

雑音重畳画像からのエッジの抽出法

五十嵐 和博 辻 裕之 木村 誠聡

神奈川工科大学 情報学部 情報工学科

E-mail: {tsuji, kimura}@ic.kanagawa-it.ac.jp

あらまし 雑音が重畳された画像信号からエッジ抽出を行うとき、雑音除去処理、エッジ抽出処理の順で2回の処理を行う必要がある。しかしながら、雑音の除去は、原画像のエッジも劣化させることになるため、画像本来の正確なエッジを抽出することが困難となる。本稿では、提案法として処理点とその近傍領域の画素にインパルス性雑音が重畳しているかの確認と、局所領域内におけるガウス性雑音の影響を考慮することで、混合雑音重畳画像からの適切なエッジを抽出する方法を提案する。そして従来法との比較を行い、提案法に優位性があることを示す。

キーワード エッジ抽出, 混合雑音, ファジー推論

Edge Detection method from noisy image

Kazuhiro IGARASHI Hiroyuki TSUJI Tomoaki KIMURA

Kanagawa Institute of Technology, Faculty of Information Technology

E-mail: {tsuji, kimura}@ic.kanagawa-it.ac.jp

Abstract In case of the edge detection from the noisy image, noise reduction and edge detection are needed. However, noise reduction degrades edge information. Therefore, it is difficult to detect exact edge information. This paper proposes a new edge detection method from mixed noisy images. The proposed method confirms impulse noise from a processing pixel and neighborhood area, and gauss noise is removed in consideration of the edge condition in the local area by using Fuzzy inference. We perform comparison with conventional methods and confirmed the effectiveness of proposed method.

Keyword Edge detection, Mixed noise, Fuzzy inference

1. はじめに

物体の画像の輪郭部分であるエッジ情報は、物体の外縁を表す線であり、デジタル画像処理の中における重要な前処理の一つとして工業的によく利用される情報である。このエッジは信号が急激に変化する部分などであり、高い周波数成分によって構成されている。よってエッジ情報を抽出するためには画像に対し高域通過フィルタを施すことになる[1,2]。

工業的に利用される画像は、一般的に撮像素子や伝送経路の影響により画像に対してインパルス性雑音やガウス性雑音が重畳することから、雑音重畳画像に対してエッジ情報を抽出する処理を行った場合、エッジのみならず雑音成分も一緒に抽出してしまうことになる。特に画像に対して無相関な雑音でかつ輝度値も大きいインパルス性雑音が重畳した画像の場合、微分によるエッジ抽出処理では雑音とエッジ信号を分離できない為、雑音の影響がそのままエッジ情報に大きく残ることになり、良好な結果とはならない。従来、雑音

が重畳する画像からエッジを抽出する場合、雑音の影響を抑えるために、メジアンフィルタや平滑化フィルタなどの画像の雑音除去処理を行った後にエッジ抽出を施す必要があった[1~4]。しかしながらエッジ抽出の前に雑音除去処理を施した場合、画像のエッジの劣化、つまり高周波数成分が劣化するため、その後の抽出されたエッジ情報には必要な情報が存在するとは言い難い。筆者らは文献[4]において、インパルス性雑音が重畳した画像を対象にエッジ抽出とインパルス性雑音の除去をファジー推論によって統合し一つの処理で同時に行う方法を提案している。文献[4]の方法は、インパルス性雑音が存在するという情報とエッジ情報とをファジー推論で関連付けることで、雑音の影響の無いエッジを抽出している。しかしながら、文献[4]の方法は重畳しているインパルス性雑音の量がたかだか5%までしか有効でなく、またガウス性雑音には対応していない。そこで、インパルス性雑音とガウス性雑音の混合雑音が重畳された画像からのエッジ抽出方法

が望まれる。

本稿では、処理点とその近傍領域内のインパルス性雑音の有無を判断し、雑音と判断された画素に対しては雑音の影響を除いた画素を算出し置換える。その後水平垂直方向の2つのエッジ情報をファジー推論で関連付けることでインパルス性雑音よりも画素間の差が小さいガウス性雑音の影響を取り除くことで、適度なエッジを抽出する方法を提案する。そして本稿では種々の適用例を通し、提案法が従来法と比べて混合雑音重畳画像からのエッジ抽出において良好な結果であることを示す。

