

二重 JPEG 画像の同定法と SNS への応用

飯田 健太[†] 中満 達也[†] 貴家 仁志[†]

[†] 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,chuman-tatsuya}@ed.tmu.ac.jp, ††kiya@tmu.ac.jp

あらまし 本稿では、JPEG 形式で二重圧縮された画像 (二重 JPEG 画像) を対象とした画像同定法を提案する。提案法は、二重 JPEG 画像であるクエリ画像に対して、JPEG 形式で一度だけ圧縮された画像 (単一圧縮 JPEG 画像) を保存したデータベース中から、クエリ画像と圧縮率など符号化条件は異なるが、原画像が同一の単一圧縮 JPEG 画像を同定することを目的とする。ソーシャルネットワーキングサービス (SNS) では、アップロードされた JPEG 画像に対して、一般に再度 JPEG 圧縮を施すということが知られている。そのため、SNS へアップロードされた画像は二重 JPEG 画像であり、使用される画像同定法が SNS 上の JPEG 画像の同定に有効であることが期待される。先行研究では、単一圧縮 JPEG 画像を対象とした画像同定法は提案されているが、二重 JPEG 画像の生成の際に生じる誤差が考慮されていない。そのために、二重 JPEG 画像の同定では、性能が大きく劣化する。提案法は、二重 JPEG 画像で生じる誤差を考慮して設計されているため、単一圧縮 JPEG 画像だけでなく、二重 JPEG 画像の同定が可能となっている。シミュレーションでは、単一圧縮 JPEG 画像と二重 JPEG 画像の両方に対して、提案法が有効であることを示す。

キーワード JPEG, SNS, 画像同定

An Image Identification Scheme for Double-Compressed JPEG Images and Its Application to SNSs

Kenta IIDA[†], Tatsuya CHUMAN[†], and Hitoshi KIYA[†]

[†] Faculty of System Design, Tokyo Metropolitan University 6-6, Asahigaoka, Hino-shi, Tokyo, 191-0065
Japan

E-mail: †{iida-kenta1,chuman-tatsuya}@ed.tmu.ac.jp, ††kiya@tmu.ac.jp

Abstract A robust image identification scheme for double-compressed JPEG images is proposed in this paper. The aim is to robustly identify JPEG images generated from the same original image under various compression conditions. It is known that social networking services (SNSs) generally recompress images uploaded to SNSs by users. Therefore, in order to identify images uploaded to SNSs, errors caused by the double-compression have to be considered for the identification. Conventional schemes are not applicable to identification of double-compressed images because they do not consider the errors. In the proposed scheme, the use of new properties of DCT coefficients allows us to identify double-compressed images. This scheme is well-suited for the uploading images to social networks and for image retrieval and forensics. Experimental results demonstrate that the proposed scheme is effective in terms of the querying performance, even if images are double-compressed.

Key words JPEG, SNS, Image Identification

1. ま え が き

近年、カメラやビデオの普及により、日々膨大な量の画像データが生成されており、画像は、ソーシャルネットワークサービス (SNS) などの中心コンテンツとして不可欠なものとなっている。多くの場合でこれらの画像は、データ量が膨大であることから、JPEG 形式などで圧縮が施された形式で保管および伝送

されている。また、一般に、SNS のプロバイダがアップロードされた画像を、再度 JPEG 形式で圧縮しデータベースに保存することが知られている [1, 2]。そのため、JPEG 形式で一度圧縮を施した画像 (単一圧縮 JPEG 画像) を SNS へアップロードした場合、その画像は二重圧縮された JPEG 画像 (二重 JPEG 画像) として SNS サーバのデータベースに保管される。本稿では、SNS にアップロードされた JPEG 画像を対象とした、す

なわち、二重 JPEG 画像の原画像の同定法について提案する。

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は盛んにおこなわれている [3–15]。これらの手法は、特徴量抽出の方法が圧縮形式に依存するかという点で、分類される。

圧縮形式に依存しない特徴量を用いる手法 [13–15] では、非可逆な圧縮にロバストさを持つが、二重圧縮された画像に対する性能は評価されてこなかった。また、特徴量抽出のために、一度画像を復号する必要がある。

一方、圧縮形式に注目した特徴量を用いる手法 [3–12] では、圧縮率の違いに対して強いロバストさを持つ。JPEG 形式を対象として、DCT 係数の正負符号を特徴量を用いる手法 [7, 10] や、視覚的情報を持たない特徴量を用いる手法 [12] などが提案されており、それぞれ圧縮率と符号化条件にロバストさを持っている。しかしながら、これらの手法では共通して、二重 JPEG 画像の生成の際に生じる誤差を考慮していない。

