

# 圧縮画像のためのセキュアかつロバストな画像同定の高速化

飯田 健太<sup>†</sup> 貴家 仁志<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 首都大学東京システムデザイン学部 〒191-0065 東京都日野市旭ヶ丘 6-6

E-mail: [†iida-kenta1@ed.tmu.ac.jp](mailto:†iida-kenta1@ed.tmu.ac.jp), [††kiya@tmu.ac.jp](mailto:††kiya@tmu.ac.jp)

あらまし 本稿では、ある圧縮条件で圧縮が施された照合画像に対して、データベース中にセキュアに保存されている圧縮画像の特徴量から、同じ原画像を有する画像をセキュアに同定する方法に対して照合過程の高速化手法を提案する。先行研究として、JPEG 圧縮と JPEG XR 圧縮を対象とした、Fuzzy Commitment Scheme の原理に基づくセキュアな画像同定法が提案されている。本稿では、照合過程に与えられる commitment の性質に注目して、FEC 符号の誤り訂正の多くをスキップ可能であることを指摘し、画像同定の高速化を達成する。提案法は、処理時間の高速化の実現と共に、従来法と同様に原理的に同定漏れなし (False Negative ゼロ) で実行できる。

キーワード JPEG, JPEG XR, Fuzzy Commitment Scheme、画像同定

## Increase in Speed of Secure and Robust Identification for Compressed Images

Kenta IIDA<sup>†</sup> and Hitoshi KIYA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan University 6-6, Asahigaoka, Hino-shi, Tokyo, 191-0065 Japan

E-mail: [†iida-kenta1@ed.tmu.ac.jp](mailto:†iida-kenta1@ed.tmu.ac.jp), [††kiya@tmu.ac.jp](mailto:††kiya@tmu.ac.jp)

**Abstract** The method to increase in speed of authentication process in a robust and secure scheme for identification of compressed images is proposed in this paper. The aim of identification is to identify compressed images that are generated from the same original image and have equivalent or different compression ratios, in the encrypted domain. In previous researches, secure and robust image identification schemes based on Fuzzy Commitment Scheme were proposed for JPEG images and JPEG XR images. However, the identification scheme has the problem in term of processing times. By using the properties of a commitment and DCT or LBT coefficients, we proposed a method to increase in speed of authentication process. It is confirmed that the proposed method is able to identify without accuracy degradation, while it makes the authentication processing time short.

**Key words** JPEG、JPEG XR、Fuzzy Commitment Scheme、Image Identification

### 1. ま え が き

近年、カメラやビデオの普及によって膨大な画像データが日々生成されると同時に、画像は SNS やインターネット、クラウドコンピューティングの中心コンテンツとして不可欠なものとなっている。一方、画像は多くの場合で監視カメラ映像に代表されるように個人情報を含み、また著作物でもある。さらに、データ量の膨大さから、データ圧縮が施された形式で保存や伝送されることが一般的に行われている [1]。このような背景から、圧縮された画像を対象とした画像検索や画像同定に関する研究が盛んに行われている [2] ~ [16]。JPEG 形式 [2] ~ [7] や JPEG2000 形式 [8] ~ [13]、JPEG XR 形式 [14] などを中心にロ

バストな特徴量の抽出およびその応用研究が進められている。しかし、画像間の特徴量の比較において、単純な距離計算ではなく判断処理を伴うため、符号化列全体や抽出した特徴量に暗号化を施すことができず、暗号化領域でセキュアに画像同定を行うことが困難であった。それに対して、Fuzzy Commitment Scheme [17] に基づくシステム上で、JPEG 画像の DCT 係数や JPEG XR 画像の Lapped biorthogonal Transform 係数 (LBT 係数) を特徴量として抽出することにより、暗号化領域でセキュアに原画像の同定を実行する方法が提案されている [15], [16]。この画像同定法の照合過程において、抽出された特徴量の 3 倍のビット数に対して排他的論理和を計算する必要があり、また特徴量の個数と同じ回数誤り訂正が実行されるため、処理時間

