

インテリジェントな 3 次元形状ブラウザの開発 —自動断面生成とボリュームセグメンテーション—

1. 背景と目的

1.1 断面生成

ボリュームビジュアライゼーションの分野では、等値面表示、ボリュームレンダリングがよく利用される可視化技法で、多くの研究がなされている。ところが、これらの手法は、ボリューム全体を直感的に見せることはできるが、データの各点の厳密な値を見せることができない。それに対して断面は、その部位の明確なフィールド値分布が得られるため、複雑な内部構造をもつようなボリュームデータを可視化するのに有効であり、ユーザに好まれる。3次元物体の内部構造を見たいときに断面を生成するということは人間の感覚とも一致するため、断面を用いた研究が再び注目されてきている。しかし、これらの既存システムでは、理想の断面を得るために多くのパラメータを微調整する必要があるため、経験や知識をもとに試行錯誤を繰り返さなければならず、効率的ではない。また、経験の浅いユーザが断面を生成する場合には、必ずしも断面上にボリュームデータの特徴が得られるわけではない。

そこで、我々はボリュームデータの位相的特徴をよく表す断面を自動的に提示する手法を提案する。ボリュームデータの位相的特徴を抽出するために、ボリューム骨格木 (Volume Skeleton Tree: VST)[1]を利用する。VSTとはボリュームフィールドの等値面が位相的に変化する臨界点とそれらの接続関係から構成されるグラフである。このVSTを用いてボリュームデータの位相解析を行うことで、ボリュームの位相的特徴をよく表すような断面が自動で提示できる。

1.2 ボリュームセグメンテーション

ボリュームセグメンテーションは、ボリュームデータを視覚的あるいは構造的に意味のある領域に分割する画像処理である。これは生データから有用な情報(形状や体積など)を得るために不可欠なプロセスであり、それゆえ長きにわたって研究されているが、全自動の手法は今もって存在しない。なぜなら、人間が期待するセグメンテーション結果を得るには、エッジ検出やテクスチャ分析などの低次の情報から、物体の全体形状やトポロジーなどの高次の情報まで、幅広く高度な情報処理が必要だからである。特に高次の情報を扱うことは困難である。例えば、テーブルの上に皿と、その上に葡萄が乗っている画像が与えられたとする。ここで、ユーザが欲するセグメンテーション結果は、葡萄の粒一つ一つが分離した状態かもしれないし、葡萄全体を一つの領域として得たいのかもしれない。あるいは、葡萄と皿全部をまとめて一つの領域として出力することが正解であることもあり得る。この種の高次の情報は、ユーザの指示なしに自動的に生成することは不可能であると考えられる。ユーザの見地からすれば、このような情報をどう与えるかが問題となる。対象が二次元の画像であれば、欲しい領域を直接マウスで指定することが可能だが[2]、対象がボリュームデータの場合、二次元情報しか与えられないマウスでは、これを指定することは簡単ではない。これまでの手法では、このような情報を物体を一旦切断することにより与えていた[3,4]。我々はよりシンプルに、ボリュームレンダリングされた画像に直接ストロークを描くこ

とにより対象を指定することを提案する。

- [1]. S. Takahashi, Y. Takeshima, and I. Fujishiro.: Topological Volume Skeletonization and its Application to Transfer Function Design. *Graphical Models*, **66**(1), (2004), 22-49.
- [2]. Y. Li, J. Sun, C.-K. Tang, and H.-Y. Shum. Lazy snapping. *ACM Trans. Graph.*, 23(3):303-308, 2004.
- [3]. F.-Y. Tzeng, E. B. Lum, and K.-L. Ma. A novel interface for higherdimensional classification of volume data. In *Proceedings of IEEE Visualization 2003*, pp. 505-512. IEEE, 2003.
- [4]. A. Sherbondy, M. Houston, and S. Napel. Fast volume segmentation with simultaneous visualization using programmable graphics hardware. In *Proceedings of IEEE Visualization 2003*, pp. 171-176. IEEE, 2003.

