

多重解像度ファジィグリッドスナッピングを用いた 幾何曲線スナッピング—楕円, 楕円弧への適用—

櫻井将樹† 佐賀聡人†

我々は既に, 手書き曲線をその形状と描画のあいまいさに基づいて, 7種類の基本幾何曲線のいずれかとして同定するファジィスプライン曲線同定法 (FSCI) を提案した. また, 描画のあいまいさの程度に応じて, 動的にグリッド解像度を選択する多重解像度ファジィグリッドスナッピング (MFGS) 法による位置スナッピングを提案し, 同定基本幾何曲線のうち, 線分, 円, 円弧の多重解像度スナッピングを実現した. 本稿では, MFGS 法による整形スナッピングを新たに提案し, 楕円, 楕円弧の多重解像度スナッピングを実現する.

Geometric Curve Snapping with Multi-Resolution Fuzzy Grid Snapping Method—Application for Ellipse and Elliptic Arc—

MASAKI SAKURAI† and SATO SAGA†

We have already proposed Fuzzy Spline Curve Identifier (FSCI), which identifies a freehand curve as one of seven kinds of geometric curve objects based on user's drawing manner and its shape. Moreover, Multi-resolution Fuzzy Grid Snapping (MFGS), which realizes automatic selection of a grid resolution according to roughness of drawing manner, has been proposed to realize position snapping of lines and circles. In this paper, we apply the MFGS method to form snapping in order to realize multi-resolution grid snapping to circular arcs, ellipses and elliptic arcs.

1. はじめに

我々は既に, 手書き曲線をその形状と描画動作のあいまいさに基づいて図1に示す7種の基本幾何曲線のいずれかとして同定する手法, ファジィスプライン曲線同定法 (FSCI) を文献1), 2) で提案した. また, 文献3)~5) では FSCI とグリッドスナッピングを組み合わせることで, CAD 用の手書きスケッチ入力インタフェースを実現した.

一般に CAD では, 幾何曲線の特徴点をグリッドに一致させたり, 幾何曲線間を接続させたりするためにスナッピング処理が必須となる. したがって, 文献3)~5) の手書きスケッチ入力インタフェースにおいてもスナッピング処理が実装されており, あらかじめ設定されたグリッド解像度が描画の状況 (形状や大きさ, 描画の丁寧さの程度など) に対して適合していれば, これが良好に動作することは確かめられている. しかしながら, 描画の状況とスナッピング解像度が適合

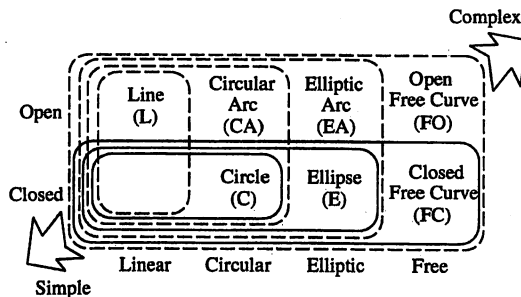


図1 基本幾何曲線間の包含関係

しない場合には, 書き手の描画の意図とは異なったスナッピング結果になってしまうという問題があった.

そこで我々は, このような問題を解決するための最初の試みとして, 手書き描画によって移動するカーソル点 (ファジィ点) のスナッピング解像度を描画の状況 (描画の丁寧さの程度) に応じて動的に選択する多重解像度ファジィグリッドスナッピング (MFGS) 法を文献6) で提案した. さらに我々は, ファジィ点に対する MFGS 法を FSCI によって同定された線分と円の特徴ファジィ点のスナッピングに適用することで, 線

† 室蘭工業大学工学部情報工学科
Department of Computer Science and Systems Engineering, Muroran Institute of Technology

分と円に関しては描画の状況に適合した適切なスナッピング解像度が動的に選択される手書きスケッチ入力インタフェースを文献7)で実現した。

しかし、この手書きスケッチ入力インタフェースでは FSCI によって同定されるその他の基本幾何曲線のうち円弧、楕円、楕円弧に対するスナッピング解像度の動的選択の実現が未解決の問題として残されていた。これは、円弧、楕円、楕円弧の場合には、特徴ファジィ点のスナッピングの他に、角度や長短径といった形状パラメータを丸め込む「整形スナッピング」についても、スナッピング解像度の動的選択を実現する必要があったためである。

本稿では、FSCI の同定する楕円弧の整形スナッピングに MFGS 法を適用する方法を新たに提案することで、円弧、楕円、楕円弧の多重解像度スナッピングを実現する。図1に示すように、円弧と楕円はそれぞれ楕円弧の特殊な場合とみなせるため、楕円弧に対して MFGS 法が適用できれば、円弧と楕円に対しても MFGS 法を同様に適用できることになる。

