

工学博士 学位論文

辞書の変形を用いた

手書き文字認識アルゴリズムの研究

昭和60年12月21日

指導教官 原島 博 助教授

東京大学大学院 電気工学専門課程

工8563 泉井良夫

目 次

第1章 序論	1
1.1 はじめに	2
1.2 本論文の構成	3
第2章 文字認識の技術	5
2.1 なぜ文字認識を研究するのか	6
2.2 文字認識の一般的構成	7
2.2.1 文字認識の一般的構成	7
2.2.2 文字の切り出し	7
2.2.3 文字の正規化	9
2.2.4 文字の大分類	9
2.2.5 文字の識別	11
2.2.6 文字の後処理	12
2.3 文字認識の歴史	12
2.3.1 1970年頃までの歴史	16
2.3.2 1980年頃までの歴史	16
2.3.3 手書き漢字認識への道	17
第3章 手書き文字の大分類アルゴリズム	20
3.1 はじめに	21
3.2 大分類のためのアルゴリズム	21
3.2.1 未知文字の入力	21
3.2.2 第1ノイズ除去	21
3.2.3 方向性抽出	25
3.2.4 CWR抽出	25
3.2.5 非線形解像度低下	25
3.2.5.1 非線形正規化	27
3.2.5.2 第2ノイズ除去	29
3.2.5.3 解像度低下	29
3.2.6 第2解像度低下	30
3.2.7 第1大分類	30

3.2.8	第2大分類	30
3.3	実験と検討	31
3.3.1	使用するデータ	31
3.3.2	辞書の作成	31
3.3.3	予備実験	31
3.3.4	大分類実験	32
3.3.4.1	第1大分類	32
3.3.4.2	第2大分類	35
3.3.5	分類率の安定性	35
3.3.6	正当率と尺度 R^* との関係	38
3.3.7	誤認識パターンについての検討	38
3.4	まとめ	41
第4章	ツリー型探索による大分類の高速化	42
4.1	はじめに	43
4.2	探索数低減のための予備的考察	43
4.2.1	計算量低減のための手段	43
4.2.2	分岐誤りに関する考察	45
4.2.2.1	メモリ量に関する検討	46
4.2.2.2	サーチ時間に関する検討	48
4.3	ツリー・サーチのためのアルゴリズム	48
4.3.1	辞書ツリーの作成	48
4.3.2	クラスタリングの手法	48
4.3.3	サーチのためのアルゴリズム	52
4.3.4	候補カテゴリの選択	52
4.4	実験と検討	53
4.4.1	使用するデータ	53
4.4.2	抽出される特徴ベクトル	53
4.4.3	辞書ツリーの作成	53
4.4.4	パラメータ T_h の決定	53
4.4.5	サーチ・レベル数に関する検討	56
4.4.6	分類率	59
4.4.7	誤りパターンに関する検討	59
4.5	まとめ	59

第5章 絶対座標等を用いた辞書の変形による手書き文字の識別	63
5.1 はじめに	64
5.2 HPDA/SE	64
5.2.1 用語の定義	64
5.2.2 動作の概要	66
5.3 HPDA/EL	68
5.3.1 HPDA/ELの概略	68
5.3.2 HPDA/SEと異なる点	68
5.4 HPDA/CG	71
5.5 HPDAの実験と検討	73
5.5.1 実験に使用するデータ	73
5.5.2 合せ過ぎ防止のための制限値	73
5.5.3 階層 t と類似度の関係	75
5.5.4 異種カテゴリとの類似度	75
5.5.5 未知文字の回転・大きさ変動による影響	77
5.6 まとめ	77
第6章 ストロークに基づく辞書の変形による手書き文字の識別	80
6.1 はじめに	81
6.2 HPDA/ST	81
6.2.1 辞書の作成	81
6.2.1.1 辞書文字のストローク分解	83
6.2.1.2 テーブルの作成	83
6.2.1.3 辞書ツリーの作成	92
6.2.2 辞書ツリーの変形	100
6.2.2.1 変形の尺度	100
6.2.2.2 辞書の再構成	101
6.2.2.3 未知文字とのパターン整合	101
6.3 変形実験と考察	101
6.3.1 変形例	101
6.3.2 階層 t と類似度の関係	102
6.3.3 モデルでの実験	102
6.3.4 類似文字による実験	105
6.4 まとめ	108

第7章 紙面から抽出した個人性情報を用いた手書き文字の特徴抽出	110
7.1 はじめに	111
7.2 個人性抽出のためのアルゴリズム	111
7.2.1 手書き文字に付随する個人性	111
7.2.2 FFTによる個人性としての文字の傾きの検出	111
7.2.3 傾き検出の角度の精度	114
7.2.4 サンプル数による傾き検出の精度	116
7.3 個人性情報を用いた認識実験	116
7.3.1 使用するデータ	116
7.3.2 抽出する特徴ベクトル	116
7.3.3 個人性の利用方法	118
7.3.4 認識実験	118
7.3.4.1 ぼかしの効果	118
7.3.4.2 認識率	121
7.3.5 誤りパターンに関する考察	121
7.4 まとめ	121
第8章 結論	123
謝辞	126
参考文献	128
発表文献	164
付録	167
付録1 電子技術総合研究所手書き文字データベース	168
付録2 第3章のための付録	192
付録3 第4章のための付録	214
付録4 第6章のための付録	223

第 1 章 序論

1. 1 はじめに

郵便番号自動読取り区分機から始まった手書き文字認識の研究は、英字、カタカナへと進み、現在ではその最終目標である漢字へと発展している^{(1)~(8)}。

このような手書き文字認識技術の最大の適用領域は、なんといってもコンピュータへの入力装置としてである。たとえば、文書を作成するのにワードプロセッサを使うことが多いが、日本語では漢字があるため、今のところ、かな漢字変換して入力する必要があり、これを煩わしいと考える人は多い。かわりに、鉛筆等で紙面上に下書してスキャナで読みこみ、清書し、ファイリングすることが可能ならば、人間の負担は相当軽くなる。これ以外にも、文書伝送の際に文字を認識しコードで伝送すれば、文字をファクシミリ符号で伝送する場合に比べ、約1桁以上の高速伝送が可能となる。

では、このような文字認識の性能はどの程度なのだろうか。数字のように簡単でカテゴリ数が少ない場合は100%完全に認識できるように思えるが、実際はそうではない。たとえば、郵便番号の例で言うと、1文字当りの正答率は約98%で、3桁の場合、100枚に5枚のはがきを正しく区分できない。また、漢字では相当きれいに書いた楷書体で、およそ95%程度の正答率と言われている⁽³⁾。従って、あまり注意を払わず、ごく普通に書いた漢字では、これよりさらに低い性能しか得られない。一方、人間の読み取り能力に関する研究があり、それによると単一文字提示の場合、数字で99.9%、カタカナで98%程度と報告されている⁽⁵⁰⁶⁾。従って、この両者を比べると機械による文字認識技術は、まだまだ相当努力の必要があると言える。

このような手書き文字認識の為の、一般的な処理手順や考え方は次章で述べる。概略を記すと、(1)文章より1文字を切り出す。(2)簡単な処理で候補を絞りこむ。(3)やや複雑な処理で候補を決める。(4)それでも不十分な時は、より詳しく文字を調べる。(5)そのうち、後処理をして単語や文章として矛盾がないようにする、というように段階的に行う。

本論文ではこのうち(2)~(3)に関して述べる。(2)は通常、大分類といい、なるべく簡単な特徴で高速に効率良く候補を絞りこむ。大分類では、文字パターンから方向性を抽出し、この方向性パターンに対してパターン・マッチングをとる手法が定石として固まりつつある。この特徴は文字のストロークだけで背景を考慮していないため、本論文では背景特徴をも導入することにより分類性能の向上を試みた。更に高速化に関しては、辞書をツリー状にする方法を検討した。(3)については、非常に多くの方法が提案されている。しかし、ある方法では、文字データの品質によって正答率が100%近い値から50%までと非常に大きく変動することが分かっている⁽¹⁹⁷⁾。このように、通常、文字の品質が劣化すると、正答率が急激に劣化する。本論文では、このような事態を防ぐための手法を検討し、これをHPDA (Hierarchical Pattern divided Distorsion Absorber) と称してい

る。さらに、文字には筆記者に依存する個性というものがある。個性として特に文字の傾きを取り上げ、この個性を利用して、より安定に特徴を抽出する方法についても検討を行っている。

1.2 本論文の構成

最初に、第2章で、手書き文字認識の一般的な処理手順と関連する技術についてまとめ、問題点を検討する。第3章では、背景特徴を取り入れた大分類の方法について述べ、第4章では、大分類の高速化を検討する。第5章と第6章は、文字の識別に関連し、基本的なコンセプトは同一であるが、具体的な処理手順が相当異なるため、分離して説明する。第7章では、方向性という個人性をを用いて特徴抽出をより安定に行う方法について述べ、最後の第8章で、結論をまとめる。図1.1に論文の構成を示す。

第1章 序論
第2章 文字認識の技術
第3章 手書き文字の大分類アルゴリズム
第4章 ツリー型探索による大分類の高速化
第5章 絶対座標等を用いた辞書の変形による手書き文字の識別
第6章 ストロークに基づく辞書の変形による手書き文字の識別
第7章 紙面から抽出した個人性情報を用いた手書き文字の特徴抽出
第8章 結論

図1.1 論文の構成

第2章 文字認識の技術

本章では、文字の切り出しから、正規化、大分類、識別、後処理にいたるまでの文字認識の技術を簡単に説明し、さらに文字認識の歴史についても触れている。

2. 1 なぜ文字認識を研究するのか

なぜ文字認識を研究する必要があるのか？ この答えは全く単純である。つまり、紙面に書かれた文字を人間が介入することなく、機械に読み取らせたいからである。この理由は、文字認識技術を実際に適用する例を考えてみればわかる。現状で最も多く使われているのは伝票の読み取り、つまり、コンピュータへの数値入力であるが、その他にも、文書のデータベース化、編集、データ圧縮などが考えられ、さらに将来にいたっては、ロボットの目にもこういった機能は必要となる。

機械による伝票の読み取りは、印刷文字で英数字だけの場合、最高速度にして1秒あたり1000字以上にも達する⁽⁶⁾ので、これにはいかに熟練したタイピストでも全く歯がたたない。また、文書のデータベース化にしても、既存の多量の文書に対しオペレータによる入力はほとんど無力に等しい。さらに、文書を伝送しようとした場合、文字認識を行い文字をパターンでなくコードとして送ってしまえば、それだけで約1/10程度のデータ圧縮が可能となる。

さて、これに対し、最近ではワードプロセッサが普及してきたから、印刷文字はともかくとして、手書きの文字を認識してもこれは無駄ではないかという疑問をなげかける人もいる。この疑問は、一見もっともらしく思えるが、くわしく考えるとこれは誤っている。

今、手書き文字認識(OCR)とワープロで、比較の基準を文書を入力しはじめてから、入力誤りを修正し、文書を完成するまでの時間とする。これは、OCRでは文書を認識して、適当なCRTとキーボードで誤りを修正する時間、ワープロでは、仮名漢字変換し間違いを訂正しつつ入力する時間である。ただし、いずれの場合でも、原稿があらかじめ存在したと仮定する。文献(359)によるとワープロに熟練した人の場合は、当然ワープロの方が速い。しかし、初心者の場合は、OCRの認識率が90%程度でも、OCRの方が数倍速い。実際には、OCRの認識率はまだ高いと考えてよいので、ワープロに原稿を考えながら入力したとしてもOCRの方が速くなる。

つまり、ワープロに不慣れな人にとっては、OCRを使った方が、ずっと楽なのである。これは、もし、OCRをワープロとして使った場合、その適用範囲がおのずとワープロとは、異なったものとなることを意味している。ただし、現状では、ワープロに比べ、手書き文字認識用のOCRの方が圧倒的に高価なので、運用形態については考える必要がある。

2.2 文字認識の一般的構成

2.2.1 文字認識の一般的構成

文字認識と一口に言っても、その対象とする文字は、数字、英字、カタカナ、ひらがな、漢字と多岐にわたる。さらに、これらについても、印刷文字、手書き文字、さらに印刷文字についてもシングルフォント/マルチフォント、手書き文字についても自由手書き/常用手書きと細かく分れることになる。文字認識の困難さは、字種の多いものほど大きく、手書き漢字の認識が最も難しい。従って、当然アルゴリズムも複雑になるわけである。

ここで、注意する必要があるのは、最高峰の自由手書きの漢字を対象とする場合、手書きの数字、英字、カタカナ、ひらがなをすべて網羅しないと意味がないということである。また、印刷文字と手書き文字、さらに対象とする字種によって、アルゴリズムが異なることが多いが、これは、実際には、コストとの兼合である。手書き文字の方が印刷文字よりも読みにくいので、手書き文字が読めれば、当然印刷文字も読めるであろうと推定できる。しかし、先に述べたように手書き文字の認識アルゴリズムの方が複雑なことが、多いので、簡単なアルゴリズムで読める印刷文字に対し、なにも時間のかかる複雑なアルゴリズムを適用する必要はないのである。

次に文字認識の一般的な構成を示す。本論文では、手書き漢字を対象としているので、図2.1は、手書き漢字を仮定している。以下の文章でも特に、ことわりのない時は、手書き漢字を仮定している。

なお、ここで認識アルゴリズムの評価尺度を述べておく。これは、インプリメントの容易さ、辞書の自動作成、処理時間などの数多くあるが、最も重要なのは、認識率である。これは、読み取った文字のうち、正しく読めた割合を示し、正答率とも言うことがある。誤って読んだ割合を誤認識率、判定不能な割合をリジェクト率と言う。通常は、誤読するとその後の取扱いが非常にめんどうになるので、リジェクト率を上げてよいから、誤認識率をなるべく小さくするように設計する。

2.2.2 文字の切り出し

文字は文書として書かれているので、まず1文字を切り出す必要がある。この時、マーカーなどの位置を示す補助的な情報があれば容易である。だが、より自由な文章を扱うためには、文字列だけから切り出せた方がよい。印刷文字の場合は、文字がほぼ等間隔でならんでいるので、やや容易である。つまり、文字の大きさを知れば、基本的には、そのピッ

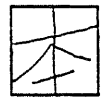
手書き文字の入力

.. あの絵本は ..

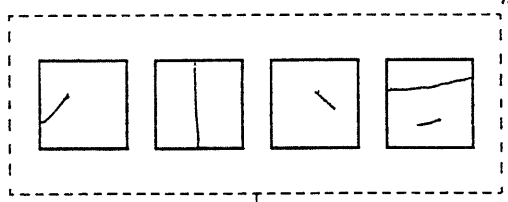
文字の切り出し



文字の正規化



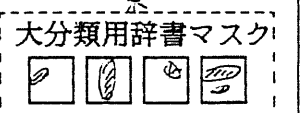
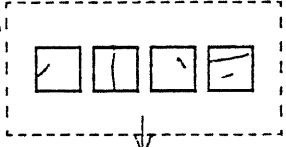
方向性特徴の抽出



大分類

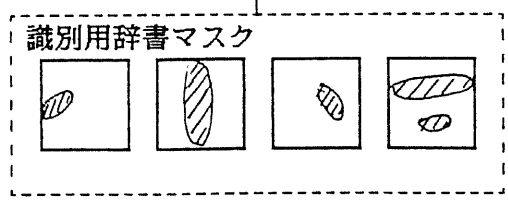
解像度を

下げる



相関値の上位を出力

選択された候補



識別

相関値の最大検出

後処理

単語辞書

あの絵本は ← 絵本、・・・
あの絵本は

答え

あの絵本は

図2. 1 文字認識の一般的な構成

チで切り出せばよいからである。

これに対して、手書き文字の場合は、相当難しくなる。現状では、シート自体に枠があって、この枠を切り出すことにより文字を切り出している。つまり、手書き文字は、すべてシート中の指定された枠の中に筆記しなければならない。この条件をやや緩め、横書するときシート中に水平線があり、この水平線に従って、筆記された場合は、文字のピッチが異なる上、日本語では分離文字があるので、かなり丁寧に書いてもらわないと切り出せない。

全く条件のつけない自由な筆記の場合は、非常に困難と言える。認識結果をフィードバックして、再切り出しを行う方法も当然考えられるが、処理速度の点から今のところなされない。図2.2に文字切り出しの例⁽⁴¹⁸⁾を示す。これは、印刷文字の場合である。1文字の認識が、ある程度できるようになってきたので、最近(1985年頃)では、手書き文字の切り出しに関する研究が活発となっている。

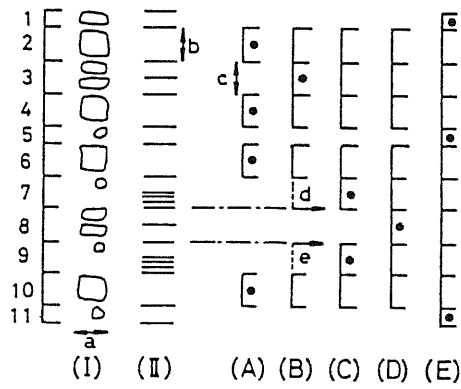
2. 2. 3 文字の正規化

切り出された文字は、大きさも異なれば傾きや太さも違う。従って、このような認識に本質的でない情報は、正規化によって、捨ててしまう必要がある。太さの正規化には、細線化を行えばよく、大きさの正規化には、文字を一定の大きさに拡大又は縮小すればよい。文字の正規化を安易に行うには、文字の外接枠を一定にするか、文字の重心で位置を合わせ、分散を一定にするよう大きさを規格化すればよい。やや複雑な方法としては、文字線密度という尺度を一定にする方法⁽¹⁸²⁾もある。これは、いわゆる可変標本化で、図2.3に示す。これは本論文の一部でも用いている。

なお、通常文字の正規化といった場合、対象とする文字がなんであるかは気にしない。しかし、完全な正規化を行うには、現在、正規化を行っている文字のカテゴリを知っている必要がある。だか、その文字のカテゴリは、まだ未知なのである。このように正規化と識別は表裏の関係にあると言える。本論文の第5章、第6章で述べているHPDAシリーズは、識別アルゴリズムであるが、見方を変えれば、このように正規化の手法であるとも見做しうる。

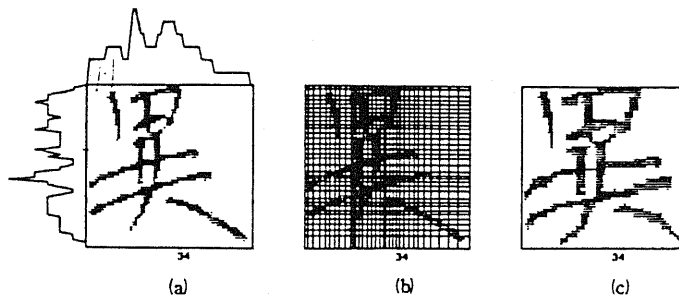
2. 2. 4 文字の大分類

日本人は、日常およそ 2000 ~ 3000 字の漢字を使っていると言われるので、JIS 第1水準程度(2965文字)の漢字が読めれば、だいたいは使用に耐え得る。従って、認識アルゴリズムは、ある未知文字に対し、絶えず 3000字程度の候補から1文字を出力してい



(I)が文字を示し、(II)が横へのパスを示す。文字の存在の確率の高い所から(A)~(E)の順に、文字の切り出しを行う。●が切り出された文字を示す。これは、印刷文字の場合である。

図2. 2 文字の切り出し例



(a)は正規化前の文字でx, y方向への線の本数の射影を示す。(b)は線密度を一定にする可変標本化間隔による再標本化である。(c)は非線形正規化後の文字パターン。

図2. 3 文字の正規化

るわけである。

これに対し、電総研が行った弛緩整合法⁽¹⁹³⁾では、FACOM-M200/FORTRANで、1つの辞書との距離を求めるのに50ms必要である。従って、もし3000字の辞書との距離をすべて求めれば、150秒かかる。これは、400字詰め原稿用紙を読み取るのに約16時間も必要なことを意味する。実際には、アルゴリズムの一部をハード化するので、これほどの長時間は要しないと思われるが、いずれにせよ、これはあまりにもひどい。

従って、3000字をいきなり識別アルゴリズムにかけるのではなく、もっと速い簡単なアルゴリズムで候補を絞りこむ必要がある。これが、大分類である。先に述べた弛緩整合法の例では、方向性特徴により、教育漢字881文字を50文字まで絞りこみ、この50文字に対し、弛緩整合法を適用することにより、1文字の識別を5.1秒に押えている。これは、 $5.1/150 \approx 1/30$ に認識速度が向上したことを意味する。この場合、どの程度まで絞りこむかは大分類アルゴリズムの性能や識別アルゴリズムとの速度比で決定される。

2.2.5 文字の識別

文字の識別は認識アルゴリズムの中核であり、最も重要な所である。ここでは、大分類であらかじめ絞りこまれた複数の候補の中から、ただ1個の候補を出力する。これが、無理な時は、次の後処理でより詳しく類似文字判別や単語、文脈情報など他の情報で判定を行うか、または、判定不能として、リジェクトする。

識別のためのアルゴリズムは、後に文字認識の歴史として再度触れるが、実にたくさんの方がある。しかし、これらの根底に流れる基本的戦略は、明らかに一貫して特徴空間での相関である。つまり、文字パターンより、なんらかの特徴を求め、この特徴に対し相関法を適用している。

実は、手書き文字に対しては、その黎明期である1970年頃は、考え方が異なっていたらしい。たとえば、最初の郵便番号の読み取りでは、重畳走査方式といって、手書き数字から、あらかじめ、直感的に定めた特徴を水平そして垂直に走査しながら抽出し、この特徴系列に対して、オートマトンを用いて受理されるか否かで認識を行っていた。これは、東芝のアルゴリズムであるが、この時は、1つのカテゴリに1人を割当ててオートマトンを作成したらしい。もし、同じことを漢字に適用すると、今度は3000人近くも必要となってしまう。このため、辞書を自動的に作成することが、ぜがひでも必要となった。

現在では、東芝は、郵便番号の認識のために複合類似度法を用いている。これは、K-L展開、すなわち、主成分分析と同じであり、各辞書について3つの主成分を持っている。これならば、辞書はサンプルパターンを収集するだけであり、あとは計算機が自動的に作成してくれる。

識別のための例を1つだけ挙げておく。これは、NTTの方向寄与度密度特徴 (DCD: Direction Contributivity Dinsity)⁽¹⁸²⁾であり、図2.4に示すように文字を8方向から見て、文字線と交差した数ならびに、交差のしかたの頻度分布をとる。この場合、各方向を16等分したので、特徴は、8方向×4交差のしかた×16分割=512次元のベクトルとなる。辞書としては、あらかじめ多数のサンプルについて同様の特徴を求め、平均しておけばよい。この辞書の特徴ベクトルと未知文字から求めた特徴ベクトルで、市街地距離や単純類似度などの距離を求め、最大の値を示すカテゴリを出力することになる。

2.2.6 文字の後処理

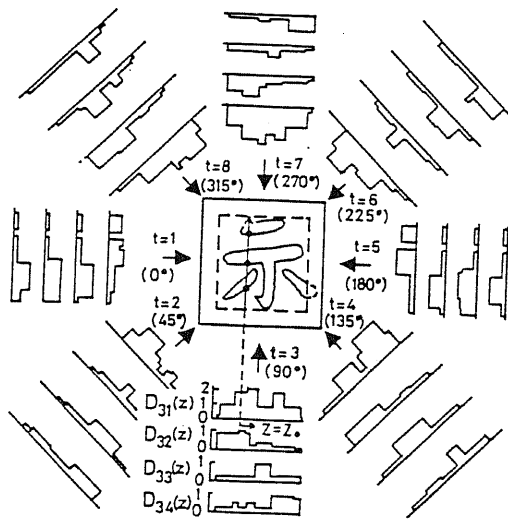
文字の識別でリジェクトになった場合や誤読のときには、後処理をして、救済しなければならない。誤読の場合は、実際には機械にとっては正答と見分けがつかないので事実上、この処理はすべての文字について行うことになる。

まず、問題となるのは、類似文字の時である。漢字だけの場合を考えてみても「王」「玉」「主」、「間」「問」「聞」「関」などの非常に数多くの例があり、数字、カタカナなどを含めると、さらに複雑になる。たとえば、「I」「エ」、「ク」「7」「ワ」、「口」「ロ」、「ニ」「=」などである。この類似文字を判別するには、要するに類似文字対で、異なるところを特に強調して観察すればよい。これを簡単に行うには、2個の類似文字対で差分マスクを作成し、適用する。1例としてNTTでは、数量化理論第II類を用いている⁽⁴⁹⁶⁾。これは、類似文字対を線形判別するために、その重みを求めるもので、その実体は判別分析である。3個以上の時は対判定を複数回行えばよい。

次に、後処理として、文脈情報を用いることも考えられる。これは、1文字だけの判定では不十分なので、複数の文字を用いて前後の関連性を用いようとするものである。文脈情報というと非常におおげさに聞こえるが、実際には、登録した単語と一致するかどうかを調べるだけでも十分な効果がある。もっと簡単には、2文字の接続を用いた例である。この場合でも、リジェクト文字の70%が救済できたと報告されており⁽⁵⁰²⁾、これはアルゴリズムのあまりの簡単さを考えると、劇的な効果といえる。

2.3 文字認識の歴史

ある技術を説明するには、その歴史を追って説明すると、なぜそのようになったかという理由がよくわかる。従って、ここでは、文字認識の歴史を概観してみようと思う。キーワードを年代順に図2.5に示した。



文字パターンを8方向から走査する。文字線との交差(4方向)にしかたを考慮し、ヒストグラムを取る。

図2.4 方向寄与度密度特徴

年代	主なキーワード
1920	G. TauschekのOCR(ドイツ) 定点サンプリング(AT&T)
1950	UNIVAC I
1955	G. E. のMICR ERAのAND/OR論理 電総研のOCR(3値論理)、 MARK IV(電総研) パーセプトロン
1960	IBM1418(印刷数字)、 Freemanのチェインコード 飯島のぼけ変換 飯島の特徴抽出理論、 京大のOCR IBM1975(マルチフォント) RETINA, Rosenfeldの細線化アルゴリズム
1965	大型プロジェクト、 Glucksmanの方法 郵便番号制度、 東芝の重畳走査方式 飯島の複合類似度 IBM1287(手書き数字)
1970	大型プロジェクト"パターン情報処理システム" ASPET 71, 手書き英数字データベース 場の効果法(電総研)、 階層的パターンマッチング(電総研、日立) 四辺コード、複雑指数、印刷漢字(東芝) 飯島の混合類似度法 労働省労働市場センタがカタカナOCRの導入決定

図2.5 文字認識の歴史(1/2)

年代	主なキーワード
1975	セル特徴(電総研) 凹凸構造(電総研)、 メッシュパターン(武蔵野通研) 方向性マッチング(電総研) ストローク密度関数(武蔵野通研) 位相構造化法、ストローク密度分布(横須賀通研) ベクトル場(大阪大)
1980	アダマール変換の利用(神奈川大)、 伸縮整合法(大阪大) 筆者識別、変動吸収特性核(名古屋大)、 ネオコグニトロン(NHK) 弛緩整合法(電総研)、LDC, 4SDF, DCD(武蔵野通研) 構造集積特徴(横須賀通研) 一括処理法(九州大学)、 ストロークマッチング(三菱) 複合類似度の漢字への適用、構造多重類似度法(東芝) 多元的特徴(富士通)、 ずらし類似度(電総研) 細線化を用いない方向セグメント抽出(大阪大) 神経回路網(東北大学)、 構造化線素整合法(沖)、 細線連結素方向(日本IBM) パーソナルOCR(武蔵野通研)、文字接続情報(横須賀通研) 動的方向性整合法(大阪大)、 加重方向指数ヒストグラム(三重大) 個人用テンプレート(名古屋大) 輪郭DPマッチング、複合特徴パターン(電総研) 複合後処理(武蔵野通研)、 数量化理論(横須賀通研) 非線形マッチング(日電)、 文脈情報(九州大)
1985	相補的特徴場、線密度イコライゼーション(電総研) 可変スリット法(京大)、 知識の利用、多段階識別法(大阪大) 構造情報(東北大)、 文字の切り出し(愛媛大) 局所的構造(東芝)、 ページ解析(日電) ETL9(電総研)

図2.5 文字認識の歴史(2/2)

2.3.1 1970年頃までの歴史(3),(6)

文字認識の一番最初は、1928年のオーストリアの Tauschek の印刷数字読み取りに関する特許であり、これは、光学的なパターンマッチングを行っていた。次に 1929 年には、A T T が電報文を読む目的で、定点サンプリングを用いる特許を出している。

さらに1950年代に入って電子計算機が利用できるようになり、これは、他の分野でも同じだか、アルゴリズムの検証など、強力な思考の Tool となった。1957 年には、G. E. 社が磁気インク文字読み取り装置 (M I C R; Magnetic Ink Character Reader) を出し、これは今でも小切手などで特殊な形をした数字として見る事ができる。同年、イギリスのベンチャー企業が E R A と呼ばれる O C R を出した。これは、電子計算機の影響をもちに受けた方法で、文字を2次元上の 0/1パターンとしてとらえ、AND/OR 論理を用いていた。

当時電総研にいた飯島はこのアイデアから 0/1 以外に曖昧さを許す3値論理を考えた。1964年には、R E I 社が R E T I N A と呼ばれる O C R を発表した。これはマルチフォントでも読めたが、その原理は文字を光検出アレイに投影し、その後ろに2次元相関並列計算用の加算アレイを並べたものである。値段は当時3億円もした。

電子計算機メーカーである I B M も当然 O C R 装置を出している。最初は 1961 年で対象は印刷数字で AND/OR の論理マッチング方式であった。さらに、1968 年には、世界で最初の手書き数字を読む O C R を発表した。

この間に日本では、飯島が、1962 年に "ぼけ"に関する理論を出した。これは、ぼけは理論的には、いくらぼかしても識別可能であるというもので、それならば、ノイズに対処するため、むしろ積極的にぼかした方が良いということになった。これは、今でも相関法に関する重要な基本テクニックである。さらに、1963 年には、"特徴抽出理論"を発表した。これは、K-L 展開法に等しく、実質的には、多変量解析の主成分分析と同じである。

2.3.2 1980年頃までの歴史(3),(6)

1970 年代に入ると、アメリカでは O C R に関する研究が衰退し、1975年以降は論文の発表が皆無に近い。これは、1970 年代のなかばぐらいで印刷英数字、手書きの数字用の O C R がほぼ完成し、研究対象を失ったこと、さらに1つには、アルファベットはタイプが容易なので、経済的にみて、手書き文字には強い需要がないということである。

これとは逆に 1970 年ごろから、日本では、O C R に関する研究が活発化してきた。まず、1968年7月1日に郵便番号制度が実施され、このため、手書き数字を読み取る必要があ

った。このシステムは、郵政省から東芝、日電、日立に発注され3社が競争を開始した。結果的には、東芝が勝ち、この方法は、重畳走査方式と呼ばれた。しかし、敗れた日電はすぐに東芝に追いつき、今では、東芝と日電が、世界的にこの分野で2大メーカーとなっている。

1966年には、通産省工業技術院の超高速電子計算機の大型プロジェクトが発足し、この一貫として、高性能OCRの開発が計画された。対象字種は印刷英数字で、電総研と東芝が行った。この開発に際し、1968年飯島は複合類似度法を誕生させた。この理論を用い、1971年ASPECT71が完成した。このASPECT71は、次の意味で非常に重要である。それは、辞書の自動作成が可能なことである。先に述べた重畳走査方式は、1カテゴリに1人を割当てて辞書を作ったと言われており、このため、東芝はあとでこの方式を捨て、複合類似度法を採用することになる。

1971年、通産省工業技術院による大型プロジェクト"パターン情報処理システム"が発足し、この中で文字認識については、手書き文字の英数字、カタカナと印刷漢字が目標となった。手書き文字は電総研と富士通が、印刷文字は東芝と日立が担当した。

1973年、電総研は"場の効果法"を発表した。これは、さらに発展し"最外点リスト法"を用い、文字の凹凸構造を求める方法となった。富士通は、場の効果法を高速化した反射法を考察した。

一方、東芝は、大分類に複雑指数と四辺コード化法を用い、識別には、飯島による混合類似度法を用いた。日立は、階層的パターン・マッチングを行った。これは、文字の解像度を最初は粗く、最後は細かくというように、ピラミッド構造を持つ方法である。1977年、東芝の印刷漢字OCRは、2000字種近くを100文字/秒で読み、ほぼ99%の認識率を達成し、ここに、印刷漢字認識技術が実用レベルで確立されたといえる。

また、この時、手書き文字データベースの作成が始められ、以後1985年にJIS第1水準のETL9まで、9種類のデータベースが作られることになる。

さて、この間に1975年に労働省の労働市場センタは、カタカナOCRの導入を決定し、1980年にその設置を計画した。これを受け、各メーカーが熾烈な争いを繰り広げることになる。三菱は輪郭追跡による凹凸構造、日電は細線化による線分の接続関係、日立は文字の幾何学的構造、東芝は複合類似度、沖は通研設計による位相構造化法などである。結果は通研が勝利を得ることとなった。

2.3.3 手書き漢字認識への道

1970年代の後半までで、印刷漢字、手書きのカタカナまでが、ほぼ実用化され、あと残るは手書き漢字だけとなった。1980年代に入り、手書き漢字認識に向けての研究が活発化

することになる。ちなみに、1981年3月に、筆者は大学院に入学を許可された。

まず、研究されたのは手書き漢字から、どのような特徴を抽出すれば、認識に有効かということである。

電総研では、岡が、場の効果法を改良したセル特徴を発表した。斉藤らは、大分類のために方向性特徴を用いた。また、識別用には、斉藤が、弛緩法を手書き漢字に応用した。さらに山田は、輪郭から抽出された2次元パターン自体に弛緩法を適用し、また、輪郭線のマッチングにダイナミック・プログラミングの応用を試みた。同じく、安田は文字の背景にも方向性と同等な特徴を抽出することを考えた。筆者が大学院の修士の時に考案し、本論文の第3章でも使用しているCWR特徴は、この特徴の簡易高速版であると見做せる。

NTTでは、研究が、元の武蔵野通研と横須賀通研に分れて行なわれた。横須賀通研では、ストローク密度分布を大分類用に考え、識別には、構造集積特徴を用いた。前者はGlucksmanの方法と同じであるが、Glucksmanは特徴の頻度分布を取ったのに対し、横須賀通研では、これを2次元のパターンとして用いた。また、構造集積特徴は、岡のセル特徴の簡易版を見做することができる。また、印刷漢字に使われた位相構造化法の、手書き漢字への適用も試みられた。武蔵野通研では、大分類にストローク密度関数（ストローク密度分布とは異なる。）とLDC特徴を用い、識別にDCD特徴を用いた。

三菱は漢字を細線化の後ストロークを抽出し、傾きと長さの特徴画面に写像し、この上での相関を試みた。

東芝は、複合類似度の手書き漢字への適用を試み、これをさらに発展させ構造的多重類似度法へと導いている。後者は、実質的に方向性パターンの複合類似度である。

沖は、構造化線素整合法といい、武蔵野通研のLDCと同様な方法を用いた。また、日本IBMは細線連結素方向と称して、ストロークの方向性特徴のヒストグラムを用いる手法をとった。

富士通は、簡単な特徴ながら、ストローク密度と他の2つの特徴を組合せる多元的特徴を用いた。このような組み合わせは、横須賀通研がストローク密度分布と構造集積特徴の組みあわせを試みたように、他でも行なわれている。

大学関係では、大阪大学が、距離変換の一種であるベクトル場や、方向性特徴を用いて整合を試みた。東北大学は、方向性特徴をさらに集積した構造情報を用いた。三重大学でも方向のヒストグラムをとる加重方向指数ヒストグラムを用いた。

以上は、すべて手書き漢字から抽出される特徴であり、この特徴上で相関を取ることでより識別を行っている。大部分は1982年の終り頃までになされている。このようにして、特徴が考え出され、ある程度の認識率が得られると、次にはこの特徴の使い方をより工夫して、認識率を上げることが考えられる。

先に述べた組合せも使い方的一种である。電総研の山田は、各点をずらして使うずらし類似度を用いて、同一の特徴でありながら認識率の向上を図った。また、九州大学では、類似度として、尤度を使うことを試みた。また、東京大学の元岡研でも投影距離法を用いることを試みた。大阪大学でもダイナミック・プログラミング、日電でも非線形マッチングなどを試みている。本論文の第5章、第6章でのHPDAも同じである。

この他の処理としては、1文字だけを考えるのではなく、文脈情報を用いること、すなわち、後処理が考えられる。これは、特徴が考え出されたあと、つまり、1983年前後に行なわれている。NTTでは、文字の接続や単語情報を用いた後処理を行った。さらに、類似文字を識別するための詳細識別も行なわれる。

このように、手書き漢字認識は、枠の中に書かれた1文字を認識できる良い特徴を探すことから始まり、次には類似文字の判別を行い、また、単語情報などで後処理を行うというように発展してきた。

現在では、手書き漢字をある程度は認識できるようになってきたので、より制約を少なくするために、枠はやめて、紙面にせいぜい水平線程度を引き、ここに書かれた文字を読み取る研究が行なわれている。このため、1985年の電子通信学会、春と秋の全国大会では、文字の切り出しに関する研究が目立っていた。

1959年に Bur Hillel という学者は、"私の知っている最良の予測は、5年ほどたてば、信頼し得る多目的なプリント・リーダができるであろう"という予測を行ったと言われている。今から見れば、ずいぶんと無謀なことを言ったと思うが、1985年の現在では、同じ予測を行っても、そう大きくは的をはずれないように感じられる。

第3章 手書き文字の大分類

アルゴリズム

本章では、膨大な数のカテゴリ数を持つ手書き文字の候補を絞りこみ、次の識別を容易にするアルゴリズムについて述べる。

3.1 はじめに

本章では、手書き文字の大分類実験について述べる。本論文では956文字、一般には2000文字以上必要⁽⁶⁾とされているように、手書き文字はカテゴリ数が膨大なため、認識を一度で行わず、階層的に行う必要がある。正規化としては、線密度イコライゼーション⁽¹⁸²⁾という非線形正規化法を用いる。特徴としては、定石となりつつある方向性パターン⁽¹⁹⁷⁾と、新たに背景特徴としてCWR (Center of White Run)の2種の特徴画面を、それぞれ4面ずつ合計8面使用する。処理の高速化のため2×2と8×8の2種の解像度で2階層として行う。また、距離は簡単のため単純類似度とし、辞書は単なる平均とした。結果としては、平均で、1位分類率93.6%、10位分類率99.1%が得られており、候補としては、上位5～10位までを出力すれば十分と思われる。

3.2 大分類のためのアルゴリズム

アルゴリズムの全体を図3.1に示す。以下では、図3.1に従って、各ステップでの処理を説明する。また、「因」についての処理例を図3.2に示す。

3.2.1 未知文字の入力

未知文字は、大きさ64×64（ただし、最外周2周分は白枠）で2値文字とする。2値化は固定閾値で行った。以下、黒画素は1、背景は0とする。

3.2.2 第1ノイズ除去

未知文字中でノイズを除去する。ただし、ここでは簡単のため、ノイズとして孤立点だけを対象とする。すなわち、図3.3に示す孤立点除去マスクを使用し、8近傍に黒画素が全く無いとき、中心の1を取り除く。これは、後の非線型正規化においても、文字の外接枠外におけるノイズに対しては全く無力な理由による。ノイズとしては、孤立点だけではなくシェーディング等によるものもあり、後で示すように、このようなノイズを除去するには、ノイズの定義が必要であり、この定義は比較的困難なので、本章では、孤立点に限定している。

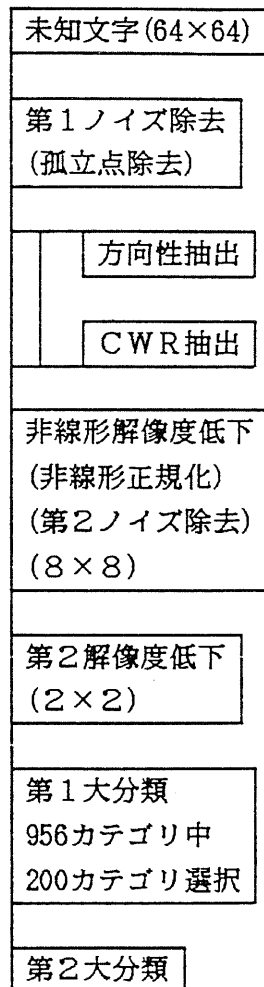
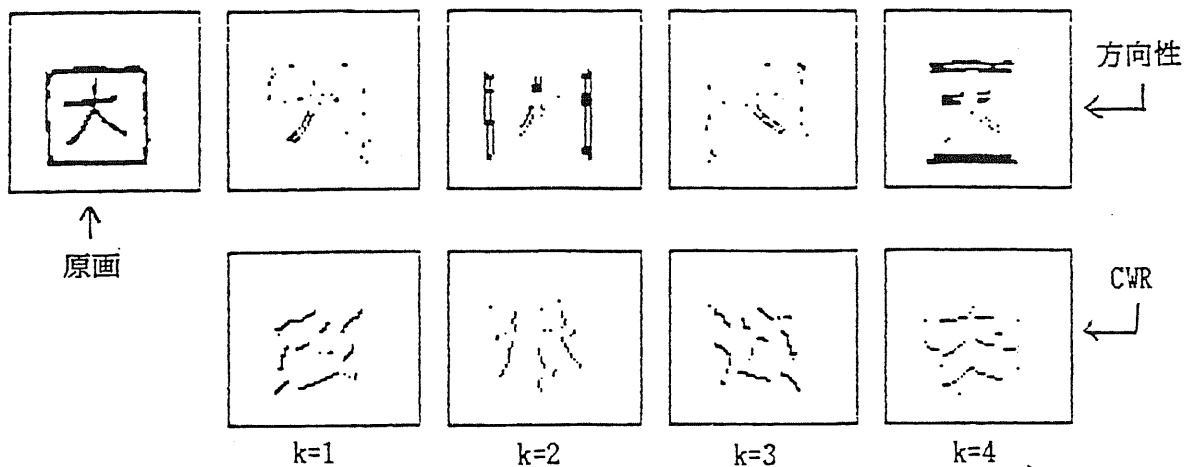


図3.1 大分類のための
アルゴリズム



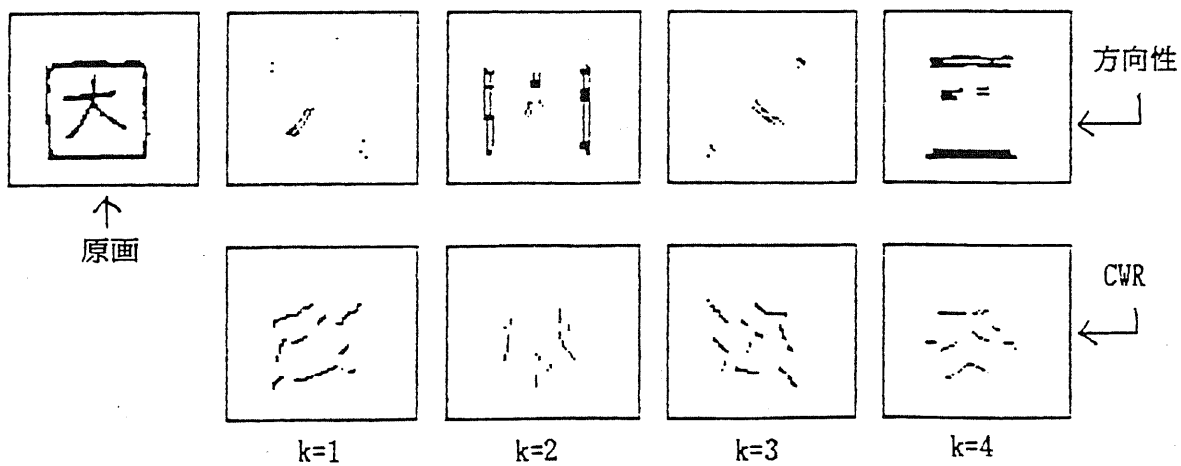
(a) 方向性とCWR (第2ノイズ除去前)



(b-1) 方向性

(b-2) CWR

(b) 非線形解像度低下後(8×8、第2ノイズ除去前)



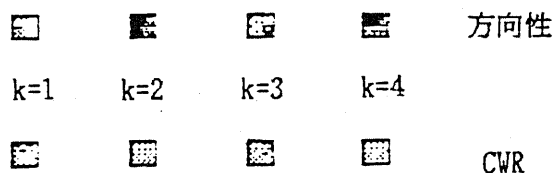
(c) 方向性とCWR(第2ノイズ除去後)



(d-1) 方向性

(d-2) CWR

(d) 非線形解像度低下後(8×8、第2ノイズ除去後)



(e) 第2解像度低下後(2×2)

図3. 2 字種「因」の処理例

0	0	0
0	1	0
0	0	0

図3.3 孤立点除去マスク

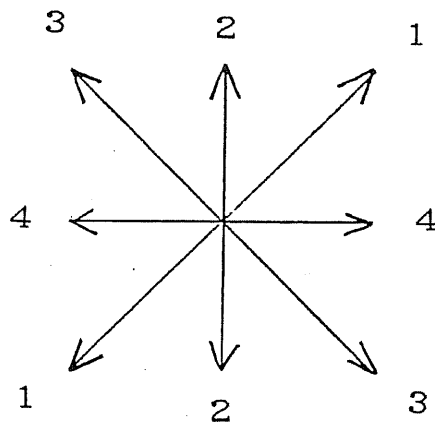


図3.4 方向 k の定義

1	1	0
1	0	-1
0	-1	-1

(a) $k = 1$

1	0	-1
1	0	-1
1	0	-1

(b) $k = 2$

0	1	1
-1	0	1
-1	-1	0

(c) $k = 3$

1	1	1
0	0	0
-1	-1	-1

(d) $k = 4$

図3.5 微分用マスク

3.2.3 方向性抽出

本章では、図3.4に示す4方向を定義する。方向性の抽出には、各種の手法が存在する。最も原理的な手法は、各黒画素ごとに図3.4に示す方向に触手を伸ばし、その長さを計数し、方向を決定することである⁽⁸⁷⁾。また、文字の輪郭線を追跡し、微小輪郭線ごとに方向を決定する方法⁽¹⁹⁷⁾もある。これらは、いずれも抽出速度は遅いが、精度は高いと考えられる。しかし、大分類では、大略的な方向がわかればよいのであって、厳密な方向まで求める必要はないと考える。従って、ここではエッジ微分を使って方向性を求める。各方向に対応する微分用マスクを図3.5に示す。このマスクを用いて文字パターン上を走査し、その値がある閾値 $P1(=3)$ 以上である時、使用したマスクの方向が存在すると考える。方向 k の方向性画面を $f_k(i,j)$ とすれば

$$f_k(i,j) = \begin{cases} 1 & (k\text{方向微分値} \geq 3) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases} \quad 1 \leq i, j \leq 64, 1 \leq k \leq 4 \quad (3.1)$$

となる。すなわち、方向性画面は2値画面で4方向に対応して4面存在することになる。抽出例を図3.2(a)に示す。

3.2.4 CWR抽出

CWRとは Center of White Run の略であり、図3.6のように文字パターン上を走査し、図3.7のように黒画素と黒画素の中間点に抽出される。このCWRは、もともと筆者が「シ」と「ン」の「シ」、` `」等を区別するために、カタカナ認識で開発した特徴である。性能としては、カタカナ上で方向性パターンとはほぼ同等の能力を持つことが確認されている。

なお、このCWR特徴は、黒画素に方向性を規定しないところが、安田らの言う背景特徴⁽¹⁸⁴⁾、いわば擬似ストロークと異なる。このため、CWRの方が抽出速度は速いが、いわゆる甘い特徴となっている。しかし、得られるパターンを観察する限り、ほぼ同じと考えてさしつかえないと思われる。抽出例を図3.2(a)に示す。方向性画面と同じく2値画面として4面存在する。

3.2.5 非線型解像度低下

ここでは、正規化と解像度低下を同時に行う。さらに、第2ノイズ除去も行う。正規化

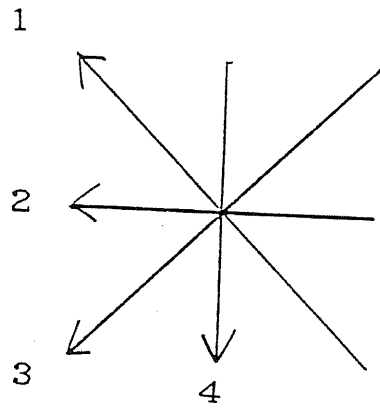


図3.6 走査方向

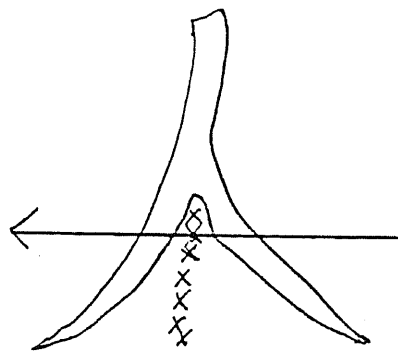


図3.7 CWRの例 (*印)

としては、山田らの提案する線密度イコライゼーション⁽¹⁸²⁾を用いる。また、同時に解像度を文字パターンの64×64から8×8に落とす。これは一種の技巧であって、方向性やCWR抽出前に非線形正規化を行うのが精度も良いし正当である。しかし、正規化と同時に解像度を落とした方が、はるかに速いため、本章では特徴抽出の後で同時に行う。なお、解像度低下後は、各分割領域内でもともと2値であった値を合計した多値画面となる。従って、以下では特徴は多値である。

3.2.5.1 非線形正規化

非線形正規化（線密度イコライゼーション）とは、各分割中で、線の本数が等しくなるように非線形に分割する手法である。例を図3.8に示す。文字の右と下にある線分が分割線を示す。これを定量的に表記する。

文字パターンを $f(i, j)$ 、その 0-1 反転図形を $\underline{f}(i, j)$ とする。次に、 i 軸、 j 軸への線の本数の射影をそれぞれ

$$h_I'(i) = \sum_j f(i, j)\underline{f}(i, j-1) + \alpha \quad (3.2)$$

$$h_J(j) = \sum_i f(i, j)\underline{f}(i-1, j) + \alpha \quad 1 \leq i, j \leq 64 \quad (3.3)$$

