

近似的胃領域を用いた高精度な胃輪郭線抽出

小林 富士男* 尾崎 誠**

Extraction of Accurate Stomach Contour Using Approximated Stomach Region

Fujio KOBAYASHI* Makoto OZAKI**

ABSTRACT

In this paper, the method of stomach extraction is proposed. The stomach contour is automatically and accurately extracted by the characteristics of X-ray image. The approximate stomach is obtained by the combination image which is constructed from binarize of the original image and its differential image. The stomach contour is extracted by the brightness of the differential image and the shape of stomach approximation. The stomach contour is accurately extracted.

キーワード：X線画像，画像処理，胃輪郭線抽出，パターン認識

Keywords: X-ray image, Image processing, extraction of stomach contour, pattern recognition

1. まえがき

近年，X線画像の集団検診はよく普及しており，そのため撮影されるX線画像の数は膨大なものとなっている。なかでも，胃の疾患は発生頻度が高く，胃X線画像の自動診断化は特に急を要する問題であり，かなり研究されている。^{1)~3)} 胃X線画像の集団検診では，条件を変えて異なる方向から撮影を行い，複数の胃X線画像を組み合わせる専門医が読影を行い診断する。そのため，診断自動化には胃の特徴を正確に抽出することが重要である。集団検診において撮影される胃X線画像のうち立位正面充満像は，被験者が直立しており，また胃領域内部には造影剤であるバリウムが充満しているため，もともと自然な胃の形状を表している。立位正面充満像による診断は，胃領域の辺縁を読み取って行われ，異常は辺縁の小さな凹凸となって現れることが多い。そのため，正確に胃領域輪郭線の抽出を行うことが重要である。一般に集団検診で撮影される胃X線画像は，画質が良くなく，背景とのコントラストも十分ではない。さらに，胃の形状には個人差があり，時間的にも変化する。また，胃領域内部でも部分的に明るさが異なり，背骨や他の臓器と胃領域が重なって

る場合が多く，正確に胃領域輪郭線を抽出するのは困難である。

そこで本研究では，胃X線画像から胃領域輪郭線を自動的にかつ正確に抽出することを目的としている。そのため，まず原画像から胃X線画像の特徴を利用し，大まかな胃領域（以下，近似的胃領域と呼ぶ）を抽出する。次に近似的胃領域の形状と胃X線画像の特徴から，正確な胃領域輪郭線を抽出している。^{4)~13)}

2. 全体の処理の流れ

全体的な処理の流れをFig.1に示す。前半の処理により近似的胃領域を求め，後半の処理により正確な胃領域輪郭線を求める。また，Fig.2は原画像である。原画像はイメージスキャナにより胃X線写真をモノクロ256階調で取り込んだものである。

3. 近似的胃領域の抽出

3.1 胃領域候補画像の作成

3.1.1 原画像の2値化

胃領域内部にはバリウムが充満しているため，背景より明るく撮影されている。そのため，原画像 $P_1(x, y)$ を適当な閾値で2値化し，2値画像を作成す

ば、胃領域を確実に含む領域が得られる。すなわち、次式により原画像の2値画像 $P_2(x, y)$ を得る。

$$P_2(x, y) = \begin{cases} 1, & P_1(x, y) \geq t_1 \\ 0, & P_1(x, y) < t_1 \end{cases} \quad (1)$$

ここで、閾値 t_1 は判別分析法¹⁴⁾により求められる値である。

3.1.2 微小な連結領域の削除

3.1.1 で作成された原画像の2値画像には微小な連結領域が存在する。そこでそれらを雑音として除去する。予備実験の結果から、画像面積の0.2%未満の面積の連結領域を除去の対象とする。このようにして得られる画像を胃領域候補画像 $\hat{P}_2(x, y)$ とする。Fig.3はその画像である。

3.2 境界候補画像の作成

3.2.1 微分画像の作成

原画像 $P_1(x, y)$ に次式で表される Sobel オペレータを適用し、微分画像 $P_3(x, y)$ を作成する。

A	B	C
D	E	F
G	H	I

$$E = \left\{ (A+2B+C-G-2H-I)^2 + (A+2D+G-C-2F-I)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Fig.4 は微分画像である。

