

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K06430

研究課題名（和文）多種多様な攻撃への耐性を実現する電子透かし方式とその実験的検証

研究課題名（英文）Digital Image Watermarking Scheme for Wide Variety of Attack

研究代表者

藤村 誠（Fujimura, Makoto）

長崎大学・情報データ科学部・准教授

研究者番号：30229041

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：Seam Carvingを用いて微小変位を画像に加えて平均化攻撃後に画質劣化を生じさせ、攻撃抑制する方式を提案していた。加えて、画像の同一位置に同一透かし情報を埋め込むことで、平均化攻撃を受けた場合でも埋め込み情報の残存率向上が可能である。このため、四分木ブロック分割によるSeamラインを導入し、矩形ブロックに透かし情報を埋め込むこととした。また、高速かつ簡易な画像検索アルゴリズムの適用については、探索精度および速度の向上のため、機械学習モデルのひとつである畳み込み自己符号化器を用いた圧縮特徴量による2段階探索法の導入を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、画像コンテンツの配信が一般的となり、その数は増加している。しかし、画像コンテンツの不正利用も同時に多くなっている。このため、電子透かし技術を用いて著作権情報などを画像コンテンツに埋め込む方法が研究、開発されている。これに対し、不正利用者は電子透かしに対する攻撃を行うことで、埋め込まれた著作権情報を破壊するという問題がある。本研究は、特に強力な攻撃である平均化攻撃に対する抑制を行い、同時に複数の有効な透かし技術を用いた埋め込みについて検討しており、画像コンテンツの著作権管理に貢献するものを考えられる。

研究成果の概要（英文）：We studied a scheme of suppressing attacks by adding small displacements to the image using Seam Carving to cause image quality degradation after a mean value attack. In addition, embedding the same watermark information at the same location in the image improves the probability of embedding information remaining even after a mean value attack. Therefore, we introduced the Seam line with quad tree division of blocks to embed watermark information in rectangular-shaped blocks.

For the application of fast and simple image retrieval algorithms, we also studied a fast two-stage retrieval method for watermarked images by introducing compressed features obtained from a convolutional auto coder, one of machine learning models, into the two-stage search method in order to improve the search accuracy and speed.

研究分野：画像電子透かし

キーワード：画像電子透かし Seam Carving

## 1. 研究開始当初の背景

近年、画像コンテンツの配信が一般的となり、その数は増加しているが、画像コンテンツの不正利用も同時に多くなっている。このため、電子透かし技術によって、著作権情報などを画像コンテンツに埋め込み、その管理を行い、画像コンテンツの著作権保護などに活用されている。しかし、画像コンテンツの不正利用のため、埋め込まれた透かし情報を破壊するための攻撃が加えられることも多くなっていた。単一画像に対して行われる攻撃方法には、回転および平行移動などの幾何学変換、濃度変換、クリッピング処理、圧縮処理などがある。また、複数の画像コンテンツを用いた攻撃として、平均化攻撃や差分攻撃などの結託攻撃があげられる。

これらの攻撃の対策として、攻撃への耐性を持つ電子透かし方式が研究、開発されているが、一つの電子透かし方式で多数の攻撃への耐性を実現することは困難である。しかし、これまでに複数の攻撃への対応のために、複数の電子透かし方式を組み合わせた手法が報告されている。この手法では、ある攻撃を受けた場合に、一つの電子透かし方式はその攻撃に弱くても、もう一つの電子透かし方式が耐性を持つため情報が破壊されないという相補的な電子透かし方式の組み合わせを用いている。また別の手法では、電子透かし攻撃ツール Stirmark に含まれている幾何学変換を実行した画像に電子透かし方式を適用する手法を提案していた。より多くの電子透かし方式の組み合わせを可能とすることによって、それぞれの耐性特性を相補した多種多様な攻撃への耐性を持つ電子透かし手法の実現が期待できる。

## 2. 研究の目的

電子透かし技術によって埋め込まれた著作権情報への攻撃方法が多様化し、その攻撃への対策が求められている。これまでの単一の電子透かし手法は、複数の攻撃への耐性を持つことは困難であった。そのため、複数の電子透かし手法を組み合わせる手法も提案されてきたが、十分な数の攻撃に対する耐性を獲得するには至っていなかった。また、平均化攻撃による攻撃も問題となっていた。我々は、これまで平均化攻撃を抑制するために Seam Carving を用いた領域変位方式を提案してきた。この領域変位は Region Of Interest (ROI) の位置で行い、それ以外の領域に別途透かし情報を埋め込むことで、これまでより多くの電子透かし方式の組合せが可能となる。本研究の目的は、Seam Carving を用いた幾何学変換に基づき多数の電子透かし方式を組み合わせることで適用することによる多攻撃耐性電子透かし方式の実現である。

## 3. 研究の方法

まず、複数電子透かし方式による埋め込み方式については、Seam Carving を用いた領域変位方式に顕著性マップ適用による領域変位方式の改善と既存電子透かし方式適用モデルを考慮し、複数電子透かし方式による埋め込み方式を検討した。次に自由曲線状の Seam ラインを四分木分割による Seam ラインにすることで、矩形ブロックに電子透かしを埋め込みやすくなるように検討した。

