

令和元年度 卒業論文

ウェーブレット変換の階層性を考慮した 電子透かしに関する検討

令和2年2月7日

指導教員 中井 優一 教授

明石工業高等専門学校
電気情報工学科

報告者 E1508 江森 俊哉

目次

第1章	序論	1
第2章	電子透かし	3
2.1	電子透かしに求められる条件	3
2.2	電子透かしの用途	4
第3章	ウェーブレット変換	5
3.1	ウェーブレット変換の概要	5
3.2	ウェーブレット変換の仕組み	6
第4章	提案手法	9
4.1	概要	9
4.2	電子透かしの埋め込み方法	9
4.3	電子透かしの抽出	11
第5章	計算機シミュレーション	12
5.1	評価指標	12
5.2	電子透かしの埋め込んだ画像の品質	12
5.3	攻撃耐性の評価	14
5.3.1	明度変更	14
5.3.2	シャープネス処理	16
5.3.3	JPEG 圧縮	17
第6章	結論	20

第1章 序論

近年の目覚ましいデジタル技術の発達により、誰でもマルチメディアコンテンツの作成や複製、編集を容易に行うことが可能となってきた。特に電子メディアはパソコンだけでなく、スマートフォンを利用することでも簡単に複製、編集が可能である。このような利便性の向上の反面、発生するのは著作権侵害の問題である。実際に電子メディアが無断複製された後、インターネット上で再配布されたり、悪意のある改ざんをされるケースは後を絶たない。こういった著作権侵害の問題に対してインターネット上に公開される画像では、製作者の署名やなにかしらの証拠を残し、コンテンツごとに証明することが必要となる。

それを実現するための1つの手法として、「電子透かし」の導入が検討されている。電子透かしとは、マルチメディアコンテンツにおいて目に見えない形で著作者情報などを埋め込んだり、必要に応じて取り出しをする技術である。これにより、利用者に著作者情報の存在を意識させず、かつ利用者が法律の範囲を超えてコンテンツを利用した場合に製作者は著作権を簡単に主張することができる。

この電子透かしの埋め込み方法にはさまざまなものがある。なかでもフーリエ変換や離散コサイン変換などを用いて、時間信号を異なる正弦波成分に分けその周波数信号スペクトルに透かし情報を埋め込む手法がよく知られている。しかしながらこれらの直交変換はブロック単位で実行されるため、ブロックひずみやモスキートノイズが発生しやすいという欠点をもっている。その弱点をなくす方法として、本研究ではウェーブレット変換を透かしの埋め込みに利用する方式について検討を行う。

ウェーブレット変換では画像を周波数領域ごとに分割する。また変換を繰り返し行うことで、変換後の画像は高周波数領域から低周波数領域までの階層性をもつ。ウェーブレット変換の階層性を利用することで、より頑健な電子透かしの埋め込みの実現を目指すことを本研究の目的とする。

第2章では、電子透かしの概要や用途、種類について述べる。第3章ではウェーブレット変換の概要や仕組みについて述べる。第4章では、ウェーブレット変換の階層性を考慮

した電子透かしの具体的な手法の説明を行う。第5章では提案手法について計算機シミュレーションを行い、その特性について検証する。また、その検証をもとに第6章では本研究の結果をまとめ、今後の課題を述べる。

第2章 電子透かし

日本の紙幣において、偽造を見破るために紙幣中央部に透かしの技術が用いられている。序論で述べたような近年の電子メディアコンテンツに関する問題を受け、この考え方を電子メディアに適用したものが電子透かしである。本研究での電子透かしは、デジタル画像情報に適用したものを指す。

電子透かしは、画像データの著作権を主張することを主な目的としている。また電子透かしは、暗号化技術とは異なりコンテンツの流通を制限したり取り締まったりするものではない。そのため重要なことは、コンテンツの著作権がだれにあるかを明示するために埋め込まれた透かし情報が、欠落しないまま永久に保存されることである。すなわち、さまざまな攻撃やデータ圧縮に対して透かし情報が変質、消失しないことが大切になる。

