

電子透かし技術を用いた JPEG 画像符号化

宮田慎一¹ 黒田英夫¹ 藤村 誠² 今村弘樹²

1:長崎大学大学院生産科学研究科 2:長崎大学工学部

電子透かし技術はデジタルコンテンツに著作権情報を埋め込むための技術であるが、本研究ではその技術を画像圧縮に応用し、JPEG 圧縮過程において、電子透かし技術を用いて画像情報の一部を自画像に埋め込む。従来の JPEG 圧縮過程では、DCT 係数の DC 成分と AC 成分は別の処理で符号化伝送されるが、提案手法では、符号化側において、DC 成分の符号化データを AC 成分の情報に埋め込んで伝送する。そして復号化側において、埋め込んだ DC 成分の符号化データを抽出することにより DC 成分の情報を再現する。この事により提案手法では DC 成分の符号化データ量を削除し、圧縮率を約 2.59% 向上した。本稿では提案手法と実験結果を報告する。

JPEG Image Coding Using Watermarking Technique

Shinich Miyata¹, Hideo Kuroda¹, Makoto Fujimura² and Hiroki Imamura²

1:Graduate School of Science and Technology, Nagasaki Univ. Japan
2:Faculty of Engineering, Nagasaki Univ. Japan

A watermarking technique is a technique to embed copyright information in digital contents. In our study, the watermarking technique is used for compression of images, namely a part of the image data is embedded into own image in the JPEG compression process. In the JPEG compression process, DC terms and AC terms are processed in different way, and are encoded respectively. In the proposed method, at the coder side, the data of DC terms are embedded into AC terms and transmitted. And at the decoder side, the data of DC terms are extracted firstly from AC terms, then the information of DC terms are reconstructed. Therefore, the proposed method delete the data of DC terms and achieved about 2.59% improvement of compression ratio compared with JPEG method. In this paper, proposed method and experimental results are shown.

1 はじめに

近年、パーソナルコンピュータ、インターネットが広く普及し、デジタルカメラ、携帯電話のカメラ機能の利用者も増加している。その事により画像データを扱う機会が増加している。そこで近年、画像処理に関して 2つの重要な需要が生じている。1つは画像の著作

権保護への需要で、2つ目は画像圧縮の更なる高能率化である。ここで著作権保護に関して電子透かしという技術がある。この技術は、静止画像、動画などのデジタルコンテンツに著作権情報を埋め込む技術である。また画像圧縮に関しては JPEG という画像圧縮技術が存在し、現在 JPEG 形式の画像は広く使用されている。本研究では、

JPEG 圧縮過程において電子透かし技術を用い、JPEG 圧縮の更なる高効率化を実現する新しい画像符号化技術を提案する。符号化実験により、提案手法は JPEG 手法に比べて約 2.59% 圧縮率を向上できる事を示す。本稿では JPEG の概要、提案手法、実験と結果、まとめを以下に示す。

2 JPEG の概要

JPEG 処理の流れを図 1 に示す。

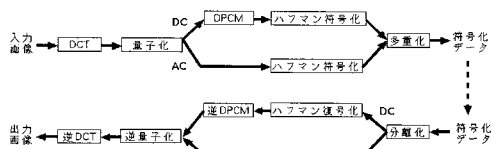


図 1 : JPEG 処理の流れ

JPEG 手法は符号化側において、入力画像に対して DCT、量子化(汎用の量子化テーブル(図 2)を用いた)を行い、その後は DC 領域と AC 領域で別の処理を行う。

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	56	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

DC 係数値は隣接する DCT ブロックと相関関係が強いので、隣接する DCT ブロックの DC 係数値の差分を取る(=DPCM)事で圧縮効率を向上している。次にその差分値は DC 用のハフマン符号表(図 3)によりハフマン符号化される。例えば 3 という値をハフマン符号化する場合、3 に対応するハフマン符号は 011 で、付加ビットは 11 である

