

分光情報に基づいたシーン照明推定と 3 DCG の色再現法

洪昇完[†] 田中法博[‡] 田中清[†][†]信州大学大学院 総合理工学研究科 [‡]長野大学 企業情報学部

1. 研究の背景

文化財や美術品のデジタルアーカイブの分野において、近年では自由な視点、自由な環境で対象の文化財を鑑賞したいという要求が高まっている。特にこれまでの写真やビデオによるデジタルアーカイブでは撮影時の条件に固定されるという問題が残る。また、文化財を記録するときのカメラの感度特性や物体を照明するための光源の違いによって記録される物体の色が異なるという問題が生じる(図1)。

そこで本研究は、文化財や美術品のデジタルアーカイブを目的とした物体の3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)による色再現精度を向上させるための一手法を提案する。

本研究では一般的なRGBカラーカメラで光源を画像として計測し、分光分布と空間分布を推定することで、分光的なImage Based Lighting (IBL)を実現する手法を提案する。本論文で提案する手法は、RGBカラーカメラのみというように従来法よりも簡便な計測環境を用いながら、3DCGで物体の色再現精度を高めるためのシーンの照明光源情報を推定することを目的とする。

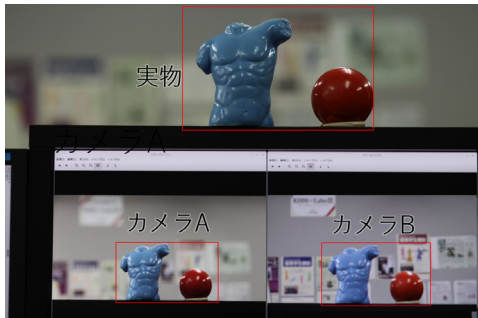


図1. 実物と再現画像の色の違い

2. 従来法の課題

物体を実際のシーン環境内で高精度に3DCGとして色再現するためには、物体を照明するシーン照明環境の計測が必要となる。このとき照明光源を画像として計測することで光源の空間分布を計測しレンダリングに利用するIBL[1]という手法がよく用いられる。従来ではRGB情報に基

Estimation of scene illumination and 3D CG color reproduction method based on multi-spectral information

[†]Seungwan HONG · Shinshu University

[‡]Norihiro TANAKA · Nagano University

[†]Kiyosi TANAKA · Shinshu University

づくカラーカメラを用いた手法[1]や分光情報に基づきマルチバンドカメラを用いた手法[2]が提案されているが、前者では高い色再現精度を確保することが難しく、後者ではカメラの分光感度特性を事前に計測しておかなければならないなど計測系の複雑の問題があった。そこでより簡便なシーン照明の分光分布と空間分布の計測方法が必要となる。そういった問題に対して、RGBカラーカメラで簡易的に照明光源の分光分布を推定する手法[3]が提案されているが、この場合も光源の種類を限定するなどの課題が残る。

3. 本研究で提案する手法

本論文では、まず、光源から物体そして視覚系に至るまでの光反射のプロセスを分光的な光反射モデルで記述し、分光的な光反射モデルで物体の反射特性(質感に相当する)を再現する。

各画素のカメラ出力(RGB値)の分光モデルを示す。カメラ系に入力する色信号 $C(\lambda)$ は、光源からの直接光であれば光源の分光分布 $E(\lambda)$ を用いて、直接光ならば $C(\lambda) = E(\lambda)$ となり、一度物体に反射した反射光ならば $E(\lambda)$ と物体の分光反射率 $S(\lambda)$ を用いて、 $C(\lambda) = E(\lambda)S(\lambda)$ と記述される。本研究ではシーン照明の計測画像の画素の値は全て色信号 $C(\lambda)$ として求める。次にカメラ出力はRGB3つの値を持つ 3×1 のベクトルで示し、カメラの分光感度はRGBそれぞれのチャンネルに対して $R_r(\lambda)$, $R_g(\lambda)$, $R_b(\lambda)$ で示す。カメラ出力について可視波長域(400nm-700nm)に関して次式のようにモデル化できる。

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \int_{400}^{700} C(\lambda) \begin{bmatrix} R_r(\lambda) \\ R_g(\lambda) \\ R_b(\lambda) \end{bmatrix} d\lambda \quad (1)$$

その上で、この反射モデルに与える照明光源の分光分布を推定する。このときRGB画像から分光分布の推定では、低次元情報から高次元情報を推定する問題が生じるため、何らかの拘束条件を用いなければならない。本論文では、次に述べる3つのステップで光源の分光分布の推定問題を克服する。

(1)光源の分光分布の統計的な偏りを拘束条件として、センサ出力(RGB値)との相関を求める。カメラ出力(RGB値)からセンサ相関法[3]で三

刺激値(CIE-XYZ)を求め、そこから対応する色温度を求める。

(2) CIE-XYZ とカメラ出力の対応を求める変換マトリックスを作成する。

(3)照明光源の分光分布を黒体放射の分光分布と仮定し、光源の色温度を推定することで間接的に光源の分光分布を推定する。図2は黒体放射の色温度と分光分布の関係を示したものである。色温度が決まれば対応する分光分布が求まる。図3は色温度と CIE-XYZ との対応を示したグラフである。

