

誤差拡散法による低階調画像への透かし画像の埋め込み

古田 昌史^{*} 堀内 陽一郎^{*} 棟安 実治^{*}

^{*}関西大学工学部 〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号
E-mail:^{*}muneyasu@ipcku.kansai-u.ac.jp

あらまし 本稿では、誤差拡散法より生成されたハーフトーン画像に対する画素置換を用いた透かし画像の埋め込み法を提案する。まず誤差拡散法を用いた埋め込みの従来手法を紹介し、その手法を用いて透かし画像を埋め込んだときの問題点を指摘し、その問題点の改善策を提案する。最後に、提案手法でのシミュレーション結果を示し、さらにランダムな画素置換による透かしへの攻撃に対する耐性についても検討する。この結果から、攻撃される画素数の増加に比例して透かし画像が劣化することが分かり、1%程度までの攻撃ならば、ほぼ劣化のない透かし画像を抽出することが可能であることがわかった。

キーワード 電子透かし、ハーフトーン画像、画素置換、誤差拡散法

Embedding of Watermark Images to the Halftone Image by the Error Diffusion Method

Masafumi FURUTA^{*}, Yoichiro HORIUCHI^{*}, Mitsuji MUNEYASU^{*}

Faculty of Engineering, Kansai University 3-3-35 Yamate-cho, Suita, 564-8680 Japan

E-mail:^{*}muneyasu@ipcku.kansai-u.ac.jp

Abstract This paper proposes data embedding technique into a half-tone image based on error diffusion methods and replacement of pixels. The proposed algorithm can embed more number of data compared to the ordinary method. The good image quality is given by the use of error diffusion methods, repeatedly. For the attack in which the pixels replace randomly, no striking deterioration of embedding images is observed until the probability of replacement becomes about 1%.

Keywords digital watermarking, half-tone image, pixel substitution type, error diffusion method

1. まえがき

近年、デジタル技術の発展とインターネットの普及によりデジタル画像を含むマルチメディアコンテンツが容易にかつ品質を劣化させることなく取り扱えるようになってきた。そのため、デジタルコンテンツ等の保護を目的として、画像に著作権情報等を埋め込む技術として電子透かしの技術が注目されている[1]。

データを埋め込む手法として、直接画像の輝度値に変化を与え、データを埋め込む画素置換型、画像を一度周波数領域に変換してからデータを埋め込む周波数領域利用型などの手法が提案されている。特徴として、前者は透かしを抽出するのに要する時間が短く、後者はノイズに対する耐性を持つ。

一方、流通する画像としては多階調画像ばかりでなく、階調数の少ないデバイスに出力することを想定したハーフトーン画像もある。このような画像を生成するハーフトーニング手法には組織的ディザ法、誤差拡散法[2]、[3]、[4]、平均濃度近似法[3]などが提案されている。その中でも、誤差拡散法は階調表現能力に

優れた方法として知られている。

本稿では、このようなハーフトーン画像に対する画素置換を用いた透かし画像の一埋め込み手法について提案する。従来の同様の手法では、画像の組み合わせによっては透かし画像をすべて埋め込めないという問題点があった。この問題を解決するために、一旦誤差拡散法で処理した画像と乱数で生成した埋め込み候補位置を用いて、あるルールを満たした位置に透かし画像の画素値を埋め込む手法を用いた。さらに、再度誤差拡散法を適用し画質の向上を図った。シミュレーション結果によれば、良好な結果が得られている。

2. ハーフトーニング手法

ハーフトーン処理とは、限定された階調数で、より多くの階調を擬似的に表現する手法である。例えば、白と黒の2階調しか表現できないデバイスに、様々な階調値の灰色を表現したい場合は、元の画像の階調に応じて一定の規則の下に、白と黒の画素の出現頻度を調整することによって、白と黒の面積比により擬似的に中間調を表現する。

2.1 誤差拡散法

誤差拡散法 [2], [3], [4] は, 量子化誤差を高域に変調することによって, 人間の目に感知しにくくし, 高画質のハーフトーン画像を得る手法である.

