

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方式

福 岡 義 秀[†] 松 井 甲 子 雄[†]

本論文では、同種の重複する上書き攻撃に対抗する電子透かしの一方法を提案する。その原理は、対象画像を複数の階層にウェーブレット変換した後、画像データの中核を担う多重解像度近似部分に対しフーリエ変換を施し、透かし情報を埋め込むものである。埋め込み後、逆変換を施すことにより透かし情報は画像信号全体に拡散される。埋め込むデータを勘案すれば、画像に影響を及ぼすほどの顕著なノイズとはならない、すなわち、署名済画像は見かけ上原画像とほぼ同一となる。この方法では、公開された署名済画像に対して、同種の上書き攻撃を加えても、それぞれ固有のパターンとして分離し表示可能であることを示す。本手法では、位相差パターンの合否のみの判定に限られるが、原画像の安全な保管さえ保証されれば、マルチメディアにおける画像の著作権保護に役立つものと考えられる。

A Technique of Phase Shift Watermarking against Overwriting Attacks

YOSHIHIDE FUKUOKA[†] and KINEO MATSUI[†]

In this paper, we propose how to identify an original watermark from a picture in opposition to attacker who overwrites another watermark to it by the similar means. We make use of the relationship between the multi-resolution representations of the original and the embedded pictures. Then, we utilize the basic characteristic such that the phase of picture shifts a little from it depending on the change of amplitude of spatial frequency. The watermark does not give the image serious damage. This pattern can be deduced among the multi-overwritten watermarks, independently. Therefore, this method can be also effective for digital watermarking technique.

1. はじめに

インターネットを通して人種、国境の垣根を越えた情報のやりとりを行うにあたり、マルチメディア・コンテンツの著作権を考慮せずにこの新しい文化に浸透することができなくなりつつある^{1),2)}。

このような背景において、電子メディアの知的財産権を確保する技術としてコンテンツに電子透かしを設定することが提案されている³⁾。

電子透かしとは、固有情報を一見しただけでは知覚し難い形式で密かに埋め込む技術である。その要件としては、第1にコンテンツ自身に埋め込むこと、第2に編集、圧縮、伝送などの各種の処理に対して変質もしくは消失しないこと、第3に改ざんや消去などの悪意ある攻撃に対して強いこと、第4に透かし情報の埋め込みと復元に必要な手続きは簡単なこと、第5に結託攻撃に強いことなどが考えられる³⁾。

そこで、この論文では離散的フーリエ変換の実数部と虚数部の関係を利用することにより上書き攻撃に強く、また、高圧縮を期待できるウェーブレット変換とを併用した電子透かし法を提案する。

離散的フーリエ変換を利用した電子透かし法は、すでに中村ら⁴⁾、Ruanaidhら⁵⁾、福岡ら⁶⁾などによって提案されている。文献4)では、画像の局所的な複雑さに応じて適応的に透かし強度を決定している。このため、ブロックごとの強度を事前に調べておく必要がある。また、文献5)では、周波数成分の統計量を用いて透かし情報の有無を調べる方法を採用している。この場合、求めた統計量から位相の変化分を周波数領域上で判別するのは難しい作業をとまなう欠点がある。一方、文献6)ではフーリエ変換の実数部と虚数部に注目し、その位相を制御することにより上書き攻撃を識別できる透かし法を提案している。しかし、この方法ではメディア処理によって透かし情報が失われたり、データ圧縮に限界があるなどの弱点を持っている。

そこで、この論文ではデータ圧縮に簡便なウェーブレット変換を併用して、その多重解像度近似部分に離

[†] 防衛大学校情報工学科

Department of Computer Science, National Defense Academy

散フーリエ変換による位相透かし法を適用することを考える。この方法を用いれば高圧縮のもとでも位相差パターンを利用した電子透かし法が利用可能であり、かつ、上書き攻撃も防ぐことができることを示す。

以下、2章ではフーリエ変換 (FFT) とウェーブレット変換 (WT) の概要を述べる。3章では画像を WT, FFT 処理した際に透かし情報を埋め込む方法を述べ、4章では各種の処理に対する実験結果ならびにその結果に対する考察を示す

2. 直交変換とその特性

2.1 フーリエ変換の概要

この報告を記述するのに必要な範囲で多値画像に対するフーリエ変換の概要を述べる。

画像 P の離散的フーリエ変換 (discrete Fourier transform) F は P の画素値を $p(m, n)$ で表すと、

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} p(m, n) W \quad (1)$$

$$W = \exp \left[-j2\pi \left(\frac{mu}{M} + \frac{nv}{N} \right) \right]$$

となる。ここで、 $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$, $v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ である。この行列 F は画像 P の空間周波数成分を表している。一方、その逆変換は、

$$p(m, n) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) W^{-1} \quad (2)$$