ので、それらをつなげて 01111 となる。

データ	ハフマン符号	付加ビット
2047...1024,1024,2047	111111110	0000000000...0111111111,1000000000...1111111111
-1023...-128,128,1023	111111110	0000000000...0111111111,1000000000...1111111111
-511...-256,256,511	111111110	0000000000...0111111111,1000000000...1111111111
255...128,128,255	111111110	0000000000...0111111111,1000000000...1111111111
-127...-64,64,127	1111110	00000000...0111111,10000000...1111111
63...-32,32,63	11110	0000000...01111,100000...11111
-31...-16,16,31	110	000000...0111,10000...1111
-15...-8,8,15	101	0000...0111,1000...1111
-7...-4,4,7	100	000...011,1000...111
-3...-2,2,3	011	00,01,10,11
-1,1	010	0,1
0	00	none

図 3 : DC 用のハフマン符号表

AC 成分については差分を取らずに、係数値 0 の続くランの長さ、次にでてくる 0 以外の係数値の組合せに対して、AC 用のハフマン符号表によりジグザグスキャンの順(図 4)に従いハフマン符号化を行う(本稿で提案する符号化方式では AC 成分の符号割当てを扱わないので AC 用のハフマン符号表は省略する)。そして DC 成分、AC 成分の情報を多重化する事で符号化データが出力される。復号化側においては、符号化データに対して、符号化側と逆の処理を行っていき、事で出力画像が再現される。

1	5	14	15	27	28		
2	4	13	16	26	29	42	
3	8	12	17	25	30	41	43
9	11	18	24	31	40	44	53
10	19	23	32	39	45	52	54
20	22	33	38	46	51	55	60
21	34	37	47	50	56	59	61
35	36	48	49	57	58	62	63

図 4 : ジグザグスキャン

3 提案手法

3.1 提案手法の流れ

提案手法の処理の流れを図 5 に示す。

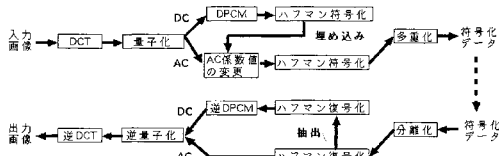


図5: 提案手法の処理の流れ

図1と図5を参照してJPEG手法と提案手法の処理の違いを説明する。JPEG手法ではDC成分の情報とAC成分の情報を多重化する事で符号化データを出力したが、提案手法はDC成分の情報をAC係数値に埋め込む(=AC係数値を変更する)事により、AC成分の情報だけを符号化データとして出力する。よって提案手法はDC成分の符号化データ量分だけ、JPEG手法よりも情報量が小さくなる。ただし、埋め込みを行い、AC係数値を変更するという事は、画像情報が変更されるという事であるので、提案手法の埋め込みにより画像品質は低下する。

3.2 埋め込み手法

次に埋め込み手法の説明を行う。電子透かしの埋め込み手法として様々な手法が提案されている[1]-[6]。埋め込む情報量の多さと、埋め込みによる画像品質の低下が小さいという観点から、本方式では「DCT係数の量子化による埋め込み方法」を用いた[6]。これは「0」のデータを埋め込む場合は、量子化後の係数値を偶数に変更し、「1」のデータを埋め込む場合は奇数に変更する手法である(偶数に変更する場合に、既に係数値が偶数であった場合は変更しない。奇数も同様である)。係数値を変更する場合、埋め込み後のデータ削減量を考慮して絶対値が小さい方に係数値を変更する(例えば「6」は「5」に、「-3」は「-2」に変更する)。また係数値が0である箇所を埋め込みにより奇数にする場合は+1を行い1と変更した。

3.3 埋め込み領域

次に埋め込み領域の説明を行う。埋め込みを行うと画像品質が低下するが、埋め込み箇所によって低下量は異なる。そこで画像品質の低下の小さい埋め込み位置を特定するために、5枚のテスト画像

Airplane, Barbara, Lenna, Earth, Mandrillを用いて、特定のAC係数位置のみに+1の雑音を加えた場合のPSNRを計測した。その結果を図6に示す。図6より、各画像の埋め込みによる画像品質への影響のグラフの形は、画像の種類に関わらず非常に似ている事が分かる。

