

ファジィ・スプライン補間法を用いた オンライン手書き曲線のファジィ同定法

佐賀聡人 牧野宏美

株式会社テクノバ 研究開発室
札幌市厚別区下野幌テクノパーク 2丁目 3番 3号

あらまし 本論文では、ファジィ理論を応用したオンライン手書き曲線の同定法を提案している。これは、ペン・コンピュータのようにペン入力によって操作されるシステム上において、直接的な曲線入力ヒューマン・インターフェイスを実現するためのものである。本手法は、手書き入力された曲線の形状のみならずその書かれ方の丁寧さ加減をも情報として利用しており、その曲線の曲線クラスが線分、円、円弧、楕円、楕円弧、閉自由曲線、開自由曲線のどれを意図して書かれたものかを推論し、かつその形状パラメータを同定する。書き手が本手法の性質を利用することより上の7種類の基本曲線を自然にかつ直接的に書き分けて入力することが可能となる。

和文キーワード スプライン補間、ファジィ理論、ペン入力、図形認識、CAD

On-Line Freehand Curve Identification Based on Fuzzy Spline Interpolation

Sato SAGA and Hiromi MAKINO

Research and Development Division
TECNOVA Corp.

Techno Park 2-3-3, Shimonoppo, Atsubetsu-ku, Sapporo, 004 Japan

Abstract A fuzzy approach to freehand curve identification is proposed in this paper. This approach was designed as a curve input method for pen and tablet systems in response to increasing demand for direct human interface suited to pen-computing. The method identifies both the curve class (such as line, circle, circular arc, ellipse, elliptic arc, closed free curve or open free curve) and the curve shape of a drawn freehand curve allowing for the vagueness in drawing. The experimental results in this paper demonstrate the effectiveness of this method.

英文 key words Spline Interpolation, Fuzzy System, Pen-Computing, Pattern Recognition, CAD

1 まえがき

近年、タブレットや液晶ディスプレイの普及によって、従来のキーボードやマウスなどの間接的な入力デバイスにくらべてより直接的な入力を行なえるペン入力デバイスが着目され、いわゆるペン・コンピュータが普及し始めている。このペン入力の第一の利点としてマウスよりも迅速なポインティング操作が挙げられるが、さらに本質的な利点は直接的ペン操作による自在な描画動作表現が可能となるところにある。

このペン入力の描画動作を利用した直接的な入力手法としては、従来から、文字入力を実現するオンライン文字認識技術やコマンド選択を実現するジェスチャ認識技術が研究され、既にペン・コンピュータ上での実用レベルでの利用が可能となっている。しかしながらコンピュータへの入力情報のひとつとして重要な図形の入力に関していえば、ペン入力の特徴を生かした直接的な汎用入力技術が確立されてはいない。

そこで本論文では、CAD システムなどにおける直接的かつ柔軟な図形入力インターフェイスを実現するための基本機能としてファジィ・スプライン曲線同定法 (Fuzzy Spline Curve Identifier, FSCI) を提案する。FSCI はタブレットからペンで入力された手書き曲線の幾何学的形状を推論、同定する手法であり、書かれた曲線が線分、円、円弧、楕円、楕円弧、閉自由曲線 (閉 B スプライン曲線)、開自由曲線 (開 B スプライン曲線) の 7 種類の曲線クラスのうちどれを意図して書かれたものであるかを推論し、さらにその形状パラメータを同定する。

ここで、FSCI が認識する上述の 7 種類の曲線クラスは通常 CAD などを用いる線図形の構成要素として必要最小限のものを網羅している。しかも FSCI は書かれた曲線の形状のみならずその書かれ方の丁寧さ加減をも情報として利用して推論、同定を行なうため、書き手は自分の意図する曲線をこの 7 種類の曲線クラスの中から自然な方法で書き分けて入力することができる。したがって、この FSCI をペン入力による直接図形入力インターフェイスのための汎用的基本機能として位置づけることができる。

以下では、まず 2 節で FSCI 構築の基本的な着想点を明らかにする。つぎに 3 節で FSCI の前処理、すなわち手書き曲線のファジィ・スプライン曲線表現およびそのファジィ・セグメンテーション法について簡単に整理して、4 節で FSCI の根幹部分となる曲線クラス推論法および曲線同定法の詳細について述べる。さらに 5 節では実験結果をもとに FSCI の特性および有効性についての検討を行なう。

