

パレットカラーの決定とそれを利用した画像の色編集

岩佐 駿^{1,a)} 山口 泰^{1,b)}

概要: 本論文では、画像からテーマとなるパレットカラーを抽出し、これを用いたパレットベースの色編集を行う手法を提案する。この手法については先行研究が存在するが、パレットの色を変更する際にパレット内の暗い色を明るくしようとすると、パレット内の他のより明るい色にも変更を与えてしまう可能性がある。その結果、全体の色が白飛びしてしまったり、反対に明るい色を暗い色にすると黒つぶれしてしまうことがある。さらに、代表的な色の数というのは画像によって異なるが、このシステムではユーザがパレットのサイズを決定する必要もある。提案手法では、固有画像分解を用いて反射率画像と陰影画像に分離した後、色の編集を行うことで、望ましくない明度の変化を避けることができる。反射率画像から抽出されたパレットについて、BICを用いてパレットサイズを推定する。これは後でユーザが任意に変更することができる。ユーザ評価では、提案手法が先行研究よりも正確に速く色の編集が可能であることを示す。

Palette Color Determination for Palette-based Photo Recoloring

IWASA SHUN^{1,a)} YAMAGUCHI YASUSHI^{1,b)}

1. はじめに

近年、スマートフォンやタブレットの出現によって一般の人々がデジタル画像を持ち歩く機会が増えてきている。また、SNSにアップロードするなどの用途によって人々が画像を編集することも多くなってきている。例えば食べ物の写真であれば、背景をぼやかし、画像全体を明るくし赤や黄色といった暖色系を強めることによって、より一層美味しく見えるようにすることが望まれる。このように、画像はただ保存するだけのものではなく、編集し公開されるものになってきており、画像処理の需要も高まっている。

スマホのアプリで用いられるフィルターのように、全ての画像に均一な編集は直感的にも理解しやすいが、その表現能力は大幅に制限される。より高度な画像編集ソフトも存在しているが、その操作は複雑であり画像編集初心者にとって容易ではない。画像全体に均一に編集を及ぼすフィルタリングのような操作ではなく、画像全体のうちの

部分、例えば机の上にあるリンゴのみの色を変えたい、といった場面を想定する。より原始的な発想で言えば、アナログ写真をエアブラシで加工するのであれば、編集したい部分以外に保護カバーのようなものをかけて編集する方法が考えられる。この編集の及ばない部分にカバーをかける操作をマスク処理と呼ぶ。しかし、これをデジタルで行おうとした際、ユーザは実際にどのピクセルを編集し、どのピクセルを編集しないかをそれぞれ指定する必要がある。この編集領域を手動で定めるのは非常に手間である。

ユーザの入力する手間を極力小さくし、かつその入力された編集を望んだ領域に伝搬させることができれば良い、と言うのが編集伝搬の考え方である。編集伝播は、実際に様々な画像編集手法に採用されており [1], [2], [3], [4], 適当なストロークと位置、色の差によって物体を認識させるものや、ある写真の色を参考にその雰囲気を変えるもの、切り貼りした写真をうまくブレンドし溶けこませるものなどがある。

Chang ら [5] は画像のテーマ色であるパレットカラーのみを編集することで画像全体に編集を及ぼす手法を提案した。本研究はこのカラーパレットを用いた色編集手法を直接的な先行研究としている。既存手法では陰影の情報を保つ

¹ 東京大学大学院 学際情報学環・学府
3-8-1 Komaba, Meguro-ku,
Tokyo 153-8902, Japan

a) iwasa@graco.c.u-tokyo.ac.jp

b) yama@graco.c.u-tokyo.ac.jp

ために画像内の明度の順序を保存する特別な工夫をしていた。そのため、パレット内の暗い色（明るい色）をとても明るい（暗い）色に変更した際に、選んだ色よりも明るい（暗い）パレットカラーに対しても望まない影響を与える可能性がある。また、パレットの適切なサイズを決定する手段が無い。パレットカラーの数はシステムのコントローラの数であり、このサイズを適切に設定することが初心者にとっては重要である。

2. 先行研究

Palette-based Photo Recoloring (PPR)

