

形状が時間変化する3次元物体からの形状特徴の抽出

3G-4

廣瀬和樹[†] 高橋成雄[†] 品川嘉久[†] 指宿真澄* 國井利泰[†][†]東京大学 [†]会津大学 *フィフティカンパニー

1 はじめに

形状が時間的に変化するような3次元物体を扱う場合、実際には4次元空間での議論を必要とする。ロボット工学その他における衝突の検出 (collision detection) に関する研究においても、3次元物体の接触に関して、4次元での議論が行なわれている。本研究では、ある3次元物体の形状特徴が時間的にどのように変化するかに注目し、効率良くそれらの特徴変化をコード化する方法を提案する。

3次元物体の扱い方としては、ボクセルを用いる、八分木を用いるなど、様々な方法があるが、本研究では形状特徴としてその位相構造に着目する。離散的に与えられた形状データから、物体表面の臨界点を抽出してそれらを頂点集合とするグラフを構成することでその形状情報とし、その時間変化を調べる。

一般的にこのような物体の位相的な記述は4次元でとらえようとする、扱いは複雑なものになり、コード化は困難になる。そこで、対象とする物体に制約を加えることで、有効なコード化を図っている。

2 形状特徴の抽出

本研究が対象とする3次元物体は、次のようなものであるとする。

- **物体表面が一価関数であらわされる**
3次元空間 (x, y, z) において、物体表面の z 座標が各点について x, y の関数 $h(x, y)$ (高さ関数) で与えられている。
- **高さ関数 h が連続なもののみなせる**
離散的なデータは、連続的な曲面上のサンプルポイントを取ったものとして扱うことにする。
- **時間変化が連続的なもののみなせる**
形状が時間的に変化する、 h は本来時間 t に対する項も含み $h(x, y, t)$ の形となる。時間変化に対する特異点の対応をとるため、 t に関しても h は連続である必要がある。

Characterizing Time-varying 3-D Shapes

Kazuki Hirose[†], Shigeo Takahashi[†], Yoshihisa Shinagawa[†], Masumi Ibusuki* and Tosiyasu L. Kunii[†][†]The University of Tokyo. *Fifty Co. Ltd. [†]The University of Aizu.

これらの条件を満たすものとしては、地形図などが該当する。

このような物体に対して、高さ関数 $h(x, y)$ の特異点を抽出する。これは、 h に対して、各成分ごとの偏微分 h_x, h_y について、 $h_x = h_y = 0$ が満たされる点で、このような点は、*peak* (頂上点)、*pit* (谷底点)、*pass* (鞍点) の3つに分類される。

次に、それらの特異点を頂点集合の要素としたグラフを考える。そのようなグラフには、CPCG [1] や、サーフェスネットワーク [2] と呼ばれるものがある。本研究ではサーフェスネットワークを用いる。これは、尾根線 (peak と pass を結ぶ) と、谷線 (pit と pass を結ぶ) を辺集合の要素とするグラフである。(図1)

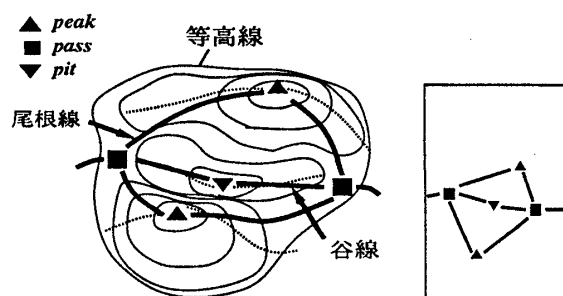


図1: 形状に対するサーフェスネットワーク (左) と、それを抽出し図式化したもの (右)

本研究で用いた物体形状データでは、高さ関数 h の値が2次元の格子上の各点 (x, y) について与えられている。離散化された高さ関数データから正確な特異点を算出し、サーフェスネットワークを構築するアルゴリズムは [3] によって与えられているのでこれを用いている。得られたサーフェスネットワークは、時刻 t におけるその物体の形状特徴を表しているものとする。

3 時間変化のコード化

次に、形状特徴の時間変化をコード化する。一定時間 dt 毎のサーフェスネットワークが得られているものとする。(dt は変化をとらえるのに十分小さな間隔) 以下、時刻 $t_1, t_2 (= t_1 + dt)$ におけるサーフェスネットワークをそれぞれ N_1, N_2 とする。

