

局所的手続きによる画像の偽輪郭の除去†

西原清一^{††} 原智亨^{†††} 池田克夫^{††}

濃淡のある画像をディスプレイ装置などに表示するとき、現実には存在しないはずの擬似的な境界線があらわれることがある。これは偽輪郭といわれる現象で、明るさが緩やかに変化している領域においてしばしば観察される。この現象は、雑音のないいわゆる良質の画像においてむしろ発生しやすいという性質がある。本論文は、このような偽輪郭の発生する原因を明らかにしたのち、それらの原因をとり除く手法を提案し、人間の目にとって自然な濃淡画像を提供することを目的としている。本方法は、偽輪郭の発生している位置を局所的な画像パターンを調べて抽出し、その部分のみに集中的に雑音を付加するものであり、1) 画像本来のエッジは保存する、2) 偽輪郭を作っている両側の領域の大きさや形状に影響されない、および3) 画像の点の総数にほぼ比例した時間で処理する、などの特徴がある。偽輪郭の近傍へ雑音を分散して付加させる方法を提案し、実験により確認した。本方法は、一連の画像処理の最終結果や処理結果を人間に提示する前に施すという使い方に適していると思われる。

1. まえがき

画像ディスプレイや濃淡表示のできるハードコピー装置上に濃淡のある画像や図形を表示することは、デジタル画像処理における処理結果や中間結果を視覚的に確認するのに必要な処理である。画像データを保持するための記憶容量は、標本化および量子化の精度を上げるにしたがい、それぞれ2乗および線形に比例して増加する。最近のメモリ素子の低価格化はめざましいが、個人用の計算機の普及や、画像を伝送するときの転送データの少量化のためには、なるべく小容量で良質の画像を表現することが望ましい。画像をデジタル表示するとき、明るさや色調が緩やかに変化している画像領域において、同じ濃度をもつ領域部分が帯状に並び、等濃度コンタが明瞭な縞模様としてあらわれることがある。図1はその一例で、平面の上に置かれた卵を点の数 250×236 、濃度レベル4ビットでデジタル表示したものである。実際には存在しないはずの貝殻模様のような縞模様が認められる。これは、デジタル画像表示装置が、一般に離散的な有限個の濃度レベルのみを表示するためであるが、人間の目には、明度対比効果のために、この濃淡不連続線は実際よりも強く知覚されてしまう傾向がある。この現象は偽輪郭 (false contour¹⁾, contouring²⁾) として知

られており、これを防ぐには、量子化レベルが6ビット以上、表示装置や画像の特性によっては8ビット以上必要であるといわれる³⁾⁻⁴⁾。一方、限られた量子化レベル数のもとで偽輪郭を除去する手法も種々、提案されている⁵⁾⁻⁷⁾。それらは、何らかの方法で濃度値雑音 (dither) を加えることにより中間調を表現し、結果として見かけ上の量子化数を上げようとするものが多い。たとえば Roberts の方法⁸⁾ は、入力信号を A/D 変換する前に量子化単位以下の雑音 (noise) を付加し、PCM 信号伝送後、まったく同じ雑音系列を差し引くという方法である。この結果、2~3ビットでも十分、画像情報を保ち、転送データ量の圧縮が行えることが示された。

偽輪郭は、画像入力時の測定誤差が小さいほど、また雑音が少ないほど、かえって明瞭に現われてしまうという性質をもっている。筆者ら^{8),9)} は先に、偽輪郭の生じる条件として、つぎの3点を明らかにした。

- 1) 偽輪郭が単純な形をしている、すなわち、2領域が互いに入り組んでいないこと。
- 2) 偽輪郭の付近に雑音が少ない、すなわち、各領域内に他方の領域の値をもつピクセルが混入していないかまたは少ないこと。
- 3) 偽輪郭の長さ自体が長く、両側の領域が十分広い幅を有する、すなわち、各領域がある程度、大きな面積を占めること。

また、上記のうち条件1), 2)を解消する方法として、それらの条件を局所的に備えている画像パターンを探し出して集中的に雑音を加える方法を提案した。

本稿では、まず2章において、諸定義を与えながら上記の方法を要約したのち、その問題点を明らかにす

† False Contour Removal by Using Local Processes by SEIICHI NISHIHARA (Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba), TOSHIKI HARA (Department of Scientific Technology, University of Tsukuba) and KATSUO IKEDA (Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba).

