

方向指数系列の文法的処理による文字認識*

阿部圭一** 近藤賀洋*** 福村晃夫****

Abstract

Linguistic or syntactic method is one of the approaches to pattern recognition. Various applications of this method have been made to the patterns which can be transformed into strings of features. This paper describes a general methodology to recognize symbol string patterns and its application to the recognition of handwritten numerals.

The patterns are transformed into symbol strings by chain encoding. Then similarity measures between input string and standard strings of each class are calculated by means of dynamic programming. The overall error rate is 1.5% for 1,000 samples of handwritten numerical characters. This result shows that our method is at least one of the possible ways of handwritten character recognition, though it has many problems to be studied further.

1. ま え が き

パターン認識における方法論の1つとして、いわゆる言語論的 (linguistic) な手法がある。この種の手法は、「時間的あるいは空間的に連続性をもつ特徴の1次元あるいは2次元系列」にたいして有効である。すなわち、このような特徴の系列を言語理論の概念の助けを借りて、書き換え規則により処理することによって、パターンの類別を行うことができる^{1)~4)}。

本論文では、まず、このような手法を採用するにあたっての一般的方法論を述べ、つぎに、これを手書き数字パターンから得られた方向指数系列の処理に適用して得られた結果と問題点を述べる。本手法は、パターンの局所の変形を処理する手段としてとくに有効であり、文字認識にたいする1つの可能性を示しているように思われる。

筆者らがこの研究にとりくんだのは、つぎのような素朴な動機からであった。例えば“9”という数字を、

上部のループと、それに接するほぼ垂直な線分とからなると考えた場合、人間は Fig. 1 のようなヴァリエーションをすべて“9”と認識する。ところが、このような字体のヴァリエーションは、“9”の標準パターンをただ1個定めておいてそれに線型変換のような空間的に一様な変換を施すことによって決して得られない。問題は、パターンの各部分部分が、一様でない比率で局所的に伸縮し、局所的に回転することにあると考えた。このようなパターンの局所の変形に対処しうるモデルと手法を求めて、本研究に到達した。奇しくも、この手法は、当時独立に研究が進められていた、音声パターンの時間正規化の手法^{5), 6)}と一致した。

しかしながら、この手法では、与えられたパターンを時間的または空間的に連続な特徴の系列に変換することが本質的に必要である。筆者らは、特徴の2次元系列を最初から扱うことは無理であろうと判断し、2次元文字パターンの方向指数系列によって擬1次元化して取り扱うことにした。この方針は、結局、1次元



Fig. 1 Possible variations of pattern “9”.

* Character Recognition by Rewriting Rules on Strings of Chain Codes by Keiichi ABE (Faculty of Engineering, Shizuoka University), Yoshihiro KONDO (Data Communications Bureau, N. T. T.), Teruo FUKUMURA (Faculty of Engineering, Nagoya University).

** 静岡大学工学部

*** 日本電信電話公社データ通信本部

**** 名古屋大学工学部

からはみ出した情報（交点にかんする情報）をいかに処理するかという点で、大きな困難にぶつかった。この点については 5. で述べる。

2. 文法によるパターン認識

本章では、文法によるパターン認識の一般的方法論を考察する。

2.1 記号系列パターンのモデル

ここでは、パターンとは特徴が1次元状に並んだもの（特徴の系列）であると定義する。すなわち、

$$\xi = \xi_1 \xi_2 \dots \xi_n \quad (1)$$

ここに、 ξ はパターン、 ξ_i は i 番目の特徴とする。特徴 ξ_i は有限個の記号 $\{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_L\} = \Sigma$ のいずれかを値としてとる。特徴の個数（系列の長さ） n は一定でなくてよい。したがって、ある値 σ_i をもつ特徴 ξ_i が絶対座標の意味で i 番目に位置するということは意味ある情報ではなく、隣接する特徴との相対的な順序関係のみが有意義な情報である。この点が、 n 次元ユークリッド空間中の特徴ベクトルとしてパターンを把握する場合との重要な相違である。