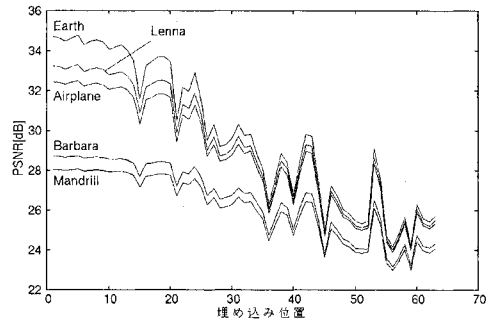


図6: 埋め込みによる画像品質への影響

また、量子化に使用した汎用の量子化テーブルの値をジグザグスキャン順に図にすると、図7のようなになる。

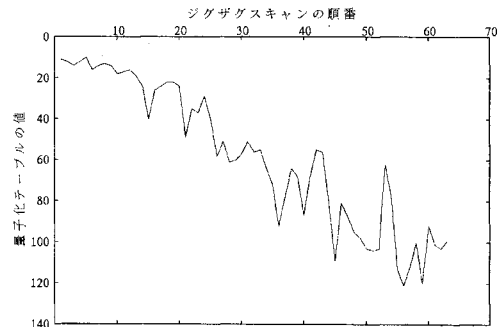


図7: 量子化テーブルの値

図7は図6のグラフの形と似て

いる事が分かる。図7において量子化テーブルの値が小さい箇所は図6においても、画像品質への影響が小さい。よって埋め込みにおいては量子化テーブルの値が小さい箇所に埋め込みを行う事で、埋め込みによる画像品質への影響を小さくする事ができると考えられる。

提案手法が埋め込む情報量は図3より各ブロック毎に最大で20ビットであったので、埋め込み領域としても20カ所を確保し、画像品質への影響が小さい、1~14, 15及び24番目(ジグザグスキャンの順)を埋め込み領域とした。

3.4 埋め込み例

次に埋め込み例を図8に示す。

127	17	-11	-2	-2	0	-1	-1	130	95	-11	8	-2	0	0	0
-67	63	-10	6	1	1	0	0	87	-15	34	-6	5	0	0	0
-54	58	-4	-1	1	1	0	0	17	-80	-3	6	-1	0	-1	0
-46	30	3	-2	1	0	0	0	16	24	-31	2	0	0	0	-1
-32	7	8	0	1	0	0	-1	12	13	5	-8	1	0	0	0
-6	-2	3	0	0	0	0	0	5	1	5	1	-2	0	0	0
-1	-1	3	0	0	0	0	0	-1	1	0	2	0	0	0	0
0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

127→111101111111

130-127=3→01111

111101111111を埋め込む

01111を埋め込む

17	-10	3	-2	0	-1	-1	94	-11	8	-2	0	0	0	0	
-67	63	-9	3	1	1	0	0	87	-15	34	-6	5	0	0	0
-53	57	-3	-1	1	1	0	0	17	-80	-3	6	-1	0	-1	0
-45	29	3	-2	1	0	0	0	16	24	-31	2	0	0	0	-1
-31	7	8	0	1	0	0	-1	12	13	5	-8	1	0	0	0
-6	-2	3	0	0	0	0	0	5	1	5	1	-2	0	0	0
-1	-1	3	0	0	0	0	0	-1	1	0	2	0	0	0	0
0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

図8：埋め込み例

まず一番左端のブロックについては差分を取る対象ブロックが存在しないので、差分を取らない。図8では一番左端のブロックのDC係数値127を、差分を取らずにそのままDC用のハフマン符号表によりハフマン符号化「111101111111」を得る。それ以外のブロックについては、直前のブロックのDC係数値との差分を取

る。図8の例では右側のブロックのDC係数値130から直前のブロックのDC係数値127を減算した、差分値3についてハフマン符号化を行い「01111」を得る。次に、それらの情報をAC領域の1~14, 15及び24番目(ジグザグスキャンの順)に「DCT係数の量子化による埋め込み方法」によって埋め込む。