とする。 $h_I'(i)$ 、 $h_J'(j)$ に、それぞれメディアン・フィルタを通して平滑化した結果を $h_I(i)$ 、 $h_J(j)$ とする。また、その合計を解像度 $N=8$ で除したものを

$$N_I = \left(\sum_i h_I(i) \right) / N \quad (3.4)$$

$$N_J = \left(\sum_j h_J(j) \right) / N \quad (3.5)$$

とする。以上の準備の後、文字パターンを、その外接枠から線の本数の射影の合計が N_I 、 N_J の定数になるように8分割する。すなわち8分割のくぎりを k_i 、 k_j で示すと

$$\int_{k_{i-1}}^{k_i} h_I(i) = N_I \quad 1 \leq i \leq 8 \quad (3.6)$$

$$\int_{k_{j-1}}^{k_j} h_J(j) = N_J \quad 1 \leq j \leq 8 \quad (3.7)$$

ただし、 $k_i = k_0$ 、 $k_j = k_0$ は文字の外接枠である。

なお、 α は非線形性の緩和を図る定数で、文字外接枠内だけを1とする。

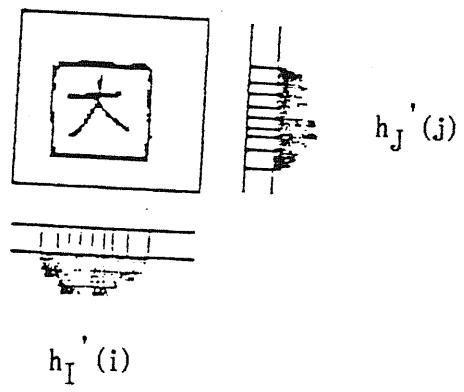


图3.8 非線形正規化

3. 2. 5. 2 第2ノイズ除去

第2ノイズ除去は、64×64の文字パターン上で、8×8の特徴について行う。この主たる目的は、方向性を求める微分時に発生するノイズを除去することである。微分用マスクは3×3と小さいので、各ストロークの両端点や斜めストロークの途中で一部微量な方向性が発生する。これを、そのまま特徴と見なしてもよいわけだが、ここでは見通しを良くするため、ノイズであると定義し除去することにした。この時の閾値は経験的の2とする。CWR特徴についても全く同じことを行う。閾値以下の特徴はすべてノイズと見做し除去する。第 I, J 分割中の特徴量を、方向性、CWRに関係なく一般的に F_{IJ}'' とあらわせばノイズ除去後の特徴量はいずれも次式の F_{IJ}' となる。

$$F_{IJ}' = \begin{cases} 0 & (F_{IJ}'' \leq 2) \\ F_{IJ}'' & (F_{IJ}'' > 2) \end{cases} \quad (3.8)$$

ただし、 F_{IJ}'' は第 I, J 分割中で2値である方向性またはCWR特徴を合計した多値の値で1Byteに格納される。すなわち、

$$F_{IJ}'' = \sum_{i=k_i}^{k_i} \sum_{j=k_j}^{k_j} f(i,j) \quad (3.9)$$

3. 2. 5. 3 解像度低下

第2ノイズ除去後、64×64の大きさの文字パターンを、線密度イコライゼーションによって分割された8×8の分割領域の中に埋めこむ。この時、分割領域が非等分割であることを考慮して特徴量を面積比で正規化する。すなわち、ノイズ除去後の第 I, J 分割領域中の特徴量を F_{IJ}' とすれば、正規化された特徴量 F_{IJ} は

$$F_{IJ} = \frac{P_2^2}{(k_i - k_{i-1})(k_j - k_{j-1})} \times F_{IJ}' \quad (3.10)$$

ここで、パラメータ値 P_2 は経験的に5と定めた。これは、1分割の長さが5で、文字パターンの大きさが40×40の大きさに正規化された場合に相当する。

なお、64×64から8×8へ解像度を落とすのは、次のような理由による。まず、大分類であるため大雑把な値がわかればよい。このような時、64×64のフル・サイズを用いるの

は不必要であるし、辞書を蓄えるメモリ量も増し、距離計算も時間がかかる。さらに、解像度が低下したことによって、ある程度、文字の位置や大きさの変動を吸収する効果もねらっている。方向性特徴、CWR特徴の双方に適用した結果を図3.2(b), (d) に示す。

3.2.6 第2解像度低下

ここでは、上記で得られた 8×8 の大きさの、方向性画面4面、CWR画面4面をさらに圧縮し、 2×2 の大きさにする。この目的は大分類の速度向上である。 8×8 の大きさであると、 $8 \times 8 \times 8 = 512$ 次元の特徴ベクトルとなるが、 2×2 の場合は $2 \times 2 \times 8 = 32$ 次元と $1/16$ で済む。これはソーティング時間を考慮に入れても約1桁速い認識が可能なことを意味する。具体的には、第 I, J 分割中の特徴量を $f_{i,j}$ とすれば

$$f_{i,j} = \left(\sum_{I=4i-3}^{4i} \sum_{J=4j-3}^{4j} F_{IJ} \right) / P3 \quad (3.11)$$

で得られる。パラメータ $P3$ は面積比にすると $f_{i,j}$ があまりにも小さくなりすぎるため分割領域の一辺の長さの比とした。すなわち $P3 = 8/2 = 4$ である。例を図3.2(e)に示す。

3.2.7 第1大分類

第1大分類では、 2×2 の大きさの画面を8面用いて行う。辞書としては同じく 2×2 の大きさを用意する。未知文字から抽出された特徴と辞書とを、すべて総当り式に距離を計算する。すなわち、956カテゴリの総当りである。この結果、得られる上位のカテゴリを第2分類用候補カテゴリとして第2辞書に渡す。後で述べるが本章では、200位まで渡している。すなわち、 $1/5$ の圧縮を行っている。なお、距離としては、簡単のため単純類似度を使用している。詳しくは3.3で述べる。

3.2.8 第2大分類

ここでは、フル・サイズである 8×8 の大きさの画面を8画面すべて用いる。従って、次元は512次元である。辞書としては同じく 8×8 の大きさであるが、今度は総当りではなく第1大分類で得られた200カテゴリについてだけ距離計算を行い、その上位を出力する。

3.3 実験と検討

3.3.1 使用するデータ

辞書作成用としては、付録1で述べる電総研手書き文字データベースETL8の、データセット1から10の10データセット(956カテゴリ×10)を用いる。また、認識実験用の未知文字としては同じくETL8のデータセット11から15の5データセット(956×5)を用いる。ETL8データベースの各文字は、本来128×127で各画素4Bitであるが、これを64×64の大きさで閾値4の2値化を行い2値文字としている。閾値は経験的に定めた。

3.3.2 辞書の作成

辞書は、3.2で述べたアルゴリズムを通して得られる、8×8解像度の512次元の特徴ベクトル、また2×2解像度の32次元の特徴ベクトルを単に平均することによって得る。データセット1から10の10個を使うので、956の各カテゴリで10個の平均をとることになる。8×8解像度の時は1カテゴリ当り512Byteで、辞書として478KByteの容量が必要である。また、2×2解像度の時は1カテゴリ当り32Byteで、辞書全体では、30KByte必要となっている。すなわち、いずれの場合も1次元が1Byteに相当する。

3.3.3 予備実験

予備実験では加重比とぼかしに関して調査する。本章では方向性4面とCWR4面の2種の特徴を用いている。従って、これらを同じ加重で用いて良いのかどうかは不明である。また、一般に、適度なぼかしを付加すると認識率が向上すること⁽³⁾が知られている。これらは、いずれも実験的に定める必要がある。本章では、ぼかしとして、標準偏差 $\sigma=1$ メッシュのぼかしを行う場合と、行わない場合の両方について加重比を変化させて誤認識数を調べた。8×8解像度の未知文字ベクトルを

$$f_k^8(i,j) \quad \begin{array}{ll} 1 \leq k \leq 4 & \text{方向性} \\ 5 \leq k \leq 8 & \text{CWR} \\ 1 \leq i, j \leq 8 & \text{分割番号} \end{array} \quad (3.12)$$

同じく、カテゴリcの辞書を

$$g_k^c(i, j) \quad (3.13)$$

とする。ここで、加重比を W として距離を次式で定義する。

$$d_s(f^g, g^c) = \frac{S(f^g, g^c)}{\sqrt{S(f^g, f^g)} \sqrt{S(g^c, g^c)}} \quad (3.14)$$

ただし、

$$S(f^g, g^c) = \sum_{k=1}^4 \sum_{i,j} f_k^g(i, j) g_k^c(i, j) + W \left(\sum_{k=5}^8 \sum_{i,j} f_k^g(i, j) g_k^c(i, j) \right) \quad (3.15)$$

この距離を用いて予備実験を行う。標準偏差 $\sigma = 1$ メッシュのぼかしマスクを図3.9に示す。実験データとして、未知文字はデータセット11の1~200カテゴリを用いる。辞書は、後で説明する本番用を用いるが、カテゴリとしては未知文字にあわせ1~200カテゴリに限定する。予備実験の結果を図3.10に示す。ぼかしに関しては、行わない方がよい結果が得られている。通常は、ぼかしを行った方が良好な認識率が得られるが、この場合では逆の結果が得られた。原因としては、予備実験で用いたデータが少数(200)なので、たまたま、このようになった、あるいは、ぼかしマスクの標準偏差が大き過ぎるの2点が考えられる。ただ、ぼかしをつけた方が安定な性能が得られることは確認できる。

加重比Wについては、ぼかし付きの場合1.0以上で、ぼかしなしの時は0.9付近で最適値となる。

本章では、この結果から、一応、実験で、ぼかしなしの方がよい結果が出たので、あえてぼかしを行わない。また、加重比Wは0.9付近が良いが、取り扱い容易のため、 $W = 1.0$ とする。

3.3.4 大分類実験

3.3.4.1 第1大分類

第1大分類の結果を図3.11に示す。データセット11から15までの5つで相当の変動があるため、平均値、最良値、最悪値を示す。特に、データセット15が低品質ですべて最悪値

4	6	4
6	10	6
4	6	4

図3.9 ぼかし用マスク

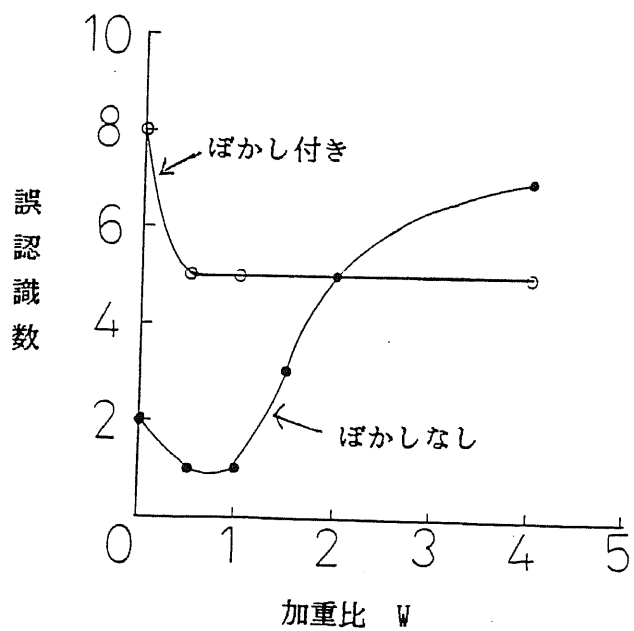


図3.10 加重比 W の決定

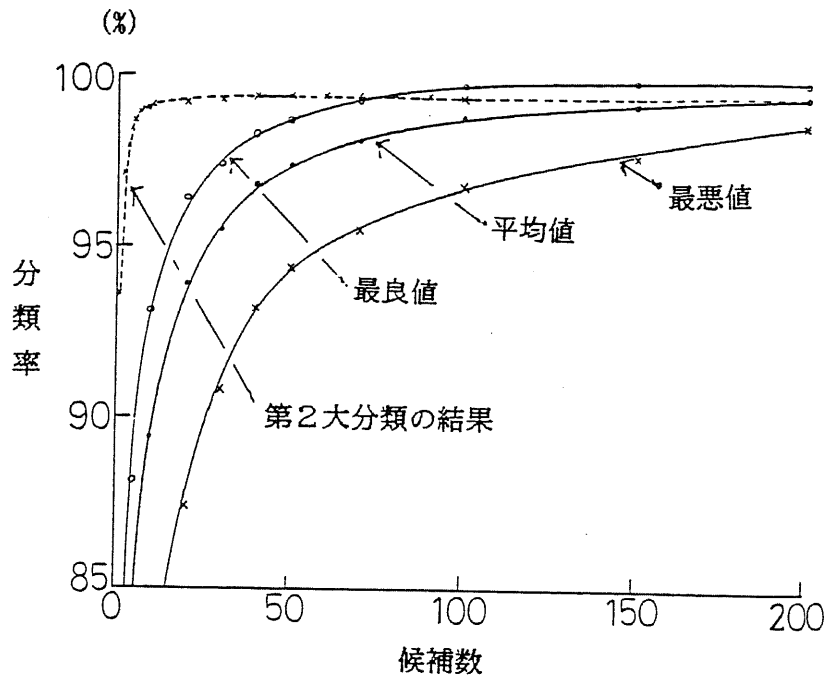


図3. 11 第1大分類における分類率

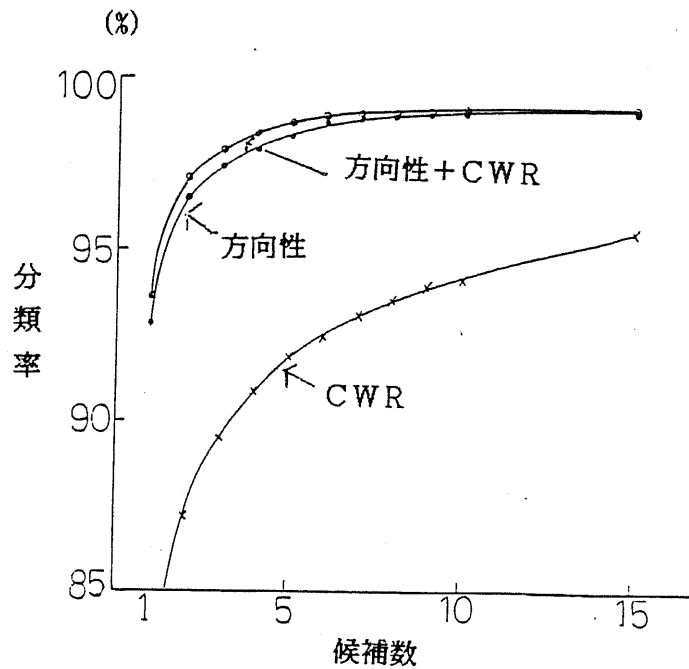


図3. 12 第2大分類における分類率

となっている。平均値について説明すると、200位で99.5%，100位で98.8%，10位で89.4%である。図3.11に示すように、200位ではほぼ飽和しているので、上位200位までの候補を次の第2大分類に渡す。表3.1に分類率の一部を示す。

なお、第1大分類では、ミニコン（PDP11/60）で1文字当りの分類に約18秒を要した。

3.3.4.2 第2大分類

第2大分類では第1大分類より200カテゴリの候補を受け取り、これらについて予備実験と同様に距離計算を行う。実験結果を図3.12に示す。また図3.11中にも点線として付記する。図3.12では2種の特徴を同時に用いた場合、10位で99.1%，1位で93.6%の分類率が得られている。また、方向性だけの場合でも、ほぼ同じ分類率が得られる。CWRだけが良くない性能を示している。これについては後で考察する。図3.12を見るかぎりでは、5～10位を出力すれば十分と思われる。表3.2に分類率を示す。また、各データセットごとの値は表3.3に示す。表3.3でデータセット15が特に悪いことがわかる。

なお、第2大分類では、ミニコン（PDP11/60）で1文字当りの分類に約30秒を必要としている。この大部分は距離計算に費やされている。

3.3.5 分類率の安定性

第2大分類の結果、10位で99.1%の分類率が得られたが、これがいわゆる安定な値か、または不安定で変動しやすい値かどうかを調べる必要がある。このため、特に1位についてその距離構造の分布を調べる。次のように、距離差 D_1 と D_2 を定義する。

$$D_1 = d_1 - d_2 \quad (\text{正答時}) \quad (3.16)$$

$$D_2 = d_2 - d_1 \quad (\text{誤認識時}) \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし、} \quad d_1 &= d_s(C_{\text{辞}} = C_{\text{未}} | C_{\text{未}}) \\ d_2 &= \max d_s(C_{\text{辞}} \neq C_{\text{未}} | C_{\text{未}}) \end{aligned}$$

で d_1 は未知文字と辞書が同一カテゴリのときの距離、 d_2 は未知文字と辞書が異なるカテゴリで最大の距離である。

D_1 は、正答時に正答の1位と2位の距離差となる。 D_2 は、誤認識時に、誤認識された1位と、本来正解であるべきカテゴリとの距離差となる。認識システムの観点からは D_1 は大きいほど、 D_2 は小さいほど望ましい。 D_1 と D_2 のヒストグラムを図3.13に示す。 D_1 は0.1

表3.1 第1大 分類の分類率

候補	分類率(%)
1位	60.6
10位	89.4
50位	97.4
100位	98.8
200位	99.5

表3.2 第2大 分類の分類率(%)

	方向性 + CWR	方向性	CWR
1位	93.6	92.8	94.2
5位	98.7	98.3	91.9
10位	99.1	99.0	78.9

表3.3 各データセットの分類率(%, 第2大分類、方向性 + CWR)

	DS-11	DS-12	DS-13	DS-14	DS-15
1位	96.0	96.4	94.1	93.5	87.7
10位	99.6	99.5	99.9	99.1	97.6

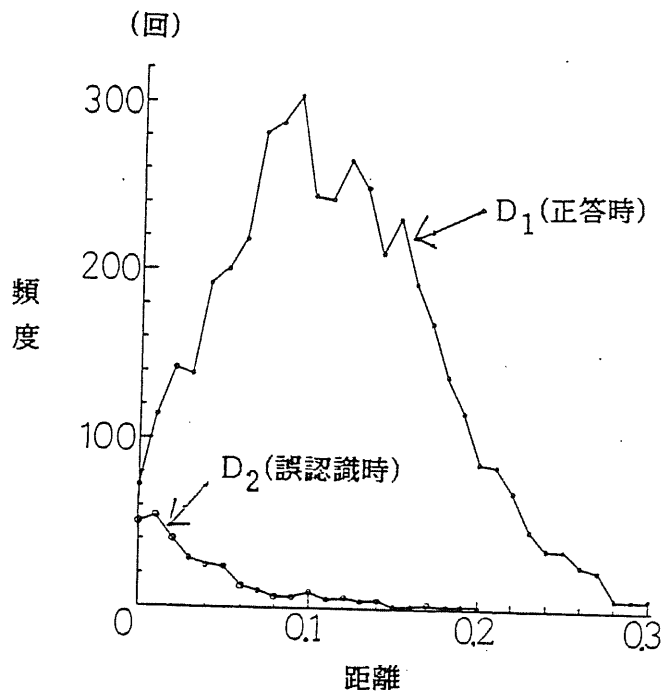


図3.13 大分類の安定性

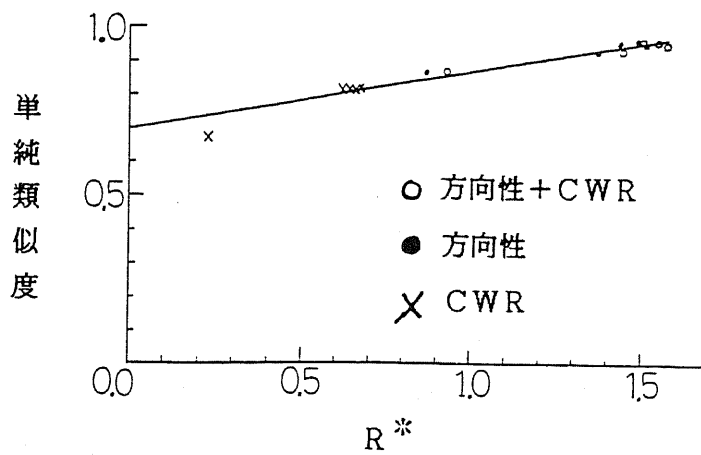


図3.14 尺度R*と単純類似度の関係

近辺にピークを持ち比較的鋭い集中を見せている。 D_2 は 0.01付近がピークで、0からなだらかに減少している。これは、正答時には、平均して2位と 0.1程度離れた距離差で比較的安定に正答し、誤認識時には1位との距離差が少なく、大きくかけ離れて誤ることが少ないことを意味している。

3.3.6 正答率と尺度 R^* との関係

次の第5章で述べるHPDAシリーズでは、実験用のデータ数が20個と少数であるため正答率ではなく、つぎの尺度 R^* で議論する。

$$R^* = \frac{E(d_1) - E(d_2)}{(\sqrt{V(d_1)} + \sqrt{V(d_2)}) / 2} \quad (3.18)$$

ただし、 $E(\bullet)$ は平均、 $V(\bullet)$ は分散を示す。

この R^* は、つぎの r において

$$r = d_1 - d_2 \quad (3.19)$$

$r > 0$ (正答)
 $r \leq 0$ (誤認識またはリジェクト)

なる関係があるので、これを平均し、また標準偏差で正規化した値である。ここで、あらかじめ R^* の正当性を実験的に示しておく。単純類似度と R^* の関係を図3.14に示す。プロットした○、●、×印はそれぞれ各データセットにおける、方向性+CWR，方向性だけ、CWRだけの時の単純類似度と R^* である。相関係数が $\gamma = 0.96$ ときわめて高い正の相関を示している。これから、 R^* が大きいほど正答率も良くなることが確認される。

3.3.7 誤認識パターンについての検討

第1位で誤ったカテゴリをまとめて付録2の表付録2.1に、その実際のパターンを付録2の図付録2.1に示す。また、同一カテゴリのついて誤認識した回数を、表3.4に示す。表3.4から、大部分(64.9%)は誤認識回数が1回であり、比較的ランダムな誤り方をすることがわかる。誤認識回数が3回のカテゴリは、次のとおりである。

「ゃ」→「や、や、や」 「暗」→「略、構、備」 「つ」→「っ、っ、っ」
 「ば」→「げ、ぼ、ぼ」 「ば」→「ば、ば、ば」 「魚」→「黒、角、角」
 「系」→「糸、糸、糸」 「間」→「問、問、問」。

表3.4 同一カテゴリの誤認識回数

誤認識回数	1	2	3
頻度(%)	64.9	27.3	7.8
カテゴリ数	200	42	8

表3.5 CWRによって改善された回数

データセット	DS-1	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5
回数	10	14	9	12	21

これらのうちで、「暗」と「魚」を除くと、きわめて良く類似しており、特に、「ゃ」、「や」、「っ」、「つ」では大きさの正規化をしてしまうので全く同一であると言ってもよい。付録2の図付録2.2に「門」、「は」など類似文字の辞書を示す。目視によっても実に小さい差異しか認められず、類似文字集合を作ることも納得できる。

誤認識回数が1回のカテゴリについて観察しても、たとえば、データセット1の「記」→「証」「険」→「除」など、同一の部分パターンを持つカテゴリに誤ることが多い。その他の場合でも、「赤」→「就」のように相当異なる感じのするカテゴリに誤る場合もあるが、大部分は、「章」→「早」のようにテクスチャ的に全体としてのイメージが似通ったカテゴリに誤っている。

データセット15の認識率は、他の4つのデータセットに比べて相当悪い。実は、各データセットは10枚のシートから構成されており、各シートごとに異なる人物が筆記している。特に悪いシートを調べると、それは第4、第10シートである。付録2の図付録2.1で、第4シートは、Na293～Na382の21文字が相当し、第10シートは、Na862～Na956の28文字である。両シートとも、他のデータベースと比べて著しく品質が低いとはいえないが、あえて観察すれば、第4シートでは若干アンバランスな書き方がされている。また、第10シートは、人間がみれば、いわゆる達筆な文字であるが、全体として右上りになっており、各ストロークが正しく水平、垂直でない。また、「成」の「`」部が離れ過ぎていたり、「条」の「丿」部や、「弟」の「丿」部が小さいなど、長さの短いストロークが短か過ぎ、その反面、「ん」、「成」のようにストロークのつき出しが見られたりして、ストロークの長さにアンバランスが見られ、本章のような認識アルゴリズムから言えば好ましくない点が指摘できる。

データセット12と13を除いて、一部の文字の周辺にノイズが見られる。これは、シェーディング補正を行っていないためである。この場合は、非線形正規化の枠取りが失敗に終わる。従って、文字が指定された枠いっぱいには書かれていない場合、ほぼ確実に全く類似していない文字に誤認識する。データセット14のNa877の「久」では、比較的枠いっぱいに書かれていたため「久」に良く似た「反」に誤っている。

第2大分類で、方向性とCWRの2つの特徴のうち、CWRの方が1位で92.8%対78.9%と、あまり良くない性能しか得られていないことを述べた。特徴を2つ同時に使った場合1位では、93.6%なので、CWRが貢献した分は差し引き0.8%である。また、10位ではわずか0.1%しか貢献していない。筆者が、以前カタカナ47字種で行った実験⁽¹⁴⁾では、距離が対数尤度であったが、両特徴で1位がそれぞれ95.6%、96.0%と全く同等の性能が得られ、両者を同時に使用することで2～3%程度の認識率の向上が確保できた。この原因としては、カテゴリが漢字となり、構造が複雑になったことが考えられる。CWRは文字の内部でしか得られないので、文字の構造が複雑になると、得られるCWR特徴の連結成分

数が多くなり、しかも1個の連結成分の黒画素が少なくなり、不安定で、いわば、あたかもノイズのようになる。このため、方向性の水平、垂直ストロークのような強力な特徴を抽出できないのではないかとと思われる。

なお、候補1位の時にCWRによって改善された回数、すなわち、方向性だけでは第1候補にならなかったが、CWRを同時に用いることにより、第1候補になった回数を表3.5に示す。同一字種としては、「聞」が2回、「一」が3回だけで、他はすべて1回であった。「一」ではCWRに全く特徴が存在せず、CWRだけでは第1大分類ですでに分類不能になっているにもかかわらず改善されている。これは、方向性を同時に用いることにより、CWRが存在しないということ自体が、特徴になっているためである。

3.4 まとめ

本章では、手書き漢字881字とひらがな75字の合計956カテゴリについて、大分類実験を行った。

特徴としては、エッジ微分による方向性と、文字内部で白点の連結成分の中心に抽出されCWRを用いた。また、正規化法としては非線形正規化を行い、分類速度向上のため、 2×2 解像度と 8×8 解像度の2段に分類を階層化した。第1大分類では99.5%の分類率で上位200位まで出力する。第2大分類では、この200候補に対し分類を行う。結果として、特徴を2種用いた場合、1位で93.6%、10位で99.1%の分類率が得られた。

第4章 ツリー型探索による 大分類の高速化

本章では、辞書をツリー状にすることによって、
大分類の高速化を図っている。

4.1 はじめに

本章でも、前章に引続き手書き文字の大分類について述べる。日本語文は、字種の数が多く、日常不便を感じないためには、およそ2000~3000字種程度は必要であると言われている。この膨大な数の字種を効率的に認識するためには、まず簡単な方法で荒く候補を絞り、次にやや複雑な方法で認識するという手順が適している。前者が、大分類であり、なるべく速くかつ安定に候補を絞りこむ性能が要求される。本章では、この大分類手法として、辞書をあらかじめツリー状に作成し、このツリーをたどることによって、高速に候補を選択する手法について述べる。

4.2 探索数低減のための予備的考察

4.2.1 計算量低減のための手段

認識には、通常 0,1 の 2値文字パターンから抽出された特徴ベクトルを用いる。辞書中のカテゴリ c の特徴ベクトルを

$$g_c = (g_c^1, g_c^2, \dots, g_c^M) \quad (4.1)$$

とすれば、全カテゴリでの辞書は

$$G = {}^t(g_1, g_2, \dots, g_C) \quad (4.2)$$

で示される。これは、図4.1に示すように $C \times M$ 個の要素を持つ行列である。次に、

$$f = (f^1, f^2, \dots, f^M) \quad (4.3)$$

を未知文字から抽出された特徴とすると、認識されるカテゴリ c は、次の条件を満足しなければならない。

$$d(f, g_c) = \max_k \{d(f, g_k)\} \quad (4.4)$$

ここで、 $d(f, g_k)$ は、特徴ベクトル f と g_k の距離である。良く使用される例として市街地距離

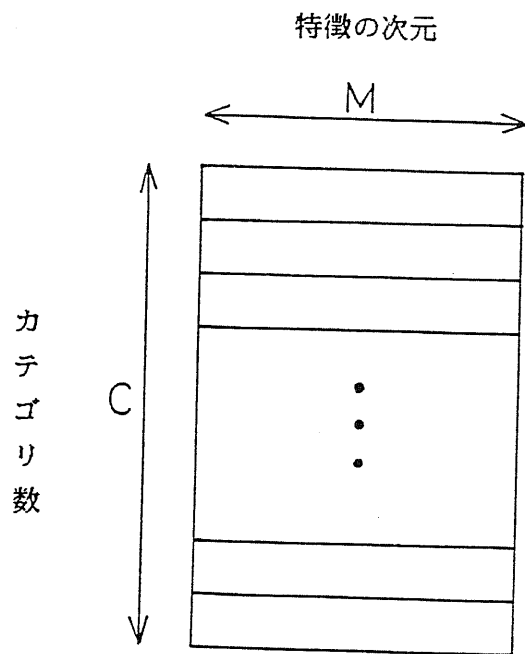


図4.1 カテゴリ数Cの特徴ベクトル

$$d(f, g_k) = \sum_{i=1}^M |f^i - g_k^i| \quad (4.5)$$

や単純類似度

$$d(f, g_k) = \frac{\sum_{i=1}^M f^i g_k^i}{\left(\sum_{i=1}^M f^i f^i\right) \left(\sum_{i=1}^M g_k^i g_k^i\right)} \quad (4.6)$$

がある。

すなわち、カテゴリの決定に際しては、逐次型処理を仮定したばあい、行列Gの要素数 $C \times M$ に比例するだけの計算が必要である。

そこで、この計算量を低減させる手段について考える。これには、(1) 行方向の要素数を減らす方法と、(2) 列方向の要素数を減らす方法の2種類が考えられる。(1)の方法は特徴量の次元を減らすことを意味し、文字パターン面に立ち返って考えれば、解像度を低下させること⁽³⁶³⁾を意味する。次に、(2)の方法であるが、これを行うためには、距離の近い良く似た文字をグループ化すること⁽³⁸⁹⁾が考えられる。これを再帰的に行うと、辞書がツリー化され完全に平衡している2分木の場合、カテゴリ数をCとすれば探索量は $\gamma = \log_2 C / C$ に低減される。ETL8 データベースでは、 $C=956$ なので $\gamma = 0.01$ となる。

本章では、計算量低減のための手段として列方向の削減を行ない、辞書をツリー化する。また、ツリーは最も簡単な2分木とする。

4.2.2 分岐誤りに関する考察

辞書をツリー化した場合のサーチは、基本的に各ノードで判断を行い、左、又は右のいずれかの分岐を選択する方法による。この時、上位の分岐で誤りを起こした場合、以下のすべての分岐は意味を持たない。また、一般に手書の文字は変動を相当量含むと考えられるので、このような分岐誤りの発生確率はかなり高いと予想される。

これを未然に防止するためには、2つの手段が考えられる。(a)辞書をツリー化する際に、オーバーラップを許す手法と、(b)サーチ時に明かにいずれかの分岐でない場合は、分岐を両方ともサーチする方法である。ここで、(a)の手法は辞書の作成がやや複雑となり、また、必要とするメモリ量は大きい、サーチ時間は短い。逆に(b)の手法はメモリ量は少ないが、サーチにやや時間を要する。

4.2.2.1 メモリ量に関する検討

まず、(a)について必要となるメモリ量を考察する。今、平衡した二分木を考える。深さ(レベルとも言う) $k-1$ に存在する、あるノード n_{parent} に存在するカテゴリ数を

$$n_c(n_{\text{parent}}; k-1) \quad (4.7)$$

とする。また、このカテゴリ中、子供に渡す割合を α とすれば、子供のノード n_{sun} に存在するカテゴリ数 $n_c(n_{\text{sun}}; k)$ は次式で示される。

$$n_c(n_{\text{sun}}; k) = \alpha \times n_c(n_{\text{parent}}; k-1) \quad (4.8)$$

これより、

$$n_c(n_{\text{sun}}; k) = \alpha^{k-1} \times n_c(n_{\text{root}}; 0) \quad (4.9)$$

が得られる。但し、 n_{root} はルートノードの番号である。末端のノード(以下リーフと言う)に存在するカテゴリ数を n_{leaf} とすれば、必要となるレベル数 K は

$$K = \left\lceil \log \left(\frac{n_{\text{leaf}}}{n_c(n_{\text{root}}; 0)} \right) / \log \alpha \right\rceil + 1 \quad (4.10)$$

で示される。従って、リーフの総数は次式 T_{leaf} で与えられる。

$$T_{\text{leaf}} = 2^K \quad (4.11)$$

これから、全ノード数は次式となる。

$$T_{\text{node}} = 2^{K+1} - 1 \quad (4.12)$$

K , T_{leaf} , T_{node} はいずれも α をパラメータとして持つ。 α を変化させた場合の各々の値を表4.1に示す。ただし、 $n_{\text{leaf}}=10$, $n_c(n_{\text{root}}; 0)=956$ と仮定した。 $\alpha=0.5$ は全くオーバーラップがないことを意味する。表4.1より α が大きくなると T_{leaf} や T_{node} が加速度

表4.1 パラメータ α に依存するレベル K , リーフ総数 T_{leaf} ,
全ノード数 T_{node} の値

α	K	T_{leaf}	T_{node}
0.5	7	128	511
0.6	9	512	1023
0.7	13	8192	16383
0.8	21	2097150	4194299
0.9	44	17600000000000	35200000000000

的に増加することがわかる。オーバーラップとして $\alpha=0.7$ を考えれば、 T_{node} は約8000なので、オーバーラップを許さない場合に比べて約60倍のメモリ量を必要とする。なお、(b)の方法は、メモリ量の点だけから見ると $\alpha=0.5$ に相当する。

4.2.2.2 サーチ時間に関する検討

次にサーチ時間について考察する。(a)の方法では分岐のいずれか一方だけを選択すると考える。この場合は $2 \times K$ (K はレベル数)回のパターン整合が必要となる。(b)の場合は未知文字の品質に依存して変動し、最善の場合で $2 \times K$ 回、最悪の場合で $2 \times T_{\text{node}} = 2(2^{K+1}-1)$ 回のパターン整合が必要となる。(a)の手法として $\alpha=0.7$ を選択した場合を基準にすると、(b)の方法の計算量は次のようになる。

$$\text{最善の場合 } \gamma_{\text{good}} = 7/13 = 0.54 \quad (\text{倍}) \quad (4.13)$$

$$\text{最悪の場合 } \gamma_{\text{bad}} = 511/13 = 39.3 \quad (\text{倍}) \quad (4.14)$$

本章では上記(a),(b)の方法のうち、メモリ量の点から(b)の方法を選択することにする。

4.3 ツリー・サーチのためのアルゴリズム

4.3.1 辞書ツリーの作成

前節で検討した理由により、辞書ツリーはオーバーラップを許さない2分木とし、なるべく平衡化を図る。クラスタリングの手法としては最大距離法⁽⁵⁾を変形した方法を採用する。

4.3.2 クラスタリングの手法

フローチャートを図4.2に、概念図を図4.3に示す。以下に示す(i)~(vi)により注目するカテゴリを2分割し、これを再帰的に繰返す。注目しているカテゴリ数が、ある域値 B_{th} 以下になれば分割を停止する。

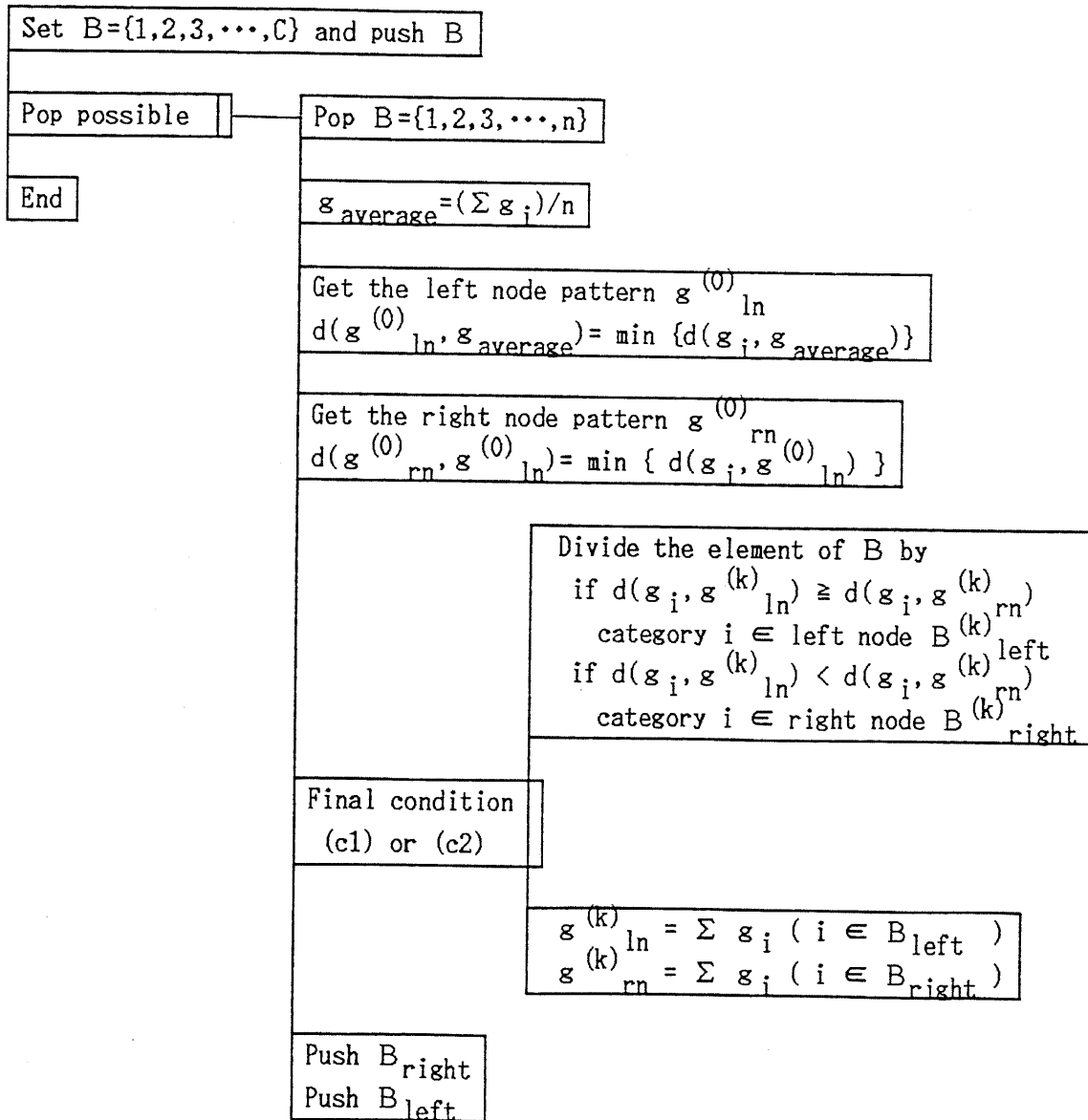


図4.2 クラスタリングのPAD

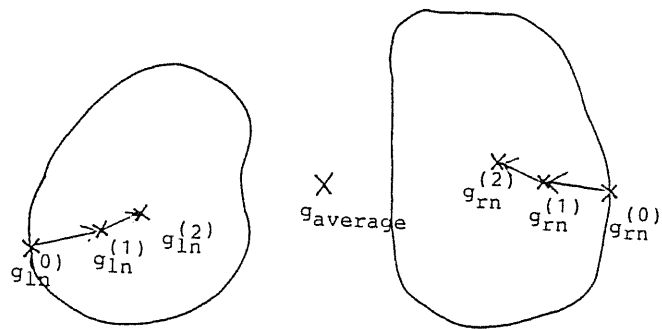


図4.3 クラスタリングの概念図

- (i) 注目しているカテゴリを平均し、カテゴリ中の平均パターン g_{average} を求める。これは直観的に言って、特徴空間の中心を求める操作と考えてよい。
- (ii) 分岐のための左ノードの代表パターンを求める。平均パターンから最も遠い距離にあるパターンを、繰返し演算の初期値 $g_{\text{ln}}^{(0)}$ とする。
- (iii) 分岐のための右ノードの代表パターンを求める。左ノードの代表パターンから最も遠い距離にあるパターンを、繰返し演算のための初期値 $g_{\text{rn}}^{(0)}$ とする。
- (iv) カテゴリの分割を行う。注目しているカテゴリの集合を左ノード、又は右ノードの代表パターン $g_{\text{ln}}^{(k)}$, $g_{\text{rn}}^{(k)}$ からの距離に基づいて2つに分割し、それぞれを $B_{\text{left}}^{(k)}$, $B_{\text{right}}^{(k)}$ とする。すなわち、

$$d(f_i, g_{\text{ln}}^{(k)}) \geq d(f_i, g_{\text{rn}}^{(k)}) \text{ の時} \\ \text{カテゴリ } i \in B_{\text{left}}^{(k)} \quad (4.15)$$

$$d(f_i, g_{\text{ln}}^{(k)}) < d(f_i, g_{\text{rn}}^{(k)}) \text{ の時} \\ \text{カテゴリ } i \in B_{\text{right}}^{(k)} \quad (4.16)$$

- (v) 分割されたカテゴリ中で平均パターンを求める。すなわち、2つのカテゴリの集合 $B_{\text{left}}^{(k)}$, $B_{\text{right}}^{(k)}$ の各々で平均パターンを求める。

$$g_{\text{ln}}^{(k+1)} = (\sum g_i) / |B_{\text{left}}^{(k)}| \\ \text{(但し、 } i \in B_{\text{left}}^{(k)} \text{)} \quad (4.17)$$

$$g_{\text{rn}}^{(k+1)} = (\sum g_i) / |B_{\text{right}}^{(k)}| \\ \text{(但し、 } i \in B_{\text{right}}^{(k)} \text{)} \quad (4.18)$$

この時、 g の上添字 k はインクリメントされ、終了条件を満足しない場合は (iv) にもどり、繰返し演算による分割の初期値となる。

- (vi) 繰返し演算の終了条件は次に2つである。

$$(c1) g_{\text{ln}}^{(k+1)} = g_{\text{ln}}^{(k)} \quad \text{かつ} \quad g_{\text{rn}}^{(k+1)} = g_{\text{rn}}^{(k)} \quad (4.19)$$

$$(c2) k \geq 5 \quad (4.20)$$

条件 (c1) はこれ以上繰返しを行っても分割が変化しないこと、すなわち、収束したことを示す。(c2) は収束しない場合、繰返を強制的に打ち切るためのパラメータであり、数値5は視察により決定した。

4.3.3 サーチのためのアルゴリズム

各分岐で、いずれか一方だけを選択することはあまりにも危険である。このため、明らかに、いずれかの分岐でない場合は両方の分岐を同時にサーチする。

今、ある分岐で左ノードの代表パターンを g_{ln} 、右ノードの代表パターンを g_{rn} とする。また、未知文字を f とすれば、左ノードへの距離は

$$d_l = d(f, g_{ln}) \quad (4.21)$$

右ノードへの距離は

$$d_r = d(f, g_{rn}) \quad (4.22)$$

である。この時、

$$(d_l - d_r) > T_h \quad (4.23)$$

ならば、その未知文字は明かに左ノードに属すると考える。また、逆に

$$(d_r - d_l) > T_h \quad (4.24)$$

の時は右ノードと考える。その他の時は、曖昧度が高いと判断し、左右両ノードを同時にサーチする。また、各ノードでの判断はそのノード内だけで行い、子供のノードへの伝搬は行わない。これは、曖昧度の判断がそのノードだけで意味を持つ理由による。

4.3.4 候補カテゴリの選択

曖昧度を許して辞書ツリーをサーチする。この時に、たどりつくリーフに存在する全カテゴリを候補カテゴリとする。最善の場合はただ1つのリーフにたどりつき、この場合、候補数は B_{th} ($=10$) 以内、最悪の場合はすべてのリーフに到着するため全カテゴリが候補となる。

4.4 実験と検討

4.4.1 使用するデータ

前章と同様に、電総研手書文字データベース ETL8を用いる。ETL8は教育漢字881字とひらがな75文字から構成されている。辞書ツリー作成には第1~第10データセットを用い、未知文字としては第11~第15データセットを用いる。なお、各文字は64×64（最外枠は白(0)の2値文字に変換している。

4.4.2 抽出される特徴ベクトル

特徴ベクトルとしては方向性のみを用いる。これは、第3章と同じであるため、ここでは概略のみを述べる。64×64の文字パターンから4方向の方向性を抽出し、これを8×8の解像度に変換する。辞書ツリーの作成ならびに大分類は、この特徴ベクトル(8×8×4=256次元)上で行う。方向性は3×3のマスクで微分を行うことにより得る。なお、8×8の解像度に落とす際の分割線の選択は線密度イコライゼーションを用いる。

4.4.3 辞書ツリーの作成

第1~第10データセットの各文字につき特徴ベクトルを抽出し、平均パターンを求める。次にこの平均パターンに対し、4.3のアルゴリズムを適用し辞書ツリーを得る。得られた辞書ツリーのノード数は156、リーフ数は157であり、4.2.2における $\alpha=0.5$ の場合にはほぼ一致している。又、リーフ中におけるカテゴリ数は、表4.2に示すように最小が1、最大が10、平均6.1である。また、レベルとしては最深部が12となった。2分木としてはあまり平衡であるとは言いがたい。これは、特徴空間の中で辞書カテゴリの分布に偏りがあることを示している。

リーフ中では「刷」「列」「側」「判」「別」「利」「制」「測」「刊」のように同一部分パターンを持つ場合や「円」「目」「自」「田」「由」「日」「白」「等」「旧」のように印象の良く似たカテゴリが集合を作ることが多い。メモリ量としては約300KByteとなった。辞書ツリーの一部を図4.4に、全体を付録3に示す。

4.4.4 パラメータ T_h の決定

サーチのためのパラメータ T_h を決定する。 T_h を大きくすれば、分類率は上昇するが、

表 4.2 リーフ中のカテゴリ
の分布

カテゴリ数	頻度
1	2
2	12
3	12
4	16
5	21
6	20
7	23
8	24
9	18
10	9
計	157

代りにサーチされるノード数が増え候補数が増大する。逆に、 T_h を小さくすると候補数が減少するが、代りに分類率が低下する。まず、データセット11を用いて、おおよその目安を得る。 T_h は各ノードに対し異なる値を有しても良いが、簡単のためレベルにだけ依存すると考える。まず、次の量を定義する。

$$\Delta d = d(f_i, g_{c1}) - d(f_i, g_{c2}) \quad (4.25)$$

但し、 $i \in B_{c1}$, $i \notin B_{c2}$ ($c1, c2$ は left 又は right)

この Δd は、ある未知文字が、各ノード中の分岐でどの程度安定に分岐するかを示す。もし、常に

$$\Delta d > 0 \quad (4.26)$$

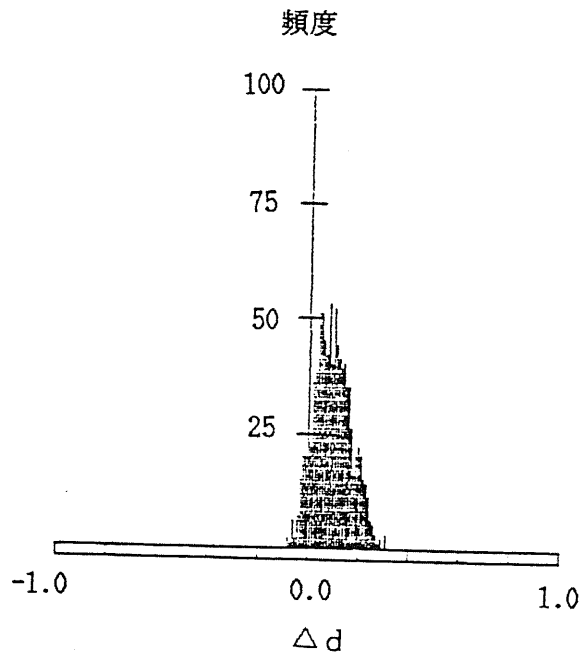
ならば、誤って分岐することはないので、いずれか一方のノードだけに分岐すればよい。 Δd が負の値で、その絶対値が大きくなるほど不安定となる。レベル1での頻度分布を図4.5(a), (b)に示す。これから、

$$\min\{ \Delta d \} > -0.1 \quad (4.27)$$

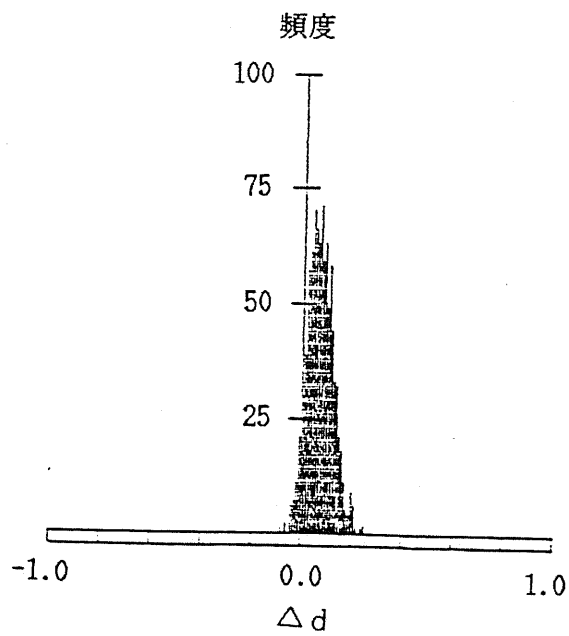
なので T_h として0.1を設定すれば十分であることがわかる。これより以下のレベルでもほぼ同様である。従って、 T_h は全レベルにわたって同一とする。さらに詳しく T_h をパラメータとして平均探索ノード数、平均候補数、分類率を調べた結果を図4.6に示す。これから分類率は、 T_h が0.07付近から飽和しはじめることがわかる。この時、分類率は98.1%、平均候補数189、平均探索ノード数46となる。平均候補数189を得て、この中からさらにパターン整合により候補を絞ることを考えれば、各ノードで左右の分岐に2回のパターン整合を行う必要があるので $189 + 46 \times 2 = 281$ 回のパターン整合が必要となる。カテゴリ総数が956なので、約1/3に計算量が低減されたことになる。

