

誤りパターン埋込み型ステガノグラフィに関する一考察

研究者：索手 一平

指導教員：福岡 久雄

1. はじめに

ステガノグラフィとは秘密データをメディアデータに埋め込む技術、研究分野の総称である。一般的な通信では秘密データを暗号化し、それを相手に送信する。しかし、この方法では秘密データの内容そのものを隠蔽することはできるが、通信行為そのものは他者に認知されてしまうため通信妨害をうける可能性を排除できない。一方ステガノグラフィではメディアデータ内に秘密データを埋め込むため、第3者に秘密データの存在を認知されずに通信を行うことができる。

ステガノグラフィでは基本的にメディアデータの冗長性を利用して秘密データの埋め込みを行う。しかし、埋め込むデータ量が増加するほどにメディアデータの質は劣化する。ステガノグラフィではその性質からできるだけ多くのデータの埋め込みが可能であること、埋め込みが主観的・客観的に認知されないことが求められる。

本研究ではグレイスケール画像にテキスト情報を埋め込むようなステガノグラフィ技術を対象とし、誤りパターン埋込み法における埋め込み率と誤り率、画質劣化とのトレードオフ関係を実験的に明らかにする。なお、画質劣化の指標には SSIM[1] を用いる。

2. 誤りパターン埋込み法の概要

ステガノグラフィ技術における代表的な埋め込み方式の一つである LSB 法では、テキスト情報のバイナリ表現を画像の LSB 平面とそのまま置換することによって埋め込みを行う。この手法はアルゴリズムが単純であり多くの情報を埋め込むことができるが、LSB 平面におけるビット誤りが起きやすい。ここで、埋め込みに使用した LSB 平面のビット列長 n に対し、埋め込んだデータのビット列長 n_{embedded} との割合 $\frac{n_{\text{embedded}}}{n}$ を埋め込み率、変化したビット数 n_{inverted} との割合 $\frac{n_{\text{inverted}}}{n}$ を誤り率という。

LSB 法における誤り率の改善を目的とした方式として、誤りパターン埋込み法が知られている。この手法ではテキスト情報を、より冗長でハミング重みの小さいビット列である誤りパターンに変換し、その誤りパターンと画像の LSB 平面との排他的論理和で LSB 平面を置き換える。こうすることで、LSB 法に比べ優

れた誤り率を実現している。しかし、埋め込みにより冗長なビット列を必要とすることから、埋め込み率は LSB 法に比べて劣る。

3. 誤りパターンの生成

誤りパターンへの変換の単純な実現方法は、テキストを構成する各文字と、それに対応する誤りパターンの対応テーブルを用意するものである。しかし、この方法は1つの文字のビット長を m とすると 2^m 個の要素を対応付けるテーブルが必要となり、メモリ制約の強い環境での実装が困難になるという問題がある [2]。

これに対して、本研究では Shalkwijk の数え上げ符号を用いて、埋め込みデータから誤りパターンを動的に生成する手法を提案する。Shalkwijk の数え上げ符号とは、長さ n 、ハミング重み k で nC_k 種類の2進コードを組織的に生成する符号化方式である [3]。

4. SSIM

SSIM は人間の視覚特性が考慮され画質評価の指標であり、主観評価との相関が高いとされている。これは、画像 x, y について各画素とその周辺画素についての平均 μ_x, μ_y 、分散 σ_x, σ_y 、共分散 σ_{xy} を用いて以下の式で算出される。

$$\text{SSIM}(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}$$

ここで C_1, C_2 は分母が0とならないための任意の係数である。

5. 実験方法

実験手順の概要を図1に示す。以下に示す手順で実験を行った。実験には 256×256px の 8bit グレイスケール Bitmap である SIDBA 画像 30 枚を使用し、埋め込みに使用するテキスト情報はほぼ等確率で発生する 8bit コードの列とした。

- (1) メッセージの各コードを Shalkwijk の数え上げ符号を用いて動的に誤りパターンへと変換し、変換した誤りパターンと画像の LSB 平面との排他的論理和を画像へと埋め込む。
- (2) 埋め込み前後の画像を比較し、誤り率、SSIM を算出する。

- (3) 誤りパターン長を 8bit から 256bit まで変化させ (1), (2) を繰り返す.
- (4) 画像を入れ替えて (3) を繰り返す.

