

DCT 画像によるステガノグラフィにおける 諸パラメータの関係について

渡部 実[†] 林 彬[†]

[†] 金沢工業大学 〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1

あらまし DCT 画像の変換係数の量子化を利用して情報を埋め込む方式においては、画像品質の劣化程度が少なく、埋め込み情報の検出率が高いことが重要である。画像品質を左右する因子として、カバー画像の種類、量子化の粗さ、埋め込む変換係数の選択、埋め込みビット数などがある。そして検出率は画像品質と相反する傾向にあるから、品質左右因子の適切な決定法が望まれる。本報告は、以上の観点から SN 比、量子化の粗さ、埋め込む変換係数の選択などの関係を実験的に調べ、これからステガノグラフィのための適切なパラメータ設定法を探ろうとするものである。

キーワード DCT, ステガノグラフィ

On the relations of parameters in the steganography using discrete cosine transformed images

Minoru WATANABE[†] Akira HAYASHI[†]

[†] Kanazawa Institute of Technology, Ohgigaoka 7-1, Nonoichi-machi, Ishikawa, 921-8501 Japan

Abstract Performance of steganography using discrete cosine transformed images depends on various factors and parameters. We investigate the relations among such parameters as signal to noise ratio of stego images, quantization step size, DCT coefficients into which messages are embedded, and properties of cover images. Results of our computer experiments show that the DCT coefficients $F(u,v)$ with $u+v=5$ and 6 are good choices for embedding with respect to SNR and correct detection of message bits.

Keyword DCT, steganography

1. まえがき

情報ハイディングという技術には電子透かしとステガノグラフィがある。この二つの技術の違いは、電子透かしが著作権保護や不正コピー防止に用いられるのに対して、ステガノグラフィは情報を送信する際に何らかの媒体（カバーデータ）に情報を埋め込み通信の事実さえ隠して情報を送る点にある[1]。両者は技術的に類似する点も多いが、大きな違いは守るデータが情報を埋め込まれる側か、埋め込む側かということと、埋め込み情報自体を隠蔽するかどうかということである。そして、ともに重要になってくるのはカバーデータの品質と埋め込んだ情報の検出率である。

電子透かしやステガノグラフィに用いられる埋め込み法として、DCT 係数に埋め込む方法が広く知られている[2], [3], [4]。

本報告では BMP 画像を DCT 変換し、DCT 係数に情報を埋め込むことを想定し、量子化の粗さ、埋め込む変換係数の選択などが、カバー画像の品質と埋め込み

情報の検出率に与える影響を実験的に調べ、これからステガノグラフィのための適切なパラメータの設定法を明らかにしようとする。

2. 情報の埋め込みと検出の方法[4][5]

今回使用する情報埋め込みと検出の方法を示す。

2.1. 埋め込み法

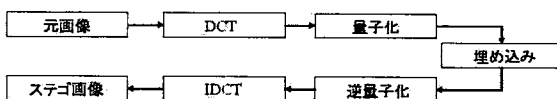


図 1: 埋め込み手順

情報の埋め込み手順を図 1 に示す。まず送信したい情報を埋め込む画像（「カバー画像」と呼ぶ）を用意する。本実験では BMP 形式 256×256 画素の画像を用いた。RGB 成分の中で JPEG の輝度成分に近い G 成分に

情報を埋め込むことにするので、カバー画像の G 成分に対して DCT 変換と量子化の操作を行う。そして、量子化された DCT 係数に送信したい情報を埋め込む。この埋め込まれた情報を「埋め込み情報」という。埋め込み情報は、BMP 形式の 2 値画像を用いた。埋め込み後、逆量子化、逆 DCT 変換の操作を行い、画像を復元する。こうしてカバー画像に情報を埋め込んだ結果の画像を「ステゴ画像」という。

2.1.1.DCT（離散コサイン変換）

画像信号は DCT を行うことで周波数成分に変換することが出来る。DCT を画像に用いる場合は m 画素 × n 画素を 1 ブロックとして 2 次元の DCT を行う。今回の実験では 8×8 を 1 ブロックとする。DCT の式を m=n=N の場合について以下に示す。

$$F(u,v)=\frac{2}{N}c(u)c(v)\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)\cos\{\frac{(2x+1)u}{2N}\pi\}\cos\{\frac{(2y+1)v}{2N}\pi\} \quad (1)$$

$$u=0 \quad \text{のとき} \quad c(u)=\frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$u \neq 0 \quad \text{のとき} \quad c(u)=1$$

$$F(u,v): \text{求めるDCT係数}$$

$$f(x,y): \text{画像信号} \qquad \qquad \qquad x,y: \text{画像座標}$$

また、IDCT（逆離散コサイン変換）の式を示す。

$$f(x,y)=\frac{2}{N}\sum_{u=0}^{N-1}\sum_{v=0}^{N-1}c(u)c(v)F(u,v)\cos\{\frac{(2x+1)u}{2N}\pi\}\cos\{\frac{(2y+1)v}{2N}\pi\} \quad (2)$$

