

## 拡散反射を考慮した環境マッピング

廣川 慧吾<sup>†</sup> 池戸 恒雄<sup>†</sup>

既存の環境マッピング手法は完全な鏡面反射のみを描画対象としているが、現実  
に存在する物体の表面にはわずかな凹凸が存在するため、ぼやけた反射を起こ  
す。本研究では物体の表面特性を考慮した反射描画を環境マッピング手法により  
推論的に実現する。

### A Diffused Environment Mapping

Keigo Hirokawa<sup>†</sup> and Tsuneo Ikedo<sup>†</sup>

The conventional environment mapping algorithms have been mainly applied specular  
reflection on the basis of empirical approaches despite that the object in real world has  
both specular and diffuse reflections. To obtain the realistic images, these two reflection  
components are indispensable. This paper proposes a new algorithm for the environment  
mapping to render dim-specular reflection using diffusion sampling.

#### 1. はじめに

コンピューターグラフィックスにおいて、局所照明手法に擬似的に大域照明効果を  
付加する環境マッピング手法がある。これは物体の鏡面反射方向に存在する風景を、  
あらかじめ保存しておいた画像をマッピングすることで表現し、局所照明手法に重ね  
ることで周囲の景色が物体に映り込んでいる効果を得る。この手法は低負荷で実現す  
ることができ、局所照明手法に擬似的な現実感を加える手段として有効である。

しかし通常環境マッピング手法は、描画する物体の表面特性を考慮するものでは  
なく、周囲の風景がはっきりと映り込む完全な鏡面反射のみを描画対象としている。  
そのため、表面の粗い物体を描画する場合、描画結果がやや不自然なものとなる。

現実には、周囲の風景がはっきりと映り込むほど滑らかな表面を持った物体はほと  
んど存在せず、一見滑らかな表面を持った物体であってもわずかな凹凸が存在し、そ  
の反射はややぼやけたものとなる。この現象を環境マッピングで表現するために、参  
照するマップ画像自体をぼかすという方法もあるが、物体の表面特性ごとに異なるマ  
ップ画像を用意する必要があり、メモリの使用量を考えると現実的ではない。

以上のことをふまえ、本研究では既存の環境マッピング手法を拡張し、事前計算を  
伴わずに、物体の表面特性による周囲の風景のぼやけた映り込みを表現する推論的  
手法を提案する。

#### 2. 関連する研究

##### (1) Schlick の反射モデル

反射モデルの分野では、物体表面の反射を鏡面反射（あるいは光沢反射）と拡散反  
射の二つに分け、両者を別々の式で計算し、足し合わせる方法が主流である。この方  
法に従うと、周囲の景色がぼやけて映り込む現象は鏡面反射と拡散反射の中間に位置  
するものである。

鏡面反射から拡散反射への移行を一つのパラメータにより滑らかに実現する方法  
としては Schlick の反射モデル[1]が知られている。この手法は物体表面の反射を完全  
な鏡面反射、光沢反射、拡散反射の三つに分け、面の粗さを表すパラメータでそれぞ  
れの成分を足し合わせる割合を制御するものである。よって、この手法でぼやけた風  
景の映り込みを描画するには大域照明手法による描画が必要となる。

##### (2) 大域照明手法

大域照明手法の分野においては、ぼやけた映り込みを表現可能な手法として Cook  
の考案した分散レイトレーシング[2]がある。これは Witted の考案した視線から光の経

<sup>†</sup> 法政大学  
Hosei University

路を逆追跡するレイトレーシング[3]を発展させた手法であり、視点からのレイが物体にぶつかると、その点から図1のように光沢反射方向に複数のレイを飛ばして光を取得し、光沢反射を表現するものである。

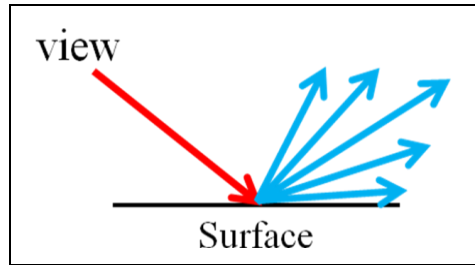


図1 分散レイトレーシングの概念

さらにそれを発展させた Kajiya のパストレーシング[4]では、図2のように視点からのレイが物体にぶつかった点から半球状に全方向に対して複数のレイを飛ばして光を取得し、任意の反射モデルを使用してレンダリング点の輝度に積算していく。

