



外周パターンマッチング法による手書き文字の認識

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-11-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 高橋, 文彦, 黒田, 芳郎 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00008144

外周パターンマッチング法による手書き文字の認識

Recognition of Hand-written Characters by a Pattern Matching Method applied on Character Contour

高橋文彦*, 黒田芳郎*

Fumihiko TAKAHASHI** and Yoshiro KURODA**

(昭和49年9月5日 受理)

あ ら ま し

この報告は、わく内自由手書き文字(数字)を自動認識するための論理と、その実験結果について述べたものである。筆者らの方法は、文字を外周の形状(輪画)によって分類し識別する方法であって、あらかじめ採取した文字パターンを、各文字ごとに類似パターンに分類し、これらを平均化処理をして、標準の文字パターンを作っておき、つぎに、実際に読みとった文字パターンが、これら標準パターンのどれにもっとも近いかによって判別する方法である。

資料として、20名の学生から集めた、0~9の数字200個を用いて、認識実験を行なった結果、認識率は98.5%、1字当りの所要時間は約3秒(FACOM 230-25 使用)となり、論理の簡単な割には好結果を得ることができた。

1. ま え が き

手書き文字の認識に関する研究については、すでに多数の論文が発表されており、中には、すでに実用化され相当の成果をあげているものもある。郵便番号自動読取機などはその好例であろう。これら多種多様の研究を類別することは困難であるが、代表的なものをいくつかあげるとすれば、まず上述の郵便番号自動読取機に應用されている、部分特徴の系列による認識法¹⁾を第1にあげるべきであろう。この方法は判別速度も早く(1字当り約30ms)、識別率も高い(実用状態で約90%)ので、ここ当分の間、実用面では主流を占めることになるであろう。ただ難点は、文字を部分特徴の系列に分解する作業の繁雑さと、それに伴うアルゴリズムの複雑さであろう。第2の代表的な方法は、文字をトポロジカルな図形として解析して行く方法²⁾であろう。この方法は、前処理段階として、文字図形の細線化(スケルトン化)処理が必要であり、ここでの処理に時間をとられるのが、実用化に際しての、ひとつの問題点である。最後に、場の効果法による認識法³⁾をあげなければならないが、これは人間の視覚生理を真似て、図形を最後まで2次元情報のまま処理するもので、認識率も非常に高く、すぐれたアイデアであるが、並列処理の計算機の出現を前提にしているため、実用化は当分さきになると思われる。

筆者らの外周パターンマッチング法は、文字を外周(輪画)の形状によって分類判別する方法で、アルゴリズムが簡単なわりに、よい結果を得ることができる。一般に、パターン認識で

* 電気工学科

** Department of Electrical Engineering

認識率をあげるには、ひとつの方法だけでなく、いくつかの方法を相補的に用いるのが常識となっており、筆者らの方法も、さらに他の方法を併せ用いると認識率のあがることが確認されているが、ここでは純粹に、1つの方法だけにしがった場合の実験結果を報告する。

2. 文字認識論理の概要

文字認識論理の概略の流れを図1に示す。まず、 20×20 のメッシュに量子化された1-0文字パターンを入力する。このパターンの外周を 45° きざみの8方向の単位ベクトル（大きさ1メッシュ）で順次追跡して行き、1周して元に戻ったところで追跡を完了する。

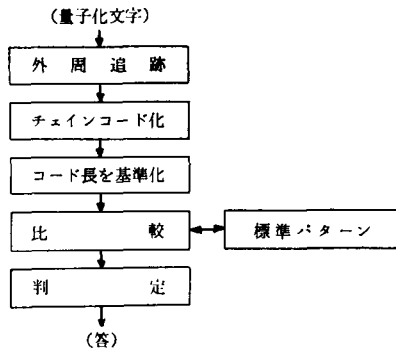


図1 文字認識論理の構成

この追跡過程を追跡ベクトルの方向量 (0, 1, 2, …, 7) の連鎖でチェーンコード化しておけば、これが文字の外周の形状を表わす情報を完全に包含していることになる。当然のことながら、このチェーン長は、文字の大小や字種によってまちまちなので、比較をたやすくするため長さを一定長（ここでは50単位）に統一する処理を行ない、基準化チェーンコードを作成する。最後に、このようにしてできた基準化チェーンコードを、あらかじめ用意された各文字の標準パターンのチェーンコードと比較し、互いの「距離」が最少のものを選び出して判定を下すのである。以下これら各ステップについて詳述しよう。

