

経路の再接続を考慮した代表波長スペクトラルサンプリング

西角 勇哉
和歌山大学

1. はじめに

写実的な画像を生成する物理ベースレンダリング手法の一つにパストレーシング法がある。パストレーシングは視点から経路を生成し、物体と反射・透過を繰り返す、光源と交差すればその輝度を計算する手法である。従来のレンダリングではRGB三成分について輝度を計算していたが、近年では、光の波長を考慮してレンダリングするスペクトラルレンダリングが注目されている。

Hero Wavelength Spectral Sampling[1](以降HWSSと呼称する)は、一つの経路に対して複数の波長を用いてピクセルの輝度値を計算することでより写実的な画像を生成することが可能となっている。この手法では経路のサンプリングを行う際、サンプリングした複数の波長のうち、最初にサンプリングした波長(以降代表波長と呼称する)を用いて経路のサンプリングを行いピクセルの輝度を計算する。しかし、プリズムやダイヤモンドなどに代表される、光の分散が起こる物体(以降スペキュラと呼称する)における経路のサンプリングを行う際、代表波長でサンプリングした経路は、ほかの波長ではその経路で計算される輝度値が0となり、写実的な画像を生成することが期待できないという問題がある。

そこで本研究は、HWSSにおける上記の問題点における解決策を提案する。本研究は経路がスペキュラと交差した際に各波長で経路を追跡し、追跡した経路を代表波長で追跡した経路と再接続を行うことで上記の問題点を解決する。

2. 先行研究

2.1. 先行研究の概要

先行研究であるHWSSでは、視点から追跡した経路が物体と交差した際に得られる輝度を計算する。あるピクセルの輝度の推定値は以下の式で計算される。

$$\langle I \rangle = \frac{1}{N} \frac{1}{C} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C w_{st(i,j)} \frac{f(X_i, \lambda_i^j)}{p(X_i, \lambda_i^j)} \quad (1)$$

Hero wavelength spectral sampling considering path reconnection
Yuya Nishikaku Wakayama University

ここで、 $\langle I \rangle$ はピクセルの輝度の推定値、 N は1ピクセルあたりのサンプル数、 C はサンプリングした波長数、 w_{st} は戦略の重み関数、 f は経路 X における波長 λ についての輝度値、 p は確率密度関数である。

2.2. 経路追跡手法と先行研究の問題点

HWSSで使用される経路追跡手法はパストレーシングである。また、新しい経路の生成を行う際、その経路の方向は代表波長により決定される。経路の方向は、経路の各頂点におけるBSDF(双方向散乱分布関数)に基づいてサンプリングされる。スペキュラのBSDFは、デルタ関数で表現されたため、代表波長のBSDFに基づいて方向をサンプリングすると、代表波長以外のBSDFは0となる。そのため、代表波長以外では寄与が0の経路を追跡することになり、非効率であるという問題がある。

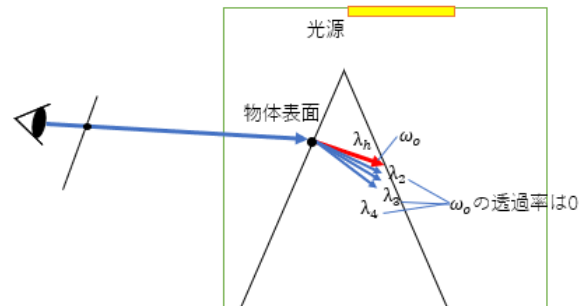


図 1: スペキュラと交差したときの経路生成の例。この図において λ_h は代表波長、 ω_0 は出射方向を指す。

3. 提案法

3.1. 提案法の概要

提案法は、スペキュラと交差した場合、各波長を用いた経路追跡を行い、各波長で生成された経路がスペキュラを出て、スペキュラ以外の物体と交差した後それぞれの経路を代表波長の経路と再接続することで解決する。ただし、代表波長で生成される経路はスペキュラから出てからスペキュラ以外の物体と二回連続で交差するまで追跡を行う。

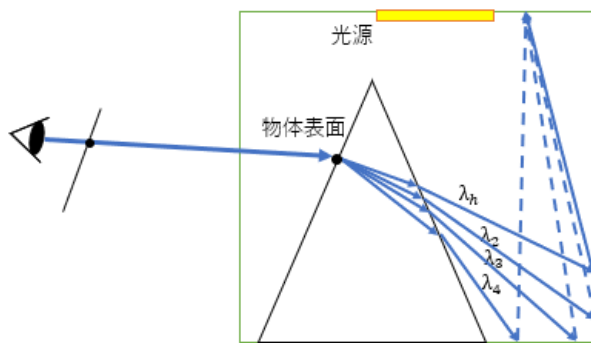


図 2:提案法の各波長での経路追跡の例. この図での点線は経路の再接続を行っている.