このようなパターンを記号系列パターンと呼ぶことにする。原パターンから、このような特徴の系列としての記号列をどのようにして得るかということは、重要な問題ではあるが、本章では触れない。ここでは、式(1)の形のパターンが与えられているものとして、議論を進める。

記号系列パターンは、上述のように、有限の記号集合 Σ にぞくする記号（特徴）の有限系列であるから、言語理論の対象と同一である。したがって、言語理論の用語、概念、方法が採用できる。さて、式(1)のようなパターンを識別して有限個の類に分類する過程はつぎのように考えることができる。類の集合を $\{C_1, C_2, \dots, C_M\}$ とし、各類 C_m にたいして記号 C_m を割当てる。いま、記号系列を書き換える規則の集まり（文法）を考え、これらの書き換え規則を記号系列 ξ に適用して首尾よく $\xi \Rightarrow C_m$ という書き換えに成功したならば、記号系列パターン ξ は類 C_m にぞくと判定する。このようすを模式的に Fig. 2 に示す。

2.2 文法の構成にさいして考慮すべき問題

文法の構成については、つぎのような点を考慮すべきである。

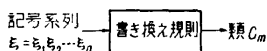


Fig. 2. Classification of symbol string patterns.

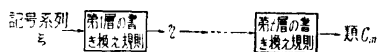


Fig. 3 Hierarchical rewriting rules.

(1) 文法の階層化 一般に、複雑なパターンにたいしては Fig. 3 に示すような階層構造を持った書き換え規則の集合を考えるべきであろう。

(2) 文法のアナログ化 言語理論で用いられる書き換え規則は、書き換え可能か不可能かの all or nothing であるが、複雑なパターンを識別するために用いるには、書き換え可能な程度を表わすアナログ量を導入する必要がある。その1つとして Penalty Automaton などが提案されているが⁷⁾、以下に述べる文法のモデルはその萌芽である。

2.3 3層の文法構造とそれによる識別

ここでは、記号系列パターンの文法による識別の一般手法として、つぎのような3層の文法構造を提案する。

2.3.1 第1層の規則

パターンの生成、観測の段階における系統の変形の自由度を抑える目的で、入力パターン ξ を正規化されたパターン η に変換するための書き換え規則である。つまり、この層の書き換え規則は、パターンの正規化の過程の一部を担うものであって、パターンがどの類にぞくするかということは無関係に、適用可能であれば必ず適用されるものとする。

2.3.2 第2層の規則

第1層の書き換え規則によって正規化されたパターンを変換して、各類ごとに用意された標準パターンに書き換えることにより、パターンの類別を行うための規則である。第1層の規則が必ず適用されるべき規則であったのにたいし、第2層の規則は選択的に適用される。すなわち、1つのパターンにたいして、いく通りもの規則の適用の仕方の可能性があり、したがって、その適用の過程は非決定的である。

第2層の規則は、前節で述べた論点にしたがって、各規則にたいして「罰金」と呼ばれる正数値（0を含む）が対応づけられている。ここでは、議論を具体的にするために、つぎのような最も単純な形の第2層規則を考えよう。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_h &\rightarrow \sigma_l, & \text{罰金 } 1 & \quad h, l = 1, \dots, L; \quad h \neq l \\ \sigma_l &\rightarrow \varepsilon, & \text{罰金 } 1 & \quad l = 1, \dots, L \\ \varepsilon &\rightarrow \sigma_l, & \text{罰金 } 1 & \quad l = 1, \dots, L \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここに、 ε は空系列を表わす。この規則は任意の記号を他の任意の記号に罰金1で書き換えることができ、

また任意の記号を新たに書き加えたり、逆に消したりすることが同じく罰金1でできるというものである。この規則は記号 σ_i にかんして一様であることに注意されたい。この規則を後の便宜上、規則Iと称することにする。

