

色度遷移モデルによる自然画像からの影抽出

西 原 弘 晃^{†1} 長 尾 智 晴^{†1}

本論文では、色恒常性の知見をモデル化し画像領域分割の指標として用いることで、陰影に影響を受けない領域分割を実現し、対象の表面特性とShadeの効果だけを再現することでShadow-less画像を作成する手法を提案する。提案手法では、RGB階調値比を特徴量としたクラスタリング結果を用いて画像を領域分割し、照明条件の変化による色度の遷移をモデル化した色度遷移モデルを用いて同一表面特性であるか否かの判定を行う。その結果に基づいて隣接領域の統合を行うことで、画像の表面特性ごとの領域分割を実現する。さらに本手法では、各領域における表面特性を示す階調値と基準階調値を算出し、色空間における各画素の分布を、各画素の階調値と基準階調値に基づいた置換を行う。これにより、表面特性とShadeの効果だけを再現したShadow-less画像を作成する。

Removing Shadows from Natural Images with Color Transition Model

HIROAKI NISHIHARA^{†1} and TOMOHARU NAGAO^{†1}

In this paper, we propose a method to divide a natural color image into the surface characteristic of object and the illumination effects. We make the model of the change of chromaticity by the change of illumination condition. Using this color transition model, a natural scene is divided into several regions by the surface characteristic and the clustering result of color space. And, it is determined whether the neighbor regions can be integrated. In addition, the whole image is divided into the regions which have a surface characteristic. The value of the standard color that shows the surface characteristic is determined by each region. In each pixel, we calculate the difference between the color value and the value of standard color. It is considered to be equal to the depth of a value that shows the illumination effects. As a conclusion, we got a shadow-less image.

1. まえがき

デジタルカメラなどで撮影される画像データは撮影時の照明条件から大きな影響を受けています。そして、画像中の陰影効果は撮影時の照明条件の違いを顕著に反映するもののひとつであり、画像の領域分割の大きな障害となっています。

カラー画像の領域分割手法の研究^{1)~4)}など盛んに行われている。Wesolkowskiらによる研究では、Shadeとハイライトの照明効果に対してロバストな画像領域分割手法が提案されている⁵⁾。また、画像中に含まれる照明効果の影響を扱う研究は近年盛んに行われている⁶⁾。FinlaysonとHordleyは画像中の画素において色恒常性を実現する研究を行った⁷⁾。そして、彼らとDrewのグループは画素における色恒常性に基づいて画像中のエッジから陰影によるエッジを選び出す方法を考案し、画像からの陰影除去を行っている⁸⁾。

本論文では、色度遷移モデルを用いた画像領域分割に基づく自然画像から陰影を抽出する手法を提案する。提案手法では色度遷移モデルによる判定をもとに照明効果の影響を受けない画像領域分割を行う。さらに本手法では、各画素の色空間中の分布を独自のモデルに基づいた操作を行うことによって、影の効果だけを取り除いたShadow-less画像を作成する。

本論文では、第2章で画素における色恒常性の概要を示し、第3章では提案手法で用いる色度遷移モデル、画像を表面特性に基づいた領域へ分割する方法、照明効果の中からShadeの効果だけを再現したShadow-less画像の構成方法について述べる。第4章で提案手法の有効性を示す実験について述べ、第5章では実験の結果と考察を述べる。

2. 画素における色恒常性

提案手法の先行研究として、Finlaysonらによる画素における色恒常の研究⁷⁾について述べる。

RGB階調値は次の式によって表される。

$$p_k = \tau \int_{\lambda} E(\lambda) S(\lambda) F_k(\lambda) d\lambda \quad k=\{R, G, B\} \quad (1)$$

