

X線画像の胃領域抽出

小林 富士男*, 長谷井 稔*, 坪井 始*, 田中 始男*, 美咲 隆吉*, 富田 将英**

Extraction of Stomach Region from X-Ray Image

Fujio KOBAYASHI*, Minoru HASEI*, Hajime TSUBOI*, Motoo TANAKA*,

Takayoshi MISAKI* and Masahide TOMITA**

ABSTRACT

Recently, the screening system is popularized, a large number of diagnosis is the work of doctors. There are differences between individuals in the shape of their stomachs. The shape of stomach changes every second.

In this paper, the extraction method of stomach region from x-ray image is described. First, the reasonable approximation can be made by general processing. Next, the contour of stomach region is extracted exactly using the knowledges about the stomach and its shape. This method is useful for x-ray image processing.

Keywords : x-ray image, image processing, extraction of stomach image, automatic diagnosis, pattern recognition

キーワード: X線画像, 画像処理, 胃領域抽出, 自動診断, パターン認識

1. まえがき

難病の早期発見を目指した集団検診は重要な医療活動の一つであるが、大量な診断は医師の大きな負担となり、診断の自動化の研究が行われている。なかでもX線の集団検診はよく普及しており、X線画像の自動スクリーニングを目指す研究が精力的に進められている[1]。特に胃の疾患は発生頻度が高いため、集団検診の普及率が高く、胃X線画像の診断自動化は急を要する問題であり、かなり研究されている[2]~[5]。胃X線の集団検診では、条件を変えて異なる視点から撮影し、複数のX線画像を組み合わせる専門医が読影する。自動スクリーニングする場合には、胃領域の特徴を抽出することが必要である。立位正面充満像は、被験者が直立しているため最も自然に胃の形状を表しており、また造影剤であるバリウムが充満されている。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も多いので、正確に胃の輪郭を抽出することが重要である。一般に集団検診で撮影されるX線画像は、画質があまり良くない上に背景とのコントラストも十分でなく、さらに胃の形状には個人差があり、時間的にも変化する。また胃領域内でも部分的に明るさが異なり、背景の骨や他の臓器の領域

と胃領域とが紛らわしく、正確に胃領域を抽出することが困難である。

本論文では、胃X線立位正面充満像を処理の対象とし、大局的な処理を行って大まかな胃領域(以下、近似的胃領域と呼ぶ。)を求める。次に、その形状と胃X線画像に関する知識を用いて、異常の有無に有用な情報を与える胃領域の輪郭を抽出している[6], [7]。

2. 近似的胃領域の抽出

2.1 変換画像

全体的な処理の流れをFig.1に、胃の各部名称を

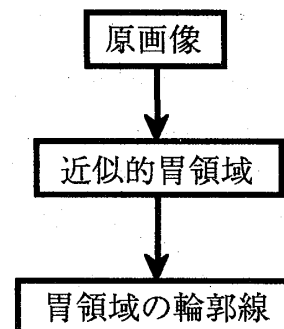


Fig. 1 Generous flow of processing.

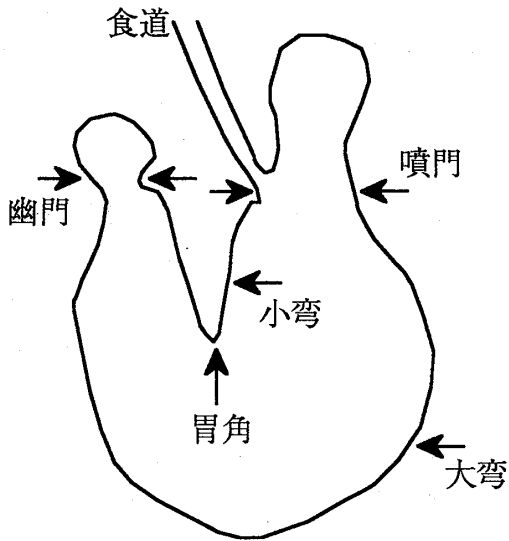


Fig. 2 Main parts of stomach.

