

## 拡大縮小に耐性のある電子透かし埋め込み方式

藤村 誠† 今村 弘樹† 黒田 英夫††

† 長崎大学工学部 〒852-8521 長崎市文教町 1-14

†† 長崎大学大学院 〒852-8521 長崎市文教町 1-14

E-mail: †{makoto,imamura,kuroda}@cis.nagasaki-u.ac.jp

あらまし 近年、デジタルコンテンツ、特に画像および映像コンテンツの普及が急速に進んでいる。これに伴い、デジタルコンテンツの著作権の侵害などが問題となっている。この問題に対して、コンテンツに著作権情報などを埋め込む電子透かしによって対策が図られている。従来の電子透かしは、画像をウェーブレットなどで変換して、周波数空間において電子透かしを埋め込むという方式など、いくつかの方式が提案されていた。しかし、電子透かしを無効化する多種多様な攻撃があり、すべてに耐性をもつ電子透かし方式は、まだ見付かしていない。我々は、透かし情報を埋め込む領域形状によって埋め込み情報を表現することで、拡大、縮小などスケールリング攻撃に対する耐性を向上する方式を提案した。評価実験では、拡大縮小に対する耐性を検証して、良好な結果を得た。

キーワード 電子透かし、拡大縮小攻撃、埋め込み領域

## Digital Watermarking Scheme with Tolerances for Scaling

Makoto FUJIMURA†, Hiroki IMAMURA†, and Hiedo KURODA††

† Faculty of Engineering, Nagasaki University Bunkyo-machi 1-14, Nagasaki city, Nagasaki, 852-8521 Japan

†† Graduate, Nagasaki University Bunkyo-machi 1-14, Nagasaki city, Nagasaki, 852-8521 Japan

E-mail: †{makoto,imamura,kuroda}@cis.nagasaki-u.ac.jp

**Abstract** Recently, digital contents, that are image contents and video contents, are popular contents. But infringement of copyright of digital contents are occurred by illegal download or copy. Therefore digital watermarking become important more and more. But there is a problem which is attack to digital watermarking. We proposed new digital watermarking scheme that present bit sequence by shape of region embedded a factor for wavelet transform coefficients. Experiment results evaluated proposed digital watermarking scheme and have good outcomes.

**Key words** Digital watermarking, attack of scale change, shape of embedded region

### 1. まえがき

インターネットの発展およびデジタル映像をはじめとするデジタルコンテンツの普及は急速に進んでいる。デジタルコンテンツは高品質であり、コピーなどによっても劣化しないため、利用者は高品質な画像や映像を得ることが可能である。しかし、このようなデジタルコンテンツの特徴は、違法なコピーやダウンロードによって著作権侵害も容易に起こらうという問題もはらんでいる。このため、不正コピーなど著作権侵害の防止のために電子透かしは必須技術となっているが、電子透かしに対する攻撃の種類は多く全てに対応することは困難であり、現在のところ前提とする攻撃に対する耐性を実現すれば十分とされている[1]。

また、電子透かしは本来の画像コンテンツに所有者のIDなどの透かし情報を埋め込むだけでなく、いろいろな応用技術も

提案されている。文献[2]では、原画像をウェーブレット変換し、得られた変換係数の複数帯域における同一位置の係数を要素とする組を作る。個々の組の2つの要素間の大小関係を制御することで、透かし情報を埋め込む。また、透かし情報を埋め込んだ位置をキー情報として持ち、電子透かし抽出時に利用する。この方式は、正当なキー情報を持つ利用者だけが原画像を復号できるという特徴をもつ。

ここでは、一般的な利用者が使用できる電子透かし方式を対象とし、特に拡大縮小に耐性のある電子透かし方式を検討する。画像に対してウェーブレット変換を行った周波数領域に、透かし情報の埋め込みを行うことで情報量圧縮にもスケールリング攻撃にも耐性をあわせ持つ電子透かし方式の実現を目的とする。先に、我々は、回転に強い電子透かし方式として、透かし情報の埋め込み領域形状とビット表現とを対応させる方式を提案した[3]。本研究では、この方式を発展させた電子透かし埋め込み

方法を提案する。

以下、2.において提案する電子透かし方式の原理を述べ、3.で提案方式全体の処理について説明する。4.では評価実験を行い、提案方式の有効性を確認できた。5.でまとめを述べる。

