

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：17104

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18066

研究課題名(和文)可逆ステガノグラフィ技術に関する研究とその改ざん復元への応用

研究課題名(英文)Reversible steganography and application to tamper recovery

研究代表者

黒崎 正行(KUROSAKI, Masayuki)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：80404094

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では可逆ステガノグラフィ技術を提案し、改ざん検出・復元へ応用する。本提案手法は、電子透かし技術と通信路符号化を融合させたものであり、安全かつ柔軟に画像の通信が可能である。シミュレーション結果より、提案手法は様々な解像度の画像において改ざん検出が可能であることを示している。加えて、提案手法は、受信画像から著作権情報を抽出することや、改ざんされた画像を原画像に復元することが可能である。

研究成果の概要(英文)：In this research, we propose a reversible steganography technique and apply it to image tampering detection and recovery. The proposed method achieves a flexible and secure image transmission by combining a watermarking technology and a channel coding scheme. From our simulation results, we show that tampering can be detected using images of various resolutions. In addition, the proposed method can extract copyright information from the received image and restore the original image without quality degradation.

研究分野：画像通信

キーワード：情報埋め込み ステガノグラフィ 改ざん検出 改ざん復元 著作権保護

### 1. 研究開始当初の背景

近年の高速な通信網の発達により、2017年には通信容量が2007年の100倍になると予測されるなど、音声、動画の大容量のコンテンツデータを扱う機会は増加し続けている。特に4K/8K/スーパーハイビジョンなどの高精細な画像を扱う必要が出てきている。このような高精細な画像は、データ量が膨大であり、これらのデータを無線通信網で伝送する場合、誤りのある通信路で、コンテンツの著作権を保護し、改ざん検出/訂正など不正な攻撃に対しても安全に通信を行うことが必須である。

このような安全な通信を行うことが可能となる技術として期待されているのが、画像に知覚できない程度の変更を加えることで秘密裏に情報を埋め込むステガノグラフィ技術である[1]。この技術を利用して著作権情報を画像に埋め込むことで、コピーなどによって画像が不正流出した場合でも、著作権保持者を特定することが可能となる[2]。一般にステガノグラフィ技術で画像に情報を埋め込むと一般に画質劣化が生じてしまう。しかしながら、医療や法律、芸術分野では、埋め込んだ情報だけでなく画像本体も重要であるため、埋め込み情報を抽出する際に画像本体自体も埋め込み前の画像に戻せるような可逆性を有したステガノグラフィ技術が注目されている[3]-[6]。

これらの文献の中でも、受信側で原画像を得るための可逆のステガノグラフィが広く研究されている。図1に示すように原画像を $x$ 、電子透かしの処理を $f(x)$ 、電子透かし処理後の画像を $w$ 、改ざん等の攻撃の処理を $h(w)$ 、改ざん等の攻撃が行われた後の画像を $z$ 、通信路誤りによりノイズが重畳される処理を $g(z)$ 、ノイズが重畳された後の画像を $y$ とすると、埋め込まれた著作権保護の情報を抽出し、かつ、透かし入り画像から原画像( $w \rightarrow x$ )に戻すことは可能である[3][4]。しかしながら、これらの手法では、改ざんなどの攻撃に対する可逆性、すなわち改ざん等が行われた画像 $z$ から原画像 $x$ を得ることができない。小領域の改ざんであれば、改ざんを検出し訂正( $z \rightarrow w$ )することは可能ではあるが[4]、その場合、著作権情報を完全に抽出することはできない。

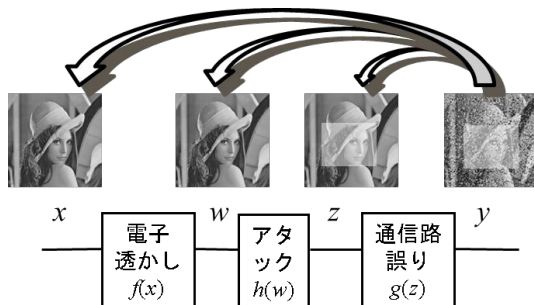


図1 本研究のモデルの概念図

そこで、本研究では、文献[6]を拡張し、図1の受信画像( $y$ )から改ざん前の画像( $w$ )や原画像( $x$ )を得ることができるなど、従来研究にない柔軟性を有するステガノグラフィ技術を提案し、提案手法を改ざん復元へ応用する。

