



# 筆記速度のファジィ評価方法を導入した 毛筆文字生成システムについて†

中村 剛士\*<sup>1</sup> 黒田 崇\*<sup>2</sup> 伊藤 英則\*<sup>1</sup> 世木 博久\*<sup>1</sup>

本論文では、ユーザがマウスまたは電子ペンなどを用いて入力した金釘(カナクギ)文字を毛筆書体に変換してワークステーションの画面上にオンライン出力するシステムの構成法について述べる。ユーザは紙に鉛筆を使って文字を書く感覚で入力することができ、書き手の個性を活かして毛筆文字を生成出力する。本システムでは46種に分類した漢字の基本構成要素である画(ストローク)を標準画としてデータベースに格納し、ユーザが入力したストローク毎にニューラルネットワークにより認識し、ユーザの入力ストロークの位置、角度、大小、筆記速度などの個性情報を標準ストロークに付加して手書き毛筆画として出力する。なお、本システムではユーザの筆記速度の個性情報をファジィ評価することにより毛筆文字特有の掠れとにじみを付加して表現する方法をとっている。

キーワード：ファジィ推論，ニューラルネットワーク，毛筆文字生成，筆記速度の評価，マンマシンインターフェース

## 1. はじめに

近年のパーソナルユース型の計算機の普及によりその利用形態が多様化してきており様々な書体フォントを作成，出力表示する要求が高まっている。その中でも，手紙，パンフレットなどに用いる書体として毛筆書体の要求が強くなっている。そのため，この要求に応えるべく毛筆書体を使用できる環境がワードプロセッサなどに整えられてきている。現在これらの普及している毛筆文字は単なる毛筆フォントとしてグラフィックパターンで構成されているものが多い。ただし，これらは文字の美しさの点においては問題ないが，ユーザが好みに合わせて自由に変形することには難がある。このように個性によって，毛筆書体の書風を変化させることはさらに進んだ要求に応えること

になる。

毛筆の特性を生かし個性的な毛筆文字生成の研究として文献[7]がある。文献[7]はいくつかの数値パラメータをユーザが設定し，趣向に合った毛筆漢字を会話形式で合成して，個性的な毛筆書体を生成する。また，このような処理を行なうとき，JIS第1水準だけでも2965種類と膨大な数がある漢字フォントを作成するコストも軽視できない。これを解決するために文献[7]では漢字の基本構成要素が画(ストローク)であることに注目して，すべてのストロークを40余種類に分け，フォントデータベースの縮小化を行なっている。また，活字印刷文字であるゴシック体や明朝体などの情報圧縮を実現している研究もある。[8][9][11]

本論文は同様に毛筆漢字を生成するために，漢字の基本構成要素であるストロークに着目した入力，変換処理，出力表示について述べる。なお，本論文と文献[7]との違いは以下の3つである。

まず，本システムでは，入力がキーボードによるコード入力[7]でなくマウス又は電子ペンによるビット入力である。ユーザはシステムを利用するための専門知識を必要とせず，キーボードによ

† A Calligraphy System Based on Fuzzy-Evaluation of the Writing Speed

Tsuyoshi NAKAMURA, Takashi KURODA, Hidenori ITOH and Hirohisa SEKI

\*<sup>1</sup> 名古屋工業大学 知能情報システム学科  
Department of Intelligence and Computer Science,  
Nagoya Institute of Technology

\*<sup>2</sup> 三菱電機エンジニアリング㈱  
Mitsubishi Electronic Engineering Corporation

る数値パラメータを設定することもないのでシステムの操作が比較的容易である。ユーザはディスプレイ上にストロークを描くだけの簡単な操作で毛筆書体を生成できる。

つぎに、ディスプレイ上に描かれたストロークをリアルタイムに認識し、そのストロークに対応した毛筆画に変換処理することである。従来からある毛筆文字を生成するための会話的システムにおいて、ストローク単位にオンライン実行する認識機能を備えたマン-マシンインターフェースを持つものは見当たらない。

さらに、ユーザの筆記速度を評価して、掠れおよびにじみを備えた毛筆文字を出力する試みについては未だ報告されていない。なお、本システムでは筆記速度の評価にファジィ推論を用いている。

