

被写界深度を考慮したポイントサンプルレンダリング

Point Sample Rendering Taking into Account Depth of Field

安原 暢郎[†]
Nobuo Yasuhara

西田 友是[†]
Tomoyuki Nishita

1. はじめに

近年、3次元形状の新しい表現手法として、物体表面を点集合で表現するポイントサンプルレンダリングが注目を集めている[1][2]。ポイントサンプルレンダリングでは、3次元形状はその表面上に配置した点の集合により表され、点同士の接続情報は必要としない。3次元スキャナ等で実物体の形状測定を行う場合、取得される情報はサンプル点の集合である場合も多く、メッシュ構築の手間を省略できる[2]。このような利点から、ポイントサンプルレンダリングに関するさまざまな手法が開発されつつある[3][4][5]。

本論文では、ポイントサンプルレンダリングの応用手法の一つとして、レンズを通して物体を見たときに物が鮮明に写る距離範囲である被写界深度を考慮したレンダリングアルゴリズムを提案する。視点からの物体への距離とピントを合わせた距離との差の大きさに応じて、物体はぼけて表示される。ポイントサンプルレンダリングを用いることにより、ぼけ現象が効率的に実現されることを示す。

2. Surfel を用いた物体の表示法

Pfister らはポイントサンプルレンダリングのアルゴリズムとして Surfel[1]を発表した。提案手法は Surfel に基づいている。まず、Surfel のアルゴリズムの説明を行い、以後提案手法での拡張の方法を述べる。

2.1 入力データ形式

ポイントサンプルレンダリングでは、物体表面に配置した点をプリミティブとしたデータを用いる。各点は物体形状を詳しく表せるだけの適した間隔で配置される。各プリミティブの保持する情報は、位置・法線・色であり、点同士の接続情報は必要としない。物体表面を隙間なくレンダリングするためには、スクリーンに点プリミティブを投影する際に、その点を中心に適切な大きさの半径を持った円板を投影することで対応する。このため、隣接する点プリミティブとの最大距離を事前に求め保持しておく。

Surfel アルゴリズムでは点プリミティブは八分木に格納され、階層的なデータ構造をもつ。八分木の各層では異なる解像度でサンプリングされた点プリミティブが格納される。この際、プリミティブが重複して格納されないよう、最高解像度でサンプリングされている、木構造の葉以外のレベルでは、各プリミティブは葉のレベルのプリミティブへのリンクを保持し、これを参照することで情報を得る。階層的木構造を作成することにより、与えられた視点情報により適したレベルを投影することで効率のよい LOD(Level Of Detail)を実現することができる。

2.2 点プリミティブの投影

2.1 で作成した八分木データ構造を用いてレンダリング

を行う。木構造の一番上(低解像度)のレベルから探索をし、視点からの距離により適した解像度のレベルを選択して、点プリミティブをスクリーンに投影する。通常は 1 ピクセルあたりほぼ 1 つの点が投影されるようなレベルが選択される。

点プリミティブがスクリーンに投影される際、まず Z バッファに点プリミティブが持つ円板を描画する。円板は 2 次元平面に投影されることにより、視点方向とその点が持つ法線に対応した形の楕円となって投影される。この楕円が投影される各ピクセルにおいて、Z バッファの値と奥行き値が比較され、点プリミティブの可視性が判断される。可視である点プリミティブについては、スクリーンに投影した円板の中心のピクセルにプリミティブへのリンクを与える。次節の Image Reconstruction においてスクリーンの最終的な色値が決定される。

2.3 Image Reconstruction

2.2 において、可視な点プリミティブは Z バッファへのデプス値とともにスクリーンへ投影されている。円板が投影されているが、点プリミティブへのリンクを持っていないピクセルは hole と名づけられ、近隣の点プリミティブへのリンクを持つピクセルから色値を補間される。この際、参照する範囲はプリミティブの持つ円板の半径をもった、そのピクセルを中心とする円である。補間の際にはガウシアン関数が用いられ、スクリーン上の距離に対応する重み付けがなされて色値が計算される。この補間に用いる円を Reconstruction Filter と名付ける。