### 2. 研究の目的

4K/8K/スーパーハイビジョンなどの高精細動画を伝送する場合、強固な著作権保護や改ざん、通信路に対する高い耐性が必須である。本研究の目的は、4K/8K/スーパーハイビジョン画像における、改ざんや不正攻撃に対して耐性を有し、著作権保護が可能な伝送技術を確立することにある。具体的には、図2に示すように、図1の電子透かしの処理や改ざんなどの攻撃、通信路誤りをそれぞれ $f$ 、 $h$ 、 $g$ のノイズが加算されるような通信路としてモデル化し、誤り訂正符号を応用することで改ざんされた画像からも著作権情報と原画像を得ることが可能となる。本提案手法は、電子透かし技術と通信路符号化を融合させたものであり、誤り訂正能力を制御することで、従来不可能であった改ざんに対する耐性を持たせつつ、安全かつ柔軟に画像の通信が可能となる。

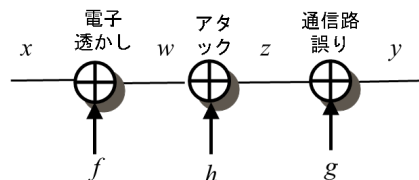


図2 本研究で提案する処理モデル

### 3. 研究の方法

本研究では、(1) 電子透かし処理や改ざんなどの攻撃のモデル化とその対数尤度比であるLLR (Log-Likelihood Ratio) の算出、これらのLLRを用いて誤り訂正符号の復号を行うことで、電子透かしの透かし量及び強度と攻撃に対する可逆性の能力の関係性について検証する。(2) 柔軟に改ざんを受けた受信画像から透かし入り画像や原画像の復元を行うなどの可逆ステガノグラフィ技術の提案と検証を行う。併せて、可逆ステガノグラフィ技術を用いた改ざん検出・訂正アルゴリズムを提案し、その性能を検証する。具体的な研究方法は、以下の通りである。

(1) 電子透かし処理のモデル化とLLRの算出、及び攻撃に対する可逆性の能力の関係性の検証

本研究では、電子透かし処理を通信路としてモデル化しているため、可逆なステガノグラフィを実現するためには、図1、図2に示すような原画像 $x$ と電子透かし後の画像 $w$ の $p(x|w)$ を最大にするように復号し、 $x$ を求める必要がある。そのため、 $x$ を求めるために

必要となる LLR を算出する。  $x$  と  $w$  との関係を実測し、その実測値から LLR を計算する。また、改ざんなどのアタックについての影響を低減し画像を復元するために必要となる LLR についても算出する。算出には上記と同様に実測値を元に行う。電子透かしの強度や著作権保護の強度にかかわる透かし情報量を変化させた場合、すなわち  $f$  を変化させた場合や、アタックの強度、すなわち  $h$  を変化させた場合の LLR を算出する。

また、これらの値を元に可逆性についての能力についても検証する。

## (2) 柔軟な可逆ステガノグラフィ技術の提案とその改ざん復元への応用

(1) で得られた  $p(x|w)$  などより、受信画像である  $y$  から  $x$  を計算するために必要な  $p(x|y)$  を用いて直接  $x$  を復元することで、可逆ステガノグラフィ技術を改ざん復元へ応用する。また、 $x$  だけでなく  $y$  から  $w$  や  $z$  を求めることで、柔軟な可逆ステガノグラフィを実現する。

加えて、2K/4K/8K スーパーハイビジョン画像に適用するために、図 3 に示すように、複数の解像度でも著作権情報が取り出すことができ、かつ改ざんなどのアタックに対しても復元することができる、スケーラブルな可逆ステガノグラフィ技術についても提案し、その改ざん復元への応用についても検討する。検討では、データ量や演算量などのハードウェアでの実装も考慮して検討する。

