

ウェーブレット係数の相関を利用した電子透かし

後藤佑太[†] 篠原学[‡] 内田理^{††} 中西祥八郎^{††}[†]東海大学電子情報学部情報科学科 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117[‡]東海大学大学院工学研究科情報理工学専攻 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117^{††}東海大学情報理工学部情報科学科 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117E-mail:[†]yuta-14@beer.ds.u-tokai.ac.jp ^{††}o-uchida@tokai.ac.jp

1 はじめに

近年、デジタルコンテンツの著作権保護を目的として電子透かしが注目されている[1]。電子透かしには、コンテンツの品質劣化の抑止や、各種攻撃に対して透かし情報が失われないことが求められる。また画像情報等を埋め込む場合を想定すると、より多くの情報を埋め込むことが望ましい。

本研究では、2006年に本吉らによって提案された電子透かし法[2]の改良を試みる。本吉らの手法（以下、従来手法と呼ぶ）は、離散ウェーブレット変換に基づき、雑音マスキング効果を用いて透かしの埋め込み位置を決定し[3][4]、更に HVS (Human Visual System) を考慮して重み付けを行っている[5]。本研究では埋め込み位置の決定方法を改良し埋め込みビット数の増加を試みる。

2 従来手法の概要

従来手法の流れを以下に示す。

- Step1 YC_bC_r 表色系に変換
- Step2 ウェーブレット変換
- Step3 雑音マスキング効果を考慮した埋め込み位置の決定
- Step4 HVS を考慮した透かしの埋め込み
- Step5 逆ウェーブレット変換
- Step6 RGB 表色系に変換

2.1 DWT (離散ウェーブレット変換)

RGB表色系の画像をYC_bC_r表色系へ変換し、得られた輝度成分YにDWTを施す。 W_l^θ は解像度レベル $l \in \{0,1,2\}$ の帯域、方向 $\theta \in \{0,1,2,3\}$ のウェーブレット係数を表すこととする。図1に解像度レベル3のDWTを示す。ウェーブレット係数は同一方向の各階層と相関があり、低周波帯域のウェーブレット係数を親、同一方向の高周波帯域の同一位置にあるウェーブレット係数を子と呼ぶ。

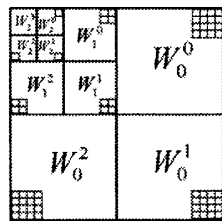


図1 レベル3 DWT

2.2 雑音マスキング効果

透かし情報の埋め込み位置を、雑音マスキング効果を考慮して決定する。考慮すべき視覚特性として空間周波数方向の視覚感度と雑音マスキング効果が挙げられる。人間の視覚感度は高周波成分へ雑音加わるときには検知しにくくなり、低周波成分へ雑音加わるときには高周波成分が十分に強ければ検知しにくくなる。埋め込みはレベル3 DWT の中位階層を行うこととし、 2×2 のウェーブレット係数を1ブロックとして埋め込みブロックを次式のように定義する。

$$V^\theta(i, j) = \{W_1^\theta(2i + u, 2j + v)\}_{u, v = 0, 1} \quad (1)$$

埋め込みブロックの子にあたる最下位階層の 4×4 のウェーブ

レット係数を埋め込み判定ブロックとして次式のように定義する。

$$A^\theta(i, j) = \{W_0^\theta(4i + u, 4j + v)\}_{u, v = 0, \dots, 3} \quad (2)$$

画像の輪郭周辺への埋め込みを回避するために判定ブロックおよびその上下左右のブロック（縦横方向）を用意し、計5つのブロックを用いて埋め込み位置を判定する。判定ブロック内のウェーブレット係数が大きい値を取れば対応する埋め込みブロックで雑音マスキング効果が十分に得られ視覚的劣化を抑えることができる。そこで5つの判定ブロック内のウェーブレット係数の絶対値の総和をそれぞれとり、5つのブロック全ての値が設定した閾値 α 以上のときのみに対応する埋め込みブロックに透かし情報を埋め込むこととする。判定に用いる式を以下に示す。

$$a[A^\theta(i, j)] = \sum_{W_0^\theta(x, y) \in A^\theta(i, j)} |W_0^\theta(x, y)| \quad (3)$$

