

手書き曲線同定法 FSCI における 幾何曲線列認識性能の改善

西川 玲^{†1} 佐賀 聡人^{†1} 前田 純治^{†1}

我々はすでに、一筆書きの手書き曲線をひと連りの幾何曲線列として認識する手書き曲線同定法 FSCI を提案している。FSCI は、まず「ファジィセグメンテーション法」により描画の停止箇所を検出することで一筆の手書き曲線をいくつかの同定単位に分割し、その後の同定処理においてそれぞれの同定単位を幾何曲線として認識する。しかし、この FSCI 前段のファジィセグメンテーション法が後段の同定処理の認識性能に悪影響を与える場合がある。本論文ではこの問題を明らかにするとともに、その解決策として、描画における「停止状態」と「移動状態」に基づいて手書き曲線から同定単位を抽出する新たな手法「ファジィフラグメンテーション法」を提案する。また、評価実験を通して提案手法が FSCI の幾何曲線列認識性能の向上に寄与することを示す。

Performance Improvement of Geometric Curve Sequence Recognition in the Freehand Curve Identifier FSCI

AKIRA NISHIKAWA,^{†1} SATO SAGA^{†1} and JUNJI MAEDA^{†1}

We have already proposed a freehand curve identifier, FSCI, which identifies a stroke of freehand curve as a sequence of geometric primitive curves. In FSCI, an initial process named “Fuzzy Segmentation” divides a stroke of freehand curve into several identification units based on standstill detection in drawing, so that each of units is identified as a geometric primitive curve by its following process. However, it is revealed that Fuzzy Segmentation occasionally degrades the performance of the following identification process. In this paper, we clarify the problem and, as a solution, we propose a new method named “Fuzzy Fragmentation,” which extracts identification units from a freehand curve based on “Stay States” and “Move States.” Moreover, through experimental results, we show that the proposed method improves the performance of FSCI on geometric curve sequence identification.

1. ま え が き

近年、タブレット PC や携帯ゲーム機のようにペン入力装置を備えたハードウェアが広く普及している。それにともない、手書きで文字を入力するインタフェースが一般的に利用されるようになってきた。しかし、手書きで整った図形を入力するインタフェースは一般的にまだ普及していない。これは手書き文字入力インタフェースの基盤技術として手書き文字認識法が確立されてきているのに対し、手書き図形入力インタフェースの基盤技術となるような手書き図形認識法が確立されていないことによるものと考えられる。

そこで我々は手書き図形認識法として「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。FSCI は一筆の手書き曲線を線分・円・円弧・楕円・楕円弧・閉自由曲線・開自由曲線の 7 種の幾何曲線からなる幾何曲線列として認識する。この 7 種の幾何曲線は作図を行う際に重要な基本構成要素であり、これらを組み合わせることで様々な用途の作図が可能となる。さらに、我々はこれまでに FSCI を用いた手書き図形入力インタフェースの試作として「SKIT」を実現した^{3)–6)}。SKIT は既存の様々な作図アプリケーションに手書き作図インタフェースを追加する汎用スケッチ入力メソッドとして構成されており、また、スナッピングや重ね書き修正などの機能も実装している。SKIT を用いると、ユーザの使い慣れた既存作図アプリケーションにおいて手書きによる直接的な図形入力が可能になる。

機能的には充実してきた SKIT であるが、現在、その実用化のためには幾何曲線認識、スナッピング、重ね書き修正などの各機能の性能面の向上を図ることが必要となっている。そのために、SKIT の性能評価を行ってきた結果、とりわけ幾何曲線認識に関して、一筆で複数の幾何曲線から構成される幾何曲線列を入力した場合、1 つずつ幾何曲線を入力した場合に比べ、FSCI の認識率が大きく低下するという問題が明らかとなってきた。FSCI は一筆の手書き曲線から幾何曲線列を認識するために、認識の前処理として描画動作中の一時停止動作を検出する。そして、検出された一時停止点において描画曲線を分割することで一筆の描画の中から同定単位を 1 個または複数個抽出し、さらにそれぞれの同定単位を幾何曲線として認識することで幾何曲線列を認識する。認識率の低下は同定単位が複数個存在するときに発生するため、この一時停止動作の検出に基づく同定単位抽出法に何らかの問題がある

^{†1} 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

と考えられる．

本論文では従来の一時停止動作検出に基づく同定単位抽出法の問題を明らかにし，この問題を改善した新たな同定単位抽出法を提案する．また，新たな同定単位抽出法による幾何曲線列入力時の認識率の改善を評価実験によって明らかにする．

2. FSCI における従来の同定単位抽出法の問題点

本章ではまず文献 1)，2) の FSCI について概説し，次に従来の同定単位抽出法であるファジィセグメンテーション法の問題点を明らかにする．

2.1 FSCI の概要

FSCI は手書き曲線を幾何曲線列として認識する手法である．その処理の流れは

- (1) 手書き曲線のファジィスプライン曲線補間
- (2) ファジィセグメンテーション法による同定単位の抽出
- (3) ファジィ推論に基づく同定処理

よりなる．図 1 に FSCI による処理の例を示す．

2.1.1 手書き曲線のファジィスプライン曲線補間

FSCI ではまず，図 1 (a) のような手書き曲線を，各時点での描画の雑さの程度に応じて位置的あいまいさの広がりや刻々と変化する図 1 (b) のようなファジィスプライン曲線 (Fuzzy Spline Curve, FSC) としてモデル化する．ここで，FSC は時刻とともに位置とあいまいさの広がりを変化させるあいまいな点の移動軌跡を表すあいまいな曲線のモデルである．

2.1.2 ファジィセグメンテーション法による同定単位の抽出

FSC を等時間間隔で離散化し，図 1 (c) のような離散化 FSC を生成する．ファジィセグメンテーション法では，離散化 FSC 中の各部での停止性をファジィ測度によって評価することで描画中の一時停止箇所を区切り点として検出し，区切り点を境に FSC を同定単位と呼ぶ図 1 (d) ^{*1} のような部分 FSC へと分割する．ここで，区切りの検出法としては文献 7)–11) のように角を検出する手法がすでに提案されている．しかし，角を用いた区切りの検出法では，たとえば図 1 (a) の地点 A のような角のない箇所では区切ることはできない．また逆に，階段状の自由曲線のような角が存在する形状では意図しない区切りが発生してしまうこともある．ファジィセグメンテーション法ではこの問題の解決として，ユーザが明示的に行う

