

受動的な明るさの振動に基づく光源分離

大屋 瑠璃 岡部 孝弘
九州工業大学 情報工学部

1 はじめに

私たちの身の回りにある一般的な照明は交流電流によって作動しているため、その明るさは肉眼では捉えることのできない速さで振動している。したがって、交流電流で作動する照明下のシーンを高速度カメラで撮影すると、撮影画像の輝度値が振動していることを確認できる。

Sheinin ら [1] はこの振動のパターンが光源の種類や製造元、モデル等に依存することを示し、様々な光源の振幅や光源色等をまとめたデータベースを作成した。また、明るさの振動を頑健に捉えることのできる特殊なカメラを開発するとともに、上記の事前知識に基づいた光源分離の手法を提案した。この手法は、交流電流を用いた照明のある静止シーンであれば短時間露出撮影の不向きな夜間のシーンや制御されていない環境などでも有効であるが、特殊なカメラや事前知識が必要である。

本稿では、民生用の高速度カメラを用いて撮影した、複数の位相の異なる光源で照らされた動画像から、各光源のみに照らされたシーンの動画像に分離する手法を提案する。提案手法では、分離前と分離後の画素値が非負であることから、非負値行列因子分解 (Non-negative Matrix Factorization : NMF)[2] を用いて光源分離を行う。また、提案手法を照明シミュレーションに応用した結果も報告する。提案手法は短時間露出撮影の不向きな夜間のシーンには適用できないという点で Sheinin ら [1] の手法よりも限定的であるが、自作の特殊なカメラが必要でないことや事前知識を必要としないという利点がある。

2 提案手法

2.1 光源分離

L 個の光源で照らされているシーンの動画像 (総フレーム数 T) を、画素数が P の高速度カメラを用いて撮影する。また、ある画素 p のある時刻 t における画素値を $\mathbf{i}_{pt} = (i_{Rpt}, i_{Gpt}, i_{Bpt})^\top$ 、ある時刻 t の光源 l の強度を s_{lt} 、光源 l の明るさが 1 で他の光源の明るさが 0 のときの画素 p の画素値を $\mathbf{a}_{pl} = (a_{Rpl}, a_{Gpl}, a_{Bpl})^\top$ と定義する。 \mathbf{a}_{pl} は時刻 t に関して不変であるが、画

素ごとに反射率等が異なるため画素 p に関して変化する。また、 s_{lt} は交流電流が振動するため時刻 t に関して変化するが、シーン中の全画素で強度の変化は一律なので画素 p に関して不変である。ゆえに、ある画素 p に注目したとき、その画素値は L 個の基底の線形結合として以下のような式で表すことができる。

$$\begin{aligned} \mathbf{i}_{pt} &= \mathbf{a}_{p1}s_{1t} + \mathbf{a}_{p2}s_{2t} + \cdots + \mathbf{a}_{pL}s_{Lt} \\ &= (\mathbf{a}_{p1}, \mathbf{a}_{p2}, \cdots, \mathbf{a}_{pL}) (s_{1t}, s_{2t}, \cdots, s_{Lt})^\top \\ &= \mathbf{A}_p \mathbf{s}_t \end{aligned} \quad (1)$$

\mathbf{i}_{pt} を縦に画素数 P 個分、横に入力画像 T 枚分並べた画素値行列 I は、 \mathbf{A}_p を画素数 P 個分だけ縦に並べた色行列 $A = (\mathbf{A}_1^\top, \mathbf{A}_2^\top, \dots, \mathbf{A}_P^\top)^\top$ と \mathbf{s}_t を入力画像 T 枚分だけ横に並べた光源の強度行列 $S = (\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2, \dots, \mathbf{s}_T)$ の積となり以下のように示せる。

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

ここで、 A と S はどちらも非負値行列であるため、 I に非負値行列因子分解を用いることで未知行列である A と S を求める。

2.2 ノイズ除去

高速度カメラを用いて短時間露出で撮影した画像には分離に悪影響を及ぼすノイズが多く含まれるため、撮影画像そのものを用いて分離を行うことは困難である。そこで、同位相の画像を平均したものを入力画像として用いる。撮影した動画像の t 枚目を \mathbf{I}_t 、暗電流ノイズを表す画像を D 、交流電流の周期を Δt とすると、 M 枚の平均をとって暗電流ノイズを除去した画像 \mathbf{I}'_t は以下の式で示される。

$$\mathbf{I}'_t = \sum_{m=1}^M \mathbf{I}_{t+\Delta t \cdot m} - D \quad (3)$$

この処理を行うことで撮影画像からノイズの影響が軽減され、提案手法により頑健に分離を行うことが可能となる。

3 実験

3.1 光源分離実験

今回の実験ではフォトロン製の高速カメラ FAST-CAM Mini UX50 を用い、フレームレートを 2500fps、露光時間を 0.4ms に設定して LED 光源と白熱電球の 2 光源に照らされているシーンの撮影を行った。また、西日本で実験を行ったため交流の周波数は 60Hz と仮定している。

