

画像内領域の特性に応じたウェーブレット変換適応電子透かし

黒田 英夫*, 尾崎 直弘*, 山田 敦士*, 藤村 誠**, 濱野 和正*

An Adaptive Watermarking Scheme Based on Wavelet Transform to Characteristics of Area in An Image

by

Hideo KURODA*, Naohiro OZAKI*, Atsushi YAMADA*, Makoto FUJIMURA** and Kazumasa HAMANO*

Though difficult to see in complicated areas in an image, picture quality degradations are easily perceived in flat areas by human visual ability. So it is important to develop a technique which is able to embed watermarking information according to the respective characteristics of each area. In this paper, we propose adaptive watermarking schemes based on wavelet transform to characteristics of areas in an image. Simulation results show that the proposed method improved both SNR and robustness against attacks such as lossy compression like JPEG.

1 まえがき

近年、比較的高速な通信インフラの整備や安価なコンピュータの普及により、Webなどに代表されるようなネットワーク利用が爆発的に増大してきた。このような状況とヒューマンインターフェース技術の進展によって、受信コンテンツの不正コピー等が簡単に行えるような状況になってきている。このため、コンテンツの著作権保護が重要な問題となっている。この問題を解決することを目的として、画像コンテンツそのものに著作権情報を付加する電子透かし技術に関する研究が行なわれている。[1]-[9] 透かし情報が埋め込まれた合成画像は画質劣化が視覚的にほとんどなく、更に様々な攻撃が施された場合にも透かし情報が消去、或は破壊されないことが必要である。

従来 of 代表的な透かし方式として、量子化による埋め込み法がある。この方法は、複雑な領域に埋め込んだ場合は劣化が検知されにくい、顔の頬など平坦な領域においては劣化が露見しやすいといった問題がある。平坦部に透かし情報を埋め込む方法として、隣接するウェーブレット係数の差分を利用した埋め込み法がある。この方法は平坦部への埋め込みと圧縮などの攻撃に対する耐性を持つという特徴の反面、係数間の

変化の激しい複雑な領域における画質が大きく劣化するという問題があった。

そこで本論文では、複雑部と平坦部においてそれぞれの特性に適した埋め込み方法を用いる適応電子透かし方式を提案する。即ち、複雑部においては量子化による埋め込みを施し、平坦部においては隣接するウェーブレット変換係数の差分を利用した埋め込み処理を施す。これにより各々の利点を生かした埋め込みが可能となる。本提案方式により、画像全体に透かし情報を埋め込むことができ、かつ、合成画像の画質を保ちながら、安全性の向上を図ることができることを検証する。

本論文では、2でウェーブレット変換による電子透かし、3で2種類の埋め込み法を用いた提案方式、4でシミュレーション実験について述べる。

2 ウェーブレット変換による電子透かし

2.1 ウェーブレット変換の概要

ウェーブレット変換は、画像信号を空間周波数領域上でも取り扱えるため、周波数成分毎の処理が可能で

平成14年10月25日受理

*大学院生産科学研究科 (Graduate School of Science and Technology)

**情報システム工学科 (Department of Computer and Information Sciences)

あり、また、周波数分割された帯域毎に画像空間上で
の位置に応じた処理も可能であるため、効果的な処理
を導入しやすいという特徴があることから注目され、
MPEG4にも採用されている。

図1に画像信号のウェーブレット分割を示す。LL,HH
は、それぞれ画像信号に含まれる低周波成分と高周波
成分を表し、LH,HLはそれぞれ垂直方向及び水平方
向の周波数成分を表す。添字の1,2はそれぞれウェーブ
レット変換の実行回数を表し、レベル番号と呼ばれる。

電子透かしにおいては、各周波数成分のいずれかに
埋め込まれることになる。LH₁,HL₁及びHH₁は高
周波成分であり、画品質劣化としては感知されにくい
が、符号化処理や雑音除去処理等で削除されやすいた
め、妨害への耐性が弱いという問題がある。

