

著作権保護のためのウェーブレット変換を用いた電子透かし方式の安全性評価

酒井 康行[†] 石塚 裕一[†] 櫻井 幸一^{††}

ウェーブレット変換を用いた電子透かし技術が従来より提案されているが、従来の方式は、直交 Haar ウェーブレットを 1 回通しただけの周波数情報しか用いていない。このような場合、一般的な周波数変換を用いることで簡単に透かし画像が除去できることを実験的に確認した。そこで、ウェーブレット変換を用いた新しい電子透かし方式を提案する。その特徴は、本来の意味での多重解像度表現を用いること、すなわち、より周波数の低い領域への画像合成を行うことと、透かし画像の合成の際に、直接画像のエッジに埋め込む工夫をしたことである。本提案アルゴリズムに対して安全性と画質に関する実験を行い、多重解像度表現された情報を有効に用いることによる効果と、低解像度画像における透かしの埋込みにおいて、直接エッジに書き込む方式の有効性を確認した。

A Security of a Watermarking for Copyright Protection Using Wavelet Transform

YASUYUKI SAKAI,[†] HIROKAZU ISHIZUKA[†] and KOUICHI SAKURAI^{††}

Conventional watermarking using wavelet transform utilizes the frequency information which is given from once and for all acting orthogonal Haar wavelet filter to original image. But it may be very weak against alteration attack of malicious user, because they could be easy to eliminate hiding information using low-pass filter. Therefore, we propose a new watermarking system based on our experiments. The system has following two features. The first is actively utilizing substantial characterisity of Multi Resolutional Representation with wavelet transform. The second is including an idea managing somehow to embed watermarking to lower frequency field. As a result of some experiments, we confirmed these effects.

1. はじめに

だれでも簡単に、しかも完全なコピーを作ることのできるデジタル情報の取扱いに関して、最近のマルチメディア技術の進歩、とりわけインターネットなどのデジタルネットワーク技術の加速度的な普及をきっかけに、デジタル画像等著作物の著作権保護問題が深刻化している。デジタル画像の著作権を保護する解決策の 1 つに、原画像とは別の著作権情報を表す透かし画像を、原画像に合成する、いわゆる電子透かし技術がある。著作者が作成した原画像は、著作者自身あるいは権利機関が秘密に保持しておき、ネットワーク等で画像を流通させる際には、著作権を主張する透

かし画像と原画像とを合成した合成画像を用いる。原画像を知らずに、合成画像から透かし画像を取り除くことができないような工夫を、合成の際に施す。つまり、合成画像から透かし画像を検出することは、視覚的にもデジタルデータからも困難なようにする。また、著作者が画像の著作権を主張するためには、原画像を元に透かし画像を再生すればよい。このような電子透かしの仕組みによって、デジタル画像の著作権保護に寄与できることが期待される。

従来の電子透かし技術には、画像の輝度情報に直接情報を埋め込むもの¹¹⁾や、圧縮技術をベースとした DCT 変換⁹⁾やウェーブレット変換を利用したもの^{5),7),8),12)}、スペクトル拡散通信方式を用いたもの^{2),4)}など数多くの方式が存在するが、デジタル画像は、一般に圧縮技術と切り離して考えることはできない。そこで我々は、圧縮技術に基づいた電子透かし技術に注目することにする。

圧縮技術といえば、現在 DCT 変換が普及している。しかし、DCT 変換には、ウェーブレット変換と比較

[†] 三菱電機株式会社情報技術総合研究所
Information Technology R&D Center, Mitsubishi
Electric Corporation

^{††} 九州大学大学院システム情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Electrical
Engineering, Kyushu University

