差拡散

上の二値化で以下の誤差  $e$  が発生した

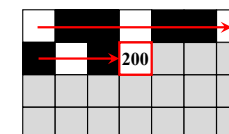
$I > 127 \rightarrow e = I - 255$

$I \leq 127 \rightarrow e = I - 0$

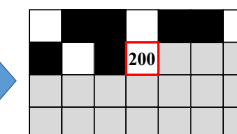
この誤差を隣接画素  $I_1, I_2, I_3, I_4$  分配  
(画素値を変化させる)

$$I_1 \leftarrow I_1 + \frac{5}{16}e, I_2 \leftarrow I_2 + \frac{3}{16}e,$$

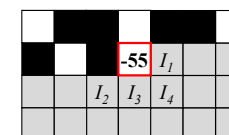
$$I_3 \leftarrow I_3 + \frac{5}{16}e, I_4 \leftarrow I_4 + \frac{3}{16}e$$



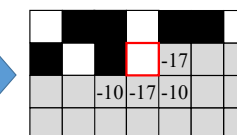
注目画素



二値化



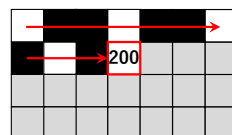
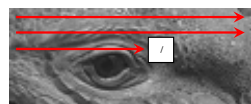
誤差拡散する隣接画素



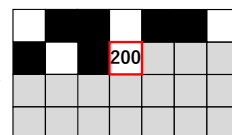
誤差拡散し画素値を変更

## 誤差拡散法

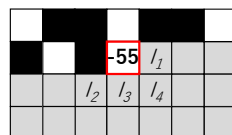
- 実装時の問題：右端や下端では誤差を拡散させる画素がない
- 解決策：右端や下端の計算時、誤差を拡散させる画素がない場合には誤差拡散を行わない



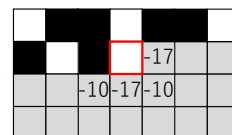
注目画素



二値化



誤差拡散する隣接画素



誤差拡散し画素値を変更

## まとめ：ハーフトーン処理

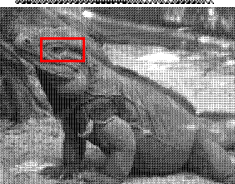
- グレースケール画像を白黒2値画像で表現する手法

**濃度パターン法**：ブロックの輝度値を利用し濃度パターンで置き換える

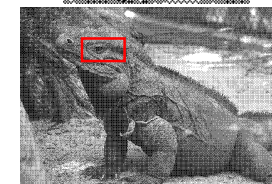
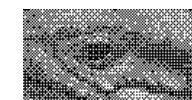
**ディザ法**：ディザパターンと画素値を比較し二値化

**誤差拡散法**：ラスタスキャン順に二値化し、発生した誤差を隣接画素に拡散する

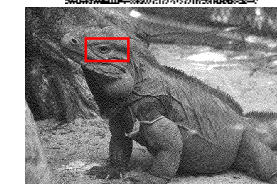
- プログラミング演習で実装します




濃度パターン法



ディザ法



誤差拡散



時間が余ったら、フーリエ級数の話をする