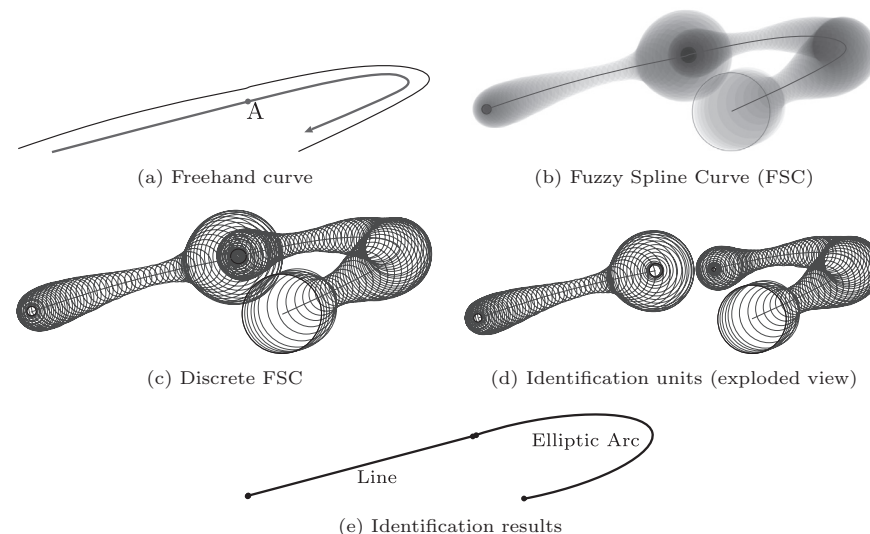


図 1 FSCI による処理の流れ
Fig. 1 A process flow by FSCI.

一時停止動作を区切りの指標としている．このため，形状によらず任意の位置で区切ることが可能となっている．また，一時停止動作の検出は単なる描画点の移動速度ではなく，位置的あいまいな点の移動/停止の度合いをファジィ測度で評価することで行う．これにより，速度域が刻々と変化する描画動作から描画の厳密さ/あいまいさに応じて適切に停止点を検出することができる．

2.1.3 ファジィ推論に基づく同定処理

それぞれの同定単位をファジィ推論に基づいて図 2 に示す線分 (Line, L)・円 (Circle, C)・円弧 (Circular Arc, CA)・楕円 (Ellipse, E)・楕円弧 (Elliptic Arc, EA)・閉自由曲線 (Closed Free Curve, FC)・開自由曲線 (Open Free Curve, FO) の 7 種の幾何曲線のいずれかとして認識する (図 1 (e) 参照)．この 7 種の幾何曲線間には曲線の自由度に関する包含関係^{*2}が存在するため，厳密に形状だけを規範とするとすべての手書き曲線は最も自由度の高い自由曲線となってしまう．そこで FSCI では，FSC の形状とともにその位置

*1 分割されている様子を分かりやすくするために部分 FSC の位置をずらして表示した．以後，このような表示には exploded view と注記する．

*2 たとえば，円は円弧に含まれ，円弧は楕円弧に含まれる．また，すべての基本幾何曲線は開自由曲線に含まれる．

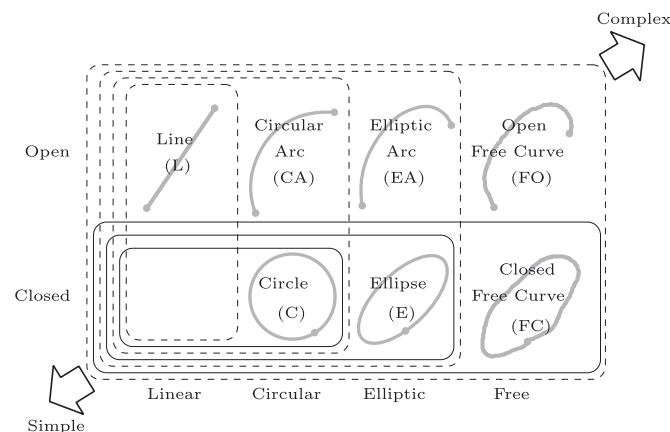


図 2 7 種の幾何曲線とその包含関係

Fig. 2 Inclusion relations among 7 classes of geometric curves.

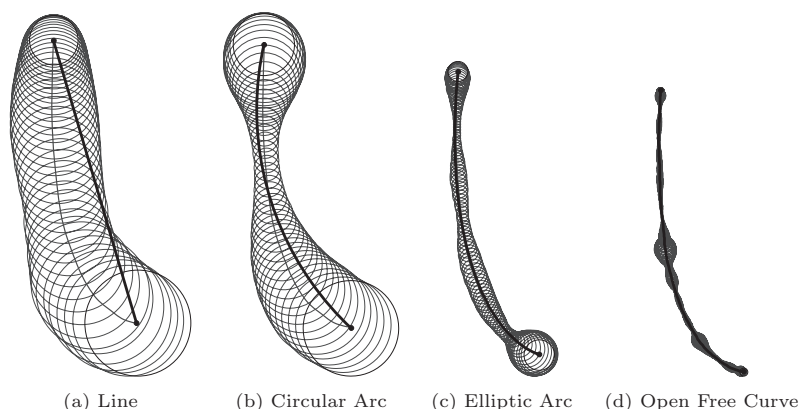


図 3 FSC のあいまいさの広がり認識結果の関係

Fig. 3 Relationship between fuzziness of FSC and identification result.

的あいまいさの広がりを勘案し、あいまいさの広がりの中において最も単純な基本幾何曲線を見出そうとするファジィ推論によって認識を行う。これにより、図 3 のようにまったく同一の描画軌跡であっても、雑であいまいな描画は線分や円弧などの自由度の低い単純な基本幾何曲線に認識し、逆に、丁寧に厳密な描画は開自由曲線のような自由度の高い複雑な基

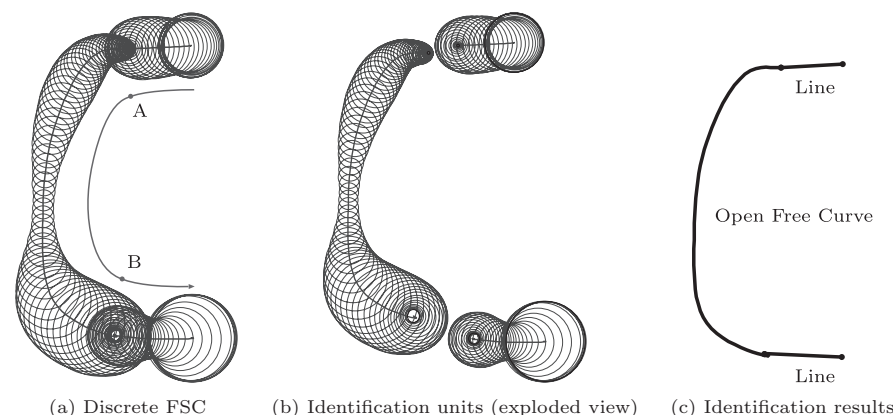


図 4 ファジィセグメンテーション法に起因する予期しない認識結果の例

Fig. 4 Example of unexpected identification result caused by Fuzzy Segmentation.

