

胃 X 線二重造影からの胃輪郭線追跡

上井弘樹, 山田耕久, 白石達也, 福島重廣
九州工業大学 情報工学部 制御システム工学科

あらまし

胃X線二重造影のコンピュータ支援診断のための画像理解の一環として胃輪郭線抽出方法について検討した。胃輪郭線は形態が多様なためモデルを設定することが難しい。そこで、試行錯誤法による探索を試みた。まず、多方向の差分マスクをもちいて線強調画像をもとめ、さらに2値化、細線化、穴埋め、雑音除去を施し、これを線追跡の案内画像として線強調画像と併用して輪郭線を抽出した。

和文キーワード: 胃X線二重造影, 輪郭線抽出, 多方向差分, 線強調.

Delineation of the Stomach from a Double-Contrast Radiogram by Line-Tracking

Hiroki Uwai, Yasuhisa Yamada, Tatsuya Shiraiishi, and Shigehiro Fukushima
Fac. Comp. Sci. Sys. Eng., Kyushu. Inst. Tech.

Abstract

Delineation of the stomach from a double-contrast radiogram has been studied for image understanding for computer-aided diagnosis. Multi-directional difference masks were applied for line enhancement. The line-enhanced image was further processed by binarization, thinning, hole filling, and noise removal to obtain a pilot image. The outline of the stomach was tracked mainly on the pilot image. But if the tracking loses its way, then the line-enhanced image was searched for its ridges.

英文 keywords: Double-contrast radiogram, Delineation, Multi-directional difference, Line-enhancement .

1 はじめに

胃疾患の診断には胃X線二重造影像が胃壁の様子を描写し、胃瘍や潰瘍による病変部を検出するためのもっとも重要な画像であることから有用である。そして、コンピュータをもちいてその画像診断を支援していくことは人工知能応用の事例としても、また、医療上でも興味深い。その場合、直接的目標は癌や潰瘍による病変部を検出することである。しかし、画像の解析がかなりの程度自動的に進められ、また、病変抽出の精度が向上するためには、胃領域、造影剤(いわゆるバリウム)溜り領域、小区構造領域といったさまざまな特徴領域を一つ一つ識別し、また、脊椎や腸のような背景臓器を識別することによって、画像を解釈するということが重要になってくる。そのためにはいろいろなソフトウェア部品(エージェント)を開発していく必要がある。

本研究では、胃領域の抽出のための画像処理の方式を開発した。胃は形態が多様なためモデルを設定することが難しい。そこで、試行錯誤による胃輪郭線探索を試みた。まず、多方向の差分マスクをもちいて線強調画像をもとめ、さらに2値化、細線化、穴埋め、雑音除去を施し、これを線追跡の案内画像として線強調画像と併用して輪郭線を抽出した。

2 前処理

2.1 画像データの規格化

原画像データの濃淡値とサイズはデータごとに異なり、さらに、1つの画像におけるデータ量がきわめて大きい。したがって、後続のデータ処理のために、濃淡値もサイズも共に統一したほうが望ましい。そこで、濃淡値の最小値から最大値までの範囲を0~255階調(8ビット)に変換して、サイズを512×512サイズに収まるように縮小した。

3 線強調

3.1 線要素の強調法

輪郭線抽出のときに必要な線要素を抽出する。通常、縁・線の強調を行なう場合、その縁・線の方向や濃淡のパターンに適した差分マスクを用いてマスク演算を行なう。しかし、胃の画像では、縁・線の方向や濃淡パターンが一定でないため、一方向の差分マスクですべての線要素を強調することはできない。そこで、本研究では、回転差分マスクを導入することによって、線要素の強調を行なった。

3.1.1 回転差分マスク

原画像データの濃淡パターンは、図1のようになっている。このような濃淡パターンをもつ線要素を強調する基準マスクを図2のように設定した。この基準マスクを多方向に回転させて線強調を行なうための回転差分マスクを作成する。