3. 外周の追跡とチェーンコード化

外周の追跡方法を図2に示す。画面の上端から順次右方向にスイープして、1-要素（文字の

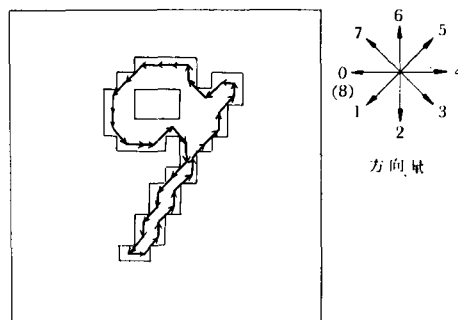


図2 外周の追跡法

黒い部分に相当)を探索し、最初に見出した1-要素を y_1 とする。この y_1 を中心にして、まず、左横方向(方向量0)からスタートして、反時計方向に、 $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow \dots$ と順番に、1-要素に出会うまで探索し、最初に1-要素を見出した方向量を v_1 、その要素を y_2 とする。次にふたたび y_2 を中心にして同様に反時計方向に探索し、最初に1-要素を見出した方向量を v_2 とする。以下同様にくり返して $v_1 - v_2 - v_3 - \dots$ のチェーンを求めていくわけである。

ところで、この方向量 v_i 以下については、筆者らは、逐次加算方式をとることにした。すなわち、 v_2 に例をとると、前段の方向 v_2 に、つぎの段での方向変化量を加算する方式である。このようにした理由は、方向量0と7の間が不連続になるのを防ぐため、例えば、左折をくり返していくようなパターンでは、 $\dots - 7 - 8 - 9 - \dots$ のように7を超える数が出てくるし、逆に右折をくり返すようなパターンでは、 $\dots - 1 - 0 - (-1) - (-2) - \dots$ のように、負の方向量が出てくることもある。したがって、例えば同じ真下向きの方向でも、それまでの追跡過程によって、方向量2となることもあれば10となることもあり、逆に(-6)となる場合もあるということになる。このようにしておく、4・の基準化処理や、6・の「距離」の計算が容易になるのである。

以下同様にして、 v_3, v_4, \dots と方向量を求めて行き、次式が成立する時まで探索を続ける。

$$y_{m+1} \equiv y_1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$v_{m+1} = v_1 + 8 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式(1)は、出発点まで戻ったことを示し、式(2)は、それが完全に外周を一回りして戻ったことを確認するためのものである。このようにして外周の追跡が完了し、逐次追跡した方向量の連鎖 $[v_1, v_2, \dots, v_m]$ を、このパターンのチェーンコードとするのである。

4. チェインコードの基準化

上にのべたチェーンコードは、当然のことながら文字の大小、字体などによって、長さはまちまちである。これではパターンマッチングに不具合なので、標準パターンのそれと比較しやすくするため一定の長さに揃え基準化しておく必要がある。この基準化の方法を図3に示す。

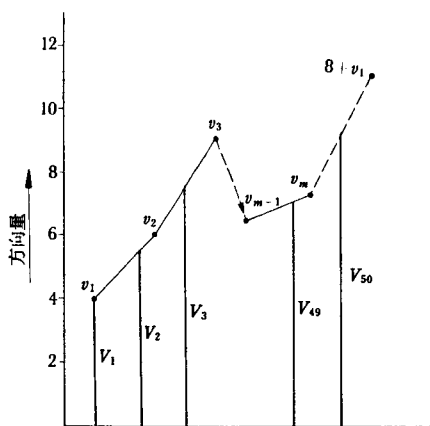


図3 チェインコードの基準化

図の折線 $[v_1, v_2, \dots, v_m]$ のチェーンコードを、一様に引伸(または圧縮)して、基準長(ここでは50単位)に合わせたのち50等分すると、棒線群で示される $[V_1, V_2, \dots, V_{50}]$ のような基

準化チェーンコードに変換される。ここで留意すべきことは、元のチェーンコードは整数型であったが、このような方法で基準化されると、結果的に当然端数を生じ、実数型で扱わねばならぬことになる。この端数のついた方向量については、チェーンコードから図形を復元する際に、実際の方向との対応づけが必要になってくる。この点については、5・5でふれることにする。

5. 標準パターンの合成

判定の基準になる標準パターン（実質は標準チェーンコード）は、実際に収集した文字パターンを平均化処理して合成する。まず収集した文字パターンを各文字ごとに比較的形状の似かよっているもの同志の2, 3のグループに組分けする。次にそれぞれのグループ内で、各パターンの基準化チェーンコードを平均化して標準パターンを合成、これにラベルをつけて登録しておくのである。この合成の方法について、筆者らは次のような2種類の方法を試みた。