†† 筑波大学電子・情報工学系

††† 筑波大学大学院理工学研究所

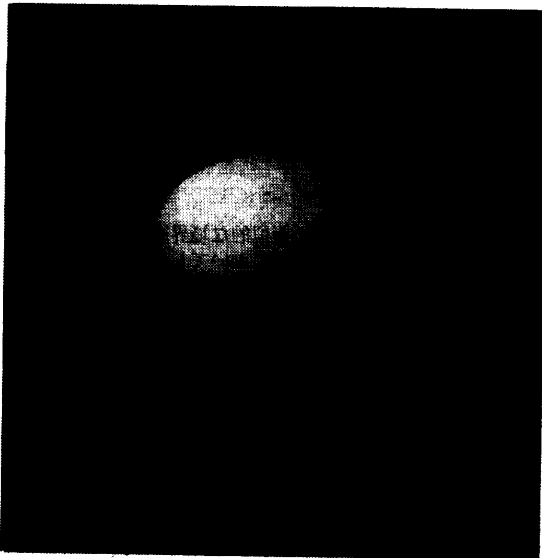


図1 原画像 (卵)
Fig. 1 Original image ('an egg').

る。3章では新たに、雑音追加を局所的な2次元領域に施す方法および雑音許容度を導入した方法を提案する。続いて4章において、実験により諸方法を比較する。

2. 偽輪郭の判定と探査マスク

ここでは、用語の定義を与えながら、固定長マスク法^{8),9)}を要約する。まず、画像の局所パターンを調べて偽輪郭の候補点を探す方法を述べる。画面の点を位置 (i, j) で表し、その濃度値を $f(i, j)$ なる整数値関数で表す。ただし、 $0 \leq f(i, j) \leq M-1$ 、 M は表示可能な濃度レベルの個数。前述したように、偽輪郭は濃度値の差が1であるような2領域の境界において発生する可能性がある。点 (i, j) が“凸孤立点”であるとは、4近傍¹⁾の濃度値がすべてちょうど $f(i, j)-1$ である場合のことである。また逆に、“凹孤立点”とは、4近傍が $f(i, j)+1$ なる濃度値のときである。以下、処理を容易にするために、偽輪郭の点としては、境界に接する濃度差1の2点のうち濃度値の大きいほうの点を探ることとする。局所的なパターンのみを用いて偽輪郭の点かどうかを迅速に判定できるように、つぎの条件を設定した。すなわち、点 (i, j) に関して、i) 4近傍はすべて $f(i, j)$ または $f(i, j)-1$ の濃度値をもつこと、ii) 4近傍のうち少なくとも1点は濃度値 $f(i, j)-1$ をもち、しかもその点は凹孤立点でないこと、およびiii) 点 (i, j) 自身、凸孤立点でないこと。これらの条件を満たす点 (i, j) はすべて偽輪郭

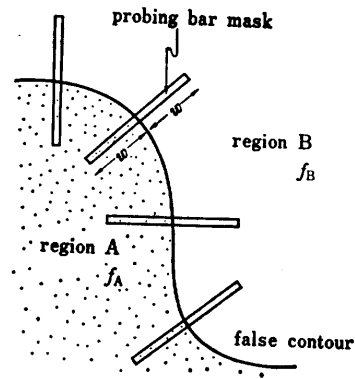


図2 偽輪郭に直交して設定される探査マスク
Fig. 2 Probing bar masks placed normal to the false-contour direction.

上の点と見なすことにする。

つぎに、上で得られた偽輪郭点のうち、互いに8隣接¹⁾している二つの偽輪郭点を考える。これらは、偽輪郭の上の連続する2点と考えられるので、この2点の並びに対して直角の方向に‘探査マスク^{8),9)}’を置く。これは、中点を偽輪郭に一致させた一定の長さ ($2w$ とする) の1次元の点列線分である。この探査マスクは偽輪郭の両側の領域が、一定 ($=w$) の幅以上の広さを有し、しかも、雑音を含んでいないという条件 (すなわち、1章で述べた偽輪郭の発生条件 1) ~3)) を満たすかどうかを調べるのに用いる。この手続きで (固定長の) 探査マスクが、偽輪郭線に直交するように設定される様子を示したものが、図2である。