して、電子透かしに用いる際に欠点となる以下に述べる特徴がある。それは、DCT変換の一般的特徴によるものである。DCT変換には、基底関数の境界の不連続から生じるブロック歪みや、すべての基底関数の幅がブロックサイズに固定されることから生じるモスキート雑音といった本質的な問題がある。このことから、今後ハードウェアの進歩や新技術の台頭により、次の世代の新しい圧縮技術に置き換わってゆくと考えられる⁶⁾。その有力な候補の1つがウェーブレット変換である。

また、透かし画像を埋め込む周波数帯域と、原画像の画質の劣化との関係を明らかにし、画質劣化の少ない埋め込み方式を考察するためには、ウェーブレット変換が都合が良い。画像に著作権情報を埋め込むということは、原画像にとってはノイズが付加されることに他ならない。したがって、画質を劣化させずに著作権情報を埋め込むことが重要となる。また、人間の視覚的特徴の1つに、周波数帯域による画像の“見やすさ”の違いがあることが予想される。ウェーブレット変換は、DCT変換に比べて、著作権情報のある特定周波数帯域に正確に埋め込むことの制御が容易である。

我々は従来のウェーブレット変換を用いた電子透かし方式の安全性と有効性を検証するためのいくつかの実験と考察を行った。まず、ウェーブレット変換を用いた従来の方式の1つである大西、松井による電子透かし方式^{7),8)}の安全性を検証する実験である。安全性とは、合成のアルゴリズムを知っていても、画質を劣化させずに合成画像から透かし画像を除去することはできないことを意味する。彼らの方式が、直交Haarウェーブレット変換を1回通しただけの周波数情報しか用いていないことに着目し、このような場合、バンドパスフィルタ等の一般的周波数変換を用いることで、画質を大きく劣化させずに透かし画像を除去できることを実験的に確認した。次に、その結果に基づき、ウェーブレット変換を用いた新しい電子透かし方式の提案を行う。提案方式の第1の特徴は、本来の意味での多重解像度表現を用いたこと、すなわち、より解像度の低い周波数領域への著作権情報の埋め込みを行ったことである。一般に多重解像度表現の低周波数領域側ほど、画像の重要な情報が集中する。したがって、この部分に埋め込まれた著作権情報は、除去することが難しいと予想される。一方、低周波数領域部分へ著作権情報を埋め込むことは、高周波数領域に埋め込んだ場合に比べて、画質の大きな劣化を招く可能性がある。したがって、原画像の画質をできるだけ劣化させずに埋め込む方式の考察が必要である。そこで、画質を定

量的に測るパラメータとして S/N 比を用い、埋込み部分と S/N 比との関係を調べた。その結果、原画像のエッジ部分に著作権情報を埋め込むことが画質という点で有利であることが検証された。これが提案方式の第2の特徴である。以上のような提案方式は、低周波数領域かつ画像のエッジに著作権情報を埋め込むことにより、除去されにくく、かつ原画像の画質の劣化の少ない電子透かしを実現することができる。

本稿の構成は以下のとおりである。2章においてウェーブレット変換、特にHaar直交ウェーブレット変換について考察し、3章において従来方式の安全性の検証を行う。4章、5章では新たな電子透かし方式の提案と、その安全性、有効性を検討する。

2. ウェーブレット変換

本章では、ウェーブレット変換に関する基礎事項の準備と、電子透かし技術に用いる変換方式として、ウェーブレット変換、特にHaar基底などの直交ウェーブレット変換基底を用いることの有効性の考察を行う。

2.1 DCT変換との比較

デジタル画像の圧縮方式として、現在DCT変換が普及している。しかし、DCT変換およびその基礎となるフーリエ変換は、ウェーブレット変換と比較して電子透かしに不利となる以下の特徴を有している。

