

電子透かしのためのパイロット信号による拡大率の推定 Estimation of magnification ratio by pilot signal for watermarking

河野 絵華[†]
Rinka Kawano

川村 正樹[†]
Masaki Kawamura

1 はじめに

電子透かし法とは、静止画像などのデジタルコンテンツに対して秘密裏に別の情報を埋め込む技術である。埋め込まれる情報を透かし情報と呼び、透かし情報を埋め込んだ画像をステゴ画像と呼ぶ。電子透かし法は、画像の不正利用への対策や、デジタルコンテンツの管理などに活用できる可能性がある。

電子透かし法では、攻撃に対する耐性が求められる。攻撃とは画像の加工や改竄を指し、大別すると幾何攻撃と非幾何攻撃に分類される。非幾何攻撃とは、JPEG圧縮やノイズ付加などの画素値を変化させる攻撃のことである。一方、幾何攻撃とは、画像の拡大縮小や回転、クリッピングなど、画素同士の位置が変化する攻撃のことである。攻撃が加えられたステゴ画像から透かし情報を抽出するために、埋め込みたい情報であるメッセージに誤り訂正符号を用いたり [1]、スペクトル拡散することで [2]、復号時の誤りを減らす手法が行われてきた。また、画像の SIFT 特徴点を用いることにより、幾何攻撃に耐性を持たせることができる [3, 4]。これらの手法では、拡大率や回転角が未知であっても同じ特徴点が抽出されやすい傾向がある。しかしながら、攻撃が未知であると、抽出した透かし情報には誤りが多いという問題がある。そこで、我々はステゴ画像に加えられる攻撃の推定を行い、より誤り率を低減させる方法を検討する。

透かし情報の埋め込み方法として、輝度値に直接埋め込む方法や、画像を周波数領域に変換して埋め込む方法などがある。周波数領域への変換方法には離散コサイン変換 (DCT) や離散フーリエ変換 (DFT) などが用いられる [5-7]。DFT は拡大縮小に対して不変性を持つ性質がある。つまり、画像が拡大縮小されたとしても同じ位置の周波数成分から透かし情報が抽出できる。ただし、その DFT 係数の値は拡大率に比例して変化している。ここで、拡大率が推定できれば透かし情報を精度よく抽出することが可能になる。本研究では、DFT 係数に透かし情報を埋め込み、拡大率の推定を行った上で透かし情報を復号する手法を検討する。

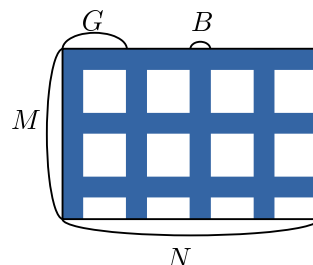


図 1: パイロット信号の埋め込み位置

2 パイロット信号による拡大率推定

本手法では、拡大率を推定するためにパイロット信号を埋め込む。透かし情報と干渉しないように、パイロット信号は別の色成分に入れる。

2.1 パイロット信号の埋め込み

本手法では、カラー画像を YUV 成分に分解し、輝度値 Y に透かし情報を埋め込む。透かし情報に影響を与えないようにするために、パイロット信号は U 成分に埋め込む。 U 成分画像の大きさを $M \times N$ 画素とする。座標 (i, j) の輝度値を $P(i, j)$ とする。輝度値をビット表現 $\{b_7(i, j), \dots, b_1(i, j), b_0(i, j)\}$ に分解する。 l 番目のビット表現 $b_l(i, j)$ からなる画像のことをビットプレーンと呼ぶ。 $l = 3$ 番目のビットプレーンにパイロット信号を埋め込む。パイロット信号は、図 1 のようにビットプレーン上に格子状に 1 の値をとる信号とする。ここで、格子の間隔を $G = 50$ 画素とし、格子の線幅を $B = 5$ 画素とする。

2.2 拡大率推定

ステゴ画像に拡大縮小と JPEG 圧縮が加えられたと仮定して、パイロット信号を基に拡大率を推定する。縦方向と横方向について同様の処理を行うため、ここでは縦方向について述べる。

(1) l 番目のビットプレーンにおいて、縦方向にビットの総和を求める。 $M' \times N'$ 画素のステゴ画像の U 成分について、 i 行目のビット $b_l(i, j)$ の総和 S_i は、

$$S_i = \sum_{j=0}^{N'-1} b_l(i, j), \quad (1)$$

[†]山口大学大学院創成科学研究科 Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi University