これらの探査マスクを2等分した各半分の部分は長さ w (固定長) で、それぞれ対応する領域 (A, B とする) 内の点列となっている。これらのおのおの、長さ w の点列がすべて当該領域の濃度 (f_A と f_B) に等しいならば、この局所部分では雑音をまったく含まないということ、実際に偽輪郭の現象が発生していると判断する。その結果、この探査マスク上の点に雑音を加える。ここで雑音の付加とは、点の濃度値を相手領域の濃度値に変更することであり、以後もこの意味で用いる。雑音付加確率は偽輪郭に近い点ほど高くなっている。

一般に、探査マスクを偽輪郭において2分し、一方の長さ (点の個数) を w_A 、他方の長さを w_B としたとき、それぞれの側の点に雑音を付加される確率、すなわち相手方の濃度値へ変更される確率 p_A 、 p_B は図3に示すよう定める。図中、 p_A はA領域内のマス

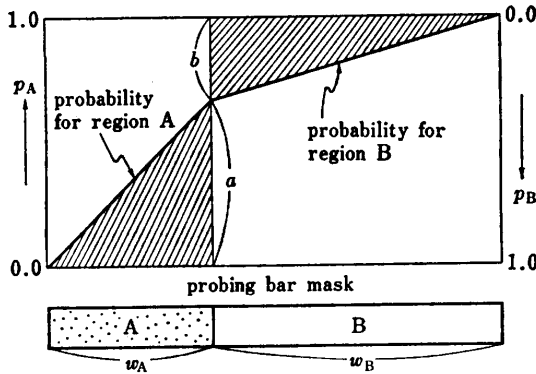


図3 雑音付加の確率グラフ
Fig. 3 The probability of noise adding.

ク上の点について、その濃度値(=f_A)がf_Bに変更される確率を表しており、図のグラフ値を閾値として一様乱数を用いて実現される。領域Bに関しても同様である。画像本体のエッジの鋭さを保つため、および画像の明るさ自体の移行(ドリフト)を防ぐために、斜線を施した二つの三角形の面積が等しくなるように、つぎのようにa, bを決定した。

$$a = w_B / (w_A + w_B), \quad b = w_A / (w_A + w_B)$$

とくに、いまはw_A=w_B=w(一定)の場合について述べているので、a=b=0.5である。

以上の偽輪郭除去の手続きをまとめると、

- step 1. 偽輪郭の候補点を探す。
 - step 2. 探査マスク(固定長)を設定し、雑音の有無を調べる。
 - step 3. 雑音のない場合は、雑音付加を行う。
- これらの一連の処理を各点について順次、施すとよい。

この手法(以後、固定長マスク法と呼ぶ)の詳細および実験例は文献^{8),9)}に与えた。この方法では、探査マスク長が固定(=2w)であり、wを前もって与えておく必要がある。しかし、偽輪郭を形成する各領域は大きさ(幅)が一定でないので、現実には偽輪郭を完全に除去するようなwを選ぶのは困難である。すなわち、wを小さくすれば、マスクの構成点において雑音一つも発生していないという可能性が高くなるため、雑音付加操作(上のstep 3)の総数は多くなる。しかし、雑音付加は偽輪郭のごく近傍のみに集中してしまい、大きい領域については効果が弱くなる。また、雑音付加の絶対量も少なくなる。逆にwを大きくすれば、少なくとも一方の領域の幅が小さい(<w)場合や、マスク構成点のうち一つでも雑音点であ

る確率が高くなるため、探査マスクの設定総数が極端に少なくなり、やはり雑音付加量が少なくなる。すなわち、偽輪郭の両側の領域の大きさに応じた探査マスク長が望ましい。このような点を改良した方法を次章で与える。

3. 可変長マスクを用いる方法

3.1 可変長マスク法

ここでは、物体の輪郭線など画像本来のエッジを保存しつつ偽輪郭のみを除去する手法として、可変長マスクを用いる方法を提案する。前述の固定長マスク法では、8隣接する二つの偽輪郭点の並びに直角に固定長(=2w)のマスクを設定したが、可変長マスク法では領域の幅に応じて各領域内のマスク部分の長さを変える。すなわち、図4において、偽輪郭上の点Pを起点として、二つの領域A, Bの方向へ伸ばした探査マスクは、それぞれ、さらにその先の新たな領域(図では領域XとY)または濃度がf_Aでもf_Bでもない点が出てくるまで伸長される。ただしf_X≠f_A, f_Y≠f_Bである。一般に、w_Aとw_Bの長さは等しいとは限らない。こうして得られたそれぞれのマスク部分長w_A, w_Bを用いて、図3に示すように、各領域へ追加する雑音の量を偽輪郭からの距離に反比例する確率をもつように決めることができる。