本研究は Chang らの手法を拡張したものである。彼らの手法は主に二つのステップからなる。まずはじめに、一枚の画像からテーマ色となるパレットカラーを抽出する。そして次のステップで、パレットカラーの変更を画像全体に伝播させる。

2.1 パレット抽出

このステップの目的は一枚の画像から複数のパレットカラーを抽出することである。まず、それぞれのピクセルを $16 \times 16 \times 16$ のビンからなる RGB カラーヒストグラムに分別する。それぞれのビンにおいて、平均の色を $L^*a^*b^*$ 色空間内で計算し、これら 16^3 個（または空のビンがある場合それ以下）の色 \mathbf{c}_i をカラーテーマ抽出に用いる。 \mathbf{c}_i はビンに格納された n_i 個のデータを代表する点であり、 n_i を重みとしてパレットカラーの決定に利用する。初めに、もっとも大きな重み n_i をもつビンにおける色 \mathbf{c}_i を最初のパレットカラーとする。次に、その他の全ての重み n_j を $(1 - \exp(-d_{ij}^2/\sigma_a^2))$ によって減衰させる、ここで、 d_{ij} は $L^*a^*b^*$ 空間における \mathbf{c}_i から \mathbf{c}_j までの距離であり、 σ_a は減衰のための定数（ここで σ_a は黒と白の距離の 80%, $\sigma_a = 80$ ）である。残りの重みの中で最も大きい値 n_i を持つビンを 2 番目のパレットカラーとして選び、パレットカラーの色数が任意の数 k になるまで繰り返される。このサイズ k を決定する方法は提案されていないが、彼らの実際のアプリケーションでは、3 から 7 のサイズを推奨している。

2.2 色の編集転移

Chang らの手法ではパレットサイズ k の決定法について言及されていないが、結果的に同じ物体でも明るく照らされている箇所と陰影で暗くなった箇所の色が、別々のパレットカラーとして選ばれる場合がある。このような場合に対処すべく、色編集の後においても、陰影によってもたらされる明度の順序を保存するために、 L^* 方向と a^*b^* 平面をそれぞれ独立に編集する。

L^* 方向の編集 パレットカラーを明度の順に並べる。編集された画像内のピクセルは最も明度の近い 2 つのパレツ

トカラー（もしくは白か黒）の割合を保った明度を持つ。これは陰影部分と照らされた部分の間の明度の順序を保つための操作である。これによって元々影になっていた部分が照らされた部分よりも明るくなることを防ぐことができる。パレットカラーの変更に応じて、より明るいパレットを超えて明るくする場合にはその明るいパレット、より暗いパレットを超えて暗くする場合にはその暗いパレットの明度も調整する。

a^*b^* 平面の編集 カラーパレット内の 1 つの色 \mathbf{c} を \mathbf{c}' に変更するための関数 f_i を定義する。このとき画像内のすべてのピクセル \mathbf{x} は $\mathbf{x}' = f_i(\mathbf{x})$ によって変更される。まずはじめに、 \mathbf{c} から \mathbf{c}' へ向かう直線とガンマットの境界との交点 \mathbf{x}_b を見つける。 $\mathbf{x}_0 = \mathbf{x} + \mathbf{c}' - \mathbf{c}$ がガンマット内にある場合には \mathbf{x} から伸びる直線 $\mathbf{c}' - \mathbf{c}$ とガンマットの境界との交点を \mathbf{x}_b とする。そうでなければ、 \mathbf{c}' から \mathbf{x}_0 を通る直線と境界との交点を \mathbf{x}_b とする。これはバイナリサーチによって見つけることができる。最後に、 \mathbf{x} から \mathbf{x}_b までの直線上に $f_i(\mathbf{x}) = \mathbf{x}'$ を、次の式を満たすようにとる。

$$\frac{\|\mathbf{x}' - \mathbf{x}\|}{\|\mathbf{c}' - \mathbf{c}\|} = \min\left(1, \frac{\|\mathbf{x}_b - \mathbf{x}\|}{\|\mathbf{c}_b - \mathbf{c}\|}\right)$$

