



| | |
|--------------|---|
| Title | ユーザインタラクションに基づく色補正フィルタの開発 : 個人に見える世界を再現する色補正 |
| Author(s) | 内田, 祐生 |
| Citation | 令和元(2019)年度学部学生による自主研究奨励事業 研究成果報告書. 2020 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/75997 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

2019年度大阪大学未来基金【住野勇財団】学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

| | | | | | |
|---------------------|--|----------|----------------------|----|-----|
| ふりがな氏名 | うちだ ゆうき 内田 祐生 | 学部 学科 | 工学部 電子情報工学科 | 学年 | 3 年 |
| ふりがな 共同 研究者氏名 | おおさこ ゆうたろう 大迫 勇太郎 | 学部 学科 | 工学部 電子情報工学科 | 学年 | 3 年 |
| | | | | | 年 |
| | | | | | 年 |
| アドバイザー教員 氏名 | 中村 和晃 | 所属 | 工学部研究科 電気電子情報工学専攻 | | |
| 研究課題名 | ユーザインタラクションに基づく色補正フィルタの開発 ～個人の見える世界を再現する色補正～ | | | | |
| 研究成果の概要 | 研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。（先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。） | | | | |

1. 研究背景

今日、スマートフォンのカメラアプリケーションには画像を補正するフィルタを持つものがあり、またそのフィルタの種類も大変多い。しかし、フィルタを用いて撮影した画像を後に細かく編集する人や複数のアプリケーションを使用する人も多く、一つのアプリケーション内に豊富な種類のフィルタがあっても既存のフィルタのみではユーザ各々の期待に応えることは難しいことが分かる。そのような現状を省みると、ユーザが求めるフィルタをその個人のために生成することで各々のニーズに応えることが求められていると考えた。そこで、ユーザ個々の嗜好に合致したフィルタを適応的に生成するシステムを開発することを志した。

2. 研究目的

色の認知には、光源・物体・観察者の3要素があり、それらが相互に関係している。本研究では、観察者である人に注目する。人の目に入ってきた光は、網膜の視細胞が受け取り電気信号に変換され脳の視床、視覚野に伝える。網膜には色を感じる錐体細胞があり、赤錐体・青錐体・緑錐体の三種類がある。これら錐体の欠損や比率の異常は色覚異常として診断される。しかし、色覚異常として診断されない人でも、それら3種の衰退細胞の比率に個人差があることが知られている。また、脳の情報処理は後天的に発達する部分が大きいことも知られている。したがって二つの観点から、同じ光刺激を受け取ったとしても人によって見えているものは違うと考えられる。

個人の求めるフィルタとは、外界情報がユーザ個人の見える世界に一致するように補正する処理を行うものとして本研究では定義する。このようなフィルタを用いることで、映画鑑賞、VR ヘッドセットなど視覚による情報が主となる体験のリアリティを高められる。また、美しい風景を見たときに見たままの風景を記録として写真に残すことで写真を見返したときの感動体験はより深いものとなりうる。

本研究の最も重要な点は「ユーザ各々に適応して」フィルタを生成することである。したがって、ユーザの見え方を反映するシステムを開発する必要がある。そこで、本研究では遺伝的アルゴリズム

ムを基礎とするシステムの開発に取り組んだ。遺伝的アルゴリズムにおける評価関数をユーザによる評価としてユーザの意向を取り入れた。加えて、将来的にスマートフォン向けアプリケーションとして使うことを想定して、計算時間の短縮、直感的な操作性を考慮した。

