

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12580

研究課題名（和文）可逆変換を実現するカラー画像処理技術の開発

研究課題名（英文）Color image processing with reversible transformation

研究代表者

今泉 祥子（Imaizumi, Shoko）

千葉大学・大学院情報学研究院・准教授

研究者番号：80535013

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、データ量を増加させることなく、画像処理後の画像から元の画像を容易に復元可能な技術を研究した。従来の研究では、主にモノクロ画像を対象としたコントラスト強調に対する可逆変換の検討しか行われていない。本研究では、画像セキュリティ技術の一つである情報埋込みに基づき、カラー画像を対象として、多様な画像処理に対して可逆変換を有効とする技術の目的とする。具体的には、彩度・輝度の調整、平滑化/先鋭化処理、および色調制御においてその可逆性を探求した。これにより、画像編集における利便性の向上が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の研究では、情報埋込み技術を用いてコントラスト強調を行い、必要に応じて原画像に戻ることができる手法が提案されてきたが、これらのほとんどはモノクロ画像に対するものであった。コントラスト強調以外の可逆画像処理を検討する研究もこれまでになく、カラー画像に対してはコントラスト強調においても、適切な可逆処理が達成されていなかった。一方、本研究は、カラー画像に対応する処理の可逆性、多様な処理の実現、複数処理の重畳の三つの観点から、産業応用の実現性を期待できる、ユニークかつ先進的な研究である。

研究成果の概要（英文）：This study investigates a technique that can easily recover the original image from the processed image without increasing the data amount. Previous studies have only examined reversible transformations for contrast enhancement, mainly for grayscale images. In this study, based on data embedding, which is one of the image security techniques, we aim to develop a technique that enables reversible transforms to be applied to various image processing methods for color images. Specifically, we explored reversibility in saturation/brightness adjustment, smoothing/sharpening, and color tone control. This is expected to improve the convenience of image editing.

研究分野：画像処理

キーワード：可逆性 情報埋込み コントラスト強調 平滑化 鮮鋭化 色調制御

### 1. 研究開始当初の背景

図書館や博物館・美術館などをはじめ、文化資源のデジタルアーカイブが進んでいる。文化資源をデジタルカメラで撮影し、撮影した画像を調整した後、一般に公開・配信することが容易となった。デジタル化された文化資源は、再利用や遠方への配送の観点から大きな利点がある他、本物の文化資源への人的アクセスを減少させ、さらなる損傷を抑制することができる。また、スマートフォンの普及や付随するカメラの高性能化が進み、撮影した画像に画像処理を施し、SNSなどを介して公開・共有する機会も急速に増えている。画像編集は容易である一方、編集を重ねることで意図しない出力結果となることも多く、こうした場合、一旦編集前の画像に戻すことが要求される。特に、医用画像や衛星写真、捜査における証拠画像などでは、しばしば明瞭性を向上する処理が求められる一方、元の画像に完全に戻す機能も必要とされる。しかし、通常の画像処理は非可逆処理であり、一度処理を加え保存すると、元の画像に戻すことが困難である。既存のアプリケーションでは、元の画像に戻すため、処理後の画像データとは別に、編集履歴、または、原画像自身のデータを保存する必要がある。そのため、従来、可逆性を有効とするためには処理後のデータ量が、処理前と比較して2倍程度増加するという課題が生じている。

これまで、情報埋込み技術を用いてコントラスト強調を行い、必要に応じて原画像に戻すことができる手法は研究されてきたが、これらのほとんどはモノクロ画像に対するものであった。また、カラー画像を対象としたものについては、可逆性が保証されておらず、完全には元の画像に戻すことができない。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、画像セキュリティ技術の一つである情報埋込み技術を応用し、データ量を一切増加させることなく、可逆な画像処理技術を実現することを目的に研究を行った。具体的には、図1に示すように、画像処理内容を画像自身の中に秘匿することにより、画像情報量を一定としたまま処理の可逆性を保証する。したがって、処理後の画像から、埋め込まれた画像処理内容を抽出し、逆処理を施すことで原画像を再現することができる。本研究の実現により、これまで、元の画像に戻すために増加していたデータ量をすべて削減することが可能となり、画像自体のデータ量は処理前後で一定となる。