^{†1} 横浜国立大学大学院環境情報学府

Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

ここで, p は階調値であり, λ は波長である。また, $E(\lambda)$ は照明光の分光強度特性, $S(\lambda)$ は対象物体表面の分光反射特性, $F(\lambda)$ は撮像素子の分光感度特性である。また, τ はデータ取得装置によるゲインを示す係数である。その特性がナローバンドであるとみなせる場合, 撮像素子の応答である式(1)は次のようになる。

$$p_k = \tau E(\lambda_k) S(\lambda_k) \quad k=\{R, G, B\} \quad (2)$$

ここで λ_k は各素子の応答波長とする。以上のことから, 各階調値は光源の特性 $E(\lambda_k)$ と表面特性 $S(\lambda_k)$ の積として扱うことができる。

次に, 照明光の分光強度特性が黒体輻射の分光強度特性に置き換えられるものと仮定する。黒体輻射の放射エネルギー $E(\lambda)$ はプランクの式で示される。ここでは, 波長は可視光である 360nm から 830nm の範囲であり, 相関色温度は 10,000K 以下であることから $\exp\left(\frac{C_2}{T\lambda}\right) \gg 1$ となり, 次のように示される。

$$E(\lambda) \simeq C_1 \lambda^{-5} \exp\left(\frac{-C_2}{T\lambda}\right) \quad (3)$$

ここで C_1, C_2 は定数である。また, T は黒体の温度を表す変数であり, ここでは相関色温度である。単位は K である。

つづいて, $E(\lambda)$ の比について考える。

$$\frac{E(\lambda_1)}{E(\lambda_2)} = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^5 \exp\left\{-\frac{C_2}{T}\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right)\right\} \quad (4)$$

式(4)の両辺について自然対数をとったものを用いて, $\lambda_R, \lambda_G, \lambda_B$ の関係を表すと次のようになる。

$$\begin{bmatrix} \ln \frac{E(\lambda_R)}{E(\lambda_G)} \\ \ln \frac{E(\lambda_B)}{E(\lambda_G)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ln \left(\frac{\lambda_G}{\lambda_R}\right)^5 \\ \ln \left(\frac{\lambda_G}{\lambda_B}\right)^5 \end{bmatrix} - \frac{C_2}{T} \begin{bmatrix} \frac{1}{\lambda_R} - \frac{1}{\lambda_G} \\ \frac{1}{\lambda_B} - \frac{1}{\lambda_G} \end{bmatrix} \quad (5)$$

さらに, 式(2), 式(5)から次の式が示される。

$$\begin{bmatrix} \ln \frac{p_R}{p_G} \\ \ln \frac{p_B}{p_G} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ln \frac{S(\lambda_R)(\lambda_G)}{S(\lambda_G)(\lambda_R)}^5 \\ \ln \frac{S(\lambda_B)(\lambda_G)}{S(\lambda_G)(\lambda_B)}^5 \end{bmatrix} - \frac{C_2}{T} \begin{bmatrix} \frac{1}{\lambda_R} - \frac{1}{\lambda_G} \\ \frac{1}{\lambda_B} - \frac{1}{\lambda_G} \end{bmatrix} \quad (6)$$

この式は, 同一表面特性をもつ画素群について, 照明光特性の変化を相関色温度 T の変化で表すことが可能なとき, プロットした座標点が直線上に分布することを示している。

3. 提案手法

3.1 概要

本研究では, 照明条件によらず画像を同一表面特性をもつ領域へ分割する手法を提案する。提案手法では, 2章で述べた先行研究の知見を応用した色遷移モデルを用いて, 画素群のクラスタリング結果に基づいて分割された領域の統合判定を行い, 画像の同一表面特性をもつ領域への分割を実現する。また, Shadeだけを再現し Shadowを取り除いた Shadow-less 画像を作成する。ここで陰による照明効果を Shade, 影による照明効果を Shadow とする。