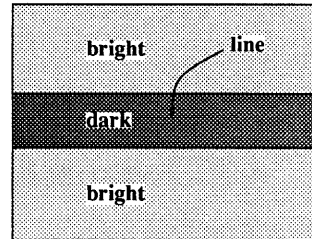


図1 線要素における濃淡パターン

1	1	1	1	1
0	0	0	0	0
-2	-2	-2	-2	-2
0	0	0	0	0
1	1	1	1	1

図2 基準マスク

3.2 円のテストパターンによる実験

線強調とは、単に強調された線要素の濃淡値が上がるというだけではなく、必要な線要素の濃淡値が方向によらず一様(分散が小さい)に強調されていることが、後続の処理を行なう上で重要である。そこであらゆる方向の線要素をもっている円をテストパターンとして、回転差分マスクを作用させて回転差分マスクがどのような性質を実際にもつか調べた。

3.2.1 円のテストパターンの作成

図3に示すようなサイズ200×200の画像内、中心座標が(99,99)、中心半径が80.5、円周の太さがそれぞれ2,3,5の3通りの円パターンを作成する。これをデジタル画像上であるべく精度よく行なうために、つぎのような手順を用いた。

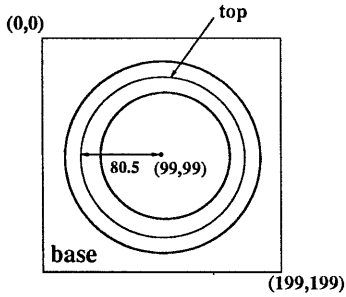


図3 円のテストパターン

まず X, Y 方向, 各画素に均一な格子を決めここで垂直に交わった点を格子点とする。この格子点の座標を左上から右下にむかってテレビジョン走査を行ない, 円周の太さの範囲に収まる格子点を各画素ごとにカウントした。こうして得られた各画素の格子点の数より図4に示すような base から top の範囲内における濃淡値を決定した。(base, top の基準値は, 線強調画像を得たとき, 各画素の濃淡値が 255 を越えないように決めた。本研究では, base=100, top=78 とした。)

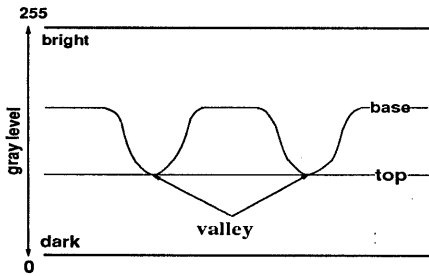


図4 線の濃淡パターン

3.2.2 格子数の決定

円周の太さ 2, 3, 5 に対し, 1 画素幅当たりの格子の本数を, 4 から 50 まで変えてテストパターンを準備した。そして格子数の差が 1 である組み合わせ (4 と 5, 5 と 6, ..., 48 と 49, 49 と 50) より各画素の濃淡値を比較しその 2 乗偏差和を図面表示した (図 5)

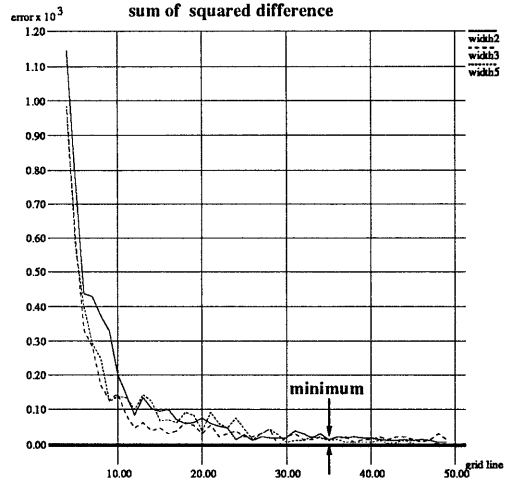


図5 2乗偏差和

同図より 3 種類のテストパターンについて, 各格子を見たとき, 2 乗偏差の範囲が最も小さいのは, 格子数 35 と 36 の組み合わせであった。そこで, 本研究では格子数 35 のときの円のテストパターンを採用した。

3.2.3 線要素の評価

円周の太さ 2, 3, 5 の円のテストパターンについて, 基準マスクを 0° から 180° まで 20° 間隔で回転させた, 9 方向回転差分マスクを作成し, 線強調を行なった。

