



## 円形視野による幾何学的特徴点の抽出\*

安居院 猛\*\* 中嶋 正之\*\* 永平 譲 二\*\*

### Abstract

Pattern recognition methods of figures or characters by the use of geometric features have been investigated for a long time. However, these methods require the normalization or some pre-processings of original figures, e. g., thickness of lines or others. Sometimes, the normalization bereaves features of figures or characters.

In this paper, we deal with geometric character extraction using a variable round field in consideration of locality of figures. By the round field, the size and the thickness of original figures are considered as parameters. We give some examples of geometric feature extraction and the pattern recognition of hand-written numerals.

### 1. ま え が き

線として描かれた文字、図形のパターン認識において、線図形の本質的な特徴である幾何学的特徴を利用する方法が種々試みられている。従来行われている幾何学的特徴の抽出方法としては、(1)論理マスクを用いて細線化を行い、線画から抽出する方法<sup>1)~3)</sup>、(2)ぼかしなどの積分変換を施して得られた濃淡図形の稜線より求まる線画から抽出する方法<sup>4)</sup>、(3)相関を利用する方法<sup>5)</sup>などがある。しかしこれらの方法は、規格化された文字などのように、対象とする図形の性質が、事前に良く知られている場合、または単純な図形を扱う場合には、一応成果が得られているが、太さの一定しない手書き文字を扱う場合、または、複雑な図形に対しては、元の線図形の持つ幾何学的特徴を失うことが多く、安定して幾何学的特徴を抽出するまでにはいたっていない。これは、線画への変換過程において、幾何学的特徴が失われ易いことに起因している。増田<sup>6)</sup>は、対象を直線成分の多い片仮名文字に限定し、一つの直線ストロークを、一つの線分で近似し、できるだけ数少ない線分で、文字を近似するという観点から細線化の操作を行うことなく幾何学的特徴の抽出を試みている。しかしこの方式においても、直線ストロークの線分近似という変換操作を伴うため、元の図形の幾何学的特徴を歪めてしまう危惧が生じる。また大場<sup>7)</sup>は、相関を用いて幾何学的特徴の抽出を行っているが、相関をとるための近似関数を必要とするため汎用性に欠けるという短所がある。

そこで筆者らは、線の太さが一様でない線図形の幾何学的特徴の抽出に際して、(1)幾何学的特徴は、その特徴が明確となっているような最小の領域を考慮しなければならない。さらに(2)これら幾何学的特徴は、その存在に寄与する元の図形の部分の大きさを表わすような尺度、局所性をパラメータとして持たなければならない。という考えに至った。

本論文では、端点、屈曲点、交点などの幾何学的特徴を考慮する領域として円領域を導入し、円形視野による幾何学的特徴の抽出を行う方法について述べる。この円形視野による幾何学的特徴抽出法は、視野の大きさを可変にすることにより、同一図形においても局所性の異なる特徴点抽出でき、一般図形の構造認識に対しても有効であると考えられる。

最後に、本手法の応用として、手書き数字認識を行った結果を示す。

最後に、本手法の応用として、手書き数字認識を行った結果を示す。

### 2. 特徴候補点と特徴点

線図形 $F$ は、直交座標を持った2次元ユークリッド空間 $R^2$ 内の有限点集合であるとし、線図形 $F$ を表わ

\* Geometric Feature Extraction Using Variable Round Field by Takeshi AGUI, Masayuki NAKAJIMA and Joji NAGAHIRA (Imaging Science and Engineering Laboratory, Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology)

\*\* 東京工業大学工学部情報工学研究施設

す2次元2値画像関数  $f(x, y)$  を次のようにする。

$$f(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{点}(x, y)\text{が}F\text{に含まれるとき.} \\ 0 & \text{点}(x, y)\text{が}F\text{に含まれないとき.} \end{cases} \quad (2.1)$$

このとき線図形  $F$  における特徴候補点を次のように定義する。

〔定義 1〕 特徴候補点

$p \in F$  であり、 $p$  を中心とする半径  $r$  の円領域  $V$  が次の〔条件 I〕, 〔条件 II〕, 〔条件 III〕を満足するとき点  $p$  のことを、局所性  $r$ , 次数  $K$  の特徴候補点とよび次のように記述する。

$$p = A_r r^K \quad (2.2)$$

〔条件 I〕: 孤立領域が、円領域  $V$  に存在しないこと (Fig. 1).