実際の移動の様子を図 1 に示す。全てのパレットカラーを

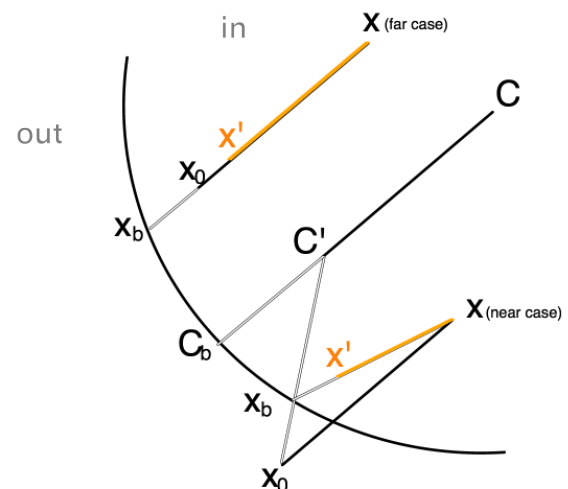


図 1 カラーパレットの編集に伴うピクセルの移動

考慮した編集関数は、

$$f(\mathbf{x}) = \sum_i^k w_i(\mathbf{x}) f_i(\mathbf{x})$$

で表される。ただし、 $\sum_i^k w_i(\mathbf{x}) = 1$ 。重みには放射基底関数 (RBFs) を使い、 $w_i(\mathbf{x}) = \sum_j^k \lambda_{ij} \phi(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_j\|)$ 、および $\phi(r) = \exp(-r^2/2\sigma_r^2)$ である。このとき、定数 σ_r は元々のパレットにおける全てのペア間距離の平均となるようにとる。 k^2 個の未知の係数 λ_{ij} は、 k 個の等式 $w_i(\mathbf{c}_i) = 1$ 、および $k^2 - k$ 個の等式 $w_{j \neq i}(\mathbf{c}_i) = 0$ を解くことによって得られる。

2.3 問題点

この手法には問題点が2つある。ひとつは明度の編集方法にある。パレット内の暗い色を明るくしようとする時、パレット内の他のより明るい色にも変更を与えてしまう可能性がある。その結果、全体の色が図2のように白飛びしてしまうことがある。あるいは、反対に明るい色を暗い色にすると黒つぶれしてしまう恐れがある。もうひとつはパレットカラーの数（パレットサイズ）である。代表的な色の数というのは画像によって異なるが、このシステムではパレットのサイズが全ての画像において同じように適用される。パレットサイズが大きくなれば編集の正確さは向上するが、操作しなければならないコントローラの数も増加する。意図した色の編集を手軽に行うためには、パレットサイズが適切であることが望ましいが、それを指定させることには、特に初心者に対しては難しい問題となる。本研究では、これらの問題を解決することを目的とする。

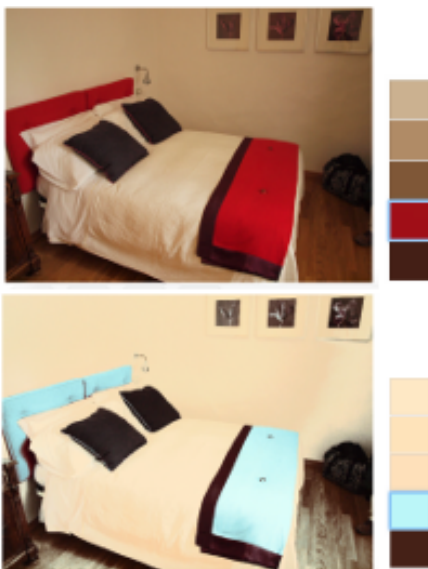


図2 パレット内の暗い色を明るくしようとする時、既存手法 (PPR) では明るいパレットカラーにも影響を及ぼしてしまい、全体的に白飛びした印象になっている。Photo courtesy of Elisabeth.S. Attribution-NonCommercial 2.0 Generic. <https://flic.kr/p/89HUXy> (Flickr)

3. 提案手法

提案手法と既存手法の編集過程を図3に示す。はじめに陰影情報と反射率に分離するための前処理として固有画像分解を行い、その後反射率画像に対してパレットの抽出を行う。パレットの抽出方法についてはChangらと同様の手法を用いる。パレットサイズの推定をBICを用いて行う。また、色の編集についても独自の手法を提案する。

