

均等色空間を用いた色補正テーブル修整技術

Editing Color Conversion Table in Uniform Color Space

古市 岳*
Gaku Furuichi

井上千鶴*
Chizu Inoue

山本治男*
Haruo Yamamoto

要 旨

一般的に、カラー複写機やカラープリンタの色補正処理は、入出力デバイスの特徴を記述した色補正テーブルを用いて行われる。しかし、デバイス間の色の関係は、非線形性が強く、一つのアルゴリズムで満足するような色補正テーブルを作成することは難しい。そのため、一度作成した色補正テーブルに対して所望の色を得るように微調整する必要があることが多い。今回は視覚的に均等な色空間において色調整を行い、トーンギャップや色とびがない、色補正テーブルを修整する手法を提案する。

Color management for color copiers and color printers is often performed using a color correction table, which is constructed based on measured characteristics of an input and an output device. Color input and output devices often have dissimilar color gamuts, so the mapping function for reproducing the colors of an input device on an output device is usually a compromise, and this function has strong nonlinear characteristics. Since it is difficult to generate an optimum color table using a generic algorithm, it becomes necessary to adjust or modify the color correction table created by the generic algorithm, to make reproduced colors more pleasing or preferable. This paper describes a method of editing a color conversion table in a uniform color space. By using this method, visible tone gaps (contouring) and tone jumps that may exist in the table produced by the generic algorithm can be reduced or eliminated.

まえがき

コピーやプリンタのようなカラー画像処理システムでは、様々な入出力デバイスを取り扱うが、それらはそれぞれ固有の色空間特性を持っている。カラー画像処理システムの色補正では、これらデバイスの色再現特性をモデリングし、特徴を記述した色補正テーブルを作成する。そして、その色補正テーブルを用いることで色補正が実現される。このようなデバイスの入力色空間から出力色空間へ色補正は、一般的に線形な写像とはならず、複雑な非線形関数を解く必要がある。近年は計算機の性能向上などにより、非線形関数を解くことが可能になってきているが、ひとつのアルゴリズムですべての点が満足いく結果を生成することが難しい。

また、すべての色に対して、忠実な色再現を行うことが、必ずしもよい色再現結果になるわけではない。例えば、肌色は健康的で明るい色が、植物の緑や空の

青はより鮮やかな色が好まれるなど、人間の経験的に養われた記憶色の問題もあり、色彩や明度を忠実に再現するだけでなく、特定の色のみに選択的に好みの色に近づけたい、という要望もある。

このような問題点と要望を踏まえて、スキャナなどの入力色空間を構成するR(赤)・G(緑)・B(青)値や、プリンタなどの出力色空間を構成するC(シアン)・M(マゼンタ)・Y(イエロー)・K(ブラック)値を、直接ユーザが変更することで、印刷される色を微調整する方法がある。しかしこの方法では、調整に使用しているRGB,CMYK値などは、人間の色彩感覚とは必ずしも一致しないため、色の微調整を実現することが難しい。

また、上記のような再現色の一部を調整する場合、調整領域に対する調整の度合いが大きい場合には、調整した領域と調整しなかった領域との境界における色彩の移り変わりに落差が生じ、トーンギャップや色と

* ドキュメントシステム事業本部 ドキュメント商品開発センター 第1開発室

び、または擬似輪郭などの、画像劣化が生じる。

本稿では、上記のような画像劣化を発生させず、また、所望する色再現を行うための色補正テーブル修整方法を提案する。まず、均等色空間における色修整方法の概念を説明し、次にその詳細の内容と三次元空間への拡張を説明する。最後に、プロフィール生成ツールへの組み込み例を示す。

1. 均等色空間を用いた色修整方法

1.1 概念

所望の色再現をするように色修整を行うためには、出力表色系 (RGB / CMY / CMYK) の値を変更する必要がある。本稿では、出力表色系の値を直接修整するのではなく、均等色空間内で色を修整し、対応する出力値を求めることにより、人間の色彩感覚に近い色の微調整を可能にしている。均等色空間には CIE $L^*a^*b^*$ (CIE : Commission International de l'Eclairage : 国際照明委員会。 L^* : 明度, a^* , b^* : 色度) を使用した。均等色空間とは、空間中の等距離 (色差) が、知覚的に等しい差となるように作成した空間であり、デバイスに依存しない空間であるため、異なるデバイス間を仲介する色空間として使用されている。この空間において、 $L^*a^*b^*$ の値を変更 (移動) させることにより、それに対応する出力表色系の値が修整されるようにした。例えば、ある入力 (L_i^* , a_i^* , b_i^*) に対応する出力値が (C_1 , M_1 , Y_1) だとした場合、これを別の (C_2 , M_2 , Y_2) 値に変えるには、入力の (L_i^* , a_i^* , b_i^*) を別の (C_2 , M_2 , Y_2) に対応する (L_s^* , a_s^* , b_s^*) に変更すれば、(C_2 , M_2 , Y_2) が出力され、色修整が行われる。

