

最近傍フォトン数の削減によるフォトンマッピング法の高速化の一検討 Study on Photon Mapping Accelerator by Reducing the number of Nearest Neighbors Photons

東 誠人†
Masato Azuma

藤村 誠‡
Fujimura Makoto

1. はじめに

フォトンマッピング法は大域照明と呼ばれる解法の一つであり、光源から放出されたフォトンの経路を計算することで光の反射や屈折などの光線シミュレーションを行う[1]. 処理手順としては、放出されたフォトンを追跡し、フォトンマップの作成後、視線追跡によって注目点の放射輝度をフォトンマップから推定し描画する。しかし、正確に物体を表現するためには、大量のフォトンを出す必要があり、画像描画段階における光線追跡において条件によっては計算量が非常に多くなってしまいう問題点がある。

これに対し、Christensen[2]は、フォトンマッピング法の拡張手法としてフォトンマップに格納されているフォトンに対して放射照度値の事前計算を提案している。

一方、近年は種々の大きさのディスプレイが普及し、高解像度の描画画像以外に低解像度の画像生成も必要になっている。これに対して、低解像度のディスプレイにおいては必ずしも大量のフォトンを用いなくても、十分な画質を得られるものと考えられる。

本研究では、フォトンマッピング法での必要となる最近傍フォトン数を削減し、求めた放射輝度値を定数と仮定することによる、フォトンマッピング法の処理速度向上手法を検討する。これは生成画像の大きさに対して、必要な放出フォトン数を用いれば、最近傍フォトンの放射輝度推定値を定数と仮定しても画質を制御しつつ、処理の高速化を図るものである。

2. 放射照度推定による光線追跡の高速化

2.1 放射輝度値の推定

物体表面上のある位置 x で、方向 $\vec{\omega}$ に反射される放射輝度 L_r は次式で求められる。ただし、 $\Delta\Phi_p$ は各フォトン p が有している出力であり、 f_r は位置 x における双方向反射率分布関数(以下、BRDF とする)である。

$$L_r(x, \vec{\omega}) \approx \frac{1}{\pi r^2} \sum_{p=1}^n f_r(x, \vec{\omega}_p, \vec{\omega}) \Delta\Phi_p(x, \vec{\omega}_p) \quad (1)$$

従来のフォトンマッピング法は、位置 x に最も近い n 個の最近傍フォトンごとに BRDF f_r と出力 $\Delta\Phi_p$ の積をとり、総和を x から最も遠いフォトンとの距離 r を半径とした円の面積で割る(密度を掛ける)ことにより、放射輝度の推定値を求めていた。しかし、この方法では n が増えることによりフォトンマップに対しての問い合わせ数が多くなることに加え、1ピクセルごとに 2×2 のサブピクセルサンプリ

ングを行っている場合、さらに問い合わせ数が多くなる。そこで、 $\Delta\Phi_p/\pi r^2$ は放射照度であり、拡散面を Lambert 面と仮定すると、BRDF を一定値 f_{rd} とした次式が得られる。

$$L_r(x, \vec{\omega}) \approx f_{rd}(x) \sum_{p=1}^n \Delta E_p(x, \vec{\omega}_p) \quad (2)$$

つまり、最近傍フォトン n 個の放射照度 ΔE の総和と、一定値である f_{rd} との積によって放射輝度の推定値を求めることができる。この場合、放射照度の和を求めておくことで、放射輝度を推定するために必要な最近傍フォトン数を1個にすることができる。

2.2 放射照度の事前計算

本論文では、上記の理由により、放射照度の事前計算処理を行う[2]。この処理は、kd-木の生成後、光線追跡の前に行う。図1に放射照度計算を含んだフォトンマッピングの手順を示す。これにより、放射輝度推定での積の回数を減らすことができ、放射輝度推定の処理を行う光線追跡時の時間を減らすことができる。

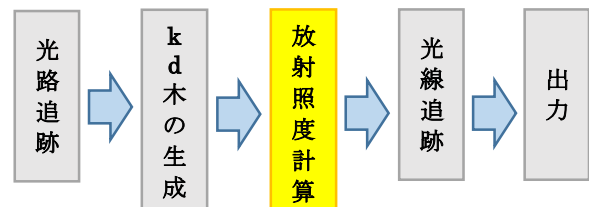


図1 放射照度計算を含んだフォトンマッピングの手順

2.3 放射輝度推定における最近傍フォトン数の削減

放射照度の事前計算では、格納されているフォトンすべてを対象として行う。しかし、これでは放射するフォトンが増加するため事前計算が増大してしまう。そのため、フォトンがフォトンマップに格納する際に、近傍領域を代表するフォトンにフラグを付加し、放射照度計算の対象と放射輝度推定ではフラグ付きのフォトンのみを使用することで、光線追跡処理での最近傍フォトン数を削減する。

事前計算により放射照度値を保持しているフラグ付きフォトンを図2の左図に示す。この放射照度値はフラグ付きフォトンにおける最近傍フォトンの放射照度の総和であるため、(2)式を用いることができる。放射輝度推定では、各放射照度値を近傍フォトンの代表値とすることで、ある位置 x に最も近いフォトンの代表値を用いることになる。そのため、放射輝度値の分布は図2の右図のようになる。