## 2. システムの構成

### 2.1 システムの構成要素

本システムは図1に示すように入力部(input part)、認識部(recognition part)、分類データベース(classification table database)、標準画データベース(model stroke database)、ファジィ演出部(fuzzy interpretation part)、出力部(output part)の6つの部分から構成される。さらにフ

ァジィ演出部は速度分析部(analysis part)と速度表現部(expression part)からなる。本章では、まず本システムの処理の基準となるストロークの分類(分類データベース)を示し、次に基本処理の流れと入力画の認識方法について述べる。標準画データベース、ファジィ演出部、出力部については後述する。

### 2.2 画の分類

本システムの特徴の1つである1ストローク毎の処理を行なうために作成した、ストロークの類似度により JIS 第1第2水準の楷書を分類したものを表1\*に示す。以降これを分類データベースと呼び、入力画の認識に用いる。認識部は入力画をキーとしてこの中から1つのストロークを選択する。表1の  $gr\_no$  (グループ番号) と  $p\_no$  (パターン番号) は認識部が入力画を認識し、識別した  $ID$  ( $gr\_no, p\_no$ ) を示す。詳細は2.5節で述べる。

### 2.3 基本処理の流れ

本システムの基本的な処理の流れを次に示す。本システムはユーザが入力する筆順に従って入力されるストローク単位に以下の処理(i)-(v)を

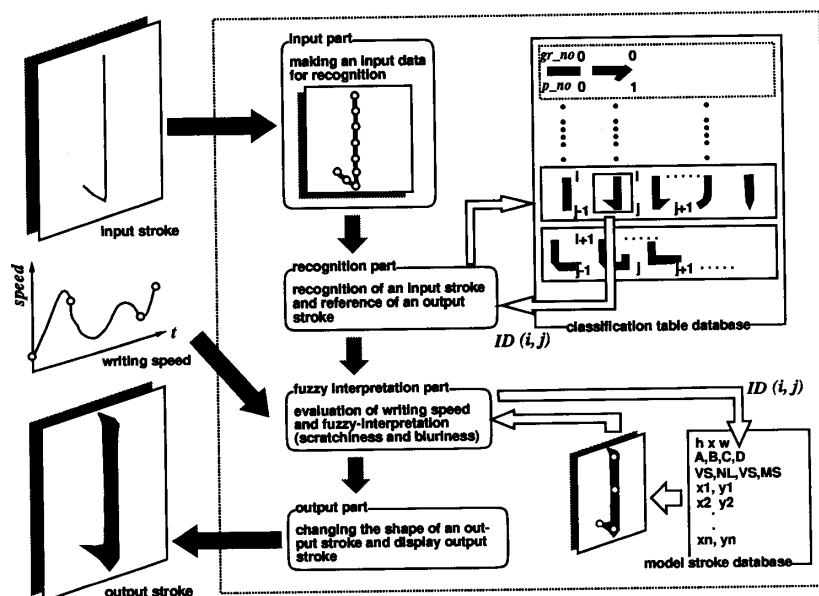


図1 システムの構成と処理の流れ

\* 本システムでは46種類を抽出し、これを21のグループに分類した。

繰り返し行ない、毛筆漢字を完成する。

- (i) ウィンドウ\*に入力画を描画\*\*する。
- (ii) 入力画を認識部であるニューラルネットを用いて認識する。
- (iii) 認識部からの出力  $ID(gr\_no, p\_no)$  によって入力画に対応する標準画データベースを検索し出力画の詳細情報を得る。
- (iv) 筆記速度の測定, 解析情報からファジィ推論によって掠れとにじみを施す度合を決定する。
- (v) 毛筆出力画を入力画の大きさ, 傾きに合わせて変形し, 掠れおよびにじみを付加して毛筆画を画面上に表示する。

表1 画の分類(分類データベース)

$\begin{matrix} p\_no \\ gr\_no \end{matrix}$	0	1	2	3	4
基本画	0	一	一		
	1	3	3	3	
	2	ㄥ	ㄥ		
	3	7	7		
	4	7	7	フ	
	5	フ	フ	フ	
	6	1	1	レ	1
	7	ㄥ	ㄥ	ㄥ	
	8	ㄥ	ㄥ	ㄥ	
	9	ㄥ	ㄥ		
	10	ノ	フ		
	11	ノ	フ		
	12	ㄥ			
	13	く			
	14	ㄥ			
15	✓				
点画	16	ㄥ	ㄥ	ㄥ	
	17	ㄥ	ㄥ		
	18	ㄥ	ㄥ		
	19	ㄥ	ㄥ		
	20	✓			