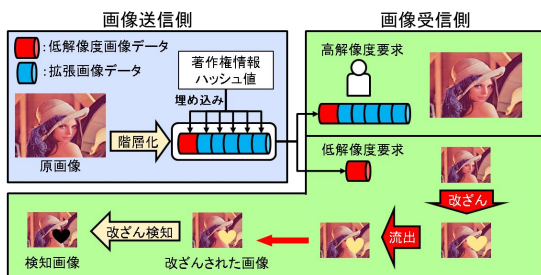


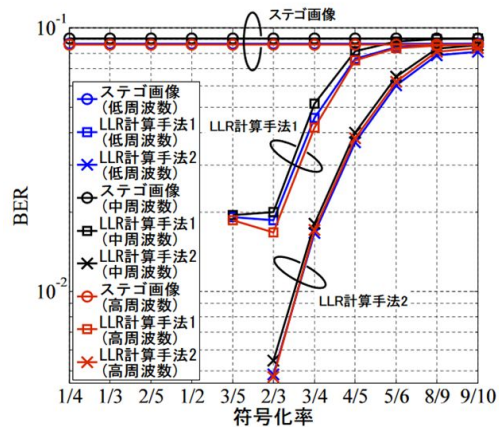
図 3 スケーラブルな可逆ステガノグラフィ (提案手法)

## 4. 研究成果

(1) 電子透かし処理のモデル化と LLR の算出、及びアタックに対する可逆性の能力の関係性の検証

電子透かし処理において、情報埋め込み手法によって埋め込み後の画像のビットへの影響が異なるため、本研究では、離散コサイン変換 (DCT: Discrete cosine transform) を用いた情報埋め込み後のビット誤り率 (BER: Bit error rate) より原画像と埋め込み後の画像の関係を示した。併せて、図 4 に示すように、情報埋め込みによるビット誤り率をビットプレーンごとに考慮すること (LLR 計算手法 2) で、より可逆性に優れたステガノグラフィ技術を実現することが可能となった。改ざんやアタックには様々な種

類が存在し、画像のビットへの影響も異なるため、アタックにおける関係も示した。これらの結果については、学会発表を通じて公表している。



符号化率とBERの関係(DCT埋め込み)

図 4 LLR 計算手法の違いにおける可逆性能

## (2) 柔軟な可逆ステガノグラフィ技術の提案とその改ざん復元への応用

上記の(1)の結果を受けて、 $y$  から  $x$  のみならず、 $y$  から  $w$  や  $z$  を求めることのできる柔軟に制御可能な可逆ステガノグラフィ技術の提案や複数の解像度の画像への拡張、及び、可逆ステガノグラフィ技術を用いた改ざん検出・訂正アルゴリズムの提案を行った。結果を図 5、図 6 に示す。図内の PSNR (Peak signal to noise ratio) は画質を示す指標であり、PSNR= は、原画像と一致していることを示している。また、埋め込まれている情報の抽出性能は、正規化相互相関 (NC: Normalized Cross-Correlation) で評価し、NC が 1 に近いほど、正確に抽出できていることを示している。図 5 左は低解像度画像に改ざんが発生している状態を、図 5 右は図 5 左の一部を取り出して高解像度画像を要求した状態を示している。どちらも、埋め込み情報が抽出でき、かつ改ざんについても復元できていることが確認できる。図 6 は、画像全体について高解像度の画像を要求した状態を示しており、この状態においても埋め込み情報が抽出でき、かつ改ざんについても復元できていることが確認できる。

併せて、処理が必要なデータ量についても検証を行い、解像度ごとに情報を全て有するシステムに比べデータ量が削減されていることを確認している。加えて、可逆ステガノグラフィ技術を用いた改ざん検出・訂正アルゴリズムを改良し、誤り訂正処理を行う構成を変更することで、より強固な改ざん訂正が可能となった。