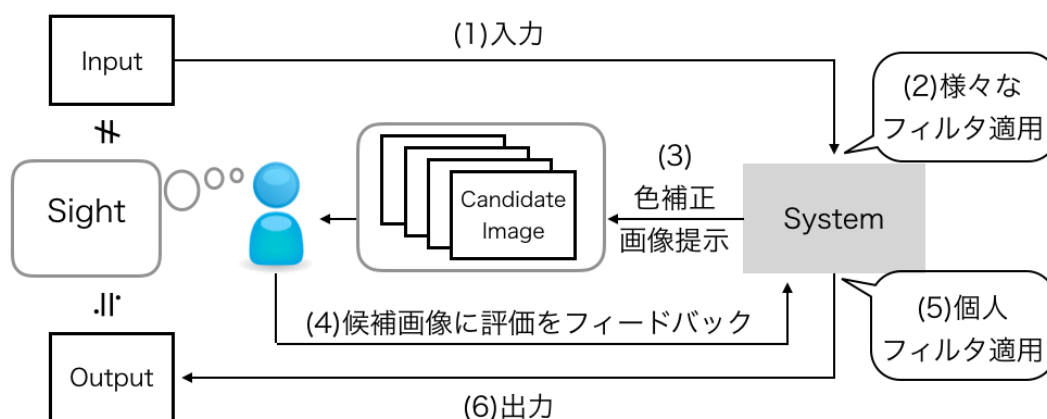


図1：ユーザインタラクションに基づく色補正処理の流れ

3. 研究方法

以下に述べる方法により研究目標を実現する。

- 3.1 遺伝的アルゴリズムに基づく色補正フィルタ生成システムの概要

一つ一つの色補正フィルタを何らかの「遺伝子」で表現する。遺伝子はユーザの評価により更新され最適解に収束する必要がある。したがって、本研究の課題は「ユーザにとって最適な遺伝子を探索する問題」に帰着される。

これを以下のアルゴリズムで実現する。

- i. 遺伝子を n 個生成
- ii. 各遺伝子の適切さを評価
- iii. 十分適切な遺伝子が得られた場合、処理を終了。そうでない場合、ステップ iv を実行
- iv. 評価値の高い遺伝子を残し（エリート生存）、更に交差・突然変異等により次世代の遺伝子を n 個生成
- v. ステップ ii に戻る

ステップ ii において、システムとのインタラクションを通じてユーザ自身に遺伝子評価を行ってもらおう。これを繰り返すことで、個々のユーザに適応した色補正フィルタの生成が実現される。ただし、 n が大きい場合、ユーザが全ての遺伝子进行评估することは現実的に難しい。一方で、全ての遺伝子に評価値が与えられなければ選択・交叉の操作はできない。したがって、ユーザによる評価は一部の遺伝子に対してのみ行い、その結果を他の遺伝子に伝播させて全ての遺伝子に評価値を与える。以下に参考として遺伝的アルゴリズムの基本構成の図を記す。

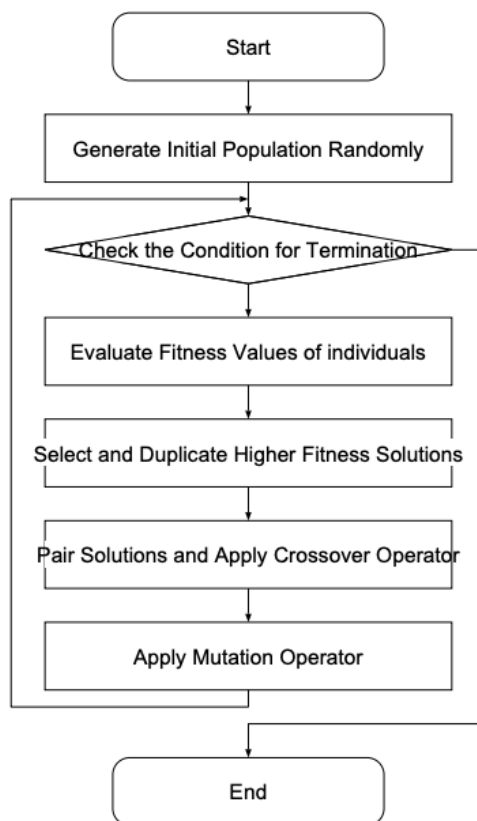


図 2：遺伝的アルゴリズムの基本構成（参考文献[2] p.3 図 1 より引用）

－ 3.2 主な研究課題とその実施スケジュール

本システムを実現するにあたって、課題は次の 4 つである。

- (1) 色補正フィルタを遺伝子として表現する手法の考案
- (2) 遺伝子評価のためのユーザインタラクション方式の設計
- (3) 評価値計算・伝播手法の考案
- (4) 遺伝子操作法（エリート生存・交差・突然変異）の具体化

