

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11497

研究課題名（和文）着色と超解像化による、貴重な近代モノクロ写真の能動的レストア

研究課題名（英文）Active restoration of modern monochrome photographs with coloring and super-resolution

研究代表者

梅津 信幸（UMEZU, Nobuyuki）

茨城大学・理工学研究科（工学野）・准教授

研究者番号：30312771

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、モノクロ画像に対し自動着色と物体検出・領域分割を行い、得られた色候補を提示することでユーザの着色作業を支援するシステムを開発した。深層学習に基づくMask R-CNNとWatershed変換を利用し、色候補提示範囲を限定するマスク画像を生成する。色候補はHSV表色系の色相(H)に基づく手法で算出し、ユーザが選択した候補の色調に調整を加えて着色作業を進める。入力となるモノクロ画像の輝度をできる限り保存したまま候補を提示するため、画像間の輝度値の差異を数値的に評価する指標BDPPを定義し、提案手法による着色では輝度がほぼ完全に保存されていることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歴史的価値が高い写真にはモノクロのものも多く、近年ではカラー化によるリバイバルが盛んに行われている。手作業による着色は良好な結果が望めるが、専門知識や膨大な時間が必要となるため、作業を簡略化する手法が研究されている。深層学習を用いた自動着色手法が2016年に注目を集めたが、着色結果に対してユーザが一切変更を加えられないという問題点があった。本研究のオブジェクトの抽出とその箇所における色候補の提示により、自動着色の結果に対してユーザは容易に調整が可能となった。着色候補からの選択によって、モノクロ画像の着色作業が効率化された。

研究成果の概要（英文）：In this study we developed a system for supporting user's coloring work by automatically coloring monochrome images, detecting objects, dividing areas, and presenting coloring samples. Mask R-CNN, a deep-learning based framework, is used for object recognition, and the watershed transform is used for segmentation to generate a mask image that limits the area for coloring. A novel method based on the HSV color space is used to present users with coloring samples. Brightness values, or luminance is the only information in the input monochrome image, and must not be altered in coloring processes. An evaluation index BDPP is defined to numerically compute the difference in brightness between two images. A series of experiments were conducted for evaluating the quality of coloring samples with the proposed method. BDPP found to be a highly convincing index to determine whether the brightness is kept or not through the coloring processes.

研究分野：画像処理

キーワード：深層学習 オブジェクト認識 watershed変換 輝度保存

### 1. 研究開始当初の背景

日本国内において写真は1960年代まではモノクロで撮影されるのが一般的であり、生活や風俗、戦争と社会、環境破壊や公害、環境とエコロジーなど多くの観点から、昔のモノクロ写真から得られることは現代でもとても多い。一方、最近のスマートフォンで撮影された高精細・高彩度の写真を見慣れた現代の人々(特に若い世代)にとって、モノクロの写真や映像は、全く別の世界や時代の記録、あるいはアートなどの虚構の作品であると認識されやすい。モノクロフィルム時代の写真は、現代の鑑賞者にとって見慣れているカラー情報がない上、フィルム粒子が粗く精細さに欠けるためである。

もし、それらのモノクロの資料があたかも現在のデジタルカメラで撮影したかのような鮮やかな色と高い解像度を持ったとすれば、その利用先は教科書や博物館にとどまらず、過去を理解するための強力なメディアとなりうる。そこで本研究では、モノクロ写真のカラー化や解像度の増加によりリアルさや臨場感のある状態に近づけることを試みる。

NHKの特集番組(NHKスペシャル「カラーでよみがえる東京～不死鳥都市の100年～」, 2014年10月)には多額の制作費が投入されたと推測されるものの、昔の写真や映画フィルムを1フレームずつ手作業で着色するレベルにとどまっていた。2017年に入ると、戦後の東京や昔の大相撲などのシーンが深層学習(AI)により着色された例がNHKで放映されたが、ごく短い1カットのみにとどまっていた。また、学術的な研究論文にも何件か類似した事例があるものの、いずれも現在のカラー画像をいったんモノクロ化して着色している研究例であった。

