

多重解像度近似にPN拡散と1次元フーリエ変換を用いた 画像電子透かし埋め込み法

津下浩一朗[†] 野上保之[†] 森川良孝[†]

[†] 岡山大学 工学部
〒700-8530 岡山県岡山市津島中3-1-1
Tel:086-251-8128

E-mail: †tsuge@trans.cne.okayama-u.ac.jp

あらまし 本稿では画像圧縮と切り取りに対して耐性をもつ電子透かし法を提案する。本手法では、まず透かしを挿入する対象画像にハール基底の離散ウェーブレット変換を施し、多重解像度近似(MRA)を抽出する。そのMRAに対しPN系列を用いて周波数拡散を施し、その後1列ごとに1次元フーリエ変換を施す。得られたフーリエ係数を埋め込む透かし情報のビットに応じて増減させることにより情報を埋め込む。本手法は、PN系列を用いて周波数拡散しているため、埋め込みに用いたPN系列を知らない第3者には解読・改竄はできないという特徴を有している。検出時には原画像のPN拡散を施したMRA成分と透かし情報の埋め込まれた画像のPN拡散MRAの差分を求め、1次元離散フーリエ係数の変化分を算出している。このため切り取られた画像の一部分のデータからでも透かし情報の検出ができるという特徴をもっている。

キーワード 電子透かし, 離散ウェーブレット変換, 多重解像度近似, 周波数拡散, 1次元離散フーリエ変換

Watermarking Method Using PN Diffusion and 1D-Fourier Transform of Multi-Resolution Approximation for Image

Koichiro TSUGE[†], Yasuyuki NOGAMI[†], and Yoshitaka MORIKAWA[†]

[†] Faculty of Engineering, Okayama University
3-1-1, Tsushimanaka, Okayama, Okayama 700-8530, Japan
Tel:086-251-8128

E-mail: †tsuge@trans.cne.okayama-u.ac.jp

Abstract In this paper, we propose image digital watermark method which has robustness against image compression and clipping. In this method, we first at first take discrete wavelet transform of original image, and get out multi-resolution approximation (MRA). Next, we spread spectrum of the MRA by Pseudo Noise (PN) sequence, and then take 1D-discrete Fourier transform (DFT) of each column. We vary the DFT coefficients according to each bit of watermark information. This method has the features which the third eavesdropper, who don't know the PN sequence, can not decipher the information data and alter them. In detection process, we take the DFT difference between PN-spread MRA of original image and that of watermark-embedded image and calculate shift of the DFT coefficients. Therefore, this method has the advantage that we can detect the watermark information even from the clipping image.

Key words digital watermark, discrete wavelet transform, multi-resolution approximation, spectrum spreading, discrete Fourier transform

1. はじめに

インターネットやデジタル放送などのデジタル通信の普及、CDやDVDなどのデジタル記録メディアの発達によって、各種のデータは、劣化のなしに伝送および蓄積できるようになった。その反面、データは劣化することなく複製が行えるため、不正コピーなどの問題が生じる。電子透かしは、有益な情報の著作権を保護し、このような問題に対処する手法である。[1]。

デジタル画像に電子透かしを施す場合、透かし情報を埋め込んだあとの画像（以下透かし入り画像という）は原画像に比べて視覚的にはほとんど劣化してはならない。また、透かし入り画像に画像処理を施しても、その画像から透かし情報が完全に検出できなければならない。特に、データ量の削減を目的とした圧縮、縮小、切り取りなどに対して、耐性をもつ必要がある。

電子透かしの埋め込み方法のひとつとして、画像の周波数領域で透かしを埋め込む方法がある[2]～[5]。離散ウェーブレット変換 (Discrete Wavelet Transform; DWT) により、画像の多重解像度近似 (Multi-Resolution Approximation; MRA) を抽出し、そのMRAに透かし情報を埋め込む方法も周波数領域埋め込み法である。MRA透かし法は、画像を再構成した場合に透かし情報が拡散されているため、直接画素に埋め込む場合に比べて、各種画像処理に対して耐性をもつという長所をもっている。