まず、 N_1 の特異点と、 N_2 の特異点についての対

応づけを行なう。(図2) dt が十分小さければ、点の位置の変化も少ないので、特異点の種別と距離を指標とすれば、比較的容易に行なうことができる。

これによって対応がつかなかった特異点は、消滅した、あるいは、新たに発生した等、何らかの変化をしたものであると認識できる。特異点変化は形状変化に直接関係しているの、これらの特異点変化の種類をいくつかに分類し、形状特徴変化のパターン化を行なう。

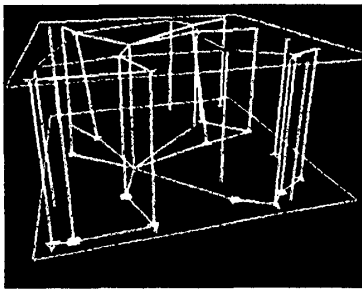


図2: 時刻 t_1 (上) と t_2 (下) における特異点の対応づけ

表面が連続的な場合、特異点の数に関して、次のような関係式が成り立つ。

$$(peak) + (pit) - (pass) = 2$$

この式より、特異点の数は、単独では変化しないものであることが分かる。変化のパターンとしては、1. pass-peak の組みが発生(消滅) 2. pass-pit の組みが発生(消滅) 3. peak が発生し pit が消滅(又は逆)が考えられ、大きく3つに分類される。さらにそれを、辺の接続情報などをもとにして以下のように分類している。(表1)

peak	⇔	peak-pass-peak	(分裂/合併)
pit	⇔	pit-pass-pit	(分裂/合併)
pass	⇔	pass-peak-pass	(分裂/合併)
pass	⇔	pass-pit-pass	(分裂/合併)
peak-pass が発生/消滅			
pit-pass が発生/消滅			
peak 発生, pit 消滅			
pit 発生, peak 消滅			
その他起こり得る可能性のある変化			

表1: 特異点変化の分類

4 歯の咬合解析への応用

本研究では、このコード化法の応用例として、人間の歯の咬合の解析を行なっている。臼歯によって食物が噛み砕かれるとき、食物の変化は、上歯と下歯の間に生じる空間(補空間: 図3)の変化に密接に関わって

いる。この空間の時間変化に対して、3次元空間を閾値で切って2次元的な扱いをすることで位相構造の時間変化をとらえる方法[4]が行なわれているが、本研究では、補空間の高さ関数によって張られる3次元物体にこのコード化を適用し、より細かいメカニズムの解明を試みている。

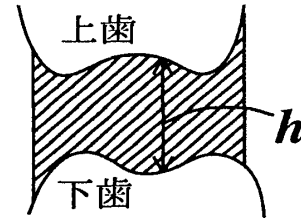


図3: 補空間

5 おわりに

本研究が今回着目したのは主に、特異点に起こる変化であるが、サーフェスネットワーク自体からは、枝の接続状況の変化に注目することで、更に有用な位相構造変化を抽出することができる。また、サーフェスネットワーク以外の指標を用いることでの強化も図れる。

現在の段階では、物体に関する制約が大きいので、応用の幅が限られてしまうが、この制約を緩めていくことも今後の課題の一つである。また、実用に意味のあるコード化をめざして、ある応用が存在した場合の本コード化法と現象との対応づけに関する考察も必要である。

参考文献

- [1] L. R. Nackman. "Two-Dimensional Critical Point Configuration Graphs," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 6(4):442-450, July 1984.
- [2] J. L. Pfaltz. "Surface Networks," *Geographical Analysis*, 8:77-93, 1976.
- [3] S. Takahashi, T. Ikeda, Y. Shinagawa, T. L. Kunii, and M. Ueda. "Algorithms for Extracting Correct Critical Points and Constructing Topological Graphs from Discrete Geographical Elevation Data," *Computer Graphics Forum*, 14(3):181-192, 1995. (Special Issue of Eurographics'95)
- [4] Y. Shinagawa, T. L. Kunii, H. Sato, and M. Ibusuki. "Modeling contact of two complex objects, with an application to characterizing dental articulations," *Computers & Graphics*, Vol 19, No 1, pp.21-28, 1995