2. 混合雑音重畳画像からのエッジ抽出

本稿では、混合雑音が重畳した画像データ P を以下のように定義する。

$$P(i, j) = P_0(i, j) + N(i, j) \quad (1)$$

$$N(i, j) = \begin{cases} Pa(\text{Prob. } P_1) \\ Pb(\text{Prob. } P_2) \\ Ng(i, j) \quad (\text{Prob. } P_1) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 Pa は画像データ全体の信号値の最大値付近の信号値を、 Pb は画像データ全体の最小値付近の信号値を、 p_1 および p_2 はインパルス性雑音の発生確率とし、 $Ng(i, j)$ は平均値 0、標準偏差 σ のガウス性雑音を表し、空間座標 (i, j) には独立な次の確率密度関数に従うものとする。

$$P(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

2.1 従来の雑音重畳画像からのエッジ抽出法

従来法である文献[4]の方法は、インパルス性雑音重畳画像のみを対象にしている。そのアルゴリズムとは局所領域である処理点とその周辺領域のデータを大きい順に並べ替え、エッジは並べ替えた時の大きな値のデータと小さな値のデータとしている（図1のE1の部分）。局所領域内にインパルス性雑音が存在する場合には大きな値、又は小さな値に集中するため、その部分を除いたデータでエッジを求めることで、雑音の影響がないエッジ情報を得ることができる（図1のE2～E4の部分）。しかしながら、局所領域内のインパルス性雑音が多い場合エッジ部に対しても雑音が多く重

畳し、雑音を除いた画素データどうしの差分が小さくなるため、結果としてエッジ情報を得ることが難しくなる。また、画像にガウス性雑音が重畳している場合には雑音を平滑化する処理までは含まれていない。よって、文献[4]の方法はインパルス性雑音とガウス性雑音の混合雑音に対して良好な結果を得ることができない。また一般的には、インパルス性雑音をメジアンフィルタ等によって除去した後にエッジを抽出する方法が用いられているが、この場合でもインパルス性雑音の除去が行われるが、高周波数成分であるエッジがフィルタ処理時に失うことになり、結果として細部におけるエッジ情報は良好なものとはならない [4]。

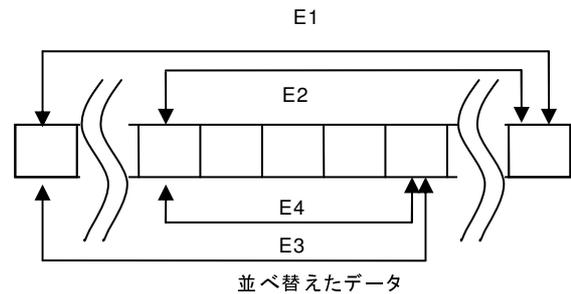


図1 文献[4]のエッジ情報

2.2 提案する雑音重畳画像からのエッジ抽出

文献[4]の方法は局所領域内の全てのデータを用いてエッジ抽出を行っている。しかしながらこの方法ではエッジの方向性を考慮していない。そこで提案する方法は文献[1]、[2]と同様に次式で示す微分処理を基本とする。

$$E(i, j) = \sqrt{(P(i, j) - P(i, j+1))^2 + (P(i, j) - P(i, j-1))^2} \quad (4)$$

ここで扱う処理点と近傍領域の点からインパルス性雑音とガウス性雑音の影響を取り除いた画像を用いることで、雑音の影響が少ないエッジが抽出可能となる。行う処理は次の2段階である。

- ① 処理点および近傍領域の画素に対するインパルス性の検知と除去
- ② ガウス性雑音の影響とエッジの方向性を考慮し、適切なエッジ情報を与える

本稿ではこの2つの方法について説明を行う。

2.3 インパルス性雑音の検知と除去

処理点および近傍領域内に雑音が重畳していた場合、インパルス性雑音の成分までもエッジ情報として検出してしまう。そこで図2のように処理点 P および差分対象とする画素 X, Y にインパルス性雑音の影響が重畳していた場合、処理点近傍の情報を用いることで、これらの画素のインパルス性雑音の影響を取り除くこ

