

確率分布を用いたカラーバーコード配色推定

Color scheme estimation of the color barcode using a probability distribution

奥田 真也[†]
Shinya Okuda

六井 淳[†]
Jun Rokui

1. はじめに

近年、様々な2次元コードが提案され、普及している。一般にはQRコードが知られている[1]。2次元コードは、index-basedコードとdatabaseコードに大別される[2]。databaseコードはバーコードに実データを付与する方式のコードである。実コード自体が記憶媒体となるが、データ量が大きくなると、それに従いコードサイズも大きくなる。従来の2次元コードを大容量化する方法は、アルゴリズムと多色化の2種類に大別される[2]。本研究室が開発した多層化を用いた3次元カラーコードは、databaseコードに分類され、HCCBのようにカラーコードに分類されるバーコードである[3]。

現在、多層化を用いた3次元カラーコードをはじめとするカラーコードの有効な読み取り方法は確立されていない。カラーコードは印刷、読み取りの環境による配色の変化が生じ、読み取りが困難になる。本研究では配色が変化し、元データと異なる状態になることを「配色の劣化」と定義する。読み取り方法を提案するにあたって、カラーコードのRGBヒストグラムに着目した。配色の劣化の原因は、環境の影響による画像のRGB値の変化である。配色の劣化したRGBヒストグラムと、劣化前のRGBヒストグラムとの形状を比較すると、形状のずれ、欠損等を確認することができる。

本研究ではカラーコードのRGBヒストグラムを統計モデルの一種である混合正規分布と見立てる。RGBヒストグラムは各階調における画素数の疎密を表したグラフである。RGBヒストグラムを混合正規分布で見立てることにより、組み合わせ最適化問題として定式化する。その際、未知モデルパラメータを劣化した各配色の分布の平均と分散と定める。本研究では確率分布を用いたカラーバーコード配色推定を提案し、検証実験によって提案手法の有効性を検証した。

2. 提案手法

2.1 EMアルゴリズム

本節では提案手法の主となるEM(Expectation-Maximization)アルゴリズムについて説明する。EMアルゴリズムは統計学では古くから知られている手法であり、Dempsterらによって一般的に定式化された[4]。音声認識や、近年では画像の隠れマルコフモデルに対する応用にも用いられる。EMアルゴリズムは解を逐次改良していく繰返し探索のアルゴリズムであり、ある種の確率モデルの学習において大域的最適解への良好な収束が知られて

いる[4]。今、 N 個のデータ Z が観測データ X 、非観測データ Y 、未知パラメータ Θ からなる時、確率密度関数族は $p(X, Y; \Theta)$ である。 Θ の最尤推定値は、観測データの対数尤度関数

$$L(\Theta; X) := \log p(X; \Theta) = \log \int p(X, Y; \Theta) dY \quad (1)$$

を最大化する Θ である[5]。一方EMアルゴリズムの場合、完全データ対数尤度関数

$$L_C(\Theta; Z) := \log p(X, Y; \Theta) \quad (2)$$

の条件付き期待値(Q 関数)の逐次最大化によって、式(1)を実現する。

第 t 回目のパラメータ推定値を $\Theta^{(t)}$ とする。第 $t+1$ 回目の反復時は、最初に E (Expectation)ステップで Q 関数

$$Q(\Theta | \Theta^{(t)}) := E\{L_C(\Theta; Z) | X; \Theta^{(t)}\} \quad (3)$$

を計算する。次に、 M (Maximization)ステップで Q 関数を最大にする Θ を求める。最後に Θ を $\Theta^{(t+1)}$ とし、 E ステップに戻る。EMアルゴリズムを整理し、以下に示す。

ステップ1:初期値 $\Theta^{(0)}$ を設定。 $t \leftarrow 0$ とする。

ステップ2:以下を収束するまで繰り返す。

E ステップ: $Q(\Theta | \Theta^{(t)})$ を計算する。

M ステップ: $\Theta^{(t+1)} = \arg \max_{\Theta} Q(\Theta | \Theta^{(t)})$ とする。

2.2 統計モデル化

本節では統計モデル化について説明する。RGBヒストグラムは各階調における画素数の粗密を表したグラフである。一方、混合正規分布は確率密度を表したグラフである。RGBヒストグラムを混合正規分布に統計モデル化し、確率密度によって画素数の粗密を表す。統計モデル化の概要図を図1に示す。

