

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280044

研究課題名(和文)3次元点群を利用した、大規模計測データの精密な半透明可視化・融合可視化

研究課題名(英文)Precise transparent and fused visualization of large-scale measured data based on 3D point clouds

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、(1) CTやMRIで取得された人体の内部形状を記述するボリュームデータや、(2) レーザ計測で取得された文化遺産等の3次元形状を記述するポイントクラウドデータを、精密かつ高速に半透明可視化する手法を開発した。我々の手法では、可視化する形状をポイントクラウドとして表現した上で確率的アルゴリズムを適用することで、半透明性を実現する。これにより、従来の半透明可視化において計算量の増大やレンダリングアーチファクトの原因となっていたデプスソートが不要になる。また、ボリュームとサーフェスの融合可視化も、ポイントクラウドを単純に統合するだけで、レンダリングアーチファクトの心配なく行える。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have developed a method by which we can transparently visualize 3D shapes described by (1) volume data of a human inner body measured by CT or MRI and (2) point cloud data of laser-scanned cultural heritage objects. Our method realizes the transparency by describing the 3D shapes by point clouds and applying our stochastic algorithm to them. Then, we can avoid the depth sort, which leads to large computation time and rendering artifacts that often occur in the conventional transparent rendering methods. Besides, we can easily realize volume-surface fused visualization without worrying about the rendering artifacts.

研究分野：可視化，コンピュータシミュレーション

キーワード：半透明可視化 融合可視化 医用ボリュームデータ レーザ計測データ

1. 研究開始当初の背景

技術の進歩に伴い、医療分野やレーザによる立体計測の分野で、大規模な計測データが得られるようになった。これらのデータの特徴は、その大きさとともに、データが記述する3次元形状の複雑さにある。データを解析・理解するためには、計測対象の奥深くまで視認できる「半透明可視化」が必須である。しかし、半透明可視化においては、視点に対して奥から手前の部分を順に重ね描きする「デプスソート処理」が必須であり、これが計算量の増大や可視化の不正確さをもたらすという問題が知られていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、近年の技術革新で取得が可能になった、高度に複雑な3次元形状を記述する「大規模計測データ」を、高速・正確・高精細に「半透明可視化」するための手法を開発することである。まず、(1) 計測データを全て3次元点群に変換した上で確率的処理を導入することで、従来手法で計算時間の増大や不正確な表示の原因であった「デプスソート処理」を完全に不要にする。次に、(2) 異なる種類の形状（ポリウム、曲面、曲線、2次元画像）同士であっても、両者を3次元点群に変換して混ぜ合わせることで、正確で見やすい「半透明融合可視化」を実現する。さらに、(3) 大規模計測データの解析が重要な、「医療分野」と「レーザ計測工学分野」に開発手法を適用し、半透明融合可視化を応用した新たなビジュアル解析の方法を開発する。

3. 研究の方法

本研究では、様々な3次元形状を記録した大規模計測データを、3次元点群を用いて高速、正確、高精細に半透明(融合)可視化するために、以下の手順で研究を進めた：(1) ポリウムおよび曲面を計測したデータに関して、大規模計測データを記述する3次元点群の点数を人工的に増減させ、可視化における透明度を自由に制御する手法を開発した。(2) 3次元空間に置かれた2次元画像に関して、画像の各地点の透明度を自由に変化させる手法を開発した。(3) 開発した手法を大規模計測データ（医用CT/MRI計測データ、文化財のレーザ計測データ等）に適用し、半透明融合可視化を有効利用したビジュアル解析を行えることを実証した。

4. 研究成果

(1) 不透明度を自在に制御できるポイントクラウドの半透明可視化手法の開発

本研究では、「確率的ポイントレンダリング」という、ポイントクラウドの高精細な半透明可視化のための新しい手法を開発した。この新手法ではデプスソート処理が不要であり、半透明性は確率的なアルゴリズムによって実現される。

確率的ポイントレンダリングでは、ポイントクラウドの点密度によって不透明度が決定される。しかし、例えばレーザ計測データの場合、いったん計測が行われてしまえば、得られるポイントクラウドの構成点数は決まってしまう。これは不透明度が固定されてしまうことを意味する。また、医用計測データ（ポリウムデータ）などにおいても、データ変換によって生成したポイントクラウドを後から再利用する場合には、不透明度を変更できないことになる。