このような背景から、同じ原画像から生成された二重 JPEG 画像を、符号化条件に対してロバストに同定する手法を提案する。提案法は、DCT 係数がゼロ値である位置を特徴量とし、二重 JPEG 画像の生成により生じる誤差を考慮した新たな性質を用いて同定を実行する。シミュレーションでは、単一圧縮 JPEG 画像と二重 JPEG 画像を対象とした同定をそれぞれおこない、提案法の有効性を示す。

2. 準備

2.1 JPEG 圧縮

JPEG 圧縮は、以下の手順でおこなわれる。

- 1) RGB 色空間から輝度色差空間 ($YCbCr$ 空間) への色変換、および色差成分 (C_b, C_r) のダウンサンプリング
- 2) 8×8 画素のブロックへの画像の分割
- 3) ブロック毎に離散コサイン変換 (DCT) の実行
- 4) 量子化行列 \mathbf{Q} を用いた、DCT 係数 \mathbf{S} の量子化
- 5) エントロピー符号化

ステップ 4) では、量子化行列 \mathbf{Q} を用いて、 8×8 の DCT 係数の行列 \mathbf{S} に対して、式 (1) にしたがった量子化を施し、量子化係数 \mathbf{S} を獲得する。

$$S_q(u, v) = \text{round} \left(\frac{S(u, v)}{Q(u, v)} \right), \quad 0 \leq u \leq 7, \quad 0 \leq v \leq 7 \quad (1)$$

ただし、 $S(u, v)$ と $Q(u, v)$ 、 $S_q(u, v)$ は、それぞれ \mathbf{S} と \mathbf{Q} 、 \mathbf{S}_q の u 行 v 列目の要素をあらわし、 $\text{round}(x)$ は、ある値 x の最も近い整数への丸め込みをおこなう関数である。一般に、式 (1) 中の量子化行列は、初期量子化行列 \mathbf{Q}_0 とクオリティファクタ QF ($1 \leq QF \leq 100$) を用いて、次のように定義される。

$$Q(u, v) = \begin{cases} \text{round} \left(\frac{Q_0(u, v) \cdot \lfloor \frac{5000}{QF} \rfloor}{100} \right), & 1 \leq QF < 50, \\ \text{round} \left(\frac{Q_0(u, v) \cdot (200 - 2 \cdot QF)}{100} \right), & 50 \leq QF \leq 100, \end{cases} \quad (2)$$

ただし、 $Q_0(u, v)$ は、 \mathbf{Q}_0 の u 行 v 列目の要素をあらわし、 $\lfloor x \rfloor$ は、 x の整数部分をあらわす。初期量子化行列の全ての要素とクオリティファクタ QF は、正の値である。一般に、輝度成分、色差成分で異なる初期量子化行列を用いて、量子化行列は制御

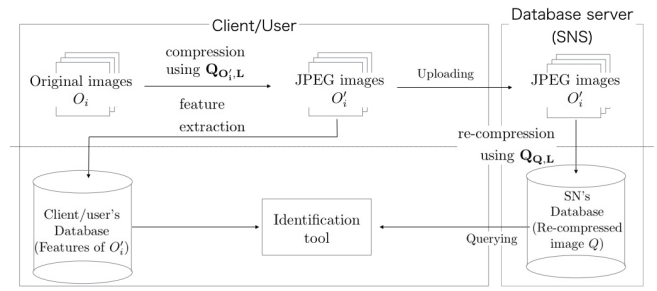


図1 画像同定のフレームワーク

され、その制御された量子化行列は、それぞれ JPEG 符号列のヘッダ情報に格納されている。式 (2) の下では、画像圧縮のために用いられた QF の値が大きいくほど、その圧縮された画像は高画質な画像となる。