MRAに透かし情報を埋め込む方法として、MRAの係数自体に透かし情報を埋め込む方法[2]と離散フーリエ変換 (Discrete Fourier Transform; DFT) を用いて周波数領域に透かし情報を埋め込む手法[4]がある。前者は、画像圧縮に対して脆弱であることが指摘されている。一方後者は、ブロック分割した後にブロック単位に変換を施し透かし情報を埋め込んでいるため、検出時も同様にブロック全体にDFTを施して、透かし情報の検出を行う。したがって、切り取り等の画像処理により透かし情報を挿入したブロックの大部分が欠如すれば、DFT係数が大きく変化し正しい透かし情報が検出できないという欠点がある。

上述の体制を強化する方法とは別に、周波数拡散を行うことにより透かし情報の秘匿性を高める透かし法[4]も検討されている。この手法では、MRAを擬似雑音 (Pseudo Noise; PN) 系列を用いてスペクトルを拡散した後、その周波数領域情報に透かし情報を埋め込む。このことにより、埋め込みを行った際に用いたPN系列を知らなければ透かし情報を検出できず、第3者には透かし情報を解読・改竄できないという長所がある。

そこで本稿では、ブロックの一部の欠如によって透かし情報が検出できなくなるようなブロック分割型のDFT埋め込みを行わず、さらにPN系列による

拡散を施すことにより秘匿性を高めた透かし挿入法を提案する。まず、DWTを用いて画像のMRAを抽出する。次にMRAの成分をPN系列を用いて画像信号の周波数拡散（以下、PN拡散）を行う。その拡散したMRAの各列成分に対して1次元DFTを施し、そのフーリエ係数の虚数部の値を増減させて透かし情報を埋め込む。

透かし情報の検出では、埋め込みのときと同様に透かし入り画像に対してDWTを施しMRAを抽出する。そして、埋め込みに用いたPN系列により周波数拡散を行う。ここで1次元DFTを施さず、原画像のMRAをPN拡散したものととの差を求め、これから埋め込んだときのDFT係数の変化分を算出し、この変化分から透かし情報を検出する。この方法を用いることにより、切り取りなどで画素が欠如して1次元DFTが行えない場合でも、透かし情報の検出が可能となることを示す。

最後に実際に計算機シミュレーションを行った結果と考察を述べる。

2. 基礎的準備

ハール基底を用いた2次元DWT[6]、PN拡散[7]および、1次元DFT[8]について簡単に説明する。

2.1 ハール基底によるDWT

2次元信号 $x(i, j)$ ($0 \leq i < N; 0 \leq j < M; i, j$ は整数) に対するハール基底によるDWTおよびその逆変換 (Inverse Discrete Wavelet Transform; IDWT) は以下のように定義される。

$$\begin{pmatrix} w_0(k, l) \\ w_1(k, l) \\ w_2(k, l) \\ w_3(k, l) \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(2k, 2l) \\ x(2k+1, 2l) \\ x(2k, 2l+1) \\ x(2k+1, 2l+1) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x(2k, 2l) \\ x(2k+1, 2l) \\ x(2k, 2l+1) \\ x(2k+1, 2l+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_0(k, l) \\ w_1(k, l) \\ w_2(k, l) \\ w_3(k, l) \end{pmatrix}$$

ただし、 $0 \leq k < N/2; 0 \leq l < M/2; k, l$ は整数とする。これを画像に適用すると、図1のように4つの成分画像に分けられる。 w_0 の成分は、隣接する4画素の平均値であるため、スケールが半分となった近似画像となる。そのため、 w_0 は、1階層の多重解像度近似 (MRA) と呼ばれる。また、 w_1, w_2, w_3 は、隣接4画素の縦、斜め、横方向の値の変化分を平均したものであり、縦、斜め、横方向に関するそれぞれの高周波成分を表している。 w_0 に対し再びDWTを施せば、より低い周波数成分で構成されたさらに半分のスケールの2階層MRAを得ることができる。

2階層のMRAに対し透かし情報を埋め込みIDWTで逆変換すれば、透かし情報が 4×4 画素に拡散するため、画素に直接透かし情報を埋め込む場合よりも、各種画像変換に対して耐性をもつこととなる。