## 2.4 認識部への入力データ

ユーザが入力したストロークのサンプリング座標データは入力部で加工し, 認識部への入力データとする。このサンプリングデータ数は入力時間に依存する。この取得した座標点のデータから入力画の長さを求め, これを等距離間隔に  $n$  等分\*\*\*し, 始筆点から終筆点までの  $n+1$  個の新たな座標データ  $(x_i, y_i)$  ( $i=0, \dots, n$ ) を作成する(図2参照)。

つぎに, この座標データから式(1)により  $x, y$  方向の変化量  $(dx_i, dy_i)$  ( $i=1, \dots, n$ ) を求める。

$$\left. \begin{aligned} dx_i &= x_i - x_{i-1} \\ dy_i &= y_i - y_{i-1} \\ \overline{dx_i y_i} &= \sqrt{dx_i^2 + dy_i^2} \end{aligned} \right\} (i=1, \dots, n) \quad (1)$$

さらに, 式(2)によって  $\sin\theta_i, \cos\theta_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) を求めて, これを認識部の入力データとする。なお  $\theta_i$  は移動方向を示す[4]。

$$\left. \begin{aligned} \cos\theta_i &= dx_i / \overline{dx_i y_i} \\ \sin\theta_i &= dy_i / \overline{dx_i y_i} \end{aligned} \right\} (i=1, \dots, n) \quad (2)$$

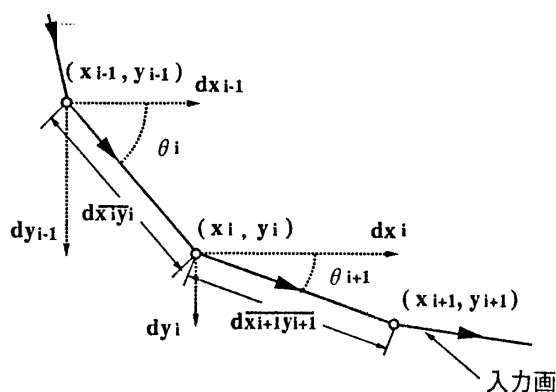


図2 入力ベクトル

\* 付図1に本システムを起動したときの画面を示す。本システムは毛筆文字を出力するメインウィンドウ(付図1中央)とサブウィンドウ(付図1右上)の2つのウィンドウから成る。

\*\* ユーザはディスプレイ上に表示されたウィンドウにマウスまたは電子ペンを使って漢字ストロークを描くことができる。

\*\*\* 入力データ数( $n$ )については, ニューラルネットを用いた認識実験の結果, 座標データの数は本システムでは入力画の分類より35程度で十分な認識能力が得られることの確認を得ている。

2.5 認識部の処理

認識部には三層構造の階層ニューラルネットワークを使用する。このニューラルネットに入力部で作成した入力データ  $\sin\theta_i, \cos\theta_i (i=1, \dots, n)^*$  を入力し、ニューラルネットは表1の分類データベース内の46種類のストロークパターンから1つを選択する。すなわち、入力画のID( $gr\_no, p\_no$ )を決定する。

決定方法はニューラルネットを2回用いる(図3参照)。第1回目の認識では21種類から  $gr\_no$  を決定し、2回目はさらに細部の特徴を認識してその  $gr\_no$  内から  $p\_no$  を決定する。

なお、ここでは認識の学習方法として誤差逆伝搬法(BP)[1]を用いた。

2.6 標準画データベース

表1に示した46種類のストロークのデータは標準画データベースに格納する。各ストロークデータはそのストロークの形状を示すデータとそのストロークを描く際の筆記速度に関するデータの2種類を保持している。以後、前者を形状データ、後者を速度データと呼ぶ。

形状データについてはストロークのアウトラインのデータである。ただし、データファイルはアウトラインのすべての輪郭点の中から選択した制御点[11]のみを持つ。このことはいくつかの制御点のみでも、これらをスプライン補間することによってほぼ元のストロークを復元できるが、[11]