3.1 画像固有分解

パレットカラーの明度の順序を保った編集というのは、

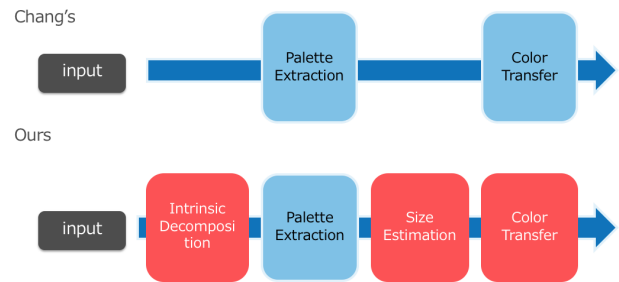


図3 編集過程の比較

元々の画像内の陰影を保つことを目的としていた。従って、予め画像内の陰影の情報を分離・保存することを考える。固有画像分解 [6], [7], [8], [9], [10], [11] と呼ばれる、一枚の画像 I を図4のように反射率 R と陰影 S に分離する手法を用いる。



図4 一枚の画像を反射率と陰影に分ける固有画像分解の例

$$I = RS$$

得られた反射率画像に対してChangらと同様の手法を用いてカラーパレットの抽出を行う。色の編集を反射率画像に対して行うことで、ユーザは物体そのものの色を扱うことになる。

3.2 パレットサイズ推定

パレットの初期サイズ k を決めるため、BIC(ベイズ情報量基準) と呼ばれる情報量基準を用いる [13], [14].

$$BIC = -2 \ln(L) + k \cdot \ln(n),$$

この時 n はサンプル数であり L はモデルの最大尤度、 k はモデル数 (パレットサイズ) である。それぞれのピクセルがパレットカラーを中心に正規分布していると仮定することで尤度関数を計算することができる。 k を $k = 3$ から一つずつ増やしていき、BICが増加した1つ手前の k の値をパレットの初期サイズとする。

3.3 反射率の編集

編集元となる画像から反射率画像と陰影画像を得た後、カラーパレットの抽出を反射率画像に対してのみ行う。陰

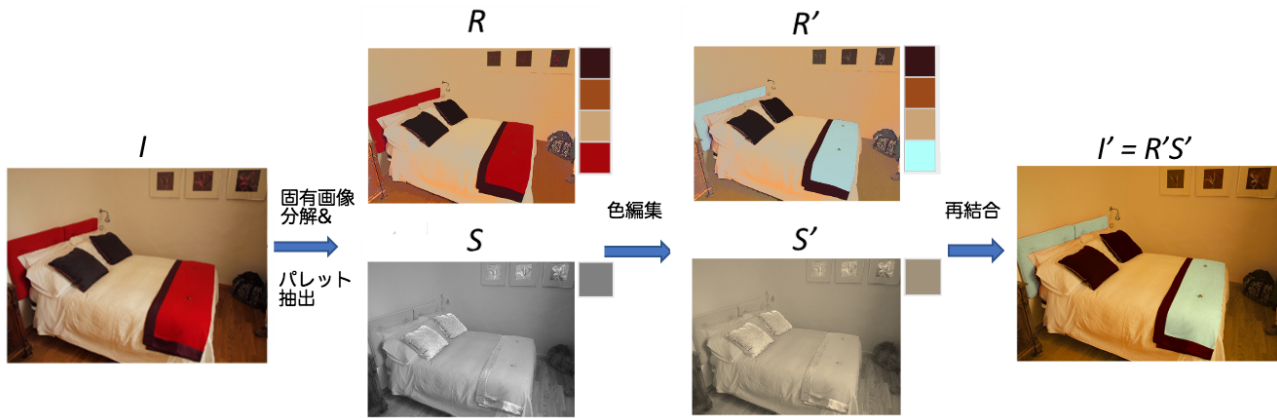


図 5 提案システムの流れ

影情報が予め保存されるため、先行研究における明度を保存する処理は必要ではなくなる。反射率画像 R にのみ、色度と明度の区別なく色編集を行う。 i 番目のピクセルにおける編集結果 y は $y_i = x_i + \mathbf{E}_i$ で表される。このとき x_i は入力であり、 \mathbf{E}_i はそれぞれのパレットカラー \mathbf{c}_j が入力がどれだけ近いかによって決まる編集量である。パレットカラー \mathbf{c}_j を \mathbf{c}'_j に変更する時、 $\mathbf{E}_i = \sum_j^k w_{ij} \mathbf{e}_j / \sum_j^k w_{ij}$ で $\mathbf{e}_j = \mathbf{c}'_j - \mathbf{c}_j$ となる。それぞれのカラーパレットにおける重みは、

$$w_{ij} = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{c}_j\|}{2\sigma_r^2}\right)$$