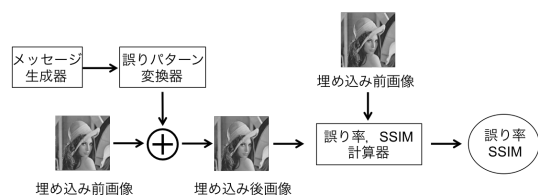


図1 実験手順の概要

6. 実験結果

誤り率の計測結果と文献 [2] において示されている誤り率の理論的下限曲線を図 2 に示す。なお、誤りパターン埋め込み法における誤り率は埋め込まれるデータの内容にのみ依存するため、全ての画像について計測される誤り率は等しい。また、SSIM の上位と下位それぞれ 10 枚の画像の埋め込み率に対する SSIM の変化を図 3 に示す。

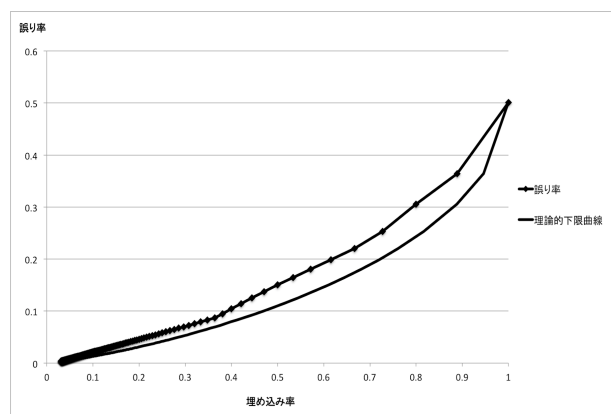


図2 埋め込み率に対する誤り率の変化

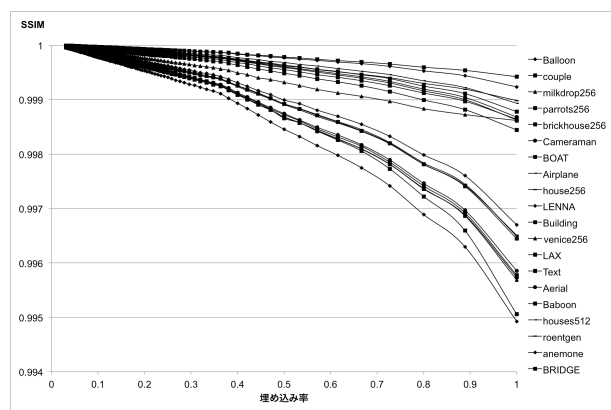


図3 埋め込み率に対する SSIM の変化 (画像ごと)

図2より、実際に計測した誤り率は理論的下限曲線と同様、埋め込み率が増加するとともに誤り率も増加し、理論的下限曲線に比べ曲率の低い曲線を描いた。

図3よりすべての埋め込み率について SSIM が 0.99 を上回っていることがわかる。一般的に SSIM は 0.98 以上で画像間の見分けがつかないと言われていることから、どのような埋め込み率に対しても画質が大きく劣化することはないと考えられる。このことから、埋め込みを LSB 平面に限定した場合、埋め込み率、誤り率によって画質が大きく劣化することはなく、ステガノグラフィ技術の隠蔽性に大きく影響を与えることはないということがわかる。また、図3より画像によって SSIM の変化の仕方に違いがあることがわかる。これについて、実験に使用した画像を主観的に観察したところ、全体的にざらざらした荒い画像ほど SSIM の変化が小さく、一方でコントラストの低い大きな領域を含んだ画像ほど SSIM の変化が大きくなるという傾向が見られた。

7. おわりに

本研究では誤りパターン埋め込み法における埋め込み率と誤り率、画質劣化とのトレードオフ関係を実験的に明らかにした。これによって、埋め込みをLSB平面に限定した場合、埋め込み率、誤り率によって画質が大きく劣化することはなく、ステガノグラフィ技術の隠蔽性に大きく影響を与えることはないということがわかった。

また、Shalkwijk の数え上げ符号を用いた誤りパターンへの動的な変換方法を提案することで、強いメモリ制約下における誤りパターンテーブルの実装問題に対する解決策を示した。

参考文献

- [1] Z.Wang, A.C.Bovik, H.R.Sheikh, E.P.Simoncelli. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity. *IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING*, Vol. 13, No. 4, pp. 600–612, April 2004.
- [2] 合田翔, 渡辺峻, 松本和幸, 吉田稔, 北研二. コスト付き符号化を用いたステガノグラフィ. 信学技法 IT, Vol. 113, No. 153, pp. 5–9, 7 2013.
- [3] J.P.M.Shalkwijk. An algorithm for source coding. *IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY*, Vol. IT-18, No. 3, pp. 395–399, May 1972.