

単一画像中の物体への蛍光成分の付与

日高 大地 岡部 孝弘
九州工業大学 情報工学部

1 はじめに

蛍光物体とは、反射に加えて、ある波長の光を吸収して、それよりも長い波長の光を放出する特性を持った物体である。蛍光物体は塗料や植物、鉱石など人工物、自然物問わず、実シーン中に多く存在している。

画像処理技術の一つに質感編集と呼ばれる技術がある。これまでに単一画像のみを用いた Image-based material editing[1] など画像中の物体を様々な光学的特性を持った物体に置き換える質感編集手法が提案されてきたが、蛍光物体への質感編集は実現されていない。そこで本稿では単一画像中の拡散反射物体に蛍光成分を付与する手法を提案する。提案手法によって非蛍光物体から蛍光物体への質感編集を実現する。

具体的には、蛍光成分を付与するためには物体表面上の各点で分光照度を推定する必要があることを示すとともに、光源環境や物体形状を復元することなく、3バンドの分光照度を画像から直接推定する手法を提案する。実画像を用いた実験を行い提案手法の有効性を確認するとともに、照明シミュレーションへの応用も実現する。

2 提案手法

2.1 蛍光成分のモデル化

蛍光物体は吸収スペクトル、放出スペクトルという蛍光物体特有の分光特性をもっている。吸収スペクトルと光源の分光強度の積を全波長で合計したものが吸収光の強度となる。また、吸収光と放出スペクトルとの積で蛍光成分は求まる [2]。実シーン中では物体は様々な方向から照らされており、蛍光物体を分光感度が $c_k(\lambda)$ ($k = R, G, B$) のカメラで撮影した場合、波長 λ で、方向ベクトル ω からの光源の3バンド分光強度を $l(\lambda, \omega)$ 、画素 \mathbf{x} における物体表面法線を $\mathbf{n}(\mathbf{x})$ 、蛍光物体の吸収スペクトルを $a(\lambda)$ 、放出スペクトルを $e(\lambda)$ 、とすると、画素 \mathbf{x} における蛍光成分 $f_k(\mathbf{x})$ は、

$$f_k(\mathbf{x}) = \int c_k(\lambda) e(\lambda) d\lambda \times \int a(\lambda') \left[\int l(\lambda', \omega) \omega^\top \mathbf{n}(\mathbf{x}) d\omega \right] d\lambda' \quad (1)$$

と表せる。

提案手法ではナローバンドカメラによる撮影を仮定するとともに、 λ' に関する積分を3波長の和で近似し

て $f_k(\mathbf{x})$ を

$$f_k(\mathbf{x}) = c_k(\lambda_k) e(\lambda_k) \sum_{m=R,G,B} a(\lambda_m) s(\lambda_m, \mathbf{x}) \quad (2)$$

のように近似する。ここで λ_k は分光感度のピーク波長である。 $s(\lambda_m, \mathbf{x})$ は画素 \mathbf{x} において物体表面がすべての方向の光源によってどの程度照らされているかを表す3バンドの分光照度とし、

$$s(\lambda_k, \mathbf{x}) = \int l(\lambda_k, \omega) \omega^\top \mathbf{n}(\mathbf{x}) d\omega \quad (3)$$

のように定める。 $a(\lambda_k)$ 、 $e(\lambda_k)$ はユーザー任意に決定するパラメータである。カメラの分光感度(スケール)の影響は無視できるものとして、以後1とする。3バンドの分光照度 $s(\lambda_k, \mathbf{x})$ は光源環境、物体形状に依存しており、これらを復元する必要があるが、提案手法ではこの分光照度と拡散反射成分の関係を利用して、拡散反射成分から3バンドの分光照度を推定する。

2.2 拡散反射成分のモデル化

ランバートモデルに従う拡散反射成分は、分光感度 $c_k(\lambda)$ のカメラで物体を撮影した場合、画素 \mathbf{x} での物体の拡散反射率と法線、方向 ω からの光源の3バンド分光強度をそれぞれ、 $\rho(\lambda)$ 、 $\mathbf{n}(\mathbf{x})$ 、 $l(\lambda, \omega)$ とすると、画素値 \mathbf{x} においては

$$r_k(\mathbf{x}) = \int c_k(\lambda) \rho(\lambda, \mathbf{x}) \times \left[\int l(\lambda, \omega) \omega^\top \mathbf{n}(\mathbf{x}) d\omega \right] d\lambda \quad (4)$$

と表すことができる。

式(1)から式(2)への変形と同様に、ナローバンドカメラを仮定すると、入力画像中の画素 \mathbf{x} の拡散反射成分 $r_k(\mathbf{x})$ を $c(\lambda_k)$ 、 $\rho(\lambda)$ 、 $s(\lambda, \mathbf{x})$ を用いて

$$r_k(\mathbf{x}) = c_k(\lambda_k) \rho(\lambda_k, \mathbf{x}) s(\lambda_k, \mathbf{x}) \quad (5)$$

と表すことができる。上述と同様に $c_k(\lambda_k) = 1$ とする。この拡散反射成分を拡散反射率で割ることで分光照度を推定できることから、そのために拡散反射率を近似することを考える。

