

光の反射を考慮したボリュームレンダリング

2C-5

新留 宏昌 能野 謙介
九州芸術工科大学

1 はじめに

ボリュームレンダリングではCTやMRI等の実測値を可視化する手法が中心であるが、それ以外に空間内の微粒子密度を3次元配列で与えて霧状の物体を表示する手法がある。ボリュームレンダリングは物体の内部情報を表示する手法のため、物体による光の反射はあまり考慮されない。そこで、本稿では霧状物体の微粒子による光の反射を考慮した手法を提案する。

2 アルゴリズム

本稿のアルゴリズムは、Blinn[1]の微粒子集合体における光の反射・透過のモデルに基づいており、各ボクセルに到達する入射光強度の計算(図1)、視点からのレイキャスティング(図2)の2段階から成る。各ボクセル内部では同じ大きさの微粒子が単位体積当たりの密度一定でランダムに分布していると仮定する。

2.1 ボクセルに到達する光

最初にボクセル内の1個の微粒子について考える。光源からの光がボクセル1内の微粒子に到達するのは、微粒子の半径 p で決まる断面積をもつ長さ d_{in} の円筒上に微粒子が1つもない場合である。円筒上の微粒子の分布がポアソン過程とみなせるため、光源からの光が微粒子に到達する確率 P_a は式(1)で示される。

$$P_a = \prod_i^{voxel1} P_i = \exp(-\pi p^2 \sum_i^{voxel1} n_i d_i) \quad (1)$$

- P_i : パス上の各ボクセルでの光が透過する確率
 $P_i = \exp(-n_i \pi p^2 d_i)$
- n_i : 各ボクセルでの単位体積当たりの微粒子密度
- d_i : 各ボクセルでのパスの長さ

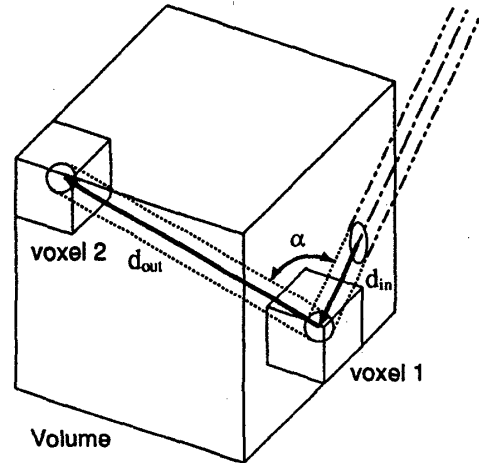


図1: 微粒子による反射

ボクセル1内の微粒子に到達する光の強度 I_a は式(1)を用いて式(2)で示される。

$$I_a = I_0 P_a \quad (2)$$

I_0 : 光源からの入射光強度

次に、 I_a がボクセル2内の1個の微粒子の方向に反射される光の強度 I_b を考える。ボクセル1での入射方向と反射方向の成す角度を α とすると、 I_b は角度のみにより決まる関数 $\varphi(\alpha)$ を用いて式(3)で示される。角度 α は位相角 (phase angle)、関数 $\varphi(\alpha)$ は位相関数 (phase function) と呼ばれる。

$$I_b = I_a w \varphi(\alpha) \quad (3)$$

w : 微粒子の反射率

I_b がボクセル2内の微粒子に到達するのは、式(1)と同様に長さ d_{out} の円筒上に微粒子が1つもない場合である。反射光がボクセル2内の微粒子に到達する確率 P_b は式(4)で示される。

$$P_b = \exp(-\pi p^2 \sum_{i=voxel1}^{voxel2} n_i d_i) \quad (4)$$

ボクセル1内には $n = n_1 V$ (n_1 : ボクセル1での単位体積当たりの微粒子密度, V : ボクセルの体積) 個の微粒子が存在するので、光源からの光がボクセル1で反射されボクセル2に到達する単位体積当たりの光線強度 I_c は式(5)で示される。

$$I_c = I_b m_2 P_b \quad (5)$$

n_2 : ボクセル2での単位体積当たりの微粒子密度

以上のことから、ボクセル2に到達する光源からの光と他のボクセルからの反射光の単位体積当たりの光線強度の総量 I_d は式(6)で示される。

$$I_d = I_e + \sum_{i \neq 2} I_{i \rightarrow 2} \quad (6)$$

I_e : 光源からボクセル2に到達する光の強度

$P_{i \rightarrow 2}$: ボリューム内の各ボクセルからボクセル2に到達する光の強度

式(6)と同様にすべてのボクセルについても単位体積当たりの光線強度の総量を計算する。実際に微粒子へのパスの長さを計算する場合はボクセルの中心に微粒子が存在するものとする。また、光源が複数の場合は各光源に対して同様の計算を行なう。

2.2 視点からのレイキャスティング

レイキャスティングによって目に到達する光には2つのものが考えられる。1つは、ボリューム後方(視点と逆方向)から微粒子に遮られずに目に到達する光である。もう1つは、第1段階で求めた光がボクセルで反射され、そのボクセルよりも前方(視点方向)の視線上のボクセル内の微粒子に遮られずに目に到達する光である。

ボリューム後方からの光が微粒子に遮られずに目に到達する光の強度 I_t は式(2)と同様の影響を受けるため式(7)で示される。

$$I_t = I_{bk} P_t \quad (7)$$

I_{bk} : ボリューム後方からの入射光強度

P_t : 視線上のボリュームを光が透過する確率

ボクセル3からの光がこれより前方の視線上のボクセル内の微粒子に遮られずに目に到達する光の強度 I_f も同様の影響を受けるため式(8)で示される。

$$I_f = I_g w V_3 P_c \quad (8)$$

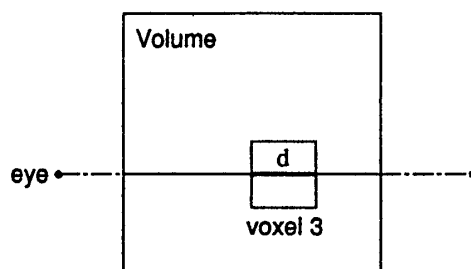


図2: 視点からのレイキャスティング

I_g : ボクセル3での単位体積当たりの光線強度の総量

V_3 : ボクセル3でのパスに沿った円筒の体積 $V_3 = \pi p^2 d$

d : ボクセル3でのパスの長さ

P_c : ボクセル3より前方の視線上のボクセルを光が透過する確率

結局、視点に到達する入射光の総量 I は視線上のすべてのボクセルが式(8)と同様の影響を受けるため、式(9)で示される。

$$I = I_t + \sum_i I_i \quad (9)$$

I_i : 視線上の各ボクセルから目に到達する光

3 おわりに

本稿では微粒子集合体における光の反射・透過をボリュームレンダリングで行なうアルゴリズムを提案した。これにより、微粒子集合体内部での光の多重反射を表現することが可能となる。今後はいかにデータ量を少なくするかが課題である。

参考文献

- [1] J. F. Blinn, "Light Refraction Functions for Simulation of Clouds and Dusty Surfaces," *Computer Graphics*, Volume 16, Number 3, 1982, pp.21-29.
- [2] J. T. Kajiya, "Ray Tracing Volume Densities," *Computer Graphics*, Volume 18, Number 3, 1984, pp.165-174.