

## 段階的線図構造マッチングによる手書き漢字認識の試み†

小 木 元<sup>††</sup> 出 口 光一郎<sup>††</sup> 森 下 巖<sup>††</sup>

本論文では、手書き漢字認識における新方式を提案する。漢字パターンは基本的に画によって構成されている。そこで、認識対象となるすべての漢字字種に対して、標準字体の画構成を辞書として用意する。提示パターンの線図構造は、3段階のマッチング過程によって各字種の標準画構成と比較される。第一段階としては、端点や交叉点などの特徴点が提示パターンから抽出され、標準画構成の辞書情報と比較される。第二段階としては、標準字体の画構成として示された画それぞれが提示パターン中で追跡できるかどうか、検査される。第三段階としては、交叉や接続などの画の相互関係が提示パターンから検出され、辞書情報と比較される。提示パターンに対する認識候補字種としては最初すべての字種がリストされるが、各段階のマッチング結果によって、適合しない字種がリストから除外される。これによって、候補字種の数は段階を進めるごとに急激に減少し、最終認識結果に到達する。

本方式に基づいて実験システムを作成し、8画の漢字16字種の認識を行った結果、サンプルパターン128個に対して正識別率97%が得られた。

### 1. ま え が き

手書き漢字認識については、従来、大別して2つのアプローチがとられていた。第一のアプローチは提示パターンから端点や交叉点などの幾何学的特徴点を抽出し、これら特徴点の相互の連結関係に基づいて分類する方式である。小川ほか<sup>1)</sup>は端点と交叉点を漢字パターンの最小構成単位と考え、これら特徴点の相互の連結関係に従って漢字パターンを階層的に分解し、各階層の部分パターンをそれぞれの下位の部分パターンの集合によって記述する表現方法をとった。特徴点の抽出は比較的容易であるが、手書き漢字の場合には画相互の結合関係が書体によって大きく変化するため、同一字種の漢字パターンでも特徴点の数と種類、また、特徴点相互の連結関係の構造表現が一定にならない欠点がある。一方、第二のアプローチは提示パターンから画を抽出し、画の集合を基本情報として分類する方式である。画自体は、画相互の連結性に関する特徴点よりはるかに安定であるが、抽出が容易でない。吉田ほか<sup>2)</sup>は、まず、二次元フィルタを用いて縦・横・斜3方向の長い画の中央部を求め、のちに analysis by synthesis の手法によって画全長を抽出し、求めた画の集合を分類オートマトンに入れて字種の判定を行った。都道府県名に用いられている漢字を対象としてよい認識結果を得ている。しかし、提示パターンから

出発してすべての画を正確に抽出するには困難があり、また、漢字を画の集合として記述し相互の位置関係や結合関係を無視する分類方法では、字種を当用漢字全体に拡張する場合には問題があると思われる。

本論文で報告する方式は、基本的には、提示パターンと標準字体の画構成とのマッチングをとる方式である<sup>3)</sup>。漢字の標準字体の構造を画を基本要素とする辞書の形式で表現しておく。それぞれの画を長さ、向きなどの計量的特性や、相互の配置関係・結合関係などの構造的特性によって記述する。そして、辞書に示した標準字体の画に対応する文字線を1本ずつ提示パターンから抽出して同定するプロセスを画構成マッチングの中間目標として設定する。このとき、手書き漢字認識はこの画の抽出・同定を特定の字種を構成するに足りるだけ繰返すことで達成されることになる。

標準字体の画構成とマッチングをとる方式は、いわばトップダウン方式であり、画の抽出の段階から標準字体の画情報を利用できるので、画の抽出・同定が容易になる。もちろん、字種を仮定して総あたりでマッチングを試みるため作業量は著しく多くなる。そこで、マッチングをいくつかの段階にわけて実行し、各段階の判定で候補字種を減少させていく方式とした。提示パターンからは、まず、端点や交叉点などの特徴点を抽出する。第一段階では、標準字体の画の両端点と提示パターン中の特徴点とのマッチングを試み、画の両端点に対応する特徴点对を求める。第二段階では、得られた特徴点对から予想される画の文字線部分を追跡する。第三段階では、抽出された画の相互の位置関係、結合関係を調べ、その標準字体の画構成を提

† A Feasibility Study of Handwritten Chinese Character Recognition by Multistage Line Structure Matching by HAJIME OGI, KOICHIRO DEGUCHI, and IWAO MORISHITA (Faculty of Engineering, University of Tokyo).