w_0	w_3
w_1	w_2

図1 ウェーブレット変換

2.2 PN 拡散

1次元信号 $x(t)$ に対し PN 系列 $c(t)$ を乗じて拡散することにより得られる信号 $y(t)$ を以下のように考える。

$$y(t) = c(t) \cdot x(t)$$

これにより、例えば $x(t)$ が図 2.2(a) のようなスペクトルもつ場合、 $y(t)$ のスペクトルは図 2.2(b) のようになる。

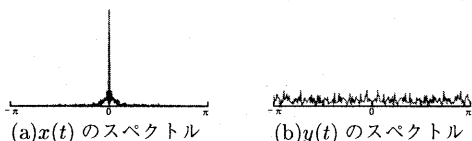


図2 PN 拡散

また、 $y(t)$ に再び $c(t)$ を乗じれば

$$y(t) \cdot c(t) = x(t) \cdot c(t)^2 = x(t)$$

となり、信号 $x(t)$ が復元できる。

ここで、PN 拡散後の信号 $y(t)$ に別の狭帯域の信号 $s(t)$ を加え、PN 系列 $c(t)$ を乗じれば以下のようになる。

$$\begin{aligned} (y(t) + s(t)) \cdot c(t) &= y(t) \cdot c(t) + s(t) \cdot c(t) \\ &= x(t) + s(t) \cdot c(t) \end{aligned} \quad (1)$$

式 (1) の右辺はもともとの信号 $x(t)$ に $s(t)$ を周波数拡散した信号 $s(t) \cdot c(t)$ が足し合わされたことを意味する。すなわち、これを画像で考えれば、画像を PN 拡散し、その拡散画像に透かし情報を加えて再び PN 拡散すると、画像は元の状態に戻り、この画像に白色スペクトルをもつ信号 (拡散された透かし情報) が重畳した画像となる。

2.3 1次元離散フーリエ変換

有限長 $N (< \infty)$ の離散時間信号 $x(n)$ の DFT ; $X(k)$ 、およびその逆変換 (Inverse DFT ; IDFT) は次のように定義される。

$$X(k) = \mathcal{F}\{x(n)\} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) E^{kn}, (0 \leq k < N)$$

$$x(n) = \mathcal{F}^{-1}\{X(k)\} = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) E^{-kn}, (0 \leq n < N)$$

ここで、 $E = \exp(-j2\pi/N)$ である。 $X(k)$ は周波数 $2\pi k/N$ の DFT 係数を意味する。また、 $x(n)$ を実数信号として、フーリエ係数には以下のような複素共役性がある。

$$X(k) = X^*(N-k)$$

ただし、 $(\cdot)^*$ は $(\cdot)$ の複素共役を示す。

DFT を画像の列方向のみに施したあと、特定の DFT 係数に透かし情報を埋め込んで IDFT すれば透かし情報が列方向すべての画素に拡散し、担われることになる。よって、画素に直接透かし情報を埋め込む場合よりも、各種画像変換に対して耐性をもつこととなる。

3. 提案法

透かし情報の新たな埋め込み方法を提案するにあたり、変数を次のように定義しておく。

- 原画像の座標 (i, j) の画素値 : $I(i, j)$
- 原画像に DWT を施して得られる MRA の成分 : $w(i, j)$
- MRA の横幅 : N_w
- MRA の縦幅 : M_w
- $w(i, j)$ に PN 拡散を施した信号 : $x(i, j)$
- $x(i, j)$ を i についてののみ、1次元 DFT を施して得られるフーリエ係数 : $X(k, j)$
- 透かし情報のビット列 : $b(i)$
- 透かし情報の長さ : $L_b (< M_w)$
- 透かし情報の埋め込み時にフーリエ係数を変化させる量 (埋め込み振幅) : δ
- 透かし情報を埋め込むフーリエ係数の周波数を決める定数 (埋め込み周波数番号) : κ ($0 \leq \kappa < \frac{M_w}{2}$)

また、透かし入り画像の各種信号値を示すのに' をつけることにする。尚、座標 (i, j) は j 行 i 列を示す。
【埋め込みアルゴリズム】

step1 : 原画像に DWT を施し、 $w(i, j)$ を得る。

step2 : $w(i, j)$ に PN 系列を用いて拡散を行い $x(i, j)$ を得る。

step3 : $x(i, j)$ の各列に DFT を施し、 $X(k, j)$ を得る。

step4 : 透かし情報 $b(i)$ を $X(\kappa, j)$ に埋め込み $X'(\kappa, j)$ を得る。2.1 で述べた複素共役性

$$\text{Im}\{X'(\kappa, j)\} = -\text{Im}\{X(N_w - \kappa, j)\}$$

が成り立つように $X'(\kappa, j)$ は以下の法則で与えられる。

(1) $b(j \% L_b) = 0$ のとき、

$$\begin{cases} \text{Im}\{X'(\kappa, j)\} = \text{Im}\{X(\kappa, j)\} - \delta \\ \text{Im}\{X'(N_w - \kappa, j)\} = \text{Im}\{X(N_w - \kappa, j)\} + \delta \end{cases} \quad (2)$$