3. 被写界深度の実現

3.1 被写界深度

一般に、レンズを通して物体を見たときに、物体が鮮明に写る距離範囲を被写界深度という。被写界深度は、絞りの大きさ、ピントを合わせる被写体の距離、レンズの焦点距離によってさまざまに変化する。本稿では、Surfel のアルゴリズムに、ピントを合わせる距離、被写界深度の深さという 2 つのパラメータを追加することにより被写界深度を考慮したぼけのある画像を生成する。

3.2 Surfel アルゴリズムの拡張

画像処理の手法として、2 次元画像にガウシアンフィルターを適用することにより画像をぼかす手法がある。この手法を用いて被写界深度を表現する。

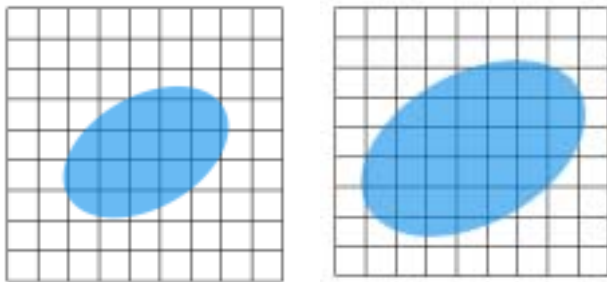
Surfel のレンダリングアルゴリズムでは、投影時に点プリミティブの視点からの距離を知ることができる。2.2 のアルゴリズムを適用する際に、視点からの距離に応じて投影する円板の半径の値 r を変化させる。点プリミティブの視点からの距離を l 、ピントを合わせる距離を f 、被写界深度の深さを d とし、Surfel のオリジナルアルゴリズムで投影する円板の半径の値を r_0 とすると、各プリミティブに対する r の値は以下の式で決定する。

[†] 東京大学
The University of Tokyo

$$r = r_0 + d|l - f| \quad (1)$$

被写界深度を深くする場合は d の値を小さく、浅くする場合は d の値を大きく設定する。Reconstruction Filter の半径にもこの r の値が用いられる。投影する円板の半径を大きくして、各点プリミティブの色値の影響範囲を重ねあわせ、ガウス関数の重み付けによって hole の色値の補間することによって、画像にガウシアンフィルターを適用するのと同様のぼけ効果を得ることができる。Image Reconstruction では、ぼかしの度合いを変化させるため、 r の値に合わせてガウス関数の標準偏差の値を変える。 r の値が大きい場合はガウス関数の標準偏差の値を大きくして、色値の補間の際に遠くのピクセルの影響を受けるようにする。

以上の手法を用いた場合、問題が生じる部分として、異なる奥行き値を持つ複数の物体が干渉しあうピクセルの色値の補間がある。そのようなピクセルでは、参照する点プリミティブによって、使用するガウシアンフィルターが異なるため、単純に 2.3 の方法による hole の色値の補間が行えない。これに対応するため、以下のように 2 枚の Z バッファを用いて点プリミティブの投影を行う。図 1 に示すように、1 枚目の Z バッファには円板の半径の大きさを式(1)の r_0 、2 枚目には r として投影を行う。2 枚のバッファで異なる値を持つピクセルは複数の物体が干渉しているピクセルである。



(a) 半径 r_0 の円板を投影 (b) 半径 r の円板を投影

図 1 2 枚の Z バッファへの円板の投影。(a), (b) に異なるサイズの円板を投影する。

2 枚の Z バッファの値が異なるピクセルにおいては、近隣の点プリミティブから色を補間する際には、参照している点プリミティブの奥行き値を調べ、その値に対応するガウシアンフィルターを用いて色値を補間する。