## 2. 電子透かし方式

本電子透かし方式では、1段のウェーブレット変換係数であるHL成分およびLH成分の組にある操作をした領域形状によって、埋め込む透かし情報のビット列を表す。ここで、ある操作とは、HL成分およびLH成分の組の要素間差分の大きさの操作である。

まず、電子透かしを埋め込む領域を決定する。次に、その領域上の一部分でウェーブレット変換係数の組に対して数値を操作する。操作した変換係数の存在する部分の形状により、埋め込む透かし情報のビット列を表現する。以下、埋め込み領域の決定法および埋め込み領域形状による埋め込み情報の表現について述べる。

### 2.1 埋め込み領域の決定法

まず、図1に示すようにウェーブレット変換係数のHL成分  $C_{HL}$  と LH成分  $C_{LH}$  を、それぞれの係数で同じ位置の組  $(C_{HL}, C_{LH})$  をつくる。次に、この組の要素間の差分値  $C_{HL} - C_{LH}$  を閾値  $T_1$  と比較する。差分が閾値  $T_1$  より小さい場合は、その組の両要素に加算または減算して要素間差分を拡大することで、透かし情報埋め込み領域を表す。要素間差分の拡大は、次式によって行う。ここで、 $S$  は定数であり、透かしの強度に相当する。

すなわち、 $C_{HL} > C_{LH}$  の場合は、

$$C_{HL} + S, C_{LH} - S \quad (1)$$

とし、 $C_{HL} < C_{LH}$  の場合は、

$$C_{HL} - S, C_{LH} + S \quad (2)$$

とする。

埋め込み領域については、候補となる領域内の要素間差分が閾値  $T_1$  より大きい組の総数が、閾値  $T_2$  より少ない場合を埋め込み領域に決定する。これは、領域内全体で要素間差分が大きい組が多いと、透かし情報を表す形状になるように要素間差分値を制御できないからである。具体的な処理については、以下の(1)から(3)に示すような手順で行う。なお、閾値  $T_1$  および  $T_2$  は、予備実験などにより決定する。

(1) ウェーブレット変換係数のHL成分、LH成分それぞれ同じ位置  $i$  の係数間で差分  $Diff(i)$  を求める。

(2) 領域ごとに、差分の絶対値  $|Diff(i)|$  が閾値  $T_1$  より大きい場合の数  $N_{NoWM}$  を求める。

(3) その数  $N_{NoWM}$  が閾値  $T_2$  より少ない領域を埋め込み領域とする。埋め込み領域の位置はキー情報として記憶する。

### 2.2 埋め込み領域形状による表現

提案する電子透かし方式は、前節で説明したウェーブレット変換係数のHL成分、LH成分から成る組の要素間差分を閾値  $T_1$  以上にした組の分布領域形状によって、“0”および“1”を

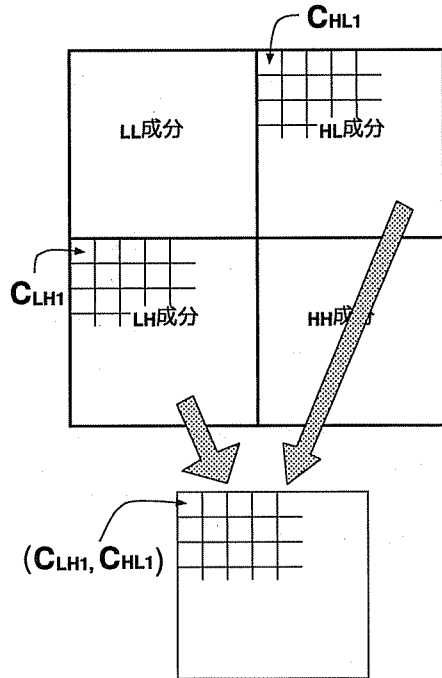


図1 ウェーブレット変換係数  
Fig.1 Wavelet transform coefficients

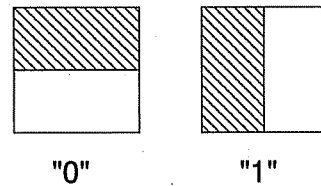


図2 埋め込み領域形状によるビット表現  
Fig.2 Bit representation by shape of region embedded ??