4.4.5 サーチ・レベル数に関する検討

辞書ツリー自体のレベルは最大12であるが、これより浅いレベルでサーチを打ちきることも考えられる。サーチ・レベルをパラメータにとり、平均探索ノード数、平均候補数、分類率を求めた結果を図4.7に示す。レベルが深くなると平均探索ノード数が増えて、かわりに候補が限定されるので平均候補数が減少し、分類率も低下することがわかる。分類



(a) レベル 1



(b) レベル 2

図4.5 各分岐での安定度を示す Δd の頻度分布

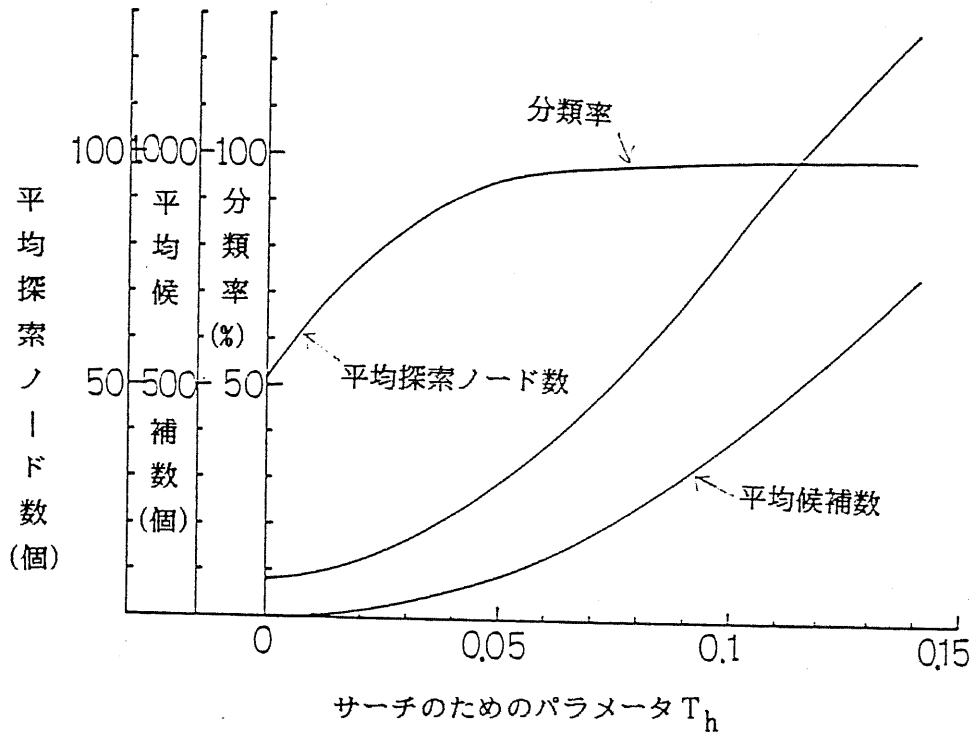


図4.6 パラメータ T_h による分類率、平均候補数、平均探索ノード数の変化

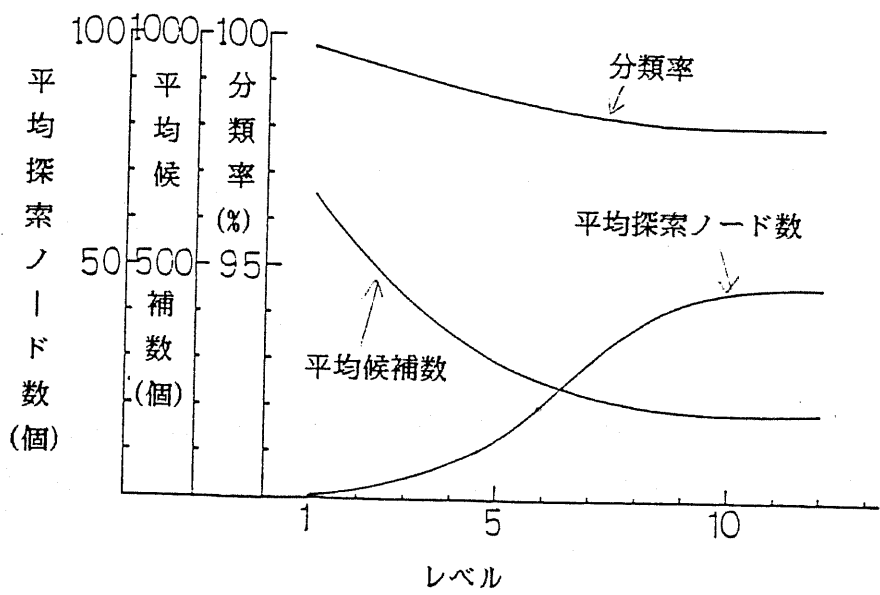


図4.7 サーチ・レベルによる分類率、平均候補数、平均探索ノード数の変化

率、平均候補数はレベル8程度から飽和しはじめる。システムとしては、分類率が高く、同時に(平均候補数+2×平均探索ノード数)が少ない方が良い。図4.7に示すように、これらはそれぞれトレード・オフの関係にある。図4.7からサーチ・レベルは9程度で打ちきいてもよいが、念のため12(最大)に設定する。

4.4.6 分類率

データセット11-15について、分類率、平均候補数、平均探索ノード数を求めた結果を表4.3に示す。この時のパラメータは T_h を0.07、レベルを12(最大)としている。平均で分類率97.7%、平均候補数が195、平均探索ノード数が47.5となっている。また、1文字当りの分類時間は約2.8秒(MELCOM COSMO 800III)である。

4.4.7 誤りパターンに関する検討

表4.4に、分類誤りを起こしたカテゴリを示す。各列で右側の数字は誤りを引き起こしたレベル数である。これについては、表4.5に示すように、レベル1で27カテゴリ(24%)誤っていることがわかり、ルートに近いところでの誤りが多い。また、誤ったカテゴリは「一」の4回が最高で、あとは比較的ランダムに誤っていることがわかる。

5. まとめ

本章では、手書文字の大分類を高速化する手法について述べた。計算量の低減を図るため、辞書は、カテゴリを階層的に2つにクラスタリングすることにより、ツリー状として構成する。分類は、このツリーをサーチし、明かに片方のノードに属すると判断されないかぎり両方のノードをサーチすることにより行う。これにより、未知文字の変動を原因とするノードでの分岐誤りを低減している。

E T L 8を用いた実験によると、平均候補数195、平均探索ノード数約47.5、すなわち、パターン整合すべき回数が290回の時、分類率97.7%を得ている。これは、E T L 8が956カテゴリより構成されているので、約1/3に計算量が低減されたことを示す。

表 4.3 各データセットの分類率, 平均候補数, 平均探策ノット数

	分類率 (%)	平均候補数	平均探策ノット数
DS11	98.1	189	46.3
DS12	97.6	192	47.1
DS13	97.9	191	46.9
DS14	98.2	191	47.0
DS15	96.5	211	50.0
平均	97.7	195	47.5

表 4.4 誤 分類 カテゴリ

DS11	DS12	DS13	DS14	DS15
一 5	一 5	一 5		一 5
過 1		過 1	過 1	
来 3		来 3		
魚 3	北 6	北 4		魚 6
市 3	て 5	て 5		市 1
	必 6			必 6
		打 3		打 3
		就 7	就 6	
		入 3	入 3	
記 6	答 9	希 5	千 7	何 3
短 8	林 6	か 2	敵 6	転 1
提 9	急 5	氏 2	旅 5	向 5
裕 1	帳 1	書 2	わ 2	赤 2
じ 3	冬 1	八 2	適 4	否 3
せ 5	津 2	未 3	貧 3	方 7
者 4	疑 1	広 4	幸 5	難 1
路 1	蔽 1	追 8	使 1	を 2
ち 6	航 6	殺 1	常 3	深 1
才 6	み 1	社 6	材 3	飯 2
飲 4	則 1	ほ 1	水 4	青 3
仮 2	拡 6	運 5	駅 5	た 4
っ 3	漁 1		個 1	有 6
	働 1		像 2	敬 6
	動 1			に 5
	ぶ 4			至 9
	皇 3			里 9
	京 1			格 3
	勢 1			和 2
				訓 1
				講 3
				濟 5
				節 9
				標 1
				限 5
				も 6
				賀 6
				角 1

表 4.5 誤りを引きおこしたレベルの頻度分布

レベル	頻度
1	27
2	11
3	21
4	9
5	16
6	17
7	3
8	2
9	5

第5章 絶対座標等を用いた辞書の

変形による手書き文字の識別

手書き文字は、手書きの変動を大きく含むため、単にパターン整合を図るだけでは認識性能を高めることはできない。本章では、辞書を変形することによって手書き文字の変動を吸収し、文字の識別を行う方法であるHPDAについて述べる。HPDAは /SE, /EL, /CGと3つのバージョンを持つが、その基本的考え方は、辞書を階層的に分割し、上位階層からトップダウン的に、その最適位置を探索し、未知文字との整合を図ることによって手書き文字の変動を吸収し、識別を行うことにある。

5.1 はじめに

手書き文字は人間によって書かれるため、品質が一定でなく、心理状態や環境によって大きく変動する。たとえば、長時間文字を書き続けるとさまざまな疲労のため、通常は文字が乱れ変形が増大し品質が低下する。本章では、このような変形や雑音の多い低品質文字にも耐え得ることを目的とするアルゴリズムについて述べる。

文字パターンから抽出された特徴空間が、原文字パターンの絶対座標等に依存するアルゴリズムの場合、この変形や雑音をなんらかの処理によって吸収する必要がある。例としては、(1)マスクを複数個用意する方法⁽²⁷³⁾⁽³⁷⁴⁾、(2)辞書にぼかしやずらしを付加する方法⁽²⁰³⁾、(3)文字パターンの区切り方に重なりを許したり⁽⁵⁵⁰⁾、カテゴリによって異なる区切り方を用いる⁽¹⁰⁸⁾等の方法がある。

これに対して、辞書の方を変形させ、入力された未知文字とパターン整合をとることも考えられる⁽⁶²⁾。この方法は、未知文字を前処理等によって変形させるのと同見等価に見えるが、実は次の点で異なる。すなわち、辞書を変形させる場合は、そのカテゴリが既知であるため、その辞書特有の知識を用いて変形を施すという点である。

たとえば、未知文字を部首等を利用し、階層的に分割するのは容易ではない。しかし、辞書があらかじめ階層的になっていて、この階層構造から未知文字へと変形を施すのはさほど困難ではない。特に低品質文字では変形が非常に大きいので、辞書を変形する方がより一層有利であると考えられる。また変形手法としても、画素を独立に考えるよりも、文字カテゴリに応じた階層化、つまりマクロからミクロへ段階的に変形を施す方がより有効であると思われる。本章では、このような基本的概念に基づき、考案した HPDA (Hierarchical Pattern divided Distorsion Absorber) と称する 3 種類のアルゴリズムについて述べる。

5.2 HPDA/SE

第1の方式である HPDA/SE (HPDA By Search) の原理を説明する。以下、図5.1の概念図と、図5.2のフローチャートを参照する。

5.2.1 用語の定義

$f(X)$ を未知の入力文字、 $g_c(X)$ をカテゴリ c の辞書文字とする。さらにある方形領域 S を注目した時、 S の左上の座標を X_{LU} 、右下の座標を X_{RD} と表現し、 S を (X_{LU}, X_{RD}) ともあらわす。

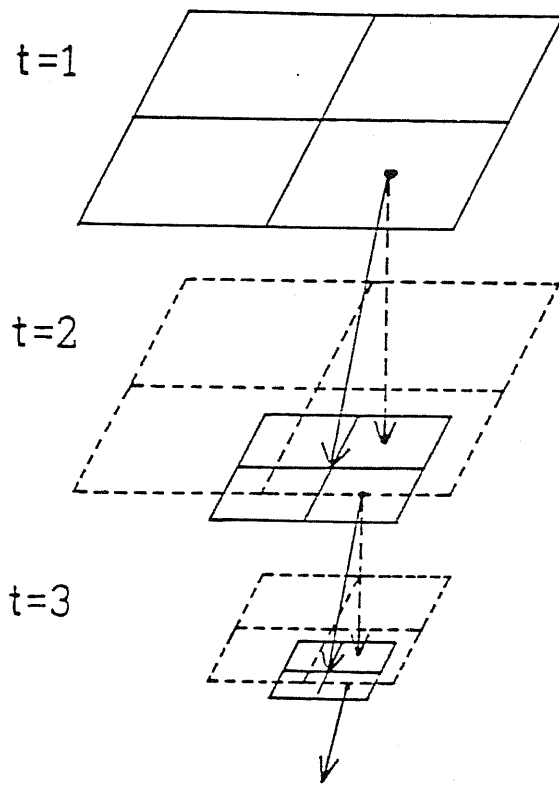


図5.1 HPDA/SEの概念図

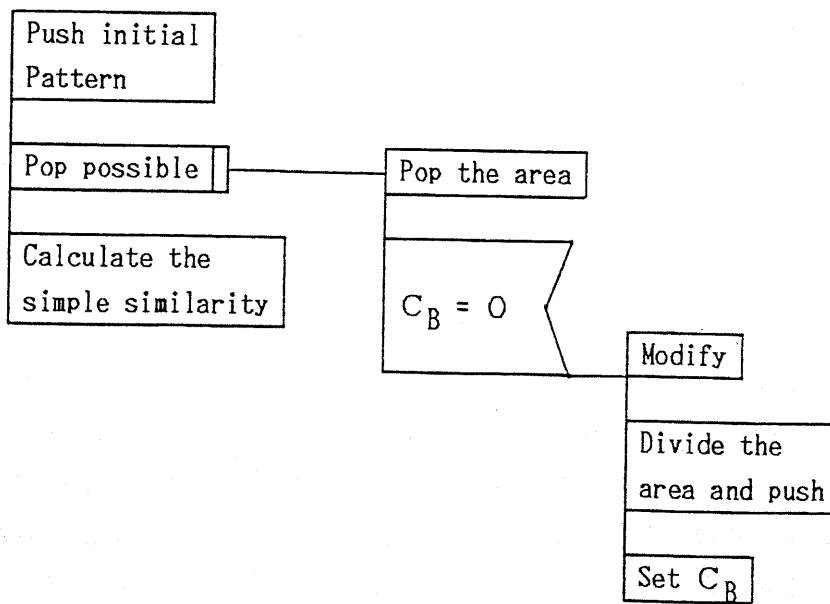


図5.2 HPDA/SEのPAD

また、スタックを定義する。各スタックの要素は、4つの座標の組と、コントロール・バイト C_B で構成される。すなわち、スタックの一要素を S_c とすると、

$$S_c = (C_B ; X_{LU}^f, X_{RD}^f, X_{LU}^{g_c}, X_{RD}^{g_c}) \quad (5.1)$$

である。上添字の f, g_c はそれぞれ未知文字、カテゴリ c の辞書を示し、 (X_{LU}, X_{RD}) で文字の方形領域を意味する。また、 C_B は 0 と -1 の 2 値をとり、0 は正常、-1 は分割不能等の異常状態を示す。

5.2.2 動作の概要

(a) 初期画面のプッシュ

各カテゴリの辞書は、未知文字の入力を検知して初期画面を自分のスタックにプッシュする。本章では文字パターンは x, y 方向共 64 としているのので、具体的には次の S_c がプッシュされる。

$$S_c = \left(0 ; \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}^f, \begin{pmatrix} 64 \\ 64 \end{pmatrix}^f ; \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}^{g_c}, \begin{pmatrix} 64 \\ 64 \end{pmatrix}^{g_c} \right) \quad (5.2)$$

(b) 注目領域のポップ

まず、スタックを見てポップ可能か否かを検査する。ポップ不可能であれば、全処理が終了したことを示し、辞書の変形が完了したことを意味する。従って、距離計算のため (f) へ飛ぶ。ポップ可能であれば実行し、式 (5.1) と同じ S_c を得る。 $C_B=0$ の時だけ次の処理 (c) へ進む。 $C_B=-1$ は、分割不能や、注目している領域内に黒画素が 1 つもなく、すべて白地であったことを示す異常値である。従って、この S_c は捨て、さらに (b) の先頭にもどってポップを続ける。

(c) 変形の実行

式 (5.1) で示す S_c が得られたとする。この時の 4 つの座標の意味は、一段上の分割状態から見て、辞書文字の領域 $S=(X_{LU}^g, X_{RD}^g)$ が、未知文字の領域 $F=(X_{LU}^f, X_{RD}^f)$ に対応するということである。ただし、辞書のカテゴリを示す c は省略する。図 5.1 の概念図では、例えば、階層 $t=2$ で 4 分割されたうち、1 つの分割画面の真下にある変動前の点線で示された領域が F である。すなわち、この階層 (たとえば $t=3$) で S に対応する未知文字の領域 F' は F の近辺に存在し、その初期値が F である。 F' を発見するには次のように

する。Fを中心として渦巻状の走査を用いて未知文字上でSを動かす。単純類似度が最大になる点、つまり、次式を満たす ΔX 平行移動した領域がF'である。

$$d = \frac{(g(x), f(X + X_{LU}^g - X_{LU}^f + \Delta X))^{g^*}}{\|g(x)\|^{g^*} \cdot \|f(X + X_{LU}^g - X_{LU}^f + \Delta X)\|^{g^*}} \xrightarrow{\Delta X \in B} \max \quad (5.3)$$

但し、 g^* は次式で示すように、内積を考える領域をSに限定するという意味である。

$$\|g(x)\|^{g^*} = \sqrt{\sum_{X \in S} g(x)^2} \quad (5.4)$$

なお、渦巻走査の意味は、dの最大点が2点以上のとき、最もFに近い領域が選択されることを示す。また、合わせ過ぎを防ぐために設定した、 ΔX の動きうる制限範囲Bについては5.5.2で説明する。

(d) 領域の分割

辞書文字の領域Sと対応する未知文字の領域F'を均等4分割し、スタックにプッシュする。また、F'とFの関係は次式で示される。

$$\begin{aligned} F' &= (X_{LU}^{f'}, X_{RD}^{f'}) \\ &= (X_{LU}^f + \Delta X, X_{RD}^f + \Delta X) \end{aligned} \quad (5.5)$$

なお、式(5.3)で内積dの最大値が0であった場合や、領域S内での $g(x)$ の黒画素数が1個である時は、もはやこれ以上分割しても無意味である。このときは、 $C_B = -1$ とする。他のときは $C_B = 0$ とする。 $C_B = -1$ は、実際には分割停止条件である。

(e) 変形情報ファイルOへの出力

C_B が -1 にセットされた時、対応関係

$$(X_{LU}^{f'}, X_{RD}^{f'}; X_{LU}^g, X_{RD}^g) \quad (5.6)$$

を変形情報ファイルOに出力する。これは、最終的に領域SがF'の位置に平行移動したことを意味する。従って、変形後の辞書パターンは、ワーキング・エリアを1面用意し、領域SをF'の位置にはめ込むことによって得られる。

(f) 変形後の辞書と未知文字との距離計算

変形情報ファイルOを用いて、実際に変形された2次元パターンとしての辞書と未知文字で距離を計算する。本章では、簡単のため単純類似度を使用する。全辞書カテゴリにわたって最大の単純類似度を持つカテゴリを未知文字の推定カテゴリとする。

図5.3(a)に変形過程、図5.4(a)に変形の様子、図5.5(a)、(a')に変形例を示す。図5.3では、辞書文字、未知文字共に「階」、図5.4では辞書、未知共に「愛」である。図5.3では第3階層までの変形過程を示す。図5.4(a)までの矢印は、領域の中心を代表点とする領域の移動方向を示している。図5.5(a)は未知文字「愛」の変形結果、(a')では、未知文字「委」に対する辞書「愛」の変形結果を示す。なお、図5.4では階層が5の時点で、図5.5は分割不能まで変形を行っている。

5.3 HPDA/EL

5.3.1 HPDA/ELの概略

第2の方式であるHPDA/EL (HPDA By Elastic) について説明する。HPDA/SEでは、辞書文字 $g(X)$ の注目領域の大きさを伸縮させずに、平行移動だけで変形を施した。これに対し、HPDA/ELでは注目領域の平行移動は行わず伸縮だけを行う。このため、各階層で分割領域間の境界が必ず連続となる。この結果、変形前と変形後で、辞書文字が滑かに連続する変形が得られる。

5.3.2 HPDA/SEと異なる点

HPDA/ELは、実際にはHPDA/SEとほとんど同一のアルゴリズムで動作する。このため、HPDA/SEと異なる部分のみを説明する。

(a) 変形の実行

スタックの要素 S_c は式(5.1)と同一である。以下、図5.6を参照する。辞書の注目領域を S とする。これを均等4分割し、それぞれ $S^{(i)}$ ($i=1\sim 4$)とする。未知文字の注目領域を F とする。これを境界線 l_x 、 l_y で4分割し、それぞれを $F^{(i)}$ ($i=1\sim 4$)とする。但し、いずれも座標軸に平行で F の中心から左右、上下に $T_e(t)$ だけ動きうる。 $T_e(t)$ は階層 t に応じて定まる合わせ過ぎを防ぐための制限である。これは、5.5.2で説明する。

次に $S^{(i)}$ ($i=1\sim 4$)を対応する $F^{(i)}$ の大きさに伸縮する。この結果得られる辞書の注目領域を $S'(\Delta l_x, \Delta l_y)$ とする。 Δl_x 、 Δl_y は中心からの偏差である。以上の準備の後、

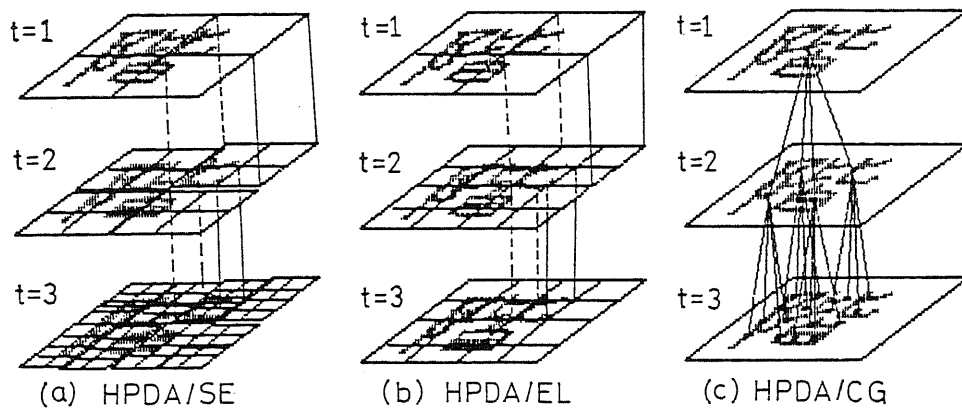


図5.3 HPDAの変形過程

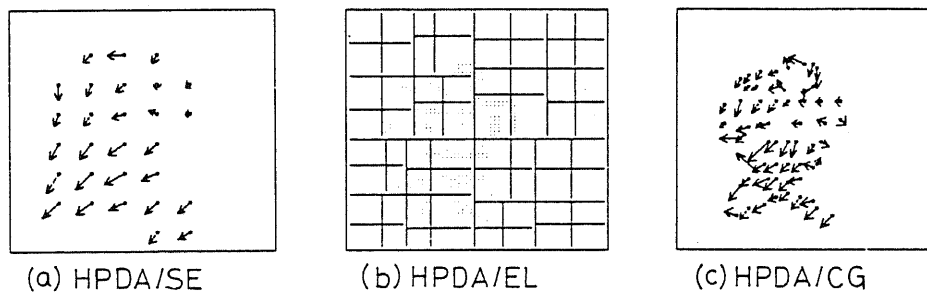


図5.4 HPDAの変形の様子(階層 $t = 4$)

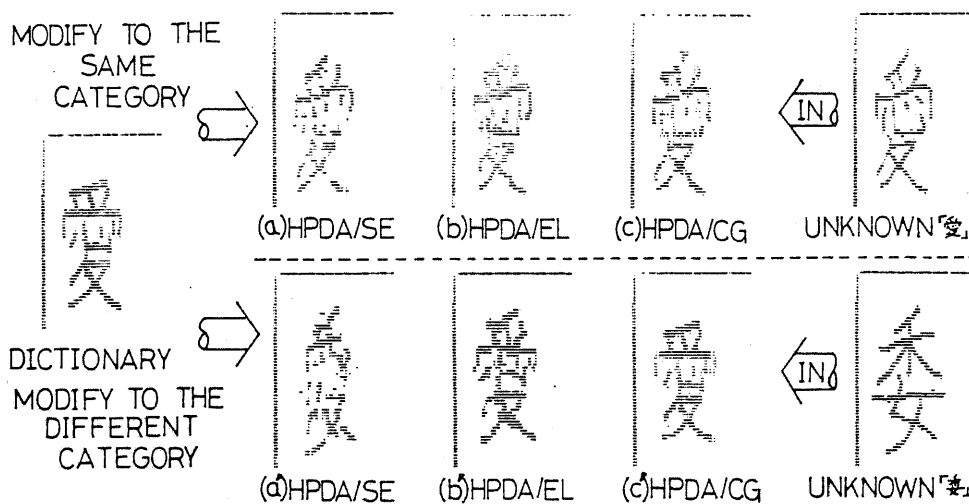


図5.5 HPDAの変形例

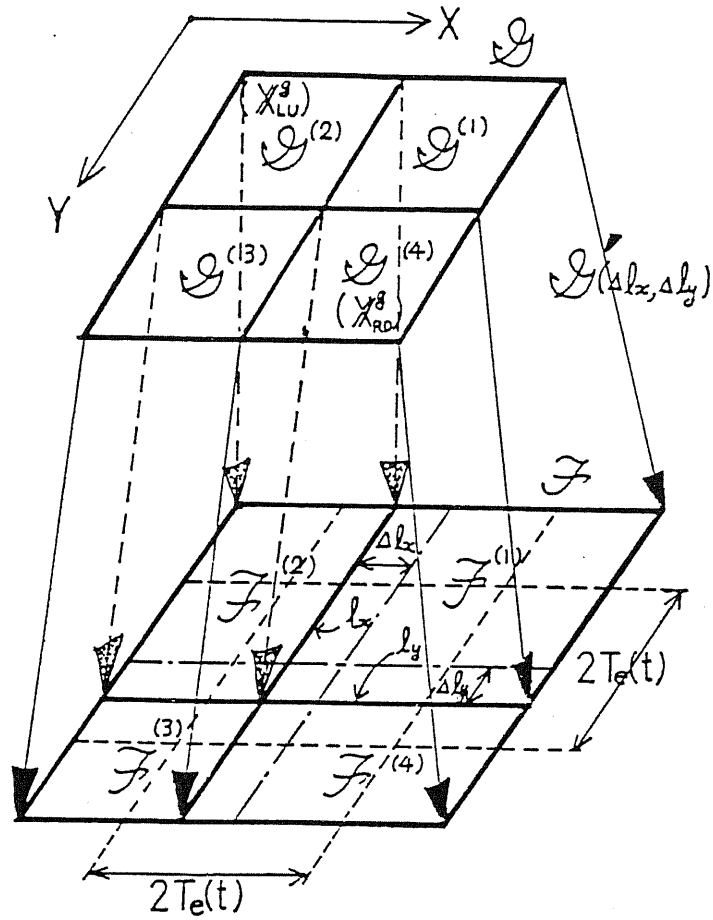


図5.6 HPDA/ELの概念図

$$d = \frac{(S'(\Delta l_x, \Delta l_y), F)}{\|S'(\Delta l_x, \Delta l_y)\| \cdot \|F\|} \xrightarrow[\substack{|\Delta l_x| \leq T_e(t) \\ |\Delta l_y| \leq T_e(t)}]{\max} \quad (5.7)$$

を満足する Δl_x 、 Δl_y を求める。

(b) 領域の分割

式(5.7)を満足する境界線 l_x, l_y を持つ4つの $S^{(i)}$ と $F^{(i)}$ の組をHPDA/SEと同様にスタックにプッシュする。

ただし、プッシュに際して $S^{(i)}$ 、 $F^{(i)}$ の両方とも方形の短辺が4以上の時だけ、 C_B を0に設定する。実例を図5.3(b), 図5.4(b), 図5.5(b), (b')に示す。

条件はHPDA/SEと同様である。

5.4 HPDA/CG

第3方式であるHPDA/CG (HPDA By Center of Gravity and variance)について説明する。

HPDA/CGでも領域の4分割を行う。但し、分割の中心は重心であり、また分散も利用する。ここでは、アルゴリズムの高速化を図るため、4分木を導入しプロセスを2段階に分離する。すなわち、プロセス1では未知文字から重心と分散をノードとする4分木を作る。プロセス2では、未知文字の4分木を参照しながら辞書の4分木を变形する。これにより、辞書の4分木作成は一度だけ行えば良い。

(a) プロセス1 (4分木の作成)

未知文字から4分木を作成する。図5.2のフローチャートとほぼ同様で、スタックを用いる。但し、スタックの要素 S_C は次のようになる。

$$S_C = (C_B; X_{LU}^f, X_{RD}^f) \quad (5.8)$$

ポップされた S_C の $F = (X_{LU}^f, X_{RD}^f)$ に対して、重心 X_{CG}^f と分散 V^f を求める。これをプロセス2で使用する4分木ファイル R^f に、

$$n^f = (X_{CG}^f, V^f, p^f, t^f, B_r^f) \quad (5.9)$$

の組として順次出力する。 p^f (0又は1)は X_{CG}^f の画素の値、 t^f はノード n^f の深さ、 B_r^f (1~4)は n^f の親から見た n^f の兄弟のレベルである。次に、 X_{CG}^f と中心としてFを4分割し、スタックにプッシュする。 C_B の制御はHPDA/SEと全く同様である。分割が続行不能な時は0に、それ以外の時は、-1に設定される。

(b) プロセス2 (辞書の4分木を变形)

得られた R^f を参照しながら、辞書の4分木 R^g に变形を施す。 R^g は n^f と同じ形のノード n^g を持つとする。今、 R^f, R^g をポップし、深さ t と兄弟のレベル B_r が一致する最初のノード n^f, n^g が得られたとする。但し、 n^f は式(5.9)、 n^g は式(5.10)で示す。

$$n^g = (X_{CG}^g, V^g, p^g, t^g, B_r^g) \quad (5.10)$$

この時、 R^g について、 n^g の子孫に属するすべてのノード $n^{g'}$ 、ただし、

$$n^{g'} = (X_{CG}^{g'}, V^{g'}, p^{g'}, t^{g'}, B_r^{g'}) \quad (5.11)$$

を探索し、 $X_{CG}^{g'}, V^{g'}$ について次式の変更を行う。

$$X_{CG}^{g'} \leftarrow V(X_{CG}^{g'} - X_{CG}^g) + X_{CG}^f \quad (5.12)$$

$$V^{g'} \leftarrow V^2 V^{g'} \quad (5.13)$$

ただし、

$$\left\{ \begin{array}{l} V = \begin{pmatrix} \sqrt{V_x^f/V_x^g} & 0 \\ 0 & \sqrt{V_y^f/V_y^g} \end{pmatrix} \\ V^f = \begin{pmatrix} V_x^f \\ V_y^f \end{pmatrix}, \quad V^g = \begin{pmatrix} V_x^g \\ V_y^g \end{pmatrix} \end{array} \right.$$

ここで、式(5.12)は n^g の子孫であるノードすべてについての重心位置の移動を、式(5.13)は分散による伸縮比の変更を意味する。

ただし、合わせ過ぎを防ぐため2種の制限を設ける。1つ目は重心と分散の両方に関する。まず、適当なワーキング・エリアを2面用意し、 n^f, n^g の子孫をすべて探索し、重心位置 X_G に対応する画素 p を置き、2次元パターンを合成する。これはHPDA/SEではFとSに相当する。つぎに、FとSで単純類似度 d を求める。 d がある閾値

$T_c(t)$ 以下ならば変形は行わない。さらに、この子孫について行うことも無駄なので空ポップを行いすべて飛ばす。

2つ目の制限は、分散による伸縮にだけ関する。階層 t が深くなると領域が小さくなり分散が不安定となる。このため、次式を満たす場合は不安定と判断して V を単位行列に置き換える。

$$\min \{V_x^f, V_y^f, V_x^g, V_y^g\} \leq T_v \quad (5.14)$$

T_v は視察により30とした。この時、ETL8の漢字データでは、階層3以上は、すべて V が単位行列となった。実例を図5.3(c), 図5.4(c), 図5.5(c), (c')に示す。図5.4で矢印は重心の移動を示す。条件はHPDA/SEと同様である。

5.5 HPDAの実験と検討

5.5.1 実験に使用するデータ

電総研手書文字データベースETL8を用いる。辞書としては、データセット1の「愛」～「階」の10個、未知文字としては、データセット2の「愛」～「階」の10個とする。各文字は64×64の2値文字である。ただし、第3章、第4章と異なり文字の外接枠を64×64にしたのではなく、ETL8のオリジナルの大きさ128×127を64×64に縮小している。

5.5.2 合わせ過ぎ防止のための制限値

異種カテゴリへの合わせ過ぎを防ぐため適切な制限値を設定する。特にHPDA/SEについて説明を行う。制限値はチェス盤距離とする。まず階層は $t=2$ とする。この時、十分大きい仮りの制限値を設定する。この状態で、特に分割を $t=2$ で停止する条件を追加して上記データで100(未知10×辞書10)回の変形実験を行う。

すると、辞書と未知文字が同一カテゴリの時、変形は少ないので分割領域の移動量は少なくなる。反対に、異種カテゴリの時は大きくなる。 $h_s(i), h_d(i)$ をそれぞれ図5.7に示す頻度分布とした時、次式を満足する k を理想的な制限値 $T_s(2)$ とする。

これが5.2.2(c)で言う B である。

$$\left(\sum_{i=0}^k h_s(i) \right) \times \left(\sum_{j=k+1}^{\infty} h_d(j) \right) \rightarrow \max \quad (5.15)$$

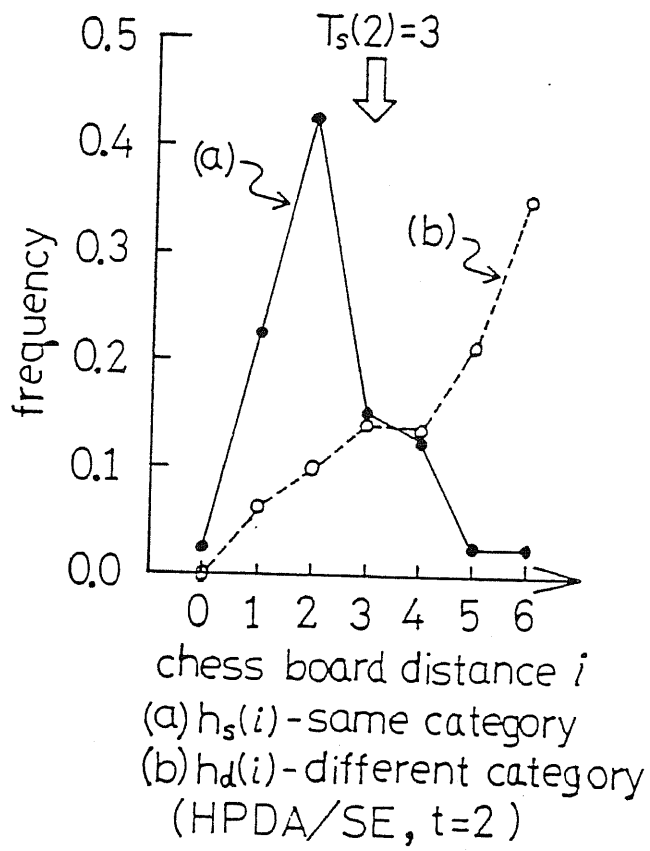


図5.7 変形抑制のための制限値設定

次に、階層 $t=3$ では $T_s(2)$ を k に設定して全く同じことを繰返す。以下同様である。HPDA/ELでも全く同様にして $T_e(t)$ が定まる。HPDA/CGでは、制限値 $T_c(t)$ が単純類似度である以外は全く同様である。これらの制限値をまとめて表5.1に示す。なお、表で-は制限値が無いことを示す。

5.5.3 階層 t と類似度の関係

階層が深まり分割が進むと、より変形が大きくなり辞書が未知文字に接近する。変形を特に階層 t で停止して、その時の類似度を求めた。これを図5.8に示す。

辞書・未知文字はいずれも「愛」である。階層 t の増加に伴い、類似度が上昇している。なお、 $t=1$ の時、HPDA/SE, /ELでは重心による位置合わせ、HPDA/CGでは4分木上で重心による位置合わせと分散による伸縮を行っている。以後の実験も同様である。

5.5.4 異種カテゴリとの類似度

階層が深くなると類似度は確かに上昇する。しかし、この時、同時に異種カテゴリの辞書もある程度の変形を受けて未知文字に接近する。本章では、データが少数なので正答率の代わりに、第3章の3.3.6で述べた R^* でこの関係を評価する。次に R^* の定義を示す。

$$R^* = \frac{E(d_1) - E(d_2)}{(\sqrt{V(d_1)} + \sqrt{V(d_2)})/2} \quad (5.16)$$

ただし、

$$\begin{cases} d_1 = d(C_{\text{辞}} = C_{\text{未}} | C_{\text{未}}) \\ d_2 = \max_{C_{\text{辞}}} d(C_{\text{辞}} \neq C_{\text{未}} | C_{\text{未}}) \\ E(\bullet) \text{ は平均、} V(\bullet) \text{ は分散} \end{cases}$$

上式で、 d_1 はある未知文字が入力してきた時、その未知文字と同一カテゴリに属する辞書の変形後の単純類似度、 d_2 は異種カテゴリに属する辞書との単純類似度の中で最大の値を意味する。従って、 R^* は分散によって正規化された距離差で、正の大なる値であればあるほど、よいシステムであると考えられる。実際、第3章で示したとおり、第3章

表 5.1 HPDA の 変形制限値

階層 t	2	3	4	5	6	7
HPDA/SE $T_s(t)$	3	1	1	1	0	0
HPDA/EL $T_e(t)$	2	2	2	1	1	-
HPDA/CG $T_c(t)$	0.3	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0

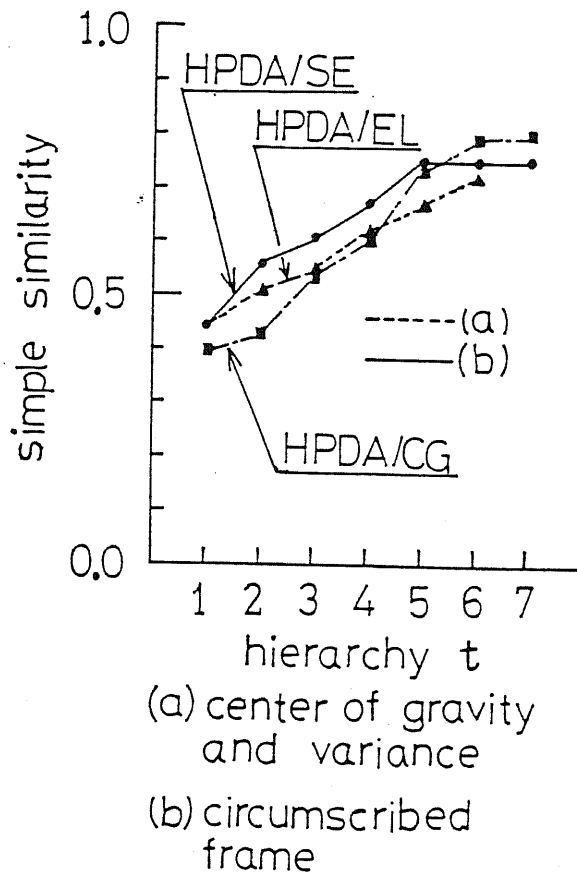


図 5.8 階層 t と類似度

での実験という条件下ではあるが、 R^* と正答率の間には、相関係数 $\gamma = 0.96$ という高い正の相関が得られている。結果をまとめて表5.2に示す。HPDA/SE, /ELでは、外接棒だけを用いて正規化した場合に比べ2倍以上良好な値が得られている。

なお、HPDA/CGでは、 R^* は/SE, /ELに比べて相当低い値を示している。これは、重心の位置が必ずしも安定でなく、たとえば、あるストロークの右にあるか、左にあるかによって、その結果作成される4分木自体が大きく変動したためではないかと思われる。実際、/CGでは/SEや/ELに比べて9-16倍大きい分散値しか得られなかった。

5.5.5 未知文字の回転・大きさ変動による影響

HPDAでは、文字の変動を辞書の変形という形である程度吸収するはずである。ここでは、文字の回転と大きさ変動にHPDAがどの程度追随するかを調べる。未知文字の回転は重心を中心に、大きさの伸縮は絶対座標の中心で行っている。回転については図5.9に、大きさ変動については図5.10に結果を示す。データは辞書、未知文字とも「愛」とした。

回転に関する追随特性は以外に悪く、特にHPDA/CGでは $\pm 10^\circ$ 程度で急激に劣化する。これは、分割をx軸、y軸に平行とした制約に由来すると思われる。大きさ変動に関しては、HPDA/CGが特に良い。これは重心が大きさに依存しないためである。いずれにせよ、大きさ変動にはある程度追随することがわかる。

なお、データは辞書文字、未知文字とも「愛」を用いた。1文字当りの辞書の変形に要する時間は、ミニコン(PDP11/60)上で、HPDA/SE, /EL, /CGの順にそれぞれ、75秒、345秒、140秒である。/ELでは伸縮にかなりの時間を費やし、/CGでの4分木作成には20秒を必要とした。

5.6 まとめ

本章では、変形の激しい低品質文字に対処するため、各カテゴリごとに個別の変形規則を持ち、特有の構造を利用しながら辞書を変形させ、未知文字とパターン整合を図る手法について検討し、そのひとつの実現法であるHPDAについて述べた。

実験によると、階層が深くなると、類似度が上昇することが確認でき、少数データではあるが、外接棒や、重心と分散だけを用いて正規化し、パターン整合を図った時よりも、HPDA/SE, /ELでは尺度 R^* において、2倍以上良好な値が得られた。また、未知文字の回転や大きさ変動についても調べ、後者では比較的安定に追随する結果を得た。

表 5.2 尺度 R^* の値

	外接枠	重心と分散	HPDA/SE	HPDA/EL	HPDA/CG
$E(d_1)$	0.49	0.46	0.80	0.82	0.69
$E(d_2)$	0.36	0.38	0.61	0.62	0.49
$\sqrt{V}(d_1)$	0.06	0.13	0.04	0.05	0.17
$\sqrt{V}(d_2)$	0.05	0.05	0.04	0.04	0.12
R^*	2.32	0.89	4.84	4.70	1.38

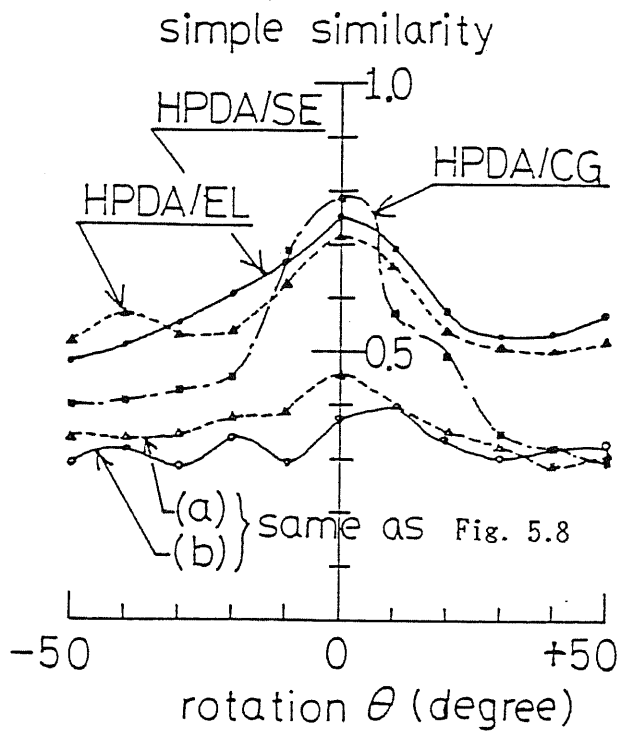


図5.9 未知文字の回転と類似度

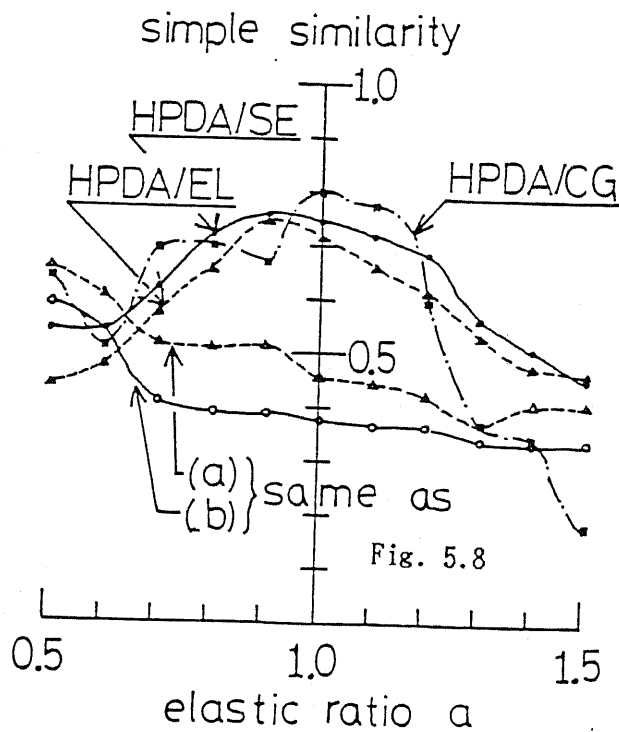


図5.10 未知文字の大きさ変動と類似度

第6章 ストロークに基づく辞書の変形

による手書き文字の識別

本章での、基本的コンセプトは第5章と同じであり、辞書文字の方を階層的に分割し、トップダウン的に未知文字の変形を吸収する。ただし、第5章で検討したHPDAシリーズでは、辞書文字の分割を絶対座標、あるいは単なる重心で行っていたため、文字固有の構造を反映していないという欠点があった。そこで本章では、辞書文字をまずストロークに分解し、これを基本要素として、なるべく視覚的に見ても意味ある階層構造に再構成し、この辞書ツリーを用いて相関法を適用する。

6.1 はじめに

本章での基本的考え方は第5章と同様である。すなわち、手書き文字の変動をうまく吸収しながらパターン整合を図るため、従来の方法とは逆に、辞書文字の方をあらかじめ階層的に分解し、トップダウン的に辞書を未知文字に合わせる方法である。この理由は次のとおりである。手書き文字は印刷文字と異なり、筆記者に由来する変動や、同一の筆記者でも、その時の気分や雰囲気により種々さまざまな変動を持つため、このような変動にも影響されないアルゴリズムを開発する必要がある。

一例として、偏と旁からなる漢字を考える。通常、旁は偏のすぐ右にあると推定できる。しかしながら、人によっては、乱雑に文字を書く場合があり、旁が偏の右斜め上や、右斜め下にあるケースもしばしば見受けられる。このようなケースに対しては、パターン整合法は無効である。これは、辞書として、パターン面全面を一体化して記憶しているからである。

第5章でのアルゴリズムは、このような一体化をやめ、辞書の全体から細部へ向い、位置摂動等を用いて未知文字の変動の吸収を図った。本章では、これをさらに推し進め、辞書として、文字のストロークを個別にパターンとして記憶しておく。認識時は、このストロークに位置摂動を加え、未知文字の対応すると考えられるストロークを推定し、これらのストロークを一旦再合成することによって行う。なお、本章では、このアルゴリズムが、辞書にストロークという構造を有しているので、以下、HPDA/ST (HPDA by Structure) と言う。

6.2 HPDA/ST

HPDA/STは大きく分けて、辞書ツリーを作成する部分と、辞書ツリーに変形を施し、未知文字との相関を行う部分の2つから構成される。

以下では、この順に説明を行う。

6.2.1 辞書の作成

HPDA/STの辞書ツリー作成部分は、更に3つの部分から構成される。原辞書文字パターンからストロークを抽出する部分、ストロークから各種のテーブルを作成する部分、テーブルを用いて実際に2次元のパターンをノードとして持つ辞書ツリーを作成する部分である。図6.1に辞書ツリー作成部分のフローチャートを示す。以下、図6.1に従って説明する。

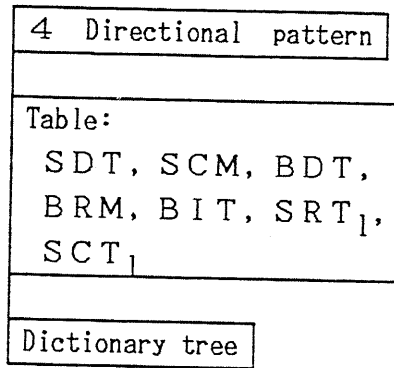


図6.1 辞書ツリー作成の概略PAD

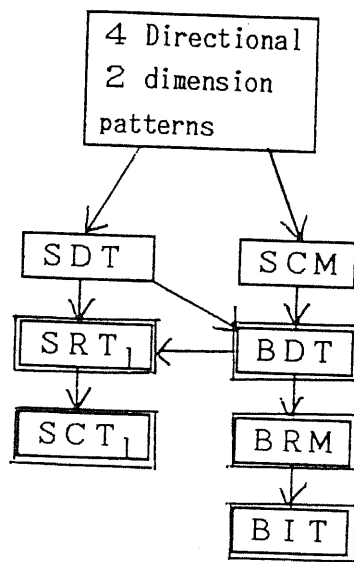


図6.2 テーブルの関係

6.2.1.1 辞書文字のストローク分解

辞書ツリーを作成する際の基本要素となるストロークを、北村らの手法⁽⁷²⁾を用いて求める。すなわち、まず、原辞書文字パターンから4方向の方向性パターンを求める。これは、第3章や第4章で用いた方向性微分ではなく、各画素から上下、左右、対角、逆対角の4方向にセンサーを伸ばし、黒画素の数を計数する方法である。次に、交点や折れ点で分割されたストロークを結合するために延長処理を行い、さらに雑音と考えられるストロークを除去する。この後、各ストロークにラベリング処理を行う。こうして得られたストロークは4面の2次元パターン面に保存される。この管理は次に述べるSDTで行い、辞書ツリー作成時に使用される。詳細は付録4で述べる。

