

雑音を伴う連続濃度図形から曲線を識別する方法*

鳥 脇 純一郎** 小柳津 育 郎*** 福 村 晃 夫**

Abstract

A method for line extraction in noisy photographs is presented. The method consists of the following four steps; (I) As a model of input patterns, it is assumed that

input pattern = lines of uniform density

+ homogeneous Gaussian noise.

Then the state of each sample point in the input pattern.....“on a line” or “not”.....is estimated by the likelihood ratio estimated from the density distribution in the neighborhood of the point. (II) Two sample points decided as “on a line” are connected if they are adjacent, thus giving connected components. (III) In each connected components, a line being most likely “on a line” is determined. The likelihood is again used here. (IV) The results are corrected according to given rules, if necessary.

Three examples of applications, (i) line extraction in artificial noisy figures (two lines of uniform density + normal random numbers), (ii) edge detection of rib images in chest X-ray films, (iii) artificial binary patterns (circle + uniformly distributed noise) are shown with considerably successful results.

1. ま え が き

情報処理の分野においては、一般的な写真で与えられる情報（たとえば、医学用X線写真、顕微鏡写真など）を計算機で処理したいという要求が少なくない。また、それを実際に試みた例もいくつか報告されている^{1)~3)}。この種の問題のむずかしさの一つは、処理すべき画像の中に異なった性質をもつ成分が混在していることであり、そのため、きわめて複雑なパターン認識システムを開発しなくてはならない。このようなシステムの実現を可能にするパターン認識の手法は、現在確立されてはいないため、まず個々の成分図形を処理する方法を開発し、それに基づいて構成されたいくつかのサブシステムを結合するという方法が有用であろう。本文では、そのような目的に用いる手法の一つとして、雑音を含む連続濃度図形**** から曲線を抽出

する一方法について述べる。

本文の方法では、処理過程の各段階を、与えられた図形の局所的な観測に基づく処理と、全体的な観測に基づく処理の2種類に分け、この両者を交互に用いて逐次的に処理をすすめていく。そして、その最初の段階では、画面上にとられた各標本点の状態を推定するための尤度を求め、その値を保存する。本文の考察では入力パターンに対する一つの理論模型を仮定することによって、この尤度を求める段階は雑音の存在を積極的に考慮した統計的推定の問題として定式化される。第2段以後では、種々の論理操作を行なうが、その内容を定める指針として上記の尤度の値が用いられる。この点で、たとえば入力図形の濃度値を直接用いる方法⁴⁾とか、2値パターンに対する、いわゆるSkeletonを求めめる方法⁵⁾などの従来の方法とは異なっている。

以下、2.において入力パターンの模型および表現法について、3.で識別方法について述べる。4.では応用例として胸部X線写真の処理への応用などについて述べる。

* A Method for Line Extraction in Noisy Photographs, by
鳥 脇 純一郎 Toriwaki, Ikuro Oyaizu and Teruo Fukumura
(Faculty of Engineering, Nagoya University).

** 名古屋大学・工学部

*** 現在 日本電信電話公社・電気通信研究所

**** 2値パターンとは異なり、濃度が連続変数で近似できる程度に多くの値をとりうる図形を意味する。

2. 入力パターンの模型および表現法

入力パターンの理論模型として、

入力パターン＝一様濃度の曲線*

＋一様なガウス雑音 (1)

で表わされるものを考える。ここで、一様とは画面全体にわたって同一濃度、あるいは同一の確率的性質に従うことを意味する。曲線の濃度、形に関する情報、雑音の平均値、分散に関する情報についてはとくに制限をつけない。もちろん、それらの情報が皆無では具体的な識別の実行はできないが、それらの情報の内容は識別対象となる特定の種類のパターンに強く依存するため、一般的な議論は困難である。また、雑音の性質の個々の場合に関する詳しい議論は別の機会にゆずり、本文では概略を述べるにとどめる。

つぎに、本文では、入力パターンは画面上に適当な間隔でとられた標本点 (x_p, y_q) , $p=1, 2, \dots, M_r$, $q=1, 2, \dots, M_r$, における濃度値の集合として与えられるとして、これを M_r 行、 M_r 列の行列で表わす。たとえば、パターン F を表わす行列 F の要素 f_{pq} は標本点 (x_p, y_q) の濃度を表わす。また、とくに断らない限り、番号 p, q は左から右および上から下へ向って順につけられているとする。

3. 曲線識別の方法

3.1 識別手順の概要

識別方法全体は以下の手順に分けられる。

(1) 各標本点について、その点が識別すべき曲線の上にある (状態 S_1) か、そうでない (状態 S_0) かを、その点の近傍の標本点の濃度値から推定する (局所的情報の利用)。

(2) (1) で S_1 と推定された点のつくる、ある大きさ以上の連結部分**を抽出する。ここでは画面を (1) よりもかなり広い範囲にわたって観測する必要がある (大局的情報の利用)。

(3) (2) でえられた連結部分の各々について、その中にただ一つの曲線があるという前提で、曲線上にあるとみなされる標本点を定める。このときは、再び (1) の結果を利用する (局所的情報の利用)。

(4) (3) の結果、得られた曲線を全体的にみたうえで必要な修正を加える。このときは、識別

すべき曲線のもつ性質に関する事前の情報と (1) の結果を利用する。

上記手順から知られるように、ここでは、パターンは標本点の濃度値で表わされることを前提として、曲線を識別することはすべての標本点について、それが曲線上にあるか否かを判定することと等価であるという考え方をとっている。この場合、曲線濃度が一様でないと、識別方法じたいが標本点の座標の関数になるため複雑になり、(1) で考慮すべき状態数が増すこともありうる。雑音の一様性についても同様のことがいえる。