式(2)の書き換え規則を逐次的に用いて、正規化パターン η をパターン ζ に書き換えることを考える。かりに、 K 個の規則 R_1, R_2, \dots, R_K によって、 η が ζ に変換されたとし、それらの規則に付随する罰金を w_1, w_2, \dots, w_K とする。それらの罰金の和は、式(2)の規則の場合には、たまたますべての規則の罰金が1であるから、 K となる。一般にパターン η を ζ に書き換える方法は複数通り存在するであろうから、その中で、適用する規則に付随する罰金の和 $\sum_{k=1}^K w_k$ が最小となるような規則の列を選んだときの罰金値の最小値を

$$w(\eta, \zeta) \equiv \min_{K, R_1, R_2, \dots, R_K} \sum_{k=1}^K w_k \quad (3)$$

と定義する。

明らかに、 $w(\eta, \zeta)$ は η と ζ とのあいだの一種の距離を表わす。実際、式(2)の規則を用いるときは、 $w(\eta, \zeta)$ はつぎのような物理的意味をもつ。系列 η, ζ をつぎのような部分系列の連接で表わす。

$$\left. \begin{aligned} \eta &= \eta_0 r_1 \eta_1 r_2 \dots r_s \eta_s \\ \zeta &= \zeta_0 r_2 \zeta_1 r_2 \dots r_s \zeta_s \\ (\eta_i, \zeta_j &\text{は空系列であってもよい}) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

すなわち r_1, r_2, \dots, r_s は系列 η, ζ の一致部分であって、このような r_1, r_2, \dots, r_s の選び方は一般にいく通りもある。このとき次式がなりたつ。

$$\begin{aligned} w(\eta, \zeta) &= \min_{s, r_1, \dots, r_s} \sum_{i=1}^s \max \{ \lg(\eta_i), \lg(\zeta_i) \} \\ &\geq \min_{s, r_1, \dots, r_s} \left[\max \left\{ \sum_{i=1}^s \lg(\eta_i), \sum_{i=1}^s \lg(\zeta_i) \right\} \right] \\ &= \max \{ \lg(\eta), \lg(\zeta) \} \\ &\quad - \max_{s, r_1, \dots, r_s} \sum_{i=1}^s \lg(r_i) \end{aligned} \quad (5)$$

ここに、 $\lg(x)$ は系列 x の長さである。つまり、 $w(\eta, \zeta)$ は、系列 η, ζ のあいだの不一致部分 η_i, ζ_i の長さの大きいほうの和の最小値に等しく、それは、 η, ζ の長さの大きいほうから最大一致部分の長さの和を引いたものによって下限がおさえられる。

【例】 $\eta = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_2 \sigma_3 \sigma_4$, $\zeta = \sigma_2 \sigma_5 \sigma_3$ とすると、 $r_1 = \sigma_2$, $r_2 = \sigma_3$ ととることができ ($\eta_0 = \sigma_1$, $\eta_1 = \sigma_2$, $\eta_2 = \sigma_4$, $\zeta_0 = \varepsilon$, $\zeta_1 = \sigma_5$, $\zeta_2 = \varepsilon$)、不一致部分をこれより小さくす

ることはできないから、

$$\begin{aligned} w(\eta, \zeta) &= \max(1, 0) + \max(1, 1) + \max(1, 0) \\ &= 3 \end{aligned}$$

このように定義された $w(\eta, \zeta)$ が距離尺度として要求される性質を満たすことを示すのは易しいし、上の物理的意味が距離の概念と直観的に一致することも明らかであろう。

この距離は、第2層規則の集合によって局所的なパターンの変換の積み重ねとして定義されている点に興味がある。この点が、このような距離がパターンの局所の変形の度合を忠実に反映し、局所の変形を受けたパターンを識別するのに有効である理由と考えられる。

