

不均一な半透明物体の描画のためのTranslucent Shadow Mapsの拡張

持田 恵佑[†] 岡本 翠[†] 久保 尋之^{††} 森島 繁生^{†††}早稲田大学[†] 奈良先端科学技術大学院大学^{††} 早稲田大学理工学術院理工学総合研究所^{†††}

1. はじめに

CGにおける人間の肌や歯、大理石などの半透明物体表現は、写実的CGにおいて重要である。しかし半透明物体における表面下散乱現象が及ぼす光の影響を物理的に正しく計算し、描画を行うためには、計算コストの高い手法[1][2]を用いる必要がある。したがって、ゲームなどのリアルタイムで動作することが求められるシーンにそのまま適用することは困難である。そこで、表面下散乱現象を近似することで、半透明物体の高速描画を実現する様々な手法が研究されてきた。

Dachsbacherらは、シャドウマップ[3]を用いることで、物体の厚みに依存しやすい半透明物体の高速描画をおこなう Translucent Shadow Maps (TSM)[4]を提案した。TSMには、凹形状物体で正しい厚みが得られないという問題があるが、Kosakaら[5]は誤差マップを作成することでこれを改善した。しかし、どちらの手法も、物体に空洞や異なる媒質が含まれるような場合には、それらの影響を考慮することができず、不自然な描画となってしまう問題がある。

本研究では、物体の三次元形状をメッシュデータのボクセルサイズによって近似する。そして、表面ボクセル間の厚みを事前計算したテクスチャを使用することで、内部に不均一な構造を含むような半透明物体においても、破綻のない高速な描画が可能となるよう TSM の拡張をおこなう。

2. 提案手法

本手法は、事前計算処理部分とランタイム処理部分の2つに分かれる。図1に提案手法のフローチャートを示す。事前計算処理では、まず物体のメッシュ形状をボクセル近似し、物体形状の離散化をおこなう。次に、全ての表面ボクセルのペアに対し、厚みの事前計算をおこなう。ランタイム処理では、事前計算した厚みを参照することで、減衰関数から描画色を決定し、描画をおこなう。

2.1 メッシュデータのボクセルサイズ

Look Up Table (LUT)と呼ばれるテクスチャに対象物体

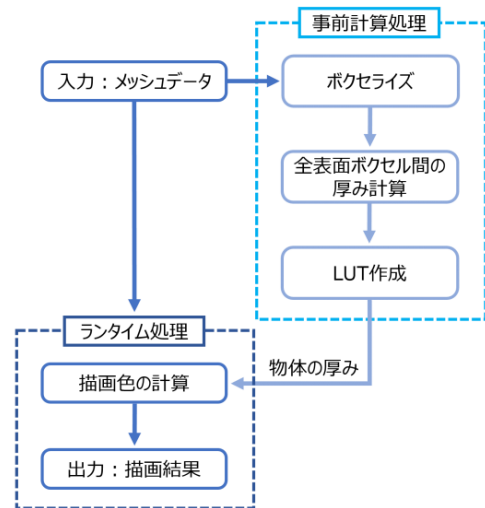


図1 提案手法のフローチャート

の厚みを事前に格納するため、図2に示すようにメッシュデータのボクセルサイズをおこなう。頂点数の多い物体ではLUTに使用するメモリ容量が膨大になるため、実用的ではない。そこで、ボクセルサイズを用いてメッシュデータとして存在する物体の形状をボクセルに近似することで、物体の厚みを離散化し、LUTに格納する。

2.2 表面ボクセル間の厚み情報取得

物体厚みを事前計算により取得する。概要を図3に示す。まず物体表面に存在するボクセルを抽出し、表面ボクセルに番号付けをおこなう。また、元のメッシュデータの頂点が、何番の表面ボクセルに属するか記述もおこなう。番号付けをしておくことで、GPUによる描画時に、LUTの参照すべきピクセルとの対応付けが容易になる。

次に、2つの表面ボクセルの重心座標間を結ぶ線分上に存在する物体の厚みを、媒質ごとに取得する。厚みの取得は、全ての表面ボクセル間に対しておこなう。取得した厚みはカラー変換し、LUTへと格納する。

2.3 描画色の計算

描画色の計算に際し、入射光に対する減衰関数を以下のように定義する。まず、入射光の散乱には粒子の散乱モデルを仮定し、物体内に進入した光の粒子が距離 x だけ進んだ地点で散乱をおこす確率を $P(x)$ 、平均自由行程を散乱係数の逆数 s^{-1} と定義すると、粒子の散乱確率は

$$P(x) = 1 - \exp(-sx) \quad (1)$$

“Extended-Translucent Shadow Maps for Inhomogeneous Translucent Objects”