2.1.2.量子化

量子化は、DCT で得た DCT 係数を量子化テーブル（Q テーブル）の値で割って整数化することによって行う。人間の視覚では画像の高周波成分の変化を認識することは低周波成分に比して困難なことを利用し高周波成分をより大きな数で割る（粗く量子化する）ことでデータ量を削減する。使用する量子化テーブルを図 2 に示す[5]。

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	57	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

図 2：量子化テーブル

また、逆量子化は DCT 係数に対して量子化テーブルの値を掛けることによって行う。

2.1.3.情報の埋め込み

DCT を用いた情報の埋め込みには様々な方法があるが、今回は選択設定した DCT 係数 F の最下位ビットの操作で情報を埋め込むことにする。埋め込みは次の規則に従う（表 1 参照）。

- 埋め込み情報ビット b が 0 なら DCT 係数 F を至近の偶数に変更
- 埋め込み情報ビット b が 1 なら DCT 係数 F を至近の奇数に変更

表 1：埋め込み操作

	F が奇数	F が偶数
b = 0	F = F +1	F=F
b = 1	F=F	F = F +1

2.2. 検出方法

検出の手順を図 3 に示す。情報の検出は次の規則に従う。

- DCT 係数が偶数なら埋め込み情報ビット d=0 を検出
- DCT 係数が奇数なら埋め込み情報ビット d=1 を検出

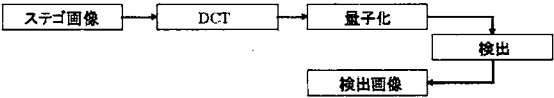


図 3：検出手順

3. 埋め込みと検出の実験

2 節で述べた方法を用いて 5 種の画像に対して行った実験結果を示していく。

3.1.標準実験の結果

5 種の画像に情報を埋め込んだ際のステゴ画像の SN 比と埋め込み情報の検出率の結果を以下に示す。情報を埋め込む DCT 係数は F(3,3) とする。埋め込み情報は 32×32 画素の 2 値画像（総計 1024 ビット）である。

画像の劣化の尺度として信号対雑音比(SN 比)を用いる。ここで信号のパワーとして尖頭値255の2乗を、雑音のパワー N として画素値の元の値 $f(x,y)$ と復元値 $\hat{f}(x,y)$ の差の 2 乗の平均値を採った。したがってここでの SN 比はいわゆる PSNR である。

$$N = \frac{1}{256^2} \sum_{x=0}^{255} \sum_{y=0}^{255} (f(x, y) - \hat{f}(x, y))^2 \quad (3)$$

$$\text{SNR} = 10 \log_{10} \frac{255^2}{N} [\text{dB}]$$

次に埋め込み情報の検出率について述べる。画像全体でMビット埋め込むものとし、これを**b**(1), ..., **b**(M)とする。また検出した値を**d**(1), ..., **d**(M)とする。このとき検出率を次のように定義する。

$$\text{検出率}[\%] = \frac{\#\{i \mid b(i) = d(i), 1 \leq i \leq M\}}{M} \times 100 \quad (4)$$

表 2：標準実験結果

画像名	SN比[dB]	検出率[%]
c	31.5	93.0
cat	31.1	100.0
d	34.6	77.4
azby	36.3	99.4
lena	30.0	100.0

5種の画像に対して実験を行った結果、SN比はすべて30[dB]を超えており、視覚的には情報が埋め込まれていることはほとんどわからなかった。しかし、検出率でいえば、画像dで77%と1/4程度の誤りがある。これは、画像dがイラスト的な画像であることから、画素値が0や255などになっているところが多くDCTなどの操作によって画素値が0~255に収まらなくなった場合、ステゴ画像を作成する際に補正するため元の画素値から変化しているので検出を誤ると考えられる。

3.2.埋め込むFの違いの効果

埋め込む係数をF(0,0),F(1,1),...,F(7,7)と変化させた場合のSN比、検出率は表3のようになった。ここではc.bmpに関する結果を示す。

表 3：埋め込むFの違いの効果

F(u,v)	SN比[dB]	検出率[%]
0,0	32.3	88.8
1,1	32.2	92.7
2,2	32.1	92.9
3,3	31.5	93.0
4,4	28.8	93.0
5,5	26.5	93.0
6,6	25.5	93.0
7,7	26.8	93.0

