

学 位 論 文 題 名

A Study on Watermarking Technique
Using Computer Generated Hologram

(計算ホログラムを利用した電子透かし技法に関する研究)

学位論文内容の要旨

近年インターネット上で流通するデジタルコンテンツの著作権を保護する技術として「電子透かし技術」がキーテクノロジーとして注目されるようになってきた。電子透かし技術とは、画像データや音声データなどのマルチメディアデータに、その冗長性を利用して他の情報を埋め込み、利用者には分からないようにして著作権者の情報を埋め込んでおく手法である。透かし情報が埋め込まれていると、第三者がそのコンテンツを著作権者に無断で使用した場合に対処して著作権者が法的手続をとるに場合、その証拠として違法にコピーまたは入手したコンテンツからこの電子透かしを抽出し、自分の著作権の正当性を主張することができる。

一般に開発された電子透かし技術はコンテンツの冗長性を利用して、空間変換、周波数変換などを利用する方法が多い。周波数変換を利用する方法は DFT や DCT 変換により周波数領域の係数に対して透かし情報を埋め込むという方法であり、攻撃に対して相対的に強い電子透かし技術と言える。この方法では情報は全画面に分散されるため、第三者が透かし情報を見つけるのは困難になる。しかし、DFT や DCT 変換は唯一の変換面しか提供できないため、攻撃を工夫すれば埋め込んだ情報の削除や改ざんが可能となる。また、クロッピングによって欠損した情報から元の署名情報をどの程度確実に回復できるかも問題である。

本研究では、DCT 変換による中間周波数領域の埋め込みについての検討、及び DFT や DCT 変換の単一性を解決するため変換面の多様性を持っているフレネル変換利用の検討を行った上、主に計算ホログラム (Computer Generated Hologram: CGH) を利用した電子透かし技法の開発を行った。ホログラフの特徴の一つとして、一部分のデータを利用しても再生像を回復できることがあげられる。この特徴を利用すると、たとえ埋め込んだ透かし情報が一部分欠損したとしても、残された情報から署名情報を確実に回復することができる。そこで、本研究では電子透かしにおける新しい手法として CGH を応用した文字コーディング法を開発した。波動は振幅と位相情報を持っているので、電子透かし情報のホログラム面は複素波動場の振幅 A_{mn} と位相 ϕ_{mn} で $A_{mn} \cdot \exp[-j\phi_{mn}]$ の形式で表わすことができる。しかし、CGH ではホログラム面でのサンプリング点に対して割り当てられたセルの窓は簡単な長方形であり（窓の大きさは振幅に比例させる。窓の位置のずれが回折波の位相に変換される）、攻撃を受けた場合、振幅と位相情報が同時に影響を受けるので、透かし情報を回復するの

は困難な場合がある。

本論文での提案手法では透かし情報の回復率を向上させるため、まずホログラム面での透かし情報の振幅と位相情報により抽出用情報として中間情報を作って置く。次に、振幅情報だけを一組の文字パターンで対応させ、中間情報をデータベースに保存する。ここで、文字パターンを単純な窓の形の代わりに表現するのが大きな改良点である。文字パターンは多様性と形の特殊性を持っているため、大量的な文字パターンにより多数の仕組みを作ることができ、振幅情報に対応できる。また、形が違うパターンを利用すれば、認識率を向上させることができる。透かし情報を抽出する場合は、ノイズが入っている文字パターンと標準として選んだ文字パターンの形状の相関を計算しながら、文字パターンを再認識する。また、認識した文字パターンから回復した振幅情報と中間情報を利用して位相情報を求め、さらに回復した振幅と位相情報により透かし情報を再生する。また、クロッピングに対して、文字パターンの再認識による回復したサンプリング数は同じ率で減っているので、ここで、文字パターン面のサイズを原画像の四分の一にして、同じパターン面を四つ配置する方法も新たに考案した。こうするとクロッピングに対してサンプリング数を倍に増やしたことになる、原画像の 50% をクロップしても、再生像に必要な 100% のサンプリング数を回復できる。

本研究の過程において、CGH の技法によって、画像を 50% までクロップしても、再生像を生成させられることを示した。本手法を用いて文字パターン面の分布によりクロッピング率を 75% 程度まで引き上げれることを明らかにした。また、各攻撃方法のシミュレーションの結果により本手法では Median、Gaussian、Sharpening の三つの攻撃方法のうち、Median 攻撃方法に比較的に強いことが分かった。さらに、JPEG 圧縮に対して、圧縮率は 50% までであれば、影響が低いことが分かった。透かし情報を含むデータを通信衛星で伝送する予備実験として、自局折り返しによる伝送実験を行い、本透かし法の有効性を確認した。多数のユーザの利用状況を追跡するため、将来の情報データの管理についての検討を行った。