フーリエ変換を用いて画像のスペクトルを解析する場合、一般に空間領域の全域にわたって画像の情報が必要となる。つまりより完全な展開係数を求めるためには、極端に言えば、今問題としている画像に写っていない部分の情報までもが必要となる（DCT変換の場合は窓関数で制限される）。また逆に周波数の観点から見ると、ある微小領域で画像を変化させると、その影響はすべてのスペクトルに及ぶ。たとえば線で代表されるような物体のエッジなどの画像情報はデルタ関数 $\delta(x - x_0)$ であると見なすことができる。つまり画像空間のある方向から見たときに、空間的に1点 x_0 の上だけに分布している関数であると考えられる。これのフーリエ変換は $e^{-ix_0\omega}$ となり、すべての周波数帯域 ω で0ではなく、したがって周波数領域全体に影響することが分かる。こうしたことから定常的とはいえない画像信号やリアルタイム信号処理などの、多くの実用的な応用において、フーリエ変換は不十分であるといわざるをえない。

これに対して空間（時間）-周波数領域において最も局在性の良い関数変換の1つは、ウェーブレット変換基底の1つでもあるガボール関数である。ガボール関数は空間（時間）を局在化するための窓関数としてガ

ウス関数を用いている。ガウス関数のフーリエ変換がやはりガウス関数であることから考えても、空間(時間)-周波数という共役関係にある物理量における最適な関数変換ということができる。つまり有効な空間領域の幅と周波数帯域幅の内積として定義される結合エントロピーが最も低い帯域における関数変換がガボール関数であるということができる。このためこれらガボール関数を使った信号の再生は、信号の変化に応じて全点で最も良いスペクトル情報を与えることができる^{1),10)}。

しかしこのガボール関数系は直交しないため取扱いが容易ではない。そこでより取り扱いやすい変換基底が選ばれることになる。それが次に述べる Haar 基底などの直交ウェーブレット変換基底である。

2.2 Haar 直交ウェーブレット変換系

ガボール関数に代わる、直交ウェーブレット変換の基底関数としては Haar 基底や、Daubechies の基底³⁾などがあるが、本稿では、最も簡単な Haar 基底を用いた直交ウェーブレット変換を用いる。Haar 基底に対する直交ウェーブレット変換は次のように表される。

$$h(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 1/2 \\ -1, & 1/2 \leq x < 1 \\ 0, & \text{others} \end{cases} \quad (1)$$

この Haar ウェーブレット関数を基底とする直交ウェーブレット変換系は

$$h_k^j(x) = 2^{j/2} h(2^j x - k) \quad (2)$$

$$\begin{cases} j = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \\ k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \end{cases}$$

のように表される。つまり $2^{-j}k$ によってシフトされ、 2^j によって $h(x)$ のスケールが変更される。またこの関数系は直交している。

$$\begin{aligned} \langle h_k^j, h_{k'}^{j'} \rangle &\equiv \int h_k^j(x) h_{k'}^{j'}(x) dx \\ &= \begin{cases} 1 & \text{if } j = j', k = k' \\ 0 & \text{others} \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

さらに、

$$\int_{-\infty}^{\infty} \|f(x)\|^2 dx < \infty \quad (4)$$

を満たすすべての関数 f はこの基底によって展開することができる。これは関数 f が次のように表現することができるということを意味している。

$$f(x) = \sum_{j,k} \langle f, h_k^j \rangle h_k^j(x) \quad (5)$$

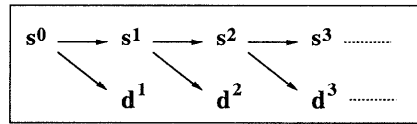


図1 Haar 係数の再帰的計算

Fig.1 Recursive computation of Haar coefficients.