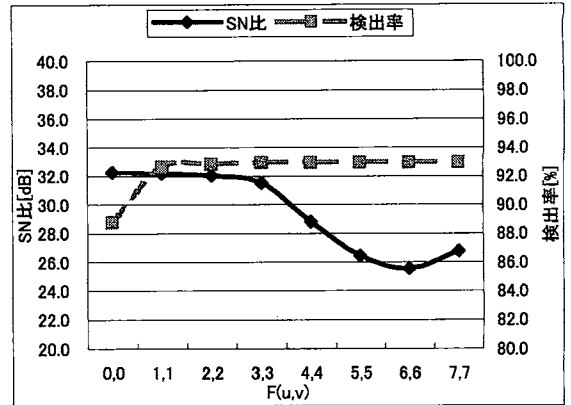


図 4：埋め込むFの違いの効果

埋め込むFを変化させた実験の結果は表3、図4のようになった。他の画像についても同様の結果を得た。SN比は(4,4)以上の高周波では劣化が激しい。一方、検出率は直流成分以外ではほぼ一定である。SN比と検出率の変化のバランスを考えると、この実験からは埋め込む係数はF(3,3)が妥当であると考えられる。

3.3.Q テーブルのq係数の違いの効果

量子化の際Qテーブルを使用するが、その値を変化したときSN比、検出率がどのように変化をするか調べる。本実験では図2のQテーブルにq係数を掛けて用いる実験を行った。つまりQテーブルの値をq倍したものを実効的Qテーブルとする。その結果を以下に示す。なおここではc.bmpについての結果を示す。また、埋め込み係数はF(3,3)である。

表 4：q係数の変化の効果

q係数	SN比[dB]	検出率[%]
0.10	44.6	99.9
0.25	38.7	99.9
0.50	34.9	99.9
0.75	32.9	100.0
1.00	31.5	93.0
1.25	30.5	99.8
1.50	29.7	99.6
1.75	28.9	76.6
2.00	28.3	77.0

図5はSN比とq係数の関係を5種の画像すべてについて示したものである。表4と図5から、SN比はq係数が小さい方が良く、qの対数に比例することがわかるが、これは量子化理論で周知である。

また、c.bmpに関する検出率はqが1.5以下であれ

ばほぼ一定であるが、1.75 以上では著しく劣化することがわかった。ただし、他の画像ではまったく劣化しない時もある。

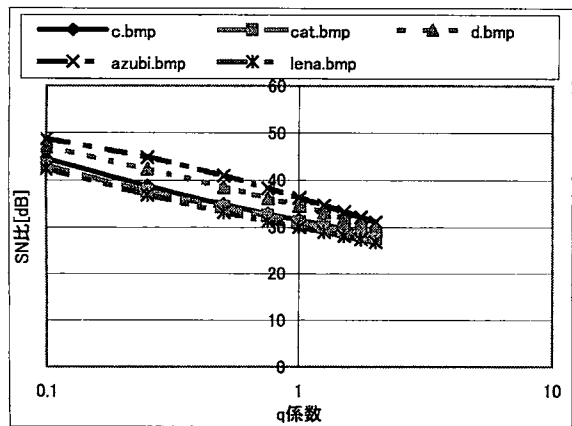


図 5：q 係数の違いの効果

3.4.埋め込み時と検出時の q の違いの効果

本実験では埋め込み時の q 係数と検出時の q 係数とが必ずしも一致しない場合、検出率がどのように変化するかを調べた。埋め込み時の q 係数は 0.25 と 1.00 で比較した。

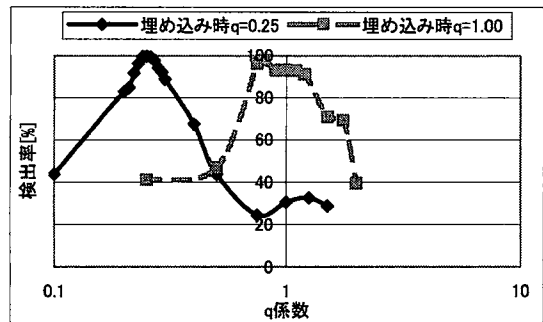


図 6：埋め込み時と検出時の q の違いの効果

図 6 から $q=0.25$ の方が検出時の q が埋め込み時の設定から少し離れるだけで検出率が急に悪くなることがわかった。

3.5.非零の DCT 係数に埋め込む効果

本実験では量子化後の DCT 係数が 0 の場所に情報を埋め込むと SN 比の観点で良くないので、DCT 係数が 0 の場所は避けて情報を埋め込むことにした。まず 5 種の画像それぞれに対して、量子化後の DCT 係数