本幾何曲線に認識する。結果としてユーザは、単純な図を描くときは大雑把に描画し、ディテールの重要な複雑な部分は慎重に描画することで所望の図形を入力することができる。

2.2 ファジィセグメンテーション法の問題点

ユーザが描画動作で区切りを任意の位置に表現できるファジィセグメンテーション法だが、これを FSCI の認識の前処理として用いると、認識される幾何曲線列がユーザの意図しない結果となることがある。図 4 にその典型例を示す。この例において、ユーザは線分・楕円弧・線分の入力を意図し、図 4 (a) のような描画を行った。ところが、認識された幾何曲線列は図 4 (c) のように線分・開自由曲線・線分となり、楕円弧を意図していた部分がより複雑な幾何曲線である開自由曲線として認識された。これは、区切るために一時停止動作を行った図 4 (a) の A, B の部分が図 4 (b) のように各同定単位の端点近傍に混入したことにより起因する。すなわち、混入した丁寧で厳密な一時停止動作がより自由度の高い複雑な幾何曲線として認識された原因である。このような問題が起きるそもそもの原因は、時間的長さをともなうユーザの一時停止動作をファジィセグメンテーション法が瞬間的な区切り点として扱っていることにあると考えられる。

3. 「ファジィフラグメンテーション法」の提案

本章では、FSCI における基本幾何曲線列の認識特性を改善するために、同定単位を抽出

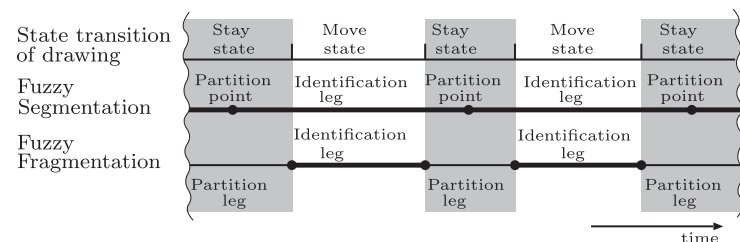


図 5 ファジィセグメンテーション法とファジィフラグメンテーション法の概念的比較

Fig. 5 Conceptual comparison between Fuzzy Segmentation and Fuzzy Fragmentation.

する新たな手法「ファジィフラグメンテーション法」を提案する。

ファジィフラグメンテーション法では第 1 に、一時停止動作によって表現される区切りを従来のような時間軸上における一瞬の区切り点 (Partition Point) ではなく、ある時間的長さを持った区切り区間 (Partition leg) として扱うことで 2.2 節で述べたファジィセグメンテーション法の問題点を克服する。そのために描画動作を「移動状態 (Move state)」と「停止状態 (Stay state)」という 2 つの状態に分類し、移動状態に対応する部分 FSC を「同定単位 (Identification unit)」, 停止状態に対応する部分 FSC を「区切り単位 (Partition unit)」と見なす (図 5 参照)。第 2 に、描画動作全体を「移動状態」と「停止状態」を遷移する状態遷移モデルとしてとらえる。これにより、ユーザの明確な移動/停止の動作をきっかけとした状態遷移を行い、ユーザの意図しない状態の遷移を抑制する。

以下に、ファジィフラグメンテーション法の具体的なアルゴリズムを

- (1) FSC の離散化
- (2) チャンク群の構成
- (3) チャンクの停止性の評価
- (4) チャンクのラベル付け
- (5) 状態遷移の検出
- (6) 同定単位と区切り単位の抽出

という処理の流れに沿って示す。

3.1 FSC の離散化

FSC をあるサンプリング間隔 T_s (本論文では 0.025 秒とした) でファジィ点時系列 $(\tilde{p}_i, t_i)$ ($i = 1, \dots, n$) へと離散化する。ここで各ファジィ点 $\tilde{p}_i$ はメンバシップ関数

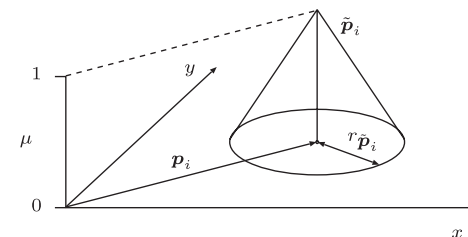
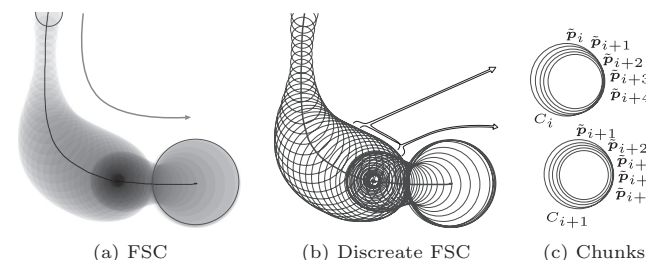


図 6 円錐型ファジィ点モデル

Fig. 6 Conical fuzzy point model.

図 7 $k = 4$ の場合のチャンク C_i と C_{i+1} Fig. 7 Chunks C_i and C_{i+1} in case where $k = 4$.

$$\mu_{\tilde{p}_i}(v) = \left(1 - \frac{|v - p_i|}{r_{\tilde{p}_i}}\right) \vee 0 \quad (1)$$

によって特徴づけられる図 6 のような円錐型二次元ファジィ集合であり, p_i はファジィ点の頂点の位置ベクトルを表し, $r_{\tilde{p}_i}$ はあいまいさの広がり程度を表す¹⁾。

3.2 チャンク群の構成

区切りと見なす最低の停止時間を停止判定時間 $T_m (= kT_s)$ として設定する (本論文では停止判定時間が 0.1 秒となるように $k = 4$ と設定した)。このとき T_m を時間長として持つ部分ファジィ点時系列をチャンクと定義し、チャンク群

$$C_i = \{(\tilde{p}_i, t_i), \dots, (\tilde{p}_{i+k}, t_{i+k})\} (i = 1, \dots, n - k)$$