ところで、固定長マスク法では、雑音の付加はマスクを構成する点のみに行われた。しかし、可変長マスク法では、偽輪郭の両側の領域の幅が同程度に広い場合(すなわち、w_A≒w_Bで大きい場合)、偽輪郭に近いところでは雑音が50%に近い割合で付加されるため、雑音の付加された点が線状に並んでいる様子が目

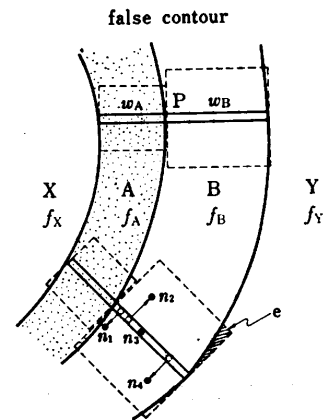


図4 可変長マスクを用いた雑音付加
Fig. 4 Noise addition by using probing masks with adjustable length.

立つ場合がある。これを防ぐため、図4の破線の矩形エリアに示すように、探査マスクに直交する方向にさらに分散させて雑音を配置するようにした。この様子を図示したのが図4の $n_1 \sim n_4$ である。分散位置の決定は一樣乱数を用いて行った。したがって、乱数がちょうど、幅の半分の値となって探査マスク上にとどまる場合もある(図4の n_5)。また、このように2次的に雑音を散在させると、例外的にはあるが、雑音を付加すべき位置が当該領域外にすることがある。図4の領域 B に関していえば、斜線部 e がその一例である。このような部分に雑音付加は行わない。

この可変長マスク法によって、領域の大きさに適応するように探査マスクの長さが決まるので、あらかじめマスク長(= $2w$) をパラメータとして与える必要がなくなり、前章で明らかにした固定長マスク法の問題点は解消される。

3.2 雑音許容度の導入

これまでは、設定されたマスクを用いて雑音の有無を調べる場合、マスクには雑音がまったく含まれていないという条件、すなわち偽輪郭で2分された各マスク部分の構成点がすべて当該領域の濃度値に等しいという条件を課していた。しかし、現実の画像では、偽輪郭の近くに雑音があっても、その量が少ない場合や偽輪郭の両側の領域が大きい場合には、やはり偽輪郭は顕著に認められる。そこで、可変長マスクを決定する手続きにおいて、雑音許容度 α ($0 \leq \alpha < 0.5$) を導入し、マスク上に雑音が混入していてもその割合が α 以下ならば偽輪郭が発生しているものと判定するように修正した。具体的には、図5に例示するように、偽輪郭からの距離(すなわち点の個数) n に関する関数 h

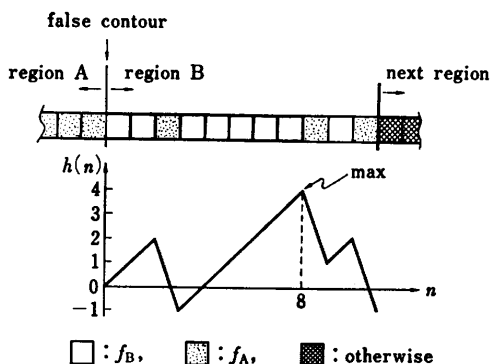


図5 雑音許容度(ここでは $\alpha=0.25$) を導入した可変長マスク。 $h(n)$ は、 $n=8$ で最大値4をとる。

Fig. 5 Adjustable-length probing mask with noise tolerance ($\alpha=0.25$, in this case). Function $h(n)$ has the maximum value 4 at $n=8$.

