

欠損領域の補完による歴史的文化財の設計値の復元に関する研究 Research on Restoration of Design Values of Historic Cultural Properties by Completing Occlusion Areas

小林満里奈[†] 中原匡哉[‡]
Marina Kobayashi Masaya Nakahara

1. はじめに

近年, SDGs (Sustainable Development Goals) が提唱されたことにより, 国内でも目標達成に向けた取り組みが急増している. その達成目標の 1 つに「世界の文化遺産や自然遺産を保護し, 保っていくための努力を強化する」があり, 歴史的文化財の保存, 復元に関する研究や技術開発が進められている[1]. 例えば, 首里城の正殿内部で発生した火事では, 設計図が残っていなかったため, 復興プロジェクトが立ち上がり, 動画像から正殿などの焼失した建物の 3 次元モデルを復元することに成功した. しかし, 本来は設計値や外観に関連する資料が少なく復元が難しいため, 事前に設計値や外観を保存することが望ましい. そのため, 著者らは, 地上設置型レーザスキャナにより計測した文化遺産の点群データをボクセル分割し, 深層学習を用いてエッジ部分を推定する手法[2]を提案した. しかし, 地上設置型レーザスキャナによる計測では, 測定環境や障害物の影響で欠損が生じやすく, 現況の設計値の再現性が低下するため, 欠損箇所を補完する技術が必要である. そこで, 本研究では, 歴史的文化財の点群データから欠損部分を推定し, 補完する手法を提案する.

2. 研究概要

提案手法の処理フローを図 1 に示す. 提案手法は, エッジ抽出機能と欠損領域補完機能により構成される. 入力データは, 地上設置型レーザスキャナなどで計測した点群データとする. 出力データは, 欠損部分が補完された点群データとする.

2.1 エッジ抽出機能

本機能では, 地上設置型レーザスキャナで取得した点群データから主成分分析 (PCA) を用いて, 図 2 に示すようにエッジ部分を抽出する. まず, 点群データがどの方向に最も広がっているかを示す固有ベクトルの値を計算する. 次に, ある点の半径内にある近傍点から, PCA を用いて得られた固有値から, 3 つの次元特徴を算出する. 最後に, その最大値が 1 次元的特徴である値をエッジ点として選択し, 抽出する.

2.2 欠損領域補完機能

本機能では, 歴史的文化財が持つ複雑な形状の補完に適した既存手法を用いて, 点群データの欠損領域を補完する手法を提案する. 点群データの欠損領域を補完する既存手

[†] 大阪電気通信大学大学院総合情報学研究科
Graduate School of Information Science and Arts,
Graduate School of Osaka Electro-Communication University.

[‡] 大阪電気通信大学総合情報学部
Faculty of Information Science and Arts,
Osaka Electro-Communication University.

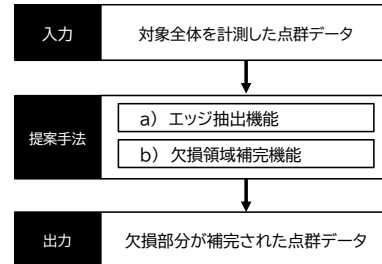


図 1 処理フロー

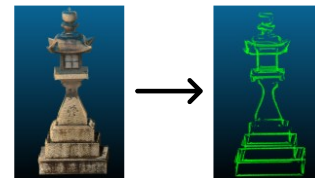


図 2 エッジ推定機能

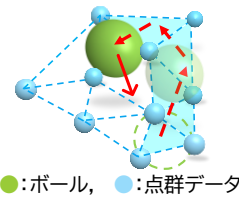


図 3 欠損領域補完機能

法として, 平面とエッジ情報による欠損補完手法[3], ボロノイ分割や角度情報による欠損補完手法[4][5], 深層学習による補完生成手法[6][7]や Ball-Pivoting Algorithm (BPA) [8]の 4 つが提案されている. これらの手法を事前に歴史的文化財の点群データに適用し, それぞれの手法による補完精度を比較, 評価した. その結果, BPA が最も高精度な結果が得られたため, BPA を本機能に採用することとした. ただし, この手法は, 点群密度が高い領域において形状の一貫性を保ちつつ欠損を補完できるものの, 広範囲に欠損がある場合や点密度が低い場合に補完できない課題がある. そのため, 本機能では, 複数のボールサイズを用いて補完することで広範囲の欠損や密度の低い点群データであっても補完可能なものとする.

本機能では, まず, エッジ上の点群データ中の 3 点からなるボールの大きさより小さい三角形を取得する. 次に, その三角形を始点として, ボールを転がし, 次にボールが接した点があれば, その点と三角形の辺で構成される新たな三角形を生成する (図 3). この工程を繰り返しつつ, 異なる大きさのボールを転がすことで, 凹凸の大きさによらず, 欠損領域を含む対象物の外形を取得できる. 最後に, この三角形群の表面上に擬似的に点群データを生成することで欠損領域を補完できる.