表す。

これは、拡大、縮小によるスケーリング攻撃に対する耐性を持たせるためである。図2に示すように、縦長の矩形領域を“1”、横長の矩形領域を“0”、とする。

## 3. 電子透かしシステム

図3は、提案する電子透かし方式の処理の流れである。まず、原画像をウェーブレット変換してH成分およびLLH成分を得る。次に、埋め込み可能領域を決定し、これらの埋め込み可能領域の位置をキー情報として記憶しておく。この後、実際にビット情報の埋め込み処理を実施し、最後に逆ウェーブレット変換を行えば、画像への伝透かし埋め込みが終了する。

埋め込んだ透かし情報の抽出は、次のように行う。まず、図3のように電子透かしが埋め込まれた画像に対して、ウェーブレット変換を実行する。その後、キー情報を元にビット埋め込みの抽出を行う。

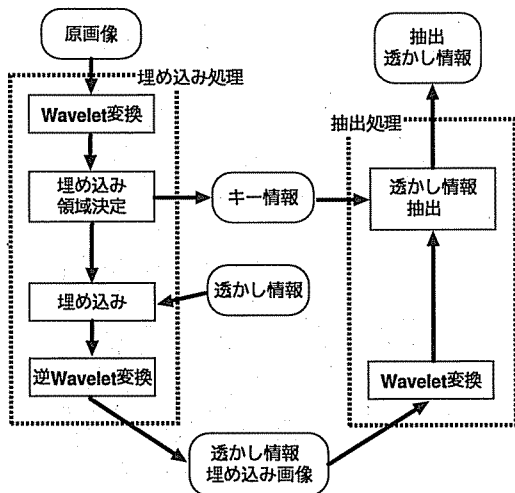


図3 提案方式の処理の流れ  
Fig.3 Process flow of embedding watermark

#### 4. 評価実験

提案した電子透かし方式の有効性を検証するために、評価実験を行った。まず、埋め込みブロックサイズおよび透かし情報量の関係を確認した。次に、埋め込み強度に対する画像品質の劣化を測定し、これらの実験結果よりパラメータを決めて、提案した電子透かし方式について画像のスケーリングに対する耐性を測定し、その電子透かし方式の有効性を確認した。

図4にテスト画像を示す。今回の実験に用いたテスト画像は、Lenna, Airplane, Mandrill, Peppersである。これらは256階調のカラー画像であり、画像サイズは256×256画素である。

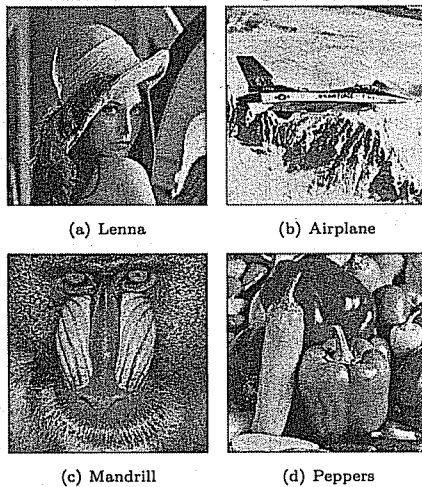


図4 テスト画像  
Fig.4 Test image

#### 4.1 埋め込み領域の大きさと埋め込みビット数

本実験では、透かし情報の埋め込み領域の大きさに対する埋め込み可能な透かし情報量を測定する。ここで、埋め込み領域はウェーブレット変換の対象であり、正方形のブロック形状である。このブロックサイズを4×4から64×64まで変化させながら、透かし情報の埋め込み領域の判定処理を行い、埋め込み可能領域数と判定されたブロック数を測定した。また、このとき埋め込み領域を決定するための閾値  $T_1 = 0.2$  とした。

表1は、透かし情報の埋め込み領域の大きさと埋め込み可能なビット数を示している。表より、Mandrillは、Lenna, PeppersおよびAirplaneより埋め込み可能な透かし情報量が3分の1以下であることが分かる。

これは、Lenna, PeppersおよびAirplaneのような平坦な画像の場合は全体的に差分値が小さい組が多くなり、透かし情報埋め込み可能領域が増えるためである。提案する電子透かし方式では、縦方向と横方向の高周波成分の係数の組の間で差分をとり、その大きさが  $T_1$  より小さい組の数が  $T_2$  以下の場合に、透かし情報埋め込み可能領域と判定している。一方、Mandrillは細かな毛並など高周波成分が多く含まれており、全体として計数間差分が大きくなるため、埋め込み可能領域が少なくなる。

表1 埋め込み領域の大きさと埋め込みビット数

Table 1 Relationship of between block size of embedded region and embedded bit number of watermark