これに

- (5) 被験者実験に基づく提案システム評価

を加えた 5 つに取り組み、研究目的の達成を目指した。

6,7 月は(1)の実現に向けて色補正写像の考察を、8 月は(4)の実現に向けて遺伝的アルゴリズムの勉強を、それぞれ行った。その後、9 月に(2)を検討し、10,11 月に(3)の検討ならびにシステム全体の実装を行った。最後に、11 月末から 12 月初頭にかけて(5)を実施した。

4. 研究経過

前述の研究課題への研究経過を以下に記す。

－ 4.1. 色補正フィルタの遺伝子表現

本研究では、色補正フィルタを**基本フィルタの系列**と解釈する。ここで、基本フィルタとは、ある特定の色のみを別の特定色へと僅かに近づけるフィルタのことを指すものとする。相異なる複数の基本フィルタを適当な順番で適用することにより様々な色補正フィルタを設計できる。

ここで、基本フィルタの種類数を有限と仮定すると、色補正フィルタは、それを構成する「基本フィルタの ID の系列」として表現できる。これを本研究における色補正フィルタの遺伝子表現とする。より具体的には次の通りである。

4.1.1. 基本フィルタの設計

元画像のある画素値を $p(x, y)$ 、変換後の対応する画素値を $p'(x, y)$ 、変換行列を A とすると、行列 A による画素ごとの画像変換式が得られる。

$$p'(x, y) = Ap(x, y)$$

この変換行列 A を基本フィルタと呼ぶ。

3×3 の単位行列 I 、スカラー λ 、3次元ベクトル d, x を用いて基本フィルタ A_k (k は識別番号) を以下のように定義する。

$$A_k = I + \lambda dx^T$$

ただし、 $|d| = 1, |x| = 1$ かつ x の各成分は非負とする。

この行列 A_k と画像の各画素値 $p = (r, g, b)^T$ との積を計算することで新たな画素値 p' を得る。

$$p' = A_k p$$

変換での変化量は以下である。

$$\begin{aligned} Ap - p &= \lambda dx^T p \\ &= \lambda (x^T p) d \end{aligned}$$

λ は全体的な変化の大きさを、 x は画素値 p との内積により定まる変化の大きさを、 d は rgb 色空間において変化する方向を意味する。すなわち、画素値 p はベクトル d の向きに変化し、画素値 p の向きがベクトル x の向きと近ければその変化量は大きくなり、遠ければ小さくなる。以上の理論に基づいて構築された基本フィルタ A_k は本研究の重要なパーツである。

本研究では、 $\lambda = 0.025$ 、6種のベクトル $d = \{(1,0,0), (0,1,0), (0,0,1), (-1,0,0), (0,-1,0), (0,0,-1)\}$ 、4種のベクトル $x = \{(4,1,1), (1,4,1), (1,1,4), (2,2,2)\}$ による合計 24 種類の基本フィルタ A_k ($1 \leq k \leq 24$) を用いた。ただし、 $|d| = 1, |x| = 1$ を満足するものとする。前述のパラメータ決定により、24 種の基本フィルタによる色補正処理は多様な変化と微細な変化をもつ。

4.1.2. 色補正フィルタを表現する遺伝子配列

本研究における色補正処理とは、色補正フィルタ行列 G を写像として画像を変換するものである。色補正フィルタを基本フィルタの系列として表すと、フィルタ G は M 個の基本フィルタ A_k の積として定義できる。

$$G = A_{k_1} A_{k_2} \dots A_{k_M} (1 \leq k_1, k_2, \dots, k_M \leq N)$$

これら基本フィルタの識別番号を保存した配列を遺伝子配列 S とすると、

$$S = [k_1, k_2, \dots, k_M]$$

として表される。

この遺伝子配列 S を遺伝的アルゴリズムにおける**個体**として、配列 S の要素を更新し次世代の個体を生成する。本研究では遺伝子の長さである M を $M = 8$ とし、一世代あたりの個体数を30とした。基本フィルタの種類数は24、遺伝子の長さは8であるので、理論上フィルタ G は 24^8 種類存在する。