2 FSCI 構築の着想点

一般に、書き手が入力しようと意図した理想的な幾何曲線と実際に書かれた曲線形状との間にはずれがあり、観測された曲線のサンプル・データの位置情報にはある曖昧さが内在するものと考えられる。しかも、その曖昧さは曲線の書かれ方の丁寧さ加減によって部分ごとに変化しているものと考えられる。したがって、観測された曲線形状情報のみから書き手の意図した理想的な幾何曲線を推論することはできない。

ところで、人間は、他人の曲線描画動作を観測することにより相当程度までその人が描画しようと意図した曲線を理解することができる。これは、書かれた曲線の形状とともにその曲線の書かれ方の丁寧さ加減を観測し、観測された形状が書き手の意図に忠実なものであるか、あるいは線分、円のような自由度の低い幾何学的曲線を象徴的に書こうとして、たまたまそのような形状となってしまったものであるかを判断しているためと考えられる。この考察から、手書き曲線をもとにして書き手が意図した曲線を推論、同定するためには、入力曲線の位置情報のみならず、その書かれ方の丁寧さ加減に起因する位置の曖昧さをも情報として積極的に利用することが有効であると予想される。

FSCI の基本的な着想は、この人間による手書き曲線の解釈に似た機能をコンピュータ上に実現することによって、直接的な手書き入力で意図する理想的曲線をコンピュータに伝える図形入力ヒューマン・インターフェイスを構築するところにある。

そこで FSCI においては、まず前処理として、観測された曲線のそれぞれのサンプル・データに対して曲線の書かれ方の丁寧さに応じた位置情報の曖昧さを仮定し、手書き入力曲線全体を文献 [4] で提案したファジィ・スプライン曲線によって表現する。このファジィ・スプライン曲線表現は入力曲線の形状とともにその曲線の部分ごとに変化する位置情報の曖昧さをも情報として保持することができ、これによって以後の処理で曖昧さ情報を容易に取り扱うことが可能となる。

前処理ではさらに、このファジィ・スプライン曲線が文献 [5] のファジィ・セグメンテーション法によって基本曲線に分割され、その後、曲線のファジィ同定部へ処理が移る。

FSCI の同定部では、ファジィ・スプライン曲線表現された個々の基本曲線セグメントについて、それが線分、円、円弧、楕円、楕円弧、閉自由曲線、開自由曲線の 7 つの曲線クラスのうちいずれであるかをファジィ理論に基づいて推論し、さらに推論された曲線クラスとしての曲線形状パラメータを同定する。

ここで、7 種類の曲線クラスの自由度に関する包含関

係をもとにすれば、曲線が丁寧に書かれるほど自由度の高い曲線クラスが推論され、反対に粗雑かつ象徴的に書かれるほど自由度の低い曲線クラスが推論される傾向を持つように FSCI のファジィ推論ルールを設定することができ、またこのように設定することによって前述の人間の曲線解釈に似た機能を実現される。

書き手はこのように設定された推論傾向を利用することによって自然な方法で自分の意図する曲線クラスが FSCI に選択されるように曲線を書き分けて入力することが可能となる。

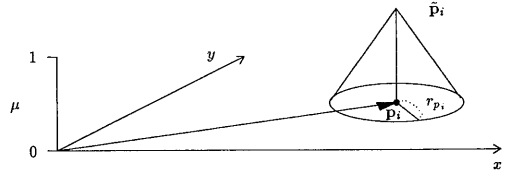


図 1: 円錐型ファジィ・ベクトル

3 ファジィ・スプライン曲線化

ペンによりタブレットから入力された手書き曲線は等時間間隔でサンプル (毎秒 10 点程度) され、図 2(a) のような点列 p_i として入力される。

ここで、このサンプル点列は必ずしも書き手が意図した理想的な曲線の位置情報を忠実に反映したものではなく、一般に、曲線が粗雑に書かれていればいるほどそのサンプル点の位置情報には大きな曖昧さが含まれるものと仮定できる。したがって、ここでは描画動作の粗雑さ加減を曲線の書かれている加速度によって簡単に評価することにし、加速度に比例した量の曖昧さ情報をサンプル点の位置情報に付加する。これは、各サンプル点 p_i においてその点での加速度に比例した値 r_{p_i} を求め、各サンプル点を図 2(b) のように円錐型ファジィ・ベクトル $\hat{p}_i = \langle p_i, r_{p_i} \rangle$ に置き換えることによって実現できる。ただし円錐型ファジィ・ベクトルは、図 1 のような円錐型メンバシップ関数で特徴づけられるものとする。