一方、LH₂,HL₂及びHH₂は中周波成分であり、画
像品質ならびに妨害耐性の両方の点において、中庸の
特性を持つ。

また、LL₂は低周波成分であり、妨害耐性はもつと
も強いが、画品質が劣化しやすいという問題がある。

2.2 量子化埋め込み方式 [1]

画像圧縮等においては、ウェーブレット変換係数を
所定の値で割り算し、小数以下を丸めることにより量
子化が行われる。その後、同じ所定の値をかける、す
なわち逆量子化を行うことにより、量子化誤差を含む
ウェーブレット変換係数が得られる。この量子化誤差
を利用して透かし情報を埋め込む。すなわち、透かし
情報が‘1’の場合には、量子化後の最下位ビットを‘1’
に、逆に透かし情報が‘0’の場合には、たとえば量子
化後の最下位ビットを‘0’に変換する。このような処

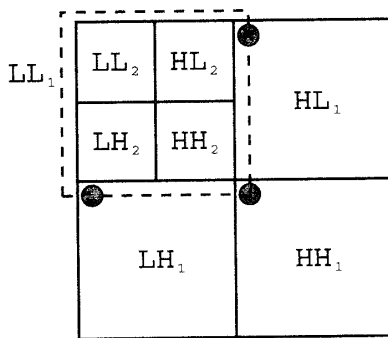


図 1: 画像信号のウェーブレット分割

理の後、逆量子化を行う。

量子化のために割り算に用いる値を埋め込み強度と
言い、この値を大きくすれば、妨害耐性は強くなるが、
画品質劣化が大きくなる。また、小さくすれば逆の特
性をもつことになる。この値は利用状況に応じて選ぶ
ことになる。

2.3 隣接係数の差分を利用した埋め込み方式 [2]

図2に隣接するウェーブレット係数の差分を利用し
た埋め込み法を示す。まず、 $N_x \times N_y$ 画素からなる原
画像を Haar ウェーブレットのようなウェーブレット
変換を用いて幾つかの帯域に分解する。図は Level1 ま
での変換の例である。透かし画像 W を次に示すよう
に LL 帯域に埋め込む。LL 帯域成分は $L_x \times 2L_y$ 画素で
構成される幾つかのブロックに分解される。垂直方向
の2つの隣接する係数は透かし画像の1画素の埋め込
みに対して使用される。例えば、 $C_k(m, 2n)$ と $C_k(m, 2n+1)$ は垂直方向の2つの隣接する係数である。こ
こで k は分割されたブロックの指数であり、 m と n は
 k 番目のブロックの x, y 方向の座標を表すものである。
差分の絶対値 $d_k(m, n)$ は式 (1) で表される。

$$d_k(m, n) = |C_k(m, 2n) - C_k(m, 2n+1)| \quad (1)$$

隣接係数差分の絶対値 $d_k(m, n)$ の大きさに応じて、対
応する透かしピクセル $W(m, n)$ は次の埋め込み手順
により埋め込まれる。

埋め込みアルゴリズム

- In the case of $W(m, n) = 1$,

$$\text{if } C_k(m, 2n) \leq C_k(m, 2n+1)$$

$$\text{or } d_k(m, n) < 2a,$$

$$C'_k(m, 2n) = M_k(m, n) + a$$

$$C'_k(m, 2n+1) = M_k(m, n) - a$$

$$\text{else if } C_k(m, 2n) > C_k(m, 2n+1)$$

$$\text{and } d_k(m, n) \geq 2a,$$

$$\text{then } C_k(m, 2n) \text{ and } C_k(m, 2n+1)$$

are not changed.