式(5)の \min 演算 (または \max 演算) は、動的計画法を用いて能率良く計算することができる^{6), 8)}。

2.3.3 第3層の規則

第3層の規則は、類 C_m の標準パターンを記号 C_m に変換する規則である。類 C_m の標準パターンは一般に複数個存在するものとし、その i 番目のものを α_{mj} とすると、第3層の規則は

$$\alpha_{mj} \rightarrow C_m \quad (m=1, \dots, M; j=1, \dots, J_m) \quad (6)$$

という形になる。したがって、第2層で変換された結果 ζ は、実は α_{mj} のいずれかでないが無意味である。すなわち、以上の3つの変換過程をへて、正規化パターン η にたいして

$$\min_{m, j} w(\eta, \alpha_{mj}) = w(\eta, \alpha_{m^*j^*}) \quad (7)$$

を満たす類 C_{m^*} に入力パターン ζ は類別される。

3. 方向指数系列とその抽出・正規化

前章で述べた認識手法を手書き数字の認識に応用することが本論文の目的であるが、そのためには手書き数字パターンから1次元的特徴系列を得る必要がある。ここでは、それを方向指数系列によって行う。

3.1 原パターンの線図形化と方向指数系列の抽出

方向指数系列は2次元線図形を1次元記号系列で表現する方法であり、通常 chain encoding と呼ばれている。ここでは、線図形間の結合・交差の状態を表わすために、ラベルを導入している。すなわち、方向指数系列中の同一ラベルは2次元平面上の線図形中の同一点を表わすものとする。これにより線図形の位相幾何学的特徴を得ることができ、方向指数系列から2次元線図形を一意に復元することができる。

方向指数系列は、8方向の方向指数 (Fig. 4 (a) (次頁参照))、交点を示すラベル (A, B, ...)、セグメ

ント*の終端記号0を要素として、連結した線図形を表示する。方向指数系列の例は Fig. 4 (c), (d)を参照されたい。

ところで、与えられた2次元文字パターンから方向指数系列を抽出するには、まず2次元パターンを線図形に変換する必要がある。線図形化には種々の方法が考案されているが、ここでは、用いた手書き数字パターンの性質を考慮して、一種の追跡型の線図形化法によって行った⁸⁾。この方法によって抽出された線図形と方向指数の例を Fig. 4 (b)~(d)に示す。

3.2 方向指数系列の正規化

このようにして抽出された方向指数系列は種々の雑音を含んでいる。これを2.

3.1で述べた第1層規則によって正規化する。具体的には、つぎのような第1層規則を用いた。

(Rule 1a) l_1 個以下の方向指数系列ははさんで隣り合うラベルは同一と見なして、同一のラベルに置き換える。ここに、 l_1 は適当な整数である。

(Rule 1b) 始点または終点と (l_1-1) 個以下の方向指数をはさんで隣り合うラベルは、始点または終点へ移動させる。

(Rule 2) 中間にラベルのあるセグメントは、いったん2つのセグメントに分割して、同一のラベルをもつセグメントの中から、ラベルの近傍の方向指数の平均方向が良く一致するようなセグメント対から順次接続していく。

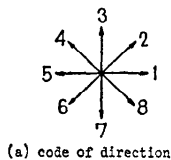
(Rule 3) 長さ l_3 個以下のセグメントは方向指数系列から削除する。これは、スポット・ノイズやヒゲのような雑音を除去する規則である。

(Rule 4a) 同一の方向指数にはさまれた長さ l_4 以下の連は、両側の方向指数からなる同じ長さの連におきかえる。

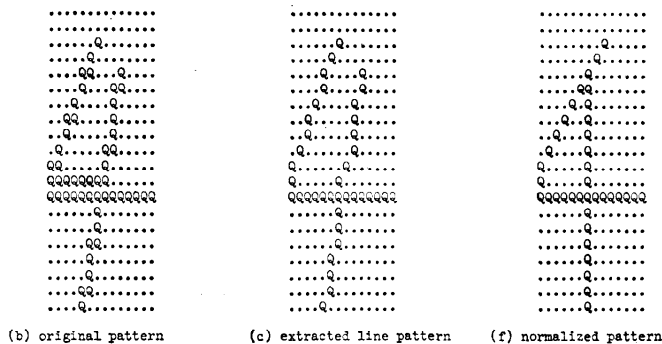
(Rule 4b) 始点または終点を含む長さ l_4 以下の連は、それに隣り合う方向指数の同じ長さの連におきかえる。

