

## 限定色画像に対する深層暗号手法の改良について

陳 那 森<sup>†</sup> 安 達 知 徳<sup>†</sup>  
荻 原 剛 志<sup>†</sup> 金 田 悠 紀 夫<sup>†</sup>

フルカラー画像から限定色画像を生成する際に同時に秘密情報を埋め込む深層暗号手法について、埋め込むことのできるデータ量を増やす方法を提案する。提案方式では、限定色画像の代表色を互いに似通った色のいくつかのグループに分け、グループ内で埋め込みビット列を一意に対応づけておく。原画像の各画素ごとに最も似通った色を含むグループを探し、その中のどの代表色を限定色画像の画素とするかによって情報の埋め込みを行う。本稿では代表色のグループ分けの方法を2通り示し、それらを用いた埋め込み実験の結果を示す。

## An Improved Steganographic Method for Palette Images

NASEN CHEN,<sup>†</sup> TOMONORI ADACHI,<sup>†</sup> TAKESHI OGIHARA<sup>†</sup>  
and YUKIO KANEDA<sup>†</sup>

This paper shows an improved steganographic method for palette images, which can increase the amount of data embedded. The original method embeds data into a palette image while it is made from a full-color image with color reduction. In new method, representative colors in a palette are divided into several groups of colors which are similar to each other. Within each group, representative colors are uniquely associated with bit strings. For each pixel in the full-color image, depending on the bits to be embedded, a representative color is selected in the group which has the most suitable representative color for the pixel. This paper proposes two methods to divide the representative colors, and shows the results of experiments using them.

## 1. はじめに

情報を秘密裏に送信したり、蓄積したりする手段として、深層暗号(ステガノグラフィ)技術が注目されている。深層暗号とは、画像や音声などのデータの中心に、それとは別の情報を第三者に気づかれないように埋め込む手法のことである。本稿では限定色画像を情報埋め込みの対象とする。

限定色画像とは、画像中で使える色数が制限されている画像形式であり、代表的なものにはインターネットで広く使われている GIF 形式などがある。画像内で使われる色を代表色と呼び、代表色全体の集合をパレットと呼ぶ。色数は典型的には 256 色以下である。画像中の各画素の色は、パレット内の代表色の番号で表現される。

限定色画像に対する深層暗号手法はいくつか提案されている<sup>1)~3)</sup>が、いずれも 1 画素あたりたかだか 1 ビット程度の情報しか埋め込むことができない。

本稿では、1 画素あたり数ビットの埋め込みが可能な埋め込み手法を提案し、実験結果を報告する。なお、限定色画像にデータを埋め込む手法には、すでに何らかの方法で作成された限定色画像にデータを埋め込む方法と、フルカラーの原画像から限定色画像を作成する過程でデータを埋め込む方法がある。後者の方法の方が、埋め込み後の画像の画質が良い<sup>3)</sup>ことが分かっているため、本稿でも限定色画像の作成と同時に埋め込みを行うことを前提とする。

## 2. 埋め込み手法の拡張

## 2.1 基本的な埋め込み方法

まず、1 画素に 1 ビットを埋め込む単純な方法の概要を述べる。この方法では、代表色を何らかの方法で 2 つのグループ A, B に分けておく。走査線の順に原

<sup>†</sup> 神戸大学大学院自然科学研究科  
Graduate School of Science and Technology, Kobe  
University

画像の画素を調べ、注目画素の色に最も近い代表色を選んでこれをその画素の色とする。ただし、埋め込みたいビット  $e$  に応じて、 $e = 0$  ならばグループ A から、 $e = 1$  ならばグループ B から代表色を選ぶものとする。

データを読み出すには、それぞれの代表色がどちらのグループに属しているかを調べ、対応するビットを得ればよい。

この方法を単純に拡張し、代表色のグループの数を 4、あるいは 8 に増やせば埋め込まれるデータの量を増やすことができる。しかし、埋め込み後の画質の劣化が激しく、実用に耐えない。