- In the case of $W(m, n) = 0$,

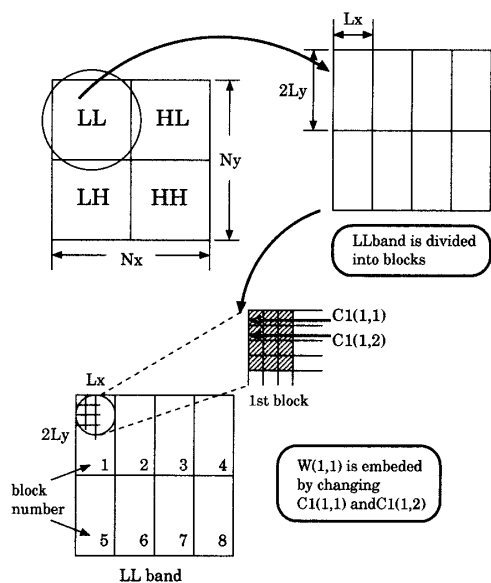


図 2: 隣接係数の差分を利用した埋め込み法

if $C_k(m, 2n) \geq C_k(m, 2n + 1)$
 or $d_k(m, n) < 2a$,
 $C'_k(m, 2n) = M_k(m, n) - a$
 $C'_k(m, 2n + 1) = M_k(m, n) + a$
 else if $C_k(m, 2n) < C_k(m, 2n + 1)$
 and $d_k(m, n) \geq 2a$,
 then $C_k(m, 2n)$ and $C_k(m, 2n + 1)$
 are not changed.

ここで、 $M_k(m, n)$ は、 $C_k(m, 2n)$ と $C_k(m, 2n + 1)$ の平均値で、 a は画質と攻撃に対するパラメータである。

この埋め込み法は隣接する係数値の大小が入れ替わらない限り透かし情報が保存されるため、JPEGなどの圧縮に強い特性を持っている。しかし、エッジ(輪郭線)領域などの隣接する係数間の変化の大きい所においては画品質が大きく劣化してしまうために、埋め込み位置が限定されてしまうという欠点がある。

3 2種類の埋め込み法を用いた提案方式

2.2で述べた量子化埋め込み方式では、埋め込み強度を大きくすることにより、妨害耐性を強くすることができる。しかし、平坦部では画品質の観点から埋め込み強度を大きくできない。したがって、この量子化

埋め込み方式は量子化雑音が見えにくい複雑な領域で使用する。こととする。

平坦部においては、2.3で述べた隣接係数の差分を利用した埋め込み方式を導入する。

この結果、二つの係数毎に1ビットの透かし情報を埋め込むことができ、この2種類の埋め込み法を用いて画像全体に透かし情報を埋め込むことによって、電子透かし技術が必要とする『画質』、『耐性』、『情報量』という三つの特徴を合わせ持つことが可能となる。

3.1 埋め込み法

提案方式の埋め込み法と取り出し法を図3に示す。まず、 $N_x \times N_y$ 画素の原画像 I をウェーブレット変換して幾つかの帯域に分解する。そのうちの LL_2 帯域成分の隣接する2つの係数の差分の絶対値 $d(m, n)$ を式(1)で示すように計算する。この $d(m, n)$ が閾値 T 以下か否かを判定する。 T 以下ならば、対応する透かし情報 $W(m, n)$ は、2.3の埋め込みアルゴリズムを用いて隣接する二つの係数を変化させることにより埋め込まれる。

平均値を中心においた隣接係数値間の関係を図3.1に示す。閾値 T の範囲内が本法による埋め込み領域である。

a は閾値 T の半分以下である。

また、 $d(m, n)$ の値が閾値 T を越える場合、 $W(m, n)$ は埋め込み強度 M により量子化することにより埋め込まれる。即ち、透かし情報のビットが '1' であれば

