

再構成された 3D シーンにおける物体の半自動切抜き

松本 悠弥 藤代 一成
慶應義塾大学 理工学部情報工学科

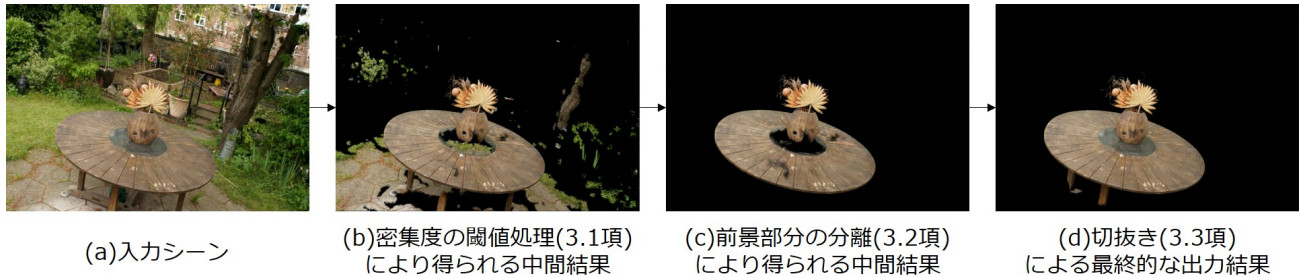


図 1: 入力されるシーンから、前景となる物体を切り抜く提案手法の手順と結果

1 背景と目的

撮影動画からの三次元再構成は、特別な撮影機器を必要としないことから近年注目を集めている。その応用先として extended reality (XR) が挙げられる。現実空間の物体や風景をバーチャル空間で表現する際、XR 体験に必要な要素だけを表現したいという要求から、再構成されたシーンに対する編集が重要視される。

Neural Radiance Fields (NeRF) [1] に代表される三次元 (3D) シーンの陰関数表現は、複雑な 3D シーンの再構成において効果的であるが、シーン内の特定の物体に対する編集が難しい。文献 [2] をはじめとして、NeRF により再構成されたシーンの変形や合成は数多く研究されているが、学習やレンダリングのコストが高く、XR アプリケーションでの実用は未だ難しい。

その一方で、NeRF に代わり登場した 3D Gaussian Splatting (3DGS) [3] は、リアルタイムレンダリングが可能のため XR アプリケーションでの実用が期待される。3DGS ではシーンを描画するために 3D Gaussian (以下、Gaussian と表す) を用いる。各 Gaussian は中心位置、共分散行列、不透明度、球面調和関数を含むパラメータによって定義されており、明示的なデータ構造となっている。

そこで本研究では、3DGS により表現されるシーンを半自動的に編集する。物体の細部まで再現する三次元再構成には、対象物体周辺をさまざまな位置および角度から撮影した動画が入力される。このような入力のもとで、3DGS では、複雑な見えを表現するために、背景部分と比べて前景部分を構成する Gaussian の密度が高くなる性質がみられる。この性質をふまえ、シーン内の Gaussian の密度に注目して、前景物体領域を推定する。本稿では、ユーザの簡単な入力から前景物体を自動で推定し、シーンから切り抜く手法を提案する。

2 概要

本手法の手順の概要を図 1 に示す。本研究では、ユーザによる簡単な領域選択を伴う、半自動的なシーンの切抜きを目指す。まず、入力シーンに対して Gaussian の密度に基づいて切抜きの候補となる Gaussian を抽出する。次に、抽出された Gaussian 集合に対してユーザが対象の物体に含まれる箇所を複数選ぶことで、前景にあたる Gaussian の部分集合を生成する。最後に、生成された集合の領域外部にある Gaussian を消去することで、前景領域を切り抜く。なお本稿で対象とするシーンは、前景となる物体が静的であり、再構成に用いる動画では十分にさまざまな位置および角度から物体周辺が撮影されていると仮定する。

3 手法

本節では、手法を図 1 にそって 3 つの手順に分割して説明する。

3.1 密度に基づく点群消去

入力シーンに対して、Gaussian の密度を計算し、密度が低い領域の Gaussian を消去する。

まず、シーンに含まれる Gaussian の総数に定数を乗じることで閾値を算出する。本稿では、この閾値はシーン内の Gaussian の総数に 10^{-4} 倍を乗じた値に設定した。次に、各 Gaussian G に対して周辺の Gaussian の密度を計算する。Gaussian G の密度は、 G との中心間距離が一定以内となる近傍 Gaussian の個数とする。最後に、計算した密度が閾値を下回る位置にある Gaussian を消去する。

