

ファジー推論を用いた雑音画像からのエッジ抽出法

木村 誠聡^Y 田口 亮^{YY} 村田 裕^{YY}

Edge Detection from Noisy Images by Using the Fuzzy Techniques

Tomoaki KIMURA^Y, Akira TAGUCHI^{YY}, and Yutaka MURATA^{YY}

あらまし インパルス性加法雑音が重畳された画像信号からエッジ抽出を行うとき、あらかじめ、雑音除去を行う必要がある。つまり、雑音除去処理、エッジ抽出処理の順で2回の処理を独立に行うことになる。しかしながら、インパルス性雑音を除去することは、当然、原信号のエッジも劣化させるため、本当は雑音除去処理とエッジ抽出処理はお互いに関連づけて行うことが必要である。本論文では、インパルス性雑音除去とエッジ抽出を兼ね備えた新しいエッジ抽出法をファジー推論を用いて実現する。提案する手法では、その手法を構成するファジー推論にかかわるメンバシップ関数の設定を可変させることにより、エッジ抽出および雑音除去の度合いを連続的に可変させることが可能となる。ここでは、種々の適用例を通じ、そのメンバシップ関数の設定に対する具体的な指針を与えるとともに、本手法の有効性を明らかにする。

キーワード ファジー推論, エッジ抽出, 非線形フィルタ, メンバシップ関数

1. ま え が き

画像エッジの抽出法はこう配を利用した方法を基本に種々考案されている[1]~[3]。しかしながら雑音で劣化した画像に対しそれらの方法を適用すれば雑音の影響が出力画像に現れ、特にインパルス性雑音の場合、出力画像には斑点状のエッジが抽出されることになる。そこで、従来、雑音画像に対するエッジ抽出に対しては雑音の影響をおさえるためにエッジ抽出の前に雑音を取り除く処理を行っている[1],[3]。この方法は雑音除去処理、エッジ抽出処理の順で行われるため、画像全体に対する処理が2回必要となる。雑音除去を強く行うことは必要な画像エッジまで劣化させることにもなることから、本当は画像の条件から雑音除去とエッジ抽出は関連づけて行うことが望ましい。よってエッジ抽出の処理自体に雑音除去の処理を含ませることができれば雑音除去単独の処理が不要となり、全体としての処理が簡略化され、かつエッジ抽出を雑音除去と関連づけて行うことが可能となる。

筆者らはこれまでファジー推論を介してエッジ保

存型の非線形フィルタを構成する方法を提案してきた[7],[8]。これまではエッジ保存型平滑化フィルタの実現を主目的にファジー推論を用いてきたが、その他の広い範囲における画像処理に対してもファジー推論を用いることにより、これまで以上にその性能を向上させることが可能であると考えている。本論文はその一つの試みとしてインパルス性雑音が重畳された画像から雑音除去とエッジ抽出を兼ね備えた処理をファジー推論を介して構成する手法を提案する。

本論文の着眼点は、処理点近傍領域におけるエッジ成分がその領域内のデータを信号値順に並べ替えたとき、最大値付近のデータと最小値付近のデータの差で与えられる点と、インパルス性雑音が処理点近傍の領域に存在する場合にその雑音が大きさ順に並べ替えたデータの最大値付近若しくは最小値付近に集中して存在する点にある。よってインパルス性雑音の影響を受けていない近傍領域内の大きな値と小さな値の差分処理により、インパルス性雑音除去とエッジ抽出を同時に実現できることになる。しかしながら、例えば輝度の高い信号値であっても白のインパルス性雑音とは限らず、しきい値処理等でインパルス性雑音の特定は困難であり、その特定を行う処理にはあいまいさが要求される。そこで提案するエッジ抽出法では処理点近傍におけるデータを信号値の大きさ順に並べ替え、最大

^Y 日本IBM(株) 製造技術開発, 神奈川県
IBM Japan,Ltd., Kanagawa, 252 Japan

^{YY} 武蔵工業大学工学部電気電子工学科, 東京都
Faculty of Engineering, Musashi Institute of Technology,
Tokyo, 158 Japan

値付近のデータと最小値付近のデータとの複数個の組合せの差分処理によって複数個のエッジ情報を算出し、ファジー推論を用いてインパルス性雑音の影響が少ないエッジ情報ほど重視してエッジ信号と考えることによりインパルス性雑音除去を含んだエッジ抽出が可能となる。本手法に従えばその手法を構成するファジー集合のメンバシップ関数の設定を変えることで、エッジ強度と雑音除去性の強さを関連づけて変化させることが可能となる。

2. エッジ抽出情報とインパルス性雑音情報

本論文ではインパルス性雑音の影響を受けた画像データ $P(i; j)$

$$P(i; j) = \begin{cases} \geq h & \text{prob: } p_1 \\ > 0 & \text{prob: } p_2 \end{cases} \quad (1)$$