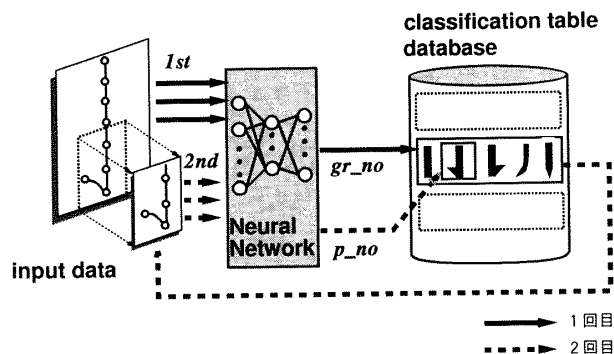


図3 認識方法

本システムではこの方式の1つであるリゼンフェルトスプライン[12]を利用してストロークを形成する。

つぎに、速度データは速度分析点とこれに属するファジィ表現された速度の度合である。本システムでは各ストローク毎にユーザの筆記速度と標準画データベース内の各ストロークデータが保持する標準的な速度データとを比較する。比較するストローク上の特定の位置を速度分析点とし、これを各ストローク上に配置する。

例えば“乙”( $gr\_no=8, p\_no=1$ )の速度データについて述べる。ここでは“乙”に点AからHまでの8個の速度分析点を配置した(図4参照)。このときの“乙”のデータファイルを図5に例示する。他のストロークも同様に速度分析点をストローク上に配置する。本システムでは速度分析点は始筆点、終筆点、転折点およびそれらの中間点に配置する。

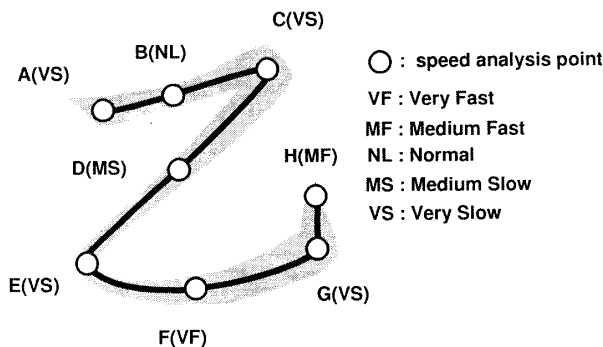


図4 “乙”の速度データ

86	78	//高さ × 幅
8		//速度分析点の数
A, B, C, D, E, F, G, H		//速度分析点の位置
VS, NL, VS, MS, VS, VF, VS, MF		//速度データ
T		//掠れ表示範囲*
50		//制御点数
6.00	9.00	//以下, 制御点座標
1.19	6.14	
17.55	5.00	
35.02	3.03	
43.50	1.00	
50.00	5.00	
.	.	
.	.	
65.64	83.40	

図5 “乙”のデータファイル (標準画データベース内のデータ)

\* ここでは、2.4節の脚注で示した通り  $n=35$ である。

\*\* 掠れ表示範囲については4.1節で述べる。

### 3. 筆記速度の測定と評価

#### 3.1 測定例

図6に“乙”の筆記速度の測定例を示す。縦軸と横軸はそれぞれユーザの筆記速度と筆記時間を表し、左上に入力されたストロークの描画を示す。入力画筆記速度測定グラフ上の点aから点hは標準画データベース内の速度分析点Aから点Hと1対1に対応する。

図6では、始筆点Aから点Bまで徐々に速く描き、点Cで一端止まり、点Cから点Dを経て点Eまでゆっくりと進め、点Eから急速に速度を上げて、はねる点Gで再度筆を止め、点Hで勢いよくはね上げたことが測定されている。

#### 3.2 筆記速度の評価

筆記速度の評価は以下に示す9つのファジィルールを用いて推論を行なう。ルール中のA, B, C, Dについては表2のそれぞれが対応する。このファジィルールは各速度分析点で使用される。

*if A and B then C and D*

前件部パラメータは筆記速度(A)と墨の量(B)とし、後件部の掠れ度合(C)とにじみ度合(D)を変化させる。図7にそれぞれのメンバーシップ関数を示す。ここで、表2の前件部の筆記速度につ