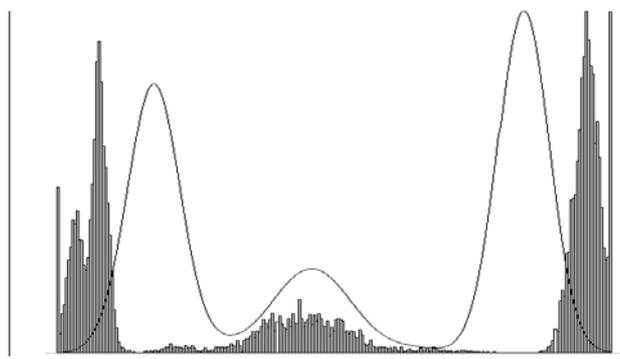


図1 RGBヒストグラムの統計モデル化の概要図

[†]島根大学大学院総合理工学研究科数理・情報システム学専攻, Department of Mathematics and Computer Science Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering Shimane University

図1のRGBヒストグラムは、配色数が2色の3次元カラーコードをサンプルデータとして用いて作成したグラフである。同図の実線部は上記のRGBヒストグラムをデータとして求めた混合正規分布のグラフである。RGBヒストグラムの起伏は画素数の粗密を表す。混合正規分布の起伏は、サンプルデータの各ピクセルを確率変数と見なした際の確率密度の粗密を表す。図より、両グラフの起伏のパターンが類似しており、統計モデル化した際にも画素数の粗密の特徴を維持していることが分かる。

3. 3次元カラーコード

3.1 3次元カラーコードの仕様

本節では3次元カラーコードの仕様について説明する。3次元カラーコードはデータを階層に分け、x,y,z軸上に多層化することで3次的にデータを配置する[6]。多層化することで、層ごとに違う情報を与えることが可能なカラーコードである。本カラーコードの1セルの色パターン数は 2^n 色(n :層数)となる。本カラーコードの仕様図を図2に示す。

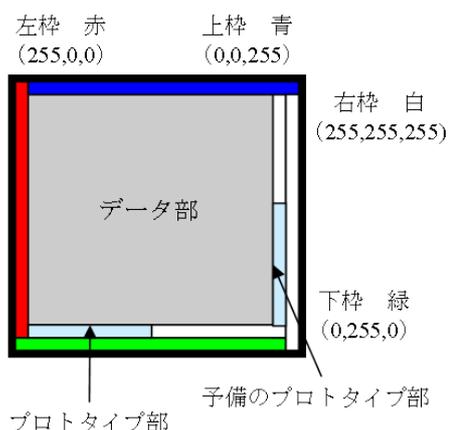


図2 3次元カラーコードの仕様図

本カラーコードは方向を補正するために上下左右の枠を色分けしている。枠により、容易にコード部を抽出することが可能となる。コード部はデータ部、プロトタイプ部、予備のプロトタイプ部を示す。プロトタイプ部、予備のプロトタイプ部に各配色の色パターン情報を付与する。予備のプロトタイプ部は、プロトタイプ部に不備があった場合等に用いる。21×21セルのサンプルコードを図3に示す。

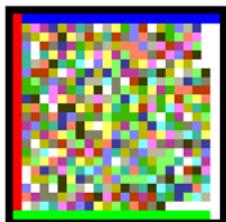


図3 サンプルコード

3.2 読み取りの流れ

本節では本提案手法を用いた3次元カラーコードの読み取りの流れについて説明する。読み取りの流れは以下のようなになる。

- ステップ1:元データである、劣化する前のカラーコードをプリンタで印刷用紙に印刷する。
- ステップ2:印刷されたカラーコードを読み取り機で読み取る。
- ステップ3:コード部を抽出する。
- ステップ4:方向補正を行う。
- ステップ5:コードサイズを正規化する。
- ステップ6:プロトタイプ部を抽出する。
- ステップ7:本提案手法を用いて配色を推定する。
- ステップ8:推定した配色を用いてカラーコードの各セルを読み取る。

以上の手順をフロー図にしたものを図4に示す。

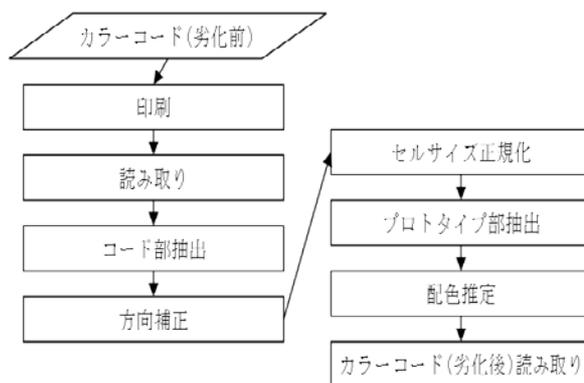


図4 読み取りの流れ

ステップ3のコード部抽出は手動で行ったので、余白が含まれる場合がある。画像の歪曲補正は上下の枠が水平になるようにした。歪曲が激しい場合はステップ2をやり直す。読み取り時の画像は上下左右の向きが不一致な場合があるためステップ4で方向補正を行う。ステップ5まで行ったカラーコードの各ピクセルを観測データとする。ステップ6でプロトタイプ部、予備のプロトタイプ部がある下1行と右1列を抽出する。プロトタイプ部を用いて、EMアルゴリズムの初期値を定める。ステップ7ではEMアルゴリズムによって観測データが属している分布を推定する。推定した各分布の平均値が、本提案手法で推定した各配色のRGB成分である。ステップ8では推定した配色を用いてプロトタイプ部、予備のプロトタイプ部を含めたセルの読み取りを行う。