一方、電子透かしでは画像の画素単位に透かし情報を埋め込む工作を施すため、どうしても画像の品質を劣化させてしまう。埋め込みによるこの劣化の度合いが利用者にどれだけ受容されるかが問題である。このことから、画像の質と透かし情報の秘匿強度には互いにトレードオフの関係があるといえる。

2.1 電子透かしに求められる条件

電子透かし技術に求められる条件を以下に挙げる。

- (1) 電子透かしは画像全域に分散して埋め込むこと
- (2) 透かし情報は画像の編集、圧縮、伝送などの処理で変質、消失しないこと
- (3) 電子透かしに対する改ざんや消去などの悪意のある攻撃に強いこと
- (4) 透かし情報の埋め込みと抽出のための手続きが容易かつ短時間であること
- (5) 可能なかぎり透かし情報の不正な解釈を排除できること
- (6) 透かし情報の長さが画像を識別できる程度のビット数であること
- (7) 画像の仕様にあまり制限を受けないこと
- (8) 画像の劣化を視覚的に識別できない範囲に抑えること

2.2 電子透かしの用途

電子透かしの主な用途を以下に挙げる。

- (1) 画像の著作権者が、著作権を所有していることを透かし情報として記録しておく。これは著作権保護の立場から見ると、画像の流通を取り締まったりする暗号化技術と比べて受け身な対応であるといえる。しかしながら著作権侵害に抵触するような場合に、透かし情報を復号して問題解決の一助に利用することができる。
- (2) 画像の表示部の主要部分にロゴマークまたはトレードマークを直接表示し、一連番号を付して配布する。鍵を購入した者だけがマークを除去でき、またその者が第三者に違法に画像を再配布した場合はマークと一連番号が浮上する仕組みにしておく。それによって、違法コピーの出所の追跡が可能となる。
- (3) 市場に公開された画像が、人から人、コンピュータからコンピュータに受け渡されるたびに、そのユーザの識別番号を透かし情報として記録する。それによって流通経路を調査したり、違法コピーを追跡するための貴重なデータを提供できる。
- (4) 画像にコピー制御信号を透かし情報として埋め込み、再生時に透かし情報を抽出してその画像が許可済か否かを判定し、内容表示を決定する。とくに違法コピーの企図に対しては、コピー側に極端なノイズ成分を付加して、画質や音質の著しい劣化を発生させることも考えられる。
- (5) 暗号と同様に情報の秘匿伝送を目的にする。暗号は一般に、伝送される情報をランダム化して内容を秘密にする。それに対して電子透かしを利用して秘密を伝送する場合は、見た目で見えないことによって通信そのものの存在を秘匿することに第一義の目標がある。

第3章 ウェーブレット変換

3.1 ウェーブレット変換の概要

電子透かしにおいて、画素領域で直接画素値に透かし情報を埋め込むのは比較的容易である。しかしその反面、画像の変換や圧縮などの各種画像処理に対して脆弱であることが知られている。この弱点を避けるために、透かし情報の埋め込みに画像の空間周波数領域を利用するというアプローチがある。

代表的なものとしては、ウェーブレット変換のほかにも離散フーリエ変換 (Discrete Fourier transform:DFT) や、離散コサイン変換 (Discrete Cosine transform:DCT) といったものがある。DFT や DCT は時間信号を異なる正弦波成分に分け、その周波数信号スペクトルを求めるものである。

周辺画素との相関性が高いという画像データの特徴から、周波数信号スペクトルは低周波領域に集中し、高周波領域にはあまり分布しない。この性質をいかし、高周波領域に透かし情報を埋め込むという電子透かしの手法がある。一方で、この二つの変換にはブロックひずみやモスキートノイズが発生しやすいという欠点がある。それらの対策方法として、本研究ではハール基底による画像の直交ウェーブレット変換を利用する。

ウェーブレット変換による電子透かしでは、DFT、DCT と同様に画像を周波数成分ごとに分割して透かし情報を埋め込む。ウェーブレット変換によって変換された画像は、低周波数成分ほど重要な情報を含み、高周波数成分ほど冗長成分を含んでいる。すなわち、画像の低周波数成分を操作した場合には視覚的な画像の品質を大きく劣化させてしまう。一方で、高周波数成分を操作した場合には高周波数成分除去前後の画像の違いを視覚的に区別できないほど画像の品質を保つことが可能である。そのため、通常透かし情報は高周波数成分に埋め込まれる。一例として、図 3.1、3.2 にそれぞれ原画像と、高周波数成分に透かし情報を埋め込んだ画像 (ステゴ画像とよぶ) を示す。