(Rule 5) セグメントを長さの順に並べかえる。

(Rule 6) 始点が終点よりも下にあるセグメントは



(a) code of direction



(b) original pattern (c) extracted line pattern (f) normalized pattern

6676676677111111A11111110 6666666677111111A11111110
 76777667A77767760 77777777A7777770
 (d) chain code expression (e) normalized chain code

Fig. 4 An example of extraction and normalization of chain code.

その向きを逆転する。

以上の第1層規則を Fig. 4 (d) の方向指数系列に適用した結果を同図 (e) に、対応する正規化された線図形を (f) に示す。ただし、一般に、この方法で正規化された方向指数系列はもはや線図形との対応がつかない。線図形との対応を保ったまま方向指数系列を正規化する方法が検討される必要がある。

4. 手書き数字の識別実験

4.1 識別実験に用いたデータ

識別実験に用いたデータは、手書き数字 10 種、各 100 個あたりの計 1,000 サンプルである。この手書き数字は 20 人の人によって 60 mm×42 mm の枠内にマジック・インクで書かれた文字を 14×20 メッシュで 0,1 に標本化、量子化したものである。

本論文の手法では、標準パターンの作成 (第3層規則の作成) が1つの大きな問題となるが、ここでは、以下の方法で与えられたサンプルから選出したものを標準パターンとした。類 C_m にぞくする正規化パターンの集合を $\{\eta_j^m | j=1, \dots, 100\}$ とするとき、

$$\sum_{q \neq p} r_s(\eta_p^m, \eta_q^m) \geq t \quad (8)$$

* セグメントとは、線図形を構成する、一筆書きで書ける部分のことをいう。

を最大にするサンプル η_p^m を類 C_m の標準パターンの 1つ α_{m1} として選ぶ。ここに、 $r_s(\cdot)$ は次節の式(9)によって定義される類似度、 t は $0 < t < 1$ なる適当なしきい値である。 $r_s(\eta_p^m, \alpha_{m1}) < t$ なるサンプル η_p^m が残っていれば、再び式(8)によって第2の標準パターンを選ぶ。以下、これを繰り返す。この方法によって、1,000個のサンプルから29個の標準パターンが選出された。内訳を Table 1 に示す。

識別実験に用いたサンプルは、標準パターン選出に用いたものと同じサンプルである。判定は“0”~“9”の類のいずれかに識別するものとし、reject は認めなかった。

4.2 セグメントの形状にかんする類似度のみによる識別

識別にあたっては、式(5)で与えられる系列間距離 $w(\eta, \zeta)$ の代わりに、次式の類似度 $r_s(\eta, \zeta)$ を用いた。この式は、式(5)の距離 $w(\eta, \zeta)$ の下限を系列の長さ $\max(\eta, \zeta)$ によって正規化し、符号を反転したものに相当する。

$$r_s(\eta, \zeta) = \frac{\max_{s, r_1, \dots, r_s} \sum_{i=1}^s \lg(r_i)}{\max\{\lg(\eta), \lg(\zeta)\}} \quad (9)$$

このような類似度 $r_s(\eta, \zeta)$ を用いると、 $0 \leq r_s \leq 1$ という条件が満たされるので、扱いに都合が良い。

[例] 式(5)の計算例と同じく、 $\eta = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 \sigma_4$ 、 $\zeta = \sigma_2 \sigma_5 \sigma_3$ とすれば、 $r_s(\eta, \zeta) = 2/5 = 0.4$ 。