から原画像 $P_0(i; j)$ のエッジ抽出をインパルス性雑音の影響なく行う方法の一提案を行う。ここでは信号値 h の白のインパルス性雑音が確率 p_1 で、信号値 0 の黒のインパルス性雑音が確率 p_2 でそれぞれ生起するものと仮定している。

筆者らは既に文献 [5] においてインパルス性雑音の影響を受けた画像のエッジ検出を目的に、微分処理を用いたエッジ抽出処理とインパルス性雑音除去を目的とするファジー推論に基づく処理を並行して行い、それらの結果を統合する手法を提案している。この方法はメジアンフィルタと微分処理を併用する方法よりは雑音画像のエッジ抽出を高精度に行うことを可能としたが、エッジ抽出と雑音除去をファジールール上で統合しておらず、その結果エッジ抽出と雑音除去のそれぞれの度合を互いに関係づけて調整することが不可能であった。そこで本論文では処理点近傍のデータからエッジの有無、インパルス性雑音の有無の情報を取得し、それらの情報を用いてエッジ抽出処理とインパルス性雑音除去といった全く異なる処理をファジー推論の上で統合する。ここではまず、ファジー推論の前件部変数となるエッジ抽出情報とインパルス性雑音情報について述べる。

2.1 エッジ抽出情報

画像データ $P(i; j)$ において処理点 $(i; j)$ を中心とする $k = N \times N$ の近傍領域のデータを小さいデータから順に並べ替えたとき、 L 番目に小さなデータを $P_L(i; j)$ とする ($P_1(i; j) \leq P_2(i; j) \leq \dots \leq P_k(i; j)$)。この

表1 近傍領域におけるインパルス性雑音の数
Table 1 The number of impulsive noise in the local region.

%	近傍領域内に雑音が存在する個数				
	$l=0$	$l=1$	$l=2$	$l=3$	$l=4$
1%	95.59% (62645)	4.32% (2833)	0.09% (57)	0.00% (1)	0.00% (0)
2%	91.35% (59868)	8.30% (5443)	0.34% (220)	0.01% (5)	0.00% (0)
3%	87.28% (57201)	11.96% (7840)	0.73% (478)	0.03% (17)	0.00% (0)
4%	83.37% (54640)	15.31% (10036)	1.25% (819)	0.06% (39)	0.00% (1)
5%	79.62% (52182)	18.37% (12042)	1.88% (1235)	0.11% (73)	0.01% (3)

とき $(i; j)$ におけるエッジ情報 $E(i; j)$ を

$$E(i; j) = P_{(k \wedge m)}(i; j) \wedge P_{(1+n)}(i; j) \quad (2)$$

但し $k + 1 > n + m$

と定義する。 m, n との設定によりインパルス性雑音の影響を受けていない画素によりエッジ情報が抽出される。

m, n の値は画像に重畳しているインパルス性雑音の性質（白および黒のインパルス性雑音のそれぞれの生起確率）が明らかであるか、または推定することにより設定出来る。インパルス性雑音の影響が小さい画像、例えば $N \times N$ の近傍領域内にたかだか白、黒のインパルスが各々 1 個しか存在しない場合等は、 $m = n = 1$ と設定することで雑音の影響を受けないエッジ画像が抽出できる。

m, n の値の決定に対する指針を与えるために表1にインパルス性雑音の生起確率 $p (= p_1 + p_2)$ と 3×3 の近傍領域内に存在するインパルス雑音の個数の関係について整理している。これは画像に白、黒のインパルスが同確率 ($p_1 = p_2$) で生起し、かつその和が p であるとき、 3×3 近傍領域に白または黒のインパルス雑音が l 個存在する確率を $B(k; l; p) = {}_k C_l (1 - p)^{k-l} p^l$ により求めている。

表1の括弧内の値は、 256×256 の画素において白又は黒のインパルスが l 個存在する近傍の数を示している。例えば 3% の生起確率であっても式 (2) で $m = n = 1$ とすれば、白または黒のインパルス性雑音が 2 個以上存在する場合にはそのインパルス性雑音をエッジとして抽出してしまうため、確率的に考えれば表1より 256×256 サイズの画像において 495 画素 (2 個存在

する場合が478, 3個存在する場合が17)はエッジ情報としてインパルス性雑音を抽出してしまうことになる。今、インパルス性雑音から生じるエッジ情報を画像全体の画素数の1%以下におさえるためには、生起確率が1~3%のときは $m=n=1$, 4%, 5%のとき、 $m=n=2$ と設定すればよい。しかしながら m, n の値を大きくすることは、式(2)におけるエッジ情報の強度を落としてしまうことも明らかである。筆者らのこれまでの実験結果から経験的には近傍領域を 3×3 に設定するとき $m=n=2$ までがエッジを忠実に抽出するための限界であり、 $m=n=3$ とした場合は細部等のエッジの抽出が困難になる。