図 3.1: 原画像



図 3.2: ステゴ画像

図 3.1、3.2 において、画像の劣化度合いを示す指標である PSNR（詳しくは 5.1 節にて説明を行う）の値は 47.75[dB] であった。PSNR は 40[dB] 以上なら視覚的劣化がみられないとされているので、透かし情報の埋め込みによって二つの画像に視覚的な差がないことが分かるであろう。

3.2 ウェーブレット変換の仕組み

3.1 節で述べたように、ウェーブレット変換で変換された画像は周波数成分ごとに分割される。またその低周波数領域にはさらに同様の変換を行うことができ、それを繰り返すことで変換後の画像は周波数の階層性をもつ。ウェーブレット変換を繰り返す回数によって、その分割の程度は異なる。ウェーブレット変換を一回行うものをレベル 1 のウェーブレット変換、ウェーブレット変換を二回行うものをレベル 2 のウェーブレット変換とよぶ。

図 3.3 にレベル 1 のウェーブレット変換を行った結果を示す。また図 3.4 に、レベル 1 の低周波数領域である LL_1 に再びウェーブレット変換を施すレベル 2 のウェーブレット変換を行った様子をそれぞれ示す。

LL_1	HL_1
LH_1	HH_1

図 3.3: 変換後の画像（レベル 1）

LL_2	HL_2	HL_1
LH_2	HH_2	
LH_1		HH_1

図 3.4: 変換後の画像（レベル 2）

ここで、 L は低周波数成分、 H は高周波数成分を意味している。また HL は垂直方向の周波数成分、 LH は水平方向の周波数成分、 HH は対角方向の周波数成分、 LL は低周波数成分を表しており、添字が小さいほど高周波数成分となる。

図 3.3 の LL_1 をウェーブレット変換によって分解したものが図 3.4 の LL_2 、 HL_2 、 LH_2 、 HH_2 であり、この操作は LL 部が 1×1 の大きさになるまで繰り返すことができる。

ウェーブレット変換に用いる基底にはさまざまな種類があるが、本研究ではハール基底による画像の直交ウェーブレット変換（以下、ハールウェーブレット変換とよぶ）を用いる。図 3.5 に 4×4 画素からなる原画像にハールウェーブレット変換を適用して得られる画像のウェーブレット変換係数を示す。ここで、 $I_1 \sim I_{16}$ は原画像の画素値である。

I_1	I_2	I_5	I_6
I_3	I_4	I_7	I_8
I_9	I_{10}	I_{13}	I_{14}
I_{11}	I_{12}	I_{15}	I_{16}

(a) 原画像

LL_1		HL_1	
$I_1 + I_2$ $+ I_3 + I_4$	$I_5 + I_6$ $+ I_7 + I_8$	$I_1 - I_2$ $+ I_3 - I_4$	$I_5 - I_6$ $+ I_7 - I_8$
$I_9 + I_{10}$ $+ I_{11} + I_{12}$	$I_{13} + I_{14}$ $+ I_{15} + I_{16}$	$I_9 - I_{10}$ $+ I_{11} - I_{12}$	$I_{13} - I_{14}$ $+ I_{15} - I_{16}$
$I_1 + I_2$ $- I_3 - I_4$	$I_5 + I_6$ $- I_7 - I_8$	$I_1 - I_2$ $- I_3 + I_4$	$I_5 - I_6$ $- I_7 + I_8$
$I_9 + I_{10}$ $- I_{11} - I_{12}$	$I_{13} + I_{14}$ $- I_{15} - I_{16}$	$I_9 - I_{10}$ $- I_{11} + I_{12}$	$I_{13} - I_{14}$ $- I_{15} + I_{16}$
LH_1		HH_1	

