



類似度法による手書き数字の認識*

鳥岡 豊士** 高橋 秀樹***

Abstract

In pattern recognition of the handwritten numerals, if there are a large number of template patterns and these patterns are large in dimension, we can not adopt the similarity method because of need for a large memory-capacity. But we can sufficiently apply this method to handwritten character, while the input pattern is transformed into the uniformed pattern by a normalization method and is lowered in dimension.

There are many papers which have been proposed about a method of the normalization, but no powerful method for this procedure. An explanation is given to an improved and powerful method for the normalization by the use of the projective geometry. The basic conception of this method have been proposed by G. Nagy, et. al in 1970 applied to the handwritten numerals without thinning procedure. In our method, this is applied to thinned handwritten numerals.

There also have been some papers about the methods for constructing the template-pattern and these have been practically applied to printed pattern. The present study gives the method by J. C. Stoffel in 1974 an improvement in the view of the probabilistic tendency of the input pattern and the improved method is applied to the handwritten numerals.

1. 序 論

類似度法, 相関法を用いた文字認識については, 現在まで多くの研究がなされてきた^{1), 2)}. しかし類似度法による手書き文字認識では, 対象とするパターンの変動により, 非常に多くの標準パターンが必要となり, 記憶容量が大となる欠点が生じ実用的でなくなる. したがって類似度法を用いて文字認識を行うためには, 十分な前処理により, 一様な文字パターンに正規化することが重要となる. ここでは, まず射影幾何学の考えに基づいた文字パターンの正規化方法, 及びパターンクラスを代表するパターン, すなわちテンプレートの新しい作成方法を示し, つぎに類似度法を用い

て手書き文字でも良好な認識が得られることを示す.

射影幾何学に基づいた正規化方法については, G. Nagy³⁾ 等がある程度の太さをもったパターンについて発表している. しかし文字認識においては, 文字の線幅は必要としないので, ここでは細め処理を行った後に正規化する方法, 及び従来の方法で正規化する場合に生ずる欠点の改善方法を示す. さらに, この正規化の方法は, 記憶容量削減を行う立場から, 入力パターンを低次元の正規化パターンに処理する手続きをふくんでいる. テンプレート作成方法については, Yau, J. C. Stoffel^{4), 5)} 等によって示されているが, いずれも印刷文字を対象としたものであり, 手書き文字認識にそのまま利用することは困難である. そのためここでは, パターンの確率的な性質をも考慮した新しいテンプレートの作成方法を, J. C. Stoffel の考え方を基にして示す. また, テンプレート数がどの程度に抑えられるか, 認識結果と共に示す.

* Pattern Recognition of Handwritten Numerals by the Use of the Similarity Method by Toyoji TORIOKA (Electrical Engineering Course Yamaguchi University Technical College.) and Hideki TAKAHASHI (Faculty of Engineering, Yamaguchi University)

** 山口大学工業短期大学部電気工学科

*** 山口大学工学部電気工学科

2. 前 処 理

対象とする文字パターン（手書き数字 0~9）は、0.1 要素からなる行列形式で表われ、一般に文字パターン P_A は、 $N \times N$ 次元行列、

$$P_A(i, j) = \begin{cases} 0: \text{余白部} \\ 1: \text{黒点部} \end{cases} \quad (2.1)$$

ただし、 $1 \leq i, j \leq N$

で与えられる。この文字パターン P_A は普通太さの変動をもつ。しかし認識を行う際には、線要素のみで十分である。また、線幅があると文字パターンを低次元のパターンに縮小するとき、もとのパターンの情報が多く失われる。したがって正規化を行うためには、前もって細め処理を文字パターンに施す必要がある。細め処理の方法は種々の方法^{6),7)}があるが、文献6)の方法が基本マスクが少なく、かつ論理も簡単であるため本処理に用いた。この方法は、文字パターンの輪郭部を幾つかの論理マスクで走査し、条件を満足した要素1の点を0に処理することによって細めを行う方法である。ここでは、この処理によって細めされたパターン P_B を

$$P_B(i, j) = \begin{cases} 0: \text{余白部} \\ 1: \text{黒点部} \end{cases} \quad (2.2)$$