## 2.2 新しい埋め込み方法の概要

画質を保ちつつ多くの情報を埋め込むためには、原画像の画素と置き換え可能な代表色が複数あり、そのうちのどれを選んで画質が著しく劣化しないという状況が必要である。そして、このような代表色の個数が多ければ、より多くの情報を埋め込むことができる。

埋め込みのために互いに交換可能な色の関係を近似色と呼ぶことにする。以下では、色空間におけるユークリッド距離があらかじめ決めておいた閾値よりも小さい 2 つの色を近似色の関係にあると見なす。さらに、ある代表色のグループ内のどの色も互いに近似色の関係にあるとき、このグループを近似色のグループと呼ぶ。

与えられたパレットを、いくつかの近似色のグループに分割できたとする（具体的な方法は 3 章で述べる）。代表色には各グループ内で互いに異なるビット列を割り当てておく。埋め込みの過程では、原画像の注目画素の色に最も近い近似色のグループを見つけ、その中から埋め込みたいビット列に対応した代表色を取り出して新たな画素の色とする。データを読み出すには、各代表色に割り当てられたビット列を順番に取り出せばよい。

この方法では、原画像の画素値に最も近い代表色か、その近似色だけが限定色画像における画素値となるため、画質の劣化を抑えることができる。また、近似色を持たない代表色に対しては埋め込みを行わないようにすることもできる。

## 2.3 ビットの割当て

近似色のグループに多くの代表色が含まれていれば、それだけ長いビット列を各色に割り当てることが可能である。ただし、埋め込みたい情報に対応する代表色を一意に決定するために、割り当てられるビット列は互いに語頭条件を満たしている必要がある。本稿で提案する手法ではいずれも、Huffman 符号化法を利用

してビット列の割当てを行った。たとえば、グループ内に 5 つの代表色があれば、00, 01, 10, 110, 111 を割り当てる。

## 3. 提案手法

### 3.1 近似色のグループ生成法について

前章で述べたように、より多くの情報を埋め込むためには、より多くの代表色を含む近似色のグループを作ればよい。しかし、その実現には様々なアプローチが考えられる。2.1 節で述べた、代表色を 2 つのグループに分ける方法では、「最も近い代表色どうしに必ず異なるビットを割り当てる」という意味で最適という概念が存在し、最適なグループを生成するアルゴリズムが存在する<sup>1),2)</sup>。しかし、代表色を複数のグループに分け、各グループ内でビット列を割り当てる方法には、同様な最適という概念はあてはまらない。

そこで本稿では、グループの生成法を 2 通り提案し、さらに埋め込み実験を行ってその性能を比較することにした。

### 3.2 手法 1: メディアンカットを利用する方法

フルカラーの原画像から限定色画像を生成する際には、原画像の情報から、代表色として使われるパレットを構成しなければならない。これを減色処理と呼ぶ。減色アルゴリズムとして広く使われている方法にメディアンカット法<sup>4)</sup>がある。

メディアンカット法は原画像の画素を含む色空間の領域を次々に 2 分割していく。分割前の領域を親ノード、分割後の領域を子ノードとすると、領域の分割の様子を二分木構造で表現でき、代表色は木の葉に相当する領域の平均となる。

ここで述べる提案手法は、原画像から限定色画像を作成する際にメディアンカット法で減色を行った後、その木構造を利用して近似色のグループを生成するものである。上で述べた性質から、ある中間ノードで表される色空間の領域の直径が、近似色の定義で用いられる閾値よりも小さいならば、その中間ノードを分割して作成されるすべての代表色は相互に近似色の関係にあるはずである。そこで、閾値よりも小さな直径を持つ中間ノードを探し、そのノードを根とする部分木に含まれる代表色を近似色のグループとする。また、そのような部分木に含まれなかった代表色には近似色がないため、埋め込みビットを割り当てない。