の点に課題がある。

本稿では、JPEG XR 画像に対して、ロバストかつセキュアに画像同定を実行する方法における、照合過程の処理の高速化の手法を提案する。システムがある圧縮条件の下で正しく同定されるように設計されていることから、画像圧縮における量子化の性質と commitment の性質に注目して、照合過程で Reject となる十分条件を満たす場合に排他的論理和の計算や誤り訂正をおこなわないことにより高速化を実現する。種々の圧縮条件の下で画像同定を実際に行い、理論的考察に加え、提案法の有効性を実験的に確認している。また、使用する画像から抽出する特徴量の数を削減することにより、安全性を保持しつつ、認証精度を落とさない状態で処理の高速化が可能であることを実験的に示す。

## 2. 準備

### 2.1 問題設定

本稿で対象とする圧縮画像の同定について要約する [15], [16]。ここで圧縮画像は、JPEG 圧縮、または JPEG XR 圧縮による圧縮方式により原画像が圧縮されたと仮定する。照合画像と共通の圧縮方式で圧縮された画像が登録されているデータベースから、照合画像と同じ原画像から生成された登録画像を探すことを目的とする。ただし、登録画像と照合画像の圧縮率が同じである必要はないが、JPEG XR 圧縮を用いる際には、オーバーラップフィルタリングのモード数は同じであるとする。

本稿では、Fuzzy Commitment Scheme のシステム構成を用いて、セキュアかつロバストな暗号化領域での画像同定に対して、照合過程の高速化を実現する。なお、JPEG 画像と JPEG XR 画像のどちらを対象としても可能であるが、本稿では以後 JPEG 画像を例にして説明する。

### 2.2 画像同定法のシステム構成

本稿で対象とする画像同定法のシステム構成は、セキュアな同定を可能とするために Fuzzy Commitment Scheme に基づいている (図 1 参照) [17]。本稿では、次の表記法を用いて説明を展開する。

- $M$  は画像が隣接する  $8 \times 8$  のブロックに分割された時の各画像のブロック数を表す。
- $N$  は各ブロック内で同定に使用する DCT 係数の個数を表す。ジグザグスキャンの順番に従い DC 係数から  $N$  番目の係数を抽出することとする。
- 画像  $X$  と  $Q$  における  $m$  番目のブロック内の  $n$  番目の DCT 係数を、それぞれ  $X(m, n)$ 、 $Q(m, n)$  と表す。ただし、 $1 \leq m \leq M, 1 \leq n \leq N$  とする。
- 実数値  $y$  に対して、 $\text{sgn}(\cdot)$  を定義する。

$$\text{sgn}(y) = \begin{cases} 1, & y > 0 \\ 0, & y = 0 \\ -1, & y < 0 \end{cases} \quad (1)$$

登録過程と照合過程は以下のようにおこなわれる。

#### A. 登録過程

画像  $X$  (あるクオリティファクタ  $Q_f$  で圧縮された) の特徴量を

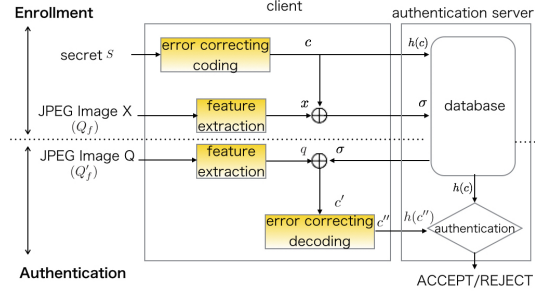


図 1 画像同定法のシステム構成

認証サーバーに登録するために、以下の手順が実行される。

(a) クライアントは、画像  $X$  中の DCT 係数  $X(m, n)$  の正負符号を抽出し、次式に従い 3 ビットの特徴量  $x(m, n)$  に対応させる。

$$x(m, n) = \begin{cases} (000)_2, & \text{sgn}(X(m, n)) = 1 \\ (010)_2, & \text{sgn}(X(m, n)) = 0 \\ (110)_2, & \text{sgn}(X(m, n)) = -1 \end{cases} \quad (2)$$