とする。

3. 射影幾何学に基づいた正規化方法

3.1 複 比

射影幾何学は、射影のもとで図形がもつ不変的な性質を発見し、解析することを目的とする幾何学である⁸⁾。このような不変的な性質である複比の考え方に基づき、文字パターンの位置ずれ、傾き、大きさの歪みを正規化する方法については、G. Nagy によって提案されているが⁹⁾、ここでは細め処理パターンに適用した際の正規化、及びこの方法で十分な正規化が行えない文字パターンに対する別の正規化方法を示す^{9),10)}。ここで複比についてのべる。Fig. 1 におい

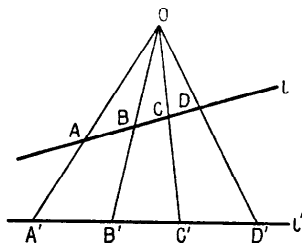


Fig. 1 A illustration of the cross-ratio

て、直線 l 上の4点 A, B, C, D を、直線 l' 上の点 A', B', C', D' に射影するとき、複比 n は次式で定義され射影によって不変である。

$$n = \frac{CA/DA}{CB/DB} = \frac{C'A'/D'A'}{C'B'/D'B'} \quad (3.1)$$

この複比は長さでもなく、2つの長さの比でもなく、2つのこのような比の比である。また A, B, C, D の順の複比は、一般に式(3.2)の様に表わされる。

$$n = (ABCD) \quad (3.2)$$

3.2 複比による座標変換

Fig. 2-(a) の四辺形 $OAEB$ において、 M は四辺形内の任意の1点、 C は直線 BE と直線 OA の交点、 D は直線 OB と直線 AE との交点であり、この C, D が射影の中心点となる。ここで D から O, X, A を B, X', E に射影すると、このときの複比は式(3.2)より、

$$n = (COXA) = (CBX'E) \quad (3.3)$$

同様に、 C から O, Y, B を A, Y', E に射影すると複比は、

$$n = (DOYB) = (DAY'E) \quad (3.4)$$

が成立する。この時複比の逆数は、

$$0 \leq \frac{1}{n} \leq 1 \quad (3.5)$$

となる。そこでこの複比を用い、Fig. 2-(b) の四辺形を Fig. 2-(b) の正方形に変換すると、四辺形 $OAEB$ と正方形 $oaeb$ の間には、

$$\begin{aligned} ox &= \begin{cases} \frac{OX \cdot AC}{OA \cdot CX} & : x_7 < x_1 \\ 1 - \left(1 - \frac{OX}{OA}\right) \cdot \frac{OC}{OX} & : x_7 \geq x_1 \end{cases} \\ oy &= \begin{cases} \frac{OY \cdot BD}{OB \cdot DY} & : y_6 < y_3 \\ 1 - \left(1 - \frac{OY}{OB}\right) \cdot \frac{OD}{DY} & : y_6 \geq y_3 \end{cases} \end{aligned} \quad (3.6)$$

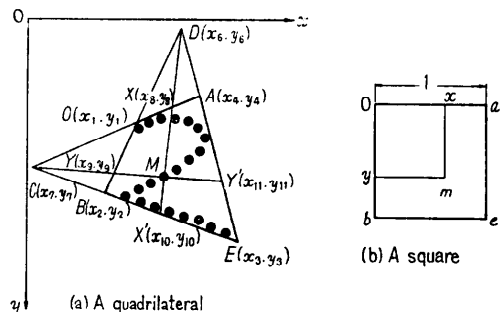


Fig. 2 The Projective Geometry and the Coordinate of each cross point

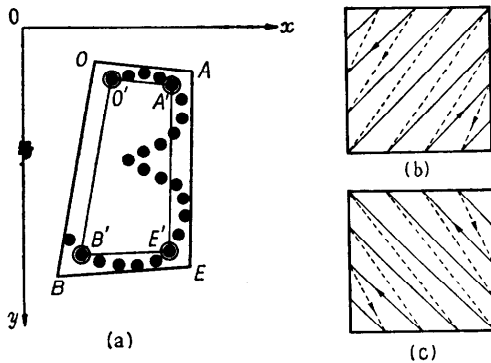


Fig. 3 Method for searching the points A, B, C, D and scanning.