2. 従来の SGS 法による楕円弧スナッピングとその問題点

本節では、楕円弧に対する MFGS 法の適用に先立ち、文献3)で用いられた単解像度スナッピング (SGS) 法* による楕円弧スナッピングを概説し、その問題点を指摘する。

2.1 楕円弧スナッピング

SGS 法では、楕円弧スナッピングを以下の2種類のスナッピングで実現している。

2.1.1 位置スナッピング

楕円弧の特徴点の位置が近傍のグリッド点位置に丸め込まれる (グリッドスナッピングされる) ように、楕円弧を相似変換する処理を本稿では位置スナッピング**と定義する。相似変換行列は楕円弧の任意の一組の特徴点ペアのグリッドスナッピングによって決定される。

2.1.2 整形スナッピング

相似変換以外の変形を伴う形状パラメータの丸め込みを本稿では整形スナッピング***と定義する。具体的には始終点角度、長短径比の丸め込みがこれにあたる。

* スナッピング処理を単純に通常の単解像度のグリッドによって行う方法。本稿ではこれを MFGS 法と区別するために SGS (Single-resolution Grid Snapping) 法と呼ぶこととする。

** 文献3)の「相似変換」にあたる。

*** 文献3)の「パラメトリック変形」にあたる。

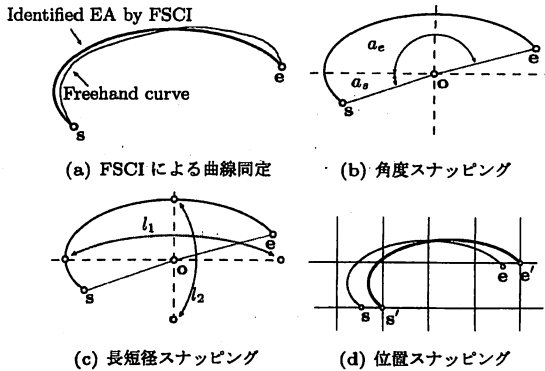


図2 SGS法による楕円弧スナッピングの手順

2.2 SGS法による楕円弧スナッピング

FSCIによって手書き曲線が図2(a)のような始点s、終点eの楕円弧として同定されたものとして、これに対するSGS法の処理手順を説明する。

(1) 角度スナッピング

図2(b)に示す楕円弧の始点角度 a_s (線分soの長径軸に対する角度)および終点角度 a_e (線分eoの長径軸に対する角度)を、角度グリッド間隔 θ の整数倍になるように丸め込む。

(2) 長短径スナッピング

図2(c)に示す楕円弧の長径長 l_1 と短径長 l_2 をグリッド間隔 d の整数倍になるように丸め込む。

(3) 位置スナッピング

図2(d)に示すように楕円弧の特定の特徴点ペア (例えば端点ペアsとe)が最寄りのグリッド点位置(s'およびe')に丸め込まれるように相似変換する。

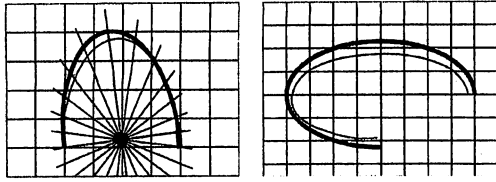
2.3 SGS法による楕円弧スナッピングの問題点

手書きスケッチ入力インタフェースにおける、SGS法による楕円弧スナッピングには以下に示す2つの問題がある。

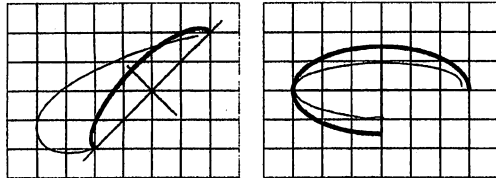
2.3.1 グリッド解像度設定に関する問題

一般のCADシステムにおける手続き型の楕円弧入力インタフェースでは、楕円弧を入力する際に、位置の決定、長短径比の決定、始点角度・終点角度の決定、と段階を追いながら楕円弧形状を決定していく。このときユーザは各段階で独立に形状パラメータをスナッピングさせることができるため、ある程度高いグリッド解像度を設定しておけば、意図に応じて自在なスナッピング結果を得ることができる。

