

画素値ヒストグラムの相関係数を用いた 電子透かし画像検索法における基準画像設定

今村幸祐^{†1} 黒田英夫^{†2} 藤村誠^{†3}

筆者らはインターネット上に存在する不正複製を検出するための高効率な2段階画像検索法を提案している。本稿では、2段階画像検索法の前段検索における効率化のための基準画像設定法を提案する。あらかじめ画素値の変化が既知な攻撃に対して基準画像を設定する手法であり、高速で漏れのない検出が可能となる。また減色を伴うGIF形式圧縮攻撃への対応を含む前段画像検索アルゴリズムの改善法を提案する。この改善された前段検索法の検出性能について計算機シミュレーションにより検証する。

Origin Image Preparation for Search Method for Digital Watermarking Image Using Correlation Coefficient between Pixel Value Histograms

KOUSUKE IMAMURA^{†1} HIDEO KURODA^{†2}
MAKOTO FUJIMURA^{†3}

The authors have proposed an efficient two-stage image search method for extraction of illegal copies on the Internet. In this paper, we propose an origin image preparation method for more efficient searching in the pre-search of the proposed two-stage image search method. It is possible to accelerate searching without extractive omission because the method provides an origin image set for attacks with known pixel value changing. And we propose an improved pre-search algorithm including a measure of GIF format compression attack involving color number transformation. The performance of the improved pre-search method is evaluated through computer simulation.

1. はじめに

コンピュータおよびネットワーク技術の発展に伴い、様々な分野でマルチメディアのデジタルコンテンツが利用されるようになり、デジタルコンテンツの作成や編集、インターネット上のサーバを利用した送受信が個人単位で行われるようになった。しかし、技術発展による利便性向上の反面、デジタルコンテンツの不正複製による著作権侵害が深刻な社会問題となっている。

不正複製による被害を防止するための技術に電子透かし技術がある。電子透かし技術は、コンテンツへ情報を埋め込む技術と、埋め込んだコンテンツを大量のコンテンツ群から検索する技術の2つから構成される。従来から電子透かし技術に関して多くの研究が行われているが、コンテンツへの情報埋め込みに関するものが多く、汎用的な検索技術に関する検討は比較的少ない[1][2][3]。

インターネット上に無断配布されている不正複製画像を対象として画像検索技術を適用する場合、一般的なデータベースで用いられているキーワード検索[4][5]は、画像と関連づけられた特徴キーワードが同時に記録されていないた

めに用いることができない。インターネット上の大量の画像に適用可能な手法には逆引き検索[6][7]がある。この手法では、検索対象となる画像から特徴ベクトルを逐次抽出し、それを証明局に登録された所有画像の特徴ベクトルと比較することで検出を行う。このとき、電子透かしによる埋め込み情報を、そのまま逆引きのための特徴ベクトルとして用いることも可能であるが、画像から電子透かしによる埋め込み情報を抽出する処理は一般に複雑な処理であるため、効率的な検索は望めない。

上記の問題を解決するために、我々はインターネットに存在する不正複製画像を検出するための高効率な2段階画像検索法[8][9]を提案した。この検索法の前段検索アルゴリズムでは、準備した基準画像との画素値ヒストグラムの相関係数を画像の類似判定のための特徴量として採用しており、画素値の変化に対応した検索を実現している。攻撃に対しては、回転および拡大・縮小の幾何変換攻撃、およびJPEG圧縮攻撃に対応している。

このJPEG圧縮攻撃画像の検索においては、これまで基準画像として、原画像の他に品質パラメータ20と60のJPEG圧縮画像を2枚追加することでそれらの検出を行っていた。しかし、JPEG圧縮の品質パラメータによる画素値の変化量は、画像依存性があるため、すべての画像において2枚の基準画像追加だけで十分である保証はない。