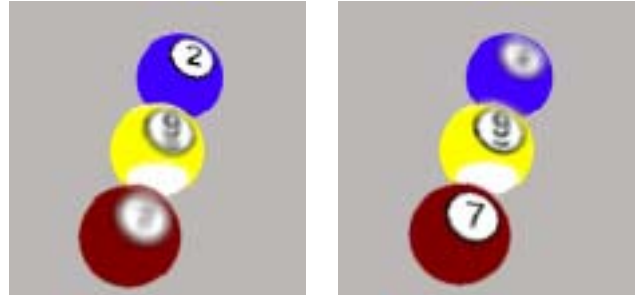
4. 適用例

以上のアルゴリズムを適用し、生成した画像を以下に示す。実装環境には Windows Pentium III 1.2GHz のマシンを使用し、レンダリングには OpenGL を用いた。

図 2 は異なる距離にピントを合わせてレンダリングした例である。ピントを合わせた物体を鮮明に表示したまま、他の物体をぼかして表示することが可能であることがわかる。図 3 は同じ距離でピントを合わせ、被写界深度を変えた例である。被写界深度を変えることによって、ピントのあつてない地点のぼけの度合いを変えることが可能であることがわかる。

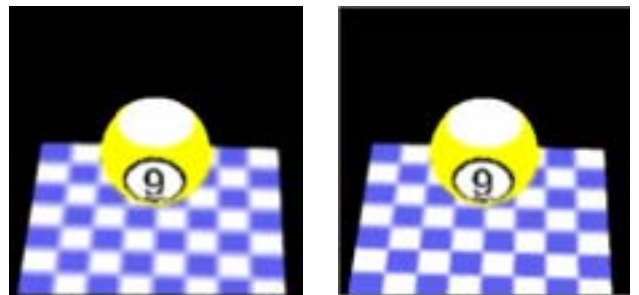
図 2(a)において、画像解像度は 400×400 、点プリミティブの数は約 97000 であり、フレームレートは焦点効果を適用しない状態で 0.98fps、適用した状態では 0.86fps であっ

た。提案手法では、ぼけの効果にかかる時間はぼかしの度合いに依存するが、効率的にぼけの効果を生み出しているといえる。



(a) (b)

図 2 異なる焦点距離を与えてレンダリングした例。(a)では奥、(b)では手前の物体にピントを合わせている。



(a) (b)

図 3 異なる被写界深度でのレンダリング例。(a)では被写界深度を浅く、(b)では深く設定している。

5. まとめ

ポイントサンプルレンダリングの手法である Surfel のアルゴリズムを拡張し、被写界深度を考慮した物体の表示を可能にした。本手法は Surfel のアルゴリズムを自然な形で拡張し、効率よくぼけの効果を生成している。

今後の課題として、実際のレンズモデルとの対応を取ることが挙げられる。今回はぼけの効果を得ることを主眼に置き、レンズモデルは式(1)による単純なものに設定しているが、より現実的な結果を得るためには式(1)を実際のモデルに即したものにすることが必要である。

参考文献

- [1] H. Pfister, M. Zwicker, J. V. Baar, M. Gross, "Surfels: Surface Elements as Redering Primitives," *Proc. SIGGRAPH 2000*, pp. 335-342 (2000).
- [2] S. Rusinkiewica, M. Levoy, "Qsplat: A Multiresolution Point Rendering System for Large Meshes," *Proc. SIGGRAPH 2000*, pp.343-352 (2000).
- [3] G. Shaufler, H. W. Jansen, "Ray Tracing Point Sampled Geometry," *Proc. Eurographics Workshop on Redering 2000*, pp.319-328 (2000).
- [4] M. Zwicker, H. Pfister, J. V. Baar, M. Gross, "Surface Splatting," *Proc. SIGGRAPH 2001*, pp. 371-378(2001).
- [5] M. Pauly, M. Gross, "Spectral Processing of Point-Sampled Geometry," *Proc. SIGGRAPH 2001*, pp.379-386 (2001).