そこで、不透明度を自在に調整できるようにするため、以下のようにして、点密度を人工的に増減する技術を開発した：(a) 不透明度を下げる場合には、点をランダムに間引いて点密度を小さくする。(b) 不透明度を上げる場合には、ランダムに選んだ点の複製を必要数作成する。提案手法の独創的な点は、(b)において可視化すべき入力データに含まれない点を人工的に追加する必要がなく、既にある点を複製して利用することにある。複製された点は、確率的な画像平均を計算して半透明画像を生成する際には、元の点とは別のアンサンプルに振り分けられるので、独立した新たな点として扱われる。図1にレーザ計測で得られたばいクラウドを、不透明度変え半透明可視化した例を示す。

(2) 異種形状の半透明融合可視化

通常、異種の3次元形状には、異なる可視化アルゴリズムを用いる。本研究では、3次元点群への変換を経由することで、「ポリウム」と「平面・曲面」を統一的に扱える半透明可視化手法を確立した。すなわち、それぞれをいったんポイントクラウドデータに変換してから統合し、点の並びをシャッフル



図1 不透明度の調整(祇園祭・八幡山)

してから確率的ポイントレンダリングを適用することで、ポリウムとポリウム、ポリウムと平面・曲面、そして平面・曲面同士の半透明融合可視化を行える。また、本研究の基となった文献の研究では、平面・曲面を一樣な不透明度でしか可視化できなかったが、本研究の成果によって、ポリウム

と同様に、伝達関数（点の持つスカラー値を不透明度に対応させる関数）を用いて、不透明度を局所的に制御できるようになった。また、データ融合の際に生じる形状の衝突がもたらすレンダリングアーチファクト（不正確な可視化）は、従来の半透明可視化では大きな問題であるが、本研究で開発した手法は、この種のレンダリングアーチファクトとは無縁である。図 2 に、医用データにおいて、不透明度を局所的に制御したボリュームとスライス（平面）の半透明融合可視化の例を示す。

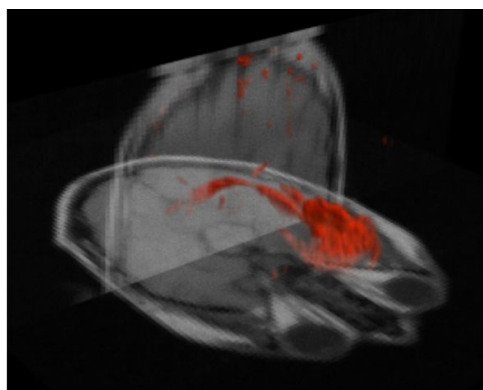


図 2 ボリュームとスライスの半透明

(3) 時系列データの可視化

本研究で開発した半透明融合可視化の手法を、時系列で取得された複数セットのレーザ計測データ群の融合可視化に適用し、その有効性を確認した。例えば京都の祇園祭では、山鉾（巡行に用いる山車）を、毎年部材から組み立て直す。これは山鉾建てという重要行事である。山鉾建ての途中の要所で何回かレーザ計測を行い、得られる順にデータ融合を逐次行って、我々の手法で順に半透明可視化すれば、山鉾建てのプロセスを精密に可視化できる。山鉾建てでは、部材を下から上、そして中から外に向かって組み上げていく。このことは、初めに組み込んだ部材は後からは見えなくなることを意味する。しかし、我々の半透明可視化による透視効果を利用すれば、過去に組み込んだすべての部材を正しい奥行き感をで、かつ、正確に視認できる。これは、時系列データ全体の可視化に他ならない。有形文化財のデジタル保存では、文化財の「モノ」それ自体を保存することも重要であるが、モノに関わる「コト」（この場合は山鉾建てというイベント）を保存することも大切である。そして、コトの可視化は多くの場合、時系列データの可視化となる。我々の提案するコトの可視化は、三次元計測分野のトップカンファレンス ISPRS Congress 2016 における文化財の計測データの活用に関する分野において、斬新な提案として高い評価を得た。図 3 に、祇園祭の八幡山の山建て 3 日目の様子を示す。初日に組み立てた内部の様子を透視して見ることができる。

