I-013

画像の規則性を用いた圧縮データへの情報付加の方法
Method of information addition to compressed data using regularity of images

大井　政典 †　　伊藤　浩 †
Masanori Oi　　Hiroshi Ito

1. はじめに

近年、情報ハイディング技術である電子透かしやステガノグラフィーが注目され、多くの研究が行われてきた。その中で Zhang[1] の電子透かしの方法は暗号化した画像データに情報を埋め込み、これを復号すると情報と画像を取り出すことができる。この方法は画像をブロックに分けて、埋め込む情報により各ブロックの異なる箇所を反転し、この場所を画像の規則性を用いて特定することで情報の伝達を可能にしている。Zhang は、暗号化された非圧縮の画像にこの方法を適用している。

本文では、同様のアイデアを圧縮された画像データに適用する事を試みる。一般に静止画の圧縮には JPEG(Joint Photographic Experts Group) がよく使われる。しかし、JPEG で圧縮されたデータには幾分かの冗長性が残っている。従って圧縮データの一部を反転して復号すれば、画像とは異なるデータが復号される。この冗長性を利用すれば圧縮データの容量を増やすことなく別の情報を付加する事ができる。すなわち、符号化側では付加する情報に応じて圧縮データの異なる箇所を反転させ、次に、復号側では画像の規則性を用いて反転している箇所を特定して付加した情報を復号し、さらにその部分を反転させることで元の画像を復元する。二値画像をハフマン符号で圧縮したデータに対して情報を付加し提案方法の原理を確認した。

2. 方法

図 1 は、提案方法を用いた情報の伝達システムを示す。図において、送信側では、まず画像を可変長符号で符号化し、圧縮データとする。次に圧縮データの一部を反転させることで情報を埋め込み、受信側に送る。受信側は、画像の規則性を使って復号を行い画像と情報を取り出す。

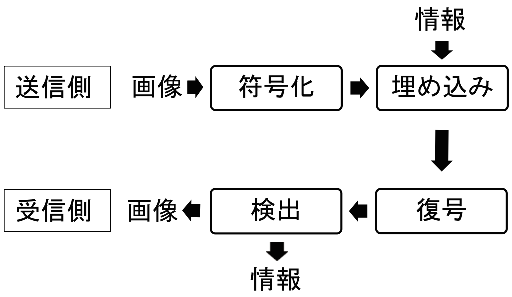
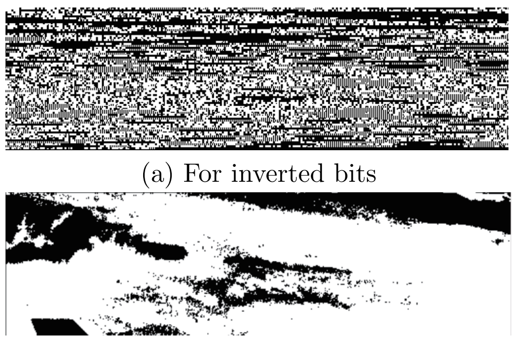


図 1: Diagram of proposed method

情報が伝達される理由は次の通りである。まず、送信側は、圧縮データをサイズ $n$bit の m 個のブロック $S_i(i=1,\cdots,m)$ に分割する。S_i の前 $n/2$bit を S_i^0, 後ろ $n/2$bit を S_i^1 とし、$S_i=S_i^0S_i^1$ と記す。0 の情報を埋め込む時は、前を反転させて $E_0(S_i)=\overline{S_i^0}S_i^1$ とし、1 の情報を埋め込む時は、後を反転させて $E_1(S_i)=S_i^0\overline{S_i^1}$ とする。次に受信側では受信した信号 X に対して $E_0(X)$ と $E_1(X)$ を計算する。X は $E_0(S_i)$ と $E_1(S_i)$ のどちらかである。$X=E_0(S_i)$ の時は $E_0(X)=\overline{\overline{S_i^0}}S_i^1=S_i^0S_i^1=S_i$、$E_1(X)=\overline{S_i^0}\,\overline{S_i^1}=\overline{S_i}$、$X=E_1(S_i)$ の時は同様に $E_0=\overline{S_i}$、$E_1(X)=S_1$ になる。例えば、$n=8$、$S_i=01011010$、埋め込む情報が 0 の場合は S_i^0=0101 を反転させ、$X=10101010$ とし、受信側では $E_0(X)=01011010=S_i$ と $E_1(X)=10100101=\overline{S_i}$ が得られる。いずれにしても受信側では正しい信号と全反転の信号が得られる。これらを可変長復号し、得られたデータに対して規則性を計算して、$f(E_0(X))<f(E_1(X))$ なら 0 を復号、そうでなければ 1 を復号する。$f(\cdot)$ は規則性を計算する関数である。反転したデータを復号すれば画像データが得られないので規則性が崩れる。このことにより、埋め込んだ情報を検出できる。

画像の規則性とは、物体の境界とそれによる領域が明確に存在する事であると考えられる。そして、この領域内では一般に信号の変化は少ない。Zhang[1] は画像の規則性の判定にブロック内の信号の分散を用いていた。本文における規則性の定義は 3 節で与える。図 2 は図 4(a) の二値画像を圧縮符号化し、そのデータを反転して復号した画像の上の部分を表示したものである。正しく復号された下の画像と比べて上の画像は明らかに規則性が崩れている事が分かる。



(a) For inverted bits

(b) For correct bits

図 2: Decoding results form inverted and correct bit streams

3. 実験

二値画像を圧縮したデータに対して前節の方法で情報を埋め込み、提案方法の検証を行った。符号化において画像を 2 × 2 のブロックに分け、このブロックに対して表 1 のハフマン符号を割り当てる。この符号は典型的

†日本大学, Nihon University

Copyright © 2015 by Information Processing Society of Japan and
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers
All rights reserved.

