

対数輝度の非線形拡散プロセスによる照明成分と反射率の分離推定 Separation of Illumination and Albedo by Nonlinear Diffusion Process of Logarithmical Luminance

高橋 広美^{†‡}
Hiromi Takahashi

小松 隆^{†‡}
Takashi Komatsu

齊藤 隆弘^{†‡}
Takahiro Saito

1. はじめに

観測画像から照明成分と反射率を分離する問題は、一般的に悪設定問題である。この問題を解決する手法として、正則化エネルギー汎関数を最小化する変分手法が考案されている。特に、最近、R.Kimmelらによって対数輝度に対して定義された正則化エネルギーを最小化する線形拡散プロセスが提案された¹⁾。しかし、この手法では、物体境界付近で分離推定された反射率がぼけたものになってしまう。本研究では、この問題点を解決するため、対数輝度に対する非線形拡散プロセスを導入した手法を考案し、その改善能力を実験的に検証した。

2. 照明成分と反射率の分離問題とその定式化

入力画像 S 、照明成分 L 、反射率 R の間には、(1)式の関係が成立する。それぞれを対数変換したものを s 、 l 、 r で表すと、(2)式の関係が成立する。

$$S = R \cdot L \quad (1)$$

$$s = r + l \quad (2)$$

2.1 R と L の性質の仮定

\sim を満足するようにエネルギー汎関数を定義し、このエネルギー汎関数を最小化する問題として定式化する。

L は空間的に滑らかであると仮定する。

$0 \leq R \leq 1, L \geq S$ の制約を持つ。対数関数は単調増加なので、 $l \geq s$ の制約を意味する。

l の値が s の最大値を超えるならば、 l は s と等しいと仮定する。

3. 線形拡散プロセスとしての定式化¹⁾

R.Kimmelらは、 \sim の仮定を導入することで、線形拡散プロセスのエネルギー汎関数を次式で定義した。

$$F[l] = \int_{\Omega} \left(|\nabla l|^2 + \alpha(l-s)^2 + \beta |\nabla(l-s)|^2 \right) dx dy \quad (3)$$

$$l \geq s, \langle \nabla l, \vec{n} \rangle = 0, \alpha \neq 0, \beta \neq 0$$

第一項 $|\nabla l|^2$ は、照明成分 l の空間的な平滑化を要請する。第二項 $(l-s)^2$ は、照明成分 l が入力画像 s から隔たらないことを要請している。第三項 $|\nabla(l-s)|^2$ は、反射率 r の空間的な平滑化を要請している。 α, β は、正の実数パラメータである。 \vec{n} は、画像境界上の単位法線ベクトルである。このエネルギー汎関数を最小化するように l を推定する問題は、線形拡散プロセスに帰着する。この方式で分離推定された反射率 $r(=s-l)$ に対する平滑化要請は過剰であり、図1に示したように反射率の不連続境界にぼけが生じてし

まう。この問題点を解決するため、以下に示すように非線形平滑化エネルギー項を、式(3)の第三項に導入する。

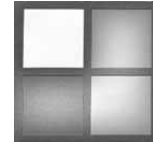


図1 Kimmelらのアルゴリズム¹⁾によって分離推定した反射率の一例：反射率の不連続境界にぼけが発生

4. 非線形拡散プロセスの導入

反射率 $r(=s-l)$ に対する平滑化要請を弱めるため、(3)式の第三項の平滑化エネルギー項に非線形関数を導入して、次式のエネルギー汎関数 F を定義する。

$$F[l] = \int_{\Omega} \left(|\nabla l|^2 + \alpha(l-s)^2 + \beta \phi(|\nabla(l-s)|) \right) dx dy \quad (4)$$

$$l \geq s, \langle \nabla l, \vec{n} \rangle = 0, \alpha \neq 0, \beta \neq 0$$

(4)式のエネルギー汎関数を最小化する Euler-Lagrange 方程式は、次式で与えられる。

$$-\alpha(s-l) - \Delta l - \beta \operatorname{div} \left[c(|\nabla(s-l)|) \cdot \nabla(s-l) \right] = 0 \quad (5)$$

$$, l \geq s$$

ここで、関数 c は非線形拡散係数であり、

$$c_{(z)} = \frac{1}{z} \frac{d\phi_{(z)}}{dz} \quad (6)$$

で定義される。本稿では、関数 ϕ を

$$\phi_{(z)} = \frac{1}{2} k^2 \cdot \log \left(1 + \left(\frac{z}{k} \right)^2 \right) \quad (7)$$

と設定している。このとき、(5)式中の関数 c は、

$$c_{(z)} = 1 / \left[1 + \left(\frac{z}{k} \right)^2 \right] \quad (8)$$

となり、結局(5)式の第三項は Parona と Malik の非線形拡散プロセス²⁾に一致する。反射率 $r(=s-l)$ の空間的変動の大きい所では、 c の値が0に近づくので拡散が抑えられる。一方、反射率 $r(=s-l)$ の空間的変動の小さい所では、 c の値は1に近づくので強く拡散がかかることになる。