$\frac{1}{4} \times$

(b) ウェーブレット変換係数

図 3.5: ハールウェーブレット変換の基本演算

さらに図 3.6 に、 4×4 で構成される画像のウェーブレット変換係数に対するハールウェーブレット逆変換を示す。ここで、 $w_1 \sim w_{16}$ はウェーブレット変換係数である。また図 3.5 と図 3.6 の変換後、逆変換前の画像は同じものなので、例えば w_1 は式 (3.1) のようである。

$$w_1 = \frac{1}{4} (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) \quad (3.1)$$

LL_1		HL_1	
w_1	w_2	w_5	w_6
w_3	w_4	w_7	w_8
w_9	w_{10}	w_{13}	w_{14}
w_{11}	w_{12}	w_{15}	w_{16}
HL_1		HH_1	

(a) ウェーブレット変換係数

$w_1 + w_5$ $+ w_9 + w_{13}$	$w_2 + w_6$ $+ w_{10} + w_{14}$	$w_1 - w_5$ $+ w_9 - w_{13}$	$w_2 - w_6$ $+ w_{10} - w_{14}$
$w_3 + w_7$ $+ w_{11} + w_{15}$	$w_4 + w_8$ $+ w_{12} + w_{16}$	$w_3 - w_7$ $+ w_{11} - w_{15}$	$w_4 - w_8$ $+ w_{12} - w_{16}$
$w_1 + w_5$ $- w_9 - w_{13}$	$w_2 + w_6$ $- w_{10} - w_{14}$	$w_1 - w_5$ $- w_9 + w_{13}$	$w_2 - w_6$ $- w_{10} + w_{14}$
$w_3 + w_7$ $- w_{11} - w_{15}$	$w_4 + w_8$ $- w_{12} - w_{16}$	$w_3 - w_7$ $- w_{11} + w_{15}$	$w_4 - w_8$ $- w_{12} + w_{16}$

(b) 復元画像

図 3.6: ハールウェーブレット逆変換の基本演算

図 3.5 の原画像の画素値と図 3.6 の復元された画像の画素値は一致する。原画像の I_1 にあたる画素を例にとって、以下にこれを示す。

$$\begin{aligned}
I'_1 &= w_1 + w_5 + w_9 + w_{13} \\
&= \frac{1}{4} \{ (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) + (I_1 - I_2 + I_3 - I_4) + (I_1 + I_2 - I_3 - I_4) + (I_1 - I_2 - I_3 + I_4) \} \\
&= \frac{1}{4} \times 4I_1 \\
&= I_1
\end{aligned} \quad (3.2)$$

ここで、 I'_1 は復元された画素値を表す。このことからハールウェーブレット変換は可逆な変換法であるといえる。

第4章 提案手法

本章ではウェーブレット変換の階層性を考慮した電子透かしの埋め込み方法について述べる。

4.1 概要

第3章で述べたように、ウェーブレット変換された画像は周波数成分ごとに分割され、階層性をもつ。ステゴ画像に何らかの攻撃がなされた場合、高周波数領域に比べ低周波数領域の情報は攻撃の影響を受けにくいと考えられる。したがって透かし画像の画素値の上位ビットの情報を低周波数領域に、下位ビットの情報を高周波数領域に埋め込むことで、攻撃に対して頑健な埋め込みを実現できる可能性がある。この考えをもとに、 HH 成分を除く各層に1ビットずつの透かし情報を埋め込むことを検討する。この手法では N レベルのウェーブレット変換を行うと 2^N 値の透かし画像を埋め込むことができる。

また透かし情報を埋め込むにあたり、同じ情報を三か所に埋め込む工夫をした。これにより、抽出した透かし情報で多数決を行い、電子透かしの信頼性向上を図った。

4.2節では電子透かしの埋め込み方法、4.3節では電子透かしの抽出方法について述べる。

4.2 電子透かしの埋め込み方法

以下に 2^N 値電子透かしの埋め込み手順を示す。

- (1) 原画像にレベル N のハールウェーブレット変換を施す。
- (2) 2^N 値の透かし画像は N ビットで表されるため、上位1番目のビットを MSB、 N 番目のビットを LSB とする。 HL_N 、 LH_N 、 HH_N に透かし画像の MSB を埋め込む。ここで透かし画像の MSB が1であればウェーブレット変換係数に1を加算し、MSB が0であればウェーブレット変換係数に0を加算する。透かし画像を抽出する際により確実な抽出を行うために、埋め込みは三か所に施す。抽出ではその三か所で多