を、

$$h(n) = n - m/\alpha$$

と定義し、 $h(n)$ が最大値となる n をマスク長としている。ただし、 n は、図に示すように、1以上でかつ新たな次の領域の点が現れるまでの距離より小である。また m は、 n 個の点のうち雑音点の個数である。図5は、(これまでの図との関連を保つために) B 領域について例示したものである。図では、 $n=8$ において、 $m=1$ となり $h(n)=4$ (=最大値) となるので、B 領域に対応するマスク部分の長さは8に決定される。A 領域についても同様な手続きで決定される。こうして、雑音許容度を用いて各マスク部分の長さが決まるので、続いて雑音の付加を可変長マスク法と同じ方法で行えばよい。

上に述べた可変長マスク法およびそれに雑音許容度を導入した方法のアルゴリズムはつぎのようにまとめられる。

- step 1. 偽輪郭の候補点を探す。
- step 2. 互いに8隣接する二つの候補点の並びに直角方向に可変長探査マスクを設定する。
- step 3. 偽輪郭で分割される二つのマスク部分の長さがどちらも3以上なら、雑音を追加する。

上記において、step 1 の処理は、前述の固定長マスク法と同じである^{8),9)}。また step 2 の可変長探査マスクの決定では、雑音許容度 α を用いて、先に述べた方法(図5)で行う。とくに $\alpha=0$ とすれば、雑音許容度を用いない普通の可変長マスク法と同じになる。可変長マスク設定の結果、二つのマスク部分の少なくとも一方が長さ2以下になれば、画像本来のエッジに接しているの見なし、step 3 の雑音追加は実行されない。雑音付加は、前述のように、矩形エリアへ分散して付加する。すなわち可変長マスクに垂直の方向にさらに散在させる方法で行う。これらの3ステップを画像の各点について順次、施す。

4. 実験

本章では、図1の原画像をもとに、前述の諸方法を適用した結果を示す。図1は平面の上の卵の画像で、点の数は 250×236 、濃度レベルの個数 M は16(=4ビット)である。偽輪郭の除去は、原理的には雑音を付加することにより行っているが、これは雑音除去による画像の平滑化(smoothing)処理¹⁾の逆の処理と見ることができる。この性質をも確認するためにまず原画像に平滑化処理¹⁰⁾を施した結果が図6(a)であ

