

適応量子化によるウェーブレット変換電子透かし

黒田 英夫*, 上野 洋平*, 藤村 誠**, 前村 葉子***

A Watermarking Scheme Based on Wavelet Transform Using Adaptive Quantization

by

Hideo KURODA*, Yohei UENO*, Makoto FUJIMURA** and Yoko MAEMURA***

Digital watermarking schemes need to have robustness to attacks, such as the processes of noise reduction and JPEG compression etc. From the viewpoint of the robustness, we paid attention to the low frequency areas LL_2 and LL_3 of wavelet transform in spite of the weakness of image quality degradation being easily visible. We propose a watermarking scheme based on the wavelet transform which uses an adaptive quantization method for improvement of the image quality, and moreover, a determination method by majority occurrence for making the system robust to attacks. Simulation results show that the proposed method have a good picture quality with robustness for JPEG attacks.

1 まえがき

近年、ネットワークの高速化と計算機の高機能化ならびにヒューマンインターフェースの改善等により、インターネット利用が爆発的に増大してきた。このような状況から、受信コンテンツの不正コピー等が懸念されるようになってきており、コンテンツの著作権保護システムの確立が重要になっている。このため、画像データのコンテンツそのものに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] 代表的な透かし方式として、原画像をウェーブレット変換し、いくつかの周波数成分に分割されたウェーブレット変換係数に対して著作権情報等の透かし情報を埋め込む方式がある。この変換係数への透かし情報の埋め込みは、係数を量子化した時に生じる量子化雑音を利用して埋め込む方法が一般的に使われる。そして、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、更に様々な攻撃が加えら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要求される。このような要求条件のうち、その目的からいって、妨害に対する耐性が強いということは必須の条件である。

ところで、画像の雑音除去や符号化処理等では、高周波成分は比較的簡単に除去される傾向にある。したがって、透かし情報の埋め込みは、妨害耐性の観点か

ら低周波成分に対して行うことが望ましい。

一方、人間の視覚特性は、複雑な領域における劣化は感知しにくい、平坦部の劣化には敏感であるという特性がある。このため、平坦部の低周波成分には透かし情報をあまり強く埋め込むと画質の点で問題が生じやすい。そこで本方式では、まず、透かし情報が除去されにくい領域として、ウェーブレット変換係数のうち、 LL 帯域成分をとりあげる。そして、その成分の係数に対して視覚特性を用いて、識別感度の弱い複雑部に対しては、埋め込み強度を強くして妨害耐性を強くする。識別感度が敏感な平坦部においては、画質が劣化しすぎないように埋め込み強度を弱くする。このことにより、平坦部での妨害耐性が弱くなるため、多数決論理を導入することにより、妨害耐性を強化する方式を提案する。

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で視覚特性を利用した適応量子化埋め込み方式、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

ウェーブレット変換は、画像信号を周波数空間上でも取り扱えるため、周波数成分毎の処理が可能であり、

平成14年10月25日受理

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

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

***県立長崎シーボルト大学 (Siebold University of Nagasaki)

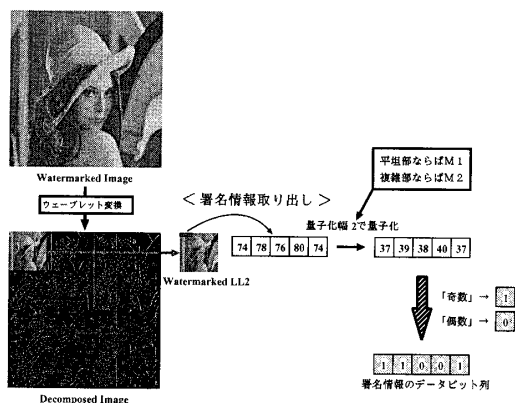


図 3: 視覚特性を利用した LL_2 帯域成分からの透かし情報の取り出し

3.2 取り出し方式

視覚特性を利用した LL_2 帯域成分からの透かし情報の取り出し方式を図 3 に示す。前述の埋め込み方式と同様に、ウェーブレット変換 ($level2$) によって得られた LL_2 を平坦部ならば $M1$ 、複雑部ならば $M2$ で量子化し、量子化後の値が「奇数」であれば「1」を、量子化後の値が「偶数」であれば「0」を出力する。このビット系列に対して、 4×4 のビット数毎にブロック化し、そのブロック内のビット数のうち、 $\frac{1}{2}$ 以上が「1」であれば、そのブロックに埋め込まれていた透かし情報は「1」と、また、 $\frac{1}{2}$ 以上が「0」であれば、そのブロックに埋め込まれていた透かし情報は「0」と判定する。

