

回転攻撃を考慮した新しい電子透かし方式

張 永黎☆ 林 信吾☆ 黒田 英夫☆ 藤村 誠* 今村 弘樹*

☆長崎大学大学院 生産科学研究科 *長崎大学工学部

概要

本論文では静止画像に対する回転攻撃を考慮した電子透かしの埋め込み方式を提案する。提案方式では、透し情報の“0”、“1”を、埋め込み領域の形状に対応させ、その埋め込み領域に雑音を加えることにより、原画像に埋め込む。透し情報を抽出するには、原画像と、埋め込み領域を指定するキー情報を用い、原画像との差分画像から埋め込み領域の形状を確定し、透し情報を抽出する。本稿では埋め込みと抽出のプロセスの設計手法について述べ、更にシミュレーション実験結果と評価により本提案方式の有効性を示す。

A Novel Digital Watermark Scheme to Rotation Attack

Eirei Chou ☆ Shingo Hayashi ☆ Hideo Kuroda ☆ Mokoto Fujimura * Hiroki Imamura*

☆ Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University

* Faculty of Engineering, Nagasaki University

概要

We present a novel digital watermark scheme for protecting copyrights from the rotation attacks. The form of the embedding blocks are changed by the watermark information data. So watermarks can be extracted by the difference of the form in the difference image. Our proposed scheme are described in this paper.

1 まえがき

近年、インターネットの普及とともにマルチメディアコンテンツの流通が増加している。これに伴い、不正コピー、改竄など著作権の侵害が問題となっている。著作権保護対策の一つとして、静止画像への電子透かしの埋め込み技術がいくつか開発されている [1]～[7]。原画像の輪郭線を用い、 5×5 ブロックの画素に対して量子化と逆量子化制御することにより、透し情報の埋め込みと検出を行う方法が提案されている [1]。また幾何攻撃に対し、画像の特性に応じ、透し情報を 2×2 ブロックに拡大して原画像に埋め込み、透し埋め込み画像と拡大された透し情報の相関を用いて抽出する方法も提案されている [2], [3]。これらの方式では、透し画像と透し埋め込み画像との相関を求めるために画素値そのものを用いている。また、原画像を DCT, DFT など直交変換し、連続する係数値間の差分が小さい領域の周波数成分に埋め込む方式なども提案されている [4]～[7]。これらの方式では透し情報抽出のため、隣接する係数値間の差分をしきい値と比較するなど係数値を用いている。上述したように、従来方式は透し情報の“0”、“1”を画素値そのもの、あるいは直交変換の係数値に対応させて透し情報の埋め込みを行っている。これらの方法では、回転攻撃を受けた場合、画素値や変換係数値が変化するため、抽出率が低下するという問題があった。

本研究では、透し情報の“0”、“1”を埋め込み領域の形状に対応させる方法を提案する。埋め込み領域の幅と長さを変え、埋め込み領域のみに雑音を加える。透し情報の抽出の際には、回転攻撃を受けた画像と同じ方法で同じ角度だけ原画像を回転させ、攻撃を受けた画像との差分をとることにより、雑音を含む領域が抽出され、その形状を知ることによって形状内画素数のヒストグ

ラムから透し情報が抽出可能となる。以下、2章で提案方式における埋め込みと抽出のプロセスを述べた後、3章でシミュレーション実験と評価を述べ、最後に4章でまとめて今後の課題について述べる。

2 提案方式における埋め込みと抽出のプロセス

本研究における透かしの埋め込みと抽出のプロセスを fig.1 に示す。

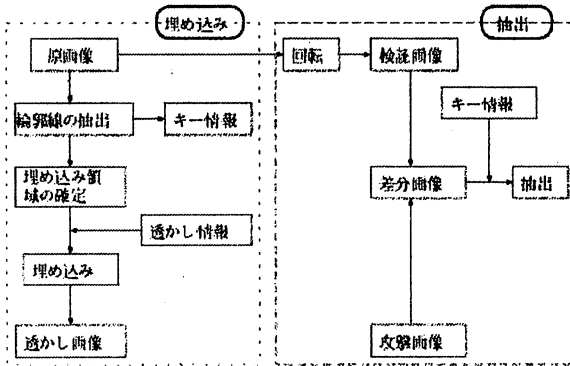


fig.1 埋め込みと抽出のプロセス

原画像の輪郭線情報を用いて埋め込み領域を決定し、透し情報に対応して埋め込みブロックの形状を変え、透かし情報を埋め込む。各輪郭の始終点の座標などをキー情報として保存する。