しかし、スケッチ入力ではスナッピングの意図を一行に行われるストローク描画動作の中で表現しなければならないため、すべての形状パラメータを高解像度



(a) 高解像度の角度グリッド設定により中心角の制御が困難となった例
 (b) 高解像度の長短径グリッド設定により複雑すぎる長短径比になった例



(c) 低解像度の角度グリッド設定により過度の変形を起こした例
 (d) 低解像度の長短径グリッド設定により過度の変形を起こした例

図3 SGS法におけるグリッド解像度の設定に関する問題例

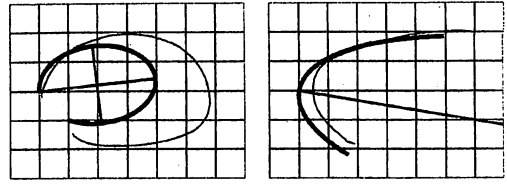
のグリッドで制御することは困難である。例えば高解像度のグリッドを設定してスナッピングを行えば中心角 180° の半楕円弧を意図して描画したにもかかわらず図3(a)のように中心角がわずかに 180° を超えてしまったり、長短径比が $2:1$ になるような楕円弧を入力したつもりでも図3(b)のように複雑すぎる長短径比になってしまう場合がある。逆に低解像度のグリッド解像度を設定してスナッピングを行えば、上述のような典型的な楕円弧は入力しやすくなるが、描画の状況によっては図3(c)、図3(d)のように過度の変形が発生してしまう場合がある。

このような問題を解決するには、描画の状況に応じてグリッド解像度を動的に切り替える必要がある。

2.3.2 特徴点ペアの選択に関する問題

手続き型の楕円弧入力インタフェースでは、入力過程で位置スナッピングする特徴点ペアを明示的に指定できる。しかし、スケッチ入力では、特徴点ペアが明示的に指定されないため、特徴点ペアをどのように選択すべきかという問題点が発生する。

ここで例えば特徴点ペアとして常に端点ペアを採用することにしてしまうと、長軸がグリッドにのることを意図して描画したにもかかわらず、図4(a)のように予期しない位置スナッピングとなってしまう場合がある。一方、長径点ペアを常に採用することにしても、端点がグリッド点にのるように意識して描画したにもかかわらず、図4(b)のように描画中に意識していなかった長径点ペアがスナッピングされ、やはり予期しない位置スナッピングとなってしまう場合が発生する。



(a) 端点ペアを採用して予期しない位置スナッピングとなった例
 (b) 長短径ペアを採用して予期しない位置スナッピングとなった例

図4 SGS法における特徴点ペア選択に関する問題例

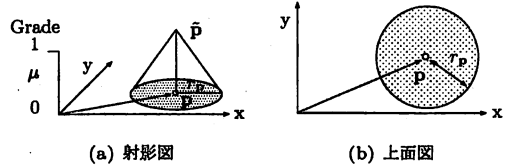


図5 円錐型ファジィ点

このような問題を解決するには、描画の状況に応じてスナッピングさせる特徴点ペアを動的に自動選択する必要がある。

3. MFGS法によるファジィ点スナッピングの概要

本節では、楕円弧に対するMFGS法を提案する準備として、文献6)で既に提案されているファジィ点に対するMFGS法を概説する。MFGS法は、描画の丁寧さの程度に応じて解像度を動的に選択する多重解像度スナッピング法である。これは、雑な描画動作によって指示されたカーソル点(ファジィ点)ほど低解像度のグリッドにスナッピングし、逆に、丁寧な描画によって指示されたカーソル点ほど高解像度のグリッドにスナッピングするという戦略を用いることでグリッド解像度の動的選択を実現している。

3.1 ファジィ点の生成

MFGS法では描画の丁寧さの程度に応じた位置のあいまいさを有するカーソル点を表現する手段として文献1)の円錐型ファジィ点を用いている。 $\bar{p} = (p, r_p)$ と記述されるファジィ点は、位置ベクトル p と位置のあいまいさ(ファジネス) r_p の2つの属性を持ち、図5のような円錐型メンバシップ関数

$$\mu_{\bar{p}}(v) = \left(1 - \frac{\|v - p\|}{r_p}\right) \vee 0 \quad (1)$$

により特徴付けられる。ここで、 \vee は \max 演算子である。ファジネス r_p は文献8)のファジネスジェネレータにより描画動作の速度・加速度から見積もられ、雑な描画ほどファジネスは大きくなり、丁寧な描画ほど

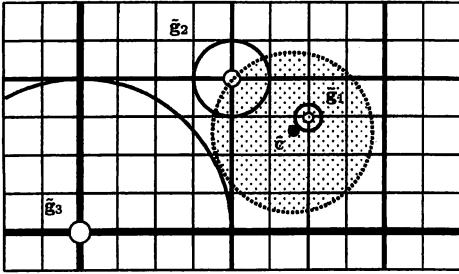


図6 3層のMFSGにおけるファジィ点 \tilde{c} とスナッピング候補 $\tilde{g}_1, \tilde{g}_2, \tilde{g}_3$ の位置関係の例

