検出時に原画像情報が不要なDCTフラクタル符号化による電子透かし

正 員 太田 正哉* 非会員 山下 知仁*
非会員 佐藤 晃久** 正 員 山下 勝己*

Digital Watermarking Using DCT Fractal Coding without Original Image Information

Masaya Ohta*, Member, Tomohito Yamashita*, Non-member, Akihisa Sato**, Non-member,
Katsumi Yamashita*, Member

This paper proposes a digital watermarking scheme based on fractal image coding with DCT coefficient and needs no information about the original image. In previous work, we have proposed the digital watermarking scheme based on fractal image coding with DCT coefficient between range block and domain block. That had high tolerance for image processing in comparison with conventional scheme. However, it had a problem to have to preserve the information about the original image used for embedding data every image. In the proposal, we choose two parameters in applying fractal encoder among the respective parts, denoted as the even and odd column, so that we can extract data without resorting to the original image. Numerical experiments have been performed in order to measure the validity of the proposal.

キーワード：電子透かし，フラクタル符号化，DCT，原画像情報

Keywords: Digital Watermarking, Fractal Image Coding, DCT, Original Image Information

1. はじめに

近年，デジタル技術やインターネット環境の発展により，画像や音楽等の様々なデジタルコンテンツが盛んに配信されるようになった。しかしこれらのデジタルコンテンツはその品質を劣化させることなく，容易にコピーできることから，提供者の意図に反した不正なコピーが行われ，著作権が侵害されるといった問題が生じている。そこで，このデジタルコンテンツの著作権保護の手段として，デジタルコンテンツに密かに著作権等の情報を埋め込み，不正なコピーの検出を可能とする電子透かし技術が注目されている。

これまでに様々な電子透かし法が提案されているが^{(1)~(11)}，その一つとしてフラクタル符号化を用いて透かし情報の埋め込みと画像圧縮を同時に行う手法が提案されている。フラクタル符号化とは画像内の各部分の相似関係を

符号とする画像圧縮法であるが，符号化処理に膨大な計算を必要とするものの復号化処理は容易であり，原画像の解像度に依存しない圧縮が可能であることから，復号された画像は拡大や縮小等のスケール変換に強く，ブロックノイズやモスキートノイズが比較的少ない等の特長を持っている^{(12)~(14)}。フラクタル符号化を用いた電子透かし法では，透かし情報の埋め込みがフラクタル符号化の処理の中で行われるため，透かし情報が埋め込まれた画像も上述の特長を持つことになる。

以前 C.Li らや J.Puate らにより提案されたフラクタル符号化を用いた電子透かし⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾は，画素値に基づく透かし埋め込み法であるため，画素値が変化すると透かし情報そのものに影響し，JPEG 圧縮のような非可逆的な画像圧縮や，ノイズ印加等の透かし情報除去を目的とした画像処理に対する耐性が高くなかった。我々は文献(15)で，画像内の相似関係を調べる際に画素値だけでなく DCT 係数の低周波成分をも考慮するフラクタル符号化（以降，DCT フラクタル符号化と呼ぶ）を利用した電子透かし法を提案し，画像処理に対する耐性を改善した。しかし本手法は透かし情報を検出する際，情報を埋め込む際に使われた原画像に関する情報（以降，原画像情報と呼ぶ）が必要である。そのため本手法は，画像毎に原画像情報の蓄積・保管が必要となるだけでなく，透かし情報を検出する際，大量の原画

* 大阪府立大学大学院工学研究科
〒 599-8531 大阪府堺市学園町 1-1
Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University
1-1, Gakuen-cho, Sakai, Osaka 599-8531