以下、各手順の内容について、現在われわれが用いている胸部 X 線写真処理システム (以下システム I と書く) の例を参照しつつ、やや詳しく説明する。

3.2 手順 (1) —— 標本点の状態の推定

まず、以下の記号を用いることにする。

P : 状態を推定しようとする標本点。

R : 点 P の近傍領域。

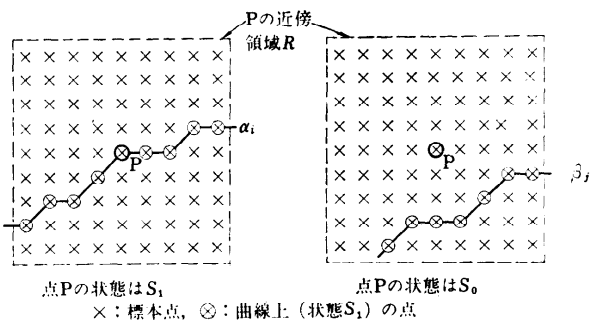
$\mathbf{v}=(v_1, v_2, \dots, v_N)$: R 内の標本点に通し番号 $1, 2, \dots, N$ をつけ、 i 番目の点の濃度値を v_i として、 $v_1, v_2, \dots, v_N$ の組をベクトル $\mathbf{v}$ で表わす。

$\{\alpha_i; i=1, 2, \dots, M_1\}$: 点 P が曲線上にある (状態 S_1) とし R 内に起こりうる曲線。当然 α_i は P を通る*。

$\{\beta_i; i=1, 2, \dots, M_0\}$: 点 P が曲線上ではない (状態 S_0) のとき R 内に起こりうる曲線。 β_i は P を通らない (第 1 図)。

$p(\mathbf{v}|S_1, \alpha_i)$: 点 P の状態が S_1 でかつ R 内に α_i があるときの濃度値ベクトル $\mathbf{v}$ の濃度。

$p(\mathbf{v}|S_0, \beta_i)$: $p(\mathbf{v}|S_1, \alpha_i)$ と同様。ただし、点 P の



点 P の状態は S_1

点 P の状態は S_0

x: 標本点, o: 曲線上 (状態 S_1) の点

第 1 図 点 P の状態、近傍領域および $\{\alpha_i\}, \{\beta_i\}$ の説明図

* ここでは、線幅やひろがりか意味をもたないという常識的な意味で用いる。

** 定義については 3.3 参照。

* 厳密に言えば、 R 内には P を通らない曲線も起こりうるが、ここでは R 内には曲線は 1 本しか存在しないと仮定してあつかう。

状態は S_0 .

K : 曲線の濃度.

μ, Σ : R 内の標本点の濃度値ベクトルに含まれる雑音成分の平均値ベクトルおよび共分散行列.

このとき, 2. の理論模型より,

$$p(\mathbf{v}|S_1, \alpha_i) = (2\pi)^{-N/2} \cdot |\Sigma|^{-1} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\mathbf{v} - \mathbf{m}_i) \Sigma^{-1} (\mathbf{v} - \mathbf{m}_i)' \right\} \quad (2)$$

$$p(\mathbf{v}|S_0, \beta_j) = (2\pi)^{-N/2} \cdot |\Sigma|^{-1} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\mathbf{v} - \mathbf{m}_0) \Sigma^{-1} (\mathbf{v} - \mathbf{m}_0)' \right\} \quad (3)$$

ただし, $|\Sigma|$ は Σ の行列式, Σ^{-1} は Σ の逆行列, ' はベクトルの転置を表す. ここで, $\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_0$ はそれぞれ K, α_i, μ および K, β_j, μ によって定まる. K, μ, Σ は問題によって既知の場合も未知の場合もある. $\{\alpha_i\}, \{\beta_j\}$ はシステム設計者が対象とする曲線に関する事前の情報に従って指定できるものである. 実験的には $\{\beta_j\}$ を省略して (したがって, 状態 S_0 のときは R 内に曲線がない場合のみを考える) も十分有効であることが知られている. また, μ が既知の場合は $\mu=0$ としても一般性は失われない.

このとき, 観測値 $\mathbf{v}$ に対して,

$$l = \sum_{i,j} [\ln p(\mathbf{v}|S_1, \alpha_i) - \ln p(\mathbf{v}|S_0, \beta_j)] \quad (4)^*$$

を求め, 適当なしきい値 T に対して,

$$\left. \begin{array}{l} l \geq T \rightarrow \text{点 } P \text{ は状態 } S_1 \\ l < T \rightarrow \text{点 } P \text{ は状態 } S_0 \end{array} \right\} \quad (5)$$

と判定する.

上述のように, K, μ, Σ などに関する事前の情報によって, 式(4), したがって識別システムの具体的な構造は異なってくる. それらの各場合に対する理論的考察については別に詳しい報告⁵⁻⁷⁾があるため本文では述べない. なお, 式(4)の l を求めることは, 多くの場合, R を窓として, 式(4)の右辺より定まる適当な重み関数をもつ二次元移動平均を求めること (あるいは空間フィルタを通すこと) に等価になる.

標本点 (x_p, y_p) に対する l の値を l_{pq} とおくと, 全画面に対する l_{pq} の値の組 $\{l_{pq}\}$ を以下の手順(2)~(4)で利用する. $\{l_{pq}\}$ を以下尤度パターン L と呼ぶ.

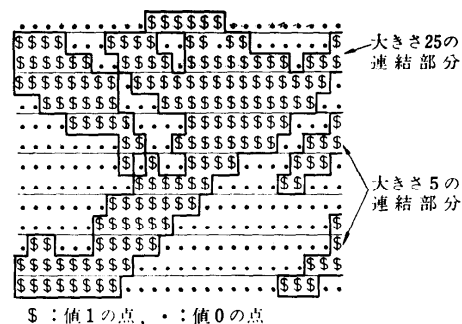
* $\sum_{i,j}$ は生起する可能性のあるすべての対 (α_i, β_j) についての和を表す.

3.3 手順(2)——連結部分の抽出

次式によって, 2 値パターン A をつくる.

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & (\text{点 } (x_i, y_j) \text{ が状態 } S_1) \\ 0 & (\text{点 } (x_i, y_j) \text{ が状態 } S_0) \end{cases} \quad (6)$$

つぎに, A から与えられた大きさ以上の連結部分を抽出する. ここで, 値 1 の点が 2 個縦横斜のいずれかに隣接しているとき, その 2 点は連続しているとみなし, さらに, 値 1 の点の集合で連続する点を順にたどることによって, その集合内の任意の点から任意の点へ移れるような集合を連結部分* と呼ぶ. また, 連結部分の水平または垂直方向の長さの最大値をこの連結部分の大きさという (第 2 図). えられた連結部分を



第 2 図 連結部分 (S -領域)

S -領域と呼び, S -領域内の標本点の値を 1, 他を 0 として得られる 2 値パターンを B と書く. この手順の目的は, 対象とする曲線の位置や長さの見当をつけることである (連結部分の大きさが曲線の長さに対応する). なお, 手順(1)の近傍領域 R の大きさは, ここでいう連結部分の大きさよりもかなり小さいのが普通である. また, 雑音の影響もあるため, 手順(1)だけから曲線を定めることはむずかしい**.