図 1 にそのブロック図を示す. サイズ $M \times N$ 画素の入力画像があるとし, 処理点 (m, n) の画素値を $x_{m,n}$ と表す. 入力 $x_{m,n}$ は一般にラスタ走査で処理される. 誤差拡散法を次式によって表される.

$$x'_{m,n} = x_{m,n} + \sum_{(i,j) \in F} h_{i,j} e_{m-i,n-j} \quad (1)$$

$$y_{m,n} = Q(x'_{m,n}) \quad (2)$$

$$e_{m-i,n-j} = x'_{m-i,n-j} - y_{m-i,n-j} \quad (3)$$

ここで F は誤差拡散フィルタのマスクが覆う領域であり, $h_{i,j}$ はそのフィルタ係数である. また $Q(\cdot)$ は量子化器を表す.

誤差拡散フィルタとして, Floyd や Jarvis らが提案したフィルタがよく用いられる. 本稿では図 2 に示す Jarvis のフィルタを用いる. そのマスクの領域は

$$F = \{(0, j) | 1 \leq j \leq 2\} \cup \{(i, j) | 1 \leq i \leq 2, -2 \leq j \leq 2\} \quad (4)$$

と表される.

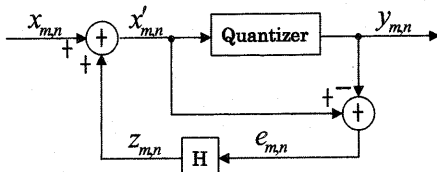


図 1 誤差拡散法のブロック図

$$\times \frac{1}{48}$$

			$h_{0,1}=7$	$h_{0,2}=5$
$h_{1,-2}=3$	$h_{1,-1}=5$	$h_{1,0}=7$	$h_{1,1}=5$	$h_{1,2}=3$
$h_{2,-2}=1$	$h_{2,-1}=3$	$h_{2,0}=5$	$h_{2,1}=3$	$h_{2,2}=1$

図 2 Jarvis の誤差拡散フィルタ

$e_{m,n}$ は量子化誤差を表している. 誤差拡散法では, この誤差をまだ量子化されていない画素に拡散する. $y_{m,n}$ は出力画像の画素値であり, $x'_{m,n}$ を量子化した値になっている. 量子化器は, ダイナミックレンジが $[0, 1-1]$, 与えられたカラーマップが $c = \{c_1 \dots c_l\}$ の時,

$$Q(x'_{m,n}) = c_{\min} \quad (5)$$

となるように働く. ただし, $c_{\min}$ は次式の $D(k)$ を最小とするカラーマップとして選択される. つまり,

$$D(k) = |c_k - x'_{m,n}| \quad (6)$$

である.

誤差拡散法の特徴として, 量子化誤差を高域に変調しているので比較的誤差が目立たず, 高画質の画像がえられるという点が挙げられる.

3 透かし画像のハーフトーン画像への埋め込み

3.1 従来手法 [4]

萩原らによって提案された 2 値化誤差拡散法で閾値処理と埋め込み処理を同時に行うことで, 処理速度の向上を図った従来法のアルゴリズム [4] について述べる. この手法によれば, 情報の埋め込みによる画質の劣化をある程度補正することが可能である.

まず, 画像全体の中で情報を埋め込む画素位置の決定を行う. 次に, 画像の左上を起点として最左端の画素から最右端の画素への処理を, 上の行から下の行までラスタ走査で処理を行う. 順次, 誤差拡散法を用いて 2 値化を行うが, 情報の埋め込む位置が目目画素になった場合, $y_{m,n}$ の値は以下のように決定する.

埋め込みたいデータから 1 ビットの情報 b を取り出し, これに従って

$$y_{m,n} = \begin{cases} R, & \text{if } b = 1 \\ 0, & \text{if } b = 0 \end{cases} \quad (7)$$

のように (あるいは逆の値) 決定する. 情報を埋め込まない画素については通常の誤差拡散法を用いて処理を行う. ただし, 埋め込む位置の近傍が均一な白, あるいは黒の領域である場合は, 埋め込みによって不自然な孤立点が発生するため, この場合には埋め込みを行わずにその埋め込み予定位置の画素は, 通常の誤差拡散処理を行う.

情報の取り出しは, 埋め込まれた位置の画素値を調べることで容易に取り出せる. ただし, 上で述べた近傍がすべて同色であった場合は, 取り出し処理をせずにスキップをする. したがって, この手法では埋め込んだ位置の情報を画像とは別に保持しなければならず, これを暗号の鍵とすることが可能である.