(2) $b(j \% L_b) = 1$ のとき、

$$\begin{cases} \text{Im}\{X'(\kappa, j)\} = \text{Im}\{X(\kappa, j)\} + \delta \\ \text{Im}\{X'(N_w - \kappa, j)\} = \text{Im}\{X(N_w - \kappa, j)\} - \delta \end{cases} \quad (3)$$

ただし, $\text{Im}(\cdot)$ は $\cdot$ の虚数部を示し, $a \% b$ は, a を b で割った剰余を表す.

step5: step2, 3 を $0 \leq j < M_w$ にわたって繰り返す.

step6: $X'(k, j)$ に, IDFT 及び PN 拡散を順に施し, 透かし情報の埋め込まれた $w'(i, j)$ を作成する.

step7: $w'(i, j)$ の IDWT を計算し, 透かし入り画像 $I'(i, j)$ を生成する.

【検出アルゴリズム】

step1: $I(i, j)$ および $I'(i, j)$ に DWT を施し, それぞれ $w(i, j)$ および $w'(i, j)$ を得る.

step2: $w(i, j)$, $w'(i, j)$ を PN 拡散を施し, $x(i, j)$, $x'(i, j)$ を得る.

$$\text{step3: } s(j) = - \sum_{i=0}^{N_w-1} \text{Im}\{x'(i, j) - x(i, j)\} / \sin 2\pi \frac{i\kappa}{N_w}$$

を計算する. ここで,

$$\begin{aligned} x'(i, j) - x(i, j) &= \sum_{k=0}^{N_w-1} X'(k, j) E^{-ki} - \sum_{k=0}^{N_w-1} X(k, j) E^{-ki} \\ &= \sum_{k=0}^{N_w-1} (X'(k, j) - X(k, j)) E^{-ki} \end{aligned}$$

であり, $\Delta X(k, j) = X'(k, j) - X(k, j)$ と置けば, $k = \kappa, N_w - \kappa$ のときのみ DFT 係数を変化させているので, 以下のように書ける.

$$\begin{aligned} x'(i, j) - x(i, j) &= \sum_{k=0}^{N_w-1} \Delta X(k, j) E^{-ki} \\ &= \Delta X(\kappa, j) E^{-\kappa i} + \Delta X(N_w - \kappa, j) E^{-(N_w - \kappa)i} \end{aligned}$$

となる. 式 (2), (3) より, $\Delta X(\kappa, j), \Delta X(N_w - \kappa, j)$ は純虚数 (絶対値が δ) であり, かつ複素共役より $\Delta X(\kappa, j) = -\Delta X(N_w - \kappa, j)$ を満たす, $E^{\kappa i} - E^{(N_w - \kappa)i} = 2j \sin 2\pi \frac{i\kappa}{N_w}$ が成立ことに注意すれば次式を得る.

$$\begin{aligned} x'(i, j) - x(i, j) &= 2j \Delta X(\kappa, j) \sin 2\pi \frac{i\kappa}{N_w} \\ &= -2 \text{Im}\{\Delta X(\kappa, j)\} \sin 2\pi \frac{i\kappa}{N_w} \end{aligned}$$

よって, $-\{x'(i, j) - x(i, j)\} / \sin 2\pi \frac{i\kappa}{N_w}$ の正負により, $\text{Im}\Delta X(\kappa, j)$ の正負が判別できる. すなわち, $\text{Im}\Delta X(\kappa, j) > 0$ のとき埋め込まれている情報のビットは $b(j \% L_b) = 1$ であり, $\text{Im}\Delta X(\kappa, j) < 0$ のとき $b(j \% L_b) = 0$ である. また, i によって, $-\{x'(i, j) - x(i, j)\} / \sin 2\pi \frac{i\kappa}{N_w}$ の正負は変化しないので, i についての総和の正負を調べることによって, 透かし情報の検出ができ, 各種攻撃に耐性をもたすことができる.

step4: $S(i) = \sum_{l=0}^{N_b} s(lL_b + i)$ を求め, 透かし情

報の i 番目のビット $b(i)$ を検出する.

