

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：34406

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16878

研究課題名(和文)3次元計測点群の自動位置合わせおよび欠損補間システム

研究課題名(英文)Automatic registration and hole filling system of 3D scanning points

研究代表者

村木 祐太(Muraki, Yuta)

大阪工業大学・情報科学部・助教

研究者番号：60710077

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、計測点群に対する自動位置合わせ、欠損検出および欠損補間を行うシステム開発を行った。点群の自動位置合わせでは、計測対象物の色特徴を利用した位置合わせを行うことで、精度向上および処理時間の短縮を実現した。また、欠損検出では、点群の密度変化の影響を低減した手法を提案した。欠損補間では、周囲の形状を考慮した手法を提案した。実際の計測点群に対し提案手法を適用し、手法の有用性を検証した。

研究成果の概要(英文)：In this research, I developed a system which performs automatic registration, hole detection and hole filling for 3D scanning point cloud. In automatic registration of point cloud, accuracy is improved and processing time is shortened by using the color features of the scanning object. I also proposed a method that reduces the influence of density change of point cloud in hole detection. In hole filling method, I proposed the method considering the surrounding shape of the hole. I applied the proposed methods to the actual scanning point data and verified the usefulness of the method.

研究分野：コンピュータグラフィックス

キーワード：三次元計測 デジタルアーカイブ 位置合わせ 欠損検出 欠損補間 点群

1. 研究開始当初の背景

近年、情報技術の発達により様々な技術が考古学に導入されつつある。その技術の一つとして遺物の3次元計測が挙げられる。3次元計測で得られた点群データは、3次元位置情報や色情報を含んでおり、デジタルアーカイブ化、イラスト化することで実測図作成への利用、ビューアで表示することで遺物をPC上で再現、3Dプリンタで出力することでレプリカ作成など様々な用途に利用される。近年では、遺物を展示する博物館や資料館などでも3次元計測が積極的に行われ、計測で得られた3次元形状データを遺物と一緒に展示する試みが行われている。

3次元計測には、レーザーを利用した非接触型の3次元計測機を用いることで、遺物を傷つけることなく、かつ高速に計測することができる。しかし、3次元計測機は数百万円から数千万円と非常に高価な機材が多く、全ての期間で気軽に3次元計測ができるというわけではない。

比較的安価な3次元計測機を使用した3次元計測の事例として、金田らの試みがある。金田らは、NextEngineと呼ばれる50万円程度で購入できる3次元計測機を使用して、遺物の3次元位置情報と色情報を取得している[1]。しかし、計測対象の大きさや材質に制限があるといった問題がある。また、i)複数方向からの計測で得られた各点群データは統合する必要があり、この作業は非常に手間がかかる。形状特徴を正確に取得するためには、計測方向を増やす必要があるため、データの統合には膨大な時間がかかる場合がある。さらに、統合後の点群データには、レーザー光の届かない箇所(オクルージョン)により欠損が多数発生するため、ii)点群の欠損を補間する必要がある。簡易的に点群の欠損を補間するソフトウェアも存在するが、補間により遺物の文様を正確に再現することはできない。上記の理由から、専門の知識を必要とせずi)、ii)の処理を高速かつ正確に行うことのできる計測点群の編集システムの開発が所望される。

2. 研究の目的

前述したように、3次元計測には複数点群の位置合わせや欠損検出、欠損補間といった点群処理が不可欠である。本研究の目的は、専門の知識を必要としない点群処理を行うシステムを開発することである。具体的には下記3点を行う。

(1) 複数点群データの自動統合

対応点を自動的に決定することで、ユーザの技量に依存しない手法を提案する。

(2) 点群の欠損検出

欠損補間対象となる領域を自動検出する。密度不均一の点群に対しても適用可能な手法を提案する。

(3) 点群の欠損補間

多くの欠損を補間することを想定し、処理速

度および補間精度の両方を考慮した手法を提案する。

3. 研究の方法

はじめに、(1)「複数点群データの自動統合」について取り組んだ。複数方向からの計測により得られた点群は、それぞれ独立した座標系に存在するため、同一座標系に位置合わせをする必要がある。本課題で扱う遺物は、対称性のある形状が多いため、形状特徴を利用した一般的な位置合わせ手法では、正確な対応点が選出されない場合が多い。そこで、本手法では色情報をもとに対応点の絞り込みを行った。具体的には、図1に示すように、位置合わせ対象となる青銅器の点群から色情報を抽出し、図2に示すように、錆などを表す青銅色以外の点の中から位置合わせに利用する対応点を決定した。そのあとで、各点に対して色情報と3次元的位置情報を利用することで、位置合わせに利用するLRF(Local Reference Frame)を生成した。これにより、対応点の誤検出の低減や処理時間の短縮を実現した。