上記のことを踏まえ、本稿では、まず前段検索のための

†1 金沢大学
Kanazawa University
†2 FPT 大学
FPT University
†3 長崎大学
Nagasaki University

検索基準画像設定法を提案する。この基準画像設定法は、あらかじめ検出可能か否かの検証を行うことで、より効率的で検出漏れがないように基準画像を設定する方法である。他の攻撃に対して、JPEG 圧縮攻撃のように攻撃による画素値の変化が既知な場合には適用可能である。そこで、これまで未対応であった減色を伴う GIF 圧縮攻撃の検出も、この基準画像設定法を用いて追加する。これらの処理を加え、前段検索アルゴリズムの改善を行う。そして、改善された前段探索アルゴリズムについて、計算機シミュレーションにより検索性能を評価する。

$$r = \frac{\sum_{i=0}^{255} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{255} (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=0}^{255} (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

ここで、 $x=\{x_i\}, y=\{y_i\}$ は、画素値 i の生起率を示し \bar{x}, \bar{y} はそれぞれの相加平均を示す。

2.2 従来の前段画像検索アルゴリズム

従来の前段検索法は、原画像と品質パラメータ 60 および 20 の JPEG 圧縮画像の 3 種類を基準画像として、不正複製画像候補を検出するものであった。

このアルゴリズムでは、インターネットから取得された画像を入力とする。まず原画像と対象画像の画素値ヒストグラムの相関係数 r_o を計算する。ここで r_o が閾値 Th_o 以上であれば、対象画像は不正複製画像候補として検出される。もし、 r_o が Th_o より小さければ、引き続き、品質パラメータ 60 および 20 の JPEG 圧縮画像に対して、相加平均により 5 レベル平滑化された画素値ヒストグラムの相関係数 r_{q60}, r_{q20} をそれぞれ計算する。 r_{q60} が閾値 Th_{q60} 以上、または r_{q20} が閾値 Th_{q20} 以上である場合も、対象画像は不正複製画像候補として検出される。それ以外の場合、対象画像は不正複製画像ではないと判断され、メイン検索の入力から除外される。

2. 電子透かし画像に対する 2 段階画像検索法

図 1 に 2 段階画像検索法[8][9]の概要を示す。この検索法は前段検索とメイン検索の 2 段階で構成される。前段検索では、インターネット上の画像コンテンツが入力であり、所有するコンテンツと類似しているか否かを簡単な処理で判定する。もし所有コンテンツと類似していた場合、その画像を不正複製候補として、次のメイン検索の入力とする。類似していないならば、引き続き次の画像の類似判定を行う。メイン検索では、不正複製候補から埋め込まれた著作権情報をあらかじめ決められた方法で抽出し、抽出された著作権情報が所有コンテンツを示す場合には、所定の手続きにより当該ユーザに苦情等を申し立てる。

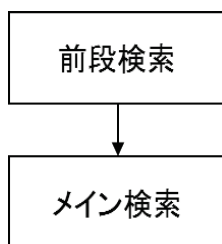


図 1 電子透かし画像に対する 2 段階画像検索法
 Figure 1 Two-stage image search method for digital watermarking image.

2.1 画素値ヒストグラム間の相関係数

2 段階画像検索法の前段検索では、インターネット上の膨大な画像から不正複製を効率よく検出するために、簡単な処理で不正複製画像候補を検出する必要がある。また、不正複製画像の画素値は、電子透かしに対する攻撃により様々な雑音を含んでいるため漏れなく検出するためには、ある程度の画素値の変化に対しても融通性のある画像特徴量を用いる必要がある。このような観点から、2 つの画像の類似評価のための特徴量として、画素数により正規化された画素値ヒストグラムの相関係数を用いる。相関係数の算出式を式(1)に示す。

3. 前段検索における基準画像設定法

例えば JPEG 圧縮による攻撃の場合、圧縮率を決定する品質パラメータは 1 から 100 まで設定することが可能である。パラメータ値が小さくなるほど、圧縮による画質劣化が次第に大きくなり、画素値が原画像から大きく変化した再生画像となる。JPEG 圧縮による画素値の変化の度合いは画像依存性があるため、あらゆる画像において 2 枚の基準画像追加で十分という保証はない。逆に 1 枚もしくは追加無しでもすべての品質の検出が可能な画像も存在するため、効率の面でも改善の余地があるといえる。