Fig.2にそれぞれ示す。胃領域抽出を行うにあたり大局的処理を行って、実際の胃領域の輪郭を求めるのに有用な形状モデルとなる近似的胃領域を求める。

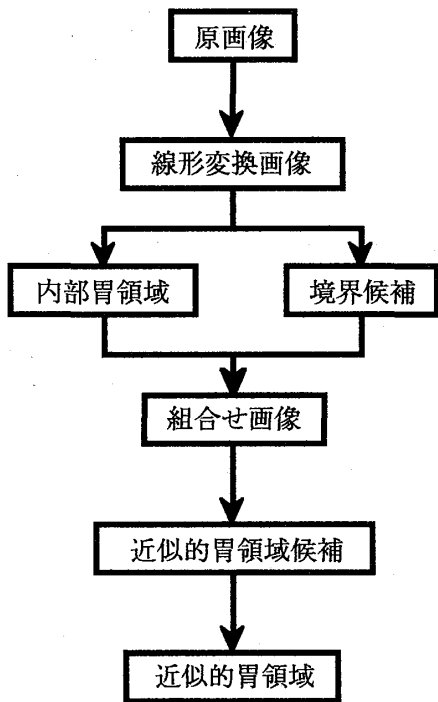


Fig. 3 Extraction of approximate stomach region.

処理の流れはFig.3の通りである。Fig.4は、X線写真フィルムを256階調のイメージスキャナによって入力した原画像であるが、X線写真の濃度範囲が狭く画像のコントラストが悪い。そこで次の式によって濃度変化の範囲を許容範囲全体に拡大する。

$$P_1(x, y) = \frac{Z_a - Z_c}{Z_b - Z_a} \{P_0(x, y) - Z_a\} + Z_c \quad (1)$$

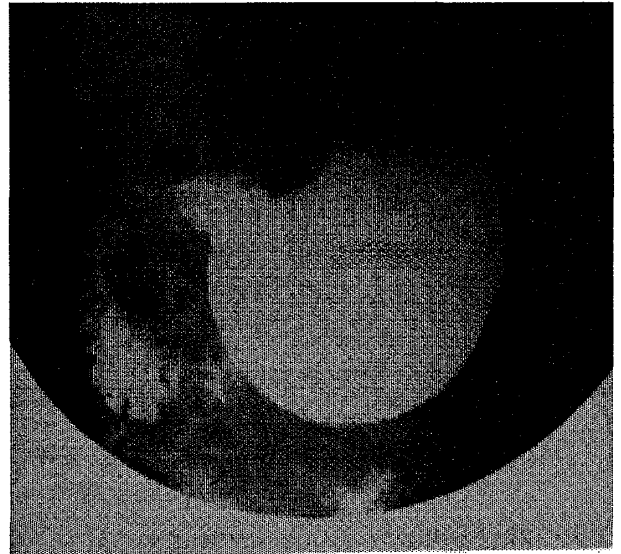


Fig. 4 Original image.

ただし、 $P_0(x, y)$ は原画像を表し、 Z_a, Z_b は原画像濃度の最小値と最大値であり、 Z_c, Z_d は許容される濃度の最小値と最大値を表している。ここで、 $Z_c = 0, Z_d = 255$ とする。

2.2 内部領域候補の決定

胃の部分を実際に含んでいる領域を胃の内部領域候補とする。胃領域が立位充満像の背景より明るく撮影されることを利用し、変換画像 $P_1(x, y)$ を2値化して求める。すなわち、次式によって内部領域候補 $P_2(x, y)$ を得る。

$$P_2(x, y) = \begin{cases} 1, & P_1(x, y) \geq t_1 \\ 0, & P_1(x, y) < t_1 \end{cases} \quad (2)$$

ただし、閾値 t_1 は判別分析法[8]によって求まる値の $1/2$ である。このように内部領域候補を広くすることによって誤認識を減らすことができる。また、得られる画像には微小な連結領域が存在するので、後の処理を容易にするために小さい連結領域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%未満の面積を除去の対象とする。このようにして得られる2値画像を内部領域候補 $\hat{P}_2(x, y)$ とする。Fig.5はその画像である。

2.3 境界領域の決定

胃領域と背景との境界と考えられる領域を境界候補とする。まず、変換画像 $P_1(x, y)$ をRobinsonオペレータによりエッジ検出を行う。すなわち、次の $M_0 \sim M_3$ のマスクを 3×3 の局所領域にかけ合せて、その最大値を採用する。このようにして得られるエッジ検出画像を $P_3(x, y)$ とする。

