

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 4 日現在

機関番号：34315
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22500100
 研究課題名(和文) 精度保証された平滑化に基づく微分計算による、医用ボリュームデータの解析・可視化
 研究課題名(英文) Visual Analysis of medical volume data using numerical differential calculus based on accuracy-tunable smoothing
 研究代表者
 田中 覚 (TANAKA SATOSHI)
 立命館大学・情報理工学部・教授
 研究者番号：60251980

研究成果の概要(和文)：

ボリュームグラフィックスは人体の内部立体構造を可視化できる。本研究計画では、医用ボリュームデータの精密なビジュアル解析のための2つの手法を開発した。第1の手法であるVMPU法は、医用ボリュームデータの高精度かつ滑らかな近似的補間場の生成に利用できる。このため、微分場が正確に求まり、構造の境界・特徴的な部分の正確な強調可視化が可能になる。第2の手法である粒子ベースレンダリングは、アーチファクトのない正確な半透明可視化を可能にする。

研究成果の概要(英文)：

Volume graphics enables us to visualize 3D inner structures of a human body. In this research project, we developed two methods for precise visual analysis of medical volume data. The first method, VMPU method, is available to create a precise and smooth approximate interpolation field of medical volume data. The created interpolation field is suitable for obtaining an accurate differential field that enables precise visualization of edges and/or characteristic features of the data. The second method, particle-based rendering, enables accurate transparent visualization.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：情報科学

科研費の分科・細目：情報学，メディア情報学・データベース

キーワード：可視化，ボリュームレンダリング，サーフェスレンダリング

1. 研究開始当初の背景

ボリュームデータとは、物体の内部情報を記録した、密度などのスカラー値の空間分布データである。CTなどの医用計測装置とボリュームデータ可視化技術の発達により、人体内部をゼリー状に半透明化して3次元的に可視化できるようになった。しかし、半透明化だけでは内部構造を理解しにくい場合があ

る。そこで、ボリュームデータが定義するスカラー値が急激に変化する部分、すなわち微分値のピーク領域を検出し、そこを内部構造の境界面として強調可視化することが行われる。あるいは微分値を利用して、特定の部位(例えば腫瘍)のみを選択的に可視化することも多い。

上記のような境界面の可視化や特定部位

の選択的可視化を精密に行うには、ボリュームデータの微分を正確に計算する必要がある。具体的には、勾配 (1 階微分) やラプラスアン、ヘッセ行列 (2 階微分) などの高精度計算が要求される。一方、微分計算のためには、ボリュームデータのノイズ低減のために、何らかの平滑化処理が必要である。これには、局所領域内ごとに (1) ガウス・フィルタを用いる方法と、(2) 低次関数による近似スカラー場を構成する方法とがある。しかし、(1) の方法には、平滑化によって微細構造の情報が消失するという問題がある。また、(2) の方法には、平滑化によって生じる誤差の大きさが評価しにくいという問題がある。さらに、(1)、(2) ともに、微分値の空間的な連続性に関して数学的な保証が無いという問題があり、誤った可視化等の原因となる。

2. 研究の目的

人体内部の臓器、血管、腫瘍などを記述する医用ボリュームデータを、精度保証された平滑化に基づく数値微分法によって精密に解析し、人体内部組織・病巣等の構造を、正確かつ分かりやすく可視化する技術を開発する。

本研究で追求する可視化のポイントは以下の3つである：(1) 複雑な内部立体構造を把握しやすい、高精細な可視化、(2) 複雑な内部立体構造を把握しやすい、構造の特徴を強調した可視化、(2) アーチファクト (描画の誤り) の無い正確な半透明可視化。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するために、本研究計画では、研究代表者らが開発してきた、精度保証され、かつ、全空間で2階微分まで連続な近似スカラー場の生成法である「VMPU法」と、複雑構造の高精細・正確な半透明可視化が可能な「粒子ベースレンダリング法」を改良・発展させて利用する。

(1) VMPU法 (Volumetric version of Multi-level Partition of Unity 法) とは、ボリュームデータ可視化の前処理として、データ全体を高精度で近似するような、全空間で2階微分まで連続な高品質スカラー場を生成する手法である。ノイズの影響を受けにくく、近似による誤差が指定した値以内に収まることを保証できる。このスカラー場の生成を、ボリュームデータの精度保証された平滑化と解釈する。そして、生成された近似スカラー場に、従来の平滑化されたボリュームデータから微分場を生成する方法を適用し、精度の高い微分場を生成する。これを組織構造の境界や特徴部分の可視化に利用する。

(2) 粒子ベースレンダリング法とは、ボリュームデータを不透明発光粒子の集合としてモデル化し、各粒子から発せられる光が他

の粒子に邪魔されずに視点に到達する確率をシミュレートすることで、半透明可視化を行うものである。自然界においてゼリー状の物体が半透明に見える原理をそのままコンピュータシミュレーションで模倣するものであり、不自然なアーチファクトなどが生じにくく、しかも小さな点を基本形状として描くので、高精細な可視化が可能である。

