

スケーリング攻撃に対する SIFT に基づく電子透かし法の評価 Evaluation of SIFT feature based watermarking method for scaling attack

内田 洸太[†]
Kouta Uchida

川村 正樹[†]
Masaki Kawamura

1. はじめに

電子透かしでは、画像が幾何学的攻撃を受けた場合でも正確に透かしを抽出できることが求められる。画像が拡大縮小された時、画素の座標が大幅に変化し、透かしの抽出が困難になる。そのため、拡大縮小に対して不変性をもつ SIFT 特徴点を基に透かしを埋め込む方法を取り上げる。Lee らの手法 [1] では、画素値に加法的に透かしを埋め込むため、JPEG 圧縮に対し、脆弱である。魏らの手法 [2] は、SIFT 特徴点を基に、DCT 領域に透かしを埋め込むことで、耐性を向上させている。復号時には多数の特徴点から透かしを抽出できる。しかしながら、抽出した透かしは、誤りを含んでいる。これらの手法は、抽出した透かしと元の透かしの相関をとり、透かしの有無を判定する方法である。埋め込んだ透かし既知を必要とするので、任意のメッセージを埋め込むことができない。そこで、本手法では、メッセージを透かしとして埋め込む場合を考え、多数決を導入しメッセージを一意に推定する方法を提案する。また、本手法は拡大縮小に不変性をもつ SIFT を利用することで、拡大率未知のときでも透かしの抽出ができる。特徴領域に透かしが埋め込まれているかを判別するために、メッセージとともにマーカを埋め込む。本手法のスケーリング耐性を評価した。

2. SIFT 特徴点を用いた電子透かし法

本手法の透かし埋め込みと抽出及び、多数決によるメッセージ推定を述べる。

2.1. 幾何変換に強い特徴点の検出

SIFT [3] は、画像の勾配に基づく、拡大縮小に対して不変な特徴を検出する検出器である。SIFT では、異なる座標とスケールにおける勾配強度を Difference of Gaussian (DoG) で求め、DoG 画像における極値を検索する。極値となる座標が特徴点であり、DoG 関数の標準偏差 σ は特徴点のスケールと呼ばれる。SIFT により検出した特徴点と特徴点のスケールは、拡大縮小に不変性を持つ。

Yu ら [4] は、SIFT で検出された特徴点のスケールが小さいものは画像に変化が加わった場合、消えやすく、逆にスケールが大きいものは、特徴点が動きやすいと述べている。したがって、スケールの範囲を設定し、範囲外の特徴点を削除する。埋め込み時はスケールの範囲を

$$a < \sigma < b, \quad (1)$$

とする。画像に拡大縮小が加わった場合、特徴点のスケールも同様に拡大縮小される。そこで、拡大率を 0.7

から 1.5 倍と想定し、復号時はスケールの範囲を

$$0.7a < \sigma < 1.5b, \quad (2)$$

とする。また、SIFT では多数の特徴点が検出されるため、特徴点が密集して分布する場合がある。埋め込む領域が重なっている場合、重複して透かしを埋め込むことになるので、抽出が難しくなる。そこで、隣接している特徴点の中で最も DoG 出力の大きい特徴点のみを残し、他の特徴点を候補から削除する。

2.2. 透かし埋め込み

中心座標を特徴点とし、半径を特徴点のスケールとした円形領域を考える。特徴点とスケールは拡大縮小に対して不変性をもつため、拡大縮小された画像から原画像と同じ円形領域を求めることができる。この円形領域を一定の大きさに正規化すると、拡大縮小に対して不変な領域となる。本手法は特徴点を中心とした 1 辺 $2k\sigma$ 画素の正方領域を埋め込み領域とする。埋め込み領域を正規化した 1 辺 L 画素の正規化領域に透かしを埋め込む。透かしの有無を判別するために、マーカを N ビット埋め込む。メッセージを $m = (m_1, m_2, \dots, m_M), m_i \in \{0, 1\}$ としたとき、埋め込む透かし $w = (w_1, w_2, \dots, w_{M+N}), w_i \in \{0, 1\}$ を

$$w_i = \begin{cases} m_i, & 1 \leq i \leq M \\ 1, & M < i \leq M + N \end{cases}, \quad (3)$$

とする。ここで M はメッセージ長である。

スケールの倍率 k を大きくすることで、埋め込み領域の 1 辺が大きくなり、埋め込めるビット数を増加させることができる。しかしながら、 k の増大に伴い、スケールの誤差に敏感になり、1 つ 1 つのメッセージの信頼性が低下する。さらに、埋め込み領域が互いに重複する可能性が増えるので、埋め込みに使える特徴点数が減少する。ここで、 k の増加を抑えつつ、埋め込み容量を増加させるために、1 つの DCT ブロックに 2 ビットの透かしを埋め込む。正規化領域を 8×8 画素のブロックに分割し、各ブロックにおける座標 (1,1) と (1,2) の DCT 係数にそれぞれ Quantization index modulation (QIM) [5] を用いて量子化し、透かし w を埋め込む。また、全ての特徴点に対し、同一の透かし w を埋め込む。

2.3. 透かし抽出

埋め込みと同様の操作をすることで、ステゴ画像から特徴点を得る。全ての特徴点から透かしを抽出する。しかしながら、抽出した透かしには、特徴点の誤検出により、透かしが埋め込まれていない領域から抽出したものや、歪みにより、誤りを含むものが含まれる。抽出した透かしの中で、どれが正しい透かし情報かを判断できない。そこで、多数決を導入することで、メッセージを一意に推定する。ここで、マーカの一致率を