以上、CGH を利用した電子透かし技法を新たに開発した上、この方法の有効性と電子透かし情報を再生するための情報の回復率が大幅に向上することを確認した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 青 木 由 直
副 査 教 授 梶 内 香 次
副 査 教 授 北 島 秀 夫

学 位 論 文 題 名

A Study on Watermarking Technique Using Computer Generated Hologram

(計算ホログラムを利用した電子透かし技法に関する研究)

近年各種メディアの流通において、著作権を保護する目的で電子透かし技術の開発が盛んになって来ている。この技術に関して、本論文では画像メディアを対象にして、DCT 変換による中間周波数領域の埋め込みについて検討を行った上、主に計算ホログラム (Computer Generated Hologram: CGH) を利用した電子透かし技法の開発を行った。一般に開発された電子透かし技術はコンテンツの冗長性を利用して、空間変換、周波数変換などを利用する方法が多い。周波数変換を利用する方法は DFT や DCT 変換により周波数領域の係数に対して透かし情報を埋め込むという方法である。しかし、DFT や DCT 変換は唯一の変換面しか提供できないため、攻撃を工夫すれば埋め込んだ情報の削除や改ざんが可能となる。また、不正改ざんによって欠損した情報から元の署名情報をどの程度確実に回復できるかも問題である。

本研究では、まず、透かし情報の埋め込み領域に着目し、DCT の中間周波数埋め込み法を開発した。DCT を利用した透かし技法における変換面が固定する問題に対処して、フレネル変換による技法の検討を行った。次に、CGH を利用し、透かしの情報を振幅情報と位相情報に分離し、より高い回復率で再生像のサンプリング数を生成する方法について研究を行っている。

第 1 章は序論であり、本論文の研究が行われるに至った背景と目的を述べ、電子透かしに関する基本的な概念を明らかにしている。

第 2 章では、電子透かしの原理について述べ、各発表された方法について利点や欠点について分析を行っている。

第 3 章では、本論文で開発された電子透かし方法についてそれぞれの原理、埋め込み過程及び実験結果を述べた。

まず、DCT 変換を利用するには主に埋め込み周波数領域を中心として検討を行った。一般に、低周波数領域に情報を埋め込めば視覚的にノイズが現れやすく、高周波数領域に情報を埋め込む場合、圧縮攻撃の方法に対して削除される恐れがある。これに対して、本方法では

原画像を DCT 変換により各出力ブロックの中間周波数領域を選び、電子透かし画像に対して DPCM (Differential Pulse-Code Modulation) 符号化を行い、原画像の DCT 変換の中間周波数領域に情報を埋め込んだ。この埋込み方式は JPEG 圧縮に対して利点を持つことを明らかにした。さらに、画像面とフーリエ変換面の中間に位置するフレネル変換面での埋込みについても検討を行い、距離パラメータにより変換面を制御できる利点を明らかにした。

次に、CGH を利用した電子透かし技法について検討を行った。ここで、電子透かし情報をホログラム面で複素波動場の振幅 A_{mn} と位相 ϕ_{mn} に分離し、振幅情報だけを一組の文字パターンで対応させる。文字パターンは多様性と形の特殊性を持っているため、大量な文字パターンにより多数の仕組を作ることができ、振幅情報に対応できる。また、ホログラム面での透かし情報の振幅と位相情報により抽出用情報として中間情報(抽出用)を作ってデータベースに保存する。さらに、多数のユーザの利用状況を追跡するため、将来の情報データの管理についての検討を行った。最後に、各攻撃方法のシミュレーションの結果について検討を行って、本手法に関しては Median、Gaussian、Sharpening の三つの攻撃方法のうち、Median 攻撃方法に比較的に強いことを明らかにした。さらに、JPEG 圧縮に対して、圧縮率が 50%までであれば、影響が低いことが判明した。また、クロッピング攻撃に対して、文字パターンの再認識により、回復したサンプリング数は同じ率で減少しているので、その結果を利用して、文字パターン面のサイズを原画像の 1/4 にし、同じパターン面を四つ配置する方法も新たに考案した。こうするとクロッピングに対してサンプリング数を倍に増やしたことと等価になる事を明らかにした。

最後に、電子透かし情報を含むデータを通信衛星で伝送する予備実験として、自局折り返しによる伝送実験を行い、本研究で開発して電子透かし法の有効性を確認した。

第 4 章は結論であり、本研究の総括を行っている。

このように著者は本論文において、電子透かし情報の埋め込み領域に関して新しい技法を開発し、また、計算ホログラム技法を利用し、透かし情報を振幅情報と位相情報に分離し、より高い回復率で再生像のサンプリング数が生成できる点を明らかにしている。

これを要するに、著者は電子透かし研究の分野において新知見を得ており、情報メディア工学に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。