(b) クライアントは、ランダムに選択した秘密情報  $s(m, n) \in S = \{(00)_2, (01)_2, (10)_2, (11)_2\}$  に対して、1 ビットのパリティビットを付加することにより、FEC (Forward Error Correcting) 符号語  $c(m, n) \in C = \{(000)_2, (011)_2, (101)_2, (110)_2\}$  を生成する。すなわち、 $c(m, n)$  のハミング重みを  $W_H(c(m, n))$  と表す時、 $W_H(c(m, n))$  は 0 または 2 である。

(c) クライアントは commitment  $\sigma(m, n)$  を次式に従い計算する。ただし、 $\oplus$  は排他的論理和の演算子とする。

$$\sigma(m, n) = x(m, n) \oplus c(m, n) \quad (3)$$

$\sigma(m, n)$  と符号語  $c(m, n)$  それぞれを以下のように連結する。

$$\sigma = \sigma(1, 1) || \sigma(1, 2) || \dots || \sigma(1, N) || \dots || \sigma(M, N)$$

$$c = c(1, 1) || c(1, 2) || \dots || c(1, N) || \dots || c(M, N)$$

(d) クライアントは  $h(c)$  を計算する。ただし、 $h(\cdot)$  はハッシュ関数を表す。その後、commitment とハッシュ値の組  $(h(c), \sigma)$  は認証サーバーに送られ、データベース中に保存される。

#### B. 照合過程

照合画像  $Q$  ( $Q_f$  で圧縮された) と認証サーバーにその特徴量が保存された画像  $X$  を比較するために、以下の手順が実行される。

(a) クライアントは、画像  $Q$  中の DCT 係数  $Q(m, n)$  の正負符号を抽出し、3 ビットの特徴量  $q(m, n)$  に対応させる。

$$q(m, n) = \begin{cases} (000)_2, & \text{sgn}(Q(m, n)) = 1 \\ (010)_2, & \text{sgn}(Q(m, n)) = 0 \\ (110)_2, & \text{sgn}(Q(m, n)) = -1 \end{cases} \quad (4)$$

(b) クライアントは照合を行う画像  $X$  の  $\sigma$  を認証サーバーに対して要求する。

(c) クライアントは

$$c'(m, n) = \sigma(m, n) \oplus q(m, n) \quad (5)$$

を計算し、 $c'(m, n)$  に対して誤り訂正を実行し、符号語  $c''(m, n)$  を生成する。



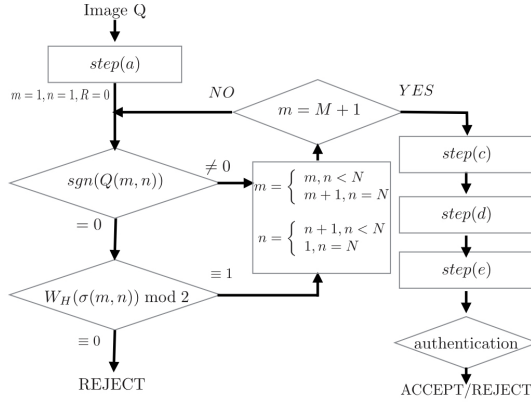


図3 照合過程の処理のフローチャート

$$q(m, n) = \begin{cases} (000)_2, \text{sgn}(Q(m, n)) = 1 \\ (010)_2, \text{sgn}(Q(m, n)) = 0 \\ (110)_2, \text{sgn}(Q(m, n)) = -1 \end{cases} \quad (8)$$

(d) クライアントは

$$c'(m, n) = \sigma(m, n) \oplus q(m, n) \quad (9)$$

を計算し、 $c'(m, n)$  に対して誤り訂正を実行し、符号語  $c''(m, n)$  を生成する。

(e) クライアントは  $c''(m, n)$  を以下のように連結した後、ハッシュ値  $h(c'')$  を計算し、認証サーバに送信する。

$$c'' = c''(1, 1) || c''(1, 2) || \dots || c''(1, N) || \dots || c''(M, N)$$

(f) 認証サーバは、 $h(c'') \neq h(c)$  である時には Reject、 $h(c'') = h(c)$  の時には Accept とする。

これらの処理により、 $\text{sgn}(Q(m, n))$  かつ  $W_H(\sigma(m, n)) \bmod 2 \equiv 0$  となる画像  $X$  と  $Q$  の照合では、各  $3 \times M \times N$  回の排他的論理和の計算 (式 (5))、 $M \times N$  回の誤り訂正の実行 (ステップ B-(c)) が省略可能となり、同定処理の高速化が期待される。