3.4 手順(3)——曲線上の点の決定

(2)で得られたパターン B の S -領域の各々について, その中に 1 本だけ曲線があるとして, 改めて曲線上にあると思われる点を求める. 具体的に, これを行なうアルゴリズムとしては, 対象とする曲線の性質に応じて種々の方法が考えられる. 以下に, われわれが実験に用いた二つの方法を述べる.

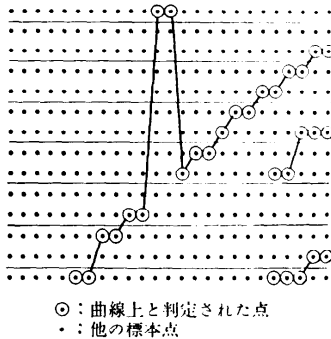
アルゴリズム I ある S -領域に属する点 (x_i, y_j) に対して, 尤度パターン L を用いて,

* 文献(8)における connected component と同じである.

** もちろん R を大きくとってもよいが, その場合は α_i, β_j の種類がほう大になって別の困難を生ずる.

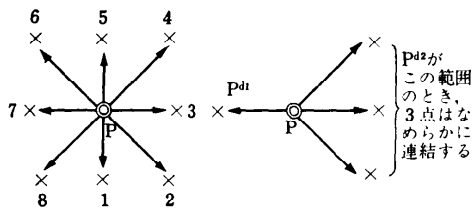
$$l_{ij}^* = \max_{j, (x_i, y_i) \in S} l_{ij} \quad (7)$$

なる点 $(x_i, y_i)^*$ をとって曲線上の点とする。したがって、 S -領域内の各列について1個の点ととられる(第3図)。



手順(3)ではアルゴリズムⅠを用いた。

第3図 第2図の連結部分から抽出された曲線



第4図 点の隣接となめらかな連続
(手順(3), アルゴリズムⅡ)

アルゴリズムⅡ 点Pのまわりの8個の点(第4図)はいずれも点Pに隣接するといひ、点Pから d_1 方向に隣接する点を P^{d_1} と書く。3点 $P^{d_1} P P^{d_2}$ は、

$$d_1 = (d_2 + 2)_{\text{mod } 8} + 1, \quad d_1 = (d_2 + 3)_{\text{mod } 8} + 1, \\ d_1 = (d_2 + 4)_{\text{mod } 8} + 1$$

のいずれかであるとき、なめらかに連続するという。このとき、以下のアルゴリズムによって S -領域内の曲線上の点を定める。

- (1) S -領域内で l_{pq} が最大となる点 P_0 を定める。
- (2) P_0 に隣接する点の中で l_{pq} の大きいほうから2点を選び、その方向を d_1, d_2 とする。 $P^{d_1} P P^{d_2}$ がなめらかに連続しているならば、 P_0 を出発点として(3)へ。そうでなければ P_0 以外の S -領域の点について(1)から繰り返す。このとき、 S -領域内に残りの点が無ければ、この S -領域は曲線を含まないとみなす。

す。

- (3) $P^{d_1} = P_0$, $d_2 = (d_1 + 3)_{\text{mod } 8} + 1$ とおく。 P^{d_2} 以外の P_0 の隣接点の中で l_{pq} が最大となる点を P^{d_1} とする。 $P^{d_1} P_0 P^{d_2}$ がなめらかに連続しているならば $d_1 = x_1$ とおいて(3)を繰り返す。そうでなければ(4)へ。

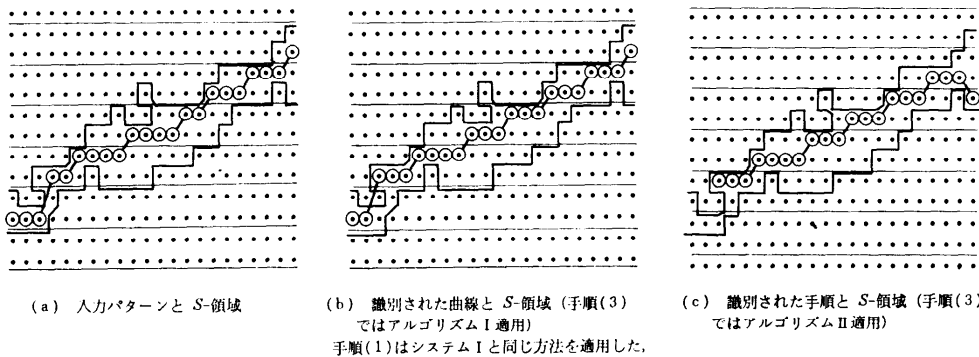
- (4) P^{d_2}, P^{d_1} 以外の P_0 の隣接点の中で l_{pq} が最大となる点を P^{d_1} とおく。 $P^{d_1} P_0 P^{d_2}$ がなめらかに連続していれば $d_1 = x_2$ とおいて(3)へ。そうでなければ $P^{d_2}, P^{d_1}, P^{d_2}$ 以外の P_0 の隣接点の中で l_{pq} が最大となる点 P^{d_1} をとり、 $P^{d_1} P_0 P^{d_2}$ がなめらかに連続していれば $d_1 = x_3$ とおいて(3)へ。そうでなければ(5)へ。

- (5) $P_0 = P^{d_1}$ とおき、 P^{d_1} の一つ前にとられた点を改めて P^{d_2} とおく。 P^{d_2} 以外の P_0 の隣接点の中で以前に(3), (4)で除かれなかった点について(3), (4)の操作を繰り返す。