6.2.1.2 テーブルの作成

次に、抽出されたストロークに基づいて、図6.1に示す7つのテーブルを作成する。これらの関係を図6.2に示す。この順にテーブルを用いることによって処理を容易にしている。図6.2で2重に囲んだテーブルは、6.2.1.3で述べるスタックを用いた辞書ツリー作成時に使用される。6.2.1.1で求めた2次元パターン面を直接走査して得るのは以下で述べるSDT, SCMだけで、他のテーブルは、それより前に作成されたテーブルから作成される。なお、以下のアルゴリズムは安居院らの方法^{(239), (240)}を参考にしている。

(1) ストローク一覧表 (SDT)

ストロークの方向(4方向)と外接枠をSDTに登録し管理する。番号*i*のストローク s_i に対し、ストローク分解された4面のパターン面を直接走査することにより次の値を得る。図6.3に例を示す。

$$\begin{cases} x_L^i = \min \{ x \mid (x,y) \in S(i) \} \\ x_R^i = \max \{ x \mid (x,y) \in S(i) \} \\ y_U^i = \min \{ y \mid (x,y) \in S(i) \} \\ y_L^i = \max \{ y \mid (x,y) \in S(i) \} \end{cases} \quad (6.1)$$

ただし、 $S(i) = \{ (x,y) \mid (x,y) \text{はストローク } s_i \text{を構成する黒点の座標の集合} \}$

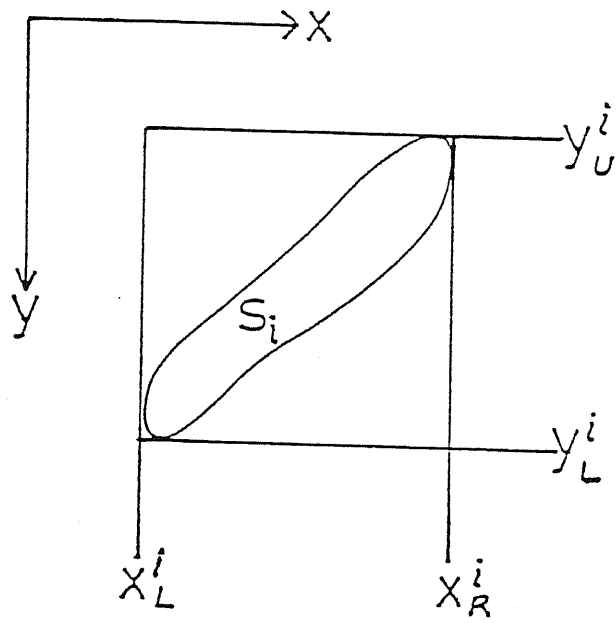


図6.3 SDTの一例

(2) ストローク接続行列 (SCM)

次に述べるBDTを得るために、各ストローク間の接続関係を求める。番号*i*と*j*のストロークが重なるときにSCMは1に設定される。すなわち、

$$SCM(i,j) = 1 \quad (S(i) \cap S(j) \neq \emptyset \text{ の時}) \quad (6.2)$$

上式は、ストローク分解された4面のパターン面を直接走査することにより求められる。

(3) ブロッケー一覧表 (BDT)

BDTにはブロックを構成するストローク番号の集合と、各ブロックの外接枠、中心の値が記録されている。ここで、ブロックとは、互に重なりあうストロークの一群を言う。すなわち、SCMで互に1であるストロークの集合を意味する。このブロックは再帰的に次のようにして定義される。

まず、

$$S = \{ s_1, s_2, \dots, s_{\max} \} \quad (6.3)$$

を全ストロークの集合とする。またブロック*b_i*に属するストロークの集合を*B_i*とする。*S*から、すでにブロック*B₁*, ..., *B_i*として登録されたストロークをのぞいた集合を*S_i⁽⁻⁾*とする。

$$S_i^{(-)} = S - \cup B_k \quad (6.4)$$

このとき、新しいブロック*b_{i+1}*を構成するストロークの集合*B_{i+1}*は次式で求められる。

$$B_{i+1} = B_{i+1}^{(\infty)} \quad (6.5)$$

ただし、

$$\begin{cases} B_{i+1}^{(p)} = \{ l \mid SCM(l,j)=1, \forall j \in B_{i+1}^{(p-1)} \} \quad (p \geq 2) \\ B_{i+1}^{(1)} = \{ j \mid SCM(j,m)=1, \exists m \in S_i^{(-)} \} \end{cases}$$

なお、式(6.5)の右辺における無限大の繰り返しは、実際には数回で停止している。すなわち、*p*がたかだか5程度で

$$B_{i+1}^{(p)} = B_{i+1}^{(p-1)} \quad (6.6)$$

なる式を満足する。この時、繰り返しを停止し、式(6.6)の左辺の値を $B_{i+1}^{(\infty)}$ と見なしている。

BDTには、ブロック b_i に属するストローク集合以外に、ブロックの外接枠や中心を与える次式の値も保持されている。

$$\left\{ \begin{array}{l} X_L^i = \min \{ x_L^j \mid j \in B_i \} \\ X_R^i = \max \{ x_R^j \mid j \in B_i \} \\ Y_U^i = \min \{ y_U^j \mid j \in B_i \} \\ Y_L^i = \max \{ y_L^j \mid j \in B_i \} \\ X_C^i = (X_L^i + X_R^i)/2 \\ Y_C^i = (Y_U^i + Y_L^i)/2 \end{array} \right. \quad (6.7)$$

これらは、SDTを参照することにより容易に求まる。図6.4に例を示す。

(4) ブロック相対位置行列 (BRM)

BRMには、各ブロック間で、“上下”、“左右”、“包含”の3つの相対位置関係を示す値が記録されている。ブロック b_i と b_j について、次のように設定される。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{BRM}(i,j) = 1 \text{ (} b_i \text{ が } b_j \text{ の左にある時)} \\ \text{BRM}(i,j) = 2 \text{ (} b_i \text{ が } b_j \text{ の上にある時)} \\ \text{BRM}(i,j) = 3 \text{ (} b_i \text{ が } b_j \text{ を含む時)} \end{array} \right. \quad (6.8)$$

また、

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{BRM}(i,i) = 0 \text{ とし、} \\ \text{BRM}(i,j) = -\text{BRM}(j,i) \end{array} \right. \quad (6.9)$$

とする。ただし、(6.8)式における“左”、“上”、“含む”は、次のように定義されるものとする。

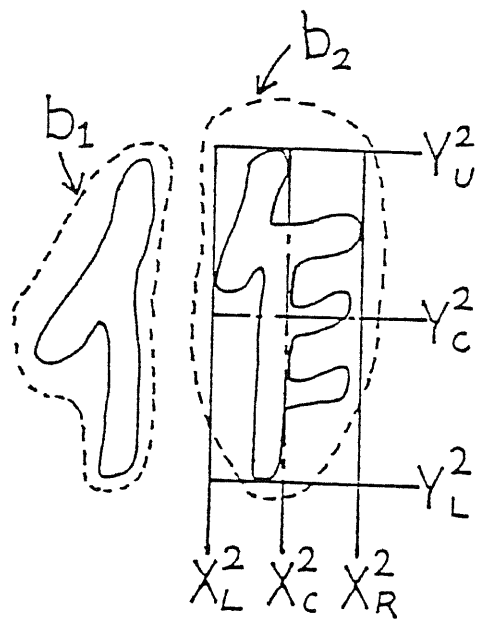


図6.4 BDTの一例

(左) $X_C^i < X_C^j$ かつ

$$\alpha_1 \leq \frac{\overline{Y_{ij}}}{\min\{(Y_L^i - Y_U^i), (Y_L^j - Y_U^j)\}} \quad (6.10)$$

ただし、 $\overline{Y_{ij}} = \max\{0, (\min\{Y_L^i, Y_L^j\} - \max\{Y_U^i, Y_U^j\})\}$

(上) $Y_C^i < Y_C^j$ かつ

$$\alpha_2 \leq \frac{\overline{X_{ij}}}{\min\{(X_R^i - X_L^i), (X_R^j - X_L^j)\}} \quad (6.11)$$

ただし、 $\overline{X_{ij}} = \max\{0, (\min\{X_R^i, X_R^j\} - \max\{X_L^i, X_L^j\})\}$

(含む) $X_L^i < X_C^j < X_R^i$ かつ
 $Y_U^i < Y_C^j < Y_L^i$ かつ

$$\alpha_3 \leq \frac{\overline{X_{ij}} \cdot \overline{Y_{ij}}}{(X_R^j - X_L^j) \cdot (Y_L^i - Y_U^i)} \quad (6.12)$$

なお、以下では、 $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.65$ 、 $\alpha_3 = 0.8$ とし、“含む”、“上”、“左”の順に優先順位を設けた。この関係は辞書ツリー作成時のブロックの分割の際に用いられている。例を図6.5に示す。

(5) ブロック間包含関係表 (BIT)

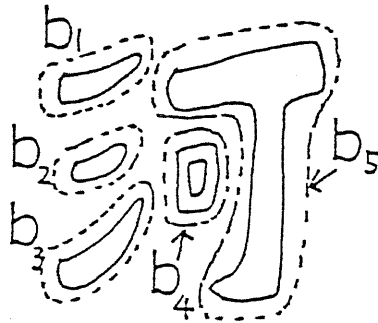
BITでは、BRMで包含関係にあるブロックについて、2重に包含される場合などの特殊例についての処理を行う。これは、次の3段階に分かれる。図6.6に例を示す。

(第1段階)

ブロックの集合 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_{\max}\}$ の要素 b_i に対して、

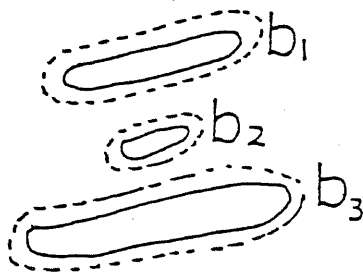
$$Q_i = \{b_j \mid \text{BRM}(i, j) = 3, b_j \in B\} \quad (6.13)$$

を求める。さらに、 $Q_i \neq \emptyset$ の時 B 中の b_i を b_i^* に変更し、 B から Q_i を除く。すなわち、



b_1, b_2, b_3 are on the left of b_5 .
 b_5 contains b_4 .

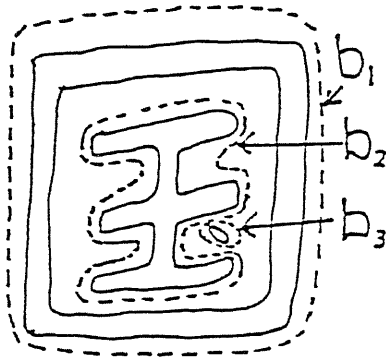
(a) Example 1



b_1 is over b_2
 b_2 is over b_3
 b_1 is over b_3

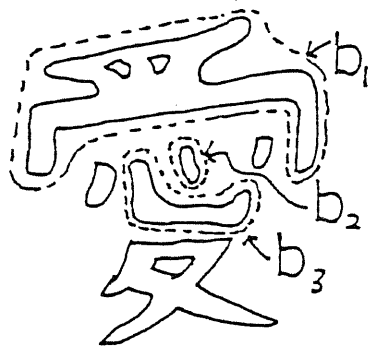
(b) Example 2

図6.5 ブロックの相対位置関係



$$\begin{array}{ll}
 B = \{b_1, b_2, b_3\} & B = \{b_1^*\} \\
 Q_1 = \{b_2, b_3\} & \Rightarrow Q_1 = \{b_2^*\} \\
 Q_2 = \{b_3\} & Q_2 = \{b_3\}
 \end{array}$$

(a) Example in phase(1)(2)



$$\begin{array}{ll}
 B = \{b_1, b_2, b_3, \dots\} & B = \{b_1, b_3^*, \dots\} \\
 Q_1 = \{b_2\} & \Rightarrow Q_1 = \emptyset \\
 Q_2 = \emptyset & Q_2 = \emptyset \\
 Q_3 = \{b_2\} & Q_3 = \{b_2\}
 \end{array}$$

(b) Example in phase(3)

図6.6 BITでの処理例

$$B \leftarrow B - \bigcup_{i=1}^{|B|} Q_i \quad (6.14)$$

ただし、 $|B|$ は集合 B の要素数を示す。なお、 b_i^* は、 b_i に * 印を付加することにより、ブロック b_i のなかに他のブロックが含まれていることを示す。

(第2段階)

$\forall i, \forall j (i \neq j)$ に対して $Q_j \supset Q_i$ の時、

$$Q_j \leftarrow Q_j - Q_i \quad (6.15)$$

また、 $b_i \in Q_j$ ならば、 b_i を b_i^* に変更する。

(第3段階)

$\forall i, \forall j (i \neq j)$ に対して、

$$Q_j \leftarrow Q_j - (Q_j \cap Q_i) \quad (6.16)$$

以上の操作で、重複して含まれるブロックは、ただ1つの Q_i に限られる。すなわち、

$$Q_i \cap Q_j = \emptyset \quad (\forall i, \forall j, i \neq j) \quad (6.17)$$

(6) ブロック内でのストローク相対位置関係表 (SRT_1)

SRT_1 は各ブロックごとに1個作られ、ブロック内での、“上”、“左”、“交差”の相対位置関係を示す。ブロック b_1 を構成するストローク $s_i, s_j \in B_1$ について、 SRT_1 は次のように定義する。

$$\begin{cases} SCT_1(i,j) = 1 & (s_i \text{ が } s_j \text{ の左}) \\ SCT_1(i,j) = 2 & (s_i \text{ が } s_j \text{ の上}) \\ SCT_1(i,j) = 3 & (s_i \text{ が } s_j \text{ と交差}) \end{cases} \quad (6.18)$$

また、

$$\begin{cases} SRT_1(i,j) = 0 \text{ とし、} \\ SRT_1(i,j) = -SRT_1(j,i) \end{cases} \quad (6.19)$$

とする。なお、“交差”、“上”、“左”の順に優先順位を設ける。交差の例を図6.7に示す。これらの厳密な定義は付録4で述べる。

(7) ストローク間交差関係表 (SCT_1)

SCT_1 では SRT_1 で交差関係にあるストロークについて、 BIT と同様に、2重に交差している場合などの特殊例についての処理を行う。得られた結果を b_i^* 、 Q_i に対応して s_i^* 、 R_i^l とあらわす。

6.2.1.3 辞書ツリーの作成

BDT 、 BRM 、 BIT 、 SRT_1 、 SCT_1 を用いてストロークをツリー状に再合成する。動作はスタックを用いて再帰的に行う。図6.8にフローチャートを示す。基本的には、スタック中の1要素が辞書ツリーの1つのノードに対応し、スタックからポップされた順にノード・パターンを作成する。この辞書ツリーの構造をおおまかに述べると次のようになる。ルートは方向性を持った辞書パターンそのものであり、まず、ブロックについて、上下、左右関係で分類する。これが終わるとブロックを構成するストロークについて同様に分類しノードを作成する。ストロークが1個になると分類を停止し終了する。例を図6.9に示す。字種は「何」である。なお、図6.9では、4方向を区別せず、単なる黒点として表現した。実際には、各ノードのパターンは4方向（左右、上下、対角、逆対角）に区別された4枚のパターンから構成されている。

以下、図6.8のフローチャートを参照しながら説明する。

(1) スタックの定義

スタック Sc を次のように定義する。

$$Sc = (B/S, C) \quad (6.20)$$

ここで、 B/S は B^* または S^* の値をとる。 B^* は集合 C の各要素がブロックであること、 S^* は各要素がストロークであることを意味する。図6.9に示されている数字はノード番号で、この順にノードが作成される。初期設定時には、 BDT を参照して集合 C をすべてのブロックを示す B に設定する。

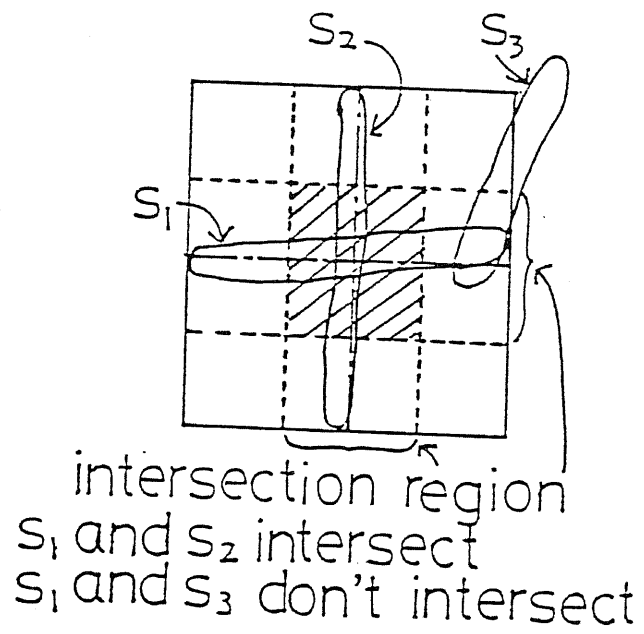


図6.7 交差の例

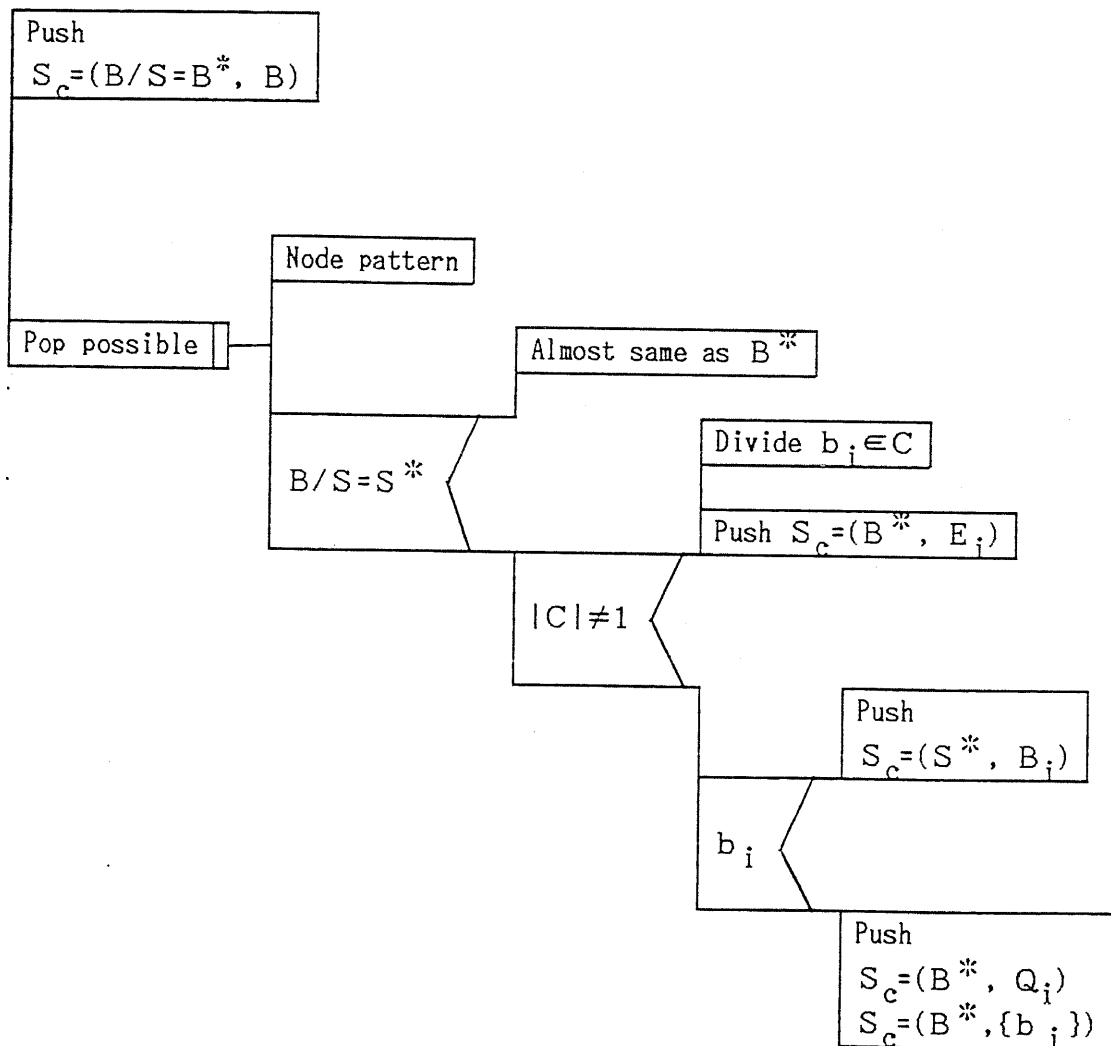


図6.8 辞書ツリー作成の詳細PAD

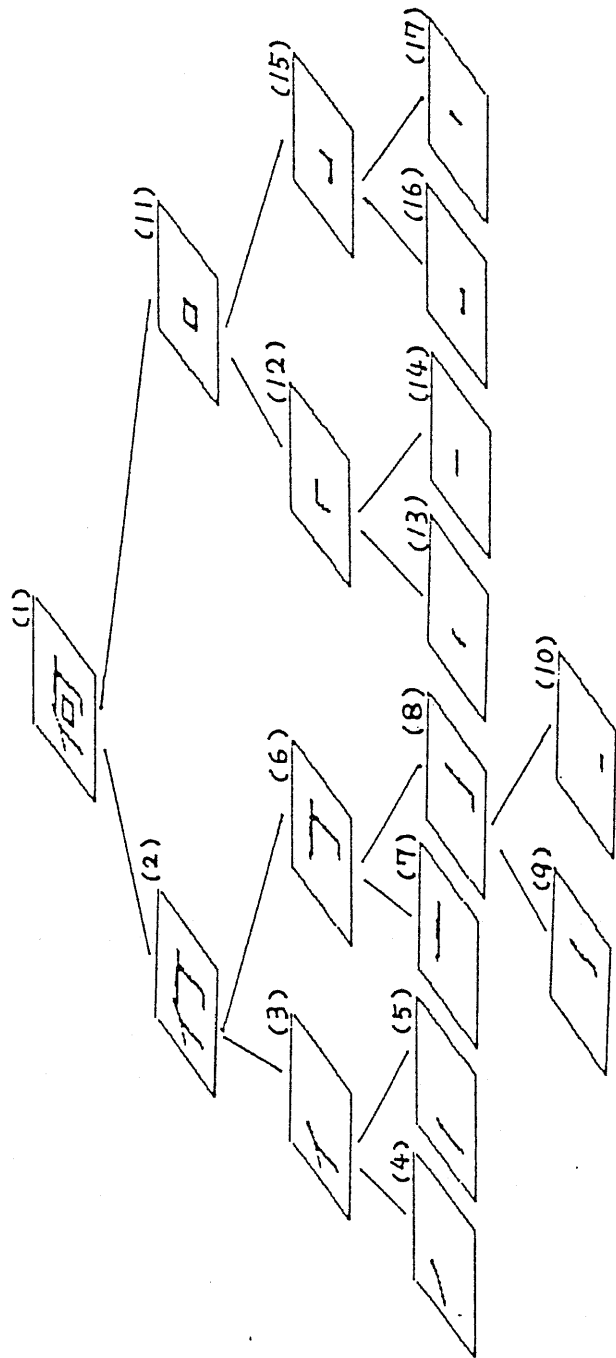


図6.9 辞書ツリーの例

(2) ノード・パターンの作成

ノード・パターンは、次式で定まる集合Aの要素であるストローク s_j を合成することにより作成される。

(a) Cがブロックの集合、すなわち $B/S = B^*$ の時

$$A = \{ s_j \mid b_i \in \bigcup_{l=1}^{\infty} D_l \text{ の添字 } i \text{ に対し } s_j \in B_i \} \quad (6.21)$$

ただし、

$$\begin{cases} D_n = \{ b_j \mid b_i \in D_{n-1} \text{ の添字 } i \text{ に対し } b_j \in Q_i \} & (n \geq 2) \\ D_1 = C \end{cases}$$

(b) Cがストロークの集合、すなわち $B/S = S^*$ の時

$$A = \{ s_j \mid s_i \in \bigcup_{l=1}^{\infty} D_l \} \quad (6.22)$$

ただし、

$$\begin{cases} D_n = \{ s_j \mid s_i \in D_{n-1} \text{ の添字 } i \text{ に対し } s_j \in R_i \} & (n \geq 2) \\ D_1 = C \end{cases}$$

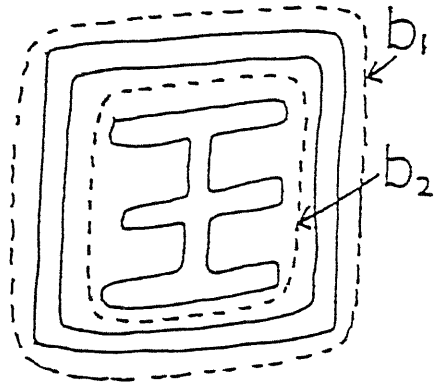
上記で、(a)は、BITを用いてCの各要素（ブロック）が間接的に含むブロックをすべてパターンとして合成することを意味する。(b)は、SCT₁を用いてCの各要素（ストローク）が間接的に交差するストロークをすべてパターンとして合成することを意味する。図6.10に例を示す。

パターンの合成に際しては、ストロークの方向を区別する。即ち、パターンを合成する際はまず、空白の4枚のワーキング・エリアを用意する。次に、集合Aの要素であるストローク s_j を方向別にワーキング・エリアに埋めこむ。

(3) ブロックを上下、左右関係で分類

Cのすべての要素（ブロック）を、BRMを用いて、間接的に上下関係または左右関係にあるブロックの集合 E_k のいずれかに分類する。ここで、 E_k は次式で定義される。

$$E_k = E_k^{(\infty)} \quad (6.23)$$



$$C = \{b_i^*\} \quad Q = \{b_2\}$$

$$\bigcup_{l=0}^{\infty} D_l = \{b_1, b_2\}$$

図6.10 ノード・パターンの合成

ただし、

$$\begin{cases} E_k^{(p)} = \{ b_j \mid |BRM(i,j)|=t, \forall b_i \in E_k^{(p-1)}, \forall b_j \in F_k \} \quad (p \geq 2) \\ E_k^{(1)} = \{ b_j \mid |BRM(i,j)|=t, \exists b_i, \forall b_j \in F_k \} \\ F_k = \begin{cases} C - \bigcup_{m=1}^{k-1} E_m & (k \geq 2) \\ C & (k = 1) \end{cases} \end{cases}$$

なお、式(6.23)の右辺における無限大の繰返しは、実際には数回で停止している。すなわち、 p がたかだか5程度で

$$E_k^{(p)} = E_k^{(p-1)} \quad (6.24)$$

を満足する。この時繰返しを停止し、式(6.24)の左辺の値を $E_k^{(\infty)}$ と見なしている。

次に、この操作を、 E_1, E_2, \dots の順に、次式、すなわち、

$$C - \bigcup_{k=1}^n E_k = \phi \quad (6.25)$$

になるまで繰返す。ここで、 n は分類されたグループの数である。

式(6.23)で、上下関係の分類の時は $t=2$ とし、左右関係の分類の時は $t=1$ とする。この t は、6.2.1.2の(4)において、BRMとして定義した $BRM(i,j)$ の値である。まず、 $t=2$ として分類する。ただし、もし $n=1$ ならば上下関係で分類されなかったことを意味するので、改めて $t=1$ として分類を試みる。

なお、ここでは分類結果を視覚的に意味のあるものとするために、上下関係の分類時には、分類された集合 E_k に関して、番号を左から右に付けなおし、一方左右関係の分類時には、上から下に改めて付けなおしている。例を図6.11に示す。

(4) $B/S = S^*$ の時の処理

この場合の処理は、BRMとBITのかわりに SRT_1 と SCT_1 を、 Q_i のかわりに R_i^1 を使用する点が異なり、それ以外の大部分は $B/S = B^*$ の時と同一の操作を行う。ただし、 $C = \{s_i\}$ とストロークが唯一の時は、スタックのポップの後、ノード・パターンを作成するだけでプッシュ動作は行わない。これは辞書ツリーの末端ノードに相当する。

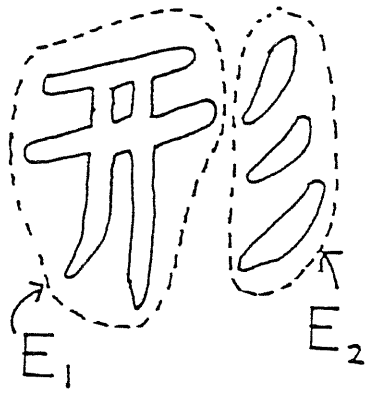


图6.11 上下関係の分類

6. 2. 2 辞書ツリーの変形

辞書ツリーの変形は、ツリーのルートから末端のノードへ向かって、トップ・ダウン的に行う。変形としては、ここでは簡単のため平行移動だけを考える。

6. 2. 1. 1 変形の尺度

変形の尺度としては、方向性を考えた次の単純類似度を用いる。

$$d(f, g_i; \beta) = \frac{(f(x), g_i(x+\beta))}{\|f(x)\| \cdot \|g_i(x+\beta)\|} \quad (6.26)$$

ただし、

$$\begin{aligned} (f(X), g_i(X)) &= \sum_{k=1}^4 (f_k(X), g_{ik}(X)) \\ f(X) &= (f_1(X), f_2(X), f_3(X), f_4(X)) \\ g_i(X) &= (g_{i1}(X), g_{i2}(X), g_{i3}(X), g_{i4}(X)) \end{aligned}$$

上記で $f(X)$ は4方向の方向性パターンに分解された未知文字であり、また $g_i(X)$ は辞書ツリー（カテゴリは省略）におけるノード番号 i のノード・パターンを示す。なお、添字 k は方向性を示す。

ここで、

$$d(f, g_i; I_{M(i)} + \Delta X) \xrightarrow{\|\Delta X\| \leq \beta_i} \max \quad (6.27)$$

なる $(I_{M(i)} + \Delta X)$ を $g_i(X)$ の変動量、すなわち平行移動した量とする。また、 β_i はオーバ・マッチングを防ぐために導入した変形制限値である。

上式で $I_{M(i)}$ は $g_i(X)$ の親のノードの変動量、 $M(i)$ は $g_i(X)$ の親のノード番号を意味する。これより、式(6.25)を満足する ΔX を用いてノード $M(i)$ の子供であるノード i の初期変動量が次のように設定される。

$$I_i = I_{M(i)} + \Delta X \quad (6.28)$$

6.2.2.2 辞書の再構成

未知文字とのパターン整合を図るために、子供をもたないノード、すなわち、ただ1つのストロークから構成されるノード・パターンのみを重ね合わせることによって辞書を再構成する。すなわち、得られた辞書を $g^R(X)$ とすると

$$g^R(X) = \sum g_i(X + I_i) \quad (6.29)$$

ここに、右辺の総和は子供を持たないノード g_i のノード番号 i に関して求めるものとする。

6.2.2.3 未知文字とのパターン整合

次に、再合成された辞書と未知文字の間で、方向性を考慮した単純類似度を求める。この単純類似度は、次式で定義される。

$$d_s = d(f, g^R; (0,0)) \quad (6.30)$$

認識時には、最大の d_s を示すカテゴリをもって未知文字の推定カテゴリとすればよい。

6.3 変形実験と考察

本章では、類似度として方向性を考慮した単純類似度を用いてHPDA/STの定量的性質について検討を行う。

6.3.1 変形例

変形制限値 β_i を、簡単のためにノード番号の i ではなく、ノードの階層 t にだけ依存するように変更する。ここでは、

$$\beta_1=0, \beta_2=3, \beta_t=1 \quad (t \geq 3) \quad (6.31)$$

とした。

階層 $t=1$ では、変形速度向上のため、単に重心だけを合わせる平行移動だけを行っているので $\beta_1=0$ としている。 $t=2$ 以上での $\beta_t (t \geq 2)$ の値は、第5章のHPDAシリーズからの類推により経験的に定めた。また、字種「愛」について、 $t=3$ での値を試験的に1から3に変更したが、類似度にほとんど向上が見られなかった。

図6.12に変形例を示す。図6.12(a)の原辞書パターンは、図6.9に示すような形の辞書ツリーを経て、図6.12(c)の未知文字に接近するように変形された。結果を、図6.12(b)に示す。文字「愛」の下部「爰」が相対的に左に移動するなどブロックの位置が改善されていることがわかる。また、異種カテゴリ「委」への変形例を図6.12(d)に示した。

なお、文字は第5章と同様に、電総研ETL8データベースを用いている。大きさは 64×64 である。

6.3.2 階層 t と類似度の関係

変形を階層 t で停止して辞書を再合成し、単純類似度を求める実験を行った。字種は「愛」である。結果を図6.13に示す。階層が深くなって変形が進むほど単純類似度が向上することが確認できる。特に、階層 $t=2$ での改善が著しい。これは、階層 $t=2$ では、文字パターン内で分離したブロック間の位置関係が大幅に改善されたためと思われる。すなわち、階層の浅い段階では、ブロック間の相対位置関係が補正され、階層の深い所では、各ブロック内でのストロークの位置関係が補正される。この性質は他の字種でも確認されている。

比較のため、正規化法として、線密度イコライゼーション⁽¹⁸²⁾ (LDE; Line Density Equalization) を適用した場合も行った。この時は、単純類似度が0.21で、図6.13に示すHPDA/ST ($t=8$ の時)に比べ、約40%の値しか得られなかった。なお、変形制限値としては、式(6.31)の値を用いた。

6.3.3 モデルでの実験

手書き文字は筆記者によって、さまざまな変動を持つ。これは、ある標準字形を想定した場合、大きく分けて、そのブロック間での相対的な位置や大きさ、傾きの変動、さらに各ブロック内でのストロークの同様な変動に分けて考えることができる。前者は、たとえば文字が偏と旁に分けられる場合、正規化に大きな悪影響を及ぼし、未知文字の偏が辞書の偏の位置に正しく整合されないことを意味する。

ここでは、このような文字の変動として、特に2本の直線で構成されるモデルを考える。すなわち、ブロックの位置変動を想定し、図6.14に示すモデルを、ブロック内でのス

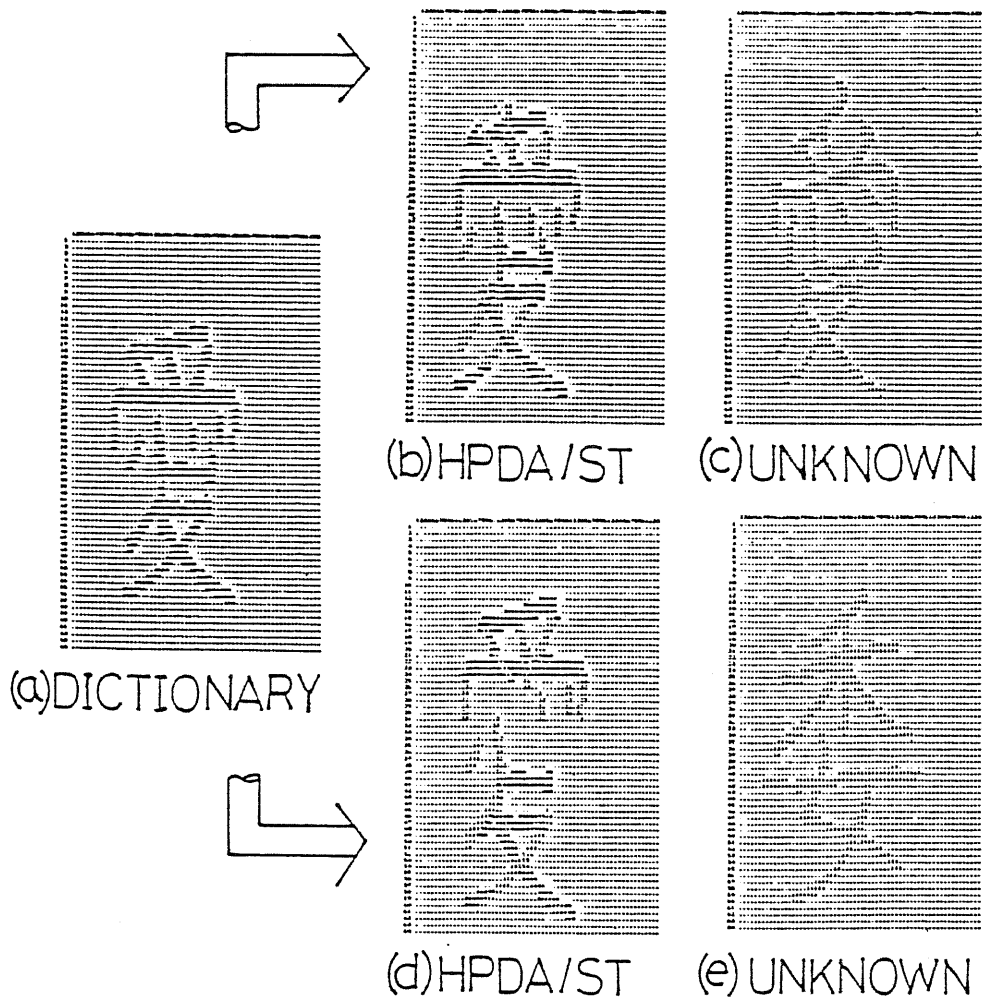


図6.12 辞書の変形例

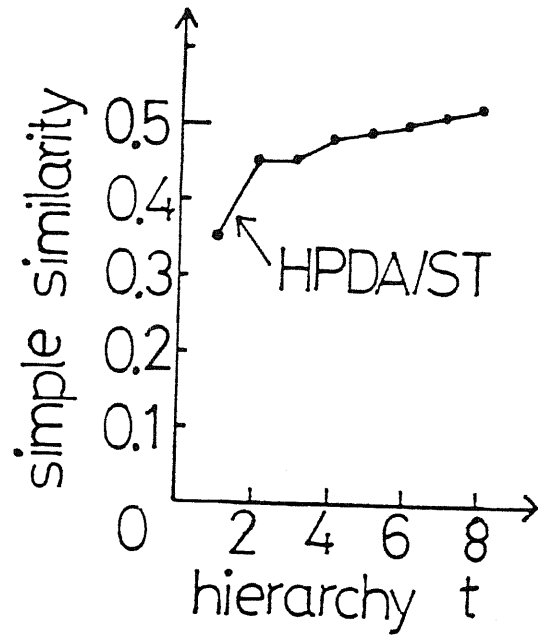


図6.13 階層 t と類似度の関係

トロークの位置変動を想定し、図6.15に示すモデルを設定する。この両者について、位置変動はそれぞれ矢印で示す方向に、各直線が v 画素だけ平行移動することによって発生すると考える。これを、未知パターン $U_i(v)$ ($i=1,2$)とする。さらに、別途、位置変動を全く与えないパターンを考え、これを原辞書パターン D_i ($i=1,2$)とする。 D_i と $U_i(v)$ にHPDA/STを適用する。すなわち、 D_i から辞書ツリーを作成する。この場合は、深さが2の簡単なツリーとなる。ルートのパターンは D_i と同じで、ルートは子供を2個持つ。この子供はおのおの直線を1本ずつ有し、これがストロークとなる。ただし、各ノードは、いずれも方向性を持つ。この場合の変形制限値 β は5画素とする。さらに、子供の子供のみが位置振動を行うとする。結果を図6.16、図6.17に示す。比較のために、線密度イコライゼーション(LDE)を適用し、単純類似度を求めた結果も示す。

図6.16、図6.17に示すように、HPDA/STでは変形制限値までは単純類似度が1.0となり、未知パターンと辞書パターンが完全に一致する。変形制限値を越える変動に対しては追従しきれず、単純類似度がしだいに低下する。線密度イコライゼーションを適用した場合、図6.14では、ある程度正規化の効果を発揮するが、図6.15の例では正規化の前後で未知パターンの形が変化せず無力となっている。これは、線密度がパターン内で均一なためである。

なお、実際の文字パターンでは、本節で仮定したモデルのように単純ではなく、ストロークについてみても、幅や長さ、さらに歪みなど細かな変動を持つ。本節で述べているHPDA/STは、このような変動には対応しきれない。これは、6.2.2で述べたように各ノードの変動吸収法として、簡単のため平行移動だけを採用しているからである。従って、変動吸収法をさらに高度化することによって、これらの変動にも対応可能となる。ただし、相関法での最大の欠点は部分的な位置ずれであり、これは、たとえば、シンニウ文字における、シンニウと他の部分の位置ずれ⁽¹⁸²⁾などにあらわれる。このような変動に対しては、6.3.2で示したように平行移動による位置振動だけでも、高い効果をあげることができる。

6.3.4 類似文字による実験

電総研手書き文字データベースETL8を用いて実験を行う。HPDA/STは、未知文字の変動を吸収するため、変動の大きい文字にも耐え得る。ここでは、変動を含む文字として、類似文字集合を対象とする。カテゴリとしては、門構えを共通部分として持つ「問」「門」「間」「聞」「開」「関」の6字種を選択した。各文字は 40×40 の大きさで2値化している。辞書ツリーを作るための原辞書パターンは、データセット1と2から文字線の接触のない、比較的安定と考えられる文字を1個だけ選択して作成する。未知文

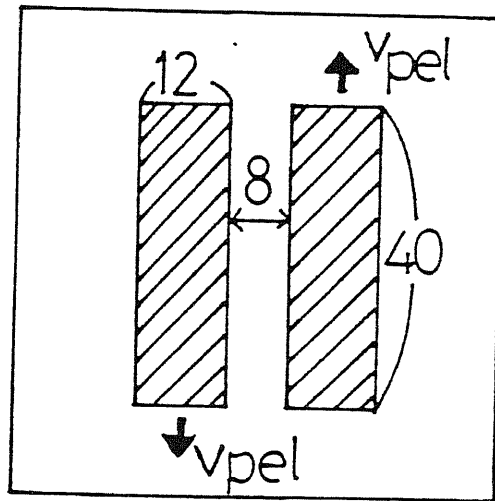


図6.14 ブロックの位置変動を
想定したモデル $U_1(v)$

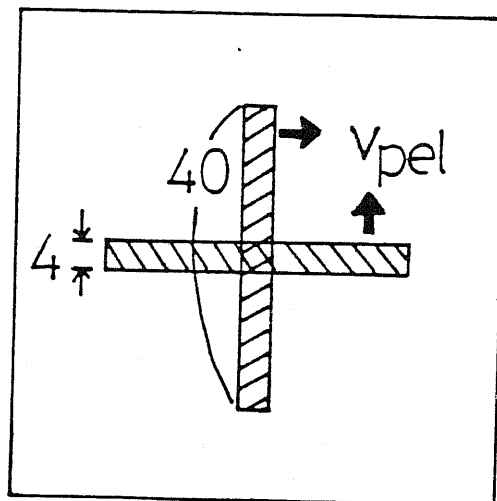


図6.15 ストロークの位置変動を
想定したモデル $U_2(v)$

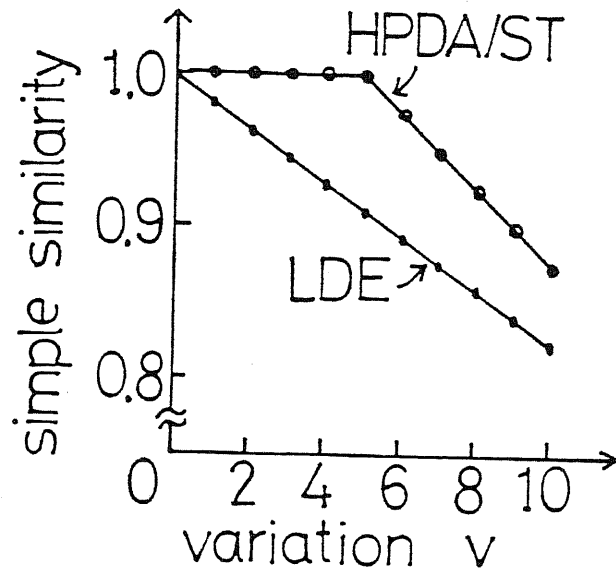


図6. 16 ブロックの位置変動を想定したモデル $U_1(v)$ における位置変動 v と類似度

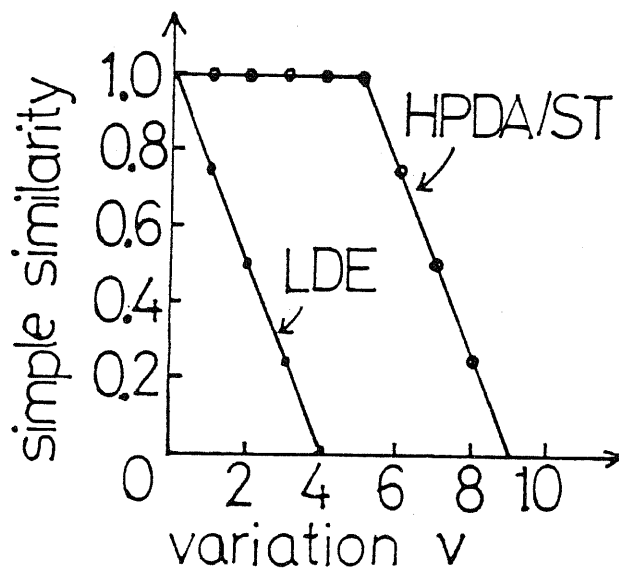


図6. 17 ストロークの位置変動を想定したモデル $U_2(v)$ における位置変動 v と類似度

字としては、データセット3から15までの13データセットとした。すなわち、辞書ツリーはただ1つの原辞書パターンから作られる。また、未知文字としては、合計で78 (6×13)文字使用する。認識結果を表6.1に示す。表6.1で、LDEとあるのは、線密度イコライゼーションによる正規化を適用したのち、単純類似度を用いた結果である。表6.1に示されているようにHPDA/STは、LDEに比べ16.7%高い認識率が得られている。なお、LDEでは、辞書マスクとして、HPDA/STと同じ文字を選択した。HPDA/STの変形制限値は式(6.31)の値を用いた。

6.4 まとめ

本章では、相関法による手書き文字認識を行う際に問題となる、手書きの変動を吸収する目的で開発したHPDA/STについて述べた。本手法は、未知文字に正規化を行い、外接枠や線密度などのある尺度を一定にする方法とは逆に、辞書文字の方を未知文字に接近させる立場をとる。これは、正規化という観点に立てば、辞書カテゴリーの情報を正規化に利用することを意味する。

具体的には文字は偏と旁などの分離した部分(ブロック)、さらに各ブロックはストロークから構成される。HPDA/STでは、この構成を辞書ツリーという形であらかじめ記憶している。このため、未知文字の変動を吸収するには、辞書ツリー上で、まずブロック間の相対位置関係を補正し、次に、各ブロック内でストロークの位置を補正すればよい。これは実際には、辞書ツリーをルートから末端へたどり、各ノードで位置摂動を繰返し、最適位置を探索することにより行う。

ブロックとストロークの相対位置変動をモデル化したパターン、ならびに類似文字集合を用いて実験を行い、前者では、変形制限値までは未知パターンと辞書パターンが完全に一致すること、後者では、実際に、未知文字の変動が吸収され、認識率が向上することを示した。

表6.1 類似文字6カテゴリに対する認識率
(文字数6カテゴリ×13データセット=78文字)

HPDA/ST	LDE
60.3%	43.6%

第7章 紙面から抽出された個人性情報 を用いた手書き文字の特徴抽出

本章では、紙面より文字の傾きという“個人性”を抽出し、この個人性を用いて、切り出された個別文字から特徴を求め認識をおこなうアルゴリズムについて述べる。

7. 1 はじめに

手書き文字を認識する際、個々の文字の変動を吸収するため、正規化が行なわれる。この正規化は、通常、その文字が何であるかを示すカテゴリ情報や、誰が書いたかを示す筆者情報とは全く無関係に行なわれる。これに対し、正規化の際にカテゴリ情報を用いた手法がHPDAシリーズである。本章では、正規化時に同一の筆者が書いた多数の文字、すなわち、紙面からその筆記者の個人性を抽出し、これを特徴抽出に用いる方法について述べる。これを図に示すと図7.1のようになる。

7. 2 個人性抽出のためのアルゴリズム

7. 2. 1 手書き文字に付随する個人性

図7.2(a), (b)に、2人の別個の人物が書いたデータ・シートの例を示す。図7.2(a) (b)の文字は、両方とも比較的奇麗であるが、(b)は文字全体が右上りになっているなど、シート全体に筆記者の個性が感じられる。また、これらのシートは、同一筆記者が同一時刻に書いたものであり、各シート内での文字の大きさや形態などは良く類似している。従って、同一人物が書いたという保証のあるシートの場合、そのシートから筆記者の個性を抽出し、それを認識アルゴリズムに反映することは意味あることと考えられる。

7. 2. 2 FFTによる個人性としての文字の傾きの検出

本章では、個人性として特に水平ストローク成分の傾きを問題とする。これは、文字全体が右上りになっていることは、良く起こりうることであり、また、実験のための取扱いが容易で、本論文全体として使用している方向性特徴では、方向のミスマッチが特に問題となるからである。

傾きの検出としては2次元FFTを用いる。すなわち、文字パターンを

$$f(i, j) = \begin{cases} 1 & (\text{文字線あり}) \\ 0 & (\text{文字線なし}) \end{cases} \quad 1 \leq i, j \leq 64 \quad (7.1)$$

とした時、その2次元FFTは

$$F'(f_x, f_y) = \sum \sum f(i, j) e^{-\sqrt{-1}i2\pi f_x} e^{-\sqrt{-1}j2\pi f_y} \quad (7.2)$$

