

令和元年6月10日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02826

研究課題名（和文）3次元計測で得られる大規模ポイントクラウドの、透視可視化に基づく立体構造理解

研究課題名（英文）Understanding 3D Structures of Large-Scale Laser-Scanned Point Clouds based on See-Through Visualization

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） 10,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、有形文化財を中心とする様々な「モノ」を、3次元計測によってデジタル保存し、取得した大規模ポイントクラウドを活用して高精細透視可視化を実現し、さらにそれを活用した複雑形状の高視認性可視化手法を開発することである。高精細透視可視化に関しては、研究の初期段階で一応の完成を見た。その後、入力データとなるポイントクラウドの均一性を向上させる前処理を行うことで画質が格段に向上させるなどの、当初には想定していなかった成果も挙げられた。また、衝突シミュレーションなどの「コト」の可視化、半透明立体視における認知改善など、提案手法の発展的応用に関しても先鞭をつけることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果の学術的意義は、ポイントクラウドという、近年多くの学術分野で重要になっている種類のデータに関し、その高精細な透視可視化を、従来法で問題になっていた不正確な奥行感や不自然なアーチファクトを完全に無くしつつ、対話的な処理速度で実現した点にある。

本研究の成果の社会的意義は、近年の高度に発達した高性能計算を駆使した可視化技術を、様々な応用が広がっている3次元計測データ（特に文化財）に適用し、これまでに例の無い、計測対象の精密な内部透視を実現した点にある。これにより、3次元計測データのオンサイトで確認やCADデータへの変換等の労力が、大きく削減される。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research project is to digitally preserve various "real objects" (MONO), mainly tangible cultural properties, by 3D scanning, and utilize the preserved large-scale point-cloud data to realize precise see-through visualization and other novel visualization techniques.

We have successfully constructed a high-definition see-through visualization at an early stage of the study. After that, some results, which had not been expected initially, were also achieved. For example, we found that image quality is significantly improved by performing pre-processing to improve the uniformity of the point density. We could also find the developmental application of the proposed method, such as visualization of "events" (KOTO), e.g., collision simulation of moving objects and cognitive improvement in semi-transparent stereo vision.

研究分野：可視化、デジタル・ヒューマニティーズ、モンテカルロ・シミュレーション

キーワード：ポイントクラウド 3次元計測 透視可視化 文化ビッグデータ デジタルアーカイブ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

3次元計測とは、レーザスキャナやカメラ等を使って、現実世界の立体形状をポイントクラウド(3次元点群)としてデジタル保存する技術である。近年の急速な技術発展により、大規模な建造物などの複雑な立体形状を、内部構造も含めて容易かつ正確に記録できるようになった。大規模文化遺跡などの3次元計測では、しばしば、数千万~数十億点の大規模ポイントクラウドが取得される。このような大規模ポイントクラウドを利用した計測対象物の可視化に関しては、通常、対象物の外形を表示する写実的可視化のみが行なわれている。しかし、内部立体構造の視認を可能にする半透明可視化はほとんど行なわれていない。その理由は、ポイントクラウドの各点を単純に半透明にして表示するだけでは、正しい奥行き感が得られないからである。正しい奥行き感を表そうとすれば、大量の点を視線方向に沿ってデプスソートする必要がある。しかし、これは計算時間の観点から見て非現実的である。

また、3次元計測で得られるポイントクラウドの可視化においては、立体感が得難いという問題がある。その最大の原因は、ポイントクラウドの各点が法線ベクトルの情報を含まず、したがって、陰影効果を考慮した可視化を行えないことである。これを補うために立体視を用いることも考えられるが、半透明と立体視を組み合わせた可視化は未発達であり、とくに可視化対象の奥行き認知に関しては研究が進んでいない。

### 2. 研究の目的

本研究では、3次元計測における技術革新で頻繁に取得されるようになった、上で述べたような大規模ポイントクラウドに適した可視化技術を開発することを目的とした。具体的には、以下を目指して研究を行った：