ここで、文献 [4] のファジィ・スプライン補間法によれば図 2(c) のようなファジィ点列 \hat{p}_i を補間するファジィ・スプライン曲線が

$$\hat{s}^n(u) = \sum_{i=0}^{L+n-1} \hat{d}_i N_i^n(u) \quad (1)$$

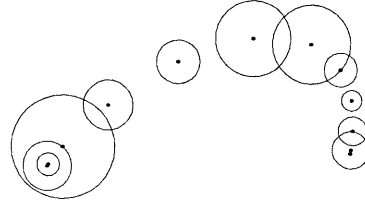
と求められる。ただし、 \hat{d}_i はファジィ制御多角形、 $N_i^n(u)$ は n 次の正規化 B スプラインである。

得られたファジィ・スプライン曲線は書き方の丁寧さを反映した位置情報の曖昧さを内包した手書き曲線のファジィ・モデルとして以後の曲線ファジィ同定処理で利用される。なお複数の基本曲線を連続して入力する場合にはさらに文献 [5] で提案したファジィ・セグメンテーション法によってストロークを手がかりにして基本曲線ごとのセグメントに分割しておく。

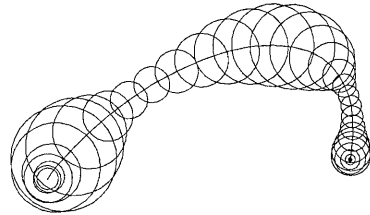
4 曲線のファジィ同定法

本節では、3節の前処理によってファジィ・スプライン曲線表現された各基本曲線セグメントがどのような幾何

(a) 観測されたサンプル点列 p_i



(b) ファジィ化されたサンプル点列 \hat{p}_i



(c) ファジィ・スプライン曲線

図 2: 手書き曲線のファジィ・スプライン曲線化

学的曲線を意図して書かれたものか同定する手法を提案する。

まず得られた一つの基本ファジィ曲線セグメントをサンプル・モデルとする一方、このサンプル・モデルが、それぞれ線分、円弧、楕円弧であると仮定された場合の仮説ファジィ曲線モデルを構成し、3つのレファレンス・モデルを得る。つぎに、それぞれのレファレンス・モデルの正当性およびサンプル・モデルの閉曲線性を可能性測定によって評価する。最後に求められた4つの可能性値を入力とするファジィ推論を行ない書き手が意図したであろう曲線クラスを7つの曲線クラスの集合

$$\{Line(L), Circle(C), CircularArc(CA), Ellipse(E), EllipticArc(EA), ClosedFreeCurve(FC), OpenFreeCurve(FO)\}$$

を台集合とする離散型ファジイ集合として推論する。推論結果をもとにある曲線クラスが選択されれば、それに対応したレファレンス・モデルから曲線形状パラメータが求められる。

4.1 レファレンス・モデルの構成

サンプル・モデル上から数点のファジイ代表点を選出し、これらをもとにして3つの曲線クラスに対応したレファレンス・モデルを構成する。

4.1.1 線分レファレンス・モデル

まず図3(a)に示すように、サンプル・モデル上に2つのファジイ代表点 \tilde{a}_0 および \tilde{a}_1 を選ぶ。このとき、図3(b)に示すような線分レファレンス・モデルを

$$\tilde{b}(t) = (1-t)\tilde{a}_0 + t\tilde{a}_1 \quad t \in [0, t_e] \quad (2)$$

と構成することができる。ここで t_e は、サンプル・モデルにおける a_0 から a_1 に至る長さ l と a_1 から q_e に至る長さ h の比が、線分レファレンス・モデルにおける a_0 から a_1 への距離と a_1 から q_e^{Line} への距離の比に一致するように選ぶ。

4.1.2 円弧レファレンス・モデル

まず図4(a)に示すように、サンプル・モデル上に2つのファジイ代表点 \tilde{a}_0 および \tilde{a}_1 を選ぶ。つぎに、第3のファジイ代表点 \tilde{f} として \tilde{a}_0 から \tilde{a}_1 に至るサンプル・モデル上のファジイ点のうちでメンバシップ関数の頂点 f が a_0 および a_1 から等距離に位置するものを選ぶ。さらに、 \tilde{a}_0 と \tilde{a}_1 のファジイ中点 $\tilde{m} = \frac{\tilde{a}_0 + \tilde{a}_1}{2}$ を求めた後、重み係数を

$$w = \frac{l^2 - h^2}{l^2 + h^2} \quad (3)$$

と計算する。ここで h および l は図4(a)に示す距離である。最後に $\tilde{b}_0 = \tilde{a}_0$ 、 $\tilde{b}_2 = \tilde{a}_1$ とし、 \tilde{b}_1 を