3.2 色度遷移モデル

提案手法では, 同一表面における日向領域と陰影領域との色度の違いを, 照明光の相関色温度の違いとして評価し, 画像の領域分割を行う際の判定条件として用いる。指標となる RGB 階調値を示す指標階調値と判定対象である画素の RGB 階調値を示す判定階調値が与えられた時, R, G, B それぞれの差を算出する。 R, G, B の差が全て正の場合, 指標階調値と判定階調値のそれぞれをもっていた画素は, 画像中で同一表面に対応している可能性があるため, 次の判定に移る。式(6)を用いて, 指標階調値と判定階調値の 2 点をプロットし, その 2 点を通る直線の傾きを算出する。算出した直線の傾きと理論値における傾きとの差がしきい値未満の場合, 指標階調値をもつ画素と判定階調値をもつ画素が同一表面特性を示していると判定する。 R, G, B の差の少なくとも 1 つの値が正でない場合, または算出した直線の傾きと理論値における傾きとの差がしきい値以上の場合, これらの階調値をもつ画素は異なる表面特性を示していると判定する。

3.3 RGB 階調値比による画素群のクラスタリング

提案手法ではクラスタリングに用いる特徴量として RGB 階調値比を用いる。また, 実際にクラスタリングの特徴量として算出する際には, RGB 階調値比のベクトルの大きさが 1 になるようにした。RGB 階調値から特徴量である RGB 階調値比を算出する式を次に示す。

$$x_k = \frac{p_k}{\sqrt{p_R^2 + p_G^2 + p_B^2}} \quad k=\{R, G, B\} \quad (7)$$

また, クラスタリングを行う際の距離はセントロイドとのユークリッド距離を用いた。

算出した RGB 階調値比を特徴量として, ISODATA 法によるクラスタリング³⁾を行う。

3.4 表面特性による画像の領域分割

注目画素の近傍 8 画素である隣接画素の全てを順に判定し, 2 つの画素が異なる領域である場合に色度遷移モデルを用いた判定を行う。注目画素が属する領域の RGB 階調値の平均を指標階調値とし, 隣接画素が属する領域 RGB 階調値の平均を判定階調値として, 色度遷移モデルによる判定を行う。注目画素と隣接画素で属するクラスタが同じである場合には, そのまま同一の表面特性をもつ対象表面の一部と判断する。

同一な表面特性をもつと判定された画素群を用いて, RGB 階調値の基準として使用する基準表面特性を算出する。陰影効果を小さく抑えるため, RGB 階調値から算出した輝度値が全体の上位 20% 以上の画素についての平均を算出し, これを基準表面特性として設定する。ここで, 上位 20% 以上という数字は予備実験の結果から経験的に設定している。

3.5 Shadow-less 画像の生成

画像からの陰影抽出のために必要な条件を満たすモデルとして次の式をモデルとして用いる。

$p_k = \alpha \{E(\lambda_k)S(\lambda_k) + A\} \quad k=\{R, G, B\}$ (8)
 ここで、 α は照明光源と表面の向きによって決まる係数であり、 $0 < \alpha < 1$ 、 A は環境光を表す項である。提案手法におけるモデルでは、Shade, Shadow それぞれの効果の原因となっている照明光をある単一の特性をもつ照明光とみなしている。

ここで、領域内の各画素について階調値と基準表面特性をもとに照明効果による影響の程度を算出し、Shadow の効果を抑えて Shade の効果だけを反映させた Shadow-less 画像を作成する方法について述べる。具体的には、基準表面特性の RGB 階調値比と注目画素の RGB 階調値比を用いて照明効果の程度をあらわす係数を算出し、照明効果の補正を行った RGB 階調値比への置き換えを行う。この操作を式 (9), (10) に示す。

$$\beta = \frac{\left[\ln \frac{s_R}{s_G} \right]^t \left[\ln \frac{p_R}{p_G} \right]}{\left| \ln \frac{s_R}{s_G} \right|^2} \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} r_R \\ r_B \end{bmatrix} = \beta \begin{bmatrix} \ln \frac{s_R}{s_G} \\ \ln \frac{s_B}{s_G} \end{bmatrix} \quad (10)$$

