

2006 年度卒業論文

電子透かしにおける
マスキング効果の主観評価

研究指導 菊池浩明 教授

東海大学 電子情報学部 情報メディア学科

3ADM1119 磯崎邦隆

目次

第1章 はじめに

第2章 電子透かし

- 2.1 電子透かしとは
- 2.2 デジタル画像の電子透かし

第3章 ウェーブレット変換

- 3.1 ウェーブレット変換とは
- 3.2 周波数成分の特徴
 - 3.2.1 高周波成分
 - 3.2.2 低周波成分

第4章 マスキング効果

- 4.1 マスキング効果とは
- 4.2 マスキング効果の利用

第5章 透かし埋め込みツールの実装

- 5.1 概要
- 5.2 構成
- 5.3 使用方法

第6章

- 6.1 実験方法
 - 6.1.1 客観評価方法
 - 6.1.2 主観評価方法
- 6.2 実験結果
 - 6.2.1 客観評価
 - 6.2.2 主観評価

第7章 評価

第8章 結論

参考文献

謝辭

第1章 はじめに

デジタル画像の電子透かしによる著作権保護において、画素値の変化の大きい部分、いわゆる高周波成分に透かしを埋め込むことで、埋め込みによる画像の劣化を視覚的に緩和させる方法がある。しかし、高周波成分に透かしを埋め込んだ場合、拡大、縮小、JPEG圧縮といった操作によって透かしが損失してしまう問題がある。

また、画素値の変化の小さい部分、いわゆる低周波成分に透かしを埋め込むと、JPEG圧縮等の攻撃に強い耐性を持たせることができるが、画像の劣化が目立つという問題がある。これに対し伊藤ら^[1]は、視覚特性であるマスキング効果を用いて電子透かしを埋め込むことで、画像の劣化を緩和しつつ、低周波成分へ透かしを埋め込む手法を提案している。

そこで、本研究ではマスキング効果を検証するため、試験システムを実装し、主観的、客観的に評価を与える。

第2章 電子透かし

2.1 電子透かしとは

近年、インターネット上で画像や音楽といった様々なデジタルコンテンツが公開されている。このようなデジタル情報は、容易に複製することが可能であるため、不正配布や著作権侵害行為が問題となっている。

この問題を解決するための方法の一つとして、電子透かしがある。電子透かしとは、デジタルコンテンツに対して、著作者情報を透かしとして埋め込む技術である。透かし入りコンテンツが不正コピーされた場合に、透かしを抽出することで著作権の主張が可能となる。

しかし、透かしを埋め込むことによるコンテンツの劣化、また、透かし入りコンテンツへの攻撃による透かしの損失といった問題がある。

2.2 デジタル画像の電子透かし

デジタル画像に透かしを埋め込む方法として、画像の周波数成分への埋め込みがある。

従来の周波数成分に対する電子透かしでは、画像の高周波成分に透かしを埋め込むことが一般的である。これは、透かしの埋め込みによる画像の劣化が、低周波成分に比べ、高周波成分では目立ちにくいという特性を利用するためである。しかし、高周波成分に埋め込んだ透かしは、透かし画像の拡大、縮小、JPEG 圧縮といった操作によって損失してしまうという問題がある。

これに対し伊藤らは、ウェーブレット変換によって得た、画像の低周波成分へ透かしを埋め込むことにより、透かし画像への拡大、縮小、JPEG 圧縮による攻撃に耐性を持たせ、埋め込みによる画像の劣化を、マスキング効果により視覚的に緩和させる方法を提案している。

第3章 ウェーブレット変換

3.1 ウェーブレット変換とは

ウェーブレット変換とは、周波数解析手法の1つであり、画像に対して施した場合、元画像の画素値を f 、全画素数を N とすると、下式(1)から隣り合う画素値との平均値 W_L 、式(2)から隣り合う画素値との差分 W_H 得る。この処理を図1に示すように横方向、縦方向に行うことで低周波成分 LL、縦方向高周波成分 LH、横方向高周波成分 HL、斜め方向高周波成分 HH の4つの周波数成分を得ることができる。

$$w_L(t) = \frac{1}{2} \{f(2t) + f(2t+1)\} \quad \left(t = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1 \right) \quad (1)$$

$$w_H(t) = \frac{1}{2} \{f(2t) - f(2t+1)\} \quad \left(t = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1 \right) \quad (2)$$

