

4E-05

ボリューム位相解析に基づく ノンフォトリアリスティックボリュームレンダリング

安藤 祥子

徳永 百重^o竹島 由里子[†]高橋 成雄[‡]

藤代 一成

お茶の水女子大学 理学部 情報科学科

^o お茶の水女子大学 大学院 人間文化研究科[†] 東北大学 流体科学研究所[‡] 東京大学 大学院 総合文化研究科

1 背景と目的

絵画の分野において人々の印象に残る絵は、目に見えるものを忠実に再現しただけではなく、強調したい部分の色や明るさに変化を加えて描かれていることが多い。コンピュータ上でこのような効果をもつ画像を描く方法は、ノンフォトリアリスティックボリュームレンダリング (Non-Photorealistic Rendering: NPR) として研究されている [1]。可視化の分野でも、興味ある部位だけを強調して描く概念は重要視されている。Ebert らは、ボリューム内部構造の可視化に NPR を適用し、効果的な可視化を実現する一連の手法をまとめ、Volume Illustration (VI) として提案している [2, 3]。本稿では、VI のように NPR を 3 次元ボリュームの可視化に適用した手法を、ノンフォトリアリスティックボリュームレンダリング (Non-Photorealistic Volume Rendering: NPVR) とよぶこととする。

ボリュームレンダリングは 3 次元ボリュームを半透明に描画する方法であり、ボリュームの全体像を直観的にユーザに理解させることができる。しかし、対象ボリュームの特徴を顕在化、効果的な可視化結果を得ることは難しい。VI は特徴強調を効果的に行う NPVR であるが、その強調されている特徴領域は隣接ボクセル間のフィールド勾配のような局所的な特性から抽出されており、大局的な特性は強調の基準として組み込まれていない。

そこで本稿では、ボリュームの大局的な特徴領域を強調するために、ボリュームの位相構造を表すボリューム骨格木 (Volume Skeleton Tree: VST) [4] を利用した新しい NPVR 法を提案する。

Non-Photorealistic Volume Rendering Based on Volumetric Topological Analysis

Shoko Ando, Momoe Tokunaga^o, Yuriko Takeshima[†], Shigeo Takahashi[‡], and Issei Fujishiro

Department of Information Sciences, Faculty of Science, Ochanomizu University

2-1-1 Otsuka, Bunkyo-Ku, Tokyo 112-8610, Japan.

^o Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University

[†] Institute of Fluid Science, Tohoku University

[‡] Sciences College of Arts and Sciences, Tokyo University

2 Volume Skeleton Tree (VST)

等値面のフィールド値に関する変化を追うと、あるフィールド値で等値面が生成、併合、分岐、消滅する点がみられる。このような等値面の位相変化が生じる点を臨界点 (Critical Point: CP)、臨界点におけるフィールド値を臨界フィールド値 (Critical Field Value: CFV) とよぶ。VST は、ボリュームフィールドに関する等値面の位相変化を木構造として表すものであり、臨界点とそれらの接続関係から構成されている。さらに付属情報として、臨界点の位置が保持されている。

ここで、次のような解析的データを考える：

$$f(x, y, z) = 4c^2((x-R)^2 + (z-R)^2) - ((x-R)^2 + y^2 + (z-R)^2 + c^2 - d^2)^2 + 4c^2((x+R)^2 + (z+R)^2) - ((x+R)^2 + y^2 + (z+R)^2 + c^2 - d^2)^2 \quad (1)$$

ただし、 $0 < d < c, c^2 + d^2 \geq 6R^2$ 。

このデータの VST を図 1 に示す。

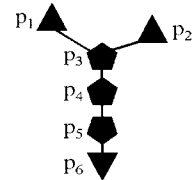


図 1: 式 (1) の VST

3 VST を利用した NPVR

本節では VST を利用し、ボリュームの大局的な特徴である位相が変化する領域を強調する、新しい NPVR を提案する。

3.1 概要

先行研究 [4] では、VST を利用した効果的な可視化手法が提案されているが、臨界フィールド値を強調の根拠としているため、臨界点以外であっても臨界フィールド値をもつボクセルすべてが強調の対象となっている。しかし、等値面の位相変化は臨界点で生じるため、臨界点の位置情報から臨界点自身を強調することは重要である。

そこで本稿では、臨界フィールド値を強調した上に、臨界点周辺に特有の色相を設定することで、臨界点の周辺を特に強調する [5]。

3.2 重要度マップ

従来の伝達関数は、色相や不透明度といった光学的特性をフィールド値だけから決定しているため、ある特定の位置だけを強調させることはたいへん困難である。そこで位置情報から臨界点周辺だけを強調するために、重要度マップを作成する。重要度マップは、対象ボリュームと同じサイズのボリュームデータであり、強調する領域に特別なフィールド値をもつ。これを参照してレンダリングすることにより、ある特定の位置を強調することが可能となる。