2.2 インパルス性雑音情報

処理点 $(i; j)$ を中心とする $k = N \times N$ の近傍領域のデータの中に大きな値(白)のインパルス性雑音が存在するか否かは

$$I_{\max}(i; j) = P_{(k)}(i; j) \dot{\Delta} P_{(k \dot{\Delta} m)}(i; j) \quad (3)$$

により検知でき、小さな値(黒)のインパルス性雑音が存在するか否かは

$$I_{\min}(i; j) = P_{(1+n)}(i; j) \dot{\Delta} P_{(1)}(i; j) \quad (4)$$

によって検知できると考えられる。例えば大きな値(白)のインパルス性雑音は画像データを並べ替えたとき、一番大きなデータ $P_{(k)}(i; j)$ から複数個並ぶことになる。大きな値(白)のインパルス性雑音が $N \times N$ の近傍領域内に存在する場合、 $P_{(k)}(i; j)$ には大きな値(白)のインパルス性雑音の影響を受けたデータが存在し、 m を適当に選べば点 $P_{(k \dot{\Delta} m)}(i; j)$ にはインパルス性雑音の影響を受けていないデータが存在する。よって近傍領域内に大きな値(白)のインパルス性雑音が存在する場合、式(3)の値は大きな値を示す。同様な考え方から小さな値(黒)のインパルス性雑音が存在する場合、式(4)の値は大きな値を示す。

$N \times N$ の近傍領域内にエッジが存在する場合および $N \times N$ の近傍領域が平坦である場合は $P_{(k)}(i; j)$ と $P_{(k \dot{\Delta} m)}(i; j)$ との差は小さいと考えられ、式(3)(4)は小さな値を示す。

以上より式(3)(4)により $N \times N$ の近傍領域におけるインパルス性雑音の検知が可能となる。

3. ファジー推論によるエッジ抽出と雑音除去の統合

3.1 インパルス性雑音の影響を受けた画像のエッジ抽出情報

インパルス性雑音を考慮した上でエッジ情報を得るためには $N \times N$ 近傍内において雑音の影響を受けていない大きな値と小さい値を見つけ出し、差分を計算する必要がある。これは式(2)における m, n の決定を式(3)(4)のインパルス情報を用いて行うことを意味する。本論文ではまず m, n の組を四つ設定し、以下の四つのエッジ情報を設定する。

$$\begin{aligned} E_1(i; j) &= P_{(k)}(i; j) \dot{\Delta} P_{(1)}(i; j) \\ E_2(i; j) &= P_{(k)}(i; j) \dot{\Delta} P_{(1+n)}(i; j) \\ E_3(i; j) &= P_{(k \dot{\Delta} m)}(i; j) \dot{\Delta} P_{(1)}(i; j) \\ E_4(i; j) &= P_{(k \dot{\Delta} m)}(i; j) \dot{\Delta} P_{(1+n)}(i; j) \end{aligned} \quad (5)$$

$E_1(i; j)$ は $N \times N$ の近傍の最大値と最小値の差によってエッジ情報を算出していることから、近傍領域にインパルス性雑音が存在しない場合に用いたいエッジ情報である。 $E_2(i; j)$ は最大値と最小値付近の $n+1$ 番目に小さい値によりエッジ情報を得ようとするものである。 $E_2(i; j)$ では最小値でなく $n+1$ 番目に小さい値をエッジ抽出に用いることにより、 n 番目に小さい値のデータまでに黒のインパルス性雑音が占めていたとしても、エッジ抽出にインパルス性雑音の影響を受けないことになる。つまり黒のインパルス性雑音のみが存在する場合に用いたいエッジ情報である。同様な考えから $E_3(i; j)$ は白のインパルス性雑音のみが存在する場合に、 $E_4(i; j)$ は白と黒のインパルス性雑音がともに存在する場合にそれぞれ用いたいエッジ情報となる。しかしながら $E_1(i; j)$ から $E_4(i; j)$ までを画像の局所情報からの確に切り換えることは困難である。ここでは $E_1(i; j)$ から $E_4(i; j)$ のうちインパルス性雑音の影響の少ないエッジ情報ほど重視して画像のエッジとして抽出するため、その重みを処理点ごとにファジー推論を用いて決定する。よってエッジ信号は $E_1(i; j)$ から $E_4(i; j)$ の重み和によって得られるが、そのエッジ信号は m, n を処理点ごとに整数の範囲を越えて(実数)可変させ、差分処理によって得られているともみなされる。

3.2 ファジー推論による雑音画像からのエッジ抽出

$N \times N$ の近傍領域においてインパルス性雑音の影響の少ない情報を式(5)で設定した四つのエッジ情報から選択するために以下のファジールールを組み立てる.