4 実験と結果

テスト画像は、グレースケール画像(PGM形式)のAirplane, Barbara, Lenna, Earth, Mandrillである。実験においてはヘッダ等の情報量も考慮するためにcjpegコマンドによりJPEG形式に変換を行った。そしてDC成分の符号化データ量を画像データ量から引いた数値を提案手法の画像データ量とした。テスト画像Lenna, Mandrillに対して、量子化スケールサイズ(=値が大きい程圧縮率が高くなる)を0.100から3.000まで変化させた場合のJPEG手法と提案手法の実験結果を図9, 10に示す。

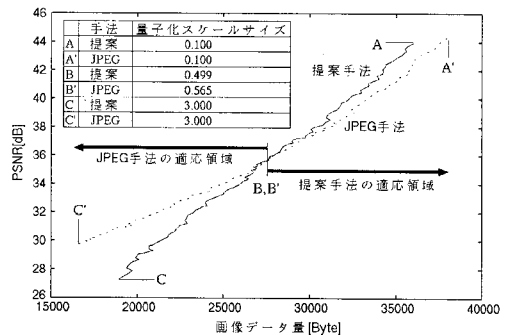


図9：量子化スケールサイズを0.100から3.000まで変化させた場合の実験結果(Lenna)

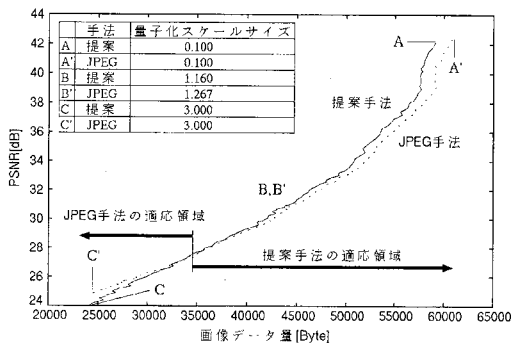


図 10：量子化スケールサイズを 0.100 から 3.000 まで変化させた場合の実験結果 (Mandrill)

図 9, 10 より提案手法は、量子化スケールサイズが小さい場合は、提案手法は JPEG 手法よりも圧縮効率が優れているが、量子化スケールサイズが大きい場合は提案手法は JPEG 手法よりも圧縮効率が劣る事が分かる。ここで提案手法の JPEG 手法に対する圧縮率向上値を式(1)によって求める。なおテスト画像 (PGM 形式) の画像データ量は 65574 バイトである。

$$\text{圧縮率向上値} = \frac{N_J - N_P}{N_0} \quad (1)$$

- N_J : JPEG 手法を用いて生成された画像データ量
- N_P : 提案手法を用いて生成された画像データ量
- N_0 : テスト画像の画像データ量

図 9, 10 の中の表より分かるように提案手法と JPEG 手法の圧縮効率の差は量子化スケールサイズにより異なっている。提案手法が JPEG 手法に比べて一番圧縮が優れている、つまり提案手法と JPEG 手法での PSNR が同程度で、画像データ量の差が一番大きい箇所の圧縮率向上値 (=最大圧縮率向上値) を式(1)に示す。5枚のテスト画像に対して式(1)で求めた最大圧縮率向上値を表 1 に示す。

表 1：提案手法の最大圧縮率向上値

テスト画像	手法	量子化スケールサイズ	PSNR [dB]	画像データ量 [バイト]	画像データ量の差 [バイト]	最大圧縮率向上値 [%]
Airplane	提案	0.142	42.14	36869	1545	2.36
	JPEG	0.148	42.13	38414		
Barbara	提案	0.142	40.46	48947	1984	3.02
	JPEG	0.146	40.46	50930		
Earth	提案	0.137	43.39	35180	1489	2.27
	JPEG	0.144	43.39	36668		
Lenna	提案	0.137	42.60	34355	1657	2.53
	JPEG	0.144	42.60	36012		
Mandrill	提案	0.142	39.76	57369	1810	2.76
	JPEG	0.145	39.77	59178		
平均						2.59