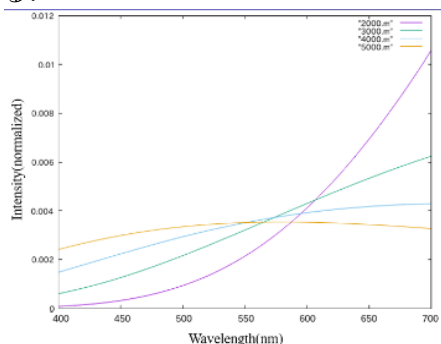


図2. 黒体放射の色温度と分光分布の関係

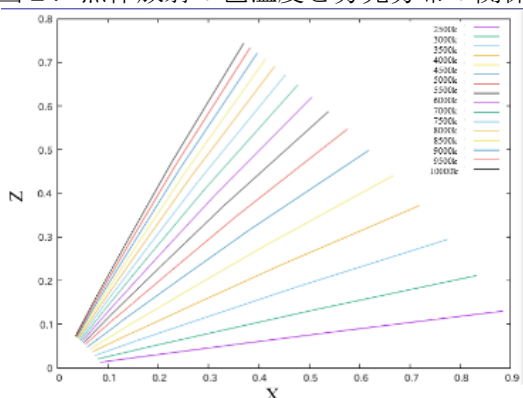


図3. 色温度と CIE-XYZ (XZ 平面) との関係

4. 実験

推定した光源の分光分布の推定精度を検証するため事前に分光反射率を計測した X-Rite Macbeth カラーチャート(24色)を用いて色再現実験を行った。提案手法で推定した照明光源の分光分布を用いて、カラーチャートを分光的な光反射モデルで CG 再現した[3]。図4はカラーチャートとそのカラーチャートを CG で再現した結果である。図5は推定した分光分布で赤のラインが分光放射輝度計で計測したカラーチャートの分光分布の計測値で、緑のラインが提案手法で推定した推定値である。色再現精度を定量的に確認するために再現画像(CG)と実物の色を色彩輝度計で計測し、CIE-L*a*b*空間で比較した。この結果、L*a*b*空間内での色差は最大で 6.4, 最小で 0.9, 平均 3.5 という値が得られた。

5. まとめ

本研究では一般的な RGB カラーカメラで光源を画像として計測し、分光分布と空間分布を推定することで、分光的な IBL を実現する手法を提案した。照明光源の分光分布を黒体放射の分光分布と仮定し、光源の色温度を推定することで間接的に光源の色温度を推定した。RGB カラーカメラのみというように従来法よりも簡便な計測環境を用いながら、3DCG で物体の色再現精度を高めるためのシーンの照明光源情報を推定することができた。この結果 CIE-L*a*b*空間での色差が平均 3.5 の精度でカラーチャートの色再現ができた。

参考文献

- [1] P. E. Debeve: Rendering Synthetic objects into real scenes: bridging traditional and image-based graphics with global illumination and high dynamic range photography, Proc. of SIGGRAPH 98, pp.189-198, 1998.
- [2] S. Tominaga, A. Matsuura and T. Horiuchi: Spectral Analysis of Omnidirectional Illumination in a Natural Scene, J. of IS&T, Vol.54, No.4, pp. 040502-1 - 040502-9, 2010.
- [3] 富永昌治, 石田敦史, B. Wandell: センサ相関法によるシーン照明の色温度推定, 電子情報通信学会論文誌. D-II, pp.886-897, 2002.

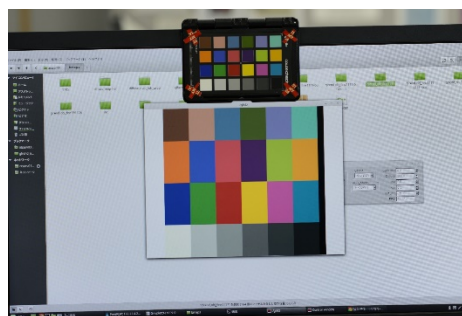


図4. カラーチャートの色再現結果

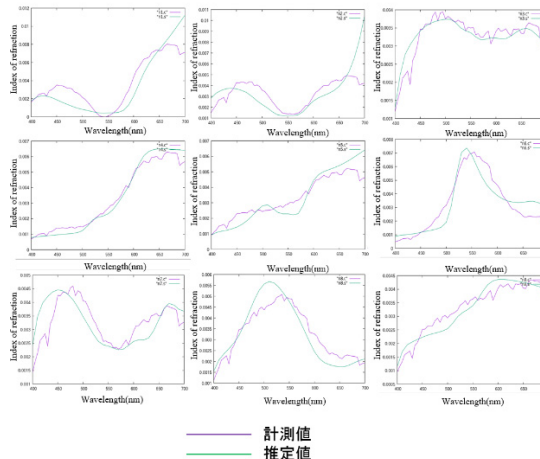


図5. カラーチャートの分光分布の推定結果