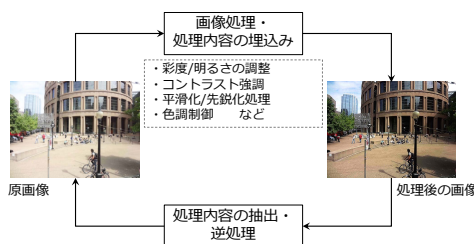


図1. 可逆画像処理のフレームワーク

本研究は、カラー画像を対象として、複数の処理を同時に可能とし、多様な可逆画像処理の実現を目指す世界で初めての研究である。コントラスト強調以外の画像処理に可逆性を検討する研究はこれまでにない。カラー画像に対してはコントラスト強調でさえ、適切な可逆処理が達成されていなかった。一方、本研究は、カラー画像に対応する処理の可逆性、多様な処理の実現、複数処理の重畳の三つの観点から、産業応用の実現性を期待できる、ユニークかつ先進的な研究である。

### 3. 研究の方法

本研究では、(1)輝度の向上/低下、(2)彩度の向上、(3)輝度コントラストの強調、(4)鮮鋭化/平滑化、(5)青み・赤みの色調制御について、データ量を一切増加させることなく、可逆性を有する処理を実現した。(1)から(4)の処理については、複数重ねて施すことも可能である。

提案法における処理の流れを図2に示す。同図では、輝度と彩度に対する処理を重ねて施す場合を例に説明している。原画像に対して、対象となる処理を施すと同時に、可逆性を保証するための条件を整理し、原画像の復元に必要な情報を処理された画像に可逆情報埋込み法を用いて埋め込む。復元情報を埋め込まれた画像が最終的な出力である処理画像となる。一方、復元処理では、まず処理画像から復元情報を抽出する。その後、復元情報に基づき、施された処理の逆処理を行い、原画像を復元する。



図2. 提案法の処理の流れ

提案法では、効果的な処理が行えるよう、(1)から(4)の処理においてはHSV色空間、(5)の処理においてはYD<sub>b</sub>D<sub>r</sub>色空間をそれぞれ参照している。一方で、実際の処理はRGB色空間で施されており、このことが可逆性の保証に貢献している。

#### 4. 研究成果

2021年度は、彩度および輝度コントラストを可逆に向上・強調させることのできる画像処理手法を開発した。まず、カラー画像を対象として可逆性を保証した上で、輝度コントラストの強調に加え、彩度向上も可能とする手法を提案した。この手法では、予測誤差を利用した Prediction-Error Expansion with Histogram Shifting (PEE-HS) 法を利用し、復元に必要な情報を埋め込むことで原画像を再構成できる。さらに、彩度と輝度コントラストに対し、独立したパラメータを用いることで、彩度の向上と輝度コントラストの強調の度合いを個別に調整できる。ただし、この手法では、輝度コントラストの強調処理に伴い、彩度に歪みが発生してしまう。そこで、この手法をさらに拡張し、HSV 色空間に基づき、輝度コントラストの強調と彩度の向上を完全に独立して施すことができる手法を開発した。シミュレーションにより、色相の歪みなく、彩度の向上および輝度コントラストの強調を独立して実現可能であるとともに、原画像を完全に再構成できることを確認した。

2022年度は、可逆性を有する画像処理において、輝度を対象とした複数の編集処理を実現する手法を提案した。出力画像の例を図3に示す。2021年度の研究により達成した機能に加え、輝度に対して、さらに、鮮鋭化・平滑化、および、向上・低下を実現する手法を提案した。鮮鋭化・平滑化処理では、4近傍を参照するフィルタを用いて処理を行い、発生する誤差の修正情報を作成する。輝度の向上・低下処理では、輝度ヒストグラムの移動処理を行い、復元処理に必要な情報を記録する。処理後の画像に対し、原画像の復元に必要なこれらの情報を埋め込むことで、原画像を完全に再構成できる。可逆性は、いずれの場合も、復元に必要な情報を処理後の画像に対して埋め込むことにより保証される。情報埋込みアルゴリズムについては、前年度と同様に PEE-HS 法を用いている。なお、可逆性の保証によるデータ量の増加は一切生じない。シミュレーションでは、提案法の各処理について、輝度制御、彩度向上、色相歪み、および、可逆性の観点から評価し、提案法が上述の各処理を可逆に実現していることを確認した。