2つの方向指数系列の対応するセグメント対ごとに上式で r_s を計算し(このとき系列中のラベルは無視する)、各セグメント対の r_s の値を平均して、方向指数系列間の類似度とした。このようにして計算される類似度を「セグメントの形状にかんする類似度」と呼ぶ。2つの方向指数系列間で、比較されるセグメントの個数が異なるときには $r_s = 0$ とする。第1層規則によって方向指数系列はセグメントの長さの順に配列されているから、セグメントの対応づけはその順序で行われることになる。この点は、すべての可能なセグメント対の対応づけのなかで、セグメントの形状にかんする類似度を最大にする対応づけを求めるほうがより完全ではあるが、計算時間を大量に必要とするので採用しなかった。

Table 1 Number of Standard Patterns.

類	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	計
個数	2	1	3	3	6	3	1	2	4	4	29

セグメントの形状にかんする類似度のみを用いたときの識別実験では、識別率は95.5%であった。とくに0と6、0と8のあいだの誤識別が多かった。これは、ラベル(交点)にかんする情報を何ら利用していないのであるから当然であろう。これらのパターンは、線図形の方向変化という点だけから見れば非常に似ているからである。

セグメントの形状にかんする類似度のみを用いた識別実験として、種々のヴァリエーションを試みた。その中で結果が最良であった一例のみを挙げる。

2.3.2で述べた書き換え規則Iは、記号にたいして全く一様であった。それにたいして、つぎのような書き換え規則IIが考えられる。

$$\begin{aligned} \sigma_h \rightarrow \sigma_i, \text{ 罰金} & \begin{cases} 0.5 & \sigma_h - \sigma_i = \pm 1 \text{ または } \pm 7 \\ 1 & \text{その他} \end{cases} \\ \sigma_i \rightarrow \varepsilon, \text{ 罰金} & 1 \\ \varepsilon \rightarrow \sigma_i, \text{ 罰金} & 1 \end{aligned} \quad (10)$$

この規則は、方向が隣り合う方向指数のあいだでは、1/2の罰金で書き換えが許されることを意味する。したがって、パターンの全体的または局所的回転にたいする認識の許容範囲が広がることになる。この規則を用いても、これまで述べたと同じように方向指数系列間の距離および類似度が定義でき、それは動的計画法を用いた漸化式によって計算できる。これによる識別率は96.4%で、書き換え規則Iと比較して0.9%の識別率の改善が見られた。

4.3 セグメントの接続にかんする類似度を加えた識別実験

前節で、識別実験結果に関連して触れたように、セグメントの形状にかんする類似度のみで識別しようとするのは本来無理である。そこで、セグメント同志がどのように接続しているかという情報、すなわち、ラベルによって表わされる交点情報をも加味した識別方法が必要になる。これを Fig. 5(次頁参照)に示す考え方で行った。すなわち、2つの方向指数系列のセグメント数が一致しない場合、セグメント数の少ない側の方向指数系列を尖点で分割し、セグメント数を揃えた後、セグメントの形状にかんする類似度、セグメントの接続にかんする類似度を計算し、それらを総合して全体の類似度とする。

セグメントの接続にかんする類似度はつぎのように定義した。

(i) ループのない2つのセグメントの接続

パターン η, ζ の対応する2つのセグメントがそれ

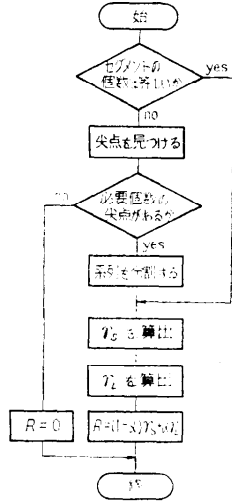


Fig. 5 Classification process.