- (1) コンピュータグラフィックスの分野のひとつである陰関数曲面描画のために我々が開発した「確率的ポイントレンダリング」を、3次元計測で取得されるポイントクラウドに適用できるようにする。これにより、対話的速度での正しい奥行き感を有する可視化を実現する。
- (2) 計測対象の縁・角(へり・かど)などを強調表示する「3次元エッジ」の可視化技術、表示面の角度によって生じる見掛けの点密度増減が陰影付けに反映する「輝度勾配」効果の活用などにより、(1)の可視化の立体感・奥行き感を向上させる。
- (3) (1)、(2)の成果を基盤として、正しい奥行き感を与える半透明立体視の技術を開発する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 確率的ポイントレンダリングの3次元計測データ適用

従来の確率的ポイントレンダリングは、陰関数曲面(方程式の解として定義される数学的曲面)やボリュームデータの等値面の精密描画のために開発したものであった。描画においては、モンテカルロ法などで曲面上に様に点を生成し、それに確率的な処理を施して、半透明表示を実現していた。これを3次元計測で取得したポイントクラウドに発展的に適用するには、ポイントクラウド自体を曲面上に生成した点と見なせば良い。ただし、与えられた3次元計測データにおいては、ポイントクラウドの点数は固定であるから、不透明度の制御のためには点数の増減(アップサンプリングやダウンサンプリング)が必要である。ダウンサンプリングは、ランダムに点を間引くことで容易に実現できる。しかし一方、貴重な対象を計測した生データに、アップサンプリングによって余分な点を付加えることは相応しくない。そこで、生データの点を単純にコピーし、それを、確率的処理を施す際の別アンサンプルに振り分けることで、独立な点として扱えるようにする。

#### (2) 3次元計測データの半透明可視化における立体感・奥行き感の向上

半透明可視化においては、不透明可視化よりも描かれる部分が多いため、煩雑な画像となりやすい。これを改善するために、「3次元エッジ」と「輝度勾配」を利用する。

##### 2-1) 3次元エッジの利用

計測対象の縁・角(へり・かど)などを細線として表示する「3次元エッジ」を描ければ、これが形状特徴を強調して、視認性が向上する。しかし、3次元計測データはポイントクラウドであるから、通常のポリゴン・グラフィックスにおける3次元エッジの抽出・可視化技術は利用できない。そこで通常は、主成分分析による点の広がり方向の分析から3次元エッジを抽出する。しかし、この方法の場合、計測ノイズによる点位置の揺らぎがシャープな細線の抽出・生成を妨げる。

3次元エッジをシャープな細線として可視化するため、当初の計画では、計測対象の面を基準面とする距離場を生成し、これを利用してノイズの大きさを予測して補正することを想定していた。しかし、実験によると、残念ながら、予想したほどの細線化効果は得られなかった。そこで、ノイズによる線の揺らぎを、主成分分析を用いて抽出した局所平面上で実測して抽出し、これを陽に取り除くことにした。

##### 2-2) 輝度勾配の利用

確率的ポイントレンダリングでは、面の不透明度は視点位置から見た見掛けの点密度に比例する。すなわち、可視化される面は、視線に対して傾いているほど濃く描かれる。これを、我々

は「輝度勾配」と名付けた。この輝度勾配を、法線ベクトル情報の無い3次元計測データの陰影づけに利用する。

### (3) 確率的ポイントレンダリングを基盤技術とした半透明立体視

半透明と立体視を組み合わせた可視化は、まだ未発達であり、とくに可視化対象の奥行き認知に関しては研究が進んでいない。そこで、3次元計測データに関して、(1)で開発する高精細可視化や、(2)で開発する形状特徴を強調する3次元エッジや輝度勾配を活用して、特に奥行き認知に優れた半透明可視化手法を開発する。