本稿の色修整の概念図は図1に示すとおりであり、本手法は、以下のような特長を持つ。

(1) 色修整したい色 (修整前の点: 点A) とそれを修整した色 (目標点: 点A') を設定する。

(2) 指定元の点を中心とし、ある一定の色差 (距離) とした球体Sを設定し、中心が目標点に移動すると同じように球体Sも移動することにより色修整を行う。

(3) 球体Sの移動により影響を受ける領域を楕円体Eとし、その領域内部も球体Sの移動に伴い、色修整が行われる。

(4) 楕円体E以外は影響を受けない領域であり、色修整を行わない。

実際に修整したい色はある程度の色の範囲を持っているため、指定元の点を中心とした球体を設定した。これにより、指定元の点からある程度の色差を含めた領域を一つの色と見なし、同一に変化させることで、色修整の精度の向上を図る事が可能となる。例えば、色修整したい肌色の領域を抽出し、その領域における平均値か中央値、もしくは最大値を修整前の点とし、領域のばらつきを表す標準偏差を球体の半径とする。さらに、影響を受ける領域を楕円体にする事で、指定元の点と目標点の二つの色からほぼ等距離のみの領域に対して最小に影響を与えることができる。楕円体Eの大きさを決定する一例としては、[目標色から楕円体表面までの距離] と [修整前の色と目標色の移動距離] との比率 ([目標色から楕円体表面までの距離] / [修整前の色と目標色の移動距離]) が視覚的に色の階調性が保つある一定値以上になるように設定する。修整前の色と目標色の移動距離に対し、目標色から楕円体表面までの距離が大きければ、色の変化が移動距離に対し急峻にならず、階調性が保たれるためである。

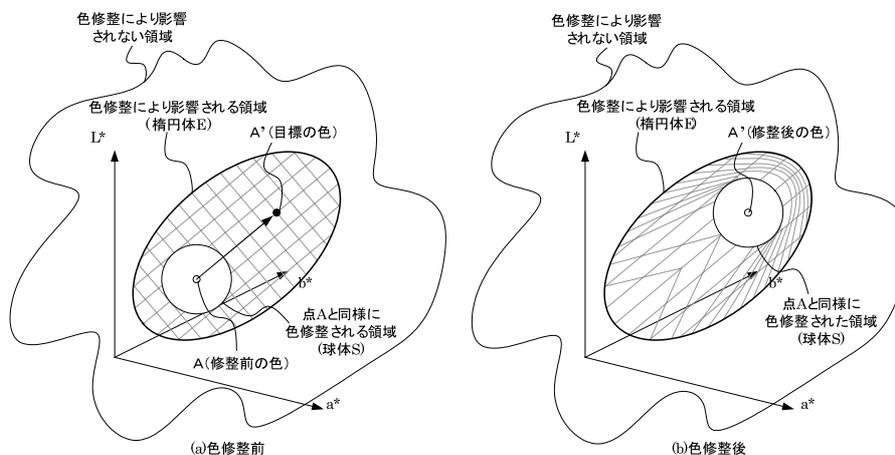


図1 本稿における色修整の概念図
Fig. 1 Concept of color editing.

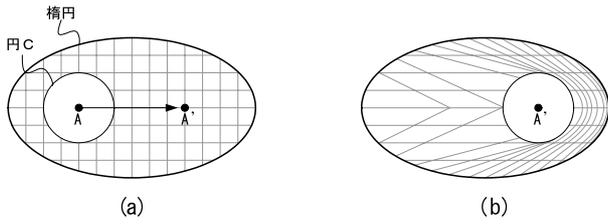


図2 二次元における色修整方法
Fig. 2 Color editing method in 2D.

