

頂点彩色アルゴリズムを用いた 2 色覚者のための色変換

Color Conversion for Dichromats Using Vertex Coloring Algorithm

田中 豪*
Go Tanaka*

1 まえがき

ヒトの網膜には、光刺激に対して反応が異なる錐体視細胞が存在する。L 錐体、M 錐体、S 錐体の 3 種類の錐体を持つ場合を正常色覚 (3 色覚) といい、いずれか一つを欠損している場合を 2 色覚 [1] という。色の組合せによっては、正常色覚では異なって見えるものが 2 色覚では同じに見えることがある。すなわち、正常色覚で表現された色の違いが 2 色覚では判別できないことがある。L 錐体を失った場合を 1 型 2 色覚、M 錐体を失った場合を 2 型 2 色覚と呼ぶが、これらの色の見え方は、例えば文献 [2] の方法によってシミュレートすることができる。

近年、2 色覚における色弁別性を改善する色変換手法が提案されている [3–6]。それらの手法は、基本的に、色の組合せに対する最適化問題を構成し、それを解くことで色変換を行う。しかし、色変換結果が必ず十分な色弁別性を持つという保証はない。

本報告では、領域が明確に分かれており、各領域内が単色で構成されている画像を対象とした 2 色覚者のための色変換手法を提案する。提案手法は、グラフの頂点彩色 [7] を利用することで、隣接する領域に必ず異なる色を割り当てる。また、元々の色のとかけ離れた色を割り当てると不自然な印象になる場合もあるので、各領域の色は入力画像における色になるべく近いものとする。提案手法の使用例としては、Web ページなどの閲覧時などを想定している。

提案手法では、まず、入力画像をグラフ化し、そのグラフに対して頂点彩色を行う。その彩色結果を基にして、画像の色変換を行う。グラフ化の手続きは文献 [8] で示した方法と同じであり、2 で説明する。その後、提案色変換について 3 で述べる。4 はまとめである。

2 画像のグラフ化

図 1 を用いて、入力画像のグラフ化の方法を説明する。まず、画像中の各領域を内面、領域の境界線を辺、境界線と領域の接点 (図 1(a) の黒丸) を頂点とみなし、それらからなるグラフ G を考える。次に、 G の各内面に点 (図 1(a) の白丸) をとり、それを頂点 v^* として双対グラフと同様の要領でグラフ G^* を作成する。ただし、外面内の頂点 v_0^* は G^* には含めず、 v_0^* に関する辺は構成しない。例えば、 v_0^* と v_1^* の間には辺を考えない。このようにして作成したグラフ G^* は、入力画像内の各領域の隣接関係を表現している。 G は平面グラフであるので、 G^* も平面グラフとなる。また、 G^* にはループは存在しない。

ただし、(図 1(a) には記入していないが) 双対グラフの定義では、 v_1^* と v_3^* の間に辺 e と交差する辺が存在することにな

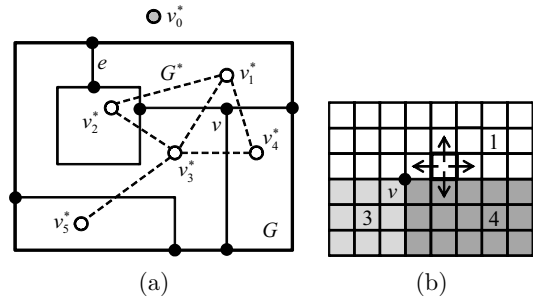


図 1 画像のグラフ化 (a) 入力画像とグラフ, (b) 疑似隣接行列 A の作成

る。すなわち、 G^* には多重辺が存在する可能性がある。各領域の隣接関係の表現としては多重辺は不要であるので、多重辺が存在しないように G^* を構成する。つまり、 G^* が単純グラフとなるようする。具体的には、 G^* の表現として修正隣接行列 [8] を作成することになる。その手順を以下に示す。

入力画像の各画素に対して、その画素がどの領域に属するかという領域番号が割り当てられているとする。図 1(b) は、図 1(a) の右上の頂点 v の部分を拡大したものであり、白色の領域が領域番号 1、薄灰色が領域番号 3、濃灰色が領域番号 4 であるとする。まず、疑似隣接行列 $A = (a_{ij})$ を以下のようにして作成する。

1. 初期化: 全ての i, j について、 $a_{ij} = 0$ とする。
2. ラスタ順に入力画像の画素を走査し、注目画素の領域番号 i と上下左右に隣接する四つの画素の領域番号 $j_1 \sim j_4$ について、 a_{ij_l} ($l = 1, \dots, 4$) の値を 1 増やす。