を構成する。図 7 にチャンクの例を示す。

3.3 チャンクの停止性の評価

個々のチャンク C_i について、その停止性を区間真理値 $[N_{C_i}, P_{C_i}]$ で評価する。ただし、

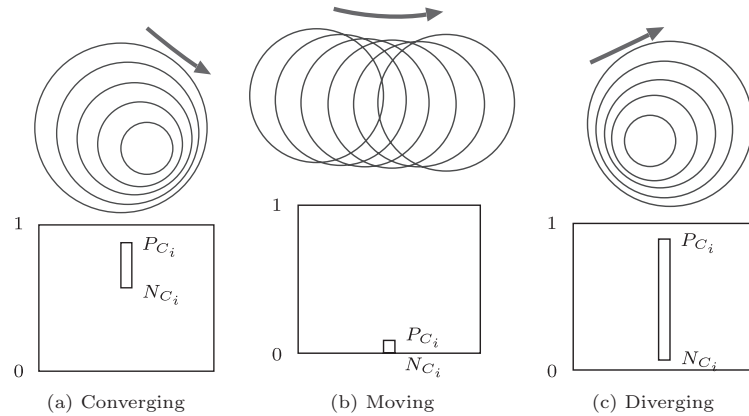


図 8 チャンクと停止性区間真理値の典型例
Fig. 8 Typical cases of chunks and their interval truth-values.

N_{C_i} , P_{C_i} はそれぞれ

$$N_{C_i} = \bigwedge_{j=i, \dots, i+k-1} N_{\tilde{p}_{i+k}}(\tilde{p}_j) \quad (2)$$

$$P_{C_i} = \bigwedge_{j=i, \dots, i+k-1} P_{\tilde{p}_{i+k}}(\tilde{p}_j) \quad (3)$$

であり、また、

$$N_{\tilde{p}_j}(\tilde{p}_i) = \inf_v ((1 - \mu_{\tilde{p}_j}(v)) \vee \mu_{\tilde{p}_i}(v)) \quad (4)$$

$$P_{\tilde{p}_j}(\tilde{p}_i) = \sup_v (\mu_{\tilde{p}_j}(v) \wedge \mu_{\tilde{p}_i}(v)) \quad (5)$$

である（“ $\wedge$ ” は min 演算，“ $\vee$ ” は max 演算を示す）。ここで、 $N_{\tilde{p}_j}(\tilde{p}_i)$ と $P_{\tilde{p}_j}(\tilde{p}_i)$ はそれぞれ「ファジィ点 $\tilde{p}_j$ がファジィ点 $\tilde{p}_i$ に含まれている」というファジィ命題の必然性と可能性をファジィ測度で評価したものとなっている^{1),12)}。この停止性評価によって図 8 (a) のようにある点に向けてあいまいさが収束していくチャンクに関しては可能性、必然性ともに高い区間真理値が得られる。また、逆に図 8 (b) のように移動し続けているチャンクに関しては可能性、必然性ともに低い区間真理値が得られる。一方、図 8 (c) のようにある点からあいまいさが発散していくチャンクに関しては可能性は高いものの、必然性は低いという区間真理値が得られる。

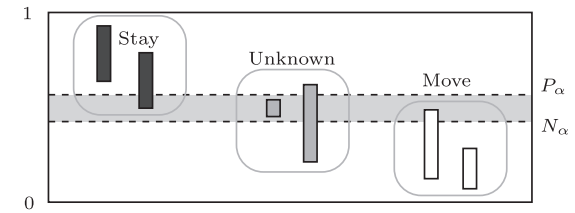


図 9 チャンクのラベル付け
Fig. 9 Labeling of chunks.

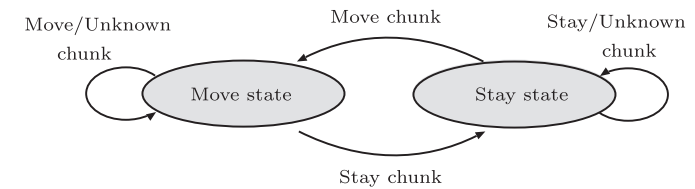


図 10 停止状態と移動状態の状態遷移図
Fig. 10 State transition diagram between move phase and stay phase.

3.4 チャンクのラベル付け

個々のチャンクについて、区間真理値をあらかじめ設定された区間閾値 $[N_\alpha, P_\alpha]$ で以下のように三値に量子化し、ラベル付けを行う（図 9 参照）。

- 停止 (Stay): $N_{C_i} \geq N_\alpha$ かつ $P_{C_i} \geq P_\alpha$ の場合
- 移動 (Move): $N_{C_i} < N_\alpha$ かつ $P_{C_i} < P_\alpha$ の場合
- 不明 (Unknown): その他の場合

3.5 状態遷移の検出

チャンクのラベルをきっかけに遷移する図 10 の状態遷移図に従って、チャンクを移動状態 (Move state) と停止状態 (Stay state) とに分類していく。ただし、描画開始前は停止していたと仮定し、初期状態を停止状態とする。状態遷移の典型例を図 11 に示す。

3.6 同定単位と区切り単位の抽出

連続した移動状態のチャンク列のそれぞれに対して 1 つずつの同定単位区間を抽出する。また、停止状態のチャンク列についても同様に区切り区間を抽出する。具体的には、ある連続した移動状態のチャンク列について、それを構成するチャンクが $\{C_i, C_{i+1}, \dots, C_j\}$ であるときその時間範囲 $[t_{\tilde{p}_i}, t_{\tilde{p}_{j+k}}]$ に対応する部分 FSC を抽出し、これを 1 つの同定単位と

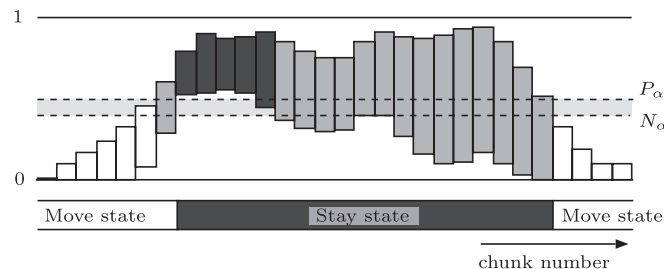


図 11 状態遷移の典型例
Fig. 11 Typical case of state transitions.