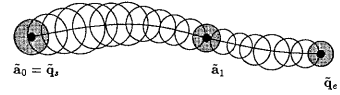
$$\tilde{f} = \frac{w\tilde{b}_1 + \tilde{m}}{1+w} \quad (4)$$

を満たすファジイ点として求める。このとき、図4(b)に示すような円弧レファレンス・モデルをファジイ化有理 Bézier 曲線の形式で

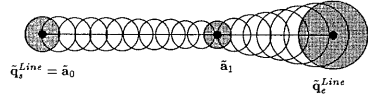
$$\tilde{b}(t) = \frac{B_0^2(t)\tilde{b}_0 + wB_1^2(t)\tilde{b}_1 + B_2^2(t)\tilde{b}_2}{B_0^2(t) + wB_1^2(t) + B_2^2(t)} \quad t \in [0, 1] \quad (5)$$

および

$$\tilde{b}^c(t) = \frac{B_0^2(t)\tilde{b}_2 + (-w)B_1^2(t)\tilde{b}_1 + B_2^2(t)\tilde{b}_0}{B_0^2(t) + (-w)B_1^2(t) + B_2^2(t)} \quad t \in [0, t_e] \quad (6)$$



(a) サンプル・モデルとファジイ代表点



(b) 線分レファレンス・モデル

図3: 線分レファレンス・モデル構成法

と構成することができる。ただし $B_i^2(t)$ は2次 Bernstein 多項式である。ここで t_e は、サンプル・モデルにおける a_0 から a_1 に至る長さ l と a_1 から q_e に至る長さ h の比が、円弧レファレンス・モデルにおける b_0 から b_2 に至る長さ l と b_2 から q_e^{Circle} に至る長さ h の比に一致するように選ぶ。

4.1.3 楕円弧レファレンス・モデル

まず図5(a)に示すように、サンプル・モデル上に2つのファジイ代表点 \tilde{a}_0 および \tilde{a}_1 を選ぶ。つぎに、第3のファジイ代表点 \tilde{f} として \tilde{a}_0 から \tilde{a}_1 に至るサンプル・モデル上のファジイ点のうちでメンバシップ関数の頂点 f が直線 a_0a_1 から極遠に位置するものを選ぶ。さらに、 \tilde{a}_0 と \tilde{a}_1 のファジイ中点 $\tilde{m} = \frac{\tilde{a}_0 + \tilde{a}_1}{2}$ を求めた後、サンプル・モデルの稜線上から1つの補助点 p を選んで、重み係数を

$$w = \frac{(\alpha + \beta)^2 c^2 - \alpha(\alpha + 2\beta)d^2}{\alpha^2 d^2 - (\alpha + \beta)^2 c^2} \quad (7)$$

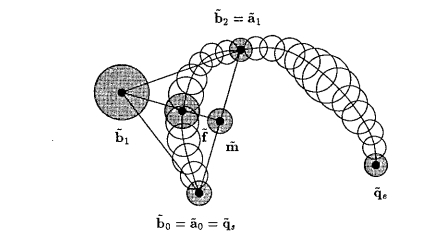
を計算する。ここで、 α 、 β 、 c 、 d は図5(a)に示す値である。以後は円弧レファレンス・モデルと同様にしてファジイ化有理 Bézier 曲線の形式で図5(b)に示すような楕円弧レファレンス・モデルを構成することができる。

4.2 可能性評価

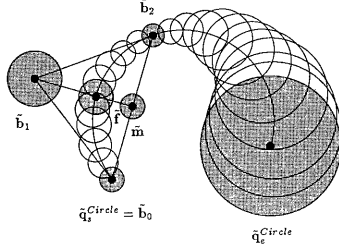
求められた3つのレファレンス・モデルの正当性をそれぞれ、可能性 p^{Line} 、 p^{Circle} 、 $p^{Ellipse}$ として評価、検証する。一方サンプル・モデルの閉曲線性を可能性 p^{Closed} として評価する。