が成立する。ここで、 OX は O と X との距離を表わし、他のものについても同様である。

3.3 正規化方法 I

先節 3.1, 3.2 の考えに基づき、Fig. 3-(a) に示す文字パターンを正規化するためには、パターンを完全に包含する四角形 $OBEA$ を求める必要がある。4 頂点 $OBEA$ を求めるには、直交座標系のパターンに対して、まず交点 $O'E'$ を Fig. 3-(b) に示すように左最上部から 45 度の方向に右最下部まで走査し、パターンと最初に関わる点を O' 、最後に交わる点を E' として求める。同様に、Fig. 3-(c) に示される右最上部より -45 度の方向に左最下部まで走査し A' 、 B' を求める。次に、この 4 頂点から (図中 $\odot$ で示す) 四角形を作成した後、各辺を文字パターンを完全に包含するまで平行移動し、新たに生じた交点を O, B, E, A として四角形 $OBEA$ を求める。しかし文字パターンの中には、例えば 6, 7, 9 のような、四角形を決定する方法で十分に正規化処理ができないものがある。すなわち上述の方法をこれらのパターンに適用した場合、十分な四角形が形成されず、三角形に近くなり正規化が行えなくなる。従って Fig. 4 に示すような逆三角形をなすパターンの場合には、まず 3 頂点 $O'E'A'$ を前述の走査により求める。つぎに、その 3 点とで平行四角形を形成する B' (図中 $\times$ 印で示す) を求め、四角形 $O'B'E'A'$ を形成し、先の方法と同様にパターン全体を囲む四角形 $OBEA$ を求め正規化を行う。この結果良好な正規化が行えるようになる。さて、上記の方法により四角形を形成し、式 (3.6) を用いて各座標点を変換することにより、文字パターンの正規化が行われる。ただし、 $0 \leq ox, oy \leq 1$ であるから、 ox, oy に適当な倍率 A_x, A_y をかけることにより、拡大、

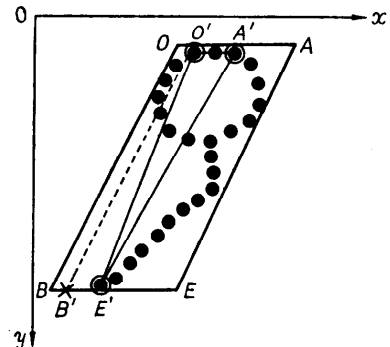


Fig. 4 A example of the pattern being not obtained four vertices

縮小パターンを簡単に行える。ここでは記憶容量を節約する立場から、低次元の縮小パターンに変換した。したがって、原パターン P_B の座標点 (X, Y) と、 o を原点とした変換後のパターン P_C の座標点 (x, y) の関係は、

$$P_C(x, y) = \begin{cases} 0: P_B(X, Y) = 0 \text{ の点} \\ 1: P_B(X, Y) = 1 \text{ の点} \end{cases} \quad (3.7)$$

ただし、 $0 \leq x \leq A_x, 0 \leq y \leq A_y$

となる。

3.4 正規化方法 II

Fig. 5-(a) に示す四角形の幅が 1~2 ビット幅の細長いパターンにおいては、上記の方法では十分な正規化を行うことができない。このようなパターンに対しては、まず傾きの正規化を行う。直線 OB の傾きを a 、切片を b とし、パターン $P_B(X, Y)$ の座標変換、

$$\begin{aligned} x' &= X - (aY + b) \\ y' &= Y \end{aligned} \quad (3.8)$$

を行えば、傾きの正規化パターンは、

$$P_B'(x', y') = \begin{cases} 0: P_B(X, Y) = 0 \text{ なる点} \\ 1: P_B(X, Y) = 1 \text{ なる点} \end{cases} \quad (3.9)$$

となる。Fig. 5-(b) にこれを示す。次に大きさの正規化を行う。この際パターンを前と同様低次元パターン

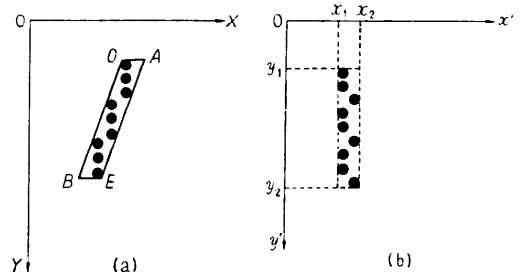


Fig. 5 Normalization of the pattern in case of narrow width

に変換する。このときの各座標方向の縮小率 a_x, a_y は、

$$a_x = \begin{cases} (A_x + 1)/(x_2 - x_1 + 1) : A_x < x_2 - x_1 \\ 1 : A_x \geq x_2 - x_1 \end{cases} \quad (3.10)$$

$$a_y = \begin{cases} (A_y + 1)/(y_2 - y_1 + 1) : A_y < y_2 - y_1 \\ 1 : A_y \geq y_2 - y_1 \end{cases}$$

