

氏 名 (本 籍)	杉 山 正 晴 (岐阜県)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 号 番 号	甲 第 180 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 14 年 3 月 25 日
専 攻	電子情報システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	特異値分解を利用した電子透かしの研究 (A Study on the Digital Watermarking Based on Singular Value Decomposition)
学位論文審査委員	(主査) 教 授 後 藤 宗 弘 (副査) 教 授 池 田 尚 志 教 授 田 中 嘉 津 夫 教 授 藤 田 廣 志

論 文 内 容 の 要 旨

近年デジタルネットワークによる情報通信が発達し、文書、画像、音声等を容易に送受信できる環境になっている。これに伴い、画像、音声等のコンテンツの著作権保護が重要な課題になっている。この著作権保護の手法として、これら画像、音声等の中に密かに著作権に関する情報を埋め込む「電子透かし」が注目されている。

本論文は、静止画像に電子透かしの埋め込む手法に焦点を当てて、電子透かしの評価指標、特異値分解を使ったいくつかの電子透かし手法を提案するものである。

第1章では、電子透かしの必要性、電子透かしの具備すべき要件を述べた後、その要件の一つである“透かしが見えないこと”を視覚的かつ定量的に評価する新しい評価指標を提案した。透かしにより劣化した画像の評価には、SNR(S/N比)が一般には使われている。しかし、SNRはヒトの視覚特性を全く考慮していない。そこで、まず各輝度レベルにおけるヒトの輝度変化の閾値を実験的に、さらにエッジによる視覚の強調効果を定量的に求め、それを視覚上の輝度レベルに反映させた。次いで、周囲ピクセル輝度値のランダム性に起因するマスキング効果を評価指標に反映させるため、各ピクセルごとに周囲の輝度値のランダム性を考慮した閾値を求め、これら2種類の閾値からそれぞれのピクセルにおける閾値を求め、それを利用して新しい評価指標 PEL を定義し、その有用性をいくつかの画像により示した。この閾値は透かし埋込の際のガイドラインとなり得ることを確認した。

第2章では、以後の章で必要となる特異値分解の基礎的な部分を概観する。なわち、行列 A は次式のように2つの正規直交行列 U , V と1つの対角行列 D に分解される。すなわち、 $A=UDV^T$ となる。ここで、 T は転置行列を表す。これを画像の分解に利用した。

第3章では、特異値分解を適用して、クロッピング(画像の一部切り出し)に耐性のあ

る電子透かし手法を提案した。本手法では、透かし画像は前述の特異値分解により圧縮されているものとする。JPEG 圧縮などに対する耐性を得るため、ホスト画像の低周波部分に埋め込む。そのため、ホスト画像にウェーブレット変換の 1 種である Haar 変換を適用し、その低周波部分 (MRA 成分) に、上述の透かし情報を埋め込んだ。この時、埋込後の画質の劣化を最小限にするため、第 1 章で求めた各ピクセルの閾値をガイドラインとし、閾値の大きな画素に埋め込んだ。この手法の特徴及び各種攻撃に対する耐性は以下の通りである。

- (1) 閾値をガイドラインとして埋め込んだので、透かしの存在に気づかれにくい。
- (2) 透かし画像を圧縮したので、ホスト画像よりも大きな画像を埋め込むことが可能である。
- (3) ホスト画像の中心に大きな特異値に対応した透かし情報を埋め込んでいるため、周囲の切り取りに対して強い耐性を持つ。

第 4 章では、特異値分解を利用した透かし埋め込み手法を提案し、この手法により得られた透かし入り画像に、乱数付加、JPEG 圧縮、下位ビット削除等の攻撃を加え、その耐性を見た。提案手法の特徴及び耐性は以下の通りである。

- (1) 透かし情報が水平ライン全体に広がり、透かしピクセルの推定は不可能である。
- (2) 透かし画像のサイズにもよるが、JPEG 圧縮では、品質パラメータ 90%では PEL 値-20dB の透かし画像が抽出可能である。
- (3) 下位 3 ビット削除攻撃は、で PEL 値-20~30dB の品質で透かしが抽出できる。
- (4) 分散 3 のガウス乱数付加では、抽出された透かし画像は-20~40dB 程度であった。

第 5 章では、ホスト画像に 2 進数の並び (ビットストリーム) を透かし情報として埋め込む手法を提案する。ビットストリームの内容としては、著作権者の漢字コードや M 系列 (乱数の一種) 等が使われる。本章の成果の 1 つは、特異値の変更分から、SNR を極めて少ない計算量で計算する式を導出したことである。これにより、埋め込みの途中でも SNR が容易に計算でき、画質の劣化の程度を考えながら埋め込むことが可能になった。