(4) その他の応用研究

上に述べた以外にも、様々なデータに提案手法を適用し、その有効性を確認した。まず、レーザ計測データとしては、古墳、入母屋造りの古民家、土かまど、キリスト教会などに適用して、美しく高精細な半透明可視化を実現した。また、科学分野でも、核融合炉内のプラズマプルームの可視化における有用性を実証できた。さらに、粒子法を用いた東日本大震災の津波の大規模流体シミュレーションの可視化へも応用し、これまでより遙かに速く、高精細に半透明可視化できることを示した。

(5) 研究成果の発信

(1)～(3)で述べた研究成果は、様々な分野



図 3 透視による時系列データの可視化

で高く評価されている。多数の学術論文誌や国際会議（トップカンファレンスを含む）での論文採択の他に、招待講演が 10 件、学会等での解説記事 5 編を発表する機会を得たことは、多方面での高い評価を証明するものである。

<引用文献>

Satoshi Tanaka, Kyoko Hasegawa, Yoshiyuki Shimokubo, Tomonori Kaneko, Takuma Kawamura, Susumu Nakata, Saori Ojima, Naohisa Sakamoto, Hiromi T. Tanaka, Koji Koyamada, "Particle-Based Transparent Rendering of Implicit Surfaces and its Application to Fused Visualization", EuroVis 2012, pp.25-29 (short paper), Vienna (Austria), June, 5-8, 2012.

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 22 件)

王晟, 長谷川恭子, 徐睿, 岡本篤志, 田中覚, "論理演算に基づく、日本伝統家屋のレーザ計測点群データのセグメンテーションと半透明可視化への応用", 可視化情報学会論文集, 査読有, Vol.36, No.4, 2016, pp.16-23.

Kazuyoshi Tagawa, Hiromi T. Tanaka,

Yoshimasa Kurumi, Masaru Kormorland, Shigehiro Morikawa, "Evaluation of Network-Based Minimally Invasive VR Surgery Simulator", Studies in Health Technology and Informatics, 査読有, Vol.220, 2016, pp.403-406.

Taku Itoh, Susumu Nakata, "Fast Generation of Smooth Implicit Surface Based on Piecewise Polynomial", Computer Modeling in Engineering & Sciences, 査読有, Vol.107, No.3, 2015, pp.187-199.

Wang Sheng, Ken Ishikawa, Hiromi T. Tanaka, Akihiro Tsukamoto, Satoshi Tanaka, "Photorealistic VR Space Reproductions of Historical Kyoto Sites based on a Next-Generation 3D Game Engine", J. Adv. Simulat. Sci. Eng., 査読有, 1(1), pp.188-204, 2015.

Akinori Kimura, Kyoko Hasegawa, Ayumu Saitoh, Satoshi Tanaka, "gMocren: Visualization software for Monte Carlo simulators for radiotherapy", J. Adv. Simulat. Sci. Eng., 査読有, Vol.2, No.1, pp.45-62, 2015.

Titinunt Kitrungrotsakul, Chunhua Dong, Tomoko Tateyama, Xian-Hua Han, Yen-Wei Chen, "Interactive Segmentation and Visualization System for Medical Images on Mobile Devices", J. Adv. Simulat. Sci. Eng., 査読有, Vol.2, No.1, 2015, pp.96-107.

Kohei Murotani, Seiichi Koshizuka, Tasuku Tamai, Kazuya Shibata, Naoto Mitsume, Shinobu Yoshimura, Satoshi Tanaka, Kyoko Hasegawa, Eiichi Nagai, Toshimitsu Fujisawa, "Development of Hierarchical Domain Decomposition Explicit MPS Method and Application to Large-scale Tsunami Analysis with Floating Objects", J. Adv. Simulat. Sci. Eng., 査読有 (Best Paper Award), vol.1(1), 2014, pp.16-35.

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, Vol.4, 1341003: 1-11, DOI: 10.1142/S1793962313410031, 2013.

