

## 光源の移動に対応した光路再利用高速大域照明

## A global illumination algorithm for movable light sources reusing precomputed light paths

楽 詠灝<sup>†</sup> 尾上 耕一<sup>‡</sup> 西田 友是<sup>†</sup>Yong-Hao Yue<sup>†</sup> Koichi Onoue<sup>‡</sup> Tomoyuki Nishita<sup>†</sup>

## 1. はじめに

3D シーンの写実的なレンダリングは、照明設計、映画作成、ゲーム、バーチャルリアリティなど広く利用されている。大域照明の計算は、写実的なレンダリングには必要不可欠である。写実的な画像の生成において、フォトンマッピング法とファイナルギャザリングと呼ばれる手法の組み合わせは広く利用されるようになってきた。写実的な画像の生成は可能であるものの、この組み合わせ手法はたくさんの光線を追跡する必要があるため、計算時間が長い。これを解決するため、我々はこの組み合わせ手法における光線追跡を前処理することで、レンダリングの高速化を図る。我々の手法を用いることにより、光源または視点が動くときにおいても効率的にレンダリングすることが可能となる。

## 2. 大域照明を考慮したレンダリング手法

本研究と関連のある大域照明を考慮してレンダリングする手法として、フォトンマッピング法[1]があり、この変形版であるグリッド構造を用いるフォトンマッピング手法[2]を本手法ではベースとする。本手法ではさらにファイナルギャザリング[3]、放射照度キャッシュ法[4]をベースにする。この節ではこれらの手法を概観する。

## 2.1. フォトンマッピング法

フォトンマップ法は、二段階の計算により大域照明を計算する。一段階目では、光源からエネルギーを持つ粒子（フォトン）をシーンに放射し、それらの粒子の、シーン内の面との反射や屈折をシミュレーションする。二段階目では、実際に与えられた点での輝度を求めるため、その点の周りで粒子を近傍探索する。フォトンマップ法による計算では、少ない粒子数の下ではしばしば低周波ノイズが現われ、画質向上のため、しばしば後述のファイナルギャザリングと組み合わせられる。

フォトンマップ法の問題点としては、他に照明環境の変化において、粒子のシミュレーションを再計算する必要性があり、また近傍探索はしばしば非常に時間がかかる。後者の問題を克

服するため、グリッドを用いて粒子のエネルギーを直接書き込むことで、近傍探索をせずに放射照度を計算できる。

## 2.2. 放射照度キャッシュ法

ファイナルギャザリングは、画質向上のため各計算点で輝度を直接求める代わりに、それらの点から様々な方向に輝度をサンプリングする光線を放射し、各光線が面と交差する位置でフォトンマップ法から輝度を求める。しかし、その計算のため多くの光線を追跡する必要があり、非常に時間がかかる。放射照度キャッシュ法では、すべての点でファイナルギャザリングを行う代わりに、予めまばらにいくつかのサンプル点で放射照度を求めておいて、他の場所では補間を用いる。

## 3. 改良アルゴリズム

グリッドを用いたフォトンマップ法、ファイナルギャザリング、放射照度キャッシュ法を組み合わせた場合、計算においては多量の光線を追跡する必要があり、計算時間が長い。しかし、物体が動かないという制約を課すことによって、光線の追跡は前処理によって再利用できるようになる。

## 3.1. ファイナルギャザリング光線の再利用

ファイナルギャザリング光線の交差情報は、物体が固定されていれば再利用できる[5]。視点移動時における新たな光線の交差判定を行わないようにするため、あらかじめシーン全体に対して、ファイナルギャザリングを計算する点を求めておき、それらの点における光線の追跡を前処理して記憶する。これらの計算点を求めるには、まず、x, y, z 軸それぞれに平行な直線をシーン全体に対して一様に配置し、それらの直線とシーン内の物体との交点を候補点として選ぶ。次に、各候補点について、他の候補点の放射照度によりその点での放射照度が補間できる場合には、その点を候補点から除外することにより、計算点の集合を得る。

## 3.2. フォントレーシングにおける光路再利用

改良アルゴリズムでは、実際の光源と粒子の光路を切り分けて考える。前処理では、シーン内に引けるさまざまな光路をサンプリングして、交差計算を行う。レンダリング時には、実際の

<sup>†</sup> 東京大学, The University of Tokyo

<sup>‡</sup> プロメテック・ソフトウェア株式会社, Prometech Software, Inc.