- (6) (3)または(4)で l_{pq} が最大の点を選ぶとき、その点が S -領域内であるか否かは考慮していないため、 P_0 が S -領域外へ出ることが起こる。その場合にはそこで曲線は終端であるとみなして(2)へもどる。ただし、 d_1 と d_2 を逆にとり、これまでとは逆方向へ進むようにする。こうして再び終端に達したら手順(3)を終わる。また、 P_0 が出発点と一致したときは環状曲線であるとみなして、そこで手順を終わる。

システムⅠへの応用ではアルゴリズムⅠを用いて良好な結果をえている(4.1)。この応用例では、曲線の大部分は水平方向(x 軸方向)から $\pm 45^\circ$ 以内の方向にのびるなめらかな曲線であることが知られており、また、長い曲線の途中から短い枝が出ているような場合、それに影響されないことが要求されたため、このような方法を用いたものである。曲線が垂直方向近くにのびている場合も類似の方法が可能であるが、同一曲線上で方向が広範囲に変化する場合には用いにくい。アルゴリズムⅡならばこのような場合にも適用できる(4.2)。ただし、限られた規則で雑音によって生ずる不規則な変動のすべてを処理することはとうてい不可能であり、うまく処理できない場合が起こることは避けられない。一例として両者の適用例を第5図に示す*。同一の曲線に対して雑音のみを変化させた多くの実験の結果では、アルゴリズムⅡのほうは、 S -領域の幅が広がる場合、とくに S -領域の端付近で不

* 入力パターンの発生法については文献(5)参照。



第5図 曲線識別実験の一例 (手順(3)のアルゴリズムの比較)

規則な動作をする場合が多くなり、ときにはループ状の誤った曲線を検出する場合もある。ただし、識別された曲線のなめらかさは保証される。一方、アルゴリズム I では上述の欠点はまったく生じないが、ときには雑音のため不連続点を生じることもある。全般的には、この種の曲線についてはアルゴリズム I のほうがはるかに安定した動作を示すようである。なお、第5図のパターンでは、曲線濃度1に対して雑音の標準偏差0.6程度までは安定な識別が可能である。

なお、曲線が交さる場合とか、枝分れがあればすべての枝も求めたいような場合には、これらのアルゴリズムでは不十分であり、現在別の方法を検討中である。

また、手順(2)なしで、尤度パターン L から直接に適当なアルゴリズムによって曲線を抽出することも不可能ではないが、手順(2)を入れることによって処理は非常に簡単化される (たとえば、アルゴリズム I は手順(2)なしにはできない)。また、雑音による誤った識別を少なくするためにも手順(2)は有用である。ただし、2本の曲線はそれに対応する S -領域が分離されていなければ正しく識別されない。この点に関する能力は手順(1)にも関係してきまり、いわば識別システムの雑音に対する強さと分解能のかねあいになるが、詳細な定量的評価は今後の問題である。

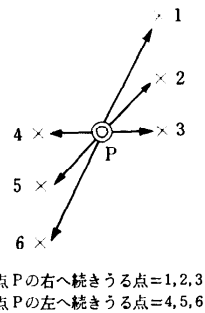
3.5 手順(4)——識別された曲線の修正

この手順も(3)と同様に扱う対象の性質によって種々のやり方が考えられる。一例としてわれわれがシステム I で用意したものを示す。

(a) 曲線全体を与えられたなめらかさの基準を満たすように修正する*。すなわち、

* 手順(3)ではアルゴリズム I が用いられることを前提としている。

(1) なめらかさの基準を第6図のように定めて、1本の曲線を左端から調べる。



第6図 手順(4)に用いられるなめらかさの基準

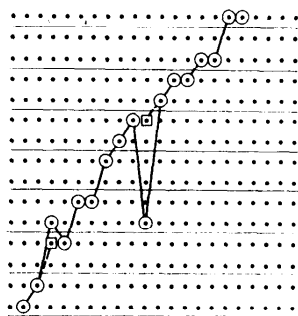
(2) 曲線上の点 (x_p, y_q) に対して、 (x_{p+1}, y_q) , (x_{p+1}, y_{q-1}) , (x_{p+1}, y_{q-2}) の3点内に曲線上の点があればそのまま次へ進む。第 $p+1$ 列における曲線上の点がそれ以外であれば(3)へ。

(3) パターン L を参照して $L_{p+1,q}$, $L_{p+1,q-1}$, $L_{p+1,q-2}$ の中の最大値に対応する点 (x_{p+1}, y_q^*) を選ぶ。

(4) 点 (x_{p+1}, y_q^*) に対して、 (x_{p+2}, y_q^*) , (x_{p+2}, y_{q^*-1}) , (x_{p+2}, y_{q^*-2}) の3点内の曲線上の点があれば、第 $p+1$ 列における曲線上の点を (x_{p+2}, y_{q^*}) になおしてつぎの列へ移り、(2)へ。そうでなければ(5)へ。

(5) この第 p 列で、この曲線のなめらかさの基準を満たす一つの部分が終わったとみなし、この部分の長さを記録してつぎの列から(2)以下の手順を繰り返す。

以上の手順を曲線の右端にいたるまで続ける。この結果、第7図のような修正は完了する。つづいて、この曲線上でなめらかさの基準を満たすもっとも長い部分の両端から左右へ、なめらかさの基準を満たす範囲



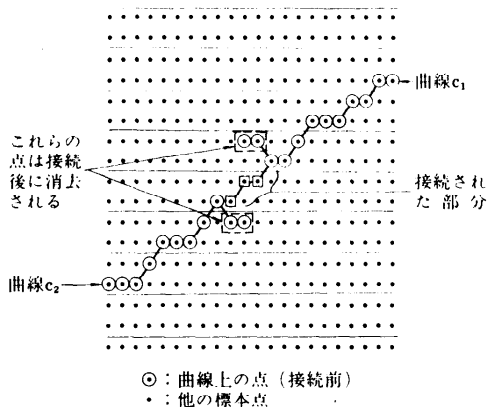
○ : 曲線上の点
 □ : 修正後の曲線上の点
 (修正部分のみ記入)
 ・ : 他の標本点

第7図 手順(4)における修正の一例

で L の最大値をとることによって延長していく。もちろん、このとき対応する S -領域からはみ出さないようにする*。 S -領域の端の列まで達すればこの手順は終わる。