2.2 表記法

本稿では次の表記法を用いる。

- O_i は原画像をあらわし、 O'_i は画像 O_i の単一圧縮 JPEG 画像 O'_i をあらわす。
- Q はクエリ画像をあらわす。また、 Q' は Q の単一圧縮 JPEG 画像をあらわし、 Q'' は Q' から生成された Q の二重 JPEG 画像をあらわす。
- M は、1 枚の画像に含まれる、サイズ 8×8 のブロックの個数を示す。
- N は、各ブロックにおいて、画像同定に用いられる DCT 係数の数を示す ($0 < N \leq 64$)。
- $s(m, n)$ は、 m 番目のブロックの n 番目の量子化前の DCT 係数を示す ($0 \leq m < M, 0 \leq n < N$)。
- $O'_i(m, n)$ と $q(m, n), q'(m, n), q''(m, n)$ は、 O'_i と Q, Q', Q'' の、 m 番目のブロックの n 番目の量子化された DCT 係数をそれぞれ示す ($0 \leq m < M, 0 \leq n < N$)。
- $\mathbf{Q}_{O'_i,L}$ と $\mathbf{Q}_{Q,L}, \mathbf{Q}_{Q',L}, \mathbf{Q}_{Q'',L}$ は、それぞれ、 O'_i と Q, Q', Q'' の生成に用いられた、輝度成分の量子化行列を示す。
- $Q_{O'_i,L}(n)$ と $Q_{Q,L}(n), Q_{Q',L}(n), Q_{Q'',L}(n)$ は、 $\mathbf{Q}_{O'_i,L}$ と $\mathbf{Q}_{Q,L}, \mathbf{Q}_{Q',L}, \mathbf{Q}_{Q'',L}$ の n 番目の要素を示す ($0 \leq n < N$)。
- $QF_{O'_i}$ と $QF_Q, QF_{Q'}, QF_{Q''}$ は、それぞれ O'_i と Q, Q', Q'' を生成するために用いられたクオリティファクタを示す。

2.3 画像同定

本稿で対象とする画像同定について要約する。ある符号化条件で JPEG 圧縮されたクエリ画像に対して、データベースに登録されている JPEG 画像から、クエリ画像と同じ原画像を持つ登録画像を探すことを目的とする。ただし、画像サイズは同じであるとし、サイズの違う画像は同定対象としない。

1) 画像同定のシナリオ

本稿では、図 1 に示すシナリオを想定する。シナリオでは、クライアントまたはユーザは、ある JPEG 画像から特徴量を抽出し、その特徴量をクライアントまたはユーザのデータベースへ保存する。同時に、その JPEG 画像を Twitter などの SNS へアップロードする。SNS へアップロードされた画像は、プロ

バイダによって、異なる符号化条件の下で再圧縮され、SNS のサーバへ保管される。SNS のサーバに保管されている画像の1つが Q'' として選択される。クライアントまたはユーザが Q'' から特徴量を抽出した後に、データベースに登録された特徴量と比較して画像同定を実行する。

上述したように、SNS は、アップロードされた JPEG 画像に対して、一般に再圧縮を施す。そのため、SNS を想定した画像同定法は、二重 JPEG 画像を生成する際に生じる誤差を考慮する必要があり、提案法は、その誤差を考慮して設計される。

2) 想定するアプリケーション

提案法は、クエリ画像と同じ原画像を持つ画像を探すことを目的とする。SNS における再圧縮では、異なる符号化条件で実行されることが想定されるため、画像同定法は、符号化条件の違いにロバストである必要がある。ターゲットとするアプリケーションとして、以下の目的のものを想定する。

(a) Q'' と O'_i との対応付け

Q'' は、 O'_i に対して再圧縮や付加情報の削除などの操作の後に保管されているため、一般に O_i や O'_i に比べ、画質が劣化しておりかつヘッダ情報の多くが欠落している。提案法は、 Q'' から O_i や O'_i との対応付けをコンテンツベースで可能とする。

(b) 画像の改ざんの検出

SNS のプロバイダや悪意のある攻撃者による、画像の再圧縮以外の加工（改ざん）の有無の検証に使用できる。

(c) 違法アップロードの検出

著作権を含む画像が、その画像の使用の許可なく、SNS へアップロードされていないかの検証に使用できる。

ここで、提案法は類似画像検索を目的としていないことに注意されたい。

2.4 JPEG 圧縮および伸長による誤差

JPEG の規格は、一般に非可逆な圧縮方式として広く用いられている。そのために、ある原画像の画素値に対して、それを一度圧縮・伸長した画像の画素値は、圧縮による誤差のために異なる値をとることになる。この誤差は、次の3つに分類することが可能である [16]。

- 量子化誤差 (Quantization error)

圧縮手順のステップ 4) における、DCT 係数の量子化および整数値への丸め込みによって生じる誤差を示す。

- 丸め誤差 (Rounding error)