で与えられる。ここで、 $m = 0, 1, 2, \dots, M-1$, $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ である。また、オイラーの公式より、

$$\exp(\pm j\theta) = \cos \theta \pm j \sin \theta \quad (3)$$

から F の実部 $F_R(u, v)$ は偶対称、虚部 $F_I(u, v)$ は奇対称となることに注意する。離散的フーリエ変換 $F(u, v)$ は、 u が 0 から $M-1$, v が 0 から $N-1$ について定義される。しかし、この式を $F(\pm u, \pm v)$ の計算に使えば、指数部分の周期性の性質から、

$$\begin{aligned} F(u, -v) &= F(u, N-v) \\ F(-u, v) &= F(M-u, v) \end{aligned} \quad (4)$$

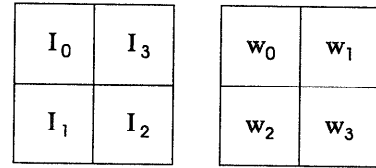
$$F(-u, -v) = F(M-u, N-v)$$

を得る。さらに、拡張すると、

$$F(aM+u, bN+v) = F(u, v) \quad (5)$$

$$p(aM+m, bN+n) = p(m, n)$$

となる。ここに、 $a=0, \pm 1, \pm 2, \dots$, $b=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 。そこで、 $p(m, n)$ と $F(u, v)$ の定義域 $[0 \leq m$ (または $u) \leq M-1]$ と $[0 \leq n$ (または $v) \leq N-1]$ を超える場合には配列の周期性から式 (4)~(6) を用いるものとする。



(a) 画素領域 (b) 変換領域

図1 ハールウェーブレット変換
Fig. 1 Haar wavelet transform.

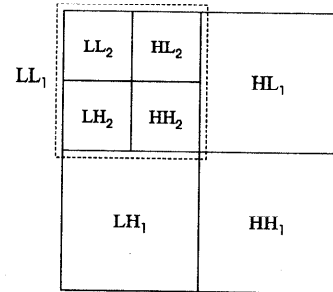


図2 多重解像度解析
Fig. 2 Multi-resolution representations.

2.2 ハールウェーブレット変換の概要

ウェーブレット変換 (Wavelet Transform) の詳細な定義は文献 [7] などを参照していただくことにして、ここでは、その中でも、最も簡単なハール (Haar) 基底を用いる直交ウェーブレット変換について述べることにする⁸⁾。

$$\begin{bmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

図1(a)に示す 2×2 画素の領域に対して、式 (6) の変換を定義する。その結果を同図(b)に示す。この演算規則を与えられた画像の全域に対して図2に示す手順で逐次 $1/2 \times 1/2$ の領域に適用する方法をハールウェーブレット変換と呼んでいる。さらに、この分割は LL_n 部分が 1×1 要素になるまで n 回繰り返すことが可能であることに注意する。ただし、原画像が縦横半分に分割されたとき、その第1階層における LL_1 は輝度情報を、 LH_1 は横方向の差分、 HL_1 は縦方向の差分、 HH_1 は斜め方向の差分情報をそれぞれ表現している。また、この図において、 LL は多重解像度近似 (MRA 成分と呼ぶ)、 LH , HH , および HL は多重解像度表現 (MRR 成分と呼ぶ) を表している。 LL 部分が画像の内容を表す低周波成分を持っており、他の部分は画像の高周波成分を示している。



図3 テスト画像
Fig. 3 Test image.

3. 透かしの埋め込みと判定

画像領域上で直接画素値に透かし情報を埋め込むのは容易であるが、その反面、画像の変換や圧縮、拡大、回転、微分、平滑化、切断などの各種の画像処理に対して脆弱である。とくに画像データを蓄積し、伝送する際にデータ圧縮をすると、埋め込んだはずの透かしデータが散逸して完全に復号できないことがある。この弱点を避けるためには、画像の空間周波数領域で透かし情報を埋め込むことが重要になる³⁾。さらに、直交変換などを利用した画像データ圧縮の標準的な方式においては、高周波成分が削除の対象となっている。したがって、高周波領域に透かし情報を埋め込むと、圧縮の際に透かし情報そのものも失われてしまいかねない³⁾。そこで、画像データにウェーブレット変換を実行したとき、その多重解像度近似成分 (MRA) が原画像の輝度情報を豊富に保有していることに着目する。すなわち、あらかじめ原画像をウェーブレット変換しておき、その圧縮された MRA 成分にフーリエ変換を施して位相差パターンによる透かし情報を埋め込む。この方法を採用すると文献 6) のデータ圧縮に対する弱点を補うことが可能となり、かつ、ウェーブレット変換では防ぐことが難しい上書き攻撃を容易に識別できる利点が見られる。