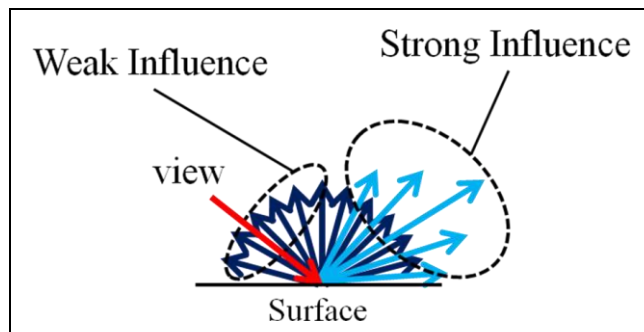


図2 パストレーシングの概念

この手法は間接光を含めた全方向から物体に照射する光の反射を表現することができ、精度の高い大域照明効果をシミュレートできるが、その結果をモニタに表示するためにはトーンマッピング[5]等で描画結果の輝度をディスプレイに表示可能な範囲に収めなくてはならない。その際、小さな値は切り捨てられてしまうため、処理の冗長性が高い。

### (3) Image Based Lighting

物体を照らすための光源に環境マップを利用した手法には Debevec の Image Based Lighting[6]がある。この手法は環境マップに HDRI (High Dynamic Range Image) という通常の画像ファイルでは保持できない広い階調を保存することができるフォーマットを利用し、大域照明手法によって描画するものである。

### 3. 拡散反射に対応した環境マッピング

本研究では環境マッピングを発展させ、物体表面の粗さを考慮した光沢反射および拡散反射に対応させる。以下から本手法の具体的な方法を記述する。

#### 3.1 鏡面反射レイ

通常のレイトレーシングや環境マッピングで使われる正反射方向ベクトルは式1で表わされる。

$$\mathbf{r} = -2(\mathbf{n} \cdot \mathbf{v})\mathbf{n} + \mathbf{v}$$

(1)

$\mathbf{r}$ : 反射ベクトル

$\mathbf{v}$ : 視線ベクトル

$\mathbf{n}$ : 法線ベクトル

#### 3.2 拡散反射レイ

パストレーシングで使われる半球状の範囲は極座標系で式2のように表わされる。

$$(0 < \theta \leq 2\pi) \quad \left( 0 < \phi \leq \frac{\pi}{2} \right)$$

$$\mathbf{d}_x = \cos \theta \cos \phi$$

$$\mathbf{d}_y = \cos \phi \sin \theta$$

$$\mathbf{d}_z = \sin \phi$$

(2)

$\mathbf{d}$ : 拡散反射ベクトル

式2で定めた範囲を3次元正規直交基底により面法線を鉛直方向とした座標系に変換して複数のレイを飛ばす。

### 3.3 鏡面反射レイと拡散反射レイの補間

鏡面反射と拡散反射の中間を表現するため、上記二つの反射レイの算出手法を補間する。パラメータは Schlick の反射モデル[1]のように面の粗さを 0 から 1 の範囲で与える。面の粗さが 0 の時に理想的な鏡面反射として式 1 を使う。面の粗さが 0 より大きい場合は、面の粗さが 1 に近づくほど理想的な拡散反射を表す式 2 となるように、拡散の基準となる方向ベクトルを式 3 のように法線と鏡面反射レイから補間して求める。

$$(0 < t \leq 1)$$

$$\mathbf{b} = \mathbf{m} + (1 - t)\mathbf{r}$$
(3)

$t$ : 面の粗さ  
 $\mathbf{b}$ : 拡散の基準となるベクトル  
 $\mathbf{r}$ : 式 1 の鏡面反射ベクトル

そして、式 3 で算出した基準ベクトルから拡散反射レイを飛ばす際、式 4 により拡散角度を面の粗さで制御する。

$$(0 < t \leq 1)$$

$$\phi = (1 - t) \times \frac{\pi}{2}$$
(4)

図 3 は面の粗さが 1 の時、法線を基準として全方向に拡散し、0 に近づくとき拡散範囲は鏡面反射レイに収束していくことを示す。

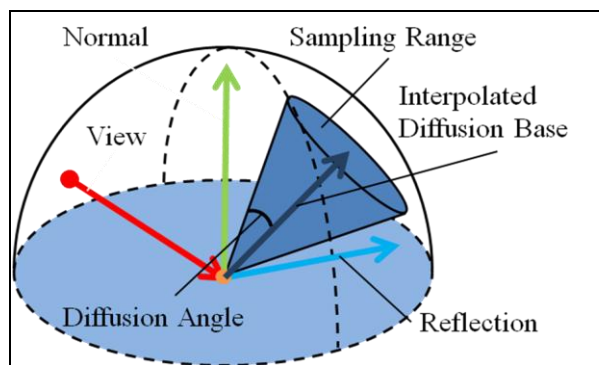


図 3 本手法の概念

### 3.4 描画結果

本手法による描画結果を示す。環境マップには図 4 を使用した。今回は HDRI のフォーマットである Radiance HDR というファイル形式を使用し、オブジェクトを囲むように球状に展開して配置した。



図 4 使用した HDRI ファイル

本手法は面の粗さをテクスチャとして定義することで異なる面の粗さを混在させて描画することも可能である。図 5 は球に市松模様のテクスチャを面の粗さとして与え、その上に周囲の景色をマッピングしたものである。

