

Gaussian Splatting に適した 3D モデルの半透明表現と統合レンダリング手法の検討 Study of Integrated Rendering Technique for Combining Semi-Transparent 3D Representation with Gaussian Splatting

山崎 賢人[†] 皆川 純[†] 岡原 浩平[†]
Kento Yamazaki Jun Minagawa Kohei Okahara

1. はじめに

3D Gaussian Splatting (3DGS)は三次元ガウス分布（以降ガウシアンと呼ぶ）の集合で構成される三次元空間を、多視点画像から学習し、Splatting と呼ばれる処理により任意視点の画像をレンダリングする技術である[1]。Splatting 処理では、視点からの距離を元にソートされた各ガウシアンを画像に投影し、 α ブレンディングする。

3DGSの後継研究として、ガウシアンで構成される三次元空間を編集する研究開発が活発であり、任意の物体の追加や除去が可能となっている。同技術の活用例としてはインテリアの検討などが考えられるが、物体を完全に削除すると編集以前の空間が知覚できなくなるほか、追加した物体の現実感が高い場合に既存の物体との判別ができなくなる。また、追加物体による遮蔽によって、既存物体が視認できなくなる可能性もある。そこで、いずれの問題に対しても有効な手法として、半透明表現に着目した。上述の活用例を想定すると、半透明表現は硝子のように現実感が高く、周囲に溶け込むものではなく、知覚しやすい人為的な半透明表現が望ましいと考える。

本論文では、ガウシアンで構成された三次元空間に半透明な物体を追加する手法について検討したことを述べる。なお除去物体を半透明化する場合は、対象物体を除去した後、同物体を半透明表現に変換してから再度追加することで実現できる(図1)。

2. 統合レンダリング手法の検討

一般に3Dモデルは、ポリゴンメッシュで表現されることが多い。ポリゴンメッシュのレンダリングでは、各ポリゴンの頂点を画像上に投影し、ラスターライズする。レンダリングの過程でZバッファ法による陰面消去を行う際は、各メッシュの投影時に記録したZ値により前後を判断するため、各画素でメッシュが投影される順番を考慮しなくてよい。ただし、半透明なポリゴンメッシュを扱う場合は、背景となる不透明なポリゴンのレンダリング後に、半透明なポリゴンをソートし、遠いポリゴンから α ブレンディングする必要がある。

3DGSはレンダリング過程でガウシアンをソートするため、統合に際してポリゴンのソートを含むことは許容できる。しかし、前述のとおり、半透明なポリゴンは遠い順で α ブレンディングするのに対し、3DGSは光の減衰を再現したボリュームレンダリングであることから、近い順でガウシアンを α ブレンディングする。ゆえに、ポリゴンメッシュを3DGSのレンダリングパイプラインに統合させることは難しい。また、ポリゴンは、ポリゴンどうしや、ガウシアンと交差する場合に遠近の不整合が生じる課題も想定される。



図1 3Dモデルの半透明表現

異なる手法として、半透明化したポリゴンメッシュからガウシアンの集合への変換も考えられるが、多視点画像からの“見え方”を元に学習することを前提とするガウシアンの集合への変換は難しい。

代表的な三次元表現の一つである点群は、密度によって半透明に見える性質があるため、不透明な点群を投影しても半透明に見える。また、各点は体積を有しないため、メッシュのように交差する課題は比較的小さい。さらに、3DGSの空間を構成する各ガウシアンは位置、色、球面調和関数の係数、不透明度、大きさ、向き、の59パラメータで表すが、これは位置、色などで表現する点群の属性を拡張した形式と捉えることができる。

したがって、点群の位置、色をそのままに、大きさ、向きを0、不透明度を1とし、球面調和関数の係数にダミー情報を入れると、3DGSのレンダリングパイプラインを微修正するだけで、点群とガウシアンの統合レンダリングが可能となる。修正内容は次のとおりである。

1. 投影対象が点の場合、大きさに関わらず投影後の画像上で1pxを有するようになる
2. 点の色は観測方向に依存しないため、球面調和関数を用いた計算はせず、色成分を直接使用する

検討の結果、半透明表現には点群を採用する。次章ではポリゴンメッシュから点群を生成する手法を検討する。

3. 確率的ポイントレンダリングによる点群生成

MipNeRF360データセットのgardenを学習したガウシアンの空間内にStanford-ORBデータセットのteapotを追加したものを図2に示す。前述のとおり、点の密度によって半透明感が変わる。ここでは、ポリゴンメッシュの頂点から10,000点をランダムサンプリングした点群をガウシアンの空間に追加し、2章に記載の方法でレンダリングした。図2(b)より、teapotと机上の花瓶の遮蔽関係が正しく表現できていることが確認できる。

一方、レンダリング時のカメラは透視投影モデルのため、ある距離において適した半透明感であっても、カメラとの距離に比例して投影時の点の密度は上がることから、半透明感は薄れる(図2(a)と図2(c)のカメラ視点と

[†] 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所



図2 点群とガウシアン統合レンダリング結果 (10,000点)



図3 SPBRにより生成した点群とガウシアン統合レンダリング結果

3Dモデルとの距離は約2倍).そこでポリゴンメッシュから適当な密度の点群を生成する手法を検討した.