となる。この a_x, a_y を用いて座標変換、

$$x = x' a_x, \quad y = y' a_y \quad (3.11)$$

を行えば、パターン P_c は

$$P_c(x, y) = \begin{cases} 0 : P_b'(x', y') = 0 \\ 1 : P_b'(x', y') = 1 \end{cases} \quad (3.12)$$

ただし、 $0 \leq x \leq A_x, 0 \leq y \leq A_y$

となり、低次元の正規化パターンが得られる。実際は (x, y) 分だけ平行移動している。

3.5 連結性

正規化をする際、原パターンの連結性を失なうことなく処理することが大切である。このため、まず注目しているパターンの1点 M と、8近傍点との連結性を原パターンについて調べる。この関係を Fig. 6 に示す。実際の走査では左上から右下部までラスタ走査を行うため、 M 点と近傍点 M_5, M_6, M_7, M_8 の連結性は、 M 点と近傍点 M_1, M_2, M_3, M_4 の連結性を調べることによって重複して調べられる。したがって、 M 点と近傍点 M_1, M_2, M_3, M_4 の連結性を調べるのみで十分である。次に、原パターンの M 点と連結していた点が、正規化後のパターン P_c においても近傍点であるか否かを調べる。もし連結性が失なわれているなら、 M 点とその点との間を1の要素でもってうずめ連結する。失なわれていなければそのままとする。以上の処理により、連結性を保ったままでの正規化が行われ、連結性も考慮された最終的な正規化パターン P_c が得られる。処理された例については文献10)に示す。

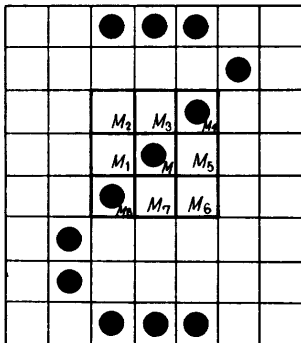


Fig. 6 The Neighborhood of the element M

4. テンプレート作成方法

ここでは認識の際に必要な各クラスの特徴を表わす代表パターンをテンプレートと定義し、このテンプレートを J. C. Stoffel の方法に基づいて教育パターンから求める手続についてのべる。パターンクラスの集合 E を

$$E = \{E_i | i=1 \sim M\} \quad (4.1)$$

ただし、 E_i : i 番目のパターンクラス

M : クラス数

クラス E_i から抽出された教育パターン集合 L を

$$L = \{X^i | i=1 \sim l\} \quad (4.2)$$

ただし、 $X^i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_r^i, \dots, x_n^i)$

$$x_r^i = 0 \text{ or } 1$$

とする。同様に、 E_i 以外の残り $(M-1)$ 個のクラスの教育パターン集合 NL を、

$$NL = \{Y^i | i=1 \sim m\} \quad (4.3)$$

ただし、 $Y^i = (y_1^i, y_2^i, \dots, y_r^i, \dots, y_n^i)$

$$y_r^i = 0 \text{ or } 1$$

とする。ここでは一例として、クラス E_i のテンプレートを作成する手続を述べる。さて、テンプレートを作成する際クラス E_i のテンプレートになるためには、クラス E_i を十分代表し、かつ他のクラスのパターンを含まないテンプレートを作成する必要がある。したがってテンプレートを作成する基本的な考え方として、同じクラスのもの同士はテンプレートの要素が同一で常に一致した値を取るようにし、そうでない場合は無視 (don't care) する必要がある。