ど小さくなるように生成される。

3.2 多重解像度ファジィグリッド (MFSG) の構成

MFSG法では n 個の単解像度ファジィグリッド G_i を組み合わせることで、 n 層の多重解像度ファジィグリッド (MFSG) を構成する。ここで、それぞれのファジィグリッド G_i は、各グリッド点が円錐型ファジィ点で構成される2次元の正方グリッドで、グリッド間隔 S_{G_i} とファジィグリッド点のファジネス r_{G_i} の2つの属性で表現される。また、多重解像度ファジィグリッド $G_i (i = 1, 2, \dots, n)$ はグリッド間隔 S_{G_i} について昇順に並ぶものとし、 G_1 が最も高解像度、 G_n が最も低解像度であるものとする。グリッド点のファジネス r_{G_i} はそのグリッド点が代表する範囲の大きさを表し、高解像度のグリッドであるほど小さく、低解像度であるほど大きく設定する。

3.3 ファジィグリッドスナッピング

図6のような3層のMFSGに対してファジィ点 \tilde{c} が生成された場合を例にとり、ファジィグリッドスナッピングを説明する。

まず、それぞれのファジィグリッド G_i から \tilde{c} の最近傍のグリッド点であるスナッピング候補 $\tilde{g}_i = (g_i, r_{G_i}) (i = 1, 2, 3)$ を求める。次に、各スナッピング候補 \tilde{g}_i の必然性 $N^{\tilde{g}_i}$ を評価する。ここで、 $N^{\tilde{g}_i}$ は“ \tilde{g}_i is \tilde{c} ”というファジィ命題の必然性で

$$N^{\tilde{g}_i}(\tilde{c}) = \left(\frac{r_c - \|g_i - c\|}{r_c + r_{G_i}} \right) \vee 0 \quad (2)$$

と計算される。最後に文献6)で示された表1のMFSG法の推論規則を適用し、最も高いグレード値が得られた解像度のグリッドへスナッピングする。

表1のMFSG法の推論規則は、雑な描画によって得られた点ほど低解像度グリッドにスナッピングされやすくなるように定められており、これによって、描画の丁寧さの程度を利用して動的に解像度を自動選択する多重解像度スナッピングが実現される。

表1 $n = 3$ のときのMFSG法の推論規則

Rule	Fuzzy logical operations
1	$\mu(\tilde{g}_3) = N^{\tilde{g}_3}$
2	$\mu(\tilde{g}_2) = (1 - N^{\tilde{g}_3}) \wedge N^{\tilde{g}_2}$
3	$\mu(\tilde{g}_1) = (1 - N^{\tilde{g}_3}) \wedge (1 - N^{\tilde{g}_2}) \wedge N^{\tilde{g}_1}$
4	$\mu(\tilde{c}) = (1 - N^{\tilde{g}_3}) \wedge (1 - N^{\tilde{g}_2}) \wedge (1 - N^{\tilde{g}_1})$

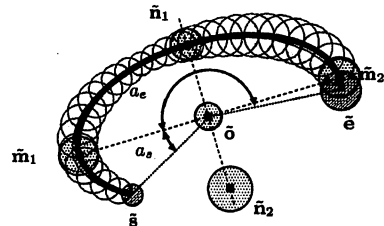


図7 ファジィ楕円弧

4. ファジィ楕円弧に対するMFSG法の適用

本節では、FSCIの同定する楕円弧に対してMFSG法を適用する手法を提案する。ここで、対象とする楕円弧は文献9)のR-modelによる楕円形ファジィモデルとしてFSCIから与えられているものとする。これは、描画の丁寧さの程度に応じたあいまいさを持つファジィ楕円弧であり、図7のような円錐型ファジィ点の移動軌跡としてモデル化されている。

4.1 MFSG法による整形スナッピングの提案

角度スナッピングと長短径スナッピングのそれぞれについてMFSG法を適用することで、MFSG法による整形スナッピングを実現する。

4.1.1 MFSG法による角度スナッピング

ファジィ楕円弧の角度スナッピングでは図7に示す始点角度 a_0 と終点角度 a_e をスナッピングする*。ここでは、始点角度 a_0 の角度スナッピングに対してMFSG法を適用する方法を以下に示す。終点角度 a_e のスナッピングも同様に行う。

(1) ファジィ角度の生成

ファジィ楕円弧における点はファジィ点として表現され、描画に応じた位置のあいまいさをもつ。したがって、3つのファジィ点から求められる角度はあいまいな角度となる。ここで、図8(a)のような始点角度 $\angle \tilde{m}_1 \tilde{o} \tilde{s}$ を考える。このとき、 a_1 が考えうる最小角度、