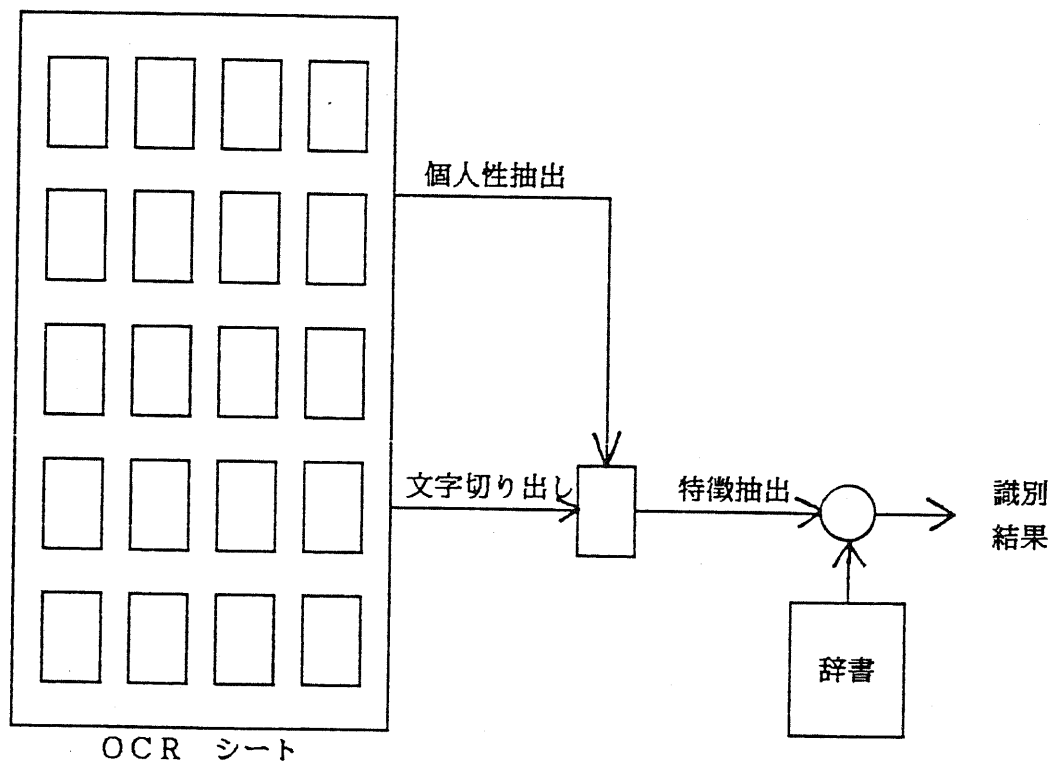


図7.1 紙面から抽出された個人性情報の利用

ら	横	角	り	九	個	る
困	仮	完	久	郡	後	差
一	河	閑	旧	軽	厚	細
運	賀	寄	競	兼	構	策
馱	開	規	局	見	号	算

ら	横	角	り	九	個	る
困	仮	完	久	郡	後	差
一	河	閑	旧	軽	厚	細
運	賀	寄	競	兼	構	策
馱	開	規	局	見	号	算

図7. 2 (b) データシート の例
(第15データセット第10シートの一部)

図7. 2 (a) データシート の例
(第14データセット第10シートの一部)

で表わされ、特に、次式で示すパワースペクトル密度 $F(f_x, f_y)$ に注目する。

$$F(f_x, f_y) = |F'(f_x, f_y)| \quad (7.3)$$

文字を2次元FFTすると、そのパワースペクトル密度は f_x 、 f_y の両軸に沿って集中する。これは f_x 軸は文字の縦線分、 f_y 軸は文字の横線分を表わしているからである。従って、文字が右上りになるなどして、文字の横線分が水平でなくなると、このパワースペクトルは f_y 軸からずれることになる。図7.2(a), (b)のデータについて2次元FFTを行い、これらを重ね併せた結果を図7.3(a), (b)に示す。この両図からわかるように傾きが変化するとパワースペクトルの形が変化し、結果として傾きが推定できる。

傾きの検出法としては、まず $F(f_x, f_y)$ をある閾値 $T_h (=4)$ で2値化し、 $F_B(f_x, f_y)$ を得る。次に、

$$F_y = \max \{ f_y \mid F_B(f_x, f_y) = 1 \} \quad (7.4)$$

を満たす点 (F_x, F_y) を求め、

$$\theta = \tan^{-1}(-F_x/F_y) \quad (7.5)$$

にて傾き角度 θ を求める。ただし、 θ の符号は右上りの時を正とする。この方法によって得た各シートの傾き角度を表7.1に示す。

7.2.3 傾き検出角度の精度

本手法では、手書き文字の傾きの大雑把な値を求めるだけで十分であり、極めて高い精度を要求しているわけではない。しかしながら、本手法がどの程度の誤差を持つかを知ることが重要である。まず、傾きがほぼ0と考えられるシート（第1データセット第1シート）を選び、シート全体の文字が θ_{in} 度右上りになるようにアフィン変換を施す。すなわち、次式で $f_a(i, j; \theta_{in})$ を得る。

$$f_a(i, j; \theta_{in}) = f(i, j - (i-32)\tan\theta_{in}) \quad (7.6)$$

次に、これらの文字に対し上記手法で傾き θ_{out} を求める。これを、図7.4に示す。 θ_{in} と θ_{out} は、ほぼ正比例しており、その誤差は数度程度に収まっていることが確認できる。

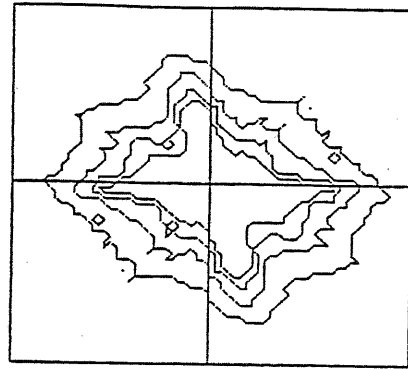
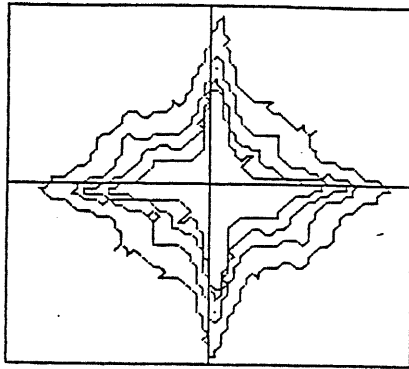


図7. 3(a) 第14データセット第10シート
の96文字のパワースペクトル

図7. 3(b) 第15データセット第10シート
の96文字のパワースペクトル

表7. 1 FFTによって求めた各データセット各シートの傾き角度(度)

		シート番号									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
データ セット 番号	1	0	3	0	0	3	3	2	3	0	4
	2	3	0	3	4	0	0	3	3	0	0
	3	6	0	4	0	0	3	0	-2	3	3
	4	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0
	5	7	0	6	0	3	0	0	3	4	3
	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	3	4	3	0	0	3	3	3
	8	0	-3	7	0	-3	7	0	3	0	3
	9	3	0	3	4	4	0	-3	0	0	0
	10	0	0	0	0	3	4	5	-2	0	0
	11	0	3	0	0	0	0	-3	0	3	-2
	12	3	-3	0	0	0	0	4	3	0	0
	13	3	3	6	3	0	0	0	0	0	0
	14	3	7	0	4	2	0	4	0	4	0
	15	0	6	5	0	3	7	8	0	3	13

7. 2. 4 サンプル数による傾き検出の精度

上記では、傾き角度を求めるために、シートの文字を全部(95又は96字)使用した。パワースペクトルは、使用文字に大きく依存するため、この文字数が減ると、安定に傾きを検出できなくなる可能性がある。従って、少なくともどの程度の文字が必要かを知らなければならない。もちろん、日本語では、文章中の約8割はひらがなであるといわれており、条件が本論文で用いている実験用シートと異なるため、安定性を同一には論ずることができない。7. 2. 2で用いた第14データセット第10シートを使用し、文字数を先頭から10, 20, 50字だけ選択し、パワースペクトル密度分布を求める。これを図7.5(a), (b), (c)に示す。これから、直感的にはあるが、このシートの場合少なくとも20字は必要と言えるであろう。

7. 3 個人性情報を用いた認識実験

7. 3. 1 使用するデータ

電総研手書き文字データベースETL8を用いる。付録1で述べるように、ETL8は教育漢字881字とひらがな75文字の合計956文字で構成されている。これをデータセットと言う。各データセットは95字又は96字からなる10枚のシートで構成されており、各シートは同一人物が筆記する。従って、各データセットは10人の筆記者で作成されていることになる。辞書として第1～10データセットを用い、未知文字としては第15データセットの第10シートを用いる。このシートは、図7.2(b)と表7.1で示したように約13度右上りで最も傾きがひどい。

なお、本論文では、データセットを15個しか入手しなかったため、第15データセット第10シートの約13度の傾きが最もひどい。しかし、ETL8全体では160データセットあり、この中の第91データセットは特に傾きが著しく、視察によっても約45度程度まで傾いていることが確認されている⁽¹⁸⁰⁾。なお、各文字はオリジナルのデータを64×64の大きさに変換している。

7. 3. 2 抽出する特徴ベクトル

特徴ベクトルとしては、簡単のため4方向の方向性だけを用いる。これは、第6章のHPDA/STで用いた手法と同一である。

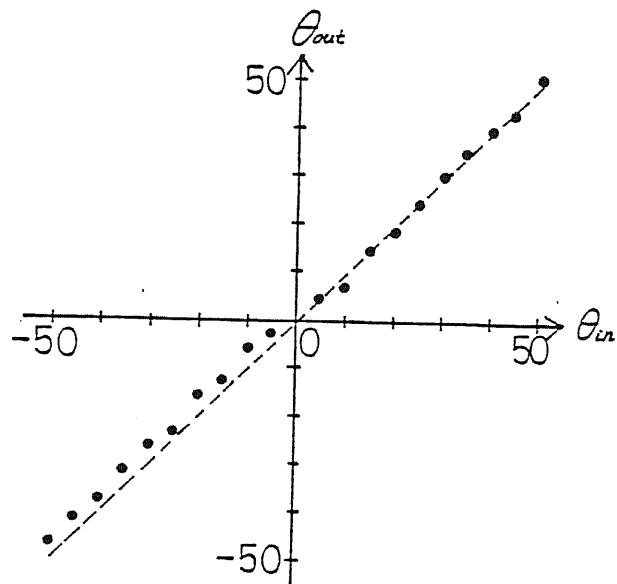


図7.4 傾き検出角度の精度

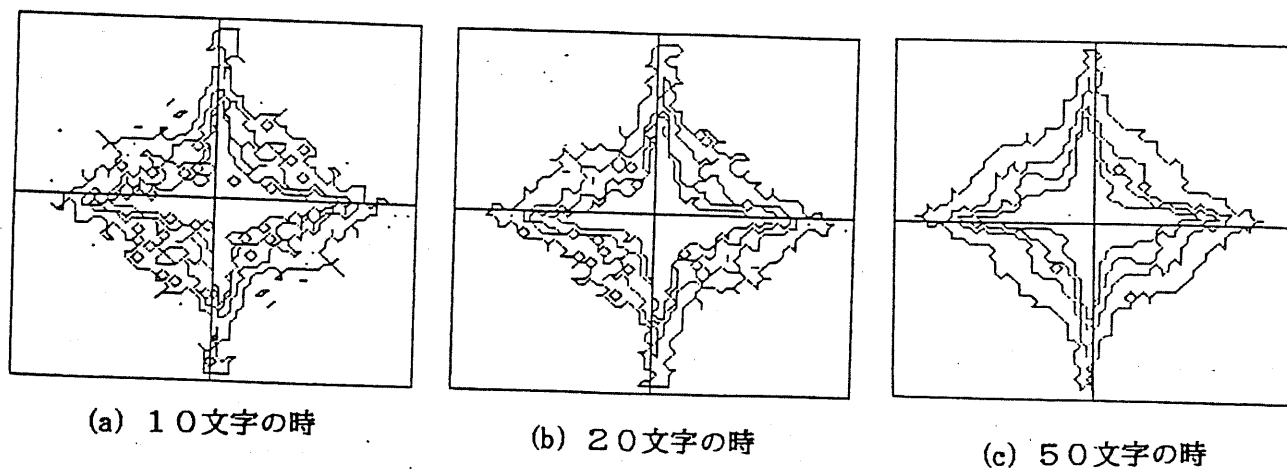


図7.5 データ数に依存するパワースペクトル

7.3.3 個人性の利用方法

まず、各文字を2次元FFTし、シートごとに傾き θ を求める。次に、この θ を用いて水平方向ストロークの傾きが0になるようにアフィン変換し、この操作をAと言う。操作Aの後、特徴ベクトルとして方向性を求め、この操作をDと言う。さらに、この後、文字の傾きが θ になるように逆アフィン変換をする。これを A^{-1} と言う。すなわち、各文字はシートを用いて傾き θ を求めたのち、操作 ADA^{-1} に従って、特徴抽出される。

ここで、 A^{-1} を行う理由は次のとおりである。一般に、右上りの文字 f は図7.6(a)のようになる。この f にAを施し、 fA を求めると図7.6(b)のようになる。従って、 fA は方向だけ正しいが、その位置がずれていることになる。従って、 fA に対し、方向性を抽出したあと、さらに A^{-1} を施し、 $fADA^{-1}$ を求める。本論文でのデータの傾きは最大13度程度と小さいので、この効果は目立たないが、傾きがひどくなると性能を発揮する。実際のデータ例を図7.7に示す。

辞書は第1～10データセットの各文字に対し、操作 ADA^{-1} を行ったあと、これらを線密度イコライゼーションを用いて 8×8 の解像度に落とし、重ね合わせて作成する。この辞書を、第2辞書をする。さらに、 2×2 に解像度を落とし、これを第1辞書とする。認識時には、 ADA^{-1} された未知文字に対し、第1辞書を用いて、200位まで候補を絞ったのち、第2辞書を適用する。

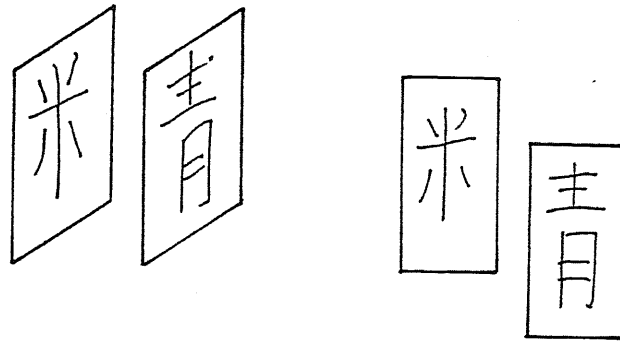
7.3.4 認識実験

7.3.4.1 ぼかしの効果

一般に、辞書にぼかしを加えると認識率が向上することが知られている。従って、本章でも第2辞書にぼかしを加えることにする。まず、ぼかしとして、次の正規分布を仮定する。

$$f(i) = (1/\sqrt{2\pi}\sigma) e^{-i^2/2\sigma^2} \quad (i \text{の単位は画素}) \quad (7.7)$$

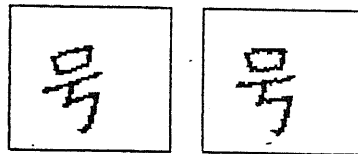
σ をパラメータにとり、第15データセット第10シートの96文字に対する認識率を求めた結果を図7.8に示す。この図で ADA^{-1} の場合、 $\sigma = 0.6$ 画素が最適であり、以後この値を選択する。なお、この時のぼかしマスクを図7.9に示す。



(a) 右上り文字 f の例

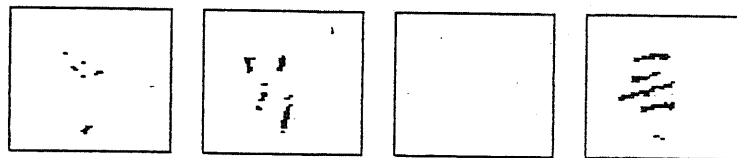
(b) 右上り文字 f の
アフィン変換 A の後

図7.6 逆アフィン変換 A^{-1} を行う理由

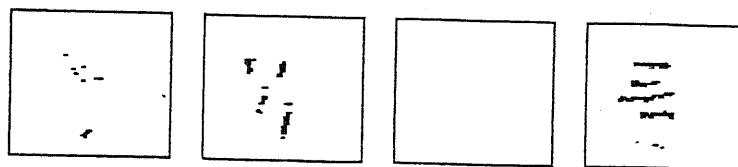


(a) 原データ f

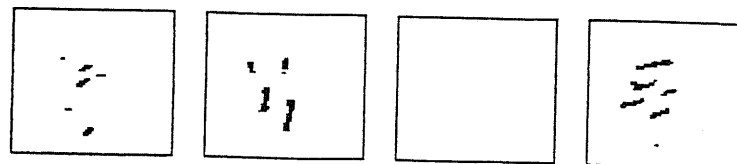
(b) fA



(c) 方向性特徴 $fADA^{-1}$



(d) 方向性特徴 fAD



(e) 方向性特徴 D

図7.7 傾き補正後の特徴抽出例

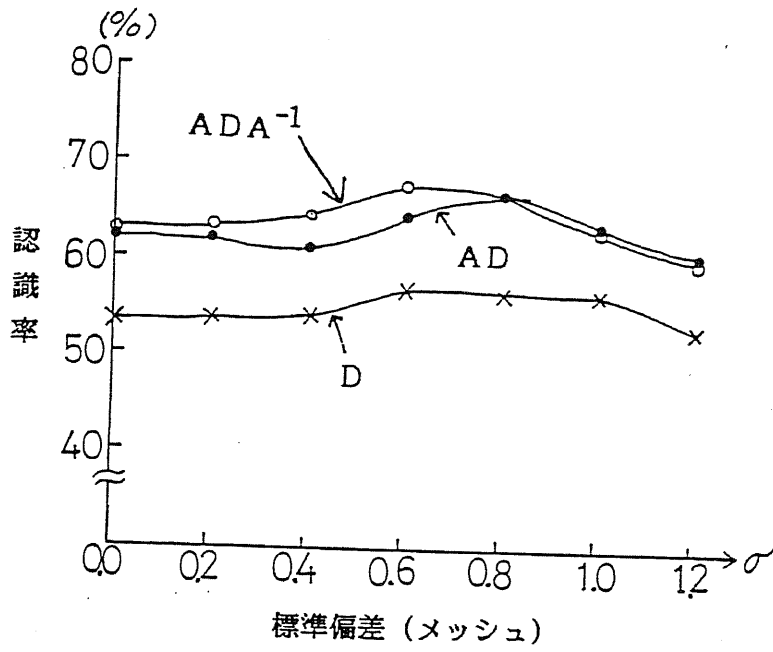


図7.8 正規分布型ぼかしに対する認識率

4	17	4
17	66	17
4	17	4

図7.9 最適値 $\sigma=0.6$
の時のぼかしマスク

7.3.4.2 認識率

辞書に上記ぼかしを施し、各シートについて認識率を求めた結果を表7.2に示す。表でADは A^{-1} を行わなかった結果、Dはアフィン変換自体を行わなかった結果である。表よりわかるとおり、約13度傾いている第15データセット第10シートは ADA^{-1} が最も良く、Dに比べ約9%良好な認識率が得られている。この場合、ADに比べ ADA^{-1} の方がわずかに良いにすぎない。これは文字の傾きが13度程度と比較的小さかったせいである。他のシートでは、傾き自体が少ないのでほとんど効果がない。なお、表7.2における認識率とは辞書が956文字の時、未知文字96字に対する認識率である。第15データセット第10シートの累積分類率を図7.10に示す。

7.3.5 誤りパターンに関する考察

特に、第15データセット第10シートについて考察する。 ADA^{-1} で正しく認識され、A、D、Dの両方で誤ったカテゴリは「開」→「聞、聞」「差」→「定、毛」

「唱」→「同、駅」「筑」→「供、駅」「力」→「市、市」の5カテゴリである。

また、 ADA^{-1} 、ADで正しく認識され、Dで誤ったカテゴリは、「駅」→「秋」「規」→「現」「号」→「足」「室」→「完」「祝」→「罍」「所」→「散」「度」→「放」「木」→「末」「を」→「退」「立」→「鉞」の10カテゴリである。さらに、Dで正しく認識し、 ADA^{-1} で誤ったカテゴリは、「見」→「貝」

「船」→「植」「飯」→「数」「勉」→「知」「無」→「声」の5カテゴリであった。これらの5カテゴリは、文字線の傾きが他の文字より小さい。すなわち、紙面全体の特徴から若干のずれがあるため、傾き補正を行う事により、かえって逆方向（右下り）に傾きを作り、これが誤認識の原因となった。

7.4 まとめ

本章では、同一人物の筆記した多数の文字から、水平方向ストロークの傾きという個人性情報を求め、この情報を用いて特徴抽出を行う方法について検討を行った。これによると、個人性情報を用いた場合、用いないときに比べ約13傾いたシートの96文字に対し、約9%良好な認識率が得られた。なお、ここでは、個人性情報として特に傾きだけに注目したが、これは単に実験の容易さに基づく理由からだけであり、他の有効な個人性情報の活用もむろん可能である。さらに、また、ここでは切り出された文字枠から傾きを求めたが、一般的には、文字が切り出されていなくても、同様な方法で傾きは検出可能と思われる。

表7.2 各シートの認識率

データセット番号	シート番号	文字数	傾き (度)	認識率 (%)		
				ADA ⁻¹	D	AD
11	10	96	-2	77.1	76.0	76.0
12	10	96	0	96.1	96.1	96.1
13	10	96	0	96.1	96.1	96.1
14	10	96	0	77.1	77.1	77.1
15	10	96	13	49.0	39.6	45.9

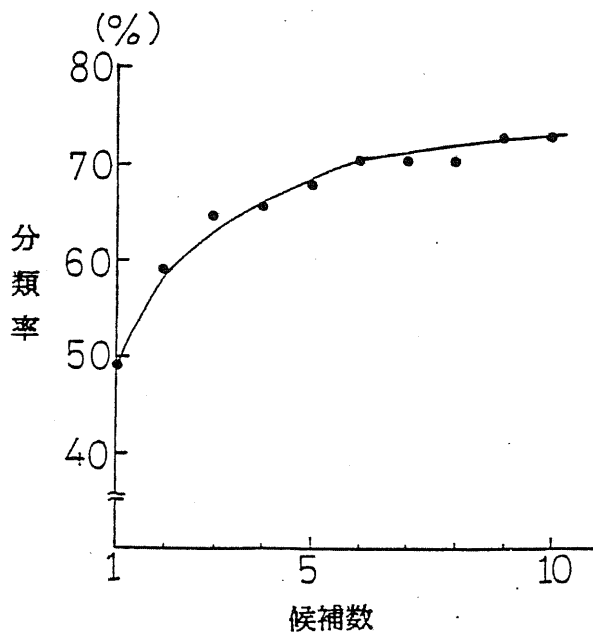


図7.10 第15データセット
第10シートの分類率

第8章 結論

本論文では、手書き文字認識のアルゴリズムについて述べた。手書き文字認識のアルゴリズムは、現状では、文字の切り出し、大分類、識別、詳細識別、後処理というように、段階的に行なわれるのが、一般的である。今後とも、このような構成は変化しないと思われる。従って、本論文でも、処理の手順としては、このようなステップを想定している。

まず、第2章では、従来の文字認識の技術を簡潔に概観し、その問題点を明らかにした。つまり、筆者が研究を開始した時点(1982年頃)では、文字認識技術の中でも、特に文字の識別技術が重要であり、どのような特徴を、どのようにして抽出し、これをいかに使えば、最も識別率が向上するかということが中心的課題となっていた。

第3章では、このような識別に至る前の手順として、手書き文字の大分類実験を試みた。大分類に使う特徴は2種あり、1つは、識別で使う特徴の次元を下げたものである。他の1つは、全く別の特徴を使うものである。後者では、方向性特徴を使うのが定石となりつつあるため、本論文でも、この方向性特徴を使用した。さらに、方向性特徴には、背景の情報が抜けているため、これを補完する意味で、背景特徴としてCWRを導入し、実験的に性能の向上を確認した。

第4章では、手書き文字の大分類を高速化する方法について述べた。大分類は、識別が非常に時間を要するので、あらかじめ、ある程度候補を絞っておく必要から行う。このため、大分類は、なるだけ高速にかつ安定に行う必要がある。ここでは、辞書の各カテゴリをツリー状に構成しておき、あらかじめ与えられたクラスターを、大分類のための候補とする方法を採用した。これにより、約1/3程度の高速化が可能となった。

第5章では、識別について検討を行った。ここでは、特徴自体には注目せず、いわば、特徴の使用法についての考察を行っている。つまり、手書き文字は通常、手書きの変動を含む。このため、このような変動にも容易に追従する手法でないと、乱雑な筆記者の場合には、低い認識率しか得られないことになる。このため、辞書自体をあらかじめツリー状にしておき、トップダウン的に辞書を未知文字に整合させることを考える。このような方法により、手書き文字特有の変動を吸収し、安定な整合結果が得られることを実験的に確認した。

第6章では、同じく識別に関する検討を行った。ここでのポリシーは第5章と同じであるが、これをさらに一歩押し進めたものである。すなわち、辞書をツリー状にするとき、ただ単に絶対座標などで行わず、文字の持つ構造、つまり、文字のストロークを基礎として、文字の分離部分、さらに各分離部分の中で各ストロークの位置関係を考慮して作成している。これにより、例えば、偏と秀の相対位置関係のずれや、各ストローク間でのずれに対し、安定に対応することができ、その性能を実験的に確認した。

第7章では、視点を若干変えて、特徴の抽出に個人性を利用することを検討した。特徴としては、本論文で一貫して用いているので、方向性を考え、個人性としては、利用が非

常に容易で、かつしばしば見られることから文字の傾きを選択した。傾きは各シートの文字全体から検出され、これを用いて、各文字をアフィン変換することにより、安定に方向性特徴を求めている。文字の傾きが大きければ大きいほど有効に動作することを、実験により確認している。

本論文での研究は、大部分が単一の文字のみを扱うものであった。すなわち、本論文は、文字枠のおよそ $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ の中に閉じ籠もっていたことになる。人間は、文書を読むとき、必ずしも1字1字を丁寧に解読しながら読むわけではなく、数文字を同時に見ながら前後の関連性から、先の文字を推定しつつ文字を認識している。今後はこのように、単一の文字だけを扱うのではなく、文章全体を考慮した文字認識を研究する必要がある。

手書き文字の認識技術は

このように処理を繰り返す文字を

読みはじめに読み終えたとき

の処理はどうか？

謝 辭

■ 謝辞 ■

本論文を書き終えるにあたり、大学院修士課程2年間、博士課程3年間と長きにわたり、ご指導くださいました、故宮川洋教授、ならびに原島博助教授に心より感謝の意を表します。大学院5年間といえば、小学校に次ぐ長さであり、この間、暖かく、時には厳しく見守って下さった、両先生には、お礼の言いようありません。特に、宮川洋教授は、研究の大詰を迎えて急逝され、本論文にご意見を頂くことができず、残念でなりません。

また、単に、研究のみならず、日常のご支援を頂いた、研究室の方々にも、深く感謝いたします。渡辺広次助手には、研究上必要な資材の確保などのご支援を頂きました。松尾達郎技官には、ロジック等のハードウェアに関する御助言を頂きました。現大学院生の荒川薫氏、今村・オズバルド・勝美氏、松本勉氏、森島繁生氏、相澤清晴氏、後川彰久氏、厲暁峰氏、鈴木教洋氏、宮尾泰寛氏、中塚的志氏、研究生の川上新吉氏、中出浩志氏には、研究室での生活上、さまざまな気配りを頂きました。元大学院生の小野諭氏には、研究環境としてのネットワークプログラムに関する示唆を頂きました。同じく、山田隆弘氏、藤井哲郎氏、久門耕一氏、渡辺栄一氏、葉原敬士氏、藤長昌彦氏には卒業される以前、各御専門分野についての知見を頂きました。元大学院生で、神奈川大学の斉藤隆弘助教授には、学会参加の折など、各種のお世話を頂きました。秘書の寺田明代さんには、プログラミングの疲れを癒すため、美味なるコーヒーを作って頂きました。

さらに、研究の前半で、ミニファックスを貸していただいた、NTT元横須賀通研・画像通信装置研究室の金谷室長、松岡室長、小川調査員、研究の後半に使用させていただいた計算機 MELCOM COSMO 800III を管理して下さる羽鳥研の羽鳥助教授、田崎氏、塚本氏、西村氏、池田氏、志田氏、中田氏、伊本氏の各氏、手書き文字データベースの使用を許可して下さった、電子技術総合研究所・パターン情報部・画像処理研究室の方々にも感謝しなければなりません。また、三田工業(株)の清水氏、山本氏には、本論文の内容には、直接的な関連はないにせよ、各種の便宜を図って頂きました。

あえて、名前は挙げませんが、この他にも、多数の方々にお世話になりました。本論文は、このように大勢の方々のご支援のもとで、初めて作成が可能となったのであり、この御恩は、一生忘れることはできません。

1985年 12月 21日

参考文献

■ 概説的な参考文献 ■

- (1) 木村正行：“知識を活用する漢字認識システム”，信学誌,68,9,pp.986-989 (昭60-09).
- (2) 大澤一爽：“文字の科学”，法政大学出版局(1985).
- (3) 森俊二：“文字・図形認識技術の基礎”，オーム社(1984).
- (4) S.Mori,K.Yamamoto,and M.Yasuda：“Research on Machine Recognition of Handprinted Characters”，IEEE Trans.on Pattern Analysis and Machine Intelligence ,vol.PAMI-6,pp.386-405,July,1984
- (5) 長尾真：“画像認識論”，コロナ社(1983).
- (6) 橋本新一郎編：“文字認識概論”，電気通信協会(1982).
- (7) 桑原：“大分類の段階がほぼ完成した手書き漢字認識の研究”，日経エレクトロニクス,第279号,pp.148-167(昭56-12).
- (8) 飯島泰蔵：“筆記文字の認識技術”，信学誌,64,5,pp.475-480(昭56-05).

■ 手書き文字データベースに関する参考文献 ■

- (9) 山本, 斉藤, 山田: “J I S第1水準手書漢字データベースE T L 9の目視評価と文字データベースの利用推移”, 昭60信学情報システム全大, S4-2
- (10) 斉藤, 山田, 山本: “J I S第1水準手書漢字データベースE T L 9とその解析”, 信学論(D), J68-D, 4, pp.757-764(昭60-04).
- (11) 斉藤, 山田, 山本, 岡, 安田, 坂倉, 曾根: “手書教育漢字データベースの目視による調査”, 昭57信学総全大, 1342
- (12) 斉藤, 山田, 山本, 森: “手書文字データベースの解析(V)”, 電子技術総合研究所彙報, 45, 1, 2(昭56-01, 02).
- (13) 斉藤, 山田, 森: “手書文字データベースの解析(IV)”, 電子技術総合研究所彙報, 44, 4(昭55-04).
- (14) 森, 山本, 山田, 斉藤: “手書教育漢字データベースについて”, 電子技術総合研究所彙報, 43, 11, 12(昭54-11, 12).
- (15) 斉藤, 山田, 森: “手書文字データベースの解析(III)”, 電子技術総合研究所彙報, 42, 5(昭53-05).
- (16) 山田, 森: “手書文字データベースの解析(II)”, 電子技術総合研究所彙報, 40, 6(昭51-06).
- (17) 山田, 森: “手書文字データベースの解析(I)”, 電子技術総合研究所彙報, 39, 8(昭50-08).

■ 個々の参考文献 ■

【宇都宮大学】

- (18) 山谷, 青木: “学習機能を持つ手書き筆記体英単語認識システム”, 信学技報, PRL84-69(1985-01).
- (19) 佐川, 田中, 鈴木, 藤田: “手書き文字の特徴空間上の領域および分布の学習”, 信学論(D), J66-D, 2, pp.143-150(昭58-02).
- (20) 吉野, 木: “構文的手法を用いての手書き筆記体英単語の認識”, PRL82-47(1982-11).
- (21) 佐川, 田中, 鈴木, 藤田: “手書き英文字の学習について”, 昭57信学総全大, 1337
- (22) 吉野, 青木: “手書き連続筆記体文字列の認識”, 昭57信学総全大, 1336
- (23) 佐川, 田中, 鈴木, 藤田: “手書き英文字の特徴の学習”, PRL81-77(1982-02).
- (24) 青木恭太: “文脈自由形木言語の誤り訂正構文解析法による線図形の認識”, PRL81-1(1981-05).

【NHK】

- (25) 福島, 三宅, 平野: “ネオコグニトロンの原理を用いた手書き数字認識”, 昭58信学情報システム全大, 78
- (26) 福島, 三宅, 伊藤: “ネオコグニトロンの原理を用いた数字パターン認識”, 信学論(D), J66-D, 2, pp.206-213(昭58-02).
- (27) 福島, 三宅, 伊藤: “ネオコグニトロンの原理を用いた数字パターン認識”, PRL82-41(1982-11).
- (28) 福島, 三宅: “ネオコグニロン: 変形や位置ずれに強いパターン認識方式”, PRL80-34(1980-09).

【愛媛大学】

- (29) 馬場口, 国弘, 相原: “漢字認識における段階的整合方式の効果”, 信学論(D), J68-D, 11, pp.1918-1925(昭60-11)
- (30) 馬場口, 塚本, 相原: “自由手書き文書からのキー文字の抽出”, 昭60信学情報システム全大, 66
- (31) 馬場口, 相原: “デジタル2値図形の曲線度測定-漢字と平仮名の分類への応用-”, 昭60信学総全大, 1549
- (32) 馬場口, 塚本, 相原: “手書き文字列からの文字切り出しアルゴリズム”, 昭60信

学総全大,1548

- (33) 馬場口, 相原, 真田, 手塚: “構造的セグメント整合による手書き漢字部分パターンの抽出と同定について”, 信学論(D), J68-D, 3, pp.337-344(昭60-03).
- (34) 馬場口, 相原, 真田, 手塚: “セグメント対応法による手書き漢字部分パターンの抽出と同定”, PRL83-59(1984-01).
- (35) 馬場口, 塚本, 相原, : “手書き文字列における文字切り出しの基礎検討”, PRL83-58(1984-01).
- (36) 馬場口, 正満, 真田, 手塚: “方形セグメント整合法による手書き漢字認識の検討”, 信学論(D), J66-D, 10, pp.1209-1216(昭58-10).
- (37) 馬場口, 相原, 真田, 手塚: “文字パターンにおける方向性セグメントの接続形状と幾何学的特徴部の抽出”, 信学論(D), J66-D, 5, pp.495,502(昭58-05).

【大阪大学】

- (38) 曾, 内尾, 井上, 真田, 手塚: “ルールを用いた毛筆文字評価法の一試案”, 昭60信学総全大, S4-3
- (39) 北村, 北川, 真田, 手塚: “ストローク生成規則を用いた手書き文字パターンのストローク抽出方式と実験的検討”, 信学論(D), J68-D, 9, pp.1680-1688(昭60-09).
- (40) 張, 真田, 手塚: “階層的分解合成法による隷書体漢字の生成”, 信学論(D), J68-D, 8, pp.1489-1496(昭60-08).
- (41) 田中, 村瀬, 青田, 真田, 手塚: “部分パターン識別による手書き文字の詳細識別”, 昭60信学総全大, 1575
- (42) 王, 真田, 手塚: “三角号碼による手書き漢字認識のついて”, 昭60信学総全大, 1574
- (43) 北村, 真田, 手塚: “知識を用いたストローク抽出”, PRL85-8(1985-05).
- (44) 北川, 北村, 真田, 手塚: “平仮名・漢字分離の一手法”, 昭60信学総全大, 1550
- (45) 王, 真田, 手塚: “手書き文字認識について”, 信学技報, PRL84-81(1985-02).
- (46) 塩野, 橋本: “24ドット明朝体漢字をもとにした直線と円弧による大型ゴシック体漢字の生成と表示”, 信学技報, PRL84-82(1985-02).
- (47) 田中, 塩野, 真田, 手塚: “動的方向性整合法による手書き漢字認識”, 信学論(D), J68-D, 1, pp.56-63(昭60-01).
- (48) 綾目, 北村, 真田, 手塚: “多段階識別法を用いた類似カテゴリーの詳細識別”, 信学技報, PRL84-72(1985-01).
- (49) 青田, 田中, 塩野, 真田, 手塚: “手書き漢字の部分パターン抽出”, 信学技報, PRL84-71(1985-01).

- (50) 王, 真田, 手塚: “三角号碼による手書き漢字の大分類”, PRL84-43(1984-10).
- (51) 内尾, 張, 真田, 手塚: “漢字楷書毛筆字体生成パラメータの半自動決定システム”, PRL84-35(1984-09).
- (52) 張, 真田, 手塚: “計算機による漢隸の生成”, PRL84-34(1984-09).
- (53) 張, 真田, 手塚: “漢字楷書毛筆字体の計算機による生成”, 信学論(D), J67-D, 5, pp.599-606(昭59-05).
- (54) 北川, 北村, 綾目, 真田, 手塚: “手書き文字パターンのストローク抽出手法”, PRL84-14(1984-05).
- (55) 馬場口, 相原, 北村, 真田, 手塚: “セグメント整合法による手書き漢字部分パターンの抽出と同定”, 昭59信学総全大, 1625
- (56) 北川, 綾目, 北村, 真田, 手塚: “ストローク生成規則に基づく手書き文字ストローク抽出法”, 昭59信学総全大, 1626
- (57) 田中, 桜井, 青田, 真田, 手塚: “手書き漢字の部分パターン識別に関する一考察”, PRL83-81(1984-03).
- (58) 青田, 田中, 塩野, 真田, 手塚: “手書き漢字の部分パターン抽出の一手法”, 昭58信学情報システム全大, 101
- (59) 田中, 青田, 塩野, 真田, 手塚: “手書き漢字の部分パターン抽出の一方式”, PRL83-26(1983-07).
- (60) 綾目, 北村, 真田, 手塚: “特徴点を用いた手書き文字パターンのデータ圧縮”, PRL83-25(1983-07).
- (61) 張, 真田, 手塚: “漢字楷書毛筆字体の計算機による生成”, PRL83-24(1983-07).
- (62) 服部, 渡辺, 真田, 手塚: “ベクトル場を用いた伸縮変換による手書き文字文字の局所的変動の吸収”, 信学論(D), J66-D, 6, pp.645-652(昭58-06).
- (63) 田中, 塩野, 真田, 手塚: “動的方向性整合法による手書き漢字の認識”, PRL83-6(1983-05).
- (64) 張, 真田, 手塚: “楷書毛筆字体の計算機による生成”, 昭58信学総全大, 1403
- (65) 田中, 塩野, 真田, 手塚: “動的方向整合法による手書き文字認識”, 昭58信学総全大, 1399
- (66) 服部, 寺井, 服部, 渡辺, 真田, 手塚: “ベクトル場のダイバージェンスと重み付き自己相関行列を用いた手書き文字の大分類”, 昭58信学総全大, 1398
- (67) 手塚, 真田, 服部, 田中, 北村, 正満: “文字領域境界からの距離に着目した文字認識システムについて”, PRL82-75(1983-01).
- (68) 正満, 馬場口, 真田, 手塚: “近傍状態を考慮した方向セグメント短形表現による手書き漢字の大分類”, PRL82-43(1982-11).

- (69) 服部, 渡辺, 真田, 手塚: “ベクトル場のダイバージェンスを用いた特徴抽出による手書き文字の大分類”, PRL82-42(1982-11).
- (70) 北村, 綾目, 真田, 手塚: “細線化を用いない手書き文字パターンのセグメント抽出法”, PRL82-40(1982-11).
- (71) 塩野, 真田, 手塚: “明朝体漢字パターンからゴシック体漢字パターンへの字体変換の一手法”, 信学論(D), J65-D, 11, pp. 1366-1373(昭57-11).
- (72) 馬場口, 北村, 塩野, 真田, 手塚: “細線化を用いない文字パターンの方向性セグメント抽出の一手法”, 信学論(D), J65-D, 7, pp. 874-881(昭57-07).
- (73) 馬場口, 正満, 塩野, 真田, 手塚: “方向セグメントの矩形表現による手書き漢字大分類の一手法”, 昭57信学総全大, 1360
- (74) 牧野, 赤田: “濃淡領域を含む文書画像の2値再生について”, 信学論(D), J65-D, 3, pp. 307-314(昭57-03).
- (75) 小山, 広瀬, 北村, 塩野, 真田, 手塚: “方向性ランレングス法による漢字パターンのデータ圧縮”, PRL81-95(1982-02).
- (76) 馬場口, 正満, 塩野, 真田, 手塚: “方向セグメントの矩形表現による手書き漢字の大分類”, PRL81-60(1982-02).
- (77) 服部, 渡辺, 真田, 手塚: “ベクトル場を用いた伸縮変換整合法による文字認識”, PRL81-76(1982-02).
- (78) 服部, 渡辺, 真田, 手塚: “チェス盤距離分布に基づくベクトル場整合法を用いた手書き文字認識”, 信学論(D), J64-D, pp. 1097-1104(昭56-12).
- (79) 馬場口, 北村, 塩野, 真田, 手塚: “文字パターンの方向セグメント抽出の一手法”, 昭57信学情報システム全大, 72
- (80) 塩野, 真田, 手塚: “明朝体漢字パターンからゴシック体漢字パターンへの変換法”, 昭56信学情報システム全大, 80
- (81) 馬場口, 塩野, 真田, 手塚: “特徴領域整合法による手書き文字の認識”, PRL81-19(1981-06).
- (82) 塩野, 小山, 真田, 手塚: “簡易伸縮整合法による常用手書き文字の認識”, 信学論(D), J64-D, 5, pp. 387-394(昭56-05).
- (83) 塩野, 田中, 小山, 真田, 手塚: “特徴類似度法による手書き文字の認識”, PRL80-73(1981-01).
- (84) 塩野, 真田, 手塚: “DPを用いた伸縮整合法による常用手書き文字認識実験”, PRL80-22(1980-07).
- (85) 塩野, 小山, 真田, 手塚: “簡易伸縮整合法による常用手書き文字の認識実験”, PRL80-1(1981-07).

- (86) 塩野, 真田, 手塚: “漢字ドットパターンの次数変換と整形の一手法”, 信学論(D), J63-D, 7, pp. 557-564(昭55-07).
- (87) 塩野, 馬場口, 真田, 手塚: “方向性マッチングによる常用手書き文字の認識”, 信学論(D), J63-D, 5, pp. 402-409(昭55-05).
- (88) 服部, 渡辺, 真田, 手塚: “ベクトル場を用いた整合法による文字認識”, PRL79-112(1980-03).
- (89) 荒木, 真田, 手塚: “投影手法を用いた手書き文字の認識”, PRL79-102(1980-03).
- (90) 塩野, 小山, 真田, 手塚: “簡易伸縮整合法による手書き文字の認識”, PRL79-80(1980-02).
- (91) 塩野, 馬場口, 真田, 手塚: “領域情報による大分類と方向性マッチングによる常用手書き文字の認識実験”, PRL79-25(1979-07).
- (92) 塩野, 馬場口, 真田, 手塚: “曲面補間を用いた文字サイズの正規化と方向性マッチングによる手書き文字の認識”, PRL78-66(1979-01).
- (93) 服部, 真田, 手塚: “擬似不動点による文字図形認識の一手法”, PRL78-63(1979-01).
- (94) 塩野, 真田, 手塚: “ストローク分解法による手書きひらがなの認識実験”, PRL78-39(1978-09).
- (95) 荒木, 辰巳, 真田, 手塚: “誤り制御機能を用いた文字識別機の構成”, PRL78-9(1978--5).
- (96) 蔭山, 塩野, 辰巳, 真田, 手塚: “手書きカタカナ認識の一方式”, PRL77-63(1978-02).
- (97) 塩野, 手塚: “ストローク分解法による手書きひらがなの認識”, PRL76-75(1977-01).

【大阪市立大学】

- (98) 鈴木, 宮本, 志水, 北浜: “近傍パターンを用いた漢字認識に適した細線化の一手法”, PRL78-55(1978-12).

【岡山理科大学】

- (99) 塩野充: “スーパーコンピュータを用いた多重辞書類似度法による手書き漢字実験”, 昭60信学情報システム全大, 79
- (100) 塩野, 橋本: “方向セグメントの加算図形を用いた線図形のn次特徴点抽出の一検討”, 信学論(D), J68-D, 4, pp. 813-820(昭60-04).

- (101) 塩野, 橋本: “セグメント端の結合による手書き漢字のストローク抽出”, 昭58信学情報システム全大,100

【沖電気工業株式会社】

- (102) 伊東, 小川, 山下: “構造化線素整合法による印刷漢字認識”, 昭60信学情報システム全大,77
- (103) 成田, 後藤, 山下: “手書き数字を対象とした文字切り出し法”, 昭60信学総全大,1552
- (104) 後藤, 成田, 山下: “常用漢字・ひらがなの分類”, 昭59信学総全大,1622
- (105) 伊藤, 山下: “ストローク抽出方法”, 昭59信学総全大,1623
- (106) 内村, 有賀, 山下: “手書漢字, ひらがなの認識”, 昭59信学総全大,1624
- (107) 樋口, 有賀, 山下: “手書漢字認識における文字線傾斜検出”, 昭58信学情報システム全大,99
- (108) 山下, 樋口, 山田, 羽下: “構造化線素整合法による手書漢字の大分類”, PRL82-12(1982-06).
- (109) 山田, 山下, 羽下: “手書漢字の大分類法におけるばけ処理の効果”, 昭57信学総全大,1348
- (110) 樋口, 山下, 羽下: “手書漢字の大分類法における分割数の検討”, 昭57信学総全大,1345
- (111) 伊東, 山下, 羽下: “ストローク抽出方法”, 昭57信学総全大,1333
- (112) 山下, 樋口, 山田, 羽下: “構造化線素整合法による手書漢字の大分類”, PRL81-93(1982-02).
- (113) 羽下, 山下, 伊東: “特徴抽出方式”, 昭57信学情報システム全大,76
- (114) 羽下, 山下, 樋口, 山田: “手書漢字の大分類法”, 昭57信学情報システム全大,75

【香川大学】

- (115) 山崎, 井口, 桜井: “文字の微細構造に着目した書写学習システム”, 信学論(D), J67-D, 4, pp.442-449(昭59-04).
- (116) 山崎, 井口, 桜井: “文字認識手法の書写学習への応用”, PRL83-36(1983-10).
- (117) 山崎, 井口, 桜井: “美しさを学習する書き方練習システム”, 昭58信学総全大, 1376

【神奈川大学】

- (118) 浅賀, 高橋: “二方向移動による漢字の縮小化”, PRL83-82(1984-03).
- (119) 高橋, 浅賀, 征矢, 西本, 飯島, 藤田: “アダマール変換とフーリエ変換との関係—アダマール変換による漢字概略形抽出—”, 昭57信学情報システム全大, 74
- (120) 高橋邦夫: “二次元アダマール変換による漢字概略形抽出”, PRL81-17(1981-06).
- (121) 高橋邦夫: “アダマール変換最大係数による漢字概略形抽出”, PRL80-95(1981-02).
- (122) 高橋邦夫: “特殊化アダマール変換による漢字特徴抽出”, PRL80-7(1980-05).
- (123) 高橋邦夫: “漢字特徴抽出”, PRL79-79(1980-02).
- (124) 高橋邦夫: “漢字認識方式”, PRL78-74(1979-02).

【金沢大学】

- (125) 上坂吉則: “図形文節のひとつ筆書き文字認識への応用”, PRL77-28(1977-07).

【キャンノン】

- (126) 加藤雄三: “ストローク構造解析法における辞書に自動作成法”, PRL85-35(1985-10)

【九州大学】

- (127) 長田, 日高: “伝達情報量による尤度積ベクトル次元の削減”, 信学論(D), J67-D, 2, pp. 232-233(昭59-02).
- (128) 長田, 牧野, 日高: “日本語の文脈情報を用いた文字認識”, 信学論(D), J67-D, 4, pp. 520-527(昭59-04).
- (129) 長田, 日高: “一括処理法による手書き文字の認識”, 信学論(D), J66-D, 2, pp. 151-158(昭58-02).
- (130) 長田, 日高: “一括処理法による手書き文字認識—次元数の削減と文字の類別—”, 昭57信学総全大, 1347
- (131) 日高, 長田, 新沢, 高橋: “一括処理法による手書き文字の認識—特徴次元数の削減—”, PRL81-90(1982-02).
- (132) 日高, 長田: “一括処理法による手書きカタカナ文字認識および手書きひらがな文字認識”, PRL81-35(1981-07).
- (133) 日高, 長田, 城塚, 遠藤: “一括処理法による手書き文字認識”, PRL80-74(1981-01).
- (134) 玉木, 加藤: “特異点の分布によるカタカナの認識”, PRL77-38(1977-10).

【京都大学】

- (135) 長尾, 大西: “可変スリット法による漢字の構造解析”, 信学技報, PRL84-70 (1985-01).
- (136) 王, 美濃, 坂井: “3×3単位メッシュ内の濃淡パターンに基づく文書画像領域分割方式”, PRL83-62(1984-01).
- (137) 大田, 森, 坂井: “漢字パターン列の特徴パラメータによる検索—名刺画像における姓名の場合—”, 信学論(D), J64-D, 11, pp. 997-1004 (昭56-11).