3.1 透かし信号の埋め込み

いま、図 3 に示す多値画像を $P_0 = \{p_0(m, n) \mid m, n = 0, 1, 2, \dots, 255\}$ とする。この画像データに対しウェーブレット変換を用いて第 2 階層へと分解したときの MRA 成分 LL_2 を図 4 左上に示す。さて、図 3 の画像データをフーリエ変換すると、実数部 F_R と虚数部 F_I を得る。そこで、虚数部 F_I の座標 (0, 2) および (2, 0) に注目し、透かし信号 S_1 として、

$$\Delta F_I(0, 2) = \Delta F_I(2, 0) = 1.0 \times 10^2 \quad (7)$$

を付加する。奇対称性を崩さないために同時に、

$$\Delta F_I(0, 62) = \Delta F_I(62, 0) = -1.0 \times 10^2 \quad (8)$$

としておく。この結果をフーリエ逆変換し、最上位

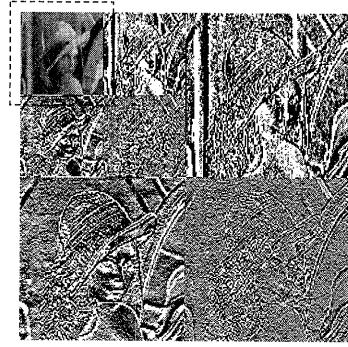
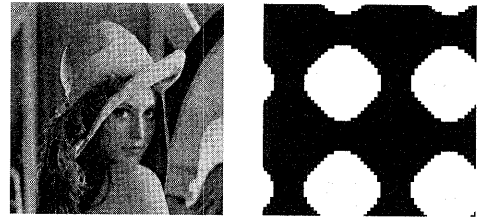


図4 第 2 階層への分解: lena
Fig. 4 Decomposition to LL_2 : lena.



(a) 署名済画像 (b) 位相差パターン図

図5 署名済画像と位相差パターン図
Fig. 5 Signed and pattern images.

層までウェーブレット逆変換を施すと図 5 (a) を得る。この署名済画像を $Q_1 = \{q_1(m, n) \mid m, n = 0, 1, 2, \dots, 255\}$ で表す。

画像 Q_1 は、画像 LL_2 の虚数成分のみを変化させているので、式 (3) から P_0 に対し、 ΔF_I により位相成分が $\Delta\theta$ だけ変化した画像となっているはずである。そこで、2 つの画像 $\{P_0, Q_1\}$ 間の各画素値の差分、すなわち位相差 W_{01} を求めてみよう。ここで、図 4 に示す画像 LL_2 に透かし信号を付加せず、そのまま最上階層までウェーブレット逆変換して得られる画像を $Q_0 = \{q_0(m, n) \mid m, n = 0, 1, 2, \dots, 255\}$ で表す。これはウェーブレット変換の際に圧縮や整数化処理をとまなっているのが一般には $Q_0 \simeq P_0$ となることに注意する。また、 W_{01} を

$$W_{01} = \{w_{01}(m, n) \mid m, n = 0, 1, 2, \dots, 255\} \quad (9)$$

と定義する。ただし、

$$w_{01}(m, n) = q_0(m, n) - q_1(m, n) \quad (10)$$

である。いま、式 (9) の絶対値 $|W_{01}| = \{|w_{01}(m, n)| \mid m, n = 0, 1, 2, \dots, 255\}$ を求めて $|W_{01}|$ を図示すると図 5 (b) のようになる。以下、記述を簡潔にするため、この演算操作を

$$W_{01} = Q_0 - Q_1 \quad (11)$$

と書くことにする。

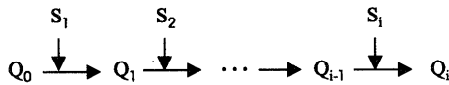


図 6 第 3 者による多重上書き攻撃
Fig. 6 Multi-overwriting attacks.