伸長の手順における、逆量子化された DCT 係数に対して、逆 DCT(IDCT) を適用した値の整数化により生じる誤差を示す。

- 切り捨て誤差 (Truncation error)

伸長の手順における、逆 DCT(IDCT) を適用した値を [0 255] の範囲におさめるために、0 より小さい値と 255 より大きい値を、0 と 255 へそれぞれマッピングすることにより生じる誤差を示す。

JPEG 画像の同定の際に、これらの誤差を考慮する必要がある。図 2 に、単一圧縮 JPEG 画像および二重画像の生成の手順を示す。ただし、 e_1 は、単一圧縮 JPEG 画像を伸長する際に生じる誤差、すなわち Rounding error と Truncation error を示す。この e_1 は、単一圧縮 JPEG 画像には含まれていないが、二重

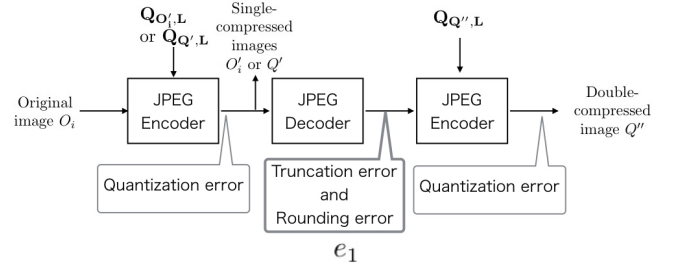


図 2 単一圧縮 JPEG 画像および二重 JPEG 画像に含まれる誤差

JPEG 画像には含まれている。すなわち、単一圧縮 JPEG 画像は Quantization error のみを含むが、二重 JPEG 画像は3つの誤差を含む。したがって、二重 JPEG 画像の同定の際には、これら3つのタイプの誤差を考慮する必要がある。

3. 提案法

ここでは、単一圧縮 JPEG 画像だけでなく、二重 JPEG 画像を同定することが可能な DCT 係数の性質が提案される。

3.1 単一圧縮 JPEG 画像における DCT 係数の性質

式 (1) より、DCT 係数がゼロ値である位置に注目した、以下の性質が導出される。

二枚の単一圧縮 JPEG 画像 Q' と O'_i が、同じ原画像 O_i から生成されているとする。 $s(m, n) \geq 0$ かつ $Q_{O'_i, L}(n) \leq Q_{Q', L}(n)$ である時、整数値への丸め込みがおこなわれる前の DCT 係数の関係は、次のように表される。

$$\frac{s(m, n)}{Q_{Q', L}(n)} \leq \frac{s(m, n)}{Q_{O'_i, L}(n)} \quad (3)$$

一方、 $O'_i(m, n) = 0$ 、すなわち、

$$O'_i(m, n) = \text{round} \left(\frac{s(m, n)}{Q_{O'_i, L}(n)} \right) = 0, \quad (4)$$

である時、量子化された DCT 係数は次の式を満たす。

$$0 \leq \frac{s(m, n)}{Q_{O'_i, L}(n)} < \frac{1}{2}. \quad (5)$$

式 (3) と (5) より、

$$0 \leq \frac{s(m, n)}{Q_{Q', L}(n)} \leq \frac{s(m, n)}{Q_{O'_i, L}(n)} < \frac{1}{2}. \quad (6)$$

$s(m, n) \geq 0$ を $s(m, n) \leq 0$ に置き換えた場合、

$$-\frac{1}{2} < \frac{s(m, n)}{Q_{O'_i, L}(n)} \leq \frac{s(m, n)}{Q_{Q', L}(n)} \leq 0 \quad (7)$$

を満たす。この時、 $q'(m, n)$ は

$$q'(m, n) = \text{round} \left(\frac{s(m, n)}{Q_{Q', L}(n)} \right) \quad (8)$$

と計算される。それゆえに、 $Q_{O'_i, L}(n) \leq Q_{Q', L}(n)$ の下で、

$$O'_i(m, n) = 0 \rightarrow q'(m, n) = 0 \quad (9)$$

を満たす。同様に、 $Q_{O'_i, L}(n) \geq Q_{Q', L}(n)$ の下で次の式を満

たす。

$$q'(m, n) = 0 \rightarrow O'_i(m, n) = 0. \quad (10)$$

3.2 二重 JPEG 画像における DCT 係数の性質

次に、二重 JPEG 画像の同定のための性質を提案する。ただし、図 2 の $e_1 = 0$ の下で議論を進める。

単一圧縮 JPEG 画像 Q' と O'_i が、同じ原画像 O_i から生成されており、二重 JPEG 画像 Q'' が、 Q' から $Q_{Q'',L}(n)$ を用いて生成されている時、以下の式を満たす。

$$q''(m, n) = \text{round} \left(\frac{q'(m, n) * Q_{Q',L}(n)}{Q_{Q'',L}(n)} \right). \quad (11)$$