(b) 相互位置関係があらかじめ定められた基準を満たす2本の曲線をなめらかに接続して1本の曲線を得る。すなわち、

(1) 2本の曲線 c_1, c_2 (第8図) の接近した端点をそれぞれ (x_{1p}, y_{1q}) , (x_{2p}, y_{2q}) とする。ただし、 c_1



第8図 手順(4)における曲線接続の一例

は右、 c_2 は左にのびており、上の点はそれぞれ c_1 の左端および c_2 の右端とする。このとき、 $y_{1q} - y_{2q} > L$ (L はあらかじめ与える) ならば接続しない。 $y_{1q} - y_{2q} \leq L$ ならば(2)へ。

(2) c_1, c_2 上でなめらかさの基準を満たす最長部

* 曲線上の点が S -領域にはいるか否かは確率的現象であるから、原理的には S -領域からはみ出す点があっても誤りではない。

分(基準は(a)と同じ)の端点をそれぞれ、 (x_{1p}', y_{1q}') , (x_{2p}', y_{2q}') とする。このとき、 (x_{1p}', y_{1q}') , (x_{1p}', y_{2q}') , (x_{2p}', y_{2q}') , (x_{2p}', y_{1q}') を頂点とする長方形領域内で各列ごとに L の値が最大となる点を取り、これを仮想の曲線 c_0 とする。 $c_1 c_0 c_2$ がなめらかさの基準を満たす1本の曲線となる*(このとき第7図のような修正は許される) ならば、これを接続して1本の曲線とみなす。そうでなければ接続はしない。

上述の処理を3.4の手順(3)で得られた曲線の各々に対して行なうことにより、与えられたなめらかさの基準を満たす曲線が得られる。ただし、きわめて簡単な規則である以上、現実の複雑な図形の中には都合の

1								1
2	1						1	2
2	3	2				2	3	2
2	3	4	4		4	4	3	2
1	1	3	7	15	7	3	1	1
2	3	4	4		4	4	3	2
2	3	2				2	3	2
2	1						1	2
1								1

空白部分は0である

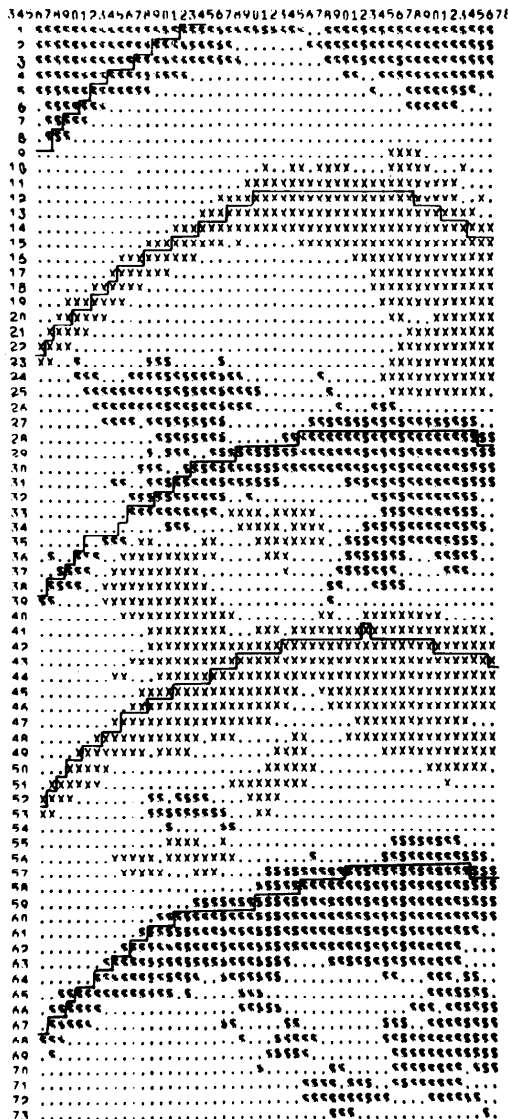
第9図 システムIの手順(1)に用いられる重み関数



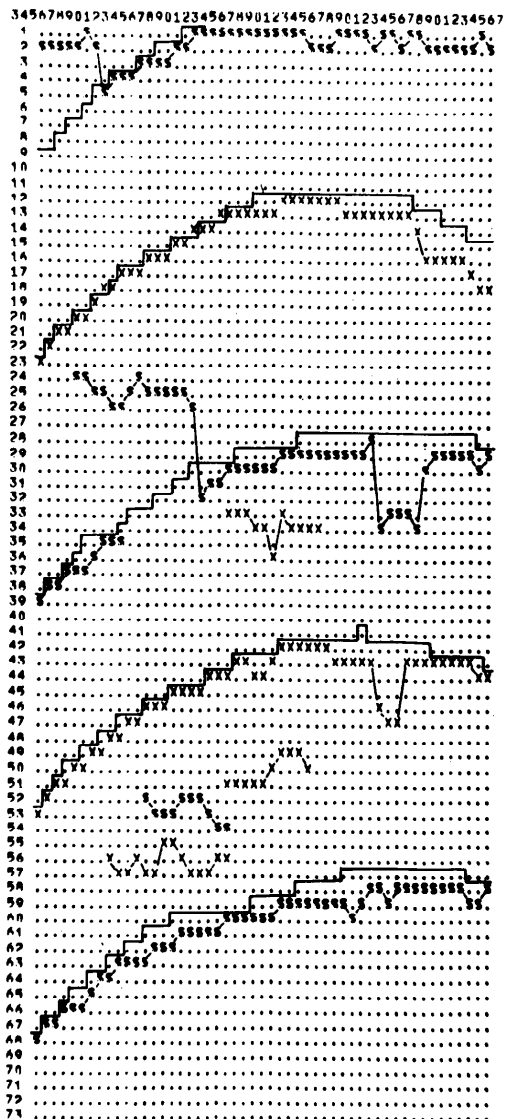
(a) 入力パターン (四角わりの部分)

第10図(1) 胸部X線写真の計算処理への応用例

* 厳密に言えば、 c_1, c_2 のなめらかさの基準を満たす最長部分と c_0 を接続したものである。



S: 肋骨像の上側境界線に対応する S-領域
 X: 同上下側境界線に対応する S-領域
 .: 他の標本点
 「」: 医師の判定に対する境界線
 (b) 手順(2)の結果 (大きさ 10 以上の S-領域)