とを考える。具体的には処理点に雑音があるか否かを判断するために以下の式を定義する[5].

$$g(i, j) = \begin{cases} P_H(i, j) - P(i, j): \text{if } P(i, j) \geq \frac{U}{2} \\ P - P_L(i, j): \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

	Y'	
X'	P	X
	Y	

図2 処理点Pとその近傍領域

ここで $P(i, j)$ は処理点の画素を, $P_H(i, j)$ および $P_L(i, j)$ は $P(i, j)$ の近傍領域における最大値信号と最小値信号を, U は画素全体の最大の階調数である. ここで $g(i, j)$ が0であれば処理点 $P(i, j)$ はインパルス性雑音が重畳している可能性が高いと判断し, $g(i, j)$ が0より大きければ, 原画素であると判断する. インパルス性雑音と判断された画素は 3×3 のメジアンフィルタを用いて画素を置き換える. また, 図2におけるXおよびYの画素に対してもXまたはYを中心とし局所領域を考え, 式(3)の処理を施す. これによってP, X, Yについてインパルス性雑音が重畳しているか否かを検出することができる.

2.4 ガウス性雑音の除去とエッジ抽出

2.2では局所領域内におけるインパルス性雑音の検知と除去を行った. ここではガウス性雑音の影響を取り除き, 同時にエッジ抽出を行う. 図2において, 処理点PとXおよびYのみを用いた微分処理ではガウス性雑音の影響は無視できない.

そこで処理点Pにエッジがあるか否かを判断し, エッジがあればX, またはYを用いてのエッジ情報を, エッジが無ければ0を与えることを考える. このとき, エッジがあるか否かの判断はクリスプ的に考えるのではなくファジー集合を用いて考える. これによって, エッジの有無のしきい値をロバスト的に考慮することが可能である[4]. 具体的には表1の様なルールテーブルを考える.

表1 ルールテーブル

		Ey	
		S	L
Ex	S	エッジなし	垂直方向にエッジあり
	L	水平方向にエッジあり	両方向にエッジあり

ここで“S”はSmallを“L”はLargeを示すファジー集合である. 水平および垂直方向のどちらにも大きな差が無い場合にはエッジが無いと判断され, エッジ情報として0が与えられる. それ以外のときには水平, 垂直または双方にエッジがあると判断され, 処理点PとXまたはYによる微分値が与えられる. このとき, 同時にエッジの方向性も考慮され適切なエッジ情報も与えられることになる. 表1を式で表すと次式となる.

$$\begin{aligned} &\text{if}\{Ex \text{ is } S\} \text{ and } \{Ey \text{ is } S\} \text{ then } \{Er = E1(i, j)\} \\ &\text{if}\{Ex \text{ is } S\} \text{ and } \{Ey \text{ is } L\} \text{ then } \{Er = E2(i, j)\} \\ &\text{if}\{Ex \text{ is } L\} \text{ and } \{Ey \text{ is } S\} \text{ then } \{Er = E3(i, j)\} \\ &\text{if}\{Ex \text{ is } L\} \text{ and } \{Ey \text{ is } L\} \text{ then } \{Er = E4(i, j)\} \end{aligned} \quad (6)$$

ここで E_x および E_y は局所領域内のエッジの有無を検知するための情報であり, $E_x = |\bar{X} - \bar{X}'|$,

$E_y = |\bar{Y} - \bar{Y}'|$ と定義する. ここで \bar{X} , \bar{Y} , \bar{X}' , \bar{Y}' は各画素における上下または左右の画素との平均値であり, 局所領域内のガウス性雑音の影響を取り除いた上でエッジの有無を検知できる. また $E_1 \sim E_4$ は

$$\begin{aligned} E_1(i, j) &= 0 \\ E_2(i, j) &= |P - Y| \\ E_3(i, j) &= |P - X| \\ E_4(i, j) &= \sqrt{(P - X)^2 + (P - Y)^2} \end{aligned} \quad (7)$$

と定義する. またそれぞれのファジー集合は図3のように定める.

