

埋込位置の特定を必要としない JPEG 画像へのデータ埋込法

関 裕介^{†a)} 小林 弘幸^{††b)} 藤吉 正明^{†††c)} 貴家 仁志^{†††d)}

A Data Hiding Method without Specifying Embedded Positions for JPEG Image

Yusuke SEKI^{†a)}, Hiroyuki KOBAYASHI^{††b)}, Masaaki FUJIYOSHI^{†††c)},
and Hitoshi KIYA^{†††d)}

あらまし 本論文では、埋込位置の選択において自由度をもち、また抽出にその位置の知識と参照画像を必要としない、JPEG 画像のためのデータ埋込法を提案する。従来法ではデータを埋め込む変換係数の位置をあらかじめ特定し、抽出の際にはその位置の知識が必要であった。提案法はあらかじめ埋込位置を特定しておくことを必要とせず、その選択において自由度をもっている。したがって、JPEG 符号化が行われる画像やブロックごとに適宜都合の良い埋込位置を選ぶことができる。このことから、提案法では従来法に比べて画質劣化や圧縮効率などの改善が可能となる。また抽出においては埋込位置の知識を必要としないので、ゆえに抽出のための情報管理が容易になる。シミュレーションにより提案法の有用性が確認されている。

キーワード データ埋込, JPEG, 非参照型

1. ま え が き

近年、情報端末の普及に伴い、デジタル画像を取り扱う機会が急激に増している。現在、こういったデジタル画像は圧縮するために符号化されて扱われることが一般的であり、静止画像圧縮では JPEG (Joint Photographic Coding Experts Group) [1] や JPEG 2000 [2]、動画像圧縮では MPEG (Moving Picture Experts Group) [3] といった国際標準が広く使用されている。このようにデジタル符号化画像が増大する中、画像に付随する付加的な情報を、画像と同時に取り扱いたい場面も多くなってきている。例えば、画像を説明する文字情報などを付随させれば、テキストベースでの画像の検索などが可能になり利便性が向上

する [4] ~ [6]。また、伝送前に付加情報を画像に埋め込むことにより、受信側で画質の監視や推定を行ったリ、伝送中に発生する画像への誤りの検出や訂正が可能となる [7] ~ [11]。

本論文で扱うデータ埋込技術と類似する研究として、二次利用制限等を目的として署名情報を埋め込む、電子透かし技術がある。署名の埋込においては第三者により再圧縮等の意図的攻撃が想定されるため、電子透かし技術ではこういった攻撃に対する耐性を考慮する必要がある。また一般に、電子透かし技術では非可逆な画像圧縮を攻撃と考えている。一方、本論文で扱う方法は埋込時にのみ画像圧縮を行うことを前提としており、また、非可逆圧縮のもとでも埋め込まれた情報が完全に取り出せることを目的としている [4] ~ [10]。

このような符号化画像に対する付加情報の埋込を実現する方法として、DCT (Discrete Cosine Transform) 領域や DWT (Discrete Wavelet Transform) 領域といった変換領域におけるデータ埋込技術や電子透かし技術が数多く提案されている。これらの方法には、復号器側で埋め込まれた情報を取り出す際に、原画像を必要とする方法と必要としない方法があり、前者を参照型、後者を非参照型と呼ぶ。本論文で取り扱う非参照型には、手元に原画像がなくとも埋め込まれた情報を取り出せるという利点がある。

非参照型のデータ埋込技術には、JPEG 画像のよ

[†] KDDI 株式会社建設・運用統括本部運用本部, 多摩市
Operations Division, Service Operations Sector, KDDI Corporation, Tama-shi, 206-0032 Japan

^{††} 東京都立工業高等専門学校電気工学科, 東京都
Department of Electrical Engineering, Tokyo Metropolitan College of Technology, 1-10-40 Higashioji, Shinagawa-ku, Tokyo, 140-0011 Japan

^{†††} 首都大学東京システムデザイン学部, 八王子市
Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan University, 1-1 Minamiosawa, Hachioji-shi, 192-0397 Japan

a) E-mail: yusuke@isys.eei.metro-u.ac.jp

b) E-mail: hkob@tokyo-tmct.ac.jp

c) E-mail: fujiyoshi@eei.metro-u.ac.jp

d) E-mail: kiya@eei.metro-u.ac.jp

うな符号化画像に特化し、量子化され整数化された変換係数に対して、整数データを埋め込む方法がある [4], [5], [12], [13]。一方、このような制約はなく、符号化画像に特化しない非参照型のデータ埋込法も提案されている [14], [15]。本論文では、前者のように JPEG 符号化における量子化後の DCT 係数に対して整数データを埋め込む方法を提案する。前者の利点は、量子化後に埋込を行うので、量子化による攻撃を受けない点である。したがって悪意のある攻撃や通信路誤りなどが無い限り、埋込まれた情報を 1 ビットの欠損もなく抽出することが可能である。また抽出時は符号化画像を空間領域まで完全に復号する必要はなく、JPEG 復号処理の途中段階であるエントロピー復号まで行えば埋込まれた情報の抽出が可能である点も挙げられる。