図1 色情報の抽出

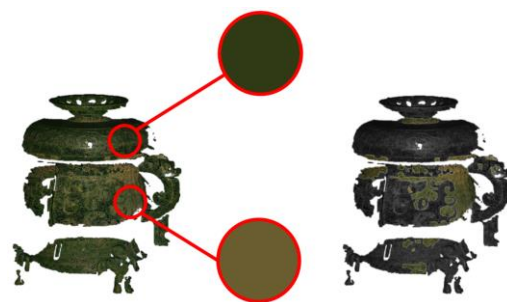


図2 対応点探索範囲の限定

つぎに、(2)「点群の欠損検出」について取り組んだ。欠損を自動補間するためには、補間対象となる領域を抽出する必要がある。点群データは、計測環境によっては密度が不均一となる場合もあるため、密度変化にロバストな欠損検出手法を提案した。本手法では、注目点と周囲の点との3次元的位置関係を利用した欠損検出手法である。具体的には、図3に示すように、注目点から周囲の点に対してベクトルを生成し、各ベクトル間の角度

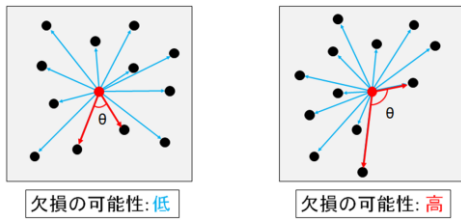
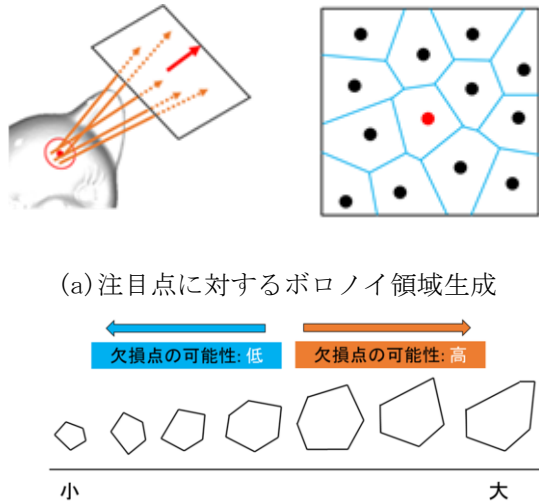


図3 角度による欠損可能性の算出



(b) 欠損可能性の算出

図4 ボロノイ分割による欠損可能性の算出

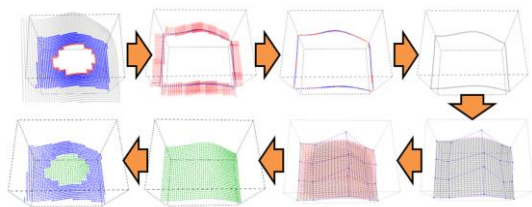


図5 欠損補間

を解析することで欠損可能性確率を算出する。また、図4に示すように、注目点を中心としたボロノイ領域を生成し、得られたボロノイ領域の面積や形状を解析することで、注目点の欠損可能性確率を算出した。そのあとで、算出した欠損可能性確率を混ぜ合わせることで欠損検出を実現した。欠損検出が完了したあとで、グループ化を行い、孤立する点などの非欠損点を除去し、最終的な欠損点を出力した。

最後に、(3)「点群の欠損補間」について取り組んだ。本課題では、多くの欠損を補間する必要があることや、計測対象物の側面など目立つ部分に欠損が生じることから、処理速度と補間精度の両方を考慮した手法とした。本手法では、(2)「点群の欠損検出」により得られた欠損の輪郭を表す点を入力とし、曲面当てはめに基づき欠損領域に補間点を生成する。具体的には、図5に示すように、



図6 計測対象物



図7 入力点群



図8 統合結果

欠損の輪郭点から曲面当てはめに利用する点を抽出し、当てはめる曲面の輪郭を表す制御点を算出、および内部制御点を算出する。そのあとで、欠損輪郭点を利用したリファイン処理を施すことで、欠損領域部分の精度を向上させた。生成した曲面上に点列を生成することで欠損補間点を自動算出した。

<引用文献>

[1]金田明大, 木本挙周, 川口武彦, 佐々木淑美, 三井猛「文化財のための三次元計測」, 岩田書院, (2010).