†† 東京大学工学部計数工学科

示パターンにマッチングさせることの正否を判定する。この間、各段階でマッチングのとれない字種を捨て、候補字種を次第に減少させていく。

## 2. 標準字体辞書

漢字パターンの表現法には種々のものが考えられる。Stallings<sup>4),5)</sup>は、フレームの位置関係を、左右、上下、内外という3種類の二項関係による樹で表現し、また、フレーム内部の構造表現として、グラフとそのコード表現を用いた。安居院ほか<sup>6)</sup>も同様にブロックの位置関係を文法構造を用いて表現している。しかし、画を基本要素として漢字の詳細な画構成を表現する場合には、要素数が多く、配置としても交叉や接続などの複雑な関係を含んでいるため、樹やグラフによる表現には困難がある。本研究では、画の特性を画ごとに、また、画相互の関係を項目ごとに表の形式にまとめる方法を用いた。

漢字の画は両端とそれを結ぶ直線で近似的に表現できる。画の両端点は通常1次の特徴点(端点)であり、次の画に連続して書かれる部分では2次の特徴点(屈折点)となる。また、画と画とが重なり合ってさらに次数の高い特徴点となることもある。しかし、画の両端となる特徴点についてはその大体の位置関係とそこから出る文字線の方向とが重要である。そこで、辞書に記載する画情報としては、端点の位置と文字線の出る方向を中心として、これに文字線の向きと長さを付加した。提示パターンから画を抽出するには、この条件に適合する特徴点对を求め、その間を結ぶ文字線を追跡する方法を用いる。

標準字体の画相互の結合関係も特徴点を用いて表現される。2本の画の接続関係は、1個の屈折点とその屈折点を終点とする画および始点とする画によって記述される。また、画と画との交叉は、交叉点と交叉する2本の画とで表現される。提示パターンについてこれらの結合関係を判定することも特徴点を用いて容易に行える。画の接続は2本の画の端点に対応する特徴点在同一のものであるかどうかを調べることで判定する。画の交叉は、画追跡時に通過する特徴点を調べておき、2本の画が同一交叉点を通過することで判定する。

マッチングを評価するとき、特徴点はそれぞれ提示パターンから抽出する難易度が異なるので、マッチングの評価も特徴点ごとに異なる重要度をもつ。そこでそれぞれの特徴点の抽出の難易度をサンプルパターン

表1 標準字体辞書の項目

Table 1 Data items written in the line structure dictionary.

特徴点の特性	画の特性	画構成
位置 次数 文字線の方向 評価上の重み	両端点 方向 長さ 評価上の重み	交叉(特徴点 画の対) 接続(特徴点 画の対)

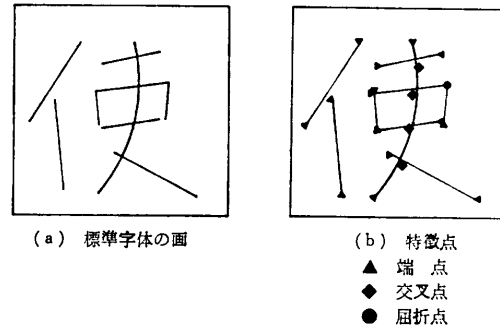


図1 標準字体の一例

Fig. 1 An example of the standard line structure for a Chinese character type.