次に線強調画像において, 図6に示すような中心座標 (99, 99) から半径 80.5 の距離に存在する画素を必要線要素とした。この必要線要素について画素 (99, 18) を始点とし中心座標 (99, 99) を基準に時計回りに 360° 回転した時の強調値をグラフ表示した (図 7, 図 8, 図 9)。またスカラー値によって比較するために, 平均, 分散, 平均値からの最大変位を調べた。

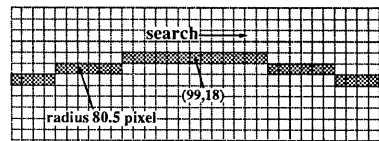


図6 デジタル画像における円の曲線

図9を図7, 図8と比較すると, 強調値が極端に低いことが分かる。これは, 円周の太さが基準マスクのサイズとほぼ同じため, 半径付近よりも円周の縁部分が強調されているためである。つまり基準マスクは線幅 3 までの直線要素を強調することが可能

である。次に強調値の一様化のために、円周の太さが2のテストパターンについて、基準マスクを0°から180°まで10°間隔に回転させた18方向回転差分マスクと、0°から175°まで5°間隔に回転させた36方向回転差分マスクを作成し、上記と同様に線強調を行ないその強調値を調べた。その結果を図10、図11に示す。図11は図10に比べて、平均が3上がり、また、分散を47だけ小さく抑えることができたが、グラフの形状に大きな変化はなかった。

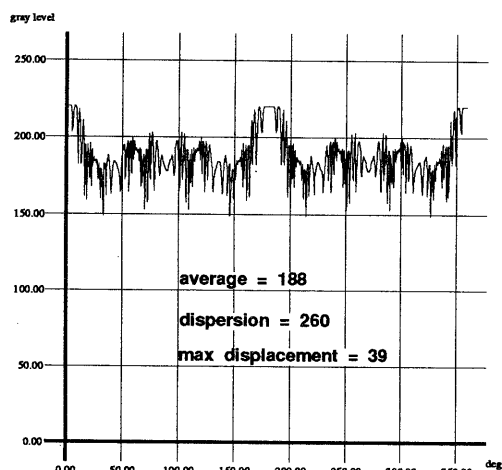


図7 太さ2のときの強調値分布(9方向)

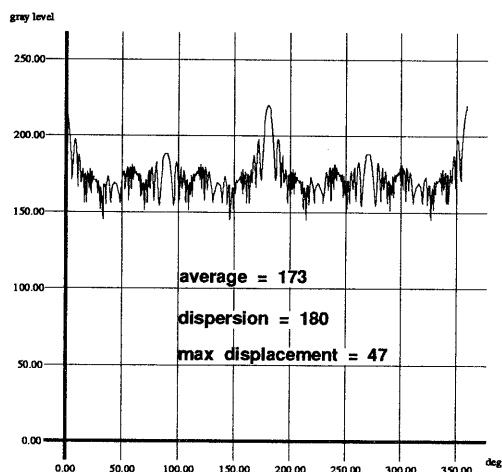


図8 太さ3のときの強調値分布(9方向)

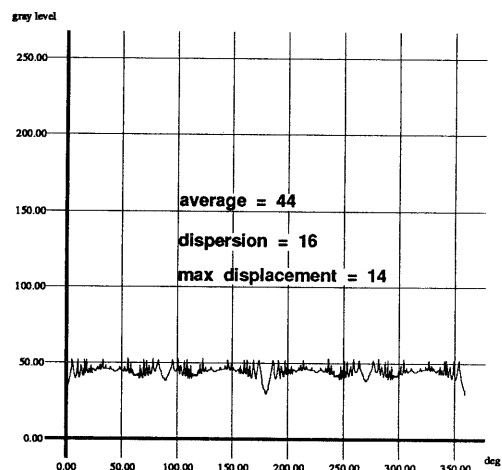


図9 太さ5のときの強調値分布(9方向)

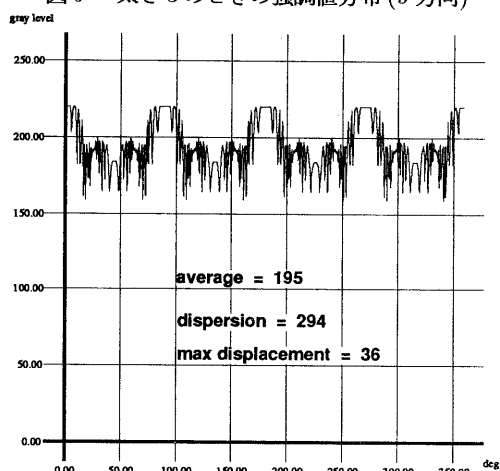


図10 太さ2のときの強調値分布(18方向)