S: 計算機の判定による肋骨上側境界線
 X: 同上下側境界線
 .: 他の標本点
 「」: 医師の判定による境界線
 (c) 手順(3)の結果 (アルゴリズム I を適用)

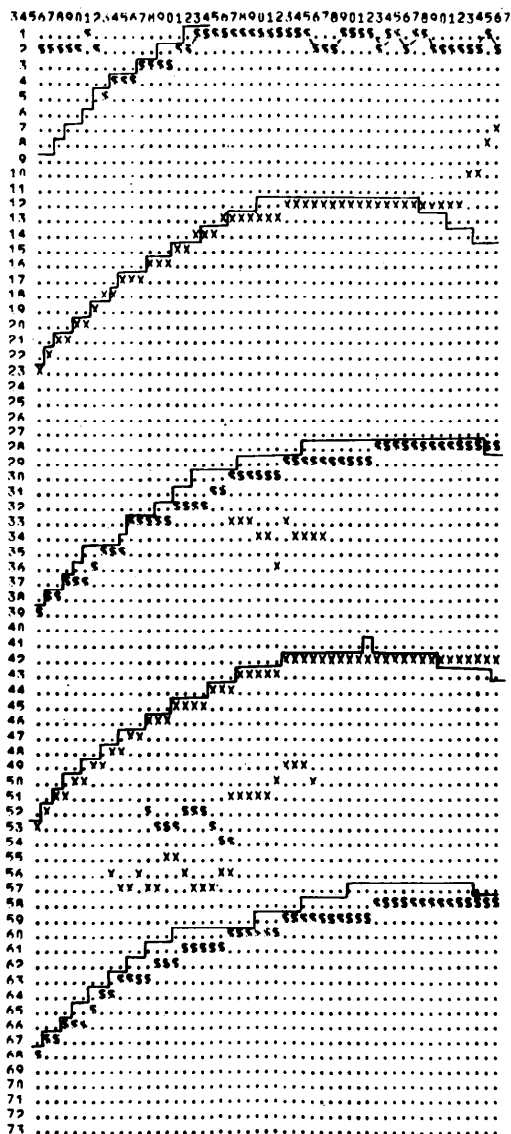
第 10 図(2) (注) (b)~(e)の図は、(a)と左右反対になっている

悪いものがありうるということは避けがたい。この点は確率的性質の成分があるかぎり、この種の論理的方法では避けることはできないものであろう。

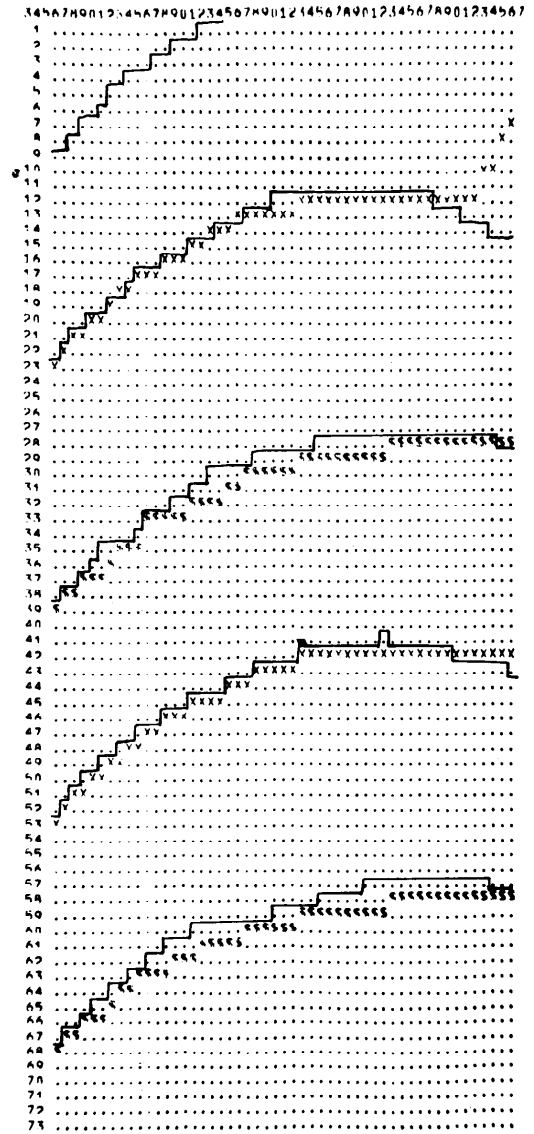
4. 応 用 例

4.1 胸部 X 線写真のパターン認識

胸部 X 線写真のパターン認識における最終的な識別対象は異常な陰影（ここでは、主として肺結核の病巣影）であるが、通常の X 線写真では肋骨像をまず識別して、それを考慮しつつ次段の処理へすすむ必要がある。ここでは、肋骨像の境界線を曲線図形とみて本文の方法を適用する（前章におけるシステム I）。



記号は(c)と同じ
(d) 手順(4)の結果



記号は(c)と同じ
(e) 肋骨境界線識別過程の最終結果

第 10 図(3)

まず、入力パターン $F=(f_{pq})$ に対して、

$$g_{p,q} = f_{p,q+1} - f_{p,q}$$

によって新しいパターン $G=(g_{p,q})$ をつくる。このとき、肋骨像の濃度を K とすれば、肋骨像の上側境界線は濃度 K 、下側境界線は $-K$ の曲線である。また、雑音の標準偏差は $0.55K$ くらいになる。

識別手順(1)の処理は、この例では、第9図の重み関数による二次元移動平均に等しい。手順(1)の理論

的解析の詳細は文献(5)、実験に関しては文献(9)、(10)にゆずり、識別結果の一例を第10図に示す。同図(e)は、どの曲線が一つの肋骨の上下の境界線であるかまで判定して、肋骨境界線識別過程の最終結果としたものであるが、判定法はやや特殊なものになるので省略する。手順(3)の結果で誤りを生ずるのは、異常陰影と重なるために境界線がきわめて不明確になる部分および肺組織、血管の不規則な像に影響された部

