

A Method for Capturing Transparency and Diffusivity with A Simple Equipment Using Regular Digital Photography

Masahiko MORITA*
Keio University

1 はじめに

自然界には、ガラスや昆虫の羽といった半透明な性質を持った箇所も多く存在する。このような半透明な物体をCGにおいてリアルに表現する場合、透過・屈折・拡散現象などの光学特性を考慮する必要がある。

これら半透明物体の光学特性を忠実に再現するには、半透明物体を撮影した画像の各画素ごとに材質を調べる必要があるが、現実に行うことは不可能である。従来では、青背景による撮影などでこのような半透明な物質を考慮した画像計測の手法も提案されている。しかしながら、CG技術者の経験則に基づいて透過現象を設定するのが現在のCG業界の現状である。また、距離に対して背景像がぼやけていくような拡散現象についてはほとんど考慮されることはなく、必要な際はCG技術者によってそれらしく見えるように作成されるのがほとんどである。そこで本研究では、非常に薄い半透明物体の透過現象と拡散現象の2特性を画像から実用に耐えうるクオリティで、かつ簡易的に推定する手法を提案する。

2 測定法

本撮影装置を図1に示す。撮影装置は、デジタルカメラ、天井照明、背面照明、ディフューザーによって構成されている。測

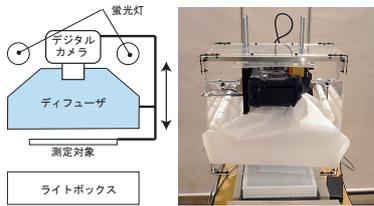


Figure 1: 撮影装置の全体図

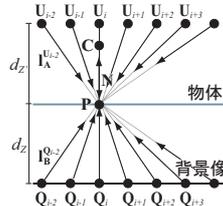


Figure 2: 照明条件

定対象である半透明物体を、天井照明と背面照明で挟むように固定する。図2に示すように、天井照明を無数の点 U_i 、背面照明を無数の点 Q_i とした場合、カメラの投影面上の点 x で観測される色 $\Gamma(x) = [x_R, x_G, x_B]^T$ はランバートの余弦測と距離の逆二乗法を用いて次のように記述できる。

$$\begin{aligned} \gamma(x) &= \kappa' \mathbf{L}_A \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\cos\left(\arctan\left(\frac{\sqrt{X_d^2 + Y_d^2}}{Z_d}\right)\right)}{X_d^2 + Y_d^2 + Z_d^2} dX_d dY_d + \\ &\kappa \mathbf{L}_B \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\cos\left(\arctan\left(\frac{\sqrt{X_d^2 + Y_d^2}}{Z_d}\right)\right)}{X_d^2 + Y_d^2 + Z_d^2} dX_d dY_d + \mathbf{L}_B, \\ &= 2\pi\kappa' \mathbf{L}_A + 2\pi\kappa \mathbf{L}_B + \mathbf{L}_B. \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $U_i - P = [X_d', Y_d', Z_d']^T$ 、 $Q_i - P = [X_d, Y_d, Z_d]^T$ 、 κ' は半透明物体を表から観測した際の拡散反射係数、 κ は半透明物体を裏から観測した際の拡散反射係数、 ι は半透明物体を裏から観測した際の透過係数である。ただし、天井照明 U_i の輝度 $\Gamma(U_i)$ はす

べて均一の色 $\mathbf{L}_A = [L_A, L_A, L_A]^T$ を、背面照明 Q_i の輝度 $\Gamma(Q_i)$ もすべて均一の色 $\mathbf{L}_B = [L_B, L_B, L_B]^T$ を発しているものとする。

半透明物体の色 $\Gamma(P)$ と透過拡散反射係数 α の推定 κ と ι の和を透過拡散反射係数 α と定義する。

α を用いると、式(1)は次のように書き直すことができる。

$$\Gamma(x) = (1 - \alpha)\Gamma(P) + \alpha \mathbf{L}_B, \quad \Gamma(P) = \frac{2\pi\kappa'}{1 - \alpha} \mathbf{L}_A. \quad (2)$$

ここで点 $\Gamma(P)$ を半透明物体上の点 P の色とみなすことにする。

式(2)より、白背景越しに撮影された半透明物体の色 $\Gamma(x_W)$ 、白背景のみ撮影した際の色 \mathbf{L}_W 、灰色背景越しに撮影された半透明物体の色 $\Gamma(x_G)$ 、灰色背景のみ撮影した際の色 \mathbf{L}_G を計測することで、表1に示すような $\Gamma(P)$ と α を求めることができる。

