

減法混色計算を用いた色材の混合シミュレーション

矢澤 学[†] 水野 正志[†][†]長野工業高等専門学校 電子情報工学科

1 はじめに

筆記具には黒だけではなく赤、青など様々な色がある。近年、様々な色のリフィルを自分の好みで選べるペンが販売されていることから、任意の色を使用したいという要望は確実に高まっているといえる。色材について任意の色を抽出する方法としては色材の混合が一般的である。本研究では、クベルカムク理論に基づく減法混色計算を用いてカラーマッチングを行う手法を提案する。

2 提案手法

本研究では、色材の混合割合から色の情報を定量的に求める方法として、Kubelka-Munk 理論を用いた。また、カラーマッチングを最適化問題ととらえ、遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm: GA) による解決法を提案する。

2.1 Kubelka-Munk 理論

顔料系の色材の層は、図 1 のように微小な粒子の積み重なりで構成されている。Kubelka-Munk 理論は粒子の物理的な散乱、吸収現象を考慮して吸収係数 S 、散乱係数 K を与え、それによって反射特性を計算する。吸収係数、散乱係数については混色の際に加法性が成立するため [1][†]、そのときの K 、 S は式 (1) で与

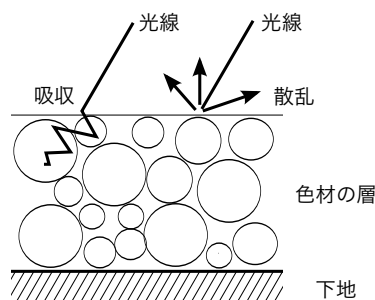


図 1: 色材層の断面図

genotype	001	101	110	111	011	000
phenotype	1	5	6	7	3	0

6種の色材の混合割合

図 2: 個体の遺伝子型

えられる。ここで m_i は色材の混合比率である。

$$K = \frac{\sum_i m_i K_i}{\sum_i m_i}, \quad S = \frac{\sum_i m_i S_i}{\sum_i m_i} \quad (1)$$

式 (1) で求めた S 、 K を元に計算し直す事で、混色後の色を予測する事ができる。

2.2 GA によるカラーマッチング

カラーマッチングとは、混色で得られる色を目的の色に合わせる事をいうが、本研究ではこれを一種の最適化問題と見なし、GA による解決を図る。本節ではカラーマッチングに GA を活用する手法を提案する。

GA の構成要素としては、個体となる遺伝子の型と、その個体の性質を表す目的関数がある。

遺伝子型 遺伝子型には 18 桁の数列を用いる。表現型は 6 つの基準色材の混合比率であり、図 2 のように表現する。

目的関数 目的関数は対象の色と提案手法と色差である。色差の計算は $L^*a^*b^*$ 色空間上で行う。式 2 は $L^*a^*b^*$ 色空間における色差式である。

$$\Delta E = \sqrt{(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

$$(3)$$

色差 ΔE について、目的関数を $f = \frac{1}{\Delta E}$ とする。最適解は目的関数が最大となる組み合わせである。

3 実験

様々な目的色に対して色材の混合割合を導出し、その色差を測定する。そして測定した色差をもとにシステムによる色再現領域を判定する。本章では提案手法の評価実験を行う。

目的色 $L^*a^*b^*$ 色空間から 0~100 までの 6 段階の L^* について、 a^* 、 b^* 平面上で各々 -30~30 で 7 ステップずつ点を取る。この合計 294 点の表す色を目的色とする。

Mixture simulation of pigments with subtractive color mixture calculation

[†] Manabu YAZAWA

[†] Masashi MIZUNO

Nagano National College of Technology, Department Electronics and Computer Science, mizuno@ei.nagano-nct.ac.jp ([†])