3.2.2 微分画像の2値化

微分画像を適当な閾値により2値化し、2値画像を作成すれば、胃領域と背景との境界を含む領域が得られる。この時、閾値 $t_2(x, y)$ は次式により与えられる。

$$\bar{P}_3(x, y) = \frac{1}{49} \sum_{i=-3}^3 \sum_{j=-3}^3 P_3(x+i, y+j) \quad (3)$$

$$\sigma_1(x, y) = \sqrt{\frac{1}{49} \sum_{k=-3}^3 \sum_{l=-3}^3 \{P_3(x+k, y+l) - \bar{P}_3(x, y)\}^2} \quad (4)$$

$$t_2(x, y) = \sigma_1(x, y) + m \quad (5)$$

ここで、 $\sigma_1(x, y)$ は微分画像の濃度値の標準偏差、 m は閾値の最小値である。予備実験の結果から、 $m = k/20$ とし、 k は判別分析法により求められる値である。

また、胃 X 線画像の特徴から胃領域内部の濃度値は、ほぼ一定となっている。そのため、原画像での濃度値の標準偏差は、胃領域内部で1.2未満、境界付近で1.2以上となっている。このことから、微分画像の2値画像 $P_4(x, y)$ は以下の式により与えられる。

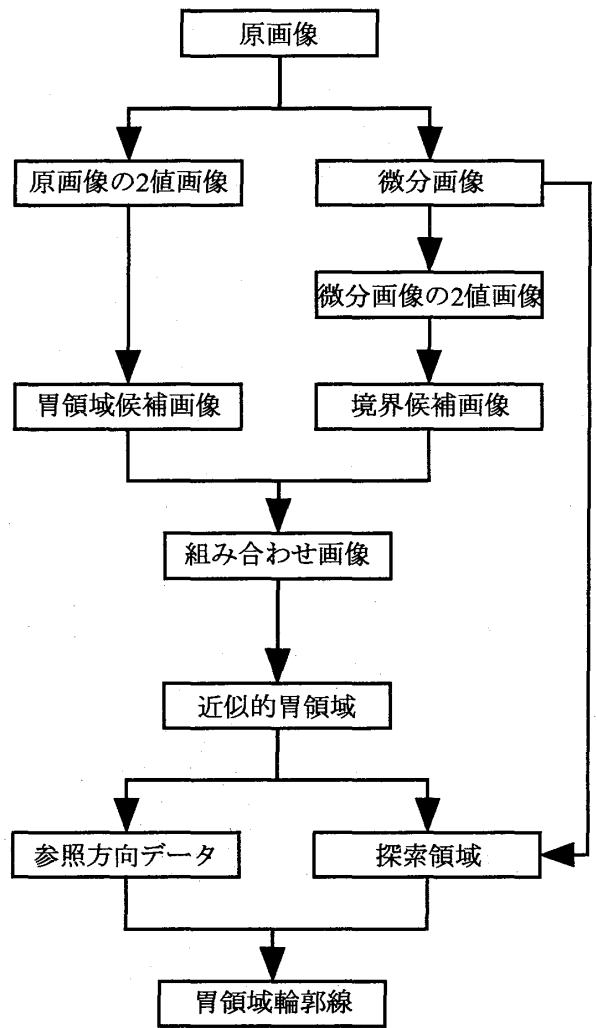


Fig.1 Flowchart of processing.

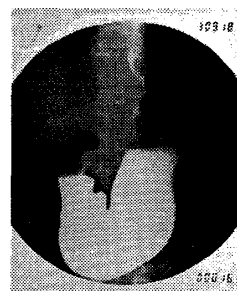


Fig.2 Original image.

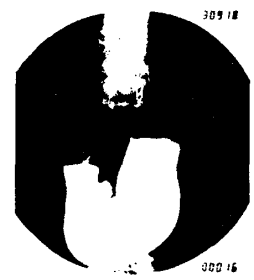


Fig.3 Candidate stomach region image.

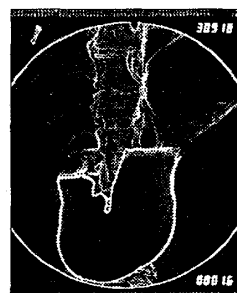


Fig.4 Differential image.