この式から、次の関係を満たす。

$$q'(m, n) = 0 \rightarrow q''(m, n) = 0 \quad (12)$$

ここで、3 枚の画像が、 $Q_{O'_i,L}(n) \leq Q_{Q',L}(n)$ かつ $Q_{O'_i,L}(n) \leq Q_{Q'',L}(n)$ の条件の下で生成されているとする。この仮定の下で、式(9) と式 (12) から次の関係が導かれる。

$$O'_i(m, n) = 0 \rightarrow q'(m, n) = 0 \text{ and } q''(m, n) = 0 \quad (13)$$

$Q_{O'_i,L}(n) \leq Q_{Q',L}(n)$ かつ $Q_{O'_i,L}(n) \leq Q_{Q'',L}(n)$ の条件の下で画像 O'_i , Q' , Q'' が生成されているならば、

$$O'_i(m, n) = 0 \rightarrow q''(m, n) \neq 0, \quad (14)$$

を満たせば、 O'_i と Q'' は異なる原画像を持つ。単一圧縮 JPEG 画像 O'_i と Q' の同定の際は、式 (14) 中の $q''(m, n)$ を $q'(m, n)$ に置き換えることで、実現可能である。同じ初期量子化行列 Q_0 を用いているとすれば、クオリティファクタ $QF_{O'_i}$ が、 $QF_{Q''}$ と $QF_{Q'}$ よりも大きな値である時に、上の仮定の下で同定が実行可能である。

3.3 提案法のアルゴリズム

提案法では、DCT 係数がゼロ値である位置を特徴量として、式 (14) に基いて同定が実行される。以下では、特徴量抽出と同定のプロセスについて説明していく。

1) 特徴量抽出

クライアントまたはユーザは、 O'_i から特徴量を抽出し、クライアントまたはユーザのデータベースに保存するために以下の手順を実行する。

- (a) M と N の値を設定する。
- (b) $m := 0$ と $n := 0$ とする。
- (c) DCT 係数 $O'_i(m, n)$ を $b_{O'_i}(m, n)$ へ以下の手順でマッピングする。

$$b_{O'_i}(m, n) = \begin{cases} 0, & O'_i(m, n) \neq 0, \\ 1, & O'_i(m, n) = 0, \end{cases} \quad (15)$$

ただし、 $b_{O'_i}$ は O'_i の特徴量をあらわす。

(d) $n := n + 1$ とする。もし、 $n < N$ を満たすならば、ステップ (c) へ。

(e) $n := 1$, $m := m + 1$ とする。もし、 $m < M$ を満たすならば、ステップ (c) へ。 $m = M$ であれば、 $b_{O'_i}$ をクライアント

またはユーザのデータベースに保存する。

2) 単一圧縮 JPEG 画像の同定の手順

単一圧縮 JPEG 画像 Q' を O'_i に対して同定を実行する時、クライアントまたはユーザは、 $b_{O'_i}$ と同じ手順で Q' から $b_{Q'}$ を抽出し、以下の手順を実行する。

- (a) M と N の値を設定する。
- (b) $m := 0$ と $n := 0$ とする。
- (c) $b_{O'_i}(m, n)$ と $b_{Q'}(m, n)$ を用いて、式 (14) を満たすか確認する。もし満たすならば、クライアントまたはユーザは O'_i と Q' を異なる原画像から生成されていると判断し、 O'_i に対する同定を終了する。

(d) $m := m + 1$ とする。もし、 $m < M$ を満たすならば、ステップ (c) へ。

(e) $n := n + 1$ かつ $m := 1$ とする。もし、 $n < N$ を満たすならば、ステップ (c) へ。さもなければ、クライアントまたはユーザは O'_i と Q' が同じ原画像から生成されていると判断する。

3) 二重 JPEG 画像の同定の手順

二重 JPEG 画像 Q'' の単一圧縮 JPEG 画像 O'_i に対する同定の際にも、単一圧縮 JPEG 画像を対象とする場合と同様、クライアントまたはユーザは、 $b_{O'_i}$ と同じ手順で、 Q'' から $b_{Q''}$ を抽出し、以下の手順で同定を実行する。