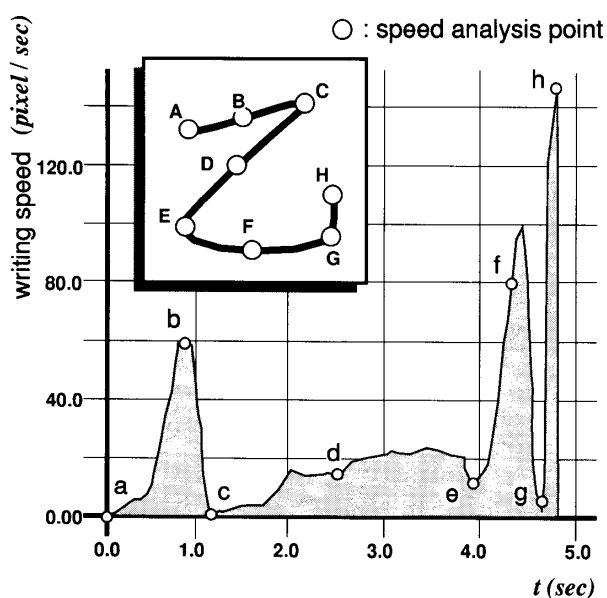


図6 筆記速度の測定グラフ(例)

いてはユーザの筆記速度とシステムが保持する標準筆記速度との差分値である。また、墨の量については書き始めの入力時間0のときを最大量として入力時間に比例して減少していくものとした。墨のつき足しについてはシステムのオプションボタンを選択することにより可能である。(付図1参照)

表2 ファジィ推論ルール

前件部		後件部	
筆記速度 A	墨の量 B	掠れ度合 C	にじみ度合 D
fast	much	zero	small
fast	normal	small	zero
fast	little	large	zero
normal	much	zero	small
normal	normal	zero	zero
normal	little	small	zero
slow	much	zero	large
slow	normal	zero	small
slow	little	small	zero

上記のルールによりユーザは筆記速度を変化させて、掠れまたはにじみのあるストロークを出力させる。

ユーザが比較的容易に趣向に合ったストロークを生成するには、付図1の右上に表示されたサブウィンドウのスクロールバーを利用する(図8参照)。ユーザはこのスクロールバーのつまみを左右に移動させて、前件部メンバーシップ関数を変形することができる。

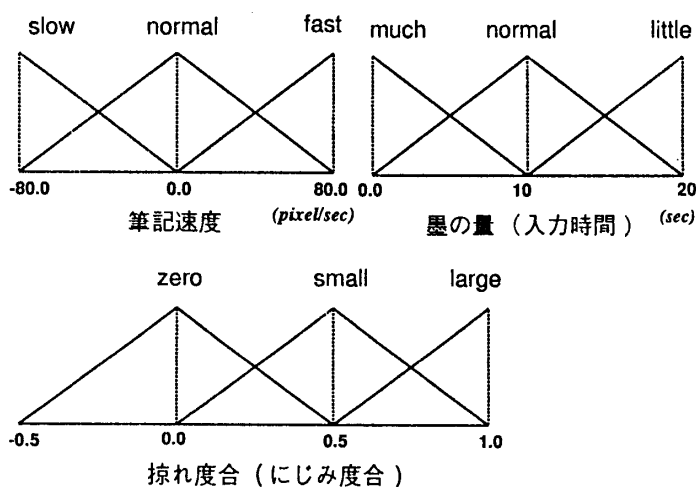


図7 メンバーシップ関数

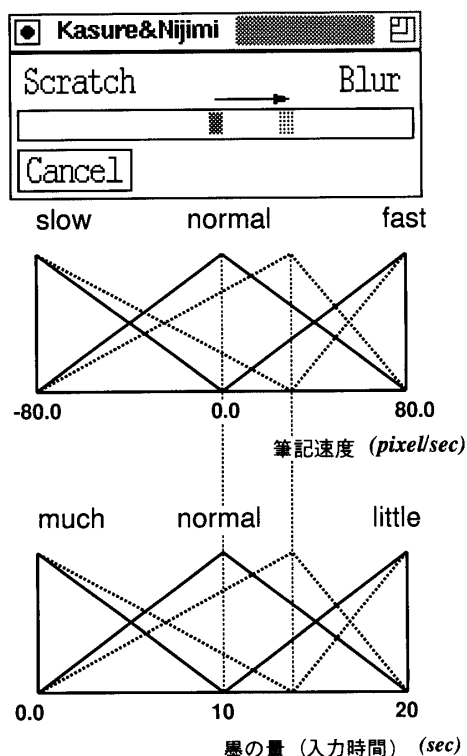


図8 メンバシップ関数の変形

#### 4. 掠れの表現とにじみの表現

本システムは掠れ、にじみを使って筆記速度を視覚的に表現するシステムであるともいえる。分析部では筆記速度が評価され、その結果として掠れ度合とにじみ度合が出力される。この2つの度合から、速度表現部は標準ストロークを加工し掠れとにじみを表現して、それを出力部に渡す。