で表される。これにより得られた総和の系列を $S = \{S_0, S_1, \dots, S_{N'-1}\}$ とする。

(2) 格子状に値を 1 としたため、集合 S のヒストグラムは格子間隔毎に周期的に値が変化する。そこで、系列 S の自己相関を求め、周期を求める。

(3) 自己相関係数を離散フーリエ変換 (DFT) すると周期が求められる。DFT 係数の中で最大値を取る周期が格子間隔に対応する。推定格子間隔を G' 画素とすると、推定拡大率 \hat{m} は

$$\hat{m} = \frac{G'}{G}, \quad (2)$$

で求められる。

3 計算機シミュレーション

攻撃として拡大縮小と JPEG 圧縮を想定し、これらの攻撃を加えた際の推定拡大率を評価する。ここでは、透かし情報を埋め込まず、U 成分にパイロット信号を埋め込んだ場合を扱う。12 枚の 1920×1080 画素の画像を拡大率 $m = 0.7, 1.0, 1.3$ で拡大し、JPEG 圧縮して保存する。この時、Q 値は 10 から 100 とした。圧縮画像から推定拡大率 \hat{m} を求めた。

図 2 に Q 値に対する推定拡大率 \hat{m} を示す。横軸は Q 値であり、縦軸は推定拡大率 \hat{m} である。青の線は拡大率 $m = 1.3$ の時の結果であり、緑の線は $m = 1.0$ であり、橙の線は $m = 0.7$ の結果である。推定拡大率 \hat{m} の平均値と標準偏差をエラーバーで示している。推定拡大率が想定した拡大率より外れた 682 例中 162 例は、抽出失敗として除外した。また、パイロット信号が消失し、自己相関が求められなかった 6 例も除外した。

図 2 より、拡大率が $m = 1.0, 1.3$ の場合は概ね拡大率を推定できている。一方、縮小時である $m = 0.7$ の場合、Q 値が 65 以下の場合には推定に失敗したが、70 以上については概ね推定可能であることがわかった。

4 まとめ

本研究では、パイロット信号を用いた画像の拡大率推定を行なった。パイロット信号の周期性に基づき拡大率を推定した結果、JPEG 圧縮せずに拡大縮小した場合は、ほぼ正確に拡大率を推定することができた。一方、JPEG 圧縮した場合は、縮小した時は Q 値が 70 以上で推定できた。また、拡大率が 1.0 以上の場合については、良好に推定することができた。

いくつかの例で拡大率の推定に失敗した。これは、Q 値が小さい場合、劣化が大きく、パイロット信号が消

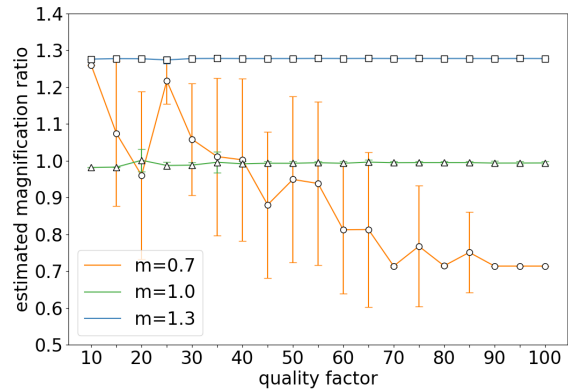


図 2: Q 値に対する推定拡大率

えてしまったと考えられる。また、原画像がもともと周期的である場合、周期判定を誤る可能性がある。格子状以外の形状も検討したい。

縮小時に拡大率の推定に失敗した原因は、格子の線幅 B が小さかったことが考えられる。拡大率 $m = 0.7$ で縮小すると縮小後の格子の線幅は $B' = 3.5$ 画素となる。従って、この画素数が少なかったために格子を検出できなかった可能性がある。適切な格子の線幅を設定する必要がある。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 20K11973 の助成を受けた。

参考文献

- [1] H. Kang, K. Iwamura, Proc. of IWIHC, p. 9-17, 2014
- [2] J. J.K.O. Ruanaidh, T. Pun, Signal Process., vol. 66, Issue 3, p. 303-317, 1998
- [3] H. Luo, X. Sun, H. Yang, Z. Xia, Radioengineering, vol.20, no.2, p. 525-532, 2011
- [4] L. Li, B. Guo, J. Pan, 2008 3rd International Conference on Innovative Computing Information and Control, Dalian, Liaoning, p. 18, 2008
- [5] M. Hayashi, M. Kawamura, Proc. of APSIPA ASC 2018, 2018
- [6] V. Solachidis, I. Pitas, IEEE Trans Image Process, vol. 10, no.11, p.1741-1752, 2001
- [7] J. S. Seo, C. D. Yoo, Pattern Recognition, vol. 37, Issue 7, p. 1365-1375, 2004