以上の立場より、テンプレートは以下のステップで行われる。

- 1) 基準パターン Z^E を用意し、初期値として X^1 を用いる。この場合、 $\xi=1$ である。
- 2) Z^E と Z^E の構成パターンでない X^k との併合を式 (4.4) の定義式より行い、併合パターン Z^{E^k} を作る。この場合 X^k は Z^E に独立なパターンである必要から、式 (4.5) を満足しなくてはならない。

$$z_r^{E^k} = z_r^E \cdot x_r^k = \begin{cases} 0 : z_r^E = x_r^k = 0 \\ 1 : z_r^E = x_r^k = 1 \\ 2 : \text{その他} \end{cases} \quad (4.4)$$

$$z^{E^k} = (z_1^{E^k}, z_2^{E^k}, \dots, z_r^{E^k}, \dots, z_n^{E^k})$$

ただし、 $z_r^{E^k} = 2$ は don't care を意味する。

$$q = \sum_{r=1}^n |z_r^E - x_r^k| 1(1 - z_r^{E^k}) > 0 \quad (4.5)$$

ただし, $1(\alpha) = \begin{cases} 0: \alpha < 0 \\ 1: \alpha \geq 0 \end{cases}$

- 3) 併合パターン z^{ik} が他のクラスパターン集合 NL に含まれるかどうかを調べるため, NL のパターンを用いて,

$$d = \min_{1 \leq j \leq m} \sum_{r=1}^n |z_r^{ik} - y_r^j| \cdot 1(1 - z_r^{ik}) \quad (4.6)$$

を計算する。

- 4) もし $d \leq 0$ ならば, NL の中のパターンに併合パターン z^{ik} が含まれることになるので, 併合操作の相手を次のパターン $X^k(k=k+1)$ にかえて, 2), 3) の操作を繰り返す。もし $d > 0$ ならば, NL の中のパターンに含まれないので, 併合パターン Z^{ik} を Z^i とし, 2), 3) の操作を繰り返す。

- 5) $\xi=1$ の時は, 最終的に求められた Z^i をテンプレート S^{ij} とし, 6) へ行く。ただし $j=1$ である。 $\xi \neq 1$ のときは, すでに生成されたテンプレート S^{ij} の構成パターンについて, 2) 以下の操作を繰り返し, 最終的に求められた Z^i をテンプレート $S^{ij}(j=j+1)$ とする。

- 6) 以上の操作で生成されたいずれのテンプレート S^{ij} の構成パターンにもなっていないパターン集合内で, 2) 以下の操作を同様にを行う。ただし基準パターンの初期値としては, その集合内の任意のものを用いる。

以上の教育手続きにクラス E_i のテンプレート集合 S_i が作成される。全クラス E_i のテンプレート集合を S_i とすると,

$$S_i = \{S^{ik} | k=1 \sim N_i\} \quad (4.7)$$

$$S^{ik} = (S_1^{ik}, S_2^{ik}, \dots, S_r^{ik}, \dots, S_n^{ik})$$

$$S_r^{ik} = 0 \text{ or } 1 \text{ or } 2 \text{ の値を取る}$$

N_i : テンプレート数。

と表わされる。しかし手書き文字を認識する場合は印刷文字と異なり, 正規化を行っても文字パターン要素 0, 1 の生起分布が一様でない。このため上記の方法でテンプレートを作ると, 頻度の高くない要素が, 頻度の高い要素と同等の役割をもつようになり, 認識に際して悪い影響を与える。したがってこれを除くためここでは, 各クラスのパターンから平均パターンを求め, この要素に適当なしきい値 β を導入し, 各クラスのパターンの平均的傾向を加味したテンプレートの作成方法について述べる。まずクラス E_i の集合 L の平均パターンを $\bar{X}_i$ とし,

$$\bar{X}_i = \frac{1}{l} \sum_{l=1}^l X^l \quad (4.8)$$

ただし, $\bar{X}_i = (\bar{x}_1^i, \bar{x}_2^i, \dots, \bar{x}_r^i, \dots, \bar{x}_n^i)$ を計算し, さらに次式

$$\bar{x}_r^i = \begin{cases} 0: x_r^l \leq \beta \\ 1: x_r^l \geq (1-\beta) \\ 2: \beta < x_r^l < (1-\beta) \end{cases} \quad (4.9)$$

ただし, $0 \leq \beta < 1/2$, $r=1 \sim n$

を導入し, 平均パターンから三値のテンプレート $\bar{X}_i$ を作る。このテンプレートを先に求めたクラス E_i のテンプレート S_i と組み合わせ, クラス E_i の最終的なテンプレート集合 T_i を次式によって

$$T_i = \{T^{ik} | i=1 \sim N_i\} \quad (4.10)$$

ただし,

$$T^{ik} = (t_1^{ik}, t_2^{ik}, \dots, t_r^{ik}, \dots, t_n^{ik}) \quad (4.11)$$

$$t_r^{ik} = 1(\bar{x}_r^i - 2) \cdot S_r^{ik} + 1(1 - \bar{x}_r^i) \cdot \bar{x}_r^i$$