## 4. シミュレーション

提案法の有効性を確認するために、実際にビデオシーケンスを用いて確認する。

### 4.1 シミュレーション条件

得られる結果の評価は次の基準に従う。

A. 同じ原画像からクオリティファクタ  $Q_f \geq Q'_f$  の条件で圧縮された画像間において、正しく同定されると (Accept であれば) True Positive (TP)、同定漏れ (Reject) であれば False Negative (FN) とする。

B. 異なる原画像から圧縮またはクオリティファクタが  $Q_f < Q'_f$  の条件で圧縮された画像間において、Accept であれば False Positive (FP)、Reject であれば True Negative (TN) とする。

C. A. と B. を用いて False-Positive-Rate (FPR) と True-Positive-Rate (TPR) を式のように定義する。

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} \quad (10)$$

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (11)$$



(a) claire



(b) football

図4 ビデオシーケンスの例

表1 フレーム間同定の結果 (従来法)

N	processing time		TP	TN	FP	FN	FPR	TPR	ratio of $t_{c,N}$ to $t_{c,64}$
	$t_{c,N}$ [sec]								
1	201.56		6	534	0	0	0%	100%	2.73%
4	639.35		6	534	0	0	0%	100%	6.58%
16	2472.13		6	534	0	0	0%	100%	25.43%
64	9721.78		6	534	0	0	0%	100%	100%

表2 フレーム間同定の結果 (提案法)

N	processing time		TP	TN	FP	FN	FPR	TPR	ratio of $t_{p,N}$ to $t_{c,64}$
	$t_{p,N}$ [sec]								
1	4.22		6	534	0	0	0%	100%	0.04%
4	6.93		6	534	0	0	0%	100%	0.07%
16	27.72		6	534	0	0	0%	100%	0.29%
64	117.15		6	534	0	0	0%	100%	1.21%

シミュレーションでは、サイズ  $360 \times 288$  の非圧縮の連続する 30 フレームのビデオシーケンスを 2 種類準備する (図 4 参照)。これらのフレームに対して、 $Q_f = 10, 50, 90$  の 3 種類のクオリティの下で JPEG 圧縮を施し、計  $30 \times 2 \times 3 = 180$  枚の JPEG 画像を準備し、先の手順に従いそれぞれの特徴量を認証サーバに登録した。照合時には、認証サーバに登録されている計 180 枚分の特徴量の内、ある 1 つの原画像に相当する特徴量 (異なる  $Q_f$  のもとでの 3 種類分の特徴量) を用いて、認証サーバに登録されている 180 枚それぞれに対して同定を 1 回ずつ実行する。したがって、 $180 \times 3 = 540$  回の同定が実行され、この結果に対して評価をおこなっていく。

シミュレーションに使用したコンピュータの CPU は Intel Celeron CPU J1900、メモリは 7.7GiB であり、使用した言語は MATLAB2015a である。また、JPEG 圧縮には PVRG JPEG コーデックを使用し、垂直方向、水平方向に対してそれぞれ 1/2 の色間引きをおこなっている。以後、従来法は 2.2 で述べたシステム上での画像同定法とし、特徴量は輝度成分と色差成分の全ての DCT 係数から抽出されたものとする。

### 4.2 フレーム間同定

画像中の輝度、色差成分の係数を対象として従来法と提案法を用いた場合について、それぞれ照合を実行した結果を表 1、2 に示す。ただし、 $t_{c,N}$  は  $N$  個の係数から特徴量を抽出して従来法を用いた場合の処理時間を、 $t_{p,N}$  は各ブロックの  $N$  個の係数から特徴量を抽出して提案法を用いた場合の処理時間を示す。また、図 5 に底を 10 とした従来法と提案法の処理時間の対数表示と  $N$  の関係のグラフを示す。