次に、図 1 に 1000 枚の撮影画像から得られた、各光源の輝度値の変動を RGB 別に表したグラフを示す。縦軸が画素値、横軸が時間を示している。球の影になっている部分の画素はそれぞれの光源のみで照らされているため、その画素値から振動を表した図 1 のグラフは各光源それぞれの振動を表しており、互いの光源の影響は受けていない。グラフから、LED 光源と白熱電球は振動のパターンが異なることが確認できるため、提案手法による分離が可能である。

そこで、撮影された 1000 枚の動画画像から 2.2 節で述べた提案手法を用いて位相の違う 20 枚の平均画像を作成し、LED 光源のみで照らされている画像と白熱電球のみで照らされている画像にそれぞれ分離した。図 2 (上) に入力画像 20 枚のうちの最初の 6 枚を、図 2(中) に LED 光源のみで照らされているシーンに分離した結果、図 2(下) に白熱電球のみで照らされているシーンに分離した結果を示す。結果を見ると、光源色や球の影などはそれぞれの光源で照らした場合に出る正しいものが出力されており、おおむね真値に近いといえる。しかし、一方の照明について影になっている場所では色が必ずしも正確ではないことから、うまくいっていない画素があることも分かる。

3.2 応用

3.1 節で求めた結果を用いて、光源の色を他の色に変更する照明シミュレーションを行った。結果を図 3 に示す。図 3(左) は LED 光源の色を青色、白熱光源の色をオレンジ色に変更した画像、図 3(中) は LED 光源の色を変更せずに、白熱光源の色のみを赤色に変更した画像、図 3(右) は白熱光源の色を緑色、LED 光源の色を紫色に変更した画像を示している。

この照明シミュレーションではそれぞれの光源の色を変更しているため、画像そのものの色を変更するような画像処理ではこのような画像を得ることは困難である。そのため、このシミュレーションでは提案手法のような光源分離が非常に有効に働いている。

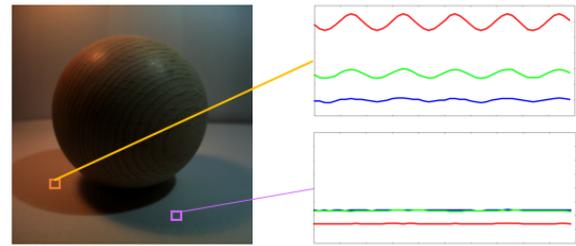


図 1: シーン上のある点における輝度値の時間変化

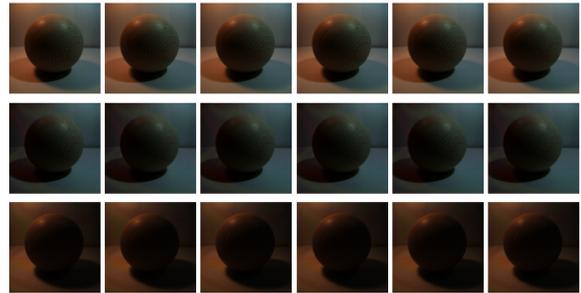


図 2: 提案手法により分離した結果 (上) 入力画像, (中) 分離結果 (LED 光源), (下) 分離結果 (白熱光源)



図 3: 照明シミュレーション結果 (左) オレンジと青に色を変更, (中) 白熱光源のみ赤に色を変更, (右) 緑と紫に色を変更

4 むすび

本稿では、交流電流によるシーン中の明るさの振動を捉えた動画画像からの光源分離の手法と画像のノイズ除去の手法を提案するとともに、照明シミュレーションへの応用を紹介した。分離結果の精度向上や 3 光源以上の分離は今後の課題である。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP17H01766 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] M. Berry, M. Browne, A. Langville, V. Pauca, and R. Plemmons, "Algorithms and applications for approximate nonnegative matrix factorization", Computational Statistics & Data Analysis, 52.1, pp.155-173, 2007.