

可変幅量子化型 DWT 変換を用いた 電子透かしによる改ざん種類推定

Tamper type estimation by watermarking with variable width quantization of wavelet coefficients

山本 勇樹† 新田 直子† 馬場口 登†
Yuuki Yamamoto Naoko Nitta Noboru Babaguti

1 はじめに

近年、画像処理ソフトウェアの普及により、デジタル画像の改ざんが容易となった。画像の改ざんの有無を確認することをコンテンツ認証といい、その手段として電子透かし（以下、透かし）を応用した研究が進められている [1]~[4]。本稿では、画像に、故意に加えられる操作、または偶然に加えられる歪み全てを、改ざんと呼ぶことにする。改ざんには非可逆圧縮等の多くの応用において許容可能な改ざんと、切り抜き・置き換え操作等のように画像に対する解釈を変えてしまうような許容可能でない改ざんがある。コンテンツ認証の際に、改ざん位置や改ざん種類が推定できれば、その改ざんが許容可能であるかどうか、また許容可能でなければ改ざん者の意図を読み取ることができ、その画像の信頼性を高めることにつながり得る。

[4]では、画像から計算された DWT（離散ウェーブレット変換）係数の固定量子化幅での量子化による透かしの埋め込みにより、改ざんされた位置、および周波数を特定し、改ざん位置や改ざん種類の推定を可能とする手法が提案されている。しかし、1) 固定の量子化幅で量子化していること、2) 特定の分解レベル（周波数成分に相当）の透かしの破損率のみに着目していることから、効果的な改ざん種類の推定の実現には至っていない。

そこで、本稿では、画像から計算された DWT 係数を、各改ざん、各分解レベルに対して異なる量子化幅で量子化し、かつ全ての分解レベルの透かしの破損率を参照することにより、効果的な改ざん種類の特定を目指す。なお、本稿では、許容可能な改ざんとして JPEG 圧縮を、許容可能でない改ざんとして切り抜き、置き換え操作を対象とする。

2 可変幅量子化による電子透かし

本稿で提案する手法は、図 1 に示す透かしの埋め込み、並びに図 2 に示す透かしの抽出、改ざん評価の 3つのプロセスからなっている。送信側では、ユーザが特定を望む改ざんと、その改ざんを実際に受けた場合に壊れて欲しい透かしの割合を入力し、その入力に応じた量子化幅で、原画像から計算された DWT 係数の一部を量子化することにより、透かしの埋め込み。受信側では、まず透かしの抽出し、次に抽出された透かしと埋め込んだ透かしとの比較により、各改ざんごとの透かしの破損率を計算する。さらにその破損率と送信側で入力された破損率との比較により、各改ざんの有無を決定する。

2.1 埋め込みプロセスおよび量子化幅の決定

本手法では、DWT 係数の量子化により、透かしの埋め込み。画像に DWT 変換を施した後の分解レベル l ($l = 1, 2, \dots, L$; L : 最大分解レベル)、方向 k ($k = h, v, d$, そ