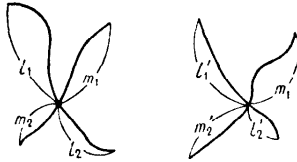


Fig. 6 Calculation of similarity measure as to connection of segments.

それぞれ交差し、交点より端点までの長さが Fig. 6 のようであるとき、セグメントの接続にかんする類似度を $r_L(\eta, \zeta) = 1 - \sqrt{Q/2}$ (11)

ここに、

$$Q = \left(\frac{l_1}{l_1+l_2} - \frac{l'_1}{l'_1+l'_2} \right)^2 + \left(\frac{m_1}{m_1+m_2} - \frac{m'_1}{m'_1+m'_2} \right)^2$$

と定める。 $\sqrt{Q/2}$ は、Fig. 6 の2つの図形を単位正方形内の水平垂直線分に写像したときの、交点間の正規化された距離を表わす。

(ii) ループをなす1つのセグメント自身の接続

このときは、ループをその中央で切断して式(11)を適用する。

複数個の交点をもつパターンにたいしては、すべての交点にたいして式(11)で定義される r_L を計算して、その平均値をセグメントの接続にかんする類似度とする。

セグメントの接続にかんする類似度については、一般的な線図形パターンにたいして考察すると、上記のような簡単な方法では片づかない種々の問題点が出てくるのであるが、手書き数字のような単純なパターン

については、上記程度で十分なので、詳細な検討は省略する。

セグメントの形状にかんする類似度 $r_s(\eta, \zeta)$ とセグメントの接続にかんする類似度 $r_L(\eta, \zeta)$ とを総合して、パターン η, ζ 間の類似度 $R(\eta, \zeta)$ を定めるには、つぎの2つの式のいずれかを用いる。

$$R(\eta, \zeta) = r_s(\eta, \zeta) \cdot r_L(\eta, \zeta) \quad (12)$$

または

$$R(\eta, \zeta) = (1-\alpha)r_s(\eta, \zeta) + \alpha r_L(\eta, \zeta) \quad (13)$$

ここに、 α は $0 < \alpha < 1$ なる適当な実数である。

実験的には、式(12)よりも、 $\alpha=0.3$ を用いたときの式(13)のほうが良い識別結果を得た (Table 1 参照)。これは、式(12)では、「 r_s, r_L のうち一方が低いものは全体の類似度 R も低くなる」という性質が効きすぎるためと思われる。識別結果を Table 2 に要約して示す。前節で述べた書き換え規則 II にたいして、式(13) ($\alpha=0.3$) によって識別を行った結果は識別率 98.5% であって、セグメントの接続にかんする類似度の付加により 2.1% の識別率の増大が見られる。このときの confusion matrix を Table 3 に示す。誤識別されたサンプルを調べてみると、識別手法よりも、方向指数系列の抽出および正規化の過程に問題があると思われるものが多かった。

Table 2 Summary of results of classification experiments.

場合	規則	類似度	識別率 (%)	識別速度 (秒/文字)
形状の類似度 r_s のみ	I	$R=r_s$	95.5	0.14
	II	$R=r_s$	96.4	0.19
接続の類似度 r_L を付加	II	$R=r_s \cdot r_L$	97.8	0.42
	II	$R=0.3r_s + 0.7r_L$	98.5	0.42

* FACOM 230-45S の CPU 時間。

Table 3 Confusion matrix of classification results.

識別結果	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
入力										
0	100									
1		97						3		
2			99						1	
3			1	97		1			1	
4					100					
5						100				
6							100			
7			1					98		1
8	1								98	
9					4					96