4 シミュレーション実験

3 で提案した方式について、シミュレーション実験を行った。実験には、図 4 に示す 3 種類の画像、*Lenna*, *Moon*, *Girl* (256×256 画素) を用いた。ウェーブレット変換の基底関数には Haar ウェーブレット関数を用い、 $level2$ 及び $level3$ での LL 帯域成分、即ち LL_2 及び LL_3 を埋め込み場所とした。埋め込みビット数は、適応量子化のみを用いた方式の場合、ウェーブレット変換の $level$ が 2, 3 のとき、それぞれ 4096[bit], 1024[bit] である。また適応量子化方式に多数決論理を加えた方式の場合は、それぞれ 256[bit], 64[bit] である。また、埋め込みパラメータを表 1 に示す。平坦部と複雑部の判定閾値 T は、視認による予備実験の結果、7 とした。

表 1: 埋め込みパラメータの設定

項目	$level2$	$level3$
平坦部・複雑部判定閾値 T	7	7
$M1$	2~7	2~7
$M2$	7	7

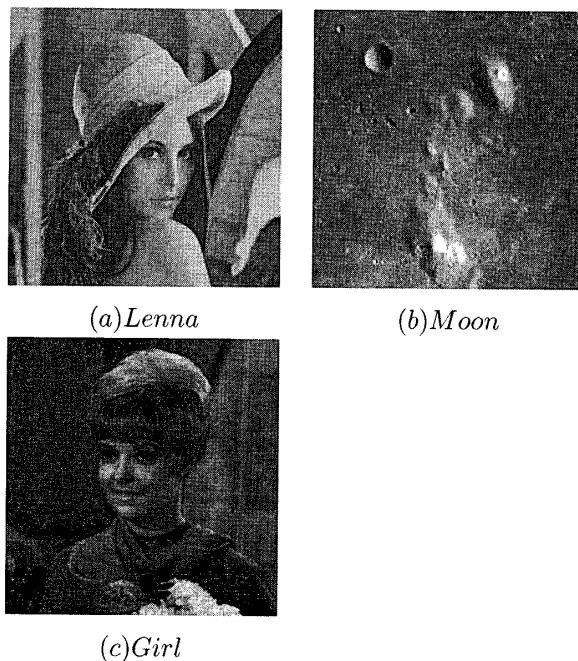


図 4: 原画像

また、本研究では、低周波成分である LL 成分、中でも平坦部に埋め込んだ場合の画品質の改善に焦点を当てることとし、複雑部用埋め込み強度 $M2$ は視認による予備実験の結果、7 に設定した。

4.1 画質の評価

埋め込み画像の品質を調べるため、その SNR を測定した。図 5 に、適応量子化のみの場合に、埋め込み強度 $M1$ を変化させた時の SNR を測定した。埋め込み画像の SNR は埋め込み強度 $M1$ の値に反比例している。これは、埋め込み強度の値を大きくすると、透かし情報の埋め込み後に逆量子化したときの量子化誤差が大きくなり、それが画品質に影響しているからである。また、これに多数決論理を加えた埋め込み方式の場合にも、SNR は当然のことではあるが、同様の