** 株式会社 NTT データ
〒 130-0015 東京都墨田区横綱 1-9-2
NTT DATA CORPORATION
1-9-2, Yokozuna, Sumida-ku, Tokyo 130-0015

像情報の中から対象画像に対応する原画像情報を特定する作業が必要となる。

そこで本研究では、検出時に原画像情報を必要としない、DCT 係数を考慮したフラクタル符号化を用いる電子透かし法を提案する。

本論文ではまず 2 章で、提案法の透かし情報の埋め込みの際に用いるフラクタル符号化とその復号化について述べる。3 章では我々が先に提案した手法とその問題点、および本論文での提案法について述べる。4 章では数値実験とその結果について述べ、提案法の有効性を検証し、5 章で本研究をまとめる。

2. フラクタル符号化と復号化

一般に、自然画像は部分的に近似的な自己相似性を有しており、画像内のある部分は別の部分を縮小アフィン変換することによって近似することができる。このような画像内の各部分の相似関係を記録して画像を符号化する手法をフラクタル符号化と呼ぶ⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。本章ではフラクタル符号化と復号化のアルゴリズムについて簡単に説明する⁽¹⁸⁾。

2.1 フラクタル符号化 フラクタル符号化の手順について説明する(図 1)。まず、画像全体($W \times W$)を $B \times B$ のブロックに分割する。ここで、このブロックをレンジブロック R_i ($0 \leq i < M^2$, $M = W/B$) と呼ぶ。そして、各レンジブロック R_i に最も類似するブロックを、次式で定義する f_i を指標として求める。ここで、このブロックをドメインブロック D_j ($0 \leq j < (M-1)^2$) と呼び、本研究ではドメインブロックのサイズは 4 つのレンジブロックをまとめた $2B \times 2B$ とする。

$$f_i(j, k) = \|\tilde{R}_i - \alpha_{ijk} \cdot \tilde{D}_{jk}\|^2 \quad (1)$$

ここで $\tilde{R}_i$, $\tilde{D}_{jk}$, α_{ijk} は次式のように定義される。

$$\tilde{R}_i = R_i - \bar{R}_i \quad (2)$$

$$\tilde{D}_{jk} = \epsilon_k \{s(D_j - \bar{D}_j)\} \quad (3)$$

$$\alpha_{ijk} = \frac{\tilde{R}_i \cdot \tilde{D}_{jk}}{\|\tilde{D}_{jk}\|^2} \quad (4)$$

$\bar{R}_i$ および $\bar{D}_j$ はそれぞれのブロック内の画素値の平均(直流成分), $s(\cdot)$ は $2B \times 2B$ のブロックを $B \times B$ にする縮小変換, $\epsilon_k(\cdot)$ ($0 \leq k < 8$) は以下に示す 8 つのアフィン変換を表す。

- ϵ_0 : 恒等変換
- ϵ_1 : 時計回りに 90 度回転
- ϵ_2 : 時計回りに 180 度回転
- ϵ_3 : 時計回りに 270 度回転
- ϵ_4 : 右下がり対角線に対する反射
- ϵ_5 : 左下がり対角線に対する反射
- ϵ_6 : 水平軸に対する反射

† 議論を簡単にするため画像の縦横のサイズは等しいとする。また W は B で割り切れる値とする。

図 1 フラクタル符号化

Fig. 1. Fractal Image Encoding.

- ϵ_7 : 垂直軸に対する反射

α_{ijk} は、このブロックの輝度値をレンジブロックに近似させるためのスケーリング係数である。また、(4) 式の $\|\cdot\|$ はブロック内の画素値をベクトルの要素と見なしたときのユークリッドノルムを、 $\cdot$ は内積を表す。上述より f_i は、縮小変換 s , アフィン変換 ϵ_k およびスケーリングを施したドメインブロック D_j とレンジブロック R_i との画素値間の 2 乗誤差として定義されており、この値を最小とする (j, k) はレンジブロック R_i と最も類似したドメインブロック D_j およびアフィン変換を与えと言える。

フラクタル符号化では、各レンジブロック R_i について 2 乗誤差が最小となるドメインブロック D_j およびアフィン変換 ϵ_k の組み合わせ (j, k) を次式のように総当り的に求め、

$$(j, k) = \underset{\substack{0 \leq m < (M-1)^2 \\ 0 \leq n < 8}}{\operatorname{argmin}} \{f_i(m, n)\} \quad (5)$$