で表される。反射率画像に色編集を行った後、 R' を得る。

3.4 照明パレット

Chang らの既存研究では照明による色の变化を考慮した編集手段がない。照明が白色灯から暖色灯に変わるなどの編集を行いたい場合、パレットにおける全ての色に対しその变化を考慮した編集を加える必要があり、とても手間がかかってしまう。そこで我々はこの照明の変更のための編集手法を新たに提案する。例えば、部屋全体を均一に照らす照明光を変えたとしても、物体そのものの反射率が変えることはない。照明の編集は陰影画像 S にのみ影響を及ぼすこととする。照明の色編集に対して、物体色編集と同様のインターフェースを持つ照明専用のパレットカラーを1つ用意する。インターフェースにおける照明色の色度(色相および彩度)はそのまま陰影画像における色度となり、明度はガンマ変換によって編集される。陰影画像 S をユーザによって編集された後 S' を得る。

最後に、 R' と S' の積によって編集結果を得る。 R' は編集された物体の反射率であるため、照明を掛け合わせることは物理現象に即している。図5に提案システムの流れを示す。図2に示したように白飛びすることなく色の編集を行うことができていることがわかる。

4. 評価

実際にユーザによって使用してもらい、その結果を既存手法と直接比較した。固有画像分解には Bell[7] の手法を用いた。

4.1 物体色の編集比較

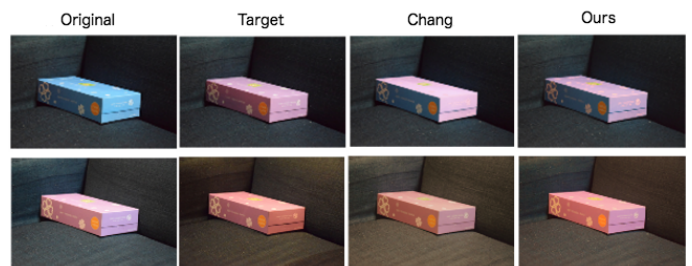


図 6 ユーザ評価における画像のペアとその編集例：左から、ユーザに与えられた画像、target 画像、Chang らの手法による編集例、提案手法による編集例（上段は物体そのものの色を変えたもの。下段は異なる照明下における色の变化。）

15名のユーザが、Chang らの手法と提案手法において同じパレットサイズ k を用いて、入力画像を目的の画像(target)に近づけることを目的として編集を行った。編集の終了はユーザが判断するが、90秒を最大としてそれ以上時間がかかる場合はその時点で操作を打ち切りとした。比較に使用した画像は、デザインに習熟している者がPhotoshopを用いて精細に編集したもの、実際の物体の色を別のものに替えて撮影したものなどを含む8枚のペア画像で行なった。そのうちの1枚の画像のペアと編集例を図6上段に示す。パレットのサイズはいずれの手法でも色編集が可能となる値 k を手動で定めた。ただし、提案手法における画像から抽出されるパレットカラーの数は、既存研究のものよりも1つ少ない $k-1$ とし、これに照明専用のパレットを1つ加えて合計 k とした。