数決を行い、透かし情報を決定する。また埋め込み位置は、秘匿性を高めること、画質の劣化を小さくすることを考慮し、ランダムに分散して配置する。

同様にして HL_{N-1} 、 LH_{N-1} 、 HH_{N-1} に透かし画像の2番目のビットを埋め込む。この手順を N 番目のビットまで繰り返し行う。

(3) 透かし情報を埋め込んだ画像にレベル N のハールウェーブレット逆変換を施す。

2^N 値電子透かしの埋め込みを図 4.1 に示す。また埋め込みの手順について、8 値電子透かしを例にとり、実際に埋め込む位置を図 4.2 に示す。ここで、塗りつぶした部分を埋め込み位置とする。

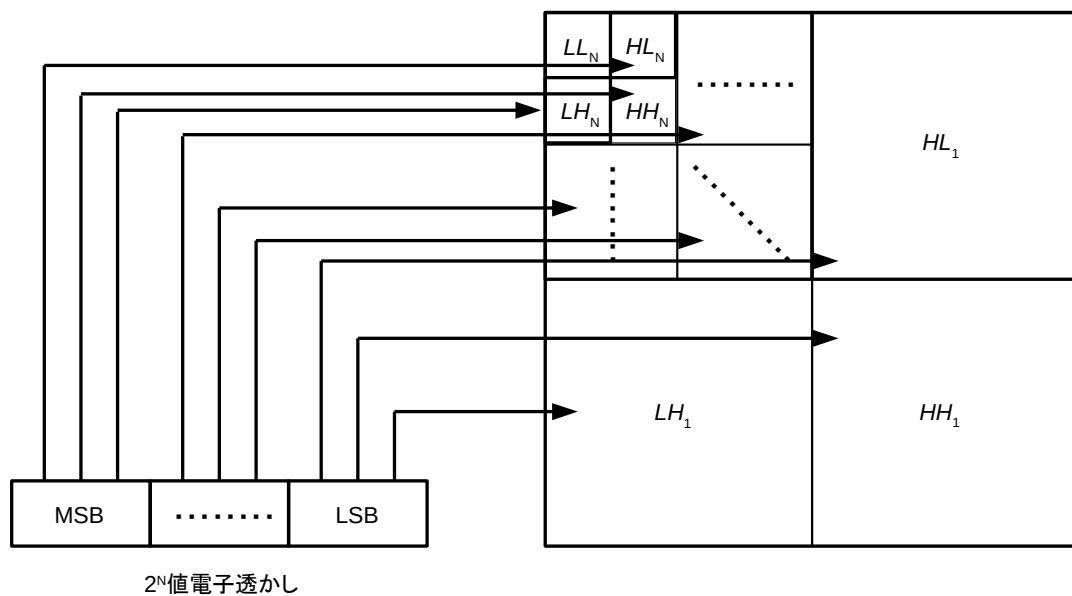


図 4.1: 2^N 値電子透かしの埋め込み

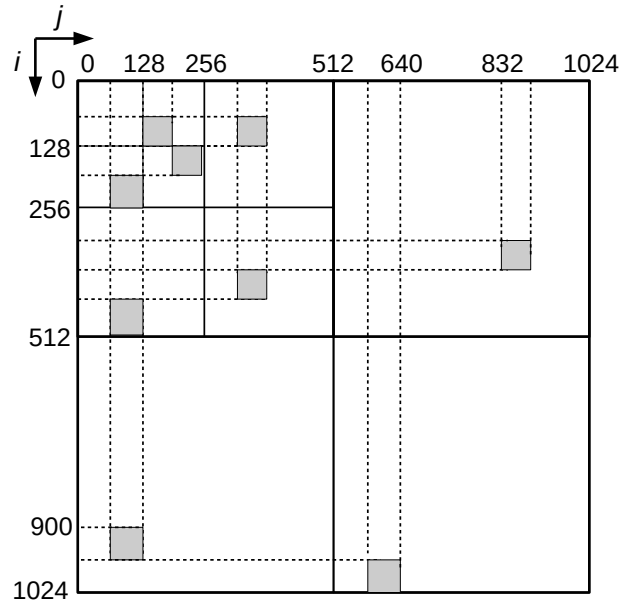


図 4.2: 8 値電子透かしの埋め込み位置

4.3 電子透かしの抽出

以下に 2^N 値電子透かしの抽出手順を示す。

- (1) ステゴ画像にレベル N のハールウェーブレット変換を施す。
 - (2) ステゴ画像のウェーブレット変換係数から、原画像のウェーブレット変換係数を引き算する。
 - (3) 透かし情報の埋め込み場所は鍵として分かっている。まず MSB を抽出するために、 HL_N 、 LH_N 、 HH_N において、三か所に埋め込んだ透かし情報の絶対値で多数決を行う。具体的には、二か所以上の絶対値が 0.5 以上ならば MSB を 1 とし、それ以外ならば 0 とする。その結果によって、対応する位置の透かし画像の MSB を決める。
- 同様にして 2 番目のビットを抽出するために、 HL_{N-1} 、 LH_{N-1} 、 HH_{N-1} において透かし情報の抽出を行い、その結果によって対応する位置の透かし画像の 2 番目のビットを決める。この手順を N 番目のビットまで繰り返し行う。

第5章 計算機シミュレーション

本章では提案手法に対して、性能評価を計算機シミュレーションにより行う。5.1節で評価指標について述べる。5.2節では埋め込み、抽出に対する性能評価、5.3節では攻撃耐性を評価する。

5.1 評価指標