〔条件 II〕: 円領域  $V$  内における点集合  $G$  において、 $p$  と連結であるような点の集合  $G'$  を着目領域とよぶことにする。このとき  $G'$  の中で、 $V$  の境界点であるような点の集合が作る円弧の個数が  $K$  であること (Fig. 2).

〔条件 III〕: 〔条件 II〕の  $K$  によって異なる次の (i), (ii), (iii) の条件を着目領域  $G'$  が満たしていること。

(i)  $K=1$  のとき (端点の条件)

円弧  $A_1$  の長さ  $a$  が、次の条件を満たすこと (Fig. 3) 3 ただし  $q$  は円弧の中点。

$$a < \eta \cdot 2\pi r \quad (2.3)$$

ただし  $\eta$  は、 $0 < \eta < 1$  を満たす実数

(ii)  $K=2$  のとき (屈曲点の条件)

次の a, b, c の条件を  $G'$  が満たしていること (Fig. 4).

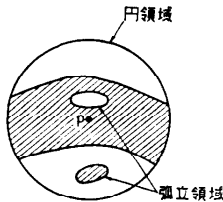


Fig. 1 Example of isolated region

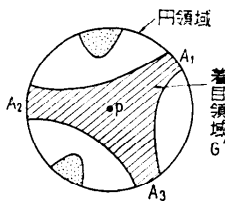


Fig. 2 Observing region and arcs

a. 2つの円弧  $A_1, A_2$  の中点を  $q_1, q_2$  とするとき、線分  $pq_1, pq_2$  上のすべての点が、 $G'$  に含まれていること。

b. 線分  $pq_1, pq_2$  で作られる角の2等分線が  $G'$  の境界点と交わる2点を  $b_1, b_2$  とするとき、 $b_1, b_2$  と  $p$  との距離  $d_1$  と  $d_2$  が等しいこと。

c. 線分  $pq_1, pq_2$  のなす角  $\gamma$  が、ある角  $\theta$  より小さいこと。

$$\gamma \leq \theta \quad (0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ) \quad (2.4)$$

(iii)  $K \geq 3$  のとき

円弧  $A_1, A_2, \dots, A_K$  の中点を  $q_1, q_2, \dots, q_K$  とするとき、 $K$  個の線分  $pq_1, pq_2, \dots, pq_K$  上のすべての点が  $G'$  に含まれること (Fig. 5).

〔条件 I〕により孤立領域が存在する場合を除いているのは、孤立領域が、円領域内に存在するときは、円領域内には、1つだけの幾何学的特徴点があるとは認められないからである。また〔条件 II〕で  $G$  より着目領域  $G'$  を切り出すことは、この操作により、複雑な図

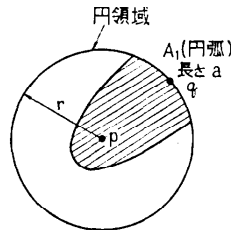


Fig. 3 A pre-feature point of the first degree geometric feature

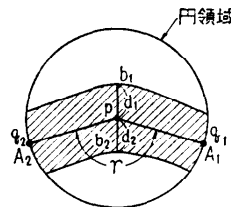


Fig. 4 A pre-feature point of the second degree geometric feature

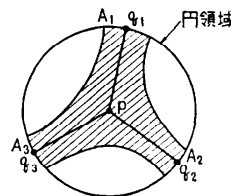


Fig. 5 A pre-feature point of the third degree geometric feature

形からでも、着目図形の幾何学的特徴を抽出できるようにするためである。また〔条件Ⅲ〕は、次に定義する  $K$  次の特徴点となるための必要条件である。

〔定義 2〕 特徴点

特徴候補点と同様に、局所性が  $l$  で、次数が  $K$  であり、次に示す〔条件Ⅳ〕、〔条件Ⅴ〕を満たす点  $p$  を特徴点と定義し、次式のように表わす。