【慶應義塾大学】

- (138) 村上, 恩田, 真下, 小沢: “セグメント抽出の一手法”, 昭60信学情報システム全大, 75
- (139) 岩本, 細川, 小沢: “筆点の移動によるストローク抽出法を用いた漢字部首認識の一手法”, 昭60信学総全大, 1566
- (140) 山本, 細川, 小沢, 藤田: “筆点の移動によるストローク抽出法を用いた手書きひらがな文字認識”, 昭58信学情報システム全大, 83
- (141) 細川, 山本, 小沢, 藤田: “筆点の移動によるストローク抽出法を利用した手書き図面のフレーム抽出”, 昭58信学情報システム全大, 58
- (142) 中川, 山本, 許, 小沢, 藤田: “筆点の移動によるストローク抽出法を用いた漢字の部分パターン認識”, 昭58信学総全大, 1385
- (143) 山本, 許, 小沢, 藤田: “筆点の移動によるストローク抽出法のひらがな文字への拡張”, 信学論(D), J65-D, 11, pp. 1398-1405 (昭57-11).
- (144) 許, 山本, 小沢, 藤田: “筆点の移動によるストローク抽出法のマルチフォント印刷漢字への適用”, 信学論(D), J65-D, 9, pp. 1159-1166 (昭57-09).
- (145) 高橋, 山本, 許, 小沢, 藤田: “筆点の移動によるストローク抽出法における類似度の提案”, 昭57信学総全大, 1353
- (146) 山本, 高橋, 許, 小沢, 藤田: “筆点の移動によるストローク抽出法の日本語文字への拡張”, 昭57信学総全大, 1352
- (147) 許, 山本, 高橋, 小沢, 藤田: “筆点の移動によるストローク抽出法の明朝体漢字への拡張”, 昭57信学総全大, 1351
- (148) 岡田, 八木, 北川: “輪郭追跡システムによる印刷文字認識の一手法”, 昭57信学総全大, 1335
- (149) 高橋, 山本, 許, 小沢, 藤田: “漢字認識のための部分パターン抽出”, PRL81-106 (1982-03).
- (150) 許, 高橋, 小沢, 藤田: “印刷漢字の順序情報を持ったストローク抽出法”, 信学

論(D), J65-D, 2, pp. 266-273 (昭57-02).

- (151) 山本, 許, 小沢, 藤田: “筆点の移動によるストローク抽出法の平仮名文字への応用”, PRL81-58 (1981-11).
- (152) 許, 高橋, 小沢, 藤田: “印刷漢字の順序情報を持ったストローク抽出法”, PRL80-92 (1981-02).
- (153) 小暮, 佐藤, 藤田: “複素座標関数を用いた手書き英単語の変動の解析”, PRL80-20 (1981-07).
- (154) Choi, 市川, 藤田: “ハングル認識システム構成と基礎実験”, PRL79-111 (1980-03).

【工学院大学】

- (155) 中村, 鈴木, 南: “横書日本語文書における個別文字の抽出”, 信学論(D), J68-D, 11, pp. 1899-1909 (昭60-11)
- (156) 新井, 中村, 南: “辞書を用いた日本語文書の単語処理に関する検討”, 昭60信学情報システム全大, 64
- (157) 氏家, 中村, 南: “日本語印刷文字の階層的分類アルゴリズム”, 昭60信学情報システム全大, 76
- (158) 中村, 井沢, 南: “欧文接触文字の分離・抽出”, 信学論(D), J68-D, 7, pp. 1425-1426 (昭60-07).
- (159) 中村, 氏家, 岡本, 南: “ミックスマード通信のための文字領域の抽出アルゴリズム”, 信学論(D), J67-11, pp. 1277-1284 (昭59-11).
- (160) 中村, 岡本, 庭田, 南: “欧文テキスト画像における文字領域の抽出アルゴリズム”, 信学論(D), J66-D, 4, pp. 437-444 (昭58-04).

【Concordia University, Canada】

- (161) Q.R.Wang and C.Y.Suen: “Analysis and Design of a Decision Tree Based on Entropy Reduction and Its Application to Large Character Set Recognition”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol PAMI-6, pp. 406-417, July, 1984
- (162) Y.X.Gu, Q.R.Wang and C.Y.Suen: “Application of a Multilayer Decision Tree in Computer Recognition of Chinese Characters”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol PAMI-5, pp. 83-88, Jan, 1983

【静岡大学】

- (163) 向田, 鈴木, 阿部: “境界追跡を利用した流れ図中の文字と図形の分離”, PRL84-70(1984-02).
- (164) モシユ, 郭, 松本: “二重包含整合法による手書き漢字ヘブライ文字の認識”, 信学論(D), J65-D, 8, pp.1011-1017(昭57-08).
- (165) 郭, 松本: “中国印刷体漢字の大分類”, PRL81-10(1981-05).
- (166) モシユ, 松本, 阿部: “ヘブライ文字の認識の実験”, PRL81-9(1981-05).

【聖徳学園女子短期大学】

- (167) 吉村ミツ: “他の筆者の文字によりきめられた特徴にもちづく筆者識別”, 昭60信学総全大, 1572

【製品化学研究所】

- (168) 北島宗雄: “手走査型読書器における文字入力法”, 信学論(D), J68-D, pp.805-812(昭60-04).
- (169) 森川, 北島: “手走査型盲人用音読型文字読み取器の概要”, 昭60信学総全大, 1538
- (170) 北島宗雄: “射影方向パターンによる多種字体印刷漢字認識”, 昭59信学総全大, 1617
- (171) 北島宗雄: “射影方向線素による多種字体印刷漢字認識”, 信学論(D), J67-D, pp.249-256(昭59-03).
- (172) 北島宗雄: “射影方向線素による多種字体印刷漢字認識”, 昭58信学情報システム全大, 98
- (173) 森川治: “マルチフォント漢字の外端点による分類”, 昭58信学情報システム全大, 96
- (174) 北島宗雄: “教科書体を含むマルチフォント印刷文字認識”, 信学論(D), J66-D, 4, pp.400-406(昭58-04).

【筑波大学】

- (175) 大田, 鈴木, 池田: “手書き日本文認識における文字列利用の一方式”, 信学論(D), J68-D, 3, pp.330-336(昭60-03).
- (176) 池田, 大田, 鈴木: “手書き日本文認識における文字列の利用”, PRL82-36(1982-10).

【電子技術総合研究所】

- (177) 山本, 斉藤, 山田, 坂賀: “入力からの対応確率の反映させた弛緩整合法による手書き漢字認識実験”, 昭60信学情報システム全大, 80
- (178) 山田, 山本, 斉藤: “方向性マッチングのための方向性ヒストグラムのDPマッチングによる正規化”, 昭60信学総全大, 1571
- (179) 寅市, 山田, 関田, 山本, 山田, 森: “スプライン関数近似による手書き文字の特徴抽出”, 昭60信学総全大, 1570
- (180) 安田, 山本, 山田, 斉藤: “文字認識のための相関法の一改良—相補的特徴場の手書漢字への応用—”, 信学論(D), J68-D, 3, pp. 353-360 (昭60-03).
- (181) 安田, 山本, 山田, 斉藤: “文字認識のための相関法の一改良—斜向成分を考慮した相補的特徴場—”, 信学論(D), J67-D, 12, pp. 1442-1449 (昭59-12).
- (182) 山田, 斉藤, 山本: “線密度イコライゼーション—相関法のための非線形正規化法—”, 信学論(D), J67-D, 11, pp. 1379-1383 (昭59-11).
- (183) 胡, 山本, 寅市, 森: “弛緩整合法による手書き漢字認識の用いる高速演算器”, 昭59信学総全大, 1621
- (184) 安田, 山田, 斉藤, 山本, 花野井: “文字認識のための相関法の一改良—相補的特徴場の提案—”, 信学論(D), J67-D, 2, pp. 224-231 (昭59-02).
- (185) 山田博三: “輪郭DP整合法と手書漢字認識への適用”, 信学論(D), J67-D, 3, pp. 351-358 (昭59-03).
- (186) 山田博三: “線の切れを許容する輪郭DP整合法とその手書漢字認識への適用”, PRL83-37 (1983-10).
- (187) 森, 坂倉: “線分フィルタリングとストローク検出への応用”, PRL83-12 (1983-06).
- (188) 山田博三: “複合特徴パターンによる構造的パターンマッチング法”, 信学論(D), J66-D, 5, pp. 577-584 (昭58-05).
- (189) 岡隆一: “セル特徴による手書き漢字認識の2, 3の評価実験と考察”, 昭58信学総全大, S10-11
- (190) 山田, 山本, 斉藤: “極点リスト法による多角形近似”, 昭58信学総全大, 1377
- (191) 岡隆一: “セル特徴を用いた手書き漢字の認識”, 信学論(D), J66-D, 1, pp. 17-24 (昭58-01).
- (192) 岡隆一: “図形からのセル特徴の抽出”, 信学論(D), J65-D, 10, pp. 1219-1226 (昭57-10).
- (193) 山本和彦: “弛緩整合法による手書き教育漢字認識”, 信学論(D), J65-D, 9, pp. 1167-1174 (昭57-09).

- (194) 曾根, 山本, 斉藤, 山田: “弛緩整合法を用いたひらがなを含む手書き漢字認識”, PRL82-29(1982-09).
- (195) 坂倉, 堂, 山本, 森: “手書き文字認識における構造的探索法”, PRL82-11 (1982-06).
- (196) 山本和彦: “凹凸構造抽出と認識辞書の自動統合による手書きひらがな文字認識”, 信学論(D), J65-D,6, pp.774-781(昭57-06).
- (197) 斉藤, 山田, 山本: “手書漢字の方向性パターン・マッチング法による解析”, 信学論(D), J65-D,5, pp.550-557(昭57-05).
- (198) 曾根, 斉藤, 山田, 山本: “相関法による手書漢字認識実験—方向パターンを用いたずらし類似度法の改良—”, 昭57信学総全大, 1361
- (199) 岡隆一: “手書き漢字認識における標準セル特徴パターンの学習方式”, 昭57信学総全大, 1346
- (200) 岡隆一: “セル特徴を用いた手書き漢字の認識”, PRL81-55(1981-11).
- (201) 山本和彦: “Relaxation法による手書漢字の個別認識”, 昭57信学情報システム全大, 78
- (202) 斉藤, 山田, 山本, 森: “ずらし類似度を使った方向性マッチングによる手書漢字の大分類”, 昭57信学情報システム全大, 77
- (203) 山田, 斉藤, 森: “類似度法の一改良—ずらし類似度—”, 信学論(D), J64-D, pp.970-976(昭56-10).
- (204) 山本和彦: “Relaxation法による手書教育漢字認識”, PRL81-31(1981-07).
- (205) 池内克史: “人間のカタカナよみとり過程のモデル化”, PRL80-43(1980-11).
- (206) 岡隆一: “セル特徴を用いた漢字認識の試み”, PRL79-52(1979-12).
- (207) 山本, 山田, 森: “手書きひらがな文字認識(II) 凹凸構造認識辞書の自動統合”, PRL79-4(1979-05).
- (208) 森俊二: “手書き文字の非計量的モデル”, 信学論(D), J62-D,10, pp.641-648 (昭54-10).
- (209) 山田, 森: “行並列演算法によるトップダウン的手書き文字認識”, 信学論(D), J62-D,9, pp.576-583(昭54-09).
- (210) 安田, 藤沢: “文字認識のための相関法の一改良”, 信学論(D), J62-D,3, pp.217-24(昭54-03).
- (211) 森俊二: “手書き文字の位相的モデル”, PRL78-54(1978-12).
- (212) 山本, 森, 山田: “凹凸構造抽出による手書きひらがな文字認識”, PRL78-38 (1978-09).

- (213) 岡隆一：“格子状セル空間による巨視的直線・曲線性特徴の抽出”，PRL77-33 (1977-09).
- (214) 山本，森：“英文字まじり手書片仮名文字認識”，PRL77-17(1977-06).
- (215) 森，山田，斎藤：“手書き数字の凹構造による変形解析”，PRL76-78(1977-02).
- (216) 山本，森：“変形文字の吸収(I)”，PRL76-31(1976-07).

【東海大学】

- (217) プーンワット，安田，近藤：“変動モデルを用いた手書きパターン認識”，昭60信学総全大,1562
- (218) 坂倉，堂，山本，森：“手書き文字に於ける階層的ストローク抽出法”，昭57信学総全大,1354
- (219) 安田，プーンワット，近藤：“手書き文字の変動モデル”，昭60信学総全大,1561
- (220) 松尾，近藤：“パターンの変動モデル”，PRL79-16(1979-06).
- (221) 近藤，松尾：“パタンの変動解析”，PRL79-15(1979-06).
- (222) 近藤正三：“文字集合と文字構造”，PRL76-79(1977-02).

【東京大学】

- (223) 中井，加藤，安田：“細線化漢字パターンを起点とする任意倍率明朝体・ゴシック体生成の一手法”，昭60信学総全大,1559
- (224) 高木，坂元：“3字スプライン曲線を用いた高品質明朝体ひらがな字形の生成”，昭58信学情報システム全大,154
- (225) バスカヴィル・ディヴィッド，白井：“手書き文字の認識と批評を行うシステム”，PRL83-11(1983-06).
- (226) 池田，田中，元岡：“手書き文字認識における投影距離法”，情報処理学会論文誌、Vol.24,NO.1,pp.106-112,Jan,1983

【東京工業大学】

- (227) ビバット，安居院，中嶋：“手書きタイ文字のパターン認識について”，昭59信学総全大,1632
- (228) カンビズ，志村：“手書き漢字におけるストローク分割の一方式”，PRL83-67 (1984-02).
- (229) PIPAT，安居院：“局所の特徴によるタイ文字のパターン認識”，昭58信学情報システム全大,79
- (230) PIPAT，安居院：“回転したタイ文字、図形の認識および方向検出法”，

昭58信学総全大,1401

- (231) PIPAT, 安居院, 中島: “大ききの異なるタイ印刷文字の認識”, 昭57信学総全大, 1332
- (232) 安居院, ビバット, 中嶋: “タイ印刷文字のパターン認識について”, PRL81-30 (1981-07).
- (233) 長橋, 安居院: “漢字パターンの表現と符号化について”, 信学論(D), J64-D, 4, pp.316-323 (昭56-04).
- (234) 河原田, 横沢, 岩城: “階層的パターン構造に基づく文字連想システム”, 信学論(D), J65-D, 3, pp.362-369 (昭57-03).
- (235) カンビズ, 志村: “連続書きによる英大文字の認識方式”, 昭56信学情報システム全大, 70
- (236) カンビズ, 志村: “連続書体の手書き英文字の識別方法”, PRL81-18 (1981-06).
- (237) カンビズ, 志村: “平面的特徴を利用した手書き文字認識の一手法”, PRL80-91 (1981-02).
- (238) カンビズ, 志村: “連続書体文字の認識に関する一検討”, PRL80-42 (1980-11).
- (239) 長橋, 安居院: “漢字パターンの生成法について”, PRL80-15 (1980-06).
- (240) 長橋, 安居院: “漢字パターンの表現と符号化について”, PRL80-14 (1980-06).
- (241) 安居院, 中村: “平行輪郭線による手書き片仮名文字の特徴抽出”, PRL78-86 (1979-03).
- (242) カンビズ, 志村: “アラビア文字の識別の一方法”, PRL78-56 (1978-12).
- (243) 長橋, 安居院: “手書き漢字パターンの符号化について”, 信学論(D), J61-D, 11, pp.803-810 (昭53-11).
- (244) 安居院, 中島, 金: “木文法によるハンゲルの表現と認識”, 信学論(D), J61-D, 11, pp.866-873 (昭53-11).
- (245) 安居院, 長橋: “漢字パターンの表現法について”, PRL77-49 (1977-12).
- (246) 安居院, 中島, 金: “SYNTACTIC法によるハンゲルの認識について”, PRL77-16 (1977-06).
- (247) 安居院, 中島, 長橋: “線と領域を主体とした漢字認識に関する研究”, PRL77-4 (1977-04).
- (248) 河原田, 竹内: “プロセッサ間の情報交換に基づく文字認識”, PRL76-74 (1977-01).

【東京三洋電機株式会社】

- (249) 松村博: “卓上型手書き漢字OCRの開発”, 昭60信学総全大, 1540

【東芝】

- (250) 橋本, 黒沢, 麻田: “構成文法を用いた複合語の文字認識後処理方式”, 昭60信学情報システム全大,68
- (251) 入江, 麻田: “商空間射影を用いた入り組み文字の切り出し”, 昭60信学情報システム全大,62
- (252) 黒沢, 原: “知識ベースに基づく文字認識後処理”, 昭60信学総全大,1627
- (253) 原島, 山本, 田辺, 坂井: “漢字OCRにおける低印字質活字文字の読取り”, 昭60信学総全大,1568
- (254) 佐藤, 馬場, 田辺: “多次元線形空間におけるオムニフォント読取り”, 昭60信学総全大,1567
- (255) 橋本, 黒沢: “知識ベースに基づく複合後の文字認識後処理”, 昭60信学総全大,1558
- (256) 原, 黒沢: “文字認識後処理とデータベース検索機能を有する知識ベースフォーマット”, 昭60信学総全大,1557
- (257) 有吉, 岡沢, 前田: “周辺分布を用いた手書き文字切り出しの検討”, 昭60信学総全大,1555
- (258) 中村, 須田, 三宅, 原, 林: “1ボード認識モジュールの開発”, 昭60信学総全大,1547
- (259) 須田, 中村, 坂井: “文字正規化LSIの開発”, 昭60信学総全大,1546
- (260) 清野, 中尾, 黒沢: “OCR-V595における知識処理システムとその一般的応用”, 昭60信学総全大,1542
- (261) 原島, 矢口, 田辺: “OCR-V595における常用手書文章の読取り”, 昭60信学総全大,1541
- (262) 黒沢, 入江, 麻田, 原, 須田, 中村: “自由手書対応の小型OCR実験試作機の開発”, 昭60信学総全大,1529
- (263) 前田, 渡辺: “局所的構造を導入したパターン・マッチング法”, 信学論(D),J68-D,3,pp.345-352(昭60-03).
- (264) 吉沢, 田辺, 古谷, 佐藤: “OCR-V595に於ける自由手書文字の読取り”, 昭59信学総全大,1610
- (265) 吉沢, 田辺, 鈴木, 原島, 矢口: “OCR-V595に於ける漢字の読取技術”, 昭59信学総全大,1611
- (266) 吉沢, 西村, 松山, 渡辺, 小原, 昆野: “OCRに於ける汎用帳票搬送装置”, 昭59信学総全大,1614
- (267) 吉沢, 山本, 原島, 勝見, 田辺: “手書き漢字読取りと前処理系の相関”, 昭59

信学総全大,1619

- (268) 麻田, 原, 須田, 黒沢, 前田, 中村, 坂井, 鈴木, 原島, 田辺: “手書き・活字漢字OCRの開発”, 昭58信学総全大,S10-14
- (269) 吉沢, 田辺: “最近のOCRに於ける文字認識”, 昭58信学総全大,S10-13
- (270) 中村, 酒井, 武田, 宇高, 加々美: “刻印OCRシステム”, 昭58信学総全大,1395
- (271) 吉沢, 西村, 小宮, 織田, 古屋: “高速読取端末型OCRの開発”, 昭58信学総全大,1394
- (272) 吉沢, 田辺, 原島, 山本, 三宮, 鈴木: “高速汎用OCRから漢字OCRへ”, 昭58信学総全大,1389
- (273) 前田, 渡辺: “ローカルな構造を取り入れたマッチング法複合構造類似度法”, 昭58信学総全大,1373
- (274) 吉沢, 三宅, 田辺, 小宮: “マルチフォント認識における複合類似度法の効果について”, 昭57信学総全大,1329
- (275) 黒沢, 前田, 麻田, 坂井: “複合類似度法による手書漢字認識実験”, 昭57信学情報システム全大,79
- (276) 坂井, 関谷, 平井, 宮尾, 福田: “OCR-ファクシミリ複合システム”, 小異56信学情報システム全大,87
- (277) 坂井, 阿部, 須田, 平井: “印刷漢字OCR-実データに基づく性能評価-”, 昭56信学情報システム全大,86

【同志社】

- (278) 寺井, 渡辺, 服部: “ベクトル場のダイバージェンスを多段的に用いた手書き文字認識”, 昭58信学情報システム全大,81
- (279) 服部, 渡辺, 真田, 手塚: “ベクトル場を用いた伸縮変換整合法”, 昭57信学総全大,1339

【東北大学】

- (280) 江島, 中村, 木村: “構造情報を含む手書き漢字認識のための特徴量”, 信学論(D),J68-D,4,pp.789-796(昭60-04).
- (281) 江島, 木村: “構造情報を陽に取り入れた手書漢字認識”, PRL83-52(1983-12).
- (282) 江島, 中村, 木村: “方向密度ベクトルを用いた手書き漢字認識”, 昭58信学総全大,S10-9

- (283) 中村, 江島, 木村: “三つの構造情報を含んだ手書き漢字認識のための特徴量の検討”, PRL82-95(1983-03).
- (284) 江島, 中村, 木村: “一様構造回路網による手書き漢字認識”, PRL82-78(1983-01).
- (285) 江島, 木村: “一様構造回路網に基づく手書き漢字認識の基礎的考察”, PRL82-26(1982-09).
- (286) 江島, 木村: “神経回路網による特徴抽出”, PRL82-19(1982-07).

【富山大学】

- (287) 長谷, 米田, 酒井, 吉田: “手書き漢字の部分パターンの弾力的抽出方法”, 信学論(D), J67-D, 8, pp. 829-836(昭59-08).
- (288) 藤田, 酒井, 長谷, 木田, 吉田: “図書目録カードの読み取り実験”, PRL83-57(1984-01).
- (289) 長谷, 米田, 酒井, 吉田: “手書き漢字の部分パターンの抽出と分類”, PRL83-56(1984-01).
- (290) 藤田, 酒井, 長谷, 米田, 吉田: “図書目録カードの文字の切り出し実験”, 昭58信学情報システム全大, 84
- (291) 長谷, 米田: “セグメント抽出による手書き片仮名の認識”, PRL81-108(1982-03).
- (292) 篠川, 長谷, 米田, 吉田: “手書き文字パターンのストローク抽出について”, PRL81-107(1982-03).

【豊田工業高等専門学校】

- (293) 竹下, 掛布, 野澤: “補間による手書き文字の復元(II)”, 昭60信学情報システム全大, 74

【豊田中央研究所】

- (294) 中野, 小関, 山本: “低品質刻印文字の認識”, PRL85-29(1985-09)
- (295) 中野, 小関, 山本: “刻印文字読取の一手法”, 昭60信学総全大, 1569

【豊橋技術科学大学】

- (296) 亀沢, 田所: “印刷文字認識の簡単化アルゴリズムの検討”, 信学技報, PRL84-79(1985-02).

【名古屋大学】

- (297) マーン, 吉田, 福村: “手書き署名画像からの署名の自動抽出”, 昭60信学総全大, 1551
- (298) 野澤, 掛布, 竹下, 鶴岡, 木村, 岡部, 吉村: “文字パッケージ識別用プログラムパッケージの開発”, 昭60信学総全大, 1543
- (299) 小川, 吉村, 鳥脇, 福村: “手書き文字における筆者情報を表わす構造変数の時期変動”, 昭59信学総全大, 1634
- (300) 吉村ミツ: “わく内手書き文字の文字認識と筆者認識に及ぼす前処理の影響”, 昭58信学情報システム全大, 80
- (301) 吉村, 木村, 吉村: “筆者情報に関する構造変数と濃度変数の比較”, 信学論(D), J66-D, 7, pp. 819-826(昭58-07).
- (302) 吉村, 木村, 吉村: “筆者情報の現れる部分空間の構造に関する実験的考察”, 昭58信学総全大, 1396
- (303) 吉村, 木村, 吉村: “手書き文字認識における個人用テンプレートの有効性について”, 信学論(D), J66-D, 4, pp. 454-455(昭58-04).
- (304) 吉村, 藤田, 吉村: “筆者識別に影響する要因の分析”, 信学論(D), J66-D, 1, pp. 1-8(昭58-01).
- (305) 吉村, 木村, 吉村: “手書き文字の個性の図表現”, 信学論(D), J65-D, 5, pp. 574-581(昭57-05).
- (306) 吉村, 木村, 吉村: “筆者認識と文字認識の異同について”, PRL82-7(1982-05).
- (307) 加藤, 木村, 三宅, 福村: “四角号碼法の自動化に関する考察(II)”, 昭57信学総全大, 1350
- (308) 木村, 斐, 吉村, 三宅: “手書き漢字の部分パターン抽出と認識”, 信学論(D), J64-D, 11, pp. 1037-1044(昭56-11).
- (309) 村瀬, 木村, 吉村, 三宅: “パターン整合法における特性核の改良とその手書き平仮名文字認識への応用”, 信学論(D), J64-D, 3, pp. 276-283(昭56-03).
- (310) 吉村, 木村: “パターンマッチングによる手書き文字の筆者識別実験”, 昭57信学情報システム全大, 68
- (311) 吉村, 木村, 吉村: “わく内自由手書き片仮名に筆者識別法の比較”, 信学論(D), J63-D, 10, pp. 819-826(昭55-10).
- (312) 吉村, 木村: “手書き文字の個性が現れる特性の機械的計測化とその解析”, 信学論(D), J63-D, 9, pp. 795-802(昭55-09).
- (313) 吉村, 堀尾, 塚本, 吉村, 三宅: “文字の構造情報に用いる対応付けシステムと平仮名文字認識への応用”, 信学論(D), J63-D, 8, pp. 650-657(昭55-08).

- (314) 原田, 佐藤, 木村, 吉村, 三宅: “枠内自由手書き文字の筆者識別”, PRL79-110 (1980-03).
- (315) 斐, 木村, 吉村, 三宅: “ストローク構造解析法による手書き漢字認識のための基礎実験”, PRL79-109(1980-03).
- (316) 村瀬, 木村, 吉村, 三宅: “変動吸収特性核を用いた手書き平仮名文字認識”, PRL79-87(1980-02).
- (317) 塚本, 木村, 吉村, 三宅: “輪郭線解析法とストローク構造解析法による手書き平仮名文字復号認識システム”, PRL79-86(1980-02).
- (318) 村瀬, 木村, 吉村, 三宅: “パターン類似度法による手書き平仮名文字認識の実験”, PRL79-2(1979-05).
- (319) 堀尾, 木村, 吉村, 三宅: “常用手書き平仮名文字に対するストローク構造解析法”, PRL79-1(1979-05).
- (320) 木村, 吉村, 三宅, 市川: “ストローク構造解析法による自由手書き片仮名文字認識”, 信学論(D), J62-D, 1, pp.16-23(昭54-01).
- (321) 岡部, 吉村, 三宅, 市川: “手書き片仮名の幾何学的特徴を用いた正規化の一手法”, 信学論(D), J61-D, 10, pp.783-790(昭53-10).
- (322) 木村, 吉村, 三宅, 市川: “細線化文字パターンに対する非決定的ストローク抽出法”, 信学論(D), J61-D, 7, pp.496-503(昭53-07).
- (323) 藤井, 吉村, 三宅, 市川: “ストローク抽出法による手書き平仮名文字認識(II)”, PRL78-15(1978-06).
- (324) 渡辺, 吉村, 三宅, 市川: “ストローク抽出法による自由手書き片仮名文字認識(II)”, PRL78-14(1978-06).
- (325) 岡部, 吉村, 三宅, 市川: “手書き片仮名の幾何学的特徴を用いた正規化大分類の一手法”, PRL77-62(1978-02).
- (326) 小川, 吉村, 三宅, 市川: “ストローク抽出法による手書き平仮名文字認識”, PRL77-8(1977-05).
- (327) 三嶽, 吉村, 三宅, 市川: “ストローク抽出法による自由手書き片仮名文字認識—ストロークの類似度・位置関係パラメータによる識別—”, PRL77-7(1977-05).
- (328) 岡部, 吉村, 三宅, 市川: “手書き文字の正規化の一手法”, PRL76-46(1976-11).
- (329) 木村, 吉村, 三宅, 市川: “発見的探索法を持ちいる手書き文字認識(3)”, PRL76-18(1976-06).
- (330) 水谷, 吉村, 三宅, 市川: “構造解析的手法を用いた手書き文字認識”, PRL76-17(1976-06).

- (331) 松村, 吉村, 三宅, 市川: “ストローク抽出による手書き片仮名の認識”, PRL76-14(1976-05).

【奈良工業高等専門学校】

- (332) 中村, 上田: “配置と概形に関する情報を用いた署名照合実験”, PRL83-20(1983-06).

【日本大学】

- (333) 西脇, 佐藤, 伊藤, 川西: “K-L展開と数量化理論第Ⅲ類による類似文字の詳細識別”, PRL85-28(1985-09)
- (334) 浜内, 西脇, 伊藤, 井上, 川西: “方向特徴を用いた非線形マッチングの一検討—手書きタイ文字認識への応用—”, 昭60信学総全大,1564
- (335) 佐藤, 浜内, 伊藤, チョム, 井上, 川西: “数量化理論第Ⅲ類による印刷タイ文字の細分類のための特徴抽出”, 昭59信学総全大,1630
- (336) 浜内, 佐藤, 伊藤, チョム, 井上, 川西: “手書き文字タイ文字認識の為に文字収集及び品質評価”, 昭59信学総全大,1631
- (337) 田中, 佐藤, リャン, チョム, 伊東, 川西: “K-L展開と識別関数による印刷タイ文字の細分類”, 昭58信学総全大,1405
- (338) 田中, 佐藤, リャン, チョム, 伊藤, 川西: “印刷タイ文字の自動認識のためのセグメンテーションと大分類について”, 昭57信学総全大,1331
- (339) チョム, 田中, ヴィスツ, リャン, 井上, 伊東, 川西: “マッチング法による印刷タイ文字の認識”, PRL81-56(1981-11).

【日本IBM】

- (340) 高橋弘晏: “細線連結素方向による簡易手書漢字認識”, PRL82-8(1982-05).

【日本電気株式会社】

- (341) 辻, 浅井: “分散最小基準に基づく適応型文字分離方式”, 信学論(D),J68-D,8, pp.1497-1504(昭60-08).
- (342) 辻, 浅井: “スプリット検出法に基づく頁画像の構造解析”, PRL85-17(1985-06).
- (343) 津雲, 浅井: “構造特徴による印刷漢字認識”, PRL85-10(1985-06).
- (344) 高德, 榎本: “部分パターン間の位置関係を考慮した属性文法による手書き漢字認識”, PRL84-15(1984-05).
- (345) 浜本, 村井, 石黒: “文字認識のための適応型マスク法”, 昭60信学総全大,1565

- (346) 石黒, 村井, 深沢, 重田: “パーソナルOCRの開発”, 昭59信学総全大,1608
- (347) 津雲, 浅井: “手書き漢字文字認識のための非線形マッチング法”, 昭59信学総全大,1618
- (348) 辻, 浅井: “文字分離”, PRL83-66(1984-02).
- (349) 津雲淳: “手書教育漢字認識”, 昭57信学総全大,1362
- (350) 森, 石黒, 池崎, 星野: “重複部分を有する部分図形の系列を用いた文字の特徴抽出”, PRL81-89(1982-02).
- (351) 上, 星野: “文字認識の特徴選択と辞書作成の自動化”, 昭57信学情報システム全大,69
- (352) 星野, 上, 光沢, 伊藤, 上田, 柳沢: “トップダウン的手法による手書き英, 数, 記号, 片仮名文字の認識方式”, 信学論(D),J64-D,pp.877-884(昭56-09).

【日立製作所】

- (353) 中野, 藤沢, 国崎, 門田: “文字認識研究に適した文字図形データベースの構成法”, 昭60信学情報システム全大,S4-1
- (354) 蔭山, 国崎, 藤沢: “原稿入力におけるパーソナルOCRの効果—文書入力OCRの開発(その5)—”, 昭60信学総全大,1537
- (355) 黒須, 国崎, 藤沢, 門田: “階層的構造特徴整合法の特性について—文書入力OCRの開発(その4)—”, 昭60信学総全大,1536
- (356) 国崎, 黒須, 山本, 蔭山, 藤沢, 門田: “手書き漢字認識のための階層的構造特徴整合法—文書入力OCRの開発(その3)—”, 昭60信学総全大,1535
- (357) 中野, 岡田, 国崎, 藤沢, 栗野: “OCR入力を目的とした帳票構造の理解—文書入力OCRの開発(その2)—”, 昭60信学総全大,1533
- (358) 岡田, 藤沢, 国崎, 中野, 花野井: “文書入力OCRとそのシステム構成—文書入力OCRの開発(その1)—”, 昭60信学総全大,1533
- (359) 国崎, 蔭山: “手書き漢字OCRの入力速度に関する基礎検討”, 昭59信学総全大,1612
- (360) 中野, 矢島, 山本, 藤沢, 門田, 遠藤, 花野井: “高精度文字認識手法開発のための方法論と図形検証法”, 昭58信学総全大,S10-1
- (361) 山本, 矢島, 中野, 藤沢, 門田: “類似文字識別用辞書の自動作成”, 昭58信学総全大,1393
- (362) 藤沢, 国崎: “方向性パターン整合法の特性について”, 昭58信学総全大,1372
- (363) 山本, 中田: “階層的パターンマッチングによる漢字認識の基礎”, 信学論(D), J56-D,12,pp.714-721(昭48-12).

【福井大学】

- (364) 小川秀夫：“弛緩法によるパターン整合”，昭58信学総全大,1371
- (365) 小川秀夫：“弛緩法によるパターン整合について 手書き文字の認識”，PRL82-97 (1983-03).
- (366) 小川，谷口：“手書き漢字認識における部分パターンの抽出”，PRL80-40 (1980-10).
- (367) 小川，谷口：“弛緩法によるストローク分解と文字列のセグメンテーション”，PRL80-5(1980-05).
- (368) 小川，谷口：“手書き漢字認識における部分パターンの観測について”，PRL76-10 (1976-04).
- (369) 赤星，小川，谷口：“手書き漢字の大分類及び識別法”，PRL77-47(1971-11).

【富士通株式会社】

- (370) 斐，蕪山，山本：“手書き漢字認識の一手法—多元圧縮法と部分パターン法による認識—”，信学論(D),J68-D,4,pp.773-780(昭60-04).
- (371) 藤井，斐，蕪山，山本，山口：“手書漢字認識における類似文字判別”，昭58信学総全大,S10-5
- (372) 末田，金森：“動的計画法を用いた文字列と辞書項目との照合方式”，昭58信学総全大,S9-3
- (373) 蕪山，菅原，山本，中西：“手書漢字認識における単語情報の利用”，昭57信学総全大,1341
- (374) 斐，森下，蕪山，伊崎，山本：“手書漢字におけるテンプレート複数化に検討”，PRL81-42(1981-09).
- (375) 藤井，菅原，山本，伊東，藤田：“多元的な特徴による手書漢字認識の検討”，PRL81-32(1981-07).

【富士通研究所】

- (376) 石井康雄：“ストローク代表点による漢字の構造分析について”，PRL85-42 (1985-11)
- (377) 肥塚，平岡，中島，稲垣：“学習に基づく特徴辞書作成の一手法”，PRL85-1 (1985-05).
- (378) 西川，長田：“文字ドットパターンのデータ圧縮方式”，昭60信学総全大,1560
- (379) 石井康雄：“周辺線のベクトル化による漢字ストロークの抽出法”，
- (380) 石井康雄：“手書き漢字を筆順に整合させる認識方式”，PRL81-43(1981-09).

- (381) 森下, 加藤, 藤田, 棚橋: “実時間文字認識における個人内変動の分析”,
PRL80-90(1981-02).
- (382) 石井, 岩崎: “回路図に書かれた文字の認識の検討”, PRL79-83(1980-02).

【北海道大学】

- (383) 鈴木, 上窪, 柄内, 永田: “高頻度隣接語を利用した自動抄録”, 昭60信学情報システム全大,65
- (384) 浜辺, 加地: “文字像の同一カテゴリ内での変動量の評価についての一提案”,
PRL78-22(1978-07).

【松下電器産業株式会社】

- (385) 西村, 大田, 富本: “手書き日本語原稿の文字切出し”, 昭60信学情報システム全大,63
- (386) 竹之内, 志水, 横江, 藤原: “輪郭方向密度と背景密度を用いた手書き文字文字の認識”, 昭60信学総全大,1577
- (387) 三木, 藤田, 富本, 菅野, 服部: “手書きワードプロセッサ”, 昭60信学総全大,1525
- (388) 杉田, 坂本, 島, 塚本: “マルチフォント漢字合成器”, PRL81-103(1982-03).

【三重大学】

- (389) 西, 鶴岡, 木村, 三宅: “クラスタリング手法に基づく手書き漢字の大分類(Ⅲ)”, 昭60信学情報システム全大,78
- (390) 鶴岡, 村瀬, 木村, 横井, 三宅: “人間の字種識別基準を用いた自由手書き片仮名文字認識”, 信学論(D),J68-D,pp.781-788(昭60-04).
- (391) 西, 鶴岡, 木村, 三宅: “クラスタリング手法に基づく手書き漢字の大分類”, 昭60信学総全大,1576
- (392) 森田, 鶴岡, 木村, 三宅: “特定筆記者を対象とする自由手書き漢字文字パターン認識(Ⅱ)”, 昭60信学総全大,1573
- (393) 原田, 鶴岡, 木村, 三宅: “加重方向指数ヒストグラムと擬似ベイズ識別法を用いた手書き漢字・ひらがな認識(Ⅱ)”, 昭59信学総全大,1628
- (394) 木村, 原田, 鶴岡, 三宅: “ベイズ識別関数の改良と漢字認識への応用”, 昭59信学総全大,1629
- (395) 鶴岡, 樋口, 木村, 横井, 三宅: “特定筆記者を対象とする自由手書き文字認識”, 昭59信学総全大,1633

- (396) 高階, 木村, 鶴岡, 三宅: “2次識別関数の改良と手書き漢字認識への応用”, 信学技報, PRL84-98(1985-03).
- (397) 木村, 高階, 鶴岡, 三宅: “二次識別関数の改良と漢字認識への応用”, PRL84-24(1984-07).
- (398) 森田, 鶴岡, 木村, 三宅: “筆記者に適應した自由手書き文字認識(I)”, PRL84-23(1984-07).
- (399) 原田, 鶴岡, 木村, 三宅: “加重方向指数ヒストグラムと擬似ベイズ識別法を用いた手書き漢字・ひらがな認識”, PRL83-68(1984-02).
- (400) 鶴岡, 木村, 吉村, 横井, 三宅: “デジタル図形の一細線化法と手書き文字認識システムへの応用”, 信学論(D), J66-D, 5, pp.525-532(昭58-05).
- (401) 栗田, 鶴岡, 横井, 三宅: “加重方向指数ヒストグラムと擬似マハラノビス距離を用いた手書き漢字・ひらがな認識”, 昭58信学総全大, S10-3
- (402) 栗田, 鶴岡, 横井, 三宅: “加重方向指数ヒストグラムと擬似マハラノビス距離を用いた手書き漢字・ひらがな認識”, PRL82-79(1983-01).
- (403) 鶴岡, 平手, 横井, 三宅, 木村: “ストローク別輪郭線情報による手書き平仮名文字認識”, 昭57信学総全大, 1338
- (404) 岡村, 鶴岡, 横井, 三宅: “人間の文字認識尺度を導入したパターン類似度法”, PRL81-78(1982-02).
- (405) 岡村, 鶴岡, 横井, 三宅: “人間の文字認識尺度を導入したパターン類似度法(2)”, 昭56信学情報システム全大, 67
- (406) 村瀬, 鶴岡, 木村, 横井, 三宅: “人間の文字認識尺度を用いた自由手書き片仮名文字認識”, PRL80-72(1981-01).

【三菱電機株式会社】

- (407) 依田, 前田, 松浦, 南部: “手書き文字日本語文字列の文字切り出し方式”, 昭60信学総全大, 1554
- (408) 松浦, 前田, 依田, 南部: “文書画像の文字列切り出し方式”, 昭60信学総全大, 1553
- (409) 伴野, 峯, 三島, 山本, 南部: “手書き漢字OCRの試作”, 昭59信学総全大, 1613
- (410) 依田, 小林, 山本, 南部: “大局的特徴を併用したストロークマッチング法による手書き漢字認識の検討”, PRL82-30(1982-09).
- (411) 前田, 山本, 南部: “特徴変換言語を用いた文字認識”, 昭57信学総全大, 1340

- (412) 小林, 依田, 伴野, 山本, 南部: “ストロークマッチングによる手書き漢字認識の検討”, PRL81-33(1981-07).

【武蔵野電気通信研究所】

- (413) 秋山, 増田: “周辺分布特徴と線密度特徴を併用した反復型文書画像領域分割法”, PRL85-41(1985-11)
- (414) 萩田, 増田: “手書き漢字認識のための方向寄与度特徴の次元圧縮”, PRL85-36(1985-10)
- (415) 村瀬, 若原, 小高: “文字認識・言語処理を導入した手書き文字列からの文字切出し”, 昭60信学情報システム全大, 54
- (416) 新谷, 梅田: “文字認識における複合後処理法の能力評価”, 信学論(D), J68-D, 5, pp.1118-1124(昭60-05).
- (417) 新谷, 目黒, 梅田: “認識情報及び単語・文節情報を利用した文字認識後処理”, 信学論(D), J67-D, 11, pp.1348-1355(昭59-11).
- (418) 秋山, 内藤, 増田: “非接触文字優先切り出しによる印刷物からの文字切り出し法”, 信学論(D), J67-D, 10, pp.1194-1201(昭59-10).
- (419) 高橋, 内藤, 増田: “外郭構造情報を利用したストローク抽出法による手書き漢字認識”, 信学論(D), J67-D, 9, pp.1052-1059(昭59-09).
- (420) 目黒, 梅田: “マルチフォント印刷漢字認識装置”, 信学論(D), J67-D, 8, pp.908-923(昭59-08).
- (421) 尺長, 金子, 淀川: “2次統計量の線分スペクトル分解による手書き文字の筆者認識”, 信学論(D), J67-D, 7, pp.776-783(昭59-07).
- (422) 尺長, 金子, 淀川: “2次統計量の線分スペクトル分解—テクスチャ性からの手書き文字個人性情報の抽出—”, 信学論(D), J67-D, 4, pp.488-495(昭59-04).
- (423) 内藤, 増田: “個人性に着目した手書き漢字認識”, 信学論(D), J67-D, 4, pp.480-487(昭59-04).
- (424) 加藤, 三宅, 淀川: “回転した漢字の認知特性について”, PRL83-65(1984-01).
- (425) 尺長, 金子, 淀川: “複素相関によるパターン・マッチングの提案”, 昭58信学情報システム全大, 104
- (426) 高橋, 内藤, 増田: “構造解析的手書き漢字認識のソフトウェア構成”, 昭58信学情報システム全大, 102
- (427) 新谷, 目黒, 梅田: “言語及び認識情報を用いた文字認識後処理”, 昭58信学情報システム全大, 97

- (428) 村瀬, 若原, 梅田: “ストロークの方向分布を利用した文字・図形の回転正規化”, 昭58信学情報システム全大, 86
- (429) 中島直樹: “印刷漢字OCRにおける識別辞書の設計法”, 昭58信学情報システム全大, 93
- (430) 秋山, 内藤, 増田: “非接触文字優先切出し法による個別文字切出し”, 昭58信学情報システム全大, 85
- (431) 新谷, 梅田: “複合後処理による文字認識精度向上の評価”, PRL83-42(1983-11).
- (432) 萩田, 内藤, 増田: “外郭方向寄与度特徴による手書き漢字の識別”, 信学論(D), J66-D, 10, pp.1185-1192(昭58-10).
- (433) 横澤, 淀川: “漢字パターンの認知モデル”, PRL83-15(1983-06).
- (434) 萩田, 内藤, 増田: “大局的・局所的方向寄与度密度特徴による手書き漢字認識方式”, 信学論(D), J66-D, 6, pp.722-739(昭58-06).
- (435) 秋山, 内藤, 増田: “縦・横書き文書からの個別文字切出し法”, PRL83-7(1983-05).
- (436) 目黒, 梅田: “マルチフォント印刷漢字認識装置”, 昭58信学総全大, S10-15
- (437) 萩田, 内藤, 増田: “手書き漢字認識におけるパターン整合法の識別能力”, 昭58信学総全大, S10-10
- (438) 高橋, 内藤, 増田: “筆点の生起順序を利用したストローク抽出法の安定化とその効果”, 昭58信学総全大, S10-6
- (439) 新谷, 目黒, 梅田: “文字認識後処理における認識情報の利用”, 昭58信学総全大, 1392
- (440) 横澤, 淀川: “漢字パターンの認知過程の分析”, 昭58信学総全大, 1391
- (441) 尺長, 金子, 淀川: “手書き文字の筆記者識別—2次統計量の新しいスペクトル分解による個人性の解析”, PRL82-94(1983-03).
- (442) 新谷, 目黒, 梅田: “言語情報と認識情報を用いた文字認識後処理”, PRL82-76(1983-01).
- (443) 秋山, 増田: “書式指定情報によらない紙面構成要素抽出法”, 信学論(D), J66-D, 1, pp.111-118(昭58-01).
- (444) 目黒, 梅田: “マルチフォント印刷漢字認識実験装置”, PRL82-46(1982-11).
- (445) 内藤, 増田: “手書き漢字認識における筆記者の個人性学習”, PRL82-45(1982-11).
- (446) 高橋, 内藤, 増田: “外郭構造情報を利用したストローク抽出法による手書き漢字認識”, PRL82-11(1982-11).

- (447) 高橋, 増田: “筆点の生起順序を利用したストローク抽出法による手書き漢字認識の基礎検討”, 信学論(D), J65-D, 10, pp.1294-1301(昭57-10).
- (448) 尺長, 金子, 淀川: “テクスチャ性による手書き文字個人性の解析”, PRL82-28 (1982-09).
- (449) 加藤, 今田, 淀川, 斉藤: “瞬間呈示における漢字の認識特性”, PRL82-27 (1982-09).
- (450) 目黒, 梅田: “マルチフォント印刷漢字の認識”, 信学論(D), J65-D, 8, pp.1026-1033(昭57-08).
- (451) 萩田, 増田: “大局的・局所的線密度を併用した手書き漢字の分類方式”, 信学論(D), J65-D, 6, pp.734-741(昭57-06).
- (452) 横澤, 淀川: “視野闘争による漢字の記憶構造の分析”, 昭57信学総全大, 1380
- (453) 加藤, 斉藤, 今田, 淀川: “短時間提示における漢字の認識率に影響を与える各種要因の検討”, 昭57信学総全大, 1377
- (454) 今田, 淀川: “漢字の複雑さと輪郭形成処理”, 昭57信学総全大, 1376
- (455) 内藤, 増田: “パーソナル手書き漢字認識の試み”, 昭57信学総全大, 1363
- (456) 萩田, 内藤, 増田: “方向寄与度密度特徴による手書き漢字認識方式”, 昭57信学総全大, 1359
- (457) 高橋, 内藤, 増田: “手書き漢字認識におけるストローク解析的手法を方向寄与度特徴の相補性の検討”, 昭57信学総全大, 1356
- (458) 尺長, 金子, 淀川: “線上等間隔n字統計量による手書き文字個人性の解析”, 昭57信学総全大, 1343
- (459) 内藤, 増田: “パーソナル手書き漢字認識の基礎検討”, PRL81-94(1982-02).
- (460) 目黒, 梅田: “マルチフォント印刷漢字認識における分類処理について”, 昭56信学情報システム全大, 83
- (461) 秋山, 増田: “周辺分布を用いた文字領域抽出法における2値化レベルの影響”, 昭56信学情報システム全大, 82
- (462) 内藤, 高橋, 萩田, 増田: “ハイブリッド方式による手書き漢字認識”, 昭56信学情報システム全大, 81
- (463) 若原, 淀川: “距離変換された手書き漢字の大分類”, 信学論(D), J64-D, 7, pp.593-600(昭56-07).
- (464) 萩田, 増田: “文字線の方向性に着目した手書き漢字の識別”, PRL81-13 (1981-05).
- (465) 高橋, 増田: “筆点の生起順序を利用したストローク抽出による手書き漢字認識”, PRL81-12(1981-05).

- (466) 秋山, 増田: “印刷物の記事領域における文字の切出し”, PRL80-70(1981-01).
- (467) 目黒, 梅田, 橋本: “マルチフォント印刷漢字認識シミュレーションシステム”, PRL80-69(1981-01).
- (468) 萩田, 梅田, 増田: “三つの概形特徴を用いた手書き漢字の分類”, 信学論(D), J63-D,12, pp.1096-1102(昭56-12).
- (469) 高橋, 小高, 増田: “筆順情報を利用した手書き漢字の分類法”, PRL80-24(1980-07).
- (470) 萩田, 増田: “大局的・局所的線密度の併用による手書き漢字の大分類”, PRL80-23(1980-07).
- (471) 梅田, 目黒: “マルチフォント印刷漢字認識における類似文字の識別”, PRL79-88(1980-02).
- (472) 萩田, 梅田, 増田: “ストローク密度と概形特徴を併用した手書き漢字の分類”, PRL79-27(1979-07).
- (473) 梅田, 増田: “メッシュ・ペリフェラルパターンによる手書き漢字の分類”, PRL79-26(1979-07).
- (474) 内藤, 淀川: “手書き漢字のストローク密度関数による大分類”, PRL79-3(1979-05).
- (475) 若原, 内藤, 淀川: “手書き漢字大分類に関する一考察”, PRL78-68(1979-01).
- (476) 目黒, 梅田: “ストロークに着目した手書き文字変形の抽出”, PRL78-67(1979-01).
- (477) 梅田三千雄: “マルチフォント印刷漢字認識のための粗分類”, 信学論(D), J62-D, 11, pp.758-765(昭54-11).
- (478) 梅田三千雄: “マルチフォント印刷漢字の分類”, 信学論(D), J62-D, 2, pp.133-140(昭54-02).
- (479) 梅田三千雄: “マルチフォント印刷漢字の多段階分類”, PRL78-53(1978-11).
- (480) 梅田三千雄: “マルチフォント印刷漢字の分類”, PRL78-13(1978-06).
- (481) 梅田, 有野: “粗いペリフェラルパターンによるマルチフォント印刷漢字の分類”, PRL78-4(1978-04).
- (482) 目黒, 梅田: “階層的パターンマッチングによる手書き文字変形の抽出”, PRL77-70(1978-03).
- (483) 梅田, 有野, 増田: “粗いメッシュパターンによる明朝体マルチフォント印刷漢字の分類”, PRL77-65(1978-02).
- (484) 内藤, 荒川: “重心線による英数字記号認識”, PRL77-59(1978-01).
- (485) 内藤, 荒川, 増田: “重心線による文字の分析と再合成”, PRL76-35(1976-09).