符号化画像に対する非参照型のデータ埋込法は、従来からいくつか研究がなされている [4], [5], [12], [13]。しかしながらこれらの方法では復号器側での抽出の際に、情報が埋め込まれた位置の知識が必要となる。更に、符号化時に埋込位置を画像やブロックごとに変えることは実用上の利便性に欠けるため、一般的にはあらかじめ位置を特定しておき、その位置をすべての画像若しくはブロックに適用する。したがってこの拘束が、自由度の高い埋込を困難にしている。更に、文献 [12], [13] の方法では、特定位置 1 個所につき 1 ビットのみ埋込を前提としており、1 個所に多ビットを埋め込むことはできない。文献 [4], [5] の方法は多ビット埋込に拡張することができるが、 N 値の情報埋込に対して、実際には $n = \lceil \log_2 N \rceil$ ビットが必要となる ($2^n \geq N$)。したがって $2^n - N$ の分だけが冗長となり、必要以上に画像を傷つけることとなる。

本論文では、埋込位置の選択において自由度をもつ、JPEG 画像のための新しい非参照型データ埋込法を提案する。提案法では、符号化器側において変換係数の和を操作することでデータの埋込を行う。一方、復号器側では、抽出の際にデータが埋め込まれた位置の情報は不要であり、 N で量子化後の DCT 係数値の和を割り、その余りを埋め込まれたデータとして取り出す。提案法ではこのような特徴から、あらかじめ特定された位置の係数を変更するというような条件には拘束されず、画像やブロックごとに適宜都合の良い埋込位置を選ぶことができる。また、多ビットの埋込に対応できるだけでなく、 N の値は 2^n に拘束されずに任意の 2 以上の整数値に設定できるので、先に述べたような

冗長がない。

2. JPEG 画像のためのデータ埋込

ここではまず JPEG 符号化の基本方式について説明する。その後、従来研究がなされてきた JPEG 画像に対するデータ埋込法を述べ、その課題を示すことにより、本研究の目的を明確にする。

2.1 JPEG 符号化と変換係数の整数化

まず準備として JPEG 符号化について説明する。図 1 は、JPEG 符号化・復号化のブロック図を示している。JPEG 符号化がなされる画像は、まず 8×8 のブロックに分割される。続いてそれぞれのブロックにおいて、DCT 変換がなされ、量子化テーブルを用いた量子化処理を経て DCT 係数が整数化され、そしてエントロピー符号化が行われる。一般に、画像のスペクトルは低域に偏っているため、高域の DCT 係数は量子化によってゼロ値となることが多い。このような背景から、直流以外の係数 (AC 係数と呼ばれる) は、図 2 に示される順番でエントロピー符号化される。このジグザグスキャンによる AC 係数の最後のゼロ値の集合は符号化されず、ブロックの終了を示す End of block (EOB) という符号に置き換えられ、省略される。このように JPEG 符号化では、量子化はもちろんのこと、低域と高域でのスペクトルの偏りを利用したエントロピー符号化と、高域のゼロ値の集合を省略する EOB が、圧縮に大きく貢献している。

今述べたように JPEG 符号化での変換係数である DCT 係数は、量子化を経て整数化されエントロピー符号化される。したがってこの整数化された係数へ埋込を行う場合、埋込後の値も整数である必要がある。以降、ジグザグスキャン順に並べたときの k 番目の

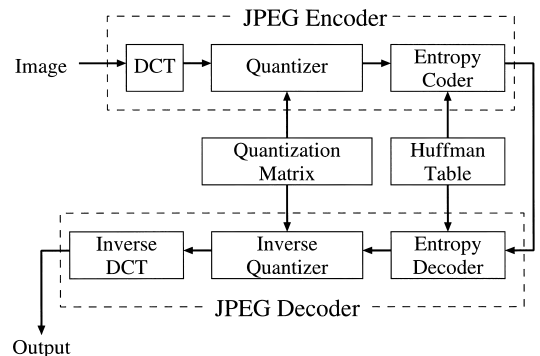


図 1 JPEG 符号化・復号化のブロック図
Fig. 1 Block diagram of JPEG encoder/decoder.

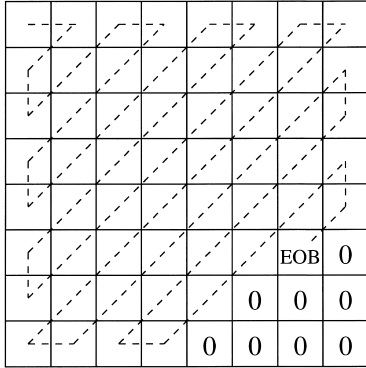


図 2 ジグザグスキャン
Fig. 2 Zigzag scan.

