

## 制御多角形を利用した自由曲線形状の類似判定について

齊藤 篤史<sup>1</sup> 向井 伸治<sup>2</sup> 古川 進<sup>3</sup> 清水 誠司<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> 前橋工科大学, <sup>3,4</sup> 山梨大学大学院

### 1. はじめに

形状の検索や分類, 形状の認識等に際して, 形状の類似尺度を定めることはきわめて重要である. 形状の類似判定法は, 例えば, 障害患者のリハビリテーションにおける歩行足跡の比較よりその回復状況を推定したり, 文字の筆跡を比較鑑定するのに応用できるであろう. 2次元形状の比較方法については多くの研究がなされてきた. 曲率を利用した方法 [1], Hausdorff 距離に基づいた方法 [2], フーリエ級数を用いた方法 [3] などが考えられている. 頂点位置のずれ量を調べる方法は最も単純で分かりやすい方法であるが, (1) 対応点の決定方法に結果が依存する, (2) 曲線上の点を比較するので計算量が非常に大きい, (3) 特徴量が把握しにくい, というような問題があるため, それほど詳しい研究は行われてこなかった. 特徴量を捉える方法には, コンベックスハルを作成する方法 [4,5] が考案されている. 本研究では, 上記 (1), (2) の点を踏まえて, 平面曲線形状の類似性を制御多角形とその細分法を利用して定量化する簡便な方法を提案する. 以下では, 本手法の基本的な考え方を述べ, 細分割回数と類似度の関係, 曲率を用いた方法と本手法との比較などについて考察する. 類似判定の一例として, 手書き文字の比較例を示す.

### 2. 類似判定の方法

二つの曲線形状を規定する制御多角形  $A, B$  を用いて, 形状の類似度を求める手続きを述べる.

#### (1) スケーリングと固有座標系の設定

まず, 形状のサイズを合わせるために, 折れ線の長さ  $L_A, L_B$  を用いてスケーリングファクタ  $f_s = L_A/L_B$  を求め, 制御多角形  $B$  のスケーリングを行う. 次に, 多角形の位置合わせのために固有座標系を設定する. 座標原点は多角形の図心とする. 開曲線の場合は,  $x$  軸の正方向を点列の終点の方向に定める. 単一の座標系では点の順序によって姿勢が変化してしまうので,  $B$  の座標系の設定においては点列の始点と終点を入れ替え, 二通りの座標系を設定する. 閉曲線の比較の場

合は, 多角形の図心-頂点間距離が最大となる点の方向に  $x$  軸の正方向を定める.  $B$  の座標系に関しては, 距離最大の周辺の点も考慮して複数の座標系を設定する. 多角形の各点の座標値は固有座標系の座標値に変換される.

#### (2) 制御点のマッチングと類似度の計算

固有座標系で記述された多角形に対して, 点列の並び順に対応付けを行い, 対応点間距離を利用して以下の距離尺度  $D$  を計算する.

$$D = \frac{1}{nL} \sum_{i=1}^n |P_{A,i} - P_{B,i}| \quad (1)$$

ここで,  $P_{A,i}, P_{B,i}$  はそれぞれ多角形  $A, B$  の  $i$  番目の対応点,  $n$  は制御点数,  $L$  は折れ線の長さである.

求められた複数の  $D$  値より, 類似度  $S(A, B)$  を

$$S(A, B) = \min(D_1, D_2, \dots, D_{nl}) \quad (2)$$

と定義する. 以下,  $m$  回細分化後の制御多角形の類似度を  $S_m$  と表記する.

### 3. 細分割回数と類似度の関係

図 1 に制御多角形  $A$  に対して  $B1, B2, B3$  を比較した結果を示す. 初期多角形, 1 回細分化多角形および 5 回細分化多角形の類似度が示されているが, いずれにおいても  $B2$  が  $A$  に最も類似していることがわかる. 比較ペア 30 組の類似度の計算結果より, 類似判別が概ね可能であることがわかった.

	A	B1	B2	B3
0回		 0.1500	 0.0260	 0.2887
1回		 0.1355	 0.0381	 0.2446
5回		 0.1260	 0.0410	 0.2170

