

CIE 昼光仮説を用いたカラー画像からの物体色と照明色の復元

2 J - 2

林 泰博 大田 友一
筑波大学 電子・情報工学系

1 はじめに

人間の視覚は色恒常性機能を持ち、異なる照明環境の下でも物体の見かけの色の変化に影響されず、色情報を手がかりに物体を同定することができる。コンピュータビジョンにより、色恒常性の機能を実現する方法の一つは、画像から得られた色情報を、照明色と物体色とに分離し復元することである。我々は先に、コンピュータが過去に観測した画像を正確に記録できることを利用した、複数枚の画像に基づく色恒常性アルゴリズムを提案した[1]。本稿では、照明の分光分布と物体の分光反射率を安定に精度よく復元するための手法として、色恒常性アルゴリズムにおいて、CIE 昼光により解を拘束する方法を提案する。

2 照明の分光分布と物体の分光反射率の復元

照明の分光分布を $I(\lambda)$ 、物体の分光反射率を $R(\lambda)$ 、記録される3刺激値を $C_k (k = 1, 2, 3)$ 、それに対応する撮像系の分光感度特性を $S_k(\lambda)$ とすれば色情報の入力過程は次のように表わされる (λ : 波長)。

$$C_k = \int_{400}^{700} S_k(\lambda) I(\lambda) R(\lambda) d\lambda \quad (k = 1, 2, 3) \quad (1)$$

画像情報に基づいて $I(\lambda)$ や $R(\lambda)$ を復元するためには、少数のパラメータでモデル化する必要がある。ここで $I(\lambda)$ と $R(\lambda)$ を3個の基底関数の加重和でモデル化する。

$$I(\lambda) = \sum_{i=1}^3 a_i I_i(\lambda) \quad R(\lambda) = \sum_{j=1}^3 b_j R_j(\lambda) \quad (2)$$

式(1)に式(2)を代入し、 $I_i(\lambda)$ 、 $R_j(\lambda)$ 、 $S_k(\lambda)$ は既知なので積分を先に行なうことにより、

$$C_k = b^t S_k a \quad (k = 1, 2, 3) \quad (3)$$

の形に書くことができる。ただし S_k は、 3×3 の定数行列、また $a = (a_1 \ a_2 \ a_3)^t$ 、 $b = (b_1 \ b_2 \ b_3)^t$ であり未知係数ベクトルを表わす。 $I(\lambda)$ と $R(\lambda)$ を復元する問題は、式(3)に基づいて a, b を求める問題となる。得られる方程式の数と求める未知数の数との関係から、解を求めることのできる最も単純な状況は図1のとき(方程式の数、未知数の数ともに12個)である。式(3)の右辺は、すべて $a_i b_j$ の項で構成されていることから、12個の未知数のうち任意の1個を固定しないと全ての解が定まらない(すなわち、12個の式のうち1個は冗長である)。照明1の a_{11} を固定し、最小二乗法で解を求める(照明 $p = 1, 2$ 、物体 $q =$

1, 2)。

$$\min \left[\sum_{p=1}^2 \sum_{q=1}^2 \sum_{k=1}^3 \{ (C_{kpq} - b_q^t S_k a_p)^2 \} \right] \quad (4)$$

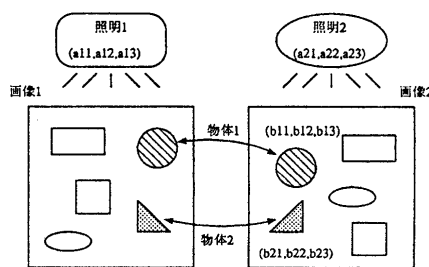


図1: 解を求めることができる状況

3 CIE 昼光仮説を用いた復元

式(4)による復元の問題点は、モデル化誤差や観測誤差が含まれる状況下では極小値が不明確になり、復元精度が安定しないことである。実際に画像に記録されている色情報はモデル化誤差や観測誤差を含んでいることから、誤差の含まれる状況下でも安定な復元を可能にする必要がある。

誤差によって極小値が不明確になり、復元が不安定になる原因の一つは、照明色の自由度が大きすぎることである。従って、照明色の自由度を下げ、解の存在可能空間を制限することによって、復元を安定化することを考える。照明が自然昼光であると仮定し、以下の仮説に基づいて照明の自由度を下げ、解を拘束する。

「CIE 昼光仮説」

照明が自然昼光ならば、その分光分布はCIE 昼光の分光分布に近い

CIE 昼光は、CIE (国際照明委員会) が定めた昼光のモデルで、その分光分布が色温度により規定されており、自然昼光の代表として実用上ほとんど問題がないとされている[2]。従って、シーン中の照明光が予め自然昼光であるとわかっているならば、CIE 昼光を用いて解を拘束することにより、精度よく安定な復元が可能になると期待できる。

本研究で用いている $I(\lambda)$ の基底関数は、Judd[3] が622の自然昼光の分光分布を主成分分析して得たものであり、 $I_1(\lambda)$ には分光分布の平均が、 $I_2(\lambda)$ 、 $I_3(\lambda)$ にはそれぞれ第1、第2主成分が対応している。CIE 昼光の分光分布は、この基底関数によって合成でき、 $a_1 = 1$ に固定したときの (a_2, a_3) が図2に示す曲線を描く。従って、解として選択