DCT 係数値を a_k , これを量子化テーブルの対応する値で割った値を b_k (ここで, b_k は実数値であることに留意), 更に b_k を四捨五入して整数化した値を c_k として考える. ただし, k は $0 \sim 63$ の値であり, 0 のときは DC 成分, $1 \sim 63$ のときは AC 成分となる.

2.2 JPEG 画像へデータを埋め込むための従来技術

ここでは, 従来法による JPEG 画像に対するデータ埋込技術とその特徴を簡単に説明する. ここで紹介する方法は, すべて DCT 変換領域での埋込法である.

(a) 特定位置の下位ビット置換法 [4]

この方法では, 8×8 の各ブロックに n ビットの情報を埋めるにあたって, まず, 埋込位置である k の値として量子化テーブルに基づき $p_1, p_2, \dots, p_j, \dots, p_{n-1}, p_n$ を定める. 次に, 埋める n ビットの情報の下位から j 番目の 1 ビットを, 特定された c_{p_j} の下位 1 ビットと置き換える. これを j について $1 \sim n$ まで行うことで, n ビットの情報を埋める. 復号器側では, 特定された c_{p_j} の下位 1 ビットを埋め込まれた情報として抽出する. これを j について $1 \sim n$ まで行うことで, n ビットの情報の抽出を行う. 一方, 各埋込位置の上位ビットは埋め込まれた情報ではなく, 画像の情報として残っている. したがって復号の際には埋め込まれた情報を含んだ値をそのまま使って画像を復号する.

この方法の欠点としては, 埋込位置をあらかじめ特定しておく必要があり, また抽出にその埋込位置の知識が必要である点が挙げられる. したがって, 埋込時に埋込位置を適宜変更することが困難となる.

(b) 量子化テーブル変更を伴う最高域係数書き換え法 [5]

この方法では, 最高域係数である c_{63} を埋める情報に書き換えることで埋込を行う. 専用復号器では, c_{63} をそのまま埋め込まれた情報として取り出す. そして復号画像の画質劣化を抑制するために, この c_{63} をゼロに書き換えて画像復号を行う. また汎用復号器での復号時の画質劣化を抑制するために, 符号化時に c_{63} に対応する量子化テーブルの値を “1” に変更しておく. この方法では, 必ずしも k に 63 を選ぶ必要はないが, 文献 [5] では画質劣化を小さく抑えられるという理由から $k = 63$ が選ばれている. しかしながらこの方法では, c_{63} に埋め込むという性質上, ランレングス符号化や EOB 符号による JPEG 圧縮の効率を妨げてしまうという欠点が生じる. したがって, 圧縮後のファイルサイズが増大してしまう結果となる.

3. 提案法

ここでは, 提案法による JPEG 画像への情報の埋込と抽出の方法を説明し, その特徴と実際の適用例を述べる. まず提案法の説明をするにあたって, 8×8 のブロックを M 個もつ JPEG 画像に, 一般に画像とは独立な情報系列 w を埋め込むことを考える. ただし, w は M 個の情報系列要素 w_m からなる. すなわち, $w = \{w_m \mid m = 1, 2, \dots, M\}$ であり, m 番目のブロックに w_m を埋め込む. ここで, w_m は $0 \sim N-1$ の整数値とする. すなわち, JPEG 画像の各ブロックに, N 値の情報を埋め込むことを考える. 例えば $N = 4$ であると, $\log_2 4 = 2$ であり, これは各ブロックに 2 ビットの情報を埋め込むことを意味する. ただし, 提案法では N を必ずしも 2 のべき乗とする必要はなく, 2 以上の任意の整数値にとることができる.

3.1 符号化器での情報埋込法

提案する JPEG 符号化器を図 3 に示す. 以下において, m 番目のブロックに N 値の情報系列要素 w_m を埋め込む手順を詳しく説明する. この手順を全ブロックにわたって繰り返すことにより, 情報系列 w を埋め込むことができる.

まず, 埋込が行われる m 番目のブロックの量子化後の DCT 係数 c_k の和 S を求める.

$$S = \sum_{k=0}^{63} c_k \quad (1)$$

次に式 (2) を用いて, S を N で法をとり, ゼロ以上の余り r を算出する.