4.2. 遺伝子評価のためのユーザインタラクション方式

ユーザインタラクションによる操作の手法を具体的に記す。

-- 4.2.1. 直接評価される個体の選択

遺伝的アルゴリズムの評価とは、各個体の最適化問題に対する適合度を計算し評価値を与えることである。しかし、前述の通り全ての個体を直接評価するのは困難であるため、直接評価される個体を選択する必要がある。具体的には、30 の個体の中から代表的ないくつかの個体をユーザに補正処理後の画像としてディスプレイ上に提示し、それらについてのみユーザに直接評価される。

ユーザに提示する個体は、最も評価値の高い個体による補正画像 1 枚、評価値上位 50%に含まれる個体による補正画像 4 枚、評価値下位 50%に含まれる個体による補正画像 1 枚の計 6 枚とした。

-- 4.2.2. ユーザによる評価の操作

良い個体グループと悪い個体グループに分ける **2 値グループ分け**をユーザによる評価の操作とした。本研究では、良い個体グループを **good group**、悪い個体グループを **bad group**と呼ぶ。6 枚それぞれに 1 から 6 位まで順位をつける評価方法は、順位による相対的評価が一定でないため好ましくないと考えた。例を挙げると、各順位に評価値を設定すると 3 位と 4 位の評価値の差は固定であるが、ユーザにとって前世代と次世代の 3 位と 4 位への評価の差が等しいとは限らない。加えて、ユーザ評価に必要な時間の短縮、選び易さなどのユーザビリティを考慮すると、2 値グループ分けが評価操作として相応しいと結論づけた。

ユーザが操作するウィンドウを例として以下に記す。

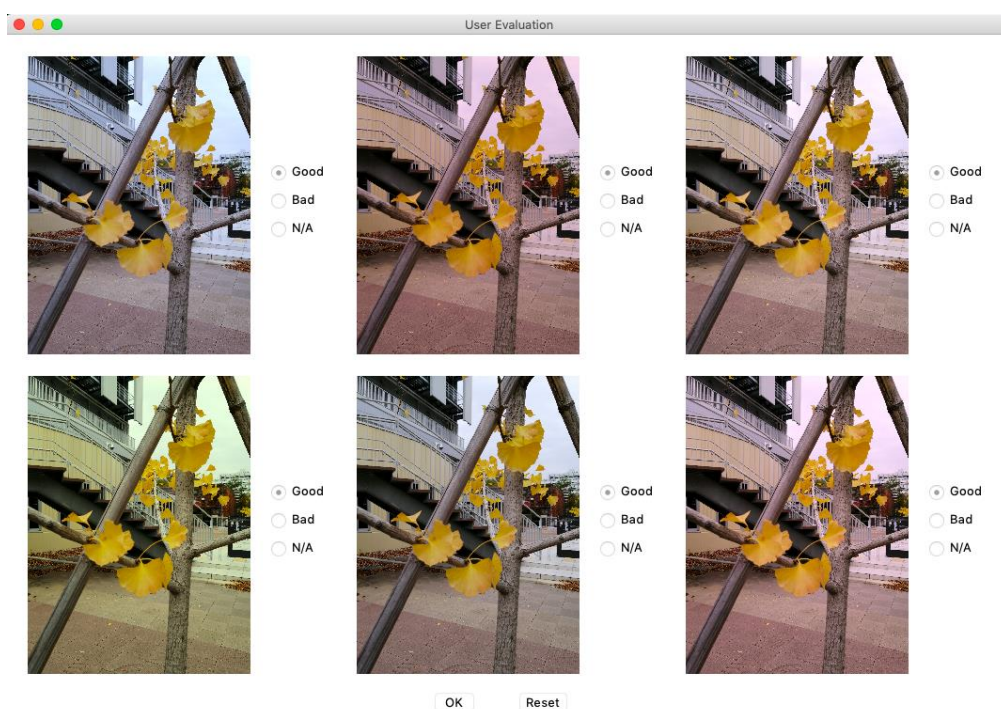


図 3 : ユーザ操作ウィンドウ

画像の右横にある Good/Bad ボタンを選択することで 2 値グループ分けを行う。good groupにも bad groupにも分けられない個体については「N/A」ボタンを選択することで直接評価を避けることができる。