このような位相差パターン図 W_{01} は透かし信号として加えられた $\Delta F_I(u, v)$ の座標値 (u, v) , すなわち空間周波数とその成分値 ΔF_I の大きさによって、多様なパターンで、かつ大小さまざまに模様を変化させることが可能である⁶⁾.

この考察に基づき、位相差パターン図を電子透かしに利用することを考える。位相差パターン図 5(b) を求めるにあたり必要となった道具は、原画像 P_0 と $\Delta F_I(u, v)$ のみである。ここで以下の性質が得られる。

第 1 に、もし原画像 P_0 が秘密に保管されているならば、第三者は Q_1 の位相差を直接に Q_1 から検出することはできない。

第 2 に、 Q_1 のフーリエスペクトルから $\Delta F_I(u, v)$ を推定し、 P_0 を逆演算できる可能性が残されている。そこで、 Q_1 を作成するために必要であった $\Delta F_I(u, v)$ の値を調査する。位相差パターン図を表示するために必要な ΔF_I の値は、対象となる画像のスペクトル値に相対的に依存するが、おおむね 5% 程度の変化分を対象スペクトル値に加えなければならない (または減ずる)。しかし、この程度の値は全スペクトル値の中で際立って突出するような結果をもたらすものではなく、通常、 F_R 平面上や F_I 平面上では原画像なしに ΔF_I がどの空間周波数 (u, v) をどれだけ増減したかを判定識別することは難しいと考えられる。

第 3 に、透かしの構造がきわめて単純であるために、この透かしのアルゴリズムを知る第三者は自由に上書き攻撃が可能であることに注意せねばならない。この問題は次のようにして容易に解決することができる。

まず、公開された Q_1 に未知の多数の人物が上書き攻撃を加えたと仮定する。たとえば、その状況を図 6 に示す。

偽造者 i は入手した画像 Q_{i-1} を原図と考え、これをウェーブレット変換し、同じアルゴリズムを使って透かし信号 S_i を加えたとしよう。その結果をウェーブレット逆変換して Q_i を作成する。この画像 Q_i を公開し、

$$W_{i-1,i} = Q_{i-1} - Q_i \quad (i = 2, 3, \dots) \quad (12)$$

をもって偽造者 i の透かしパターンであると主張する。そこで、 P_0 の所有者は、公開されている Q_1, Q_i から、式 (12) を用いて容易に

$$\begin{aligned} W_{0i} &= Q_0 - Q_i \\ W_{1i} &= Q_1 - Q_i \end{aligned} \quad (13)$$

を作成することができる。そして、 $Q_0 (\simeq P_0)$ の所有者は公開された画像 Q_i の中にすでに W_{01} が埋め込まれていることを次のようにに証明する。すなわち、式 (13) から

$$\begin{aligned} W_{0i} - W_{1i} &= (Q_0 - Q_i) - (Q_1 - Q_i) \\ &= Q_0 - Q_1 = W_{01} \end{aligned} \quad (14)$$

を導くことができる。これは、 Q_1 に多重に上書き攻撃を加えても、画像 Q_i にも依然として位相差パターン図 W_{01} が残留していることを示している。たとえば、 $i = 2$ の一例を図 7 に示す。原画像 Q_0 に対する透かし信号 S_1 によって Q_1 を得、画像 Q_0, Q_1 から位相差パターン図 (d) が生成される。同様な透かし信号 S_2 によって Q_1 に上書きされても同図 (g) に示すように Q_2 の中に明確に保存されていることが分かる。

第 5 に、結託攻撃に対して考察する。 P_0 の所有者が 2 人以上の人物に P_0 のコピーを正当な手段で配布したとき、その受領者が結託して原画像 P_0 を推定することが可能であるか否かという問題に対して、この方法は一部弱点を持っている。

議論を簡単にするため、コピー受領者を a, b とする。それぞれに異なる透かし信号を埋め込んで作成した配布画像を Q_{1a}, Q_{1b} とする。このとき、 Q_{1a}, Q_{1b} のフーリエ変換による周波数スペクトル F_{1a}, F_{1b} の差分を作ると、透かし信号 S_{1a}, S_{1b} を知ることができる。したがって、もし $S_{1a} \neq S_{1b}$ ならば (S_{1a}, S_{1b}) の結果と F_{1a}, F_{1b} から F_0 を推定し、逆変換することにより P_0 の近似画像 Q_0 を再構成でき、透かし信号 S_1 を察知することになる。このような結託攻撃を防ぐには、 a, b に渡す画像にまったく同じ透かし信号を埋め込むか、または、異なる圧縮率を適用して、 F_{1a}, F_{1b} のスペクトル分布を歪ませて透かし信号を隠蔽しなければならない。特に、周波数スペクトル F_{1a}, F_{1b} 上の同一箇所、かつ、異なる量の透かし信号 S_3 を埋め込んだときに得られる図が図 7(h) であり、同図 (i) は透かし信号 S_3 に対する位相差パターン図である。同図 (j) に示す周波数スペクトル F_{1a}, F_{1b} の差分値 $|S_{1a} - S_{1b}|$ から元来のスペクトル値を予想することは困難であることから、結託攻撃にも耐えうるものであると考える。