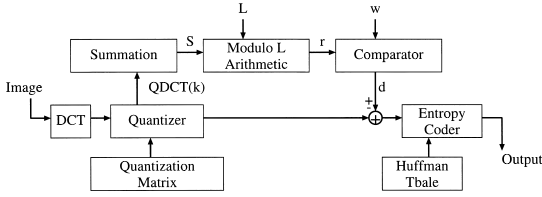


図 3 提案する JPEG 符号化器
Fig. 3 Block diagram of proposed JPEG encoder.

$$r = S - \left\lfloor \frac{S}{N} \right\rfloor N \quad (2)$$

ここで実数 x に対して $\lfloor x \rfloor$ は、 x の負の方向への再近傍の整数値をとることを表す。続いて、ここまでで求めた余り r と情報系列要素 w_m との差 g を求める。

$$g = |w_m - r| \quad (3)$$

ここで、 r は N で巡回することに留意し、もう一つの差 g' を求めておく。

$$g' = N - g \quad (4)$$

最終的に g と g' のうち小さい方を、 d として選択する。

$$d = \min(g, g') \quad (5)$$

以上で前処理としての計算は終わり、次に情報の埋込に移る。提案法では、変換係数の和を N で割ったときの余りを埋め込まれた情報とみなす。つまり、埋込後の変換係数の和 S' を N で割ったときの余りが w_m に一致するように操作すればよい。 S と S' の差は、上で求めた d であるので、次のような計算で S' を得ることができる。

$$\begin{aligned} &\text{if } r > w_m \\ &\quad \text{if } g < g', \quad S' = S - d \\ &\quad \text{else,} \quad S' = S + d \\ &\text{else} \\ &\quad \text{if } g < g', \quad S' = S + d \\ &\quad \text{else,} \quad S' = S - d \end{aligned} \quad (6)$$

ただし、実際に足し引きの操作が行われるのは、和 S を構成する変換係数 c_k に対してである。したがって、1 ブロック内の 64 個の係数のうち、どれを操作してもよい。一つの係数を選んで演算を行ってもよいし、複数の係数にまたがって演算してもよい。すなわち、提

案法は埋込位置の選択において自由度をもっている。また、提案法では式 (5) により、係数の変更量を小さく抑えることができるので、埋込による画質劣化を低減することができる。以後、埋込後の変換係数を c'_k と表すこととする。

3.2 復号器での埋め込まれた情報の抽出法

以下では復号器において、 m 番目のブロックから埋め込まれた情報系列要素 w_m を抽出する手順を述べる。まず受け取った JPEG ビットストリームを JPEG 復号に基づき、エントロピー復号まで行い、ブロック当りの量子化された DCT 係数 c'_k を得る。そして m 番目のブロック内で c'_k の和 S' を求める。

$$S' = \sum_{k=0}^{63} c'_k \quad (7)$$

次に式 (8) を用いて、この S' を N で法をとり、ゼロ以上の余り r' を算出する。

$$r' = S' - \left\lfloor \frac{S'}{N} \right\rfloor N \quad (8)$$

以上の操作により得られた r' を埋め込まれた情報系列要素 w_m として抽出する。

$$w_m = r' \quad (9)$$

以上の処理を全ブロックに行うことにより、埋め込まれた情報系列 w を取り出すことができる。ここまでの手順で埋め込まれた情報の抽出は完了するが、必要であれば引き続き JPEG 復号に基づき、逆量子化を行い、逆 DCT 変換を行うことで、復号画像を得ることができる。

今述べた手順から分かるように、提案法での埋め込まれた情報の抽出には埋込位置の知識を必要としない。また、JPEG 符号化では量子化後の処理は可逆であるため、上で説明した手順により、埋め込まれた情報を復号の際に完全に復元することが可能である。更に、提案法による埋込は単に量子化後の DCT 係数値である c_k を変更するだけであるので、JPEG 画像の標準構造を壊すことはない。したがって、提案法により情報が埋め込まれた JPEG ビットストリームは、汎用の JPEG 復号器での通常の JPEG 復号が可能である。

3.3 提案法の特徴

従来法にはなかった、提案法の最たる特徴は、埋込

位置をあらかじめ特定しておくことを必要とせず、埋込位置の選択において自由度をもっていることである。この特徴は次の点において有利である。

- 復号器側に埋込位置の情報を知らせる必要がない
- 埋込時に都合の良い場所を選んで埋め込むことができる

特に後者は、圧縮の対象となる画像ごとに、若しくは JPEG 符号化の特性を考慮して、埋込位置を適宜都合の良い場所に変えられることを意味している。例えば、圧縮効率が向上するように埋め込む方法や、量子化誤差を考慮して埋め込む方法などが実現される。

また、本論文では JPEG 符号化に対する適用方法を示しているが、JPEG 以外の符号化画像への適用を考える場合には、 c_k をその符号化画像で使われている変換係数に置き換えることで対応が可能である。なお、他の提案法の特徴としては、多ビットの埋込が可能である点や、 N が 2 のべき乗に拘束されずに任意の 2 以上の整数値をとれる点が挙げられる。