$$\begin{aligned} \text{if } fE_1(i;j) \text{ is Lg and } fI_{\max}(i;j) \text{ is Sg and } \\ fI_{\min}(i;j) \text{ is Sg then } fY_r(i;j) = E_1(i;j)g \\ \text{if } fE_2(i;j) \text{ is Lg and } fI_{\max}(i;j) \text{ is Sg and } \\ fI_{\min}(i;j) \text{ is Lg then } fY_r(i;j) = E_2(i;j)g \\ \text{if } fE_3(i;j) \text{ is Lg and } fI_{\max}(i;j) \text{ is Lg and } \\ fI_{\min}(i;j) \text{ is Sg then } fY_r(i;j) = E_3(i;j)g \\ \text{if } fE_4(i;j) \text{ is Lg and } fI_{\max}(i;j) \text{ is Lg and } \\ fI_{\min}(i;j) \text{ is Lg then } fY_r(i;j) = E_4(i;j)g \\ \text{else } fY_r(i;j) = 0g \quad (6) \end{aligned}$$

ここで" S "はSmallを" L "はLargeを示すファジー集合とする. このとき各 IF THEN ルールの適合度は代数積を用いて計算する.

$$\begin{aligned} \tilde{r}_1(i;j) &= \tilde{r}_E(E_1(i;j)) \tilde{A}_{\tilde{r}_S}(I_{\max}(i;j)) \tilde{A}_{\tilde{r}_S}(I_{\min}(i;j)) \\ \tilde{r}_2(i;j) &= \tilde{r}_E(E_2(i;j)) \tilde{A}_{\tilde{r}_S}(I_{\max}(i;j)) \tilde{A}_{\tilde{r}_L}(I_{\min}(i;j)) \\ \tilde{r}_3(i;j) &= \tilde{r}_E(E_3(i;j)) \tilde{A}_{\tilde{r}_L}(I_{\max}(i;j)) \tilde{A}_{\tilde{r}_S}(I_{\min}(i;j)) \\ \tilde{r}_4(i;j) &= \tilde{r}_E(E_4(i;j)) \tilde{A}_{\tilde{r}_L}(I_{\max}(i;j)) \tilde{A}_{\tilde{r}_L}(I_{\min}(i;j)) \quad (7) \end{aligned}$$

で与えられ, 更に ELSE ルールの適合度は

$$\tilde{r}_0(i;j) = (1 \tilde{A}_{\tilde{r}_1}(i;j)) \tilde{A}_{(1 \tilde{A}_{\tilde{r}_2}(i;j))} \tilde{A}_{(1 \tilde{A}_{\tilde{r}_3}(i;j))} \tilde{A}_{(1 \tilde{A}_{\tilde{r}_4}(i;j))} \quad (8)$$

となる[10]. ここで $\tilde{r}_E(E_k(i;j))$ は $E_k(i;j)$ のL集合へのメンバシップ関数値を示し, $\tilde{r}_S(I_l(i;j))$ および $\tilde{r}_L(I_l(i;j))$ はそれぞれ $I_l(i;j)$ のS集合, L集合へのメンバシップ関数値を示すものとする. このとき, 入力画像からエッジ抽出を行った結果 $y(i;j)$ は

$$y(i;j) = \frac{\prod_{i=0}^X \tilde{r}_i(i;j) \cdot E_i(i;j)}{\prod_{i=0}^X \tilde{r}_i(i;j)} \quad (9)$$

によって得られる.

式(6)の四つの IF THEN ルールは画像の近傍領域にエッジが存在したとき, $E_1(i;j)$ から $E_4(i;j)$ のエッジ情報のうちインパルス性雑音の影響の少ないものを選択するためのルールであり, いずれのルールにも適合しない場合, 近傍領域はエッジ部ではないと判断され, ELSE ルールが作用する.

3.3 エッジ抽出とファジー集合

ファジー推論に用いる三つの観測量, インパルス性雑音情報(式(3),(4)), エッジ抽出情報(式(5))に対するファジー集合を図1, 2のように定義する.

ここで, $I_{\max}(i;j)$, $I_{\min}(i;j)$ に対するファジー集合としてS集合とL集合の簡単な2つのファジー集合を考える. S集合は近傍領域内に雑音がないと判断される度合を, L集合は雑音が存在すると判断される度合を決めるファジー集合である. これらのファジー集合は I_a , I_b の二つのパラメータによって決定される(図1). この決定に関しては4.1において細かに議論する.

エッジ情報 $E_i(i;j)$ に対してはファジー集合としてL集合のみを考えればよい. エッジ抽出画像の性質は図2で示すエッジ情報に対するメンバシップ関数を変化させることで変化する. 例えば $\tilde{a}=0$, \tilde{a} を $E_i(i;j)$ の最大値に設定すればエッジ情報を強度も保存したまま得ることが出来る. それに対して $\tilde{a}=\hat{a}$ とおけば, エッジ画像に対してしきい値処理を施して得られる2値的画像を得ることができる. しきい値は当然 $\tilde{a}(=\hat{a})$ の設定に依存することになる. 以下の適用例では8ビット画像処理を行う関係上 $\tilde{a}=0$, $\hat{a}=255$ と設定することとする.

