

称号及び氏名	博士（工学）岩田 基
学位授与の日付	平成 17 年 5 月 20 日
論文名	「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」
論文審査委員	主査 汐崎 陽 副査 大松 繁 副査 福永 邦雄

## 論文要旨

インターネットを介して大容量の情報をやり取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に改変が施されても、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すかし情報と呼ぶ。

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埋め込む情報を少なくする必要の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、これらの用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もちながら、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え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ている情報のみであり、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著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、画素の位置の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、テキスト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キスト画像をテキスト解析することによって、切り貼りされた領域を設定する。テキスト画像の生成やテキスト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 符号比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 符号比列であるため 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。上記の要件に加え、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 符号比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お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 符号比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 符号比列を対象とする。秘密情報入り画像の知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 符号比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。

## 審査結果の要旨

本論文は、静止画像を対象とした電子透かし手法ならびにその応用技術に関する研究成果をまとめたもので、次のような成果を得ている。

(1) 著作権保護を目的とした従来手法の多くは幾何学的改変と非幾何学的改変のどちらか一方に対してしか耐性を持たない。Hilbert 走査を用いた埋め込みを相関利用型の電子透かしに組み込むことによって、幾何学的改変と非幾何学的改変を組み合わせた攻撃に対する耐性を有する電子透かし法を提案した。

(2) 画像の著作権侵害の一つに、価値を持つ領域のみを切り出して使用されることがある。従来このような不正使用に対する電子透かし法では矩形領域の切り取りしか考慮されていなかった。モルフォロジーの概念を利用することにより、任意形状の領域の切り貼りに対して著作権を主張できる新たな電子透かし法を提案した。

(3) フルカラーのビットマップ画像を対象に、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提案した。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たせた。

(4) JPEG 符号化列を対象に、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提案した。提案手法は、画像の見栄えの向上を目的とした画像処理に対して耐性があり、さらに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。

(5) JPEG 符号化列を対象としたステガノグラフィについて、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した。提案手法は、既存の方法と組み合わせて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。

以上の諸成果は、ネットワーク社会におけるデジタル著作物利用の安全性ならびに利便性向上についての基礎的な知見や基盤を与えるものであり、この分野の技術の発展に貢献するところ大である。また、申請者が自立して研究活動を行うに十分な能力と学識を有することを証したものである。

### 3.

#### 審査委員会の所見

審査委員会は、本論文の審査ならびに学力確認試験の結果から、博士（工学）の学位を授与することを適当と認める。