について求め、これを評価上の重みとする。また、字体の構成上、長い画は短い画より重要度が高い。そこで画にそれぞれの標準の長さに応じた評価上の重みをつける。

以上に説明した標準字体辞書の項目を表1に示す。図1は標準字体の一例である。

この標準字体辞書は情報が画を中心として表の形式にまとめられているため、人間が読むのにも理解しやすく、編集・修正が容易である。もちろん、この標準字体辞書は完全に自動作成されるものではないが、構造的情報と計量的情報とに二分されているため、人間が構造的情報を教えると同時にサンプルパターンから計量的情報を自動的に測定するインタラクティブ辞書編集システムの構成が可能である。

## 3. 特徴点抽出

画の両端および結合関係を判定するための基礎情報として、提示パターンから特徴点を抽出する。手書き文字から特徴点を抽出する方法としては円形視野による方法<sup>7)</sup>や“目”にあたる観測装置による方法<sup>1)</sup>などもあるが、本研究では広く用いられている細線化による方法を採用した。

### (1) 端点

細線化によって作られたスケルトン上で1次の点を抽出し、その位置とそこから出る文字線の方向を調べ

る。

(2) 交 叉 点

スケルトン上で3次以上の次数をもつ点を抽出する。この点がある塊として検出されるときには隣接するものを結合してブロック化する。この交叉点ブロックについてさらに間隔が1のもの、2のものを併合し、これを“併合交叉点ブロック”と呼ぶ。交叉点ブロックおよび併合交叉点ブロックについて、その位置、文字線の本数(次数)と方向を調べる。

よく知られているように細線化では交叉点が2個の分岐点の対に分離して抽出されることがあり、通常は分岐点対の間隔が小さい場合に交叉点と判定する。しかし、本研究では交叉点抽出の誤りを少なくするために、特徴点抽出の段階では交叉の性質を確定しないで、辞書情報を利用して画追跡を行ったあと、その結果を利用して交叉の性質を確定する。

(3) 屈 折 点

二次元フィルタを用いて縦・横の2方向の文字線を検出し、その接続部分を屈折点と判定する。

図2に特徴点抽出過程の一例を示す。

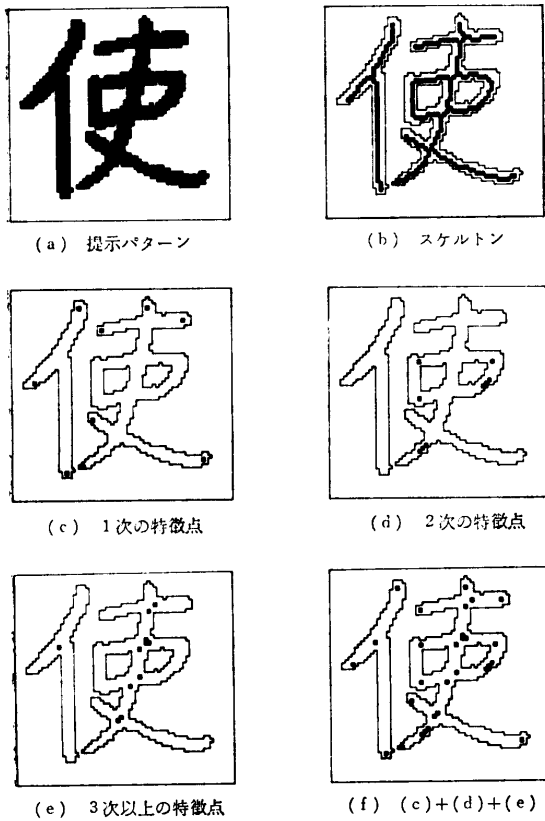


図2 特徴点抽出過程の一例

Fig. 2 An example of the feature point extraction.

4. 段階的線図構造マッチング

4.1 3段階のマッチング

すでに説明したように、本研究で採用したアルゴリズムは提示パターンと標準字体の画構成を3段階にわけてマッチングするもので、これを“段階的線図構造マッチング”と名づけた。ここで第一段階は特徴点について、第二段階は画について、第三段階は字体全体についてのマッチングで、それぞれ前段階の結果を用いて分析を行い、画と特徴点に対する対応候補を精選する。第一段階では対応候補を持たない特徴点が多い字種の標準字体に対してはこれ以上のマッチングを放棄する。第二段階では、対応候補を持たない画が多い字種に対してそれ以上のマッチングを放棄する。こうして辞書に記載されたすべての字種の標準字体に対して第一、第二、第三段階の分析を行い、何段階目までマッチングに成功するかを調べる。また、成功の程度を評価指標として表し、成功段階および評価指標によって漢字の字種を最終判別する。図3にマッチングの過程を示す。マッチングの操作は  $S_1, S_2, \dots, S_N, T_1, T_2, \dots, T_N, U_1, U_2, \dots, U_N$  の順序に行った。