5・1 単純合成法

基準化された方向量 $V_1, V_2, V_3 \dots$ のそれぞれについて、上記グループ内での平均値 $\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_3 \dots$ を求めて、平均基準化チェーンコード $[\bar{V}_1, \bar{V}_2, \dots, \bar{V}_{50}]$ を作り、これを標準パターンとする方法である。

図4はこの方法によって2つの原パターンから1個の合成パターンを作成する模様を、図形に復元して例示したもので、このようにして得られた合成パターンの形状は、各部を詳細に眺めてみると、2個の原パターンの中間的な形状になっていることがわかるであろう。（図形への復元法については5・3でのべる）

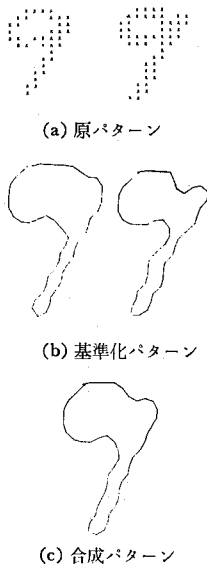


図4 標準パターンの作成法

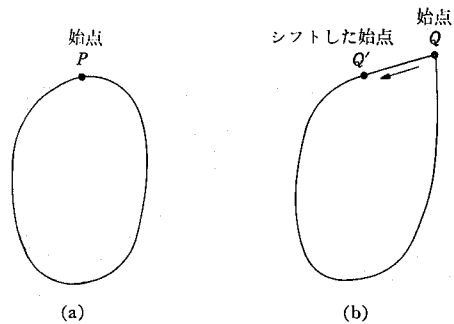


図5 シフト合成の概念

5・2 シフト合成法

前節のような合成法で、大体うまく中間的（感覚で判断しての）図形が得られるが、中にはひどくかけはなれた図形になってしまう場合がある。この原因のひとつは、チェーンコードの

合成の過程にある。すなわち、チェーンコードは便宜上、直線に展開してはいるが、内容的にはリング状のもので、 $[V_1, V_2, \dots, V_{50}]$ の V_{50} はすぐに V_1 につながっているのである。これを単純に直線状と仮定して、原パターン群の V_1 同志、 V_2 同志、……と平均化していったのが、前節の方法であるが、図形によっては、チェーンコードのリングを少しずらして重ねた方がよい場合がある。例えば図5のような2個の図形を合成する場合、今までのアルゴリズムでは、探索の始点が P 点と Q 点になる関係で、この両点に対応関係になるが、図形をうまく重ね合わせるには、 P 点に対して、 Q 点を対応させる方が全体の重なりがよくなるはずである。したがって、ここでは次の6.で述べるパターン間の「距離」の概念を利用して、まずパターン(a)との「距離」が最少になるように、パターン(b)の Q の位置をシフトし、その上で前節の合成法を適用するのである。

5.3 上記2法の復元比較

これら2つの合成法の優劣を判断するには、得られた標準チェーンコードを図形に復元して比較するのがひとつの方法である。この場合、ベクトルの方向量と実際の方向との対応を明確にしておかねばならない。整数の場合は、先の図2に示すように明確に定義されているが、端数をもつ場合が問題である。

これは、図6のように定義づければ、整数の場合も包含し、かつ復元パターンも比較的良好である。すなわち、 V の値に対する復元ベクトルの x 成分、 y 成分は、

$$\left. \begin{array}{l}
 V=1\sim3 \text{ まで} \quad \begin{array}{l} x = \tan\pi(V-2)/4 \\ y = -1 \end{array} \\
 V=3\sim5 \text{ まで} \quad \begin{array}{l} x = 1 \\ y = \tan\pi(V-4)/4 \end{array} \\
 V=5\sim7 \text{ まで} \quad \begin{array}{l} x = -\tan\pi(V-6)/4 \\ y = 1 \end{array} \\
 V=7\sim0\sim1 \text{ まで} \quad \begin{array}{l} x = -1 \\ y = -\tan\pi(V)/4 \end{array}
 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

先の図4のパターンは、この方法で復元したもので、入力—原パターン(a)と復元輪画—基準化パターン(b)を比較して眺めてみると、かなり忠実に復元されていることがわかる。