3.4 提案法の JPEG 符号化への適用例

ここまでで、提案法が埋込位置の選択において自由度をもつことを述べてきた。これを踏まえた提案法の JPEG 符号化への適用例を、ここで二つ挙げる。

3.4.1 量子化時の丸め誤差を考慮した埋込方法

JPEG 符号化においては、DCT 係数を四捨五入して量子化する際に丸め誤差が発生する。ここで紹介する方法は、この丸め誤差の大きさを考慮して埋込を行う方法である。

ジグザグスキャン順に並べた k 番目の DCT 係数値の量子化による丸め誤差 e_k は次のように与えられる。

$$e_k = c_k - b_k \quad (10)$$

この誤差は四捨五入による誤差であるから、 e_k の範囲は $-0.5 < e_k \leq 0.5$ である。ブロック内すべての係数についてこの誤差を求めた後に、 e_k を降順に並べ換え、並べ換わった順に $k(i)$ を記憶する（ただし、 i は $0 \sim 63$ ）。すなわち、 $k(0)$ は最も正の方向に大きな誤差をもつ位置を格納し、 $k(63)$ はその逆である。そして埋込操作である式 (6) における演算が加算である場合は以下のような処理を行う。

```

i ← 0
while i < d do
   $c_{k(63-i)} \leftarrow c_{k(63-i)} + 1$ 
  i ← i + 1

```

```
end while
```

逆に演算が減算である場合は以下のように行う。

```

i ← 0
while i < d do
   $c_{k(i)} \leftarrow c_{k(i)} - 1$ 
  i ← i + 1
end while

```

すなわちこの方法では、演算が加算である場合には負の方向に大きな誤差をもつ係数から加算を行い、演算が減算である場合には正の方向に大きな誤差をもつ係数から減算を行う。したがって従来法に比べて、全体での量子化誤差と埋込誤差を合わせた誤差を小さく抑えられるので、画質の改善が期待できる。

3.4.2 圧縮効率を考慮した埋込方法

2.1 で述べたように、JPEG 符号化ではランレングス符号化が用いられているため、ジグザグスキャン後にゼロが多く並んでいた方が圧縮効率が向上する。特に末尾の方でゼロが続けば、EOB 符号による圧縮が働きやすくなる。これを踏まえ、ジグザグスキャン後の係数を後ろから追っていき、非ゼロの係数について演算操作を加える方法が考えられる。

この方法では、埋込操作である式 (6) における演算が加算である場合は以下のような処理を行う。

```

k ← 63
i ← 0
while k ≥ 0 do
  while ((i < d) and (ck < 0)) do
     $c_k \leftarrow c_k + 1$ 
    i ← i + 1
  end while
  k ← k - 1
end while

```

また、演算が減算である場合は以下ようになる。

```

k ← 63
i ← 0
while k ≥ 0 do
  while ((i < d) and (ck > 0)) do
     $c_k \leftarrow c_k - 1$ 
    i ← i + 1
  end while
  k ← k - 1
end while

```

この方法は、末尾寄りの非ゼロの係数をゼロに近づける方向に埋込処理を行う方法である。すなわち、埋込

により画像を傷つける代わりに、圧縮効率の向上が期待できる方法である。ただし上記のアルゴリズムでは、非ゼロの係数が少ないときに、 k がゼロまで到達しても i が d まで届かない場合があり、そのときは別の処理が必要となる。後のシミュレーションにおけるこの方法では、別の処理として i が d になるまで直流成分を除いて低域側の係数から 1 ずつ加算、または減算を行っている。

4. シミュレーション

ここでは、2.2(a) で紹介した [4] の方法を従来法 A、2.2(b) で紹介した [5] の方法を従来法 B とし、主に画質とファイルサイズに注目して提案法との比較検討を行う。従来法 A での埋込位置の選択については、 n ビットの埋込に対して、量子化テーブルの値が小さい方から順に n 個を選択し、その位置に対応した c_k に対して 1 ビットずつ埋込を行っている [4]、本シミュレーションでもその方法に則っている。また、従来法 B のシミュレーションでは、埋め込まれた情報を抽出した後 c_{63} の値をゼロに置き換え画像を復号している。

なお提案法は、3.4.1 で紹介した方法を提案法 A、3.4.2 で紹介した方法を提案法 B とする。

シミュレーションにはグレースケール画像の Lena (512 × 512 画素) を用いた。また埋め込む情報については、1 ビットごとに “0” または “1” をランダムに発生させ、これを輝度成分ブロックに埋め込んだ。埋込ビット数は輝度成分 1 ブロック当りに 2 ビットとした。したがって埋込ビット数の総量は 8192 ビットとなる。また、画質を制御するパラメータである Q -factor は、20 ~ 200 の間を 10 刻みで測定を行った。なお、画質の評価基準には PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) を使用した。