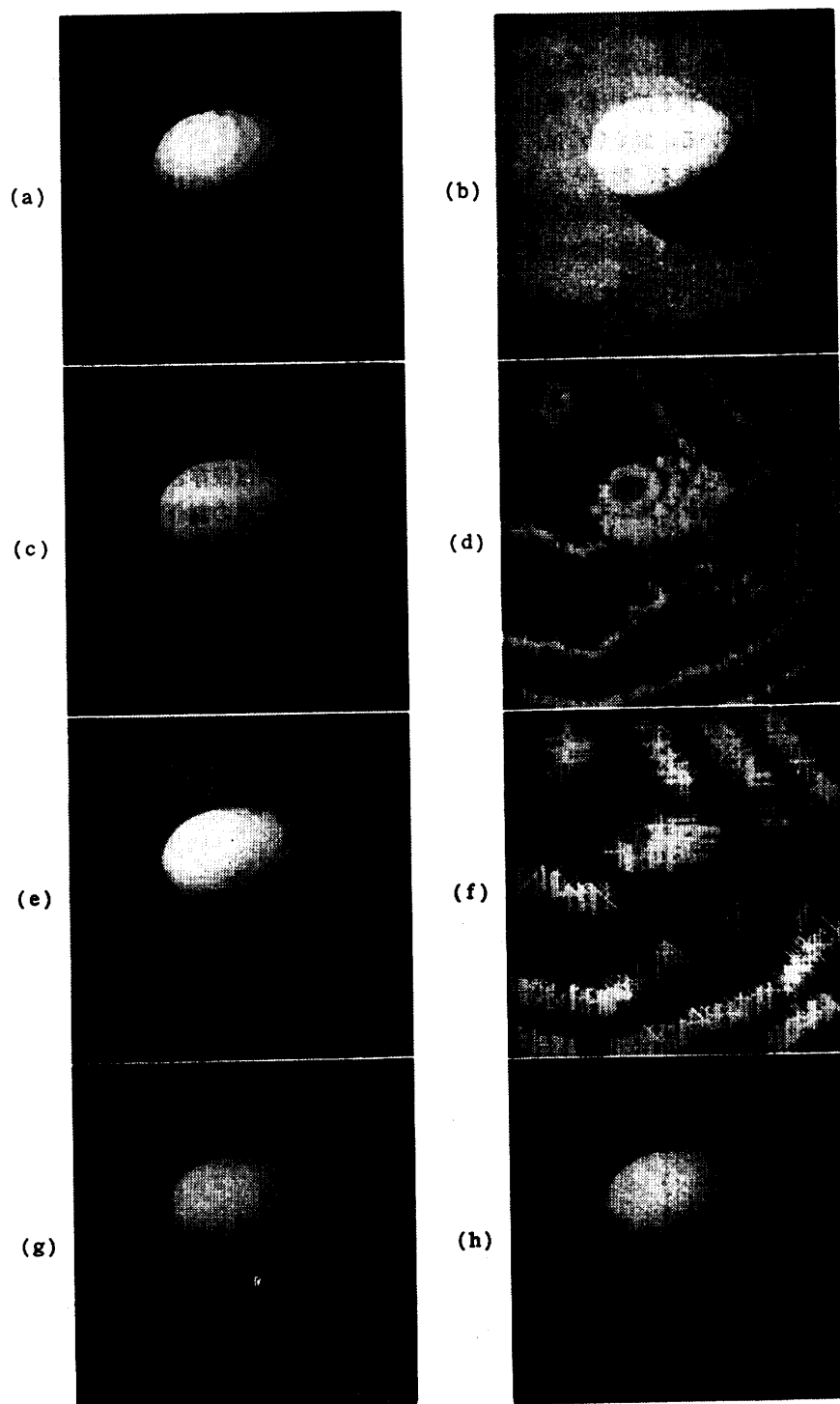


図 6 処理結果の例. (a) 図 1 に平滑化を施した結果. (b) 雑音を一律に加えた結果 (25%). (c, d) 固定長マスク法 ($w=4$), とくに (d) ではマスクを陽に示す. (e, f) 固定長マスク法 ($w=10$), とくに (f) ではマスクを陽に示す. (g) 可変長マスク法. (h) 雑音許容度 ($\alpha=0.1$) を用いた可変長マスク法.

Fig. 6 Results of random blurring. (a) Smoothed image. (b) Uniform unit noise added (25%). (c, d) Fixed-length probing-mask method ($w=4$). Masks are explicitly shown in (d). (e, f) Fixed-length probing-mask method ($w=10$). Masks are explicitly shown in (f). (g) Adjustable-length probing-mask method. (h) Adjustable-length probing-mask method with noise-tolerance ($\alpha=0.1$).

る。偽輪郭がいつそう、明瞭になっているのが認められる。卵の表面には、比較的、幅の狭い傾域が貝がら模様状に並んでいる。一方、背景部では、幅の広い傾域同士が偽輪郭を形成している。図6(b)は、原図に一樣に雑音を付加したものである。雑音としては、濃度レベルの1単位分を増加または減少させる操作を、画像全体の25%の点に施した。偽輪郭は依然として残存している。

固定長マスク法を図6(a)に適用した結果が図6(c)および(e)である。それぞれのマスク長は8($w=4$)および20($w=10$)に固定した。また、図6(d)および(f)は、結果(c)、(e)の上に雑音付加されたマスクを陽に重ねて表示したものである。前者($w=4$)では、後者($w=10$)の場合に比べて、卵の表面におけるマスク設定が顕著である。一方、背景部分では、傾域の幅に比べると(とくに $w=4$ の場合は)マスクが短かすぎることは明らかである。ところで、図6(e)は原画像(図1)に似た画像となっているが、これは、偽輪郭除去は平滑化のちょうど、逆の処理にあたることを示している。また、図6(c)、(e)は、

マスクを用いた偽輪郭の除去法が画像本来のエッジを保存することを示している(一樣に雑音を付加する方法は、本来のエッジも偽輪郭も同時にぼかして(blur)しまう¹⁾)。

つぎに、図6(g)は、図(a)に対して可変長マスク法を適用した結果を示す。図6(h)は、さらに雑音許容度($\alpha=0.1$)を導入した可変長マスク法による処理結果を示す。図(g)、(h)いずれの場合も、雑音を分散させる矩形エリアの形としては、正方形を用いた。偽輪郭の両側の傾域の幅に関らず、つねに雑音が付加されているのが観察される。とくに後者では、偽輪郭は完全に除去されているといえよう。また、いずれも本来のエッジは保存されている。図(h)において雑音を付加された点の割合(約30%)は、図6(b)と同程度であることを考えると、偽輪郭の部分だけに選択的に雑音付加を行うことが有効であることが明らかである。