4. 適用例

4.1 画像信号を用いたメンバシップ関数のチューニング

本論文で提案するエッジ検出法ではインパルス情報に対するファジー集合の設定によりその性質が変化する. ここではインパルス性雑音の影響を抑えつつエッジ検出を的確に行うために白黒合わせて3%のインパルス性雑音(白黒共に半数)を付加した画像\レナ"(256

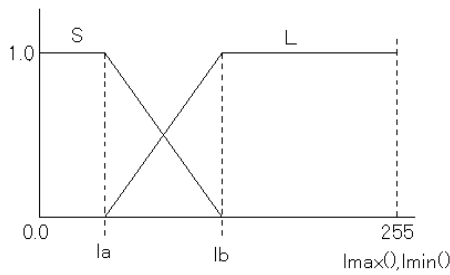


図1 雑音情報に対するファジー集合
Fig. 1 The fuzzy sets for noise information.

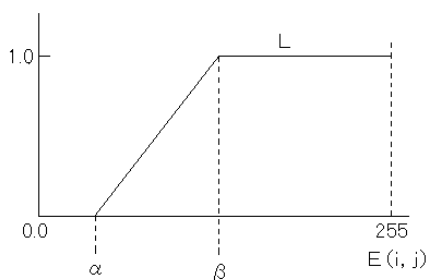


図2 エッジ情報に対するファジー集合
Fig. 2 The fuzzy set for edge information.



GIRL



LENA

図3 原画像 + インパルス性加法雑音
Fig. 3 Original image + impulsive noise.
(3% impulsive noise).

× 240 pixel , 0 ~ 255 レベル) および "ガール" (256 ×



(a)



(b)



(c)

図4 ("Ne" と "Es") と視覚評価との関係 (ポジネガ反転画像)

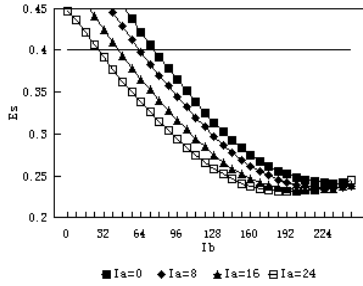
Fig. 4 Relationship ("Ne", "Es") and Processed images. (negative image)
(a) Desired edge image
(b) Edge image with (Ne, Es) = (3.25, 0.24)
(c) Edge image with (Ne, Es) = (1.57, 0.43)

表2 提案法と (5 点メジアンフィルタ + エッジ抽出) 法との比較 "レナ"

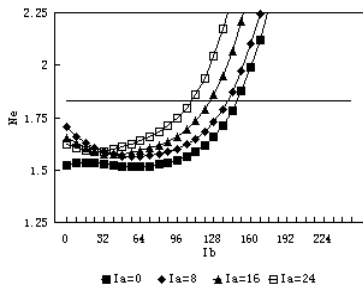
Table 2 Comparison between the proposed method and the method of (5 point median altering + Edge detection) "Lena".

Noise %	Proposed method		Median + Edge	
	Es	Ne	Es	Ne
1%	0.317	1.594	0.334	1.875
2%	0.316	1.647	0.333	1.911
3%	0.320	1.647	0.335	1.913
4%	0.313	1.719	0.335	1.912
5%	0.307	1.855	0.330	2.140

256 pixel , 0 ~ 255 レベル) (図3) を用いて , ファジー集合を定義する二つのパラメータ I_a , I_b の適当な値の探索を実験的に行う . ここでは $I_{\min}(i; j)$, $I_{\max}(i; j)$ に対して I_a , I_b は同じ値とする . また 5 % 程度までの

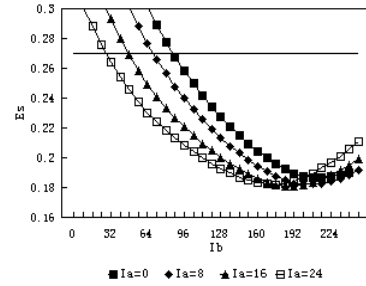


(a)

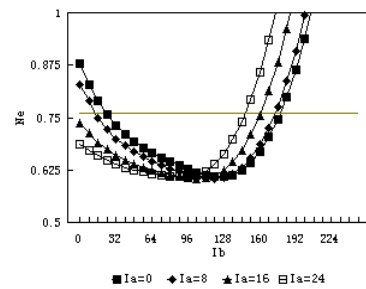


(b)

図5 I_a, I_b の変化結果 \ "レナ"
 Fig. 5 Results for various I_a, I_b \ "Lena".
 (a) Index of edge intensity
 (b) Index of noise remain



(a)



(b)

図6 I_a, I_b の変化結果 \ "ガール"
 Fig. 6 Results for various I_a, I_b \ "Girl".
 (a) Index of edge intensity
 (b) Index of noise remain

表3 提案法と(5点メジアンフィルタ+エッジ抽出)法との比較 \ "ガール"

Table 3 Comparison between the proposed method and the method of (5 point median altering + Edge detection) \ "Girl".