する．一方，停止状態のチャンク列についても同様に部分 FSC を抽出し，これを区切り単位とする．

4. 動作例

本章では，ファジィフラグメンテーション法による認識結果の改善例を示す．次に，ファジィフラグメンテーション法の基本的な考えとして導入した状態遷移モデルの効果を示す．最後に，チャンクの量子化において用いた区間閾値の効果を示す．

4.1 ファジィフラグメンテーション法導入による認識結果の改善例

図 12 は図 4 の場合とまったく同一の手書き曲線から生成された FSC (図 12(a) 参照) をファジィフラグメンテーション法を用いた FSCI で処理した例である．図 12(b) を見ると一時停止動作を行った図 12(a) の地点 A, B に対応する部分が区切り単位として分離され，同定単位の端点部分に丁寧で厳密な一時停止動作が混入していないことが分かる．その結果，図 12(c) のとおり認識された幾何曲線列はユーザの意図した線分・楕円弧・線分へと改善された．

ここで，図 12(c) の楕円弧と線分間にわずかな隙間が存在することに注意する．ファジィフラグメンテーション法では一時停止動作を時間的な長さのある区切り区間として検出するため，区切り区間に対応する区切り単位も長さを持つことになり，同定単位間に隙間が発生する．したがってその結果として，認識された幾何曲線間の連結が保証されないことになる．しかし，これらの隙間はスナッピングや連結などの後処理によって対処できる程度の小さなものであり，大きな問題とはならない (4.3 節および 5 章参照)．

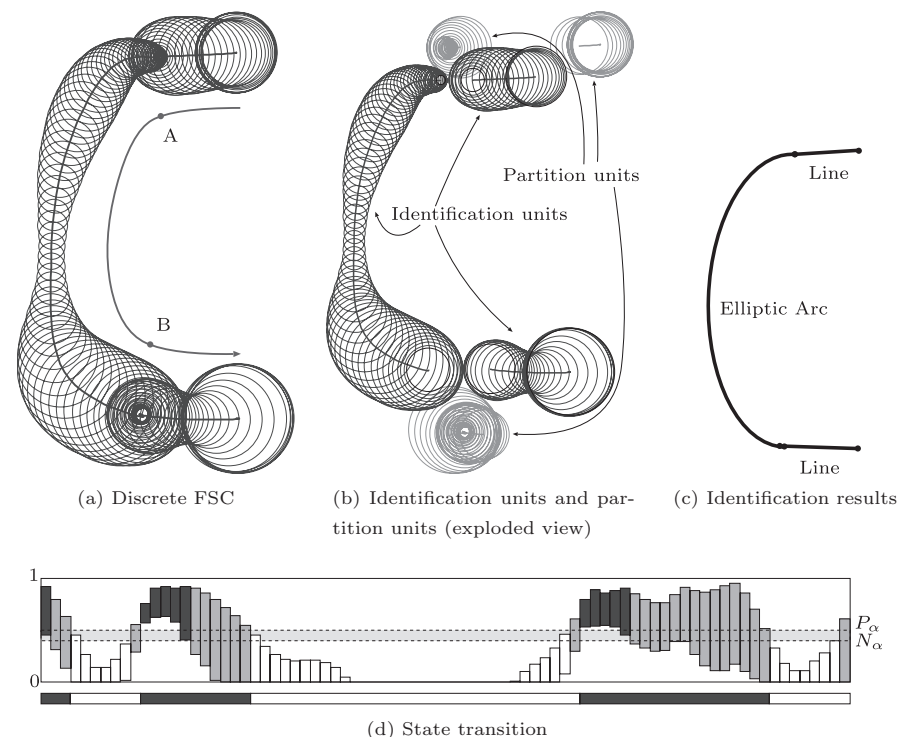


図 12 ファジィフラグメンテーションを適用したことによる期待通りの認識結果
Fig. 12 Expected identification result by introduction of Fuzzy Fragmentation.

4.2 状態遷移モデルの効果

ファジィフラグメンテーション法の基本的な考えとして導入した状態遷移モデルの効果を示すために，導入しない場合との比較を行う．仮に状態遷移モデルを導入しないこととした場合，“不明”ラベルのチャンクを「移動状態」か「停止状態」のどちらかに単純に分類することになる．そこで，ユーザが楕円弧・線分を意図して入力した手書き曲線を例に以下の 3 通りの処理を行った結果を図 13 に比較して示す．

Case A 状態遷移モデルを導入せず，“不明”ラベルのチャンクを「移動状態」に分類した場合

Case B 状態遷移モデルを導入せず，“不明”ラベルのチャンクを「停止状態」に分類し

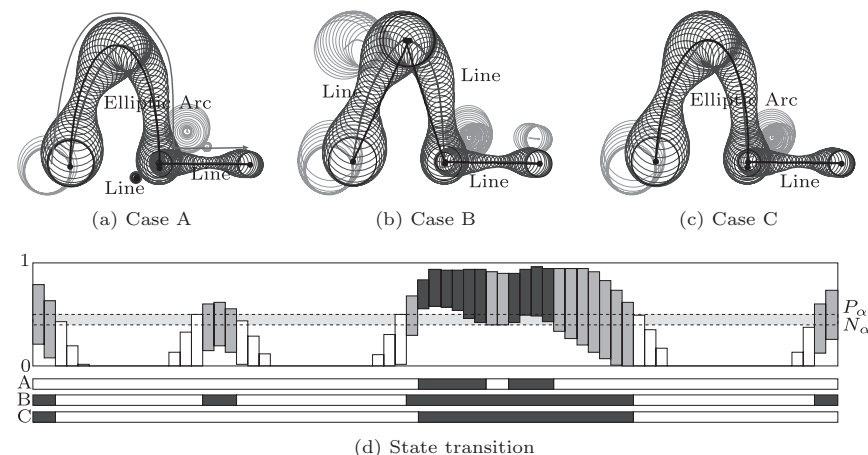


図 13 状態遷移モデルの効果

Fig. 13 Effect of state transition model.

