

修士学位論文要約（令和4年3月）

3次元復元のための深層学習を用いた外れ点除去に関する研究

鈴木 光

指導教員：青木 孝文

Outlier Removal Using Deep Learning for 3D Reconstruction

Hikaru SUZUKI

Supervisor: Takafumi AOKI

Multi-View Stereo (MVS) is a technique to reconstruct the 3D point cloud of an object from multi-view images. The reconstructed 3D point cloud includes outliers due to matching errors around object boundaries and in low-textured regions. In this paper, we propose an outlier removal method using deep learning. A hierarchical neural network is trained to classify a 3D point cloud into outlier or not with the original loss function. We also consider the density of 3D point clouds in color space to remove outliers. Through the experiments using the public dataset for MVS, we demonstrate that the proposed method exhibits more efficient performance than the conventional method on outlier removal.

1. はじめに

多視点ステレオ (Multi-View Stereo: MVS) は、複数視点で撮影された画像を用いて、対象物体の3次元点群を復元する手法である。複数視点で撮影された画像間の対応付けを画素単位で行うことにより、密な3次元点群を復元することができる。一方で、対応付けが困難な領域における誤対応により、復元した3次元点群に外れ点が含まれる。MVSの復元精度を向上させるためには、画像対応付けの高精度化に加えて、復元された3次元点群から外れ点を除去することが必要である。外れ点除去の従来手法の1つに淀川らの手法¹⁾がある。淀川らの手法では、多視点幾何に基づいて、他の復元点の可視性を阻害する点や、単一視点から復元されている点などを外れ点として除去することができる。一方で、特に除去が困難な物体表面付近の外れ点に対する除去精度は低い。そこで、本論文では、深層学習を用いた外れ点除去手法を提案する²⁾。ニューラルネットワークを用いて、3次元点群を復元点と外れ点に分類することにより、淀川らの手法では除去が困難な外れ点を高精度に除去する。MVSの公開データセットを用いた性能評価実験を通して、外れ点除去における提案手法の有効性を示す。

2. 深層学習を用いた外れ点除去手法

提案手法では、ニューラルネットワークを用いて3次元点群から外れ点を検出する。図1に、外れ点検出ネットワークの概要を示す。図1のネットワークは、深層学習を用いた3次元点群処理手法である

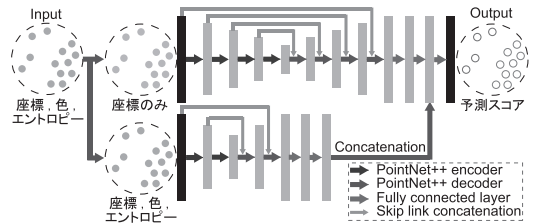


図1 提案手法で使用する外れ点検出ネットワーク

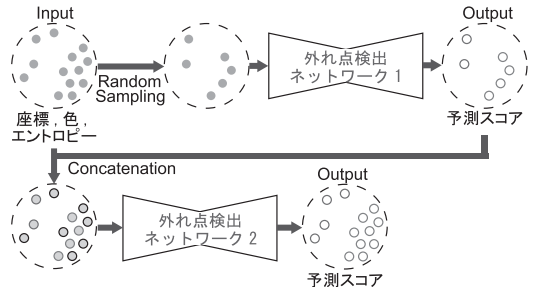


図2 階層型ニューラルネットワーク

PointNet++³⁾に基づいて設計されている。また、物体から離れた位置にある外れ点、および物体表面付近にある外れ点を高精度に除去するために、図2に示すように、外れ点検出ネットワークを階層的に接続する。まず、入力点群からランダムサンプリングされた3次元点群を外れ点検出ネットワーク1に入力し、確率スコアを予測する。予測していない3次元点群に対しては、確率スコアを一律0.5とする。次に、入力点群と予測された確率スコアを外れ点検出ネットワーク2に入力し、確率スコアを再度予測する。物