本研究では、画質の劣化の程度を測る指標としてピーク信号対雑音比（Peak-to-Peak Signal to Noise Ratio:PSNR）を用いる。PSNRとは信号がとりうる最大の信号電力と劣化をもたらす雑音電力の比率を表す。通常PSNRは値が大きい方が高画質である。また定義より、同じ画像のPSNRは無限大となる。また一般的にPSNRが40[dB]以上であれば、視覚的な劣化がみられないといわれる。 $m \times n$ 画素の画像 I 、 K におけるPSNRの定義を式(5.1)に示す。ここで、 $I(i, j)$ を I の i 行、 j 列番目の画素、 $K(i, j)$ を I になんらかの操作を施した画像 K の i 行、 j 列番目の画素とする。

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \frac{(\max I)^2}{\text{MSE}} \quad [\text{dB}] \quad (5.1)$$

$$\text{MSE} = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2 \quad (5.2)$$

5.2 電子透かしを埋め込んだ画像の品質

提案手法を用いて、ウェーブレット変換の階層性を考慮した電子透かしの埋め込みを行った。

まず、4値電子透かしについてシミュレーションを行った。図5.1、5.2にそれぞれ原画像（LENA、 $1,024 \times 1,024$ 画素）、ステゴ画像を示す。また図5.3に4値の透かし画像（baby、 64×64 画素）を示す。

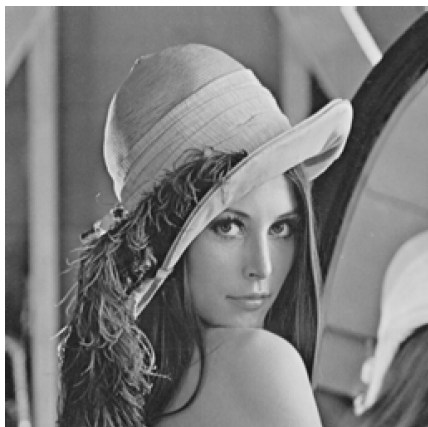


図 5.1: 原画像 (LENNA)



図 5.2: ステゴ画像

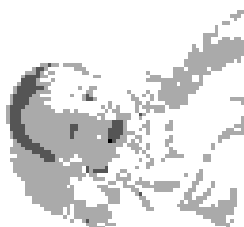


図 5.3: 透かし画像 (baby)

原画像とステゴ画像の PSNR は 56.57[dB] であり、電子透かしが埋め込まれていることによる視覚的劣化は認められない。

次に、8 値電子透かしについてシミュレーションを行った。図 5.4、5.5 にそれぞれ原画像、ステゴ画像を示す。また図 5.6 に 8 値の透かし画像 (baby、 64×64 画素) を示す。