これと各レンジブロック R_i の平均値 $\bar{R}_i$ およびスケーリング係数 α_{ijk} を組とした $\{(j, k), \bar{R}_i, \alpha_{ijk}\}$ をこの画像の復元のための符号として記録する。ここで (j, k) をレンジブロック R_i を復元するための復元パラメータと呼ぶ。

2.2 フラクタル復号化 フラクタル復号化は、適当な初期画像に対して、記録されていた符号を元にレンジブロックを生成し、この操作を反復的に繰り返すことによって画像を復元する。以下にその手順を示す。

まず、適当な初期画像を $B \times B$ のブロックに分割し、レンジブロック $R_i(t)$ とドメインブロック $D_j(t)$ を定義する。ここで t は反復復号回数を表し、0 で初期化しておく。各レンジブロック $R_i(t)$ は、記録された符号 $\{(j, k), \bar{R}_i, \alpha_{ijk}\}$ を用いて次式を計算することで置き換えられる。

$$R_i(t+1) = F_{ijk}(t) \quad (6)$$

$$F_{ijk}(t) = \alpha_{ijk} \cdot \tilde{D}_{jk}(t) + \bar{R}_i \quad (7)$$

この操作を全てのレンジブロックについて実行し、第 1 回目の復号処理とする。更に、 $t := t + 1$ として反復的にレンジブロックを生成することで、 t が十分大きな値となったとき $R_i(t)$ は原画像に十分近い画像として復元される。

3. フラクタル符号化を用いた電子透かしとその改良

3.1 従来法 フラクタル符号化を用いる電子透かしは、各レンジブロックについて 2 通りの復元が行えるように、原画像を符号化する際、最適な復元パラメータと、もう 1 つ別に準最適[†]な復元パラメータを決定する。そして、各レンジブロックについて埋め込みたい透かし情報 (0 または 1) に応じて、いずれか一方の復元パラメータを用いてそのブロックを復元する。この操作を反復的に繰り返すことによって透かし情報の埋め込み画像を生成する。ここでは 2 つの復元パラメータを決定する方法として我々が先に提案した手法⁽¹⁵⁾について述べる。

まず、原画像をある一定サイズのレンジブロックに分割する。各レンジブロック R_i について画像全体から画素値の 2 乗誤差 f_i が小さな上位 N 個の復元パラメータを求め、それらを誤差の小さな順に整列させる。

$$f_i(j_0, k_0) \leq f_i(j_1, k_1) \leq \dots \\ \dots \leq f_i(j_{N-1}, k_{N-1}) \dots \dots \dots (8)$$

ここで (j_l, k_l) ($0 \leq l < N$) における添え字 l は、この復元パラメータによって生成されるブロックが元のレンジブロック画像に l 番目に類似することを意味する。

次に、求めた N 個の復元パラメータで生成されるブロックの DCT 係数を求める。

$$\hat{D}_{ij_l k_l} = DCT(\alpha_{ij_l k_l} \cdot \tilde{D}_{j_l k_l} + \bar{R}_i) \dots \dots \dots (9)$$

ここで $DCT(X)$ は、ブロック X の DCT 係数の直流成分を除く低周波成分を指す。

そして、レンジブロック R_i に最も類似するブロックの DCT 係数 $\hat{D}_{ij_0 k_0}$ と、その他のブロックの DCT 係数 $\hat{D}_{ij_l k_l}$ ($0 < l < N$) の 2 乗誤差を計算する。

$$g_i(j_l, k_l) = \|\hat{D}_{ij_0 k_0} - \hat{D}_{ij_l k_l}\|^2 \dots \dots \dots (10)$$