3.3 提案手法の評価

本節では、検証実験の評価に用いるマッチング方法、読み取り率について説明する。マッチング方法の流れは以下の通りである。

ステップ1:劣化前のカラーコードの各セルを数値で表す。
 ステップ2:各セルを数値で表したものをファイルとして保存する。
 ステップ3:劣化後のカラーコードの各セルの中心付近のRGB成分を抽出する。
 ステップ4:ステップ3で抽出したRGB成分と、推定した各配色のRGB成分とのベクトル距離を求める。
 ステップ5:一番ベクトル距離が短い推定配色を、各セルの配色とする。
 ステップ6:ステップ2と同様に、各セルを数値で表し、テキストファイルに保存する。
 ステップ7:保存したファイル同士を比較し、数値が一致した(マッチングした)セル数を求める。

読み取り率は次の式になる。

$$\text{読み取り率} = \text{マッチングしたセル数} / \text{全体のセル数} \quad (4)$$

マッチング方法の概要図を図5に示す。

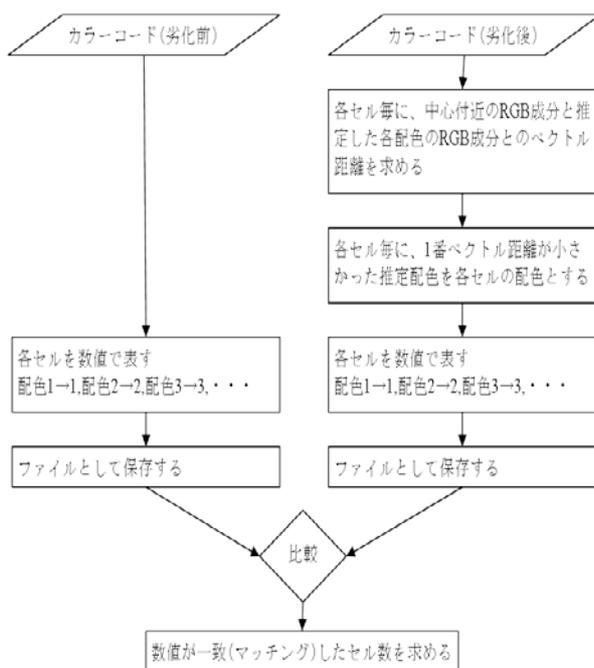


図5 マッチング方法の概要図

4. 検証実験

4.1 配色読み取り実験

本実験は、配色数が増加することによる本提案手法の精度への影響を調べることが目的である。実験条件を表1に示す。劣化前のカラーコードをEPSONのプリンタで印刷する。読み取りは同プリンタに内蔵されているスキャナで行う。サンプルデータは配色数もしくは配色の異なる、計6種類の劣化したカラーコードである。サンプルデータの配色数と配色の組み合わせを表2に示す。

表1 実験条件1

出力	プリンタ:EPSON PX-A620
読み取り	スキャナ:EPSON PX-A620
データ	105×105ピクセル,21×21セル,6種類

表2 配色数と配色の組み合わせ

配色数	2	4	8	16
色の組み合わせ	2種類	2種類	1種類	1種類

本実験で使用した、スキャナで読み取ったカラーコードは読み取り率が100%を達成する結果となった。本実験環境下においては、本提案手法は有効であると考えられる。本実験から、配色の劣化が少ない環境であれば16色まで配色を増やしても読み取り率に影響はない。

4.2 撮影環境実験

本実験は、撮影環境(光源)が異なることによる本提案手法の精度への影響を調べることが目的である。実験条件を表3に示す。

表3 実験条件2

出力	プリンタ:EPSON PX-A620
読み取り	携帯電話のカメラ:CASIO 930CA
サンプル	105×105ピクセル,21×21セル,12種類

劣化前のカラーコードをEPSONのプリンタで印刷する。読み取りは携帯電話(CASIO)のカメラで行う。サンプルデータの配色数は8色、16色である。配色読み取り実験で使用したカラーコードを基準に精度への影響を調べる。サンプルデータの撮影環境は以下の通りである。

スキャナで読み取ったカラーコード。
 蛍光灯が光源であるカラーコード(case1)。
 蛍光灯が光源であるカラーコード(case2)。
 日陰で撮影したカラーコード。
 日向で撮影したカラーコード。
 白熱灯が光源であるカラーコード。