* ファジィ長径点は \tilde{m}_1 と \tilde{m}_2 の2つが存在するが、ファジネスの小さい方を基準となる長径点とする。これは、ファジネスの小さい長径点の方が、より書き手の精密な描画の意図を反映したもとなっているからである。

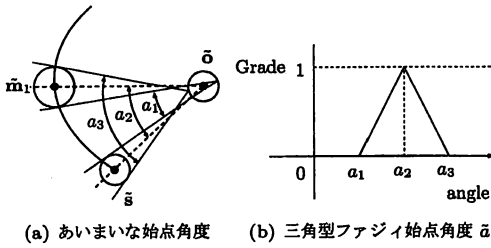


図 8 3つのファジィ点から求められるファジィ角度

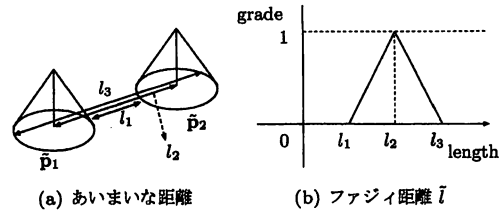


図 10 ファジィ距離

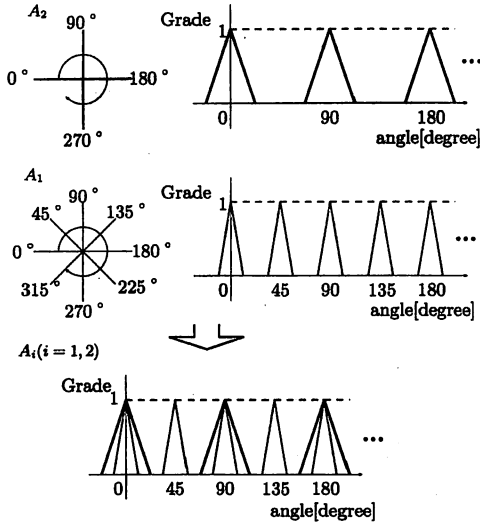


図 9 角度の MFG

a_3 が考える最大角度となる。また、 a_2 は最も可能性が高い角度となる。本稿ではこのあいまいな角度を図 8(b) のような三角型ファジィ数 $\tilde{a} = \langle \langle a_1, a_2, a_3 \rangle \rangle$ で近似し、これをファジィ角度と定義する。このファジィ角度は、書き手の描画動作の丁寧さの程度に応じて異なるファジィネスをもつあいまいな角度を表現することになる。

(2) 角度の多重解像度ファジィグリッドの構成

MFGS 法を角度スナッピングに適用するために、グリッド間隔 S_{A_i} とファジィネス r_{A_i} の 2 つの属性をもつ角度のファジィグリッド A_i を複数組み合わせることで図 9 のように角度の MFG を構成する。ここで、3.2 の MFG と同様に $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ はグリッド間隔 S_{A_i} について昇順に並ぶものとする。また、ファジィネス r_{A_i} は高解像度のグリッドであるほど小さく、低解像度のグリッドであるほど大きく設定する。

(3) 角度のファジィグリッドスナッピング

3 節のファジィ点とその MFG が 2 次元の作図空間で定義されていたのに対して、上述のファジィ角度と

その MFG が 1 次元の角度空間で定義されていることを除けば、ファジィ点のファジィグリッドスナッピングとファジィ角度のファジィグリッドスナッピングは本質的に同等の問題となる。したがって、3.3 と同様のアルゴリズムを適用することで、角度のファジィグリッドスナッピングを実現する。

これにより、雑な描画から得られるファジィ角度ほど低解像度の角度グリッドにスナッピングされ、丁寧な描画から得られるファジィ角度ほど高解像度の角度グリッドにスナッピングされるような、MFGS 法による角度スナッピングが実現される。

4.1.2 MFGS 法による長短径スナッピング

ファジィ楕円弧の長短径スナッピングは長短径比をスナッピングすることで実現する。以下に長短径スナッピングに MFGS 法を適用する方法を提案する。

(1) ファジィ長短径比の生成

ファジィ楕円弧における点はファジィ点として表現され、描画に応じた位置のあいまいさをもつ。したがって、2 つのファジィ点間の距離は図 10(a) のようにあいまいなものとなる。本稿では、この距離をあいまいな距離として図 10(b) のように三角型ファジィ数で表現し、これをファジィ距離と定義する。この定義に基づいて長径のファジィ距離 $\tilde{l}_1 = \langle \langle l_{11}, l_{12}, l_{13} \rangle \rangle$ 、短径のファジィ距離 $\tilde{l}_2 = \langle \langle l_{21}, l_{22}, l_{23} \rangle \rangle$ を求めれば、ファジィ長短径比 \tilde{r} は

$$\tilde{r} = \frac{\tilde{l}_2}{\tilde{l}_1} \simeq \langle \langle \frac{l_{21}}{l_{13}}, \frac{l_{22}}{l_{12}}, \frac{l_{23}}{l_{11}} \rangle \rangle \quad (3)$$

