

## 輝度の最大寄与値を用いた半透明物体のリアルタイムレンダリング

小澤 禎裕†

† 早稲田大学

岡本 翠†

‡ 早稲田大学理工学術院理工学総合研究所

森島 繁生‡

## 1 はじめに

近年、ハードウェアの性能や描画技術の向上により、様々な質感を高速に描画することが可能となった。しかし、半透明物体のリアルタイムな描画は、膨大な計算コストがかかるため困難である。半透明物体に入射した光の一部は、物体表面で反射されずに内部に浸透する。浸透した光は内部で複雑に散乱した後、入射点と異なる点から再び出射する。この現象を表面下散乱と呼ぶ。

表面下散乱を近似的に扱うことで、半透明物体を高速描画する手法が数多く提案されている。Jensen ら [1] はダイポールモデルを用い、半透明物体の高速な描画を実現した。しかし、リアルタイムな描画を行うためには、依然として高コストである他、均一な材質からなる物体にしか適用することができない。また、拡散方程式を用いることで、物体内部での光の広がりを記述する手法も提案されている。Wang ら [2] は物体を四面体で分割し、四面体単位で拡散方程式を解くことによって、不均一な材質から成る半透明物体を高速に描画した。しかし、四面体への分割を高速に行うことは困難であるため、トポロジーの変化を伴う変形を扱うことができない。

本手法では、光が透過する経路を近似的に扱うことで、半透明物体のリアルタイムな描画を行う手法を提案する。半透明物体上のある点Pに対して、点Pに到達する光の経路のうち、最も寄与の大きい経路を取得し、その経路を用いて輝度値を決定する。この時、描画オブジェクトに張り巡らせたグラフに対して、単一始点最短経路問題を解くアルゴリズムであるダイクストラ法を適用することで、一度の計算で全ての頂点の輝度を取得する。また、本手法では、一連の描画処理を全てリアルタイムで行うため、光源・カメラの移動や物体の変形等を動的に扱うことが可能である。

## 2 ダイクストラ法

ダイクストラ法 [3] とは、ノードと、それをつなぐエッジからなるグラフにおける、最短経路を取得するアルゴリズムの一つである。グラフの例を図1に示す。円で示された部分がノード、線がエッジを表し、それぞれのエッジは非負の移動コストを持つ。図1のグラフにお

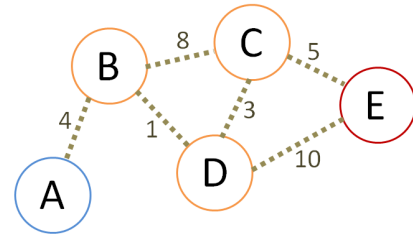


図1: ダイクストラ法

ける、スタートノード A からゴールノード E への最短経路は A → B → D → C → E となるが、以下の手順によって、この経路を取得することができる。

[操作 1] ゴールノード F に任意の数値 a を書き込む。ゴール地点は複数設定することも可能である。以降この処理を、グラフの初期化と呼ぶものとする。

[操作 2] 直前の操作で書き込みを行ったノード全てについて以下の操作を行う。直前で書き込んだ値が n の場合、エッジでつながれた全てのノードに対して  $n+d$  を書き込む。ただし、書き込むノードに、既に  $n+d$  より小さい値が書き込まれている場合は、書き込みを行わないものとする。また、 $d$  はエッジが持つ移動コストを表す。

[操作 3] 書き込みが行われなくなるまで、操作 2 を繰り返す。このとき、スタートノードに書き込まれた数値が、最短経路における距離を表す。

## 3 提案手法

本手法では、近似的な表面下散乱の記述を行うため、ダイクストラ法を用いて光の入射点と出射点との最短経路を取得し、その距離に応じて透過光を指数関数的に減衰させることで、寄与の最も大きい透過光を計算する。実装に際して以下を行う。第一に、描画対象に対して適切なグラフの作成を行う。本手法では、ソリッドボクセライズを用いて、グラフを動的に作成する。第二に、作成されたグラフに対して、適切な初期化を行う。物体表面上の、光源によって照らされるノードを、入射光量に応じた数値で初期化する。ここで、リフレクティブシャドウマップ [4] を用いることで、ラスタライズを用いた高速なノード初期化が可能である。

## 3.1 グラフ作成と初期化

ボクセライズとは、メッシュデータを空間格子状に分割することで、オブジェクトを立方体の集合として表現

Real-time rendering of translucent material using Dynamic Programming  
†Waseda University  
‡Waseda Research Institute for Science and Engineering