以下に各段階の詳細について説明する。

4.2 第一段階：特徴点マッチング

まず、抽出特徴点を標準字体の画の両端に対応付ける。これは、標準字体の特徴点と前処理によって抽出された特徴点の位置と方向の情報を比較して行う。すなわち、標準字体の画の端点  $P$  と提示パターンの抽出特徴点  $Q$  とを比較する場合、位置  $r_p, r_q$  および文字線の出る方向  $h_p, h_q$  の間に  $\alpha, \beta$  をしきい値として、次式の条件が成立するとき、 $Q$  を  $P$  についての

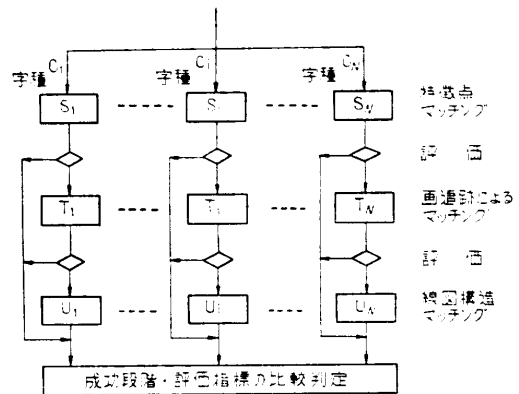


図3 段階的線図構造マッチング

Fig. 3 A schematic diagram of the multistage line structure matching.

対応候補点とする.

$$|r_p - r_q| \leq \alpha$$

$$|h_p - h_q| \leq \beta$$

また、標準字体の交叉点に対して提示パターン中にある4次以上の特徴点を対応候補点とする。細線化による特徴点抽出では、前述のように交叉点を2つの分岐点の対として抽出することがある。分岐点対の間隔が十分小さい場合には併合交叉点を用いて対応付けを行う。間隔が大きい場合には分岐点対を一意に交叉点だと判断することはできないが、このような分岐点対については第三段階のマッチングで第二段階の画追跡の結果を利用して判定する。

辞書に記載された特徴点のそれぞれについて抽出特徴点の中から条件に適合する対応候補点をすべて求める。第一段階では、対応候補点が複数個あってもよいとしている。

#### 4.3 第二段階：画追跡によるマッチング

第一段階によって得られる対応候補点の表と辞書情報を用いてパターン中の文字線を標準字体の画と対応付ける。このさい、提示パターン自体も利用する。すなわち、画の両端点に対応する候補点を対として、対の間の文字線を辞書情報を参照しながら追跡して画の有無を調べる。この対が求める画の両端点であれば対の間を結ぶ文字線が抽出される。そうでなければ文字線が途中で切れて画追跡は失敗する。そこで第一段階の対応候補点の対の中から画抽出に成功したものを集め、このすべてをその画についての対応候補とする。

パターン中の文字線を抽出する方法としてスケルトンを追跡する方法や輪郭を追跡する方法などがあるが、本研究では“尾根伝い”の方法<sup>8)</sup>を用いた。これは与えられたパターン中に線幅の中心に沿う尾根状のポテンシャルがあると考え、その尾根を伝って文字線の中央を直接追跡する方法である。他の方法に比べて交叉点付近での処理が容易となり、また、特徴点抽出のときにスケルトン化によって失われた文字線の滑らかさの情報を回復する長所がある。

画の追跡と同時に特徴点ブロックの配置パターンを調べ、通過した特徴点の系列を作成する。この系列情報は第三段階で画相互の包含関係および交叉関係を判定するための基礎資料として使用される。

#### 4.4 第三段階：線図構造のマッチング

第三段階では、特徴点と画のマッチングで得られた結果に対して、画の結合関係、配置関係を調べ、標準字体の画構成と提示パターンの線図構造のマッチング

を行う。具体的手順として、それぞれの画の対応候補である文字線から1本ずつを選出して組を作り、その組に対して以下の条件判定を行う。

##### (1) 画の接続

辞書に接続関係の示された画の対があるとき、それらの対応候補から選出した文字線の端点を調べる。それぞれの始点または終点として、屈折点に対応する特徴点が共有されているならば提示パターンと標準字体の画の接続関係が一致していると判定する。