ここで s は、領域に含まれる画素群の RGB 階調値から算出した基準表面特性の値を表す。

Shadow-less 画像各画素の RGB 階調値は、式 (10) で求めた変更後の RGB 隶調値比 r と基準表面特性 s から求めた輝度値から算出する。

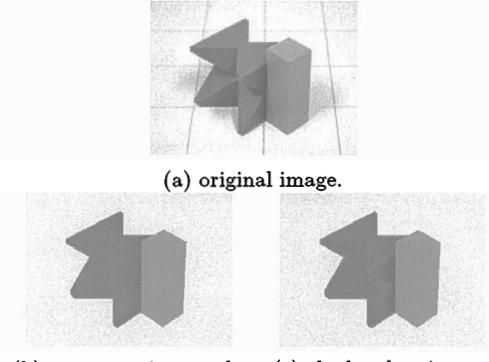
4. Shadow-less 画像の作成と比較実験

提案手法の有効性を確かめるために実験を行った。試料画像は縦 240 pixel、横 320 pixel で、Nikon D70 によって撮影した 12bit の RAW データを RGB 各 8bit の Adobe RGB⁹⁾ 色空間へと変換し作成した。D65 光源、ナローレフ電球、高演色性蛍光灯を用意し、環境光を含んだ環境光と人工光源とを組み合わせた照明条件下で撮影を行った。

今回の実験では提案手法による画像の作成を行い、従来手法との違いを示すために k-means 法による画素群のクラスタリングを用いた領域分割の結果との比較を行った。k-means 法によるクラスタリングを行う際の特徴量は画素の RGB 階調値を用いた。また、k-means 法ではクラスタ数を予め与えておく必要があることから、2 から 10 までの全ての場合について結果画像を出力し比較対象とした。提案手法で用いた ISODATA 法のパラメータは予備実験の結果をもとに決定した。用いたパラメータを表 1 にまとめた。

表 1 ISODATA 法におけるパラメータ
 Table 1 Parameters of ISODATA.

Parameter	Value
初期クラスタ数	20
画素数に関するしきい値 θ_N	100
クラスタ内の分散に関するしきい値 θ_S	0.05
クラスタ間の距離に関するしきい値 θ_D	0.05
ループ回数の上限値	50



(b) segmentation result. (c) shadow-less image.
 図 1 提案手法の結果画像（赤ブロック、緑ブロック）
 Fig. 1 Result of the proposed method.

5. 実験の結果と考察

5.1 Shadow-less 画像についての考察

提案手法による表面特性を示す領域への画像分割結果と作成した Shadow-less 画像の一例を図 1 に示す。

原画像に対して、提案手法による領域分割の後に基準表面特性を表す階調値を割り当てる画像と、照明効果の中から Shade の効果だけを再現した画像である。

図 1 の (b) では、各プロックに対応する領域については陰影に関わらず表面特性ごとの分割が行われている様子が確認できる。また各プロックに対応する領域と床面に対応する領域の分割も良好に行われている。図 1 の (c) は、基準表面特性を設定し Shade の影響による RGB 階調値比の変化を再現した Shadow-less 画像である。その結果として、基準表面特性に置き換えただけの図 1 の (b) では失われていた Shade の効果を確認することができる。

5.2 表面特性による画像領域分割についての考察

図 2 では、平面と曲面を含んだ画像を対象として、k-means 法に基づいた領域分割の結果と提案手法による領域分割の結果を示す。k-means 法による結果画像については最も適当な領域分割が行われていると考えられるクラスタ数の結果を選択して示した。k-means 法による画素群のクラスタリング結果を用いた画像の領域分割では、クラスタ数によらず多くの場合に照明効果の影響を受けた過分割が引き起こされている。こ