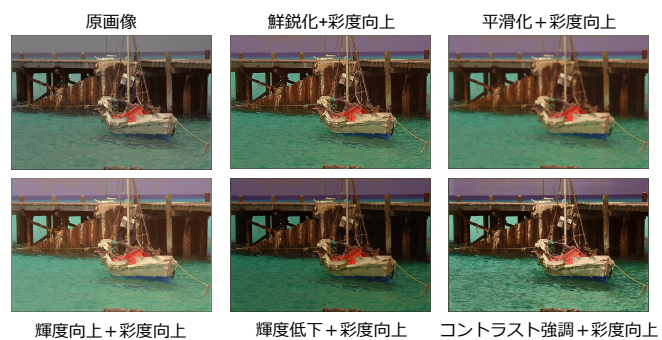


図3. 提案法により複数の処理が施された画像

2023年度では、カラー画像に対して可逆性を保証し、画像の色調を制御する手法について研究した。提案法では、画像が与える冷たさや暖かみに関する印象を制御するために、青みと赤みを制御対象としている。以降、本報告における色調は、画像の青みと赤みを意味することに注意されたい。図4に提案法により青み・赤みが強調された画像を示す。この手法では、まず YDbDr 色空間を参照し、Db-Dr 平面に参照領域を設定する。参照領域に属する画素から、青みと赤みに対する補正係数を算出して各成分に乗じることで、青みと赤みを可逆に強調することが可能となった。シミュレーションにより、提案法が画像の色調を任意に変更できることを示すと同時に、可逆性を保証するための情報埋込み処理が処理画像の画質に与える影響が極めて小さいことを確認した。しかしながら、上述の手法（第一の手法）では、参照領域に属する画素値のばらつきが補正係数の算出に影響を与え、変調強度を制御できない場合が存在した。そこで、上述の手法を拡張し、画像の特徴によらず、変調強度を柔軟に制御可能な第二の手法を提案した。この手法では、参照領域に属する画素値のばらつきに影響されず補正係数を算出することができる。また、第一の手法が一つの参照領域から各成分に対する補正係数を算出していたのに対し、第二の手法では青みと赤みに対して、それぞれ独立に参照領域を設定することで、両者に対する独立な制御を可能とした。復元情報は、可逆情報埋込み法を利用し、処理後の画像に埋め込む。提案法ではいずれも予測誤差を利用した PEE-HS 法を利用しているが、任意の手法を選択することも可能である。シミュレーションでは、各パラメータにおける補正係数を第一の手法と比較し、変調強度のより柔軟な制御が可能であることを確認し、第二の手法の優位性を示した。



図4. 提案法による青み・赤みの色調制御

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Daichi Nakaya, Shoko Imaizumi	4. 巻 13
2. 論文標題 An Extended Method for Reversible Color Tone Control Using Data Hiding	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Electronics	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/electronics13071204	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yuki Sugimoto, Shoko Imaizumi	4. 巻 13
2. 論文標題 Reversible Image Processing for Color Images with Flexible Control	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app13042297	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuki Sugimoto, Shoko Imaizumi	4. 巻 8
2. 論文標題 An Extension of Reversible Image Enhancement Processing for Saturation and Brightness Contrast	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Imaging	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/jimaging8020027	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 中谷大地, 今泉祥子
2. 発表標題 情報埋込みを用いた可逆な色調制御法の拡張
3. 学会等名 電子情報通信学会 EMM研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Daichi Nakaya, Shoko Imaizumi
2. 発表標題 A Reversible Image Processing Method for Color Tone Control Using Data Hiding
3. 学会等名 APSIPA Annual Summit and Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中谷大地, 今泉祥子
2. 発表標題 情報埋込みを用いた可逆性を有する色調制御
3. 学会等名 電子情報通信学会 EMM研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuki Sugimoto, Shoko Imaizumi
2. 発表標題 A Reversible Image Processing Method with Selectable Functions
3. 学会等名 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉本祐樹, 今泉祥子
2. 発表標題 輝度に対する柔軟な制御を可能とした可逆画像処理法
3. 学会等名 電子情報通信学会 SIP研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 脇水彩菜, 今泉祥子
2. 発表標題 HSI色空間における可逆なコントラスト強調の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 EMM研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Sugimoto, Shoko Imaizumi
2. 発表標題 A Lossless Image Processing Method with Contrast and Saturation Enhancement
3. 学会等名 IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉本祐樹, 今泉祥子
2. 発表標題 彩度および輝度コントラストに対する可逆画像強調処理の拡張
3. 学会等名 電子情報通信学会 EMM研究会
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------