

## 色特徴のコード化を用いた画像の色復元

木舟 秋介<sup>†</sup> 栗山 繁<sup>†</sup>

本稿では、カメラ撮影した画像からコード化された原画像の色特徴量を読み出して原色に復元する方法を提案する。本手法では、少量の色特徴を用いて色を転移する手法を色復元の目的に導入し、原画像の色特徴を同じ画像から読み取り参照するために、枠の色を用いたビジュアルコード技術を提案する。携帯電話のカメラを用いた様々な画像に対する実験により、本手法の色復元能力の既存技術に対する優位性と、提案するビジュアルコードの実用性が示される。

### Image Color Restoration with Visually Coded Features

SHUSUKE KIBUNE<sup>†</sup> and SHIGERU KURIYAMA<sup>†</sup>

This report proposes a method for restoring original colors of photographed images by detecting visually coded color features of original ones. A Color transfer technology that refers a small amount of color features is introduced for correcting colors, and visual code technique using colored frames is proposed for detecting the color features from the same image. Through the experiments for various images with a digital camera mounted on a mobile phone, we demonstrate the superior performance of our color restoration technique to existing ones, and the practicability of our visual code.

#### 1. はじめに

色復元技術は、色表現の正確さが求められる医療やデザインの現場において欠くことのできない技術であり、通常はカラーチャートを用いて画像のホワイトバランスやカラーバランスが調整されている。カラーチャートを被写体と共に撮影することにより、色調やサイズの基準となるので、撮影条件による露光と縮尺のバラツキを解消することができる。しかし、この補正では被写体の側に配置されたカラーチャートの色変化から全体の変化を推測するので、本来の色情報を正確に推測できる保証はない。

そこで本研究では、カラーチャートを使用する代わりに、被写体の本来の色情報をグラフィカルにコード化して画像に埋め込み、色復元の際にそれを参照することで復元精度を高める手法を提案する。つまり、色転移技術と情報埋め込み技術の組み合わせによって、撮影画像から原画像の色を復元する機構を構築する。

色転移技術は、画像の色特徴を取得して他の画像へ移し替えることで画像の雰囲気を変化させるものであり、その中でも比較的単純な手法の1つとして、Reinhardら[1]によって人間の知覚を基に考えられた $l\alpha\beta$ 色空間[2]で変換を施す手法が提案されている。またJingら[3]はRGB色空間に主成分分析を適用することで得られる固有値と固有ベクトルによって画素の値を変換し、固有色空間と呼ばれる空間を導入して同様な結果を得ている。これらの手法は、変換した色空間の軸が相互に非相関だという性質を利用している。また、ユーザが指定した色を基に配色する手法として、Levinら[4]はユーザにある領域上での色をストローク描画して指定させることで、濃淡画像のカラー化を可能にしている。これは、画像の明度上で指定された色を伝播させており、濃淡画像を対象とした色転移技術と見なせる。

一方、コード化の技術に関しては、QR code[8]やカラーコード[9]に代表されるような、マトリクス状のコードが一般的である。このようなコードは、扱える情報量は大きいものの、コード自体が大きな領域を占めてしまうので、広告物の美観を損なうという問題点が指摘されている。そこで、省スペースで少量の情報を扱えるコードがいくつか提案されており、その一例として宮奥ら[5]はC-Bandと呼ばれる環状のカラーバーを使用したビジュアルコードを提案しており、環状の帯の色変化に情報を埋め込むことで省スペース化を実現している。また類似したアプローチとして、三宅ら[6]や井上ら[7]は人間の視覚特性が青色の変化に鈍感であるという性質を利用して、視認しづらい輪郭コードによってデザイン性を高める手法を提案している。

色転移のために用いられる特徴量は、大抵の場合小さな情報であるため、扱える情報量に制限のあるコードでも適用が可能である。一方、復元の精度を高めるには、可能な限り多くの色特徴が求められる。したがって、これらの技術の色復元に応用するには、画像に埋め込む情報量と色復元の精度のトレードオフを考慮する必要がある。

以上の要点を踏まえ、本研究では既存の色転移技術の色復元に適用してその精度の比較を行い、画質に対する影響を最小限に抑えつつ必要な情報を縮減する機構を、デザイン性と復元精度に対する要求を最大限に満足する様に設計する。

