

色彩の空間周波数領域における印象補正と印象共有方式

Impression Compensation and Sharing Based on Spatial Frequency Distribution of Color Images

山崎 智也[†] 神山 諒[†] 趙 晋輝[†]
Tomoya Yamazaki Ryo Kamiyama Jinhui Chao

1 はじめに

近年、画像の主観評価に基づく画像の色補正方式が注目されている。特に、最近異なる二人の観測者の間で絵画に対する印象を共有する方式が提案されている [1][2]。しかし色彩値のみの変化による補正では、形などの変化がないため、印象の補正には不十分である可能性が残されている。本研究では、形や輪郭の変化が可能となる画像の空間周波数成分を補正する方式を提案する。具体的には、周波数解析に使われる離散フーリエ変換を用いて、画像の空間周波数成分を抽出し、高周波と低周波成分に対してそれぞれを抑制と強調するシグモイド関数を重みとして、印象補正を行った。さらに単体写像による印象共有に適用して、その有効性を確認した。

2 先行研究

神山らは、パラメータ空間から SD 印象空間への評価写像を単体写像として表し、単体写像の逆写像を用いて色補正パラメータを計算することで、異なる観察者間の印象共有手法を提案している [1][2]。

3 提案手法

3.1 離散フーリエ変換 (DFT)

N 個の複素数を要素とする数列 $f(n)$, $F(k)$ において、 $F(k)$ が $f(n)$, $W = e^{-j2\pi/N}$ を用いて、

$$F(k) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n)W^{kn} \quad (k = 0, 1, \dots, N-1)$$

のような 1 次変換によって与えられるとき、 $F(k)$ は $f(n)$ の離散フーリエ変換 (DFT) であるという。

3.1.1 DFT 補正

DFT によって得られた空間周波数値に、重み関数 w を掛けることで印象補正する。空間周波数平面の原点から、空間周波数 ω までの距離、半径 ρ の関数となる重み関数 $w(\rho)$ を考える。

$$\omega := \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \end{pmatrix}, \quad \|\omega\| = (\omega_x^2 + \omega_y^2)^{1/2} =: \rho$$

周波数領域の補正では、高周波数と低周波数を分けて片方は強調、もう片方は抑制となるように異なる重み関数を式 (1) に定義する。 M は空間周波数平面上の最大距離とする。

$$w(\rho) = \begin{cases} > 1 & \rho > M/2 \\ < 1 & \rho < M/2 \end{cases}, \quad w(\rho) = \begin{cases} < 1 & \rho > M/2 \\ > 1 & \rho < M/2 \end{cases} \quad (1)$$

[†] 中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻
Dept. of Information and System Engineering,
Graduate School of Science and Engineering,
Chuo University

式 (1) の左式が高域強調低域抑制、右式が高域抑制低域強調である。ただし、 $M/2$ を中間周波数とし、本研究で用いる重み関数は、0 と 2 の間の Sigmoid 関数であり、RGB 毎の重み関数は、

$$w(\rho) = \begin{cases} w^R(\rho) := \frac{2}{1+e^{a_R(\rho-\rho_R)}} \\ w^G(\rho) := \frac{2}{1+e^{a_G(\rho-\rho_G)}} \\ w^B(\rho) := \frac{2}{1+e^{a_B(\rho-\rho_B)}} \end{cases}$$

となる。切り替え周波数 ρ_R, ρ_G, ρ_B は R,G,B の中間周波数であり、図 1 にはローパスフィルタとハイパスフィルタの重み関数 $w(\rho)$ を示している。

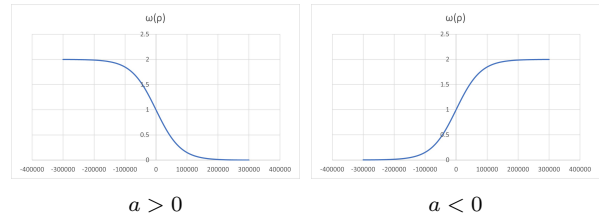
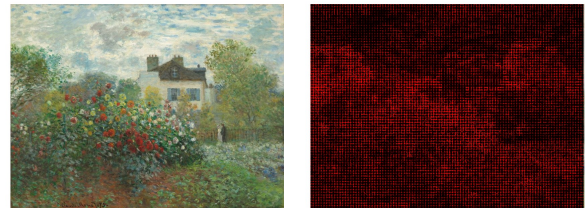


図 1: 重み関数 $w(\rho)$ の周波数特性



(a) 元画像

(b) R の空間周波数成分



(c) R 成分をローパスした画像 (d) R 成分をハイパスした画像

$$(a_R, a_G, a_B) = (0.00005, 0, 0) \quad (-0.00005, 0, 0)$$

図 2: 画像の R 成分の周波数補正例

3.2 単体

m 次元ユークリッド空間 \mathbb{R}^m 内の $n+1$ 個の点 $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_{n+1}$ が一般の位置にあるとする。

$$S_n = \left\{ \sum_{i=1}^{n+1} a_i \mathbf{x}_i \in \mathbb{R}^m \mid a_i \in \mathbb{R}, a_i \geq 0, \sum_{i=1}^{n+1} a_i = 1 \right\}$$

で定まる集合 S_n を, $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_{n+1}$ を頂点とする n 次元単体という. a_i は重心座標であり, $\mathbf{a} = X^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_{n+1})$, $X = (\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_{n+1}, \dots, \mathbf{x}_n - \mathbf{x}_{n+1})$ によって計算できる.

