

関与媒質の多光源レンダリングのための誤差推定法

安明 真哉 名畑 豪祐 岩崎 慶

和歌山大学

1. はじめに

雲や煙といった関与媒質の高精細な画像生成はCGの分野において重要な研究課題の一つである。関与媒質が存在するシーンでは、関与媒質内での光の散乱や吸収を考慮する必要がある。関与媒質を伴うシーンのレンダリング方法として、多光源レンダリング法[1]が提案されている。多光源レンダリング法は、仮想的な点光源 (Virtual Point Light : 以降 VPL) をシーン中に大量に生成し、大域照明計算を VPL からの寄与計算に近似している。多光源レンダリング法では、大量の VPL を用いる場合、すべての VPL からの寄与を計算するのはコストが高いという問題がある。

Multidimensional Lightcuts[1]は、VPL をクラスタリングすることで関与媒質のレンダリングを高速化しているが、クラスタリングによる誤差を制御できないという問題がある。多光源レンダリングのための誤差推定法[2]は提案されているが、この方法では関与媒質が考慮されていない。そこで本研究では、多光源レンダリングにおける関与媒質のための誤差推定法を提案する。

2. 関与媒質の多光源レンダリング

関与媒質をレンダリングする場合、関与媒質内で起こる散乱や減衰などを考慮する必要がある。また、関与媒質をレンダリングするためには、視線上の散乱光の寄与を積分する必要があるが、視線上でサンプルした点 (以降シェーディング点と呼ぶ) での寄与の和で近似される (図1参照)。多光源レンダリングにおける視点に到達する光の輝度 L は以下の式で計算される。

$$L(x_v, \omega_v) = \tau(x_v, x_s) \sum_{i=1}^{N_{vpl}} L_s(x_s, y_i) + \sum_{j=1}^N \tau(x_v, x_j) \sum_{i=1}^{N_{vpl}} L_j(x_j, y_i) \Delta t \quad (2.1)$$

N_{vpl} はシーン中の VPL の個数、 N は視線分割数、 x_v は視点の位置、 ω_v は視線方向、 x_s は物体表面のシェーディング点、 x_j は視線を分割して生成する関

与媒質内のシェーディング点、 y_j は VPL、 L_s は物体表面のシェーディング点から視点方向への寄与、 L_j は関与媒質内のシェーディング点から視点への輝度、 τ は減衰率、 Δt は視線を分割した区間幅である。関与媒質の多光源レンダリングを行う際、式(2.1)によって計算を近似するが、シェーディング点すべてで計算を行うのは計算コストが非常に高いという問題がある。

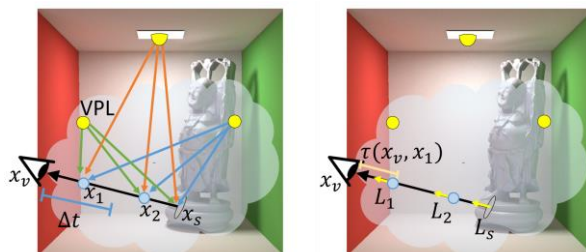


図1: 多光源レンダリングによる関与媒質の輝度計算

3. 提案法

3.1. 提案法の概要

提案法では、Nabata らの手法と Walter らの手法を組み合わせ、関与媒質を含むシーンにおいても正確に誤差を制御する。なお、Walter らと同様に関与媒質は均質かつ等方散乱を仮定する。提案法の処理の流れは以下のとおりである。

- ① シェーディング点と VPL をそれぞれ VPL クラスタ \mathcal{C} とシェーディング点クラスタ \mathcal{G} にクラスタリングする。
- ② \mathcal{C} と \mathcal{G} からそれぞれサンプリングを行い、視点に到達する輝度 L を推定する。
- ③ 推定した輝度 L と真値との誤差を推定する。誤差が閾値以下なら輝度計算を終了する。
- ④ 分散が最大のクラスタのペアを選択して分割する。
- ⑤ ②と同様に、分割されたそれぞれのペアの輝度を推定し、③へ戻る。

以上の流れを繰り返し行うことで誤差を推定する。次節以降は輝度の推定、真値との誤差推定、クラスタ分割の詳細を説明する。

An Error Estimation Framework for Many-Light Rendering of Participating Media

†Shinya Yasuaki Wakayama University

‡Kosuke Nabata Wakayama University

††Kei Iwasaki Wakayama University

3.2. 輝度の推定

\mathbb{C} からの寄与を考慮した \mathbb{G} から視点への輝度を推定し、 \mathbb{C} と \mathbb{G} の全ペアの輝度の総和が式(2.1)で示した視点への輝度の近似となる。 \mathbb{C} と \mathbb{G} のペアから視点への輝度の推定値 \hat{L} は以下の式で計算する。