## 4. 研究成果

陰関数曲面やボリュームデータの等値面のために開発された確率的ポイントレンダリングを、3次元計測で得られたポイントクラウドの半透明可視化に発展的に活用する試みは、本研究の比較的初期の段階で、当初のもくろみ通りの成功を見た(図1)。この研究成果は、3次元計測の分野で最大の国際会議、ISPRS Congress 2016年にフルペーパーが採択されるなど、国際的にも高く評価された(雑誌論文、)。とくに、半透明可視化が時系列データの可視化に関連づけられるという我々の主張が評価された。たとえば、祇園祭の山鉾の内部構造の半透明可視化では、組立の初期から最終段階の部材が全て一枚の半透明画像の中に描かれており、その意味で「コト」の可視化となっている。また、コトの可視化は、シミュレーションの可視化にも役立つことが分かった。たとえば、祇園祭の山鉾巡行における巡行ルートを変更し、電線・看板などの衝突の心配があるかどうかを判定する衝突シミュレーションの研究は高く評価され、2017年に武漢で開かれた3次元計測分野の主要国際ワークショップ ISPRS Geospatial Week 2017で論文が採択された(雑誌論文)。



図1：祇園祭・八幡山の半透明可視化

3次元計測データの半透明可視化における立体感・奥行き感の向上に関しては、まず、3次元エッジの効果が高いことが確認できた。主成分分析を用いた揺らぎ除去、3次元エッジで描く平行線の奥行き認知への好影響の確認などの成果をあげることが出来た(学会発表)。これらの成果の初歩的な報告により、可視化情報学会で2件の学生賞を受賞した(学会発表)。輝度勾配の効果に関しても、その有効性は確認できたが、これはむしろ、半透明立体視において効果が高いことが分かった。

半透明立体視に関しては、医用データの実験で、奥行きが真実よりも浅く認知されるという実験結果を得た。そして、その改善に輝度勾配が有効であるという実験結果を得ることができた。この実験結果に関しては、国際ジャーナルや医用分野の国際会議で論文が採択された(雑誌論文、学会発表)。

上記以外にも、改良された確率的ポイントレンダリングの技術を、流体シミュレーションの可視化(学会発表)、放射線シミュレーションの可視化(雑誌論文)に応用するなど、当初の予定に無い成果をあげることができた。

なお、本研究の成果を掲載した国際会議の会議録を、複数件出版することが出来た(図書、)。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計18件)

[Kyoko Hasegawa](#), Liang Li, Naoya Okamoto, Shu Yanai, Hiroshi Yamaguchi, [Atsushi Okamoto](#), and [Satoshi Tanaka](#), "Application of Stochastic Point-Based Rendering to Laser-Scanned Point Clouds of Various Cultural Heritage Objects", *Int. J. of Automation Technology* Vol.12(3)3, pp.348-355, 2018, DOI: 10.20965/ijat.2018.p0348 [査読有り]

[Yuichi Sakano](#), Yurina Kitaura, [Kyoko Hasegawa](#), [Roberto Lopez-Gulliver](#), Liang Li, Hiroshi Ando, [Satoshi Tanaka](#), "Quantitative evaluation of perceived depth of transparently-visualized medical 3D data presented with a multi-view 3D display", *Int. J. Model. Simul. Sci. Comput.* Vol. 9, No. 3, 1840009 (16 pages), 2018. DOI: 10.1142/S1793962318400093 [査読有り]

Weite Li, Kenya Shigeta, [Kyoko Hasegawa](#), Liang Li, Keiji Yano, [Satoshi Tanaka](#), "Collision Visualization of a Laser-Scanned Point Cloud of Streets and a Festival Float Model used for the Revival of a Traditional Procession Route", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W7, pp.255-261, 2017, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W7-255-2017 [査読有り]

Ryoji Sanagawa, [Kyoko Hasegawa](#), Liang Li, and [Satoshi Tanaka](#), "The stochastic highlighting of polygon edges in the transparent visualisation of large-scale polygon meshes: application to visualising

a high-energy elementary particle detector [AsiaSim]", Journal of Statistical Computation and Simulation (JSCS), Vol.87, No.13, pp.2560–2571, 2017, DOI: 10.1080/00949655.2017.1349129

[査読有り]

S. Tanaka, K. Hasegawa, N. Okamoto, R. Umegaki, S. Wang, M. Uemura, A. Okamoto, and K. Koyamada, "See-Through Imaging of Laser-scanned 3D Cultural Heritage Objects based on Stochastic Rendering of Large-Scale Point Clouds", ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., III-5, 73-80, 2016, DOI: 10.5194/isprs-annals-III-5-73-2016 . [査読有り]

[学会発表](計 63 件)