Recovering Surface Reflectance and Illuminant from Color Images based on the CIE Daylight Hypothesis
Yasuhiro HAYASHI, Yuichi OHTA
University of Tsukuba

する照明光の CIE 昼光からの外れの度合を、 a_2a_3 平面上での CIE 昼光曲線への距離 $E(a)$ と定め (図 2 参照)、 $E^2(a)$ の項を式 (4) に加え、これを最小にするパラメータの組を解として求める。 α はペナルティの重みを表わす。

$$\min \left[\sum_{p=1}^2 \sum_{q=1}^2 \sum_{k=1}^3 \{ (C_{kpq} - b_q^t S_k a_p)^2 \} + \alpha \sum_{p=1}^2 E^2(a_p) \right] \quad (5)$$

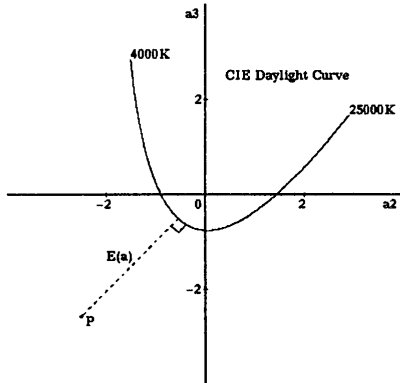


図 2: a_2a_3 平面の CIE 昼光曲線と CIE 昼光からの外れ度合

4 復元実験

本手法の有効性を示すために、合成カラー画像を用いて実験を行なった。合成カラー画像は、第 4 基底関数 (Judd の主成分分析結果の第 3 主成分) によって誤差を付加した CIE 昼光を照明とし、Macbeth 色票を被写体として、分光感度特性が既知であるカメラで撮影する状況を想定した。次のような場合の復元結果を図 3、図 4 に示す。

照明 1 : 色温度 4800K 照明 2 : 色温度 10000K
 物体 1 : Orange 物体 2 : Blue

全波長での平均誤差は、図 3 では、CIE 昼光による制約がある場合 0.10、ない場合 0.26 である。同様に図 4 では、CIE 昼光による制約がある場合 0.05、ない場合 0.13 である。

また、19 色票 (全 24 色票の中の Neutral series 5 色票を除いた) から 2 色票を選ぶ組合せ全て (171 通り) の全波長での平均誤差の分布を図 5、図 6 に示す。

5 まとめ

色恒常性アルゴリズムにおいて、CIE 昼光を用いて照明色の自由度を下げることにより、照明色と物体色の安定な復元が可能となった。CIE 昼光は実際の自然昼光を良好に近似していることから、本手法は屋外の情景を撮影した画像から、照明色と物体色を復元するために有効であると期待できる。

参考文献

[1] Tsukada, M., Ohta, Y., "An Approach to Color Constancy Using Multiple Images" *IEEE 3rd International Conference on Computer Vision*, pp.385-389, (1990)
 [2] 日本色彩学会, "色彩科学ハンドブック" 東京大学出版会 (1992)
 [3] Judd, D.B., MacAdam, D.L., Wyszecki, G., "Spectral Distribution of Typical Daylight as a Function of Correlated Color Temperature" *J. Opt. Soc. Am.*, Vol.54, No.8, pp.1031-1046, (1964)

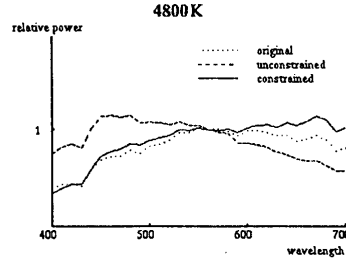


図 3: 照明の分光分布の復元結果

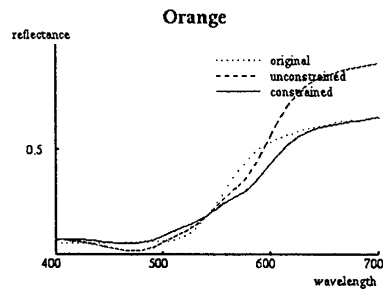


図 4: 物体の分光反射率の復元結果

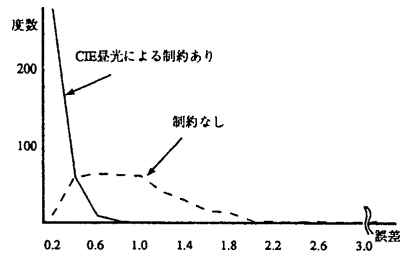


図 5: 復元誤差の分布 (照明)

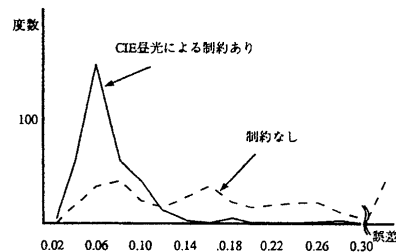


図 6: 復元誤差の分布 (物体)