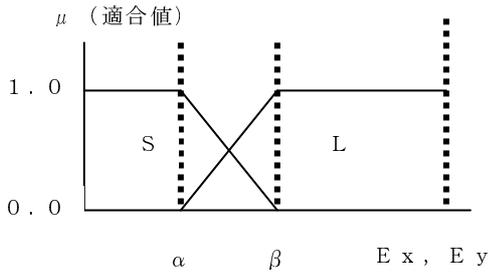


図3 エッジ情報に対するファジー集合

この各々のファジー集合は α と β の2つのパラメータによって可変させることができる。最終的に入力画像からのエッジ抽出を行った結果 $E(i,j)$ は、次式の非ファジー化手続きを経て得ることができる。

$$E(k, j) = \frac{\sum_{k=1}^4 \mu k(i, j) \cdot E_i(i, j)}{\sum_{k=1}^4 \mu k(i, j)} \quad (8)$$

以上によって混合雑音为重畳した画像から雑音の影響を極力少なくし、かつエッジの方向性をも考慮したエッジ情報が抽出可能となる。

3. 適用例

3.1 画像信号を用いたメンバシップ関数のチューニング

本稿の提案するエッジ検出法は、ファジー集合の設定により、雑音の影響とエッジ情報の状態が変化する。ここではエッジ抽出を的確に行うために画像”Lenna”に標準偏差 $\sigma=10$ のガウス性雑音と白黒合わせて10%のインパルス性雑音を付加した画像を作成し、その画像を用いてファジー集合を定義する2つのパラメータ α と β の適当な値の探索を行う。なお、ここでは E_x と E_y に対して、 α と β は同じ値とする。このパラメータの探索を行うにあたりその評価の指標として次式で示す雑音誤差 N_e とエッジ強度誤差 E_s を用いる[4]。

$$N_e = \frac{1}{K-M} \frac{\sum_{(i,j) \in A} \{s(i, j) - E(i, j)\}^2}{\sum_{(i,j) \in A} s(i, j)^2} \quad (9)$$

$$E_s = \frac{1}{M} \frac{\sum_{(i,j) \in B} \{s(i, j) - E(i, j)\}^2}{\sum_{(i,j) \in B} s(i, j)^2} \quad (10)$$

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、本論文では文献[4]と同様に画像の影響のない画像に対し式(4)を適用したエッジ画像とする。また $E(i,j)$ は雑音画像に対し、エッジ抽出を行った結果であり、 M はエッジ画像におけるエッジ部の画素数を、 K は画像全体の画素数（本稿では 256×256 ）をそれぞれ示す。 th はエッジ部と平坦部の2値化を行う際に導出されるしきい値であり、文献[4]によれば画像 Lenna の場合 35 と設定されており、本稿においてもこのパラメータを用いることとする。結果としてエッジ抽出が的確に行われていれば E_s の値は小さく、雑音誤差の値が的確に行われていれば N_e の値は小さくなる。

図4はその探索結果である。図4から N_e が小さく、かつ E_s が適当であると判断したパラメータは $\alpha=0$ 、 $\beta=70$ である。以後の適用例では提案法にこの値を用いることとする。