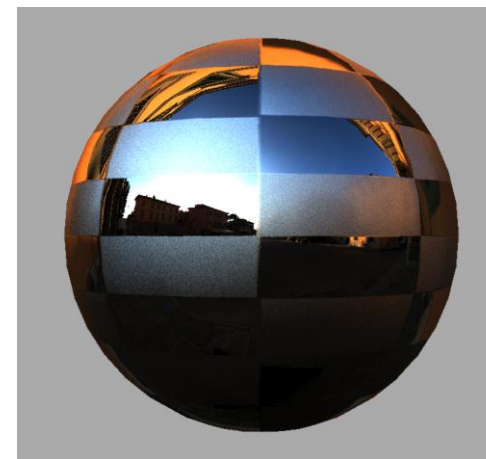


図 5 異なる面の粗さを混在させた描画結果

また、本手法は鏡面反射から拡散反射へと連続して変化させることが可能である。図6は面の粗さを0から0.8まで連続して変化させて描画したものである。

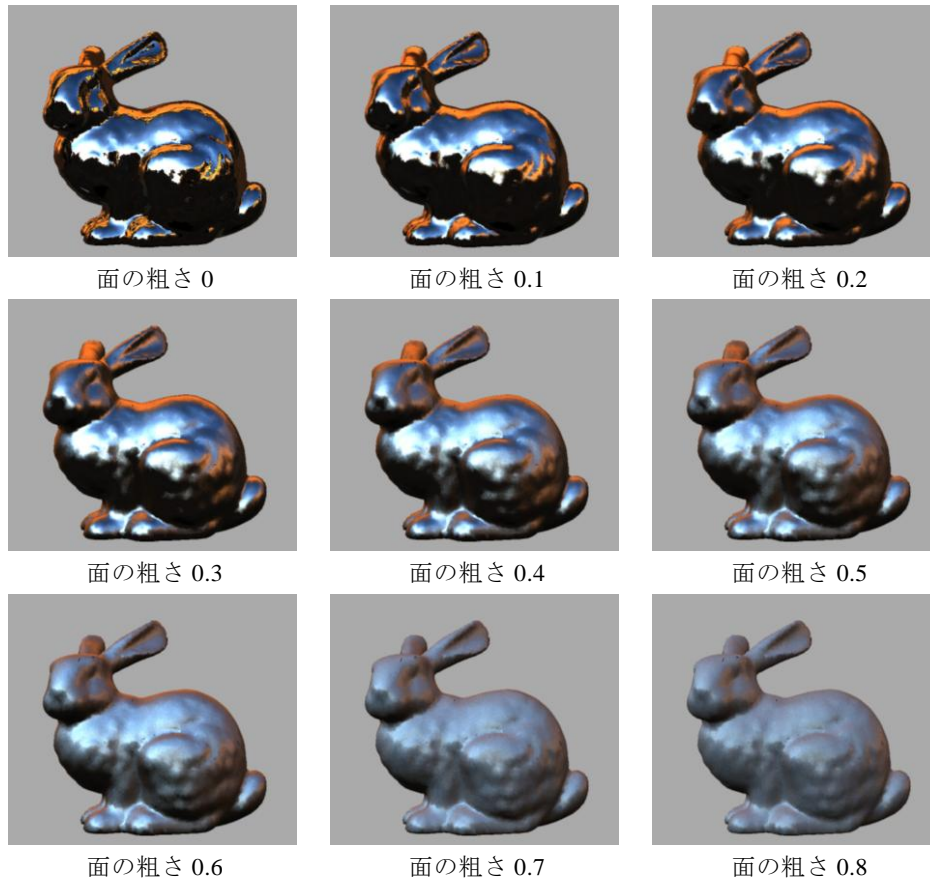


図6 面の粗さを連続して変化させた描画結果

#### 4. おわりに

本研究では拡散反射を考慮した環境マッピングを推論法によって実装した。実装したプログラムではぼやけた環境の映り込みが描画され、それを拡散反射へと滑らかに移行させることができ、その有用性を確認することができた。現在このアルゴリズムはソフトウェア上での実装のため、実時間による描画には至らなかったが、今後ハードウェアに実装することにより、実時間での描画が期待できる。

#### 参考文献

- 1) Christophe Schlick “An Inexpensive BRDF Model for Physically-based Rendering”, In Proceedings of Eurographics, 1994.
- 2) Robert L Cook, Thomas Porter, and Loren Carpenter “Distributed ray tracing”, 1984.
- 3) Turner Whitted, “An Improved Illumination Model for Shaded Display”, Communication of the ACM, Vol.23, No.6, pp.343-349, June 1980.
- 4) James T. Kajiya. “The rendering equation” Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH ‘86) 20(4): 143-150 (August 1986)
- 5) Greg Ward, “A Visibility Matching Tone Reproduction Operator for High Dynamic Range Scenes” IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, 1997
- 6) Debevec, P: HDRI and Image-Based Lighting, SIGGRAPH2003 Course.