

断層画像からの幾何的な情報と輝度を用いた三次元物体再構成

8K-5

小松 香爾<sup>1</sup>, 國井 利泰<sup>1</sup>, 品川 嘉久<sup>1</sup>, 国枝悦夫<sup>2</sup>

東京大学<sup>1</sup> 慶應義塾大学附属病院<sup>2</sup>

1 はじめに

CT 画像や MRI 画像などの連続断層画像から、元の三次元物体を再構成する試みは、これまで数多く行なわれてきた。三次元物体の表示方法は大きく分けて、サーフェスレンダリングとボクセルレンダリングの二種類があるが、いずれの方法を用いても、断層間の補間が問題になる。本稿では補間方法として、断層画像上のある点を他の断層画像上の一点と1対1に対応づける連続写像を導入する。写像は連続性を満たす範囲で、その点と近傍の輝度を考慮して決定する。その際に、断層間にまたがって存在する穴などの、連続性を破る可能性がある構造への対処法も考える。応用例として人間の脳の CT 画像から、三次元形状を再構成する。

2 既存の方法

表面を曲面でモデル化する方法 ([1],[2]) は、断層面から物体の輪郭線を抽出し、二つの輪郭線の間を直線やスプライン関数で補間した後、その上に曲面を張るというもので、特徴は、二つの輪郭線間の形状の違いが大きい場合や、距離が離れている場合でも復元が可能なことである。しかし輪郭線の内部の情報は、輪郭線を抽出する際に完全に失われる。三次元空間をボクセルで埋める方法 ([3],[4]) は色、密度、輝度などの情報をもつ立方体を積み上げるもので、この方法では物体内部の情報は失われないが、輪郭線の形状の違いが大きい場合に復元が困難になる。また、断層上のピクセルの大きさより輪郭線間の距離のほうが大きい場合(通常の CT 画像や MRI 画像はこの場合に相当する)には、断層間の補間が必要となる。代表的なものとしてグレイレベルの線形補間があるが、物体の形状を無視している為に不自然な補間になる可能性が大きい。線形補間より優れた方法として、輪郭線からの距離の情報をボクセルに持たせることにより、物体の形状に基づいて補間する方法 ([5]) があるが、この方法はグレイレベルの画像には適用が難しいことに加え、物体に穴が空いている場合は考慮していない。そこで我々は、物体の形状を考慮し、しかも穴などにも対応できる補間方法として、断面間の全単射写像を考える。

3 クラス化とホール

断面上のピクセルの輝度は空気、柔組織、骨の順に大きいので、閾値を定めて各断面を上記の3つの領域に分ける。すると、ある領域が組織の異なる領域を含む場合が出てくる。その外部の領域と区別できる領域をホールと呼び、ホールの中のホールも再帰的に定義出来る。

<sup>1</sup>Reconstruction of a three-dimensional object from the cross-sectional images by integrated use of geometric and brightness information  
Kouji Komatsu<sup>1</sup>, Toshiyasu L. Kunii<sup>1</sup>, Yoshihisa Sinagawa<sup>1</sup> and Etsuo Kunieda<sup>2</sup>

The University of Tokyo<sup>1</sup> Keio Hospital<sup>2</sup>

4 断層を補間する写像

まず写像が満たすべき性質は、連続性である。

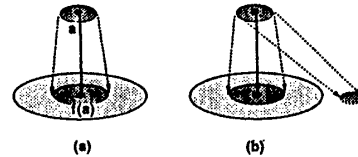


図 1: 連続性

上図の (a) で表されている写像は連続であり、 $a$  の像  $f(a)$  任意の任意の  $\epsilon$ -近傍  $N_\epsilon(f(a))$  に対して、 $\delta > 0$  を十分小さくすれば

$$f(N_\delta(a)) \subset N_\epsilon(f(a))$$

を満たしているが、(b) は近傍の点の部分集合の写像先が  $f(a)$  の  $\epsilon$ -近傍に含まれないため連続ではない。

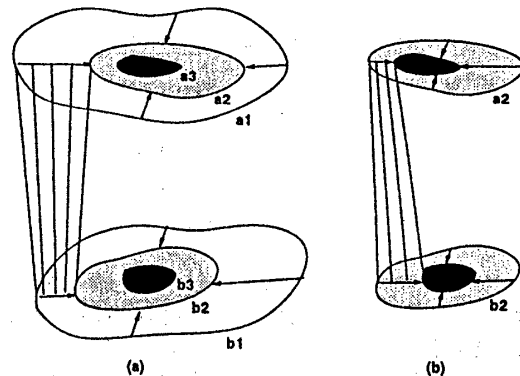


図 2: 基本的な写像

前記の連続性を考慮して、断面のクラス化された領域が、再帰的なホールを各々1つしか持たない場合を仮定すると、上図のような写像が考えられる。写像は次のように構成する。