これらの問題点の対策として、前段検索のための基準画像設定法を提案する。この基準画像設定法は、あらかじめ検出可能か否かの検証を検出対象攻撃画像に対して行うことで、より効率的で検出漏れがない基準画像を設定する方法である。

3.1 JPEG 圧縮攻撃画像に対する基準画像設定

ここでは設定した全ての品質パラメータの JPEG 圧縮攻撃画像を検出対象として、基準画像設定アルゴリズムを具体的に説明する。

図 2 に JPEG 圧縮攻撃画像に対する基準画像設定アルゴリズムを示す。まず検出対象となる q_{min} から 100 の品質パラメータで原画像を JPEG 圧縮した画像群を作成する。最低品質を設定可能なパラメータ q_{min} としているのは、非常

に低い品質パラメータで圧縮した画像は、劣化が大きく複製としての利用価値が乏しいと考えられるためである。本稿では q_{min} を 20 に設定する。次に原画像と全ての JPEG 圧縮画像について、正規化された画素値ヒストグラムを求め、画像間の相関係数 r_o を算出する。相関係数が閾値 Th_o 以上となる画像は同一画像として検出する。ここで全ての画像が検出された場合は、JPEG 圧縮攻撃用の基準画像は原画像のみとなる。相関係数が閾値 Th_o 未満となる未検出 JPEG 圧縮画像がある場合は、先に評価した相関係数の中で最も小さい値を持つ JPEG 圧縮画像を新たな検索用基準画像として追加する。

次に追加した新基準画像と未検出の JPEG 圧縮画像について、5 レベルの平滑化を行った正規化画素値ヒストグラムを求め、画像間の相関係数 r_q を算出する。相関係数が閾値 Th_q 以上となる画像は、JPEG 圧縮された同一画像として検出する。未検出の JPEG 圧縮画像がまだ残っている場合は、先に評価した相関係数の中で最も小さい値を持つ JPEG 圧縮画像を検索用基準画像として追加する。

基準画像の追加と検出の処理を繰り返し、全ての JPEG 圧縮画像が検出されるまで処理を行う。以上の処理で得られた基準画像が JPEG 圧縮攻撃用の基準画像セットとなる。

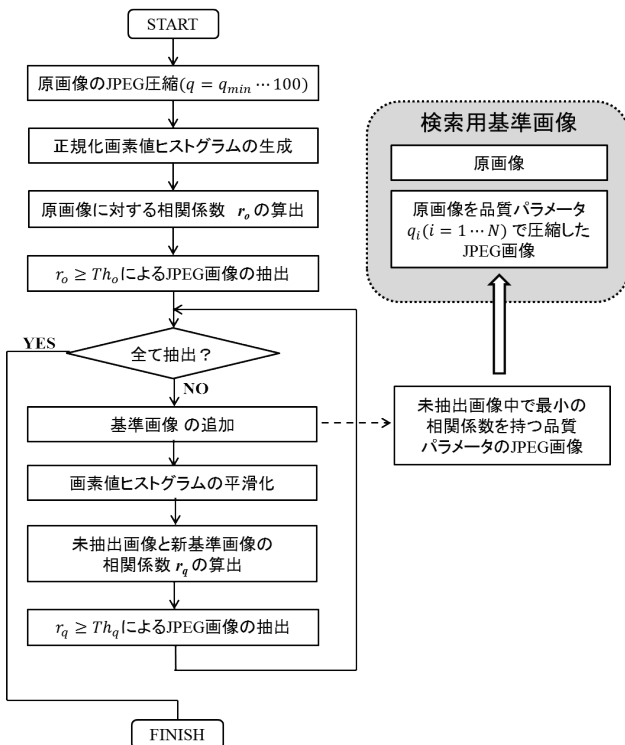


図 2 基準画像設定アルゴリズム (JPEG 圧縮攻撃)
 Figure 2 Origin image preparation algorithm for JPEG compression attack.

