

SD 法測定量を削減した印象共有方式の提案 Color Impression Sharing with Reduction of Psychometric Measurements

西山 陸人[†] 神山 諒[†] 趙 晋輝[†]
Rikuto Nishiyama Ryo Kamiyama Jinhui Chao

1 序論

主観評価をもとに色変換パラメータの調整を行う方式として、対話型進化計算法 (Interactive Evolution Computation ; IEC) が提案されている [1]. しかし、IEC ではパラメータ空間と印象空間の対応が不明なため、ランダムなパラメータに対して主観評価を繰り返す探索が必要であった。

そこで著者らによって、パラメータ空間と印象空間の対応を単体写像を用いてモデル化し、ランダム探索を必要としない異なる観察者の間に印象を共有する方式が提案された [2] [3]. しかしこの手法は Alice の印象を Bob へ共有するために、Bob の共通印象空間内の単体が Alice の印象を含む或いはそれに近いという条件が必要であった。そのため、予めパラメータ空間に格子状に配置した点に対して測定を行う必要があり、SD 測定の回数が多くなる可能性があった。さらに上記条件が満たされない、つまり共通印象空間における単体が知覚共有点を内包せず、単体の近傍にも存在しない場合、最初に配置されたパラメータの範囲では共通の印象を与える点が求まらないという問題点も挙げられる。

そこで本研究では、印象空間における被共有者の印象から共有者の印象方向へ逐次的に点を追加し、新しい単体の構築を行うことで SD 法による心理測定量を削減する方式を提案する。主観印象評価は強い非線形性を持つが、逐次的に追加した点が既存の単体の近傍内に制限することで単体写像の精度を保持することができ、新しい単体の構築による印象共有の有効性が確認された。

2 従来研究

従来印象共有手法として、神山らによる単体写像を用いた方法が提案されている [2] [3]. ここで検者を Alice と Bob とし、知覚同値点とは、絵画を見たときに感じる印象が Alice と Bob の間で一致するパラメータ点とする。

Alice と Bob のパラメータ空間を Π_A, Π_B とし、両者の印象空間を Σ_A, Σ_B 、共通印象空間を Σ_{AB} とする。ここでの印象空間は、SD スコアからなる SD 空間の 3 次元部分空間 $\{x_i^A\}, \{x_i^B\}$ である。また、共通印象空間 Σ_{AB} は、 $\{x_i^A, x_j^B\}$ から写像された SD 空間の 3 次元部分空間 $\{y_i^A, y_j^B\}$ である。ここで、Alice の Π_A から Σ_{AB} への写像 f_A を

$$f_A: \begin{array}{ccc} \Pi_A & \xrightarrow{\pi_A} & \Sigma_A \\ p^A & \mapsto & x^A = \pi_A(p^A) \end{array} \xrightarrow{\sigma_A} \Sigma_{AB} \quad y^A = \sigma_A(x^A)$$

と定義する。Bob の写像 f_B も同様に定義される。これらの写像は単体写像であり、非退化あるいは単体がつぶれていないため、逆写像が存在すると仮定する。

[†] 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

ここで、 Σ_{AB} における Alice の印象点 y^A を $\langle y_j^B \rangle_{\{j=0, \dots, n\}}$ に対する重心座標を用いて表すと、同じ点 y^A は新しい重心座標 $\{\alpha_j\}$ を持つ、 y_A^B と表記される。

$$y_A^B := \sum_j \alpha_j y_j^B \in \langle y_j^B \rangle_{\{j=0, \dots, n\}}$$

以上より、単体写像の逆写像を用いて Bob に Alice と同じ印象を与えるパラメータ p_A^B は以下のように求められる。

$$p_A^B := \sum_j \alpha_j p_j^B = \pi_B^{-1}(x_A^B) = f_B^{-1}(y_A^B) = f_B^{-1} \circ f_A(p^A)$$

$$\tau_{AB} = f_B^{-1} \circ f_A$$

3 提案手法

従来研究ではパラメータ空間内にあらかじめ格子状に配置した点に対して SD 測定を行うことで Alice の印象点を含む単体を求めていた。本研究では単体の逐次構築を行うことで印象を共有し、SD 測定の回数を削減する手法を提案する。

本研究においてパラメータ空間は従来研究同様、 R, G, B それぞれに独立したガンマ値によって構成される 3 次元空間である。また、印象の共有はパラメータ空間と共通印象空間が同じ次元の場合に最も効率的に行えるため、共通印象空間も 3 次元とし、各軸は SD 測定に用いられる形容詞対に対する SD スコアまたはその MDS 値によって与えられるとする。また、2 つの空間は 3 次元であるので構築される単体は四面体となる。本研究において知覚共有点とは、共通印象空間における Alice の印象点とする。