パラメータ k は、(4)式のエネルギー汎関数 F を最小化する際に、その第二項の忠実化エネルギー項が弱い影響しか与えないようにするため、非常に小さな値に設定する。一方、パラメータ β は、(4)式の第三項が F の最小化にある程度大きく寄与するように、比較的大きな値に設定する。また、(7)式の非線形関数 ϕ を特徴付けるパラメータ k は、

[†]神奈川大学・工学部

[‡]神奈川大学ハイテクリサーチセンター

大きな値に設定すると線形拡散とほぼ同一の振舞いを示すようになるので、比較的小さな値に設定する必要がある。

5. 照明成分・反射率の分離

照明成分 I は、(4)式のエネルギー汎関数を繰り返しアルゴリズムによって最小化することで求め、入力画像 s から照明成分 I を分離する。

反射率 r は、既知の値 s と分離された照明成分 I とから、(2)式を用いて r を求める。

6. 実験結果

本稿では、線形拡散プロセスと非線形拡散プロセスとを比較する。図2は、Macbeth Color Checkerを一様な照明の下で撮影した画像である。実験には、図2をPhotoshopのグレースケールでモノクロに変換した画像を使用した。

(3)式のエネルギー汎関数を最小化するKimmelらのアルゴリズムにより照明成分を分離して推定した照明画像を図3(a)、反射率画像を図3(b)に示した。なお、 $\alpha=0.0001$ 、 $\beta=0.1$ と設定した。これらの値は文献[1]で採用された値である。次に、非線形平滑化エネルギー項を導入した(4)式のエネルギー汎関数を最小化する、本稿のアルゴリズムにより照明成分を分離して推定した照明画像を図4(a)、反射率画像を図4(b)に示した。なお、 $\alpha=0.0001$ 、 $\beta=1.2$ と設定した。非線形拡散係数 c のパラメータ k は、0.1とした。また、反射率 r の制約を持つため、その値を255倍し、反射率画像として表示した。

入力画像は、一様な照明の下で撮影した画像であるので、照明画像は全体的に一様な画像になることが望ましい。図3(a)に比べ、非線形拡散プロセスを導入した図4(a)の方が、照明成分が一様な画像に近づいていることがわかる。また、図3(b)と図4(b)とを比較してみると、不連続境界に生じるぼけが抑えられている。

7. むすび

非線形拡散プロセスを導入したことにより、照明成分、反射率ともにその分離推定結果に改善が見られた。しかし、原画像の黒い部分では、照明があたっていないと判断されてしまい、照明成分が復元されないことや、エネルギー汎関数の三項は拮抗作用しているため最適なパラメータ設定が難しいことなど、今後検討を加える必要がある。

謝辞

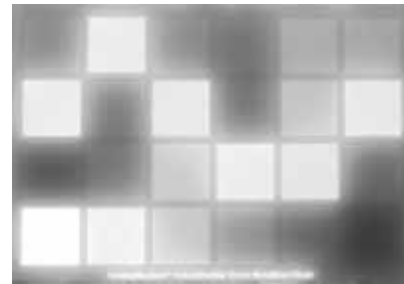
本研究は、文部科学省「ハイテクリサーチセンター設備事業」の援助の下に行われた。感謝の意を表する。

<参考文献>

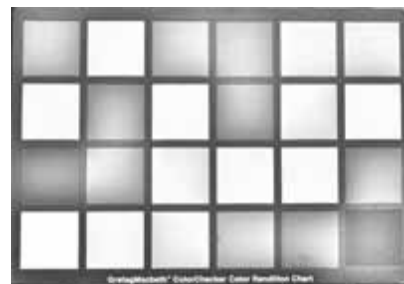
- [1]R.KIMMEL, et al. A Variation Framework for Retinex, International Journal of Computer Vision, pp.7-23, Jan. 2003.
 [2]P.Perona and J.Malik, Scal-Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion, IEEE Trans PAMI, 12, 7, pp.629-639, July 1990.



図2 Macbeth Color Checker



(a)照明画像

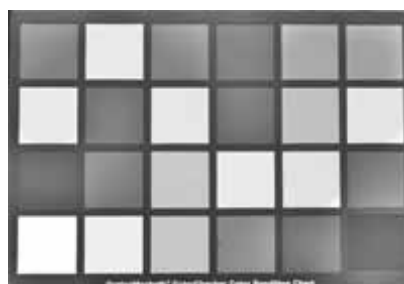


(b)反射率画像

図3 線形拡散プロセスを用いる Kimmel らの手法による分離推定結果



(a)照明画像



(b)反射率画像

図4 非線形拡散プロセスを用いる 本稿の手法による分離推定結果