ここで、入力画像中の領域数が n であるとき、 A は n 次正方行列である。走査が終了したら、疑似隣接行列 A に基づいて、修正隣接行列 $A' = (a'_{ij})$ を

$$a'_{ij} = \begin{cases} 0, & a_{ij} = 0 \text{ または } i = j, \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

で得る。 a_{ii} はループ成分を意味するので、 A' においては $a'_{ii} = 0$ とする。また、 $a_{ij} > 0$ のときに一律に $a'_{ij} = 1$ とするのは、多重辺をなくすためである。なお、疑似隣接行列と修正隣接行列は、本来の隣接行列とは異なるので、このような名称としている。

3 提案手法

単純平面グラフは (少なくとも) 5 彩色可能である [7]。提案手法では、まず、 G^* の各頂点を 5 色以下で彩色する。単純平面グラフを必ず 5 色以下で彩色するアルゴリズムとしては、例えば、文献 [9] の方法がある。 G^* が k (≤ 5) 色で彩色された場合、彩色に用いた色を記号的に $C_0 \sim C_{k-1}$ で表す。

* 名古屋市立大学大学院システム自然科学研究科, Graduate School of Natural Sciences, Nagoya City University

提案手法では、入力カラー画像の各領域の色を CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 色空間 [1] 上の値に変換し、 b^*-L^* 平面上で色変換を考える。これは、 b^*-L^* 平面上への射影が異なる色は、1 型・2 型 2 色覚でも（大抵の場合）異なる色に見えるからである。

b^*-L^* 平面を原点を起点にして λ 単位に分割し、分割点 $S_{b,L}$ (図 2(a) の黒丸) を取る。また、図 2(a) に示してあるように、 b^*-L^* 平面を充てんするように十字ブロックを考える。十字ブロックの内部の位置は図 2(b) のように呼ぶことにし、中央 (B_0) に対応する分割点を代表分割点と名付ける。更に、図 2(a) に示した座標変換 (b^*-L^* 軸から $p-q$ 軸) を行う。 $p-q$ 軸は代表分割点を通るようになっている。 $p-q$ 軸で考えると、 $\sqrt{5}\lambda$ を単位として代表分割点が現れるが、それを図 2(a) に示したように $S^{p,q}$ で表現する。代表分割点に関する対応関係は、

$$\begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix} = \frac{1}{5} \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b \\ L \end{pmatrix} \quad (2)$$

と書ける。

提案手法の基本的な考え方は、グラフ G^* の頂点 v_i^* (領域 i) に対する着色結果が C_j であった場合、領域 i の色が b^*-L^* 平面において所属する十字ブロックの中で、 B_j に対応する分割点 S の色 ($\tilde{b}_i^*, \tilde{L}_i^*$) を出力するというものである。すなわち、領域 i の $L^*a^*b^*$ 値が (L_i^*, a_i^*, b_i^*) であった場合、出力値は ($\tilde{L}_i^*, a_i^*, \tilde{b}_i^*$) となる。領域 i の色が所属するブロック (の代表分割点) を調べる方法を以下に示す。

まず、

$$\begin{pmatrix} p'_i \\ q'_i \end{pmatrix} = \frac{1}{5} \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi\left(\frac{b_i^*}{\lambda}\right) \\ \phi\left(\frac{L_i^*}{\lambda}\right) \end{pmatrix} \quad (3)$$

を求める。ここで、 ϕ は小数第 1 位を四捨五入することで整数化する関数である。次に、 $\hat{p}_i = \phi(p'_i)$ 、 $\hat{q}_i = \phi(q'_i)$ とすることで、 i が所属するブロックの代表分割点 $S^{\hat{p}_i, \hat{q}_i}$ が分かる。最後に、式 (2) の逆変換を利用して、

$$\begin{pmatrix} \hat{b}_i \\ \hat{L}_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{p}_i \\ \hat{q}_i \end{pmatrix} \quad (4)$$

により、 i が所属するブロックの代表分割点 $S_{\hat{b}_i, \hat{L}_i}$ が分かる。

代表分割点 $S_{\hat{b}_i, \hat{L}_i}$ の色の値は $(b^*, L^*) = (\lambda \hat{b}_i, \lambda \hat{L}_i)$ である。 v_i^* の彩色結果の色番号 j に基づいて、 b^* または L^* を適宜 λ だけ増減させることにより、出力値 ($\tilde{b}_i^*, \tilde{L}_i^*$) が得られる。

