

多値関数に関するトポロジー記述子を用いた3次元形状検索

菊池 景介[†] 櫻井 大督[†] 吳 湘筠[†] 佐伯 修[‡] 高橋 成雄[‡]
 東京大学大学院新領域創成科学研究科[†]
 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所[‡]

1 はじめに

ソフトウェアや計測装置の発達により、3次元形状モデルの生成が容易になった結果、大規模な3次元形状データベースから効率よく所望の形状モデルを検索する手法の重要性は日に日に高まっている。3次元形状検索の既存手法の中で、高さ関数など1つの関数値の逆像のトポロジー変化から得られる記述子により、形状間の類似度を算出するものとして Hilaga らの Topology Matching 法がある[1]。この手法では、測地線距離の積分を関数値として用い、回転変換や形状変形およびノイズなどにも頑健な形状検索を実現している。

これに対し本研究では、複数関数値の逆像のトポロジー変化から得られる記述子を新たに提案し、3次元形状検索のさらなる高精度化を図る。

2 提案手法

提案手法は、形状から複数の関数に関するグラフ構造を構築し、それらのグラフの類似度を形状の類似度として用いる。またグラフ間の類似度計算は、Hilaga らの Topology Matching 法[1]を拡張し用いていく。

3.1 Joint Contour Net による形状の記述

本手法では、類似度評価に用いるグラフ構造として、Joint Contour Net (以下 JCN) [2]を用いる。JCN とは、複数の関数値の逆像の連結成分の変化をグラフ構造として表したものである。ここで複数の関数の逆像は、複数の関数値の各逆像が交差する領域として定義される[3]。

以下、JCN 構築手法を説明する。例として図1に示す2次元三角形メッシュを考える。各三角形メッシュ上の整数ラベルは、三角形面を区別するための ID である。また簡単化のために、グラフを構築する関数値として x, y 座標を用いる。

最初に形状の三角形メッシュを、3つの頂点で定義された2つの関数値の値域へ射影する。この例では、2つの関数値として x, y 座標を用いているため、すべての三角形を射影した結果は、

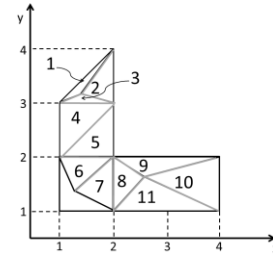


図1: 2次元三角形メッシュ

図1に示す2次元三角形メッシュと一致する。

次に射影された値域を、図2に示すようなグリッドで分割する。このときのグリッドセルの個数が構築する JCN の解像度となる。図2に示した例では、それぞれ解像度を 2×2 (左)、 4×4 (右)とした。ここでグリッドの各セルは、そのセル上に存在する三角形の ID をもつ。

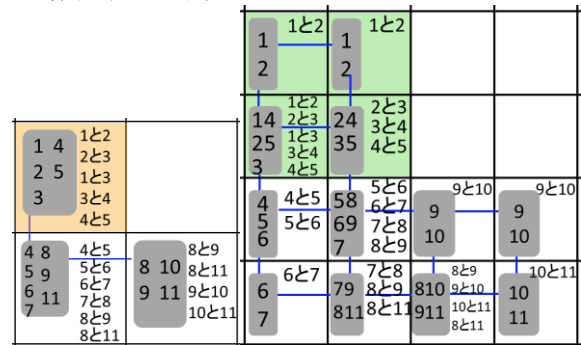


図2: JCN で形状を記述した例
 解像度が 2×2 (左)と 4×4 (右)

次に各セル内でノードを作成する。ここでは、隣接する三角形が、図2の各グリッドセルに置いて、その間に挟まれる辺を共有するとき、その2つの三角形を併合しひとつの集合とする。この操作を繰り返した結果が、図2の灰色で示されている。このようにまとめられた三角形面の集合が、JCN の1つのノードに対応する。また図3に示す例のように、2つの三角形が値域において重なる場合は、1つのセル内でノードが2つ生成される。