以上の準備の下で R_i に対する 2 つの復元パラメータ (j_A, k_A) , (j_B, k_B) を次式より選択・決定する。

$$\begin{cases} (j_A, k_A) = (j_0, k_0) \\ (j_B, k_B) = \operatorname{argmax}_{0 < l < N} \{g_i(j_l, k_l)\} \end{cases} \dots \dots \dots (11)$$

すなわち、1 つ目の復元パラメータは、画素値の 2 乗誤差 f_i が最小で、レンジブロック R_i の復元に最も適したパラメータ (j_0, k_0) とする。もう 1 つの復元パラメータは、透かし情報の検出が容易となるように (j_0, k_0) との DCT 係数の 2 乗誤差 g_i が最も大きなパラメータを選択する。こ

[†] ここで準最適とは特に 2 番目に最適という意味に限定せず、適当な範囲の誤差を許すと考え。

のパラメータはブロックの復元に最適ではないが、2 乗誤差の意味で上位 N 位以内の類似ブロックを生成でき、この意味で透かし情報埋め込み後の復元画像の品質は大きく劣化しない。

レンジブロック R_i に透かし情報 $I_i \in \{0, 1\}$ を埋め込むときは、画像を復元する際にこれらの復元パラメータを次式のように使い分けて、このブロックを復元生成する。

$$R_i(t+1) = \begin{cases} F_{ij_A k_A}(t) & \text{if } I_i = 0 \\ F_{ij_B k_B}(t) & \text{if } I_i = 1 \end{cases} \dots \dots (12)$$

そして、各レンジブロック R_i について情報を埋め込む際に決定した 2 つの復元パラメータ全てを、その画像の原画像に関する情報 (原画像情報) として記録し、透かし情報検出の際の鍵情報として、透かし情報管理者が厳重に保管する。

生成された画像から透かし情報を検出するには、それぞれのレンジブロック R_i について保管されている 2 つの復元パラメータを用いて、 $g_i(j_A, k_A)$ と $g_i(j_B, k_B)$ を計算し、下記のようにして透かし情報の検出を行う。

$$I'_i = \begin{cases} 0 & \text{if } g_i(j_A, k_A) \leq g_i(j_B, k_B) \\ 1 & \text{if } g_i(j_A, k_A) > g_i(j_B, k_B) \end{cases} \dots \dots (13)$$

本手法は、画素値の 2 乗誤差ではなく DCT 係数の 2 乗誤差をもとに類似度計算を行い透かし情報の検出を行うため、画素値に対する影響が大きい画像処理などが施されても、透かし情報が容易に消去されない。しかし、情報埋め込み時に用いた原画像情報を蓄積・保管しておく必要があり、また、透かし情報の検出時に、対象画像に対応する原画像情報を、蓄積・保管している大量の情報の中から検索する必要がある。

3.2 提案法

3.2.1 列情報に基づく埋め込み法と検出法 前節で述べた従来法と同様にレンジブロック R_i に類似する上位 N 個の復元パラメータを求め、(10) 式を計算する。次に 2 つの復元パラメータを以下の手順で選択・決定する。1 つ目の復元パラメータは従来法と同様に (j_0, k_0) とする。もう 1 つの復元パラメータは、まず N 個のドメインブロック D_{j_l} ($0 \leq l < N$) がそれぞれレンジブロックの偶数列、奇数列いずれに属するかで分類し、 D_{j_0} と異なる列に属するドメインブロックの中から $g_i(j_l, k_l)$ が最大となるブロックを選択する。そして、(11) 式に変わって次式により (j_A, k_A) , (j_B, k_B) を決定する。

すなわち、 D_{j_0} が偶数列に属する場合、

$$\begin{cases} (j_A, k_A) = (j_0, k_0) \\ (j_B, k_B) = \operatorname{argmax}_{D_{j_l} \in \text{Odd}} \{g_i(j_l, k_l)\} \end{cases} \dots \dots (14)$$

とし、 D_{j_0} が奇数列に属する場合、

$$\begin{cases} (j_A, k_A) = \operatorname{argmax}_{D_{j_l} \in \text{Even}} \{g_i(j_l, k_l)\} \\ (j_B, k_B) = (j_0, k_0) \end{cases} \dots \dots (15)$$

図2 ドメインブロックの列定義

Fig. 2. Definition of column of domain blocks.