$$p = A^{lK} \tag{2.5}$$

〔条件Ⅳ〕: 点  $p$  が、特徴候補点  $A_c^{lK}$  であるようなすべての  $r$  の中で、最小の  $r$  が  $l$  となる (Fig. 6).

$$A^{lK} = A_c^{lK} \quad (l = \min r) \tag{2.6}$$

〔条件Ⅴ〕: 点  $p$  が、特徴点  $A^{lK}$  で  $p$  の近くの点  $p$  が、特徴候補点  $A_c^{lK}$  であるとき  $r > l$  でなければならない。

〔条件Ⅵ〕は、“幾何学的特徴は、その特徴が明確となっているような最小の領域を考慮しなければならない” という観点より付加したものであり、〔条件Ⅴ〕は、〔条件Ⅳ〕で設定した特徴点の安定抽出のための条件である。

3. 円形視野による特徴点の抽出

3.1 特徴点抽出関数

次に特徴点を図形  $F$  より抽出する関数として、特徴点抽出関数を定義する。

$R^2$  平面上の半径  $r$  の円領域を負でない整数  $K$  に写像する局所性のパラメータ  $r$  を持つ関数を  $\varphi_r$  とする。画像関数  $f$  の 1 点  $p(x, y)$  を中心とする半径  $r$  の円領域に  $\varphi_r$  を作用させて整数  $K$  が求まれば、次式のように表わす。

$$\varphi_r(x, y)(f) = K \tag{3.1}$$

ただし  $K$  は、円形視野内の着目領域と、視野の境界点であるような点の集合が作る円弧の数

次に  $\varphi_r$  で与えられた円形視野内の着目領域を評価する論理関数として  $\psi_r$  を導入する。 $\varphi_r$  と同様に、画像関数  $f(x, y)$  に  $\psi_r$  を作用させた論理関数  $\psi_r(x, y)(f)$  を次のように定義する。

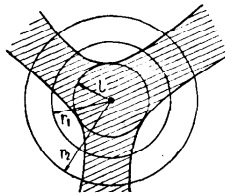


Fig. 6 Example of geometric feature point

(i)  $\varphi_r(x, y) = 0$  のとき  $\psi_r(x, y)(f) = 0$  (3.2)

(ii)  $\varphi_r(x, y) = K$  のとき

a. 〔定義 1〕の〔条件Ⅲ〕により与えられる  $K$  によって異なる条件を満足していれば、次式とする。

$$\psi_r(x, y)(f) = 1 \tag{3.3}$$

b. a 以外のときは、次式とする。

$$\psi_r(x, y)(f) = 0 \tag{3.4}$$

そこで  $\varphi_r, \psi_r$  を用いて、次式のように与えられる関数  $\chi_r$  を局所性のパラメータ  $r$  を持つ特徴抽出関数と定義する。

$$\chi_r(x, y)(f) = \varphi_r(x, y)(f) \times \psi_r(x, y)(f) \tag{3.5}$$

$\chi_r(x, y)(f)$  は、 $f$  と同じ定義域をもった多値画像関数であり、 $\chi_r(x', y')(f) = K$  であるような点  $p'(x', y')$  は、特徴候補点  $A_c^{rK}$  を表わしている。また  $\chi_r(x, y)(f)$  の特徴候補点  $A_c^{rK}$  は、その値  $K$  が等しい点の集合として領域を作る。この領域を特徴候補点領域という。

