

交流光源下における鏡面反射を伴う固有画像分解

吉田 雄作 岡部 孝弘
九州工業大学情報工学部

1 はじめに

一般的な光源は交流電源によって動作しているため、その明るさは肉眼では捉えられない速さで振動している。この振動はフリッカと呼ばれており、高速度カメラなどを用いて短時間露光で撮影することで確認することができる。

Sheininら [1] は、フリッカの振動パターンが光源の種類ごとに違うことに着目し、複数光源に照らされたシーンを各光源のみに照らされた基底画像に分解する光源分離手法を提案している。これに対し、大屋ら [2] は、振動パターン未知の光源に照らされたシーンに適用可能な非負値行列因子分解 (Non-negative Matrix Factorization: NMF) を用いた光源分離手法を提案している。また、得られた基底画像の画素値を反射率、照度、光源色に分解する固有画像分解を提案している。

しかし、この固有画像分解には鏡面反射が考慮されていないという問題点がある。一般的なシーンには鏡面反射が含まれているため、より正確な固有画像分解のためには鏡面反射を考慮する必要がある。本稿では鏡面反射成分を考慮した固有画像分解手法を提案するとともに、鏡面反射に基づいて光源色を一意に決定できることを示す。

2 提案手法

2.1 光源分離

時刻 t ($t = 1, 2, \dots, T$) の画像における画素 p ($p = 1, 2, \dots, P$) の画素値 (RGB の 3 次元ベクトル) i_{pt} は

$$i_{pt} = \sum_{n=1}^N b_{pn} a_{nt} \quad (1)$$

のように表せる。ここで、 N はシーンを照らしている光源の数、 b_{pn} は n 番目の基底画像における画素 p の画素値、 a_{nt} は n 番目の光源の時刻 t における強度である。式 (1) は行列を用いて

$$I = BA \quad (2)$$

のように表すことができる。ここで、 I は入力画像行列、 B は基底画像行列、 A は光源強度行列である。全ての要素が非負値であるため、NMF を用いて光源分離を行うことができる。

2.2 鏡面成分を含む画素の特定

2色性反射モデルを仮定すると、基底画像のある画素 p の画素値 b_{pn} は、反射率 r_p と光源色 l_n

を用いて

$$b_{pn} = s_{pn}(r_p \odot l_n) + t_{pn} l_n \quad (3)$$

のように表せる。ここで、 s_{pn} と t_{pn} はそれぞれ拡散強度と鏡面強度を表し、 \odot は要素毎の積を表す。

拡散反射面を仮定すると、式 (3) は

$$b_{pn} = s_{pn}(r_p \odot l_n) \quad (4)$$

となる。画素値を各要素の積で表現するため、式 (4) の各パラメタ間には不定性が存在する。そこで、反射率 r_p と光源色 l_n に対して要素和が 1 になるようにスケールを定める。また、 $l_1 = [1/3, 1/3, 1/3]$ に固定する。これによって、 $n = 1$ の基底画像の画素値 b_{p1} から反射率 r_p を求めることができる。この反射率と $n = 2$ 以降のそれぞれの画素値を用いることで、残りの光源色 l_n を解析的に求めることができる。しかし、 l_1 を固定することで、一般に反射率と各光源色は真値と異なる。

推定された l_n と s_{pn} を用いて、式 (4) に従って n 毎に再推定した反射率を r_{pn} とする。このとき、ある画素 p で反射率は共通の値を取るため

$$e_{pnn'} = b_{pn} - s_{pn}(r_{pn'} \odot l_n) \quad (5)$$

のように定義される $e_{pnn'}$ ($n' = 1, 2, \dots, N$) について、鏡面反射成分が含まれていないとき $e_{pnn'} = \mathbf{0}$ が成立する。一方で、 n' 番目の基底画像が鏡面反射成分を含んでいた場合、 $e_{pnn'} \neq \mathbf{0}$ となる。全ての画素について式 (5) を計算することで、いずれかの n で鏡面成分を含んでいる画素 p を特定することができる。

2.3 光源色の曖昧さの解決

拡散反射の色は反射率と光源色の積に依存するため、拡散反射の色のみから光源色を一意に決定することはできない。ところが、鏡面反射の色は光源色に等しいことから、鏡面反射を手掛かりに光源色を一意に決定することができる。具体的には、2.2 節で特定された鏡面反射成分を含む全画素 P' について、交互最小二乗法により式 (3) の s_{pn} と t_{pn} 、および l_n を求める。

式 (3) は反射率 $r_{pn'}$ を用いて行列表現にすると

$$b_{pn} = [(r_{pn'} \odot l_n) \quad l_n] [s_{pn} \quad t_{pn}]^T \quad (6)$$

のように表せる。 $n = 2$ 以降の各画素値に対して、 $n' = 1$ として式 (6) を解くことで、 s_{pn} と t_{pn} を求めることができる。