抽出する際には原画像を用い、回転攻撃された画像と同じ角度回転し、検証画像をつくる。攻撃された画像と検証画像の差分画像をとる。最後に、キー情報を用い、差分画像から埋め込みブロックを取り出し、垂直方向のヒストグラムを求め、透し情報を抽出する。

2.1 埋め込み領域の決定と再生

埋め込み領域の決定が次のような手順で行われる。原画像に垂直と水平 *Sobel - filter* をかけ、原画像の輪郭線画像を得る。適当なしきい値 T_s を決定し、二値化する。抽出された輪郭線の始点と終点の長さを計算する。しきい値を T_c とし、 T_c より長いエッジを埋め込みエッジとする。始点と終点をそれぞれ P_s , P_e とする。 P_s と P_e を結ぶ線分と水平方向のなす角 θ は各輪郭線の傾きを表し、 $\theta = \arctan(y_e - y_s)/(x_e - x_s)$ のように求められる。

本論文では、透かし情報 W_k を4ビット二進法数字 $W_k = \{w_1, w_2, w_3, w_4\}$ とする。 $k=1, 2, \dots, N$, N は透し情報の個数である。 w_i は1または0であり、 i は1~4である。従って、各 W_k に

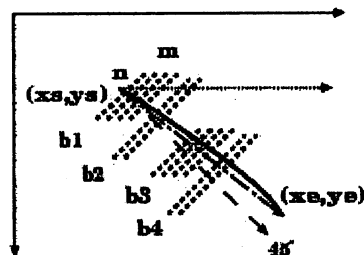


fig.2 四つの埋め込みブロック

対応する埋め込み領域 B_k は四つの埋め込みブロック $\{b_1, b_2, b_3, b_4\}$ から構成され、 $P_s(x_s, y_s)$ から順番に並べられる。各ブロック b_i の幅を m , 長さを n とし、各透かし情報データ w_i の値により、 m と n を式(1)のように設定する。

$$\begin{aligned} & \text{for } (i = 1; i < 5; i++) \\ & \quad \text{if } w_i = 1; \text{ then } m = 2; n = 13; \\ & \quad \text{if } w_i = 0; \text{ then } m = 4; n = 5. \end{aligned} \quad (1)$$

透かし情報 W_k が $5 = \{0, 1, 0, 1\}$ である場合、四つのブロックの位置と大きさの変化は fig.2 に示すようになる。

本論文では、埋め込みブロック形状の単純化のため、抽出された各輪郭線の傾き θ より、 $0 \leq \theta < 15$, $15 \leq \theta < 45$, $45 \leq \theta < 75$, $75 \leq \theta < 105$, $105 \leq \theta < 135$, $135 \leq \theta < 165$, $165 \leq \theta < 180$ の7通りに分け、埋め込みブロックを取る。

2.2 透かし情報の埋め込み

埋め込みブロックの形状を用いて、埋め込みブロックのみに雑音を加えることにより、透かし情報 W_k を埋め込むことにする。ここでは埋め込み強度 q により埋め込む雑音の大きさを制御する。

埋め込むとき、上からの順番で、各埋め込みエッジをとり、始点 P_s から埋め込みブロックを確定する。埋め込む前の各ブロック内の画素値を $M_{(i,j)}^k$ とする。 $M_{(i,j)}^k$ の平均値 $\bar{M}$ を式 (2) のように求める。

$$\bar{M} = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} M_{(i,j)}^k \quad (2)$$