4.1 式 (5) による画質劣化の抑制効果

3.1 において、提案法は式 (5) を用いることにより、係数の変更量を小さく抑えられることを示した。ここでは、その結果として現れる画質劣化の抑制効果について示す。

図 4 は提案法 B において、式 (5) を適用した場合の画質と適用しなかった場合の画質を示している。ここで式 (5) を適用しない場合の S' は次のように求めている。

$$\begin{aligned} \text{if } r > w_m, \quad S' &= S - g \\ \text{else,} \quad S' &= S + g \end{aligned} \quad (11)$$

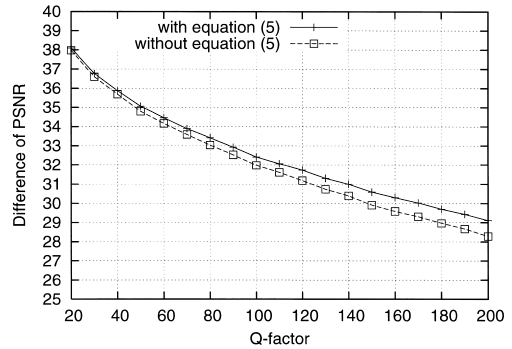


図 4 式 (5) による画質劣化の抑制効果 (埋込情報: 2 bit/Y-block)

Fig. 4 Control of image degradation by Eq. (5) versus Q-factor (Hidden data: 2 bit/Y-block).

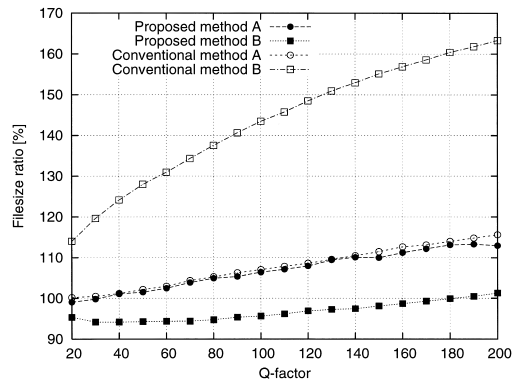


図 5 埋込なしの画像に対するファイルサイズ比 (埋込情報: 2 bit/Y-block)

Fig. 5 JPEG images embedded data to non-embedded JPEG image filesize ratio versus Q-factor (Hidden data: 2 bit/Y-block).

図 4 から、式 (5) を適用した場合の方が画質の面で有利であり、圧縮率の高いところでは 1 dB 弱の差が出ていることが分かる。この格差は、埋込ビット数が増すにつれ広がっていくことを確認している。これは式 (5) を適用しないときの係数変更量の最大値が N であるのに対し、式 (5) を適用した場合はその最大値が $\lfloor N/2 \rfloor$ となり、結果的に誤差の平均値が小さくなることから裏づけられる。したがって埋込量を増やすほど、式 (5) の効果が顕著となる。

4.2 埋込時におけるファイルサイズ評価

ここでは、提案法と従来法それぞれを用いて埋込を行った画像のファイルサイズについて比較検討を行う。図 5 は埋込を行った画像のファイルサイズを埋込なしの画像のファイルサイズで割ったときのパーセン

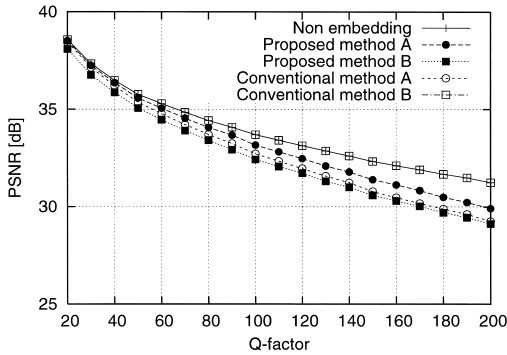


図 6 情報埋込時の画質評価 (埋込情報: 2 bit/Y-block)
Fig. 6 Evaluation of image quality with hiding data (Hidden data: 2 bit/Y-block).

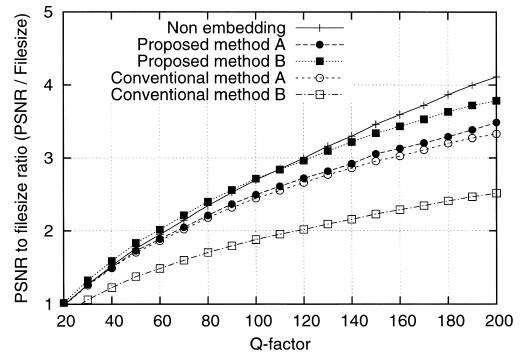


図 7 PSNR 対ファイルサイズ比 (埋込情報: 2 bit/Y-block)
Fig. 7 PSNR to filesize ratio versus Q-factor (Hidden data: 2 bit/Y-block).