(1) $S(i) > 0$ のとき, $b(i) = 1$

(2) $S(i) < 0$ のとき, $b(i) = 0$

同じ透かし情報のビットを埋め込んだ場合 $s(i)$ の正負は一致し, したがって, $s(i)$ の総和の正負から透かし情報を検出することができる. 累積を行っているため, $S(i)$ を値の絶対値は大きくなり画像変換などにより一部の透かし情報が改変されても, $S(i)$ の符号までは反転するまでは正しく情報が復元されることになる. したがってより確実な透かし情報を検出できることになる.

ただし, 切り取られた透かし入り画像 (以下切り取り画像という) から透かし情報を検出する場合には, 以下の手順で透かし情報の検出を行う.

【切り取り画像からの検出】

step1: 原画像内の切り取り画像に対応する部分を推定し, 切り取り画像の左上の座標 $A(x_1, y_1)$, $B(x_2, y_2)$, を求める.

step2: 原画像に対する位置が座標 $A'(x'_1 = \lceil \frac{x_1}{4} \rceil \times 4, y'_1 = \lceil \frac{y_1}{4} \rceil \times 4)$ よりも左および上にある切り取り画像中の画素を除外し新たな切り取り画像を作成する. $\lceil \cdot \rceil$ は切り上げ関数である.

step3: step2 の $B'(x'_2 = \lfloor \frac{x_2}{4} \rfloor \times 4, y'_2 = \lfloor \frac{y_2}{4} \rfloor \times 4)$ よりも右および下にある切り取り画像中の画素を除外し, また新たな切り取り画像を作成する. $\lfloor \cdot \rfloor$ は切り捨て関数である.

step4: step3 の画像を用いて, 前述の検出アルゴリズムにより透かし情報を検出する. ただし,

$$s(j) = - \sum_{i=\frac{x'_1}{4}}^{\frac{x'_2}{4}-1} \text{Im}\{x'(i, j) - x(i, j)\} / \sin 2\pi \frac{i\kappa}{N_w}$$

$$(y'_1/4 \leq j < y'_2/4)$$

とする. i, j は原画像の MRA の座標.

4. 計算機シミュレーション

4.1 実験条件

- 原画像: 図 3 に示す 256×256 画素 256 階調モノクローム画像, ISO-CCITT の標準画像 lena および ISO/JIS-SCID の画像 N4 から切り抜いた画像 n4.02 を用いる.

- 挿入時 DWT は 2 階層まで行う. したがって, $N_w = 64, M_w = 64$ とする.

- 埋め込む透かし情報は, 乱数で生成した 16bits 情報とする.

- 画像の劣化の指標には, SNR (信号対雑音比)

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\text{MSE}}$$

$$\text{MSE} = \frac{1}{256 \times 256} \sum_{i=0}^{256} \sum_{j=0}^{256} \{I'(i, j) - I(i, j)\}^2$$

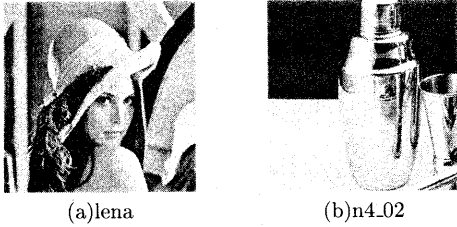


図3 原画像

を用いる。

4.2 予備実験1: 埋め込み周波数番号 κ と切り取り耐性

埋め込み周波数番号 κ を変化させて、切り取られた画像からの透かし情報の検出の確率を調べる。

【実験方法】

step1: 異なる 200 種類の透かし情報を用いて, 3. の提案法により 200 枚の透かし入り画像を作成する。

step2: step1 で作成した透かし入り画像に対し, 横幅 16 画素, 縦幅 256 画素で切り取りを行う。

step3: step2 の画像から透かし情報の検出を行い, 完全に透かし情報が検出できる確率を求める。これを完全検出率と呼ぶことにする。

step4: κ の値を変えて step1~3 を繰り返す。

埋め込み周波数番号と完全検出率の関係を図4示す。図4より, κ を小さい値及び大きい値設定した場合, 切り取りに対して正しく復元できていないということが分かる。そこで以下実験では, $\kappa=16$ を用いる。