と近似的に生成することができる。このファジィ長短径比は、書き手の描画動作の丁寧さの程度に応じて異なるファジィネスをもつあいまいな長短径比を表現することになる。

(2) 整数比の多重解像度ファジィグリッドの構成

MFGS を長短径スナッピングに適用するために、グリッド間隔 S_{R_i} とファジィネス r_{R_i} の 2 つの属性をもつ整数比のファジィグリッド R_i を複数組み合わせることで図 11 のように整数比の MFG を構成する。ここで、3.2 の MFG と同様に、 $R_i (i = 1, 2, \dots, n)$ は

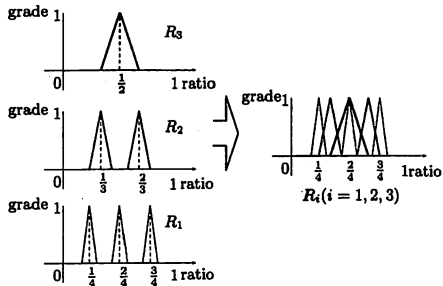


図 11 整数比の MFG

グリッド間隔 SG_i について昇順に並ぶものとし、具体的には $S_{R_1} = 1/(n+1), S_{R_2} = 1/n, \dots, S_{R_n} = 1/2$ と設定する。また、ファジネス S_{R_i} は高解像度のグリッドであるほど小さく、低解像度のグリッドであるほど大きく設定する。

(3) 長短径比のファジィグリッドスナッピング

3.3 および 4.1.1(3) と同様に、ファジィ長短径比スナッピングでもファジィグリッドスナッピングが適用可能になる。これにより、雑な描画から得られるファジィ長短径比ほど低解像度の整数比グリッドにスナッピングされ、丁寧な描画から得られるファジィ長短径比ほど高解像度の整数比グリッドにスナッピングされるような、MFGS 法による長短径スナッピングが実現される。

4.2 固執度による特徴点ペア選択法

2.3.2 で指摘したように、ファジィ楕円弧の位置スナッピングではスナッピングさせる特徴ファジィ点ペアとして長径点ペア (\bar{s}, \bar{e}) や端点ペア (\bar{m}_1, \bar{m}_2) など複数の候補が考えられ、描画の状況に応じて適切な特徴ファジィ点ペアを自動選択する必要がある。そこで、特徴ファジィ点ペアの相対的な位置関係の厳密さにユーザがどの程度固執しているかを、固執度として評価し、固執度の高い特徴点ペアを選択することでその自動選択を実現する。

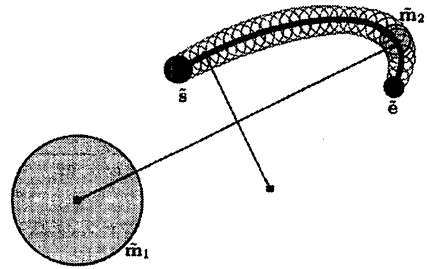
ここでは、特徴ファジィ点ペアの相対的な位置関係のあいまいさを特徴ファジィ点ペアを構成する 2 つのファジィ点の規格化ファジィ差ベクトルのあいまいさであるとしてとらえ、その逆数を固執度と定義した。具体的には、あるファジィ点ペア \bar{p}_1 と \bar{p}_2 が与えられたとき、これらの規格化ファジィ差ベクトル

$$\frac{\bar{p}_1 - \bar{p}_2}{\|\bar{p}_1 - \bar{p}_2\|} = \left\langle \frac{\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2}{\|\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2\|}, \frac{r_{p_1} + r_{p_2}}{\|\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2\|} \right\rangle \quad (4)$$

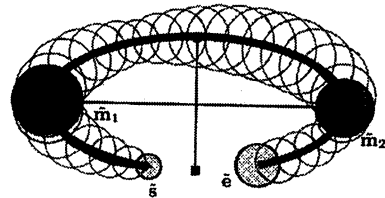
のファジネスの逆数として、固執度 p を

$$p = \left(\frac{r_{p_1} + r_{p_2}}{\|\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2\|} \right)^{-1} \quad (5)$$