埋め込み領域 [画素 times 画素]	64×64	32×32	16×16	8×8	4×4
Lenna	3	9	45	167	674
Airplane	2	7	32	135	573
Mandrill	0	1	5	27	173
Peppers	3	12	39	154	665

#### 4.2 埋め込み強度および画像品質

本実験では、電子透かしの埋め込み強度に対する画像品質の劣化について検証した。テスト画像への電子透かし埋め込み強度を0から30まで変化させ、それぞれの場合の画像品質を測定した。画像品質の測定には式3および4で定義されるPSNRを用いた。

$$PSNR = 20 \log_{10} \left( \frac{255}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (3)$$

$$MSE = \frac{1}{XY} \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} \{I'(x, y) - I(x, y)\}^2 \quad (4)$$

$Y, X$  は画像の縦、横の大きさ

$I(x, y)$  は原画像、 $I'(x, y)$  は埋め込み画像の画素  $(x, y)$  における輝度

表2および図5は、電子透かしの埋め込み強度と画像品質の測定結果である。PSNRの値は32[dB]から48.08[dB]の範囲にあり、画像品質としては十分に耐える値である。また、埋め込み強度を強くするほど、PSNRは低くなっている。これは強度が強くなれば、それだけ画像に加えられる変化量も大き

くなるためである。Mandrillについては、埋め込み強度が強くなっても、PSNRが他のテスト画像に比べて低下しない。これは、前節の実験結果から分かるように、Mandrillでは埋め込み領域が十分確保できずに、埋め込む透かし情報量が少ないためである。

また、テスト画像Lennaにおける強度ごとの電子透かし埋め込み画像を図6に示す。図より強度6の場合は劣化はほとんど認められず、透かし情報が埋め込まれていることも感知できない。強度12の場合は、画像品質の劣化が確認でき、ブロック状の雑音となって現れている。強度を18, 24, 30とあげていくと、この傾向は顕著になる。

以上より、画像品質の点から、電子透かし情報の適当な埋め込み強度としては、おおよそ2~14が妥当であると考えられる。

表2 埋め込み強度と画像品質

Table 2 Relationship of between embedded intensity and image quality

埋め込み強度	0	6	12	18	24	30
Lenna	45.50	43.50	40.04	37.16	34.90	33.06
Airplane	48.08	45.54	41.53	38.45	36.10	34.22
Mandrill	46.81	46.54	45.56	44.20	42.27	41.40
Peppers	46.20	43.77	39.60	36.41	33.98	32.05

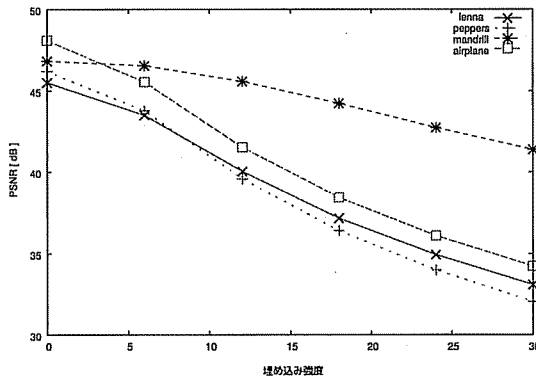


図5 埋め込み強度とPSNR

Fig.5 Relationship between embedded intensity and PSNR

#### 4.3 スケーリング攻撃への耐性

スケーリング攻撃への耐性として、提案した電子透かし方式によって透かし情報を埋め込んだテスト画像を拡大および縮小した後に、透かし情報の抽出を行った。透かし情報として用いるビット列は  $(1111100001)_2$  であり、これは提案した電子透かし方式の領域形状による表現としてテスト画像に埋め込んだ。なお、拡大、縮小には線形補間を用いた。

このとき、透かし情報の抽出率を  $Ext$  とすると、ウェーブレット変換係数に埋め込んだビット数を  $I_{embed}$ 、抽出できたビット数を  $I_{extract}$  より、次式のように定義した。

$$Ext = \frac{I_{extract}}{I_{embed}} \times 100[\%] \quad (5)$$



図6 埋め込み強度と画像品質 (Lenna)

Fig.6 Relationship of between embedded intensity and image quality(Lenna)

表3 拡大、縮小に対する抽出率

Table 3 Ratio of extraction of watermark

拡大、縮小倍率 [%]	50	75	100	125	150	175	200
抽出率 [%]	87.5	100	100	100	100	100	100

表3に、スケーリング率に対するビット数の抽出率を示す。また、図7に、Lennaの場合の透かし情報抽出後の画像を示す。図において、ビット埋め込みとしては、係数値の組の要素間差分がある閾値より小さければ、黒、大きければ白で表示される。すなわち、白の矩形が縦長であれば1、横長であれば0をそれぞれ表している。