### 3.3 手法 2: グラフの表現を利用する方法

この手法では、何らかの減色処理によってパレットを構成した後、下記のようなアルゴリズムで近似色のグループを生成する。

- (1) すべての代表色をノードとするグラフ  $G$  を考え、距離が  $d/2$  以下の代表色どうしをアーク（無向線分）で結合する。ただし  $d$  は閾値を表す。
- (2) グラフ  $G$  の中で、最も多くのアークを持つノード  $N$  を1つ選ぶ。
- (3) ノード  $N$  および  $N$  とアークで結合しているすべてのノードの集合を  $\{A\}$  とする。 $\{A\}$  は近似色のグループとなる。
- (4) グラフ  $G$  から、 $\{A\}$  および  $\{A\}$  に結合するすべてのアークを取り除いてグラフ  $G'$  を作成する。
- (5)  $G'$  がノードを含まなくなったら終了。そうでなければ  $G'$  を新たに  $G$  として、手順 (2) へ戻る。

### 3.4 代表色の作成

1画素あたりに1ビットより多くの情報を埋め込むには、近似色のグループ内にある色の数は平均で2個より多くなければならない。しかし、通常のメディアンカット法で代表色を生成した場合に、3色以上の近似色が含まれるグループはめったには形成されないことが分かった。そこで、近似色のグループに含まれる代表色の個数を増やすために、パレットの作成を工夫することが有効である。

多くの近似色を含むグループを作るためには、直径が閾値より小さい領域をさらに分割して代表色を構成すればよい。ただし、その領域に含まれる原画像の画素数が少ないと、埋め込みにはあまり利用できない。また、その領域の直径が小さすぎると、作られた代表色がほとんど同じ色になってしまい、画質の劣化を招く。

こうした点を考慮し、代表色の作成を以下の手順で行ったうえで、上で提案した2つの手法を適用することとした。

- (1) メディアンカットを用いて、原画像の全画素を含む色空間領域を  $n$  個の領域に分割する ( $128 < n < 256$ )。この  $n$  を初期分割数と呼ぶ。
- (2)  $n$  個の領域のうち、直径が閾値以下でかつ一定以上の体積（実験では512）を持ち、含まれる画素数が最も多い領域を1つ取り出し、続けて  $k$  回 ( $k = 1$  or  $3$ ) 分割する。
- (3) 領域数が256になるまで(4)を繰り返す。
- (4) それぞれの領域に含まれる画素の平均を代表色とする。

なお、このようにしてパレットを作成した場合でも、生成される限定色画像の画質が極端に悪化することはない<sup>3)</sup>。



(a) Original image: K21 (768 × 512 Pixels)



(b) Original image: N2A (512 × 640 Pixels)

図1 実験に用いた原画像

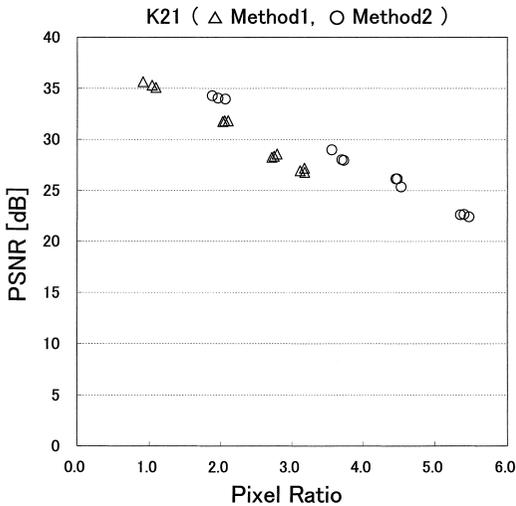
Fig. 1 Original images.