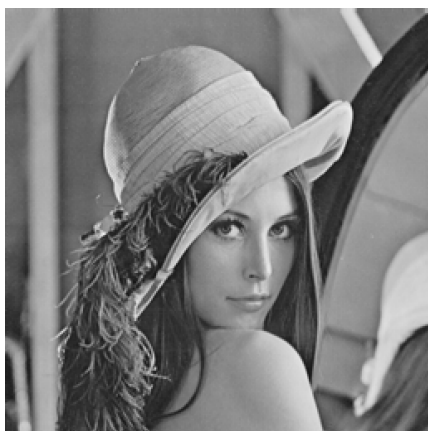


図 5.4: 原画像 (LENNA)



図 5.5: ステゴ画像

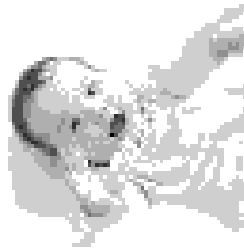


図 5.6: 透かし画像 (baby)

原画像とステゴ画像の PSNR は 48.49[dB] であった。4 値電子透かしと比較して値は少し下がったものの、こちらも視覚的に差がみられず、電子透かしが埋め込まれていることによる劣化は認められない。

5.3 攻撃耐性の評価

ステゴ画像に対して明度変更、シャープネス処理、JPEG 圧縮の三つの攻撃を行った。この節では、ステゴ画像の攻撃耐性の評価について述べる。ただし画像を大きく劣化させる攻撃は、攻撃者にとってもメリットがなく現実性が低いため、シミュレーションの対象外とした。

5.3.1 明度変更

ステゴ画像の明度を変更したのちに、透かし情報の抽出を行った。例として、LENNA の明度を変更した画像を図 5.7 に、抽出した画像を図 5.8 に示す。



図 5.7: 明度変更を施した画像 (明度レベル 1.5)



図 5.8: 明度変更後の抽出画像

表 5.1 に、透かし画像と抽出画像の PSNR を示す。

表 5.1: 抽出画像の PSNR（明度変更）[dB]

明度レベル	4 値	8 値
0.5	Inf	13.39
0.6	Inf	14.90
0.7	Inf	16.99
0.8	Inf	20.29
0.9	Inf	23.83
1	Inf	Inf
1.1	Inf	25.25
1.2	Inf	21.62
1.3	Inf	18.92
1.4	28.51	18.19
1.5	20.67	17.36
1.6	18.37	16.72
1.7	16.20	15.33
1.8	14.18	14.23
1.9	11.55	13.09
2	11.26	12.32

ここで Inf は、PSNR の値が無限大であり、誤りなく透かし画像を抽出できていることを表す。表 5.1 より、8 値電子透かしよりも 4 値電子透かしの方が、PSNR を高く保ったまま画像を抽出できた。この結果から、4 値電子透かしの方が明度変更に対して頑健であるといえる。

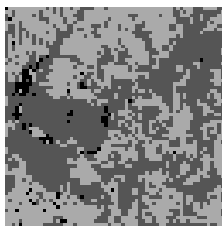
抽出画像の値は攻撃されたウェーブレット変換係数の値によって 4 値、8 値にふり分けられる。多少の攻撃に対してはふり分け先が少ない 4 値の方がもとの画素値にふり分けられる可能性が高いことが、このような結果になった理由であると考えられる。また明度レベル 1.8 以降の攻撃に関しては 8 値の方が PSNR が高いことからそれがいえる。

5.3.2 シャープネス処理

ステゴ画像にシャープネス処理をしたのちに、透かし情報の抽出を行った。例として、LENNA のシャープネスを変更した画像を図 5.9 に、抽出した画像を図 5.10 に示す。



図 5.9: シャープネス処理を施した画像（シャープネスレベル 1.5）



(a) 4 値



(b) 8 値

図 5.10: シャープネス処理後の抽出画像

表 5.2 に、透かし画像と抽出画像の PSNR を示す。

表 5.2: 抽出画像の PSNR (シャープネス処理) [dB]