##### 4.1 掠れの表現

本システムではストローク上に複数の白い線分を配置することによって疑似的\*に掠れを表現する方式を採用する。この線分を掠れ線分と呼ぶ。各ストロークの始筆点から終筆点までをいくつかの区間に分け、この区間に掠れ線分を描く。区間数については各ストロークの長さに依存する。ストロークの各区間に描くことができる掠れ線分の数 $N$ は各区間の特定位置の太さ $w_0$ によって次のように決定する。

$$N = k \cdot w_0 \quad (0.0 \leq k \leq 1.0) \quad (3)$$

\* 実際、書道の掠れには多種多様なパターンがあるが、本システムではそのうちの一部の疑似的パターンについて実現した。

“—” ( $gr\_no=0, p\_no=0$ )を例として、掠れ線分について述べる。図9に示すストローク上に引かれた1から $N$ の線分に掠れ線分を表示する。

ストロークの各区間毎に表示する掠れ線分の数 $(s\_no)$ については掠れ度合 $(s\_degree)$ と $N$ から求める。

$$s\_no = s\_degree \cdot N \quad (4)$$

各分析点での掠れ線分の数 $(s\_no)$ は上記のように求め、分析点を含む区間以外の区間の掠れ線分の数については分析点間で線形的に変化するものとする。

システムは各区間の掠れ線分の数 $(s\_no)$ を決定し、次に各区間毎に相当分の数 $(s\_no)$ の掠れ線分を表示する。その表示位置については、各ストロークのデータファイルの掠れ区間での掠れを表示する範囲を予め設定したパラメータにより特定して表示する。その範囲内では一様乱数を使って掠れ線分を配置して自然に近い疑似的な掠れを表現する。

下の図10は入力画のA, B, Cを各分析点としての掠れ度合 $(s\_degree)$ から、掠れを表現する例である。

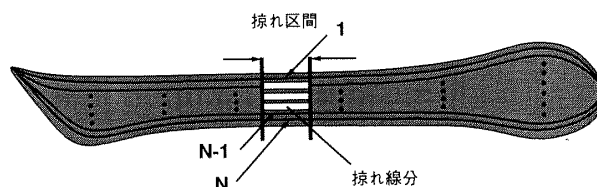


図9 掠れ線の表示

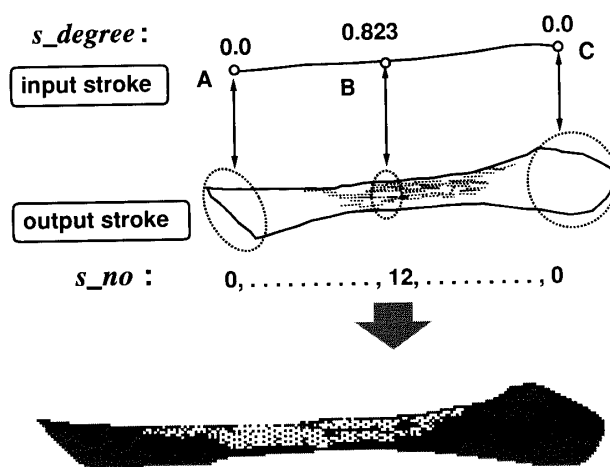


図10 掠れの表現

### 4.2 にじみの表現

ストロークのにじみ\*による変形は標準ストロークの各輪郭点を外側に移動させることによって行なう。輪郭点を移動させる幅をにじみ幅( $w_b$ )とし、にじみ度合( $b\_degree$ )とストロークの特定位置の太さ( $w_o$ )から求める。

$$w_b = b\_degree \cdot w_o \quad (5)$$

にじみ幅( $w_b$ )も掠れ線の数( $s\_no$ )と同様に分析点でのにじみ幅をファジィ評価(表2参照)により決定し、分析点間の位置については線形的ににじみ幅( $w_b$ )が変化するものとする。