## 4. 実験結果と考察

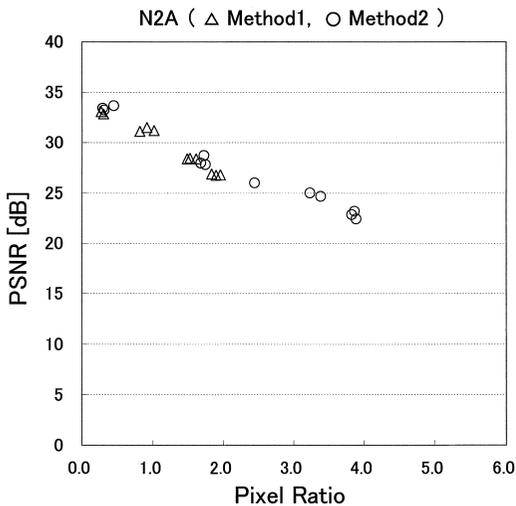
以下の実験では、図1に示す2つの画像（K21「灯台」、N2A「カフェテリア」）に対して、提案した2つの手法を用いてデータ（英文）の埋め込みを行った。その際、パレット作成における初期分割数と近似色を決める閾値を様々な値に設定し、埋め込み可能なデータ量を調べた。その結果を散布図として図2に示す。

図2でPixel Ratioは埋め込まれたビット数の合計を画像の全画素数で割った値（埋め込み率）、縦軸は原画像と限定色画像との誤差を表すSN比である。記号は手法1による結果を、記号は手法2による結果をそれぞれ表している。

どちらの手法においても、埋め込み率が増えるにつれてSN比は次第に悪化するが、わずかながら手法2



(a) K21 (燈台)



(b) N2A (カフェテリア)

図2 埋め込み実験の結果

Fig. 2 Results of experiments.

のほうが良好な結果を得ていることが読み取れる。なお、1画素あたり1ビット前後の埋め込み率では、従来の手法<sup>3)</sup>とほぼ同じSN比を実現できている。画質を問題にしないのであれば、2~3倍の情報を埋め込み可能であることが分かる。

手法1は、色空間内で比較的偏りなく近似色のグループを構成できるという特徴があるが、反面、複数の部分木にまたがるような近似色のグループを構成できない。手法2は、代表色全体の中から最も構成要素

の多い近似色のグループを次々に取り出すグリーディ(貪欲)なアルゴリズムである。最初に取り出したグループは埋め込みに適しているが、最終的にグループ全体が埋め込みに有効に働くかどうかは保証できない。

今回の実験では手法2の方が良い結果を出しているが、その理由は必ずしも明らかではない。近似色のグループを構成する別の手法によって、より良い画質で多くの情報を埋め込める可能性もあり、検討が必要である。

また、今回は減色処理にメディアンカット法を共通して用いたが、減色手法には他にも多数の方法が提案されている。これらとの組合せについても検討の余地があると考えられる。

## 5. あとがき

限定色画像に対する埋め込みデータの量を増やす手法を提案し、SN比と埋め込み率の関係を示した。本手法を用いると従来の手法よりも多くのデータを埋め込むことができる。埋め込み後の画質はデータ量の増大ともなつて劣化していくが、画質が悪くても不審に思われない用途には有用であると考えられる。たとえば、デジタルカメラで撮影した画像に埋め込みを行った場合などは、元々画質が良くないのかどうかを第三者が判断することは困難であろう。

さらに、限定色画像を生成する際には、フルカラーの情報を用いて誤差拡散などの疑似中間色表現手法を適用することが可能である。今後、これらを用いた場合の見た目の画質改善についても調査が必要である。

## 参考文献

- 1) Fridrich, J. and Du, R.: Secure Steganographic Methods for Palette Images, *Proc. International Workshop on Information Hiding 1999*, pp.47-60 (1999).
- 2) 井上光平, 堀田政二, 武市義弘, 浦浜喜一: 限定色画像への電子透かし埋め込み, 電子通信情報学会論文誌 (A), J82-A(11), pp.1750-1751 (1999).
- 3) 陳 那森, 荻原剛志, 金田悠紀夫: 限定色画像に対する画質劣化の少ない深層暗号手法, 画像電子学会誌, Vol.31, No.3, pp.370-377 (2002).
- 4) Heckbert, P.: Color Image Quantization for Frame Buffer Display, *ACM Computer Graphics*, Vol.16, No.3, pp.297-307 (1982).

(平成 14 年 12 月 11 日受付)

(平成 15 年 3 月 4 日採録)