なお、good group, bad groupいずれかの要素数が 0 の場合は更新を行わず、直接評価される個体を 4.2.1. の提示個体選出方法にしたがって選択し直す。

- 4.3. 評価値計算

ある世代のフィルタ集合を \mathbf{H} 、フィルタ集合 \mathbf{H} に含まれるフィルタ個体を \mathbf{h} とする。すなわち、

$$\mathbf{h} \in \mathbf{H}$$

である。

また、good groupに選ばれたフィルタの集合を \mathbf{H}_g 、bad groupに選ばれたフィルタの集合を \mathbf{H}_b とすると、

$$\mathbf{H}_g, \mathbf{H}_b \in \mathbf{H}$$

が成り立つ。

あるフィルタ個体 \mathbf{h} の評価値 $E(\mathbf{h})$ は次式で定義する。

$$E(\mathbf{h}) = \sum_{g \in \mathbf{H}_g} \text{Sim}'(\mathbf{h}, g) - \sum_{b \in \mathbf{H}_b} \text{Sim}'(\mathbf{h}, b)$$

この式にしたがって全ての個体の評価値を計算し、good group, bad groupの個体の評価値を伝播させる。

以下では、評価値 $E(\mathbf{h})$ の計算に必要な類似度 Sim とその正規化類似度 Sim' 、類似度 Sim の計算に必要な代表色の求め方を記す。

-- 4.3.1. 類似度計算

正規化された類似度は次式で定義される。

$$\text{Sim}'(\mathbf{h}, \mathbf{l}) = \frac{\text{Sim}(\mathbf{h}, \mathbf{l})}{\sum_{q \in (\mathbf{H}_g + \mathbf{H}_b)} \text{Sim}(\mathbf{h}, q)}$$

フィルタ \mathbf{G}_h と \mathbf{G}_l との類似度をフィルタ \mathbf{G}_h と直接評価されたフィルタ個体との類似度の総和によって正規化する。

類似度 Sim は次式で定義される。

$$\text{Sim}(\mathbf{k}, \mathbf{l}) = e^{\beta * \text{Dist}(\mathbf{k}, \mathbf{l})^2}$$

これは、平均を μ 、分散を σ^2 とする一次元正規分布の確率密度関数

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

を参考にした。

比較したい2つのフィルタ行列を $\mathbf{G}_k, \mathbf{G}_l$ とする。フィルタ行列間の距離 $\text{Dist}(\mathbf{k}, \mathbf{l})$ は5つの代表色 c_1, c_2, \dots, c_5 を用いて次式で定義される。

$$\text{Dist}(\mathbf{k}, \mathbf{l}) = \sum_{i=1}^5 \frac{1}{5} \left\| \mathbf{G}_k c_i - \mathbf{G}_l c_i \right\|^2$$

$\text{Sim}(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ のパラメータ β は以下の式で定義する。

$$\beta = \log \frac{0.8}{10^2}$$

$\text{Dist}(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = 10$ のとき、 $\text{Sim}(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = 0.8$ を基準として β を決定した。

-- 4.3.2. 代表色決定

複雑な色彩をもつ視覚的イメージに対して人は少数の代表的な色で置き換えて認知することがで

きる。この代表的な色を代表色と呼ぶ。フィルタ行列間の類似度を求めるために、画像の代表色を求める。

本研究では k-means を用いて撮影されたオリジナル画像の代表色を抽出した。まず、入力画像に対して、顕著性マップを重みとしたランダムサンプリングにより 50,000 の画素値を抽出する。顕著性マップとは人が無意識かつ自然に注意がいきやすい領域を数値で表した画像である。顕著性マップに基づいた重み付きランダムサンプリングをすることで、人の視覚的注意を考慮した。次に、サンプリングデータを k-means により 5 つのクラスタに分け、クラスタの中心点を代表点とした。