M_0			M_1			M_2			M_3		
1	2	1	2	1	0	1	0	-1	0	-1	-2
0	0	0	1	0	-1	2	0	-2	1	0	-1
-1	-2	-1	0	-1	-2	1	0	-1	2	1	0

次に、2値化処理を行い、エッジの強弱を基に境界候補を求める。次式(3)によって境界領域候補 $P_4(x, y)$ を得る。

$$P_4(x, y) = \begin{cases} 1, & R_3(x, y) \geq t_2 \\ 0, & R_3(x, y) < t_2 \end{cases} \quad (3)$$

この閾値 t_2 は、判別分析法で得られる値の $1/4$ とし境界候補を大きくする。背景との境界で濃度変化が緩やかな部分、バリウムが流れ込んだ腸など明るく表されている部分なども境界候補に含めるためである。2.2で求めた内部領域候補と同様に、更に、微小領域を除去して得られる2値画像を境界候補 $P_4(x, y)$ とする。Fig.6は、その画像である。

2.4 組み合わせ画像

2.2で求めた内部領域候補画像 $\hat{P}_2(x, y)$ と2.3で求めた境界候補画像 $\hat{P}_4(x, y)$ とを用いて、組み合わせ画像 $P_5(x, y)$ を求める。境界は胃領域ではあり得ないことを利用する。具体的には、内部領域候補であり、かつ境界候補ではない画素の集合を組み合わせ画像とする。次の式(4)によって組み合わせ画像 $P_5(x, y)$ を得る。

$$P_5(x, y) = \begin{cases} 1, & \hat{P}_2(x, y) = 1 \wedge \hat{P}_4(x, y) = 0 \\ 0, & \text{その他} \end{cases} \quad (4)$$

この処理により、胃領域候補と背景候補との分離が行われる。Fig.7は組み合わせ画像である。

2.5 近似的胃領域

本節では、2.4で得られた組み合わせ画像より近似的胃領域を抽出する手順について述べる。

2.5.1 近似的胃領域候補の決定

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認定できる範囲にあるものを近似的胃領域の候補として $P_6(x, y)$ とする。

2.5.2 微小な凹凸の削除

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、ある領域を含む最小の凸多角

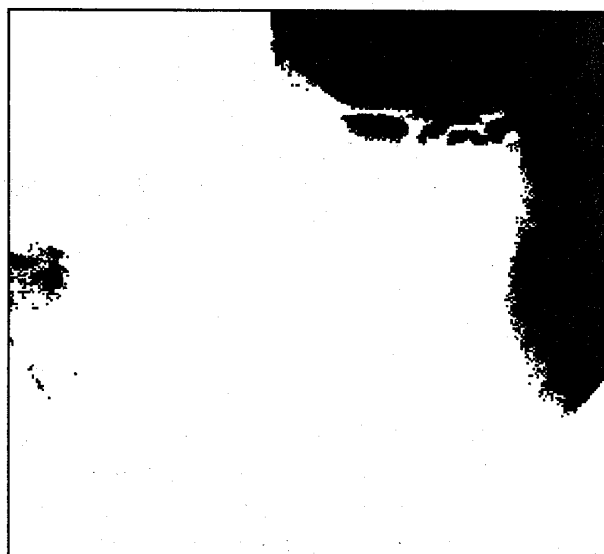


Fig. 5 Candidate of inner region.

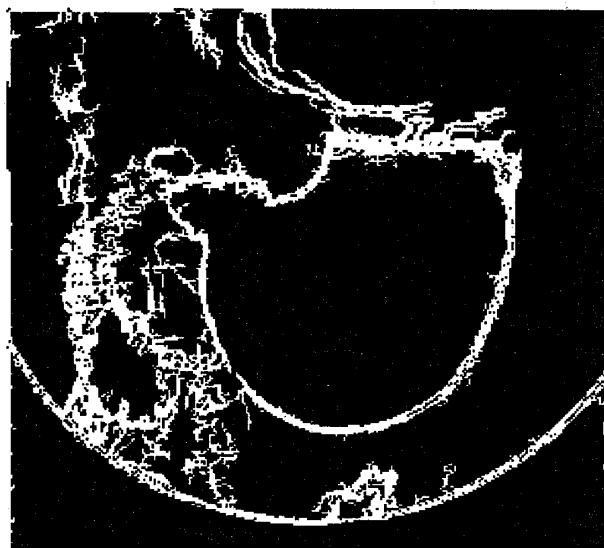


Fig. 6 Candidate of boundary.