[†]Keisuke MOCHIDA, Midori OKAMOTO, Waseda University

^{††}Hiroyuki KUBO, Nara Institute of Science and Technology

^{†††}Shigeo MORISHIMA, Waseda Research Institute for Science and Engineering

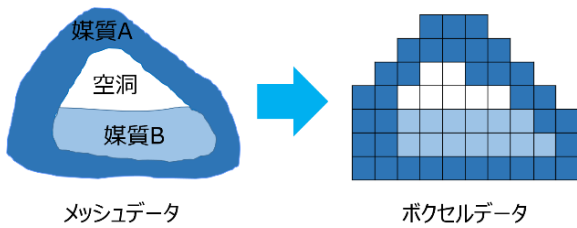


図2 ボクセライズ

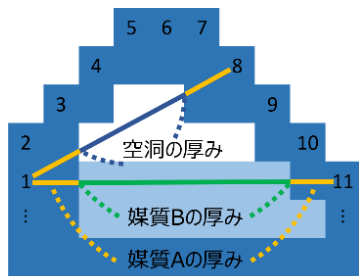


図3 表面ボクセルのナンバリングと厚み取得

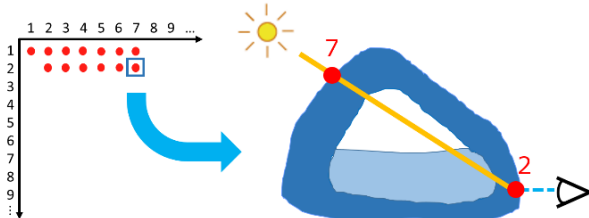


図4 LUTを用いた厚みの取得

となる. したがって, 強度 I_{in} の入射光が物体内を距離 d だけ進み物体外に出射するとき, 入射光強度は距離に対して指数関数的に減衰する. このとき出射光強度 I_{out} は,

$$I_{out} = I_{in} \exp(-sd) \quad (2)$$

により計算することができる. ここで, 距離 d は物体の厚みと同義であり, 図4に示すように, LUTを参照することで取得することができる. また, 本手法では空洞部での光の減衰量は微小であり, 無視できると仮定した. また, 媒質境界部による影響も無視できるものとし, 計算をおこなった. 出射光強度 I_{out} をRGB値ごとに計算することで, 描画色を決定し, 描画をおこなう.

3. 結果

内部が空洞で下半分が赤い液体で満たされたボトルの形状モデルを図5(a)に示す. また, 物体後方から点光源で照らした際の提案手法による描画結果と Dachsbacherらの手法による描画結果をそれぞれ図5(b),(c)に示す. メッシュモデルの頂点数は15648vtx, 提案手法でのボクセル分割数は $50 \times 50 \times 50$ である. 提案手法, Dachsbacher



(a)形状モデル (b)描画結果 (提案手法) (c)描画結果 (Dachsbacher et al.)

図5 内部の一部が液体で満たされたボト

らの手法による描画でのFPSはそれぞれ900, 1125となった. なお, 実行環境はCPU: Intel Core i5-4200M 2.5 GHz, GPU: Intel HD Graphics 4600, DirectX 11である.

Dachsbacherらの手法では内部の空洞や媒質の違いが考慮されないのに対し, 提案手法では事前に作成したLUTを参照することで, それらの影響を考慮した描画をおこなうことが可能である. また, 本手法ではボクセライズによる厚みの離散化をおこなっているため, 量子化誤差が生じることがわかる.

4. まとめと今後の課題

本研究では, 物体の内部構造を含めた3次元形状を, メッシュデータのボクセライズにより把握し, 表面に存在するボクセル間の厚みを事前計算しておくことで, 不均一な内部構造を持つ半透明物体の高速描画を実現した.

今後の課題としては, 内部の空洞や媒質境界部による光の散乱現象への影響をより厳密に考慮することや, ボクセライズによる量子化誤差の改善などが挙げられる.

参考文献

- 1) Pharr, M. and Hanrahan, P.: Monte Carlo evaluation of non-linear scattering equations for subsurface reflection, Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, ACM, pp.75-84 (2000).
- 2) Jensen, H. W. and Christensen, P. H.: Efficient simulation of light transport in scenes with participating media using photon maps, Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, ACM, pp.311-320 (1998).
- 3) Williams, L.: Casting curved shadows on curved surfaces, Proceedings of the 5th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, ACM, pp.270-274(1978).
- 4) Dachsbacher, C. and Stamminger, M.: Translucent Shadow Maps, Rendering Techniques 2003, pp.197-201(2003).
- 5) Kosaka, T., Hattori, T., Kubo, H., and Morishima, S.: Rapid and Authentic Rendering of Translucent Materials Using Multi-view Depth-Maps, SIGGRAPH Asia 2012 Posters, No.45, ACM, (2012).