3.2 透かしの判定

位相差パターン図を電子透かしとする著作権管理システムを確立するためには、原画像 P_0 (またはその圧縮コピー Q_0) と透かしパターン図 W_{01} を秘密に

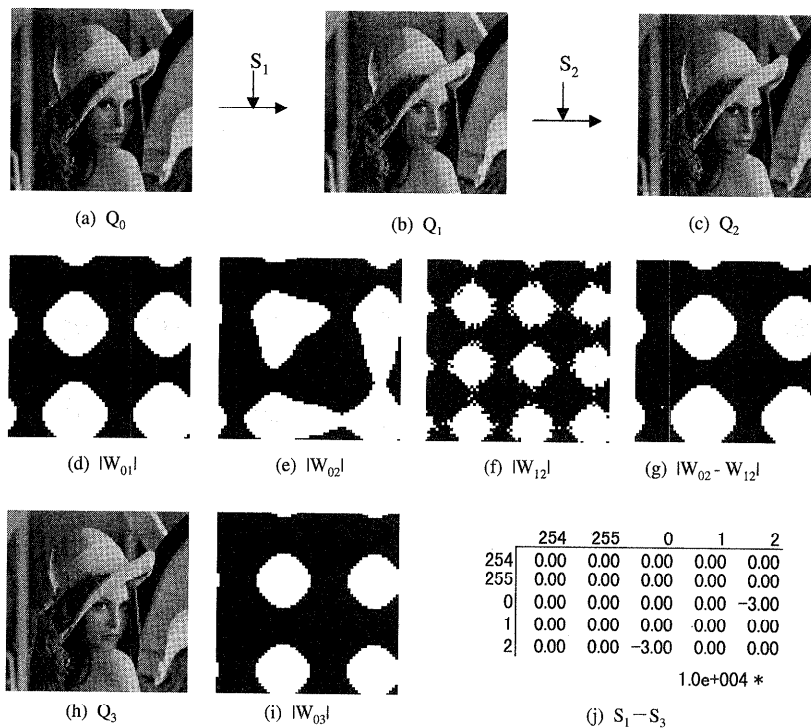


図 7 上書き攻撃の一例

Fig. 7 Example of overwriting attack.

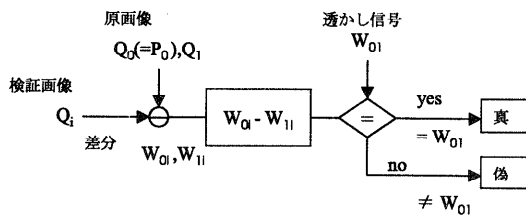


図 8 検証処理過程

Fig. 8 Verification process.

保管していることが保証されなければならない。この条件が成立するならば、任意の上書き攻撃者 i の主張に対して W_{0i} を算出できるのは、 P_0 (または Q_0) の保管者のみであり、それにより Q_i が Q_1 の違法コピーであることを指摘可能となるからである。この電子透かし方式による検証処理の概要を図 8 に示す。

4. 実験結果と考察

提案する方式について図 3 に示す標準画像 (256 × 256 画素, 256 階調) を用いて実験を行った。まず、画質の評価を行い、次に各種の画像処理に対する電子透かしの残存性を調査した。

4.1 埋め込み画像の画質

画質の評価には次式を用いた。なお、 I は階調レベ

ル数の 2 乗 (256^2) を表し、 Y は原画像との平均 2 乗誤差を表す。

$$SNR = 10 \log_{10}(I/Y) \quad [dB] \quad (15)$$

はじめに、 Q_1 を作成するために必要とした $\Delta F_I(u, v)$ の値を変化させたときの出力画像、位相差パターン図、画質の変化を調査した。埋め込み量が $\Delta F_I(u, v) = 2.0 \times 10^2$ 程度までは出力画像に視覚的な劣化をほとんど認められず、良好な画質を得ることができたことから、以後の評価は、埋込量 $\Delta F = 2.0 \times (10 \times 2)$ にて実施した。