4. 研究成果

本研究の成果として、提案した(1)複数点群データの自動統合, (2)点群の欠損検出, (3)点群の欠損補間, の各手法を計測点群に対して適用し、実用性を検証した。以下に詳細を示す。

(1) 複数点群データの自動統合

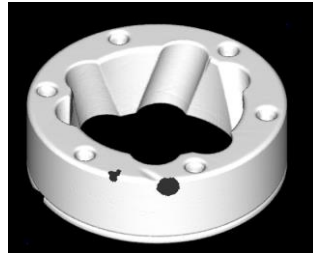
図6に示す計測対象物体を8方向から計測して得られた図7に示すような点群データに対し、提案手法を適用した。3次元計測には、

表 1 精度評価

最小誤差	1.17e-8
最大誤差	1.56e-2
平均誤差	1.80e-3



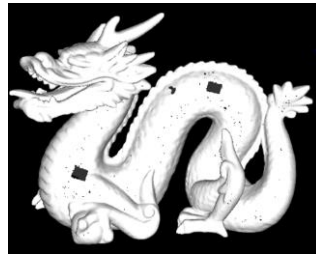
(a)密度均一 A



(b)密度均一 B

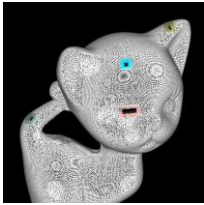


(c)密度不均一 C

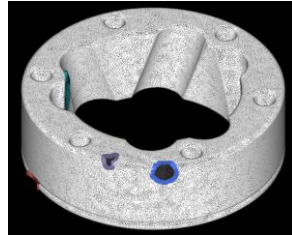


(d)密度不均一 D

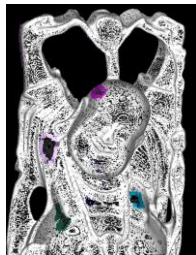
図 9 欠損を含む点群データ



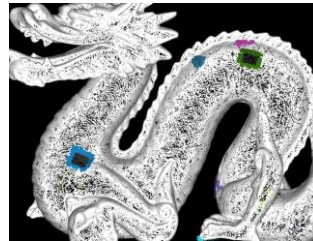
(a)密度均一 A



(b)密度均一 B



(c)密度不均一 C



(d)密度不均一 D

図 10 欠損検出結果

Artec 3D 社の 3 次元計測機 Artec Spider を使用した。

本手法の適用結果を図 8 に示す。また、位置合わせの精度を評価するために平均二乗誤差(RMSE)を算出した。算出した最小誤差、最大誤差および平均誤差を表 1 に示す。ここで、RMSE の値は、PC 内に取り込んだ計測対象物の点群データの最長辺で正規化したものである。

最小誤差、平均誤差が $1.00e-2$ を下回り、

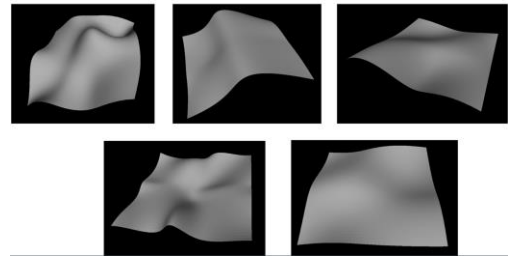
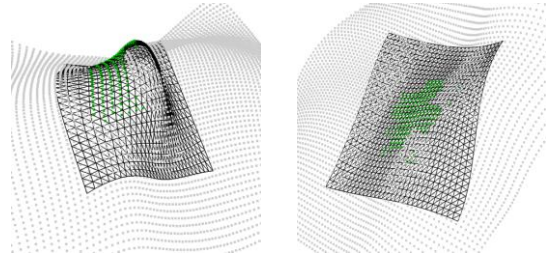
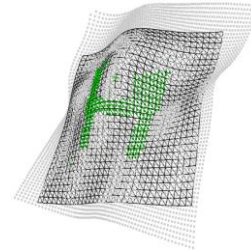


図 11 真値データの生成

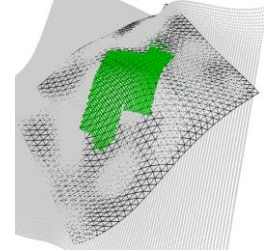


(a) data A

(b) data B



(c) data C



(d) data D

図 12 対応点探索範囲の限定

表 2 精度評価

Data set	#Fill points	Error(%)	Time(sec.)
data A	155	0.344566	0.29
data B	154	0.335054	0.24
data C	366	0.302318	0.55
data D	714	0.532111	0.58

良好な結果で位置合わせができていたことが確認できた。提案手法では、位置合わせのたびに誤差が蓄積してしまうため、最大誤差が $1.00e-2$ を上回ってしまったと考えられる。