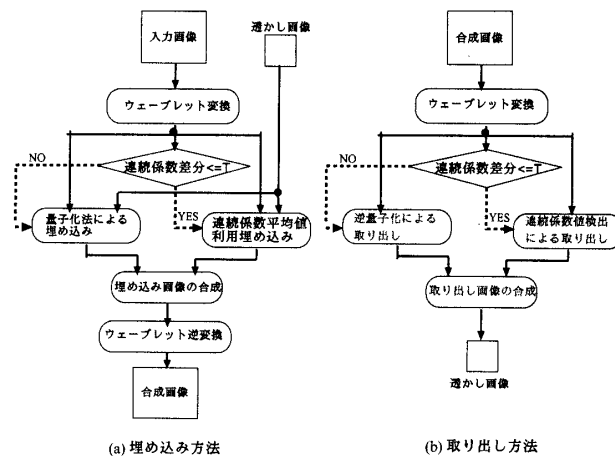


図 3: 提案方式における埋め込み法と取り出し法

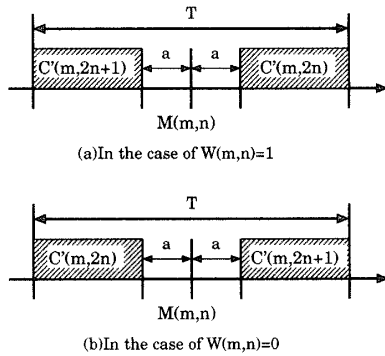


図 4: 平均値を中心においた隣接係数値間の関係

量子化後の値を「奇数」にし、透かし情報のビットが '0' であれば「偶数」にする。

それぞれの方法で埋め込まれた係数画像が合成される。こうして合成された係数画像をウェーブレット逆変換することにより、透かし情報を埋め込まれた合成画像が得られる。

3.2 取り出し方法

埋め込まれたデータを取り出すためには、図 3(b) に示すように、まず、透かし画像が埋め込まれた合成画像 I' をウェーブレット変換して帯域分割する。次に前節の埋め込み方法と同様に LL_2 帯域成分の隣接する 2 つの係数の差分の絶対値 $d(m,n)$ を式 (1) で示すように計算する。

$d_k(m,n)$ の値が閾値 T を越える場合、 $W(m,n)$ はその埋め込まれた位置の係数を量子化することにより取り出される。即ち、 M (埋め込み強度) で量子化し、量子化後の値が「奇数」であれば、その位置に埋め込まれた透かし情報のビットは '1' であると判定し、「偶数」であれば透かし情報のビットは '0' であると判定する。

また、算出された $d(m,n)$ が閾値 T 以下ならば、埋め込まれた透かし情報 $W(m,n)$ は、下記の取り出しアルゴリズムにより $C'_k(m,2n)$ と $C'_k(m,2n+1)$ から取り出される。

取り出しアルゴリズム

- If $d'_k(m,n) \leq T$

$$C'_k(m,2n) > C'_k(m,2n+1) \rightarrow W(m,n) = 1$$

$$C'_k(m,2m) < C'_k(m,2n+1) \rightarrow W(m,n) = 0$$

4 シミュレーション実験

提案方式についてシミュレーション実験を行なった。本実験では、画質の評価実験、*JPEG* 圧縮に対する耐性評価実験を行なった。また、他方式との比較のため、画像全体に量子化による埋め込みを施した方法も同時に実験を行なった。

実験に使用したウェーブレット変換は *Haar* 基底であり、*2Level* のウェーブレット分解を行なった。また、提案方式における隣接する LL_2 帯域成分の係数の差分の閾値 T は予備実験により $T=7$ と定めた。

テスト画像として、*Lenna* ($256 \times 256, 8bit/pel$), *Girl* ($256 \times 256, 8bit/pel$), *Claire* ($352 \times 288, 8bit/pel$), 全てグレースケールを用いたが、いずれの画像においてもほぼ同様な結果が得られたので、本論文では *Lenna* についてのみ示す。

4.1 画質の評価

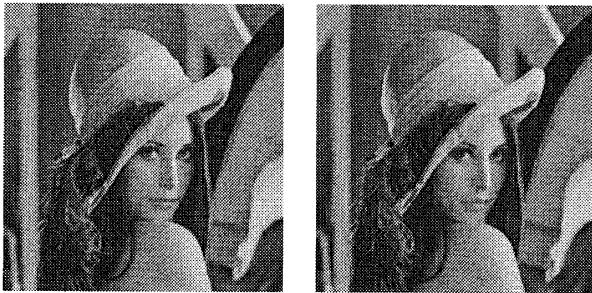
原画像を図 5 に、各方式を用いて透かし情報を埋め込んだ合成画像を図 6、図 7 に示す。また、画質の客観評価として、埋め込み強度 M を変化させた場合の SNR を測定した。その結果を、図 8 に示す。SNR は次の式 (2) により求められる。なお、 I は階調レベル数の 2 乗 (256^2) を表し、 Y は原画像との平均 2 乗誤差を表す。