各ブロック内の画素値 $M_{(i,j)}^k$ に対し、式 (3) のように雑音を加え、原画像に透し情報を埋め込む。抽出された輪郭線の始点 P_s 、終点 P_e と傾き θ などがキー情報として保存され、透かし情報を抽出するために用いられる。

$$\text{if } M_{(i,j)}^k \geq \bar{M}; \text{ then } M_{(i,j)}^k + q/2 \text{ else } M_{(i,j)}^k - q/2. \quad (3)$$

2.3 線形補間法による回転攻撃と回転角度の決定

線形補間法が高精度な画像処理 (回転, 拡大, 縮小, 変形) を行う際に最も使われている方法であるので、本論文では透かし情報を埋め込んだ画像は線形補間法により回転攻撃されると仮定する。

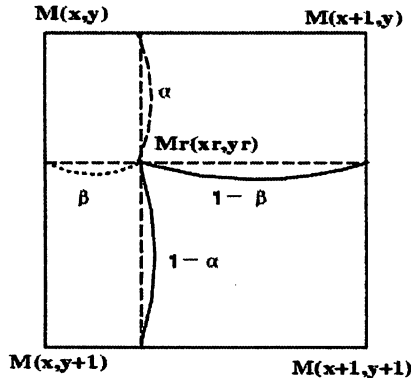


fig.3 線形補間法

線形補間法 (fig.3) とは、回転画像の各画素値を対応する原画像の位置の近傍4画素からの距離により、線形補間して求める方法である。回転画像 I_r の画素値 $M_r(x_r, y_r)$ は、式 (4) で求められる。 α, β は距離比 ($0 \leq \alpha \leq 1$, $0 \leq \beta \leq 1$)、 M は原画像の画素値である。

$$\begin{aligned} M_r &= M(x,y)(1-\alpha)(1-\beta) \\ &+ M(x+1,y)(1-\alpha)\beta \\ &+ M(x,y+1)\alpha(1-\beta) \\ &+ M(x+1,y+1)\alpha\beta \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、攻撃された画像 I_r が画像全体を含んでいると仮定する。透かし情報を抽出する前に、 I_r を走査し、点 A と B の座標を求め、回転攻撃角度 δ が得られる。

2.4 透かし情報の抽出

攻撃画像から透かし情報を抽出する手順は以下の通りである。まず、2.3節で求められた回転攻撃角度 δ で原画像 I を回転し、検証画像 I_r を得る。 M_r と M'_r がそれぞれ検証画像 I_r と攻撃画像 I'_r の画素値である。

つぎに、検証画像 I_r と攻撃画像 I'_r の各画素値 M_r と M'_r の差分 $D (= M'_r - M_r)$ を取る。式 (5) により、画素値の差分 D から、両者の差分画像の二値画像 S が得られる。 M_s は二値画像 S の画素値である。

$$\text{if } D = 0; \quad \text{then } M_s = 0 \quad \text{else } M_s = 255 \quad (5)$$

2.2 節で述べたように、透かし情報を原画像の埋め込みブロックだけに埋め込んだため、埋め込んだブロック以外では検証画像との差分が 0 となり、差分画像から透かし情報を埋め込んだ各ブロックが得られる。

透かし情報を抽出するため、まずキー情報を用いて、差分画像から埋め込み順番通りに、各埋め込みブロックを取り出し、傾き ϕ を計算する。次に傾き ϕ で各ブロックを水平方向に回転し、垂直方向のヒストグラムの高さ h をとる。ここでしきい値 T_h は埋め込みブロックの長さ n を用いて $T_h = (13 + 5)/2 = 9$ と設定し、式 (6) により w_i が 1 か、0 かを判断する。

$$\text{if } h \geq T_h; \quad \text{then } w_i = 1; \quad \text{else } w_i = 0. \quad (6)$$