以上の操作により、入力画像の色から大きく変えることなく、隣接する領域の (正常色覚における) 色差を λ 以上に行うことができる。色変換が同一ブロック内で行える場合、色変化量が最大となるのは、十字の角から最遠の分割点への変換 (図 2(b) の例では黒丸から B_3 あるいは B_4 の分割点への変換) が行われたときであり、その値は $\sqrt{26}\lambda/2 \approx 2.55\lambda$ である。

ただし、実際は ($\tilde{L}_i^*, a_i^*, \tilde{b}_i^*$) が色域 [1] 外の値となることがある。これは、同一ブロック内で色変換を行えない場合であり、適切な対応が必要である。例えば、図 2(a) において、 $S_{0,0}$ を代表分割点とするブロックでは、 B_0 と B_2 に対応する分割点は色域内にあるが、それ以外の分割点は色域外にある。この状況で、彩色結果が C_0 または C_2 以外であった場合、ブロック外の分割点への変換が必要となる。本報告では、あらかじめ $b^* = 0$ 、 $L^* \approx 50$ の代表分割点を持つブロック ($B_0 \sim B_4$ に対応する分割点が全て色域内にあるブロック) を一つ指定しておき、色変換後の値が色域外であった場合には、その指定したブロックを用いて ($\tilde{L}^*, 0, \tilde{b}^*$) を出力とする。

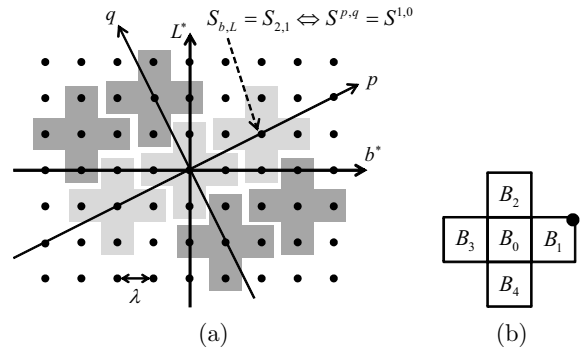


図 2 b^*-L^* 平面の分割 (a) 分割点 S と十字ブロックの配置, (b) 十字ブロック内の番号

4 むすび

本報告では、画像をグラフ化し、頂点彩色の結果を利用することで、2 色覚者のための色変換を行う手法を提案した。提案手法の特長は、隣接する領域の色差を (正常色覚において) 必ず λ 以上にする点にある。

今回、色変換後の値が色域外であった場合には色域の中央に位置するブロックを使うこととしたが、これは処理を簡単にするためであり、出力画像の自然さの観点からは得策ではない。今後、色域の境界周辺の色についても、変化量を抑えた変換方法を与えることを考えたい。また、正常色覚ではなく、2 色覚での色差が λ 以上となるようにアルゴリズムを精緻化したい。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 24700174 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 日本色彩学会 (編), 新編色彩科学ハンドブック第 3 版, 東京大学出版会, 東京, 2011.
- [2] F. Viénot, H. Brettel, and J.D. Mollon, "Digital video colourmaps for checking the legibility of displays by dichromats," Color Research and Application, vol.24, no.4, pp.243–252, Aug. 1999.
- [3] K. Rasche, R. Geist, and J. Westall, "Detail preserving reproduction of color images for monochromats and dichromats," IEEE Computer Graphics and Applications, vol.25, no.3, pp.22–30, May/June 2005.
- [4] J.B. Huang, Y.C. Tseng, S.I. Wu, and S.J. Wang, "Information preserving color transformation for protanopia and deuteranopia," IEEE Signal Processing Letters, vol.14, no.10, pp.711–714, Oct. 2007.
- [5] G. Tanaka, N. Suetake, and E. Uchino, "Lightness modification of color image for protanopia and deuteranopia," Optical Review, vol.17, no.1, pp.14–23, Jan./Feb. 2010.
- [6] G. Tanaka, N. Suetake, and E. Uchino, "Yellow-blue component modification of color image for protanopia or deuteranopia," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E94-A, no.2, pp.884–888, Feb. 2011.
- [7] 織田 進, 佐藤淳郎, グラフ理論の基礎・基本, 牧野書店, 東京, 2010.
- [8] 田中 豪, "頂点彩色アルゴリズムを用いたグレースケール変換の一提案," 信学技報 SIS2013-5, June 2013.
- [9] 遠藤貴世美, 萩田真理子, "グラフの彩色アルゴリズム," 日本応用数理学会 2009 年度年会, Sept. 2009.