$$SNR = 10 \log_{10}(I/Y) [dB] \quad (2)$$

画質評価実験結果より埋め込み強度 M が比較的小さい場合においては、提案方式、量子化方式ともに SNR を $42 \sim 45 [dB]$ 程度に保っており、視覚的に原画像と比較しても画質劣化がほとんど見られない。しかし、埋め込み強度 M を大きくしていくと、量子化方式による結果では SNR が $35 \sim 37 [dB]$ まで急激に低下し、視覚的にも画像の背景などの画素の変化の小さい平坦な箇所において斑点状のノイズが容易に知覚できるようになる。これに対し、提案方式では SNR の低下を $1 \sim 2 [dB]$ 程度に抑え、視覚的にもほとんど画質劣化が



図 5: 原画像 (Lenna)



(a) 提案方式 (b) 量子化方式

図 6: 埋め込み画像 (Lenna)[$M = 2$]

見られないことがわかる。これは提案方式では変化の小さい平坦部分の埋め込みに隣接する係数の差分を利用した埋め込み法を用いて背景領域の視覚的な画質劣化を抑えているためである。

4.2 JPEG 圧縮に対する耐性評価

提案方式と量子化法のみによる透かし方式について、JPEG 圧縮に対する耐性評価を行なった。その結果を



(a) 提案方式 (b) 量子化方式

図 7: 埋め込み画像 (Lenna)[$M = 7$]

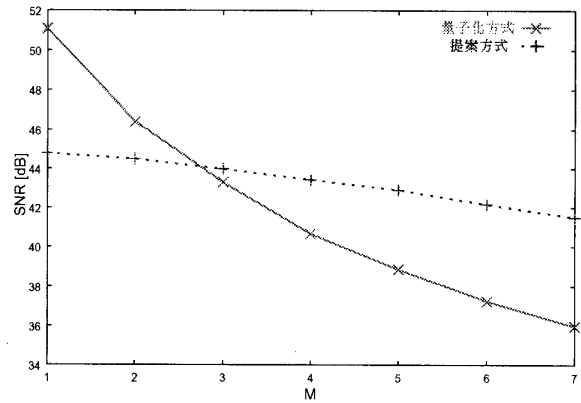


図 8: SNR(Lenna)

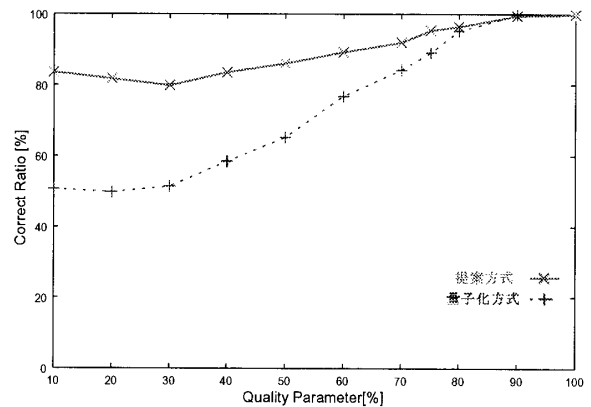


図 9: JPEG 圧縮に対する耐性 [Lenna]
(量子化による埋め込み強度 $M = 2$)

図 9、図 10 に示す。これらは、画像中に、量子化による埋め込み強度 $M = 2$ 及び $M = 7$ とし、それぞれ透かし情報(署名情報)を埋め込み、この透かしの合成画像に対して、JPEG 圧縮を施し、圧縮された画像からの透かし情報の取り出しを行なった場合の正解率を調べたものである。正解率とは、埋め込んだビットに対して取り出された透かしビットが正しかったビットの割合である。透かしを埋め込む時の埋め込み強度(量子化ステップ)をパラメータとして、JPEG 圧縮の品質パラメータを横軸に、正解率を縦軸にして示している。

JPEG 圧縮に対する耐性実験の結果、提案方式、量子化方式ともに埋め込み強度 M を大きくして ($M = 7$) 埋め込んでいる場合、JPEG 圧縮率が約 20% 程度であれば、85~99% でビット判定可能であることがわか