3.1. 提案法の経路の再接続

図 2 のように, 代表波長の経路追跡の後, 各波長の経路追跡の後再接続を行い, 各波長で輝度の計算を行う. それに加えて各波長で生成した経路がスペキュラ内部で反射した場合でも追跡を続行し再接続を行う.

3.2. 多重重点的サンプリング

戦略の重み w_{st} は多重重点的サンプリングにより求められる. 提案法で求める多重重点的サンプリングは経路追跡における重みだけでなく, サンプリングした経路における各波長で求められる輝度についての重みを考慮する必要がある. 重み関数 w_{st} は以下の式で計算される.

$$w_{st,k} = \frac{p_{st,k}(X) p_{st,k}(X, \lambda)}{\sum_{t=1}^M p_{st,t}(X) \sum_{k=1}^C p_{st,k}(X, \lambda)} \quad (2)$$

ここで, k は経路のサンプリング戦略, p_{st} は経路をサンプリングする確率密度関数, M は経路をサンプリングする戦略の総数を表している

4. 結果

本研究の結果を図 4 に示す. レンダリングするシーンは cornel box を使用し, HWSS との比較を行う. パラメータは, 1 ピクセルあたりのサンプル数を 128 とし, サンプリングした波長数を 8, 対象とする材質はプリズム(ガラス BK7)とする.

図 4 は実際にレンダリングを行った結果である. 参照画像は, 1 ピクセルあたりのサンプル数を 10000 で計算している. 参照画像と先行研究, 提案法それぞれの RMSE(平均二乗誤差)を表 1 に示す. 同サンプル数比較において, 提案法の方が先行研究である HWSS よりも RMSE が少ないことが言える.

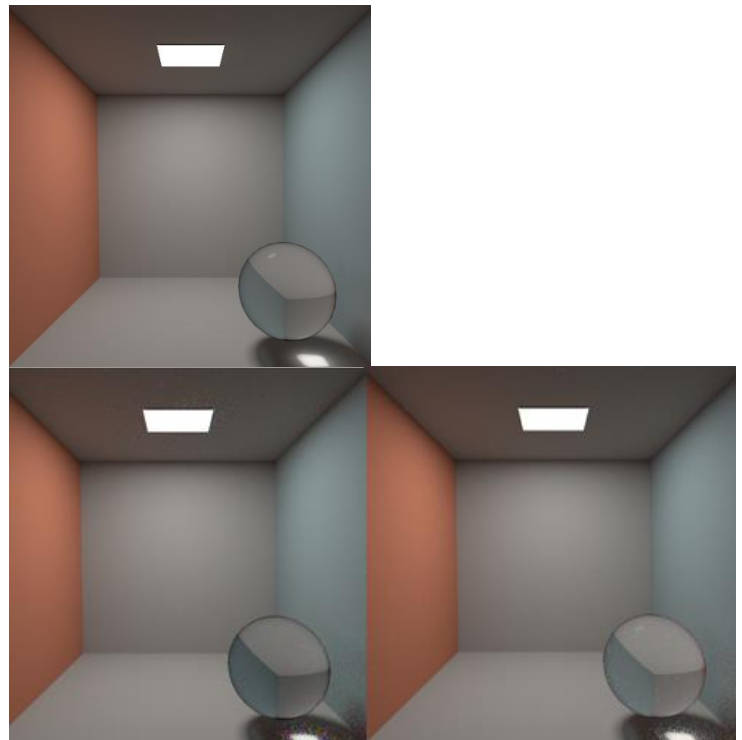


図 4:参照画像(上) と HWSS(左下) と提案法(右下)

表 1:参照画像との RMSE の比較

	参照画像との RMSE
HWSS	0.116978
提案法	0.080728

5. まとめ

本論文では HWSS では対応が困難である光の分散が発生する物体のレンダリングにおいて, 各波長についての経路追跡を行い, 代表波長でサンプリングした経路と再接続することで写実的なレンダリングを行う手法を提案した. 今後の課題として, 近年ハードウェアの向上により利用可能とされているリアルタイムレイトレーシングに導入することがあげられる.

参考文献

[1] A. Wilkie et al., Hero Wavelength Spectral Sampling, Eurographics Symposium on Rendering 2014.