Noise %	Proposed method		Median + Edge	
	Es	Ne	Es	Ne
1%	0.222	0.609	0.242	0.730
2%	0.222	0.609	0.241	0.726
3%	0.226	0.606	0.243	0.727
4%	0.224	0.659	0.244	0.817
5%	0.223	0.864	0.247	0.839

インパルス性雑音の影響を考慮するために式(5)における m, n をそれぞれ2とした。

このときの評価の指標として雑音誤差 N_e およびエッジ強度誤差 E_s を用いる。 N_e, E_s を

$$N_e = \frac{1}{KAM} \sum_{(i,j) \in A} \frac{\sum_{(i,j) \in A} f_s(i;j) \hat{A} y(i;j)g^2}{s(i;j)^2} \quad (10)$$

$$E_s = \frac{1}{M} \sum_{(i,j) \in B} \frac{\sum_{(i,j) \in B} f_s(i;j) \hat{A} y(i;j)g^2}{s(i;j)^2} \quad (11)$$

と与え、このとき A は $s(i;j) \leq th$ を満足する $(i;j)$, B は $s(i;j) > th$ を満足する $(i;j)$ とする。ここで $s(i;j)$ は理想エッジ画像を示し、本論文では雑音の影響のない画像に対する微分を用いたエッジ画像とする。つまり、

$$s(i;j) = \frac{P}{\hat{A}s_i(i;j)^2 + \hat{A}s_j(i;j)^2} \quad (12)$$

$$\hat{A}s_i(i;j) = P(i+1;j) \hat{A}P(i;j)$$

$$\hat{A}s_j(i;j) = P(i;j+1) \hat{A}P(i;j)$$

とする。また、 $y(i;j)$ は雑音画像に対しエッジ検出を行った画像であり M はエッジ画像におけるエッジ部の画素数を、 K は画素全体の画素数(レナであれば 256×256 画素)をそれぞれ示す。しきい値 th は理想エッジ画像 $s(i;j)$ をヒストグラムを介して、例えば文献[11]で示されている方法に従って2値化(背景部と

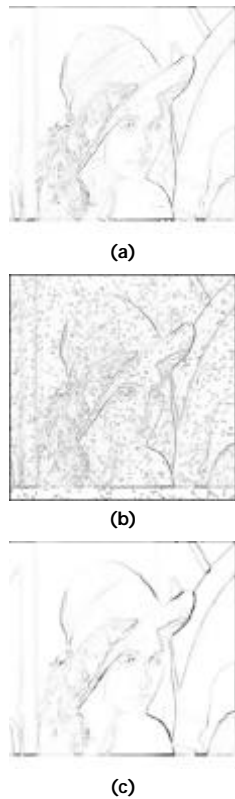


図7 画像の処理例 (ポジネガ反転画像)
 Fig. 7 Processed image.(negative image)
 (3% impulsive noise)
 (a)Proposed method
 (b)Sobel Operator
 (c)Median altering + Edge detection

エッジ部の分類)を行う際に導出されるしきい値である(例えば"レナ"の場合は35)。よって、エッジ画像においてしきい値 th より大きな値の部分がエッジ部を、しきい値 th より小さい値の部分が平坦部を示し、つまり E_s , N_e はエッジ画像におけるエッジ部, 平坦部それぞれの正規化平均2乗誤差を示している。そして、エッジ強度(勾配の大きさの度合い)まで含めた上でエッジ抽出が的確に行われていれば E_s の値は小さく、雑音除去が的確に行われていれば N_e の値は小さくなる。このことを視覚的に確認するために、理想エッジ画像と提案法において、ファジー集合を適当に設定して得た $(N_e; E_s) = (3; 25; 0; 24)$, $(N_e; E_s) = (1; 57; 0; 43)$ なる2つの画像との比較を行う。 E_s が小さい画像では、エッジ強度まで含めた上で良好なエッジ抽出が得られている反面、 E_s が大きな値となるとエッジは抽出

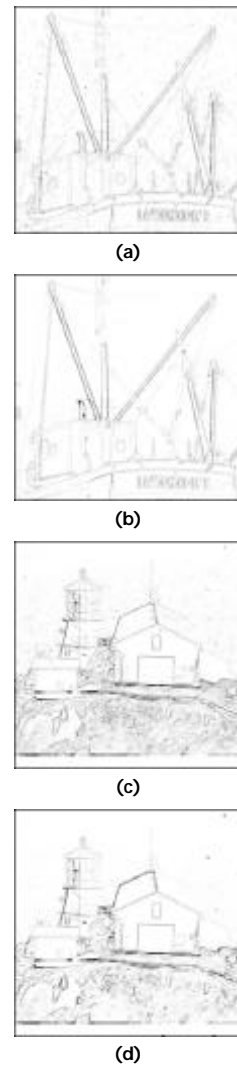


図8 画像の処理例 (ポジネガ反転画像)
 Fig. 8 Processed image.(negative image)
 (3% impulsive noise)
 (a)Proposed method (BOAT) $E_s = 0:217$, $N_e = 1:030$
 (b)Median altering + Edge detection (BOAT) $E_s = 0:258$, $N_e = 1:116$
 (c)Proposed method (LIGHTHOUSE) $E_s = 0:260$, $N_e = 1:274$
 (d)Median altering + Edge detection (LIGHTHOUSE) $E_s = 0:323$, $N_e = 1:587$