Fig.5 Candidate boundary image.

$$\bar{P}_1(x, y) = \frac{1}{49} \sum_{i=-3}^3 \sum_{j=-3}^3 P_1(x+i, y+j) \quad (6)$$

$$\sigma_2(x, y) = \sqrt{\frac{1}{49} \sum_{k=-3}^3 \sum_{l=-3}^3 \{P_1(x+k, y+l) - \bar{P}_1(x, y)\}^2} \quad (7)$$

$$P_4(x, y) = \begin{cases} 1, & P_3(x, y) \geq t_2(x, y) \wedge \sigma_2(x, y) \geq 1.2 \\ 0, & \text{その他} \end{cases} \quad (8)$$

ここで、 $\sigma_2(x, y)$ は原画像の濃度値の標準偏差である。

3.2.3 微小領域の削除および細線化

3.1.2で求めた胃領域候補画像と同様に、微分画像の2値画像から微小領域を除去する。次に、得られた連結領域の線幅が1画素となるように細線化を行い、境界候補画像 $\hat{P}_4(x, y)$ とする。Fig.5は、その画像である。

3.3 組み合わせ画像

3.1で求めた胃領域候補画像 $\hat{P}_2(x, y)$ と3.2で求めた境界候補画像 $\hat{P}_4(x, y)$ を用いて、組み合わせ画像 $P_5(x, y)$ を作成する。すなわち、次式により組み合わせ画像 $P_5(x, y)$ が得られる。

$$P_5(x, y) = \begin{cases} 1, & \hat{P}_2(x, y) = 1 \wedge \hat{P}_4(x, y) = 0 \\ 0, & \text{その他} \end{cases} \quad (9)$$

Fig.6は組み合わせ画像である。

3.4 近似的胃領域

3.4.1 近似的胃領域の候補の抽出

組み合わせ画像 $P_5(x, y)$ には、複数の連結領域が存在する。この連結領域の中で、重心が画像の中央付近にあり、かつ面積が胃領域とほぼ同じものを、近似的胃領域の候補 $P_6(x, y)$ とする。

3.4.2 近似的胃領域の作成

近似的胃領域の候補には、微小な凹凸が存在する。近似的胃領域は、胃領域の輪郭を求めるのに有効な形状モデルであるため、簡単な形状であることが望ましい。そこで、微小な凹凸を削除し、近似的胃領域 $\hat{P}_6(x, y)$ を作成する。具体的には、処理対象となる画素の値が1であれば、その8近傍の画素の値を1とする膨張作業を2回行う。次に、処理対象となる画素の値が0であれば、その8近傍の画素の値を0とする収縮作業を2回行う。Fig.7は近似的胃領域である。

3.5 近似的胃領域の輪郭抽出

3.4で得られた近似的胃領域の形状を知るために、

輪郭を8近傍で右回りに求め、近似的胃領域の輪郭とし、原画像の形状モデルとする。

また各輪郭点を $C(i)$ 、各点の座標を $x_c(i)$ 、 $y_c(i)$ と表す。ここで $1 \leq i \leq n_a$ とし、 n_a は輪郭点数とする。

4. 胃領域輪郭線の抽出

4.1 探索領域の限定

微分値の極大点を追跡し胃領域の輪郭を求める。このとき、背景のエッジを追跡する可能性があるため、実際の輪郭から大きく外れないように、近似的胃領域の形状に基づき、輪郭の探索領域を限定する。3.で求めた近似的胃領域は実際の胃領域より小さい。それは、3.2で境界候補画像を求める際に、胃領域内部の暗い点でありながら、緩やかに明るさが変化している点を境界候補画像に含めたからである。

一般に、X線写真は胃の内部に近づくにつれて明るくなっているため、近似的胃領域の輪郭において、明るい点は胃の内部に近い点といえる。そこで、近似的胃領域の輪郭点に対応する原画像の明るさに応じて、近似的胃領域の輪郭点上から水平、垂直方向に探索領域を拡張し、その探索領域を $R(x, y)$ とする。具体的には、次式(10)により前後数画素の明るさの平均 $\bar{C}(i)$ を求める。

$$\bar{C}(i) = \frac{1}{2} \sum_{j=-1}^1 \sum_{k=-1}^1 P_1\{x_c(i)+j, y_c(i)+k\} / 9 \quad (10)$$

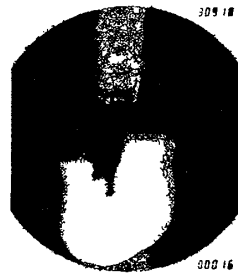


Fig.6 Combination image.