結果が得られた。

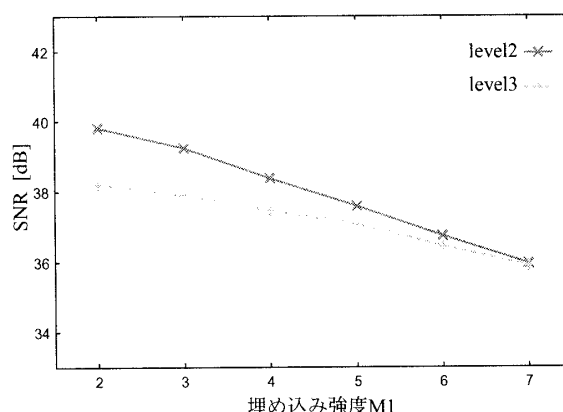
図 6 に、テスト画像の代表として、埋め込み画像 (*Lenna*) を示す。埋め込み強度 $M1$ の値を 5, 6 と上げていくにつれ、画像に劣化が検知されることがわかる。画像の劣化が目立つ場所は主に画像の平坦部もしくは滑らかな変化の部分である。例えば、*Lenna* の画像において埋め込み強度が高くなると、背景の壁の部分や頬の部分、もしくは肩の部分に劣化が生じた。一方、*Lenna* の帽子の装飾の部分等では画像の劣化が検知されなかった。これは人間の視覚特性として画像の複雑部の変化には鈍感であるという特性によるものである。

Girl、*Moon* においても同様な結果が観測された。また *Moon* の画像においては小さいクレーターが無数に点在しており、全体的に複雑な画像なので視覚的な画像の劣化は *Lenna*、*Girl* の画像に比べて検知されなかった。

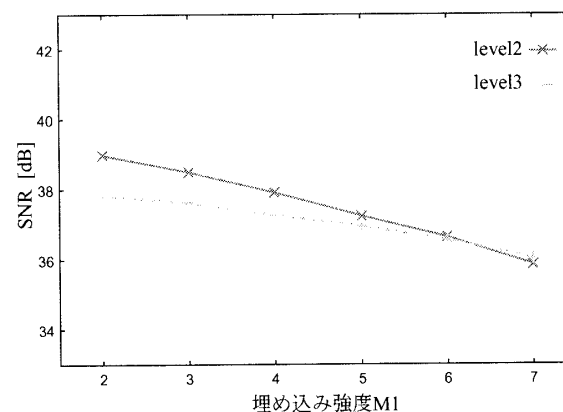
level2 と *level3* の間で、パラメータに関係なく SNR の値が近い埋め込み画像同士の画質を比較すると、各種類の画像とも *level3* の方が視覚的な画質は良好であった。画品質の劣化は周囲の階調値と違う小さなブロック雑音として見える。これは、例えば *level2* の *LL* 帯域成分の係数 1 つは原画像の 4×4 画素分のブロックの平均値であり、この係数値における量子化誤差が大きくなれば対応するブロック内の画素値を大きく変えてしまうのでブロックのように見えるからである。*level3* になると 8×8 画素分のブロックの大きさで劣化が現れる。このブロックの大きさの違いが視覚的な劣化の検知の違いを生じさせたことがわかった。

4.2 JPEG 圧縮に対する耐性評価

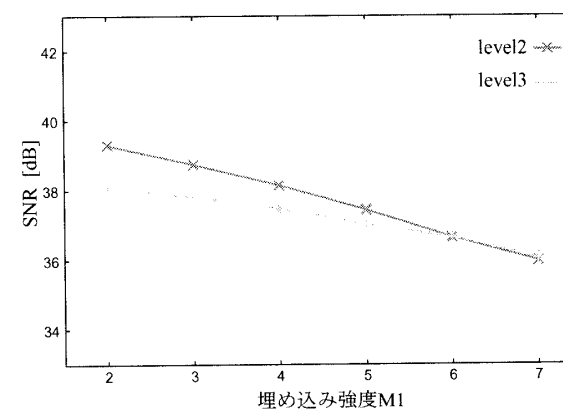
画像は非常にデータ量が膨大で、通常は記録や伝送のために圧縮する必要がある。JPEG は、静止画像に対して効率のよい符号化方式として普及している。また JPEG の有用な特質として、圧縮の度合は品質パラメータを調節することによって変えられるということが挙げられる。本実験では、埋め込み画像に対して JPEG 圧縮を施し、透かし情報の取り出し率を測定することにより、どの程度の圧縮まで耐えられるかを評価した。実際の手順として、使用する埋め込み画像それぞれに JPEG の圧縮率を 10% ~ 100% までの範囲で、100%, 90%, 80%, 70%... と 10% 刻みで変化させ