2. 開発の内容

2.1 切断面の最適化

2.1.1 サーフェスデータ

データに対して、対称性を計算し、面对称である場合には、対称面表示させる。同様に、軸対称であるデータに対しては、対称軸を、点对称であるデータに対しては対称点を表示させる。データがマウスの右クリックで回転している間は、対象軸(または点、面)とデータが表示されており、回転をとめると、その点を通り、視線と垂直になるような平面で切断し、視点と反対側の部分を残して表示させる。

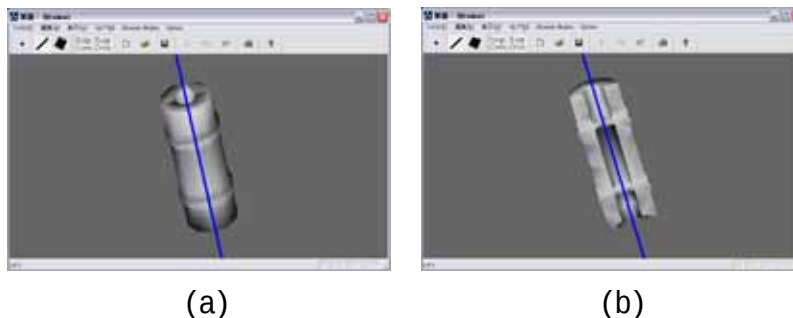


図 1: 竹のデータの場合: 回転中(a)と、停止したとき(b)

2.1.2 ボリュームデータ

先に挙げた VST を利用してボリュームデータの位相的な特徴をよく表す点群を抽出し、それらの点群に最も適合する平面でボリュームデータを切断する。VST に関連する点群として、我々は VST のノード(臨界点)に注目する手法と VST のリンク(区間型ボリューム)に注目する手法の2つを考える。また、自動抽出された断面を表示する手法としては、断面上のフィールド値を適当なカラー値に変換し、スクリーンに表示する手法(図 2(b))、各臨界点を通過する等値面をポリゴンで表現した後、このポリゴンモデルを与えられた切断面で切断する手法(図 2(c))、求めた断面に対して視点と反対側の半空間をボリュームレンダリングによって積分投影させて表示する手法(図 2(d))を実験した。

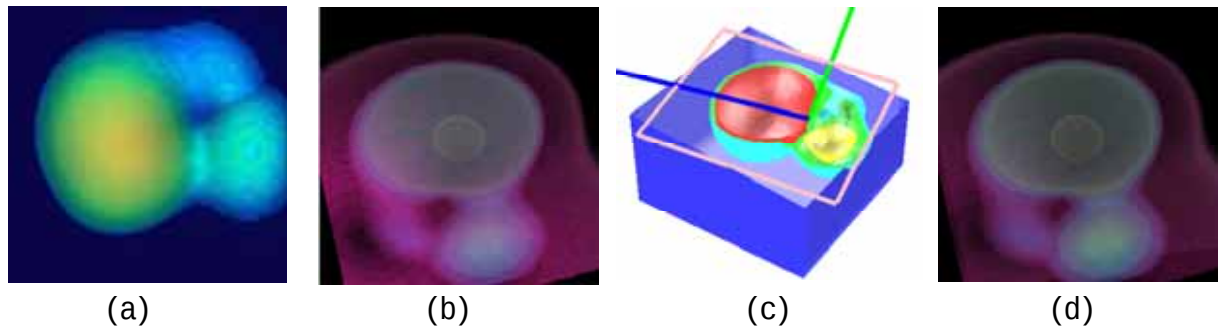


図 2: 陽子と水素原子の衝突シミュレーションデータによる可視化結果(a) 位相強調伝達関数による全体のボリュームレンダリング; (b) 位相変化断面のポリゴン切断表示; (c) 位相変化断面のサンプリング表示; (d) 位相変化断面から奥側半空間のボリュームレンダリング表示