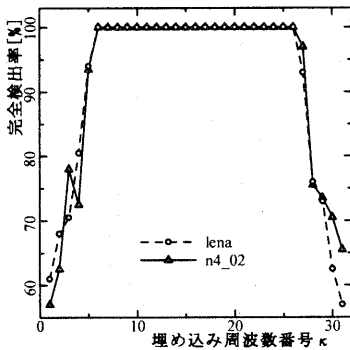


図4 埋め込み周波数番号と切り取り耐性

4.3 予備実験2: 埋め込み振幅 δ と画像劣化

埋め込み振幅 δ と画像の劣化の度合いについて関係調べる。

【実験方法】 δ を変化させて透かし情報を埋め込み, 画像の SNR を測定する。

埋め込み振幅と画像の劣化の関係を図5に示す。

埋め込み振幅を大きくすると画像の劣化が激しくなることが分かる。SNR > 45 [dB] とすれば一般に歪はほぼ検知されないため以下では $\delta = 0.95$ として実験を行う。この方法で透かし情報を挿入した画像を

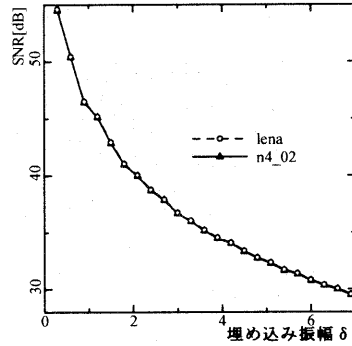


図5 埋め込み振幅と SNR

図6に示す。

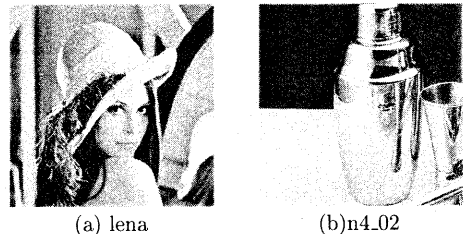


図6 埋め込み例 ($\kappa = 16, \delta = 0.95$)

それぞれ原画像との SNR は, lena で 46.1 [dB], n4.02 で 46.3 [dB] となっている。

4.4 切り取りおよび圧縮に対する耐性

【実験方法】

step1: 異なる 200 種類の透かし情報を用いて, 3 の提案法により 200 枚の透かし入り画像を作成する。

step2: step1 で作成した透かし入り画像に対し, JPEG 圧縮伸張を行いその結果の画像をおよびランダムに位置を決めて切り取りを行う。

step3: step2 の画像から透かし情報の検出を行い, 完全検出率を測定する。

切り取りの大きさによる透かし情報の完全検出率を表1,2に示す。(a)はJPEGによる圧縮を行わない場合, (b)はJPEGによりファイルサイズを15%に圧縮した場合, (c)はJPEGによりファイルサイズを10%に圧縮した場合の完全検出率を示す。表1,2より, 切り取り画像のサイズが大きければ大きいほど圧縮に対しても透かし情報が正しく検出できていることが分かる。これは切り取りのサイズが小さくなると, 透かし情報を検出する場合の $S(j)$ の絶対値が小さくなるため, 少しの画素値の変化で $S(j)$ の符号が変化するからである。さらに, 縦幅, 横幅の異なる切り取りに対しても耐性をもっている。

4.5 従来法との比較

切り取りに耐性をもつ文献[3]の手法と比較を行う。ただし, 文献[3]にある実験と同等に評価するために, 提案法における実験の条件を以下のように変

表 1 lena 画像の攻撃耐性
(a) 無圧縮時の切り取りサイズと完全検出率 [%]

切り取り サイズ [画素]		横 幅					
縦 幅	256	100	100	100	100	100	100
	192	100	100	100	100	100	100
	128	100	100	100	100	100	100
	96	100	100	100	100	100	100
	64	100	100	100	100	100	100

(b) JPEG で 15% のファイルサイズに圧縮した場合の切り取りサイズと完全検出率 [%]

切り取り サイズ [画素]		横 幅					
縦 幅	256	100	100	100	100	100	100
	192	100	100	100	100	100	100
	128	100	100	100	100	100	100
	96	100	100	100	100	100	100
	64	100	100	100	100	100	100

(c) JPEG で 10% のファイルサイズに圧縮した場合の切り取りサイズと完全検出率 [%]