まず、認証精度について注目すると、すべての  $N$  における  $TPR$ 、 $FPR$  はともに同じ結果を示している。提案法は、原理

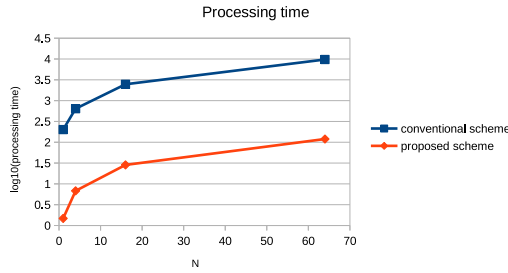


図 5 照合過程の処理時間（基底 10 の対数表示）

表 3 輝度成分の係数のみを使用したフレーム間同定の結果

$N$	processing time		$TPR$	$FPR$	$minimum(L)$	ratio of $t_{l,N}$ to $t_{c,64}$
	$t_{l,N}$ [sec]					
1	2.88		100%	0%	1526	0.03%
4	5.14		100%	0%	2335	0.05%
16	19.74		100%	0%	3383	0.20%
64	84.87		100%	0%	3500	0.87%

的に認証精度を低下させないことに注意してほしい。その理由は、同一の特徴量すべてを比較しているからである。次に処理時間に注目していくと、まず、表 1 において、 $N$  の値を小さくするにつれて、処理時間は短縮されていることが分かる。また、表 1 と表 2、図 5 からそれぞれの  $N$  における処理時間は、約 1% となることが確認された。したがって、提案法は従来法の認証精度を低下させずに処理の高速化が実現可能である。

#### 4.3 特徴量の削減による同定の高速化

表 1 と表 2 では、画像中にある全ブロックの輝度と色差成分の DCT 係数を使用している。次に、全ブロック中の輝度成分の DCT 係数のみを使用した場合、または、一部のブロック中の DCT 係数を使用した場合について、高速化のために特徴量を削減した場合の処理時間や認証精度、安全性を評価する。なお、表中の  $minimum(L)$  は、各フレームにおける DCT 係数が非ゼロ値である個数の最小値とし、図 3 の提案法に基づき以下の処理が実行される。

##### 4.3.1 輝度成分の係数のみを使用する同定

全ブロック中の輝度成分の係数のみから特徴量抽出した場合の実行結果を表 3 に示す。ただし、 $t_{l,N}$  は輝度成分の各ブロックから  $N$  個の係数の特徴量を抽出して提案法を用いた場合の処理時間を示す。

輝度、色差共に使用している場合である表 1 と比較すると、処理時間は短縮されており、実験的には認証精度を落としていない。さらに、表 2 に対しても処理時間が平均して約 72% に短縮されている。また、特徴量を削減した時に非ゼロ値の個数は 256 個よりも多いため、式 (6) よりセキュアであるといえる。したがって、処理の高速化という面において、輝度成分の係数のみから特徴量を抽出することは有効であるといえる。

##### 4.3.2 一部のブロック内の係数のみを使用する同定

使用するブロック数を削減するために、とびとびのブロックを選択し、そのブロック内の係数を使用するとする（図 6 参照）。ただし、 $g$  は 0 以上の整数であり、使用するブロック間に