3.2.1 単体写像を用いた色補正パラメータの計算

異なる二人の観測者 Alice と Bob それぞれのパラメータ空間を Π_A, Π_B , 印象空間を Σ_A, Σ_B , 共通印象空間を Σ_{AB} とする. Alice の Π_A から Σ_A, Σ_{AB} への写像 f_A を

$$f_A: \Pi_A \xrightarrow{\pi^A} \Sigma_A \xrightarrow{\sigma_A} \Sigma_{AB}$$

$$p^A \mapsto x^A = \pi(p^A) \mapsto y^A = \sigma_A(x^A) = f_A(p^A)$$

と定義する. Bob の写像 f_B も同様に定義される. これらの写像を単体写像とすると, y^A の共通印象空間内の Bob の単体に対する重心座標を求めれば, Bob に Alice の印象を与えるパラメータ p_A^B は, 単体写像の逆写像を用いて

$$p_A^B = f_B^{-1} \circ f_A(p^A) = f_B^{-1} \circ f_A$$

これは, y^A に対する p^A の知覚同値点となる.

3.3 印象補正と印象共有方式

本研究では, 一般色覚者の Alice と Bob を想定し, 二人の印象評価に基づき印象補正パラメータを計算する. 具体的には, [1] で使用されたアルゴリズムに対して, 本研究では DFT の重みをパラメータとする.

各画素 (r, g, b) の空間周波数値 (R, G, B) に対して, 重みを掛けた $(R \cdot w^R(\rho), G \cdot w^G(\rho), B \cdot w^B(\rho))$ を, 逆離散フーリエ変換 (IDFT) によって補正後の画素値 (r', g', b') に戻すことで印象補正が可能である.

3.4 評価方法

SD 法による評価を数値化するために, 式 (2) に示す平均二乗誤差 (MSE) を用いる.

$$\text{MSE} := \frac{1}{m} \sum_i^m (s_i^A - s_i^B)^2$$

m : 形容詞対の数 (2)

s_i^A : Alice の i 番目の形容詞対の評価値

s_i^B : Bob の i 番目の形容詞対の評価値

4 実験と結果

4.1 測定概要

一般色覚者 Alice と Bob の二人に対して実験した. はじめに, 絵画に対してパラメータ空間上で格子状に配置したパラメータ $\{-0.000025, 0, 0.000025\}^3 = \{(a_r, a_g, a_b) | a_r, a_g, a_b \in \{-0.000025, 0, 0.000025\}\}$ で DFT 補正をし, その補正画像 27 枚それぞれに対して, 被験者には SD 法 [3] による印象評価を実施した. 印象評価の結果をもとに提案手法でパラメータを計算し, 印象補正を行う. 測定に用いた絵画はクロード・モネ「The Artist's Garden in Argenteuil (A Corner of the Garden with Dahlias), 1873」である.

4.1.1 測定環境

測定場所の天井部以外を暗幕で覆い, 周囲の照明の影響を減らし暗室に似せた空間を作成した. 評価画像が提示されるディスプレイと被験者間の距離は約 80cm である. 色空間には RGB 色空間を用いた.

4.1.2 測定手順

測定では順応や記憶による影響を減らすために, 評価画像を切り替える際は暗幕と同じ色の画面を 10 秒間提示し, 測定毎に評価画像はランダムに, 形容詞対もランダムな順番で表示した.

4.2 結果

図 3(a) に印象補正を行うと, 図 3(b) のようになる. 図 4 より, 印象共有前の MSE は 4.20 で共有後の MSE は 1.10 であり, 73.8% の MSE の削減が確認できた.



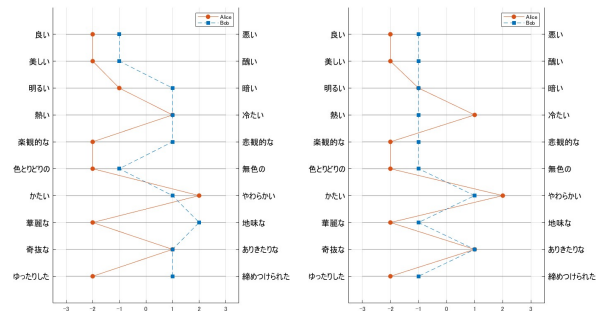
(a) 元画像

(b) 共有画像

$$(a_R, a_G, a_B) = (0, 0, 0)$$

$$(-0.0000238, 0.0000236, -0.00002091)$$

図 3: Alice の印象を共有するための Bob の補正画像



(a) Alice と Bob が元画像 (図 3(a)) をみたときの SD スコア

(b) Alice が元画像 (図 3(a)) を, Bob が共有画像 (図 3(b)) をみたときの SD スコア

図 4: Alice と Bob の印象共有前後の SD スコアの変化

5 おわりに

本研究では, 空間周波数成分の補正によって, 異なる二人の観測者間で絵画に抱く印象を共有する方式を提案し, その有効性を確認した. 今後は, ゲイン a_R, a_G, a_B に加えて, 切り替え周波数 ρ_R, ρ_G, ρ_B を合わせた 6 つのパラメータによる印象補正など, 本方式の拡張と応用を検討する予定である.

参考文献

- [1] 神山諒, 趙晋輝, “単体写像を用いた印象を共有するの提案”, HCG シンポジウム 2022 - 電子情報通信学会 ヒューマンコミュニケーショングループ (HCG2022), 2022.
- [2] Kamiyama, R., Chao, J. “How to Share a Color Impression Among Different Observers Using Simplicial Maps”, H. Mori and Y. Asahi (Eds.): HCII 2023, LNCS 14015, pp. 1-19, 2023. Springer Nature.
- [3] C.E.Osgood, G.J.Suci, and P.H.Tannenbaum. The measurement of meaning. Uni- versity of Illinois Press, 1957.