切り取り サイズ [画素]		横 幅					
縦 幅	256	100	100	100	100	100	100
	192	100	100	100	100	100	99.0
	128	100	100	100	100	99.5	94.5
	96	100	100	100	98.5	97.5	85.5
	64	100	100	99.5	97.5	96.0	79.5

表 2 n4.02 画像の攻撃耐性
(a) 無圧縮時の切り取りサイズと完全検出率 [%]

切り取り サイズ [画素]		横 幅					
縦 幅	256	100	100	100	100	100	100
	192	100	100	100	100	100	100
	128	100	100	100	100	100	100
	96	100	100	100	100	100	100
	64	100	100	100	99.0	100	100

(b) JPEG で 15% のファイルサイズに圧縮した場合の切り取りサイズと完全検出率 [%]

切り取り サイズ [画素]		横 幅					
縦 幅	256	100	100	100	100	100	100
	192	100	100	100	100	100	100
	128	100	100	99.0	100	99.5	99.5
	96	100	100	99.5	99.0	100	99.5
	64	100	100	100	100	99.5	99.5

(c) JPEG で 10% のファイルサイズに圧縮した場合の切り取りサイズと完全検出率 [%]

切り取り サイズ [画素]		横 幅					
縦 幅	256	100	100	100	100	100	100
	192	100	100	100	100	99.5	100
	128	100	100	100	100	100	99.5
	96	100	100	100	100	99.0	98.5
	64	100	100	100	99.0	100	94.0

更する。

- lena 画像で実験を行う
- 挿入時 1 階層の DWT は行う。
- 埋め込む透かし情報は、乱数で生成した 32bits 情報とする。

文献 [3] の手法で透かし情報を埋め込むと SNR は 37.2[dB] となり、提案法で透かし情報を埋め込むと SNR は 49.5[dB] となっている。これより、提案法の画像の劣化が少ないことが分かる。JPEG で圧縮した場合の完全検出率を表 3 に示す。

表 3 JPEG で 15% のファイルサイズに圧縮した場合の従来法との完全検出率の比較

切り取りサイズ	従来法	提案法
256 × 256 画素	76.0	100
192 × 192 画素	44.5	100
128 × 128 画素	15.0	100
64 × 64 画素	0.0	74.0

表 3 より、画像を圧縮した状態で切り取った場合提案法が、より正しく透かし情報を検出できることが分かる。

5. ま と め

本稿では、原画像に対し DWT を施して得られる MRA に PN 拡散を施したあと 1 次元の DFT を施し、そのフーリエ係数に透かし情報を埋め込む方法を提案した。提案法は以下の長所を有している。

- PN 系列で周波数を拡散しているため、埋め込み時の PN 系列を知らない第 3 者が、透かし情報を解読・改竄することは不可能である。

- ブロック分割を行わずに透かし情報を挿入しているために、ブロック内の画素の欠如によって透かし情報が復元できなくなることがない。

- 検出時にはフーリエ変換を用いず、MRA 成分の引き算によって透かし情報を検出しているため、画像情報の減っている切り取り画像からも検出が可能である。

- JPEG 圧縮された画像の切り取りに対して強い耐性がある。

文 献

- [1] 松井甲子雄 “電子透かしの基礎”，森北出版株式会社，1998
- [2] 大西淳児，小澤慎治 “多重解像度解析によるクロップ画像から署名検出可能な電子透かし法”，電子情報通信学会論文誌 (D-II)，vol.J81-D-II，No.10，pp.2321-2329，Oct，1998.
- [3] 中西信夫，田中初一 “クリッピング攻撃に対する耐性のある画像情報の電子透かし”，第 22 回情報理論とその応用シンポジウム SITA99，pp613-616，1999
- [4] 大西淳児，松井甲子雄 “多重解像度解析と PN 系列を利用した電子透かし法”，電子情報通信学会論文誌 (D-II)，vol.J80-D-II，No.11，pp.3020-3028，Nov，1997.
- [5] 福岡義秀，松井甲子雄 “上書き攻撃に対抗する位相差を利用した電子透かしの一手法”，情報処理学会論文誌，Vol.40，No.6，pp.2819-2826，June 1999
- [6] 新島耕一 “ウェーブレット画像解析”，科学技術出版，2000
- [7] 山内雪路 “スペクトラム拡散通信”，東京電機大学出版局，1994
- [8] Alan V. Oppenheim，Alan S. Willsky 著，伊達 玄訳，“信号とシステム—アナログとデジタル—”，コロナ社，1985