[†] その色材がある厚さで下地を完全に隠蔽できると仮定した場合。

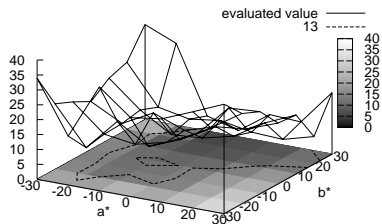


図 3: $L^* = 40$ における色差分布

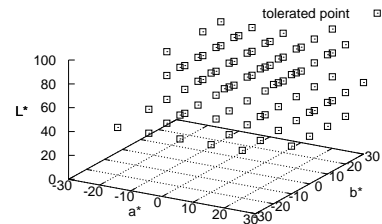


図 4: 許容色差分布

光源 光源には標準の光 D_{65} を利用する。

色材 色材として、マクベスカラーチェッカー^{††}の14番, 16~19番, 24番(赤, 黄, マゼンタ, シアン, 白, 黒)を用いた。

GA の設定は次の通りである。

集団サイズ 集団サイズは 30 とする。

選択 2 体をエリート選択で残し, ランキング選択とルーレット選択で 14 対ずつ親個体を選択する。

交叉 一点交叉確率 0.4, 二点交叉確率 0.4, 一様交叉確率 0.2 とする。

突然変異確率 突然変異確率 0.05 で個体に突然変異処理を施す。

終了条件 30 世代で探索を打ち切る。

3.1 実験結果

実験結果として, 明度ごとの色差分布と, 許容色差分布が得られた。各々の結果について説明する。

色差分布 6 段階の明るさ L^* について, 目的の色と提案手法の導出結果の色差をグラフ化し, 図 3 に示す。色差の少ない領域は, 底面の色が濃くなっている。また, グラフ内の等高線は許容色差 ($\Delta E < 13.0$) の境界線である。等高線の内側にあり, 底面の色が濃い領域は, 提案手法の色再現が許容色差範囲内まで迫った事を表している。

許容色差分布 色差の分布を調べ, 色再現の結果が許容色差の範囲内に収まった点をまとめ, グラフ化した。図 4 にその結果を示す。また, 全 294 点中 87 点が許容色差範囲内に収まった。

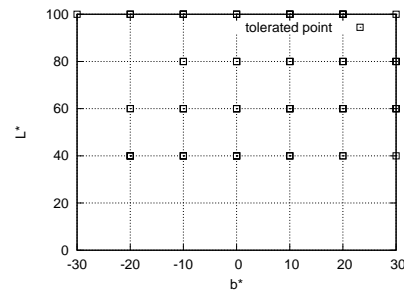


図 5: 許容色差分布 (L^*b^* 平面)

4 考察

提案手法では, 調査した点のうち, 3 割の点において視覚的に差の少ない, 適切な色再現を実現できた。適切な色再現が成された点を図 4, 5 から調べると L^* , a^* , b^* いずれも正の方向に大きくなるほど再現性が向上している事がわかる。図 3 の色差分布を観察すると, a^* , b^* が正のとき, すなわち赤色が強いほど良い再現精度になっていることがわかる。これは実験で用いた色材に無彩色に加えて赤が入っていたためであると考えられる。仮にそうであるならば, 提案手法は再現精度がベースの色材に影響するといえる。

5 おわりに

色材に関するシミュレーションを行うことで多様な色を生み出すことを支援した。具体的には, 散乱性の強い塗料に関する混色を Kubelka-Munk 理論に従って計算し, カラーマッチングを行う手法を提案した。提案手法の実験を行ったところ, 色の再現精度にはベースの色材に影響する可能性が判明した。

参考文献

- [1] Kubelka-Munk の理論を用いたデジタルペインティングのための絵の具モデル, 齋藤豪, 中嶋正之, 信学論, Vol.J82-D-II, pp.399-406, 1999
- [2] システム工学 (第 2 版), 室津義定, 大場忠憲, 米澤政昭, 藤井進, 小木曾望, 森北出版, 2006

^{††} ロチェスター工科大学マンセル色彩科学研究所 (<http://mcsl.rit.edu/>)