

J-44 ウェーブレット変換を用いた画像の電子透かし方式の提案 Proposal on the Digital Image Watermarking with Wavelet Transform

小川 裕一†
Yuichi Ogawa

尾川 浩一†
Koichi Ogawa

1. はじめに

デジタル画像に対する電子透かし方式として、これまでに離散コサイン変換を用いたもの [1] や、ウェーブレット変換を用いたもの [2] などが提案されている。本研究では、[2] における電子透かしの埋め込み量の上限を任意に変更できるようにしたことで、画質を保ったまま埋め込み量を増大することができた。

2. 電子透かしの埋め込み

提案する方式は、電子透かしをウェーブレット変換後の係数に埋め込んでいる。埋め込みに用いられるパラメータは、埋め込みの強度 m と、埋め込み量 $B[\text{bit}]$ である。また、ここでは埋め込まれる電子透かしの2値数列 $W(k), (k = 1, \dots, B)$ とする。

はじめに電子透かしの埋め込むサブバンドを選択する。人間の視覚システムは、高周波成分よりも低周波成分のノイズにより敏感である。また、同じ理由で、不可逆圧縮の量子化操作では高周波成分の量子化を粗くすることが行われる。よって、サブバンドセット LL と HH を除外し、残るサブバンドセット HL と LH からサブバンドを1つ選択する。

次に、埋め込まれる係数を決定するために、閾値 T_1 と T_2 を設定する。ここで T_1 は m と等しく、 T_2 は T_1 に位置する係数より B 番目に大きい係数の絶対値である。図1は、係数のヒストグラムと閾値の関係を示したものである。閾値 T_1 と T_2 の領域は、変更される係数を表しており、その数は B 個である。

最後に、 $T_1 \leq C_k \leq T_2$ であるような係数 $C_k, (k = 1, \dots, B)$ に対して変更を行う。変更された係数 C'_k の絶対値 A_C は、次のようになる。

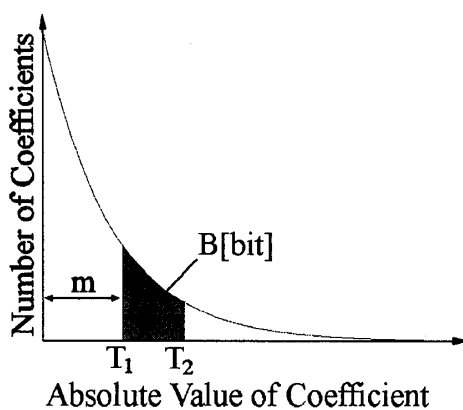


図1: 係数のヒストグラムと閾値

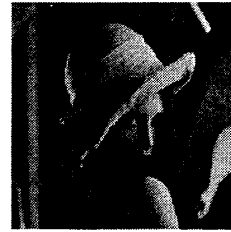


図2: 原画像:Lena

$$A_C = \begin{cases} T + m & \text{if } W(k) = 1 \text{ and } |C_k| < (T + m) \\ T - m & \text{if } W(k) = 0 \text{ and } |C_k| \geq (T - m) \\ |C_k| & \text{otherwise} \end{cases}$$

ここで、 $T = (T_1 + T_2)/2$ である。

C'_k の符号は、元の係数 C_k の符号と同じである。つまり、実際の C'_k は

$$C'_k = \begin{cases} A_C & C_k \geq 0 \\ -A_C & C_k < 0 \end{cases}$$

である。

3. 電子透かしの抽出

電子透かしの抽出には、変更された係数の位置と閾値 T_1, T_2 が必要である。変更された係数の値に応じて次のように電子透かしの値 $W'(k)$ を決定する。

$$W'(K) = \begin{cases} 0 & \text{if } |C'_k| \leq T \\ 1 & \text{if } |C'_k| > T \end{cases}$$

4. 実験

提案する電子透かし方式に対する2種類の実験、すなわち、電子透かしの埋め込みに伴う画質の影響と、JPEG圧縮に対する耐性を調べた。この実験で用いたテスト画像は、図2のLena(サイズ256×256、256階調)である。埋め込んだ電子透かしは、ランダムに生成された2値数列であり、また、ウェーブレット変換には、Daubechiesのものを用いた。

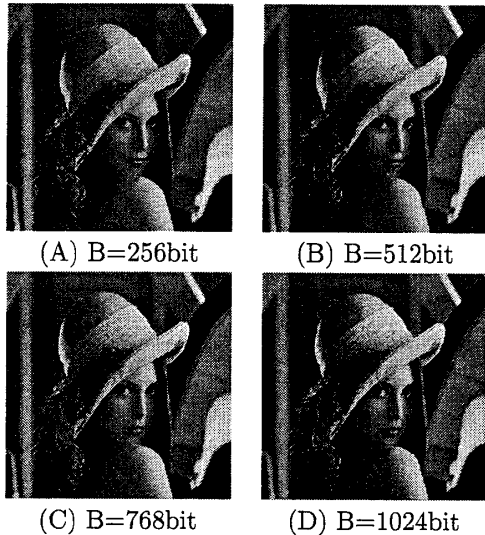
4.1 埋め込みに伴う画質の変化

電子透かしを埋め込んだことによる画質の影響を調べた。表1は、埋め込みサブバンドをHL2としたときの、埋め込み強度 m と埋め込み量 B による画質の変化を示したものである。画質の評価には、PSNR(peak-to-peak signal-to-noise ratio)を用いている。どの場合でもPSNRが40dBを超えており画質の劣化が少ない。また、図3には、サブバンドHL2に強度 $m = 12$ で電子透かしの埋め込んだ画像を示している。この図から、視覚的な画質の劣化はほとんど見られない