スキャナで読み取ったカラーコードは配色読み取り実験で使用したスキャナを用いて読み取った。蛍光灯が光源であるカラーコードの(case1)と(case2)は、撮影した場所が異なる。配色数が8色の実験結果を表4、16色の実験結果を表5に示す。

表5 8色の読み取り率

	読み取り率(%)
スキャナ	100.0
蛍光灯(case1)	99.5
蛍光灯(case2)	100.0
日陰	100.0
日向	100.0
白熱灯	100.0

表 6 16 色の読み取り率

	読み取り率(%)
スキャナ	100.0
蛍光灯(case1)	79.6
蛍光灯(case2)	97.5
日陰	95.0
日向	100.0
白熱灯	85.3

撮影環境実験において、配色数が 8 色の場合は概ね良好な結果が得られた。本実験から、配色の劣化が大きい環境であっても配色数が 8 色までは読み取れると推測できる。一方で、配色数が 16 色の場合は十分な結果には至らなかった。原因を解明するために配色数が 16 色の結果を調査した。各配色の劣化後 RGB 成分と推定 RGB 成分のベクトル距離の平均値を用いて推定結果を評価したものを図 6 に示す。

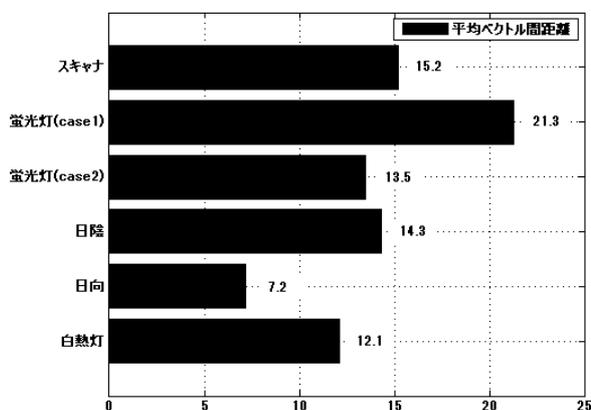


図 6 各環境の平均ベクトル距離

表 6 と図 6 より、読み取り率が低かった蛍光灯(case1)が、平均ベクトル距離も長い結果となり、ベクトル間の誤差が生じていることが分かる。一方で白熱灯はスキャナ等と同程度の平均ベクトル距離にも関わらず、良好な読み取り率に達しなかった。表 6 と図 6 の相関関係が成り立たない結果となった。RGB 成分の処理にベクトル距離を用いないアルゴリズムを用いて再検証する必要がある。

一方、劣化が大きい環境は、劣化後の各配色の RGB 成分が似通う傾向がある。RGB 成分が過度に似通うと、他の手法を用いたとしても、安定した読み取り結果を得ることはできない。本実験においても、カラーコードの一部のセルで同様の問題が起きた可能性が考えられる。

5. まとめ

本研究では、EM アルゴリズムを用いたカラーコード読み取り法を提案した。本提案手法では、RGB ヒストグラムを統計モデルである混合正規分布に見立てた。EM アルゴリズムを用いて混合正規分布の各分布を推定することで、配色の劣化を考慮したカラーコードの読み取りが可能となる。

3 次元カラーコードを用いて本提案手法の検証実験を 2 通り行った。配色読み取り実験では、本実験環境下において配色数が 16 色までは安定して読み取れることを確認し、提案手法は有効であると考えられる。撮影環境実験では、配色数が 8 色の場合は概ね良好な読み取り率であり、提案手法は有効であると考えられる。一方、配色数が 16 色の場合には良好な結果は得られなかった。

今後は、安定した読み取りが行えるよう、適切な配色パターンを考えた後、アルゴリズムの再検証を行う。

参考文献

- [1]長屋 隆之, 山崎 知彦, 原 昌宏, 野尻 忠雄, “高速読み取り対応 2 次元コード[QR コード]の開発”, 情報処理学会第 52 回(平成 8 年前期(2)) 全国大会講演論文集, 253-254 (1996)
- [2]Hiroko Kato, Keng T. Tan “Pervasive 2D Barcodes for Camera Phone Applications”, IEEE Pervasive Computing, pp. 76-85 (2007)
- [3]Devi Parikh, Gavin Jancke, “Localization and Segmentation of A 2D High Capacity Color Barcode, Application of Computer Vision”, IEEE Workshop (2008)
- [4]赤穂 昭太郎, “EM アルゴリズムの幾何学”, 情報処理 37(1), 43-51 (1996)
- [5]上田 修功, 中野 良平, “混合モデルのための併合分割操作付き EM アルゴリズム”, 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理 J82-D-II(5), 930-940 (1999)
- [6]本多 功, 六井 淳, “多層化を用いた 2 次元カラーコード”, 画像の認識・理解(MIRU) (2009)