な二値画像の信号の出現頻度を用いて作成した。シンボルは左からブロック内の左上、右上、左下、右下の画素値を並べたものである。黒は 0、白は 1 である。画像の規則性は図 3 に示すように、ブロックの垂直方向の境界における信号変化の個数で定義する。すなわち、この境界において白から黒または黒から白に変化している箇所を数え、その数が小さいほど規則性が高いとする。左図はそのような箇所が 11、右図は 18 ある。間違った復号をすると画像が乱れるだけで無く、可変長符号の同期もずれるので垂直方向の境界で変化が起きやすいと考えられる。

表 1: Huffman code

シンボル	符号語	シンボル	符号語
1111	0	0111	1101000
1110	111001	0110	110101
1101	11101110	0101	1111
1100	111010	0100	111011110
1011	111011111	0011	11000
1010	11001	0010	1110110
1001	111000	0001	11011
1000	1101001	0000	10

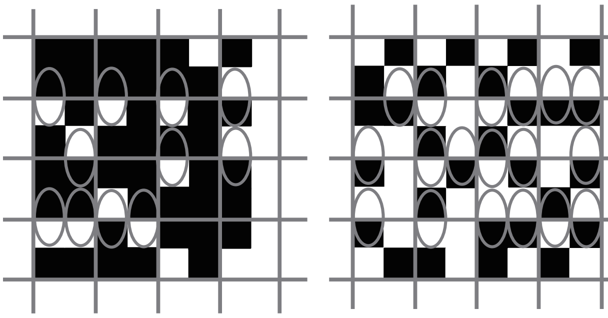
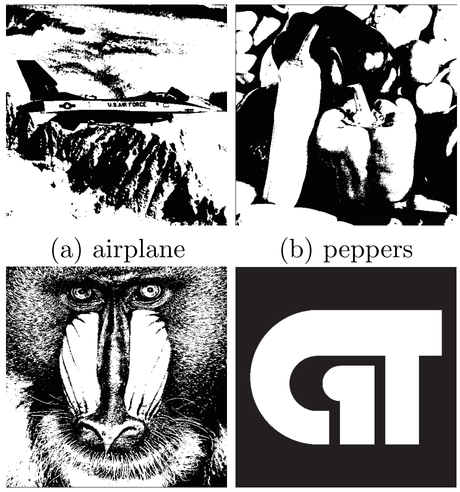


図 3: Definition of regularity

提案手法で $m$bit の情報を埋め込み、復号結果の誤り率を測定した。図 4 は使用した入力画像である。良く使われる自然画像を 3 枚、単純なロゴの画像を 1 枚使用した。これらの画像に対するハフマン符号の圧縮率は 20 ∼ 50%であった。図 5 は m の値と誤り率 e の関係を表したグラフである。図 5 から baboon の誤りが小さいことが分かる。この画像は、圧縮率が低い複雑な画像だが $m = 500$ まで $e = 0$ であり、$m = 5000$ では $e = 0.15$ となった。より単純な airplane は $m = 300$ まで誤りは無く $m = 5000$ で $e = 0.5$ になった。同様に peppers は $m = 200$ まで誤りは無く $m = 5000$ で $e = 0.6$ になった。ロゴ画像の cit では $m = 100$ 程度から誤りが急激に上昇した。この画像は単純で白と黒の領域が広い。このような画像に対して性能が低下したのは、規則性の判定が困難になった為である。例えば表 1 の符号で全て白の領域では 000⋯が出力され、これを反転すると 111⋯となって、0101 のパターンが復号されるがこれは垂直方向に変化しない。その為、正しい符号と反転した符号に対する規則性の値が等しくなって判定が誤ったと考えられる。S_i^0 と S_i^1 を全て反転させるのではなく、その一部を選択して反転するようにすればこの問題は解決できると思われる。



(a) airplane (b) peppers

(c) baboon (d) cit

図 4: Test images (512 × 512)

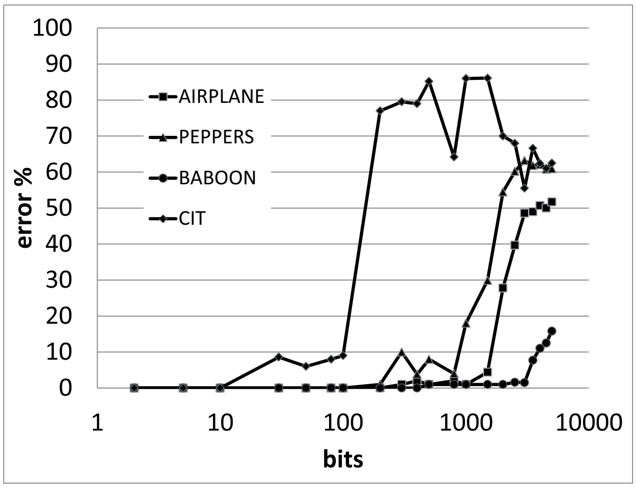


図 5: Message length versus bit error rate

4. まとめ

画像の規則性を用いて圧縮データへ情報を付加する方法を提案した。実験の結果、512 × 512 の二値画像を圧縮したデータに対して、自然画像では数 100bit、単純な画像では数 10bit まで誤り無く埋め込むことができた。反転方法を考え直すことで改善の見込みがある。今後は、グレースケールやカラー画像を JPEG で圧縮したデータに提案方法を適用する事を検討していきたい。

参考文献

[1] Xinpeng Zhang, “Reversible Data Hiding in Encrypted Image,” IEEE Signal Processing Letters, Vol. 18, No. 4, pp. 255-258, 2011.

Copyright © 2015 by Information Processing Society of Japan and
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers
All rights reserved.