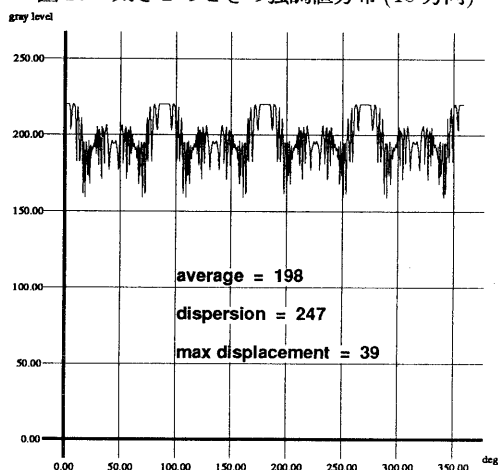


図11 太さ2のときの強調値分布(36方向)

3.2.4 回転差分マスクの決定

円のテストパターンを用いて回転差分マスクの評価を行なった。その結果、 0° 方向(基準マスク)と 90° 方向の回転差分マスクは他の回転差分マスクに比べて強調できる線要素の幅が広く、その強調値も高いことが分かった。そこで、線要素の強調値を一樣にするために、上記方向のマスクを避け、マスクは、基準マスクを $5^\circ \sim 175^\circ$ まで 10° おきに回転させて作成した差分マスクを採用した。図12に採用した回転差分マスクにより線強調された円テストパターンの強調値分布を示す。原画像に対しては、この回転差分マスクを適用し、線強調を行なった。

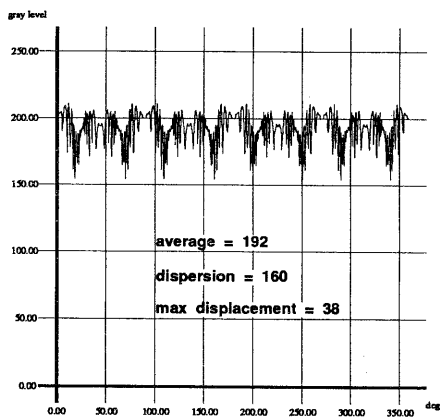


図12 太さ2のときの濃淡値分布

4 案内画像の作成

4.1 2値化

まず線強調画像に対して2値化処理を行なう。閾値の決定方法としてPタイル法を用いた。これは一定面積中で背景の占める面積と2値化により取り出したい図の占める面積との比率Pがほぼ一定の場合に有効な方法である。本研究では累積分布の比率Pを決める際、次式を用いた。

$$P = \frac{2(M+N)}{MN} \times \alpha \quad (1)$$

ここで M, N は線強調画像内にある実際の画像の縦、横サイズで α はパラメータを表す。式(1)は、 $M \times N$ サイズの画像内にある輪郭線の長さはその画像の周りの長さ $2(M+N)$ 程度であると考え、これに α の値を変化させることで幅のある輪郭線や、輪郭線に連結している線要素をも含めて強調するための比率 p を決定する式である。本研究では実験によって $\alpha=17$ とし、これより閾値 t を決定した。

4.2 細線化

画像に対して細線化処理を行なった。これは輪郭線追跡において、幅をもった線要素が苦手であるため、幅1の中心線を取り出すことが必要となるからである。本研究では、Hilditchの細線化手法^[7]を用いた。

4.3 穴埋め

細線画像に対して穴埋め処理を行なった。これにより線要素の分岐点の数が減り、輪郭線追跡において誤って輪郭線の内側(胃の領域内部)へ追跡する可能性を減らしている。

濃淡値0の画像に対して4連結ラベリング処理を行ない、大きさがある値より小さい連結成分を穴埋めの対象とした。こうして得られた画像を穴埋め画像と呼ぶ。本研究では大きさが2000画素以下の領域をその対象とした。