##### (2) 交叉点の存在

辞書に交叉する画の対が示されているとき、それらの対応候補から選出した文字線の通過特徴点の系列情報を比較する。2本の画が同一特徴点を通過しているとき、これらの画は交叉していると判定する。この場合、手書を漢字パターン上で一方の画の端が他の画に接触する程度に変形しても交叉として許容することになっている。また、第一段階では交叉点と判定されなかった分岐点対があって、2本の画がそれを通過しているならば、それを併合して改めて交叉点として対応付けをする。こうして字種の分類上必要な交叉関係が提示パターンの線図構造に存在するかどうかを判定する。

また、画の中で手書きのときに交叉する可能性のあるものは辞書に指定されている。そこで、画の通過特徴点の系列を調べて、不適当な画の交叉が存在しないことを確認する。

##### (3) 文字線の多重使用

画の通過特徴点の系列を調べて、2本以上の画が文字線の同一部分を多重使用していないかどうかを判定する。

##### (4) 交叉点の多重使用

画の通過特徴点の系列を調べて、それぞれの交叉点を通過している画の本数が、特徴点抽出時にその交叉点について判定した次数の半分以下であるかどうかを判定する。この条件に反する交叉点がある場合、その交叉点を包含する併合交叉点があれば、置き換えても一度判定しなおす。

以上の条件判定を文字線の組に対して1項目ずつ行い、不合格となる条件があればそれを満足するように文字線の組を選び直して、条件判定に最もよく適合する文字線の組を作る。この文字線の組を提示パターンと標準字体の画構成との最終的なマッチングとする。

#### 4.5 評価の方法

##### (1) 第一段階：特徴点マッチング

特徴点の対応付けによって対応候補点が得られた端点・交叉点の個数および重みの和を第一段階の評価指標とする。評価指標の値が基準値以上となる標準字体に対しては第一段階のマッチングが成功したものと判定し、この字種に対して第二段階のマッチングを行う。そうでなければこの段階でマッチングに失敗したものと判定し、これ以上の分析を放棄する。

### (2) 第二段階：画追跡によるマッチング

画追跡によって対応候補となる文字線が抽出された画の本数および重みの和を第二段階の評価指標の値としてマッチングの成功・失敗を判定する。

### (3) 第三段階：線図構造のマッチング

提示パターンより選出した最終マッチングとなる文字線の組について、それが合格と判定された条件の数を評価指標とする。また、その文字線の組が提示パターンを構成するすべての文字線に対してどれだけの割合を包含しているかを調べ、その値も評価指標として利用する。

標準字体辞書に記載されたすべての字種に対して、第一、第二、第三段階のマッチングを行って、それぞれ成功段階と評価指標を得る。すべての字種の中で最も成功段階の高いマッチングを選抜し、さらに、その中で各段階の評価指標の値の合計が最大となる字種を判別して最終認識結果とする。

## 5. 実験例

手書き漢字の場合も印刷文字の場合と同様、統計的手法などによりまず大分類を行うのが適当なので、実験例では複雑さの類似した字種、具体的には、8画の漢字のうち16字種（標準字体辞書では屈折点で接続する文字線を別々の画として数えるため9画となるもの）を選び、8通りの楷書体を入力データとした。

図4は、5 cm × 5 cm のわく内に細書きフェルトペンで書かれたものをフライングスポットスキャナにより64 × 64点の2値パターンに変換し、さらに移動・拡大して位置と大きさを正規化したパターンである。

段階的線図構造マッチング過程の一例として、図1を標準字体として、図2の提示パターンについてマッチングを行う場合、第一段階で辞書特徴点に抽出特徴点に対応付け、第二段階で対応候補点対の間を結ぶ文字線を追跡する。標準字体の画を  $S_i$  ( $i=1, 2, \dots, 9$ ) で表わすと、 $S_1$  の対応候補として1本、 $S_2$  として2本、 $S_3$  として1本、…と図5のように文字線を抽出した。第三段階で対応候補の文字線から1本ずつ選出