2.3 HVS を考慮した重み付け

HVS を考慮して重み付けを行なうことで、埋め込みによる視覚的劣化を抑えつつ各種攻撃に耐性を持たせることができる。提案する重み関数は以下のような人間の視覚特性に基づいている。

- (a) 視覚は高解像度レベルの雑音に対して鈍感である
 - (b) 視覚は輝度が高い、又は低い領域では雑音に対して鈍感である
 - (c) 視覚はきめ細かい領域においては雑音に対して鈍感であるが、そのような領域でも輪郭周辺では敏感になる
- (c)については雑音マスキング効果を考慮して埋め込み位置を決定する際に考慮されている。そこで、条件(a)、(b)を考慮した式(4)を重み関数として導入する。式を以下に示す。

$$q^\theta(i, j) = \Theta(\theta)\Lambda(i, j) \quad (4)$$

ここで $\Theta(\theta)$ は、条件(a)より式(5)のように与える。

$$\Theta(\theta) = \begin{cases} \sqrt{2}, & \theta = 1 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

また、条件(b)より $\Lambda(i, j)$ は式(6)のように与える。

$$\Lambda(i, j) = \begin{cases} 1.5 - L(i, j), & L(i, j) < 0.5 \\ 0.5 + L(i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$L(i, j) = \frac{1}{256} W_2^3(i, j) \quad (7)$$

2.4 埋め込みと抽出

同一方向の各階層のウェーブレット係数が相関関係を持っていることを利用し、埋め込みブロック内のウェーブレット係数とその親にあたる係数との大小関係によって、透かし情報 $b_n \in \{0, 1\}$ を埋め込む。埋め込みルールを以下に示す。

(1) $b_n = 1$ の場合

$$W_2^\theta(i, j) + S q^\theta(i, j) > v [V^\theta(i, j)] \quad (8)$$

であれば埋め込みブロック内の全てのウェーブレット係数に対して以下の演算を行なう。

$$W_1^\theta(x, y) := \frac{W_2^\theta(i, j) + Sq^\theta(i, j) - v[V^\theta(i, j)]}{4} \quad (9)$$

ここで $v[V^\theta(i, j)]$ は埋め込みブロック内全てのウェーブレット係数の和を示している。

$$v[V^\theta(i, j)] = \sum_{W_1^\theta(x, y) \in V^\theta(i, j)} W_1^\theta(x, y) \quad (10)$$

また S は透かし強度を表している。式(8)が成り立たない場合は何もしない。

(2) $b_n = 0$ の場合

$$W_2(i, j) - Sq^\theta(i, j) \leq v[V^\theta(i, j)] \quad (11)$$

であれば埋め込みブロック内の全てのウェーブレット係数に対して以下の演算を行なう。

$$W_1^\theta(x, y) := \frac{v[V^\theta(i, j)] - W_2^\theta(i, j) + Sq^\theta(i, j)}{4} \quad (12)$$

式(11)が成り立たない場合は何もしない。

抽出手順は以下のルールに従って行なう。

$$b_n = \begin{cases} 1, & v[V^\theta(i, j)] \geq W_2^\theta(i, j) \\ 0, & v[V^\theta(i, j)] < W_2^\theta(i, j) \end{cases} \quad (13)$$

3 提案手法

提案手法では埋め込み可能な領域の候補を増やすために、埋め込み判定ブロックに右上・右下・左上・左下(斜め方向)の判定ブロックを用意した。縦横方向と斜め方向の判定ブロックでどちらか一方でも条件を満たした場合、埋め込み場所とする。

4 評価実験

提案手法の有効性を検証するため、Lenna、Mandrill、parrots (256×256[pixel]、256 階調、カラー画像) に対して透かしの埋め込み実験を行った。透かし強度は PSNR が 40[dB] 前後となるように $S=5$ とした。透かし強度 $S=5$ のとき、PSNR は Lenna 41.78[dB]、Mandrill 40.08[dB]、parrots 39.47[dB] であった。原画像と透かし入り画像を図2に示す。