Fig. 7 Combined image.

形である凸閉包を利用し、微少な凹凸を削除する。
以下にその処理手順を記す。

- (1) : 近似的胃領域の候補 $P_6(x, y)$ の凸閉包 $\hat{P}_6(x, y)$ を求める。
- (2) : 近似的胃領域の候補 $P_6(x, y)$ の凹部を得るため、凸閉包 $\hat{P}_6(x, y)$ から近似的胃領域の候補 $P_6(x, y)$ を取り除き、削除領域候補 $P_7(x, y)$ とする。

$$P_7(x, y) = \begin{cases} 1, & \hat{P}_6(x, y) = 1 \wedge P_6(x, y) = 0 \\ 0, & \text{その他} \end{cases} \quad (5)$$

- (3) : 微少な凹部を削除するため、削除領域候補 $P_7(x, y)$ に存在する複数の連結領域のうち、面積が微少なものを除き、 $\hat{P}_7(x, y)$ とする。
- (4) : $\hat{P}_7(x, y)$ に存在する複数の連結領域に対してそれぞれで凸閉包を求め、削除領域 $P_8(x, y)$ とする。
- (5) : 削除領域 $P_8(x, y)$ の凹部は、近似的胃領域候補での凸部になる。そこで、削除領域 $P_8(x, y)$ から $\hat{P}_7(x, y)$ を取り除き、追加領域候補 $P_9(x, y)$ とする。

$$P_9(x, y) = \begin{cases} 1, & P_8(x, y) = 1 \wedge \hat{P}_7(x, y) = 0 \\ 0, & \text{その他} \end{cases} \quad (6)$$

- (6) : 追加領域候補 $P_9(x, y)$ に存在する複数の連結領域のうち、面積が微少なものを除き、 $\hat{P}_9(x, y)$ とする。
- (7) : $\hat{P}_9(x, y)$ に存在する複数の連結領域それぞれで凸閉包を求め、追加領域 $P_{10}(x, y)$ とする。
- (8) : 近似的胃領域の凸閉包 $\hat{P}_9(x, y)$ から削除領域 $P_{10}(x, y)$ を除き、更に、追加領域 $P_{10}(x, y)$ を加えて得られる領域が求める近似的胃領域 $P_{11}(x, y)$ である。

$$P_{11}(x, y) = \begin{cases} 1, & (\hat{P}_9(x, y) = 1 \wedge P_{10}(x, y) = 0) \vee P_{10}(x, y) = 1 \\ 0, & \text{その他} \end{cases} \quad (7)$$

上述のようにして得られる近似的胃領域をFig.8に示す。

2.6 近似的胃領域の輪郭抽出

2.5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 $1 \leq i \leq n_c$ とし、 n_c は輪郭点数とする。

3. 胃領域の抽出

2. で求めた形状モデルである近似的胃領域の近傍

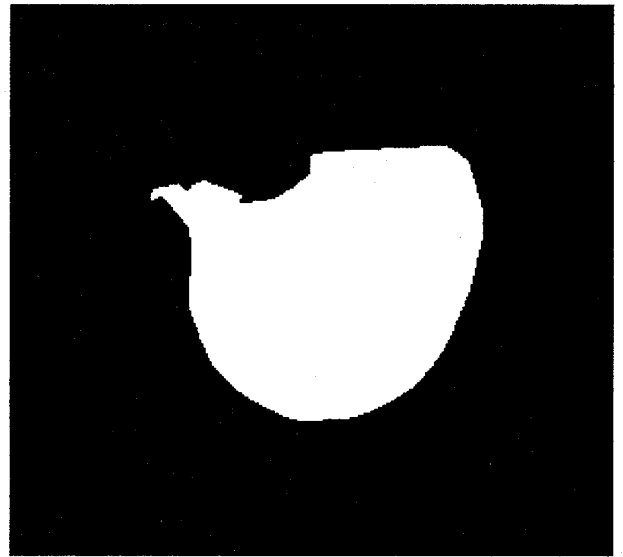


Fig. 8 Approximate stomach region.