表 1 に示すように 5 枚のテスト画像の最大圧縮率向上値の平均は 2.59% となった。また、表 1 は PSNR を同程度として提案手法の圧縮率向上値を計測した結果であるが、次に画像データ量を同程度とした場合の提案手法の最大 PSNR 向上値を表 2 に示す。

表 2：提案手法の最大 PSNR 向上値

テスト画像	手法	量子化スケールサイズ	PSNR [dB]	画像データ量 [バイト]	最大 PSNR 向上値 [dB]
Airplane	提案	0.114	43.34	38041	2.02
	JPEG	0.172	41.32	38020	
Barbara	提案	0.103	42.49	50628	2.95
	JPEG	0.168	39.54	50682	
Earth	提案	0.140	43.25	35156	1.45
	JPEG	0.200	41.79	35123	
Lenna	提案	0.110	43.56	35466	1.92
	JPEG	0.175	41.64	35429	
Mandrill	提案	0.108	41.7	58600	3.13
	JPEG	0.172	38.58	58630	
平均					2.29

表 2 により最大 PSNR 向上値の平均は 2.29dB となった。

ここで図 9, 10 の実験結果を見ても分かるように、量子化スケールサイズが大きくなると提案手法の適応領域が狭くなる事が分かる。その理由を考察する。量子化スケールサイズが大きい場合に提案手法の適応領域が狭くなる理由を考察する。量子化スケールサイズが大きくなる (=圧縮率が高くなる) と、量子化ステップサイズが大きくなり、AC 成分の係数値が 0 になる領域が広くなり、低周波数成分まで 0 になる。提案手法は DC の情報を AC 領域の低周波数領域のみに埋め込んではいないが、量子化スケールサイズが大きくなる程、埋め込みによって係数値を 0 から 1 に変

更する頻度が高くなる。ハフマン符号化においては 0 よりも 1 の方が符号長が長い事より，AC 係数値を 0 から 1 に変更する事により，情報量が増加する。そして量子化スケールサイズを大きくし続ける事で，DC 成分情報量を削除するよりも AC 成分の符号量が大きくなるために，提案手法の適応領域が狭くなると考えられる。

5 まとめ

JPEG 圧縮過程において DC 領域の符号化データを AC 領域に埋め込み，DC 領域の符号化データを削除する事により，提案手法は PSNR が同程度である点で比べると JPEG 手法よりも約 2.59% の圧縮率を向上し，画像データ量が同程度である点で比べると約 2.29dB の PSNR を向上した。しかし提案手法が効果を発揮するのは圧縮率が低い場合であり，圧縮率が高くなると提案手法は JPEG 手法よりも圧縮効率が劣った。その理由は量子化スケールサイズが大きくなる程，埋め込み領域の係数値を 0 から 1 に変更する頻度が高くなるからだと考えられる。今後は埋め込みに関して工夫を行う事で更に圧縮率を向上し，提案手法の適応領域を大きくさせていく予定である。また本提案方式を JPEG2000, MPEG, H.264/AVC, ベクトル量子化に導入する方式について現在検討中である。

[参考文献]

[1] 山田 崇史, 長谷川 まどか, 加藤 茂夫: "DCT 係数の大小関係を利用した静止画像に対する電子透かしについて" 研究会講演予稿 2002 年

[2] 崔 潤基, 相澤 清晴: "DCT 係数のブロック間相関を利用した電子透かし法" 電子情報通信学会論文誌 J83-D-2(7) 2000 年

[3] 村上 健自, 上野 義人: "周波数領域変換による電子透かし評価" 情報処理学会研究報告 巻号 99(53) 1999 年

[4] 安達 大晴, 長谷川 まどか, 加藤 茂夫: "DCT を利用した静止画像の電子透かし法についての検討" 映像情報メディア学会 巻号 23(62) 1999 年

[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め込み法" 電子情報通信学会論文誌 D vol.J83-D2 No.6 2000 年

[6] 上岡 晋太郎, 苫米地 宣裕, 内山 晴夫: "透かし画像の分散埋め込みによる電子透かし" 情報処理学会東北支部 2004 年度第 2 回研究会 資料番号 A2-1