ただし、図7(a)は、テスト画像に透かし情報であるビット列  $(1111100001)_2$  を埋め込んだ直後の様子であり、逆ウェーブレット変換が実行される直前の状態である。また、図7(b)は、テスト画像に透かし情報を埋め込んだ後に逆ウェーブレット変換を施して電子透かし埋め込み画像を復元し、その後透かし情報を抽出した結果である。図7(c)から7(h)は、電子透かしを埋め込んだ復元画像に対して、スケーリング攻撃として元画像の50%の縮小から200%の拡大の処理を行った後に、電子透かし抽出処理を行った結果である。なお、拡大および縮小によって、実際に得られた電子透かし抽出結果の大きさは異なっているが、ここでは大きさを統一して表示している。

図より、拡大および縮小した後の透かし画像において、透か

し情報を表している縦長長方形，横長長方形に劣化が見られる。拡大した場合の結果を見ると，透かし情報が認識できることがわかる。一方，縮小した場合の結果を見ると，透かし情報の劣化が激しいことがわかる。このため，現時点では縮小に対しては，耐性の改善が必要であると考えられる。

好な結果を得た。拡大，縮小のスケーリング攻撃については，縮小については問題はあるものの拡大についてはほぼ良好な結果を得た。

今後の課題は，縮小にたいする埋め込んだ透かし情報の耐性の改善などがある。

## 文 献

- [1] 松井 甲子雄，“電子透かしの動向”，映像情報メディア学会誌，Vol.56，No.7，pp.1053-1054，2002.
- [2] 辻 正博，長谷川 まどか，加藤 茂夫，“ウェーブレット変換を利用した可逆電子透かし方式の一提案”，画像電子学会誌，Vol.36，No.6，pp.876-882，2007.
- [3] Yongli Zhang and Hideo Kuroda, "A Novel Digital Watermark Scheme Robust to Rotation Attack", VIP 2005, 2005.

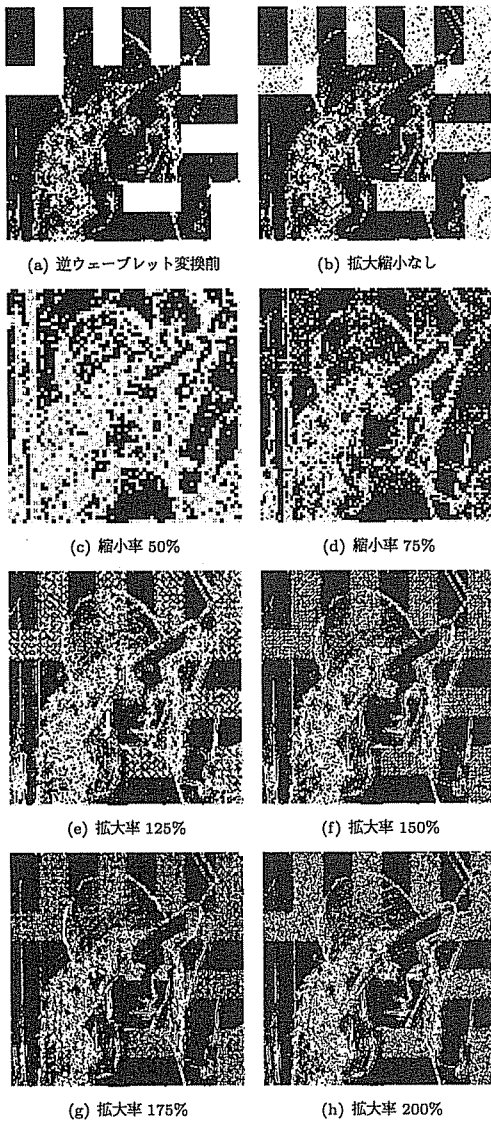


図7 埋め込み画像 (強度 12) へのスケーリング攻撃

Fig.7 Relationship between embedded intensity and scaling attack

## 5. ま と め

本研究では，拡大，縮小に耐性のある電子透かし埋め込み方式を検討した。提案した方式では，透かし情報として領域形状によるビット表現を提案した。評価実験では，透かし情報埋め込み量および埋め込みによる画像品質の劣化を測定し，ほぼ良