2.3 分光照度の推定

一般に物体表面で観測される色は拡散反射率と光源色の積で表される。拡散反射率を推定するために物体

の3バンド分光輝度とシーンを照らすすべての光源で平均した光源色を考える。

被写体を色ごとに領域分割し、色ごとに拡散反射率を推定する。具体的には、各領域の画素値の平均 \bar{r}_k を分光強度 d_k で割り、拡散反射率とする。各画素での画素値を、推定した拡散反射率で割ることで画素 \mathbf{x} での分光照度を以下に示す式のように推定する。

$$\rho(\lambda_k) = \frac{\bar{r}_k}{d_k} \quad (6)$$

$$s(\lambda_k, \mathbf{x}) = \frac{r_k(\mathbf{x})}{\rho(\lambda_k)} \quad (7)$$

2.4 蛍光成分の付与

推定した $s(\lambda_k, \mathbf{x})$ を用いて蛍光成分 f_k を求める。求めた $f_k(\mathbf{x})$ と入力画像 $r_k(\mathbf{x})$, $\rho(\lambda_k)$, $a(\lambda_k)$, $s(\lambda_k, \mathbf{x})$ を用いて以下の $i_k(\mathbf{x})$ を出力画像とする。ある波長の光が吸収されて蛍光として放出される時、その波長では反射される光がへることから、吸収光の強度と拡散反射率の積を吸収によって減少した反射光とみなし、画素値を

$$i_k(\mathbf{x}) = r_k(\mathbf{x}) + f_k(\mathbf{x}) - \rho(\lambda_k)a(\lambda_k)s(\lambda_k, \mathbf{x}) \quad (8)$$

のように計算する。

3 実験

図1と図2に実験結果を示す。図1(a)に示す入力画像は太陽光と複数の蛍光灯で照明されているシーンで物体を撮影した画像である。図1(b)に示す画像は被写体の領域ごとに反射率を推定した反射率画像である。入力画像をもとに、テクスチャがある領域で、 $a(\lambda_k) = [0.0, 0.0, 0.5]$, $e(\lambda_k) = [0.6, 0.0, 0.6]$ として求めた蛍光成分のみの画像を図1(c)に示す。求めた蛍光成分を入力画像に付与した結果画像を図1(d)に示す。

本実験では、被写体の拡散反射率は色領域ごとに同様であるとし、色領域ごとに画素値の平均を分光輝度とした。光源の分光強度は隣接画素の画素値の変化量の平均が灰色になることを仮定したグレイエッジ仮説を用いて推定した[3]。蛍光物体の見えを再現できており、単一画像中の物体への蛍光成分付与は実現できたといえる。提案手法では画素ごとに蛍光成分を求めている。そのため、図1の(b)に示すように蛍光を付与する領域と付与しない領域を選択することも可能である。

ある波長を吸収し、それよりも長い波長で放出するという蛍光特性が再現できているかを実証するために、異なる方向から赤、緑、青色の3光源で照らされているシーンでの実験も行った。図2(a)に示す画像が入力画像、図2(b)、図2(c)、がそれぞれ提案手法で求めた蛍光成分のみの画像、結果画像を示している。図2(a)で青色で照らされている部分で、蛍光成分が求められていることが図2(c)から分かる。このことから提案手法の有効性が確認された。

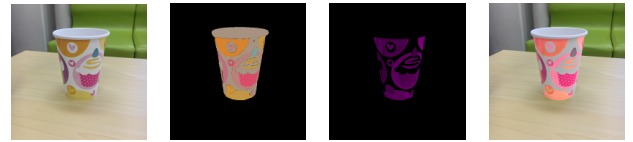


図1 太陽光と蛍光灯で照らされたシーンでの実験結果



図2 3色の光源で照らされたシーンでの実験結果

応用として、シーン全体の色を変更し、照明シミュレーションを行った結果を図3に示す。上下それぞれ結果画像と対応する蛍光成分のみの画像である。蛍光成分の色が照明色によらず一定で、明るさのみが変動していることから、良好な結果が得られたといえる。



図3 照明シミュレーション

4 むすび

本稿では、単一画像中の拡散反射物体に蛍光成分を付与する手法を提案した。そのためには、物体表面上の各点で分光照度を推定する必要があることを示し、光源環境や物体形状の復元を行うことなく、画像から直接3バンドの分光照度を推定した。実画像を用いた実験では提案手法の有効性を確認するとともに、照明シミュレーションへの応用も実現した。

今後は、鏡面反射成分を持つ物体への蛍光成分の付与も検討したい。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP16H01676 の助成を受けた。

参考文献

[1] E. Khan, E. Reinhard, R. Fleming, and H. Bülthoff, "Image-based material editing", In Proc.ACM SIG-GRAPH 2006, pp.654-663, 2006.
 [2] C. Zhang and I. Sato, "Separating reflective and fluorescent components of an image", In Proc. IEEE CVPR 2011, pp.185-192, 2011.
 [3] J. van de Weijer and T. Gevers, "Color constancy based on the grey-edge hypothesis", In Proc.ICIP 2005, Part II, pp.722-725, 2005.