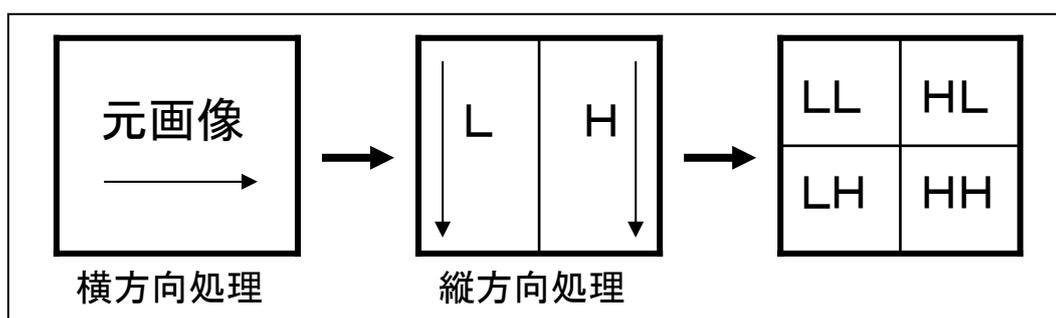


図1 ウェーブレット変換の流れ

3.2 周波数成分の特徴

3.2.1 高周波成分

高周波成分とは、画像内で画素値の変化の大きい部分(エッジ)である。高周波成分へ透かしを埋め込んだ場合、埋め込みによる画像の劣化は目立ちにくい。しかし、透かし画像への拡大、縮小、JPEG 圧縮等の攻撃によって、透かしが損失してしまうという欠点がある。

3.2.2 低周波成分

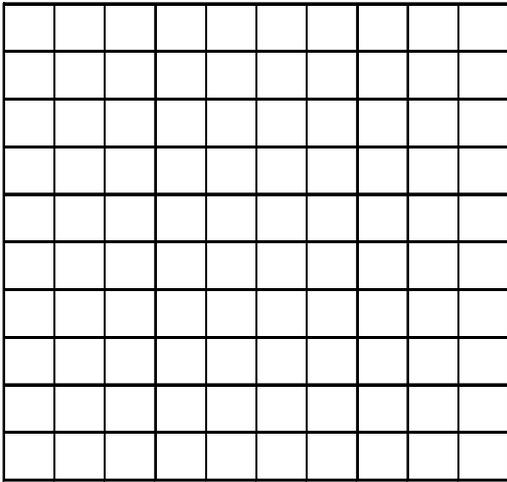
低周波成分とは、画像内で画素値の変化の小さい部分である。低周波成分へ透かしを埋め込んだ場合、透かし画像への拡大、縮小、JPEG 圧縮による攻撃に耐性を持たせることができる。しかし、透かしの埋め込みによる画像の劣化が目立つという欠点がある。

第4章 マスキング効果

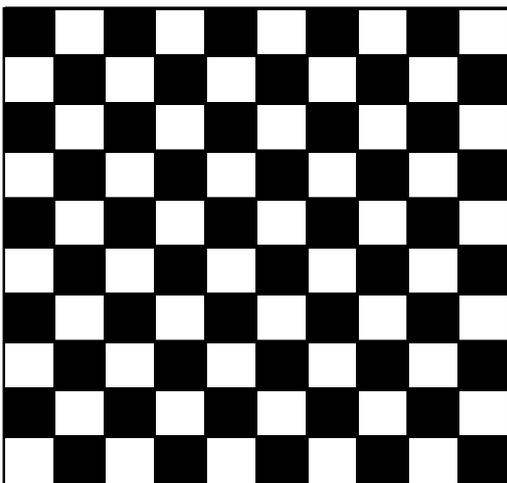
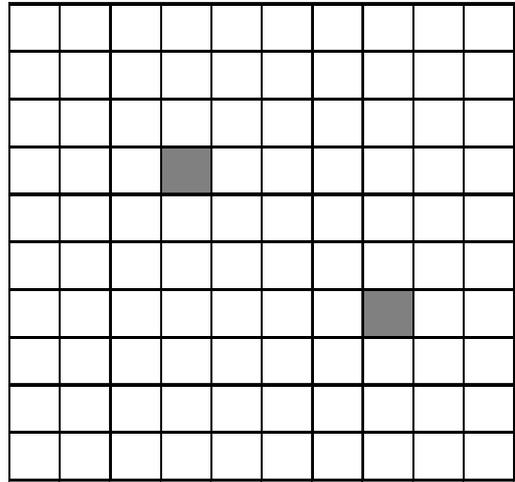
4.1 マスキング効果とは

マスキング効果とは、雑音が強の場合、目的の音が雑音に紛れてしまい、聞こえにくくなるという聴覚特性である。例として、電車等の雑音の中で会話した場合、図書館のような静かな場所と違い、周囲の雑音に会話が紛れ、聞こえにくくなってしまふ。

この特性は視覚でも同様であり、図2の(x)に示すような、画素値同士の差が小さい画像に変化を加えた場合に比べ、(y)に示すような、画素値同士の差が大きい画像に変化を加えた場合の方が、画素値の変化が周囲との差に紛れ、画像の変化が目立ちにくくなる。(x)ではマスキング効果は小さくなり、(y)ではマスキング効果は大きくなる。