1・2 点密度変化法

球体Sを楕円体E内で移動する際、楕円体内部の点は球体の移動に影響を受け変位する。そして、この点の変位方法を点密度変化法と呼ぶことにする。点Aを中心とした球体Sを点A'に移動した際に、影響される領域内の点の密度変化は、球体が移動した方向に対して、高密度になり、球体Sが移動した方向と反対方向には疎になるというものである(図2)。また、球体Sに近いほど修整度合いは大きく、離れば離れるほど修整度合いは連続的に小さくなり、楕円体Eの境界および楕円体E外では色修整されない。

この点密度変化法を三次元で実現するには、アルゴリズムが複雑になるため、まず二次元で行い、三次元空間に拡張した。図2は二次元における点密度変化法概念図を表している。点Aが点A'に移動(色修整)されると、円Cも点Aと同様に移動され、円Cの移動に伴い、楕円内の点密度は歪まされる。円Cより右側の点は圧縮され密に分布し、逆に円Cより左にある点は円Cに引っ張られ、疎になる。また、楕円円周上は色修整されない領域になるので、点の移動はない。図2の楕円内の格子線は色修整前の状態(図2(a))

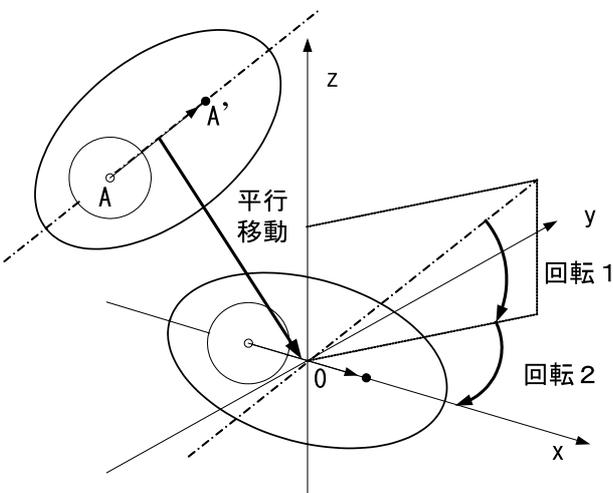


図3 楕円体における平行移動と回転
Fig. 3 Translation and rotation of ellipsoid.

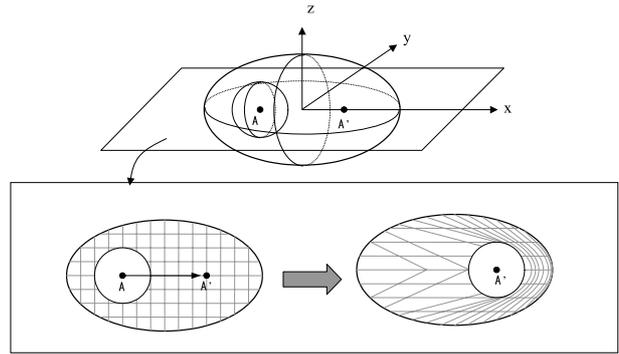


図4 楕円体の輪切り(二次元の応用)
Fig. 4 Slice of ellipsoid (using color editing method in 2D).

と修整後の変化(図2(b))を概略的に表している。この方法により、色分布は色空間内で連続的に変化し、座標の入れ違いが生じないため、トーンギャップや色とびが生じにくい。また、色修整したい部分のみ修整をかけることができ、必要最小限の色のみを修整できることになる。

1・3 三次元空間への拡張

三次元空間の場合、指定元の点から目標点への向きは14通り(各軸における正方向と負方向[6通り]と各軸に区分される領域[8通り])ある。そこで、予め該当する楕円体の領域を抽出し、その楕円体の中心を原点になるように平行移動させ、2回回転を行うことで、常に指定元の点と所望する点の向きが同じになるようにした(図3)。この結果、色修整演算を行うアルゴリズムはシンプルになり、演算の高速化が可能となる。

平行移動と回転を行った後は、指定元の点と目標点の向きが常に同じになり、ともにx軸上に位置しているため、領域をz軸でスライスし、二次元における色修整方法に置き換えて行えば、容易に三次元に拡張することが可能となる(図4)。楕円体内のすべての入力値に対して色修整を行った後、再び上述の逆の回転と平行移動を行い、元の座標に戻すことにより、最終的に色修整が行われたことになる。

1・4 グレーバランスを保存した色修整

色修整領域がL*軸(a*=b*=0)にかかる場合、グレーバランスを崩してしまう。そこで、L*軸の、ある一定の領域内(半径r2内の領域)を無彩色領域とし、無彩色領域内は色修整を行わず、それ以外の領域は彩度(L*軸からの距離)に応じて色修整の度合いを変化させる(図5(a))。すなわち、ある色修整する色の彩度がr2より高ければ高いほど、色修整の度合いが上がる。その例として、図5(b)のような関数を用いる。