2.2 ボリュームセグメンテーション

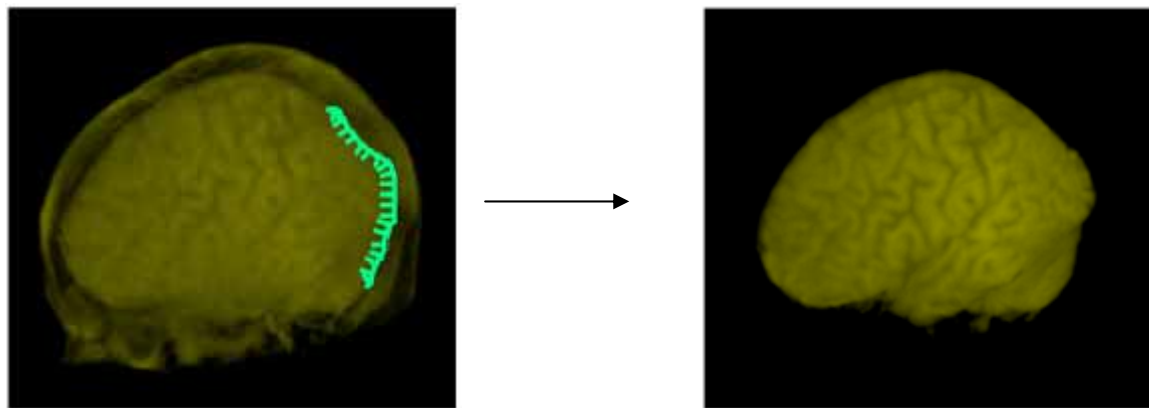


図 3: 105x73x78 の頭部 MRI データに本システムを適用した例. ボリュームレンダリング画像上において, 脳の輪郭の一部を二次元的になぞることにより(a), 脳全体領域を取り出すことができる(b). 奥行き情報はシステムが自動的に計算する.

ユーザは自分が関心のある領域の輪郭を二次元のストロークでなぞる. するとシステムは, そのパスが, 三次元的にはなるべくボリュームのシルエット領域, すなわち, グラディエントが視線方向に垂直に近い領域を通るように奥行きを付加する. この三次元化されたパスの周囲に前景および背景の束縛点が自動的に発生され, 既存のボリュームセグメンテーションアルゴリズムの入力とされる. これにより, ユーザは手作業で直接三次元情報を入力する必要がなくなった(図 3).

3. 従来の技術(または機能)との相違

3.1 断面生成

ボリュームデータでの既存の断面生成システムとしては, MicroAVS や AVSExpress が有名である. これら既存断面生成システムでは, 1つのデータから1枚の断面を得るために, 「全体像を把握し, データの特徴を一番よく表すような断面を探索し, 探索した断面で切断するためのパラメータを複数調節し, 断面がよりわかりやすく見えるように

伝達関数を調節する」という手順を踏む。この過程をデータの内部をシステムがあらかじめ解析しておくことで、自動化することが可能となった。

3.2 ボリュームセグメンテーション

従来では、ボリュームデータから断面を生成し、その断面に対してユーザがどの領域を切り取りたいかという情報を与えなければならなかったものが、ボリュームデータそのものに対して、直感的にこの部分を切り取りたい、というストロークを入力するだけで切り取れるようになった。

4. 期待される効果

断面生成が自動化されたり、ボリュームセグメンテーションがより直感的に簡単にできるようになった。ボリュームビジュアライゼーションは、さまざまな科学分野において重要な役割を演じており、その応用範囲は地球物理学から生物や医学に至るまで広大である。

5. 普及(または活用)の見通し

開発内容を世の中に公開するための手段として、国内外の随所で論文発表を行った。今回の開発内容に関する論文発表は以下の5件である。なお、SIGGRAPH2005のポスターセッションにおいて、SRC Finalistを受賞した。

- Y. Mori, S. Takahashi, T. Igarashi, Y. Takeshima and I. Fujishiro.: Automatic Cross-Sectioning based on Topological Volume Skeletonization. Smart Graphics 2005, Munich, Germany, 22-24 August 2005, pp.175-184.
- Y. Mori, S. Takahashi, T. Igarashi, Y. Takeshima and I. Fujishiro.: Automatic Cross-Sectioning Using 3D Field Topology Analysis. DVD publication at SIGGRAPH 2005 Posters, 2005. (SRC Finalist)
- 森 悠紀, 高橋 成雄, 五十嵐 健夫, 竹島 由里子, 藤代 一成: 「位相構造に基づく自動断面生成」Visual Computing 2005, 長野, 2005年6月.
- S. Owada, F. Nielsen and T. Igarashi.: Volume Catcher. ACM Symposium on Interactive 3D Graphics and Games 2005.
- 森 悠紀, 高橋 成雄, 五十嵐 健夫, 竹島 由里子, 藤代 一成: 「ボリューム骨格木に基づく自動断面生成」, 第67回情報処理学会全国大会, 4Y-1, 2005年3月

7. 開発者名(所属)

森 悠紀 (お茶の水女子大学 理学部情報科学科)

現東京大学大学院 情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻)

(参考)開発者URL: <http://www-ui.is.u-tokyo.ac.jp/~yuki>