図 1 類似度の計算例

図 2 は細分割回数と類似度の関係を表したものである. 細分割回数が増すのに伴い, 類似度が収束してい

A Method for Determining the Similarity of Plane Curves Using Control Polygons

<sup>1</sup>Atsushi Saitoh, <sup>2</sup>Shinji Mukai,

<sup>3</sup>Susumu Furukawa, <sup>4</sup>Seiji Shimizu

<sup>1,2</sup>Maebashi Institute of Technology

<sup>3,4</sup>Graduate School, University of Yamanashi

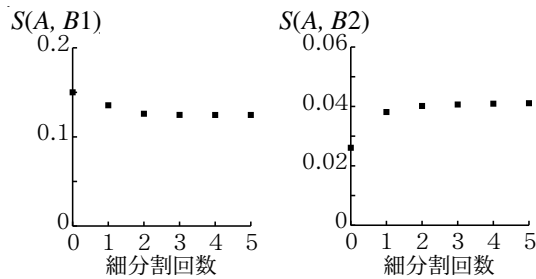


図2 細分割回数と類似度の関係

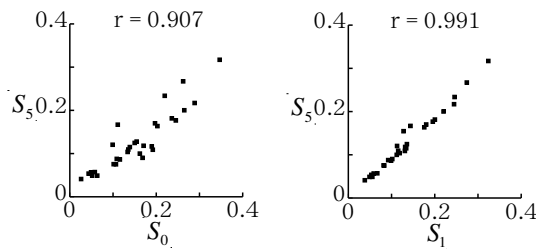


図3 細分化による類似度相互の関係

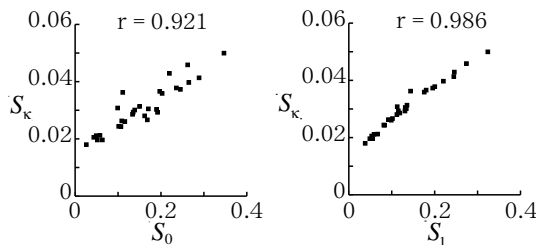


図4 点間距離による類似度と曲率による類似度の関係

く状況がわかる。特に1回細分割による類似度の収束率が大であることがわかる。図3に初期多角形の類似度  $S_0$ 、1回細分化多角形の類似度  $S_1$  と5回細分化多角形（曲線形状を近似しているものとみなす）の類似度  $S_5$  の関係を示す。図中の  $r$  値は相関係数である。これより、曲線形状の大雑把な比較では、初期多角形を比較すればよいことがわかる。さらに1回細分化多角形を比較すれば、曲線形状の類似性を説明するのに十分であるといえる。したがって、類似検索の際に類似度  $S_0$ 、 $S_1$  を利用すれば、最初に大まかな類似形状の候補を選出しておき、その中からより類似な形状を見出していく、といった効率的な検索が実現できる。

#### 4. 曲率を用いた方法との比較

曲率を利用する方法を簡単に説明する。比較する曲線は、曲線長を使ってあらかじめスケールをしておく。曲線上で等間隔に点をサンプリングして、各点における曲率を計算する。この曲率より類似度

$$S_K(A, B) = \sqrt{\frac{1}{n_K} \sum_{i=1}^{n_K} (K_{A,i} - K_{B,i})^2} \quad (3)$$

を定める。ここで、 $K_{A,i}$ 、 $K_{B,i}$  はそれぞれ曲線  $A$ 、 $B$  の  $i$  番目の点における曲率であり、 $n_K$  はサンプル数

$S_0 = 0.0000$ $S_1 = 0.0000$ $S_K = 0.0000$	$S_0 = 0.0344$ $S_1 = 0.0286$ $S_K = 0.0084$	$S_0 = 0.0333$ $S_1 = 0.0289$ $S_K = 0.0086$
$S_0 = 0.0465$ $S_1 = 0.0436$ $S_K = 0.0106$	$S_0 = 0.0534$ $S_1 = 0.0509$ $S_K = 0.0113$	$S_0 = 0.1473$ $S_1 = 0.1365$ $S_K = 0.0183$

図5 文字の筆跡の比較例

である。曲線  $B$  については、始点と終点を入れ替えての計算を要する。

図4に類似度  $S_0$  と  $S_K$ 、 $S_1$  と  $S_K$  の散布図を示す。点間距離に基づく類似度は、曲率を利用した類似度とほぼ同じような結果をもたらす、大局的に形状の類似判定を行う際には有効な尺度であるといえる。

#### 5. 比較実験と考察

図5に文字の筆跡を比較した例を示す。左上の文字「e」と他の文字との比較結果である。類似度  $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_K$  は同じ傾向を表しており、最も似ている筆跡、異なる筆跡をある程度識別できることがわかる。

形状比較調査の詳細化のためには、(1) まず、初期多角形を利用して大まかに類似性を調べる、(2) 1回の細分化により全体の類似性を詳しく調べる、(3) 多角形の凹凸部分から形状の特徴を取り出し、部分的な類似性を調べる、(4) さらに、形状変化に対して感度の高い曲率を利用して類似性を調べる、というような手続きが必要である。

#### 6. まとめ

本稿では、制御多角形とその細分化多角形を利用して、曲線形状の類似度を定量化する方法を述べ、いくつかの計算例を示した。また、この手法に基づく形状比較調査の方法について考察した。

#### 参考文献

- [1] [http://prism.asu.edu/research\\_publications.asp](http://prism.asu.edu/research_publications.asp)
- [2] D.P.Huttenlocher et al.: Comparing Images Using the Hausdorff Distance, IEEE Trans. PAMI, 15, 9, pp.850-863, 1993.
- [3] D.J.Lee et al.: Similarity Measurement Using Polygon Curve Representation and Fourier Descriptors for Shape-based Vertebral Image Retrieval, Proc. SPIE Medical Imaging: Image Processing, SPIE, 5032, 3, pp.1283-1291, 2003.
- [4] B.G.Batchelor: Hierarchical Shape Description Based Upon Convex Hulls of Concavities, J. Cybernetics, 10, pp.205-210, 1980.
- [5] S.Furukawa et al.: Succinct Representation of 3-D Object and Its Application to Hidden-Line Problem, Proc. IFIP Conf. CAPE'83, Amsterdam, pp.631-642, 1983.