4. 研究成果

(1) 開発・実証できたこと

① VMPU法を医用ボリュームデータに適用しやすいように改良した。この改良型 VMPU法に関して様々な実験を行い、精度保証された高品質な可視化が行えることを実証した。図1に胸部血管の可視化例を示す。細かい血管まで漏らさず可視化できている。

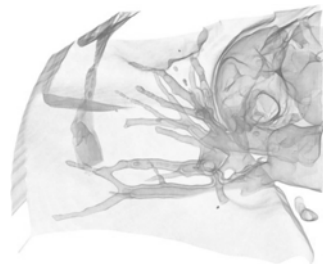


図1: VMPU法を用いた胸部血管の可視化

② VMPU法が生成する高品質スカラー場の微分場を可視化に利用することで、人体内部構造の構造境界や特徴部分の正確な可視化が可能であることを実証した。図2に人体頭部データの微分場の可視化例を示す。



図2: 微分場の可視化

③ VMPU法にデータ圧縮効果があり、海洋データなどの大規模ボリュームデータの可視化にも有効であることが分かった。圧縮効果は大規模データになるほど大きく、例えば 1024^3 のボリュームデータの場合には、約 1% の大きさにまで圧縮できることも多い。以下に地球規模の海流のボリュームデータとその微分場の可視化結果を示す (図3, 4)。

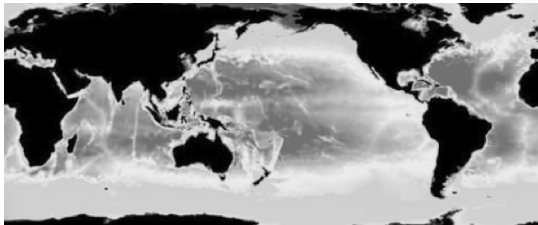


図 3:地球規模の海流ボリュームデータの可視化

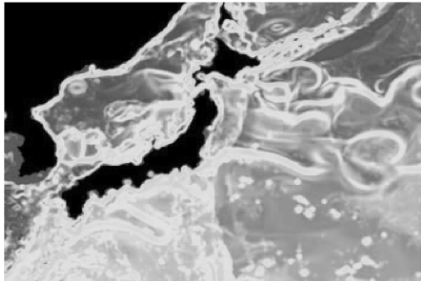


図 4: 海流の微分場の可視化

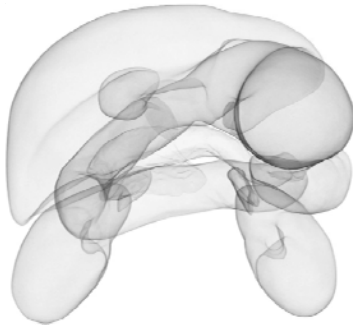


図 5:接する臓器群の正確な半透明可視化



図 6: 頭部の表面と頭蓋骨の融合可視化

④ 粒子ベースサーフェスレンダリングを精密化し、複雑に接触し合った複数臓器の正確な（アーチファクトの無い）可視化が可能であることを示した。この成果は、平成 25 年度に新たに採択された科研費・基盤(B)の研究課題の中で、今後さらに発展させる予定である。図 5 に、接触する複数臓器の半透明可視化の例を示す。

⑤ 粒子ベースレンダリングを融合可視化に応用する実験に成功した。粒子ベースレンダリングでは点の集合で絵を描く。このため、複数の物体に対してそれぞれ点の集合を用

意しておけば、点の集合を結合させるだけで融合可視化が可能になると着想した。これを実験したところ非常に上手くいった。図 6 に、頭部の表面形状と頭蓋骨の融合可視化の例を示す。また、プラズマ物理学の実験で得られたボリュームデータへの適用実験にも成功した。この新しい融合可視化に関しては、様々な展開研究が考えられる。これも、上記の科研費・基盤(B)の研究課題の中で、今後さらに発展させる予定である。

(2) 研究成果の発信について

上記の研究成果は、国内外の、主として情報系の学術会議や学術論文誌で発表された。医療系分野でも、VR 医学会の全国大会で 2 件の論文を発表している。

情報発信に関する特筆すべき成果が 2 つある。第 1 は、可視化分野における世界の 3 台国際会議のひとつ、EuroVis 2012 において、オーラル・プレゼンテーション論文のカテゴリで論文が採択されたことである（[学会発表]⑤）。第 2 は、シミュレーションを包括的に扱う国際会議としてはアジアで最大規模（論文投稿数 900 以上、採択論文数 298）の Asia Simulation Conference 2012 において Best Paper Award を受賞したことである（[学会発表]①）。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 7 件）

① Kyoko Hasegawa, Saori Ojima, Yoshiyuki Shimokubo, Susumu Nakata, Kozaburo Hachimura, Satoshi Tanaka, “Particle-Based Transparent Fused Visualization Applied to Medical Volume Data”, International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing, 査読有, 2013, (採録決定)。

② K. Hasegawa, S. Ojima, S. Nakata, S. Tanaka, “3D fused visualization applied to medical data using particle-based rendering”, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 査読有, Vol.7, Supple 1, 2012, pp.360-361.