以上のように医療や芸術分野など、原画像が必要な場合に対して、提案手法は有効であることが確認できた。これらの結果については、学会発表を通じて公表している。

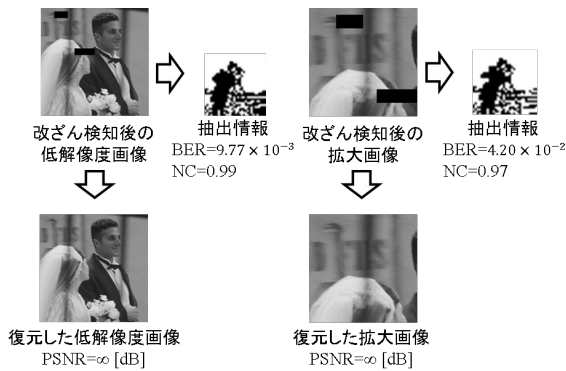


図5 改ざんが行われた画像からの埋め込み情報抽出とその改ざん復元性能  
(左:低解像度画像、右:一部を高解像度化した画像)

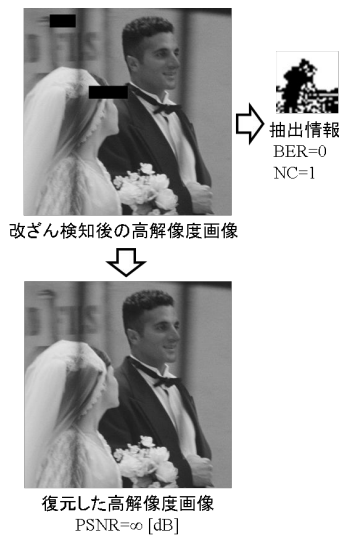


図6 改ざんが行われた画像からの埋め込み情報抽出とその改ざん復元性能(高解像度画像)

#### <引用文献>

松井甲子雄、電子透かしの基礎、森北出版、1998

M. Steinebach, E. Hauer, and P. Wolf, "Efficient watermarking strategies," Third Int. Conf. on Automated Production of Cross Media Content for Multi-Channel Distribution, pp.65-71, Nov. 2007

H.L. Jin, M. Fujiyoshi, and H. Kiya, "Lossless data hiding in the spatial domain for high quality images," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E90-A, no.4, pp.771-777, Apr. 2007

X.T. Zeng, L.D. Ping, and X.Z. Pan, "A lossless robust data hiding scheme," Pattern Recognition, vol.43, pp.1656-1667, Apr. 2010

坂本貴宣、稲葉宏幸、"線形予測を用いたデジタル画像の改ざん検出・訂正可能な電子透かしの提案" 電子情報通信学会研究報告、vol.103、pp.1-6、July 2003

延岡翼、黒崎正行、尾知博、"LDPC符号による耐改ざん性を有す可逆情報ハイディング法" 第26回回路とシステムワークショップ、pp.167-172、Jul. 2013

#### 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計5件)

Koichi Araki, Tsubasa Sonezaki, Masayuki Kurosaki, and Hiroshi Ochi, "Scalable copyright protection using lossless information hiding," Proc. 2017 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia (SISA 2017), Sep. 2017.

福田航平、荒木浩一、黒崎正行、尾知博、"スケーラブル情報ハイディングにおける埋め込み手法に関する一検討" 電子情報通信学会九州支部学生講演会、A-1、Sep. 2017

荒木浩一、曾根崎翼、黒崎正行、尾知博、"可逆情報ハイディングを用いたスケーラブル著作権保護手法" 電子情報通信学会技術報告、vol.117、no.70、SIS2017-14、pp.71-76、Jun. 2017

曾根崎翼、荒木浩一、Leonardo Lanante, 黒崎正行、尾知博、"高精細画像のための可逆情報ハイディング法" 電子情報通信学会九州支部学生会講演会、D-10、Sep. 2016

坂田大樹、黒崎正行、尾知博、"圧縮センシングと電子透かし技術を用いた被改ざん文書画像の復元手法" 電子情報通信学会総合大会、D-21-7、Mar. 2016

〔その他〕

ホームページ等  
<http://dsp.cse.kyutech.ac.jp>

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

黒崎 正行 (KUROSAKI, Masayuki)  
九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号: 80404094