た場合

Case C 状態遷移モデルを導入した場合

Case A の処理による分類結果が図 13(d) の A である。区間真理値列を見ると、ユーザが区切りを表現している時刻には高い停止性を持ったチャンク群が存在している。しかし、停止性の高いチャンク群の中の閾値をやや下回った部分が“不明”ラベルになり、移動状態に分類された。その結果、図 13(a) のように楕円弧と線分の間にユーザの意図しなかった極小の線分が余分に現れている。一方、Case B の処理による分類結果が図 13(d) の B である。楕円弧を意図した入力途中の停止性がやや現れた部分が“不明”ラベルになり、停止状態に分類された。その結果、図 13(b) のように楕円弧を意図した部分が途中で区切られ、2 本の線分になってしまっている。このように、描画動作を状態遷移モデルとしてとらえない処理では、ユーザにとって意図しない結果が多発することになる。これらに対し、Case C の状態遷移モデルを導入した処理においては図 13(c) のようにユーザの意図どおりの結果が得られている。状態遷移モデルを導入すると、ユーザが明確に停止や移動の動作を行うまで他方の状態へ遷移せず、意図どおりの結果が得られることが分かる。

4.3 区間閾値の効果

3.4 節でチャンクの停止性を量子化する際に区間閾値を用いたことの効果を示すために、

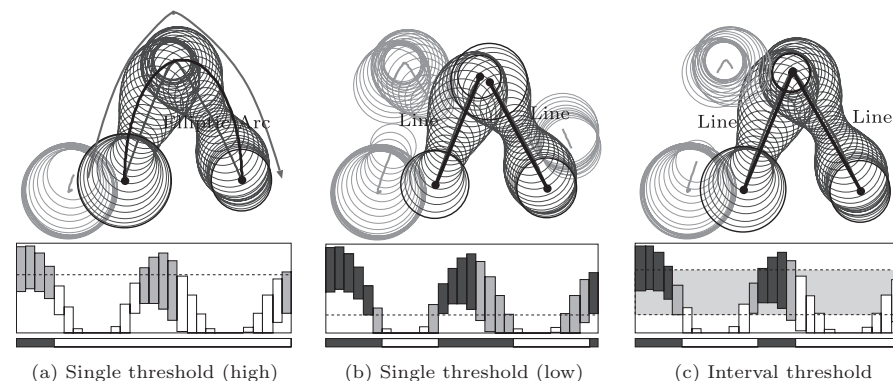


図 14 区間閾値の効果

Fig. 14 Effect of interval threshold.

単に単一閾値を用いた場合との比較を行う。図 14 はユーザが線分・線分を意図して入力した手書き曲線を単一閾値 (Single threshold) と区間閾値 (Interval threshold) を用いて処理した例である。まず、高い単一閾値を用いたものが図 14(a) である。閾値が高くなるとユーザが区切りを表現するためにより明確かつ厳密に停止を表現することが要求され、区切り損なうことが多くなってしまふ。一方、低い単一閾値を用いたものが図 14(b) である。閾値が低くなると停止状態への遷移が容易になるため区切りやすくなるが、再び移動状態へ遷移するためには明確な移動を表現しなければならなくなる。結果、移動状態への遷移が遅れ、長い区切りが大きな隙間として残ってしまう。以上のように、単一の閾値では区切りによる隙間を小さく抑える代わりに区切りにくくするか、区切りやすくする代わりに隙間を大きくするかのトレードオフが発生する。これらに対し、区間閾値を用いた図 14(c) は意図どおりに区切ることができ、隙間も小さく抑えられた。区間閾値を用いると移動状態への遷移のしやすさと停止状態への遷移のしやすさを独立して設定することが可能になり、区切りやすく隙間を小さく抑えるような設定が可能となる。本論文では様々な描画を行った結果、区切りやすく隙間が小さくなるように区間閾値 $[N_\alpha, P_\alpha]$ を $[0.4, 0.6]$ と設定することとした^{*1}。

*1 この区間閾値は 5 の評価実験に先立って経験的に定めたものであり、評価実験の提示パターンを用いた調整は行っていない。

5. 評価実験

提案したファジィフラグメンテーション法の導入により幾何曲線列入力時の認識特性がどのように改善されるかを確認するため、開いた幾何曲線で構成されたパターンの認識率を以下の4つの場合について比較した。

Separated Drawing with Fuzzy Segmentation パターンを構成する幾何曲線を一筆で1つずつ個別に書き、ファジィセグメンテーション（従来手法）を用いた FSCI で認識させた場合（以降、Sep-FSeg と呼ぶ）

Separated Drawing with Fuzzy Fragmentation パターンを構成する幾何曲線を一筆で1つずつ個別に書き、ファジィフラグメンテーション（提案手法）を用いた FSCI で認識させた場合（以降、Sep-FFrag と呼ぶ）

Continuous Drawing with Fuzzy Segmentation パターンを構成する幾何曲線列全体を一筆で一括して書き、ファジィセグメンテーション（従来手法）を用いた FSCI で認識させた場合（以降、Cont-FSeg と呼ぶ）

Continuous Drawing with Fuzzy Fragmentation パターンを構成する幾何曲線列全体を一筆で一括して書き、ファジィフラグメンテーション（提案手法）を用いた FSCI で認識させた場合（以降、Cont-FFrag と呼ぶ）

実験は従来手法のファジィセグメンテーションを用いた FSCI による作図作業に習熟した6名の被験者（A～F）を対象として行った。被験者に提示したパターンは、図15の8種類のパターンと、それぞれを90度、180度、270度回転することで得られるパターン、計32パターンである。32パターンをランダムな順にすべて提示することを1セットとし、これを5セット行うことで合計160パターンの提示を行った。各被験者にはこの160パターンの描画を、個別書きの場合と一筆書きの場合のそれぞれについて、1回ずつ以下のような条件で行わせた。

- 紙に印刷された提示パターンを参照しながら提示パターンと同じ構成の幾何曲線列が認識されるように努力して液晶タブレット上で描画を行うことを被験者に要請した（図16参照）。
- 被験者への視覚フィードバックとして、ファジィセグメンテーションを用いた FSCI による認識結果を描画ごとに液晶タブレット上に表示した。
- 提示パターンの紙と液晶タブレット上には描画の大きさや配置の目安のためにグリッドを表示した。

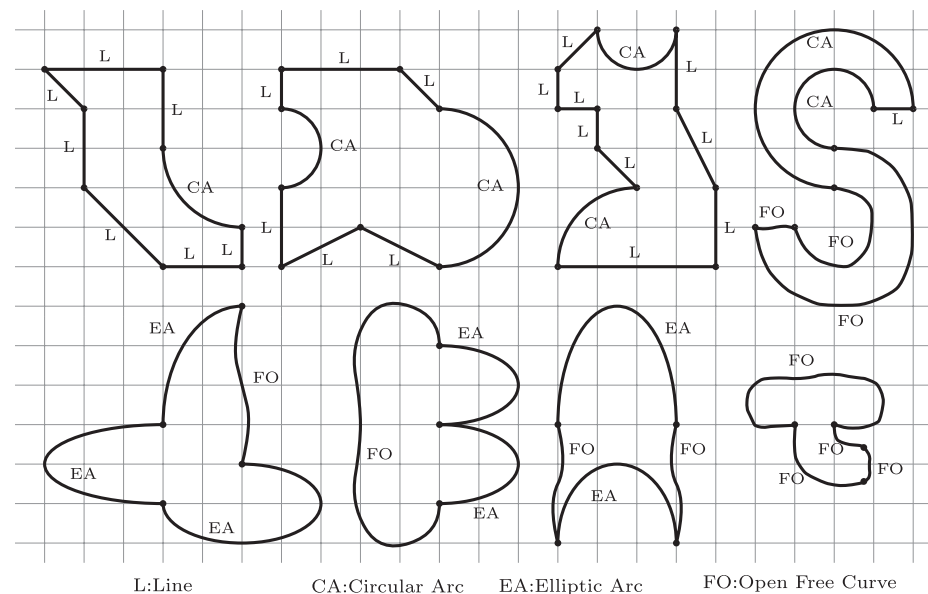


図 15 開いた幾何曲線の提示パターン
Fig. 15 Presented patterns of open geometric curves.