3.2 GIF 圧縮攻撃画像に対する基準画像設定

インターネット上の殆どの画像は、効率的な伝送のために画像符号化技術により圧縮されている。JPEG 圧縮画像

以外にもデファクトスタンダードとして多くの画像圧縮形式がある。代表的なものが GIF 形式と PNG 形式である。電子透かし画像検索においても、これらの圧縮形式が検索できるように設計する必要がある。

GIF 形式は LZW データ圧縮アルゴリズムを利用した可逆圧縮である。扱える色数は最大 256 色で、2 のべき乗の色数が選択可能である。つまり、GIF 圧縮画像は減色処理が適用されており、画素値ヒストグラムが大きく変化していることが推測される。このような減色処理攻撃に対する対策も必要である。

本稿では、GIF 圧縮攻撃画像の検索は、JPEG 圧縮攻撃画像と同様に、あらかじめ GIF 圧縮された画像を用いて、提案する基準画像設定法により得られた基準画像を検索用基準画像に追加することで対応する。

一方、PNG 形式は可逆圧縮であり、フルカラーをサポートしていることが特徴である。したがって、原画像以外に基準画像を用いる必要もなく、原画像の検索と同等の処理で検出可能と考えられる。

4. 画像検索法における前段検索アルゴリズム

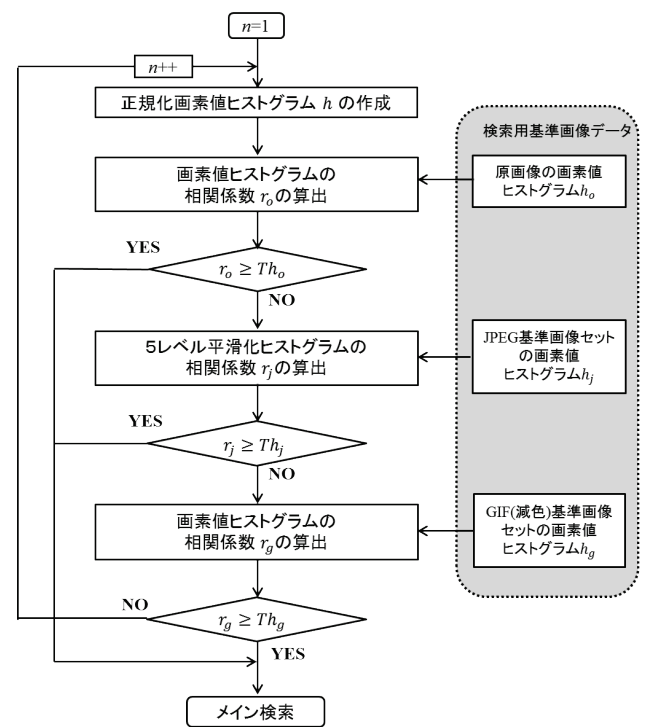


図 3 前段検索アルゴリズム
 Figure 3 Pre-search algorithm.

図 3 に改善した前段検索アルゴリズムを示す。入力はいんターネット上の画像である。まず原画像の正規化ヒストグラムと対象画像の画素値ヒストグラムの相関係数 r_o を計算する。ここで r_o が閾値 Th_o 以上であれば、対象画像は不

正複製画像候補として検出する。ここでは、攻撃なしおよび幾何変換攻撃が加えられた画像の検出が行われることになる。もし、 r_o が Th_o より小さければ、引き続き、対象画像とJPEG圧縮基準画像セットについて5レベル平滑化された画素値ヒストグラムの相関係数 r_j を計算する。この r_j が Th_j 以上である場合は、不正複製画像候補として検出する。もし、 r_j が Th_j より小さければ、さらに対象画像とGIF圧縮基準画像セットの正規化画素値ヒストグラムの相関係数 r_g を計算する。もし、 r_g が Th_g 以上であれば、同様に不正複製画像として検出する。

ここまでの処理で、不正複製画像候補として判定されなかった場合、対象画像はメイン検索の入力から除外される。本稿では、同一画像判定のための閾値 Th_o 、 Th_j 、 Th_g 、 Th_i は全て0.95に設定する。

5. シミュレーション実験

改善した前段検索アルゴリズムについて計算機シミュレーションにより検出性能を評価する。シミュレーションには、SIDBAのテスト用画像(256×256画素, カラー), Aerial, Airplane, Balloon, Earth, Girl, Lenna, Mandrill, Parrots, Pepper, Sailboat, Couple, Milkdropの12枚をテスト画像として用いる。

5.1 JPEG圧縮攻撃検出用の基準画像

まず、提案する基準画像設定法についてJPEG圧縮画像を用いて検証を行なう。

表1 JPEG圧縮攻撃の基準画像数と品質パラメータ
Table 1 Number of origin images and quality parameters for JPEG compression attack.