4.2 耐性評価

3 章にも述べたように、画像データは圧縮符号化されて使用されることが頻繁に行われる。それゆえ、各種の変換処理を行った際の耐性を調査した。ここでは、JPEG 圧縮、下位ビットプレーン削除処理、雑音付加、階調変換、メディアン処理について、実験を試みた。なお、表中、透かし情報を検出できたときは○、検出できなかったときは×で示した。

(1) JPEG 圧縮

この実験結果を図 9 に示す。同図 (a) は位相差パターン図 $|W_{01}|$ である。この Q_1 を品質パラメータ 1/4 (75%) で JPEG 圧縮すると、同図 (b) のように画像 Q'_1 となり、非圧縮の $Q_0 (\simeq P_0)$ との差分にノイ

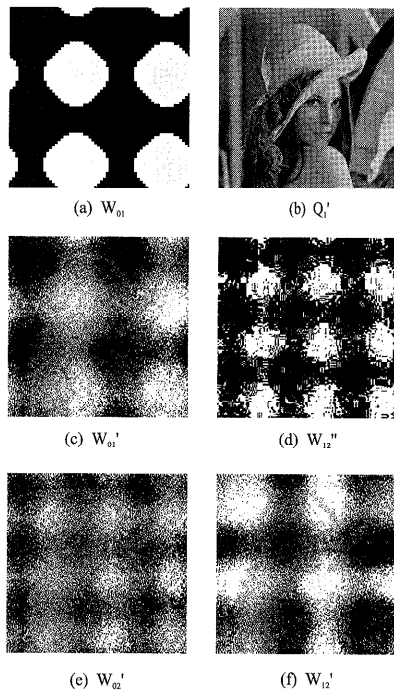


図9 JPEG 圧縮
Fig.9 JPEG compression.

ズが発生し W_{01} は同図 (c) のように $W'_{01} = Q_0 - Q'_1$ に変化する. この Q'_1 に対して第三者が, 同図 (d) に示す透かし $W'_{12} (= Q'_1 - Q'_2)$ を埋め込むと, W_{02} は同図 (e) の W'_{02} に変化するが, 同図 (f) の W'_{12} を用いて

$$W'_{02} - W'_{12} = W'_{01} \simeq W_{01} \quad (16)$$

であることが分かる. なお, 品質パラメータ 1/4~1/16 で JPEG 圧縮したときの画像を図 10 に, その圧縮率における検証結果を表 1 に示す. また, 文献 6) における実験結果と本手法による実験結果との画質の関係を図 11 に示す.

(2) 下位ビットプレーン削除処理

この実験結果を図 12 に示す. これは, 下位ビットプレーンをそれぞれ 1 ビット, 2 ビット削除し, かわりに 0 で埋め, 最大値が 255 になるように正規化する処理を行った画像である. また, 削除する下位ビットプレーン数による検証結果を表 2 に示す. この実験で, 削除するビットプレーンが 0 から 3 までは位相差パターン図を得るためには好ましく, 式 (16) の性質を用いることにより, 第三者により上書きされても, 元来の位相差パターン図を抽出することができることが判明した. また, 文献 6) における実験結果と本手法による実験結果との画質の関係を図 13 に示す.

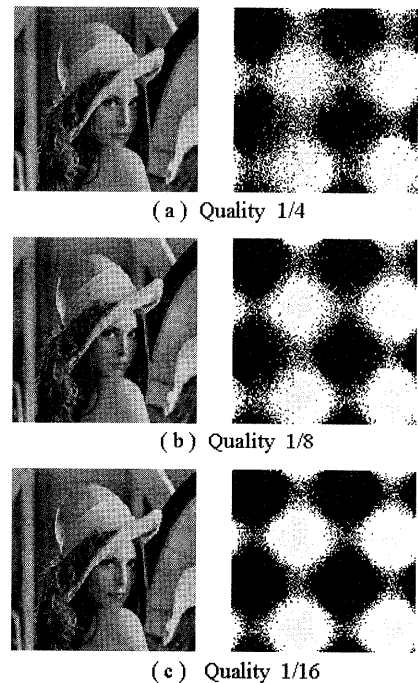


図10 品質パラメータを変化した時の出力画像と透かし
Fig.10 Output images and watermarks under JPEG parameters.