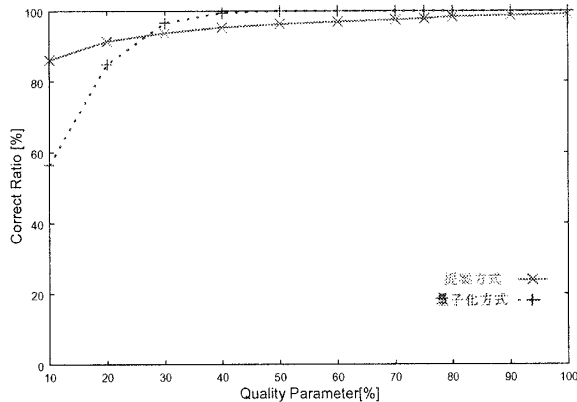


図 10: *JPEG* 圧縮に対する耐性 [Lenna]
(量子化による埋め込み強度 $M = 7$)

る。しかし、埋め込み強度 M を小さくして ($M = 2$) 埋め込んでいる場合、提案方式では圧縮率を高くしても、8~9割ビット判定可能であるのに対し、量子化方式では圧縮率を高めていくにつれて取り出し正解率が大きく低下している。これは、量子化方式だけの場合は、埋め込み強度 M が小さいため、*JPEG* 圧縮率が小さくなるにつれて埋め込み情報が消滅していくのに対して、提案方式では、平坦領域において、*JPEG* 圧縮などに強い耐性をもっている隣接する係数の差分を利用した埋め込み法を用いているためである。

以上の実験結果より、提案方式による電子透かし埋め込み法は原画像からの画質劣化がほとんどなく、かつ、攻撃に対する耐性を十分にもつことが確認された。

5 むすび

本論文では、ウェーブレット変換を用いた電子透かしにおける埋め込み法の改善策としてウェーブレット変換した *LL* 帯域成分における 2 種類の埋め込み法を用いた電子透かし方式を提案した。シミュレーション実験を行なった結果、提案した電子透かし埋め込み法は原画像の画質を良好に保ち、*JPEG* 圧縮などの攻撃耐性を十分に持っていることが確認された。

今後、拡大・縮小、乱数付加など他の画像処理の攻撃に対する耐性評価実験を行なう予定である。

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] H.S.Kim, S.H.Bae, O.K.Yoon, K.H.Park,:Watermarking for Digital Images Using Differences and Means of the Neighboring Wavelet Coefficients,Proc.ofITC-CSCC2000,pp.466-469,July,2000
- [3] 北原大輔、桂井浩:局所的な歪み攻撃に耐性のある電子透かしの階層的埋め込み法, 画像電子学会誌 第 30 巻第 3 号 pp.260-266(2001)
- [4] T.Yamada, T.Onuki, M.Hasegawa and S.Kato:Study on a Digital Watermarking method for Still Images Using Wavelet Transform,Picture Coding Symposium 2001,pp.109-112(2001)
- [5] C.Y.Lin, M.Wu, J.A.Bloom, I.J.Cox, M.L.Miller and Y.M.Lui:Rotation, Scale and Translation Resilient Watermarking for Images,IEEE Trans. on IMAGE PROCESSING, Vol.10,No.5,pp.767-782 (2001.5)
- [6] M.Barni, F.Bartolini and A.Piva:Improved Wavelet-Based Watermarking Through Pixel-Wise Masking,IEEE Trans. on IMAGE PROCESSING, Vol.10,No.5,pp.783-791(2001.5)
- [7] Y.Wang, J.F.Doherty and R.E.Van Dyck:A Wavelet-Based Watermarking Algorithm for Ownership Verification of Digital Images,IEEE Trans. on IMAGE PROCESSING, Vol.11,No.2,pp.77-87 (2002.2)
- [8] S.W.Lee, K.A.Moon and Y.S.Ho:Digital Image Watermarking Using Inner Product and Quantization,Picture Coding Symposium 2001,p.p117-120(2001)
- [9] J.Hayashi and K.Iwamura:The digital-watermarking system to the still picture using wavelet transform,The Institute of Image Electronics Engineers of Japan,pp.18-25(1999)