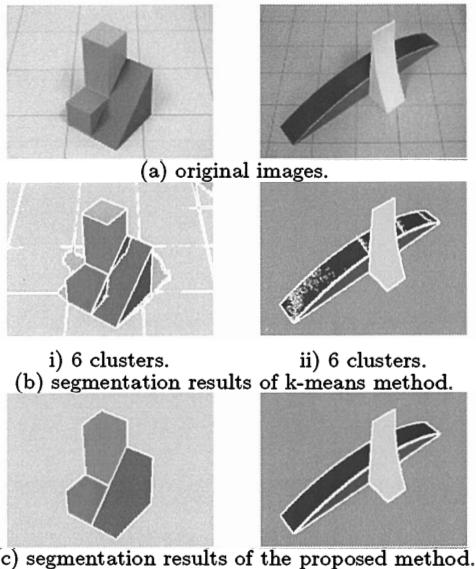


図 2 自然画像における領域分割の結果画像の比較
Fig. 2 Segmentation results of natural scenes.

れに対して、提案手法における領域分割結果は領域の統合が良好に行われている。また、領域の数についても従来手法に比べて過分割が少なく押さえられていることがわかる。

これらの画像についても、ほとんどの部分で提案手法では同一の表面特性ごとの領域分割を行っている。しかし、曲面における一部の鏡面反射成分が強い領域については誤認識による過分割を行ってしまう画像もあった。鏡面反射成分を考慮したモデルの提案が今後の課題であると考えられる。

6. むすび

本論文では、画像平面空間上における色度の遷移について着目し、同一表面特性をもつ対象表面への領域分割を実現することによってカラー画像中から陰影領域を除去した Shadow-less 画像を作成する手法について提案した。実験では、カラー画像での領域分割において、照明条件の違いや陰影の有無によらず同一表面特性をもつ対象について良好な領域分割結果が得られることを示し、画像中の照明効果について Shade の効果を再現した Shadow-less 画像の作成を行った。また、カラー画像の領域分割については、従来手法では陰影の影響でクラスタ数の設定が難しく表面特性ごとの領域分割を行うことができない画像においても、提案手法では最適なクラスタ数になり表面特性ごとの良好な領域分割が行われていることを確認した。

参考文献

- 1) G. B. Coleman, H. C. Andrews : "Image segmentation by clustering" Proc IEEE, vol.67, No.5, pp.773–785 (1979)
- 2) Mehmet Celenk : "A color clustering technique for image segmentation" Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 52, pp.145–170 (1990)
- 3) 高橋圭子, 安部圭一 : "ISODATA 法を用いたカラー画像の領域分割" 電子情報通信学会論文誌, vol.J82-D-II, No.4, pp.751-762 (1999)
- 4) 浜本隆之, 半谷精一郎, 宮内一洋 : "照明の影響を受けたカラー画像の領域分割" 電子情報通信学会論文誌, vol.J79-D-II, No.3, pp.351-357 (1996)
- 5) S. Wesolkowski, S. Tominaga, R. D. Dony : "Shading and Highlight Invariant Color Image Segmentation Using the MPC Algorithm" SPIE Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hardcopy, and Graphic Arts VI, San Jose, USA, January 2001, pp.229–240 (2001)
- 6) 津川知己, 馬場雅志, 浅田尚紀 : "色分布のクラスタ解析による実写画像からの陰影除去" 電子情報通信学会技術報告, PRMU2002-38, pp.53-58 (2002)
- 7) G. D. Finlayson, S. D. Hordley : "Color Constancy at a pixel" J. Opt. Soc. Am. A 18 Feb, pp.253–264 (2001)
- 8) G. D. Finlayson, S. D. Hordley, M. S. Drew : "Removing shadows from images" ECCV 2002: European Conference on Computer Vision (2002)
- 9) Adobe Systems : "Adobe RGB (1998) color image encoding" <http://www.adobe.com/digitalimag/pdfs/AdobeRGB1998.pdf>