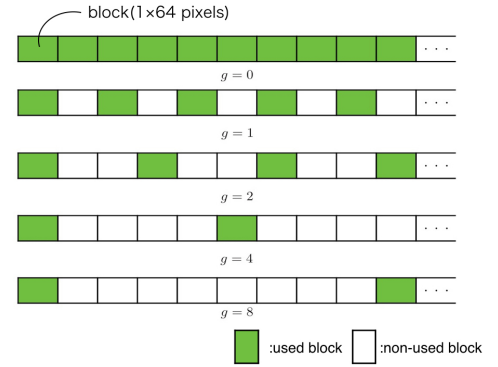


図 6  $g$  に基づくブロックの選択方法

表 4 一部のブロックの係数を使用したフレーム間同定の結果

$N$	$p$	processing time		$TPR$	$FPR$	$minimum(L)$	ratio of $t_{s,N,g}$ to $t_{c,64}$
		$t_{s,N,g}$ [sec]					
1	0	4.22		100%	0%	2273	0.04%
	1	6.70		100%	0%	1145	0.07%
	2	4.40		100%	0%	783	0.05%
	4	6.52		100%	0%	455	0.07%
	8	5.06		100%	0.93%	262	0.05%
4	0	6.93		100%	0%	3625	0.07%
	1	5.07		100%	0%	1853	0.05%
	2	3.51		100%	0%	1267	0.04%
	4	2.57		100%	0%	711	0.03%
	8	2.11		100%	0%	428	0.02%
16	0	27.72		100%	0%	5392	0.29%
	1	14.75		100%	0%	2747	0.15%
	2	9.72		100%	0%	2026	0.10%
	4	6.44		100%	0%	1063	0.07%
	8	5.18		100%	0%	698	0.05%
64	0	117.15		100%	0%	5602	1.21%
	1	63.40		100%	0%	2849	0.65%
	2	44.92		100%	0%	2112	0.46%
	4	27.37		100%	0%	1109	0.28%
	8	21.69		100%	0%	730	0.22%

あるブロックの個数を表す。

この抽出方法を使用した場合の実行結果を表 4 に示す。ただし、ここでは輝度成分と色差成分の両方の DCT 係数を使用しており、 $t_{s,N,g}$  は  $g$  個毎にあるブロックから  $N$  個の係数から特徴量を抽出して提案法を用いた場合の処理時間を示す。

全ブロックから特徴量を抽出している場合と比較すると、全てのブロックを使用しない場合においても、実験的には認証精度はほとんど低下していないことが確認できる。処理時間は  $N \geq 4$  である時に  $p$  の値を大きくするにつれて短縮されていることが確認できる。しかし、 $N = 1$  を選択したとき、つまり DC 係数のみを抽出する場合には、処理時間は短縮されなかった。これは DC 係数が他の係数と比較してゼロ値となる係数が少ないために生じており、そのため提案法は効果的でなかった。また、安全性については今回使用した画像とパラメータ  $p$  の下では実験的には式 (6) よりセキュアであったが、抽出する際に使用する  $N$  と  $p$  の値については式 (6) を満たすように選択することが必要である。したがって、抽出する DCT 係数のゼロ値の個数に注意して適切なパラメータ  $p$  を選択したとき、一部のブロック内の係数のみを抽出することは有効であるといえる。

以上の結果から、次のように要約される。まず、表 1 から、各ブロックから抽出する DCT 係数の個数  $N$  の低減は処理時間の短縮に効果的である。例えば、 $N = 64$  を基準とすると、 $N = 16$  である場合には処理時間が約 25% に短縮された。次に、表 2 から、図 3 の提案法に基づいたときには、各  $N$  の下で処理時間を約 1% にすることが可能となることがわかる。さらに、輝度成分の係数のみを使用した場合には最大 0.03%、とびとびのブロックの係数を使用した場合には 0.02% まで削減可能となる。

## 5. ま と め

本稿では、あらかじめデータベースにセキュアに保存されている圧縮画像の特徴量から、圧縮された照合画像と同じ原画像をロバストかつセキュアに同定する方法における、照合過程での処理時間の高速化手法を提案した。照合過程の処理に提案法を用いることにより、従来法の認証精度を維持した状態で処理時間が短縮されることがシミュレーションから確認された。また、使用する特徴量の個数を削減した場合に、安全性を保ちつつ、認証精度を落とさない状態で処理の高速化が可能であることを実験的に示した。