されているものの、その強度が理想エッジ画像より低く(勾配が小さめに)算出されていることがわかる。また図4(b)(c)の比較から、 N_e を用いて雑音除去性を評価できることは一目瞭然である。

図5は"ソベル"を用いて I_a , I_b の変化による N_e , E_s の変化結果を調べた図である。図5より雑音誤差の低い範囲とエッジ強度誤差の低い範囲は全範囲に対して一致していない。 I_a を固定したときエッジ保存をよくするためには I_b を大きめに、逆に雑音除去性をよくするためには I_b を小さめに設定することが適当である。つまり、エッジ強度を保つことと雑音を除去することは相反する要求ではあるが、ファジー推論を用いる提案する方法では雑音除去とエッジ強度両方について良好な結果を示す I_a , I_b の範囲が存在する。例えば"ソベル"において N_e に 1:913, E_s に 0:335 以下の性能を要求するとき $(I_a; I_b) = (0; 120 \sim 152)$, $(8; 104 \sim 144)$, $(16; 88 \sim 128)$ の範囲でその条件を満足する。このときの N_e , E_s に要求する数値は4.2で示すメジアンフィルタ処理後にエッジ抽出を行う方法によって得られたエッジ画像における N_e , E_s である。"ソール"についても同様に考えれば N_e , E_s に対してそれぞれ 0:727, 0:243 以下の性能を要求することになり、 $(I_a; I_b) = (0; 112 \sim 168)$, $(8; 96 \sim 168)$, $(16; 72 \sim 152)$ の範囲でその条件を満足する。このことは I_a および I_b の許容範囲が広いことを示しており、ファジー集合のチューニングの容易さとファジー推論のもつロバスト性を明らかにしている。更に、"ソベル", "ソール" とともに適切な I_a , I_b の範囲が $(I_a; I_b) = (0; 120 \sim 152)$, $(8; 104 \sim 144)$, $(16; 88 \sim 128)$ と与えられ、その範囲が広いことも、本手法の汎用的能力の高さを示すものである。

4.2 画像信号を用いた適用例

提案する手法の雑音画像に対するエッジ検出結果を評価する。処理対象画像として"ソベル"および"ソール"に信号値 0 (黒) と 255 (白) のインパルス性雑音が合わせて 1 ~ 5% の確率で付加した画像を用いた。また比較対象として優れたインパルス性雑音除去能力とエッジ保存性をもつ十字窓 5 点メジアンフィルタ [12] を用いて雑音除去を行い、その後式 (2) において $m = n = 0$ と設定した近傍領域の最大値と最小値を用いてエッジ抽出処理を行う方法を用いる。ここで提案手法のメンバシップ関数を 4.1 の結果から $I_a = 8$, $I_b = 112$ と設定する。表 2, 3 に提案手法とメジアンフィルタ後のエッジ抽出の処理結果を示す。表 2, 3 から提案手法"ソール"に 5% のインパルス性雑音が重畳された画像処理結果の雑音誤差 N_e を除いて他の全画像に対しエッジ抽出強度および雑音除去において比

較対象手法より優れた結果を得ている。 $m = n = 1$ とした提案手法で 5% のインパルス性雑音が重畳された画像のエッジ抽出を行う場合、表 1 より 256×256 サイズの画像において確率的に 7.6 画素はエッジ情報としてインパルス性雑音を抽出することになる。これは画素数全体の 0.1% 強であり視覚的には許容範囲と考えられるが、各画素での誤差量が大きい数値的な評価 (N_e) には影響を与えていると考えられる。

図 7, 8 に視覚評価のために 3% インパルス性雑音が重畳された入力画像に対する処理結果を示す。図 7 は"ソベル"を用いて処理を行った結果である。"ソベル"オペレータを用いてエッジ抽出を行った画像 (図 7(b)) はインパルス性雑音の影響がエッジ抽出画像に出力されることがわかる。また、メジアンフィルタ処理後のエッジ抽出画像 (図 7(c)) と提案手法 (図 7(c)) との比較においては提案手法がメジアンフィルタと同程度の雑音除去を行いつつ、細部信号部 (帽子の羽) に至るまでのエッジ抽出が可能となっていることが観察される。