- (1) 一番外側の領域内のホールを探す。
- (2) 一番外側の領域の境界から、その領域の重心に向かってホールにぶつかるまで境界を縮める。
- (3) 二つの断面間の境界を縮めた軌跡にそって輝度を補間する。
- (4) 領域内のホールを一番外側の領域とみなして、(1) から (3) を再帰的に適用する。

注意すべき点としては第一に(2)において、補間している領域の重心がホールの外にある場合は、重心をホール内に移さな

なければならないことである。第二に(3)において、縮める境界が凸領域のものであれば軌跡は重心に向かって進む直線となる。

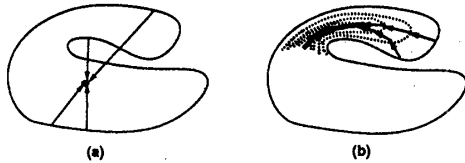


図 3: 境界を縮める際の注意

ところが上図(a)の様に重心への直線が境界をまたぐ場合はどこに重心を設定し直してもうまくいかない。そのような場合は(b)図のように境界への距離が等しい点をつなげた中間辺をもとにして境界を縮める。残った凸領域は重心に向かう直線に沿って縮めれば良い。

5 ホールの対応

前節で写像の基本的な性質と生成法を述べたが、それだけでは不十分な場合が多い。まずホールが複数ある場合には二つの断面間でホールの対応を考慮する必要がある。ホールの数が一致しない場合は下記のように処理する。

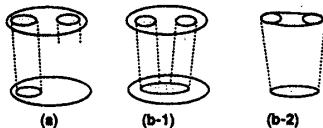


図 4: ホールの対応

ホールは輝度や位置の情報を元にして、上図(a)のように根なしするか(b-1)のように分岐にするかを決定する。根なしの場合は外部の領域についてホールはないものとして補間してよいが、分岐の場合は(b-2)の様に、分岐する複数のホールを包むようなホールを考える。この処理により、ホールの1対1対応が実現される。

6 ホールが複数ある場合の写像

ホールが複数であってもホールどうしの対応がついていれば、写像が構成できる。

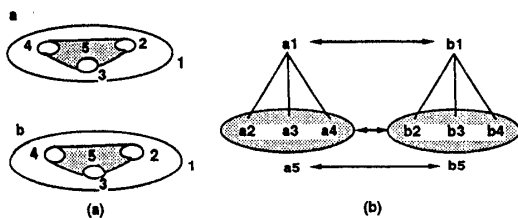


図 5: ホールが複数ある場合の写像

写像を構成するアルゴリズムは以下のようになる。

- (1) ホールの1対1対応を作成する。

- (2) 対応が付いているホールを包む疑似ホールを考える。
- (3) 疑似ホールを一つのホールと考え、ホールが一つの場合と同じ方法で境界を縮める。
- (4) 疑似ホールから対応づけられていたホールを除いた領域と、対応するホールに、各々(1)から(3)を再帰的に適用する。

7 結び

物体の形状に基づき、しかも境界線内部の穴も考慮した、連続断面間の補間について述べた。今後の課題としては、領域が極端な凹領域になった場合に自然な補間を実現することが挙げられる。

参考文献

- [1] H. et al Fuchs. 'Optimal Surface Reconstruction from planer contours'. *Communications of the ACM*, 20(10):693-702, 1977.
- [2] Y. Shanagawa and T.L. Kunii. 'The Homotopy Model : A Generalized Model for Smooth Surface Creation from Cross Sectional Data'. *The Visual Computer*, 7(3):72-86, 1991.
- [3] G. T. et al Herman. 'Three-Dimentional Display of Human Organs from Computed Tomograms'. *Computer Graphics and Image Processing*, 9(1):1-21, 1979.
- [4] A. Kaufman. 'Voxel-Based Architectures for Three-Dimentional Graphics'. *Proc. IFIP '86*, pages 361-366, 1986.
- [5] Raya. S. P. and Udupa. J. K. 'shape-Based Interpolation of Multidimentional Objects'. *Transaction of Medical Imaging*, 9(1):32-42, 1990.