と求める。式 (5) からわかるように、ファジィ点間の



(a) 端点ペアが選択される例



(b) 長径点ペアが選択される例

図 12 位置スナッピングのための特徴点ペア

距離 $\|\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2\|$ が離れているほど、また、両者のファジネス r_{p_1} と r_{p_2} が小さくなるほど、固執度 p は大きくなるという特性をもつ。

このような固執度による特徴点ペア選択法により、例えば図 12(a) のような場合は端点ペア (\bar{s}, \bar{e}) が、一方、図 12(b) のような場合は長径点ペア (\bar{m}_1, \bar{m}_2) が選択され、描画の状況に応じてより厳密な相対的な位置関係をもつ特徴ファジィ点ペアが選ばれることになる。

4.3 MFGS 法による位置スナッピング

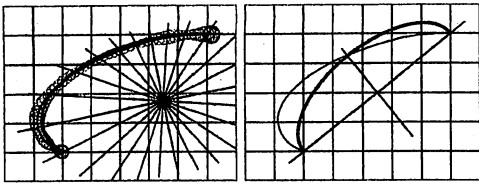
ファジィ楕円弧の位置スナッピングは、MFGS 法による整形スナッピング後に行われる。まず、固執度による特徴点ペア選択法によりスナッピングさせる特徴ファジィ点ペアを選択する。そして、MFGS 法による線分と円のスナッピングと同様の手法で相似変換することによって位置スナッピングを行う。ここで、書き手の固執している特徴ファジィ点ペアが選択されているため、2.3.2 で指摘したような書き手の予期しない相似変換が避けられることになる。

5. 実 験

本節では、4 節で提案した MFGS 法による楕円弧スナッピングを導入した効果を実験により示す。

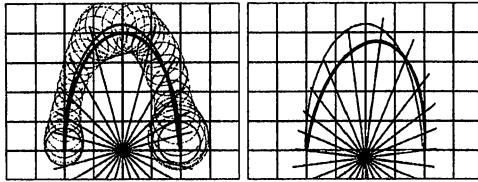
5.1 MFGS 法による整形スナッピングの効果

図 13 では、角度スナッピングにおける MFGS 法の効果を示すために、角度、長短径、位置のすべてを



(a-1) MFGS 法による適切な
スナッピング例 (a-2) 低解像度グリッド設定の
SGS 法により過度の変形が発
生した例

(a) 描画例 1



(b-1) MFGS 法による適切な
スナッピング例 (b-2) 高解像度グリッド設定の
SGS 法により中心角の制御が
困難となった例

(b) 描画例 2

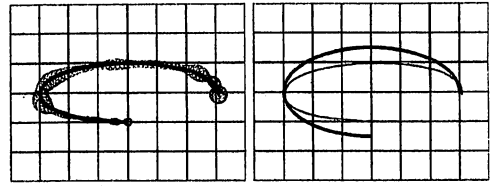
図 13 角度スナッピングへの MFGS 法適用の効果

MFGS 法によってスナッピングした例と角度を SGS 法、その他を MFGS 法によってスナッピングした例を比較している。MFGS 法を用いた場合、図 13(a-1) および (b-1) のように描画の状況に応じて適切な解像度が選択されスナッピングされている。しかし一方、同じ描画例を解像度の設定が不適切な SGS 法でスナッピングした場合、図 13(a-2) のような過度の変形や、図 13(b-2) のような制御が困難な状況が発生してしまっていることがわかる。

図 14 では、長短径スナッピングにおける MFGS 法の効果を示すために、角度、長短径、位置のすべてを MFGS 法によってスナッピングした例と長短径を SGS 法、その他を MFGS 法によってスナッピングした例を比較している。MFGS 法を用いた場合、図 14(a-1) および (b-1) のように描画の状況に応じて適切な解像度が選択されスナッピングされている。しかし一方、同じ描画例を解像度の設定が不適切な SGS 法でスナッピングした場合、図 14(a-2) のような過度の変形や、図 14(b-2) のような複雑過ぎる整数比となってしまう状況が発生してしまっていることがわかる。

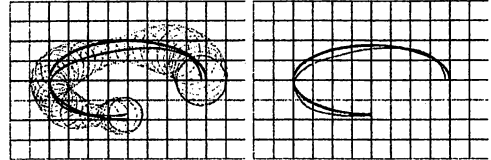
5.2 固執度による特徴点ペア選択法の効果

図 15 では、固執度による特徴点ペア選択の効果を示すために、固執度による選択法を用いた場合とあらかじめ特徴点ペアを仮定した場合を比較している。図 15(a-1) および (b-1) は固執度による選択法を用いたもので、この場合は描画の状況に応じて適切な特徴点ペアが選択されて位置スナッピングされている。し