図 8 にはチューニングに用いた人物画 ("ソベル" と "ソール") とは異なる性質の風景画 "ポート" (256×256 pixel, 0 ~ 255 レベル), "ライトハウス" (256×240 pixel, 0 ~ 255 レベル) に 3% のインパルス性雑音が重畳した画像のエッジ抽出結果をメジアンフィルタ処理後にエッジ抽出する方法と比較する。"ポート", "ライトハウス" のエッジ抽出結果とも比較する方法 (メジアンフィルタ + エッジ抽出) と雑音除去は同程度であり、細部信号部におけるエッジ抽出においては提案手法が優れていることが観察され、数値評価 (E_s , N_e) からも同様な傾向が読み取れる。本来本手法は処理点近傍の最大値と最小値の差分によりエッジを抽出する方法を応用したものであり、一般性の高い処理であると考えていたが、チューニング画像と異なる性質の画像処理結果から、そのことが確認された。

5. むすび

本論文ではエッジ情報と雑音情報を前件部変数とするファジー推論により、インパルス性雑音の影響のある画像からのエッジ抽出に関する一手法を提案した。本手法はエッジ抽出画像における雑音の影響の抑制とエッジ強度の変数を各局所情報に対するファジー集合の設定を可変することにより実現し、更にファジー集合設定に対する指針を与えた。そして本手法の有効性は種々の適用例から明らかにされた。

なお本手法の適用に際し、インパルス性雑音の生起確率に関する情報を必要とすること、またエッジ抽出を高精度に行うためには近傍領域を 3×3 に設定するとき、エッジ情報において $m = n = 2$ が限界であり、よって、生起確率で考えればたかだか 10% 程度が本手法の入力信号に対する限界であることを指摘しておく。

文 献

- [1] A.Rosenfeld 著, 長尾 真 訳, \デジタル画像処理, "近代科学社, pp.283-328, 1978.
- [2] 宮沢智司, 江島俊朗, \ソートマッチングを用いたエッジ抽出法, " 信学論 (A), vol.J71-A, no.12, pp.2226-2228, Dec.1988.
- [3] 森 俊二, 板倉柊子, \画像認識の基礎 [II], " オーム社, pp.95-134,
- [4] 原島 博, 荒川 薫, 藤井竜也, \非線形デジタルフィルタと信号処理, " 信学論 (A), vol.J71-A, no.2, pp.143-154, Feb.1988.
- [5] 木村誠聡, 田口 亮, 村田 裕, \ファジーフィルタによる雑音の影響下にある画像のエッジ検出法, " 第 10 回デジタル信号処理シンポジウム講演論文集, pp.407-412, Nov.1995.
- [6] I.Pitas and A.N Venetsanopoulos, "Nonlinear Digital Filters, " Kluwer Academic Publishers, 1990.
- [7] 高島広憲, 田口 亮, 村田 裕, \局所統計量を考慮した最適チューニング可能なファジーフィルタの提案, " 信学論 (A), vol.J78-A, no.2, pp.141-150, Feb.1995.
- [8] 目黒光彦, 田口 亮, 村田 裕, \ファジールールに基づく適応型順序フィルタによる画像処理, " 信学論 (A), vol.J79-A, no.4, pp.878-888, Apr.1996.
- [9] B.J.Justusson, \Median Filtering :Statistical Properties, " Two-Dimensional Digital Signal Processing II, T.s.Huaug, Ed. New York Springer-Verlag, 1981.
- [10] 木村誠聡, 田口 亮, 浜田悟史, 村田 裕, \E L S E ルールを加えたファジーフィルタ, " 信学論 (A), vol.J79-A, no.9, pp.1649-1651, Sep.1996.
- [11] 大津展之, \最小値フィルタを利用した 2 値化のしきい値選択法, " 信学論 (D), vol.J63-D, no.4, pp.349-356, Apr.1980.
- [12] E.R.Dougherty, J.Astola, \An introduction to non-linear image processing, " SPIE Press, Vol.TT16, 1994.

(平成 8 年 7 月 8 日受付, 12 月 24 日再受付)

木村 誠聡 (正員)

昭 60 日大・工・電気卒。同年日本 IBM 入社, 以来固定および光ディスクの回路試験技術, ソフトウェア技術に従事。現在, 製造技術における画像処理技術等の開発, 非

線形デジタル信号処理および画像処理の研究に従事。応用物理学协会会员。

e-mail:tkimura@jp.ibm.com

田口 亮 (正員)

昭 59 慶大・工・電気卒。平 1 同大大学院博士課程了。同年武蔵工大・工・電気電子助手。平 4 同専任講師。平 8 同助教授。平 5 年 9 月 ~ 平 6 年 8 月, タンベレ工科大信号処理研究所 (フィンランド) 客員研究員。工博。非線形デジタル信号処理, 画像理論の研究に従事。電気学会, 計測自動制御学会各会員。

村田 裕

昭 37 東工大・理工卒。昭 52 武蔵工大・工・電気教授。現在, 同大・工・電気電子教授。工博。放射線計測, 計測制御, デジタル回路等の研究に従事。著書に「精解デジタル工学 I・II」(共立出版), 「マイコンとインタフェイス技術」(日刊工業新聞)がある。日本原子力学会永年会員。