最後にセルと隣接する4方向のセルに対して、同じ三角形を保持しているノードをつなぐことでエッジを作成する。作成したノードを図2の青の実線で示している。

3D Object Retrieval using Topological Descriptors of Multivariate Functions

[†]Keisuke Kikuchi, [†]Daisuke Sakurai, [†]Wu Hsiang-Yun,

[‡]Osamu Saeki, [†]Shigeo Takahashi

[†]Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

[‡]Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University

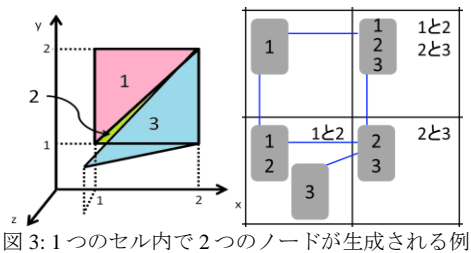


図3: 1つのセル内で2つのノードが生成される例

3.2 JCN 間の類似度計算

JCN 間の類似度は、対応しているノード同士の類似度の合計と定義される。以下に対応しているノードの探索と、ノード間の類似度計算の方法を示す。

対応しているノードの探索は、2つの JCN の最低解像度から順に各解像度で行う。最低解像度の場合は互いに1つのノードが対応する。次の解像度では、初めにペアの片方を、ノードが表している三角形メッシュの面積が最大のノードとする。これは、類似度計算で一番重要なノードに対応する。次にペアとなるノードの候補を以下の条件で絞り込む。まず、セルの座標が同じであること。そして、隣接ノードを考慮した場合の影響が最大であること。この2つを満たすものを対応するノードとして選択する。

上記の条件で候補が1つに絞られなかった場合、式(4)で定義する mat 関数値が最大のノードをペアとする。ここで、 $adj((i, j), m)$ は、セルの座標 (i, j) 内にある m の隣接ノードの集合である。また、 $a(m)$ は式(1)で定義され、類似度の計算に用いられる。ここで、 $area(m)$ はノード m で表された三角形メッシュの面積、 $area(S)$ は形状 S 全体の三角形メッシュの面積である。式(2)で定義される $sim(m, n)$ は、ノード m とノード n の類似度を表している。また、式(3)で定義される $loss$ 関数は、 m と n のマッチングによって類似度がどれだけ減少するかを表している。

全体の類似度は、各グリッドセルにおける類似度を表す式(2)を、すべてのグリッドセルに関して足し合わせることで定義する。

$$a(m) = \frac{area(m)}{area(S)} \quad (1)$$

$$sim(m, n) = \min(a(m), a(n)) \quad (2)$$

$$loss(m, n) = \frac{1}{2} \{sim(m, m) + sim(n, n)\} - sim(m, n) \quad (3)$$

$$mat(m, n) = -loss(m, n) - \sum_{(i, j)} loss(adj((i, j), m), adj((i, j), n)) \quad (4)$$

表1: 各形状間の類似度の計算結果

	A	B	C	D	E	F
A		0.809	0.256	0.245	0.372	0.489
B			0.225	0.214	0.311	0.459
C				0.864	0.576	0.289
D					0.575	0.273
E						0.415
F						

3 結果と今後の課題

ここでは、2つの関数値として、[1]の測地線距離の積分に加えて曲率を用いた。ここで各頂点の曲率は、隣接する三角形面の角度の和と360度との差を用いている。JCNを構築するためのグリッド解像度は、 $1 \times 1, 2 \times 2, 4 \times 4, 8 \times 8$ の4つの解像度レベルを用い、形状間の類似度は対応する4つのJCNペアの類似度平均として得た。

表1は、2つずつ3つのカテゴリの属する計6つの形状モデルに関して、類似度を計算したものである。この表に示される通り、AとB、CとDに関しては、期待通り類似度が高く計算できたが、EとFに関しては類似度が低い。しかしながら、この場合も低解像度では高い類似度が得られており、高解像度における類似度の値が悪い。これは、2つの関数値軸に関して値域を分割するため、値域の各グリッドセルにおいてJCNのノードが対応しなくなる問題に起因する。今後、複数の関数値を用いる場合の、グラフの類似度の定義について、検討を加えていく予定である。

謝辞 本研究の一部は、科研費挑戦的萌芽研究25540041および新学術領域計画研究25120014の支援により実施された。

参考文献

- [1] M. Hilaga, Y. Shinagawa, and T. L. Kunii. Topology Matching for Fully Automatic Similarity Estimation of 3D Shapes. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001*. pp. 203-212, 2001.
- [2] Carr H, Duke D, Joint Contour Nets, Accepted for publication in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* (2014).
- [3] O. Saeki. Topology of Singular Fibers of Differentiable Maps, Vol. 1854 of *Springer Lecture Notes in Mathematics*, 2004.