つぎに、図7は、卓上にハサミ、小円錐、鉛筆を置いた画像を用いた実験例である。図7(a)は原画像で、画素数や濃度レベル数は上の実験と同じである。

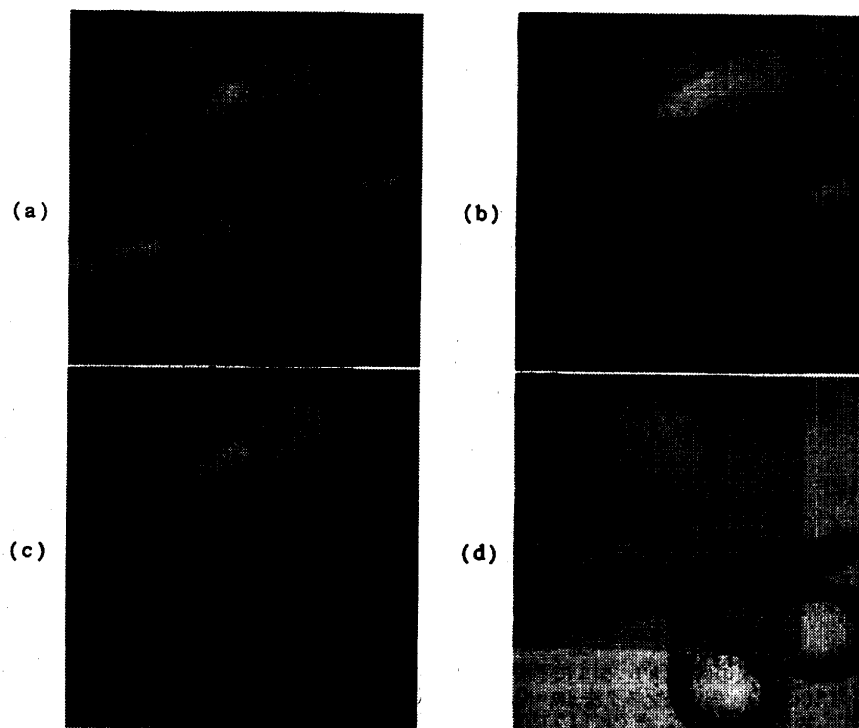


図7 処理結果の例。(a) 原画像。(b) 可変長マスク法。(c) 雑音許容度($\alpha=0.1$)を用いた可変長マスク法。(d) (c)にマスクを陽に重ねて表示したもの。

Fig. 7 Results of random blurring. (a) Original. (b) Adjustable-length probing-mask method. (c) Adjustable-length probing-mask method with noise tolerance ($\alpha=0.1$). (d) Same to (c) with masks shown explicitly.

表 1 実験結果の諸統計
Table 1 Observed values of some experiments.

方法	1	2	3	4	5
固定長マスク法 ($w=4$)	1,987	2,025	1,171	953	3,097
	4,360 15	4,490 11	2,588 9	2,069 13	6,802 13
固定長マスク法 ($w=10$)	231	470	252	408	576
	1,200 17	2,062 14	1,310 10	2,058 16	2,916 13
可変長マスク法 ($\alpha=0.0$)	2,767	2,403	1,503	1,205	3,312
	5,277 27	5,561 23	3,788 18	3,065 21	7,440 26
可変長マスク法 ($\alpha=0.1$)	4,464	4,965	3,979	2,456	4,954
	10,634 53	16,031 62	20,239 70	8,601 41	11,784 42

注) 各項目について, 上段は設定した探索マスクの個数, 中段は雑音付加点数, 下段は処理 (CPU) 時間 (秒).

図 7 (b), (c) はそれぞれ, 可変長マスク法および雑音許容度 ($\alpha=0.1$) を導入した可変長マスク法の処理結果を示す。この例では, 画面右上などの一部を除けば, ほぼ同じ結果が得られている。図 7 (d) は図 (c) に可変長マスクを重ねて陽に表示したものであるが, 画像の本来のエッジにはマスクが設定されていない様子が観察される。また, 図 6 (d), (f) の固定長マスク法の結果と比較すると, 可変長マスク法では, ほとんど全画面にわたって密に設定されていることがわかる。

上記の実験では, 雑音許容度 α をいずれも 0.1 とした。その結果, 雑音付加された点は約 30% となったが, これは偽輪郭の点が 1 個発見されると, それを中心として縦・横・斜めあわせて最高四つの方向に探索マスクが設定される可能性があるためである。