ここで係数 $d_k^j = \langle f, h_k^j \rangle$ は Haar ウェーブレット係数と呼ばれる。さてこのような連続関数を、画像などの不連続な離散データに適用するため、そのスケールの上で平均化されたサンプリング値を元に、不連続化するための関数を用意する。たとえば固定された j に関して、 s_k^j を以下のように定義する。

$$s_k^j = 2^{j/2} \int_0^{2^{-j}} f(x + 2^{-j}k) dx = \langle f, \chi_k^j \rangle \quad (6)$$

ただし、

$$\chi(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x \leq 1 \\ 0 & x \leq 0 \text{ or } 1 \leq x \end{cases} \quad (7)$$

であり、この関数はスケール関数 $\chi_k^j(x)$

$$\chi_k^j(x) = 2^{j/2} \chi(2^j x - k) \quad (8)$$

と呼ばれ、規格化されている ($\langle \chi_k^j, \chi_k^j \rangle = 1$)。 $2^{j/2} s_k^j$ は区間 $[2^{-j}k, 2^{-j}(k+1)]$ の平均値である。

そして

$$d_k^{j-1} = \frac{1}{\sqrt{2}} (s_{2k}^j - s_{2k+1}^j) \quad (9)$$

を計算する。これより図1のように Haar 係数を再帰的に計算することができる。ただし、

$$s_k^{j-1} = \frac{1}{\sqrt{2}} (s_{2k}^j + s_{2k+1}^j) \quad (10)$$

とする。

2.3 Haar 直交ウェーブレット変換の2次元への拡張

前述した1次元 Haar 基底を2次元に拡張し、さらに最も単純なものを 2×2 画素からなる画像の変換に適用した例を示す。ただし原画像の画素値を I とし、ウェーブレット変換後の各帯域の変換係数を w_0, w_1, w_2, w_3 とする。これらは次の行列演算で求めることができる。

$$\begin{pmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} \quad (11)$$

w_0 は多重解像度近似 (MRA) と呼ばれ、原画像

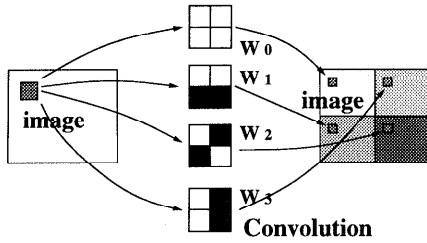


図2 2×2画素の変換

Fig. 2 Transform of a two-dimensional image.

の縦横のスケールを半分にした近似画像を表している(図2)。またこのウェーブレット変換による低周波成分ともいう。 w_1, w_2, w_3 は図2中に示したような空間フィルタの処理に相当し、縦、斜め、横方向の輝度値の変化率を表す。この3つの値はウェーブレット変換における高周波成分を表している。またこの3つの成分は $\vec{w} = (w_1, w_2, w_3)$ のようにまとめて多重解像度表現(MRRベクトル)と呼ぶ。

3. ウェーブレット変換による埋込みの安全性

ウェーブレット変換による透かし画像の埋込みの安全性、すなわち、著作権情報として埋め込んだ透かし画像が、原画像を知らない第三者によって、画質を劣化させずに除去する方法について考察する。

3.1 実験環境

ここで実験環境についてまとめておく。本稿を通して同一の環境が使用される。

SIDBA等から入手した画像を用いて実験を行った。画像のサイズは256×256画素で、1画素あたり8ビットのグレースケールの画像を用いた。著作権情報となる透かし画像はオリジナルで、三菱電機のマークと社名からなる2値画像とし、サイズは128×128画素のものを使用した(図3)。また、画質を客観的に評価するために、次式で定義されるS/N比(SNR)を導入する¹¹⁾。

$$SNR = 20 \log_{10} \left(I_0 / \sqrt{\xi} \right) \quad (12)$$

ただし、 I_0 は画像のピークピーク値(輝度の最大、最小値の差)、 ξ は合成画像と原画像との差の2乗の平均値、つまり平均2乗誤差を表す。

3.2 大西、松井の方式

大西と松井はMRRに任意の値を加え、それを逆変換する手法を提案している⁷⁾。つまり $\vec{w}' = (w_1 + a, w_2 + b, w_3 + c)$ とおいて、高周波領域に透かし画像を埋め込み、直交ウェーブレット逆変換を施し、それを原画像と透かし画像との合成画像とする方式であ



図3 透かし画像

Fig. 3 Seal picture.