【山形大学】

- (486) 長橋, 中津山, 西塚: “筆順情報を含んだ漢字パターンの効率的符号化について”, 信学論(D), J66-D, 3, pp.286-293(昭58-03).
- (487) 長橋, 中津山, 西塚: “筆順による漢字パターンの生成とそのデータ構造について”, PRL82-13(1982-06).

【山口大学】

- (488) 金岡, 岡田, 富田, 鹿田, 田中, 綿谷: “構文解析的手法を用いた手書き片仮名文字認識”, 信学論(D), J66-D, 5, pp.487-495(昭58-05).
- (489) 岡村, 森田, 金岡, 岡田, 富田: “上昇形構文解析による手書き片仮名文字認識”, 信学論(D), J66-D, 2, pp.222-223(昭58-02).
- (490) 森下, 金岡, 富田: “文脈自由型誤り訂正文法による手書き片仮名文字認識について”, PRL80-89(1981-02).

【横須賀電気通信研究所】

- (491) 高木伸一郎: “文字連接確率による日本文誤字検出法の検討”, 昭60信学情報システム全大, 67
- (492) 中村, 青木, 岡崎: “曲率を用いた文字パターン系列化の検討”, 昭60信学情報システム全大, 53
- (493) 岩城, 木田: “文書認識システムにおける処理アルゴリズムの検討”, 昭60信学情報システム全大, S4-5
- (494) 杉村利明: “候補文字補完と形態素解析による漢字認識の誤り訂正処理法”, 昭60信学情報システム全大, S4-4
- (495) 岩城, 久保田, 荒川: “近接線密度法による文字・図形分離抽出”, 信学論(D), J68-D, 4, pp.821-828(昭60-04).
- (496) 中島, 堤田, 川谷: “数量化理論を用いた手書き漢字詳細識別”, 昭60信学総全大, 1580
- (497) 堤田, 中島, 川谷: “手書き漢字詳細識別のためのストローク集積法”, 昭60信学総全大, 1579
- (498) 阿部, 赤松, 川谷: “ストローク構造集積法による手書き漢字認識方式”, 昭60信学総全大, 1578
- (499) 遠城, 岩城, 久保田: “文書認識のためのプロダクション・システムの構成”, 昭60信学総全大, 1556

- (500) 木田, 久保田, 荒川: “文書認識サービスとシステム開発”, 昭60信学総全大, 1545
- (501) 岩城, 木田, 遠城: “文字認識ソフトウェアの開発”, 昭60信学総全大, 1544
- (502) 杉村, 斉藤: “文字接続情報を用いた読取り不能文字の判定処理—文字認識への応用—”, 信学論(D), J68-D, 1, pp. 64-71 (昭60-01).
- (503) 堤田, 小森: “文字パターン外郭形状に着目した手書き英数字, 片仮名の類似文字識別”, 信学論(D), J67-D, 4, pp. 528-535 (昭59-04).
- (504) 阿部, 飯田, 川谷: “分散入力型OCRシステムの開発”, 昭59信学総全大, 1609
- (505) 堤田, 川谷: “数量化理論を用いた手書き漢字詳細識別法の一検討”, 昭59信学総全大, 1620
- (506) 飯田, 小森: “人間の文字認識能力の評価—手書き片仮名, 英数字に対する認識能力について—”, 信学論(D), J67-D, 3, pp. 257-264 (昭59-03).
- (507) 遠城, 岩城, 木田: “文書認識のためのプロダクションシステムの構成”, 信学技報, PRL84-67 (1985-01).
- (508) 岩城, 荒川: “図表領域中の文字の認識”, 信学技報, PRL84-50 (1984-11).
- (509) 長谷, 久保田, 遠城, 荒川: “マークを用いた印刷文書画像の領域抽出法”, PRL83-78 (1984-03).
- (510) 岩城, 久保田, 遠城, 荒川: “文字・図形分離処理におけるプロダクション・システム導入の一検討”, PRL83-63 (1984-01).
- (511) 石井健一郎: “変形文字パターン発生法とその応用”, 信学論(D), J66-D, 11, pp. 1270-1277 (昭58-11).
- (512) 小林, 山田, 小川: “文字認識通信における認識不能文字通知法の検討”, 昭58信学情報システム全大, 153
- (513) 末永康仁: “文書中の文字切り出しに関する検討”, 昭58信学情報システム全大, 152
- (514) 井上, 鑑沢: “判読性から見た文字形態の比較検討”, 昭58信学情報システム全大, 114
- (515) 豊田充: “印刷漢字を対象とした字体認識の一手法”, 昭58信学情報システム全大, 95
- (516) 木村義政: “漢字パターン背景特徴による大分類法の効果”, 昭58信学情報システム全大, 94
- (517) 印牧, 中島, 磯山: “文字認識による構内文書通信処理の一検討”, 昭58信学情報システム全大, 88

- (518) 岩城, 久保田, 荒川: “不特定書式文書・図面中の文字認識”, 昭58信学情報システム全大,87
- (519) 多田俊古: “並列演算による文字パターン処理の検討”, 昭58信学情報システム全大,58
- (520) 堤田, 小森: “数量化第Ⅱ類を用いた英数字、片仮名文字の類似文字識別”, PRL83-5(1983-05).
- (521) 宮原, 石井, 山田: “日本語印刷文書読取方式”, 昭58信学総全大,S10-16
- (522) 飯田, 杉村: “手書き漢字認識における単語照合処理の効果”, 昭58信学総全大, S10-12
- (523) 塩, 川谷: “ストローク情報を用いた手書き漢字に詳細識別法”, 昭58信学総全大,S10-7
- (524) 赤松, 川谷: “密度特徴と形状特徴の併用による手書き漢字認識”, 昭58信学総全大,S10-2
- (525) 堤田, 川谷: “位相構造化法による手書き平仮名認識”, 昭58信学総全大,1397
- (526) 中島, 石井, 宮原: “印刷漢字OCRにおける識別制御”, 昭58信学総全大,1390
- (527) 豊田, 石井: “印刷漢字OCRにおける識別辞書構成”, 昭58信学総全大,1388
- (528) 木村, 石井: “文字背景部を用いた印刷漢字の大分類”, 昭58信学総全大,1386
- (529) 飯田, 杉村: “パターン認識における単語照合処理の一検討”, PRL82-77 (1983-01).
- (530) 赤松, 川谷, 小森: “手書き漢字認識のための構造集積特徴”, 信学論(D),J65-D, 5,pp.542-549(昭57-05).
- (531) 宮原, 中島, 川谷: “位相特徴分布法による印刷漢字認識”, 昭57信学総全大, 1334
- (532) 石井, 木村: “印刷漢字認識のための大分類法”, 昭57信学総全大,1330
- (533) 名倉, 末長: “文字認識機能をもつファクシミリベースの図面編集システム”, 信学論(D),J65-D,3,pp.402-407(昭57-03).
- (534) 塩, 川谷: “ストローク構造集積による手書き漢字認識の一方法”, 昭57信学総全大,1355
- (535) 赤松, 川谷: “手書き漢字分類の為の構造集積特徴の選択”, 昭57信学総全大, 1344
- (536) 杉村, 斉藤: “文字接続情報を用いたリジェクト文字の判定処理”, PRL81-105 (1982-03).
- (537) 岩城, 久保田, 石井: “近接線密度法による文字・図形切分け処理の検討”, PRL81-81(1982-02).

- (538) 久保田, 荒川: “文字認識の前処理としての画像の次数変換”, PRL81-92 (1982-02).
- (539) 小川, 中根, 池沢: “漢字パターン変換処理の一検討”, 信学論(D), J65-D, 2, pp. 234-241 (昭57-02).
- (540) 印牧, 中島, 荒川: “単語辞書を活用した文字認識法の一検討”, PRL81-91 (1982-01).
- (541) 多田, 山田: “マルチスキャナを有する文字認識装置の検討”, 昭56信学情報システム全大, 88
- (542) 多田, 山田: “マルチリモート入力機能を持つ文字認識装置の構成”, PRL81-59 (1981-11).
- (543) 石井健一郎: “変形文字パターン発生法に関する一考察”, PRL81-57 (1981-11).
- (545) 飯田, 小森: “人間の文字認識能力の評価”, PRL81-54 (1981-11).
- (546) 堤田敏夫: “数量化理論を用いた類似文字識別”, 昭57信学情報システム全大, 66
- (547) 赤松, 川谷: “手書き漢字の候補選択における構造集積特徴の性質”, 昭56信学情報システム全大, 73
- (548) 飯田行恭: “英、数字、カナ混在文字に対する人間の認識能力”, 昭56信学情報システム全大, 65
- (549) 赤松, 川谷: “構造集積特徴による候補選択法の性質”, PRL81-44 (1981-09).
- (550) 木村, 宮原: “位相特徴分布法における位置ずれ補正の検討”, PRL81-34 (1981-09).
- (551) 内藤, 小森, 淀川: “手書き漢字認識のためのストローク密度特徴”, 信学論(D), J64-D, 8, pp. 757-764 (昭56-08).
- (552) 内藤, 小森: “手書き漢字を対象としたストローク密度分布による候補選択法”, 信学論(D), J64-D, 8, pp. 765-772 (昭56-08).
- (553) 印牧, 木田, 中島, 荒川: “特徴抑制機能をもった文字認識”, PRL81-29 (1981-07).
- (554) 森克己: “画素形漢字パターンのデータ圧縮に関する二、三の考察”, 信学論(D), J64-D, 7, pp. 617-624 (昭56-07).
- (555) 中島, 木田, 荒川: “ファクシミリによる手書き片仮名の認識”, 信学論(D), J64-D, 6, pp. 510-517 (昭56-06).
- (556) 赤松, 内藤, 小森: “ストローク密度分布特徴と構造集積特徴の相補的性質”, PRL81-11 (1981-05).
- (557) 塩, 小森: “ストローク解析による手書き漢字認識の基礎検討”, PRL80-94 (1981-02).

- (558) 赤松, 小森: “手書き漢字認識のための構造集積特徴”, PRL80-93(1981-02).
- (559) 小森, 川谷, 石井, 飯田: “特徴集積による手書き片仮名文字の認識”, 信学論(D), J63-D, 11, pp. 962-969(昭55-11).
- (560) 宮原, 木村, 小森: “距離パターンを導入した印刷漢字の特徴抽出”, PRL80-41(1980-11).
- (561) 多田, 山田: “多種筆記具を対象とした端末OCR光学系の構成”, PRL80-26(1980-07).
- (562) 赤松, 小森: “構造集積特徴による手書き漢字の類別実験”, PRL80-25(1980-07).
- (563) 内藤, 小森: “手書き漢字データの統計的分析”, PRL80-16(1980-06).
- (564) 木田, 中島, 荒川: “多値識別によるファクシミリ入力文字の認識”, PRL80-6(1980-05).
- (565) 堀口, 佐橋: “画素形漢字パターンの伝送のためのデータ圧縮に関する一考察”, 信学論(D), J63-D, 5, pp. 371-377(昭55-05).
- (566) 中野, 森: “直線分離法による漢字パターンの処理”, 信学論(D), J62-D, 12, pp. 796-803(昭54-12).
- (567) 内藤, 小森: “手書き漢字のストローク密度分布による大分類”, PRL79-35(1979-09).
- (568) 赤松, 金子, 小森: “位相構造化法による手書き漢字特徴抽出法の一検討”, PRL78-75(1979-02).
- (569) 宮原, 小森: “位相構造化法による印刷漢字認識”, PRL78-65(1979-01).
- (570) 金子, 飯田, 塩, 山田: “位相構造化法による端末OCRの構成”, PRL78-64(1979-01).

発表文献

(I) 学会誌論文

- (1) 泉井, 原島, 宮川: “階層的な辞書の変形を用いた手書き文字認識”, 信学論(D), J68-D, 3, pp.361-368 (昭60-03).
- (2) 泉井, 原島, 宮川: “ストロークに基づく辞書の変形を用いた手書き文字の変動吸収”, 信学論(D), 掲載予定
- (3) 富沢, 泉井, 原島, 宮川: “バッファを用いたツリー状双方向CATV網のアクセス方式”, テレビジョン学会誌投稿予定

(II) 大会

- (4) 泉井, 原島, 宮川: “自己直交符号の特性を利用したCPFSK方式の遅延検波法”, 昭56信学情報システム全大, 250.
- (5) 泉井, 原島, 宮川: “ベイズ機械による類似度を用いた手書き文字認識”, 昭58信学総全大, S10-4.
- (6) 泉井, 原島, 宮川: “方向性パターンの重畳を利用した手書き文字認識”, 昭58信学情報システム全大, 82.
- (7) 泉井, 原島, 宮川: “手書き文字の変動吸収に関する一検討”, 昭59信学総全大, 1635.
- (8) 泉井, 原島, 宮川: “手書き文字の階層的画面分割による変動吸収の一検討”, 第29回情処全大, 3M-1 (昭59-09).
- (9) 泉井, 原島, 宮川: “手書き文字の構造的な変動吸収に関する一検討”, 昭60信学総全大, 1563.
- (10) 富沢, 泉井, 原島, 宮川: “ツリー状双方向CATV網のアクセス方式に関する一検討”, 昭60テレビ全大, 12-4.
- (11) 泉井, 原島, 宮川: “紙面から抽出された筆者情報を用いた手書き文字の特徴抽出”, 第32回情処全大, (昭61-03), 発表予定.

(III) 学会研究会

- (12) 泉井, 山田, 原島, 宮川: “DPSKおよびCPFSK遅延検波方式に関する一考察”, 信学技報, CS81-70 (1981-07).
- (13) 泉井, 原島, 宮川: “ベイズ機械による類似度を用いた手書き文字認識”, 信学技報, PRL82-96 (1983-03).

- (14) 泉井, 原島, 宮川: “高次化した特徴抽出による手書き文字認識”, 信学技報, PRL83-13(1983-06).
- (15) 泉井, 原島, 宮川: “細線化を用いない特徴抽出による手書き文字認識”, 信学技報, PRL83-14(1983-06).
- (16) 泉井, 原島, 宮川: “手書き文字パターンの変動吸収に関する一検討”, 信学技報, PRL84-16(1984-06).
- (17) 泉井, 原島, 宮川: “手書き文字の構造的な階層的画面分割による変動吸収の一検討”, 信学技報, PRL84-80(1985-02).

(IV) その他

- (18) 泉井, 原島, 宮川: “手書き文字の構造的な変動吸収に関する一検討”, 情報理論とその応用研究会第7回シンポジウム(1984-11).
- (19) 泉井, 原島, 宮川: “ツリー型探索による手書き文字の大分類”, 情報理論とその応用研究会第8回シンポジウム(1985-12).

付 録

付録 1 電子技術総合研究所

手書き文字データベース

付録 1. 1 文字データベースの必要性

文字認識を研究するには、多量の文字が必要である。これは、文字認識が理論的な研究ではなく、実験的な研究であることに由来する。文字を認識するには、どのような形であれ、辞書が絶対に必要と思われるが、今のところ、これは、統計的な手法に頼っている。従って、筆記者や筆記法に依存しない安定な辞書を作るには、必要にして十分な量の文字がなければならない。このような大量の文字を各研究者ごとに収集していたのでは、時間や費用ばかりかかり効率が悪い。また、アルゴリズムの評価に際してもデータに共通性がないと比較もできない。このような理由から共通の文字データベースは是非必要である。

付録 1. 2 電総研 ETL 文字データベース⁽⁹⁾ ~ (17)

現在、容易に利用できる文字データベースとしては、通産省電子技術総合研究所が作成所有している、ETL シリーズがある。これは、付表 1.1 に示すように ETL 1 から ETL 9 までの 9 種類ある。なお、自由手書きとは、見本文字なしで、全く自由に筆記した文字であり、常用手書きとは、見本文字を見ながら、筆記した文字のことを言う。

付録 1. 3 ETL 8 データベース⁽¹⁴⁾

本論文では、このうち、ETL 8 データベースを用いている。これは、付表 1.1 にも示しているように、教育漢字 881 字と、ひらがな 75 字の合計 956 字種から構成されている。この 956 文字を 1 セットとして、データセットという。ETL 8 は 160 データセットから構成されている。また、各データセットは、10 枚のシートから構成されており、各シートは、付表 1.2 に示すように 96 文字または、95 文字のいずれかである。一人の筆記者は一枚のシートだけに記入する。従って、ひとつのデータセットは 10 人に筆記者で記入されることになる。ETL 8 データセットは、オリジナルの状態では、各文字の大きさが 127 (縦) × 128 (横) で各画素は 4 Bit である。本論文では、160 データセットの内 15 データセットを電総研より入手し用いた。また、各文字は、127 × 128 を 64 × 64 に変換し、閾値 4 の固定閾値で 2 値化をおこない、以後はこのデータを用いた。すなわち、第 6 章では、文字を 40 × 40 として、使用する場合があるが、これは、64 × 64 から 40 × 40 へと大きさ変換を行っている。本論文で使用した 64 × 64 のデータ、データセット 1 を付図 1.1 に示す。ただし、付図 1.1 では、特にシートの切目は示していない。また、文献 (13) より、他のデータットの例を付図 1.2 に示す。ただし、付図 1.2 の文字の大きさや 2 値化の条件は付図 1.1 とは異なる。

付表1.1 電総研手書き文字データベース (2/2)

分類	文字種	文字数	筆記者 (字体)	総データ数	文字枠 (mm)	走査装置	標本化間隔 (mm)	画素数	濃淡レベル	名称
印刷漢字	漢字 平仮名 片仮名 英数字 記号	漢字テレ チック 用の 2,154	明朝体 ゴシック体	57,600	新聞活字 8ポイント 3.08mm角 活版印刷 特許公報 活字 9ポイント 3.04mm角 タイポセット	I TV スキャナー	縦 0.054 横 0.054	縦 60 横 60	64	ETL2
	手書き漢字	881 75	OCRメーカー OCRユーザー 学生など 1,600名	152,960	縦 10 横 10	MOS イメージ センサ	縦 0.1016 横 0.108	縦 127 横 128	16	ETL8
	JIS第1 水準漢字 平仮名	2965 71	4,000名	607,200	縦 9 横 8	フォト ダイオード アレイセンサ	縦 0.106 横 0.108			ETL9

付表1. 1 電総研手書き文字データベース (1/2)

分類	文字種	文字数	筆記者	総データ数	文字枠 (mm)	走査装置	標本化間隔 (mm)	画素数	濃淡レベル	名称			
自由手書き	数字	10	官庁職員 銀行員 プログラマー など1,445名 大学生 120名	141,321	縦 7	フライング スポット スキャナー	縦 0.133	縦 76 横 72	16	ETL1			
	英大文字	26			横 5		横 0.133						
	片仮名	51		6,120							ETL4		
	記号	12											
	平仮名	51											
常用手書き	数字	10	会社員 200名 会社員 104名 OCRメーカー OCRユーザー 1,383名 OCRメーカー OCRユーザー 官庁職員 大学生 175名	9,600	縦 7	フライング スポット スキャナー	縦 0.133	縦 76 横 72	16	ETL3			
	英大文字	26			横 5		横 0.133						
	記号	12		10,608							ETL5		
	片仮名	51										縦 0.1	
												横 0.1	
	数字	10		157,662							ETL6		
	英大文字	26										縦 6	縦 0.11
	片仮名	46										横 5	縦 0.11
	記号	32											
	平仮名	48		16,800								ETL7L	
		縦 7.2	縦 0.13										
		横 6	横 0.13										
		縦 6	縦 0.11										
										ETL7S			

付表1.2 ETL8データベースの
各シートの文字数

シート	文字数
1	96
2	96
3	96
4	96
5	95
6	96
7	95
8	95
9	95
10	96

あ	愛	委	売	雲
い	記	休	牛	共
曲	句	係	芸	券
険	古	語	口	港
う	合	查	菜	刷
蚕	始	死	資	治
質	弱	需	習	出
え	暑	小	章	状
深	凶	政	製	責
舌	選	倉	増	属
お	多	隊	短	竹
貯	直	提	転	士
等	童	内	熱	馬
か	畑	番	美	評
布	福	平	弁	法
毎	名	目	輸	容

付図1. 1 本論文で使用したデータセット、第1データセット (1/11)

が	話	印	花	岸	去	欠	向	際
浴	き	営	解	ぎ	協	建	く	察
略	や	園	具	旗	極	験	皇	賛
緑	悪	黄	学	貴	区	固	告	姉
列	意	価	幹	宮	兄	誤	再	氏
齒	衆	証	西	蔵	団	点	年	鼻
示	く	植	赤	け	茶	党	げ	病
実	術	申	先	族	丁	答	拜	府
主	書	推	銭	太	賃	道	八	復
収	少	整	想	代	程	南	否	陞

付図1. 1 本論文で使用したデータセット、第1データセット (2/11)

保	豊	末	命	問	在	殺	酸	子	私
勇	こ	曜	来	流	事	耳	舍	取	周
林	練	ご	圧	易	週	述	し	ゆ	諸
員	榮	延	億	加	承	象	織	真	水
荷	回	外	楽	惑	星	誠	切	千	前
眼	期	を	起	急	早	造	じ	続	打
居	境	玉	苦	型	台	断	着	帳	追
決	憲	元	己	護	敵	伝	冬	統	銅
后	耕	ぞ	国	最	難	念	す	敗	飛

付図1. 1 本論文で使用したデーターセット、第1データーセット (3/11)

穀	市	守	助	救	善	体	通	得
之	残	写	之	神	宣	た	張	討
考	雜	自	春	職	接	卒	中	刀
孝	材	似	集	賞	青	側	男	田
交	妻	系	宗	招	晴	争	大	的
仙	明	落	安	屋	額	技	具	庫
父	万	様	セ	演	害	ぜ	勤	原
秒	暴	ず	連	永	快	機	強	檢
必	步	友	臨	因	課	岩	拳	潔
悲	米	門	留	異	可	慣	救	形

付図1. 1 本論文で使用したデータセット、第1データセット (4/11)

二	燃	配	だ	判	空	敬	結	權	嚴
比	筆	品	負	物	戸	候	工	航	づ
別	補	望	満	盟	黒	才	罪	三	仕
夜	有	ち	よ	洋	師	紙	児	辞	社
利	旅	輪	路	ち	手	就	住	準	て
暗	移	引	泳	遠	女	昭	上	色	臣
恩	夏	賃	改	各	世	正	静	折	専
活	歛	顔	帰	つ	然	相	則	存	で
疑	求	許	教	均	対	第	談	忠	朝

付図1. 1 本論文で使したデータセット、第1データセット (5/11)

低	適	電	島	頭	つ	義	球	漁	橋
德	式	納	倍	と	禁	君	景	血	犬
半	皮	百	貧	武	減	故	光	幸	ぬ
分	変	墓	貿	味	行	今	採	財	参
迷	野	由	用	ど	使	志	至	字	式
理	兩	類	勞	な	者	種	州	十	ぬ
案	胃	飲	英	塩	純	序	消	乘	食
温	家	過	械	拵	親	是	清	税	設
株	漢	願	気	に	川	全	総	息	の

付図1. 1 本論文で使用したデータセット、第1データセット (6/11)

孫	帶	題	知	昼	格	寒	管	喜	汽
町	停	鉄	徒	投	ひ	議	究	魚	興
働	特	肉	能	は	近	訓	系	月	研
買	反	肥	俵	不	現	湖	公	広	講
都	奮	編	母	防	び	根	濟	坂	山
未	鳴	役	遊	ば	司	思	視	寺	識
葉	里	料	令	老	謝	酒	修	従	順
ば	以	遺	院	衛	び	除	焼	場	信
央	音	科	我	海	身	制	生	席	節

付図1. 1 本論文で使用したデータセット、第1データセット (7/11)

戦	祖	草	測	尊	往	下	果	画	界
ふ	待	達	地	柱	確	刊	観	器	季
腸	定	典	登	東	べ	客	級	京	鏡
動	毒	日	農	売	金	群	経	件	絹
ぶ	板	費	標	付	言	五	功	康	鋤
風	粉	辺	包	北	べ	混	災	作	散
脈	綿	約	夕	要	史	指	詞	持	七
ふ	陸	良	例	六	車	首	拾	重	処
へ	位	医	右	液	ほ	勝	照	常	心

付図1. 1 本論文で使用したデータセット、第1データセット (8/11)

進	勢	精	石	説	み	依	育	雨	益
浅	素	走	足	損	応	化	歌	芽	絵
ぼ	態	谷	池	注	覚	勸	間	基	紀
調	底	天	都	湯	心	逆	給	供	業
同	独	入	波	博	銀	軍	計	健	県
ぼ	版	非	氷	夫	限	午	効	校	高
復	文	返	報	牧	め	左	祭	昨	産
民	面	薬	予	陽	四	支	詩	時	失
ま	律	量	冷	録	借	受	秋	宿	初

付図1. 1 本論文で使用したデータセット、第1データセット (9/11)

も	人	線	や	長	堂	ゆ	幅	務
商	性	組	貸	庭	読	犯	聞	毛
省	聖	送	単	展	任	飛	便	訳
情	積	速	置	努	派	票	放	余
新	雪	村	虫	燈	白	婦	本	養
よ	ら	横	角	り	九	個	る	士
率	用	仮	完	久	郡	後	差	止
領	一	河	関	旧	軽	厚	細	試
礼	運	賀	寄	競	兼	構	策	次
論	駅	開	規	局	見	号	算	室

付図1. 1 本論文で使用したデータセット、第1データセット (10/11)

祝	授	終	祝	所	無	木	油	預	欲
机	唱	称	条	森	を	立	力	歴	和
仁	成	声	績	絶	人				
船	創	像	俗	他					
乃	退	炭	築	著					
鳥	弟	店	度	当					
導	届	認	破	麦					
和	飯	備	表	富					
服	兵	勉	方	妹					

付図1. 1 本論文で使用したデーターセット、第1データーセット (11/11)

とつふや暗亮衛億歌改革管
ごつびや安一英黄果快角漢
こつびや育泳土科回覽欽
げぢひも悪医永横家解確慣
けちばめ愛遺榮心夏會格慇
ぐたばむ人胃宮往可賀拉幹
くたばみを移雲央加芽各官
ぎそのまわ異運塩価画害元
さそねほろ易雨涼何我外勸
がせぬばれ意右演飯過貝刊
かせにほる委院延化貨階寒
おずなべり困飲園下課開株
えすどべり依引口音荷絵活
うじとへよ位因駅温花界額
いしでぶよ以員益恩火海案
あぎてぶゆ案印液屋河械学

戦早速対短柱追展島童日敗
川想足体炭昼貨天刀導肉拜
専倉測打单忠直典冬堂式馬
宣創息太谷中鳥鉄党同二破
千祖則多達着長適土動難派
先素側他題茶調的度衝南波
舌祖造村第竹腸敵努頭内農
絶全蔵損大築町程都討届能
雪然増尊台置朝提登統読納
説善像孫代池張弟徒答独燃
節前送存隊地帳庭電等毒念
設錢走卒退知丁底田当特午
折選草統貸談貯定伝燈徳熱
接船總族能男著停点湯得説
切線相屬待断虫低軋東銅任
赤浅争俗帯団注通店投道入

期逆許曲訓決県戸口講最昨
旗客拳局君欠絹庫厚行再作
希議居業空芸研己効航查坂
寄義去鏡具輕犬固功考差財
基疑牛興苦計權古公耕左罪
器技日橋区経檢個光皇混材
喜起給教句系憲限候港根在
願貴級強九景建言交構今際
顔記究境銀敬券現護校黒菜
岩規球協金形兼減誤誤康穀細
眼紀求共近型健蔽語広国祭
岸季救競禁兄件原後幸告災
館汽急供均係月元午工合濟
開氣宮京勤郡血驗五孝号採
問歸休魚玉軍結陰湖后高才
親機久漁極群潔見故向鉞妻

犯百布粉歩本迷輸要組礼
版筆富奮保收盟油葉流冷
反必婦物勉防命棄洋立令
半美付仏便留名約樣率類話
判備不復返望無役曜陸論和
八飛品服編刃暴務野容陸論和
烟費紗幅變法脈門余理里林録
白皮評風米放味日夕落領劣
博比表都階報荷木遊未量路
売悲票武平包万毛由浴良建
買否氷負兵母末面有欲料練
倍番標父聞墓每綿友養面列
配飯俵府文補妹鳴勇陽旅歴

データセット 1

仕死寺告受住暑焼織人正責
酸支兒質酒過初昭状身星積
贊指似室種衆処招条親整石
蚕思事失手習順承情臣政席
算志齒七守終純少常神成稅
産師資識取秋準小場真性靜
散市試式主拾春唱乘申勢青
山子詩詳弱修述商上深制誠
参姉詞自秋州術勝賞森是西
三始視耳借就出除象新世製
殺四紙治謝固宿女章信水聖
察史系次者収重助称食推精
刷司私時社需從諸省色凶生
築使氏持写授十書照職仁清

む左省置婦
紀め商単票論
基高も貸飛礼
間校初や犯領
勤効宿村ゆ率
覺午秋速白よ
絵限受送派養
芽景借組任余蒸
歌健失線読訊
化計時雪堂毛
応軍詩積燈務
益銀支聖努本
雨業四性展放
育供産人庭便
依給昨新長幅
み逆祭情虫

データセット 1

シート 29

付図 1. 2 データセットの例 (1/8)

あいでふゆ案印液屋河械学
いしでふよ以員益恩火海額
うじとへら依引門音荷絵活
えすどべり困飲園下課開株
おせにほる委院延化貨階寒
かぜぬぼれ意右演飯過員刊
がせぬぼれ意右演飯過員刊
きそわぼる易雨遠何我外勤
きそわぼる易雨遠何我外勤
ぎそのまわ異運塩価画害完
ぎそのまわ異運塩価画害完
くたはみを移雲央加芽各官
くたはみを移雲央加芽各官
ぐだばむん胃堂任可賀松幹
ぐだばむん胃堂任可賀松幹
げちばめ愛遺榮心復会格感
げちばめ愛遺榮心復会格感
げぢひも悪医永構家解確慣
げぢひも悪医永構家解確慣
こつびや安一英黄果快角漢
こつびや安一英黄果快角漢
ごつびや安一英黄果快角漢
ごつびや安一英黄果快角漢

赤浅争俗帯団注運店投道入
切線相属待断虫低転東銅任
接船總族態男若停点湯得認
折選草統貸談貯定伝燈德熱
節錢走卒退知丁底庭電等毒
設前送存隊地帳庭電等毒
說善像孫代池張弟徒答統納
雪然增尊台置朝提登統納
絶全盡損大築町程都討屆能
舌祖造村第竹腸敬勢頭内農
先素側他題茶調的度衡南派
千組則多達着長適土勤難破
宣創息太谷中鳥鉄党向二破
專倉測打準忠直典冬堂武馬
川想定体炭唇賃天刀導肉日
戰早速対短柱追展島童敗

期逆許曲訓決景戸口講敢昨
旗密峯局君欠絹庫厚行再昨
希議居業空芸研己効航查取
寄義去鏡且輕犬固功考差財
基疑牛興苦計權古公耕左罪
器技日橋区經檢個光皇混材
喜起給教句系憲限候港根在
願貴級強九景建言交構今際
顏記究境銀敬券現護校黒菜
岩規球協金形兼減誤康殺細
眼紀求共近型健嚴語広国祭
岸季救競禁兄件原後幸告災
館汽急供均係月元午工合濟
関氣宮京勤郡血驗五孝号採
間帰休魚玉軍結陰湖后高才
観機久漁極群潔見故向鉞妻

犯百布粉歩本迷輸要留札
版等富奮保牧盟油葉流命
反鼻夫物勉防命棄洋立令
半美付仙便貿名約樣率類話
判備不復返望無役囉律輪和
八飛貧福刃暴務野容陸臨論
烟費抄幅變法脈門余預里林録
白皮評風復別方未問予利力老
博比表部陞報放味目夕落領勞
賣悲票武平包刀毛由浴來量路
買否水負兵母末面有欲料連
倍番標父聞墓每綿友養兩列
配飯俵府文補妹鳴勇陽旅歴

データセット 2

策刷司察殺雜三參山散産算番贊酸殘仕
使氏私史四紙至始姉子市師志思指支止死
持時系紙示視詞詩試資齒似兒字寺舍受
寫社者謝周宿祝出術修述商唱小場真性靜
授需從助女序除勝上深制誠
十諸助女序除勝上深制誠
書從助女序除勝上深制誠
照省称章証象新世製
職色食推水數聲
仁凶推水數聲
清生精聖

世安異因永演可課快害額慣岩機
技救拳強勤具形潔檢原庫交孝考そ殺
妻材難殘市似自潔守宗集善卒善々助招
賞職神數晴青似自潔守宗集善卒善々助招
中職神數晴青似自潔守宗集善卒善々助招
負物通補望滿盟夜有ち洋利旅輪路

データセット 2

シート 234

付図 1. 2 データセットの例 (2/8)

さつふゆ暗老衛億歌改革暗
こつびや安一英黄果快角漢
げちひも患医永横家解確憤
くたばみを移雲央加芽各官
ぎそのまわ異運塩価画宮完
がせぬぼろ易雨遠何找外勤
かせにほる委院延化貨階寒
おすなべり困飲園下課開株
えすとべり依引内音荷絵活
うじとべり位困馴温花界額
いしてふよ員益恩火海渠
あざてぶゆ案印液屋河械学

戦早速対短柱追展鳥量日敗
川想足体炭唇賃天刀導肉拜
專倉測打單忠直典冬堂武馬
宣創息太谷中鳥鉄党同二破
千組則多達着長適土勳難派
先素側他題茶調的度働南波
古祖造村第竹陽敵努頭内農
絶全感損大築町程都討届能
雪然増尊台置朝提登統統納
説善像孫代池張弟徒答独燃
節前送存隊地帳庭雷等毒念
設錢走卒退知丁底田当待年
折選草統貸談貯定伝燈德熱
接船総族態男著停点湯得認
切線相屬待断虫低軋東銅任
赤浅争俗帯回注通店投道入

期逆許曲訓決温戸口講最昨
旗客登局君欠箱庫厚行再作
希議居業空芸研己効航查反
寄義去鏡具輕大固功考差財
器技日橋区徑檢個光皇混材
喜起給教句系憲限候港根在
願貴級強九景建言交構今際
顔記究境銀敬秀現謹讓殺細
岩規球協金形兼減誤誤穀細
眼紀求共近型健嚴語店國祭
岸季救競警兄件原後幸告災
館汽急供均係月元午工合濟
閑氣宮京勤郡血驗五差号採
間歸休魚土軍結險湖后高才
観機久漁極群潔見故向鉦妻

犯百布粉歩本迷輪要留札
版筆富奮保牧盟油葉流冷
板必婦分弁北明詎用略例
反鼻夫物勉防命葉洋立令
半美付仙便留名約樣率類話
判備不複返望無役囉律輪和
癸飛富福刃暴務野容陸臨論
八非品服編豐氏夜預里林録
畑費秒幅變方法脈門余理緑六
麦肥病復別方未問予利力老
白皮評風米放味日夕落領勞
博比表部陛報滿木遊來量路
壳悲粟武平包万毛由浴良連
買否水負兵母末面有欲料練
倍番標父聞臺每綿友養而列
配飯俵府文補妹鳴勇陽旅歴

データセット 5

仕死寺舎受任暑焼織人正黃
残止字奥首集所消植進晴積
酸支児質酒調初昭状身星積
贊指似室種衆処招条親整石
委思事失手習順承情臣政席
算志齒七守終純少常神成稅
産師資識取秋準小場真性靜
散市試式主拾春唱乘申勢青
山子詩弱修述商上深制誠
參姉詞自新州術勝賞森是西
二始視耳借就出除象新世製
殺十奎示車宗祝序証心數聲
察史系次者收重助称食推精
刷可私時社需從諸省色凶生
策使氏持写授十書照職仁清

上行序題依老
氣出綿帯肥今
願幸ね孫反料
漢光十の買里
林故州息は葉
振滅種總能は
楸大者全再遊
過血式川特役
泉景年鼓働鴨
温君至稅後未
塩禁心清徒房
英構使足缺母
飲漁秀親停編
胃球財食町香
東義採衆各節
及つ今消知不

データセット 5

シート 326

付図1. 2 データセットの例 (3/8)

戰早速討短柱追展島童日敗
川想足休炭登質天刀導月拜
幸倉測打單忠直興冬堂武馬
宣創息太谷中島鉄党同二破
千組則多達着長通土勤難派
先素側他題茶調的度傷兩波
台祖造村第竹腸敵勢頭内裏
絶余藏損大築町程都討屠能
雪然增輝台置相提登統話納
說著像孫代地張勇徒答独燃
節前送在隊地帳庭魁等毒念
致踐走卒退知丁底田当舞年
折還草統貨發貯定伝燈德熱
持船船族能勇著停点湯得認
切缺相屈待断虫依転東銅任
赤淺争俗市團注通店技道入

さつふゆ暗亮衝倦歌改革管
ごつびや安一英黄果快角美
こつびや庄首泳王科回覚軟
げちひも悪医永横泉解確憤
けちひも愛還衆応夏会格感
ぐたは七人胃管住可賀振幹
くたはみを特雲央如芽各官
ぎものまが異運塩価画密兒
きそねほり易由遠何我外効
がせぬほ水意右演飯過貝刊
かせにほり幸院延化貨膠果
おすまへり困飲園下課南林
えすまへり依引内音尚給者
うじとへよ位困馭退花界額
いしでぶよ以貢益司大海樂
あざてふゆ東印液屋河機字

犯白布粉歩本迷輸要留礼
版筆當香保牧盟油菜流冷
板必坤分弁北明詔用略例
反鼻夫物勉命粟洋立今
半美付仙便貿名約株率類話
判備不獲返望無俊暗律輸和
究飛更福辺暴務對容陸臨論
入非品服編費民夜預星林録
畑賞抄幅更法朕門余理緑六
支肥病復別方未問予利力老
白皮評風米放味日夕落領勞
博比表印陸報滿木遊菜量路
亮悲票武平包万毛由浴良連
買否水負兵母末面有欲料練
倍番標文開差每綿友委商列
配飯儀府文補妹馬勇陽旅歴

期逆折曲訓決泉尸口議最昨
旗安琴局惹欠絹庫厚行再作
希議居業史去研己効航查坂
寄委云境具輕大固功考差財
基疑牛輿苦計梳古公耕左罪
器技日橋区徑標個光皇昆材
喜起給教句系憲限候港根在
願貴級強九系建言交構今際
頗記究境銀敬券現護校黒菜
若規球協金形兼減誤課康報細
眼紀求共近型健康語広園祭
岸季救競禁兄件原後幸告災
館汎急供均休月元午工合清
閑氣官京勤郡血駿五春彦採
問牌休魚玉軍結陰湖后高才
観機久漁極群潔見故向敏毒

データセット 33

ベ混照池夫
季へ勝谷水録
器鉦は態非冷
観康処は版量
刊功重損ば律
確五拾足博ま
界言首走波陽
面稱車素入予
果件七浅独渠
下経持説同面
液金指精都牧
右鏡史勢天報
医京散進底返
位級作心調文
へ客災常注復

仕死寺舎令住暑燒織人正責
残止身架首集所消櫃進晴積
酸支思質酒週初昭状身屋積
質指似室種衆処招条類整石
蚕思事失多習順水情臣政席
算心齒七守終繞少常神成後
産師資識取杖半小場真性特
散市款式主拾春唱象申勢青
山子詩詩弱修述兩上深制誠
秀神詞自叔州術勝賣森是西
三始視身借就出除象新世製
殺四紙治謝周宿女章信水聖
察史糸次者収重助林食推精
刷司私時社需從諸省色園生
策使氏持字授十善照職仁清

データセット 33

シート 48

付図1.2 データセットの例 (4/8)

さづぶふや暗老衛億歌改革管
こつびや安一英黄果快角漢
げぢびも悪医永横家解確憤
けぢびめ愛遺栄庇夏会格感
ぐたはみを移雲央加芽各官
くたはまを移雲央加芽各官
ぎそのまわ異運塩価画害兒
かぜぬぼろ易雨遠何我外勸
かせにほる委院延化貨階寒
おすなべり困飲園下課開株
えすじとへら依引円音荷絵活
うじとへら依引円音荷絵活
あぎてぶゆ案印液屋河械学

戦早速討短柱追展島童日敗
川想定体炭昼賃天刀導内拜
専倉測打单忠直典冬堂式馬
宣創息太谷中鳥鉄党同二破
千組則多達着長通土勤難派
先素側他題茶調的度働南波
舌祖造村第竹賜敵努頭内農
絶全蔵損大築町程都討届能
雪然増尊台置朝提登統読納
説善像孫代池張弟徒答独燃
節前送存隊地帳庭電等毒念
設錢走卒退知丁底田当特年
折選章統貸談貯定伝燈徳熱
持船総族態勇着停占湯傳認
切線相屬待斷虫低転東銅任
赤浅争俗帯団注通店投道入

期逆許曲訓決泉戸口講最昨
旗客茅局君欠絹庫厚行再作
希議居業空芸研己効航查坂
寄義去鏡具輕大固功考差財
基疑牛興苦計權古公耕左罪
器技旧橋区経檢個光皇混材
喜起給教句系憲限候港根在
願貴級強九景建言交構今際
顔記究境銀敬券現護校黒菜
岩規球協金形兼減誤康毅細
眼紀求共近型健嚴語広国祭
岸季救競禁兄件原後幸告災
館汽急供均係月元午工合濟
間氣宮京勤郡血験五孝号採
間歸休魚玉軍結險胡后高才
観概久漁極群潔見故向鉞妻

犯百布粉歩本迷輪要留札
版筆富奮保妝盟油葉流冷
板必婦分弁北明詠用略例
反鼻夫物勉防命華洋立令
半美付仏便留名約様率類話
判備不複返望無役曜律輪和
祭飛貧福刃暴務野容陸臨論
八非品服編刃暴務野容陸臨論
畑費秒幅變法脈門余理緑六
白肥病復別方未問予和力老
博比表部陸報滿木遊來量路
走悲粟武平包万毛田浴良連
買否水負兵母末面有欲料練
倍番標父聞琴毎綿友養函列
配飯俵府丈補妹鳴勇陽旅歴

データセット 106

仕死寺舍受住暑焼織人正責
酸支見質酒過初召状身屋積
贊指似室種衆処招条親整石
奄思事失手習順承情臣政席
算志齒七守終純少常神成稅
産師資識取拾春唱小場真性靜
散市試式主拾春唱小場真性靜
山子詩辭弱修述商上深制誠
參姉詞自釈州術勝商上深制誠
三始視耳借就出除象新世製
雜士至示車宗祝序序除象新世製
殺四紙治謝周宿女章信水聖
察史系次者取重助称食推精
刷司私時社需從諸省色凶生
策使氏持字授十書照職仁清

ら困一運駅極依河賢開民史閑奇規り
久日鏡算士成声續絶船劇像俗之退炭築
糸森馬先勉才妹無木油換飲
服兵勉才妹無木油換飲

データセット 106

シート 420

付図 1. 2 データセットの例 (8/8)

付録2 第3章のための付録

表付録2. 1 誤読カテゴリとその順位 (1/10)

第1シート

ID.	入力 カテゴリ	誤読カテゴリと順位				
		DS-1	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5
6 7 8 9 12	円王何火車		門 2	玉 2 人事 4	玉 2	回 14
13 17 18 19 26	官記休牛險	証 3 除 2		体午 2 2	宮 2 体 2	
34 43 49 50 60	菜需章状属	早 2		東馬代 5 3 10	東 5	員 11
66 68 70 82 88	貯堤土福目	現上右 3 2 2		眼 2	上 3 日 2	
91	が			か 2		か 2

表付録2. 1 誤読カテゴリとその順位 (2/10)

第2シート

ID.	入力 カテゴリ	誤読カテゴリと順位									
		DS-1	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5					
97	き ゃ 黄貝学	や 2	急	2							
98			や	2					や	2	
104										責	2
108										具	2
109								中	2		
112	ぎ 旗 貴宮 建		ざ	2							
113									典	8	
114			責	2					責	2	
115									官	2	
122								律	30		
131	際 書証 整 赤		除	5				除	2		
144					憲	###					
146					語	17				記	2
150											
152			就	2							
153	先 銭 族 太 答	光	2			光	2				
154						銀	2				
158		張	2						放	2	
159									木	2	
168				管	9						
169	道 げ 否 末 命						造	2			
172						け	2				
175							木	3		苦	2
183											
184					姉	6					
185	問 こ 来 流								間	3	
187						二	2				
189						米	2				
190					価	2					

表付録2. 1 誤読カテゴリとその順位 (3/10)

第3シート

ID.	入力 カテゴリ	誤読カテゴリと順位							
		DS-1	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5			
196	員 延 億 荷 外		貝 色	2 7					
198									
199					意	2			
201								何	2
203				休	2				
207	期 さ 急 耕 ざ							相	7
208			七 息	### 2					
210									
222								横 管	5
223									###
225	最 子 耳 周 水		坂	2					
229					予	2	予	2	
232								昼	3
235					同	3		水	2
245									
249	千 じ 米 門 落 連		十	2			手	###	
253								し	2
276					未	3			
281								用 浴	3
285								建	2
288								2	

表付録2. 1 誤読カテゴリとその順位 (4/10)

第4シート

ID.	入力 カテゴリ	誤読カテゴリと順位											
		DS-1	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5							
290	安永額償岩	中	3										
293								未	9				
300						願	2						
301						后	2		町	###			
302													
303	機技検交孝							様	6				
305						接	2						
313					険	2							
316								麦	3				
317								着	20				
318	考市自守宗							者	2				
325								声	2				
328							白	2					
330					字	3							
331									覚	4			
332	集ぞ青善卒				東	4	賃	20					
334							そ	2					
342									情	5			
345				喜	2								
348									序	###			
349	た大中通討	犬	2			仁	2			作	17		
351											犬	2	
353												虫	6
355												油	4
359												計	2
364	だ比負補盟									仁	2		
366							止	6					
369										員	2		
372										布	5		
375						視	2						
377	有よ洋利旅									絹	3		
379						よ	2						
380										賞	23		
381								和	3				
382											派	2	
383	輸					輸	2						

表付録2. 1 誤読カテゴリとその順位 (5/10)

第5シート

ID.	入力 カテゴリ	誤読カテゴリと順位							
		DS-1	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5			
385	ち			ち	2				
386	暗	略	###			俗	###	借	4
395	各		舌	16		構	###	名	4
399	帰							婦	2
400	っ	っ	2			っ	2	っ	2
402	求			幸	###				
404	教							数	3
414	航							統	15
415	づ					う	2	貧	###
416	黒							具	2
427	就					続	4		
428	住					生	4		
433	上	七	2		七	2			
434	色					憲	5		
445	で							君	2
452	適					病	4		
454	島					鳥	2	鳥	2
457	式					声	8		
459	倍	借	2			借	###		
462	皮				反	2			
474	用				明	2			
476	理	程	6						

表付録2. 1 誤読カテゴリとその順位 (6/10)

第6シート

ID.	入力 カテゴリ	誤読カテゴリと順位							
		DS-1	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5			
482	胃 英 塩 漢 に				員	2	具 美	4	
484					健	2		3	
485				道	3				
492									
495		だ	76						
496	っ 球 漁 君 幸	ぢ	###		つ	2	採 薬 号	3	
498								###	
499								2	
502						車		2	
509									
516	便 至 式 者 十						便 蚕	2	
518								3	
520				式	2				
521		著 服	2			著 千		2	
524			###					###	
525	ね 序 乗 親 清						わ 存	2	
527								4	
529						業 視 情		6	
531						2		2	
533						2		2	
534	税 設 総 帯 反		続	2			課 第 友 系	4	
535								2	
538						給		2	
542									2
557									2
560	不 未 ば 葉 料 令	米 げ	4		下 末	2	ば 事	5	
566			5		2			3	
570				ぼ	4				
571						判		2	
573									耕 余
574							###		

表付録2. 1 誤読カテゴリとその順位 (7/10)

第7シート

ID.	入力 カテゴリ	誤読カテゴリと順位									
		DS-1	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5	DS-1	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5
576	ば 道 衛 音 科	ば	2					ば	2	ば	2
578											3
580											7
582											2
583											2
584	我 ひ 魚 近 系					代	2				
591						角	2	角	2	秒	3
594		黒	2			糸	2			処	4
596		糸	2	糸	2	糸	2				
598											
599	月 現 講 び 司			目	2						
601										困	###
605										護	###
606										飛	###
611										仮	9
613	視 寺 び 地 動							祖	2		
614										手	2
621						び	2	び	2		
639		他	2			加	2				
646				勸	2						
651	ぶ 標 付 包 北							ぶ	2		
654										酒	4
655		村	6							官	###
659											
660						止	3				
666	ぶ			服	###						

表付録2. 1 誤読カテゴリとその順位 (8/10)

第8シート

ID.	入力 カテゴリ	誤読カテゴリと順位				
		DS-1	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5
674	右級鏡金群	境 2	許 2	治 3	純 3	
688						
690						
691				全 2		
692						
697	五べ史持車		べ 2	玉 2	虫 2	
701						
706				べ 2		
709				待 2		
711				庫 2		
714	重精ぼ入ぼ	皇 2		ぼ 2	積 2	
723						
731						
743						
746		ぼ 4				
759	予ま冷	よ 3	子 2	治 8	式 10	
761						
764						

表付録2. 1 誤読カテゴリとその順位 (9/10)

第9シート

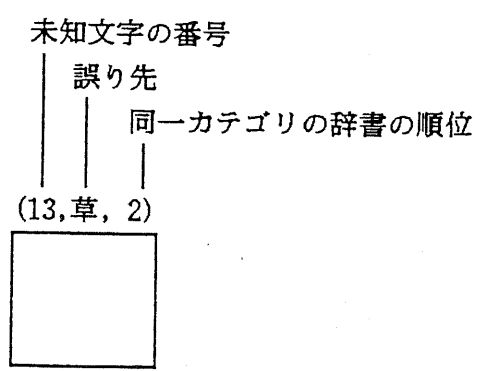
ID.	入力 カテゴリ	誤読カテゴリと順位									
		DS-1		DS-2		DS-3		DS-4		DS-5	
778	間	問	2					問	2	問	2
789	健			産	2						
819	積			績	2						
826	や									や	2
837	読			説	3						
841	ゆ			ゆ	2						
846	幅							唱	2		
847	間							間	3		
848	便					使	2				