光源と前処理した光路とをつなぎ、各粒子のエネルギーを求める(図1参照)。

前処理では、シーン中の面上のさまざまな点からランダムな方向に光路をサンプリングしていく。光路中における各反射においては、その反射係数を計算することができ、各フォトンに対して保存する(図1(a))。

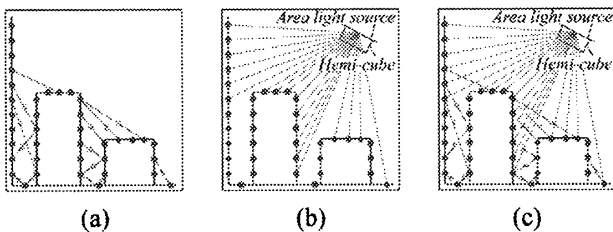


図1. 光路再利用アルゴリズムの概要

レンダリング時には、光源から見たシーンをレンダリングすることによって光源から可視なフォトンを見つける(図1(b))。光源と可視フォトンをつなぐことにより、シーン中の実際の光路をシミュレーションしたことになる(図1(c))。各可視フォトンのエネルギーを計算することにより、光路中の他のフォトンのエネルギーは反射係数の乗算により求まる。

面光源の計算の場合、光源中より数点選び出し、各点についてシーン及びフォトンにヘミキューブ上にレンダリングすることにより、可視フォトンを探す。エネルギーの分配の際には、ヘミキューブ上の各小領域(ピクセル)の相当する立体角を考慮する。

#### 4. 計算結果およびまとめ

改良アルゴリズムによる室内シーンのレンダリング結果の例を図2に示す。図2(a)は視点移動時、図2(b)は光源移動時、図2(c)は双方を移動したときのレンダリング結果である。

グリッドを用いたフォトンマップ法、ファイナルギャザリング、放射照度キャッシュ法を組み合わせた手法による間接光の計算時間と、改良アルゴリズムによる間接光の計算時間を表1に示す。

表1. 計算時間の比較

	前計算時間	視点移動	光源移動	消費メモリ
既存手法	なし	7.4s	203.4s	117MB
提案法	40.0s	1.3s	5.4s	353MB

表1の結果を比較すると、提案法は視点移動に関して約6倍、光源移動に関しては約40倍高速化できていることがわかる。

提案法による計算結果の誤差について述べる。提案法でレンダリングした画像の計算誤差を図3に示す。

シーンの隅の部分に関してやや計算誤差が大きくなっているが、隅やエッジで発生する計算

誤差は、多くの他の大域照明計算法にも現われているものであり、図3に示す誤差は妥当な範囲内であるといえる。

本稿ではファイナルギャザリングとフォトンの追跡の双方において、光線の追跡を前処理し、レンダリングを効率的に行う手法を開発した。

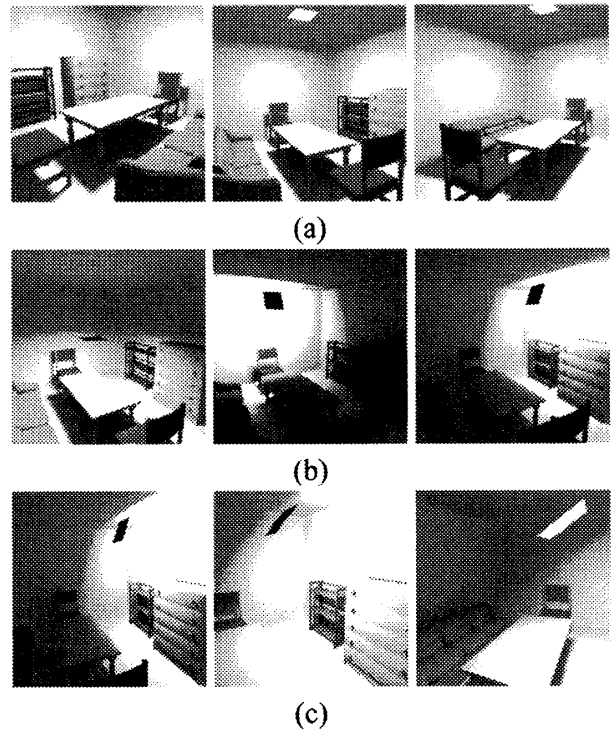


図2. 室内シーンのレンダリング結果

結果画像の解像度は512x512ピクセルであり、フォトンマップ法において約700万のフォトンを追跡するのと同様な計算を行っている。

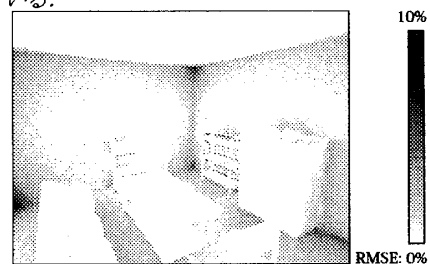


図3. 誤差評価

#### 参考文献

- [1] H. W. Jensen, "Global illumination using photon maps," Proc. Eurographics workshop on Rendering techniques '96, pp. 21-30, Springer-Verlog, 1996.
- [2] D. Hansson, N. Harryson, "Fast photon mapping using grids," M. thesis, Chalmers University of Technology, 2002.
- [3] D. Lischinski, F. Tampieri, D. Greenberg, "Combining hierarchical radiosity and discontinuity meshing," Proc. SIGGRAPH '93, pp. 199-208, ACM Press, 1993.
- [4] G. Ward, F. Rubinstein, R. Clear, "A ray tracing solution for diffuse interreflection," Proc. SIG-GRAPH '88, pp. 85-92, ACM Press, 1988.
- [5] Yue, 尾上, 西田, "改良放射照度キャッシング法を用いた大域照明の計算", 情報処理学会, GCAD研究会, 2005-CG-118, pp. 31-36, 2005