### 2. 研究の目的

本研究では、下記の二軸に関してモノクロ写真に画像処理を加え、現代のカメラで撮られた写真に近づけるよう変換を行う。この作業は本質的に情報量の増加に相当するため、もとのモノクロ写真には存在しなかったディテールを追加する必要がある。本研究ではそれらに対し

- 写真の領域分割と、それらの領域単位での類似テクスチャが持つ色情報の転送
- 各領域に写る物体の区分(人、樹木、建物など)に合わせた類似テクスチャの判定
- 深層学習(AI)による領域単位での自動着色
- 自動による着色結果をペンで修正するユーザの最終調整作業

による解決を目指す。単なるカラー化を超えた「推定」も含み、厳密には元の写真と異なるが、妥当な推定結果であることを鑑賞者が理解した上で接すれば、強い臨場感と迫真性につながる事が予想される。

### 3. 研究の方法

AIによる領域分割と領域ごとの着色手法の開発開発済みの、個別の物体(人の顔、樹木、空や雲)への着色手法に基づいて、建物、服飾、周囲の環境にある物体への着色法について開発を進める。それらの着色の基準となるカラーの高解像度画像を事例ベースとして収集し、深層学習を用いて特徴を学習させ、レストア対象の写真を領域分割後、領域ごとに類似している事例画像からカラーデータを転送する。

ユーザ評価実験の設計実験で参加者に提示できる刺激(レストア結果)の数には限りがあり、提案手法で様々なパラメータを変化させてその影響を全数探索的に調査することは不可能である。したがって、まず小規模な実験を通じてフォーカスすべき画像特徴を絞り、後続の実験を最大限に活用できるよう計画を練る。

インターネット経由による評価実験と手法の最終調整より多数の実験協力者からのデータを得るため、着色済みの写真を専用のシステムに表示して品質を評価させる実験を行う。さらに、実験結果から判明した、提案手法の不十分な点(着色、高解像度化)について将来的な改善策を検討する。

### 4. 研究成果

(1) 本研究の手法に基づき実装したシステムの処理の流れを図1に示す。ユーザはまず、調整を行いたいカラー画像と着色前のモノクロ画像を入力する。この際のモノクロ画像はBDPPの計算時に利用する。当システムの主

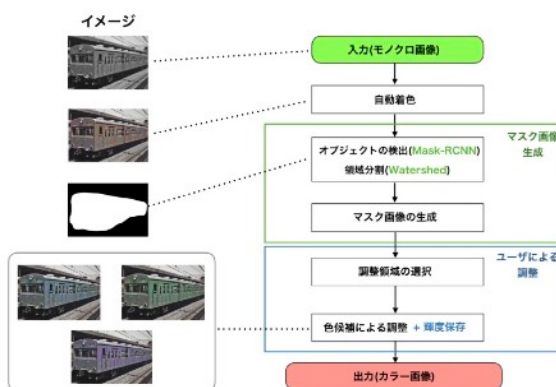


図1 開発した手法の流れ

な対象は自動着色されたモノクロ画像であるが、一般的なカラー画像にも色候補の提示が可能である。次に、ユーザはマスク画像から調整を加える領域を選択する。最後に、スライダーによって色候補を切り替え、最も適当な候補を選択する。複数のオブジェクトに対し調整を行う場合、前回の出力画像を保存し、調整を行いたい色と調整前のオリジナルとの比較も可能である。図2に実行例を示す。