3. 実証実験

3.1 実験内容

本実験では、歴史的文化財の欠損領域を含む点群データの一部を対象に提案手法の有用性を確認する。評価対象は、図 4 に示すように地上設置型レーザスキャナを用いて計測した神社の灯籠および狛犬の点群データとする。評価の際には、地上設置型レーザスキャナで計測した点群データと提案手法を用いて補完した点群データから得られた設計値を比較する。それにより、点群データの過剰生成を評価し、形状が参考資料として活用可能な精度で補完されているかを評価し、提案手法の有用性を確認する。評価対象の設計値は、図 4 に示す①～⑤とする。点群データの補完の際には、3 種類の異なる半径を持つボールを同時に転がし、欠損領域を補完した。設定したボールの半径の値は、1.00, 2.50, 5.00cm である。

3.2 結果と考察

入力データおよびエッジを推定した点群データの可視化結果を図 5 と図 6 に示す。図中の緑の点は補完した点群データである。可視化結果から、エッジ周辺に点群データが生成され、欠損領域が補完されていることが確認できた。このことから、提案手法の有用性を示せたといえる。

提案手法の導入前後の設計値の平均と計測誤差の比較結果を表 1 に示す。補完後の誤差をみると、②と④で誤差が 0.00, 0.04cm となり、高精度に補完されたことがわかる。しかし、①, ③, ⑤では、0.10cm 以上の誤差が発生した。これは、設定したボールの半径が欠損領域の形状や大きさに適しておらず、不要な領域に対して点群データが誤って補完されたためである。これらの結果から、提案手法により、0.33cm 以下の誤差で欠損箇所を補完できることがわかった。今後は、復元作業に必要な精度を調査し、提案手法の有用性を確認する予定である。また、提案手法では、歴史的文化財の色や質感などは考慮されていない。このことから、形状補完に影響が発生しない程度に欠損付近の色などを基に、色情報を補完する必要があると考えられる。

4. おわりに

本研究では、点群データからエッジを抽出し、BPA を用いて欠損領域を補完する手法を提案した。実証実験により、提案手法を用いることで、欠損箇所を補完でき、本来の形状を復元することに成功した。今後は、欠損領域の形状補完に加えて、周辺の色情報を参照しながら、欠損領域の色情報の補完を目指す。

参考文献

- [1] 日本ユニセフ協会, “11.住み続けられるまちづくりを | SDGs クラブ”, 日本ユニセフ協会, 入手先 (<https://www.unicef.or.jp/kodomo/sdgs/17goals/11-cities/>), (参照 2025-06-06).
- [2] 小林 満里奈, 中原 匡哉, “歴史的文化的文化財のデジタルアーカイブのための点群データを用いた設計値の抽出に関する研究”, 情報処理学会, 第 86 回全国大会講演論文集, Vol.86, No.4, pp.747-748, (2024).
- [3] Open3D, “Point cloud Open3D primary (unknown) documentation”, 入手先 (<https://www.open3d.org/docs/latest/tutorial/geometry/pointcloud.html>), (参照 2025-06-06).

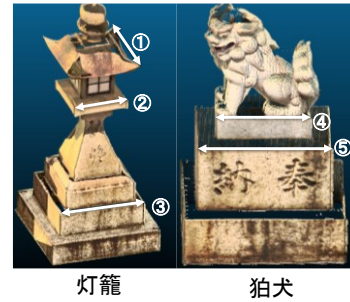


図 4 計測箇所

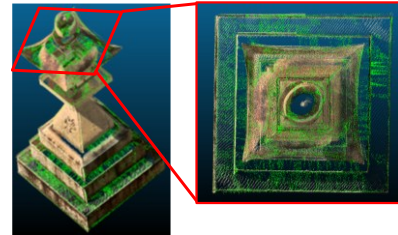


図 5 提案手法を用いた灯籠の点群データ

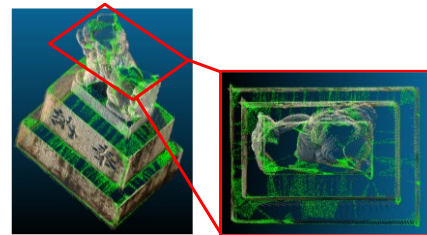


図 6 提案手法を用いた狛犬の点群データ

表 1 提案手法の導入前後の設計値の誤差

計測箇所	導入前	導入後	誤差
①	85.55cm	85.22cm	0.33cm
②	60.52cm	60.52cm	0.00cm
③	96.41cm	96.31cm	0.10cm
④	50.93cm	50.89cm	0.04cm
⑤	72.95cm	73.07cm	0.12cm

- [4] 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, No.3, pp.137-138, (2016).
- [5] 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, No.3, pp.255-256, (2016).
- [6] Qi, Z., Liu, X., Liu, X., Yang, J., and Zhang, Y., “PSNet : A Deep Learning Model Based Digital Phase Shifting Algorithm from a Single Fringe Image”, 入手先 (<https://arxiv.org/abs/2303.07606>), (参照 2025-06-11).
- [7] Pan, L., Chen, X., Cai, Z., Zhang, J., Zhao, H., Yi, S. and Liu, Z., “Variational Relational Point Completion Network”, 入手先 (<https://arxiv.org/abs/2104.10154>), (参照 2025-06-11).
- [8] Bernardini, B., Mittleman, J., Rushmeier, H., Silva, C., and Taubin, G., “The Ball-pivoting Algorithm for Surface Reconstruction”, in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.5, No.4 (1999).