4.4. 遺伝子操作方法

本研究の目的に合わせて再解釈した遺伝的アルゴリズムの遺伝子操作について以下に記す。

4.4.1. 評価・選択

直接評価された **good group**, **bad group** から前述の計算方法にしたがって全ての個体の評価値を計算する。ここで、現世代に対してランキング並び替えを行い、エリート生存戦略をとったエリート次世代を作成する。このエリート次世代に交叉と突然変異の操作を行い新たな次世代集団に更新する。

ランキング並び替えとは、現世代の個体を評価値の高い順に並び替える操作である。エリート次世代は評価値順に並び替えられた現世代の上位 50%のみを残し、下位 50%を削除され作成される。エリート集団以外の個体は上位 50%のエリート集団を親とした 2 点交叉の操作による子とする。最後に突然変異の操作を行い、次世代集団への更新操作を終了とする。

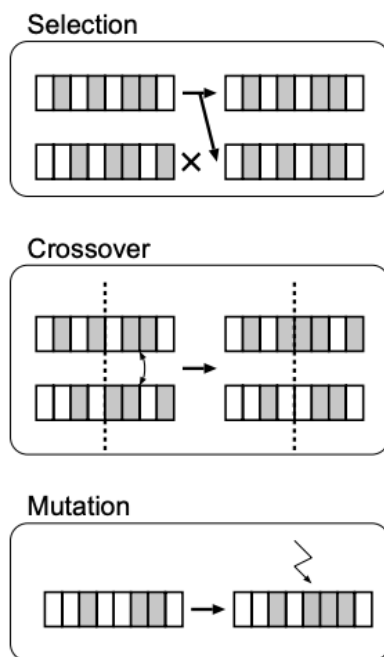


図 4 : エリート生存戦略・交叉・突然変異 (参考文献[2] p. 3 図 1 より引用)

4.4.2. 条件付き突然変異

対象とする最適化問題によって様々な突然変異方法が採用される。本研究では、遺伝子のランダムに選択された 1 点の要素を別の要素に変異させる方法を採用した。ランダムに選択された 2 点間の要素を突然変異させる方法も存在するが、本研究で扱う遺伝子の長さ $M = 8$ は比較的短いので、変異させる要素は 1 点のみとした。

ここで、24 種の基本フィルタは 6 種のベクトル \mathbf{d} と 4 種のベクトル \mathbf{x} によって生成されたことに注意する。2 種のパラメータにより生成されたことを考慮すると、基本フィルタに対して突然変異を発生させるのではなく、ベクトル \mathbf{d}, \mathbf{x} それぞれに対して突然変異を発生させることを考えた。この突然変異を**条件付き突然変異**と呼ぶ。世代を更新するにつれて個体は収束していき、評価の際にユーザはより細かな違いを注意して評価するようになる。局所解から抜け出すためだけではなく、突然変異により微細かつ確かな変化で新たな個体に生まれ変わる必要があると考え、条件付き突然変異を実装した。それぞれ発生確率 10%で行われる。

4.4.3. 更新終了条件

直接評価される個体全てが good group に分けられる場合が三回続いたとき更新を終了させる。また、更新回数が 20 を超えると自動的に更新を終了させるように実装した。被験実験を行う前に研究者によるテスト運用を行い、更新回数 20 で個体は収束することが確認されたため最大更新回数を 20 とした。

4.5. 出力画像

更新を終了した時点では 1 世代分の個体、すなわち 30 の個体が最終出力の候補として存在する。ユーザに最終世代の個体を順次提示し、最終出力画像を 1 枚選ばせた。

5. 研究成果

開発したシステムを被験者実験に基づいて評価した。研究成果を実験手順、実験結果とその考察に分けて以下に記す。

5.1. 実験手順

被験者に開発したシステムを評価してもらうために実験を行う。実験手順は以下の通りである。

- (1)' 屋外の任意の場所にてスマートフォンによる撮影
- (2)' ノートパソコン上で開発したシステムによる色補正を行う
- (3)' 出力画像をユーザに評価してもらう