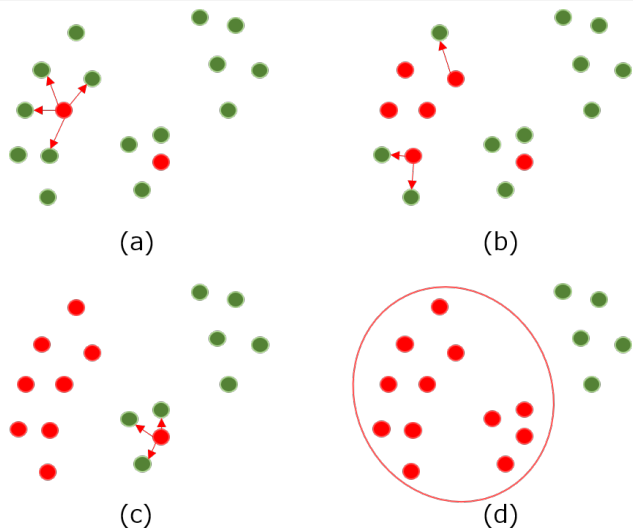


図 2: 近傍探索によるガウシアンの部分集合の抽出手法。緑丸で示すシーン内のガウシアンに対して、(a)の赤丸のようなユーザにより選ばれたガウシアンを起点とし、(d)のようなガウシアンの部分集合を求める過程を表す。起点が一つのみでは(b)のように離れたガウシアンは探索されないが、ユーザは残したい部分を複数箇所選ぶことで、(c)のように新たな起点からも探索が続き、一定距離以上離れた複数のガウシアンも合併できる

3.2 近傍探索による前景部分の分離

3.1項で得られた中間結果に対して、ユーザが前景物体を表す箇所を追加指定することで、その物体の領域全体を構成するガウシアンの部分集合を生成する。

まず、ユーザが切抜きで残したい前景部分を中間結果から複数選択することで、起点となるガウシアンの集合 G_{input} を得る。次に、前景部分となるラベル付きガウシアンの集合 P_{set} へ G_{input} に含まれるガウシアン一つをランダムに加える。そして、 P_{set} に含まれるガウシアンのうち、まだ起点となっていないものをランダムに選ぶ。この新たな起点に対して一定距離以内のガウシアンを探索し、それらを P_{set} に加える(図 2(a))。同様の処理を一定距離以内にあるガウシアンが尽きるまで繰り返す(図 2(b))。 G_{input} に含まれるすべてのガウシアンに対して、以上の計算を繰り返す(図 2(c))。このようにして得られた P_{set} を、前景物体を表すガウシアンの集合とする(図 2(d))。

3.3 前景領域の切抜き

3.2項で導入したガウシアンの部分集合をもとに、前景物体が含まれる領域を計算し、入力シーンから物体を切り抜く。

まず、入力されたガウシアンが属する部分集合の領域を求める。前景部分となるガウシアン集合に対して三次元位置の最大値および最小値を計算することで、座標軸にそった矩形のバウンディングボックスが取得できる。そして、入力シーンに対して、計算した領域の外側にあるガウシアンを消去する。

4 結果

文献 [3] で公開されている訓練済みデータを用いて、本手法の手順で物体領域を切り抜くまでの過程と最終的な結果を図 1 に示す。図 1 からわかるように、3DGS で再構成されたシーンに対して前景となる物体周辺だけが切り抜かれ、その他の背景部分が消去されている。また、図 1(b)、図 1(c)、そして図 1(d) の 3つを比較すると、密集度に基づくガウシアンを消去だけでは余分なガウシアン集合が残っているのに対し、前景部分の分離と領域計算に基づく切抜きの処理を加えることで、前景物体から離れたガウシアンが消去されていることや、領域内部のガウシアンが消去されずに残っていることがわかる。

5 結論と今後の課題

本稿では 3DGS で再構成されたシーンに対して半自動的に物体を切り抜く手法を提案した。これにより、切り抜きたい部分をユーザが選択することで、ユーザの意図する物体をシーンから切り出し、背景から分離できた。

本稿では、問題を簡略化するために、前景物体周辺の領域は、背景部分と比べてガウシアンの密集度が高いという前提を利用した。そのため、シーン背景の特徴点が多い場合や、3DGS での再構成に用いる動画が十分にさまざまな位置および角度から撮影されていない場合には、この前提が崩れ、前景が意図通り切り抜けない傾向がみられる。

今後の課題として、密集度処理における正確な閾値決定や、シーンのより詳細な分解、入力シーンの汎用化などが挙げられる。これに関連して、画像セグメンテーション技術を利用した 3D シーンにおける物体検出手法の導入を検討している。さらに、半自動的に切抜きを用いて、異なるシーンにある物体のバーチャル空間への集約や単一シーンの縮約を目指す。

謝辞

本研究の一部は、令和 5 年度科研費挑戦的研究(萌芽) 23K18468 の支援により実施された。

参考文献

- [1] Ben Mildenhall, Pratul P. Srinivasan, Matthew Tancik, Jonathan T. Barron, Ravi Ramamoorthi, and Ren Ng: "NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis," in *European Conference on Computer Vision (ECCV) 2020*, pp. 405–421, August 2020.
- [2] Clément Jambon, Bernhard Kerbl, Georgios Kopanas, Stavros Diolatzis, Thomas Leimkühler, and George Drettakis: "NeRFshop: Interactive Editing of Neural Radiance Fields," in *Proceedings of the ACM on Computer Graphics and Interactive Techniques*, Vol. 6, Issue 1, Article 1, pp. 1–21, May 2023.
- [3] Bernhard Kerbl, Georgios Kopanas, Thomas Leimkuehler, and George Drettakis: "3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 42, No. 4, Article 139, pp. 1–14, August 2023.