(a) M と N , th の値を設定する。ただし、 th は、式 (14) を満たしても良い回数の閾値とする。

(b) $m := 0$ と $n := 0$, $count := 0$ とする。ただし、 $count$ は、式 (14) を満たした回数をあらわす。

(c) $b_{O'_i}(m, n)$ と $b_{Q''}(m, n)$ を用いて、式 (14) を満たすか確認する。もし満たすならば、 $count := count + 1$ とする。さもなければ、ステップ (e) へ。

(d) もし、 $count > th$ ならば、クライアントまたはユーザは O'_i と Q'' を異なる原画像から生成されていると判断し、 O'_i に対する同定を終了する。

(e) $m := m + 1$ とする。もし、 $m < M$ を満たすならば、ステップ (c) へ。

(f) $n := n + 1$ かつ $m := 1$ とする。もし、 $n < N$ を満たすならば、ステップ (c) へ。さもなければ、クライアントまたはユーザは O'_i と Q'' が同じ原画像から生成されていると判断する。

実際には、二重 JPEG 画像には、Truncation error および Rounding error が含まれており、すなわち $e_1 \neq 0$ を満たさない。この e_1 の影響を避けるために、二重 JPEG 画像の同定の際に閾値 th を用いている。

正負符号を特徴量とする従来法 [7,8,10,11] では、二重 JPEG 画像に含まれる誤差 e_1 を考慮していない問題点があった。提案法では、新たな DCT 係数の性質と、 e_1 の影響を回避するための閾値 th を用いることで、その問題点を解消することができる。

4. シミュレーション

提案法の有効性を、Head Pose Image Database (HPID) [19] に含まれる画像 (図 3 参照) を用いて確認した。HPID には、15 人分の顔画像が 1 人あたり 186 枚含まれており、その内の 1 人分である 186 枚の画像を IJG (Independent JPEG Group) [20]

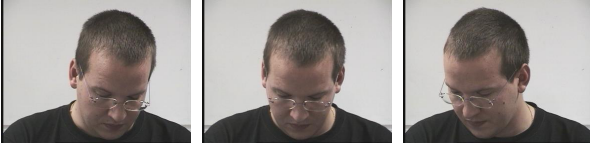


図 3 使用画像の例 (384×288)

表 1 使用したクオリティファクタ. DB_1 と DB_2 , DB_3 は, 図 1 中のユーザまたはクライアントのデータベースを示す.

JPEG 画像		クオリティファクタ
各データベースに登録される画像	DB_1	$QF_{O'_i} = 90$
	DB_2	$QF_{O'_i} = 92$
	DB_3	$QF_{O'_i} = 95$
クエリ画像 (単一圧縮 JPEG 画像 Q')		$QF_{Q'} = 85, 87, 90$
クエリ画像 (二重 JPEG 画像 Q'')		$QF_{Q''} = 85$

のエンコーダで JPEG 圧縮して, シミュレーションをおこなった. シミュレーションでは, JPEG 画像からの輝度成分のみを特徴量として抽出した.

また, 比較手法として, secure features-based scheme [12] と image hashing-based scheme [13], fuzzy commitment scheme (FCS)-based scheme [10] の性能も評価した. image hashing-based scheme [13] では, クエリ画像のハッシュ値に対して, データベース中に含まれるすべての画像のハッシュ値とのハミング距離を計算し, 最も距離が近いハッシュ値を持つ画像を同じ原画像を持つと判断した.

4.1 単一圧縮 JPEG 画像に対する同定

まず, 単一圧縮 JPEG 画像に対する同定, すなわち, O'_i と Q' 間の同定の性能を評価した. 表 1 に, JPEG 画像の生成のために使用したクオリティファクタを示す. ただし, DB_1 と DB_2 , DB_3 は, 図 1 中のユーザまたはクライアントのデータベースを示す. 例えば, DB_1 に登録されている特徴量は, $QF_{O'_i} = 90$ を用いて圧縮された 186 枚の画像から抽出された. 同様に, DB_2 , DB_3 に登録されている特徴量は, それぞれ $QF_{O'_i} = 92$ と $QF_{O'_i} = 95$ で圧縮された画像から抽出された. また, $QF_{Q'} = 85, 87, 90$ を用いて圧縮された, 558(=186×3) 枚の画像を DB_1 と DB_2 , DB_3 に対するクエリ画像として用いた. これらのクエリ画像 1 枚に対して, 各データベースに特徴量として登録されている 186 枚すべてと同定をおこない, 計 186×558 回の同定を 1 つのデータベースに対して実行した. なお, 提案法の同定は, 3.3.2) で示したアルゴリズムを用いて実行した.

