

格子構造を参照する適応的フォトンマッピング

渡邊 理也[†] 藤代 一成[‡] 大野 義夫[‡]

[†]慶應義塾大学 大学院 理工学研究科 開放環境科学専攻

[‡]慶應義塾大学 理工学部 情報工学科

1 背景と目的

CG において大域照明の正確な計算は、シーン全体のリアリティの演出にひじょうに重要な役割をもつ。特に半透明オブジェクトが存在するシーンでは、集光現象による模様が発生する。通常この集光模様を含むシーンの表現にはフォトンマッピング法を用いて集光模様の表現や大域照明を計算するが、精度の良い結果を得るためには多大な計算時間を必要とする。

そこで本研究ではフォトンマッピング法に対し、格子構造によるデータ参照を用いて処理時間の短縮を図ると同時に、注目度の高い集光部分の描写性能を維持するような適応的レンダリング手法を提案する。フォトンマッピング法は 2 段階のアルゴリズムで、第 1 段階でフォトンにシーン全体に放射しフォトンマップを構成する。第 2 段階の描画時にフォトンマップからサンプル近傍のフォトンの情報を参照する [1]。フォトンマップ構築に必要なフォトン数は第 1 段階の処理時間に影響し、近傍フォトン数は第 2 段階の描画時間に影響する。フォトンマップに用いるフォトン数や近傍フォトン数と、画像の質はトレードオフの関係をもつ。

近年フォトンマッピング法の高速化として GPU を用いる手法が多く提案されている [2][3]。Timothy らはフォトンマッピング法を GPU で行う際に格子構造を用いてフォトンマップの参照を行った。それにより高速化を図ることが成功したが、近傍フォトンの探索は近似的に行っており精度の点で課題が残った。

本手法では格子構造にフォトンの格納数を記録し、テクスチャとして保存する。このテクスチャに対しウェーブレット変換を実行し、高輝度成分の抽出やノイズの平滑化を行うことで適応的な近傍フォトン探索を実現する。

2 レンダリング手法の概要

本手法はフォトンマップの作成、格子構造に格納されたフォトン数テクスチャに対するウェーブレット変換、レイトレーシング法による描画の 3 段階のアルゴリズムからなる。

2.1 フォトンマップの作成

フォトンマッピング法では光源からフォトンの射出を行い、物体と衝突したときのフォトンの位置情報や出力を記録する。レンダリング時にサンプル点近傍に存在する n 個のフォトンを探査し、その中で最も遠いものまでの距離 r を近傍半径とする。探査した近傍フォトンの情報からサンプル点における輝度は以下の式で表わされる:

$$L = \frac{\sum_{p=1}^n f(x, \omega_p, \omega) \Phi(x, \omega_p)}{\pi r^2} \quad (1)$$

ただし、 ω_p はフォトンの入射方向、 ω は反射方向、 $f(x, \omega_p, \omega)$ は BRDF、 $\Phi(x, \omega_p)$ は各フォトンの出力である。また、格子構造において一つの格子の辺の長さ m が十分に小さいと仮定すれば、その格子の輝度 L は格納された N 個のフォトンにより以下の式で算出できる:

$$L = \frac{\sum_{p=1}^N f(x, \omega_p, \omega) \Phi(x, \omega_p)}{m^2} \quad (2)$$

サンプル点周辺に存在するフォトンの情報がいずれも等しいものであるとすると、式 (1) と式 (2) から以下の式が導かれる:

$$\frac{\sum_{p=1}^n f(x, \omega_p, \omega) \Phi(x, \omega_p)}{\pi r^2} = \frac{\sum_{p=1}^N f(x, \omega_p, \omega) \Phi(x, \omega_p)}{m^2} \quad (3)$$

$$r^2 \approx \frac{nm^2}{N\pi}$$

式 (3) によって得られる半径 r を想定半径とよぶ。実際に算出される半径はフォトンの集積情報によりサンプル点ごとに異なるため、実際に算出された半径と想定半径を比較して算出された半径に修正を施す。これにより少ない近傍フォトンによる輝度の斑を軽減させる。また、本来フォトンマッピング法ではシーン全体に対するグローバルフォトンと集光模様のためのコースティクスフォトンの 2 種類を用いるが、本手法ではウェーブレット変換による解析から高輝度成分を抽出・強調することでコースティクスフォトンと同様の効果を表現し、大域照明と集光模様を同時に算出する。

Adaptive Photon Mapping with Reference to Grid Structures
[†]Masanari Watanabe, Graduate School of Science and Technology, Keio University

[‡]Issei Fujishiro, Yoshio Ohno, Department of Information and Computer Science, Keio University