図11に入力画のA, B, Cを各分析点としてのにじみ度合( $b\_degree$ )からのにじみ表現を例示する。

これらの掠れ、にじみの度合について趣向に合わせてファジィ関数を変形させるのはサブウィンドウのスクロールバーによることについては3.2節で述べた。

### 5. 出力例

図12-29は本システムの出力部が標準ストロークを入力画の位置、長さ、傾きによる個性情報により加工して出力した例である。ここで例示した漢字は表1の分類データベースに示すストロークの90%を網羅している。

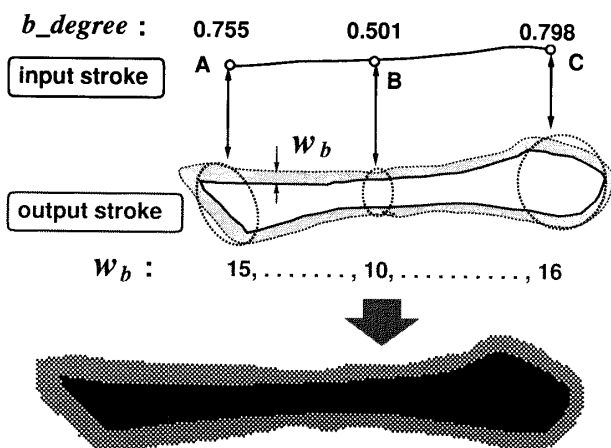


図11 にじみの表現

\* 特に、にじみの部分を強調して明示する必要があるときは、明度と大きさの異なる2つのストロークを重ね合わせることで表現する。内側の濃い部分は標準ストロークであり、外側の薄い部分にはじみを表したストロークである。特ににじみを強調して表現する必要のないときは大きさをにじみ部分に、明度を標準ストロークに合わせて表示する。



図12 “月”



図13 “夜”



図14 “花”



図15 “弟”



図16 “我”



図17 “鳥”



図18 “道”

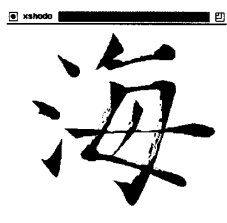


図19 “海”



図20 “葉”



図21 “根”



図22 “風”



図23 “魚”

xshodo

雲

図24 “雲”

xshodo

松

図25 “松”

xshodo

窓

図26 “窓”

xshodo

廷

図27 “廷”

xshodo

遊

図28 “遊”

xshodo

部

図29 “部”

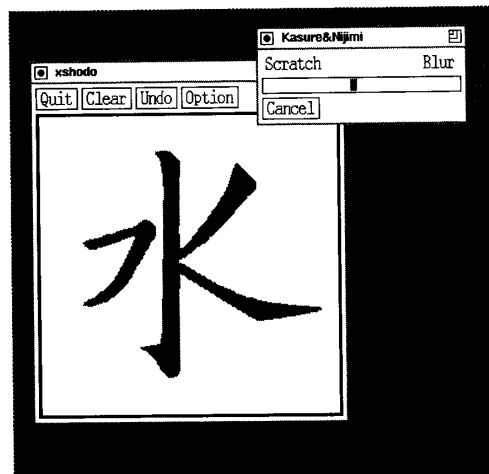
## 6. おわりに

本システムは1画ごとに入力画を認識し、毛筆画に変換するシステムであるが、以下に示す3つの特徴がある。

まず1つ目は入力画の認識処理がBP[1]を用いた単純なニューラルネットの組合せで構成できたことである。すなわち、ストローク1つ1つがシンプルな形状をしているため、認識部は比較的単純な認識処理で済む。

つぎに2つ目はデータベースが膨大とならないことである。本システムの標準画データベースには46種類のストロークデータのみを格納してある。数千種類ある漢字すべてをデータベース化したものに較べて、その数が少なく済む、その上各データファイルのサイズも最小416 byteから最大1385 byteと小さくて済む。

3つ目は個性的な毛筆文字を生成することができることである。ストローク毎にその位置や長さ



付図1 システムの起動画面

などを決定することができ、またその組合せによってユーザの趣向にあった文字を作成できる。さらに本システムでは、筆記速度を評価し、それを掠れとにじみとしてストローク上に表現でき、ユーザの動的な特性を反映させることができる。

また、本システムは個性的な毛筆フォントを作成するヒューマンインターフェースとして位置付けられるが、速度を評価することから書道における適切な筆記速度を学習できるCAI的な側面も持つものへ発展する可能性を秘めている。