4.2.1 曲線クラス

サンプル・モデルを n_{fmps} 個(n_{fmps} は10程度)の点で評価して、サンプル・モデルに沿って等間隔にならんだファジイ点列を求め、この点列集合 $\{\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_{n_{fmps}}\}$ をサンプル・モデルのファジイ・マッチング・ポイント・セット(FMPS)とする。



(a) サンプル・モデルとファジイ代表点



(b) 円弧レファレンス・モデル

図 4: 円弧レファレンス・モデル構成法

一方、3 つのレファレンス・モデルのそれぞれに対して同様にファジイ点列を求めて、3 つレファレンス・モデルの FMPS を $\{\tilde{r}_1^{Class}, \tilde{r}_2^{Class}, \dots, \tilde{r}_{n_{fmps}}^{Class}\}$ ($Class \in \{Line, Circle, Ellipse\}$) と構成する。

このとき、曲線クラス $Class$ のレファレンス・モデルの正当性を、ファジイ測度の一種である可能性測度 [3] に基づいて定義する可能性

$$P^{Class} \stackrel{\text{def}}{=} \min_i \left(\sup_{\mathbf{v}} (\mu_{\tilde{s}_i}(\mathbf{v}) \wedge \mu_{\tilde{r}_i^{Class}}(\mathbf{v})) \right) \quad (8)$$

によって評価する。この式中の $\sup_{\mathbf{v}} (\mu_{\tilde{s}_i}(\mathbf{v}) \wedge \mu_{\tilde{r}_i^{Class}}(\mathbf{v}))$ は、図 6 にみるようにファジイ・マッチング・ポイント対の断面から容易に求められるから P^{Class} は簡単に計算される。

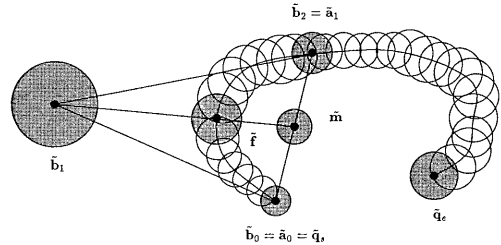
4.2.2 閉曲線性

サンプル・モデルのファジイ始点 \tilde{q}_s とファジイ終点 \tilde{q}_e を用いて、サンプル・モデルが閉曲線である程度を次式の可能性によって評価する。

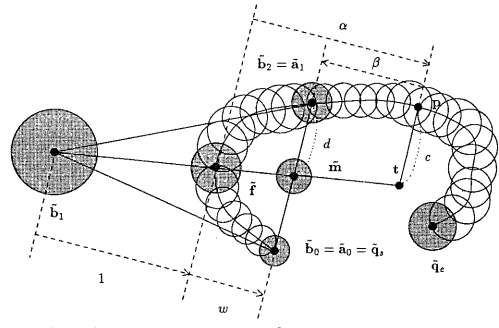
$$P^{Closed} \stackrel{\text{def}}{=} \sup_{\mathbf{v}} (\mu_{\tilde{q}_e}(\mathbf{v}) \wedge \mu_{\tilde{q}_s}(\mathbf{v})) \quad (9)$$

4.3 曲線クラスの推論

自由度の高いクラスのレファレンス・モデルほどサンプル・モデルを忠実に表すことができるから、一般に $P^{Line} \leq P^{Circle} \leq P^{Ellipse}$ となる。したがって 3 つの P^{Class} の大小比較から単純に曲線クラスを推論しても意味がない。さらに開曲線と閉曲線 (例えば、円弧と円)



(a) サンプル・モデルとファジイ代表点



(b) 楕円弧レファレンス・モデル

図 5: 楕円弧レファレンス・モデル構成法

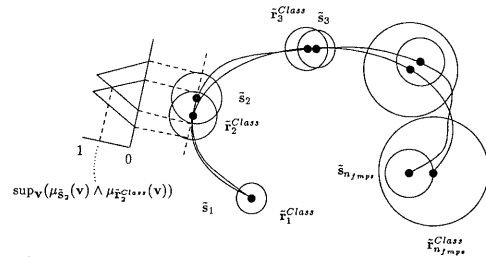


図 6: P^{Class} の評価 ($n_{fmps} = 5$ の場合)