提案手法により、 256×256 ピクセルのホスト画像に 64 ビットの透かし情報を埋め込んで各種攻撃に対する耐性を検証した。その結果、提案手法は以下の特長を有することが判明した。

- (1) 透かし情報の抽出に原画増を必要としない。
- (2) 透かし情報がホスト画像全体に拡散されるため、透かし情報埋込位置の特定が不可能である。
- (3) ガウス乱数付加に対しては、分散 40 程度、JPEG 圧縮に対しては品質パラメータ 50~80 程度、下位ビット削除に対しては 6 ビットまでそれぞれ透かし情報が正確に抽出でき、これらの攻撃に強い耐性がある。

以上特異値分解を利用したいくつかの電子透かし法を提案した。これらは埋め込み場所、透かし情報量、計算法、攻撃に対する耐性にそれぞれ特徴があり、実用に際してはこれらを考慮した利用法を勘案する必要がある。

論文審査結果の要旨

デジタル通信ネットワークが社会の重要なインフラストラクチャとなり、文書、画像、音声等が容易に送受信できる環境が存在している。この環境では、画像、音声等のコンテンツは全て電子化されているので、従来とは異なる著作権の保護法の開発が重要な課題になってきている。このコンテンツ保護のための手法として、画像、音声等の中に密かに著作権に関する情報を埋め込む「電子透かし」が注目されている。

本論文は、静止画像に電子透かしを埋め込む手法に焦点を当て、電子透かしの評価指標、特異値分解を使ったいくつかの電子透かし手法を提案している。

第1章では、電子透かしの必要性、電子透かしの具備すべき要件を述べ、その要件の一つである“透かしが見えないこと”を視覚的かつ定量的に評価する新しい評価指標を提案している。透かしにより劣化した画像の評価には、原画像を信号、透かしを雑音と考えて、SNR(SN比)が多く使われている。しかし、SNRはヒトの視覚特性を全く考慮していない。そこで、各輝度レベルにおけるヒトの輝度変化の閾値を実験的に求め、エッジによる視覚の強調効果及び複雑さに起因する閾値を定量的に求め、それらを視覚上の輝度レベルに反映させた評価指標 PEL を定義し、その有用性をいくつかの画像により示した。この閾値はピクセルにおける輝度値量をヒトの感覚で受理した値として換算しているため、透かし埋め込みの際のガイドラインとなり得る。

第2章では、以下の章で利用する特異値分解、Haar変換について概説している。

第3章では、特異値分解を適用して、クロッピング(画像の一部切り出し)に耐性のある電子透かし手法を提案している。本手法では、透かし画像は特異値分解により圧縮されているものとする。JPEG圧縮などに対する耐性を得るため、ホスト画像の低周波部分に埋め込む。この手法の特徴及び各種攻撃、特にクロッピングに対して強い耐性を持つことが実験的に確かめられている。

第4章では、この特異値分解を直接利用した透かし埋め込み法を提案している。そして、この手法により得られた透かし入り画像に、乱数付加、JPEG圧縮、下位ビット削除等の攻撃を加え、その耐性を見た。その結果、この方法では透かし情報が水平ライン全体に広がるため、透かしを埋め込んだピクセルの推定は不可能であること、JPEG圧縮に強く、下位ビット削除やガウス乱数付加に対してもかなり強靱であることなどが判明した。

第5章では、ホスト画像に2進数の並び(ビットストリーム)を透かし情報として埋め込む手法を提案している。ビットストリームの内容としては、著作権者の漢字コードやM系列(乱数の一種)等が使われる。本章の成果の1つとして、特異値の変更分から、SNRを極めて少ない計算量で計算する式を導出した。これにより、埋め込んでいる途中でも、SNRが容易に計算でき、画質の劣化の程度を考えながら埋め込むことが可能になった。

提案手法により、 256×256 ピクセルのホスト画像に64ビットの透かし情報を埋め込んで各種攻撃に対する耐性を検証した。その結果、提案手法は、透かし情報の抽出に原画像を必要としないこと、透かし情報がホスト画像全体に拡散されるため、透かし情報埋込位置の特定が不可能であること、ガウス乱数付加、下位ビット削除に対して強い耐性がある

ことが判明した。

以上の内容は、情報通信の分野で極めて有用であり、学位論文のレベルに達していると判定した。

最 終 試 験 結 果 の 要 旨

公聴会後に学位論文に関連する口頭試問を行い、これを最終試験に替え、合格と判定した。