

大阪府立大学博士論文

静止画像を対象とした
電子透かしとその応用に関する研究

論文要旨

平成 17 年 4 月

岩 田 基

静止画像を対象とした 電子透かしとその応用に関する研究

論文要旨

インターネットを介して大容量の情報をやりとりできるようになった今日、情報漏洩や不正使用などの深刻な問題が生じている。その問題の一つが、著作権の侵害である。デジタル情報には、容易に量産したり輸送したりできるという利点があるが、同時にデジタル著作物の再配布を容易にしてしまうという欠点にもなっている。画像や音声や動画などの代表的な著作物を再配布可能な環境が既に整っているため、デジタル著作物の再配布を完全に抑止することは容易ではない。この問題の解決を困難としている原因の一つに、ネットワーク上で不正にやりとりされるデジタル著作物を著作物であると客観的に判断する方法がない、ということがあげられる。デジタル情報は容易に変更することができるため、電子的な情報の同一性によって著作物であることを判断しようとしても、不正利用者が微少な改変を著作物に加えるだけで追求を免れることができる。そのため、デジタル著作物の品質を損なわないような改変が施されても、デジタル著作物の著作権を主張できるような方法が、強く求められるに至った。

デジタル著作物の著作権の保護を実現する手法の一つとして、電子透かしが注目されている。電子透かしとは、デジタル情報の冗長な部分に副情報を埋め込む技術のことであり、埋め込んだ情報とデジタル情報とが不可分であるという点に特徴がある。ここでいう冗長な部分とは、人間の知覚という観点から見た冗長さを指す。画像や音声はこのような冗長さを多分に含んでいるため、電子透かしに利用しやすい。以後、上記の副情報のことを透かし情報と呼ぶ。

電子透かしを著作権の保護のために用いる場合、著作者の署名情報などを透かし情報としてデジタル著作物に埋め込む。これにより、不正利用されたデジタル著作物から署名情報を抽出し、そのデジタル著作物の著作権の保有者を明らかにできる。著作権保護を目的とした電子透かし手法には、埋め込まれた署名情報が不正利用者による改変によって除去されないことが要求される。このような、埋め込まれた情報の除去を目的とした改変のことを以降では攻撃と呼び、攻撃を受けても埋め込まれた情報が除去されないことを耐性を持つと表現する。一般に、様々な攻撃に耐性を持たせようとするとき埋め込む情報を少なくする必要があることが知られている。さらに、透かしを検証する者のみが持つことを前提とした鍵情報を設定して耐性を高めることが多い。

デジタル著作物の著作権の保護が急務となったために注目を浴びた電子透かしであるが、研究が進むにつれ、それ以外の用途においても注目され始めた。そのうちの 하나가、インデクス情報の埋め込みである。例えば、デジタルカメラで撮影した画像に日付や撮影場所などのインデクス情報を埋め込むことが考えられる。画像フォーマットによっては、ヘッダにインデクス情報を書き込めるが、この場合、画像のフォーマットが変更されるとインデクス情報は消失す

る．一方，電子透かしを用いるとデジタル情報と透かし情報を不可分にできるため，このような問題は生じない．インデクス情報の埋め込みを目的とした電子透かし手法には，インデクス情報に足る量の情報を埋め込むことが可能であり，画像の見栄えを良くする画像変換に対して耐性を持つことが要求される．さらに，これらの要件を鍵情報などの特殊な情報を用いずに抽出できる必要がある．そのため，著作権保護のための電子透かし法をそのまま利用することはできず，上記の要件を満たす手法を独自に考案せねばならない．