表付録2. 1 誤読カテゴリとその順位 (10/10)

第10シート

ID.	入力 カテゴリ	誤読カテゴリと順位								
		DS-1	DS-2	DS-3	DS-4	DS-5				
862	囲 一 運 横 仮	具 2			建 4		口	4		
863										
864										
866									種 服	3
867										6
871	角 開 規 久 旧			鼻 5		南 間 現	###			
873								6		
875							現 反 何	3		
877								###	2	
878								###		
880	局 群 個 厚 構	員 2				周 称 順 横	4			
882							周 4	3		
886									18	
888									3	
889				権 5						
891	る 算 士 止 釈	士 2				わ ろ 静 土 仁	2			
895								###		
896								2		
897							粉 2	53		
901										
906	れ 称 条 仁 成	打 2				礼 赤 茶	2			
908								2		
909								2		
911							に 2			
912									54	
913	声 績 鳥 弟 届					炭 表 領 具 希 福	2			
914							###			
926							###			
927							3			
932							2			
936	わ 飯 富 方 木				市 4	欲 達 才	2			
937								7		
940								5		
944							力 2			
947			未 2							
955	和					価 の	3			
956	ん						4			

(13,草,2)	(17,証,3)	(26,除,2)	(49,早,2)	(68,現,3)
革	記	険	章	提
(70,上,2)	(82,右,2)	(98,又,2)	(152,航,2)	(153,光,2)
土	福	や	赤	先
(158,張,2)	(290,中,3)	(351,木,2)	(386,用,書,井)	(400,フ,2)
族	安	大	暗	つ
(433,七,2)	(459,借,2)	(476,程,6)	(495,本,76)	(496,才,井)
上	倍	理	に	っ
(521,着,2)	(524,服,井)	(566,米,4)	(570,付,5)	(576,ば,2)
者	十	未	ば	ば
(594,黒,2)	(598,糸,2)	(639,池,2)	(655,村,6)	(670,境,2)
魚	系	地	付	鏡
(714,皇,2)	(746,ば,4)	(761,よ,3)	(778,間,2)	(863,具,2)
重	ぼ	ま	間	一
(880,筒,2)	(876,上,2)	(906,打,2)		
局	士	れ		



図付録2. 1 誤読カテゴリのパターン (1/9)

第11データセット

(6, 門, 2)	(97, 急, 2)	(98, や, 2)	(112, さ, 2)	(114, 貴, 2)
門	き	や	ぎ	貴
(131, 際, 5)	(150, 整, 17)	(168, 答, 9)	(184, 命, 6)	(190, 流, 2)
際	整	答	命	流
(196, 員, 2)	(198, 延, 7)	(203, 外, 2)	(208, さ, 井)	(210, 急, 2)
員	延	外	さ	急
(225, 最, 2)	(249, 十, 2)	(345, 善, 2)	(395, 各, 16)	(402, 求, 井)
最	十	善	各	求
(534, 税, 4)	(570, ば, 4)	(598, 系, 2)	(599, 月, 2)	(646, 動, 2)
税	ば	系	月	動
(666, ぶ, 井)	(692, 群, 2)	(701, ペ, 2)	(757, 予, 2)	(789, 健, 2)
ぶ	群	ペ	予	健
(819, 積, 2)	(837, 読, 3)	(841, ゆ, 2)	(889, 構, 5)	
積	読	ゆ	構	

図付録2. 1 誤読カテゴリのパターン(2/9)

第12データセット

(7,王,2)	(9,入,2)	(12,帝,4)	(18,休,2)	(19,牛,2)
王	火	革	休	牛
(34,東,5)	(43,馬,3)	(50,代,10)	(66,月長,2)	(91,カ,2)
菜	需	状	貯	が
(144,塚,井)	(153,光,2)	(154,銀,2)	(172,イ,2)	(183,木,3)
書	先	錢	げ	末
(187,三,2)	(189,米,2)	(199,唇,2)	(229,子,2)	(235,同,3)
こ	来	億	子	周
(276,未,3)	(300,願,2)	(302,后,2)	(313,険,2)	(330,字,3)
米	額	岩	検	守
(332,東,4)	(349,仁,2)	(375,視,2)	(379,よ,2)	(383,補,2)
集	た	盟	よ	輪
(385,ち,2)	(433,七,2)	(462,反,2)	(474,明,2)	(492,道,3)
ち	上	皮	用	漢
(496,フ,2)	(520,武,2)	(560,下,2)	(566,才,2)	(573,判,2)
つ	式	不	未	料
(584,代,2)	(594,角,2)	(598,糸,2)	(621,ウ,2)	(639,加,2)
我	魚	系	び	地

図付録2. 1 誤読カテゴリのパターン(3/9)

第13データセット

(660, 止, 3)	(674, 治, 3)	(691, 全, 2)	(697, 玉, 2)	(731, 呼, 2)
北	右	金	五	ほ
(743, 人, 4)	(764, 治, 8)	(848, 殺, 2)	(864, 運, 4)	(871, 學, 5)
入	冷	便	運	角
(947, 木, 2)				
木				

図付録2. 1 誤読カテゴリのパターン(4/9)

第13データセット

(7, 玉, 2)	(13, 宮, 2)	(18, 休, 2)	(34, 東, 5)	(70, 上, 3)
王	官	休	菜	土
(88, 日, 2)	(109, 中, 3)	(122, 律, 30)	(131, 際, 2)	(169, 道, 2)
目	学	建	際	道
(229, 子, 2)	(249, 千, 井)	(305, 技, 2)	(328, 自, 2)	(332, 集, 20)
子	千	技	自	集
(334, ゑ, 2)	(366, 止, 6)	(381, 利, 3)	(385, ぢ, 井)	(386, 暗, 井)
ぞ	比	利	ぢ	暗
(400, づ, 2)	(415, う, 2)	(427, 就, 4)	(428, 住, 4)	(434, 色, 5)
づ	就	住	色	
(452, 滴, 4)	(454, 島, 2)	(457, 弑, 8)	(459, 倍, 井)	(482, 胃, 2)
滴	島	弑	倍	胃
(485, 塩, 2)	(509, 幸, 2)	(521, 者, 2)	(524, 十, 井)	(529, 乗, 6)
塩	幸	者	十	乗
(531, 親, 2)	(533, 清, 2)	(538, 総, 2)	(570, ば, 2)	(571, 葉, 3)
親	清	総	ば	葉
(576, は, 2)	(594, 魚, 2)	(613, 視, 2)	(621, び, 2)	(651, ぶ, 2)
は	魚	視	び	ぶ

図付録2. 1 誤読カテゴリのパターン (5/9)

第14データセット

(701, 八, 2)	(709, 持, 2)	(723, 積, 2)	(743, 入, 6)	(746, ぼ, 2)
へ	持	精	入	ぼ
(778, 間, 2)	(846, 幅, 2)	(847, 聞, 3)	(875, 規, 3)	(877, 久, 井)
間	幅	聞	規	久
(878, 旧, 井)	(886, 個, 4)	(891, 万, 2)	(901, 釈, 2)	(911, 仁, 2)
旧	個	万	釈	仁
(936, わ, 4)	(944, 方, 2)			
わ	方			

図付録2. 1 誤読カテゴリのパターン (6/9)

第14データセット

(8, 回, 14)	(60, 属, 11)	(91, か, 2)	(98, や, 2)	(104, 黄, 2)
何	属	が	や	黄
(108, 貝, 2)	(113, 典, 8)	(114, 貴, 2)	(115, 宮, 2)	(146, 証, 2)
貝	旗	貴	宮	証
(158, 族, 2)	(159, 太, 2)	(175, 否, 2)	(185, 問, 3)	(201, 荷, 2)
族	太	否	問	荷
(207, 相, 7)	(222, 極, 5)	(223, 箇, 井)	(232, 肩, 3)	(245, 水, 2)
期	耕	ざ	耳	水
(253, じ, 2)	(281, 門, 3)	(285, 浴, 2)	(288, 連, 2)	(293, 永, 9)
じ	門	落	連	永
(301, 刑, 井)	(303, 機, 6)	(316, 交, 3)	(317, 孝, 20)	(318, 考, 2)
慣	機	交	孝	考
(325, 市, 2)	(331, 宗, 4)	(342, 青, 5)	(348, 卒, 井)	(349, た, 17)
市	宗	青	卒	た
(351, 大, 2)	(353, 中, 6)	(355, 通, 4)	(364, 討, 2)	(364, 仁, 2)
大	中	通	討	だ
(369, 負, 2)	(372, 補, 5)	(377, 有, 3)	(380, 洋, 23)	(382, 旅, 2)
負	補	有	洋	旅

図付録2. 1 誤読カテゴリのパターン (7/9)

第15データセット

(386,借,4)	(395,名,4)	(399,帰,2)	(400,フ,2)	(404,教,3)
暗	各	帰	フ	教
(414,航,15)	(415,航,井)	(416,皇,2)	(445,君,2)	(454,島,2)
航	づ	黒	で	島
(482,胃,4)	(484,英,3)	(498,球,3)	(499,魚,井)	(502,君,2)
胃	英	球	魚	君
(516,使,2)	(518,至,3)	(525,ね,2)	(527,序,4)	(535,設,4)
使	至	ね	序	設
(542,帯,2)	(557,反,2)	(560,不,5)	(573,料,井)	(574,今,3)
帯	反	不	料	今
(576,ば,2)	(578,遺,3)	(580,衛,7)	(582,音,2)	(583,料,2)
ば	遺	衛	音	料
(591,ひ,3)	(596,近,4)	(601,現,井)	(605,講,井)	(606,び,井)
ひ	近	現	講	び
(611,司,9)	(614,寺,2)	(654,標,4)	(659,包,井)	(688,級,3)
司	寺	標	包	級
(706,史,2)	(711,車,2)	(761,ま,10)	(778,間,2)	(826,や,2)
史	車	ま	間	や

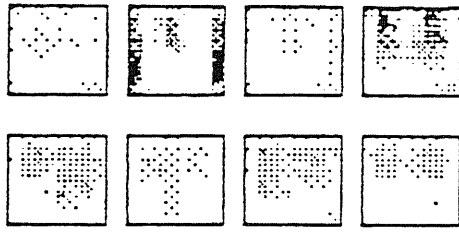
図付録2. 1 誤読カテゴリのパターン (8/9)

第15データセット

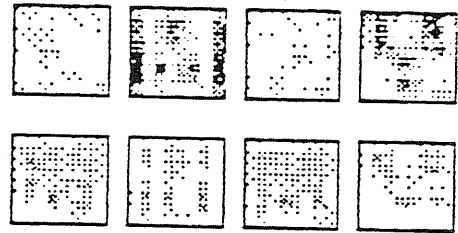
(862,口,4)	(866,横,3)	(867,服,3)	(811,商,非)	(813,開,非)
田	横	仮	角	開
(815,環,2)	(880,周,4)	(882,称,3)	(888,順,18)	(889,構,3)
規	局	郡	厚	構
(891,子,2)	(895,静,非)	(896,上,2)	(897,土,2)	(906,子,2)
石	算	士	止	水
(908,赤,2)	(909,茶,2)	(912,炭,54)	(913,表,2)	(914,積,非)
称	条	成	声	績
(926,見,非)	(927,弟,3)	(932,福,2)	(937,欲,2)	(940,京,7)
鳥	弟	届	飯	富
(944,才,5)	(955,働,3)	(956,の,4)		
方	和	ん		

図付録2. 1 誤読カテゴリのパターン (9/9)

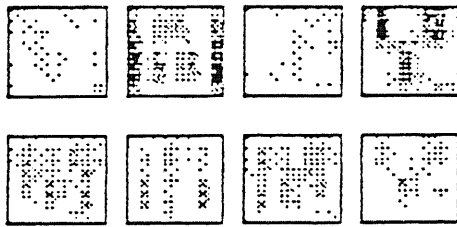
第15データセット



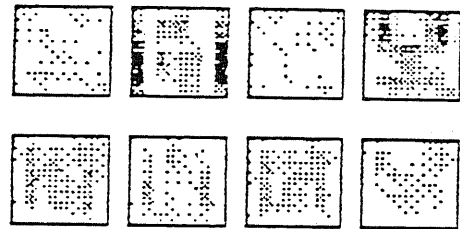
門



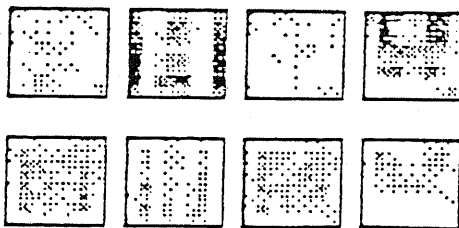
問



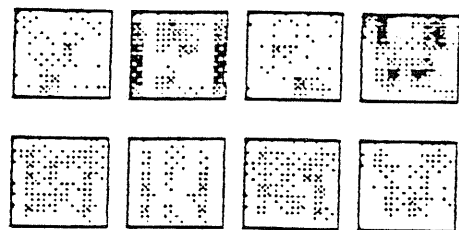
問



問

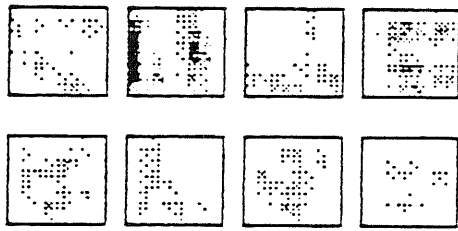


問

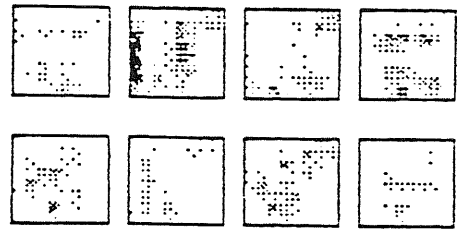


問

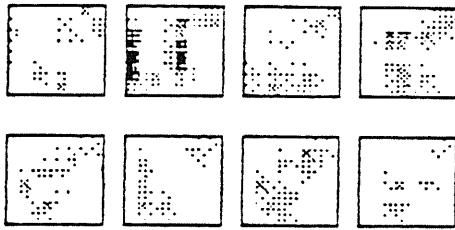
図付録2.2 類似文字の辞書パターン「門」(1/2)



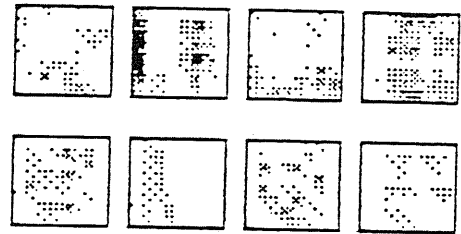
は



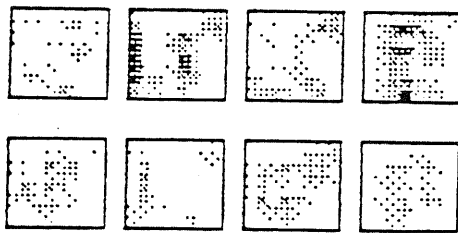
は"



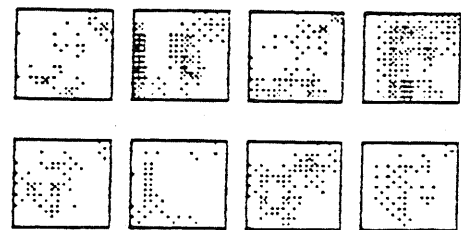
は°



ほ



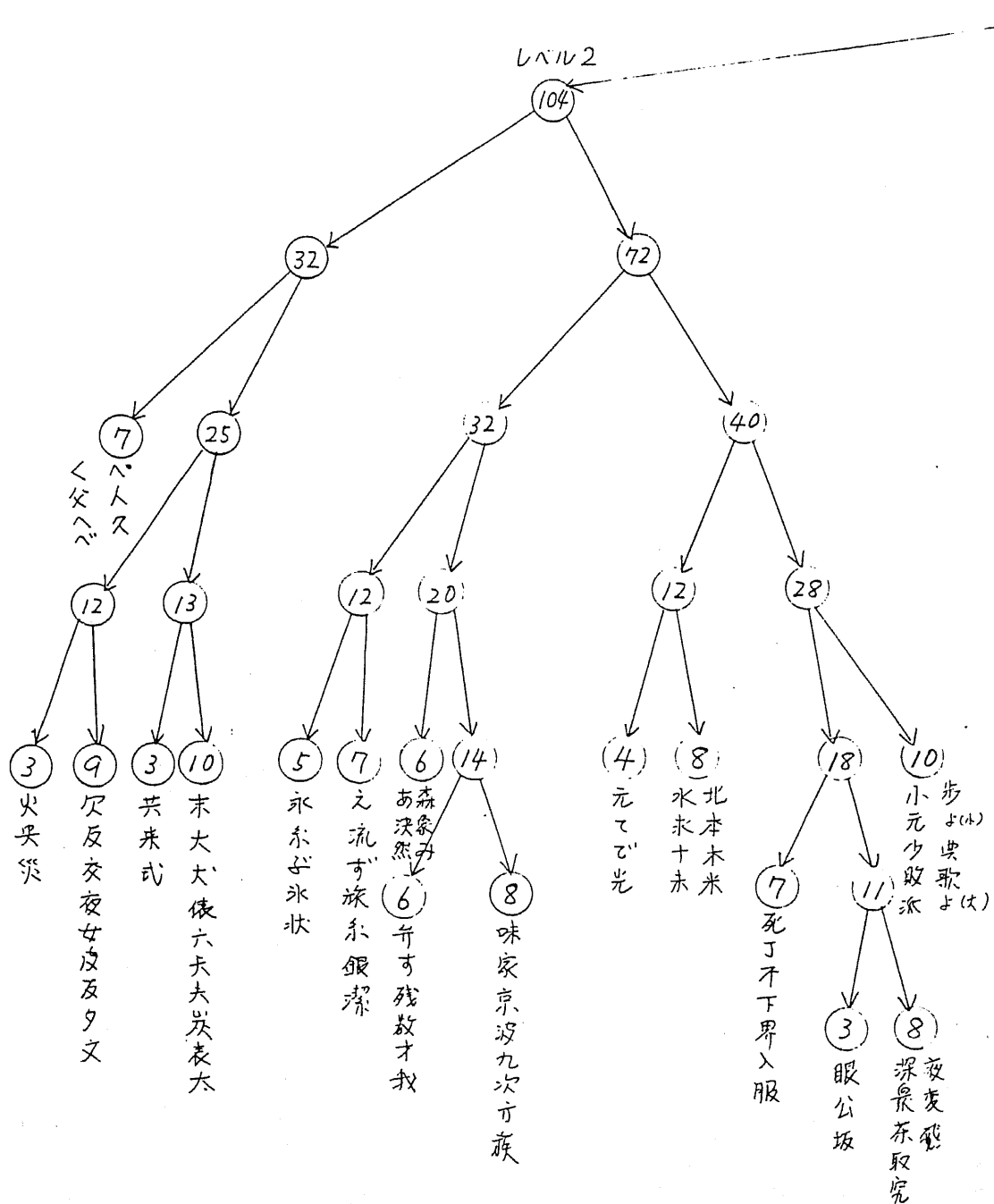
は"



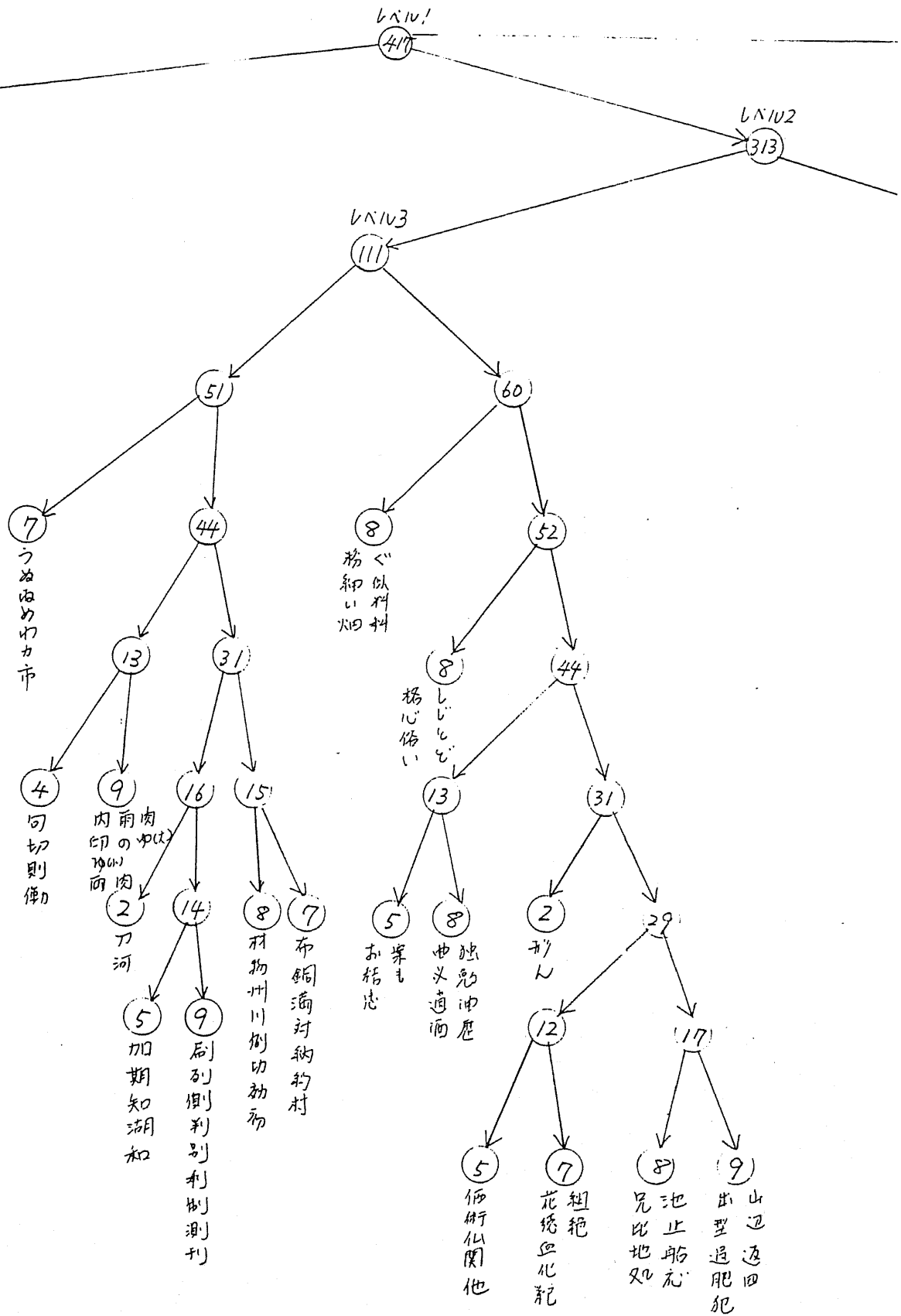
ほ°

図付録2.2 類似文字の辞書パターン「は」(2/2)

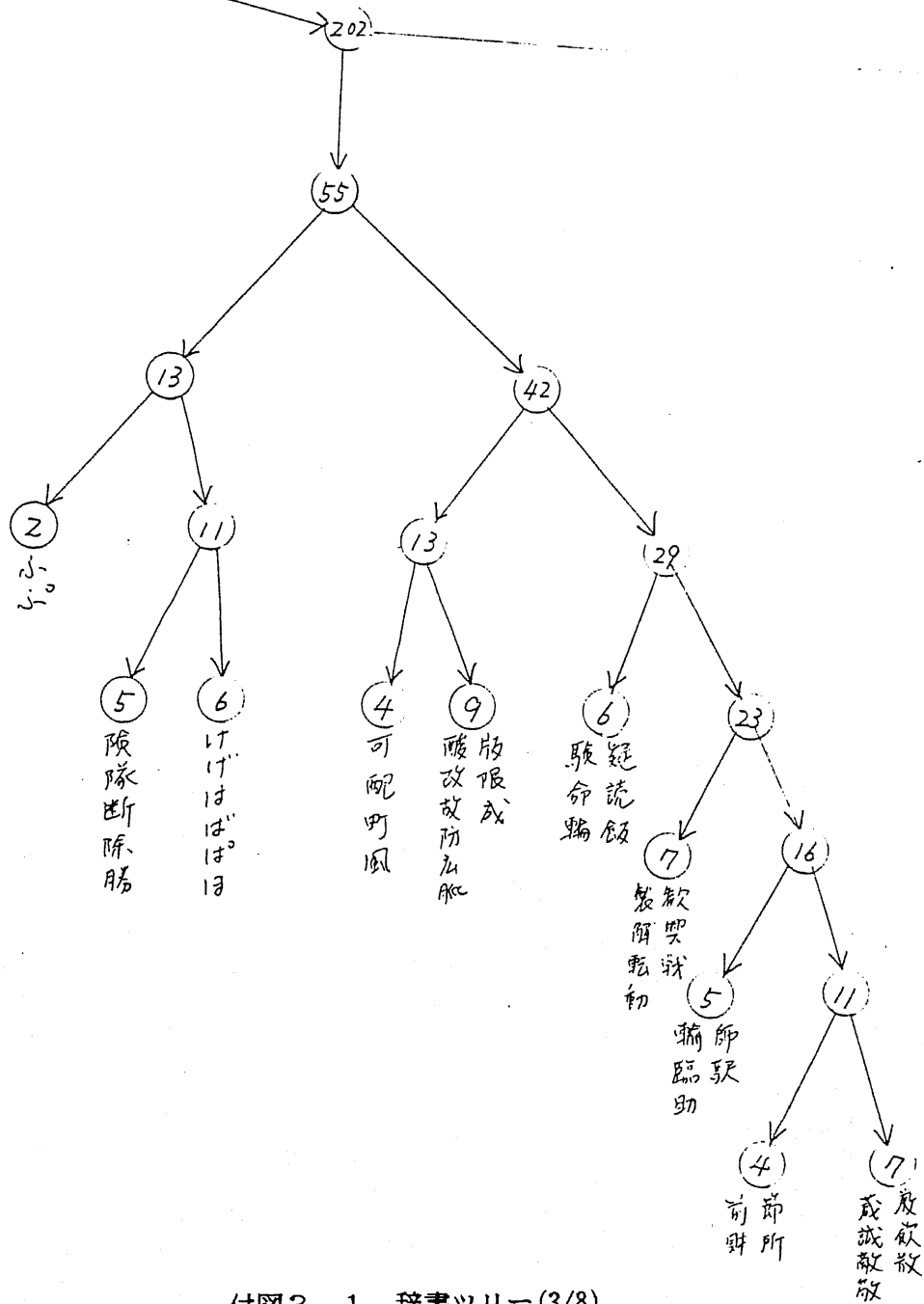
付録3 第4章のための付録



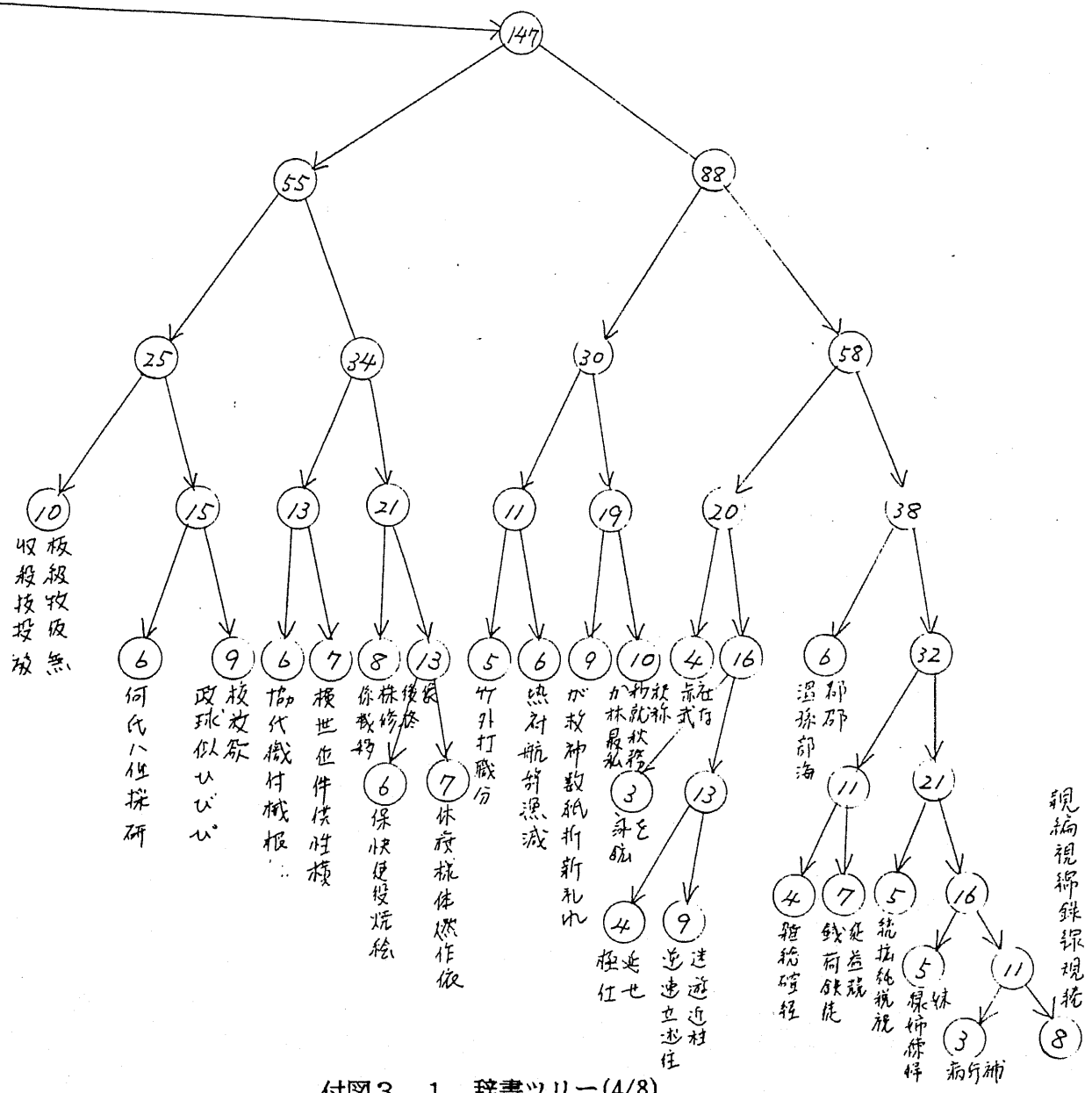
付図3.1 辞書ツリー(1/8)



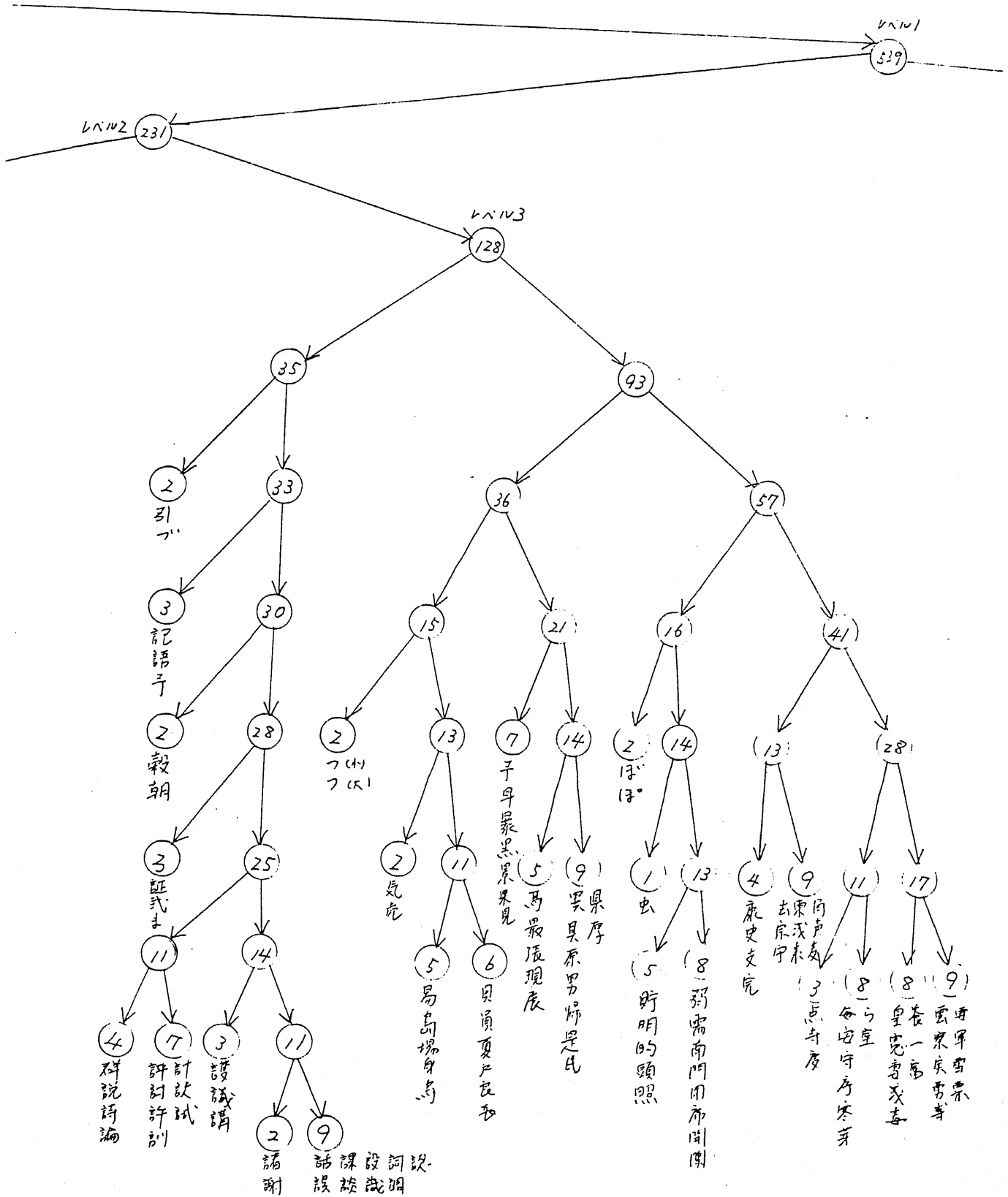
付図3. 1 辞書ツリー(2/8)



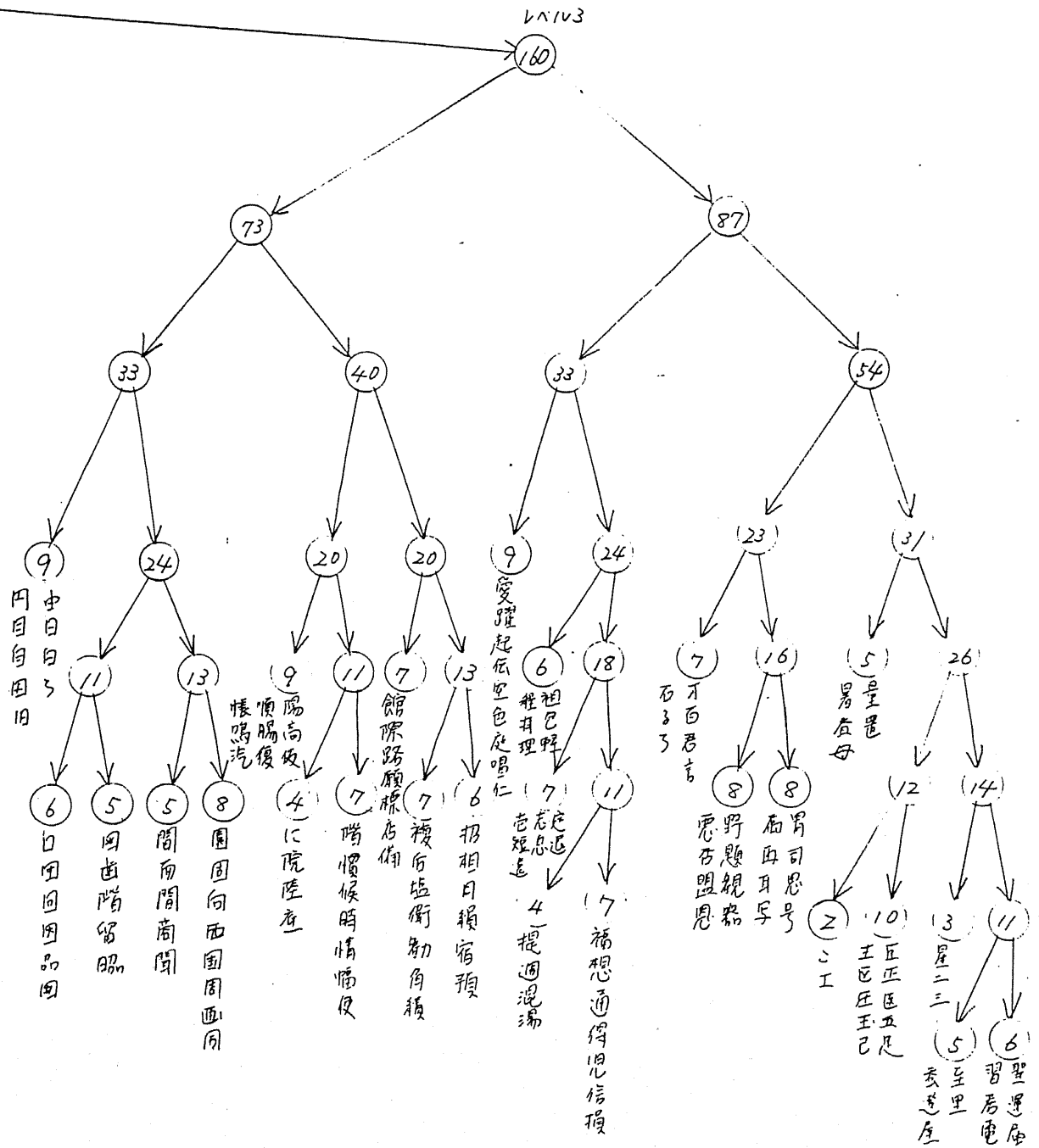
付図3.1 辞書ツリー(3/8)



付図3. 1 辞書ツリー(4/8)



付図3. 1 辞書ツリー(6/8)



付図3. 1 辞書ツリー(8/8)

付録4 第6章のための付録

付録4.1 第6章6.2.1.1 辞書文字のストローク分解をおおまかに説明する。

なお、以下の手法は、参考文献 (72) を参照している。

付録4.1.1 方向性画面の生成

ここでは、付図4.1に示す4方向のストロークを考える。まず、2値画面より4方向の方向をもつ方向性画面を生成する。このため、各点から4方向に黒画素数を数え、最も長い長さをもつ方向を、その黒画素の方向とする。

2値画面を $f(X)$, $X = (x, y)$ とする。また、付図4.2のマスクの8つの方向へ黒画素数を記録する $P^i(X)$, ($i = 1 \sim 8$) を用意する。第1に画面の左上から右下へと走査しマスク上の1~4の点を調べ、第2に画面の右下から左上へと走査しマスク上の5~8の点を調べ、次式を実行する。

$$\begin{cases} f(X + X_i) = 0 & \text{のとき} & P^i(X) = 0 \\ f(X + X_i) \neq 0 & \text{のとき} & P^i(X) = P^i(X) + 1 \end{cases}$$

ただし、

$$\begin{cases} X_1 = (-1, 1) & X_2 = (-1, 0) & X_3 = (-1, -1) & X_4 = (0, -1) \\ X_5 = (1, -1) & X_6 = (0, 1) & X_7 = (1, 1) & X_8 = (0, 1) \end{cases}$$

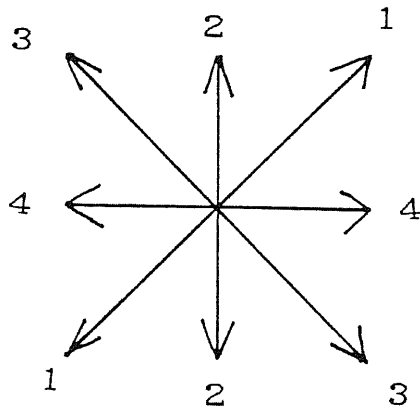
これで、8方向への距離がわかったので、次式で4方向に換算する。

$$\begin{cases} d_1'(X) = \sqrt{2} (P^1(X) + P^5(X)) \\ d_2'(X) = (P^2(X) + P^6(X)) \\ d_3'(X) = \sqrt{2} (P^3(X) + P^7(X)) \\ d_4'(X) = (P^4(X) + P^8(X)) \end{cases}$$

ただし、このままでは、ノイズが多いため 3×3 の窓をかけて安定化する。すなわち、

$$d_k(X) = \max \{ d_k'(X), d_k'(X + X_1), d_k'(X + X_2), \\ d_k'(X + X_3), d_k'(X + X_4), d_k'(X + X_5), \\ d_k'(X + X_6), d_k'(X + X_7), d_k'(X + X_8) \}$$

を黒画素 X の方向 k ($k = 1 \sim 4$) の距離とする。このうち、



付図4. 1 4方向のストローク

3	2	1
4	×	8
5	6	7

付図4. 2 黒画素数を
記録するためのマスク

$$d_1(X) = \max \{ d_1(X), d_2(X), d_3(X), d_4(X) \}$$

を満足する方向 l をその黒画素のもつ方向とする。これより、方向性画面 $F(X)$ が次のように得られる。

$$F(X) = (F_1(X), F_2(X), F_3(X), F_4(X))$$

ただし、 F_k は方向 k を持つ黒画素の集合である。参考文献より、例を付図4.3に示す。

付録4. 1. 2 延長処理

距離だけを用いた方向性画面では、付図4.4に示すように、本来連続であるべきストロークが分割されたり、ストロークに欠けを生じたりする。このため、延長処理を行って、ストロークを整形する。これは、次のように行う。

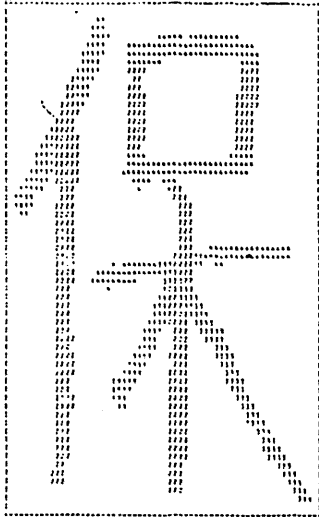
方向性画面 F_k に存在する黒画素 X_a を考える。2値画面 $f(X)$ 上で、この黒画素 X_a の位置から方向 k を眺め、そこに方向は k でないかもしれないが、なんらかの黒画素 X_b が存在すれば、この黒画素 X_b は方向 k を持つと推定してもおかしくはない。従って、 X_b にも方向 k を与える。

付録4. 1. 3 雑音ストロークの除去

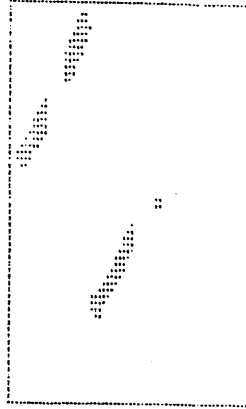
雑音ストロークは、付図4.5に示すように、ストロークとストロークの接点にあらわれる。ストロークとストロークの接点は、文字線の曲りの部分である。たとえば、水平ストロークと垂直ストロークの接点を考える。ここは、水平でもあるし、垂直でもある。また、両方の性質を兼ね備えているので、斜め方向とも見做しうる。従って、ここでは、水平、垂直、斜めの3つのストロークが抽出されることになる。この斜めのストロークが、雑音ストロークである。これは、取り除いたほうがよい。

予め、すべてのストロークに対して、その接続関係を求めておく。ここで、あるストロークが、雑音ではないかと仮定する。もし、雑音であれば、このストロークは取り除いても、他のストロークの接続関係には影響を及ぼさないはずである。このような時は、このストロークは取り除いてしまう。

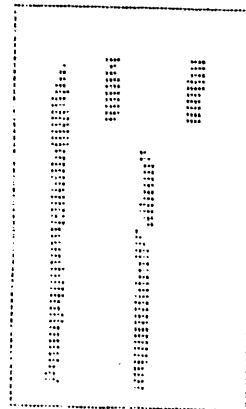
ただし、孤立しているストロークの場合は、この方法では必ず除かれてしまう。従って、孤立ストロークは残して置けばよい。



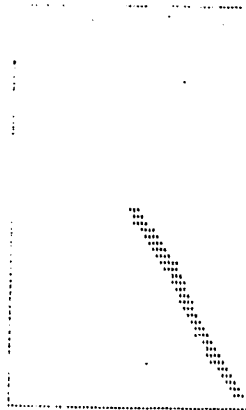
(a) 2值画面



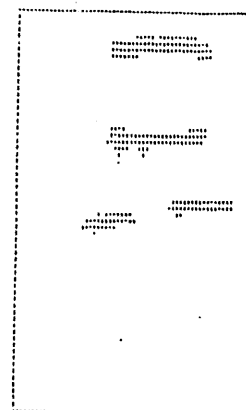
(b) F_1



(c) F_2

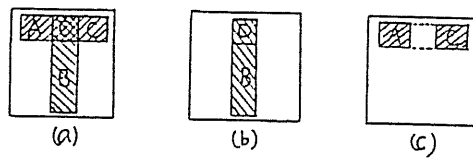


(d) F_3

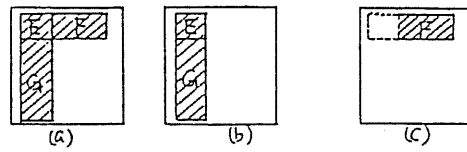


(e) F_4

付图4.3 方向性画面

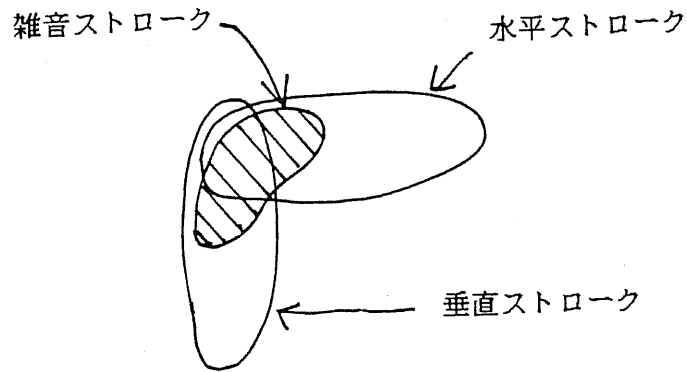


(1) ストローク結合



(2) ストローク延長

付図4. 4 延長処理



付図4. 5 雑音ストローク

付録4. 2 第6章6. 2. 1. 2 (6)ストローク相対位置関係表(SRT₁)における
 "左"、"上"、"交差"の定義は次のとおりである。

まず、番号*i*のストローク*s_i*について、次のように定義する。

$$S(i) = \{ (x,y) \mid (x,y) \text{はストローク } s_i \text{を構成する黒点の座標の集合} \}$$

$$x_L^i = \min \{ x \mid (x,y) \in S(i) \}$$

$$x_R^i = \max \{ x \mid (x,y) \in S(i) \}$$

$$y_U^i = \min \{ y \mid (x,y) \in S(i) \}$$

$$y_L^i = \max \{ y \mid (x,y) \in S(i) \}$$

$$x_C^i = (x_L^i + x_R^i) / 2$$

$$y_C^i = (y_U^i + y_L^i) / 2$$

$$k^i = (\text{ストローク } s_i \text{の方向})$$

この時、"左"、"上"、"交差"は次のように定義される。

(左)

$$x_C^i < x_C^j \text{ かつ}$$

$$\beta_1 \leq \frac{\max\{0, (\min\{y_L^i, y_L^j\} - \max\{y_U^i, y_U^j\})\}}{\min\{(y_L^i - y_U^i), (y_L^j - y_U^j)\}}$$

(上)

$$y_C^i < y_C^j \text{ かつ}$$

$$\beta_2 \leq \frac{\max\{0, (\min\{x_R^i, x_R^j\} - \max\{x_L^i, x_L^j\})\}}{\min\{(x_R^i - x_L^i), (x_R^j - x_L^j)\}}$$

(交差)

$$\frac{2 \left| x_C^2 - \frac{x_L^1 + x_R^1}{2} \right|}{|x_R^1 - x_L^1|} \leq \beta_3$$

かつ

$$\frac{2 \left| y_C^1 - \frac{y_U^2 + y_L^2}{2} \right|}{|y_L^2 - y_U^2|} \leq \beta_3$$

ただし、

$$\begin{cases} x_L^1 = (\sin \frac{\pi}{4} k^i) x_L^i + \frac{1}{\sqrt{2}} \delta_{k^i, 1} y_U^i - \frac{1}{\sqrt{2}} \delta_{k^i, 3} y_L^i - \delta_{k^i, 4} y_L^i \\ x_R^1 = (\sin \frac{\pi}{4} k^i) x_R^i + \frac{1}{\sqrt{2}} \delta_{k^i, 1} y_L^i - \frac{1}{\sqrt{2}} \delta_{k^i, 3} y_U^i - \delta_{k^i, 4} y_U^i \\ x_C^2 = (\sin \frac{\pi}{4} k^i) x_C^i + (\cos \frac{\pi}{4} k^i) y_C^i \end{cases}$$

$$\begin{cases} y_U^2 = -(\sin \frac{\pi}{4} k^j) x_R^j - \frac{1}{\sqrt{2}} \delta_{k^j, 1} y_L^j + \frac{1}{\sqrt{2}} \delta_{k^j, 3} y_U^j + \delta_{k^j, 4} y_U^j \\ y_L^2 = -(\sin \frac{\pi}{4} k^j) x_L^j - \frac{1}{\sqrt{2}} \delta_{k^j, 1} y_U^j + \frac{1}{\sqrt{2}} \delta_{k^j, 3} y_L^j + \delta_{k^j, 4} y_L^j \\ y_C^1 = -(\sin \frac{\pi}{4} k^j) x_C^j - (\cos \frac{\pi}{4} k^j) y_C^j \end{cases}$$

ここで、

$$\delta_{n,m} = \begin{cases} 1 & (n = m) \\ 0 & (n \neq m) \end{cases}$$

また、 $\beta_1 = \beta_2 = 0.65$, $\beta_3 = 0.8$ とする。