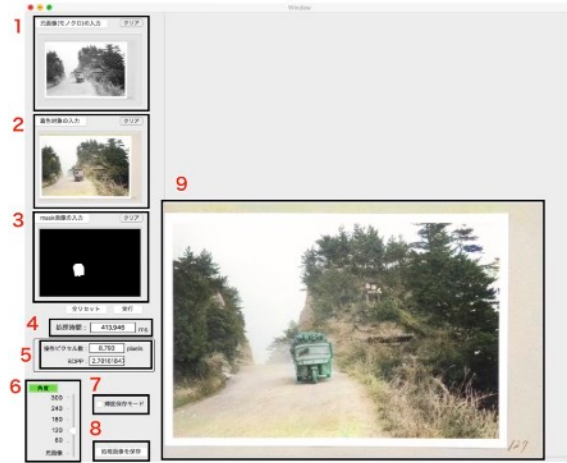


図2 開発した手法の実行例

(2) 手法の色候補提示の自由度を高めるため、深層学習に基づくMaskR-CNNに加えてWatershed変換を活用する。モノクロ画像の画素値は地形における標高、つまり2次元のスカラー場とみなせる。Watershed変換は地形における分水嶺と同様の手法で画像の領域分割を行う(図3)。この手法の併用により、深層学習に基づく手法で物体境界が過度に滑らかになる現象を回避する。

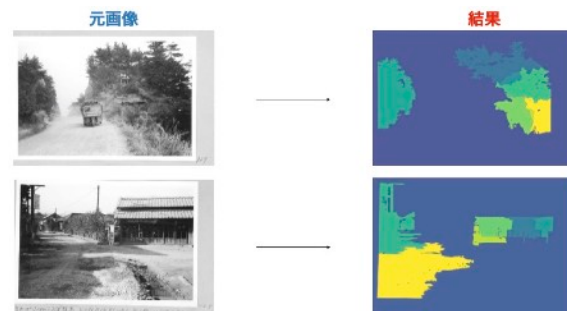


図3 Watershed変換の実行例

(3) 色候補算出の手順を示す。まず、RGBで表現されている画像をHSVに変換する。候補となる新たな色相Hを求めてRGBに戻し、着色候補を描画する。HSV色空間には色相Hの他に彩度Sと明度Vのパラメータが存在するが、これらの値は入力となるモノクロ画像における輝度情報と連動しているため、本システムではそれらの調整は行わない(輝度保存については次章)。色相Hの範囲は0~360であるため、0を基準の色として60度ずつ(60, 120, 180, 240, 300)と色相を変化させ、異なる5つの色候補をユーザに提示する(図4)。たとえば、R, G, B = 100, 150, 200のときH, S, V = 210, 50, 78となり、候補となる色相Hの値は270, 330, 30, 90, 150の5つとなる。

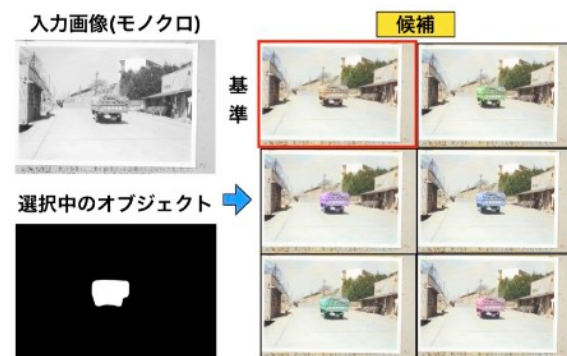


図4 着色候補の提示例

(4) 輝度情報はモノクロ画像をカラー化する上で唯一の手がかりであるため、本システムを通して出力されたカラー画像を再びモノクロ画像に変換した際、入力したモノクロ画像と限りなく同一になることが望ましい。本研究における輝度保存処理ではRGB値がいずれも0~255の範囲に収まることを前提としている。しかし、実際は修正すべき輝度差 $\Delta y$ の加減算により値が255を超過する場合や、0未満になる場合が存在する。変換によりRGBのうちどれか1つの値が超過した場合、その値を255とし残り2つの値でその不足分を補うように、次式で決定する同一の値を加算する。

$$R \text{が超過する場合: } y_1 = \Delta y / (0.578G + 0.114B)$$

$$G \text{が超過する場合: } y_1 = \Delta y / (0.299R + 0.114B)$$

$$B \text{が超過する場合: } y_1 = \Delta y / (0.299R + 0.578G)$$

(5) 2つのモノクロ画像が同一であるかを評価する場合、視覚的には判断しづらく、またこの比較対象に適する評価指標が存在しない。そのため、本研究では輝度保存機能を数値的に評価するため、Brightness Difference Per Pixel (BDPP)という指標を設定し、平均誤差(ME: MeanError)に基づき求める。BDPPが小さいほど、2つの画像における輝度情報は一致性が高く、例えば同一画像を用いた場合はBDPPが0となる。