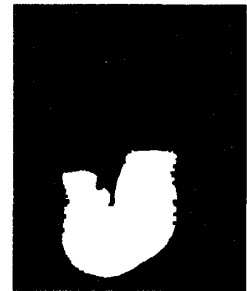


Fig.7 Stomach approximation region.

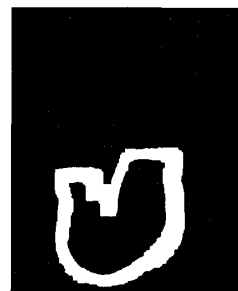


Fig.8 Search region.

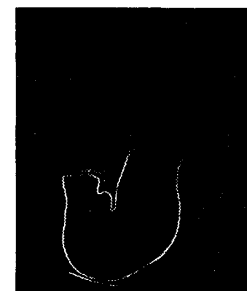


Fig.9 Differential image which is limited to the modified search region.

ここで、 x_c, y_c はそれぞれ近似的胃領域の輪郭点の x, y 座標である。

次に、この明るさの平均のもとに、式 (11) で決定される幅 $W(i)$ ずつ水平、垂直方向に探索領域を拡張する。

$$W(i) = \{1 - \bar{C}(i)/255\} \cdot 20 + 20 \quad (11)$$

探索領域はすべての輪郭点において拡張処理を行い、その値を1とする。Fig.8は探索領域である。

得られた探索領域 $R(x, y)$ 以外の領域の微分値を0にした $\hat{P}_3(x, y)$ を輪郭線追跡時に用いる。このようにすると、背景に影響されずに輪郭追跡を行うことができ、次の式 (12) によって探索領域を限定した微分画像を得る。Fig.9はその画像である。

$$\hat{P}_3(x, y) = \begin{cases} P_3(x, y), & R(x, y) = 1 \\ 0, & R(x, y) \neq 1 \end{cases} \quad (12)$$

4.2 参照方向データの作成

あらかじめ近似的胃領域の形状を参照できるようにデータを作成しておく。例をFig. 10に示し、処理手順を以下に記述する。

(1)：近似的胃領域の輪郭点 $C(i)$ (座標 $x_c(i), y_c(i)$) に輪郭の方向を示す符号 (Fig.11 参照) を記録しておく。(Fig.10 の a の矢印)

(2)：輪郭点 $C(i)$ の近似的胃領域の外側法線方向の隣接点に、輪郭点と同じ方向を示す符号を記録する。(Fig10 の b の矢印)

(3)：1区画を 2×2 画素とするとき (Fig.10 の破線)、1区画内の一部に方向データが記録されている場合、方向を平均した値をこの区画内での方向データとし、参照方向が記録されていない点に記録する。(Fig.10 の d の矢印)

(4)：1区画 $4 \times 4, 8 \times 8, 16 \times 16, 32 \times 32, 64 \times 64$ 画素に対しても (3) と同様な処理を行う。

4.3 輪郭線追跡の方法

4.1 で求めた探索領域を限定した微分画像と 4.2 で求めた参照方向のデータをもとに胃領域の輪郭を追跡する。

4.3.1 追跡開始点の決定

正確に輪郭を追跡するためには、信頼性の高い点から追跡を開始しなければ、誤った輪郭を追跡する

可能性が生ずる。本論文では、立位正面充満像の画像の性質を利用する。すなわち、近似的胃領域で得られた輪郭が実際の胃領域の輪郭に近いので、胃の上部右側の輪郭がほぼ垂直で、水平方向の微分値が最大の点を追跡開始点とする。

4.3.2 最適な追跡方向の決定

探索中の画素 (x_p, y_p) の 8 近傍画素のうち、既に探索した画素と隣接しない 5 画素を通る方向 (Fig.12 の 5 つの方向) のうち、最適な追跡方向 $C_o(i)$ を次の手順により決定する。

