

3次元空間再構成における3D Gaussian Splatting手法の比較評価

Comparative Evaluation of 3D Gaussian Splatting Methods for Three-Dimensional Spatial Reconstruction

○渡邊 柊介¹, 李 勇鶴², 佐田 達典²*Shusuke Watanabe¹, Yonghe Li², Tatsunori Sada²

Traditionally, SfM/MVS has been widely used as a technique for generating 3D models from multiple photographs. However, in recent years, with advances in machine learning technology, various new techniques have been developed. Among these, 3D Gaussian Splatting (3DGS) has gained attention. It represents objects using overlapping Gaussian ellipsoids instead of the conventional mesh or point cloud representations. While numerous tools capable of handling 3DGS have already been released, research comprehensively evaluating the differences in their output quality remains insufficient. Therefore, this paper conducts a qualitative evaluation of the 3DGS profiles available in PostShot and organizes the characteristics of each algorithm.

1. はじめに

従来、複数の写真から3次元空間を再構成する手法としては、Structure from Motion(SfM)/Multi-View Stereo (MVS)が広く使われていたが、近年、機械学習技術の進歩に伴い、3次元空間をニューラルネットワークを用いて光線ごとに再現するNeural Radiance Fields^[1] (NeRF)やスプラットの重なりにより再現する3D Gaussian Splatting^[2] (3DGS)などの手法が考案されている。その中でも2023年に発表された3DGSは、従来のメッシュや点群による表現の代わりに楕円球体の重なりにより物体を表現しており、注目を集めている。3DGSに関してすでに複数のアルゴリズムが提案されているものの、それらについては十分な比較・評価がされていない。そこで本研究では、複数の3DGSアルゴリズムについて定性評価を行い、アルゴリズムごとの特性の違いについて評価を行うことを目的とする。

2. 3DGSについて

従来のSfM/MVSがメッシュや点群を用いて3次元モデルを表現しているのに対し、3DGSでは、スプラットといわれる半透明の楕円球体で空間を表現するという特徴がある。従来のSfM/MVSでは、まずSfM処理によりカメラ位置姿勢の推定と疎な点群の生成を行い、その後MVS処理によって密な点群を生成する。一方、3DGSではSfM処理を行った後、疎な点群をスプラットに変換し、その色、形状、透明度などに対し最適化学習を行っていく。3DGSは機械学習を利用した3次元空間の再構成手法としてそれまで主流であったNeRFと比較し、計算コストが小さく、再現性が高いとされており、特にガラスや水など半透明の物体や配管など細長い物体、金属など反射のある物体の再現において優れた処理能力をもつとされている。

3. 実験

(1)データ

本研究に当たりモデル構築の対象物として乗用車を選定した。その理由は大きさが比較的小さく全体をカバーする高精度モデルの生成が容易であり、ボディ面の反射、屋根上の細長いアンテナ、窓ガラスなど3DGSの特徴を確認するため優れた対象物であると考えたためである。処理データは様々な角度から対象物の写真を4256×2832画素で629枚撮影した。カメラはNikon D700、レンズはTokina AF AT-X 17mm f/3.5 Asphericalを使用した。元の画像サイズでSfM処理を終えた後、3DGS処理の前の段階で計算負荷を減らすため1600×1065画素にリサイズした。

(2)処理環境

画像に対しEpic Games社製のRealityScanを用いてSfM処理を行い、SfMの処理結果を基に4種類の3DGSアルゴリズムによる3DGS処理を行った。比較対象としたアルゴリズムは、Windows上でGUIベースの操作が可能であり容易に使用可能なツールである、Jawset社製のPostShotにより取り扱うことのできる3種類のほか、2023年に発表されたオリジナルの3DGSアルゴリズムを加えた4種類とした。それぞれの特性をTable 1に示す。処理を行ったパソコンのスペックはWindows11, Intel Core i5 13400, RAM64GB, Nvidia Geforce RTX3090 24GBである。

Table 1. The 3DGS profiles evaluated

プロファイル名	特徴
3DGS	オリジナルの3DGS
ADC(PostShot)	オリジナル3DGSをJawset社が改良したもの
MCMC(PostShot)	マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いたもの
Splat3(PostShot)	Jawset社オリジナルのアルゴリズム

(3)結果

生成されたデータの一部を **Figure 1** に示す。本研究では左側面後部、屋根上アンテナ、フロントガラスの3つの部分について生成データの比較を行った。左側面後部はフローターの発生状況、アンテナは細長い形状の再現性、フロントガラスは透過部分の表現力を比較するため選択した。