3 シミュレーション実験と評価

3.1 提案方式に関する実験

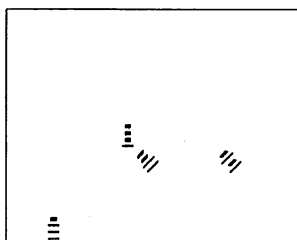


fig.4 透かし情報

原画像 *Akiyo* (352 × 288 pixels) に透かし情報 1, 3, 5, 7 を各埋め込み強度で埋め込みシミュレーション実験をした。透かし情報 1, 3, 5, 7 画像を fig.4 のように示す。画像に埋め込み場所、また上から下に透し情報が 1, 3, 5, 7 であることがわかる。

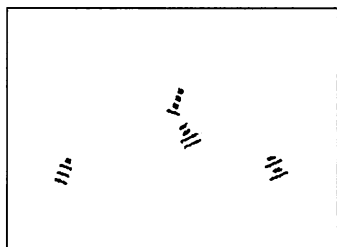


fig.5 差分画像

透かし情報が埋め込まれた画像が右に 20° 回転攻撃を受けたと仮定する。

透かし情報を抽出する前に、原画像を右に 20° 回転し、検証画像を得る。両者の差分画像 (fig.5) をとる。差分画像から各ブロックを取り出し、水平方向に修正し、垂直方向のヒストグラムを求め、ヒストグラムの高さの違いから、透し情報を抽出する。

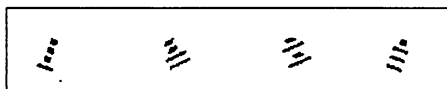


fig.6 透かし情報の取り出し

まずキー情報を用い、差分画像から埋め込みの時と同じ順番で各ブロックを取り出す (fig.6)。

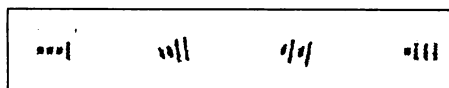


fig.7 水平修正

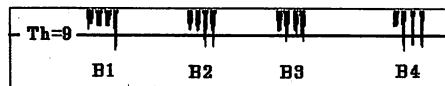


fig.8 垂直方向のヒストグラム

する。fig.8 から各ブロックは $\{0, 0, 0, 1\}$, $\{0, 0, 1, 1\}$, $\{0, 1, 0, 1\}$, $\{0, 1, 1, 1\}$ と判断することができ、従って埋め込まれた情報が 1, 3, 5, 7 であることがわかり、正確に抽出することができた。

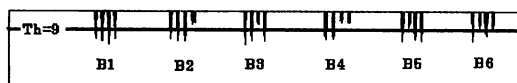


fig.9 垂直方向のヒストグラム Salesman(55°) $q=2$ $N=6$

画像 Salesman が右に 55° の回転攻撃を受けた場合、垂直方向のヒストグラムを fig.9 に示す。埋め込まれた情報が 15, 14, 13, 12, 11, 10 であることがわかる。

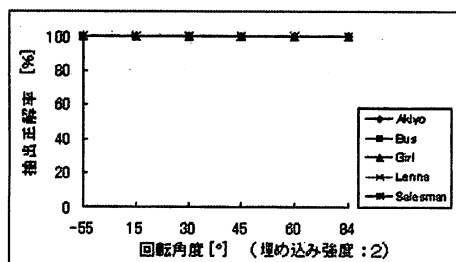


fig.10 回転攻撃角度における抽出正解率

5種類のテスト画像 Akiyo, Bus (352 × 288 pixels), Girl (256 × 256 pixels), Lenna (256 × 256 pixels), Salesman(352 × 288 pixels) に対し、提案方式による各回転攻撃角度における抽出正解率の結果を fig.10 に示す。埋め込み強度が最小の 2 であっても、抽出正解率 100 % の結果が得られた。

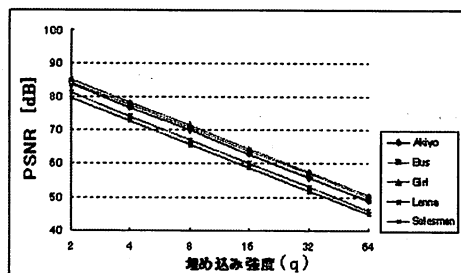


fig.11 埋め込み強度とPSNRの関係

テスト画像に透し情報を埋め込んだ画像の PSNR の測定結果を fig.11 に示す。埋め込み強度は 2 から 64 とした。埋め込み強度 32 以下の場合、PSNR が 50[dB] 以上であり、画像の劣化が少ないことがわかる。