(1)：各候補方向の微分値の大きさ $V(j)$ を、それぞれの方向の数画素の微分値と、距離に応じた重みを掛

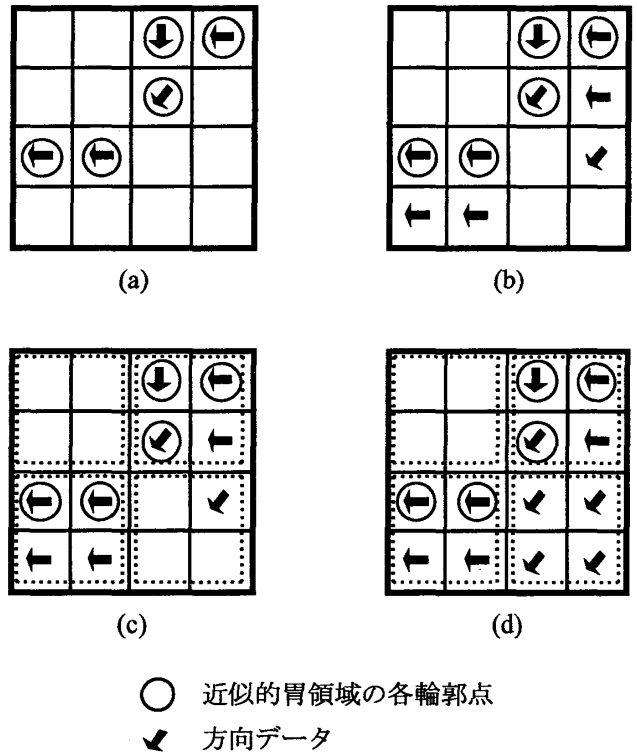


Fig.10 Examples of reference direction data.

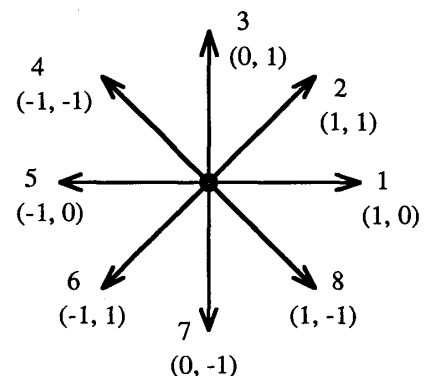


Fig.11 Directions of tracking.

けた和で表す.

$$V(j) = \sum_{k=1}^l \{ \hat{P}_3(x_p + x_d(j) \cdot k, y_p + y_d(j) \cdot k) \cdot W_k \} \quad (13)$$

ここで $j, x_d(j), y_d(j), l, W_k$ は、それぞれ追跡方向、各方向の x 座標、 y 座標の基本移動量 (Fig.11 の括弧内の値)、最大距離、距離に応じた重みを表す。予備実験から $l=5, W_k = \{4, 3, 2, 1, 1\}$ を用いる。重みをつけるので、Fig.12 のような微小な凹部も正確に追跡できる。

(2) : 微分値の最大値がある大きさを持ち、他の方向の微分値より大きければ、追跡方向 $C_d(i)$ は微分値の最大値を持つ方向に決定する。具体的には、最大微分値が 300 を越えていて、他の方向の微分値が最大微分値の 70% を越えなければ、微分値の最大値を持つ方向を追跡方向に決定する。

(3) : 境界における明るさの変化が緩やかで微分値が小さい部分や、Fig.13 のように同じような微分値が幅広く存在する場合、また、Fig.14 のように紛らわしいエッジが近くに存在すると、(2) では追跡方向が決定できない。このようなときには、分解能を半分にした画像の微分値を利用し、(1) から (2) までの処理を行って、追跡方向を決定する。