2.2 ウェーブレット変換

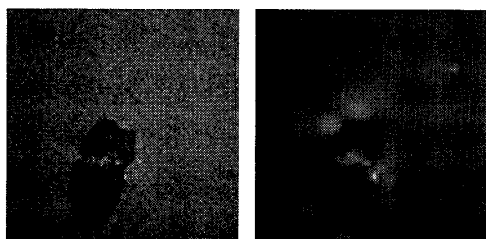
フォトンマッピングによって格納されたフォトン数の情報に対し、ウェーブレット変換を施す。ウェーブレット係数の高周波成分の値が一定数以下のものに関してはその値を 0 とし、ノイズの除去と平滑化を行う。また、高周波成分のフォトン数変化が大きい部分を保存することにより集光模様の高輝度成分を抽出する。

2.3 レイトレーシング法

描画にはレイトレーシング法を用いる。レイトレーシングで描画するサンプル点を算出し、サンプル点を中心に近傍フォトンの探索を行う。この際に式 (3) で得られた想定半径との比較を行う。格子ごとの想定半径を用いると、シーン全体に格子状のノイズが発生するため、隣接する格子間で想定半径を線形補間し、実際に算出された半径と補間した想定半径を比較し、想定半径に対する誤差を求める。その誤差に対し、一定数の割合を乗算し誤差を縮めたのち想定半径に加え、それを式 (1) の輝度計算に適用する。領域の影付近においては、格子構造の参照では格子構造による想定半径と実際に算出される半径の差が大きいため、一定数以上のフォトンが格納されていない領域付近に関しては実際に算出された半径を適用する。

3 結果

実装環境は Windows の PC (OS:Vista, CPU:Intel Core 2 Extreme 3.00GHz, RAM:4GB) を用い、開発言語には C 言語を使用した。シーンは一つの平面を 128×128 の格子に分割した。現時点では各平面を 2 次元分割しているが、これは 3 次元に拡張可能である。図 1 に床面の格納フォトン数テクスチャとそれにウェーブレット変換を適用した結果を示す。



(a) ウェーブレット適用前 (b) ウェーブレット適用後

図 1: フォトン格納数テクスチャ

図 2 に、シーン全体に 5,000,000 個のフォトンを用いてフォトンマップを構成し、作成した結果画像 (ピクセル数 640×480) を示す。想定半径による修正では誤差を 10% に縮小し、それを探索半径として用いた。また表 1 にそれぞれの画像の描画時間を示す。高輝度成分を抽出し、各面のノイズが軽減されていることが確認できる。しかし、ウェーブレット変換によるノイズ除去と高輝度成分抽出のために、本来ならば集光模様でない部分も一部強調されている。

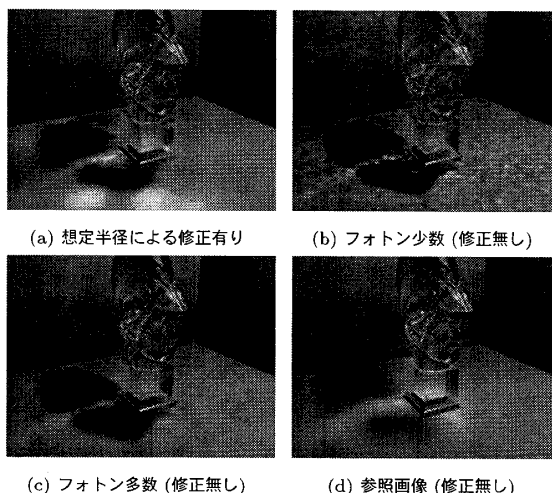


図 2: 大域照明と集光模様の結果画像の比較

表 1: 描画時間の比較

画像	近傍フォトン数	描画時間
(a)	100 個	244 秒
(b)	100 個	244 秒
(c)	500 個	307 秒
(d)	5,000 個	1,087 秒

4 まとめと今後の課題

本稿では格子構造にフォトン数情報を記録し、その情報からシーンの大域照明を計算する手法を提案した。同時に集光表現に関して高輝度成分を抽出し、適応的にフォトンマッピングによる描画を行った。これにより少ないフォトン数を用いて短時間で効果的な大域照明を求めることができた。しかし、ウェーブレット変換によるノイズ除去には改善の余地があり、ウェーブレット変換に対する緻密な解析作業が必要である。

今後は 3 次元的に拡散面を配置し、より複雑なシーンでのテクスチャ解析を行う。同時に格子構造を活かし GPU 上で本手法を実装し、高速化を図る。また、テクスチャ解析や想定半径による誤差修正の際に定量的な評価ではなく、シーンに応じて修正値を適宜変更するようなシステムを考案していきたい。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究 (B)20300033 の支援により実施された。

参考文献

- [1] Henrik Wann Jensen : "Global Illumination Using Photon Maps," in Proc. Rendering Techniques '96, pp. 21-30.
- [2] Timothy J. Purcell et al. : "Photon Mapping on Programmable Graphics Hardware," in Proc. SIGGRAPH 2003, pp. 41-50.
- [3] Xin Sun et al. : "Interactive Relighting of Dynamic Refractive Objects," in Proc. SIGGRAPH 2008, pp. 1-9.