$F(u,v)$ 、(ただし $u+v$ が 0 から 14)、が 0 でない確率を調べた。その結果を図 7 に示す。

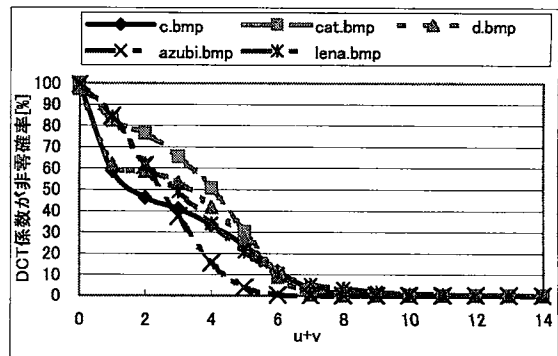


図 7：量子化後の DCT 係数が非零の確率

図 7 から上記の実験で埋め込んでいた量子化後の $F(3,3)$ でも非零である個数は 1/5 にも満たないことが分かった。そこで埋め込み情報を 16×16 画素の 2 値画像として $F(2,2)$ に情報を埋め込む実験を行った結果を表 4 に示す。この実験で $F(2,2)$ に埋め込むことにした理由は 3.2 節の結果から $F(2,2)$ でも検出率は問題ないと判断したからである。

表 5：通常埋め込みと非零係数に埋め込む時の比較 1

ファイル名	SN 比 [dB]		検出率 [%]	
	通常	非 0	通常	非 0
c	32.2	32.3	100.0	99.6
cat	31.8	31.9	100.0	100.0
d	35.5	36.0	98.8	97.7
azby	38.6	40.1	100.0	100.0
lena	30.5	30.7	99.2	98.8

表 5 から SN 比、検出率ともに非零の DCT 係数に埋め込んでも結果はほぼ変わらなかった。

さらに、埋め込み情報を 32×32 画素の 2 値画像に戻し、非零の DCT 係数に情報を埋め込む。この場合、各ブロックに 1 ビットの情報のみを埋め込むだけではすべての情報を埋め込むことは出来ない、そのため 1 つのブロックに複数ビットの情報を埋め込むことになる。今回は $u+v=5$ となる $F(u,v)$ に埋め込んでいくことにする。この実験の結果を以下に示す。

表 6：通常埋め込みと非零係数に埋め込む時の比較 2

	u	v	SN 比[dB]	検出率[%]
c.bmp	0	5	30.89	92.77
	1	4	31.68	92.77
	2	3	31.77	92.87
	3	2	31.88	92.77
	4	1	31.86	92.97
	5	0	31.74	92.87
	非零であり $u+v=5$		31.94	99.41

表 6 から非零の DCT 係数であれば 1 ブロック内に複数の情報を埋め込んでも SN 比はあまり変わらないが、検出率は 0 の DCT 係数にも埋め込むときより良くなることが分かった。

4. 考察

これらの実験から SN 比が急激に下がり始める直前で、検出率がほぼ最大になることから F(3,3)に埋め込むことがよいのではないかとということが分かった。また、 q の変化と検出率との関係は q が 1.75 以上になると著しく劣化するので q 係数は 1.5 以下にするのが良い。

図 6 を見るとわかるように、検出時の q が埋め込み時の q から少しでも変化すると検出率が悪くなるので埋め込み時の q が小さい方が良いと考えられる。

また、非零の DCT 係数に選択的に埋め込む方法では非零係数に埋め込んでも SN 比、検出率ともにあまり変わらないという結果が出たが、これは埋め込む情報量が少ないからだと考えられる。情報量を増やした実験では SN 比はあまり変わらないものの検出率が低い画像では非零の DCT 係数に埋め込んだ場合、検出率が大幅に良くなるという結果が出た。このことから画像に関係なく検出率を安定させるには非零の DCT 係数に情報を埋め込むことは効果的であると考えられる。

結論として複数の画像について総合的に考えて、情報の埋め込みに適した DCT 係数は、F(4,4)になると著しく低下することから SN 比の観点では $u+v=6$ が妥当であると言える。また、検出率については F(2,2)でほぼ最大の検出率を得ることが出来るため $u+v>4$ が妥当である。これらのことを踏まえて埋め込みに適した F は $u+v=5$ 又は $u+v=6$ であると言える。

文 献

- [1] 電気情報通信学会(編), 情報セキュリティハンドブック, 3 編情報セキュリティのシステム技術, 6 章情報ハイディング(渡辺創), pp.255-267, オーム社, 2004
- [2] 小松尚久, 田中賢一, 電子透かし技術, pp.181-186, 東京電機大学出版局, 2004

- [3] 小野東, 電子透かしとコンテンツ保護, pp.40-41, オーム社, 2001
- [4] 松井甲子雄, 電子透かしの基礎, pp.100-113, 森北出版, 1998
- [5] 小野東, 電子透かしとコンテンツ保護, pp.80-96, オーム社, 2001