#### 2. 色復元手法

本章では、RGB色空間に対して主成分分析を適用することで、 $l\alpha\beta$ 色空間のような非相関な空間に変換し、色転移させる手法[3]を説明する。

<sup>†</sup> 豊橋技術科学大学  
Toyohashi University of Technology

まず、総画素数  $n$  の画像において、 $i$  番目の画素色  $\mathbf{c}_i = [R_i, G_i, B_i]^T$  ( $T$  は転置) をその平均値  $\bar{c}$  によって  $\mathbf{d}_i = \mathbf{c}_i - \bar{c}$  のように正規化する。次に、分散共分散行列  $\mathbf{M} = \sum_{i=0}^n \mathbf{d}_i \mathbf{d}_i^T / n$  を求めて主成分分析を適用して、 $\mathbf{U} = [\mathbf{u}_1 \mathbf{u}_2 \mathbf{u}_3]$  と  $\mathbf{D} = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$  を得る。ただし、 $\mathbf{u}_i, \lambda_i$  はそれぞれ固有ベクトルと固有値を表す。これらの値を用いて、 $\mathbf{c}_i$  は以下の式(1)で固有空間の座標値  $\mathbf{e}_i$  に写像される。

$$\mathbf{e}_i = \mathbf{D}^{-1/2} \mathbf{U}^T \mathbf{d}_i = \mathbf{D}^{-1/2} \mathbf{U}^T (\mathbf{c}_i - \bar{c}) \quad (1)$$

逆に、固有空間から RGB 色空間への変換は、以下の式(2)を用いて逆変換後の画素の RGB 値  $\hat{\mathbf{c}}_i$  が算出される。

$$\hat{\mathbf{c}}_i = \hat{c} + \hat{\mathbf{U}} \hat{\mathbf{D}}^{1/2} \mathbf{e}_i \quad (2)$$

これらの式を用いて色復元する場合、式(1)では補正対象画像から得られた  $\mathbf{D}, \mathbf{U}, \bar{c}$  を  $\mathbf{e}_i$  の計算に用いるが、式(2)では原画像から得られる  $\hat{\mathbf{D}}, \hat{\mathbf{U}}, \hat{c}$  を用いて  $\hat{\mathbf{c}}_i$  を算出する。

式(2)で用いられる数値  $\hat{\mathbf{D}}, \hat{\mathbf{U}}, \hat{c}$  は、コードに埋め込むためにサイズをできるだけ小さくする必要がある。ここでは、固有ベクトルがそれぞれ直交する性質を利用し、3つの固有ベクトル  $\mathbf{U}$  を直交した単位ベクトル群の回転クォータニオンとして扱う。固有ベクトルは -1 から 1 の実数であり、小数第 3 位までの値を用いれば 0 から 1000 の数値と等価であるため、10bit に加えて正負の 1bit を加えた 11bit で一つの固有ベクトルを表現できる。また、Gerschgorin の定理より固有値は最高でも  $2^{15}$  を超えないため、1つ当たり 15bit で表すことができる。ゆえに、RGB の平均の各値が 8bit とすると、全体で (クォータニオンの次元  $4 \times 11\text{bit} +$  固有値  $3 \times 15\text{bit} +$  RGB 平均  $3 \times 8\text{bit} = 113\text{bit} \approx 15\text{Byte}$  まで情報を圧縮できる。

### 3. データのコード化と検出

#### 3.1 カラーフレームタグによるコード化

本節では色情報を埋め込むためのコードの生成について述べる。コードは、図形の輪郭に情報を埋め込む手法[5][6][7]を参考に、画像を取り囲むカラーフレームとして実現する。C-Band[5]では赤、緑、青色を使用するという制限があるが、本手法では画像を 32 分割した各ブロック領域での平均値から、コードの生成に用いる 2 色を RGB 空間内で最も距離のある組として決定する。また、画像の形は矩形に限定しているため、輪郭コード[6][7]のように曲線を扱う必要がないので、彩色と検出の方法を簡略化する。また、枠の色は後処理で消却できるので、彩色状態を目立たなくするよりも検

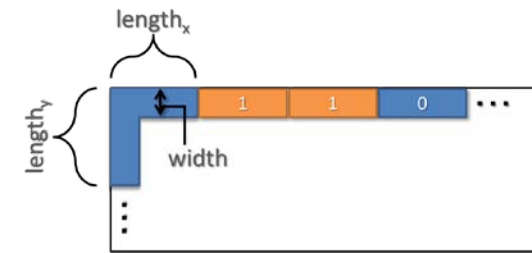


図 1 コード生成方法  
Figure 1 Coding method.