を区別して推論するためには P^{Closed} を考慮に入れる必要がある。

そこで、FSCI では書き手の意図した曲線クラスを推論するために図 7 に示す推論ルールを用いてファジイ推論を行なう。このファジイ推論は P^{Line} 、 P^{Circle} 、 $P^{Ellipse}$ および P^{Closed} の 4 つを入力とし、図 8-10 にみるような 7 つの曲線クラスからなる台集合上のファジイ集合として曲線クラスの推論結果を出力する。

このような推論ルールを設定することにより、曲線を粗雑に書くほど自由度の低い曲線クラスのグレードが高くなり、一方、丁寧に書くほど自由度の高い曲線クラスのグレードが高くなるような傾向が得られる。したがって書き手はこの性質を利用して自由度の低い曲線を入力したいときは適当に象徴的に書き、一方自由度の高い曲

If P^{Line}					Then Line (L)
If $not(P^{Line})$	and P^{Circle}		and P^{Closed}		Then Circle (C)
If $not(P^{Line})$	and P^{Circle}		and $not(P^{Closed})$		Then Circular Arc (CA)
If $not(P^{Line})$	and $not(P^{Circle})$	and $P^{Ellipse}$	and P^{Closed}		Then Ellipse (E)
If $not(P^{Line})$	and $not(P^{Circle})$	and $P^{Ellipse}$	and $not(P^{Closed})$		Then Elliptic Arc (EA)
If $not(P^{Line})$	and $not(P^{Circle})$	and $not(P^{Ellipse})$	and P^{Closed}		Then Closed Free Curve (FC)
If $not(P^{Line})$	and $not(P^{Circle})$	and $not(P^{Ellipse})$	and $not(P^{Closed})$		Then Open Free Curve (FO)

図 7: ファジイ曲線クラスファジイ推論ルール

線を入力したいときは入力している形状の重要さを強調するように丁寧に書くことにより、自分の意図する幾何曲線を自然な形で FSCI に伝えて入力することが可能となる。

4.4 形状パラメータの同定

ファジイ集合として推論された曲線クラスのグレードに応じて自動的あるいは会話的な処理によってひとつの曲線クラスを決定すれば、決定された曲線クラスに対応するレファレンス・モデルから曲線の形状パラメータを抽出して曲線を同定することができる。たとえば円弧が選出された場合は式 (5) および (6) の \bar{b}_i を b_i に置き換えて有理 Bézier 曲線表現された円弧を得、さらにこれから中心、半径、始点、終点といった一般的に用いられる形状パラメータを求めればよい。ただし自由曲線が選出された場合についてはサンプル・モデルをもとにして B スプライン曲線の制御多角形を抽出する。

5 曲線同定実験

図 8-図 10 に FSCI によって推論されたファジイ曲線クラスをファジイ曲線表現されたサンプル・モデルとともに示す。

図 8 は書かれ方によって閉鎖性がどのように推論されるかを比較したものである。図の (a) のように始終点を丁寧に書くことによって小さな間隙であっても円弧のグレードが圧倒的に高くなるように推論させることができる一方、(c) のように象徴的に書くことによって大きな間隙があいてしまっているにもかかわらず円のグレードが高くなるように推論させることもできる。

図 9 は書かれ方の丁寧さによって曲線クラスの推論結果がどのように影響されるかを比較したものである。図の (a) は象徴的に書くことによって円弧を推論させようとした場合であり、一方 (c) は丁寧に書くことによって開いた自由曲線を認識させようとした場合である。また (b) は中程度の丁寧さで楕円弧を認識させようとした場合である。いずれも妥当な推論結果が得られている。この結果は、観測された曲線の形状だけをみれば区別がつか

かないにもかかわらず、書き方の丁寧さ加減を情報として利用することにより書き手の意図が区別されて推論され得ることを示している。

図 11 および 12 は複数の基本曲線を一筆書きで書いたものを FSCI によってセグメントに分割して同定した例を示している。これらは推論されたファジイ曲線クラスのなかの最もグレードの高いものを自動的に選択して同定した例だが、書き手の意図通りの結果が得られている。