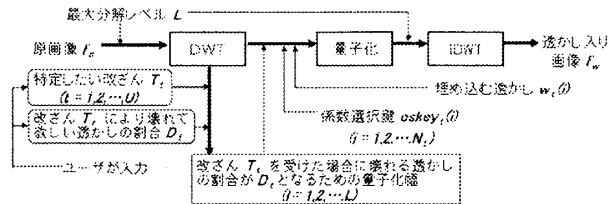


図1 埋め込みプロセス

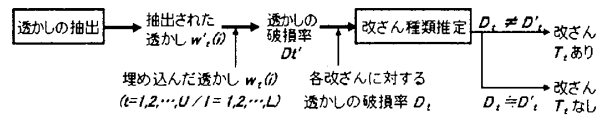


図2 抽出および改ざん種類推定プロセス

れぞれ、horizontal, vertical, diagonal) の DWT 係数を、 $f_{k,l}(m, n)$ と表記する。(m, n) はそれぞれ、空間位置である。埋め込みの際には、改ざん T_t ($t = 1, 2, \dots, U$; U : 特定したい改ざんの数) を特定するための透かし $w_t(i)$ ($i = 1, 2, \dots, N_t$; N_t : 透かし長) を埋め込む DWT 係数を選択するために、係数選択鍵 $cskey_t(i)$ を用いる。係数選択鍵 $cskey_t(i)$ は、改ざん T_t に対して i 個の DWT 係数を選択する鍵であり、全ての (t, i) に対して、同じ DWT 係数が 2 度以上選択されないように生成される。係数選択鍵 $cskey_t(i)$ によって選択された DWT 係数を、各改ざん、各レベルで異なる量子化幅 $\Delta_{t,l}$ で量子化する。

量子化は、次の方法で行われる。

1. 係数選択鍵 $cskey_t(i)$ を用いて、切り抜き・置き換え操作以外の改ざん T_t を特定するための透かし $w_t(i)$ を埋め込む DWT 係数を選択する。係数選択鍵 $cskey_t(i)$ によって選択された DWT 係数を、 $f_{k,l}^{(t,i)}(m, n)$ と表記する。
2. 次の 2 値関数 $Q_{\Delta}(f)$ により、1. で選択された DWT 係数 $f_{k,l}^{(t,i)}(m, n)$ を 2 値に写像する。

$$Q_{\Delta}(f) = \begin{cases} 0 & \lfloor \frac{f}{\Delta} \rfloor \text{ が偶数のとき} \\ 1 & \lfloor \frac{f}{\Delta} \rfloor \text{ が奇数のとき} \end{cases} \quad (1)$$

3. それらの DWT 係数を量子化区間の中央値に設定する。

次に、量子化幅の決定法について述べる。改ざん T_t を受けた際の DWT 係数の変化量が平均 0、分散 σ_t^2 のガウス分布に従うとすると、改ざん T_t を受けた場合に、透かし $w_t(i)$ が破損する確率 D_t は、

$$D_t = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\Delta_{t,l}}{2\sqrt{2}\sigma_v}\right) \quad (2)$$

となる。ただし、 $\operatorname{erf}(\cdot)$ は誤差関数である。

† 大阪大学大学院工学研究科, Graduate School of Engineering, Osaka University

切り抜き置き換え操作に関しては、DWT 係数の変化量が大きいため、どのような量子化幅に対しても破損率は 50 % になると考えられる。

2.2 抽出・改ざん種類推定プロセス

受信側では、送信側で透かしを埋め込む際に設定された最大分解レベル L 、係数選択鍵 $cskey_i(i)$ 、量子化幅 $\Delta_{i,l}$ を認証用の鍵として受け取り、それを透かしの抽出プロセス、改ざん種類推定プロセスで用いる。まず、透かしを埋め込んだ画像に DWT 変換を施し、係数選択鍵によって選択された DWT 係数を 2 値関数 $Q_{\Delta}(f)$ にかけ、抽出された透かし $w'_i(i)$ を得る。次に、改ざん T_i に対して、送信側で埋め込んだ透かしと抽出プロセスにより得られた透かし $w'_i(i)$ を用いて、次式により透かしの破損率 D'_i を得る。

$$D'_i = \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N_i} w_i(i) \oplus w'_i(i) \quad (3)$$

ただし、 $\oplus$ は排他的論理和演算を表すものとする。そして、 D'_i と透かしの埋め込みの際に設定された各改ざんに対する透かしの破損率 D_i との比較により、各改ざんが施されているかどうかを判定する。

$$(\text{判定結果}) = \begin{cases} \text{改ざん } T_i \text{ なし} & D_i \neq D'_i \text{ のとき} \\ \text{改ざん } T_i \text{ あり} & D_i \approx D'_i \text{ のとき} \end{cases} \quad (4)$$

ただし、 $\approx$ は、左辺と右辺の誤差が 1 % 以内であることを意味する。

切り抜き操作や置き換え操作については、前述したように、透かしの破損率はどのような量子化幅に対しても、ほぼ 50 % になるため、画像の空間位置において、局所的な透かしの破損率 $D(m, n)$ を計算し、その局所的破損率とある閾値 τ との比較により、切り抜き操作や置き換え操作の有無の判定と、その位置 (m, n) の特定を行う。