とする。ここでドメインブロックが属する列とは、そのドメインブロックを構成する4つのレンジブロックのうち左側のレンジブロックが、偶数列目であるか奇数列目であるかで定義される(図2参照)。

透かし情報の埋め込みは(14)または(15)式により決定した復元パラメータを用いて、従来法と同じく(12)式により行う。ただし、従来法のように復元パラメータを蓄積・保管する必要はない。

画像から透かし情報を検出するには、まず各レンジブロック R_i について、画像全体から画素値の2乗誤差 f_i が小さな上位 N 個の復元パラメータを求める。次に、求めた N 個の復元パラメータで生成されるブロックのDCT係数を(9)式より求める。さらに、当該レンジブロック R_i に対する低域DCT係数 $\hat{R}_i$ を求め、先に求めたブロック $\hat{D}_{ij_l k_l}$ ($0 \leq l < N$) との2乗誤差が最小となる復元パラメータ (j_p, k_p) を決定する。

$$(j_p, k_p) = \underset{0 \leq l < N}{\operatorname{argmin}} \{h_i(j_l, k_l)\} \quad (16)$$

$$h_i(j_l, k_l) = \|\hat{R}_i - \hat{D}_{ij_l k_l}\|^2 \quad (17)$$

最後に、ドメインブロック D_{j_p} が偶数列か奇数列かいずれに属するかを判別することで透かし情報を取り出す。

$$I'_i = \begin{cases} 0 & \text{if } D_{j_p} \in \text{Even} \\ 1 & \text{if } D_{j_p} \in \text{Odd} \end{cases} \quad (18)$$

本手法は各レンジブロックが偶数列か奇数列かいずれのドメインブロックにより復元されたのかによって透かし情報を検出するため、従来法のように原画像に関する情報を蓄積・保管する必要が無い。

4. 数値実験

4.1 予備実験 本手法は透かし情報の埋め込み時に、各レンジブロック R_i に対して最適な復元パラメータ (j_0, k_0) だけでなく、上位 N 位以内で、 (j_0, k_0) とのDCT

係数の2乗誤差 g_i が最も大きなパラメータを選択することにより、透かし情報の検出が容易となる。このため、 N はある程度大きな値であることが望ましいが、復元画像の品質を考慮した値でなければならない。そこで本節では、 N の値に対する復元画像の品質をPSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) により評価する。復元画像に対するPSNRは次式のように定義される。

$$\text{PSNR} = 20 \log_{10}(255/\text{err}) \quad (19)$$

$$\text{err} = \sqrt{\frac{\sum_{p=0}^{W^2-1} \{I(p) - I_e(p)\}^2}{W^2}} \quad (20)$$

ここで、 $I(p)$ 、 $I_e(p)$ はそれぞれ原画像および復元画像の p 番目 ($0 \leq p < W^2$) の画素の画素値である。

復元画像の圧縮率と透かし情報埋め込みに対する画像の劣化度を図3に示す。ここで、“Conventional”はJ.Puateら⁽¹¹⁾により提案された従来法によるPSNRを、“Proposal”は提案法によるPSNRを示している。また、“Not Watermarked”は透かし情報を埋め込まずにフラクタル復号画像を生成した場合のPSNR値である。

図より提案法では、 N の増大に伴いPSNRが減少することが分かる。次節以降、従来法との比較を行うために、 N の値は従来法にほぼ同じPSNR値となる $N = 7$ とした。