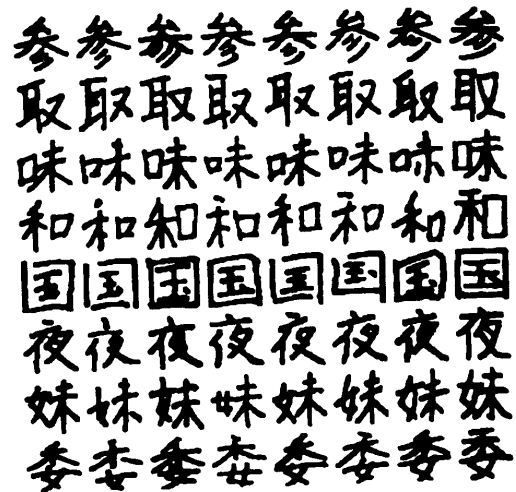


図4 実験に用いた入力パターン  
Fig. 4 Input patterns used in the experiments.

して最も判定条件に適合する組（図6）を作成し、マッチングの結果とする。

段階的線図構造マッチングではマッチングの良さは到達段階と評価指標によって示される。128個の提示パターンに対して正解字種とのマッチングを行ったとき、全段階のマッチングに成功したもの109個、第三段階の条件判定に失敗したもの16個、第一段階に失敗したもの3個という結果を得た。ここで第一段階に成功して第二段階に失敗するパターンが無いことは、特徴点マッチングを利用して画が円滑に抽出されることを示している。

実験システムによる最終認識結果と最終判定が可能となった段階を表2、表3に示す。表2によれば128個の提示パターンに対して正答124個、誤答1個、棄

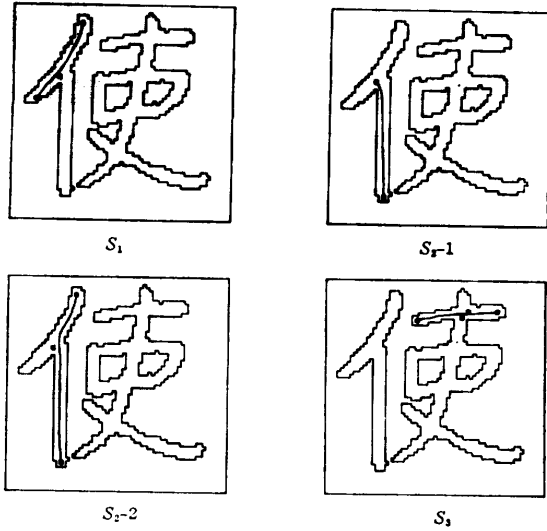


図5 画追跡過程の一例  
Fig. 5 An example of the stroke extraction process.



図6 最終マッチングの画の組  
Fig. 6 An example of the final matching results.

却3個が得られ、正識別率は約97%となった。

棄却されたパターンは“券”、“和”、“妹”の字種に各1個ずつあり(図7)、これらは正解字種に対するマッチングさえ第一段階の特徴点マッチングで基準に達しなかったパターンである。この原因は、交叉点に対して分岐点対が生じた、画が一点に変形している、標準字体と字画の均衡が大きく異なる、屈折点が検出されなかった、などの要因が複合して発生したことによる。他の字種の標準字体に対しても良いマッチングは得られなかった。

誤答となったパターンを図8に示す。へんの部分が四角いため“口”と判別可能で、一方、“女”と判定されるには画の方向がマッチングの許容範囲以上に傾いているので“味”と判定された。

表3によれば約70%のパターンでは第一段階マッチングだけで候補字種を1個に絞ることができる。特に“具”、“効”、“参”、“国”のパターンはみな第一段階で最終判定が可能となった。これらは他の字種と比

表2 最終認識結果  
Table 2 Final recognition results.

字種	使	例	価	具	典	制	券	効
正答	8	8	8	8	8	8	7	8
誤答								
棄却								1
字種	参	取	味	和	国	夜	妹	委
正答	8	8	8	7	8	8	6	8
誤答								1
棄却				1				1

表3 最終判定が可能となった段階、各字種のサンプル数は8個で棄却・誤答の場合を除く

Table 3 Matching stage where the recognition was obtained.