ページである。すなわち、100%を下回る場合は、埋込を行った画像のファイルサイズが、埋込なしの画像のファイルサイズよりも小さくなっていることを意味する。

図 5 より、従来法 B ではファイルサイズの増加が顕著であり、 Q -factor を 130 より大きくすると 1.5 倍以上までも膨れ上がっている。一方、提案法では埋込によるファイルサイズの増加が抑えられており、特に提案法 B ではほとんどの Q -factor に対して、付加情報を埋め込んでいるにもかかわらず、埋込なしの画像よりもファイルサイズの低減を達成していることが分かる。

4.3 埋込時における画質評価

ここでは、提案法と従来法それぞれを用いて埋込を行った画像の PSNR を図 6 に示し、画質の面での比較検討を行う。

提案法は従来法 A よりも高い画質を達成しており、提案法の中では画質を考慮した提案法 A が提案法 B よりも上回っている。従来法 B は埋込なしの場合と同程度の画質を維持しており、他の埋込方法より画質が高い。これは、埋込を行わない場合は c_{63} の値はゼロとなることが多いという理由から、従来法 B では専用復号器において埋め込まれた情報を抽出した後に c_{63} の値をゼロに置き換えているためである。しかしながら先のシミュレーションで示したように、従来法 B による埋込ではファイルサイズの増大を招いてしまうので、同じ Q -factor での画質比較は的確ではなく、別の指標が必要となる。このことについては次の節で示す。

4.4 埋込時の 1 kByte 当りの画質への寄与

図 7 は、提案法と従来法それぞれを用いて埋込を

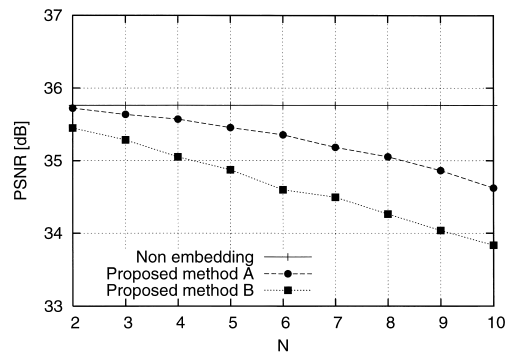


図 8 N を変化させたときの画質 (Q -factor = 50)
Fig. 8 The PSNR of watermarked images versus N (Q -factor = 50).

行った画像の PSNR 対ファイルサイズ比を示している。縦軸である PSNR to filesize ratio は、PSNR [dB] をファイルサイズ [kByte] で割った値である。すなわち、1 kByte 当りの画質への寄与として考えることができる。この指標により、画質とファイルサイズの両方を同時に評価することができる。

図 7 から、従来法 B は効率性が低いことが分かる。また、提案法はどちらも従来法を上回っていることが見てとれる。更に提案法 B では、 Q -factor が 20 ~ 100 の範囲において、埋込なしの場合よりも評価値が上回っている。ここで、提案法により生成された画像は埋込なしの画像よりも 8192 bit の情報が付加されている点に再度注意されたい。

4.5 多値情報埋込時における画質

提案法 A, B を用いて、 N を変化させながら埋込を行った画像の PSNR を図 8 に示す。図 8 では $N = 2 \sim$

10, すなわち, 1 ブロックへ 2 値情報を埋めた場合から 10 値情報を埋めた場合までの結果を示している. 提案法は原理的に任意の N を用いることが可能であるが, N の増加に伴い画質は低下する. 図 8 から $N \leq 10$ であれば実用的であると考えられる.

5. む す び

本論文では, 埋込位置の特定を必要としない, JPEG 画像のための新しい非参照型データ埋込法を提案した. N 値の情報を JPEG 画像の各ブロックに埋め込むにあたり, 提案法では, 変換係数の和を N で割ったときの余りが埋め込む情報と一致するように, 変換係数の操作を行う. このような原理から, 提案法は埋込位置の選択に自由度をもち, 画質や圧縮効率の面で有利な位置を画像ごとに適応的に選んで埋めることが可能となる. 更に, 抽出の際に埋込位置の知識を必要としないため, 抽出器に埋込位置を知らせる煩わしさが解消される. また本論文でのシミュレーション結果により, JPEG 符号化における提案法の有用性が確認された.

本論文では JPEG 符号化を扱ってきたが, 変換係数の和を操作するという提案法の特性上, 他の符号化画像への適用も容易である. 提案法は埋込位置の選択において自由度をもっているため, 画質や圧縮効率をより向上させる選択法の検討が, 今後の課題となる. また, 今回は JPEG 画像のブロック単位で和をとっていたが, この和をとる領域を埋込量に応じて拡大, または分割することで, より効率的な埋込が行えると我々は考えている.