4.4 枠線と非対象成分の除去

輪郭線追跡を円滑に行なうため、穴埋め画像内に存在する枠線および長さが比較的短い孤立線要素を除去する。

4.4.1 枠線の除去

原画像から作成される線強調画像では、原画像の余白の境界部分が強調され画像枠となる線要素が現れている。この線要素があると紛らわしいので、あらかじめ次式によってこれを除去しておく。

$$f'(x, y) = \begin{cases} f(x, y), & x < M, y < N \\ 0, & x \geq M, y \geq N \end{cases} \quad (2)$$

ここで f' は画像枠を除去された穴埋め画像、 f は画像枠を除去される以前の穴埋め画像、 M, N は原画像中の実際の画像の縦、横サイズである。

4.4.2 非対象成分の除去

枠線を除去した穴埋め画像、濃淡値255の画素に対し8連結ラベリング処理を行なった。ラベリング処理により一定面積以下の連結成分や孤立点、孤立線要素を非対象成分として除去した。これにより穴埋め画像中で輪郭線追跡の際に追跡の非対象成分が除去される。こうして得られた画像を案内画像と呼ぶ。本研究では面積が100画素以下の領域を除去対象とした。

5 輪郭線追跡

輪郭線追跡は、案内画像と線強調画像、2種類の画像を用いて行なう。輪郭線が画像枠付近で途切れている場合でも、条件付きではあるが、複数箇所許容し、追跡を可能とした。

以下では、アルゴリズムとして追跡開始点の決定、案内画像と、線強調画像における追跡方法、画像枠にのびる輪郭線の扱いについて述べていく。

5.1 追跡開始点の決定

追跡開始点は、輪郭線を追跡する上で胃の境界領域に存在しなければならない。案内画像の特徴をみると、胃輪郭線の内側に穴埋め処理が施されている。そこで、穴埋め領域を探し、その境界箇所を追跡開始点とした。

まず案内画像において、胃の中心付近を画像の最下画素を始点に列方向に探索する。最初に濃淡値255の画素を探索したとき、さらに列方向の濃淡値を調べ、一定距離に同一濃淡値があったとき、この箇所を追跡開始点とした。またこの条件満たさない場合は、次の行画素に移り条件を満たすまで探索を行なう。

5.2 案内画像における追跡方法

探索は以下のようにして行なう。案内画像上において、図13(a)のように現在追跡中の画素 $P(x, y)$ を現追跡画素とする。現追跡画素を中心に8隣接近傍の画素 f_0, \dots, f_7 をこの順に探索する。次の追跡画素となる条件は、探索対象画素 f_k の濃淡値が0でなく、かつ、一つ前の探索対象画素 f_{k-1} の濃淡値が0の場合である。ただしこの条件が満たされる場合であっても、すでに追跡済みの画素は、追跡画素にはしない。図13(b)を例にとると一つ前の追跡画素 f_0 を始点に反時計回りに探索が行なわれる。この場合、 f_4 が次の追跡画素になる。

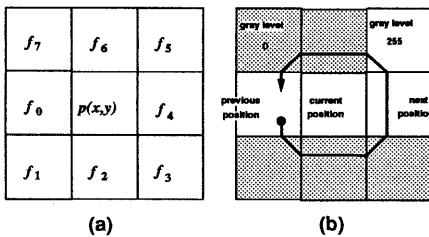


図13 案内画像における探索法

5.3 線強調画像への追跡切りかえ

次の追跡画素が存在しない場合は、直前の分岐点までの距離を調べ、一定距離より短い場合は分岐点まで戻って探索を再開する。そうでなければこれまで追跡してきた経路を輪郭線とし、それより先は線強調画像において探索を続ける。(図14)