(x) マスキング効果 小



(y) マスキング効果 大

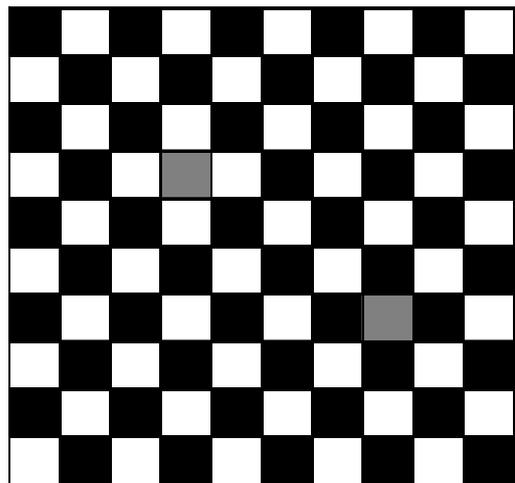


図2 マスキング効果例

4.2 マスキング効果の利用

伊藤らは 3.2.2 で述べた欠点を解決する手法として、マスキング効果を利用した以下の手法を用いている。主な流れとして、

- (1) 画像のブロック化
- (2) ブロックのウェーブレット変換
- (3) マスキング効果の高いブロックの選出
- (4) 選出したブロックの LL2 への透かしの埋め込み
- (5) 画像の再構成

(1)では、ウェーブレット変換の前処理として、図 3 に示すように画像をブロックに分割する。ブロックのサイズは 4×4 ピクセルとする。

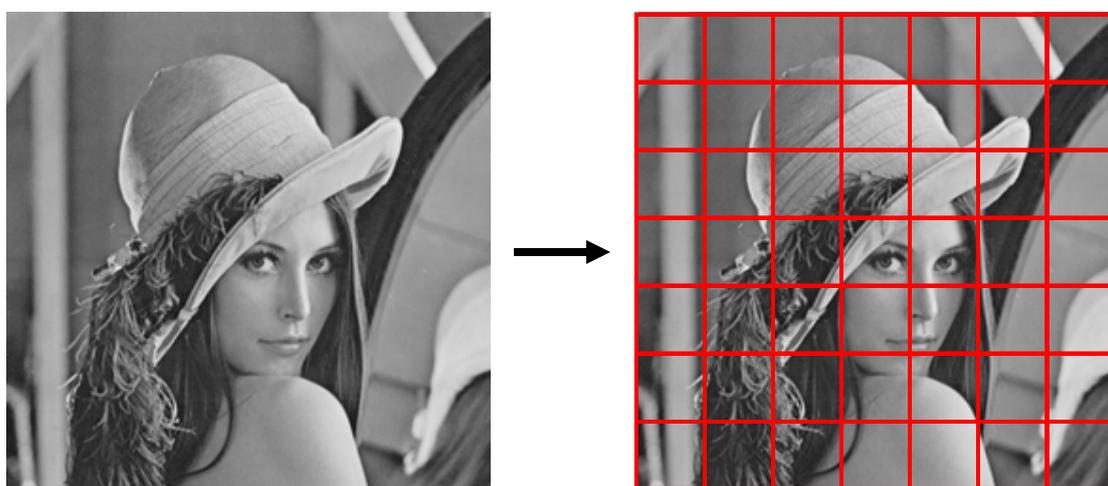


図 3 画像の分割

(2)では、各ブロックをウェーブレット変換し、低周波成分 LL を求める。

16 画素のブロックから求めた 4 つの低周波成分 LL に対し、もう一度ウェーブレット変換することで、LL2、LH2、HL2、HH2 の周波数成分をひとつずつ求める。このとき求めた LL2 は、ブロック内の画素全ての低周波成分である。

(3)では、各ブロックの LL2 である $w(u,v)$ と、 $w(u+1,v)$ 、 $w(u-1,v)$ 、 $w(u,v+1)$ 、 $w(u,v-1)$ との差分をそれぞれ求め、各差分の合計の絶対値が予め設定した閾値以上の値をとった場合、そのブロックはマスキング効果が高いと判断する。

このとき、閾値を大きく取ることによって、より画像の劣化を緩和することが可能だが、埋め込む透かしの絶対量は減少する。

(4)では、(3)で選出したブロックの $w(u,v)$ を整数にし、二進表現したビット列 $w(s8,s7,s6,s5,s4,s3,s2,s1)$ の4ビット目、 $s4$ に透かし情報 $\{0,1\}$ を書き込む。

このとき、4ビットよりも下位のビットに対して書き込んだ場合、埋め込みによる画像の劣化は小さくなるが、攻撃に対する耐性が弱くなる。また、上位のビットに埋め込んだ場合、攻撃に対する耐性が強くなるが、埋め込みによる画像の劣化は大きくなる。