文 献

- [1] Information Technology — Digital Compression and Coding of Continuous-Tone Still Images: Requirements and Guidelines, ISO/IEC 10918-1, 1994.
- [2] JPEG 2000 Image Coding System — Part1: Core Coding System, ISO/IEC 15444-1, 2000.
- [3] Information Technology — Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media at up to about 1.5 Mbit/s — Part 2: Video, ISO/IEC 11172-2, 1993.
- [4] M. Fujiyoshi and H. Kiya, "A data hiding method for indexing JPEG-coded images and theoretical analyses of image-quality," Proc. 2004 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, no.7F3P-49, Matsushima, Japan, July 2004.
- [5] 小林弘幸, 野口祥宏, 貴家仁志, "JPEG 符号化列へのバイナリデータの埋込み法," 信学論 (D-II), vol.J83-D-II, no.6, pp.1469-1476, June 2000.

- [6] 安藤勝俊, 小林弘幸, 貴家仁志, "レイヤ構造を利用した JPEG2000 符号化画像へのバイナリデータ埋込み法," 信学論 (D-II), vol.J85-D-II, no.10, pp.1522-1530, Oct. 2002.
- [7] M. Kurosaki and H. Kiya, "An efficient error correction scheme allowing backward compatibility with JPEG2000 codestream," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E87-A, no.4, pp.816-822, April 2004.
- [8] D.L. Robie and R.M. Mersereau, "Video error correction using steganography," EURASIP Journal on Applied Signal Processing, vol.2002, no.2, pp.164-173, Feb. 2002.
- [9] 岡田浩行, 宋 学燮, 藤田 玄, 尾上孝雄, 白川 功, "電子透かしの MPEG-4 ビットストリームエラー検出への応用," 画電学誌, vol.31, no.5, pp.900-908, Sept. 2002.
- [10] 杉本 修, 川田亮一, 小池 淳, 松本修一, "不可視マーカー信号埋込による自動客観画質評価方式," 信学論 (D-II), vol.J88-D-II, no.6, pp.1012-1023, June 2005.
- [11] 橘 高志, 藤吉正明, 貴家仁志, "放送監視のための非参照型画像電子透かし法," 信学論 (D-II), vol.J86-D-II, no.2, pp.233-241, Feb. 2003.
- [12] 松井甲子雄, 画像深層暗号, pp.139-147, 森北出版, 1993.
- [13] 松井甲子雄, 電子透かしの基礎, pp.57-60, 森北出版, 1998.
- [14] A. Nikolaidis and I. Pitas, "Asymptotically optimal detection for additive watermarking in the DCT and DWT domains," IEEE Trans. Image Process., vol.12, no.5, pp.563-571, May 2003.
- [15] M. Staring, J. Oostveen, and T. Kalker, "Optimal distortion compensation for quantization watermarking," Proc. 2003 IEEE International Conference on Image Processing, no.TP-L3.2, Barcelona, Spain, Sept. 2003.

(平成 17 年 1 月 12 日受付, 4 月 28 日再受付)

関 裕 介 (正員)



2003 都立大・工・電子・情報卒. 2005 同大大学院・工・電気・修士了. 同年, KDDI (株)入社, 現在に至る. 在学中は符号化画像の情報埋込及び通信に関する研究に従事.

小林 弘 幸 (正員)



1992 都立大・工・電気卒. 1997 同大大学院・工・博士了. 博士 (工学). 同年, 都立高専・電気講師. 2000 同助教授. マルチレート信号処理, 画像処理に興味をもつ. IEEE 会員.



藤吉 正明 (正員)

1995 埼玉大・教養・教養卒。2001 同大大学院・理工学・博士後期了。博士(学術)。同年、都立大・院・工・電気助手。改組により、2005 首都大・システムデザイン・情報通信システム研究員、現在に至る。画像処理、セキュア通信、スペクトル拡散通信に興味をもつ。2005 年 5 月～本会会誌編集委員、スマートインフォメディア研究専門委員会委員。2001 学術奨励賞受賞。映像情報メディア学会、IEEE 各会員。



貴家 仁志 (正員)

1980 長岡技科大・工・電気電子システム卒。1982 同大大学院・修士了。同年、都立大・工・電気助手。2000 同大・院・工・電気教授。改組により、2005 首都大・システムデザイン・情報通信システム教授、現在に至る。工博。1995～1996 豪シドニー大客員研究員。デジタル信号処理、マルチレート信号処理、適応フィルタ、画像処理、マルチメディアセキュリティに興味をもつ。1998～2002 和文論文誌 A 編集委員。1998～2000IEEE 論文誌 Signal Processing 編集委員。著書「高速フーリエ変換とその応用」、「デジタル信号処理」、「マルチレート信号処理」、「よくわかる動画・静止画の処理技術」。映像情報メディア学会、画像電子学会各会員。IEEE シニア会員。