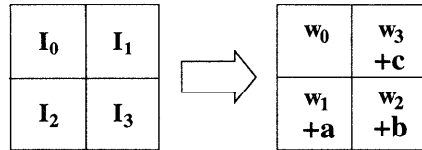


図4 大西、松井の方式(ウェーブレット変換)

Fig. 4 Onishi and Matsui's method (wavelet transform).

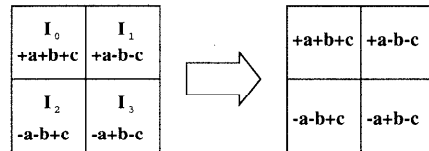


図5 大西、松井の方式(透かし画像再生)

Fig. 5 Onishi and Matsui's method (recovering seal picture).

る。合成画像は実際には図4のように原画像に a, b, c を足したり、引いたりしたものになっており、原画像を知っている人だけが、その合成画像と原画像の差分をとることによって、透かし画像を得られる仕組みである(図5)。しかしすぐに分かるように、大西らの方式は1回Haarウェーブレットフィルタを通しただけのものに透かし画像を埋め込んでおり、合成画像しか知らない第三者でも、その合成画像を周波数変換し、高周波成分を書き換えたり、カットしたりすることにより比較的簡単に埋込み情報を除去することができるという欠点があると予想される。まずこの点を実験的に確かめる。

3.3 実験1: 大西、松井の方式の攻撃

大西、松井の方式に対する攻撃実験を行う。すなわち、原画像を用いずに合成画像から透かし画像を除去した場合の画質の劣化を検証する実験を行う。具体的な実験内容は下に示すようなアルゴリズムを用い高周波成分をカットする実験である。ただしこの場合最高周波数情報しかカットしておらず、それより低い周波数情報に関しては特に変更しないものとする。この方法によって高周波領域に埋め込んでいた透かし画像は完全に除去される。実験で注目すべきことは、透かし画像を完全に消去した場合の画質の劣化の程度、およびS/N比である。



図6 合成画像(左)と高周波成分カット画像(右)

Fig. 6 Composite image (left) and low-pass filtered image (right).

- Step 1: 合成画像を周波数変換(ウェーブレット変換)する。
- Step 2: 周波数変換した画像の高周波成分をすべてゼロと置く。
- Step 3: 逆変換(逆ウェーブレット変換)する。
- 大西らの方式は合成画像に1回ウェーブレット変換をかけると、透かし画像は高周波成分に情報が薄く散らばった状態になる。薄く広がっているため、どれがその透かし画像であるのかを特定するのは難しいが、周波数変換して高周波成分をランダムに半分書き換えるなどすると、透かし画像も半分が書き換わる。さらに手荒に、高周波成分をすべてカットしてしまうと、透かし画像のすべてが失われる(図6)。高周波成分をすべてカットした場合、S/N比はSNR=20.72となった。

4. 提案方式

前章の実験結果をもとに、従来法よりも透かし画像除去の際の画質劣化が大きくなり、かつ透かし画像を埋め込んでも画質劣化が少ない、ハイブリッド電子透かし方式の提案を行う。特徴は多重解像度表現を用いてより低周波領域への埋込みを行っていることと、その低周波領域への埋込みの場合にエッジ部分に選択的に情報を埋め込むことである。

必要な記号を次のように定義する。

- 原画像: I
- 8階調(3ビット)の透かし画像: E
- 合成画像: I'
- 原画像 I と合成画像 I' との差分画像: D
- 原画像 I または差分画像 D の画素: i ($0 \leq i < \text{画素数}$)
- 透かし画像 E の画素: j ($0 \leq j < \text{画素数}$)
- 原画像 I の画素 i における輝度値: I_i
- 透かし画像 E の画素 j における輝度値: E_j
- Haar基底(式(11))を用い、画像の4近傍を変換した周波数成分: w_k ($k = 0, 1, 2, 3$)