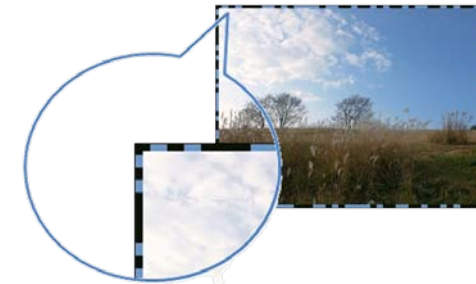


図 2 コード生成例  
Figure 2 Example of data coding.

出の際の頑健性を重視する事とした。

埋め込みは、図 1 に示すように矩形の各辺に 40bit、全体で 160bit を 2 章で示した色復元用の情報として埋め込む。ただし、始点と終点の 2bit は "0" に対応付けられた色を判別するものであり、情報量には含まれない。そのため、始点、終点の色には、画像内から選択された 2 色のうち、グレースケール変換した際の値が小さい方の色を "0" に割り当てる。同様にして、下辺、左辺、右辺にもコードを生成する。また、コードの太さ  $width$  と 1bit 当たりの長さ  $length$  を以下のように設定する。

$$width = \min(I_w, I_h) / 60 \quad (3)$$

$$length_x = I_w / N_{code} \quad (4)$$

$$length_y = I_h / N_{code} \quad (5)$$



図 3 射影変換例  
Figure 3 Example of projective transform.

ここで  $I_w, I_h$  はそれぞれ画像の横幅と縦幅である。また、 $N_{code}$  は一辺あたりに埋め込む bit 数であり、今回は始点と終点を含めて  $N_{code} = 42$  である。図 2 にコードの生成例を示す。

### 3.2 データの検出

次に、コードから埋め込まれた情報を抽出する方法を述べる。ここでは、カメラで撮影された画像を想定している。まず、情報が埋め込まれている位置の特定のために撮影画像から矩形を検出するため、その四隅の座標値を検出[12]し、推定された矩形領域を用いて射影変換を施す(図 3)。

変換された矩形の一辺には、1bit 当たり固定長で情報が埋め込まれているので、一辺の長さを埋め込まれている bit 数で割る事により単位幅を求める。色の"0", "1"の判断は、コード部の画素値を用いる。まず、コード化された四角形枠の各辺に沿って走査し、式(6)(7)より、各 RGB 要素で平均と分散を求める。

$$\mu_{rgb} = \sum_{i=0}^{I_w I_h} \sum_{j=0}^{width} rgb(i, j) / width \quad (6)$$

$$\sigma_{rgb}^2 = \sum_{i=0}^{I_w I_h} \sum_{j=0}^{width} (rgb(i, j) - \mu_{rgb})^2 / width \quad (7)$$

ここで最も分散が大きい RGB 要素のみを bit の判断に用いて、走査線上の画素全体に対するヒストグラムを作成する。そして、このヒストグラムを判別分析法[11]に適用

表 1 PSNR を用いた色復元結果の比較  
Table 1 Comparative results of color correction with PSNR

画像名	復元対象 [dB]	本手法の復元結果 [dB]	QP card の復元結果 [dB]
Baby	15.987	21.867	16.015
Candle	16.752	19.854	16.667
Dishes	9.214	18.229	10.596
Oranges	15.638	17.431	16.168
Cosmos	14.354	19.055	15.743
Sky	12.345	19.011	14.410

表 2 本手法における情報検出の精度  
Table 2 Accuracy in data detection of our visual code

画像名	bit 誤り率 [%]	コーナー検出失敗率 [%]	100% 検出率 [%]
Baby	0.63	0	70
Candle	3.94	10	90
Dishes	7.38	30	50
Oranges	1.63	0	60
Cosmos	0.81	0	70
Sky	0.38	0	90

し、コード化された枠の色を 2 値化するための閾値を求める。ここで、"0"が割り当てられている始点の色と求められた閾値との大小を比較することで、"0"と"1"の色が閾値より大きいのか小さいのかを確認しておく。あとは、コード部の画素値を閾値と比較してデータを検出する。

## 4. 画像復元の精度比較実験

### 4.1 復元結果の比較

補正による復元の精度はオリジナル画像と QP card[10]というカラーチャートを用いた色補正アプリケーションの結果を用い、式(8)の PSNR 値による画質評価と画像そのものの見た目と比較した。本手法では、カラーチャートの色情報は一切必要としな