Hiroki Nagata, Kyoko Hasegawa, Liang Li, Atsushi Okamoto, Satoshi Tanaka, "Highlighting Feature Regions based on See-Through Visualization of Laser-Scanned Cultural Heritage Applying Adjustment of Point Density", The 37th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST 2018), 2018 [査読有り]

永田広樹, 長谷川恭子, 李亮, 田中覚, "3次元計測点群における点密度調整を用いた有形文化財の特徴領域強調", 第1回ビジュアリゼーションワークショップ, 2018. (優秀賞(大学院生の部)) [査読無し]

西村京馬, 長谷川恭子, 李亮, 岡本篤志, 山口欧志, Fadjr I. Thufail, Y. Bramantara, 田中覚, "3次元計測点群データの奥行き強調可視化 -点線と点密度制御の活用-", 可視化情報学会第46回可視化情報シンポジウム, 2018. (ベストプレゼンテーション賞) [査読無し]

Miwa Miyawaki, Kyoko Hasegawa, Liang Li, Satoshi Tanaka, "Transparent Fused Visualization of Surface and Volume based on Iso-surface Highlighting", The 6th International KES Conference on Innovation in Medicine and Healthcare (KES-InMed-18), 2018. (Smart Innovation, Systems and Technologies, vol.71, pp.267-276) [査読有り]

Yuto Sakae, Ikuya Morimoto, Takuya Ozaki, Ryo Kurimoto, Liang Li, Kyoko Hasegawa, Satoshi Nakada, Satoshi Tanaka, "Ocean analysis by tsunami simulation of the Nankai Trough massive earthquake", 18th Asia Simulation Conference (AsiaSim2018), 2018. [査読有り]

[図書](計 5 件)

Liang Li, Kyoko Hasegawa, Satoshi Tanaka (Eds.), "Methods and Applications for Modeling and Simulation of Complex Systems," 18th Asia Simulation Conference, AsiaSim 2018, Kyoto, Japan, October 27–29, 2018, Proceedings, Communications in Computer and Information Science book series (CCIS, volume 946), Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2018, Print ISBN978-981-13-2852-7, Online ISBN978-981-13-2853-4. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2853-4> (530 頁)

Chen, Y.-W., Tanaka, S., Howlett, R.J., Jain, L.C. (Eds.), "Innovation in Medicine and Healthcare 2017", Proceedings of the 5th KES International Conference on Innovation in Medicine and Healthcare (KES InMed 2017), 2017, ISBN 978-3-319-59397-5, Springer, (289 頁).

Chen, Y.-W., Torro, C., Tanaka, S., Howlett, R.J., Jain, L.C. (Eds.), Innovation in Medicine and Healthcare 2016 (Proceedings of KES InMed 2016), Smart Innovation, Systems and Technologies, SIST vol.60, Springer, 2016, ISBN 978-3-319-39686-6, DOI: 10.1007/978-3-319-39687-3, (347 頁)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等: <http://www.cg.is.ritsumei.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 長谷川 恭子

ローマ字氏名: (Kyoko Hasegawa)

所属研究機関名: 立命館大学

部局名: 情報理工学部

職名: 講師

研究者番号(8桁): 00388109

研究分担者氏名: ロペス ロベルト

ローマ字氏名: (LOPEZ Roberto)

所属研究機関名: 立命館大学

部局名：情報理工学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：80395144

研究分担者氏名：宇田 紀之

ローマ字氏名：(Noriyuki Uda)

所属研究機関名：名古屋産業大学

部局名：環境情報ビジネス学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：30232838

研究分担者氏名：岡本 篤志

ローマ字氏名：(Atsushi Okamoto)

所属研究機関名：大手前大学

部局名：総合文化学部

職名：助教

研究者番号（8桁）：30438585

研究分担者氏名：坂野 雄一

ローマ字氏名：(Yuichi Sakano)

所属研究機関名：国立研究開発法人情報通信研究機構

部局名：脳情報通信融合研究センター脳機能解析研究室

職名：研究員

研究者番号（8桁）：10443904

## (2)研究協力者

研究協力者氏名：生野 壮一郎

ローマ字氏名：(Soichiro Ikuno)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。