4.2 実験条件 提案法の有効性を検証するため、SIDBA標準画像3枚(Lenna, Girl, Airplane)を用いて数値実験を行い、様々な画像処理に対する透かし情報の検出率について調べた。原画像は 256×256 画素 ($W = 256$) で、1画素あたり256階調(8bit)の白黒濃淡画像である。実験で埋め込む透かし情報は $\{0, 1\}$ の乱数列とし、埋め込む情報量を50bitとした。

また、検出率(Correct Extraction Rate[%])は、画像全体に埋め込んだ透かし情報量に対する、正しく検出された情報量と定義する。比較を行うため、本手法と同様にフラクタル符号化を用い、かつ原画像情報が不要なJ.Puateら⁽¹¹⁾の手法による実験も行った。次節以降、画像Lennaに対する実験結果を示すが、同実験を画像Girl, Airplaneについてもを行い、同等の結果を得ている。

4.3 ガウス雑音付加 意図的に透かし情報を消去する方法の一つとしてガウス雑音付加があげられる。透かし情報を埋め込んだ画像にガウス雑音(分散 σ^2)を付加して透かし情報の検出を行った。

実験結果を図4に示す。ここで、実験結果より、提案法は従来法よりも十分高い検出率を示しており、 $\sigma^2 = 50$ においては、検出率が約26%向上している。

4.4 スケール変換 著作権画像にスケール変換(縮小・拡大)を施して透かし情報を消去する場合を想定し、本節では画像のスケール変換に対する耐性について検討する。透かし情報を埋め込んだ画像に変換率が50%~200%のスケール変換を施し、透かし情報の検出を行った。

実験結果を図5に示す。ただし、変換率85%以降の結果

図 3 N に対する PSNR

Fig. 3. PSNR versus N .

図 4 ガウス雑音付加に対する耐性

Fig. 4. Robustness for gaussian noise.

については従来法，提案法ともに検出率が 100% であったため，省略している。実験結果より，スケール変換に対しても提案法は従来法よりも高い確率で透かし情報を検出できており，変換率 65% のスケール変換を施したとき，検出率が約 14% 向上している。

4・5 JPEG 圧縮 本手法は，フラクタル符号化を用いて透かしの埋め込みと画像圧縮を同時に行うものである。しかし，本手法により透かし情報が埋め込まれた画像が，フラクタル符号化以外の非可逆圧縮処理を受ける事も考えられる。ここでは本手法の JPEG 圧縮処理に対する耐性を検討する。透かし情報を埋め込んだ画像に様々な JPEG Quality の JPEG 圧縮を施して，その後透かし情報の検出を行った。

実験結果を図 6 に示す。ここで，“Conventional” は J.Puate らによる従来法を示し，“Proposal-1” が提案法を示している。実験結果より，JPEG Quality が 65% のとき，従来法よりも約 21% 検出率が向上している。その他いずれの JPEG Quality に対しても，提案法は従来法に比べ高い確率で透かし情報を検出できることがわかる。

4・6 JPEG 圧縮に対する耐性の改善 JPEG 圧縮処理は非可逆圧縮法の中でも現在最も一般的に使用されている圧縮処理技術であり，画像の保存や配布の際に施さ

図 5 スケール変換に対する耐性

Fig. 5. Robustness for scaling.

図 6 JPEG 圧縮に対する耐性

Fig. 6. Robustness for JPEG compression.

れる可能性が高い。そこで，JPEG 圧縮処理を受けることを予め想定し，JPEG 圧縮処理に対する耐性をより改善するために次の操作を行った。

まず本手法の透かし情報の埋め込み過程において，原画像を符号化する前に，原画像に対し JPEG 圧縮・復元処理を施す。ここで，生成された画像に対し，(14) または (15) 式により復元パラメータを作成する。これらを原画像のレンジブロックに対する復元パラメータとし，透かし情報の埋め込みを行う。以上の操作により，透かし情報の埋め込まれた画像に JPEG 圧縮処理が施されても，埋め込みに用いた復元パラメータと検出時に求める復元パラメータの誤差を最小限に抑えられるので，高い確率で透かし情報を検出することができると考えられる。