†法政大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, Hosei University

表 1: 埋め込み強度 m と埋め込み量 B による画質 (PSNR[dB]) の変化

m	B=256bit	B=512bit	B=768bit	B=1024bit
10	51.95	48.76	46.87	44.79
12	50.52	47.33	45.36	43.27
14	49.05	46.11	43.81	41.74
16	48.01	44.90	42.69	40.51

図 3: 強度 $m=12$, サブバンド HL2 を使用して電子透かしを入れた画像

4.2 JPEG 圧縮耐性

提案する方式の JPEG 圧縮耐性を調べた。表 2 は、 $m = 12$ でサブバンド HL2 に電子透かしを埋め込んだ場合の抽出誤り数と抽出誤り率を示したものである。ここで抽出誤り数とは、抽出された電子透かしの数列の値が元の電子透かしのものと異なっている数で、抽出誤り率とは、全電子透かし量に対する抽出誤り数の割合である。Quality が 40 以上なら、抽出誤り率が 10% 以下となっており、十分な耐性を持つといえる。ここで、Quality とは JPEG 圧縮された画像の画質を決定付けるパラメータである。このとき、電子透かしの埋め込まれた画像の PSNR は、43~50[dB] であり、視覚的な画質の劣化もほとんど見ることができない。図 4 は、電子透かしの埋め込みの後に、Quality=30 で JPEG 圧縮された画像を示している。

次に、埋め込み強度 m と JPEG 圧縮耐性との関係を調べた。表 3 に、Quality=50 で JPEG 圧縮されたときの、 m と電子透かしの抽出誤り数および抽出誤り率との関係を示した。 $m \geq 10$ のとき、誤り率 6% 以下となり、 m は 10 以上なければならない。ただし、 m が大きくなると画像の劣化が大きくなるので、 $m = 14$ 程度に抑える必要がある。

表 2: JPEG 圧縮による抽出誤り数 (誤り率 [%])— $m = 12$, サブバンド HL2

Quality	B=256bit	B=512bit	B=768bit	B=1024bit
75	0(0)	1(0.2)	0(0)	0(0)
50	10(3.9)	23(4.5)	28(3.6)	47(4.6)
40	19(7.4)	37(7.2)	57(7.4)	92(9.0)
30	32(12.1)	73(14.3)	109(14.2)	177(17.3)

表 3: m に対する JPEG 圧縮の抽出誤り数 (誤り率 [%])—サブバンド HL2

m	B=256bit	B=512bit	B=768bit	B=1024bit
8	36(14.1)	69(13.5)	96(12.5)	145(14.2)
10	12(4.7)	26(5.1)	47(6.1)	70(6.8)
12	10(3.9)	23(4.5)	28(3.6)	47(4.6)
14	3(1.2)	8(1.6)	19(2.5)	19(1.9)

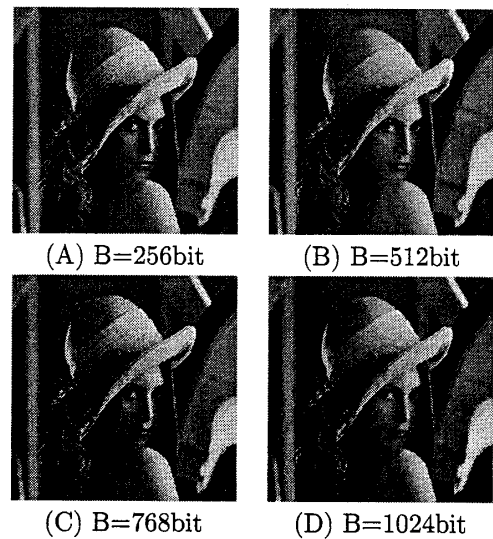


図 4: Quality=30 によって JPEG 圧縮された画像

5. まとめ

本研究で提案する電子透かし方式は、ウェーブレット変換を用いている。この方法の特徴として、電子透かしの埋め込み量を任意に決定でき、電子透かしの抽出のときに、原画像を参照する必要がないことが挙げられる。実験より、画質を劣化を伴わずに多くの量の電子透かしを埋め込むことができ、JPEG 圧縮に対する耐性を持っていることが明らかとなった。

参考文献

- [1] C. Hsu and J. Wu, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.8, No.1, pp.58-68, 1999.
- [2] H. Inoue, et. al, *IEICE Transactions Fundamenrals*, vol.E82-A, No.1, pp.2-10, 1999.