と胃X線写真に関する知識を基にして、正確な胃領域抽出のための輪郭を求める。処理の流れをFig.9に示す。

3.1 探索領域の限定

微分値の極大点を追跡する方法で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、近似的胃領域のもとに輪郭の探索領域を限定する。2. 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、2.3で境界領域候補を求める際に、胃領域内部の暗い点でありながら、緩やかに明るさ

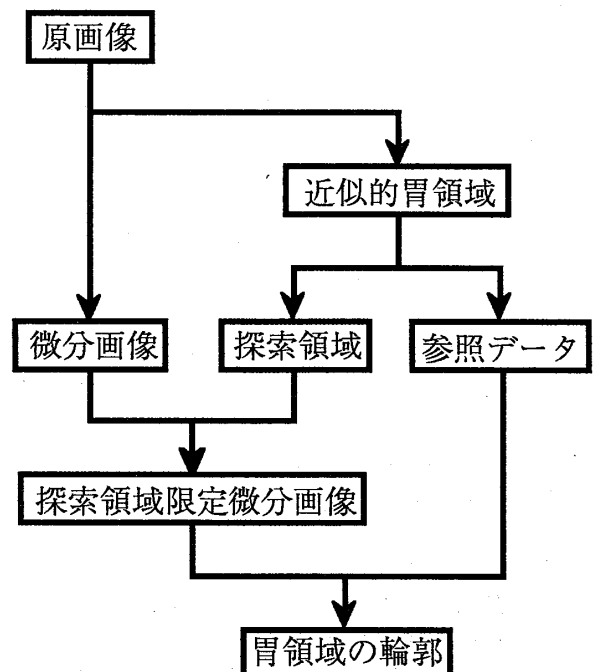


Fig. 9 Extraction of exact stomach region.

が変化している点を境界候補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、近似的胃領域の外側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、近似的胃領域の各輪郭点 $C(i)$ において、次式(8)によって、前後数画素の明るさの平均 $\hat{C}(i)$ を求める。次に、この明るさの平均のもとに式(9)で決定される幅 $W(i)$ ずつ法線方向に拡張する。

$$\hat{C}(i) = \sum_{k=i-n}^{i+n} C(k) / (2n+1) \quad (8)$$

$$W(i) = \hat{C}(i) \cdot S + W_0 \quad (9)$$

ここで、 n 、 S 、 W_0 は定数で、それぞれ、 i を中心とした明るさの平均を求める前後の画素数、明るさと拡張幅との比率、基本拡張幅である。これらの値は予備実験から、 $n=3$ 、 $S=0.12$ 、 $W_0=5$ とする。

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。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 $\hat{P}_1(x, y)$ 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(10)によって探索領域を限定した微分画像が得られる。

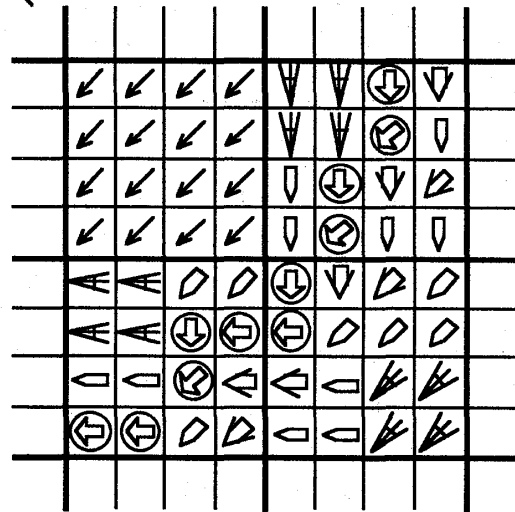
$$\hat{P}_1(x, y) = \begin{cases} P_1(x, y), & R(x, y) = 1 \\ 0, & R(x, y) \neq 1 \end{cases} \quad (10)$$

3.2 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。(Fig.10の b の矢印)
- (3) : 1区画を 2×2 画素とするとき、1区画内の一部に方向が記録されている場合に、方向を平均した値をこの区画内での参照方向とし、参照方向が記録されていない点に記録する。(Fig.10の c の矢印)
- (4) : 1区画 4×4 画素、1区画 8×8 画素に対しても(3)と同様な処理を行う。(Fig.10の d, e の矢印)

胃領域内側方向



- 輪郭線
- ◻ a. 輪郭線上の参照方向
- ◊ b. 輪郭点の外側での参照方向
- ◇ c. 2×2 の区分での参照方向
- ◀ d. 4×4 の区分での参照方向
- ↖ e. 8×8 の区分での参照方向

Fig. 10 Look-up data of directions.