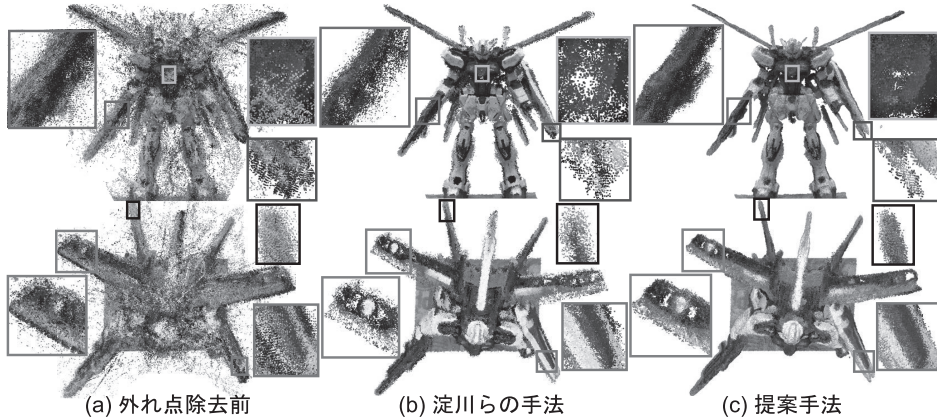


図3 外れ点除去前と、各手法による外れ点除去後の3次元点群の比較

体表面付近の外れ点は、周囲に同じ色の点が少ない場合が多いため、色空間における3次元点群の密度を利用して検出できる。そこで、提案手法では、3次元点群の座標と色に加えて、カーネル密度推定⁴⁾により計算されるエントロピーを外れ点検出に用いる。エントロピーの値が大きいほど、その点の近傍に同じ色の点が多いことを表す。また、物体表面付近の外れ点のみから計算される交差エントロピー損失を損失関数に用いることで、検出が困難な物体表面付近の外れ点を重視して学習を行う。

3. 性能評価実験

MVSのための公開データセットである Blended-MVS⁵⁾を用いて、外れ点除去精度を評価する。BlendedMVSには、多視点画像と各視点のカメラパラメータ、レーザで復元されたメッシュデータが含まれている。精度評価では、MVSの一手法である PatchMatch Multi-View Stereo (PM-MVS)⁶⁾を用いて、BlendedMVSの多視点画像から復元された3次元点群に対する外れ点除去を行う。評価指標としてF-scoreを用いることで、正しい復元点を除去することなく、外れ点のみを除去できているかを評価する。3つの物体の復元結果に対して各手法による外れ点除去を行い、除去後の3次元点群とBlendedMVSのメッシュデータを比較して復元精度を求める。また、提案手法のための学習用データセットを作成する。BlendedMVSのメッシュデータに基づき、MVSの復元点群に対して外れ点か否かのラベル付けを行う。

表1に、テストデータに含まれる物体ごとにF-scoreを求め、それらを平均した値を示す。表1より、提案手法は、従来手法である淀川らの手法よりもF-scoreが高く、外れ点除去精度が高いことがわかる。図3に、PM-MVSの復元結果と、各手法による外れ点除去後の3次元点群の例を示す。図3より、提案

表1 性能評価実験結果

Method	F-score
PM-MVS ⁶⁾	72.02
淀川らの手法 ¹⁾	73.51
提案手法	75.32

手法は、淀川らの手法に比べて欠損部分が少なく、また物体の輪郭が明確になるように外れ点を除去していることがわかる。

4. まとめ

本論文では、深層学習を用いた外れ点除去手法を提案し、公開データセットを用いた性能評価実験を通して、提案手法の有効性を実証した。今後の展望として、エンターテインメントで使用される3次元モデル制作への応用が考えられる。

文献

- 1) K. Yodokawa, K. Ito, T. Aoki, S. Sakai, T. Watanabe, and T. Masuda, "Outlier and artifact removal filters for multi-view stereo," Proc. Int'l Conf. Image Processing, pp.3638–3642, Oct. 2018.
- 2) 鈴木光, 伊藤康一, 青木孝文, "3次元点群のための階層型ニューラルネットワークを用いた外れ点除去手法の検討," 第24回画像の認識・理解シンポジウム, pp.1–4, Aug. 2021.
- 3) C.R. Qi, L. Yi, H. Su, and L.J. Guibas, "PointNet++: Deep hierarchical feature learning on point sets in a metric space," Proc. Conf. Neural Information Processing Systems, pp.5099–5108, Dec. 2017.
- 4) W.S. David, Multivariate Density Estimation: Theory, Practice and Visualization, John Wiley & Sons, 1992.
- 5) Y. Yao, Z. Luo, L. Shiwei, J. Zhang, Y. Ren, L. Zhou, T. Fang, and L. Quan, "Blendedmvs: A large-scale dataset for generalized multi-view stereo networks," Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1790–1799, June 2020.
- 6) M. Hiradate, K. Ito, T. Aoki, T. Watanabe, and H. Unten., "An extension of patchmatch stereo for 3D reconstruction from multi-view images," Proc. Asian Conf. Pattern Recognition, p.61–65, Nov. 2015.