- 輝度値 E_j のビット表現: a_j^1, a_j^2, a_j^3
- 透かし画像 E を埋め込まれた画像の周波数成分: w'_k ($k' = 0, 1, 2, 3$)
- 低周波数展開回数カウンタ: c

4.1 アルゴリズム

提案アルゴリズムを以下に示す。

[透かし画像埋込みアルゴリズム]

- Step 1: 原画像 I をウェーブレット変換し、輝度の平均値 w_0 と1画素間の縦、斜め、横方向の変化率(周波数成分) (w_1, w_2, w_3) を抽出。カウンタ c を1にセット。
- Step 2: 透かし画像 E の埋込みサイズを、原画像 I のサイズとの関係で調整し、その透かし画像データの輝度値のビット列を (a_j^1, a_j^2, a_j^3) とする。
この際透かし画像 E と原画像 I のサイズに依存して、エッジへの埋込み処理を行うかを判断する。
- Step 3: $k = 1, 2, 3$ について $w'_k = w_k + a_k^i$ を計算する。
- Step 4: さらに画像の低周波領域まで埋め込むとき、 w_0 を I と置いてStep1にもどり、カウンタ c をインクリメント
- Step 5: w_0 と (w'_1, w'_2, w'_3) でウェーブレット逆変換し、カウンタ c をデクリメント
- Step 6: カウンタ c がゼロになるまでStep5を繰り返す
- Step 7: 生成された I' を合成画像とする

Step1~7は、原画像 I の全画素 i について行う。また、透かし画像の再生手続きは次のとおりである。

[透かし画像再生アルゴリズム]

- Step 1: 合成画像 I' と原画像 I との差分を求める
- Step 2: 求めた差分値で表現されるある位置 i の4近傍画素を $(d_{0i}, d_{1i}, d_{2i}, d_{3i})$ と表現すると、図5より、 $d_{0i} + d_{1i}$ から $2 \cdot a_i^1$ が求まり、同様に a_i^2, a_i^3 が求まる。
- Step 3: 求めた (a_x^1, a_x^2, a_x^3) を画像全体で計算すると透かし画像 E を再構成することができる。

Step1~3は、合成画像 I' の全画素 i について行う。

大西、松井の方式との違いは我々の方式が低周波数展開カウンタ c を1以上の場合ははじめから考慮してアルゴリズムを作成していることと、低周波領域への埋込み画像の埋込みに対して、ラプラシアンフィルタをかけて抽出し、そこに選択的に情報を埋め込むと

いうハイブリッド方式からなる点である。

5. 提案方式の評価

提案方式の安全性、および画質の評価に関する実験を行う。

5.1 実験2：提案方式の攻撃

実験1のアルゴリズムを拡張して、より低周波に埋め込んだ情報を除去しようとする実験を行い、次の結果を得た(図7)。提案方式はより低周波成分に透かし画像を埋め込んでいるため、上述の攻撃アルゴリズムをより低周波の領域にも施さなければならず、画質により大きなダメージを与えてしまう。S/N比はSNR=18.73となった。図6の右側の画像(SNR=20.72)との画質の差は大きい。つまり画像をウェーブレット変換を使って多重解像度表現し、その低周波領域への情報を埋め込むことで、透かし画像を原画像の画質を劣化させずにすべて取り除くことがよりいっそう難しくなる。

5.2 実験3：周波数領域と画質との関係

大西、松井の方式による高周波領域への埋め込み方式と、提案方式による、より低周波領域にまで透かし画像を埋め込む方式との画質の劣化具合に関して実験する。大西、松井の方式よりもさらに1オクターブ低い周波数領域に透かし画像を埋め込む場合の画質の差について比較した。