3.2 従来方式との比較

従来の量子化方式との比較を行う。まず原画像の内、埋め込みブロック内の画素値を量子化し、透し情報 $w_i = 0$ の場合画素値を偶数にし、 $w_i = 1$ の場合奇数にする。次に逆量子化することにより透し情報を原画像に埋め込む。

透し情報の抽出には、キー情報を用いて攻撃画像の中から埋め込みブロックを取り出し、埋め込みの時と同じ量子化レベルで量子化する。各ブロック内に画素値が偶数である画素がブロック内総画素数の 50 % 以上を占める場合、多数決論理により、透し情報を $w_i = 0$ とし、各ブロック

内に画素値が奇数である画素がブロック内総画素数の 50 % 以上を占める場合、同じように多数決論理により、透し情報を $w_i = 1$ とする。上記以外の場合は、抽出できないと判断する。この結果、例えば透し情報 4 ブロックの内、3 ブロックのみが正解の場合、抽出正解率を 75 % とする。

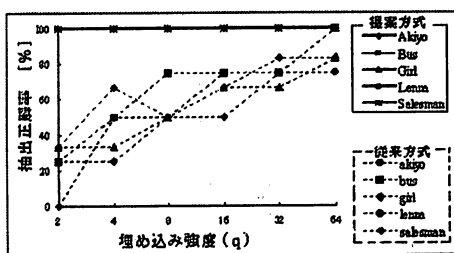


fig.12 従来方式と提案方式の比較

ここで、テスト画像 *Akiyo*(回転攻撃角度-20°), *Salesman*(回転攻撃角度-55°), *Bus*(回転攻撃角度15°), *Lenna*(回転攻撃角度30°), *Girl*(回転攻撃角度45°)について、従来方式と提案方式の抽出正解率を比較した。その結果を fig.12 に示す。従来方式より提案方式が抽出正解率が高く、正確に透し情報を抽出できたことがわかる。

4 むすび

本論文では回転攻撃を考慮した透しの埋め込み方式を提案した。透し情報を埋め込み領域の形状に対応させることにより、回転攻撃をされても、提案方式が有効であり、透し情報が正確に抽出できることが明らかになった。今後の研究課題として、拡大、縮小などの攻撃に対して検討することなどが挙げられる。

参考文献

- [1] 蝶野 慶一, 宮崎 明雄, “画像の輪郭線を用いた電子透かし方式”, (社) 電子情報通信学会, pp.225-226, 1999.
- [2] D. Simitopoulos, D. Koutsonanos and M.G. Strintzis, “A watermarking method resistant to geometric attacks”, Information and Knowledge Management for Integrated Media Communication Workshop, Budapest, Hungary, pp. 136-141, October 2002.
- [3] H.J. Shim, B.Jeon, “Rotation, Scaling, and Translation Robust Image Watermarking Using Gabor Kernels”, Processings of SPIE, Vol.4675, 2002.
- [4] C.W. Tang, H.M. Hang, “A Feature-Based Robust Digital Image Watermarking Scheme”, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol.51, No.4, pp.950-959, April 2003.
- [5] C-Y. L, M. W, Jeffrey A. Bloom, “Rotation, Scale, and Translation Resilient Watermarking for Images”, IEEE Transactions on Image Processing, Vol.10, No.5, pp. 767-782, May 2001.
- [6] P.D. Jovan G, N.P. Galatsanos, Y.Y. Yang, “Digital Watermarking Robust to Geometric Distortions”, IEEE Transactions on Image Processing, Vol.14, No.12, December 2005.
- [7] M.Kutter, “Watermarking Resisting to Translation, Rotation and Scaling”, In SPIE Conf. On Multimedia Systems and Applications, Vol.SPIE 3528, pp.423-431, 1998.