[学会発表](計73件)

Satoshi Tanaka, Kyoko Hasegawa, Naoya Okamoto, Ryohei Umegaki, Sheng Wang, Makoto Uemura, Atsushi Okamoto, Koji Koyamada, "See-through Imaging of Laser-Scanned 3D Cultural Heritage Objects based on Stochastic Rendering of Large-Scale

Point Clouds", XXIII ISPRS Congress 2016 (full paper, oral), 査読有. [発表日: 2016/7/15, 発表場所: プラハ(チェコ)](注: 学会プログラム変更のため, 実績報告書の日時と異なる)

Kyoko Hasegawa, Yuta Fujimoto, Rui Xu, Tomoko Tateyama, Yen-Wei Chen, Satoshi Tanaka, "Fused Visualization with Non-Uniform Transparent Surface for Volumetric Data using Stochastic Point-based Rendering", The 4th International Conference on Innovation in Medicine and Healthcare (InMed 2016), 査読有. [発表日: 2016/6/17, 発表場所: テネリフェ(スペイン)]

田中覚, "3次元計測で取得される大規模ポイントクラウドの精密半透明可視化", 3Dレーザスキャニング&イメージングシンポジウム2015 (3D Laser-scanning and Imaging Symposium JAPAN 2015), 招待講演. [発表日: 2015/11/20, 発表場所: 東京大学(東京都文京区)]

田中覚, 長谷川恭子 "3次元計測で取得される大規模ポイントクラウド型データの半透明可視化", 第21回ビジュアライゼーションカンファレンス, 招待講演. [発表日: 2015/11/7, 発表場所: 神戸大学(兵庫県神戸市)]

Satoshi Tanaka, "Transparent Visualization of Large-scale Laser-scanned Point Clouds", Asia Simulation Conference 2015, 招待講演(キーノート). [発表日: 2015/11/6, 発表場所: チェジュ島(韓国)]

S. Kawata, Y. Uenoyama, K. Hasegawa, R. Xu, S. Tanaka, T. Yabuuchi, K. Tanaka "Visualizing Overlapping Regions of Multiple Time-series Image Data Acquired by Scientific Experiments: Application to Experiments of Plasma-plume Collisions", Asia Simulation Conference 2015, 査読有. [発表日: 2015/11/5, 発表場所: チェジュ島(韓国)]

R. Xu, S. Tanaka, K. Hasegawa, W. Sheng, T. Tateyama, Y. W. Chen, S. Kido, "Transparent Visualization of Large-Scale and Complex Polygon Meshes Using a SPBR Method", Proceeding of SIGGRAPH Asia 2015 Visualization in High Performance Computing, 査読有. [発表日: 2015/11/2, 発表場所: 神戸国際会議場(兵庫県神戸市)]

Wang Sheng, Atsushi Okamoto, Satoshi Tanaka, "Visual Point-based Analysis of Laser-scanned Historical Structures", International Conference on Culture and Computing (Culture and Computing) 2015, 査読有. [発表日: 2015/11/17, 発表場所: 京大

学（京都府京都市）]

田中覚, 長谷川恭子, 徐睿, "大規模ポイントクラウドの半透明可視化 -3次元立体計測データと粒子流体シミュレーションへの応用-", 可視化情報学会 第43回可視化情報シンポジウム, 招待講演. [発表日: 2015/7/22, 発表場所: 工学院大学（東京都新宿区）]

Satoshi Tanaka, Makoto Uemura, Kyoko Hasegawa, Takehiko Kitagawa, Takahiro Yoshida, Asuka Sugiyama, Hiromi T. Tanaka, Atsushi Okamoto, Naohisa Sakamoto, Koji Koyamada, "Application of Stochastic Point-based Rendering to Transparent Visualization of Large-scale Laser-scanned Data of 3D Cultural Assets", IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis) 2014, 査読有 [発表日: 2014/3/5, 発表場所: 慶応義塾大学（神奈川県横浜市）]

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

(2) 研究分担者

仲田 晋 (Nakata, Susumu)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号: 00351320

研究分担者

長谷川 恭子 (Hasegawa, Kyoko)
立命館大学・情報理工学部・助教
研究者番号: 00388109

研究分担者

岡本 篤志 (Okamoto, Atsushi)
大手前大学・史学研究所・研究員
研究者番号: 30438585

研究分担者

陳 延偉 (Chen, Yen-Wei)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号: 60236841

研究分担者

田中 弘美 (Tanaka, Hiromi)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号: 10268154