この手法の手順を以下にまとめる.

1. 原画像を処理する走査方法をラスタ走査に選び, 処理の初期位置を画像の左上と決定する.
2. 埋め込み位置の決定を行う.
3. 画像の最後であれば処理を終了する.
4. 式 (1) により誤差拡散の状態変数を計算する.
5. 埋め込み位置の画素値の処理は式 (7) を用いて行う. ただし, 周り 4 近傍が同色ならば処理をスキップし, 次の画素に移動しステップ 3 に戻る.
6. 埋め込み位置以外の画素ならば通常の誤差拡散で

状態変数を量子化し、次の画素に移動しステップ 3 に戻る。

以上のアルゴリズムによって埋め込み処理を行えば、埋め込み処理を行わない画像とほぼ同品質の画像が得られる。しかし、画像の組み合わせによっては、用意しておいた透かしをすべて埋め込むことができないという欠点がある。

3.2 提案手法

3.1 で述べたように、画像によって透かしをすべて埋め込むことができないという従来法の問題点を改善した埋め込み手法を本節では考える。ここでは、埋め込み処理後、再度誤差拡散法を適用することを前提とする。

まず、誤差拡散処理を行った原画像と、同じカラーマップで多値化処理を行った透かし画像を用意する。

以後、誤差拡散処理された原画像を処理後画像と呼ぶ。

次に、原画像に対し透かし画像の画素数分の埋め込み位置を、乱数を用いて決定する。画像の左上を起点としたラスタ走査順の埋め込み位置にそのまま透かし画像の画素値を埋め込むと、画質が劣化する場合がある。これをさけるために次の条件を用いて埋め込む。

1. 処理後画像埋め込み位置の画素値 = 透かし画像の画素値
2. 処理後画像埋め込み位置の左隣の画素値 = 透かし画像の画素値
3. 処理後画像埋め込み位置の右隣の画素値 = 透かし画像の画素値
4. 処理後画像埋め込み位置の真上の画素値 = 透かし画像の画素値
5. 処理後画像埋め込み位置の真下の画素値 = 透かし画像の画素値
6. 処理後画像埋め込み位置の左右の画素値の平均値 = 透かし画像の画素値
7. 処理後画像埋め込み位置の右隣の画素値 - 透かし画像の画素値 = 最小のカラーマップ
8. 処理後画像埋め込み位置の左隣の画素値 - 透かし画像の画素値 = 最小のカラーマップ

以上 8 個の条件文を用いて、原画像に透かし画像を埋め込む。そして、埋め込まれた原画像を再度誤差拡散処理し埋め込み画像を生成する。ハーフトーン画像の生成後、透かし画像と埋め込み位置、それぞれの対応関係を保存する。以上をもって埋め込み処理とする。

抽出処理では、埋め込み処理手順で保存しておいた埋め込み位置より透かし画像の画素値を抽出する。そして、抽出された画素値を、保存しておいた埋め込み位置と透かし画像の対応関係に基づいて並び替えて透かし画像を復元する。

4. シミュレーション

4.1 透かし画像入り画像

本章では、実際に提案手法によって透かし画像を埋め込んだ画像の例を示す。ここでは 2 値の場合を示す。用いる透かし画像によって画像の劣化に違いが出てくることが考えられるので、同じ画像に数種類の透かし画像を埋め込んで実験している。このシミュレーションでは原画像として 512×512 画素 (階調数 256) の画像を、透かし画像として 64×64 画素 (階調数 256) の画像を用いている。図 3 に原画像 "pepper", 図 4 に透かし画像 "mandrill" の例を示す。この他に "Zelda", "Barbara", "Lena" の 3 種類の画像を用いた。