表 2 に同定の実行結果を示す. True Positive Rate (TPR) と False Positive Rate (FPR) は, True Positive match(TP), True Negative match(TN), False Positive match(FP), False Negative match(FN) から以下のように定義される.

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN}, \quad FPR = \frac{FP}{FP + TN}, \quad (16)$$

ここで, $TPR = 100[\%]$ は, 同じ原画像を持つ画像を漏れなく同定したことを示し, $FPR \neq 0[\%]$ は, 誤って同じ原画像であると判断された画像があることを示す. image hashing-based scheme と FCS-based scheme を用いた場合には, 同定漏れが

表 2 単一圧縮 JPEG 画像に対する同定の性能

scheme	database	$QF_{Q'} =$					
		85		87		90	
		TPR[%]	FPR[%]	TPR[%]	FPR[%]	TPR[%]	FPR[%]
proposed	DB_1	100	0	100	0	100	0
	DB_2	100	0	100	0	100	0
	DB_3	100	0	100	0	100	0
secure features [12]	DB_1	100	0	100	0	100	0
	DB_2	100	0	100	0	100	0
	DB_3	100	0	100	0	100	0
FCS [10]	DB_1	0	0	0	0	100	0
	DB_2	0	0	0	0	0	0
	DB_3	0	0	0	0	0	0
image hashing [13]	DB_1	98.92	0.02	98.39	0.02	100	0.01
	DB_2	99.46	0.01	100	0.02	99.46	0.01
	DB_3	98.92	0.01	98.39	0.01	100	0.01

表 3 二重 JPEG 画像に対する同定の性能

scheme	database	$QF_{Q'} =$					
		85		87		90	
		TPR[%]	FPR[%]	TPR[%]	FPR[%]	TPR[%]	FPR[%]
proposed ($th = 0$)	DB_1	40.86	0	46.24	0	89.78	0
	DB_2	40.86	0	46.24	0	90.32	0
	DB_3	49.46	0	49.46	0	93.01	0
proposed ($th = 5$)	DB_1	100	0	100	0	100	0
	DB_2	100	0	100	0	100	0
	DB_3	100	0	100	0	100	0
secure features [12]	DB_1	40.86	0	46.24	0	89.78	0
	DB_2	40.86	0	46.24	0	90.32	0
	DB_3	49.46	0	49.46	0	93.01	0
FCS [10]	DB_1	0	0	0	0	0.54	0
	DB_2	0	0	0	0	0	0
	DB_3	0	0	0	0	0	0
image hashing [13]	DB_1	98.92	0.02	99.46	0.02	100	0.01
	DB_2	99.46	0.01	99.46	0.02	100	0.01
	DB_3	98.92	0.01	99.46	0.01	100	0.01

あった一方で, 提案法と secure features-based scheme は, 全てのデータベースに対して同定漏れなく実行された. また, image hashing-based scheme のみが, 誤って同じ原画像であると判断した.

4.2 二重 JPEG 画像に対する同定

次に, 二重 JPEG 画像に対する同定, すなわち, O'_i と Q'' 間の同定の性能を評価した. 表 1 に, 二重 JPEG 画像の生成のために使用したクオリティファクタを示す. $QF_{Q'} = 85, 87, 90$ を用いて圧縮を施した単一圧縮 JPEG 画像を, 一度復号した後に, $QF_{Q''} = 85$ を用いて二重 JPEG 画像を生成した. また, 3.3.3) で示したアルゴリズムを用いて, 提案法の同定は実行された.

表 3 に二重 JPEG 画像に対する同定の結果を示す. 提案法は, $th = 0$ の時, すなわち閾値を用いなかった時には, 他の手法と同様に同定漏れが起きた. 一方, $th = 5$ とした時には, 誤って原画像が異なるものと同じであると判断することなく, 同定漏れが起きなかった.