被験者は撮影対象物に近づいて撮影する近接写真と視界全体を撮影する風景写真の 2 枚を撮影する。ユーザインタラクションに基づく色補正処理により出力された画像に対してユーザは 5 段階で評価を行う。評価 1 を見え方に程遠い画像、評価 2 を見え方に遠い画像、評価 3 をどちらとも言えない画像、評価 4 を見え方に近い画像、評価 5 を見え方に一致する画像とした。

5.2. 実験結果

実験を行い、画像の更新回数・出力画像のフィルタ行列・出力画像への 5 段階評価・入出力画像を実験データとして集めた。被験者 10 人による評価と更新回数のデータを以下に示す。

| 被験者 | 近接写真 | | 風景写真 | |
|-----|------|------|------|------|
| | 評価 | 更新回数 | 評価 | 更新回数 |
| A | 5 | 20 | 4 | 20 |
| B | 5 | 20 | 4 | 9 |
| C | 5 | 20 | 4 | 9 |

| | | | | |
|----|-----|------|-----|------|
| D | 3 | 20 | 4 | 20 |
| E | 4 | 20 | 3 | 20 |
| F | 4 | 5 | 5 | 5 |
| G | 5 | 20 | 4 | 20 |
| H | 4 | 11 | 4 | 20 |
| I | 4 | 20 | 4 | 20 |
| J | 5 | 12 | 4 | 20 |
| 平均 | 4.4 | 16.8 | 4.0 | 16.3 |

| | 評価 | 更新回数 |
|------|-----|-------|
| 全体平均 | 4.2 | 16.55 |

・評価

全体の平均評価は 4.2、近接写真の平均評価は 4.4、風景写真の平均評価は 4.0 である。よって、提案システムは目的に対して有効であることが示された。ただし、評価 3 のデータもあり、出力されたフィルタ行列への満足度が低い場合もあった。

・更新回数

全体の平均更新回数は 16.55、近接写真の平均更新回数は 16.8、風景写真の平均更新回数は 16.3 である。また、最大更新回数である 20 に達するケースが多いことがわかった。

6. 今後の課題

今後の課題は以下の二つである。

(A) 満足度の低いフィルタが出力される場合がある

(B) 更新回数が多い

まず (A) について考察する。ユーザによる画像への評価の際に注目する対象は複数ある場合が多い。そのため、ある対象の色変化にのみ注目すると他の対象の色変化は望ましくない変化をしてしまうことが考えられる。解決策としてセマンティック・セグメンテーションを用いた物体認識を行うことが挙げられる。画像内の情報をカテゴリ分類し、カテゴリ別に最適なフィルタ行列を探索することで精度向上が期待できる。

次に、(B) について考察する。更新回数 10 未満においてユーザにとって適切なフィルタが世代の集団に含まれることが実験からわかった。したがって、(B) の原因は最適フィルタ探索のアルゴリズムではなく、更新終了条件に問題があると考えられる。本研究の更新終了条件は「直接評価される個体全てが good group に分けられる場合が三回続く」としたが、遺伝的アルゴリズムでは各世代の個体が均一にはなりにくいことが知られているので、現状の条件をクリアするのは厳しい。実際に、この条件をクリアした事例は 6 件のみであった。この原因を解決するために二つの解決策があげられる。第一の解決策は、世代の更新につれて世代の個体数を減らし均一性を向上させるという案である。しかし、世代の更新具合を測る尺度が提案システムには存在しないため実現は困難である。第二の解決策は、終了条件を変えることである。例として、更新の終了をユーザに任せるなどが考えられる。

6. 参考文献

[1] 「遺伝的アルゴリズム-静岡理工大学」

https://www.sist.ac.jp/~suganuma/kougi/other_lecture/SE/opt/GA/GA.htm

[2] 「遺伝的アルゴリズムによる最適化の現状」

<https://www.smapip.is.tohoku.ac.jp/~smapip/2003/tutorial/textbook/hajime-kita.pdf>

[3] 「注視誘導のための視覚的顕著性に基づく画像加工」

<http://www.dgcv.nii.ac.jp/Publications/Papers/2011/Hagiwara-CVIM2011.pdf>