シャープネスレベル	4 値	8 値
0.5	13.70	18.94
0.6	16.25	20.92
0.7	19.50	24.00
0.8	23.49	27.38
0.9	27.74	32.56
1	Inf	Inf
1.1	24.17	33.69
1.2	24.17	28.11
1.3	24.17	25.29
1.4	15.92	23.10
1.5	14.93	21.61
2	11.39	18.25
3	11.39	15.60
4	11.39	15.05
5	11.39	14.71

表 5.2 より、どのシャープネスレベルにおいても 8 値電子透かしの方が PSNR を高く保ったまま透かし情報を抽出できる。

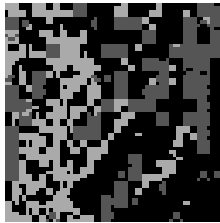
この結果から、8 値電子透かしの方がシャープネス処理に対して頑健であるといえる。このような結果となった理由としては、8 値電子透かしにおいて 4 値電子透かしよりも深い層まで透かし情報を埋め込んだため、攻撃耐性が高まったことが考えられる。

5.3.3 JPEG 圧縮

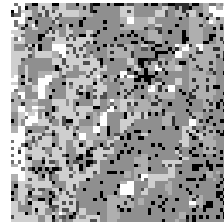
ステゴ画像に JPEG 圧縮をしたのちに、透かし情報の抽出を行った。圧縮の際に、クオリティを 5～95 まで調整することができ、数字が大きいほど画像のクオリティを保ったまま圧縮ができる。例として、LENNA をクオリティ 10 で圧縮した画像を図 5.11 に、抽出した画像を図 5.12 に示す。



図 5.11: JPEG 圧縮を施した画像



(a) 4 値



(b) 8 値

図 5.12: JPEG 圧縮後の抽出画像

表 5.3 に、透かし画像と抽出画像の PSNR のグラフを示す。

表 5.3: 抽出画像の PSNR (JPEG 圧縮) [dB]

圧縮レベル	4 値	8 値
10	6.61	7.52
20	8.31	7.95
30	8.50	7.68
40	8.97	8.85
50	8.97	10.29
60	9.49	11.23
70	9.49	13.18
80	10.70	15.32
90	13.29	18.68
95	16.23	22.15

表 5.3 より、4 値電子透かしよりも 8 値電子透かしの方が、PSNR を高く保ったまま画像を抽出できる範囲が広がった。しかしながら、図 5.11、5.12 からわかる通り圧縮され

た画像に大きな視覚的差異はみられないものの、抽出画像は透かし情報が読み取れないほどの質であり、JPEG 圧縮においては透かし情報の抽出ができない。これは JPEG 圧縮に含まれる量子化による影響で、隣り合う画素間の連続性が損なわれてしまうことが原因であると考えられる。

第6章 結論

本研究ではウェーブレット変換を利用した電子透かしの新たな手法を提案した。その提案手法として、ウェーブレット変換の階層性を考慮し、各層に透かし情報を1ビットずつ埋め込む電子透かしの手法を提案し、計算機シミュレーションを行った。

計算機シミュレーションでは、提案手法を用いてステゴ画像を作成し、評価を行った。埋め込みによる画像の視覚的劣化がみられなく、いくつかの攻撃に対して耐性をもつ電子透かしを実現できた。一方で JPEG 圧縮のような量子化を含む圧縮に対しては、透かし情報を抽出することができなかった。

今後はさらに埋め込む階層を増やしたシミュレーションを行い、階層と耐性の関係をより明確にするとともに、JPEG 圧縮をはじめさまざまな攻撃への耐性をもたせることを目指す。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂いた本校電気情報工学科中井優一教授に感謝致します。

また本研究は、本校で5年間学んだ知識や考え方を基にしていることは言うまでもありません。工学の知識や考え方を教えてくださった電気情報工学科の教員の皆様はもちろんのこと、一般科の教員、さらには職員の皆様に心より感謝の意を表します。

参 考 文 献

- [1] 松井甲子雄「電子透かしの基礎」森北出版株式会社（2000）
- [2] すしばく, 写真素材サイト「PAKUTASO」,<https://www.pakutaso.com/>, 参照
Nov,25,2019