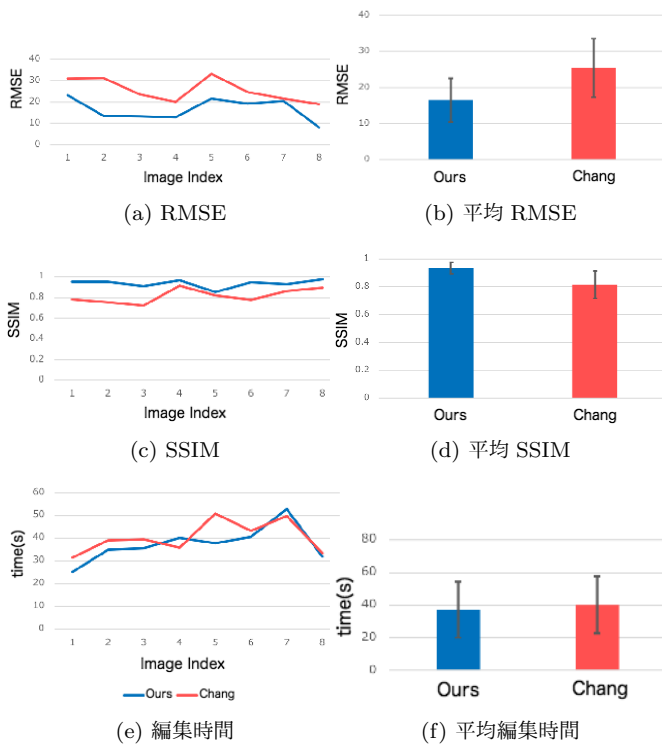


図 7 提案手法および既存手法 (PPR) の編集結果比較. RMSE (上段), SSIM (中段), 編集時間 (下段).

RMSE (Root Mean Square Error)[15] と SSIM (Structural Similarity Image Metric)[16], および編集時間を図 7 に示す. 提案手法を青, 既存手法 (Chang) を赤で示す. RMSE と SSIM の両方において提案手法が優れた結果となった (それぞれ $p < 1.0 \times 10^{-17}$, $p < 1.0 \times 10^{-26}$). システムの煩雑さは変わらないため, 編集時間にはそれほど大きな差は見られなかったが, それでも提案手法の方がわずかに速い結果となった ($p = 0.0301$).

4.2 照明色の編集比較

同様に 15 名のユーザが, 同じシーンを異なる照明下で撮影したペア画像を用いて編集を行った (図 6 下段に例をしめす). RMSE および編集時間の比較を図 8 に示す. 提案手法がより優れた RMSE 値であったのは物体色の時と同様だが, 今度は編集時間においても明らかに提案手法が上回った ($p < 1.0 \times 10^{-4}$). これは全てのパレットカラーを編集することなく, 照明専用のパレットのみを編集することで短くなったものと考えられる.

4.3 パレットサイズ評価

BIC によって決定されたパレットサイズの妥当性評価を行った. 5 名のユーザが 8 枚の画像ペアについて, パレットサイズ $k = 3, 4, 5, 6$ のそれぞれで RMSE および編集時間の測定を行った. 測定結果を図 9 に示す.

パレットカラーの数は編集の操作に用いるコントローラ

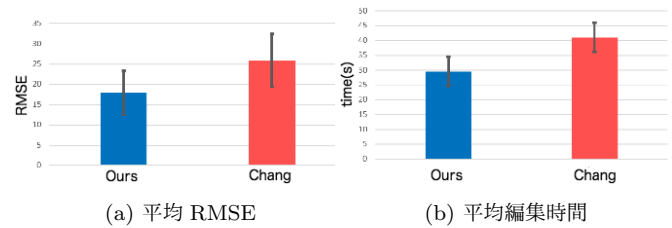


図 8 照明の編集比較

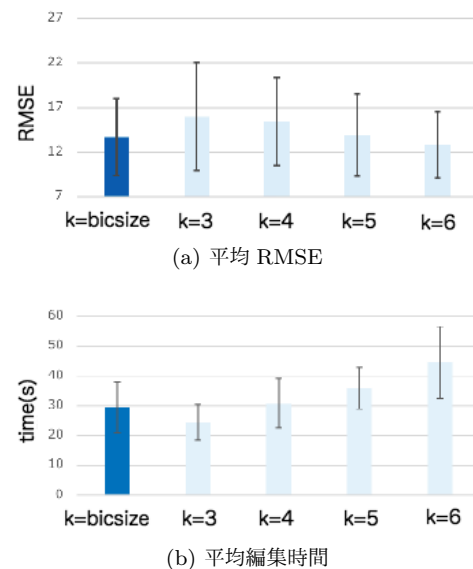


図 9 カラーパレットサイズ k による違い. RMSE (左) と編集時間 (右).