電子透かしと類似した構造を持ちながら，電子透かしとは異なる目的を持つ応用技術として，ステガノグラフィがある．ステガノグラフィとは秘密通信の一手法である．現在，第三者に傍受されてはいけない情報は暗号化して送るのが一般的であるが，盗聴者によって観測された場合，傍受されたくない情報を送信していることは推測される．そこで，ステガノグラフィでは，送信したい秘密情報とは関係のない画像や音声などに秘密情報を埋め込むことによって，傍受されたくない情報を送信していることそのものを秘匿する．電子透かしと根本的に異なるのは，重要なのが埋め込まれる情報のみであり，埋め込みの対象となる画像や音声は単なるダミーである，という点である．ステガノグラフィには，埋め込み後のダミーコンテンツを閲覧されても，情報が埋め込まれていることを推測されないことが要求される．人間が視覚的に情報が埋め込まれていることを知覚できないのは当然として，画像の統計的性質などにおいても不自然さが検出されてはならない．

本論文では，電子透かしの中から，著作権保護を目的とした電子透かし，インデクス情報の埋め込みを目的とした電子透かしについて述べ，さらにステガノグラフィについて述べる．本論文の構成は以下の通りである．

第2章では，従来手法の多くが耐性を持たない幾何学的改変に対する耐性を持つ，著作権保護を目的とした電子透かし法について述べる．画像を対象とした代表的な攻撃には，明度変換，コントラスト変換，ノイズ付与，低品質による圧縮処理などの非幾何学的改変と，画像の位置を局所的な平行移動や回転によってずらす幾何学的改変がある．このうち，非幾何学的改変を施された後の画像からも署名情報が抽出可能な手法は数多く提案されているが，幾何学的改変に対する耐性を持った手法はあまり提案されていない．これは，従来法の多くは画素の位置に依存した埋め込み・抽出法を採用しているため，画素の位置ずれに対処するのが困難であると解釈できる．第2章で述べる手法では，Hilbert 走査を用いて近接した画素に集中して透かしを埋め込むことにより画素の位置ずれの影響を軽減する．

第3章では，任意形状の領域の切り貼りに対する耐性を持つ電子透かし法について述べる．既に述べたように，著作権保護を目的とした電子透かし法は様々な画像変換に対する耐性を持つ必要がある．画像に対する攻撃の一つに，切り取りがある．ここで，切り取りとは画像の一部分を切り出して部分画像を作成する処理のことを指す．絵画のように全体で一つの作品であるような画像に対して切り取りを施した場合は著作物の品質を著しく損なうことになるが，動植物や人物を写した写真などのように画像の一部分が特に価値を持つような画像は少なくない．

そのような画像は、価値を持つ領域のみを切り出されたとしても、元の画像と同等の価値を持つといえる。そのため、部分画像からも透かしを抽出可能な手法が多く提案されている。しかし、それらは部分画像から透かしを抽出するという性質上、矩形領域の切り取りしか考慮していない。上記の例からもわかるように、一般に、価値を持つ領域は矩形ではなく任意形状で表される。そのため、任意形状の領域を切り出し、別の画像に貼り付けるような攻撃も考慮する必要がある。第3章で述べる手法は、テクスチャ画像を原画像に埋め込み、切り貼りが施された画像から抽出されたテクスチャ画像をテクスチャ解析することによって、切り貼りされた領域を特定する。テクスチャ画像の生成やテクスチャ解析の指標にモルフォロジーの概念を利用することにより、上記のメカニズムを実現する。

第4章と第5章では、インデクス情報の埋め込みを目的とした電子透かし法について述べる。第4章ではフルカラーのビットマップ画像(BMP画像)を対象とした手法を、第5章ではJPEG符号化列を対象とした手法を扱う。インデクス情報の埋め込みを目的とした電子透かし法を適用する対象としては、デジタル写真などが想定されるため、JPEG圧縮に対する耐性を持つ必要がある。第4章の手法はJPEG圧縮の前後で変動しにくい特徴量を用いてインデクス情報を埋め込むことによってJPEG圧縮に対する耐性を持つ。また、第5章の手法は電子透かし法を適用する対象がJPEG符号化列であるためJPEG圧縮に対する耐性を考慮する必要がない。さらに、画像の見栄えの向上を目的とした画像処理に対する耐性を持つ必要もあるため、それらに対する耐性について調べる。上記の用件に加え、第5章の手法ではインデクス情報を何度書き換えても画質の劣化を一定に抑えることができ、利便性の点において優れている。