字種	使	例	価	具	典	制	券	効
第一段階	3	6	5	8	2	6	5	8
第二段階	1	2	2		1	1	1	
第三段階	1		1		3	1	1	
評価指標	3				2			
字種	参	取	味	和	国	夜	妹	委
第一段階	8	7	6	6	8	6	1	5
第二段階			2	1		1		
第三段階		1				1	4	3
評価指標								2

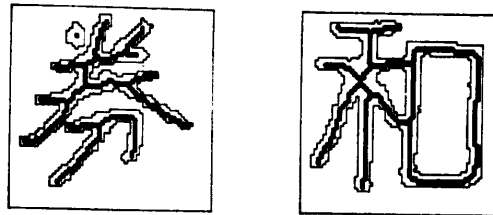
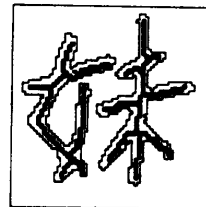


図7 棄却されたパターン  
Fig. 7 Rejected patterns.



較すると特徴的な画構成をもっている。一方、“使”、“典”、“妹”のパターンは判定が遅く、評価指標の比較によって判定する場合もある。これらは字体中に比較的多数の交叉点をもつ複雑度のやや高いパターンで、他の字種の必要とする特徴点や画に類似した部分パターンを含んでいる。これらのパターンと混同を起こす

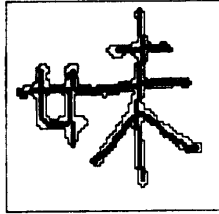


図 8 誤認識されたパターン  
Fig. 8 Incorrectly recognized pattern.

標準字体は、交叉点などが比較的少なく判定条件が幾分緩い。パターン“使”に対して字種“夜”，パターン“典”に対して字種“和”，パターン“妹”に対して字種“味”とのマッチングが高い段階にまで到達しやすい。これは漢字パターンの画構成が字種ごとに独立ではなく類似した画構成をもつ字種があるため、一種の相関傾向を示している。

## 6. む す び

手書き漢字パターンの性質について考察し、手書き漢字認識の一方式として、特徴点と標準字体辞書を用いて画を抽出し、線図構造を段階的にマッチングする方式を提案した。この方式について、画数が8の16字種を対象として実験を行い、提示パターンの字形の変化にかかわらず比較的よい認識結果が得られること、また、多くの場合比較的早い段階で候補字種が絞られ最終認識に到達することを確かめた。もちろん、“妹”と“味”の場合のようによく類似している字体を識別することについては、本方式にもまだ困難が残

っている。また、この実験では字種数、サンプル数ともあまりに少数であるので、今後は、字種数を拡大し、より多数のサンプルについて実験を進めながら方式を改良する必要があると考えている。

## 参 考 文 献

- 1) 小川, 手塚: 漢字の階層表現とその認識, 信学論 (D), Vol. 57-D, No. 12, pp. 700-707 (1974).
- 2) Yoshida, M. and Eden, M.: Handwritten Chinese Character Recognition by an Analysis-by-Synthesis Method, Proc. 1st ICPR, pp. 197-204 (1973).
- 3) 小木, 森下: 段階的線図構造マッチングによる手書き漢字認識, 情報処理学会第 19 回全大予稿集, pp. 481-482 (1978).
- 4) Stallings, W.: Approaches to Chinese Character Recognition, Pattern Recognition, Vol. 8, pp. 87-98 (1976).
- 5) Stallings, W.: Chinese Character Recognition, in Syntactic Pattern Recognition, Application, Fu, K. S. ed., pp. 95-123, Springer (1977).
- 6) 安居院, 中嶋, 長橋: 部分パターンの位置関係を利用した手書き漢字の表現法, 信学論 (D), Vol. J60-D, No. 12, pp. 1109-1116 (1977).
- 7) 安居院, 中嶋, 永平: 円形視野による幾何学的特徴点の抽出, 情報処理, Vol. 18, No. 9, pp. 893-898 (1977).
- 8) 小山, 出口, 森下: 画追跡による手書き漢字認識の一方式, 第 19 回自動制御連合講演会予稿集, pp. 449-450 (1976).

(昭和 54 年 2 月 15 日受付)

(昭和 54 年 7 月 19 日採録)