本稿では重要度マップに、臨界点や臨界フィールド値といった複数のボリューム特徴を、その位置に応じて独立に制御できるようにフィールド値を割り当てることにする。 n 通りの特徴を同時に強調したい場合、ボリュームデータのもつフィールド値の全範囲を n 等分に分割し、対応する範囲のフィールド値を用いて、特徴を強調するようなフィールド分布をもつ重要度マップを生成し、それらを合成する。もし、同じボクセルにおいて複数の重要度マップがゼロでない値をもっていた場合には、優先順位の高い方の値を採用することにする。ここで優先順位は、特徴部分からの距離により決定する。

このように、個々の強調すべきボリューム特徴が、重要度マップでは異なる範囲のフィールド値をとるようにより定義されるため、伝達関数を適切に設計することで、効果的にボリュームデータの可視化を実現することができる。

3.3 解析的データへの適用

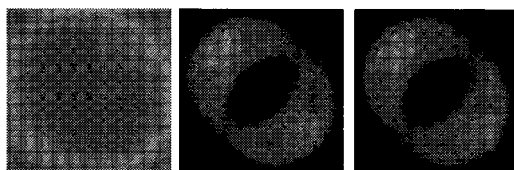
臨界フィールド値の強調では、臨界フィールド値の個数に応じてフィールド値を等分割し、各等値面に対応する重要度マップのボクセルデータだけ、その範囲内で大きなフィールド値をとるようにより全体のボリュームデータを構成する。この強調は、臨界フィールド値をもつボクセルの不透明度をわずかに上げて設定することで、臨界等値面を強調描画する。ここで VST から抽出される等値面の包含関係を考慮し、内側の臨界フィールド値ほど不透明度を相対的に高く設定する。

臨界点周辺の強調では、重要度マップのすべてのボクセルに対して臨界点からの距離が遠くなるほどフィールド値を下げて設定する。臨界点のフィールド値は、臨界フィールド値であるので、臨界フィールド値の強調ですでに不透明度が高く設定されているため、ここでは不透明度は変化させず、特別な色相を設定することで強調する。

4 実験

提案した手法の有効性を検証するため、実験を行った。可視化には OpenGL で自作したレンダラを用い、2節で用いた解析的データ ($128 \times 128 \times 128$ ボクセル) を可視化した。

図 2(a) に、広く用いられている伝達関数を用いた結果、図 2(b) に CFV の強調、図 2(c) に CFV およ



(a) デフォルト (b) CFV の強調 (c) CP 周辺の強調

図 2: 実験結果

び CP 周辺を強調した結果をそれぞれ示す。図 2(a) では、ボリュームの特徴領域が隠されており、内部構造が十分に把握できない。図 2(b) では、図 2(a) で視ることのできなかったボリュームの大局的な特徴が表現できた。さらに CP 周辺の強調を重ねた図 2(c) では、CFV の強調だけでは直観的には特定しにくかった、ボリュームの重要な特徴となる臨界点の位置も鮮明に表現できた。

5 まとめと今後の課題

本稿では、ボリュームの大局的な特徴領域だけに特別な色相や不透明度を設定し強調する、ボリュームの位相解析に基づいた新しい NPVR 法を提案した。提案手法の有効性を検証するための予備の実験を行った結果、ボリュームの大局的な特徴をより明確にとらえた可視化結果が得られることが実証された。

今後は、より複雑なデータへ提案手法を適用した実験を行う予定である。また、新たな強調方法として、強調領域にテクスチャを貼りつける手法を考えている。さらに今回はすべての臨界点を等しく強調したが、臨界点の重要度はそれぞれ異なると考えられる。よって臨界点の重要度を考慮に入れ、強調度合を変化させることでより効果的な NPVR 法を実現したい。

参考文献

- [1] B. Gooch and A. Gooch: *Non-Photorealistic Rendering*, A K Peters, 2001.
- [2] D. Ebert and P. Rheingans: "Volume Illustration: Non-Photorealistic Rendering of Volume Models," In *Proc. IEEE Visualization 2000*, Oct. 2000, pp.195-202.
- [3] P. Rheingans and D. Ebert: "Volume Illustration: Nonphotorealistic Rendering of Volume Models," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 7, No. 3, pp.253-264, Jul./Sep. 2001.
- [4] 竹島 由里子, 高橋 成雄, 藤代 一成:「ボリューム骨格抽出とその伝達関数設計への応用」, 画像電子学会 Visual Computing 情報処理学会グラフィクスと CAD の合同シンポジウム 2001 予稿集, 2001 年 6 月, pp.79-84
- [5] 藤代 一成, 高橋 成雄, 竹島 由里子, 大塚 理恵子:「ボリュームの骨格化と肉付け」, 第 29 回可視化情報シンポジウムオーガナイズドセッション『ビジュアルデータマイニング』, 可視化情報学会誌, Vo. 21 Suppl., No. 1 (第 29 回可視化情報シンポジウム講演論文集), pp.145-146, 2001 年 7 月