本実験は、透かし画像の情報量を一定に保ち、1回ウェーブレット変換を行ってその高周波領域に透かし画像を埋め込んだものと、低周波部分を再帰的に2回ウェーブレット変換を行い、そのそれぞれの高周波領域に透かし画像を埋め込んだものとの画質の比較である。結果を表1、図8に示す。このように2回ウェーブレット変換を行い、透かし画像を埋め込んだものがそれほど画質の低下にはつながらないことが分かる。したがって簡単に除去されないためにも、提案システムのように2回以上低周波領域を展開して埋め込んだ



図7 ローパスフィルタを2回通し高周波成分をすべてカット (SNR=18.73)

Fig. 7 Two low-pass filtered image (SNR=18.73).

方が安全といえる。

5.3 実験4：エッジへの埋め込み

次の実験は、より目立ちにくく、書き換えられにくい透かし画像の埋め込みを実現するために、高周波成分にランダムに透かし画像を埋め込むことと、高周波成分の中のエッジにだけ透かし画像を埋め込む場合との比較である。これは人間の視覚特性を考慮した埋め込み方式に関する実験であり、より目立ちにくい方式の検討である。

この実験は256×256画素サイズの画像を用いて行った(表2)、(図9)が、本来の目的は再帰的にウェーブレット変換を施した、非常に敏感な低周波領域に情報を埋め込む方式について調べることである。したがって2回フィルタを通した後の低周波情報であれば、本来ならば64×64のサイズの領域で考えなければならないという条件が付加される。

もともとエッジ部分を抽出した時点で、基本的には2次元情報から1次元の情報に減るので、透かし画像情報もそれに比例して制限される。我々の実験では4方向のラプラシアンフィルタ(図10)の結果から、エッジ自体は全体の画素数65,536中約9,000個所存在した。実験ではそのうちの約半数を書き換え、S/N比を調べた。また、ランダムに埋め込んだ場合も同数のデータを書き換えて実験した。この結果はごくわずかな差異に思えるが、先ほど述べたように低周波の領域が大変鋭敏な部分であることを考えると、これが実際に合成画像に与える影響は大きいといえる。したがってエッジをダイレクトに求め、そこに直接書き込んだ

表1 変換回数と画質との関係

Table 1 Relationship between transform times and SNR.

image	one time (SNR)	two times (SNR)
lena	43.57	41.55
bird	43.62	40.65
montage	43.55	39.81



図8 1回変換埋め込み(左)と2回変換埋め込み(右)

Fig. 8 One time transform (left) and two times transform (right).

表2 エッジ埋込みとランダム埋込み
Table 2 A comparison of sealing into edge
with sealing at random.

image	random (SNR)	edge (SNR)
lena	50.37	50.08
bird	51.05	50.64
montage	50.15	49.99

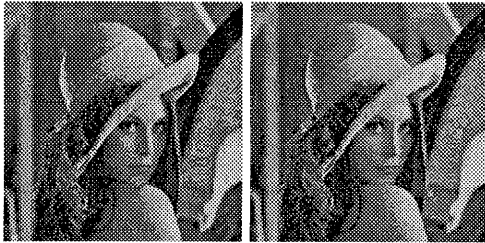


図9 エッジ埋込み(左)とランダム埋込み(右)
Fig. 9 A comparison of sealing into edge (left)
and sealing at random (right).

	-1	
-1	4	-1
	-1	

図10 ラプラシアンフィルタ
Fig. 10 Laplacian filter.

方が、合成画像が壊れにくいことが分かり、我々の提案方式の中のエッジ埋込み処理の有効性を確認した。

6. おわりに

ウェーブレット変換をベースとした電子透かし技術に関して、従来方式への攻撃実験をもとに、新方式を提案し、いくつかの実験を行った。提案方式は周波数帯域と合成画像の画質へ与える影響の間のトレードオフから導かれたものであり、結局のところ、電子透かし技術があくまでも正規の原画像に影響を与えない範囲という厳しい条件を守らなくてはならないという制約に帰着される。そしてこのようなトレードオフを厳密に評価することにより、様々な画像に埋め込むことができる最大の情報量などの平均値に関して今後調べていきたいと考えている。さらに誤り訂正技術の導入やS/N比以外の客観的評価方法、主観的評価方法についても考えていきたい。

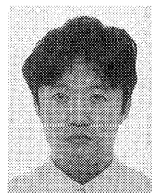
参考文献

1) Chui, C.K.: *An Introduction to WAVELETS*, Academic Press (1992).