## 文 献

- [1] C.T.Huang,L.Huang,Z.Qin,H.Yuan,L.Zhou,V.Varaharajan,and C.C.J.Kuo,"Survey on securing data storage in the cloud,"*APSIPA Trans. on Signal and Image Processing*,vol.3,e7,Jun,2014.
- [2] C.Y.Lin and S.F.Chang,"A Robust Image Authentication Method Distinguishing JPEG Compression from Malicious Manipulation,"*IEEE Trans.Circuits and Systems for Video Technology*,vol.11,pp.153-168,February,2001.
- [3] Z.Fan,R.L.de Queiroz, "Identification of bitmap compression history:JPEG detection and quantizer and estimation,"*IEEE Trans. Image Processing*,vol.12,pp.230-235,February,2003.
- [4] C.Y.Lin and S.F.Chang,"Robust image authentication method surviving JPEG lossy compression,"*Proc.SPIE 3312,Storage and Retrieval for Image and Video Databases VI*,256,December,1997
- [5] D.Edmundson,G.Schaefer,"An overview and evaluation of JPEG compressed domain retrieval techniques,"*Int'l. Symposium ELMAR,2012 Proceedings*,pp.75-78,September 2012.
- [6] F. Arnia, I.Iizuka,M. Fuziyoshi,and H.Kiya, "Fast and Robust Identification Methods for JPEG Images with Various Compression Ratios,"*Proc. IEEE Int'l. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol.II, no.IMDSP-P4.6, May, 2006.
- [7] F. Arnia,I.Iizuka,M.Fuziyoshi,and H.Kiya," Fast method for joint retrieval and identification of JPEG coded images based on DCT signs,"*Proc. IEEE Int'l. Conf. on Image Processing*, vol.II, no.MP-P1.10, pp.229-232, September, 2007.
- [8] A.Cheaker,M.Kaaniche,A.Benazza-Benyahia,M.Antonini,"An Efficient Stastical-Based Retrieval Approach for JPEG 2000 Compressed Images,"*European Signal Processing Conf.*,pp.1870-1874,September,2015.
- [9] K.O.Chang,N.F.Law,and W.C.Siu,"A fast approach for identifying similar features in retrieval of JPEG and JPEG 2000 images,"*Proc.APSIPA Annual Summit and Conf.*, 2009,Oct.2009.
- [10] O.Watanabe,T.Fukuhara,and H.Kiya,"Fast Identification of JPEG 2000 Images for Digital Cinema Profiles,"*Proc. IEEE Int'l. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*,pp.881-884,May 2011.
- [11] O.Watanabe,T.Fukuhara, and H.Kiya,"Codestream-Based Identification of JPEG2000 Images with Different Coding Parameters,"*IEICE Trans. on Information and Systems*,vol E95-D,no.4,pp.1120-1129,December 2010.
- [12] T.Dobashi,O.Watanabe,T.Fukuhara,and H.Kiya,"Hash-based Identification of JPEG2000 Images in Encrypted Domain,"*Proc. IEEE Int'l Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems*, no.D2.4, pp.469-472,November, 2012.
- [13] O.Watanabe,T.Iida,T.Fukuhara,and H.Kiya,"Identification of JPEG 2000 Images in Encrypted Domain for Digital Cinema,"*Proc.IEEE Int'l. Conf. on Image Processing*,pp.2065-2068,Nov.2009.
- [14] H.Kobayashi,S.Imaizumi,and H.Kiya,"A Robust Identification Scheme for JPEG XR Images with Various Compression Ratios,"*Proc. Pacific Rim Symposium on Image and Video Technology*, November, 2015.
- [15] 飯田 健太, 塩田 さやか, 貴家 仁志,"Fuzzy Commitment Schemeに基づくセキュアかつロバストな JPEG 画像の同定,"*信学技報,EMM2015-27*,pp101- 106,July 2015 .
- [16] 飯田 健太, 小林 弘幸, 貴家 仁志,"Fuzzy Commitment Schemeに基づくセキュアかつロバストな JPEG XR 画像の同定,"*信学技報,SIS2015-17*,pp101- 106, September 2015 .
- [17] A. Juels and M. Wattenberg," A fuzzy commitment scheme,"*Proc. ACM Conference on Computer and Communications Security*, pp.28-36, November 1999.
- [18] C.Rathgeb,A.Uhl,"Statical attack against Iris-Biometric Fuzzy Commitment schemes,"*IEEE Computer Society Conference,Computer Vision and Pattern Recognition workshops*,pp.23-30,June,2011.
- [19] I.Ito and H.Kiya,"A new class of image registration for guaranteeing secure data management,"*IEEE Int'l. Conf. on Image Processing*,pp.269-272,2008.