[†]山口大学大学院理工学研究科

表 1: 1/15 圧縮時の画質

	Image 1	Image 2	Image 3	Image 4	Image 5	Image 6	average
PSNR[dB]	38.34	37.48	38.71	40.24	38.66	37.45	38.48

(マーカの総和)/(マーカ長 N) と定義する．マーカの一一致率がしきい値 T 以上の P 個の透かし \hat{w}^p を透かし有りとして判別し，多数決をとる．推定メッセージ $\hat{m} = (\hat{m}_1, \hat{m}_2, \dots, \hat{m}_M)$, $\hat{m}_i \in \{0, 1\}$ は，

$$\hat{m}_i = \Theta \left(\sum_{p=1}^P \hat{w}_i^p - \frac{P}{2} \right), \quad i \leq M, \quad (4)$$

となる．ここで出力関数 $\Theta(x)$ は

$$\Theta(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}, \quad (5)$$

である．

3. 計算機シミュレーション

情報ハイディング及びその評価基準委員会 (IHC) [6] が定める IHC 画像 1 から 6 を用いてスケール耐性を評価する．画像の縦と横の長さはそれぞれ， $I_H = 3456$, $I_W = 4608$ である．スケールの範囲を $a = 4$, $b = 10$ とする．マーカ長を $N = 42$ とし，メッセージ長を $M = 200$ として透かしを構成する．埋め込みは JPEG 圧縮に対する耐性を向上させるために，1/15 に JPEG 圧縮した画像に透かしを埋め込む．QIM の量子化ステップ幅 $\Delta = 60$ とした．また，スケールの倍率を $k = 9$ とし，正規化領域の 1 辺を $L = 88$ 画素とする．マーカの一一致度のしきい値を $T = 0.8$ とする．

本手法の拡大縮小と JPEG 圧縮の複合攻撃に対する耐性を評価する．JPEG 圧縮率は 1/15 から 1/50 までとし，各圧縮率でステゴ画像を保存する．IHC が定める基準に基づき拡大率 s を $s \in \{70, 90, 110, 130\}$ とする．各圧縮率で保存したステゴ画像を拡大率 s で拡大縮小した画像から透かしを抽出し，メッセージのビット誤り率 (BER) を求めた．各圧縮率における BER を図 1 に示す．図 1 より 1/25 圧縮までの圧縮率については，全評価画像から誤りなく透かし抽出できている．

次に，画質 PSNR で評価する．評価画像 1 から 6 について，1/15 圧縮したステゴ画像の画質 PSNR を表 1 に示す．表 1 から全ての評価画像において画質 PSNR は 30[dB] を上回っている．

4. まとめ

スケール攻撃に対して本手法の評価を行った．本手法では拡大率未知で，1/25 圧縮と拡大縮小の複合攻撃に対して，全ての画像から誤りなしで透かしを推定することができた．

参考文献

[1] H. Y. Lee, H. Kim, and H. K. Lee, "Robust image watermarking using local invariant features," SPIE Image Processing, vol.45, no.3 pp.1-11, 2006

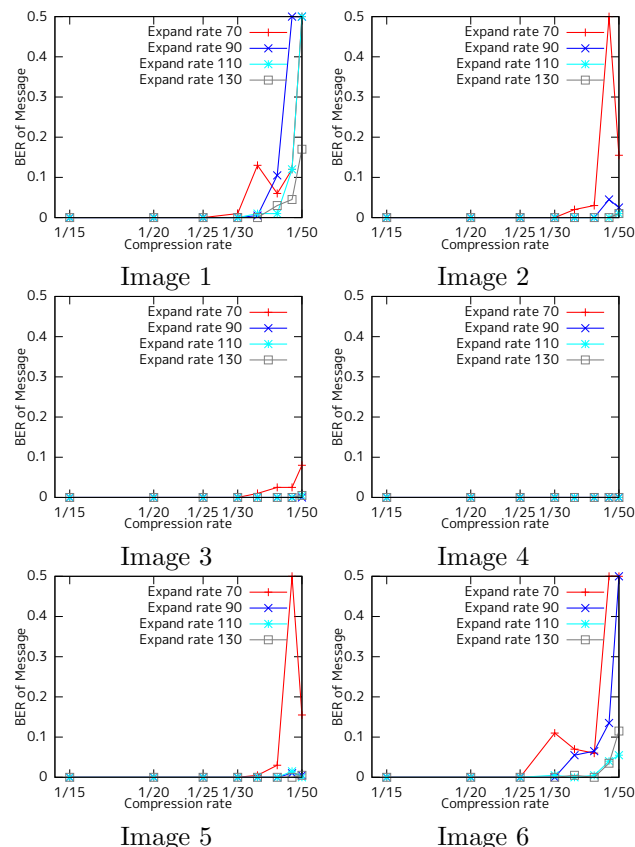


図 1: 圧縮率に対するビット誤り率

- [2] 魏娜, 山口和彦, "SIFT 特徴点を用いた幾何学的攻撃に耐性のある静止画像向け電子透かしの研究," 信学技報, EMM, vol.111, no.496, pp.43-48, 2012
- [3] D. Lowe, G. David, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," Inter. J. Computer Vision, vol.60, no.2, pp.91-110, 2004
- [4] Y. Yu, H. Ling, Z. Lu, L. Wang, "Robust localized image watermarking based on invariant regions," Digital Signal Processing, vol.22, no.1, pp.170-180, 2012
- [5] B. Chen, G. W. Wornell, "Quantization index modulation: A class of provably good methods for digital watermarking and information embedding," IEEE Trans. Inform. Theory, vol.47, no.4, pp.1423-1443, 2001
- [6] 情報ハイディング及びその評価基準委員会, <http://www.ieice.org/iss/emm/ihc/>