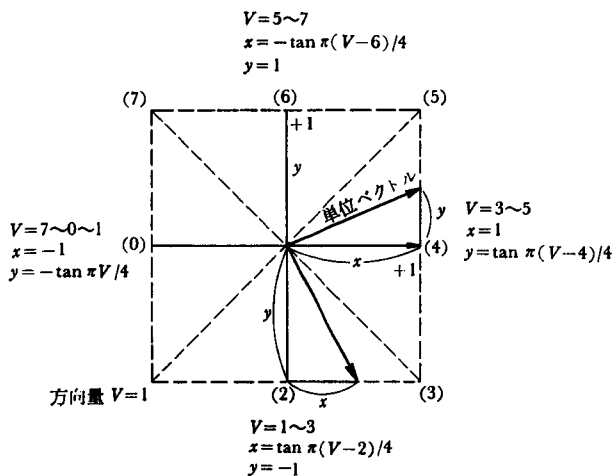


図6 方向量から単位ベクトルへの変換

さて、以上の式を用いて、5・1の単純合成と、5・2のシフト合成のパターンを復元比較したものが図7である。全体的に眺めてみると、文字によっては、われわれの感覚とよく一致して「中間的」な図形になっているものもあるが、4のように、合成するとずいぶんかけはなれたパターンになるものもある。個々に比較してみると、シフト合成の方がいくらかわれわれの感覚に近いようで、とくに7、8などにその傾向がよく現われている。一般的に言えることは、両方法とも急な曲りの多いパターンに対しては「中間的」な図形の合成がうまくできないことである。どのような図形に対しても「中間的」な図形が合成できるようなアルゴリズムを見出すことは、心理学上の問題とも関連して、非常にむづかしい問題を含んでいる。この辺がまた、パターン認識の複雑さのゆえんでもあろう。

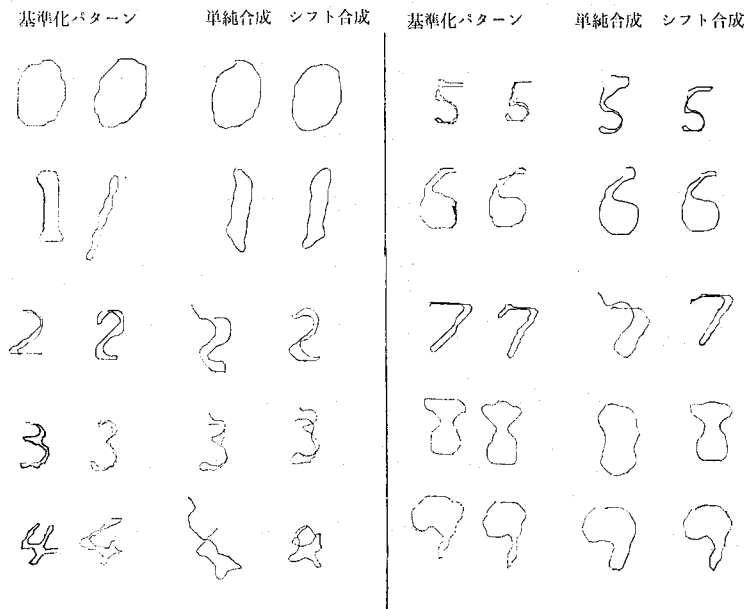


図7 標準パターンの合成法の比較

6. パターン間の「距離」の概念と判定の方法

2個のパターン間の「距離」は、両者の基準化チェーンコードで比較する。すなわち、両方の基準化チェーンコードの対応する要素（方向量）間の差の絶対値の積算値を、両パターンの「距離」と定義する。したがって、要素の対応づけの仕方によって「距離」の定義も若干異なってくる。

前記の単純合成法のように、チェーンコードの順番を変えない場合は、「距離」 D は次のようになる。

$$\text{パターン間の距離： } D = \sum_i |V_i - \bar{V}_i| \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 V_i および \bar{V}_i は比較パターンと標準パターンの i 番目の要素である。

図8は、この方法によって計算した「距離」と原パターンの例である。同種文字でも、形が似かよっている方が「距離」が小さく、また異種文字になると急に相互の「距離」が大きくなるのがわかるであろう。

シフト合成法のように、チェーンコードの始点を最適な点までシフトして比較する場合も、基本的には上記と同じであるが、ただシフト量を順次変更して、「距離」最少の場合を採用する点だけが異なる。

ここまで準備ができれば判定は簡単で、比較パターンとあらかじめ用意してある数種の標準パターンとの「距離」 D をすべて求め、 D が最少のパターンに属すると判定するのである。

