

Q7 ハイライト成分を優先した物体表面反射率計測法

松澤利夫¹ 若月大輔¹ 石井郁夫¹ 高橋章² 今井博英¹

新潟大学大学院自然科学研究科¹ 長岡工業高等専門学校²

1 まえがき

コンピュータグラフィックスの利用分野の拡大に伴い、現実の物体と仮想物体との間に生じる違和感を低減し、より質の高い画像を生成することが要求されている。実環境の物体の質感を仮想空間で表現するには反射率を求める必要があるが、この反射率のうちハイライト成分は特性上計測が困難である。そこで物体表面の色に応じて領域分割を行い、ハイライト成分を優先的に取得するための光源位置を計算する。またハイライト成分と拡散反射成分を分離して領域ごとに反射率計算を行うことにより、効率よく誤差の少ない物体表面反射率計測法を提案する。

2 反射モデル

本研究では従来のグラフィックスライブラリで実装されている phong の反射モデルを使用する。 phong モデルは以下の式で表される。

$$I = L(R_d \cos \alpha + R_s \cos^n \beta) \quad (1)$$

I は画像から得られる輝度値、 L は光源の色を表す。図1に示すように α は入射角であり、 β は光源方向ベクトルと視点方向ベクトルの二等分ベクトルと法線ベクトルがなす角である。 R_d, R_s, n は物体の反射率パラメータであり、それぞれ拡散反射率、鏡面反射率、鏡面反射の鋭さを表す。 R_d, R_s, I, L は RGB 値をもつ。

3 物体表面反射率計測法

3.1 領域分割

対象とする物体の3次元形状データが既知であることを前提に反射率計測を行う。ハイライト成分は物体表面の法線方向に対して光源の正反射方向を中心に現れるため、拡散反射成分に比べ計測値取得が困難である。ポリゴンの各頂点ごとに反射率を求める方法では頂点ごとにハイライト成分が必要となり、反射率計測のための画像枚数が多くなる。そのため物体の同色部分を同じ反射率を持つ領域として分割し、領域ごとに反射率計測を行う。

3.2 光源位置計算

物体を撮影する際、物体面上に存在する複数の領域に対して、同時に多くの領域にハイライトが映るよう

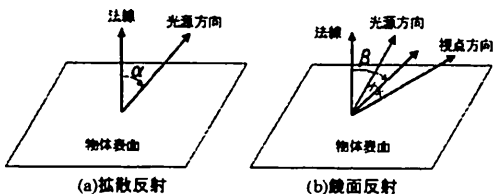


図1 反射モデル

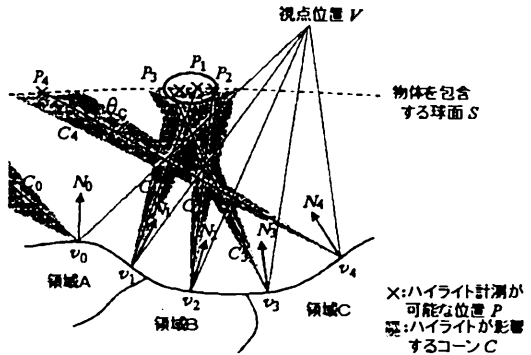


図2 光源位置計算

な光源位置を計算することにより、計測に必要な画像撮影数を削減する。光源位置計算は以下の手順によって行う(図2参照)。光源は点光源を仮定する。

1. 対象物体を包含する適切な半径の球面 S を設定する
2. 視界に入る頂点全て $v_i (i = 0, 1, \dots, n)$ に対するハイライト計測が可能な光源位置 P_i を、物体の法線ベクトル N_i に対する視点方向ベクトルの正反射方向ベクトルが S と交差する位置として求める
3. ハイライト成分の計測可能な範囲を示すコーン C_i を、各 $v_i - P_i$ を結ぶ方向を中心に角度 θ_c で作成する
4. S 上で最も多くの C_i が交わる位置に光源を設置する
5. 安定した解を導出するために必要な数 M 以上の計測値が取得できない領域を対象に手順4を繰り返す
6. 全領域に対する光源位置が求まり次第終了する

図2の丸で囲まれた位置が手順4で求めた光源位置であり、領域A,B,Cでハイライト成分が計測できる。手順5における M は予備実験の結果から $M=50$ に設定した。

3.3 反射率パラメータの計算

3.3.1 拡散反射成分とハイライト成分の分離

撮影した画素の輝度値から式(1)を用いて反射率パラメータを求める場合、連立方程式の計算が複雑になり、ハイライト成分の誤差が大きくなる。そこで、計算による誤差を少なくするために、拡散反射成分とハイライト成分を分離して反射率パラメータを求める計算式を単純化した。

分離には図2の θ_c を利用する。式(1)の β が $\beta \leq \theta_c$ ならば輝度値が拡散反射成分とハイライト成分を含み、 $\beta > \theta_c$ ならば拡散反射成分のみと判定する。反射率パラメータは拡散反射率 R_d 、鏡面反射の鋭さ n 、鏡面反射率 R_s の順に計算する。