5. まとめ

DCT 係数がゼロ値である位置を特徴量とした, 二重 JPEG 画像のための同定法を提案した. DCT 係数の性質とこの特徴量を用いることで, 提案法は様々な符号化条件の下で同定が可能である. 提案法は, 単一圧縮 JPEG 画像に対しては, 同定漏れ

れなく実行することが原理的に可能である。さらに、二重 JPEG 画像の生成の際に生じる誤差を考慮することで、提案法は二重 JPEG 画像の同定を実行可能である。シミュレーションの結果は、単一圧縮 JPEG 画像に対してだけでなく、二重 JPEG 画像に対しても提案法が有効であることを示した。

文 献

- [1] R. Caldelli, R. Becarelli, and I. Amerini. Image origin classification based on social network provenance. *IEEE Trans. Information Forensics and Security*, Vol. 12, No. 6, pp. 1299–1308, 2017.
- [2] M. Moltisanti, A. Paratore, S. Battiato, and L. Saravo. Image manipulation on facebook for forensics evidence. In *Proc. Int'l Conf. on Image Analysis and Processing*, pp. 506–517, 2015.
- [3] C.-Y. Lin and S.-F. Chang. A robust image authentication method distinguishing jpeg compression from malicious manipulation. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 11, No. 2, pp. 153–168, 2001.
- [4] Z. Fan and R. L. de Queiroz. Identification of bitmap compression history: Jpeg detection and quantizer estimation. *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 12, No. 2, pp. 230–235, 2003.
- [5] D. Edmundson and G. Schaefer. An overview and evaluation of jpeg compressed domain retrieval techniques. In *Proc. IEEE ELMAR*, pp. 75–78, 2012.
- [6] K.O. Cheng, N.F. Law, and W.C. Siu. A fast approach for identifying similar features in retrieval of jpeg and jpeg2000 images. In *Proc. APSIPA Annual Summit and Conference*, pp. 258–261, 2009.
- [7] F. Arnia, I. Iizuka, M. Fujiyoshi, and H. Kiya. Fast and robust identification methods for jpeg images with various compression ratios. In *Proc. IEEE Int'l Conf. on Acoustics Speech and Signal Processing Proceedings*, Vol. 2, pp. II–II, 2006.
- [8] H. Kobayashi, S. Imaizumi, and H. Kiya. A robust identification scheme for jpeg xr images with various compression ratios. In *Proc. Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology*, pp. 38–50, 2015.
- [9] O. Watanabe, T. Iida, T. Fukuhara, and H. Kiya. Identification of jpeg 2000 images in encrypted domain for digital cinema. In *Proc. IEEE Int'l Conf. on Image Processing*, pp. 2065–2068, 2009.
- [10] K. Iida and H. Kiya. Fuzzy commitment scheme-based secure identification for jpeg images with various compression ratios. *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol. 99, No. 11, pp. 1962–1970, 2016.
- [11] K. Iida, H. Kobayashi, and H. Kiya. Secure identification based on fuzzy commitment scheme for jpeg xr images. In *Proc. EURASIP European Signal Processing Conf.*, pp. 968–972, 2016.
- [12] K. Iida and H. Kiya. Robust image identification with secure features for jpeg images. In *Proc. IEEE Int'l Conf. on Image Processing*, 2017(to be published).
- [13] Y. Li and P. Wang. Robust image hashing based on low-rank and sparse decomposition. In *Proc. IEEE Int'l Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pp. 2154–2158, 2016.
- [14] Y. N. Li, P. Wang, and Y. T. Su. Robust image hashing based on selective quaternion invariance. *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 22, No. 12, pp. 2396–2400, 2015.
- [15] Z. Tang, X. Zhang, X. Li, and S. Zhang. Robust image hashing with ring partition and invariant vector distance. *IEEE Trans. on Information Forensics and Security*, Vol. 11, No. 1, pp. 200–214, 2016.
- [16] F. Huang, J. Huang, and Y. Q. Shi. Detecting double jpeg compression with the same quantization matrix. *IEEE Trans. on Information Forensics and Security*, Vol. 5, No. 4, pp. 848–856, Dec 2010.
- [17] I. Ito and H. Kiya. One-time key based phase scrambling for phase-only correlation between visually protected images. *EURASIP Journal on Information Security*, Vol. 2009, No. 1, 2009.
- [18] I. Ito and H. Kiya. A new class of image registration for guaranteeing secure data management. In *Proc. IEEE Int'l Conf. on Image Processing*, pp. 269–272, 2008.
- [19] N. Gourier, D. Hall, and J. L. Crowley. Estimating face orientation from robust detection of salient facial structures. In *Proc. Int'l Workshop on Visual Observation of Deictic Gestures*, Vol. 6, 2004.
- [20] The independent jpeg group software jpeg codec. <http://www.ijg.org/>.