5. むすび

書き換え規則を用いた言語論的なパターン認識の方向論を論じ、それを手書き数字パターン認識にたいして適用した結果を述べた。手書き数字を線図形化して方向指数系列に変換し、セグメントの形状にかんする類似度とセグメントの接続にかんする類似度を併用することにより、1,000個のサンプルにたいし、98.5%という高い識別率を得た。この識別率は、標準パターンを決定するために用いたサンプルと同じサンプルにたいして実験を行った結果であって、未知サンプルにたいする識別実験は行っていない。これは、本研究の目的が上記手法の有効性の予備的検討にあったためである。実際、後に述べるように、本研究によって明らかにされた問題点もまた少なくない。今後、これらの問題点を1つ1つ解決する方向で研究を進める予定であり、そのうえではじめて本手法の最終的な有効性が判断されるものと考えられる。現時点における結論は「本手法は手書き文字パターンの局所の変形の処理に有効であり、今後の研究に値する方法の1つである」というにとどめるべきであろう。

以下に主な問題点を列挙する。

(1) 線図形化および正規化の過程をさらに研究する必要がある。

(2) 標準パターンの作成(第3層規則の作成)方法をさらに検討する必要がある。

(3) パターン間の類似度を、セグメントの形状にかんする類似度とセグメントの接続にかんする類似度とに分けてとらえ、最後にそれを総合して識別を行うと考えたが、この分け方が妥当であったか否か。言いかえれば、2次元図形を方向指数系列によって擬1次元化したことは妥当であったか否か。

(4) 一般的な線図形にたいして、セグメントの接続にかんする類似度を定義しようとすると、非常に面倒な場合分けが出てくる。見通しのよい、統一的な定義が望まれる。

上記の問題点のうち、(1)、(3)、(4)については、本研究の後、迫江氏の考案した巧妙な方法^{9)、10)}によって一部分解決されている。しかし、この方法も対象はやはり手書き数字であり、もう少し一般的な図形にたいしても有効であるかは検討を要するものと思われる。

る。

謝辞 本研究の大部分は、筆者のうち、阿部、近藤が名古屋大学に在職(学)中に行ったものである。両名の転勤・就職により研究が長期にわたって中断したのは残念であった。研究の最終的なまとめにあたる実験を遂行してくれた静岡大学工学部学生佐藤一善君に御礼申し上げる。貴重な御討論をいただいた名古屋大学工学部福村研究室、静岡大学工学部松井研究室の諸氏に深謝する。

参考文献

- 1) H. Genchi, K. Mori, S. Watanabe, and S. Katsuragi: Recognition of Handwritten Numerical Characters for Automatic Letter Sorting, Proc. IEEE, Vol. 56, No. 8, pp. 1291~1301 (1968).
- 2) R. S. Ledley, et al.: FIDAC: Film Input to Digital Automatic Computer and Associated Syntax-Directed Pattern Recognition Programming System, in Optical and Electro-Optical Information Processing, MIT Press (1965).
- 3) 樽松, 武田, 井上: 書き換え規則を用いて音声認識を行う場合の規則の一構成法, 信学誌, Vol. 55-D, No. 2, pp. 91~98 (1972).
- 4) 時系列パターンの認識システムの研究, 京大数理解析研講究録, No. 229 (1975).
- 5) V. M. Velichko and N. G. Zagoruyko: Automatic Recognition of 200 Words, Int. J. Man-Machine Studies, Vol. 2, No. 3, pp. 223~234 (1970).
- 6) 迫江, 千葉: 動的計画法を利用した音声の時間正規化に基づく連続単語音声認識, 音学誌, Vol. 27, No. 9, pp. 483~490 (1971).
- 7) 阿部: 記号系列パターンを識別するあるオートマトンの構成について, 信学会パターン認識と学習研究会資料, PRL 74-5 (1974. 4).
- 8) 近藤, 阿部, 福村: 系列の文法的処理による文字認識, 信学会オートマトン研究会資料, A・IT 71-9 (1971. 4).
- 9) 迫江: Rubber String Matching 法による手書き文字認識, 信学会パターン認識と学習研究会資料, PRL 74-20 (1974. 9).
- 10) 迫江: Rubber String Matching 法による手書き文字認識, 信学会全大, 1227 (1975).

(昭和51年5月6日受付)

(昭和52年8月9日再受付)