(a-1) MFGS による適切なス
ナッピング例 (a-2) 低解像度グリッド設定の
SGS 法により過度の変形を起
した例

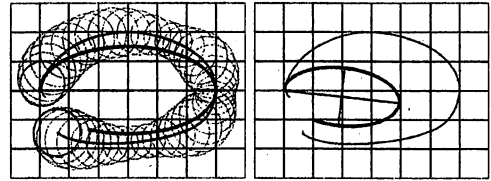
(a) 描画例 3



(b-1) MFGS による適切なス
ナッピング例 (b-2) 高解像度グリッド設定の
SGS 法により複雑過ぎる長短
径比になった例

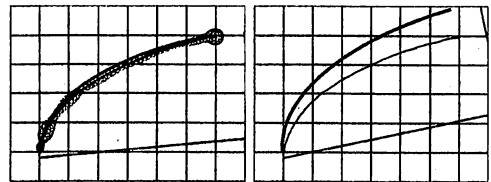
(b) 描画例 4

図 14 長短径スナッピングへの MFGS 法適用の効果



(a-1) 固執度による選択法で選
ばれたペア (この場合は長径
スナッピングした結果予期しな
い点ペア) を使って位置スナッ
ピングした結果の例

(a) 描画例 5



(b-1) 固執度による選択法で選
ばれたペア (この場合は端点
位置スナッピングした結果予期し
ない点ペア) を使って位置スナッ
ピングした結果の例

(b) 描画例 6

図 15 固執度による特徴点ペア選択法の効果

しかし一方、あらかじめ特徴点ペアを仮定した場合は図 15(a-2) および図 15(b-2) のように予期しない位置スナッピングとなってしまうことがわかる。

6. まとめ

手書きスケッチ入力インタフェースにおける単解像

度グリッドによる楕円弧スナッピングの問題点を解決するために、本稿では、線分および円の多重解像度位置スナッピングを実現していた MFGS 法を整形スナッピングに応用する手法を提案した。これにより、楕円弧に対するスナッピング解像度を描画状況に応じて動的に選択する多重解像度スナッピングを実現した。また、楕円弧の位置スナッピングにおける特徴点ペア選択問題を解決するために、固執度による特徴点ペア選択法を提案し、描画状況に応じた動的選択を実現した。さらに、手書きスケッチ入力における楕円弧スナッピングに関して、MFGS 法と SGS 法を比較する動作実験を行った。その結果、MFGS 法が SGS 法に比べ良好なスナッピング特性を示すことを動作実験例により定性的に明らかにした。

今後は、本手法のパラメータの最適化を図るとともに、その有効性を定量的に評価する必要がある。また、MFGS 法を閉自由曲線および開自由曲線にも適用する方法について検討する予定である。

参 考 文 献

- 1) 佐賀聡人, 牧野宏美, 佐々木淳一: 手書き曲線モデルの一構成法—ファジースプライン補間法—, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J77-D-II, No.8, pp.1610-1619 (1994).
- 2) 佐賀聡人, 牧野宏美, 佐々木淳一: ファジースプライン曲線同定法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J77-D-II, No.8, pp.1620-1629 (1994).
- 3) 佐賀聡人, 佐々木淳一: ファジースプライン曲線同定法を用いた手書き CAD 図形入力インタフェースの試作, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.2, pp.338-350 (1995).
- 4) 佐藤洋一, 安福尚文, 佐賀聡人: スケッチによる作図インタフェースのための逐次型ファジースプライン曲線生成法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J86-D-II, No.2, pp.242-251 (2003).
- 5) 河合良太, 西川 玲, 佐賀聡人: 手書きスケッチ入力フロントエンドプロセッサ:SKIT, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J88-D-II, No.5, pp.897-905 (2005).
- 6) Qamar UddinKhand, SatoSaga, J.M.: Automatic Cursor Snapping into Multi-Resolution Grid Systems Based on Fuzzy Model, *Transactions of the Information Processing Society of Japan*, Vol.45, No.10, pp.2439-2442 (2004).
- 7) Dematapitiya, S., Kawazoe, M., Khand, Q.U. and Saga, S.: Object Snapping Method using Multi-Resolution Fuzzy Grid Snapping Technique, *Euro graphics Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, pp.9-18 (2005).
- 8) Saga, S. and Ohkawa, T.: Refinement of Fuzzi-

ness Generator for the Freehand Curve Identifier FSCI, *Proc. 2nd IEEE International Conference of Intelligent Processing Systems, Gold Coast, Australia*, pp.323-329 (1998).

- 9) 滝川裕康, 安福尚文, 佐賀聡人: 手書き曲線同定法 FSCI における同定アルゴリズムの改善, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-D-II, No.11, pp.1683-1691 (2002).