6 むすび

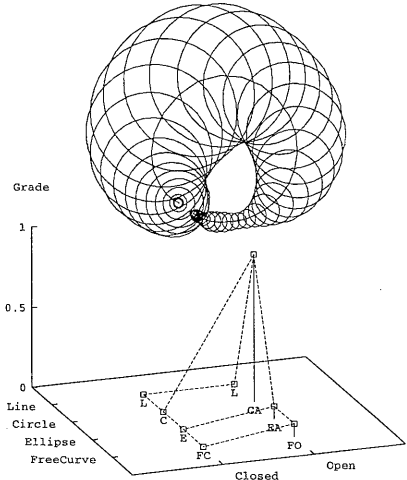
本論文では、ペンによって入力された曲線の形状情報とともに書き方の丁寧さをも情報として利用する手書き曲線同定システム FSCI を提案した。この FSCI は通常 CAD などで用いる線図形の構成要素として必要最小限の基本曲線を網羅する 7 種類の曲線クラスを同定することができ、書き手は FSCI の特性を利用することによって自分の意図を自然な形で FSCI に伝えてこれらの曲線クラスを書き分けることが可能なことを示した。FSCI が同定し出力する基本曲線の形状パラメータを組み合わせることで処理すれば、より複雑な形状の認識、同定にも柔軟に対応することが可能となるため、FSCI はペンによる直接的な図形入力ヒューマン・インターフェイスの汎用的基本技術として位置づけられる。

現段階では単純に加速度に比例する量によって丁寧さ加減すなわち位置情報の曖昧さ加減を評価したが、この程度の簡単な仮定でもある程度実用的な用途に耐えられることが実験的に確かめられた。しかし、極端に粗雑に書いた場合にも対処したり、もっと微妙なタッチに関する調整を行なったりするためには、曖昧さ情報の付加のしかたの精密化を検討する必要があると思われる。

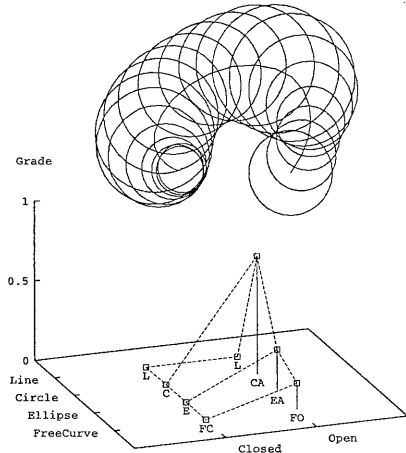
また今後、FSCI による曲線入力を前提とした上位システムの構築法に関して検討を進めることにより、ペン操作の特性を最大限に生かした CAD システムなどの実現が可能となることを期待している。

参考文献

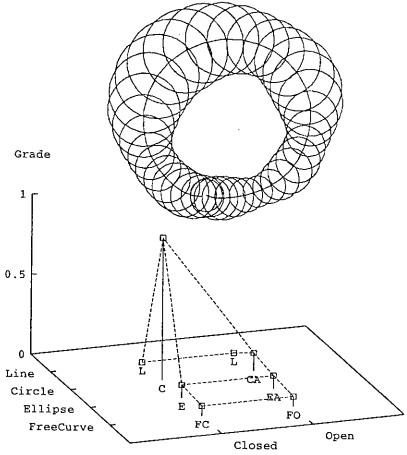
- [1] L.A. Zadeh, "The Concept of a Linguistic Variable