†長崎大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Nagasaki University

‡長崎大学

Nagasaki University

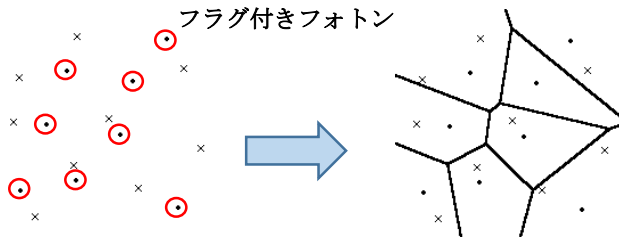


図2 フラグ付きフォトンと放射輝度値の分布

3. 実験結果

3.1 実験条件

実験環境は、CPUはIntel(R) Core2 Duo@2.93GHz、メモリ3.9GB、Ubuntu12.04、g++ ver.4.6.3である。

放出フォトン数 P_e および最近傍フォトン数 n をそれぞれパラメータとし、提案手法のレンダリング処理に要する時間を測定し、生成画像を確認する。また、対照実験として従来手法と比較する。

レンダリング対象は、“The Cornell Box”を模した閉空間中に拡散・鏡面反射、透過屈折のように属性それぞれが異なる3個の球を配置し、右側の壁が鏡面反射、その他は拡散反射の属性を有する空間である[3]。また、生成画像は全て1024×768ピクセルとした。

パラメータは、放出フォトン数 P_e (千個): 500, 100, 500, 最近傍フォトン数 n (個): 10, 20, 50, 100である。ただし、提案手法での最近傍フォトン数は放射照度の計算に使用する。

3.2 処理時間

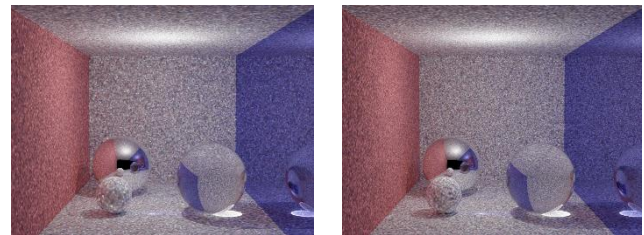
放出するフォトン数 P_e ごとに従来手法と改良手法のレンダリング時間の比較を行った。表1に P_e と最近傍フォトン数 n の組み合わせを変えた場合について処理速度を測定した結果を示す。ほとんどの場合において、提案手法の方が従来手法に比べて処理時間が小さくなっているが、 $P_e=500, n=10$ および $P_e=500, n=20$ の場合は提案手法の方が処理時間が大きくなっている。これは、放出するフォトン数が増加することで、事前処理である放射照度の計算に時間が掛かってしまうためと考えられる。

表1 処理時間の比較

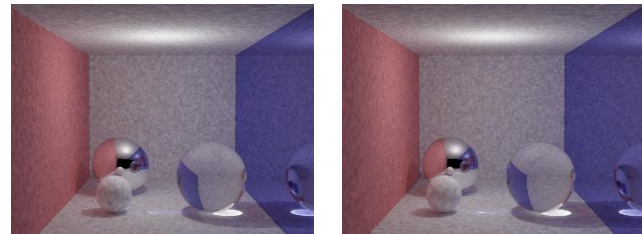
P_e	n	従来手法 [sec.]	提案手法 [sec.]	提案手法/従来手法
50	10	159.2	112.0	70.4
	20	196.1	133.3	68.0
	50	302.2	139.1	46.0
	100	520.8	152.6	29.3
100	10	196.2	171.2	87.3
	20	248.0	177.2	71.5
	50	338.1	195.5	57.8
	100	568.3	204.3	35.9
500	10	504.1	601.1	119.2
	20	554.1	589.2	106.3
	50	690.7	634.8	91.9
	100	908.6	694.7	76.5

3.3 生成画像

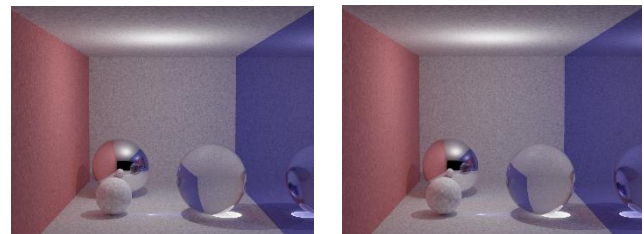
図3に $P_e=50, n=10$ および $P_e=100, n=100, P_e=500, n=100$ の場合の生成画像を示す。生成画像の大きさに対してフォトン数が少ない $P_e=50$ の場合は提案手法と従来手法で画像品質が異なっているが、十分なフォトン数がある $P_e=100, n=100$ や $P_e=500, n=100$ の場合は両方で画像品質が同程度であることがわかる。



従来手法 改良手法
(a) 生成画像($P_e=50, n=10$)



従来手法 改良手法
(b) 生成画像($P_e=100, n=100$)



従来手法 改良手法
(c) 生成画像($P_e=500, n=100$)

図3 従来手法と提案手法の比較

4. むすび

本研究では、放射照度を事前に計算し、近傍領域で代表フォトンを決めることにより放射輝度推定時に用いる最近傍フォトン数を抑制し、推定した放射輝度値を定数とすることで、フォトンマッピング法のレンダリング処理速度の向上を図った。

今後の課題として、GPUによる実装、レンダリング対象の拡大、解像度ごとの効率的な手法の検討が挙げられる。

参考文献

- [1] Henrik Wann Jensen, 苗村健: “フォトンマッピング—実写に迫るコンピュータグラフィックス”, オーム社, 2002
- [2] Per H. Christensen: “Faster photon map global illumination”, Journal of Graphics Tools, 4(3):1-10 ACM 1999 (April 2000)
- [3] Cornell University Program of Computer Graphics: “The Cornell Box”, <http://www.graphics.cornell.edu/online/box/>