

## 色再現のための反射パラメータ推定

## Estimating Reflectance Parameters for Color and Gloss Reproduction

李 実英 Shiying Li

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 像情報処理学研究室  
Image Processing Lab, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

眞鍋 佳嗣 Yoshitsugu Manabe

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 像情報処理学研究室  
Image Processing Lab, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

千原 國宏 Kunihiro Chihara

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 像情報処理学研究室  
Image Processing Lab, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

キーワード：色再現，光沢，反射特性

Keywords: Color reproduction, gloss, reflection property

## 1 はじめに

実物体表面の色や光沢などの外観情報を保存し、デジタルコンテンツとしてコンピュータ上で公開することが盛んに行われている。そのためには、物体表面の反射特性を正確に取得し、計測時の照明環境などの影響を最小限に抑え、物体固有の分光反射率と表面特性を記録することが重要である。

本研究では、イメージ分光器を用いて、光源を回転させながら計測した分光画像より、反射成分を拡散反射成分と鏡面反射成分に分離し、物体色の分光反射率と表面特性を表す光沢の強度パラメータと広がりパラメータを推定する手法を提案する。

## 2 反射パラメータの推定手法

物体表面に生じる反射特性は拡散反射と鏡面反射の線形和により近似できるとされている。この性質を利用して、反射モデルに適用し複数の画像から反射パラメータを推定する手法が提案されている[1, 2, 3, 4]。これらの手法では、画像が赤、緑、青の三チャンネルのカメラで計測され、色表現が不十分である。また、カメラのダイナミックレンジにより画像が飽和して計測されることがあるため、反射特性を正しく再現することは難しい。

このような問題に対して、我々は分光画像を用いて、Lambertian モデルを拡散反射に、Torrance-Sparrow モデルを鏡面反射に適用し、波長ごとに反射成分の分離と各反射パラメータの推定を行う手法を提案している[5, 6]。まず、各波長の反射成分を拡散反射成分のみと仮定し、拡散反射パラメータを推定し拡散反射成分を生成する。次に反射成分から拡散反射成分を減算した正の値を鏡面反射成分と見なし、反射成分から鏡面反射成分を減算した結果を反射成分と置き換える。これらの処理をある閾値まで繰り返し、反射成分を分離し、拡散反射

パラメータを推定する。鏡面反射パラメータは、Torrance-Sparrow モデルにおける鏡面反射光の分布関数(式1)を対数変換により線形化し(式2)、各波長における飽和していない値のみに最小自乗法を適用して推定を行う。式1, 2で、 $I_s$ は鏡面反射成分、 $\phi$ は入射角度、 $\theta$ は光源ベクトルと視線ベクトルとの二等分ベクトル  $\mathbf{H}$  が物体表面の法線ベクトル  $\mathbf{N}$  となす角度を表す(図1)。 $K_s$ は鏡面反射強度、 $\sigma$ は鏡面反射の広がりを表すパラメータであり、 $K_s$ と $\sigma$ が推定される鏡面反射の反射パラメータとなる。

$$I_s = K_s \exp(-(\sigma\theta)^2) / \cos\phi \quad (1)$$

$$\log(I_s) = \log(K_s) - (\sigma\theta)^2 - \log(\cos\phi) \quad (2)$$

## 3 実験

反射パラメータの推定手法を利用して、計測物体全周の拡散反射と鏡面反射の各反射パラメータを推定する実験を行った。計測システムは図1のように構築した。計測物体は赤緑青紫黄と水色の6色を印刷した、光沢ありと無し二種類の用紙を同一の円柱模型に巻き付けたものである。光源を0.75度の間隔で180度移動させ、回転台に載せた物体を30度の間隔で360度回転させた。得られた分光画像から計測時の照明とカメラの感度特性による影響などを除去し、波長ごとの反射成分を取得した(図2)。そして、各波長の反射成分に対して、拡散反射成分と鏡面反射成分の分離と各反射パラメータの推定を行った。

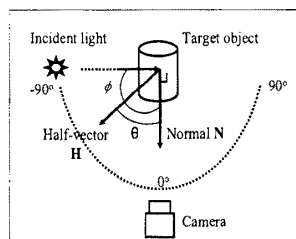


図1 計測システム

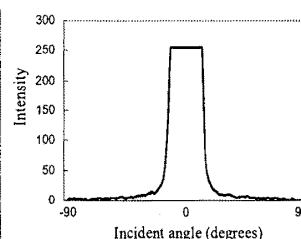


図2 反射成分(赤 550nm)

#### 4 実験結果と考察

光沢ありと光沢無し、二種類の紙に印刷した各色の拡散反射パラメータを推定した。図3と4に、青色の推定結果と分光放射計による同色の分光分布の比較を示す。図3と4より、拡散反射パラメータが正しく推定されたことが分かる。