(a) *Lenna*

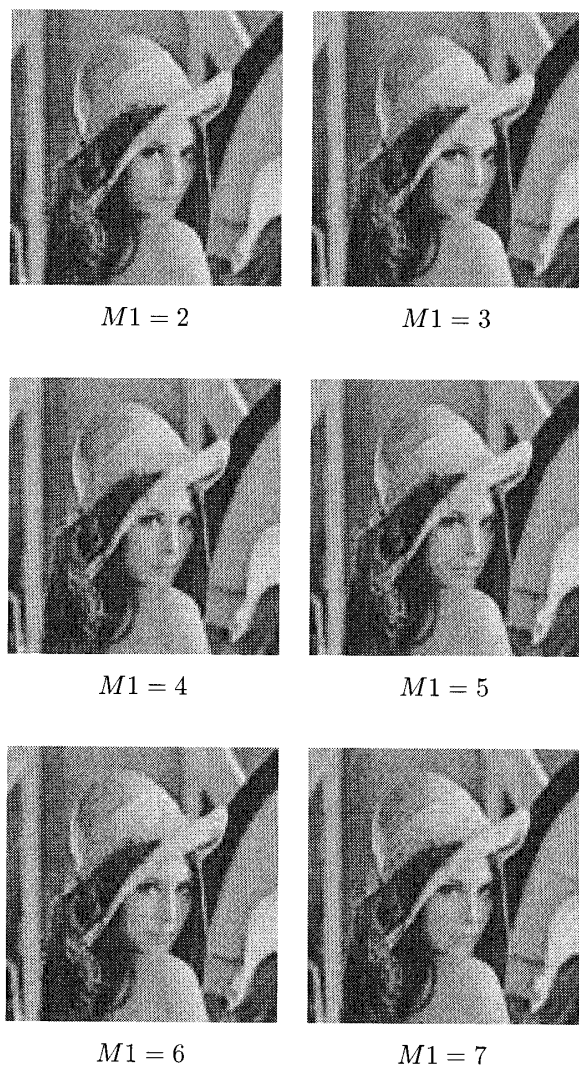


(b) *Moon*



(c) *Girl*

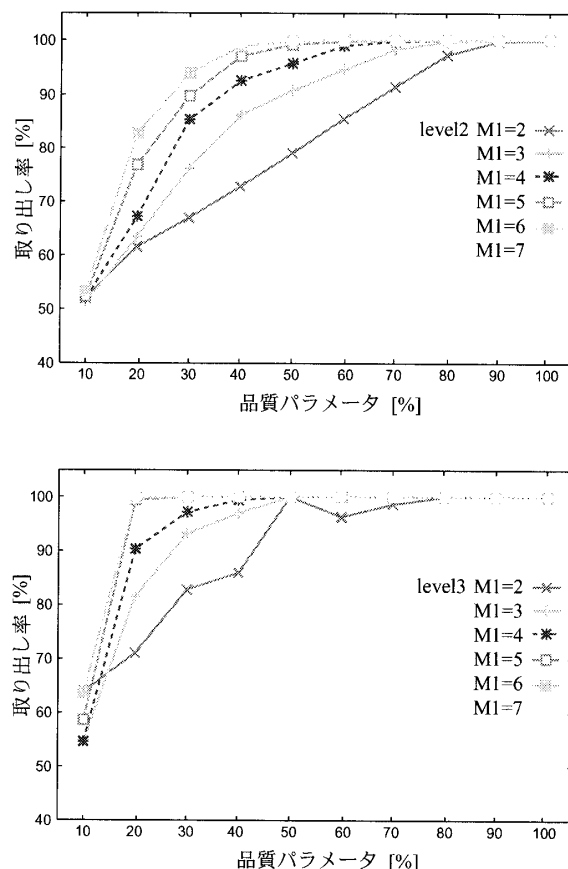
図 5: 適応量子化のみの場合の埋め込み強度 $M1$ と SNR の関係

図 6: 透かし画像 (*Lenna*)

た. 図 7, 8 に JPEG 圧縮に対する耐性実験の結果を示す.