(6) 自動着色した画像と本システムを用いて著者が調整した画像をランダムに左右に並べ、実験



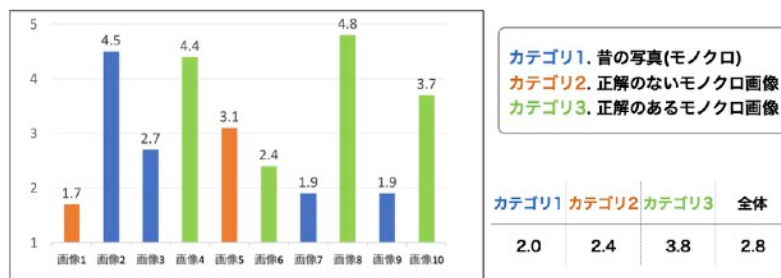


図5 実験参加者による着色結果の評価結果

参加はどちらがより良く(自然に)見えるかを5段階で評価する。縦軸は自動着色したカラー画像より本システムを用いて調整したカラー画像の方が自然に見えるほど値が高い。仮に全ての画像に対して「どちらでもない」を選んだ場合、評価値の平均は3.0となる。実験を通して得られた評価値の平均は2.81であり、全体として自動着色の方がやや自然に見えるという結果(図5)だった。

1. カラー画像を一度モノクロ化し、自動着色したカラー画像
2. 日立郷土博物館から提供されたモノクロ写真を自動着色した画像
3. 実際に撮影されたカラー画像

カテゴリ毎の評価値はカテゴリ1(青)は2.0、カテゴリ2(オレンジ)は2.4、カテゴリ3(緑)は3.8であった。カテゴリ1の結果から、オブジェクトの抽出と自動着色の結果が良好な場合、色候補の色合いも鮮明になることが確認された。実物の色がある程度定まっている自然背景(木々、海、空)の自動着色結果は良好である一方、人工物(車、建物)に対しては色がうまく推定されず白黒に近い色合いの出力も多く、そのため色調変換がうまく機能しないケースも散見された。カテゴリ2に対しては、写真の撮影年代が古く、画像中に不明瞭な部分が多く見られたため、背景部分とオブジェクトの判別ができず、オブジェクトが自然物の色で着色される失敗例が見られた。色候補の提示においても、カテゴリ1と同様に候補がモノクロに近い結果になる場合が多く見られた。カテゴリ3に対する調整では、自動着色の影響がないため、オブジェクトの抽出さえ良好であれば、本システムが効果的に機能することを確認した。また、ユーザ評価実験を実施し、カテゴリ毎の評価値の比較から画像に定まった色をもつ被写体が含まれ、自動着色で誤った色に着色された場合、本システムによる調整が有効に機能することが確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Daishi Mineta, Nobuyuki Umezu
2. 発表標題 Monochrome photograph colorization based on segmentation using deep learning
3. 学会等名 ISCI 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daishi Mineta, Nobuyuki Umezu
2. 発表標題 Monochrome photograph colorization based on segmentation using deep learning and watershed transform
3. 学会等名 ICSI 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 峯田大嗣, 梅津信幸
2. 発表標題 深層学習による領域分割を用いたモノクロ画像の着色
3. 学会等名 日本機械学会 山梨講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	矢内 浩文  (Yanai Hirofumi)  (10222358)	茨城大学・理工学研究科(工学野)・准教授    (12101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------