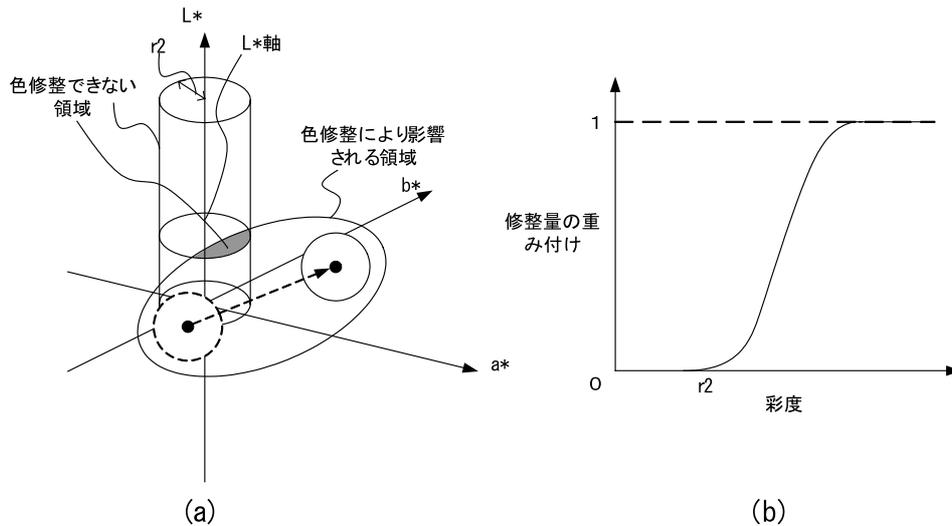


図5 グレーバランスを保存した色修整

Fig. 5 Color Editing with Maintaining Gray Balance.

横軸を彩度にし、それに対応する修整重み係数を導出する。最終的な修整量は、点密度変化法により求めた変位量にこの重み係数を乗算することで求める。その結果、グレーバランスを保ちながら、所望の色修整を行うことができる。

2. プロファイル生成ツールへの組み込み

図6はプロファイル生成ツールへの組み込みを模式的に表したものである。プロファイル生成のフローは、まず、墨生成や出力デバイスのガンマット情報を含んだプリンタモデルを作成する。次に入力表色系(L*a*b*)空間の格子点データを作成する。そして、入力表色系の各格子点における出力表色系(RGB/CMY/CMYK)の出力値に対して、入力デバイスと出力デバイスのガンマットをあわせるためのガンマットマッピングを行いながら、最終的にプロファイルを生成する。

本稿の色修整処理は、入力表色系空間における格子点を生成する処理とガンマットマッピング処理の間に挿入される。上述の通り、色修整処理では、与えられた入力表色系空間における格子点L*a*b*を点密度変化法により移動し、新たな格子点L*a*b*を生成する。そして、新たな格子点情報を元にガンマットマッピングを行うことで、出力デバイスで色再現可能な領域に変換される。そのため、目標点がガンマット外に設定されても、調整者はそれを考慮することなく色の移動ができるようになる。

むすび

均等色空間内で色修整したい領域を、球体で指定

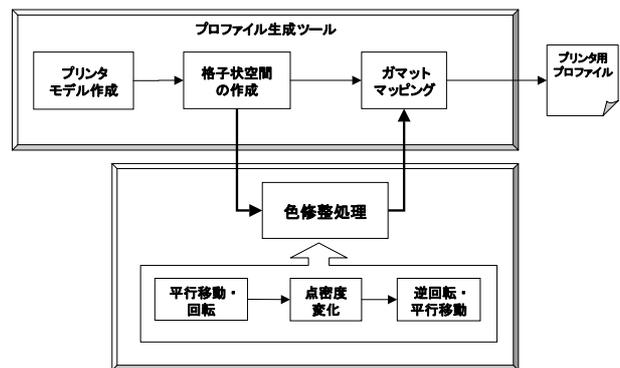


図6 プロファイル生成ツールへの組み込み

Fig. 6 Implementation to the profile generation tool.

し、それを内包する領域を楕円体で指定し、その球体が楕円体内を移動することで、楕円体内のみの色修整を行った。その結果、必要最小限の領域に対して、より正確な色修整を行うことが可能になった。また、球体が楕円体内を移動した際の点密度変化を考慮することで、連続性が保たれ、トーンギャップや色とびが発生しなくなった。

今後は、指定点と目標点の移動手法や、指定色範囲の多様化への対応、また更なる画質改善に向けた点密度変化法の新規手法も検討する必要があると考えられる。

謝辞

最後に本件の開発検討に当り、ご指導ならびにご協力頂いた関係各位に感謝致します。

(2004年5月25日受理)