画像	JPEG 基準画像	
	追加画像数	品質パラメータ (検出数)
Aerial	0	
Airplane	1	22(22)
Balloon	1	25(15)
Earth	4	21(5),20(6),38(32),24(8)
Girl	1	23(16)
Lenna	1	20(13)
Mandrill	0	
Parrots	1	23(18)
Pepper	1	20(7)
Sailboat	1	20(17)
Couple	1	21(41)
Milkdrop	1	20(18)

表1に各テスト画像において提案する基準画像設定法で設定された基準画像数と品質パラメータおよび当該基準画像で検出された画像数を示す。検出対象となるJPEG画

像の品質パラメータは20から100までに設定している。

ここで追加画像数が0となっているのは、原画像により全てのJPEG画像が検出されたため、新たにJPEG圧縮画像用の基準画像が必要ではなかったことを示す。表1より、多くの画像において原画像以外の基準画像は1枚でよいことがわかる。そのため基準画像は平均枚数では従来法の2枚を下回り、JPEG画像を漏れなく検出できるだけでなく、検出の高速化も見込める。

5.2 GIF圧縮(減色)攻撃検出用の基準画像

次に減色されたGIF圧縮攻撃画像の検出のために必要な基準画像を検証する。GIF圧縮攻撃画像は2のべき乗の色数が選択可能である。図4に2のべき乗の色数に減色処理を行ったカラー画像の例を示す。図に示すようにあまりに少ない色数の画像は不正複製としても有用とは考えにくい。そのため、本稿で対応する減色数は、4から256色までの7種類とする。

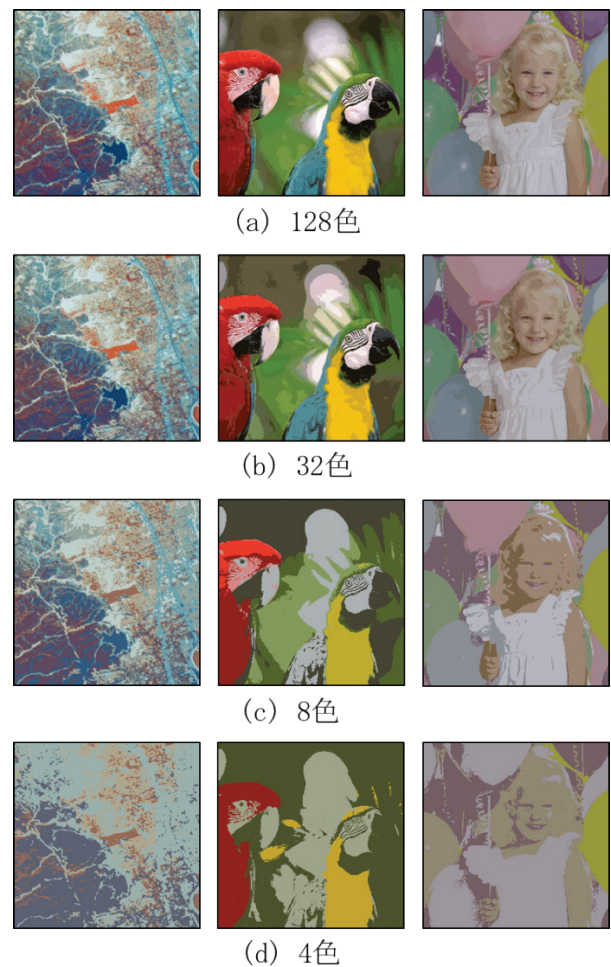


図4 画像の減色

Figure 4 Color Quantization of images

表2にテスト画像において基準画像設定法により設定されたGIF圧縮攻撃画像検出用の基準画像数と色数および検出画像数を示す。表2より、全ての画像において設定さ

れた画像数は7枚であり、各色数に対してそれぞれ基準画像が必要であることがわかる。これは、減色処理により、ヒストグラムが大きく変化するためである。以上の結果より、GIF 圧縮（減色）攻撃画像の検出のために、検出する色数の種類と同じ7種類の基準画像を追加する。

表 2 GIF 圧縮攻撃の基準画像数と色数
 Table 2 Number of origin images and colors for GIF compressed attack.