図 16 実験の様子
Fig. 16 Condition of experiment.

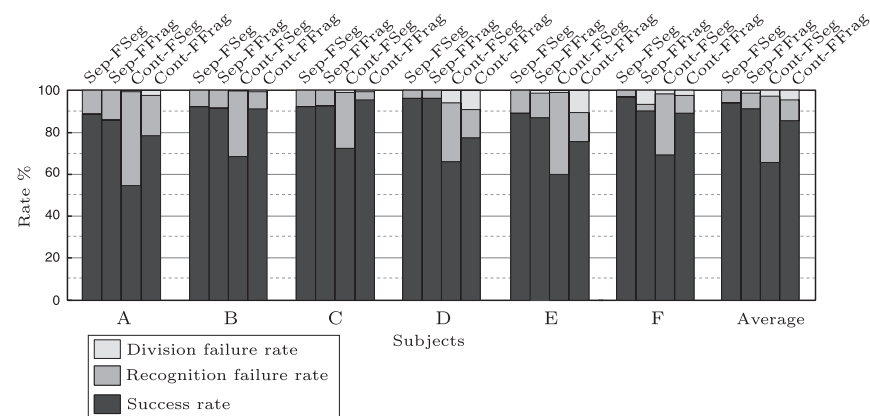


図 17 開いた幾何曲線の提示パターンに対する認識率の比較

Fig. 17 Comparison of recognition rates for patterns of open geometric curves.

実験の結果を Sep-FSeg, Sep-FFrag, Cont-FSeg, Cont-FFrag のそれぞれの場合について、区切り失敗率 (Division failure rate)・認識失敗率 (Recognition failure rate)・成功率 (Success rate) としてまとめたグラフを図 17 に示す^{*1}。ただし、失敗率および成功率を以下のように定義した。

区切り失敗率 区切りに失敗した (すなわち、ファジィセグメンテーション法またはファジィフラグメンテーション法で抽出された同定単位の数と提示された幾何曲線数と合致しなかった) 提示パターン数の全提示パターン数に対する割合

認識失敗率 区切りに成功したものの、認識に失敗した (すなわち、認識された幾何曲線の種類が 1 つでも提示された幾何曲線の種類と合致しなかった) 提示パターン数の全提示パターン数に対する割合

成功率 区切りおよび認識に成功した提示パターン数の全提示パターン数に対する割合

まず、Sep-FSeg と Sep-FFrag の全被験者の平均成功率を比較するとそれぞれ約 93% と約 91% となっており、個別に書いた場合は従来手法のファジィセグメンテーションも提案手法のファジィフラグメンテーションも同様に高い成功率が得られることが分かる。一方、

^{*1} Sep-FSeg と Sep-FFrag に関しては同一の描画データセットに対する結果である。同様に、Cont-FSeg と Cont-FFrag に対しても同一の描画データセットに対する結果である。

表 1 Cont-FSeg における開いた幾何曲線に対する認識率

Table 1 Recognition rates for open geometric curves in case of Cont-FSeg.

Presented geometric curve class	Recognition rates %			
	L	CA	EA	FO
L	96.5	0.1	1.7	1.7
CA	0.0	80.9	10.4	8.7
EA	0.0	0.4	84.5	15.1
FO	0.8	0.1	0.7	98.4

表 2 Cont-FFrag における開いた幾何曲線に対する認識率

Table 2 Recognition rates for open geometric curves in case of Cont-FFrag.

Presented geometric curve class	Recognition rates %			
	L	CA	EA	FO
L	98.8	0.0	0.2	1.0
CA	0.2	95.5	4.2	0.0
EA	0.0	1.5	96.9	1.6
FO	2.2	0.3	2.3	95.3

Cont-FSeg と Cont-FFrag の平均成功率を比較すると Cont-FSeg では約 65% と大きく低下しているのに対し、Cont-FFrag では約 85% と高い値を維持している。このことから、従来手法のファジィセグメンテーション法では一筆書きの場合に成功率が大きく低下するという問題があったのに対し、提案手法のファジィフラグメンテーション法ではこの問題が改善されていることが分かる。被験者を個別に見た場合、区切り失敗率に関しては被験者 E のように提案手法の Cont-FFrag が従来手法の Cont-FSeg に比べ悪化している例があるものの、成功率の観点ではすべての被験者について改善の効果が確認できる。

ここで、提案手法により一筆書きの場合の成功率が改善した要因を明らかにするために、Cont-FSeg および Cont-FFrag における各幾何曲線ごとの認識率をまとめた結果をそれぞれ表 1, 表 2 に示す。従来手法では表 1 に見られるように、たとえば CA から EA への誤認識率 (10.4%), CA から FO への誤認識率 (8.7%), EA から FO への誤認識率 (15.1%) などのように複雑な種類の幾何曲線への誤認識率が高い傾向があり、これにより成功率が低下していることが分かる。これに対して、提案手法では表 2 に見られるように、複雑な種類の幾何曲線への誤認識率が低減し、これにより成功率が向上していることが分かる。この改善は提案手法であるファジィフラグメンテーション法が同定単位から区切り単位を分離したことによる効果と考えられる。

一方、閉じた幾何曲線の認識率に対する提案手法の影響を調べるために、図 18 の閉じた

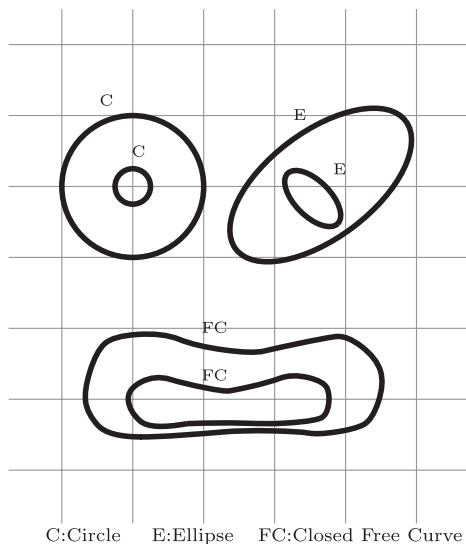


図 18 閉じた幾何曲線の提示パターン
Fig.18 Presented patterns of closed geometric curves.