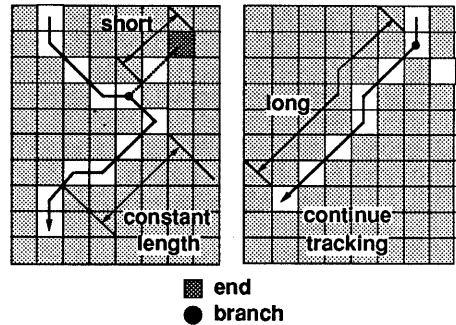


図14 線強調画像への追跡切りかえ

5.4 線強調画像における追跡方法

線要素強調画像における追跡は、図15に示されるように濃淡値の高い画素を尾根線探索の形で追跡する。

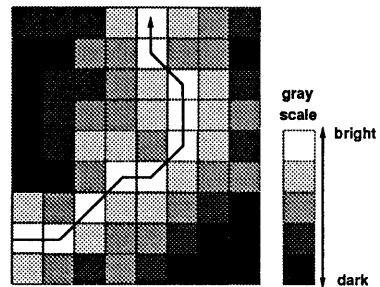


図15 線強調画像における追跡

この場合の探索も案内画像と同様である。現追跡画素 $p(x, y)$ を中心に8隣接近傍の画素 f_0, \dots, f_7 を設定し一つ前の追跡画素を始点に反時計回りに探索を行なう。次の追跡画素となる条件は、追跡対象画素の濃淡値 f_k がそれに前後する画素の濃淡値より高い時、つまり $f_k > f_{k-1}$ かつ $f_k > f_{k+1}$ が成立する場合である。ただし、案内画像による追跡同様、すでに追跡済みの画素は次の追跡画素とはしない。

5.5 案内画像への復帰

線強調画像における尾根部の追跡は、案内画像による追跡の補佐的な役割をはたしている。そこで尾根部の追跡が行なわれている時は、案内画像の濃淡値も同時に参照する。案内画像において現追跡画素の濃淡値が0でない場合には案内画像による追跡に戻す。

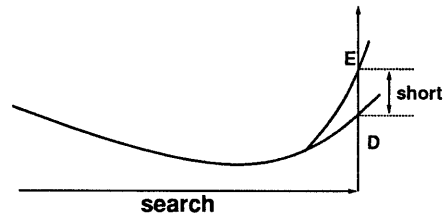


図17 画像枠付近で分岐する輪郭線

5.6 画像枠にのびる輪郭線の扱い

胃 X 線画像において胃が完全に原画像内に収まっておらず、そのため輪郭線が画像枠付近で切れている場合がある。このようなときでも、輪郭線追跡を以下のようにして続行する。

図 16(a) のような案内画像において、線が画像枠からはみ出す点を A, B, C とする。このはみ出し点は画像枠に接触しているとは限らないので画像枠から余裕をもたせて探す。図 16(b) を例にとると案内画像内の左下方を始点に反時計回りに探索し、濃淡値が0でない画素をはみ出し点 A', B', C' として記憶する。実際の輪郭線追跡でははみ出し点であったときは、次のはみ出し点に移動して追跡を続ける。もし、この追跡が途中で続行不可能となった場合には、さらに次のはみ出し点に移動し追跡を再開する。図 16(b) では点 B', C' がこれに該当する。

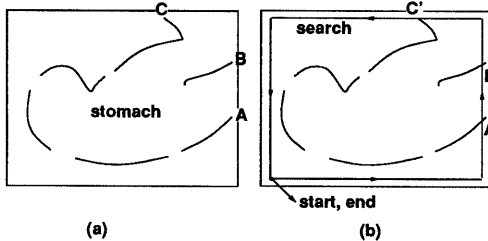


図16 画像枠へのびる輪郭線とその探索方法

また画像枠付近で分岐している2点のはみ出し点のうち一方は、輪郭線追跡の対象とならない(図17)。そこではみ出し点を探索する際、前のはみ出し点との距離が一定値より短い場合は、はみ出し点と認めない。図17では、点Eは、はみ出し点の対象とならない。これは輪郭線追跡が反時計回りに行なわれており、点Dが先にはみ出し点として認識されるためである。

6 実験結果と考察

以上に述べてきた方式を画像18例に適用した。不鮮明な画像2例を除く16例のうち、13例についてはほぼ所期の輪郭線を抽出することができた。輪郭線抽出の結果の数例を原画像に重畳して図18～図22に示す。

今回開発した方法では小さい雑音には強いが背骨のように比較的大きな雑音の影響を受けやすいことがわかった。今後は大きな構造的雑音にも影響を受けにくい大局的な拘束を導入することが必要と考えている。