(4) : 境界における明るさの変化がさらに緩やかであったり、強力なエッジが存在する場合は、(3) でも

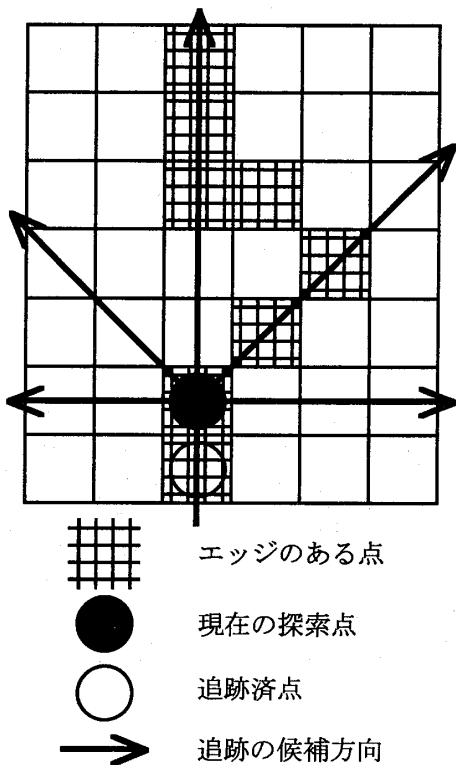


Fig.12 Decision of tracing direction.

決定できない。このようなときには、4.2 で作成した参照方向のデータに基づき、対応点に記録されているデータの方向を追跡方向とする。

4.4 胃領域輪郭線の抽出

4.3.2 の処理を 4.3.1 で求めた追跡開始点から繰り返

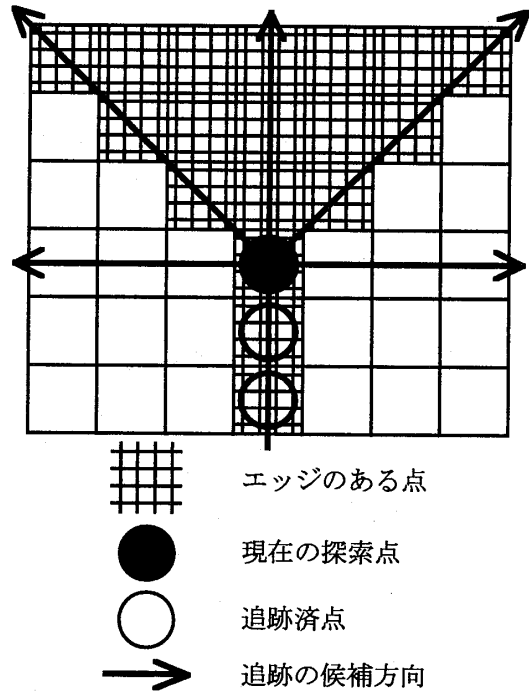


Fig.13 A case of considerable width edge.

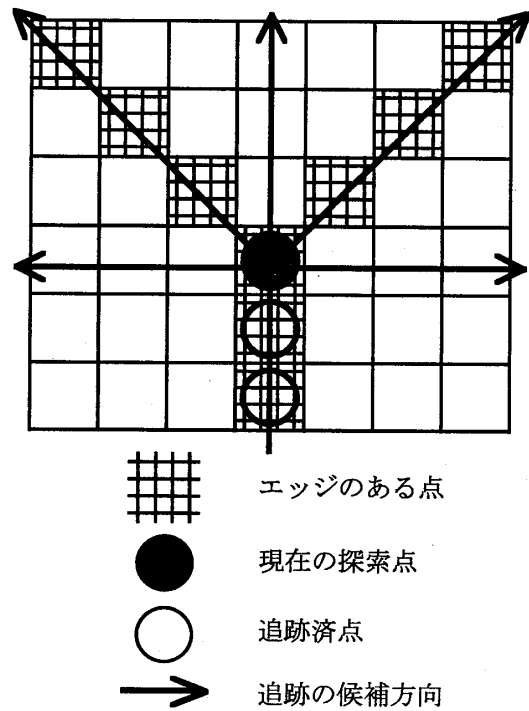


Fig.14 A case of branched edge.

し、追跡開始点に戻るまで行う。このようにして得られた結果が求める胃領域輪郭である。各輪郭点を $C_s(i)$ とし、各点の座標を $x_s(i)$, $y_s(i)$ と表す。ただし、 $1 \leq i \leq n_s$ とし、 n_s は輪郭点数とする。抽出された胃領域の輪郭を Fig.15 に示す。また、抽出結果例を Fig.16 に示す。背景に紛らわしい領域が存在する画像は、従来の手法では正確な輪郭の抽出が困難であったが、本手法では正確に抽出されることが確認できた。

5. むすび

対象により形状の特徴が大きく異なる胃 X 線画像で、処理画像から形状モデルとなる近似的胃領域を求め、その形状と胃 X 線写真に関する知識に基づき、正確に胃領域の輪郭を追跡する手法について記述した。