と構成する。この結果, パターンの平均的な傾向を加味したテンプレートを作成することができる。Fig. 7 にテンプレートの一例を示す。

5. 判定方法

前章で, 各クラスを代表するテンプレートが求められているので, 未知パターンを認識するには, テンプレートとパターンマッチングを行い類似度を計算し, 類似度の一番大きなテンプレートをもつクラスにこのパターンが属するものと判定すればよい。ここで, 未知文字パターン X とクラス E_i のテンプレート T_i (式 4.10 参照) との類似度 $d(i, j)$ は,

$$d(i, j) = \frac{1}{\sum_{r=1}^n 1(1 - t_r^{im})} \sum_{r=1}^n 1(1 - t_r^{im}) \times (1 - x_r) + t_r^{im} \cdot x_r \quad (5.1)$$

"0"	"1"	"2"	"3"	"4"
02120	22200	22120	21120	22222
22012	22200	22022	02022	22222
22022	22000	20022	00222	22222
10001	22000	02222	02222	12220
10001	22000	02220	20022	10220
12022	22000	22220	20022	11222
22212	22200	22202	12212	22220
02120	22000	01112	01120	02222
"5"	"6"	"7"	"8"	"9"
21110	02220	21222	01120	02120
12000	21022	22221	22022	22222
22220	22000	22021	22222	12001
22220	22220	00022	01222	12221
02222	12222	00022	22220	22221
00021	12222	00012	22212	02222
20001	22001	00022	10011	00011
22221	21222	00022	22022	00010
02110	02112	00020	22120	00210

Fig. 7 Examples of template patterns

ただし, $X=(x_1, x_2, \dots, x_r, \dots, x_r)$: 正規化された未知パターン

$m: m=1 \sim N_i, N_i$ はクラス E_i のテンプレート数

j : j 番目に大きい類似度,

と計算される. これより, 未知文字パターン X は,

$$D(i) = \max_{1 \leq j \leq M} \{d(i, j) > \theta\} \quad (5.2)$$

なるクラス i に属するものと判定される¹⁾. ただし θ は類似度がすべてのクラスに対して小さすぎるとき, 判定不能とするしきい値である. また本論文では, 式 (5.2) の条件が 2 つ以上のクラスについて成立した場合, これらのクラスについて (5.1) 式より $j=2$ 以下の類似度を求め, (5.2) 式と同様な方法で判定する方法を採用している.

6. 実験結果

先の認識方法の有効性を示すため, 数字パターン (0~9) を 15×20 次元の行列に表し, これを 5×9 次元の低次元パターンに正規化する手続きにより, 1,000 個の文字を用いて実験を行った. このうち 400 個をテンプレート作成の教育パターンとして用い, 残り 600 個を未知パターンとして数回実験を行った. Table 1,

Table 1 Result of Recognition by template set S, in case of testing pattern set

θ	0.0	0.75	0.80	0.85	0.90
%					
recognized ratio	91.2	91.0	91.0	90.5	88.5
error recognized ratio	8.8	8.5	8.5	8.2	6.7
reject ratio	0.0	0.5	0.5	1.3	4.8

Table 2 Results of Recognition by template T, in case of testing pattern set

(a) $\beta=0.05$

θ	0.0	0.75	0.80	0.85	0.90
%					
recognized ratio	92.5	92.5	92.0	90.8	88.8
error recognized ratio	7.5	7.3	6.7	5.8	4.7
reject ratio	0.0	0.2	1.3	3.4	6.5

(b) $\beta=0.1$

θ	0.0	0.75	0.80	0.85	0.90
%					
recognized ratio	92.0	92.0	91.5	88.7	81.0
error recognized ratio	8.0	7.8	7.5	6.5	3.5
reject ratio	0.0	0.2	1.0	4.8	15.5