Fig. 7 に  $\varphi_r, \psi_r$  の抽出例を示す。

3.2 特徴点の抽出

$r$  を変化させて  $\chi_r(x, y)(f)$  を求めると  $\chi_r(x, y)(f)$  は、一般に  $r$  によって異なったものとなる。図形  $F$  の特徴点を求めるには、 $r$  を変化させて、特徴点の条件を満たすような特徴候補点を求めなければならない。

一般に  $\chi_r(x, y)(f)$  において、特徴候補点は、その値が等しい集合について 2 次元領域を形成しているので、このような特徴候補点領域の中で、特徴点  $A^{lK}$  となりうるのは〔定義 2〕より最小の  $r$  を与えるような点の集合でなければならない。このような最小の  $r$  を与える点の集合は、2 次元領域を形成する。この特徴点  $A^{lK}$  の作る領域を特徴点領域  $\Gamma^{lK}$  とする。例えば Fig. 8(次頁参照)に示す図形においては、 $\Gamma^{l2}$  が曲線となった例である。一般に  $K \geq 3$  のとき  $\Gamma^{lK}$  は一点となる。これは有限半径内の複数の点をその中に含むような最小半径の円は一意に定まることによる。

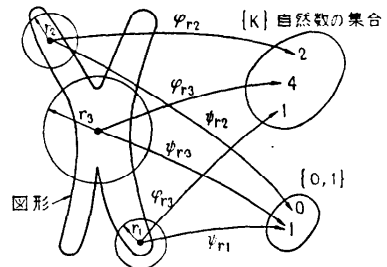


Fig. 7 Example of the geometric feature extraction

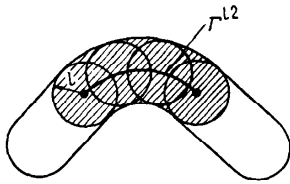


Fig. 8 Example of the line  $\Gamma^{l2}$  made by geometric features

#### 4. 有効な特徴の抽出

##### 4.1 局所性を考慮した抽出

特徴点領域  $\Gamma^{lK}$  は、一般に2次元領域となっていて  $R^2$  空間内に分布しているが、これらの  $\Gamma^{lK}$  のすべてが、抽出すべき有効な特徴点領域であるとは限らない。例えば Fig. 9 に示す図形では、 $p_1, p_2$  は、それぞれ  $\Gamma^{l1}, \Gamma^{l2}$  となっている。これらの複数個の  $\Gamma^{lK}$  が同時に有効であるというのは、図形のある部分が、複数個の異なる特徴点の視野内に属しているということになるので、これらの  $\Gamma^{lK}$  中で、1つを選び出す必要が生じる。そこで、抽出された複数個の  $\Gamma^{lK}$  の中で、有効な  $\Gamma^{lK}$  を抽出するために、次の〔仮説1〕に基づき、〔条件VI〕、〔条件VII〕を設定する。

〔仮説1〕 一般に、 $K \geq 3$  における  $\Gamma^{lK}$  の近くには、より低い  $K$  を持つ  $\Gamma^{lK}$  が現われる。また屈曲点や、太さの変化する曲線部分などに  $\Gamma^{l3}$  が検出され易い。このような  $\Gamma^{lK}$  は、 $l$  方向が極めて薄い  $\Gamma^{lK}$  となっている。これらの  $\Gamma^{lK}$  を不安定な特徴候補点領域とよぶことにする。そこで  $\Gamma^{lK}$  に安定性を要求するために、次の〔条件VI〕を設定する。

〔条件VI〕 ある2次元領域が  $\Gamma^{lK}$  であるならば、
$$l \leq r \leq l + \zeta \quad (\zeta \text{ は正の定数}) \quad (4.1)$$
を満す  $r$  について  $A_r^{lK}$  でなければならない。またある有効な  $\Gamma^{lK}$  の近くには、他の異なる有効