表 3 Sep-FSeg における閉じた幾何曲線に対する認識率
Table 3 Recognition rates for closed geometric curves in case of Sep-FSeg.

Presented geometric curve class	Recognition rates %						
	C	E	FC	L	CA	EA	FO
C	98.7	0.0	0.0	0.0	0.9	0.4	0.0
E	0.0	93.6	4.7	0.0	0.0	1.7	0.0
FC	0.0	0.0	99.2	0.0	0.0	0.0	0.8

幾何曲線で構成された提示パターンを用いて、開いた幾何曲線の場合と同様の描画実験を行った。Sep-FSeg と Sep-FFrag のそれぞれの場合について各幾何曲線ごとの認識率をまとめた結果、表 3 と表 4 が得られ、これから閉じた幾何曲線に関しては従来手法と提案手法で大きな差がないことが確認できる。

なお、開いた幾何曲線の提示パターンに対する Cont-FFrag の描画実験においては図 12 (c) に見たような幾何曲線間の小さな隙間が確認されたが、これらはいずれもスナッピングなどの後処理で対処できる程度のものであった。具体的に、Cont-FFrag の描画実験において被

表 4 Sep-FFrag における閉じた幾何曲線に対する認識率
Table 4 Recognition rates for closed geometric curves in case of Sep-FFrag.

Presented geometric curve class	Recognition rates %						
	C	E	FC	L	CA	EA	FO
C	99.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0
E	0.0	94.9	4.7	0.0	0.0	0.4	0.0
FC	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0

験者が描画した曲線の全長に対する同定単位の長さの合計の割合を求めた結果は 95.3% となり、全長に対する隙間の割合はたかだか 5% 未満であることを確認した。

6. む す び

本論文では、FSCI における幾何曲線列の認識特性の改善を目的として、従来のファジィセグメンテーション法に代わる新たな同定単位抽出法「ファジィフラグメンテーション法」を提案した。ファジィフラグメンテーション法は幾何曲線認識の対象となる同定単位に一時停止動作を混入させないことで幾何曲線列入力時の認識率を大幅に改善した。

今後はファジィフラグメンテーション法の導入により手書き作図インタフェース SKIT の実用性がいかに向上するかについて、実務的な作図作業における入力効率改善の観点から評価していく予定である。また、ファジィフラグメンテーション法をより広く、一時停止動作を区切りとして 1 つのジェスチャをいくつかのジェスチャへと分割する用途に適用できる可能性を検討していく予定である。

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—ファジースブライン補間法, 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: ファジースブライン曲線同定法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J77-D-II, No.8, pp.1620–1629 (1994).
- 3) 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).
- 4) 西川 玲, 田中良樹, Sumudu, D., 鈴木竜也, 青柳賢明, 川添昌俊, 佐賀聡人: SKIT: スケッチ入力フロントエンドプロセッサ, *Interaction2005*, Vol.2005, No.4, pp.223–224 (2005).
- 5) 田中良樹, 西川 玲, 川添昌俊, 櫻井将樹, 佐賀聡人: 位相操作可能なスケッチ入力インタフェースの試作, *Interaction2006*, Vol.2006, No.4, pp.233–234 (2006).

- 6) 櫻井将樹, 堂下貴弘, 西川 玲, 川添昌俊, 佐賀聡人: 手書きスケッチ入力インタフェースにおける多重解像度グリッドスナッピングの必要性, *Interaction2007*, Vol.2007, No.4, pp.27-28 (2007).
- 7) Fiorentino, M., Monno, G., Renzulli, P.A. and Uva, A.E.: 3D Sketch Stroke Segmentation and Fitting in Virtual Reality, *Proc. 13th GRAPHICON*, pp.188-191 (2003).
- 8) Ray, B.K. and Ray, K.S.: A new split and merge technique for polygonal approximation of chain coded curves, *Pattern Recognition Letters*, Vol.16, No.2, pp.161-169 (1995).
- 9) Horng, J.-H.: Improving fitting quality of polygonal approximation by using the dynamic programming technique, *Pattern Recognition Letters*, Vol.23, No.14, pp.1657-1673 (2002).
- 10) Ichoku, C., Deffontaines, B. and Chorowicz, J.: Segmentation of digital plane curves: A dynamic focusing approach, *Pattern Recognition Letters*, Vol.17, No.7, pp.741-750 (1996).
- 11) Sezgin, T.M., Stahovich, T. and Davis, R.: Sketch Based Interfaces: Early Processing for Sketch Understanding, *Proc. 2001 Workshop on Perceptual User Interface*, pp.623-641 (2001).
- 12) Zadeh, L.A.: Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.1, No.1, pp.3-28 (1978).

(平成 21 年 4 月 20 日受付)

(平成 21 年 11 月 6 日採録)



西川 玲 (学生会員)

1979 年生. 2006 年室蘭工業大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了. 同年同大学院博士課程進学. 手書き作図インタフェースの研究と開発に従事. 電子情報通信学会学生会員.



佐賀 聡人 (正会員)

1960 年生. 1987 年北海道大学大学院工学研究科博士後期課程 (電子工学専攻) 修了. 1987 年から 1989 年にかけて青年海外協力隊員としてフィリピン, ナガ大学にてコンピュータサイエンスを指導. 1989 年 (株) テクノバ入社. 図形処理システムのヒューマンインタフェースに関する研究に従事. 1994 年より室蘭工業大学工学部講師. 現在, 同大学大学院工学研究科教授. 工学博士. ソフトコンピューティングに基づくヒューマンインタフェースの研究に従事. IEEE 会員.



前田 純治 (正会員)

1972 年北海道大学理学部物理学科卒業. 1974 年同大学大学院工学研究科修士課程修了. 北海道大学工学部助手, 室蘭工業大学工学部助教授を経て, 1994 年同大学工学部教授. 現在, 同大学大学院工学研究科教授. 工学博士. 画像処理, ソフトコンピューティング等の研究に従事. 電子情報通信学会, IEEE 各会員.