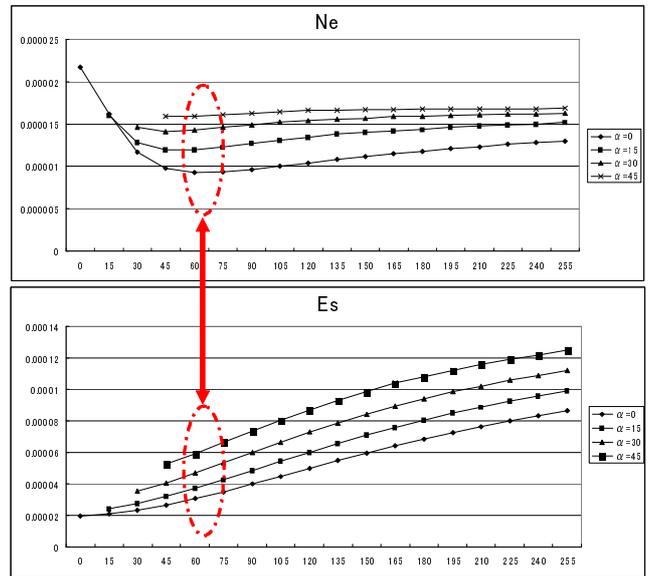


図4 α 、 β の変化結果 (Lenna)

3.2 画像信号を用いた適用例

提案法の混合雑音に対するエッジ検出法結果を評価する。図5は提案法と従来法等との視覚評価のための結果である。特に(d)の方法は2.3で説明した方法に式(4)による微分によるエッジ抽出を適用した結果であり、提案法のファジー推論によるガウス性雑音の除

去の方法との比較を行う. 図 5(b)による文献[4]の方法ではインパルス性雑音の影響もガウス性雑音の影響も取り除けていないことがわかる. 図 5(d)はインパルス性雑音が画像全体的に除去されており問題はないものの, 平坦部においてガウス性雑音の影響が残っていることがわかる. 図 5(c)は 5 点十字メジアンと微分によるエッジ抽出法であるが, 混合雑音の影響が少ないことがわかる. しかし, 図 5(a)の提案法がインパルス性

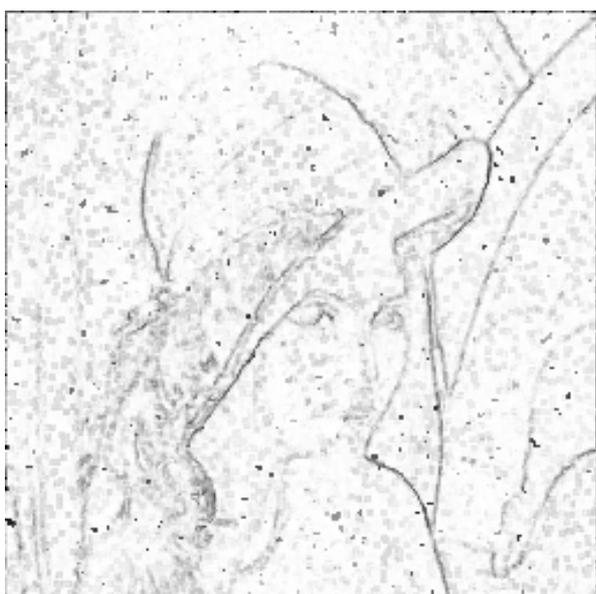
雑音の影響とガウス性雑音の影響をより良く除去できていることが理解される. このことをより客観的に示すために図 6 に提案法と 5 点十字メジアン+エッジ抽出法との比較を種々の雑音条件について行った数値評価を示す. 図 6 では 2 種類のガウス性雑音と 8 種類のインパルス性雑音について比較しており, E_s および N_e の値について何れの場合も提案法が優れた結果を示しており, 提案法の有効性が理解される.