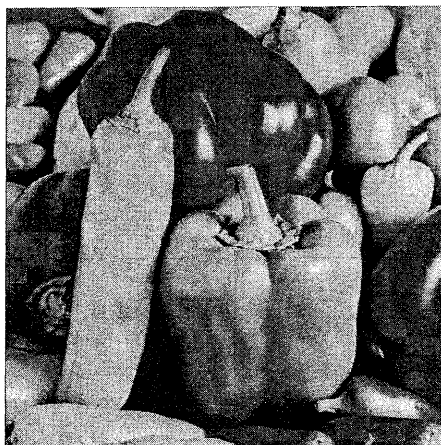


図 3 画像 pepper

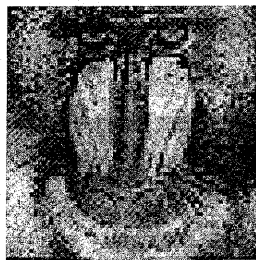


図 4 画像 mandrill

次に、提案手法により図 3 に図 4 を埋め込んだ埋め込み済み画像を図 5 に示す。

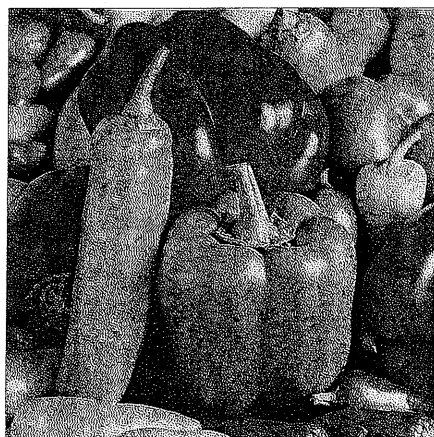


図 5 埋め込み処理を行った画像

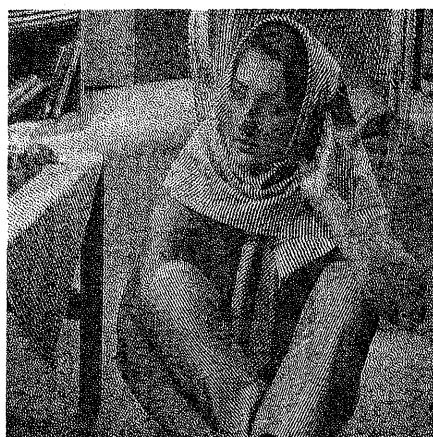


図 7 25%の結果

4.2 透かしの耐性

透かし画像の埋め込み位置が分かってしまった場合について、透かし画像に直接攻撃を受けたときどの程度原画像が変化するかについて考える。そこで、任意に透かし画像の画素値を変えて埋め込み画像の変化を調べた。これは、最悪の場合を想定している。埋め込み画像は Barbara、透かし画像は lena を用いて、透かし画像の 5%、25%、75% の画素値に変化を与えた 2 値画像を図 6 から図 8 に示す。

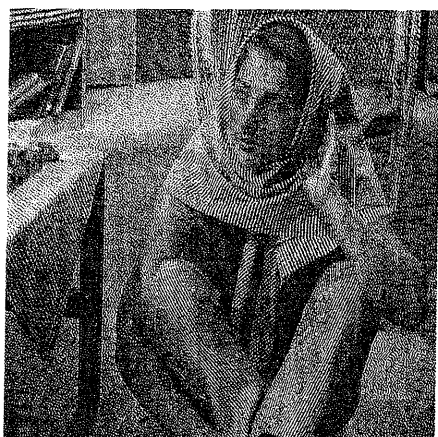


図 6 5%の結果

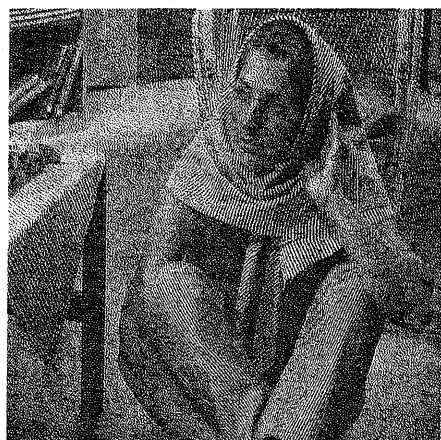


図 8 75%の結果

次に、透かし画像が埋め込まれていることは分かるが、どこに埋め込まれているかが分からない場合について考える。この場合、埋め込み画像の画素値をランダムに変化させるような攻撃が行われると仮定して、埋め込み画像の変化とどの程度透かし画像が正確に抽出できるかを考える。