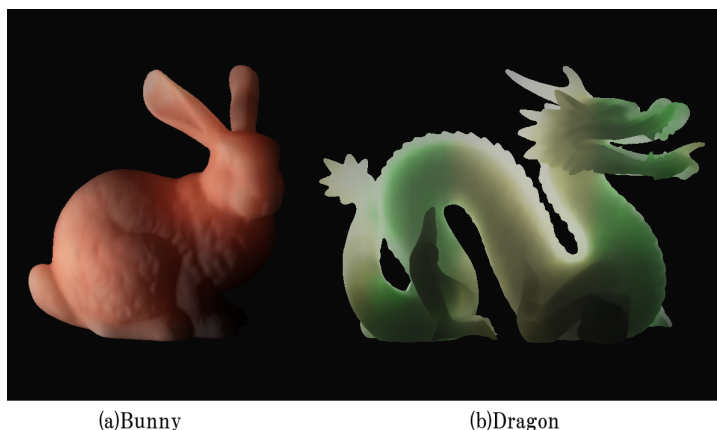


図 2: 描画結果



図 3: 正解値との比較

する手法である。作成された各ボクセルをノードとし、それに隣接するボクセルに対してエッジを作成することで、グラフを生成する。次に、作成したグラフの初期化を行う。本手法では、描画対象点をスタートノード、光の入射点をゴールノードとする。そこで、ワールド座標および、法線とライトベクトルの内積を書き込んだ4チャンネルのシャドウマップを作成し、マップから、ライティングが行われるノードを取得することで、入射光量に対応した数値で初期化を行う。

### 3.2 輝度計算

グラフの初期化をした後、ダイクストラ法を用いて全てのノードに値を書き込む。この時、エッジが持つ移動コストには消散係数を用いた。消散係数は、光の透過のしにくさに対応するパラメータであるため、ノードに書き込まれた値は、光の入射点までの最短光路長とみなすことができる。よって輝度値は、入射光量をノードの値で指数関数的に減衰させた値とした。

## 4 描画結果

本手法を用いた描画結果を図2に示す。実行環境はメモリ 8GB, Intel core i5-2450M 2.60GHz CPU である。図2では、Bunny と Dragon の2つのモデルの描画を行った。Bunny のモデルでは、均一な材質からなる半透明物体に対して、左方から平行光を照射した。Dragon のモデルでは、不均一な半透明物体に対して、後方から平行光を照射した。描画速度はともに、10fps である。

次に、本手法の妥当性を評価するため、パストレーシング法を用いて描画した正解値との比較を行った結果を図3に示す。(a)が提案手法、(b)が正解画像である。図3では、大理石からなる仏像の描画を行い、消散係数 [1] は大理石を仮定した。パストレーシングによる描画時間は数時間程度かかるのに対して、本手法の描画速度は

10fps 程度である。本手法を用いた場合でも、仏像の腕などの光学的に薄い部分では輝度が高く、腹や台座などの光学的に厚い部分は輝度が低くなっており、正確な描画が可能であることがわかる。

## 5 まとめと今後の課題

本手法では、ソリッドボクセライズによって作成したグラフにダイクストラ法を適用することで、半透明物体の描画高速を行った。描画結果は、正解画像に近くなっており、本手法が有効であることがわかる。しかし、描画速度は、リアルタイムレンダリングに必要なとされる速度に達していない。その原因として、CPU と GPU の両方を用いて描画の計算を行っていることによる、両者間での不必要なデータ転送が挙げられる。よって、一連の処理を GPU で行うことによる高速化が考えられる。

## 参考文献

- [1] Henrik Wann Jensen, Stephen R Marschner, Marc Levoy, and Pat Hanrahan. A practical model for subsurface light transport. In *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 511–518. ACM, 2001.
- [2] Yajun Wang, Jiaping Wang, Nicolas Holzschuch, Kar-tic Subr, Jun-Hai Yong, and Baining Guo. Real-time rendering of heterogeneous translucent objects with arbitrary shapes. In *Computer Graphics Forum*, Vol. 29, pp. 497–506. Wiley Online Library, 2010.
- [3] Edsger W Dijkstra. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische mathematik*, Vol. 1, No. 1, pp. 269–271, 1959.
- [4] Carsten Dachsbacher and Marc Stamminger. Reflective shadow maps. In *Proceedings of the 2005 symposium on Interactive 3D graphics and games*, pp. 203–231. ACM, 2005.