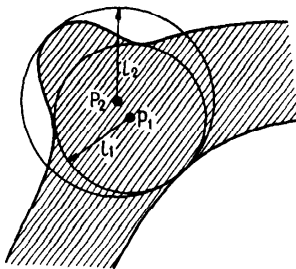


Fig. 9 Example of the appearance of the different geometric features

な  $\Gamma^{lK}$  が存在してはならないと考えられるので、次の〔条件VII〕を設定する。

〔条件VII〕 ある  $\Gamma^{lK}$  が有効であるならば、 $\Gamma^{lK}$  の円形視野内には、 $K' \neq K$  となるような特徴点  $A^{l'K'}$  が存在してはならない。

##### 4.2 特徴点抽出法

ある  $\Gamma^{lK}$  の円形視野内に他の  $\Gamma^{l'K'}$  が含まれて、〔条件VII〕より、同時に有効になれない複数個の  $\Gamma^{lK}$  があるとき、これらの  $\Gamma^{lK}$  から有効な  $\Gamma^{lK}$  を抽出する方法として次の3つの方法が考えられる。

###### 〔I〕 高次特徴点抽出法

局所性のパラメータ  $l$  の大小にかかわらず、 $K$  の高い  $\Gamma^{lK}$  を優先して抽出する方法。

###### 〔II〕 大局的特徴点抽出法

$K$  の大小にかかわらず、 $l$  の大きな  $\Gamma^{lK}$  を優先して抽出する方法。

###### 〔III〕 局所的特徴点抽出法

$K$  の大小にかかわらず  $l$  の小さな  $\Gamma^{lK}$  を優先して抽出する方法。

筆者らは、これら3つの特徴点抽出法を用いて、様々なデジタル図形から特徴点抽出実験を行った結果、より高い次数  $K$  を持つ  $\Gamma^{lK}$  の方が、図形の識別、認識に寄与する場合が多く、また  $l$  の大きな  $\Gamma^{lK}$  は、安定して抽出され易いということが明らかとなった。

これより〔I〕の高次特徴点抽出法は、一般線図形の特徴抽出として有効な方法であり、〔II〕の大局的特徴点抽出法は、 $l$  の上限を定めることにより、線の太さ、図形の大きさなどの抽出すべき図形の情報を与えられている限定された図形の特徴抽出法として有効であるということが明らかとなった。

また〔III〕の局所的特徴点抽出法は、図形の持つ細かい特徴を抽出することができるが、雑音の影響を受け易くデジタル図形からの特徴抽出法として適さないことが明らかとなった。

##### 4.3 パラメータの設定

特徴点を抽出する視野  $l$  は、与えられた線図形の太さに従って、上限、下限を設定する必要がある。線の太さの測定には種々の方法が提案されているが、たとえば、文献6)の方法を用いると次のように与えられる。 $f(x, y) = 1$  となる点の数を図形の面積  $S$  とし、周の長さを  $L$  としたとき、平均の線の太さ  $W$  は、近似的に次式で求まる。

$$W = S / (L/2)$$

直線線分を考えた場合、 $l = l'$  のとき特徴抽出が行

え、 $l'-1$  のとき抽出できないとすれば、 $W$  は、

$$2l'-3 < W < 2l'-1$$

と表わせ、 $l'$  は

$$(W+1)/2 < l' < (W+3)/2$$

となる。一般には、線の太さが一定でないと考えられるので、平均の太さより太い線の部分があると考えられる。そこで  $l$  の下限として  $(W/2+2)$ 、また上限は、下限に  $2\sim 3$  を増加させる程度で良いと考えられる。

また端点の検出条件  $\eta$ 、屈曲点の検出条件  $\theta$  の設定は、線の太さの増加に従い、 $\eta=1/3\sim 1/5$ 、 $\theta=100^\circ\sim 120^\circ$  に与えることで、各特徴点の抽出が行えると考えられる。