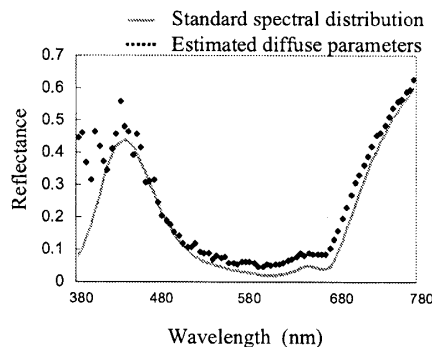


図3 青色（光沢あり）

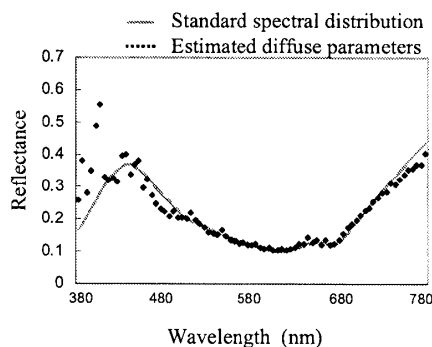


図4 青色（光沢無し）

各画素において鏡面反射の強度とその広がりを表す反射パラメータ  $K_s$  と  $\sigma$  を推定した。表1は、青緑紫と水色4色の各画素において推定した鏡面反射パラメータの平均値と分散を色ごとに求めたものである。上段は光沢ありの紙、下段は光沢無しの紙における結果である。

表1 推定した鏡面反射パラメータの平均値と分散

|      |               | 青      | 緑      | 紫       | 水色     |
|------|---------------|--------|--------|---------|--------|
| 光沢無し | $K_s$ の平均値    | 36.055 | 35.509 | 56.255  | 42.450 |
|      | $K_s$ の分散     | 0.970  | 1.047  | 0.777   | 1.127  |
|      | $\sigma$ の平均値 | 3.002  | 2.937  | 3.095   | 2.947  |
|      | $\sigma$ の分散  | 0.029  | 0.035  | 0.020   | 0.046  |
| 光沢あり | $K_s$ の平均値    | 74.289 | 67.379 | 126.118 | 89.189 |
|      | $K_s$ の分散     | 11.698 | 13.064 | 10.833  | 15.233 |
|      | $\sigma$ の平均値 | 3.405  | 3.681  | 3.271   | 3.475  |
|      | $\sigma$ の分散  | 0.090  | 0.108  | 0.122   | 0.215  |

表1の結果より、光沢無しの紙において鏡面反射

の強度パラメータが光沢ありの紙の推定結果より半分以下の平均値で、安定して推定されていることが分かる。また、鏡面反射の広がりパラメータの推定結果はばらつきが小さく、光沢ありの紙のほうがより大きく推定された。これは光沢ありの紙面が光沢無しの紙面より平滑であり、鏡面反射が強く観測されるという性質と一致している。図2に示した反射成分から推定した結果は、拡散反射パラメータが0.210、鏡面反射パラメータが388.978、4.020となり、カメラのダイナミックレンジ(255)より大きく推定されている。これらの実験結果より、本手法を用いることで拡散反射と鏡面反射の反射パラメータが正しく推定できることが分かった。

#### 4 まとめ

本研究では、光源を移動させながら計測した分光画像から物体表面の反射パラメータを推定する手法を提案した。また、実験より提案手法の有効性を確認した。今後は物体の形状を計測し、反射特性の再現を行う予定である。

#### 参考文献

- [1] S. Nayar, X-F. Fang, and T. Boulton, "Separation of Reflection Components Using Color and Polarization", International Journal of Computer Vision, 1996.
- [2] Y. Sato, and K. Ikeuchi, "Temporal-color space analysis of reflection", Journal of the Optical Society of America A, Vol.11, No.11, pp.2990-3002, 1994.
- [3] T. Machida, N. Yokoya, and H. Takemura, "Surface reflectance modeling of real object with interreflections", Proceedings International Conference on Computer Vision, vol. 1, pp. 170-177, 2003.
- [4] R. T. Tan, and K. Ikeuchi, "Separating reflection components of textured surfaces using a single image", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 27, no. 2, pp. 178-193, 2005.
- [5] S.Y. Li, Y. Manabe, and K. Chihara, "Color and gloss reproduction from multispectral images", Proceedings IS&T/SPIE conference on Electronic Imaging, vol. 5667, pp. 170-177, 2005.
- [6] S.Y. Li, Y. Manabe, and K. Chihara, "Estimating Reflectance Parameters from Saturated Spectral Images", Proceedings IS&T/SPIE conference on Electronic Imaging, vol. 6062, pp. 606208-1-606208-10, 2006.