高速かつ簡易な画像検索アルゴリズムについては、提案する電子透かし方式によって埋め込まれた電子透かしに影響され難い画像特徴量を洗い出し、画素ヒストグラムを特徴量とした。提案する画像検索方式については、ソフトウェアによるプロトタイプ試作を行い、検索対象画像の抽出率等の特性を測定し、画像検索技術として評価した。また、全ての種類の攻撃の同時利用に対しても検索対象となる静止画像の抽出率等の特性を測定し、実用に供し得ることを試作システムにより確認した。

## 4. 研究成果

### (1) 複数電子透かし方式による埋め込み方式

Seam Carving を用いた微小変位を画像に加えることにより平均化攻撃後に画質劣化を生じさせることで、攻撃を抑制する領域変位方式について検討した。Seam Carving では、画像勾配に基づくエネルギー場を求め、その経路上のエネルギーの総和が最小になるように経路探索をして画素値を削除または追加する経路を求める。

この方式の改善のため、顕著性マップによる Region Of Interest (ROI : 重要領域) の自動設定を検討した。様々な顕著性マップの導出方法を調査すると同時に、Itti らの顕著性マップ導出方法および Graph-Based Visual Saliency (GBVS ; Itti らの方法を基にグラフベースモデルを導入したもの) モデルについて、Seam Carving を用いた領域変位方式にそれらの処理を導入した場合の ROI の自動設定の効果を調査した。その結果、2つの顕著性マップ導出方法では、Itti による方法の方が若干良いが、ほぼ同様な効果が得られることが分かった。しかし、Seam ラインを削除または追加することによる画質劣化については、大きな影響がないことが分かった。

また、画像の同一位置に同一透かし情報を埋め込むことで、平均化攻撃を受けた場合でも埋め込み情報の残存確率が向上する。しかし、電子透かし埋め込み処理および抽出処理はブロック単位で行うのに対し、Seam Carving における自由な曲線形状による削除、追加を行う方法では、埋め込み処理を行うブロック位置の設定が困難であることがわかった。

加えて、自由形状線の曲線の記述が画素単位であるために情報量が大きいという問題もあった。このため、自由形状曲線の Seam ラインではなく、ブロックの四分木分割による Seam ラインを導入することで、矩形形状のブロック単位で微小変位を加えることが可能となり、変位がないブロックに透かし情報を埋め込むことができる。幾何学的変換を加えない領域もあるため、ここに優先度が高い埋め込み情報は画像の同一位置に埋め込むことで、平均化攻撃後にも残存可能であると考えられる。

## (2) 高速かつ簡易な画像検索アルゴリズム

高速かつ簡易な画像検索アルゴリズムの適用については、電子透かし画像の高速 2 段階探索法を提案し、様々な電子透かし攻撃手法への対応策を拡張していた。探索精度および速度の向上のため、機械学習モデルのひとつである畳み込み自己符号化器から得られる圧縮特徴量を 2 段階探索法に導入する方法について検討した。この結果、検出漏れ、誤検出などの検出精度が向上し、同時に処理時間の短縮も実現できることがわかった。

この 2 段階探索のうち前段探索処理において、画像のコーナー特徴点を用いて探索を行うことによって、切り抜き画像に対する検索処理も可能とし、さらに検索処理に要する計算量削減を行った。以上の機能を実現した試作システムを構築し、検証を行った。

加えて、2 段階探索方法の改良のため、画像のアスペクト比と低解像度の LBP (Local bit pattern) を比較することによって対象とする違法コピー画像とは明らかに異なるものを探索から除くことで、探索能力を向上させた。実証実験の結果、偽陽性が約 14%、偽陰性が約 33%それぞれ改善されることを確認した。また、処理時間も僅かではあるが短くなり、改善を確認できた。以上の機能を実現した試作システムを構築し、検証を行い良好な結果を得た。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Imamura Kousuke, Watanabe Kentaro, Kuroda Hideo, Fujimura Makoto	4. 巻 11766
2. 論文標題 A watermarked image search method using compressed representation by a convolutional autoencoder	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Workshop on Advanced Imaging Technology (IWAIT) 2021.	6. 最初と最後の頁 117660U
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2588702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 藤村 誠、今村 幸祐、黒田 英夫
2. 発表標題 Seam Carvingによる平均値攻撃抑制方式における透かし情報埋め込み法
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告（マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会（EMM））
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤村 誠、今村 幸祐、黒田 英夫
2. 発表標題 Seam Carving による平均値攻撃抑制方式への 4 分木分割ブロックの適用
3. 学会等名 2020 年 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池田 亘希、今村 幸祐、黒田 英夫、藤村 誠
2. 発表標題 電子透かし画像におけるコーナー特徴点を用いた切り抜き画像検索
3. 学会等名 電子情報通信学会画像工学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤村誠、松林龍之介、今村幸祐、黒田英夫
2. 発表標題 平均化攻撃による電子透かし情報耐性の一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松林龍之介、藤村誠、今村幸祐、黒田英夫
2. 発表標題 平均化攻撃耐性を持つ画像変位方式への透かし情報埋め込み法の検討
3. 学会等名 情報処理学会九州支部若手の会セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今村幸祐, 渡邊謙太郎, 黒田英夫, 藤村誠
2. 発表標題 自己符号化器による圧縮特徴量を用いた電子透かし画像検索
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Fujimura, Kousuke Imamura, Hideo Kuroda
2. 発表標題 Application of Saliency Map to Restraint Scheme of Attack to Digital Watermark using Seam Carving
3. 学会等名 2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	今村 幸祐  (Imamura Kousuke)  (00324096)	金沢大学・電子情報通信学系・准教授    (13301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------