品質パラメータの値を下げる (圧縮を強くする) と透かし情報の取り出し率が低下する傾向にあることが分かる. ウェーブレット変換 *level* が 2 よりも 3 の方が取り出し率が向上している傾向が見られた. これは *level* 数が大きくなると, より低周波領域に透かし情報を埋め込むことになるので, 圧縮による情報削減にも耐え, 透かし情報が消えずに残るためであると考えられる.

また, 適応量子化のみの場合と多数決論理を加えた場合とを比較をすると, 適応量子化のみの場合の透かし情報の取り出し率は品質パラメータの値が 70% では

図 7: 適応量子化のみの埋め込み画像に対する JPEG 圧縮と取り出し率の関係 (*Lenna*)

level2, 3とも100%であり, 40%でも*level2*で約90%, *level3*では100%と高い確率で透かし情報を取り出せた. 最も圧縮されている10%では*level2*, 3とも50~60%に留まった. しかし, 多数決論理を加えた方式では, 埋め込み強度 $M1$ が 2 の場合を除けば, *level2*, 3共に40%まで良好に透かし情報を取り出すことができた. 具体的には, LL_2 の場合, 平坦部への埋め込み強度 $M1 = 4$ で, JPEG 圧縮の品質パラメータ 20% の時の取り出し率 88%, LL_3 の場合, 同じく $M1 = 4$ で取り出し率 95% を得た.

また *Moon, Girl* の画像ともに *Lenna* の場合とほぼ同様な結果が得られた.

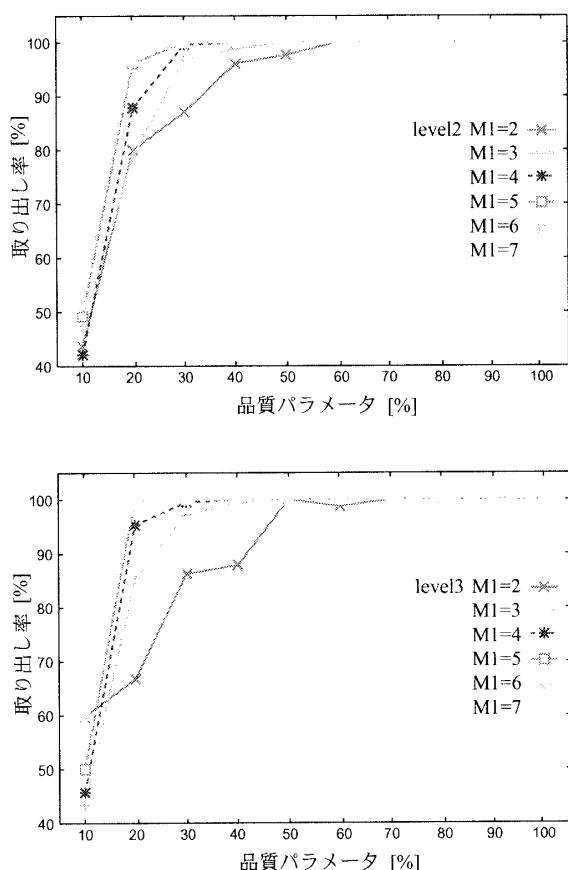


図 8: 多数決論理を加えた埋め込み画像に対する JPEG 圧縮と取り出しの関係 (*Lenna*)

5 まとめ

電子透かしでは、妨害耐性が強いことが重要であるとの観点から、ウェーブレット変換の低周波成分 LL に透かし情報を埋め込む方式をとりあげ、この場合の画品質を改善する方法として、視覚特性を用いた適応量子化埋め込み方式と、さらに妨害耐性強化のために多数決論理を加えた方式を提案した。この提案方式についてシミュレーション実験を行なった。256 ビットの透かし情報量を埋め込み可能な LL_2 の場合、平坦部への埋め込み強度 $M_1 = 4$ で、*JPEG* 圧縮の品質パラメータ 20% の時の取り出し率 88%、64 ビット埋め込み可能な LL_3 の場合、同じく $M_1 = 4$ で取り出し率 95% を得た。なお、この場合の埋め込み画像の SNR はそれぞれ約 37.5dB と、約 38.5dB である。

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)