いが、実験用の画像の条件を統一するために、両手法においてもカラーチャートを含めて撮影したものを使用している点に留意されたい。今回、補正対象画像として、EPSON PX-6500 でプリント印刷し、DoCoMo Xperia のカメラ (2M pix) で撮影したものを使用した。結果を図4と表1に示す。

表1の結果を見ると、両手法とも適用前よりも画質は良くなっているが、本手法での色転移の結果がカラーチャートによる補正結果を上回り、原画像により近いものとなっている。また、図4で確認されるように、目視による色の比較でも本手法の結果の方がQP cardによる結果に比べ原画像の色に近づいている。つまり、撮影対象の原色が既知であり、それを参照した色転移を用いれば、カラーチャートを用いた手法よりも原画像の色が忠実に再現されている。一方、QP cardのようなカラーチャートを用いた手法は、画像の色補正には利用できるが本来の色を再現するには不十分である。

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{MAX^2}{MSE} \right), MAX = 255 \quad (8)$$

$$MSE = \frac{1}{I_w \times I_h} \sum_{i=0}^{I_w-1} \sum_{j=0}^{I_h-1} (rgb(i,j) - rgb'(i,j))^2 \quad (9)$$

#### 4.2 情報検出の精度

情報検出の精度として、全bit中でのbit誤り率と、100%検出できた結果の割合を確認した。表2に4.1と同じ環境で、各画像に対して10回撮影して平均を求めた結果を示す。

表2の結果から、どの画像の検出率も100%に近い結果が得られているが、DishesやCandleのように比較的精度が低いものもある。これは、撮影時の手ブレ等の影響により、矩形領域の検出が失敗したことが原因である。つまり、矩形領域の四隅の検出の精度が良ければ、エラー訂正符号を加えることで情報検出自体は実用上十分な精度を有すると考えられる。エラー訂正に関しては、現在160bit中40bitの未使用部分にリードソロモン符号を割り当てることで全体の約10%のバースト誤りを訂正できると考えられる。また、今回は埋め込める情報量を160bitと色転移技術に合わせて設定したが、情報検出の精度を保ったままさらに多くの情報を埋め込むことにより、画像復元精度のさらなる向上が期待できる。

### 5. おわりに

本稿では、色転移技術を用いた色復元方法と、その実現に必要な画像枠への情報埋

め込み方法を提案した。その有効性を検証するために、復元結果の比較とコードの読み取り精度を実測した結果、本手法は、情報検出、色復元共に良好な結果を示し、PSNR値や目視による判断で、カラーチャートを用いた手法よりも原画像の色に近い復元結果が得られた。

今回の実験で用いた画像に関しては良好な結果が得られたが、画像の全体の色合いの影響でコード化に用いた枠の色が撮影後に変色してしまい、選択した2色の距離の差が縮小している例もあった。したがって、画像全体の色特徴を考慮して枠の色を最適に選択する機構の開発が望まれる。さらに、情報のコード化方法にさらに改良を加え、色復元の精度向上を図るのも今後取り組むべき課題である。

### 参考文献

- 1) Reinhard, E., Ashikhmin, M., Gooch, B. and Shirley, P.: Color transfer between images, IEEE Computer Graphics and Applications, 21, 5, pp. 34-41 (2001).
- 2) Ruderman, D. L., Cronin, T. W. and Chiao, C. C.: Statistics of Cone Response to Natural images: Implications for Visual Coding, J. Optical Soc. of America, 15, 8, pp. 2036-2045 (1998).
- 3) Jing, L. and Urahama, K.: Image Recoloring by Eigencolor Mapping, IEICE Technical Report, pp. 375-380, (2005).
- 4) Levin, A., Lischinski, D. and Weiss, Y.: Colorization using optimization, SIGGRAPH'04, pp. 689-694 (2004).
- 5) Miyaoku, K. and Fels, S.: C-Band: A Flexible Color Ring Tag System, User Interface Software and Technology (2005).
- 6) 三宅哲平, 栗山繁: 図形輪郭線の明度変化を用いた情報埋め込み, 電子情報通信学会誌, J93-A, 2, pp. 73-81, (2010).
- 7) 井上透, 栗山繁: 複数の図形輪郭線の明度変化を用いた情報埋め込み, 情報科学技術フォーラム講演論文集, (2010).
- 8) Denso Wave: QRコード, <http://www.denso-wave.com/qrcode/index-e.html>
- 9) カラージップ: カラーコード, <http://www.colorzip.co.jp/en/>
- 10) QPcard AB: QP card, <http://www.qpcard.se/>
- 11) Otsu, N.: A threshold selection method from gray-level histograms, IEEE Trans. On System, Man, and Cybernetics, 9, 1, pp. 62-66 (1979).
- 12) 片山淳, 中村高雄, 山室雅司, 曾根原登: 電子透かし読取りのためのiアプリ高速コーナ検出アルゴリズム, 信学論 (D-II), vol. J88-D-II, no. 6, pp. 1035-1046, (2005).