の数である. 従ってパレットサイズ k が増えるにつれ編集精度は上がるが, その分編集時間は長くなる. 編集精度は k が最大の 6, 編集時間は最小の 3 でそれぞれ固定した場合に最も良い結果となっているが, BIC で定めた k を用いた場合にはどちらもそれに続く 2 番目の成績となっており, 編集にとってバランスのとれたパレットサイズを定めていることがわかる. このパレットサイズはデフォルトで用いるものであり, 編集結果に不満がある場合には, 途中でユーザがパレットのサイズを増やすことも可能である.

5. 結論

本研究ではパレットを用いた画像編集手法を提案した. 提案手法では固有画像分解を用いて物体色を抽出し, BIC を用いたパレットのサイズを決定する. 反射率と陰影を分離して扱うことによって, 自然な明度の順序を保った編集を可能にする. また, 編集初心者にとって適当なコントローラの数を提供する. 提案手法を用いた評価では既存手法を上回る結果となった.

参考文献

- [1] Oh, C., Ryu, S., Kim, Y., Kim, J., Park, T. and Sohn, K.: Sparse edit propagation for high resolution image using

- support vector machines, *ICIP (Proc. IEEE)* (2015).
- [2] Chen, X., Li, J., Zou, D. and Zhao, Q.: Learn Sparse Dictionaries for Edit Propagation, *IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING*, Vol. 25, No. 4 (2016).
 - [3] Chen, X., Zou, D., Zhao, Q. and Tan, P.: Manifold Preserving Edit Propagation, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 31, No. 6 (2016).
 - [4] Endo, Y., Iizuka, S., Kanamori, Y., and Mitani, J.: DeepProp: Extracting Deep Features from a Single Image for Edit Propagation, *Computer Graphics Forum (Proc. of Eurographics)*, Vol. 35, No. 2 (2016).
 - [5] Chang, H., Fried, O., Liu, Y., DiVerdi, S. and Finkelstein, A.: Palette-based Photo Recoloring, *ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH)*, Vol. 34, No. 4 (2015).
 - [6] Zhou, T., Krahenbuhl, P. and Efros, A. A.: Learning Data-driven Reflectance Priors for Intrinsic Image Decomposition, *ICCV* (2015).
 - [7] Bell, S., Bala, K. and Snavely, N.: Intrinsic Images in the Wild, *ACM Trans. on Graphics (SIGGRAPH)*, Vol. 33, No. 4 (2014).
 - [8] Krahenbuhl, P. and Koltun, V.: Parameter Learning and Convergent Inference for Dense Random Fields, *ICML* (2013).
 - [9] S, B. and X, H.: An L1 image transform for edge-preserving smoothing and scene-level intrinsic decomposition, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 34, No. 4 (2015).
 - [10] Bousseau, A., Paris, S. and Durand, F.: User-Assisted Intrinsic Images, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 28, No. 5 (2012).
 - [11] Chen, Q. and Koltun, V.: A Simple Model for Intrinsic Image Decomposition with Depth Cues, *ICCV* (2013).
 - [12] Meka, A., Zollhofer, M., Richardt, C. and Theobalt, C.: Live Intrinsic Video, *SIGGRAPH 2016 Technical Paper* (2016).
 - [13] Pelleg, D. and Moore, A. W.: X-means: Extending K-means with Efficient Estimation of the Number of Clusters, *ICML '00 Proceedings of the Seventeenth International Conference on Machine Learning* (2000).
 - [14] Schwarz and E, G.: Estimating the dimension of a model, *Annals of Statistics*, Vol. 6, No. 2 (1978).
 - [15] Scott, A. J. and Fred, C.: Error Measures For Generalizing About Forecasting Methods: Empirical Comparisons, *International Journal of Forecasting*, Vol. 8, No. 1 (1992).
 - [16] Zhou, W., Sheikh, B. A., Scott, J. and Fred, C.: Image quality assessment: from error visibility to structural similarity, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 13, No. 4 (2004).
 - [17] Jahaniana, A., Vishwanathan, S. V. N. and Allebach, J. P.: Autonomous Color Theme Extraction From Images Using Saliency, *Imaging and Multimedia Analytics in a Web and Mobile World* (2015).