### 5. 手書き数字による認識実験

#### 5.1 認識実験について

以上述べた円形視野による特徴点抽出法の応用として、手書き数字の認識実験を行った。

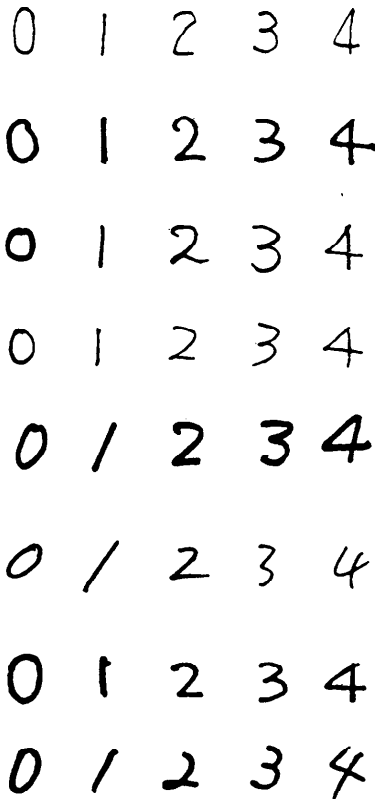


Fig. 10 Examples of handwritten numeric characters

データは、筆記用具を指定せず、指定した枠内に記入することを要求し、各数字とも100個ずつの計1,000個の数字を対象とした。Fig. 10に取り扱ったデータの一部を示す。Fig. 10からわかるように数字の太さが一定していないので、ここでは、高次特徴点抽出法を用いて  $\Gamma^{iK}$  を抽出した。

対象とするデータは、ビジコンにより読取り、 $64 \times 64$  の2値データとし、さらに  $32 \times 32$  のデータへ圧縮した。このデジタル化されたデータを用いて、東京工業大学計算機センターの HITAC 8700 を用いて、認識実験を行った。

またパラメータとして与えられる定数は、本認識実験では次のように定めた。

端点の検出条件  $\eta$ :  $\eta=1/5$

屈曲点の検出条件  $\theta$ :  $\theta=120^\circ$

安定性の条件  $\zeta$ :  $\zeta=1$

円形視野による特徴点抽出法は、 $A^{iK}$  の位置  $p$ 、屈曲角  $\gamma$ 、辺の方向  $\vec{pq}_i$  が容易に検出できるので、 $A^{iK}$  と同時に抽出し、これらの特徴を利用して、識別実験を行った。手書き数字の識別においては、同一数字であっても、線の曲がり方が個人差により大きく異なるので、2次特徴点である  $A^{i2}$  より、1次の  $A^{i1}$ 、3次の  $A^{i3}$ 、4次の  $A^{i4}$  次の特徴点が有効であると考えられる。

#### 5.1 識別結果

手書き数字は、グラフとしての位相的特徴により、Table 1 に示す  $C_1\sim C_7$  のクラス分けを行い、各クラスは、 $A^{iK}$  の位置  $p$ 、辺の方向  $\vec{pq}_i$  などの幾何学的形状により次のようにサブクラスへ分類した。

(1) クラス  $C_1, C_4$  内の識別

クラス  $C_1, C_4$  は、2つの端点  $A^{i1}$  が含まれ

クラス	度数 $K$	サブクラス	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_1$	1, 1	1 2 3 4 5 ?	1	97	69	63	4	86	2	93		3
$C_2$	3, 1, 1, 1	2 3 4 5 7			22	31	3	5				2
$C_3$	3, 1	6 9	1	1	4	2	1	3	94	2	3	93
$C_4$	4, 1, 1	4 2 8			4		19					7
$C_5$	4, 1, 1, 1	4					66	1		2		
$C_6$	4	8					1					87
$C_7$	0	0	98									1
リジェクト数			0	2	1	4	6	5	4	3	3	1
誤識別率 [%]			2	1	10	5	2	4	2	5	4	6
正識別率 [%]			98	97	89	91	92	91	94	92	93	93