単体の逐次構築

パラメータ空間における 4 点 (p_1, p_2, p_3, p_4) に対して SD 測定を行い、共通印象空間に単体 (s_1, s_2, s_3, s_4) を構築する。このときの単体写像 f は $f(p_1, p_2, p_3, p_4) \rightarrow (s_1, s_2, s_3, s_4)$ である。ここで、逐次追加点を t_n とすると、 t_n は知覚共有点が一番近い単体の頂点 s_k からそれ以外の単体の各頂点へのベクトル (v_1, v_2, v_3) と係数ベクトル β を用いて下記で表せる。

$$t_n = s_k + \sum_i \beta_i v_i \quad \{i = 1, 2, 3\}$$

単体写像 f は全単射であるので、逆写像 f^{-1} が与えられる。 t_n に対応するパラメータ p_n は、 f^{-1} と β を用いて下記で求めることができる。

$$p_n = f^{-1}(p_k) + \sum_i \beta_i f^{-1}(v_i) \quad \{i = 1, 2, 3\}$$

ここで求めたパラメータ p_n に対して、実際に SD 測定を行うことで $f: p_n \mapsto s_n$ を追加で定義する。その結

果 s_n が知覚共有点に近づいていた場合は、移動の起点となった頂点 s_i と p_i をそれぞれ s_n と p_n に置き換え、単体を再構築する。図 1 に一連の動作を示す。この動作を繰り返し、共通印象を与える単体を求める。

逆写像 f^{-1} は単体の近傍であれば線形性が成り立つという仮定の下で定義されているので、 t_n が単体から大きく離れると非線形性が強くなり、逆写像が定義出来ない。そこで t_n の追加の際に係数ベクトル β の要素の取り得る範囲を $[-1, 1.5]$ に限定する。逐次追加点 t_n はこの条件を満たすように単体の各頂点を、四面体の重心から知覚共有点のベクトル方向に移動させた点とする。

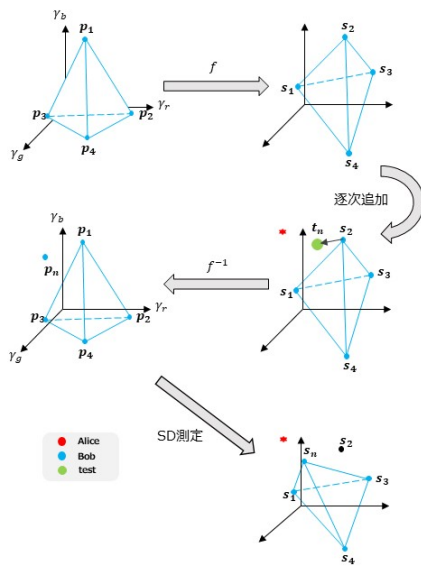


図 1: 単体の逐次構築

4 実験と結果

4.1 実験概要

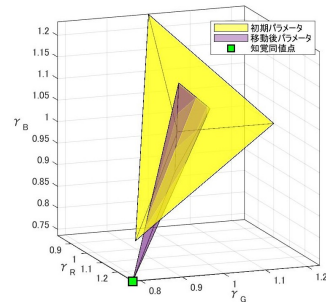
実験は一般色覚者 3 名と色弱者 1 名に対して行った。実験に用いる形容詞対は従来の研究の形容詞対の内から 3 つを選定した。実験の画像には、Vincent van Gogh の絵画「Wheat Field with Cypresses 1889」を用いる。測定環境は、ディスプレイに EIZO 株式会社製 ColorEdge CG2730-Z を用い、照明にパナソニック株式会社製 Hf 器具専用 Hf プレミア蛍光灯を用いた天井部分以外を N5.5 に近い色の暗幕で覆った暗室とする。

測定手順としては、最初に単体構築に用いる 4 点を一度で測定し、その後は逐次追加点に対応したパラメータに対しての測定を繰り返す。どの程度の印象共有が行えたかを評価する方法として、SD スコア間の平均二乗誤差 (Mean Squared Error, MSE) を用いる。

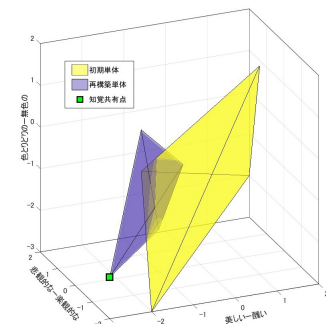
4.2 結果

図 2 に色弱者の印象を一般色覚者に共有した結果を示す。図 2(a) ではパラメータ空間における初期パラメータと逐次追加を繰り返した結果の四面体、知覚同値点を表す。同様に図 2(b) で共通印象空間における初期単体と新構築単体、知覚共有点を示す。また、図 2(c) で原画、図 2(d) で共通印象を与える補正後画像を示す。この一例では、原画に対する MSE スコアは 4.67 であり、印象共有の結果それぞれの SD スコアが一致しているため MSE ス

コアは 0 と印象共有は完全に成功した。同時に、総 SD 測定回数は 10 回と従来手法よりも大幅に削減した。



(a) パラメータ空間内の単体移動



(b) 共通印象空間内の単体移動



(c) 原画

(d) 補正後画像

図 2: 色弱者の印象を一般色覚者に共有

5 結論

本研究では、共通印象空間において点の逐次追加と単体の構築を繰り返すことで共通印象を与える単体を求めた。この一連の動作を知覚共有点方向に限定することで SD 測定の回数の削減を達成した。また、図 2(a) からわかるように知覚同値点は初期パラメータの範囲から外れた値であった。このことから本手法を用いて遠く離れた知覚共有点を探索でき、初期パラメータの範囲外の知覚同値点であっても探索可能であることを確認した。

今後の課題として、パラメータ空間と共通印象空間の次元が異なる場合への適用などが挙げられる。

参考文献

- [1] H. Takagi, "Interactive evolutionary computation: fusion of the capabilities of EC optimization and human evaluation", Proceedings of the IEEE, vol.89, no.9, pp.1275-1296, 2001.
- [2] 神山諒, 趙晋輝, "単体写像を用いた印象を共有する色変換の提案", 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.
- [3] 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.