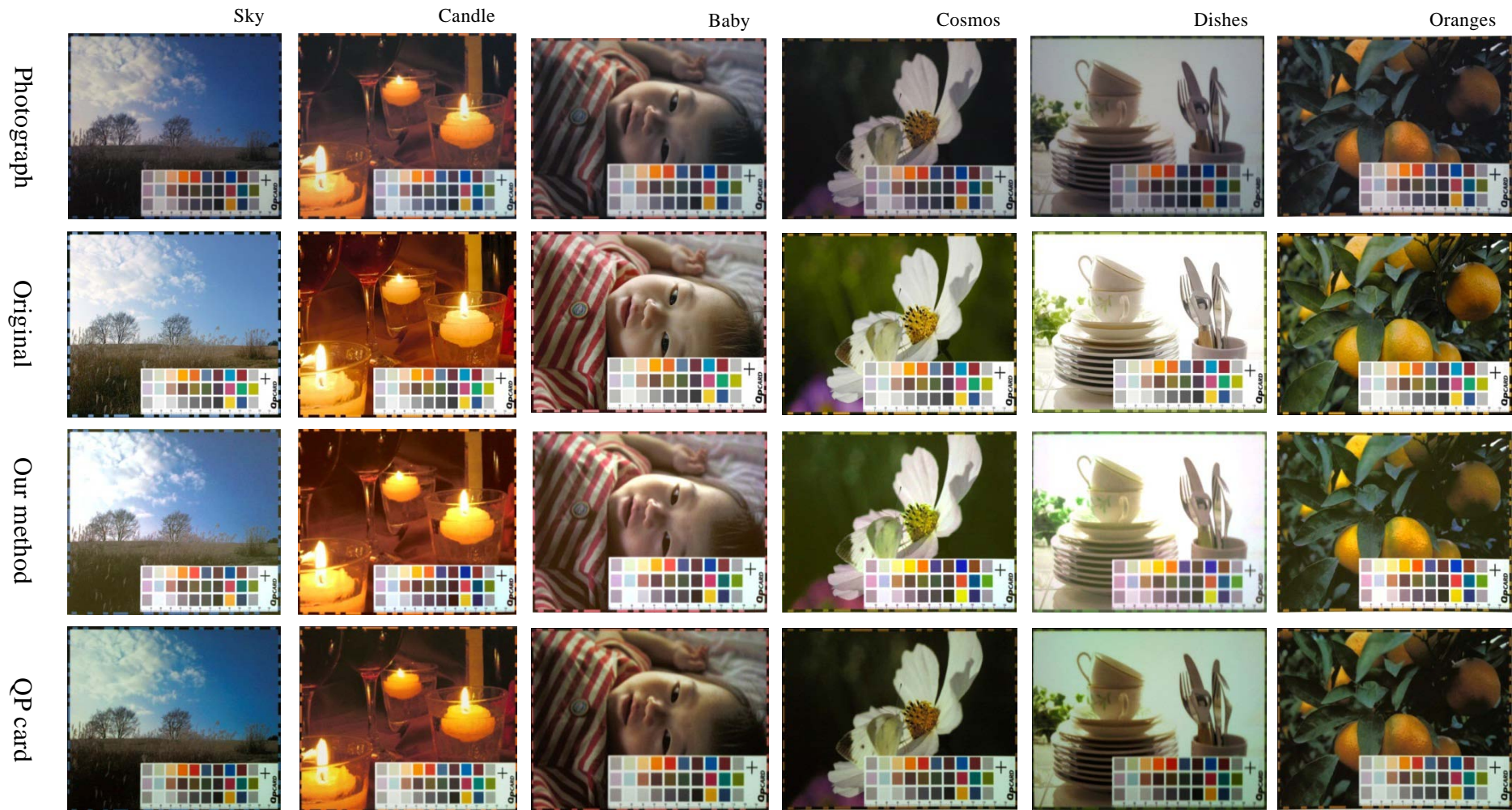


図 4 復元結果の比較  
Figure 4 Comparative results of image color restorations.