③ 著者名: 河村拓馬, 小山田耕二, 坂本尚久, 田中覚, “粒子ベースボリュームレンダリング法のための不規則六面体メッシュ向け高品質サンプリング手法”, 日本シミュレーション学会論文誌,

査読有, Vol. 3, No. 2, 2011, pp.48-59.

④ Yuusuke Tsukamoto, Shuhei Kawashima, Seiji Inoue, Shin Ito, Shinji Kataoka, Kazuyuki Kojima, Kyoko Hasegawa, Susumu Nakata, Satoshi Tanaka,
“Data Fitting Independent of Grid Structure Using a Volumic Version of MPU”,
Journal of Visualization,
査読有, Vol. 14, No. 2, 2011, pp. 161–170.

⑤ Satoshi Tanaka, Kyoko Hasegawa, Susumu Nakata, Hideo Nakajima, Takuya Hatta, Frederika Rambun Ngana, Takuma Kawamura, Naohisa Sakamoto, Koji Koyamada,
“Grid-Independent Metropolis Sampling for Volume Visualization”,
International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing,
査読有, Vol. 1, No. 2, 2010, pp.119–218.

[学会発表] (計 52 件)

① 発表者名 : Asuka Sugiyama, Kyoko Hasegawa, Susumu Nakata, Satoshi Tanaka
発表論題 : Semi-transparent and Fused Visualization of Tetrahedral Simulation Volume Data
学会等名 : Asia Simulation Conference 2012
発表年月日 : 2012 年 10 月 28 日
発表場所 : 上海 (中国)

② 発表者名 : Takehiko Kitagawa, Susumu Nakata, Satoshi Tanaka, Kyoko Hasegawa
発表論題 : Particle-Based Transparent Texture Mapping for Implicit Surfaces
学会等名 : Asia Simulation Conference 2012
発表年月日 : 2012 年 10 月 28 日
発表場所 : 上海 (中国)

③ 発表者名 :
発表論題 : Kyoko Hasegawa, Saori Ojima, Kozaburo Hachimura, Satoshi Tanaka
発表論題 : Visualization of Slice Image with Opacity Based on Particle-Based Renderer
学会等名 : Asia Simulation Conference 2012
発表年月日 : 2012 年 10 月 28 日
発表場所 : 上海 (中国)

④ 発表者名 : 藤本雄多, 小嶋沙織, 長谷川恭子, 仲田晋, 健山智子, 陳延偉, 田中覚
発表論題 : 粒子ベース・レンダリングを用いたマルチモダリティ医用画像の 3 次元融合可視化
学会等名 : 第 12 回日本 VR 医学会学術大会
発表年月日 : 2012 年 8 月 25 日

発表場所 : 千葉大学 (千葉県)

⑤ 発表者名 : Satoshi Tanaka, Kyoko Hasegawa, Yoshiyuki Shimokubo, Tomonori Kaneko, Takuma Kawamura, Susumu Nakata, Saori Ojima, Naohisa Sakamoto, Hiromi T. Tanaka, Koji Koyamada
発表論題 : Particle-Based Transparent Rendering of Implicit Surfaces and its Application to Fused Visualization
学会等名 : EuroVis 2012
発表年月日 : 2012 年 6 月 6 日
発表場所 : Vienna (Austria)

⑥ 発表者名 : 小嶋沙織, 長谷川恭子, 仲田晋, 健山智子, 陳延偉, 田中覚
発表論題 : 粒子ベースレンダリングを利用した医用ボリュームデータの 3 次元融合可視化
学会等名 : 第 11 回日本 VR 医学会学術大会
発表年月日 : 2011 年 8 月 27 日
発表場所 : 奈良先端科学技術大学院大学 (奈良県)

⑦ 発表者名 : N.Kawamoto, Y.Hatanaka, K.Hasegawa, S.Nakata, S.Tanaka, N.Sakamoto, K.Koyamada, M.Osada, K.Tanaka
発表論題 : Static Visualization of Dynamical Plasma Collision
学会等名 : ASV11 (The 11th Asian Symposium on Visualization)
発表年月日 : 2011 年 6 月 7 日
発表場所 : 朱鷺メッセ (新潟県)

⑧ 発表者名 : 玉貴康寛, 仲田晋, 田中覚
発表論題 : 方向分割された曲率に基づくボリュームデータの特徴可視化
学会等名 : 電子情報通信学会 2011 年総合大会
発表年月日 : 2011 年 3 月 17 日
発表場所 : 東京都市大学 (東京)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 覚 (TANAKA SATOSHI)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号 : 60251980