表1 JPEG 圧縮時の検証結果

Table 1 Verification results under JPEG compression.

Compression	1/4	1/8	1/16
Verification	○	○	○
[note]	○ : yes × : no		

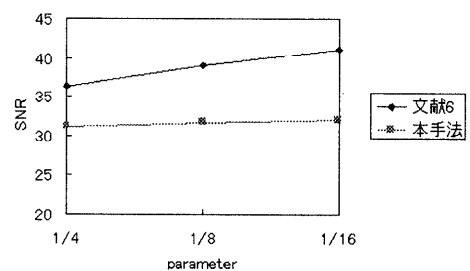


図11 文献 6) と本手法との画質比較
Fig.11 Image qualities between the Ref. 6) and our methods.

(3) 雑音付加

実験結果を図 14 に示す. これは, $\pm 40, 80$ のガウス性雑音を付加したときの画像である. さらに, 付加する雑音のレベルとその検証結果を表 3 に示す. この実験では, レベル ± 80 の雑音であっても, 式 (16) の性質を用いることにより, 元来の位相差パターン図

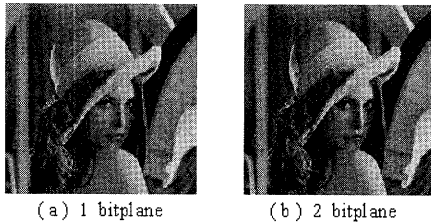


図 12 下位ビットプレーンを削除した画像
Fig. 12 Bitplane-deleted image.

表 2 ビットプレーンの削除数による検証結果

Table 2 Verification results by number of deleted bitplanes.

Number of bitplane	1	2	3	4	5	6	7
Verification	○	○	○	×	×	×	×

[note] ○ : yes × : no

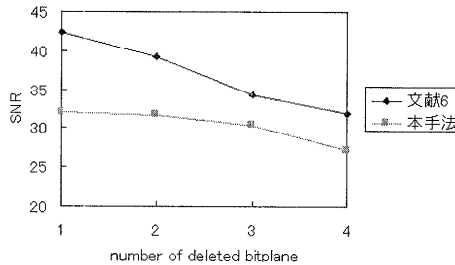


図 13 文献 6) と本手法との画質比較
Fig. 13 Image qualities between the Ref. 6) and our methods.

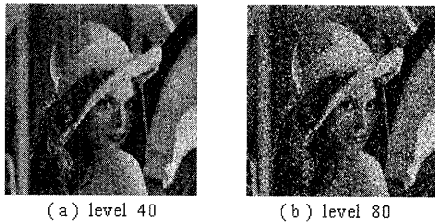


図 14 雑音を付加した画像
Fig. 14 Noise adding image.

表 3 雑音のレベルによる検証結果

Table 3 Verification results by additive noise.

Noise level	5	10	20	40	80
Verification	○	○	○	○	○

[note] ○ : yes × : no

を抽出できることが判明した。文献 6) における実験結果と本手法による実験結果との画質の関係を図 15 に示す。

(4) 階調変換

実験結果を図 16 に示す。これは、誤差拡散法を用いて 7, 6 階調に変換したときの画像である。さらに、

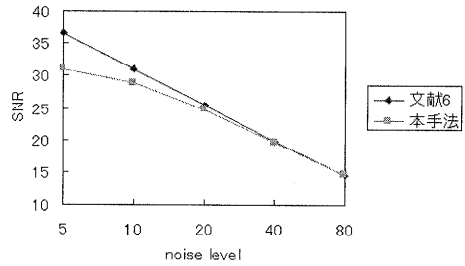


図 15 文献 6) と本手法との画質比較
Fig. 15 Image qualities between the Ref. 6) and our methods.

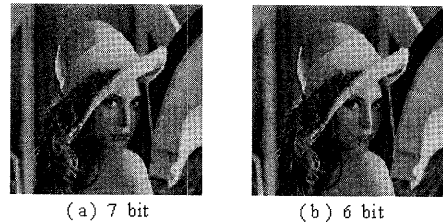


図 16 階調変換した画像
Fig. 16 Tone decreased image.

表 4 変換した階調と検証結果

Table 4 Tone level and verification results.