表 1 は, 5 種類の画像について行った実験の諸結果である。このうち, 画像 3 は図 1 の卵の画像, また画像 5 は図 7 (a) の画像である。固定長マスク法においては, マスク長が大 ($w=10$) になると, 設定マスク数, 雑音付加点数ともに減少するが, マスク長が長いために調べるべき点の総数が増え, その結果, 計算時間はむしろ増加している。可変長マスク法では, 設定マスク数は, 画像の高周波成分が大のとき, すなわち複雑な画像のほうが多くなるが, 雑音付加点数は比較的少なくなる。これは, 単純な画像のほうが, 可変長マスク長が大になる傾向があるためである。また処理時間は, 設定マスク数が多くなるほど, また雑音付加点数が多くなるほど, 大となるが, とくに後者の影響が大きい。これは, 乱数発生時間が大きいためと考えられる。

いずれのアルゴリズムも全画面をスキャンしながら局所的処理をくり返しており, 偽輪郭の追跡などの画像構造に依存した処理は含んでいないので, 処理時間は画素の総数にほぼ比例する。

5. むすび

画像をディスプレイ装置などに表示するときしばしば見られる擬似境界線, すなわち偽輪郭 (false contour)¹⁾ をとり除く方法を提案した。この現象は, 雑音のない, いわゆる質のよい画像においてむしろ発生しやすいという性質がある。またグラフィックスにおいて, 濃淡画像を生成・表示する場合は初めから雑音の混入がまったくないので, 偽輪郭が容易に発生する²⁾。

本文で与えた方法は, 偽輪郭の発生している位置を, 局所的な画像パターンを調べて抽出し, その部分のみに集中的に雑音を付加するものであり, 1) 画像本来のエッジは保存する, 2) 偽輪郭を作っている両側の領域の大きさや形状に影響されない, および 3) 局所的な処理を画面全体に順次くり返すため, 画像の点の総数にほぼ線形な時間で処理する, などの特徴がある。また, 偽輪郭の除去は, 一般に, 雑音 (noise および dither¹⁾ の意) を付加することにより, 結果的に高周波成分を増加させる方法をとっているが, これは画像の平滑化 (smoothing, noise removal) の逆処理といえる。このことを, 実験の一部で明らかにした。

本方法は, 一連の機械による画像処理の過程が一段落し, 最終結果または中間結果として人間に提示する直前に, 自然な画像を提供するために施すという使い方に適している。

参考文献

- 1) Rosenfeld, A. and Kak, A. C.: *Digital Picture Processing*, Chap. 4 & 6, Academic Press, New York (1976) (長尾監訳: デジタル画像処理, 近代科学社, 東京 (1978)).
- 2) Foley, J. D. and van Dam, A.: *Fundamentals of Interactive Computer Graphics*, Chap. 17, Addison-Wesley, Reading (1982).
- 3) Roberts, L. G.: Picture Coding Using Pseudo-Random Noise, *IRE Trans. Inf. Theory*, Vol. IT-8, No. 2, pp. 145-154 (1962).
- 4) Lippel, B. and Kurland, M.: The Effect of Dither on Luminance Quantization of Pictures, *IEEE Trans. Comm. Technol.*, Vol. COM-19, No. 6, pp. 879-888 (1971).

- 5) Jarvis, J. F., Judice, C. N. and Ninke, W. H.: A Survey of Techniques for the Display of Continuous Tone Pictures on Bilevel Displays, *Comput. Gr. Image Process.*, Vol. 5, No. 1, pp. 13-40 (1976).
- 6) Jarvis, J. F. and Roberts, C. S.: A New Technique for Displaying Continuous Tone Images on a Bilevel Display, *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-24, No. 8, pp. 891-898 (1976).
- 7) 藤村是明: ドット式表示装置による濃淡図形表示の方法, *情報処理*, Vol. 15, No. 7, pp. 503-509 (1974).
- 8) Nishihara, S. and Ikeda, K.: False-Contour Removal by Random Blurring, *Comput. Gr. Image Process.*, Vol. 20, No. 4, pp. 391-397 (1982).
- 9) 西原, 池田: 図形表示にともなう不自然な濃淡不連続線の除去, *情報処理学会コンピュータ・グラフィクス研究会資料 3-2* (1981).
- 10) Nagao, M. and Matsuyama, T.: Edge Preserving Smoothing, *Comput. Gr. Image Process.*, Vol. 9, No. 4, pp. 394-407 (1979).

(昭和58年7月6日受付)

(昭和58年9月13日採録)