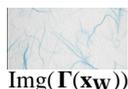
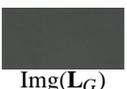
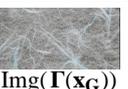
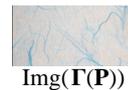
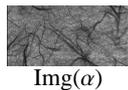
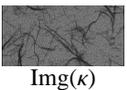
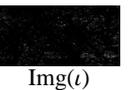
拡散反射係数 κ と透過係数 ι の推定 求めた α を拡散反射係数 κ と透過係数 ι に分離する。

拡散反射係数が既知である物体を用いて、半透明物体の κ' を測定することが可能である。本手法が対象とする半透明物体は非常に薄い物体であると想定している。よって、 κ は α を超えない範囲で κ' で近似できるものと仮定し、 κ, ι を次式で近似することにする。

$$\kappa' = \min(\alpha, \kappa), \quad \iota = \alpha - \kappa. \quad (3)$$

求めた κ, ι を表1に示す。

Table 1: 測定値と推定結果

 $\text{Img}(\mathbf{L}_W)$	 $\text{Img}(\Gamma(x_W))$	 $\text{Img}(\mathbf{L}_G)$	 $\text{Img}(\Gamma(x_G))$
 $\text{Img}(\Gamma(P))$	 $\text{Img}(\alpha)$	 $\text{Img}(\kappa)$	 $\text{Img}(\iota)$

3 レンダリング

実際にレンダリングするには、半透明物体のレンダリング画像 $\text{Img}(\Gamma(P))$ 、背景と物体の距離によってぼけた $\text{Img}(\text{Blur}(L_B))$ 、背景イメージ $\text{Img}(L_B)$ を用意し、図??のようにそれぞれのレンダリングマップに $\text{Img}(\alpha)$ 、 $\text{Img}(\kappa)$ 、 $\text{Img}(\iota)$ を用いて合成する。

実際に三次元モデルに透過現象を適用したレンダリング結果を図3に示す。

*e-mail: masahiko@sfc.keio.ac.jp

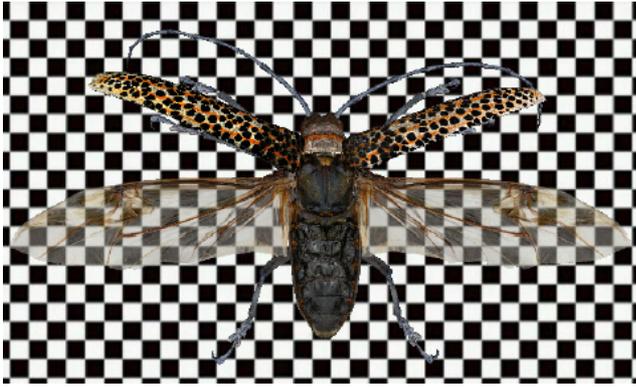


Figure 3: 昆虫の羽に対して透過現象を適用した例

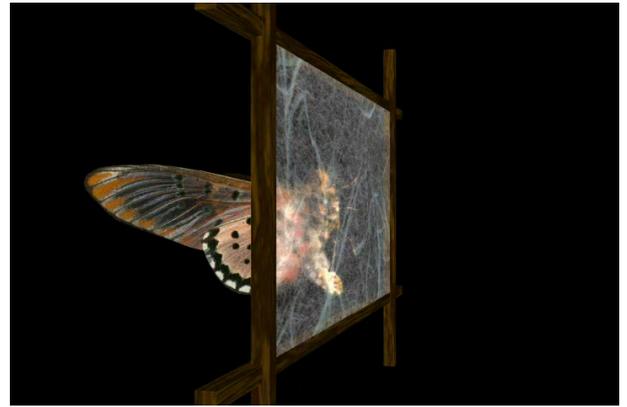


Figure 4: 昆虫の羽に対して透過現象を適用した例

4 おわりに

画像による拡散反射係数, 透過係数の測定法, および表現法を提案した. これにより, 従来手作業による作成では困難であった画素ごとの透過現象を, 写真から手軽に測定することが可能となった. また, 従来あまり考慮されていなかった背景像の拡散現象も手軽に表現することが可能となった.

本論文が扱う拡散反射・透過の係数を, 厳密に求めることは困難であるため, レンダリング結果の正当性を評価することは難しいが, リアルな CG において要求される最も重量な事柄は, 周囲の画素との相対的な変化量であるため, 本手法の有効性は非常に高いと期待できる。