画像	GIF 基準画像	
	追加画像数	品質パラメータ (検出数)
Aerial	7	4(1),8(1),64(1), 16(1),128(1), 32(1),256(1)
Airplane		
Balloon		
Earth		
Girl		
Lenna		
Mandrill		
Parrots		
Pepper		
Sailboat		
Couple		
Milkdrop		

5.3 前段検索アルゴリズムの検出評価

改善した前段検索アルゴリズムについて検索性能の検証を行う。

検証として攻撃が加えられていない画像、JPEG 画像および GIF（減色）画像の検出について実験を行う。ここでは基準画像設定法を用いているため、全てのテスト画像の検出は保証される。しかし、異なる画像が同一画像として検出される過検出が多く発生すれば、検索効率が低下する結果となる。そこで、提案する画像検索法について、テスト画像全ての組合せについて過検出が発生しないか検証を行った。その結果、誤った画像の過検出は発生しないという結果が得られた。

6. おわりに

インターネット上の不正複製を防止するための電子透かし画像を検出する2段階画像検索法を提案した。その前段検索に対して、効率的な画像検索が可能となる基準画像設定法を提案した。そして、GIF 圧縮攻撃画像の検出を組み込んだ前段検索アルゴリズムの改善法を示した。計算機シミュレーションにより、提案する前段検索アルゴリズムが、良好な画像検出性能を有することを示した。

今後は幾何変換攻撃画像の画像領域検出の具体的な手法

を検討し、実際の環境での実施実験を行う。また電子透かしによる情報埋め込み技術に対しても検討し、システム全体としての開発を進めていく予定である。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究（C）24560466）の補助を受けたものである。

参考文献

- 1) C.-W. Tang and H.-M. Hang: A Feature-Based Robust Digital Image Watermarking Scheme, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol.51, No.4, pp.950-959 (2003).
- 2) C.-Y. Lin et al.: Rotation, Scale, and Translation Resilient Watermarking for Images, IEEE Transactions on Image Processing, Vol.10, No.5, pp.767-792 (2001).
- 3) I.J. Cox, M.L. Miller, J.A. Bloom, J. Fridrich and T. Kalker: Digital Watermarking and Steganography, Morgan Kaufmann (2008).
- 4) T. Nocke and H. Schmann: Meta Data for Visual Data Mining, Proceedings of Computer Graphics and Imaging, CGIM'02 (2002).
- 5) M.B.H. Hmida and Y. Slimani: Meta-learning in Grid-based Data Mining Systems, International Journal of Computer Network and Communications (IJCNC), Vol.2, No.5, pp.215-230 (2010).
- 6) Hak-Soo Ju et al.: An Anonymous Buyer-Seller Watermarking Protocol with Anonymity Control", Springer, Information Security and Cryptology, ICISC2002, pp.421-432 (2003).
- 7) D. Birk and S. Gaines: Using Digital Watermarking for Securing Next Generation Media Broadcasts, Springer, Advances in Machine Learning and Data Analysis, pp.27-41 (2010).
- 8) K. Imamura, H. Kuroda and M. Fujimura: Image Content Detection Method Using Correlation Coefficient between Pixel Value Histograms, Springer CCIS 260, pp.1-9 (2011).
- 9) 今村幸祐, 黒田英夫, 藤村誠: 画素値ヒストグラムの相関係数を用いた電子透かし画像の検出法, 電子情報通信学会技術研究報告, IE2012-2, pp.7-11 (2012).
- 10) GIMP: The GNU Image Manipulation Program, <http://www.gimp.org/>