第6章では、JPEG符号化列を対象としたステガノグラフィについて述べる。ステガノグラフィが有効に機能する例の一つに、Webサイトを利用するものがあげられる。ダミー画像の中に秘密情報を埋め込み、Webサイト上にアップロードし、受信者がそのサイトにアクセスするとブラウザのキャッシュとして秘密情報入り画像を得ることができる。この方法の利点は、送信者が特定の個人に対して画像を送信するのではなく、また受信者が特別に画像を得ようとする行動を起こさなくてよいため、誰が秘密情報を得ようとしているのかを特定するのが困難な点である。現存する多くのWebサイトではJPEG符号化列として画像を保持している場合がほとんどであるため、BMP画像を対象として秘密情報を埋め込むことは、それ自体が画像の不自然さにつながる恐れがある。よって、第6章のステガノグラフィ手法はJPEG符号化列を対象とする。秘密情報入り画像の視覚的な不自然さや統計的な特徴量の不自然さを伴うことなく秘密情報を埋め込む手法を提案する。さらに、既存のJPEG符号化列を対象とするステガノグラフィ法が利用する特徴量に抵触しない特徴量を用いて秘密情報を埋め込むことにより、既存の方法と組み合わせにより多くの秘密情報を埋め込めるよう工夫がなされている。

最後に、第7章において本研究によって得られた結果を総括し、今後の課題について述べる。

本論文の基礎となる発表論文

No.	論文題目	著者名	発表誌名	本論文との対応
1	Hilbert 走査を用いた鍵の生成と局所探索により幾何学的改変に対する耐性を高めた電子透かし	岩田 基 汐崎 陽	電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol.J84-D-II, No.7, pp.1351–1359 (2001).	第 2 章
2	Digital Watermarking Method against Arbitrarily Shaped Cut and Paste on the Basis of Morphology	M. Iwata A. Shiozaki	Proc. of the IASTED International Conference Circuits, Signals, and Systems, pp.321–326 (Clearwater, USA., 2004).	第 3 章
3	Watermarking Method for Embedding Index Data into Images Utilizing Features of Wavelet Transform	M.Iwata A.Shiozaki	IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E84-A, No.7, pp.1772–1778 (2001).	第 4 章
4	Index Data Embedding Method Utilizing Quantitative Relation of Wavelet Coefficients	M. Iwata A. Shiozaki	IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E84-A, No.10, pp.2508–2513 (2001).	第 4 章
5	Digital Watermarking Method to Embed Index Data into JPEG Images	M. Iwata K. Miyake A. Shiozaki	IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E85-A, No.10, pp.2267–2271 (2002).	第 5 章
6	Digital Steganography Utilizing Features of JPEG Images	M. Iwata K. Miyake A. Shiozaki	IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E87-A, No.4, pp.929–936 (2004).	第 6 章

本論文に関するその他の発表

No.	論文題目	著者名	発表誌名
1	A Digital Image Watermarking Scheme Withstanding Malicious Attacks	A. Shiozaki J. Tanimoto M. Iwata	IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E83-A, No.10, pp. 2015–2022 (2000).
2	Segmentation of Page Images Using the Area Voronoi Diagram	K. Kise M. Iwata A. Sato	Computer Vision and Image Understanding, Vol.70, No.3, pp.370–372 (1998).
3	隣接グラフを用いた欧文文書画像 からの文字列抽出	岩田 基 黄瀬 浩一 松本 啓之亮	情報処理学会論文誌, Vol.40, No.8, pp.3239–3248 (1999).
4	Text-line Extraction as Selection of Paths in the Neighbor Graph	K. Kise M. Iwata A. Dengel K. Matsumoto	Document Analysis Systems: Theory and Practice, Vol.1655, pp.225–239 (1999).