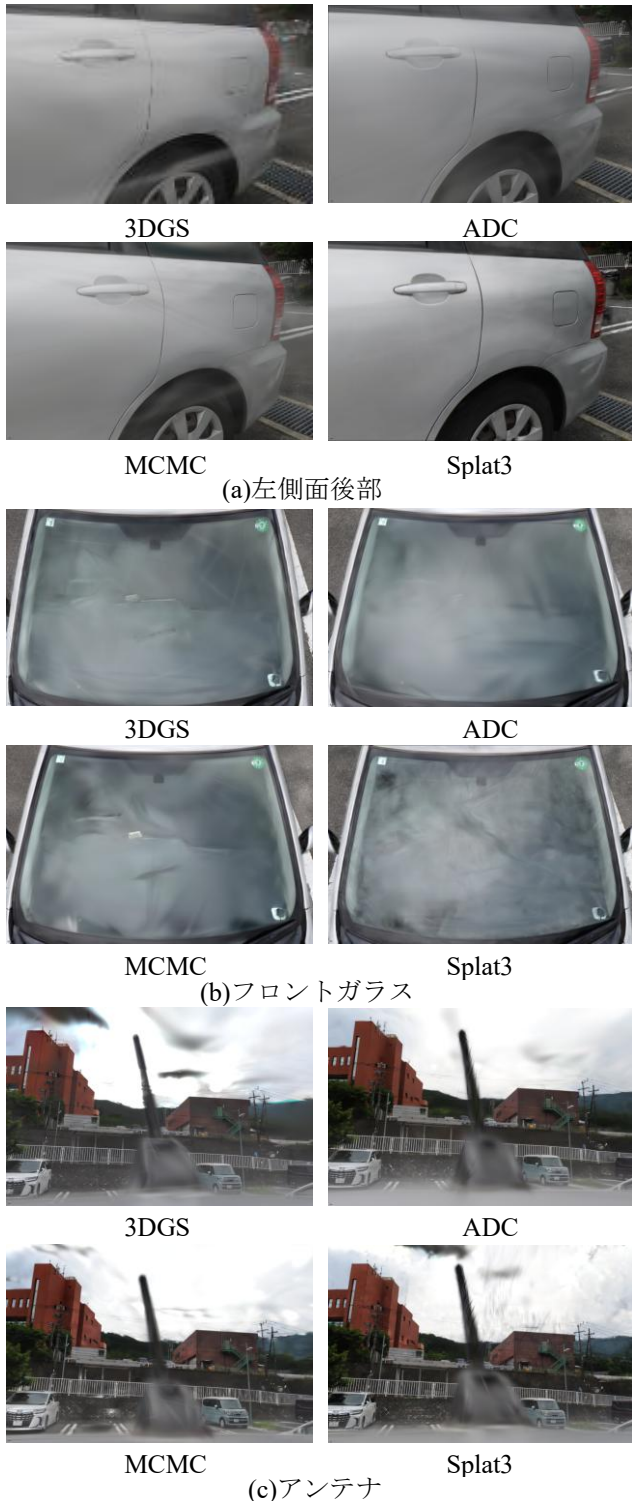


Figure 1. Data generated by each 3DGS algorithm

4. 考察

全体として最も良好な結果が得られたのは MCMC であった。一方でフロントガラスの透過表現についてはオリジナル 3DGS に利があり、フローターの発生が少なかったのは Splat3 であった。また、2 番目に良好な結果が得られたものはオリジナル 3DGS であったが、逆光条件であったアンテナの場合では最もフローターの目立つ結果となった。

これらの結果より、本研究で比較した 4 種のアルゴリズムの中では全体的な生成物の品質としては MCMC が最も優れており、ガラスなどの透過表現を重視する場合にはオリジナル 3DGS、フローターの削減を特に重視する場合には Splat3 を使用するのが好ましいと結論付けられる。

5. おわりに

本研究では、3DGS アルゴリズムの違いにより生じる生成データの品質の差異について明らかにした。目視による定性評価においては、生成されるモデルの品質の評価に差異が生まれるが、すべての条件で特定のモデルが優れているというわけではなく、生成するシーンの特性により、どのアルゴリズムを使用すべきかに違いがあるということが明らかになった。

一方で、本研究で比較対象とした 3DGS アルゴリズムは 4 種類のみであり、さらにそのうち 3 種類は PostShot において使用されているものである。これは既存の 3DGS アルゴリズムに対して網羅的に定性評価を行ったとは言い難い。したがって、今後の展望としてはより幅広い種類の 3DGS アルゴリズムにおいて比較を行うとともに、より客観的で根拠のある結論を得るため、SSIM 指標などを用いた定量的な評価についても取り組んでいく必要がある。

6. 参考文献

[1] Ben Mildenhall, Pratul P. Srinivasan, Matthew Tancik, Jonathan T. Barron, Ravi Ramamoorthi, Ren Ng : “NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis”, ECCV 2020, Volume 12346, pp.405-421, 2020.
 [2] Bernhard Kerbl, Georgios Kopanas, Thomas Leimkühler, George Drettakis : “3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering”, ACM Transactions on Graphics Volume42, Issue4, Article No.139, pp.1-14, 2023.