分であり、いずれも手順(4)で修正されて良好な識別結果を得ている。右端の部分に誤りがみられるのは、システムに右下がりの曲線进行处理する論理が用意されていないためである。なお、異常陰影識別も基本的には本文と同じ考え方にたった識別方法で行なうことができるが、詳細は別の報告にゆずる^{11,12)}。なお、計算機は東京大学大型計算機センタ HITAC 5020 E を用い、また同センタライブラリ D6/HC/DFTC, J6/TC/PLTA を利用した。

4.2 2値パターンへの適用

本文の方法は、2.で述べたようにあくまで連続濃度パターンを対象として考えられたものである。しかしながら、このことは手順(1)だけに関係しており、しかも、ある種の条件のもとでは、手順(1)は、可能なパターン $\{\alpha_i\}$ の平均パターンと与えられた入力パターンとの局所的なパターンマッチングを、各標本点において実行することと等価である^{5,12)}。手順(1)をこのようにとらえるならば、形式的には本文の方法を雑音を含む2値パターンに適用することも可能である。以下にそのような適用例の一つを示す。

まず、入力パターン V を以下の手順でつくる*。

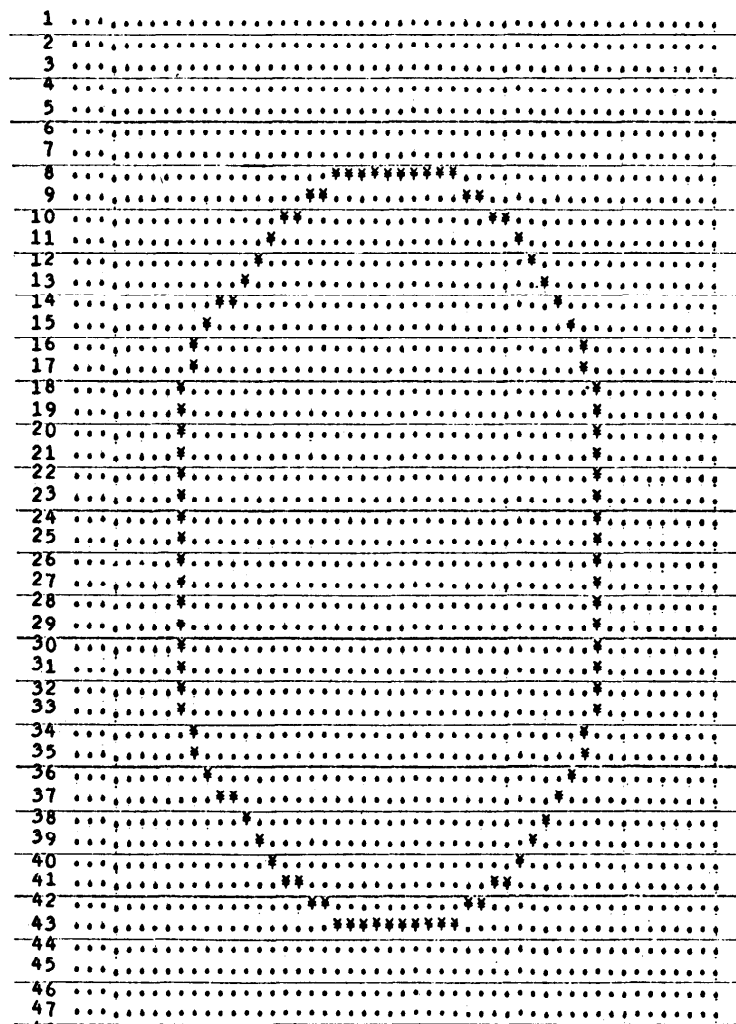
$$G = F + N$$

ただし、 F : 第11図の2値パターン、 $N = (n_{ij})$: n_{ij} は平均値 0、分散 σ^2 の独立な正規乱数

$$V = (v_{pq}), \quad v_{pq} = \begin{cases} 1 & (g_{pq} \geq 0.5) \\ 0 & (g_{pq} < 0.5) \end{cases}$$

この場合には、曲線はあらゆる方向の成分を含むため、手順(1)では、第9図の重み関数およびこれを

* このような発生法を用いたのは、連続濃度パターンから直接識別する場合と、2値パターンに変換後識別する場合の識別能力の比較検討を行なうという別の目的のためであるが、本文ではこの問題についてはふれない。



Y: 値1の標本点, ·: 値0の標本点

第11図 実験用2値パターン

90°回転した重み関数による加重和を求め、その大きいほうをとって尤度パターンに対応するパターン L をつくる。つぎの手順(2)は 3.3 と同様*、手順(3)ではアルゴリズムⅡを用い、手順(4)は適用しない。

実験結果の一例を第12図に示す。曲線濃度1に対して雑音の標準偏差 0.35 程度ならば安定した識別が行なわれる。雑音が大きくなると、手順(3)できわめて局所的な情報しか用いないという欠点の原因となって識別は不安定になる。なお、計算機は京都大学大型計算機センタ FACOM 230-60 を用いた。