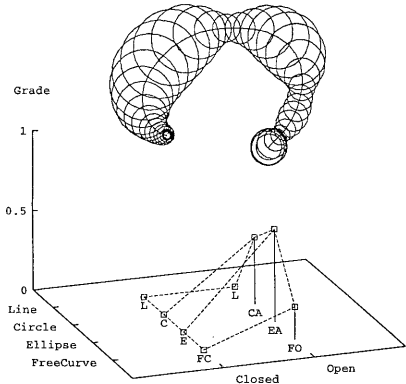
(a) 円弧を意図して始終点を丁寧に書いた例



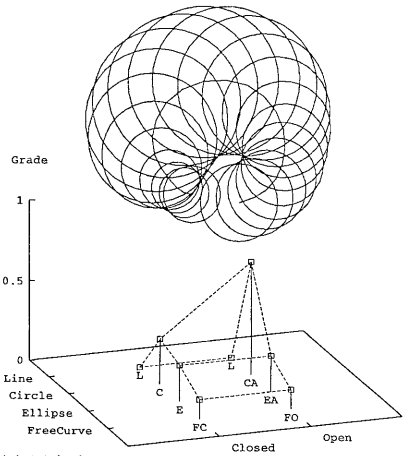
(a) 円弧を意図して粗雑かつ象徴的に書いた例



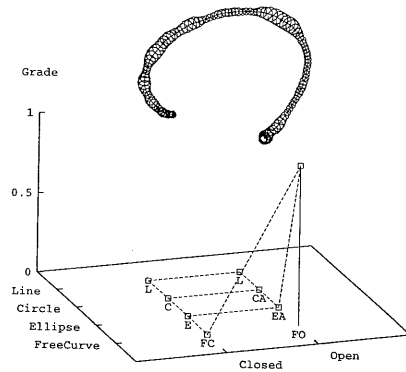
(b) 円を意図して始終点をやや丁寧に書いた例



(b) 楕円弧を意図してやや丁寧に書いた例



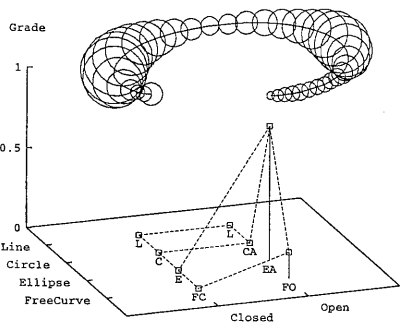
(c) 円を意図したが始終点を粗雑に書ってしまった例



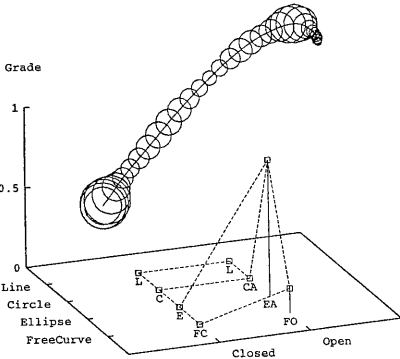
(c) 開自由曲線を意図して丁寧に書いた例

図 9: ファジィ曲線クラスの推論例 (II)

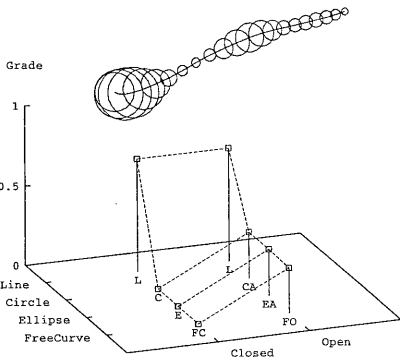
図 8: ファジィ曲線クラスの推論例 (I)



(a) 楕円弧を意図して書いた例

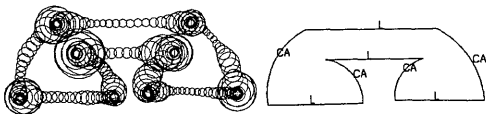


(b) 楕円弧を意図して書いた例

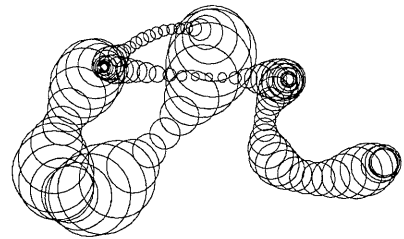


(c) 線分を意図して書いた例

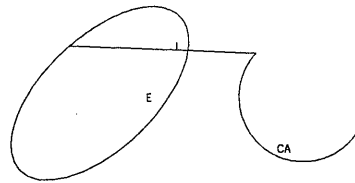
図 10: ファジィ曲線クラス推論例 (III)



(a) 入力曲線のファジィ・スプライン曲線表現



(a) 入力曲線のファジィ・スプライン曲線表現



(b) 同定結果

図 12: 連続入力曲線の同定例 (II)

and its Application to Approximate Reasoning - I," Information Sciences, 8, 199-249, 1975.

- [2] G. Farin, "Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design, A practical Guide," Academic Press, 1988.
- [3] L.A. Zadeh, "Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility," Fuzzy Sets and Systems, Vol.1, No.1, 3-28, 1978.
- [4] 佐賀, 牧野, "オンライン手書き曲線認識のためのファジィ・スプライン補間法," 電気関係学会北海道支部連合大会, 256, 298-299, 1992.
- [5] 牧野, 佐賀, "ファジィ・スプライン補間法を用いたオンライン手書き曲線のファジィ・セグメンテーション," 電気関係学会北海道支部連合大会, 257, 300-301, 1992.
- [6] 佐賀, 牧野, "ファジィ・スプライン補間法を用いたオンライン手書き曲線のファジィ認識," 電気関係学会北海道支部連合大会, 258, 302-303, 1992.

図 11: 連続入力曲線の同定例 (I)