ランダムに埋め込み画像の画素値を変えて、10 回のシミュレーションを行った。まず、透かし画像の抽出結果については 10 回の透かし画像の変化した画素数の平均を求め、透かし画像の画素変化率と 10 回の平均 mse 値を求めた結果を 2 値の場合について表 1 にまとめた。2 値の透かし画像を図 9 に示し、全画素に対して 0.5%、1.0%、25% の画素が攻撃を受けた 2 値画像をそれぞれ図 10 から図 15 に示す。

表 1 10 回平均の結果

原画像の変化 (%)	変化画素数	画素変化率 (%)	透かし画像の mse
0.1	4.5 画素	0.11	71.8
0.25	9.5 画素	0.23	150.8
0.5	21.5 画素	0.52	340.5
0.75	32.2 画素	0.79	509.8
1.0	38.5 画素	0.94	608.8
5.0	195.7 画素	4.78	3432.6
10	415.3 画素	10.13	6566.9
25	1025.9 画素	25.04	16221.0



図 9 2 値透かし画像 (lena)



図 10 0.5%変化後の埋め込み画像



図 11 0.5%変化画像の埋め込み画像



図 12 1.0%変化後の埋め込み画像



図 13 1.0%変化画像からの抽出画像



図 14 25%変化後の埋め込み画像



図 15 25%変化画像からの抽出画像

4.3 考察

提案手法で生成した2値画像は、埋め込みを行わずに誤差拡散で処理した画像とmse値で比較すると 1.8×10^4 から 2.6×10^4 という大きな誤差をとることが分かった。しかし2値の場合、すべての画像の組み合わせで画質の差を視覚的にはほとんど感じられない。この理由として、画像の変化が著しい領域では、一部の白黒の反転のみではほとんど画像の視覚的变化が感じられないことが挙げられる。よって、mseのような数値上では大きな誤差をとるかもしれないが、視覚上では画像の劣化は感じられないといえる。

4.2の結果から、2値の透かし画像の画素値に変化を与えると、画像の劣化を感じられないことが分かった。これは、埋め込み画素数が原画像の約2%ほどの画素数しかないために劣化が目立たないと考えられる。

また、透かしが埋め込まれている位置が分からずに攻撃を受けた結果から、ランダムに埋め込み画像の画素数の0.1%ぐらい攻撃をうけた場合ではあまり透かし画像も影響を受けないことが分かった。攻撃する画素数を増やすにつれて透かし画像も比例して劣化する。結果として1%程度までの攻撃ならば、ほぼ100%に近い透かし画像を抽出することができたが、それ以上になると埋め込み画像の劣化は目立ち、透かし画像も抽出が不可能になることが分かった。

5. まとめ

本稿では、誤差拡散法を用いたハーフトーン画像への埋め込み手法を提案した。従来手法における、画像によっては透かしをすべて埋め込めないという問題点に対して、提案手法では、埋め込み時に条件を課すことで多くのビットを埋め込めるようにした。また再度誤差拡散法を適用することで、高品質な埋め込みハーフトーン画像を生成することができるようになった。シミュレーションより、提案手法の有効性を確認することができた。透かしの耐性については、透かしが埋め込まれている位置が特定できない場合において、ユ

ーザーはハーフトーン画像を高画質の状態を保つ程度の攻撃しかできないと考えられるので、その程度の攻撃に対しては透かし画像が綺麗に抽出することができると分かった。これにより透かしの耐性についても提案手法の有効性を確認することができた。

以上から、提案手法を用いて透かし画像を埋め込むと、従来の手法より多く埋め込めることができ、画質の差を視覚上あまり感じられないハーフトーン画像を生成することができるといえる。

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] 貴家仁志, “よくわかるデジタル画像処理”, CQ出版社, 1996
- [3] 小出晋也, 荻原 剛志, 金田 悠紀夫, “誤差拡散法および平均濃度近似法を用いた画像深層暗号方式の提案”, テレビジョン学会技術報告, Vol. 20, no. 5, PP. 7-14, 1996
- [4] 荻原剛志, 小出晋也, 金田 悠紀夫, “誤差拡散法を利用した2値画像への情報埋め込み手法”, 電子情報通信学会論文誌, A, Vol. J82-A, no. 10, PP. 1555-1562, 1999