3.3 輪郭線追跡の方法

3.1で求めた探索領域を限定した微分画像と3.2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。

3.3.1 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ある。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、胃の上部右側 (Fig.2の小湾側で胃角から噴門にいたる部分) の輪郭がほぼ垂直な線で、近似的胃領域で得られた輪郭が実際の胃領域の輪郭と近いので、この付近での水平方向の微分値が最大の点を追跡開始点とする。なお、探索方向は上向きである。

3.3.2 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.11の矢印の5の方向) のうち、最適な追跡方向 $C_d(i)$ を次の手順で決定する。

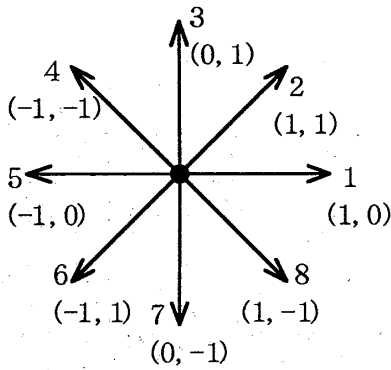


Fig. 11 Sign digits which indicate directions.

(1) : 各候補方向の微分値の大きさ $V(j)$ を、その方向の数画素の微分値の大きさと距離に応じた重みを掛けた和で表す。

$$V(j) = \sum_{k=1}^l \{ \hat{P}_3(x_p + x_d(j) \cdot k, y_p + y_d(j) \cdot k) \cdot W_k \} \quad (11)$$

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 k での重みを表す。予備実験から $l=5$, $W=\{4, 3, 2, 1, 1\}$ を用いる。重みをつけるので、Fig.12のような微少な凹部も正確に追跡できる。

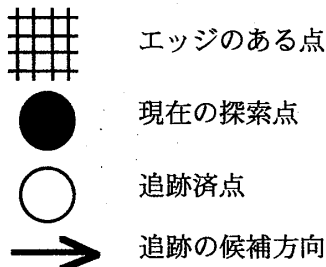
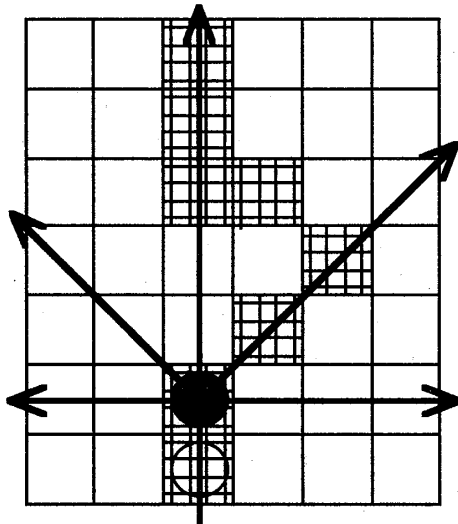


Fig. 12 Decision of tracing direction.

- (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 $C_d(i)$ は最大値の方向に決定する。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、微分値の最大をとる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のように微分値の大きい領域の幅が広い場合、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。

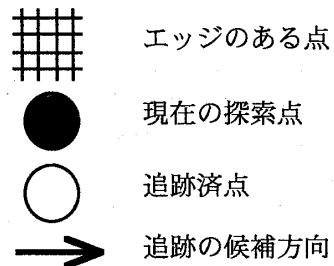
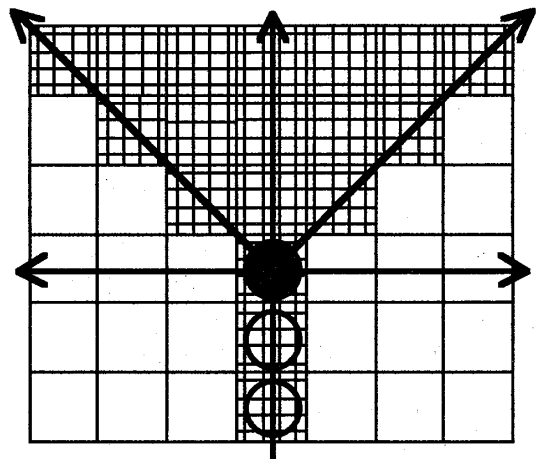


Fig. 13 A case of considerable width edge.