(2) 点群の欠損検出

図 9 に示す欠損を含む点群データに対し、欠損検出手法を適用し、提案手法の有用性を示した。実験データには、密度が均一なデータと密度が不均一なデータを設定した。本手法の適用結果を図 10 に示す。密度不均一な点群データに対しても、欠損を想定した領域を検出できていることが確認できた。

(3) 点群の欠損補間

図 11 に示すような真値のある点群データに対して本手法を適用し、補間精度の評価を行った。図 11 の点群データは、ランダムに

制御点を与えることで生成した曲面上に点列を発生させて生成した点群であり、真値は曲面となる。

図 11 の点群データに対して本手法を適用し欠損を補間した結果を図 12 の緑色の点で示す。また、生成した補間点の精度を算出した結果を表 2 に示す。ここで、*Error* は形状を囲むバウンディングボックスサイズで正規化している。補間点の誤差および処理時間ともに良好な結果が得られた。最後に、3 次元計測で得られた実際の計測データに対して本手法を適用し、有用性を示した。欠損補間結果を図 13 に示す。同図から、形状の特徴を維持した補間結果であることが確認できる。

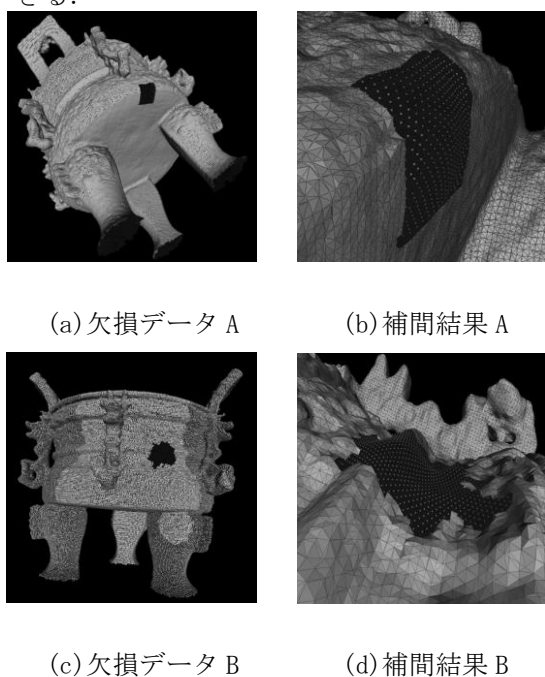


図 13 実際の計測データに対する補間結果

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)

[学会発表] (計 6 件)

- ① 武田匡平, 村木祐太, 西尾孝治, 小堀研一: “3D スキャナによる点群データのための欠損抽出”, 平成 29 年電気学会全国大会, 電気学会, 2017 年 3 月 15 日, 富山大学 五福キャンパス (富山県・富山市)
- ② 村木祐太, 西尾孝治, 金谷孝之, 小堀研一: “計測点群の自動欠損補間に関する一手法”, 第 15 回情報科学技術フォーラム講演論文集, 15(3), pp. 139-140, 2016 年 9 月 8 日, 富山大学 五福キャンパス (富山県・富山市), (FIT 奨励賞)
- ③ 武田匡平, 村木祐太, 西尾孝治, 小堀研一: “点群データのための欠損抽出の一手法”, 第 15 回情報科学技術フォーラム講演論文集, 15(3), pp. 137-138, 2016 年 9 月 8 日, 富山大学 五福キャンパス (富山県・富山市)
- ④ 村木祐太, 西尾孝治, 金谷孝之, 小堀研一: “曲面近似に基づく点群の自動欠損補間手法の検討”, 日本情報考古学会第 36 回大会講演論文集, 日本情報考古学会, pp. 5-8, 2016 年 3 月 26 日, 九州国立博物館 (福岡県・太宰府市)
- ⑤ 村木祐太, 平井智也, 武田匡平, 小堀研一: “青銅器のための点群データの自動位置合わせに関する一手法”, 日本情報考古学会第 36 回大会講演論文集, 日本情報考古学会, pp. 9-13, 2016 年 3 月 26 日, 九州国立博物館 (福岡県・太宰府市)
- ⑥ 村木祐太, 西尾孝治, 金谷孝之, 小堀研一: “周囲の形状を考慮した点群の欠損補間手法の検討”, 第 14 回情報科学技術フォーラム講演論文集, 14(3), pp. 255-256, 2015 年 9 月 17 日, 愛媛大学 (愛媛県・松山市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村木 祐太 (MURAKI, Yuta)

大阪工業大学・情報科学部・特任助教

研究者番号: 60710077