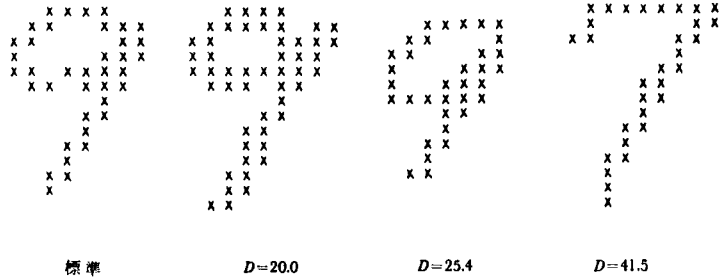


図8 パターン間の「距離」の例

7. 実験結果

学生20名から、0～9の文字200個を集めて実験資料とした。この中から適当に選んだ20個の単独パターンを標準パターンとして、残りの文字の認識実験を行なったのが表1である。

表1 単独パターンによる認識

出力 入力	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	誤	標準パターン数
0	11	5							3		8	1
1		13							5		5	2
2		1	15			1		1			3	2
3	1			17							1	2
4					10		2			6	8	2
5						17			1		1	2
6		2			2		11		3		7	2
7								18			0	2
8	1								16		1	3
9	1						3			14	4	2
計	180										38	20

認識率 78.9% 所要時間 約3.5秒/字

次に、先にのべた単純合成法で標準パターンを合成し、同様の実験を行なった結果を表2に示す。認識率が前回と比べて大きく向上し、この種の標準パターン合成法が有効なことがわかる。

表3は、同様にシフト合成法で標準パターンを合成し実験したものである。結果的に認識率は、単純合成法の場合とあまり変わらず、一方、所要時間の方は、シフトを繰り返すため、その分だけ時間がかかり、大巾に遅くなるという結果になった。図7の合成パターンから直感的に判断すると、認識率は、シフト合成の場合の方が高くなるはずであるが、予想に反して、このような結果になったことについて考えてみると、この種の標準パターンの優劣を目視によって

表2 単純合成パターンによる認識

出力 入力	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	誤	標準パターン数
0	20										0	1
1		20									0	2
2			20								0	2
3				20							0	2
4					20						0	3
5						19			1		1	2
6		1					18		1		2	1
7								20			0	1
8									20		0	3
9										20	0	3
計	200										3	20

認識率 98.5% 所要時間 約3.5秒/字

表3 シフト合成パターンによる認識

出力 入力	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	誤	標準パターン数
0	20										0	1
1		20									0	2
2			20								0	2
3				20							0	2
4					20						0	3
5						20					0	2
6							19		1		1	1
7								20			0	1
8									19		1	3
9								1	1	18	2	3
計	200										4	20

認識率 98.0% 所要時間 約50秒/字

判断することには問題があるのかもしれない。

8. ま と め

以上のように、外周パターンマッチング法による文字認識は、論理が簡単なわりに高い認識率が得られることが判明した。この方法の特徴は、ラベルをつけたデータ・パターンさえ入力すれば、標準パターンがたやすく自動的に作成されることであり、また、標準パターンの数をふやせば、認識率はいくらかでも高くできるという特徴をもっている。標準パターン作成のため、現在は目視によって類似パターンに分類しているが、これを機械的に分類することにすれば、さらに認識率は上るであろう。また、この方法のアルゴリズムは、そのまま他の図形認識、例えば細胞診などへの応用も可能と思われる。

ただ、パターン認識の本質が、「広く浅く」であることを考え合わせると、複雑な文字の認

外周パターンマッチング法による手書き文字の認識

識には、この方法1本に頼るよりも、他の方法、たとえば、周辺分布法とか特徴抽出法などを併用して認識率をあげるようにするのが得策であろう。

本研究を始めるに当たり、有益な示唆をいただいた、京大の長尾真教授に感謝する。また、実験に協力していただいた、本校学生、柳井敏裕（現日本電気）、山田 学、木谷伸二の諸君、および資料作成に協力いただいた、本校電気工学科 技師各位に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 玄地，他；“手書郵便番号読取区分機の試作” 昭43連大，2590
- 2) 山本，他；“手書き数字認識論理の設計” 昭45 信学論 (C) Vol. 53-C No. 10 p. 691
- 3) 森，他；“場の効果法による特徴抽出” 昭49 信学論 (D) Vol. 57-D No. 5 p. 308
- 4) 高橋，他；“外周パターンマッチング法による手書き文字の認識” 昭49 画像電子学会全国大会予稿