- (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)でも決定できない。このようなときには、3.2で作成した参照方向のデータを使用する。参照方向のデータの対応点に記録されている方向とその両隣の2方向の計3方向を候補とし、分解能を半分にした画像に候補の方向を適用し、(1)の処理を行って、最大値をとる方向を追跡方向とする。

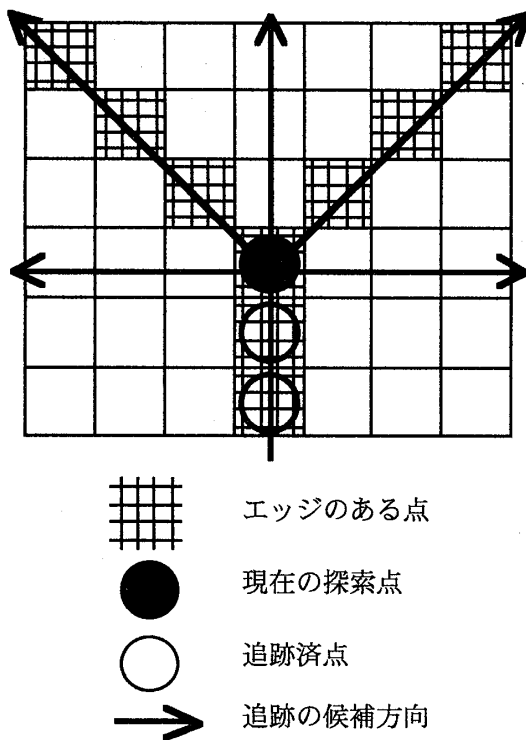


Fig. 14 A case of branched edge.

3.4 胃領域の輪郭抽出

3.3.2の処理を3.3.1で求めた追跡開始点から繰り返して、追跡開始点に戻るまで行う。こう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。背景に紛らわしい領域が存在する画像は、従来手法では正確な輪郭の抽出が困難であったが、提案手法では正確に抽出されることが確認できた。

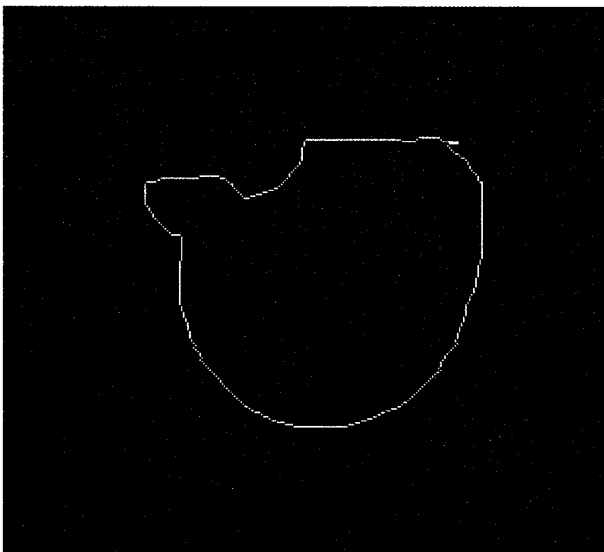


Fig. 15 Contour of stomach region.

4. 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、その参照と胃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。正確に輪郭を得るためには局所処理が必要となるが、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、局所だけでは正確に輪郭が決定できない。

本論文で提案した手法では、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、大域的な視野の輪郭決定を可能にしている。可能な部分だけで輪郭を正確に決定し、その精度で決定できない部分では分解能を下げ、大域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) 菅原、柳原、杉本：“ハフ変換および線形状性を利用した胸部X線像の主要陰影の辺縁抽出”、電子情報通信学会論文誌、Vol.J77-D-II, No.7, pp.1375-1380 (1994)
- (2) 羽島：“胃X線像の自動読影”、電気学会誌、Vol. 98, No.11, pp.1048-1052 (1978)
- (3) 喜多：“柔軟性のある形状モデルに基づく複数種の胃X線画像の統合解析に関する研究”、電子技術総合研究所研究報告、第945号 (1992)
- (4) 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”、電子情報通信学会論文誌、Vol. J68-D, No.3, pp.269-276 (1985)
- (5) 中村：“1次照合法による胃X線バリウム充満像のエッジ検出”、電子通信学会論文誌、Vol. J66-D, No.3, pp.235-242 (1983)
- (6) 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)
- (7) 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)
- (8) 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(D)、Vol. J63-D, No.4, pp.349-356 (1980)