$$\begin{aligned} \hat{L}(\mathbb{C}, \mathbb{G}, x_v) &= \frac{1}{2} \sum_{s=1}^2 W_{\mathbb{G}} I_{\mathbb{C}} M(x_v, x_s, y_s) G(x_s, y_s) V(x_s, y_s) \end{aligned} \quad (3.2.1)$$

x_s と y_s はそれぞれサンプリングしたシェーディング点とVPL, $W_{\mathbb{G}}$ はシェーディング点の重みの総和, $I_{\mathbb{C}}$ はクラスタ内VPLの放射強度の総和, M は材質項, G は幾何項, V は可視関数である。シェーディング点の重みや材質項の詳細な説明は[1]を参照されたい。 \hat{L} から計算するクラスタペアからの輝度の推定値の総和と標本分散を利用して処理③の真値との誤差推定を行う。

3.3. 真値との誤差推定

Nabataらの手法で用いられた誤差推定式を用いて、誤差を推定する。真値との誤差の推定値 ΔL は $\Delta L = t_{\alpha} \sqrt{\sum_{i=1}^N s_i^2}$ で計算される。ここで、 t_{α} は t 分布の α 分位点, N はクラスタ数, s_i^2 はクラスタペアからの輝度の推定値の標本分散である。 s_i^2 は式(3.2.1)の \hat{L} を計算する際に一緒に計算する。

3.4. 分散の近似とクラスタ分割

クラスタ分割の指標に用いるクラスタの輝度の分散値 σ^2 は、以下の式で近似する。

$$\sigma^2 \approx W_{\mathbb{G}}^2 I_{\mathbb{C}}^2 M_{ub}(\mathbb{C}, \mathbb{G}) G_{ub}(\mathbb{C}, \mathbb{G}) \text{Var}[V] \quad (3.4.1)$$

M_{ub} はクラスタペアの材質項上限値, G_{ub} は幾何項の上限値, $\text{Var}[V]$ は可視関数の分散である。Nabataらと同様に $\text{Var}[V]$ は最大値の0.25を用いる。

σ^2 の近似値を用いて最大の分散を持つクラスタペアを選択し分割するが、 \mathbb{C} と \mathbb{G} のうちどちらの分割を行うかを選択する必要がある。 \mathbb{C} と \mathbb{G} のどちらを分割するかは、バウンディングボックス(以降BBと略す)の大きさをもとに行う(図2参照)。以上の3.2節から3.4節で説明したことを繰り返して、視点への輝度を求める。

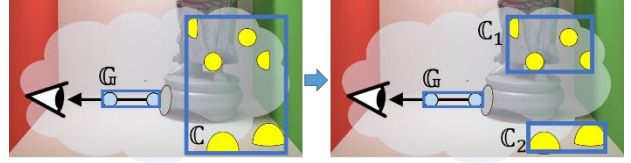


図2: 分割するクラスタの選択。CのBBがGのBBより大きいため、Cを分割する。

4. 結果

本研究の結果を図3に示す。実行環境はIntel Xeon E5-2670 2.60GHz, 64GB RAMを搭載したPCで、レンダリングするシーンはCornelBoxシーンにHappy Buddhaを二つ置いたシーンで行った。比較対象として、Walterらの手法でレンダリングした結果を利用する。参照画像は推定対象である式(2.1)の計算結果である。パラメータとして、視線分割数を124, VPL数は約84万個、提案法およびWalterらの手法のそれぞれで目標相対誤差を2%として行った。また、提案法では信頼度を95%として t_{α} を設定した。比較内容は真値画像との相対誤差とし、誤差5%以上を最大として相対誤差を可視化した。図3でWalterらの手法は相対誤差2%以下の領域が全体の61.4%であるのに対し、提案法は92.7%であり、Walterらの手法に比べ正確に誤差が制御できている。また、このケースで相対誤差2%以下の領域を92%以上になるようにWalterらの手法を調整した場合、目標誤差を0.45%に指定する必要があった。

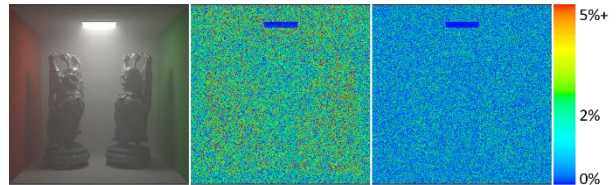


図3: 左から順に参照画像, Walterらの手法の誤差画像, 提案法の誤差画像

5. まとめ

本論文では、関与媒質の多光源レンダリングのための誤差推定法を提案した。今後の課題として、異方性散乱や非均質な媒質への応用があげられる。

参考文献

- [1] B. Walter et al., Multidimensional Lightcuts, ACM Trans. Graphs., Vol. 25, No. 3, pp. 1081-1088, 2006.
- [2] K. Nabata, et al., An Error Estimation Framework for Many-Light Rendering, Computer Graphics Forum, Vol. 35, No. 7, pp. 431-438, 2016.