ポリゴンメッシュから点群を生成して,半透明な表現を実現する手法に確率的ポイントレンダリング(Stochastic Point-based Rendering: SPBR)がある[2].

SPBRでは,ポリゴンメッシュの総面積 S_A と粒子断面積 S_p ,不透明度 α ,リピートレベル L をもとに粒子(点群)の数 n を決定する(式1).生成した粒子は,ポリゴンメッシュの表面上に均等配置する.配置した粒子は L 個のグループに分割し,グループごとに,同一背景色の画像(中間画像)に投影する.このとき陰点消去は行う.生成された L 枚の中間画像を画像平均することで,半透明な画像が生成できる.粒子断面積はカメラとの距離に比例するため,距離が離れると粒子数が減り,一定の半透明感が得られる.最後に画像平均していることから,リピートレベルは透明感の滑らかさに寄与している.

$$n = \frac{\log(1-\alpha)}{\log(1-S_p/S_A)} L \quad (1)$$

図3はSPBRを用いて生成した点群とガウシアンを統合レンダリングした結果である(点群の生成方法については後述). α は0.5, L は30に設定した.カメラの位置姿勢は図2と同じである.図3より,対象物とカメラとの距離が変化しても,透明感が一定であることがわかる.図3(a)のみ,図3(a)時のカメラから見たときのSPBRの結果を右下に追加して載せた.

SPBRを用いた点群の生成フローを図4に示す.SPBRは画像上で半透明感が出るようにレンダリングするものであり,半透明感のある点群を生成するものではない.本論文では,ガウシアンと点群を統合してレンダリングする手法を検討しているため,点群としてデータを得たい.そこでレンダリング結果を三次元空間中に逆投影することで点群に戻す.この戻した点群とガウシアンを統合する.逆投影には平均化した粒子の距離を用いた.背景が黒の中間画像に粒子を投影しているため,黒の画素は点群にせず削除する.また,画素値が黒に近い画素も存在する.これは背景が黒に対しての半透明表現であり,

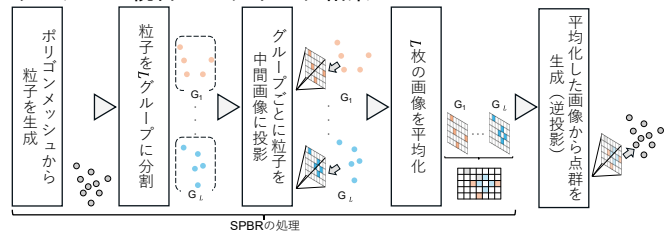


図4 SPBRを用いた点群の生成フロー

SPBRでは,確率的に粒子が生成されなかった画素は背景色に近づくため,半透明感を生む.一方,ガウシアンで表現した三次元空間には背景色があり,中間画像の背景色に近い色を投影すると,空間の背景とのコントラストが点群として再現できない.そこで,画素の強度(Intensity)を不透明度に設定することにした.画素値が黒に近い場合は,不透明度が低くなり,点群通過時の光の減衰と色の蓄積の影響が小さくなる.

4. むすび

本論文では,ガウシアンで表現した三次元空間に点群を追加することで,3DGSに適した3Dモデルの半透明表現と統合レンダリングが実現できることを確認した.点群のレンダリングは3DGSのレンダリングパイプラインとの共通点が多いだけでなく,点群は密度によって半透明に見えるため,ポリゴンメッシュを半透明化するよりもレンダリングが容易である.一方,視点を移動するごとに,画像に投影した際の点群の密度が変化する課題がある.そのため,点群の数および配置をインタラクティブに変更する必要があるが,この処理はリアルタイムレンダリングにおける処理時間のボトルネックとなる.今後は,高速な点群の生成手法を検討する.

参考文献

- [1] B. Kerbl, et al., 3d gaussian splatting for real-time radiance field rendering, ACM TOG, Vol.42, No.4, pp.1-14 (2023).
- [2] S. Tanaka, et al., Particle-based transparent rendering of implicit surfaces and its application to fused visualization, Proc. EuroVis, pp.25-29 (2012).