Tone level	7	6	5	4
Verification	○	○	○	×

[note] ○ : yes × : no

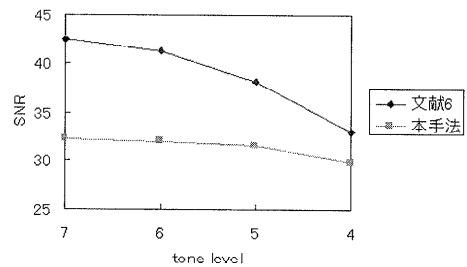


図 17 文献 6) と本手法との画質比較
Fig. 17 Image qualities between the Ref. 6) and our methods.

各階調へ変換したときの検証結果を表 4 に示す。この実験で、5 階調までの変換ならば、位相差パターン図を得ることができ、かつ、式 (16) の性質を用いることにより、元来の位相差パターン図を抽出できることが判明した。文献 6) における実験結果と本手法による実験結果との画質の関係を図 17 に示す。

(5) メディアン処理

提案するこの手法では、メディアン処理には弱点を

持っている。透かし信号 S_1 を埋め込んだ Q_1 に対しマトリクスサイズ 3×3 のフィルタを通すと、同じパターン図を保持することはできない。これは、差分情報が平均化されてしまうからである。

5. む す び

この論文では、多値画像データのウェーブレット変換を利用した位相差による電子透かしの一方法を提案した。周波数スペクトルの一部を密かに増減することにより画像の位相を変化させて、原画像との位相差パターンを発生させ、それを印影として著作権の主張の根拠にしようとしたものであり、かつ、多重解像度の特性を有するウェーブレット変換を利用してデータ圧縮を高めたものである。

その特徴は、電子透かしの埋め込み処理が簡単であること、上書き攻撃を多重に繰り返されても、秘密の原画像と公開画像から著作権の印影を浮き上がらせることができること、1つの透かし信号に限定すれば結託攻撃に耐えることができること、透かし信号が小さいならば画像にほとんど影響を与えないこと、ウェーブレット変換を利用した階層下で処理しているため秘匿性が高い、などがあげられる。

しかしながら、本方式では、公正な機関で原画と透かし信号を保管していることが不可欠であり、また、実験結果が示すように平滑化をとまなう画像の積分処理にはまったく効果がないこと、透かし信号をコピー配付先ごとに変更すると結託攻撃に耐えられないこと、および、位相差パターン図のみに透かし情報を託さざるをえないこと、差分情報を抽出する手法を対象とした攻撃には弱いこと、文献 6) に比較し耐性の向上は図られたものの画質は劣化してしまうなどの弱点も包含されていることに注意しなければならない。これらの弱点は、他の電子透かし法³⁾を併用して解決することになる。今後の課題としては、透かし情報を抽出するにあたり差分情報にとらわれない手法について検討する予定である。

参 考 文 献

- 1) 郵政省 (編): 平成 10 年版 通信白書, 大蔵省印刷局 (1998).
- 2) 中山信弘: マルチメディアと著作権, 岩波新書 (1996).
- 3) 松井甲子雄: 電子透かしの基礎, 森北出版 (1998).
- 4) 中村高雄, 小川 宏, 高嶋洋一: 画質を考慮した電子透かし, 電子情報通信学会基礎境界ソサイエティ大会講演論文集, pp.246-247 (1997).
- 5) Ruanaidh, J.J.K.O., Dowling, W.J. and Boland, F.M.: Phase Watermarking of Digital Images, *Proc. 1996 Int. Conf. on Image Processing*, Vol.3, pp.239-242 (1996).
- 6) 福岡義秀, 松井甲子雄: 多重上書き攻撃を識別可能な電子透かしの一方式, 画像電子学会誌, Vol.27, No.5, pp.499-506 (1998).
- 7) 榊原 進: ウェーブレットビギナーズガイド, 東京電機大学出版局 (1995).
- 8) 大西淳児, 松井甲子雄: ウェーブレット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, pp.534-539 (1997).

(平成 10 年 10 月 13 日受付)

(平成 11 年 3 月 5 日採録)

福岡 義秀



昭和 40 年生。平成 2 年鹿児島大学法文学部人文学科卒業。現在、防衛大学校理工学研究科情報数理専攻在学中。画像の著作権保護に関する研究に従事。

松井甲子雄 (正会員)



昭和 14 年生。昭和 36 年防衛大学校電気工学科卒業。昭和 40 年九州大学大学院工学研究科電子専攻修了。昭和 56 年防衛大学校電気工学科教授。平成元年同大学校情報工学科教授。

この間暗号学, 情報セキュリティ, 電子透かし, 画像データの符号化に関する研究に従事。著書「画像深層暗号」「電子透かしの基礎」(森北出版)。工学博士。電子情報通信学会会員。