

称号及び氏名	博士（工学） 崎山 圭
学位授与の日付	平成 22 年 3 月 31 日
論文名	「色差成分の分散を用いて幾何学的改変と JPEG 圧縮に耐性をもたせた電子透かし法に関する研究」
論文審査委員	主査 教授 汐崎 陽 副査 教授 大松 繁 副査 教授 黄瀬 浩一

論文要旨

近年、インターネットを介して、映像や音楽といった様々なデジタルコンテンツの配信サービスが普及している。しかし、デジタルコンテンツの不正配信などの著作権侵害が深刻な問題となっている。デジタルコンテンツは、コピーが容易であり、コピーをしてもコンテンツの品質は劣化しないという特徴があり、さらにインターネットを利用したコンテンツの配信も容易である。そのため、不特定かつ大多数がインターネットを利用している現在では、デジタルコンテンツの不正配信を抑止するのは困難である。また、一般的な映像や音楽といったデジタルコンテンツは微小に変更を加えてもその変化は人間には知覚されず、不正利用者が、デジタルコンテンツの著作物を微小に書き換えた状態で不正に利用すると、著作者が製作したコンテンツとデジタルデータが異なるため、著作者が自分の著作権を証明できない。そのため、このようなデジタルコンテンツの著作権侵害への対策技術が注目を浴びるようになった。

このような問題を解決する技術として、電子透かしが注目を浴びている。電子透かしとは、知覚されにくい冗長な部分に別の情報を埋め込む技術である。ここで、埋め込まれる情報のことを透かしとよぶ。この技術を利用し、デジタルコンテンツに著作権データを埋め込むことにより、そのデジタルコンテンツの著作権を主張できる。このような著作権保護を目的とする電子透かしに対する要求としては、透かしが埋め込まれたデジタルコンテンツが、不正利用者にコンテンツとしての価値を損なわない程度にデータを変更されたとしても、そのデジタルコンテンツから透かしが正しく抽出できることがあげられる。透かしの埋め込まれたデジタルコンテンツのデータを変更することによって、透かしを正しく抽出できないようにする行為を攻撃とよび、また、意図的に透かしを取り除こうとする行為以外にも、データ圧縮などでデジタルコンテンツの情報を書き換えることによって、意図せずに透かしを取り除いてしまう行為も攻撃に含むものとする。

本論文では、カラー画像を対象とした著作権保護を目的とする電子透かしについて述べる。透かしが埋め込まれる画像を原画像とよび、透かしが埋め込まれた画像を透かし入り画像とよぶ。また、画像に埋め込まれる電子透かしに対する攻撃は大きく2つに分類される。一つはJPEG圧縮やノイズ付加、フィルタリング処理などの非幾何学的改変であり、もう一つは回転、切り取り、スケール変換などの幾何学的改変である。画像に埋め込まれる電子透かし

に対する要求として、これらの攻撃を受けても埋め込まれた透かしが正しく抽出できることがあげられる。

画像に埋め込まれる電子透かしの方法は、画像の空間領域に埋め込む手法と周波数領域に埋め込む手法に分類される。空間領域に埋め込む手法は、大きなビットデータを透かしとして埋め込むことが容易であるが、各種の攻撃に対する耐性は低い傾向にある。一方、周波数領域に埋め込む手法は、非幾何学的改変に対する耐性は高いが、大きなビットデータを透かしとして埋め込むことが困難な傾向にある。JPEG圧縮や雑音付加、フィルタリング処理などの攻撃に対して耐性を持った、離散コサイン変換(DCT)や離散ウェーブレット変換(DWT)を利用した手法がすでに数多く提案されている。そのような周波数領域に透かしの埋め込む手法が確立されたことにより、JPEG圧縮等の非幾何学的改変に対する耐性は十分なものとなった。しかし、周波数領域に埋め込む電子透かし法では、幾何学的改変を受けた場合、埋め込み位置のずれを補正するような処理が必要であり、そのような位置ずれの補正は一般には困難である。

画像に対して幾何学的改変を施す画像処理ソフトは多数存在し、著作権を侵害しようとする不正利用者がそのようなソフトを使用することによって、容易に透かし入り画像に幾何学的改変を施すことができる。そのため、透かし入り画像に埋め込まれた著作権情報が抽出できなくなり、著作権の保護が不可能となってしまう。幾何学的改変に耐性を持つ電子透かし法も提案されるようになったが、そのような電子透かし法は、非幾何学的改変に対する耐性は考慮されていないか十分ではない。現在、デジタルコンテンツとしての画像データはJPEG形式で保存されるのが一般的である。そのため、著作権保護を目的とする電子透かし法の場合、JPEG圧縮に対する耐性がなければ実用的でないといえる。

幾何学的改変とJPEG圧縮に耐性を持つ電子透かし法は提案されているものの、そのような電子透かし法は、攻撃に対する耐性は画像に依存する、任意のビット列の透かしの埋め込むことはできない、透かし入り画像の画質が十分ではない、などの問題がある。

そこで、本論文では、任意のビット列の透かしの埋め込むことが可能であり、幾何学的改変とJPEG圧縮に耐性のある電子透かし法を提案する。本論文の手法はカラー画像を対象としており、一般にカラー画像は3つの色成分で表現されている。画像が幾何学的改変を受けると、同座標の3つの色成分は同様の改変を受ける。そのため、画像の局所領域に着目したとき、その中の3つの色成分の数値的な関係は幾何学的改変を受けても変わりにくいと考えられる。この特徴を利用することにより透かしの埋め込むことで、幾何学的改変に対する耐性をもたせる。さらに、JPEG圧縮に対する耐性を向上させるためにDWTを利用し、人間の目は輝度成分よりも色差成分に対して鈍感であるという特徴を利用して、YCbCr表色系の色差成分であるCb成分とCr成分に透かしの埋め込む。