- 2) Cox, I.J., Kilian, J., Leighton T. and Shamoon, T.: A Secure, Robust Watermark for Multimedia, *Information Hiding*, Lecture Notes in Computer Science, Vol.1174, pp.185-206, Springer-Verlag (1996).
- 3) Daubechies, I.: Orthonormal bases of compactly supported wavelets, *Communications on Pure and Applied Mathematics*, Vol.XLI, pp.909-996 (1988).
- 4) Lu, A., Bender, W., Gruhl, D. and Morimoto, N.: Techniques for data hiding, *IBM Systems Journal*, Vol.35, No.3,4, pp.313-336 (1996).
- 5) 石塚裕一, 酒井康行, 櫻井幸一: ウェーブレット変換を用いた電子透かし技術の一提案, 信学技報, IT96-85 (1997).
- 6) 太田 睦: ポスト DCT をねらうウェーブレット変換, 日経エレクトロニクス, Vol.680, pp.121-128 (1997).
- 7) 大西淳児, 松井甲子雄: ウェーブレット変換を利用した著作権保護のための署名符号化, 暗号と情報セキュリティシンポジウム, SCIS96-9C (1996).
- 8) 大西淳児, 松井甲子雄: ウェーブレット変換を利用した著作権保護のための画像符号化, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.3 (1997).
- 9) 神田雅透, 大島敏也, 木下宏揚, 酒井善則: DCT符号化を用いた画像暗号化方式の考察, 暗号と情報セキュリティシンポジウム, SCIS93-13B (1993).
- 10) 佐藤雅昭: ウェーブレット理論の数学的基礎第1部, 第2部, 日本音響学会誌, Vol.47, No.6, pp.405-423 (1991).
- 11) 松井甲子雄: 画像深層暗号, 森北出版 (1993).
- 12) 松井甲子雄, 大西淳児, 中村康弘: ウェーブレット変換における画像への署名データの埋め込み, 信学論 (D-II), Vol.79, No.6, pp.1017-1024 (1996).

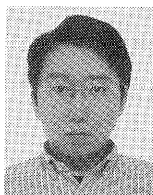
(平成9年4月11日受付)

(平成9年10月1日採録)



酒井 康行 (正会員)

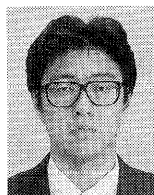
1990年早稲田大学理工学部機械工学科卒業, 1992年同大学大学院理工学研究科機械工学専攻修了. 同年三菱電機(株)入社. 暗号理論, 情報セキュリティ, 符号理論などの研究開発に従事. 電子情報通信学会, 情報理論とその応用学会各会員.



石塚 裕一

1986年東京理科大学理学部1部物理学科卒業。同年三菱電機(株)入社。ニューラルネットワーク、パターン認識、情報セキュリティなどの研究開発に従事。電子情報通信学

会会員。



櫻井 幸一(正会員)

1986年九州大学理学部数学科卒業。1988年同大学大学院工学研究科応用物理専攻修了。同年三菱電機(株)入社。現在、九州大学大学院システム情報科学研究科助教授。計算複雑性理論、暗号理論、情報セキュリティの研究に従事。『暗号理論の基礎』(1996年共立出版、監訳)、『数論アルゴリズムと楕円暗号理論入門』(1997年シュプリンガー東京、訳)、工学博士。電子情報通信学会、日本数学会各会員。