4.1 埋め込みビット数の推移

提案手法を用いた場合、従来手法との埋め込みビット数の変化を検証した。図3に結果を示す。この結果から、提案手法によって透かしの埋め込み候補が増加したといえる。

4.2 JPEG 圧縮に対する耐性

透かし入り画像に対して様々な JPEG Quality で圧縮し、透かし情報抽出の検証を試みた。図4に結果を示す。Quality80 付近で抽出誤りはほぼないので、常用される範囲であれば JPEG 圧縮に対して耐性を有しているといえる。

4.3 ガウス雑音に対する耐性

透かし入り画像に対して、 $\sigma=2\sim 20$ のガウス雑音を付加し透かし情報の抽出を試みた。図5に結果を示す。ガウス雑音により画像が劣化しない範囲では十分な耐性を有しているといえる。

5 まとめ

本研究では従来法の埋め込み判定ブロックに斜め方向のブロックも加えることで、埋め込みビット数を増加させる手法を提案した。また評価実験では、各種攻撃に対し、従来法と同様の耐性を持つことを確認した。



図2 原画像と透かし入り画像

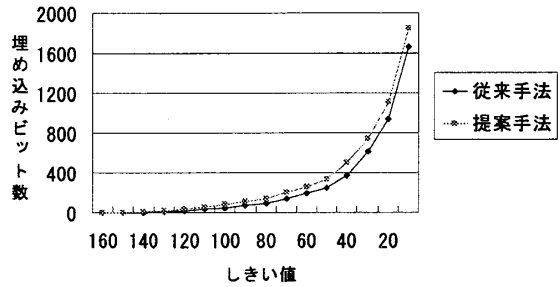


図3 埋め込みビット数 (lenna)

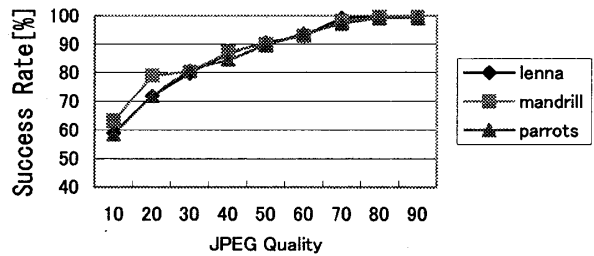


図4 JPEG 圧縮に対する耐性

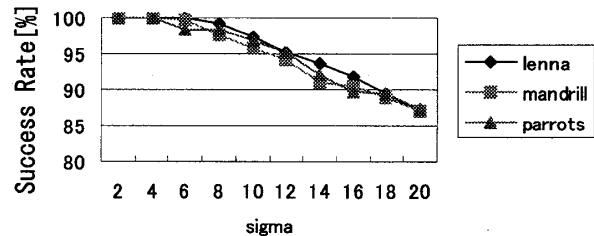


図5 ガウス雑音に対する耐性

参考文献

- [1] 松井甲子雄, “電子透かしの基礎-マルチメディアのニュープロテクト技術,” 森北出版, 1998.
- [2] 本吉史明, 内田理, 中西祥八郎, “人間の視覚特性を考慮した Wavelet 変換に基づく電子透かし,” CSS2006, pp. 453-458, 2006.
- [3] 伊藤慎也, 坪川宏, “マスキング効果を利用した JPEG 圧縮に耐性がある電子透かし,” 信学論(D-II), Vol. J85-D-II, No. 11, pp. 1664-1671, 2002.
- [4] 大江孝輔, 棟安果治, “雑音マスキング効果を利用した電子透かし手法,” 信学論(A), Vol. J88-A, No. 10, pp. 1137-1145, 2005.
- [5] M. Barni, F. Bartolini, and A. Piva, “Improved wavelet-based watermarking through pixel wise masking,” IEEE Trans. Image Process., Vol. 10, No. 5, pp. 783-791, 2001.