3 実験と評価

本稿では、SIDBA の 12 枚の画像に対して実験を行った。図 3 は、JPEG 圧縮の品質係数が 20 のときの透かしの破損率 D_i が 45 % となるように DWT 係数の量子化幅を設定したとき、本手法と [4] の手法における JPEG 圧縮の品質係数と 12 枚の画像の平均の透かしの破損率との関係を示している。透かしの破損率を 45 % に設定した理由は、50 % では切り抜き・置き換え操作と区別がつかず、低いと画質の劣化が激しく、品質係数の推定が困難となるからである。図 3 より、品質係数が 20 のときの透かしの破損率がほぼ 45 % となっており、破損率の制御にほぼ成功しているといえる。また、[4] の手法では透かしの破損率の傾きが小さく、また単調減少ではないため、品質係数の推定は困難であるが、本手法では透かしの破損率の傾きが大きく、また単調減少となっているため、品質係数の推定が可能となっていることがわかる。実際にこれらの 12 枚の画像をさまざまな品質係数で JPEG 圧縮し、本手法でその品質係数の推定を行ったところ、その平均推定誤差は約 3 であった。

図 4~7 に、切り抜き・置き換え操作の検出結果を示す。切り取られた背景の建物の部分が検出されていることがわかる。

4 おわりに

本稿では、電子透かしを用いた画像認証において、画像より計算された DWT 係数を各レベル、各改ざんに応じた量子化幅で量子化することによって、改ざん種類の推定について述べた。実験結果により、切り取り・置き換え操作が施された位置の検出だけでなく、JPEG 圧縮の品質係数の推定が可能であることを示した。

今後の課題として、改ざんによる DWT 係数の変化量の分散を測定する対象となる画像が原画像であるのに対

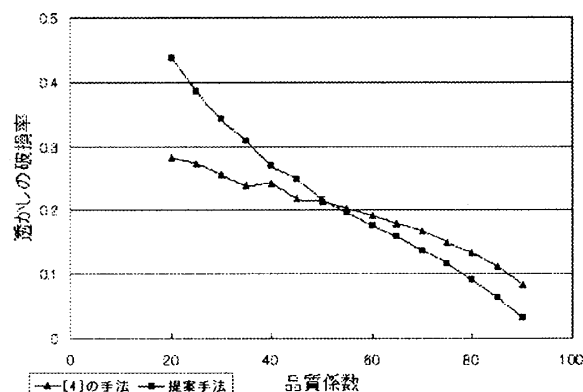


図3 JPEGの品質係数と透かしの平均破損率との関係



図4 原画像



図5 切り抜き, 置き換え画像

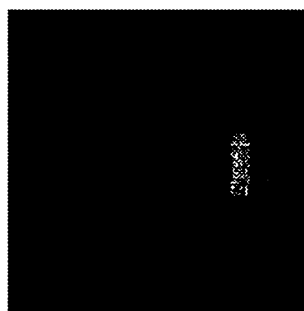


図6 検出画像



図7 重ね合わせ画像

し、実際に改ざんを受ける画像は透かし入り画像であるため、まだ透かしの破損率の制御が完全ではない。この点を改善することにより、さらに改ざん種類推定の精度を向上させていきたい。

参考文献

- [1] I.J.Cox, M.L.Miller and J.A.Bloom, "Digital Watermarking," Morgan Kaufmann Pub., Oct. 2001
- [2] Peter Meerwald, "Digital Watermarking," <http://www.cosy.sbg.ac.at/pmeerw/Watermarking/>, April. 2002
- [3] H.Lu, R.Shen and F.Chung, "Fragile watermarking scheme for image authentication," Electronics Letters, Vol.39, No.12, pp.898-900, June. 2003
- [4] D.Kundur and D.Hatzinakos, "Digital Watermarking for Telltale Tamper Proofing and Authentication," Proc. IEEE, Vol.87, No.7, pp.1167-1180, July. 1999