さらに、ここではストローク毎の処理に着目したため扱う漢字は楷書のみであった。しかしながら、比較的ストロークが独立して処理できる隷書、寄席文字へ拡張することも容易であろう。

最後に、本システムでは、動的個性情報として筆記速度のみを扱ったが、今後は筆圧を測定できる市販の電子ペンにおいて積極的に筆圧をも処理して表示するシステムについて研究する予定である。

## 参考文献

- [1]Rumelhart, D., Hinton, G. and Williams, R.: Learning representations by back-propagation errors, Nature 323, pp.533-536, 1986
- [2]T. Nakamura et al: A Writing System for Brush Characters Using Neural Recognition



- and Fuzzy Interpretation, Proc. of IJCNN'93, pp.2901-2904, 1993
- [3] T. Nakamura et al : Fuzzy-Based Writing System for Acquiring Good Writing Skill of Brush Characters Based on the Analysis of Writing Speed, Proc. of PRICAI'94, pp.822-827, 1994.
- [4] 加藤, 川島: ペンの圧力移動量等のオンラインデータを用いたサイン照合, 情報処理学会(平成5年前期)全国大会, 2, 199-200, 1993
- [5] 山崎, 山本, 井口: 筆記速度分析を導入したCAIシステム, 信学論(D), J70-D, 11, pp.2071-2076, 1987
- [6] 山本, 山崎, 井口: 書写技能知識を組み込んだCAIシステム, 信学論(D-II), 9, pp.1493-1500, 1989
- [7] 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, 1984
- [8] 田中哲朗他: 漢字スケルトンフォントの生成支援システム, 第32回プログラミング・シンポジウ

ム報告集(1991年1月), pp.1-8

- [9] 陳, 小沢: 多様な明朝体の規則的な生成, 信学論(D-II), 9, pp.1423-1431, 1989
- [10] 富本, 太田, 杉田: 手書きワープロの構想と開発過程, 信学技報, PRU86-77, pp.57-62, 1986
- [11] 胡, 倉田, 八重樫: 劣化拓本文字の半自動修復システム, 信学技報, PRU90-154, pp.71-78, 1991
- [12] 桜井: スプライン関数入門/情報処理の新しい手法, 東京電気大学出版局, 1981

(1994年5月6日 受付)

[問い合わせ先]

〒466 名古屋市昭和区御器所町  
名古屋工業大学知能情報システム学科  
☎ : 052-735-5469  
☎ : 052-735-5477  
email : tnaka@juno.ics.nitech.ac.jp

## 著者紹介



中村 剛士 (なかむら つよし)

名古屋工業大学知能情報システム学科

名古屋工業大学 電気情報工学博士後期過程1年在籍。1993年 名古屋工業大学工学部電気情報工学科卒業。1995年 同大学院博士前期過程修了。現在 同大学院博士後期過程在籍中。ニューラルネットワーク、ファジィ推論等に興味を持つ。情報処理学会、ファジィ学会各会員。



伊藤 英則 (いとう ひでのり)

名古屋工業大学知能情報システム学科

1974年 名古屋大学大学院工学研究科博士過程電気電子専攻満了。工学博士号取得。1974年 日本電信電話公社横須賀研究所勤務。1985年(財)新世代コンピュータ技術開発機構出向。1989年 名古屋工業大学教授。現在知能情報システム学科所属。この間、数理言語理論、計算機ネットワーク通信、OS、知識ベースシステムなどの研究開発に従事。電子情報通信学会、情報処理学会、人工知能学会、形の科学学会、ファジィ学会各会員。



黒田 崇 (くろだ たかし)

三菱電機エンジニアリング(株)

1994年 名古屋工業大学工学部電気情報工学科卒業。同年 三菱電機エンジニアリング(株)入社。在学中はファジィ推論、ヒューマンインターフェースの研究に従事。



世木 博久 (せき ひろひさ)

名古屋工業大学知能情報システム学科

1979年 東京大学工学部計数工学科卒業。1981年 同大学院工学系研究科修士過程修了。同年4月より三菱電機(株)中央研究所に勤務。1985年~1989年(財)新世代コンピュータ技術開発機構に出向。1992年4月より名古屋工業大学工学部知能情報システム学科助教授。工学博士。論理プログラミング、演繹データベース等に興味を持つ。電子情報通信学会、人工知能学会、ACM、IEEE Computer Society 各会員。