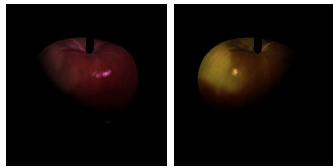


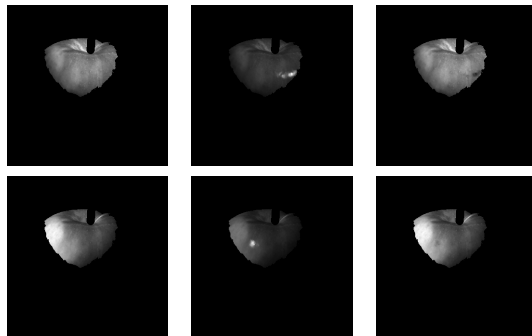
図 1: 入力画像



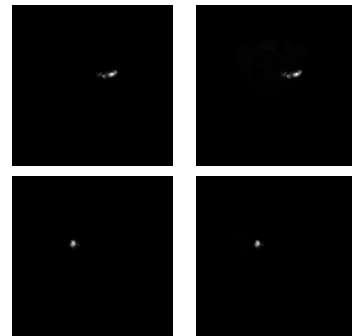
図 2: 前景



(a) 真値 (b) 従来手法 (c) 提案手法
図 3: 反射率画像



(a) 真値 (b) 従来手法 (c) 提案手法
図 4: 拡散強度結果



(a) 真値 (b) 分離結果
図 5: 鏡面強度結果

同一基底画像内で光源色は共通であるため, n 毎に

$$Tl_n = E \quad (7)$$

が成立する. ここで T と E はそれぞれ, 対角成分に鏡面強度 t_{pn} を持つ 3×3 対角行列を P' 個並べた $3P' \times 3$ 行列, e_{pn1} を並べた要素数 $3P'$ の列ベクトルを表す. 式 (7) を解き, 光源色 l_n を更新する. $n = 1$ でも同様の処理を行い, r_{p1} と l_1 を更新する.

2.4 鏡面成分の分離

各画素 p について, 2.3 節で求めた光源色と反射率を用いて式 (3) を解くことで, 各 n における s_{pn} と t_{pn} を求めることができる. t_{pn} が非ゼロとなる n があれば, 画素 p に鏡面成分を与えている光源 n を特定することができる.

3 実験

2.1 節の光源分離が完了している状況を想定し, $N = 2$ として合成画像を用いた実験を行った. 図 1 のような, 同一シーンを異なる色・方向の光源で照らした 2 枚の画像を入力とし, 2.2 節以降の処理を行った. 影領域に対しては提案手法を適用できないため, 前処理として影領域を除去した前景を求める (図 2). 得られた結果を表 1, および図 3 から図 5 に示す. また, 比較として真値と従来手法 [2] の値も同時に示す.

表 1 に示す結果は, 各値で RGB の要素和が 1 になるようにスケールが行われている. 表 1 と反射率画像 (図 3) に着目すると, 2.2 節において光源色を固定したことで, 従来手法の結果は真値から大きく外れた値になっていることが分かる. 一方で, 提案手法の結果は真値に近く, 光源色と反射率間の曖昧性を解消できていることが分かる.

表 1: 光源色の真値と推定値

		R	G	B
$n = 1$	真値	0.379	0.189	0.432
	従来手法	0.333	0.333	0.333
	提案手法	0.422	0.183	0.395
$n = 2$	真値	0.447	0.332	0.221
	従来手法	0.324	0.525	0.151
	提案手法	0.447	0.341	0.212

図 4 と図 5 は, 上段と下段がそれぞれの入力画像に対応している. また, 提案手法の結果は 2.4 節で求めた s_{pn} と t_{pn} を可視化したものである. どちらも提案手法では定性的に良好な結果が得られており, 提案手法が有効であることを示している.

しかし, 図 4(c) に着目すると, 特に上段の画像では鏡面反射成分の跡が残っていることが分かる. これは, 光源色の推定精度が低いことが原因であると考えられる.

4 まとめ

本稿では, 複数の交流光源下で撮影されたシーンの画像を入力として光源分離を行い, 得られた基底画像に対して鏡面反射を考慮した固有画像分解を行う手法を提案した. また, 合成画像実験を行うことでその有効性を示した. 実画像実験および光源色推定の精度向上は今後の課題である.

謝辞 本研究の一部は, JSPS 科研費 JP17H01766, および, JP20H00612 の助成を受けた.

参考文献

- [1] M. Sheinin, Y. Schechner, and K. Kutulakos “Computational imaging on the electric grid”, In Proc. IEEE CVPR2017, pp.6437-6446, 2017.
- [2] 大屋, 松岡, 岡部, “フリッカに基づく固有画像分解とその色補正への応用”, FIT2019 予稿集, H-030, 2019.