(c) $\beta=0.15$

θ	0.0	0.75	0.80	0.85	0.90
%					
recognized ratio	91.0	89.8	88.8	85.0	76.0
error recognized ratio	9.0	7.9	6.7	5.3	3.5
reject ratio	0.0	2.3	4.5	9.7	20.5

Table 3 The Number of the used template patterns in experiments

クラス	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
個数	1	1	3	5	5	4	3	2	5	6

2, 3 にテンプレート集合 S とテンプレート集合 T を用いて行った未知パターンにおける実験結果, 及びそのとき用いたテンプレート数の一例を示す. この Table 1, Table 2 より, 閾値 θ を大きくすれば, 誤り認識率が減少することが分かる. したがって拒否率の許容値を大きくとってやれば, 誤認識率の十分小さい認識システムを構成できると思われる. またテンプレート集合 S とテンプレート集合 T における正解率に関しては, テンプレート集合 T を用いた方が多少良いが余り差異はない. しかし実験を通じて, テンプレート集合 T を用いた方が, 教育パターンの変動に対して安定な認識率が得られることが分かった. これはテンプレート集合 T が, 各クラスの平均的な傾向を含んでいることによると思われる. さらに Table 2 により, β の値としては, 0.05 ないし 0.10 程度が適当であることが分かる. なお, 実験には, FACOM 230-75 を用いて処理を行ったが, 入出力, コンパイル時間を除き, 1 文字当り 0.15 秒を費した.

7. 考 察

本研究において, つぎのことが明らかになった.

- 1) 射影幾何学法により, 大半の数字パターンは正規化することができるが, 十分といえず, 場合により補助的な正規化を加える必要がある.
- 2) 記憶容量を小さくするという立場から, 入力パターンを 5×9 次元の低次元パターンに正規化した, 十分な認識率が得られた.
- 3) テンプレート数がどの程度収束するか, ある程度の実験を行ったが (Table 3 参照), 収束と思われるまでにいたらなかった.

以上の考察により, 今後の課題として,

- 1) 入力パターンをどの程度の低次元パターンに変換することができるか.
- 2) テンプレート数がどの程度の数に収束するか¹²⁾.
- 3) 対象とするパターン数が増えたとき, この方法で十分な認識が行えるか.

が上げられるが, この点に関しては更に研究を進めるつもりである.

最後に、本研究に当たり多大な御指導を頂いた本学工学部電気工学科高浪教授、平田助教授、電子工学科富田教授に感謝する。また、データ収集、整理に手助けしていただいた西村嬢、卒研究生縄田君に感謝する。

参 考 文 献

- 1) W.H. Highlyman: A Analog Method for Character Recognition, IRE. Trans. EC, pp. 1502~1512 (1961).
- 2) C. N. Lin and G. L. Shelton, JR.: An Experiment Investigation of Mixed-Font Printed Recognition System, IEEE Trans. EC-15, No. 6, pp. 916~925 (1966).
- 3) G. Nagy and N. Tuong: Normalization Techniques for Handprinted Numerals, C. ACM Vol. 13, No. 8, pp. 471~581 (1970).
- 4) J. C. Stoffel: A Classifier Design Techniques for Discrete Variable Pattern Recognition Problem, IEEE Val. C-23, No. 4, pp. 428~440 (1974).
- 5) 志村: パターン認識と学習, pp. 218~220, 昭晃堂, (1970).
- 6) 山本他: 手書き数字認識論理の設計, 電子通信学会論文誌, 70/10, Vol. 53-C, pp. 691~698 (1970).
- 7) 田村他: 2値図形の並列細線化アルゴリズムと連結性, 電通信全国大会, p. 1390 (1974).
- 8) R. クーラント他: 数学とは何か, 森口繁一訳, p. 175, 岩波書店, (1974).
- 9) 鳥岡, 高橋: 射影幾何学によるパターンの正規化, 山口大学研究報告, Vol. 25, No. 1, pp. 7~11 (1975).
- 10) 鳥岡, 高橋: 数字文字の正規化プログラム, 情報処理 (掲載予定).
- 11) 高橋他: テンプレートを用いた手書き数字文字の認識, 電気四学会中国支部, p. 138 (1975).
- 12) 富田他: 手書き片仮名文字の認識, 電気通信学会誌, Vol. 50, No. 4, pp. 656~663 (1967).

(昭和 51 年 1 月 27 日受付)

(昭和 51 年 3 月 29 日再受付)