前節と同様に JPEG 圧縮に対する耐性を調べた結果を図 6 の “Proposal-2” に示す。ただし，埋め込み時の JPEG Quality は 70% とした。このとき PSNR 値は約 1.8[dB] 程度低下したが，実験結果より，JPEG Quality 65% の圧縮処理に対する本手法の透かし情報検出率が，更に約 13% 改善されることを確認した。

5. まとめ

本研究では検出時に原画像情報を必要としない，DCT 係

数を考慮したフラクタル符号化を用いる電子透かし法を提案した。我々が先に提案した手法は、DCT 係数を考慮したフラクタル符号化を用いることで、画像処理に対し高い耐性を有していたが、原画像情報が必要であるという問題点があった。本手法では、透かし情報埋め込みの際に必要な 2 つの復元パラメータを、画像の偶数列、奇数列から 1 つずつ選択することでこの問題を改善し、原画像情報を必要としない電子透かしを実現している。

数値実験を行い本手法の検証を行った結果、画像の劣化度が従来法とほぼ同じとき、JPEG Quality 65% の圧縮処理に対する透かし情報検出率が従来法に比べ、約 21% 向上することを確認した。またガウス雑音付加、スケール変換についても従来法より十分高い耐性があることを確認した。更に JPEG 圧縮処理に対する透かし情報検出率については、透かし情報の埋め込み時において、復元パラメータの選択の際に JPEG 圧縮・復元処理を行うことにより、本手法の検出率をより改善できることを確認した。

(平成 17 年 2 月 18 日受付, 平成 17 年 6 月 9 日再受付)

文 献

- (1) 松井甲子雄: 電子透かしの基礎, 森北出版 (1998)
- (2) I.J. Cox, J. Kilian, F.T. Leighton, and T. Shamoan: "Secure spread spectrum watermarking for multimedia", *IEEE Trans. Image Process.*, Vol.6, No.12, pp.1673-1687 (1997-12)
- (3) M.D. Swanson, M. Kobayashi, and A.H. Tewfik: "Multimedia data-embedding and watermarking technologies", *Proc. IEEE*, Vol.86, No.6, pp.1064-1087 (1998-6)
- (4) M. Hartung and M. Kutter: "Multimedia watermarking techniques", *Proc. IEEE*, Vol.87, No.7, pp.1079-1107 (1999-7)
- (5) I. Echizen, H. Yoshiura, K. Anzai, J. Taguchi, Y. Kurosu, R. Sasaki, and S. Tezuka: "Maintaining Image Quality in Digital Watermarking Based on Contour Preserving", *IPSJ*, Vol.41, No.6, pp.1828-1839 (2000-6) (in Japanese)
越前 功・吉浦 裕・安細康介・田口順一・黒須 豊・佐々木良一・手塚 悟: 「輪郭保存に基づく電子透かしの画質維持方式」, 情処学論, 41, 6, pp.1828-1839 (2000-6)
- (6) K. Matsui and T. Nakazato: "A Robust Digital Watermarking Scheme Based on Discrete Cosine Transform against Attacks", *IPSJ*, Vol.40, No.12, pp.4258-4265 (1999-12) (in Japanese)
松井甲子雄・中里隆博: 「攻撃耐性を強化した離散コサイン変換による電子透かしの方法」, 情処学論, 40, 12, pp.4258-4265 (1999-12)
- (7) M. Kuribayashi and H. Tanaka: "Watermarking Schemes Using the Addition Property among DCT Coefficients", *IEICE Trans.*, Vol.J85-A, No.3, pp.322-333 (2002-3) (in Japanese)
栗林 稔・田中初一: 「DCT 係数間の加法特性に基づく電子透かし」, 信学論 (A), J85-A, 3, pp.322-333 (2002-3)
- (8) Y. Choi and K. Aizawa: "Digital Watermarking Technique Using Block Correlation of DCT Coefficients", *IEICE Trans.*, Vol.J83-D-II, No.7, pp.1620-1627 (2000-7) (in Japanese)
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」, 信学論 (D-II), J83-D-II, 7, pp.1620-1627 (2000-7)
- (9) T. Mizumoto and K. Matsui: "Robustness Investigation of DCT Digital Watermark for Printing and Scanning", *IEICE Trans.*, Vol.J85-A, No.4, pp.451-459 (2002-4) (in Japanese)
水本 匡・松井甲子雄: 「DCT を用いた電子透かしの印刷取込み耐性の検討」, 信学論 (A), J85-A, 4, pp.451-459 (2002-4)
- (10) C. Li and S. Wang: "Digital Watermarking Using Fractal Image Coding", *IEICE Trans.*, Vol.E83-A, No.6, pp.1286-1288 (2000-6)
- (11) J. Puat and F. Jordan: "Using fractal compression scheme to embed a digital signature into an image", *Proc. of SPIE Photonics East'96 Symposium* (1996)
- (12) 中嶋正之: 複雑系の理論と応用, オーム社出版 (1998)