Table 1 Classified geometric features and the recognition results

るので、図形内の存在位置に関して上の点を  $p_1$ 、下の点を  $p_2$  としたとき、端点の方向を表わす  $d_1 = \overrightarrow{p_1q}$ 、 $d_2 = \overrightarrow{p_2q}$  を用いてクラス内識別を行う。なお  $d_1, d_2$  は、一周を 100 等分して方向表示を行った。

(2) クラス  $C_2$  内の識別

(1)と同様に 3つの端点  $A^{11}$  の方向ベクトル  $d_1, d_2, d_3$  を用いて識別を行う。

(3) クラス  $C_3$  内の識別

3次の特徴点  $A^{13}$  と端点  $A^{11}$  の上下関係より識別

この結果特徴点抽出の際に誤ったデータ、すなわちノラス識別の際に誤ったデータ数は、30個であり3.0%であった。また各クラス内においてサブクラスへの識別の誤りが1.1%となり、合計4.1%の誤識別率であった。またデータ中、Fig. 11に示すように、4の重要な特徴点である4次の特徴点  $A^{14}$  が、2つの3次の特徴点として検出されたデータなどは、明らかにTable 1で定めたとのクラスへも属していないため判定不能とした。これは全データ中の2.9%であった。この結果、本方式による手書き数字認識実験では、

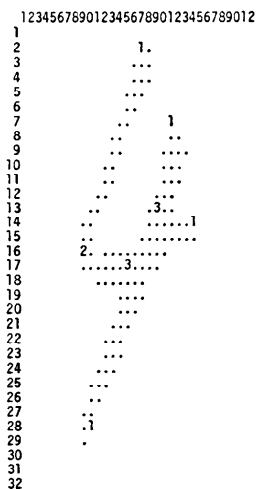


Fig. 11 Example of rejected data

93.0% の正識別率を得ることができた。

## 6. むすび

円形視野による幾何学的特徴の抽出方法は、図形の構造を、どのように把握すべきかという観点から、幾何学的特徴の局所性を考慮し、局所性のパラメータとして円領域を用いたものである。その結果次のことが明らかとなった。(1)図形の細線化を行うことなく容易にかつ安定して特徴抽出が行える。(2)局所性のパラメータを導入しているため、局所性の異なる特徴を抽出することができるようになり、図形の構造認識には効果がある。

また円形視野による幾何学的特徴抽出アルゴリズムは、そのハードウェアの設計が容易に行えるため、本方式による図形のオンライン特徴抽出装置の試作が期待できる。

今後、本方式は、漢字、英字などの認識、また図形の構造読み取りなどに広い応用が期待できる。

## 参考文献

- 1) 坂井: 文字・図形の認識機械, pp. 52~59, 共立出版
- 2) J.R. Ullman: Pattern Recognition Techniques, p. 168, Butterworth
- 3) 山本, 安田ほか: 手書き数字認識論理の設計, 信学論(C) Vol. 53-C, No. 10, p. 691 (1966)
- 4) 鳥脇, 福村ほか: 濃淡図形を線図形に変換する一方法, 信学論(D), Vol. 55-D No. 10, p. 668 (1972)
- 5) 大場: 自動文字読取装置試作機, 信学論(D), Vol. 55-D, No. 2, p. 77 (1972)
- 6) 増田: 幾何学的特徴に着目した手書き片仮名文字の機械認識, 信学論(D), Vol. 55-D, No. 10, p. 638 (1972)
- 7) M. Minsky, S. Papert: PERCEPTRONS', The MIT Press. (1969)
- 8) 上坂: パターン認識と学習の理論, 総合図書
- 9) 安居院, 藤田: 図形の幾何学的特徴抽出の一方法, 昭和 50 年信学全大 1172

(昭和 51 年 1 月 29 日受付)

(昭和 52 年 1 月 19 日再受付)