本論文の構成は以下の通りである。

第2章では、画像の局所領域でのCb成分とCr成分の分散の大小関係を利用した電子透かし法について述べている。第2章の電子透かし法をブロック法とよぶ。ブロック法は、画像にDWTを施し、得られたLL成分をブロックに分割し、各ブロックに透かしの1ビットずつ埋め込む。透かしの埋め込みは各ブロックのCb成分とCr成分の分散に着目し、埋め込むビットの値に応じてCb成分の分散とCr成分の分散の大小関係を制御することにより実現される。ブロック法はCb成分の分散とCr成分の分散に、一定の埋め込み強度の値以上の差をつけることによって攻撃に対して耐性をもたせている。ここで、埋め込む前のCb成分の分散とCr成分の分散が共に低いブロックでは、高い埋め込み強度を設定すると画質の劣化が目立ってしまうため、そのようなブロックに透かしの埋め込む場合は、他のブロックに透かしの埋め込む場合より低い埋め込み強度に設定している。このように2つの埋め込み強度を使い分けることによって、画質への影響を抑えている。電子透かし耐性検証ツールであるStirMark4.0を用いて、透かし入り画像の攻撃に対する耐性実験を行い、透かし入り画像の画質と耐性実験の結果について述べ、今後の課題を明らかにしている。

第3章では、ブロック法の問題点を解決するための、画像の隣接した2箇所の局所領域

のCb成分とCr成分の分散を利用した電子透かし法について述べている。第3章の電子透かし法を隣接法とよぶ。隣接法は、ブロック法と同様に、画像にDWTを施し、得られたLL成分をブロックに分割する。隣接法では、隣接する2つのブロックに透かしを1ビット埋め込む。透かしの埋め込みは、隣接ブロック内の2つのブロックに対して、Cb成分の分散とCr成分の分散の差を求め、それらの大小関係を制御することにより実現される。ここで、各成分の分散の変更量は可能な限り均等になるようにしている。隣接法も一定の埋め込み強度の値以上の差をつけることによって攻撃に対して耐性をもたせている。2つのブロックに透かしを埋め込むことにより、各成分の分散の変更量を少なくし画質の劣化を抑えている。また、隣接法もブロック法と同様に2つの埋め込み強度を使い分けている。StirMark3.1とStirMark4.0を用いて耐性実験を行い、透かし入り画像の画質と耐性実験の結果を示し、ブロック法での問題が軽減できたことについて述べている。最後に、残された問題と今後の課題について述べている。

第4章では、まず、予備実験により、Cb成分とCr成分の分散の変更が画質に及ぼす影響について調べ、定量化した。第4章の電子透かし法は、隣接法と同様にブロック分割を行い隣接ブロックを得た後、Cb成分の分散とCr成分の分散の差を求め、それらの大小関係を制御することにより実現される。第4章の電子透かし法を重み法とよぶ。隣接法では分散の大小関係を制御する際に、各成分の分散の変更量を可能な限り均等にしてきたが、重み法では、予備実験により定量化されたCb成分とCr成分の分散の変更が画質に及ぼす影響を重みとして各分散の変更量にくわえ、画質に大きく影響する成分の分散の変更量を少なくすることにより画質の劣化を抑えている。重みをくわえることによって画質の劣化を抑えているため、重み法ではブロック法や隣接法と違い、全てのブロックに対して同一の埋め込み強度で透かしを埋め込んでいる。埋め込みの際に用いる様々なパラメータや攻撃の強度を変えて耐性実験を行い、透かし入り画像の画質と耐性実験の結果を示し、隣接法の問題が軽減できたことについて述べている。最後に、今後の課題について述べている。

第5章では、本研究で得られた結果の総括を行い、結論としている。

審査結果の要旨

本論文は、カラー画像の著作権保護を目的とした電子透かし手法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) 幾何学的改変とJPEG圧縮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手法を提案した。提案手法は、カラー画像の局所領域の各色成分の分散の大小関係は幾何学的改変による影響を受けにくいという性質を利用して、幾何学的改変に耐性をもたせている。
- (2) 幾何学的改変に対する耐性を持たせた従来法の多くは、JPEG圧縮に対する耐性は考慮されていないか十分ではない。それに対して、提案手法は幾何学的改変だけでなくJPEG圧縮にも耐性を持たせているため、実用面において優れている。
- (3) 提案手法は、幾何学的改変に対する耐性を持たせるために従来法の多くが用いている位置ずれ補正処理を必要としないため、透かし抽出処理が簡単である。
- (4) YCbCr表色系のCb成分とCr成分の変更による主観的な画質の劣化を、実験により定量化した。その結果、Cb成分とCr成分とでは、変更量が同じであっても主観的な画質に与え

る影響が異なることが確かめられた。この結果は、提案手法のみならず、色差成分(Cb成分, Cr成分)を変更する電子透かし手法において、画質の劣化を低減する一助になる。

- (5) 上記実験により定量化された画質劣化の値を基に、局所領域内の色差成分の分散を制御して透かしの埋め込みにより、透かし埋め込みによる主観的な画質劣化を抑える手法を提案した。計算機実験により、画質と耐性の両面で優れていることが確認された。

以上の諸成果は、デジタルネットワーク社会におけるデジタル著作物の不正使用防止ならびに安心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。