(a) 提案法



(c) 5 点十字メジアン法+エッジ抽出



(b) 文献[4]の方法



(d) 2.3 の方法+式(4)の方法

図 5 主観評価画像 “Lenna” $\sigma = 10$ ($P1+P2$)=10%

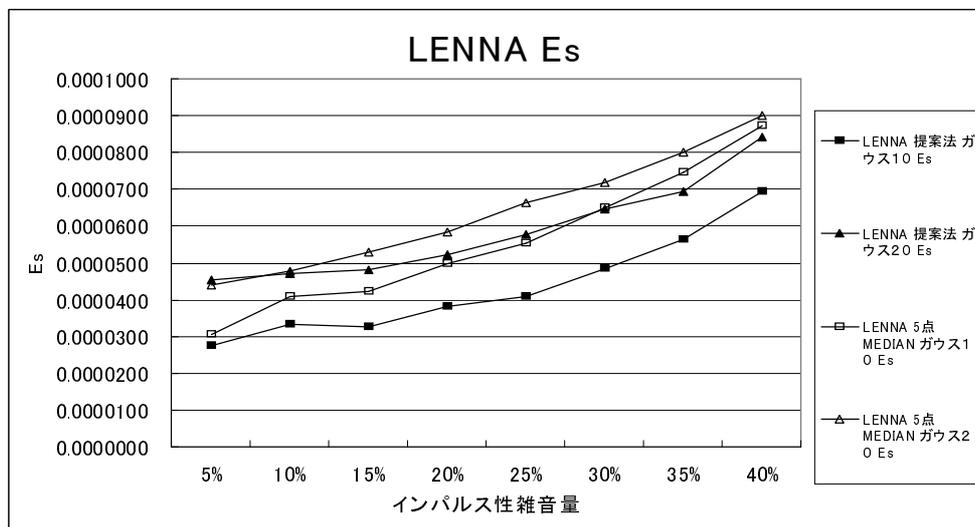
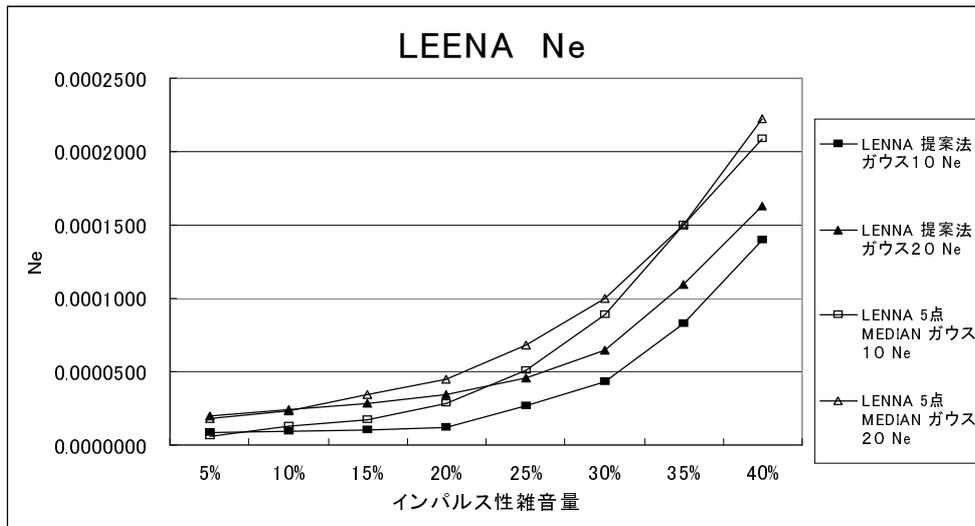


図 6 提案法と5点十字メジアン法との数値評価の比較

4. まとめ

本稿では処理点とその近傍領域のデータをメジアンフィルタと2つのエッジ情報をファジー推論によって関連付けることで、混合雑音の影響を除いたエッジを抽出する方法を提案した。提案する方法は従来法に比べ混合雑音重畳画像からのエッジ抽出に対して、数値的にも主観的に有効であることを明らかにした。なお、インパルス性雑音の除去についてファジー推論に統合することは今後の課題である。

参考文献

- [1]A.Rosenfeld, "Digital Picture Processing", Academic Press Inc, 1976
- [2]R.C.Gonzalez, R.E.Woods, "Digital Image Processing",

Addison-Wesley Publishing, Massachusetts, 1993

- [3]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”, 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol.J71-A, No.12, PP2226-2228, Dec.1988
- [4]木村誠聡, 田口 亮, 村田 裕”ファジー推論を用いた雑音画像からのエッジ抽出法” 電子情報通信学会 (A) Vol. J80-A No.9 pp.1490-1498, 1997年9月
- [5]橋本有平, 梶川嘉延, 野村康雄, “高性能インパルス検知器によるノイズ位置情報を用いたインパルス性雑音除去法”, 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol.J84-A, No.1, pp.1-12, Jan.2001