微分値の追跡だけでは、背景にノイズが存在したり、明るさの変化が明瞭でないところでは、正確に胃領域輪郭線を抽出することが困難である。

本論文での手法では、局所処理で確実な輪郭を決定し、追跡を行いながら、決定が難しいところでは、あらかじめ求めた形状モデルを参照しながら、大局的な視野での輪郭決定を行っている。可能な限り微分値の追跡を重視して輪郭の抽出を行い、追跡の困難な部分では分解能を下げ、大局的な連続性を考慮して輪郭を決定しており、人間の判断に近い輪郭が得られる。このため背景に背骨や内臓が明るく撮影されている画像やコントラストの低い画像でも、正確に胃領域の輪郭が得られる。

参考文献

- 1) 白井：“フィードバック法による胃 X 線充満像の胃領域抽出”，電子通信学会論文誌，Vol.J68-D, No.3, pp. 269-276(1985)
- 2) 白井，喜多：“胃 X 線立位充満像の胃領域抽出と部位の認識”，電子技術総合研究所彙報，Vol.51 No.4, pp. 253-277(1987)
- 3) 喜多，白井：“胃 X 線立位充満像からの異常候補の検出”，電子情報通信学会論文誌，Vol.J71-D No.11, pp. 2370-2380(1988)
- 4) 小林，長谷井，坪井，田中，美咲：“高精度胃領域輪郭線の抽出”，平成 5 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会，No. 111421(1993)
- 5) 小林，長谷井，坪井，田中，美咲：“胃領域の輪郭線の抽出”，平成 6 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会，No.051409 (1994)
- 6) 小林，美咲，坪井，田中：“胃領域輪郭線の抽出”，第 19 回日本 ME 学会中国四国支部大会講演抄録 No.25(1996)
- 7) 小林，尾崎，坪井，田中，美咲：“バリウム充満胃 X 線画像のエッジ抽出”，1997 年電子情報通信学会総合大会，D-11-130(1997)
- 8) 小林，尾崎，坪井，田中：“胃 X 線立位正面充満像の輪郭抽出”，第 55 回情報処理学会全国大会，3AB-2(1997)
- 9) 小林，尾崎，富田，坪井，田中：“立位正面充満像からの胃領域輪郭線抽出”，平成 9 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会，No.072207(1997)
- 10) 小林，尾崎，坪井，田中：“胃 X 線画像からの正確な胃領域輪郭線の抽出”，医用電子と生体工学，vol.36, 特別号, pp.334(1998-5)
- 11) 小林，尾崎，坪井，田中：“変動閾値法による胃 X 線画像の胃領域抽出”，第 7 回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集，pp.224-225(1998)
- 12) 小林，尾崎，坪井，田中：“変動閾値法を用いた胃 X 線画像からの胃領域境界抽出”，1998 年電子情報通信学会総合大会，D-11-122(1999)
- 13) F. Kobayashi, M. Ozaki, H. Tsuboi, M. Tanaka：“EXTRACTION OF STOMACH CONTOUR FROM X-RAY IMAGE”，The Fifth International Symposium on Signal Processing and its Applications, Vol.1, No.1, pp.371-374(1999)
- 14) 大津：“判別および最小 2 乗規準に基づく自動しきい値選定法”，電子情報通信学会論文誌，Vol. J63-D, No.4, pp.349-356(1980)

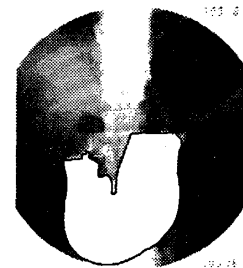


Fig.15 Extracted stomach contour.

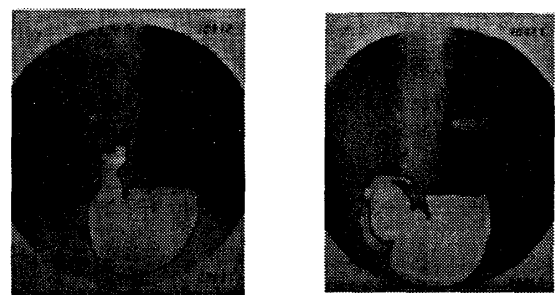


Fig.16 Extracted examples