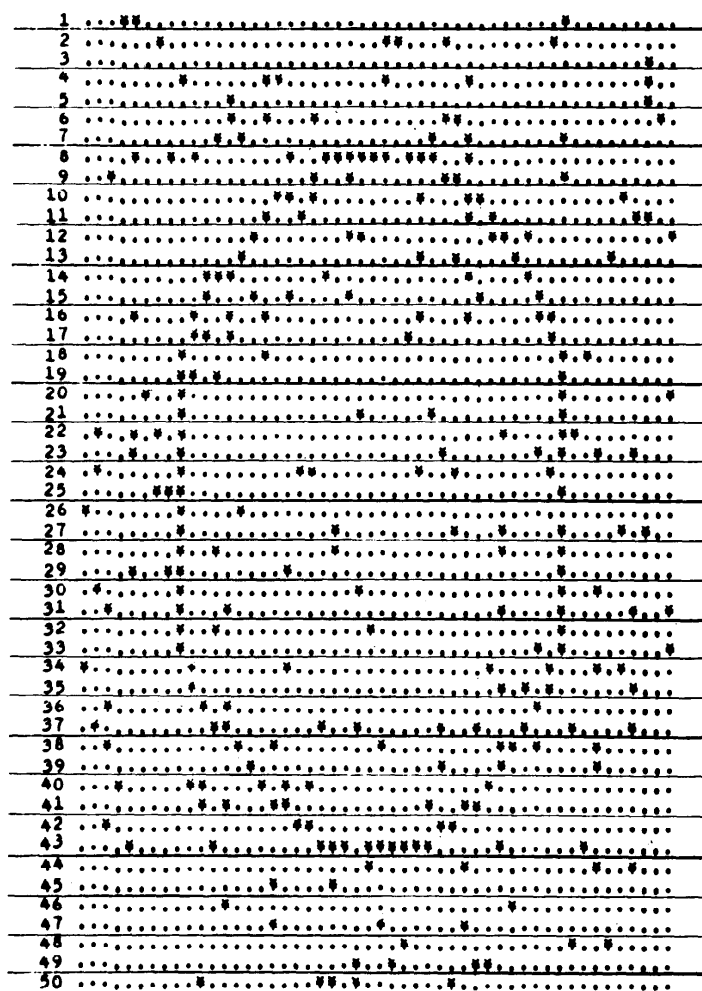
* ただし、しきい値 T の計算はやや複雑になる。

5. む す び

本文では雑音を含む連続濃度図形から曲線を識別する方法について述べた。この方法では、はじめに画面内の標本点の状態を推定するという観点から各標本点の尤度を求め、ついで、この値を参照しつつ種々の論理操作を行なうという点に特徴がある。この方法を導びくために入力パターンの理論模型が設定されている。このことによって、識別方法の導出および識別能力の評価における理論的解析が可能となるが、一方で

は、模型に正確には適合しない入力パターンに対してどの程度の能力があるかという問題が生じる。この点については実験的検討が重要であり、本文では三つの実験例が示されている。ここで3.4の例は模型に完全に適合する人工的なパターン、4.1の胸部X線写真は実際の画像で模型に比較的良好に適合する例、4.2の2値パターンは模型には適合しないパターンへの適用例であるが、いずれもかなりよい結果が得られている。

これらの実験からも知られるように、画面内の狭い範囲を観測して得られる局所的な情報のみから最終的



※: 値1の標本点 ・: 値0の標本点
 曲線 (円) の濃度 1, 雑音の平均値 0, 分散 0.344
 (a) 入力パターン

第 12 図(1) 2値パターンへの適用例 (円形の識別)

1	.....	.....
2	.....	.....
3	.....	.....
4	.....	.....
5	.....	.....
6	.....	.....
7	.....	.....
8	.....	.....
9	.....	.....
10	.....	.....
11	.....	.....
12	.....	.....
13	.....	.....
14	.....	.....
15	.....	.....
16	.....	.....
17	.....	.....
18	.....	.....
19	.....	.....
20	.....	.....
21	.....	.....
22	.....	.....
23	.....	.....
24	.....	.....
25	.....	.....
26	.....	.....
27	.....	.....
28	.....	.....
29	.....	.....
30	.....	.....
31	.....	.....
32	.....	.....
33	.....	.....
34	.....	.....
35	.....	.....
36	.....	.....
37	.....	.....
38	.....	.....
39	.....	.....
40	.....	.....
41	.....	.....
42	.....	.....

(b) 手順(2)の結果 (S-領域)

第 12 図 (2)

(c) 手順(3)の結果 (アルゴリズムIIを適用)

判定を行なう方法では、とくに雑音がある場合には高い識別能力は得られない。このような場合には、大局的観測から得られる情報も同時に活用することがきわめて重要になる。

本文の方法における手順(1)はかなり一般的な方法として確立できているが、手順(2)以後の議論は、一般性を見地からいえばまだ不十分であり、今後多くの検討が必要である。また、より複雑な曲線を処理できる方法、図形の複雑さと識別能力に関するなんらかの定量的評価を導くことなども検討される必要があろう。なお、本文の方法は曲線以外の図形にも拡張可能であり、いくつかの結果が得られているが、詳細は別の報告にゆずる¹²⁾。

終わりに、ごべんたつをいただく東北大学本多波雄教授、名古屋大学池谷和夫教授に深謝致します。また、日ごろ熱心なご討論をいただく研究室の皆さまに深謝いたします。

参考文献

- 1) R. S. Ledley: Automatic Pattern Recognition for Clinical Medicine, *PIEEE*, **57**, 11, p. 2017 (1969).
- 2) G. C. Cheng, R. S. Ledley, D. K. Pollock and A. Rosenfeld: Pictorial Pattern Recognition, Thompson (1968).
- 3) A. Rosenfeld: Picture Processing by Computer, Academic Press (1969).
- 4) 坂井, 長尾, 藤林, 木戸出: 濃淡図形からの線要素の抽出とパターン認識, *情報処理*, **10**, 3, p. 132 (昭44).
- 5) 鳥脇, 福村: 雑音をともなう二次元図形の境界の一識別法, *信学論(C)*, **51-C**, 2, p. 43 (昭43).
- 6) 鳥脇, 福村: 雑音をともなう図形の境界線識別—雑音に相関がある場合の処理法, 昭43連大, 2584.
- 7) 末永, 鳥脇, 福村: 加法的ガウス雑音をともなう図形の識別—濃度に未知の変動がある場合, 昭43電子通信全大, 109.
- 8) A. Rosenfeld and J. L. Pfaltz: Sequential Operations in Digital Picture Processing, *J. Assoc. Compu. Machinery*, **13**, 4, p. 471 (1966).
- 9) 鳥脇, 福村, 小池, 高木: 胸部X線写真の性質と肋骨境界の自動識別, *医用電子と生体工学*, **5**, 3, p. 10 (昭42).
- 10) 鳥脇, 福村, 小池, 高木: 胸部X線写真自動診断システムのシミュレーション, *医用電子と生体工学*, **8**, 3, 掲載予定.
- 11) 鳥脇, 福村, 小池, 高木: 電子計算機による胸部X線写真の病巣陰影識別に関する基礎的実験, *医用電子と生体工学*, **6**, 3, p. 17 (昭43).
- 12) 鳥脇, 福村: 加法的ガウス雑音をともなう不規則な塊状パターンの識別方法について, *医用電子と生体工学*, **6**, 6, p. 11 (昭43).

(昭和45年2月25日受付)