謝辞

試料の画像データは山田達哉元国立がんセンター放射線診断部部長ならびに名古屋大学工学部の鳥脇純一郎教授のご好意により使用させていただいた。

参考文献

- [1] 市川平三郎, 山田達哉, 土井偉誉: "胃 X 線診断の実際" 文光堂 (1964).
- [2] 中村鎮雄, 西村英三, 吉本千禎: "胃 X 線画像データベースを利用した胃 X 線写真の画像計測と処理", 第9回画像工学コンファレンス論文集, pp.91-94 (1978).
- [3] 羽鳥光俊: "X 線写真の辺縁抽出", 情報処理, 20, 12, pp.1089-1095 (1979).
- [4] 中村鎮雄, 板垣秀信: "胃 X 線二重造影像に対する胃部領域抽出の一方法", 信学論 (D), J64-D, 11, pp.1045-1052 (1981).
- [5] 中村鎮雄, 宮崎修: "線の識別と大局的理論を考慮した胃 X 線二重造影像の胃部抽出", 情報処理, 24, 2, pp.165-174 (1983).
- [6] 喜多泰代: "立位充満正面像からの予測形を利用する2重造影正面像の胃領域輪郭抽出", 信学論 (D-II), J74-D-II, 7, pp.873-886 (1991).

[7] 長谷川純一, 筒井武敏, 鳥脇純一郎: "胃 X 線二重造影像におけるひだ集中を伴うがん病変部の自動検出", 信学論 (D-II), j73-D-II, 4, pp.661-669 (1990).

[8] A. Rozenfeld and A. Kak: "Digital picture Processing", 2nd ed., Vol.2, Chap.9, pp.10-54, Academic Press : Orlando (1982).

[9] J. Hilditch: "Linear skeletons from square cupboards", Machine Intelligence 4, B. Meltzer and D. Michie, eds., pp.403-420, Edinburgh Univ. Press (1969).



図 13

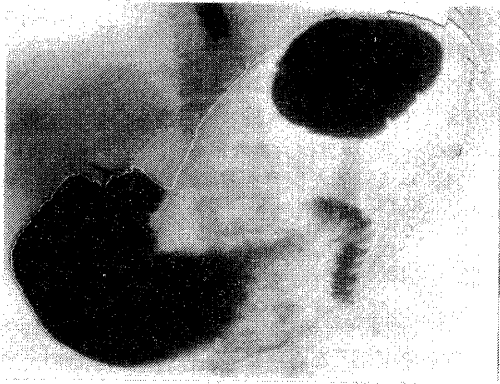


図 11

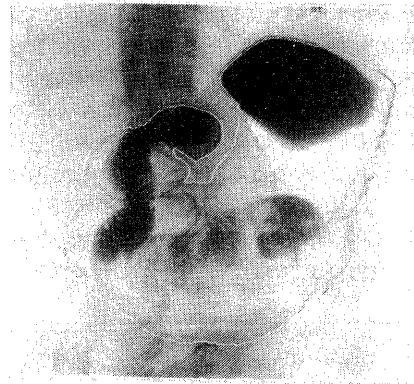


図 14

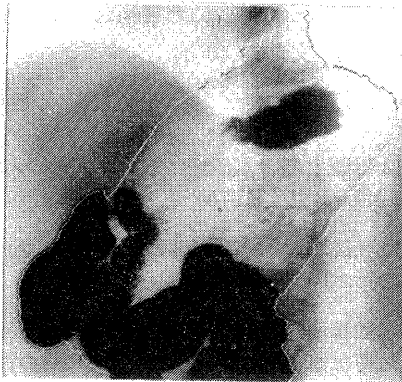


図 12

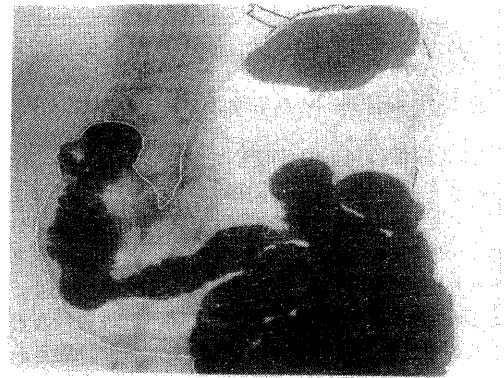


図 15