3.3.2 拡散反射率の計算

拡散反射成分のみを含む輝度値 I_d から、式 (1) の拡散反射成分のみを考慮した式 (2) で拡散反射率 R_d を求められる。

$$I_d = LR_d \cos \alpha \quad (2)$$

同じ領域内 num_d 個の輝度値 $I_{d_i} (i = 0, 1, \dots, num_d - 1)$ に対して式 (2) から R_d を求める。 I_{d_i} が相互反射などの影響を含む場合、正確な拡散反射率は求まらない。そこで、値が大きすぎた場合は計算対象から除外する。計算対象の拡散反射率の数を num'_d とすると、 R_d は式 (3) により求められる。

$$R_d = \frac{1}{num'_d} \sum_{i=0}^{num'_d-1} \frac{I_{d_i}}{L \cos \alpha_i} \quad (3)$$

3.3.3 鏡面反射の鋭さの計算

求めた R_d を用いて、以下の式からハイライト成分のみの輝度値 I_s を求める。

$$I_s = I - LR_d \cos \alpha \quad (4)$$

num_s 個の $I_{s_i} (i = 0, 1, \dots, num_s - 1)$ を β に従い θ_c が小さい順に整列する。鏡面反射の鋭さ n に依存するハイライト成分の減少の割合を得るため、式 (5) から比率 $ratio_i$ を求める。

$$ratio_i = \frac{I_{s_i}}{I_{s_{i+1}}} \quad (i = 0, 1, \dots, num_s - 2) \quad (5)$$

n を想定される範囲で変化させて、式 (6) で最小となる n を求める。

$$\min \left\{ \sum_{i=0}^{num_s-2} \left[\left| ratio_i - \frac{\cos^n \beta_i}{\cos^n \beta_{i+1}} \right| \right] \right\} \quad (6)$$

3.3.4 鏡面反射係数の計算

鏡面反射率 R_s を以下の式により求める。

$$R_s = \frac{1}{num_s} \sum_{i=0}^{num_s-1} \frac{I_{s_i}}{L \cos^n \beta_i} \quad (7)$$

4 実験

4.1 光源位置計算のシミュレーション

光源位置計算のシミュレーションのため、Stanford Computer Graphics Laboratory の HP より得た "bunny" を対象にした。適当な表面色を与え領域分割を行った。設定した視点位置から視界に入る領域数は 8 である。作成した球 S の半径は物体の外接球の 2 倍、 $\theta_c = 5^\circ$ とした。図 3 に、3.2 節の手順 2 で求めた光源位置を点で、最終的に求めた光源位置を ①、② で示す。①に設置した光源によって 7 つの領域に、②で残りの 1 つの領域にハイライトが映る。実際に①の位置に光源を設置して表示した結果が図 4 であり、7 つの領域でハイライトが映ることが確認できる。同様に②の光源位置により、残りの 1 つの領域にハイライトが映ることも確認した。



図 3 光源位置計算結果



図 4 表示結果

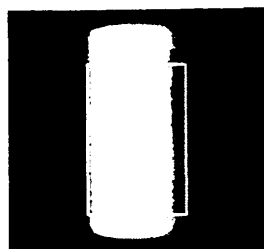


図 5 撮影した画像

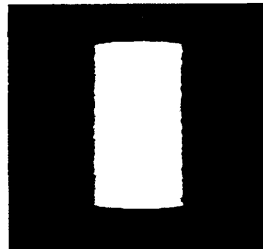


図 6 CG による表示結果

4.2 物体表面反射率計測

図 5 に示す領域数が 1 つの単色円筒物体で、反射率計測を行った。撮影は暗闇で行い、対象物体周辺を黒い布で覆うことで環境光を低減した。撮影に使用したカメラは CCD デジタルカメラ (SONY,DFW-SX900) であり、光源は白色電球を物体から遠い位置に設置することで平行光源として計算した。物体に映っているハイライトの大きさから $\theta_c = 20^\circ$ に設定した。線で囲んだ画素を参照し、参照した総画素数は 41072、拡散反射成分のみを含む画素数は 36096、拡散反射成分とハイライト成分を含む画素数は 4976 である。

得られた結果は、 $R_d = [230, 223, 205]$ 、 $R_s = [27, 18, 28]$ 、 $n = 59$ であった。 R_d 、 R_s 、 n を仮想空間で作成した物体に与えて表示した結果が図 6 である。撮影した画像とよく類似した表示結果が得られた。

5 まとめ

実物体の表面反射率を計測する際に、計測が困難なハイライト成分を優先した物体表面反射率計測法を提案した。物体の表面色で領域分割し、適切な光源位置計算法や拡散反射成分とハイライト成分を分離した計算法を導入して、少ない画像枚数で単純な計算による効率的な反射率計測が可能となった。

本報では手動で θ_c を設定したが、 θ_c を自動的に求める方法が必要である。また相互反射を考慮した反射率計測法や表示法に今後取り組みたいと考えている。

参考文献

- [1] 町田貴史, 竹村治雄, 横矢直和 "複数の照明条件の組合せによる物体の表面反射特性の密な推定," 信学論 D-II, Vol.J84-D-II, No.8, 2001.8
- [2] 大槻正樹, 三浦淳, 佐藤幸男 "多方向測定による物体形状と表面反射特性の計測," 信学論 D-II, Vol.J76-D-II, No.8, 1993.8