- (13) 遠藤太郎・田中敏幸・宮下照夫・佐藤 力: 「フラクタル符号化を用いた画像の拡大に関する研究」, 信学総大, D-11-28 (1999)
- (14) H. Yamauchi, Y. Takeuchi, and M. Imai: "VLSI Architecture for Real-Time Fractal Image Coding Processors", *IEICE Trans.*, Vol.E83-A, No.3 (2000)
- (15) M. Ohta, A. Sato, and K. Yamashita: "Digital Watermarking Based on Fractal Image Coding with DCT Coefficients", *IEICE Trans.*, Vol.J87-A, No.6, pp.797-804 (2004-6) (in Japanese)
太田正哉・佐藤晃久・山下勝己: 「DCT 係数を考慮したフラクタル符号化に基づく電子透かし」, 信学論 (A), J87-A, 6, pp.797-804 (2004-6)
- (16) A.E. Jacquin: "Fractal image coding: A review", *Proc. IEEE*, Vol.81, No.10, pp.1451-1465 (1993-10)
- (17) A.E. Jacquin: "Image coding based on fractal theory of iterated contractive image transformations", *IEEE Trans. Image Process.*, Vol.1, No.1, pp.18-30 (1992-1)
- (18) R. Furusawa and M. Nakagawa: "Fractal Image Coding with a Multi-Scaling for Brightness", *IEICE Trans.*, Vol.J84-A, No.3, pp.321-328 (2001-3) (in Japanese)
古沢竜志・中川匡弘: 「輝度に対するマルチスケーリングを用いたフラクタル画像符号化」, 信学論 (A), J84-A, 3, pp.321-328 (2001-3)

太 田 正 哉 (正員) 1991 年大阪府立大学卒。1993 年同大学

院工学研究科博士前期課程了。1996 年同博士後期課程了。博士 (工学) 1996 年大阪電気通信大学工学部講師。2002 年より大阪府立大学大学院工学研究科講師。主としてニューラルネットワーク、情報通信システムに関する研究に従事。IEEE、電子情報通信学会、情報処理学会各会員。

山 下 知 仁 (非会員) 2004 年大阪府立大学卒。現在、大阪府

立大学大学院工学研究科博士前期課程に在学中。主として電子透かしに関する研究に従事。電子情報通信学会各会員。

佐 藤 晃 久 (非会員) 2005 年大阪府立大学大学院工学研究

科博士前期課程了。2005 年 NTT データ (株) 入社。在学中は主として電子透かしに関する研究に従事。

山 下 勝 己 (正員) 1980 年大阪府立大学大学院博士課程単

位取得了。1982 年琉球大学工学部助手, 1988 年同助教授, 1991 年同教授。2000 年より大阪府立大学大学院工学研究科教授。工学博士。主として通信、適応信号処理の研究に従事。IEEE、電子情報通信学会各会員。