(5)では、各ブロックを逆ウェーブレット変換することで透かし入り画像を得る。

第5章 透かし埋め込みツールの実装

5.1 概要

本研究では、開発言語に Java SDK v. 1.5 を用いた。

本ツールは画像読み込み、作成ツール、ウェーブレット変換ツール、埋め込みツール、再構成ツールの 4 つのツールからなり、様々な形式の画像に対して透かしの埋め込みができる。

画像読み込み、作成ツールは、BufferedImage 変数を作成し、ImageIO.read() を用いて元画像を読み込む。読み込んだ画像からは getRGB() で画素値、getWidth() で画像の横のサイズ、getHeight() で縦のサイズを得る。また、他のツールによる処理後の画素値を、setRGB() によって元画像の画素値に書き込み、ImageIO.write() によって透かし入り画像を作成する。

ウェーブレット変換ツールは、元画像の画素値を 4×4 ピクセルのブロックに分割後、各ブロックを 2 段階ウェーブレット変換し、低周波成分 LL2 を得る。

埋め込みツールは、各ブロックの LL2 から、予め設定した閾値を用いて、マスキング効果の高いブロックを選出し、LL2 に対して透かしの埋め込みものと、ランダムに選出したブロックの LL2 に対して透かしを埋め込みものの 2 種類がある。このとき、LL2 を 2 進表記したビット配列内の、予め設定したビットを透かしに書き換えることで透かしの埋め込み。

再構成ツールは、周波数成分に変換されていた各ブロックから、逆ウェーブレット変換によって画素値を得る。

5.2 構成

本ツールは以下で構成されている。

- | | |
|-----------------|------------------------------|
| • Kakikomi.java | 画像から画素値、画素値から画像を得るプログラム |
| • Wave2.java | 画像をブロック化し、ウェーブレット変換するプログラム |
| • Wave3.java | 各ブロックの LL をウェーブレット変換するプログラム |
| • Ume.java | マスキング効果の高いブロックに透かしの埋め込みプログラム |
| • Umer.java | ランダムにブロックを選択し、透かしの埋め込みプログラム |
| • Fukugen.java | 周波数成分を画素値に変換するプログラム |

5.3 使用方法

以下に示すように、元画像名、透かし画像(マスクング)名、透かし画像拡張子、閾値、透かしに書き換えるビット(下位何番目か)、透かし画像(ランダム)名を入力し、Kakikomi.java を実行する

```
java Kakikomi lena.bmp mask.bmp bmp 40 4 random.bmp
```

第6章 実験

6.1 実験方法

マスクング効果の有効性を検証するため、透かし入り画像を用意し、客観的、主観的に評価した。

透かしの埋め込み方式として、4.1で述べたマスクング効果を利用して透かしの埋め込んだ画像(a)と、各ブロックのマスクング効果の強弱を無視し、ランダムなブロックに透かしの埋め込んだ画像(b)を図4に示す。本実験では(a)(b)の2種類の画像を18組用意した。埋め込んだ透かしの量は、(a)、(b)共に同量とした。



(a) マスクング



(b) ランダム

図4 画像例

6.1.1 客観評価方法

人の見方に依存せず、透かし入り画像が元画像に比べ、どれだけ劣化したかを評価する方法として PSNR を用いた。処理画像に含まれる劣化が大きいほど値は小さくなる。以下に式を示す。

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{n \times m \times 255^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left\{ (org(i, j) - emb(i, j))^2 \right\}}$$

n = 画像の縦の画素数

m = 画像の横の画素数

$org(i, j)$ = 元画像の位置 (i, j) の画素値

$emb(i, j)$ = 処理画像の位置 (i, j) の画素値

6.1.2 主観評価方法

マスクング効果によって視覚的に劣化が緩和されるかを評価するため、10 名の被験者に対し、図 5 に示すように (a) と (b) を見せ、どちらの画像に劣化を感じるかを選択してもらい、ランダム画像を選択するかを検証した。



図 5 主観評価画面

6.2 実験結果

6.2.1 客観評価

(a)、(b)の両画像に対して PSNR を求めた。結果を表 1 に示す。

表 1 PSNR による客観評価

埋め込み量		2014	1227	891	679	538	433	345	278	219
PSNR	マスクング	39.3	41.5	43	44	45	46	47	48	49
	ランダム	39.3	41.4	43	44	45	46	47	48	49
埋め込み量		184	148	116	91	80	63	53	46	40
PSNR	マスクング	49.8	50.9	52	53	54	55	55	56	57
	ランダム	49.5	50.4	52	53	53	54	55	55	56

6.2.2 主観評価

18 組の画像に対して、被験者がより劣化していると選択した画像が、(b)と一致した確率を正解率とし、図 6 に示す。期待値は 81%であった。

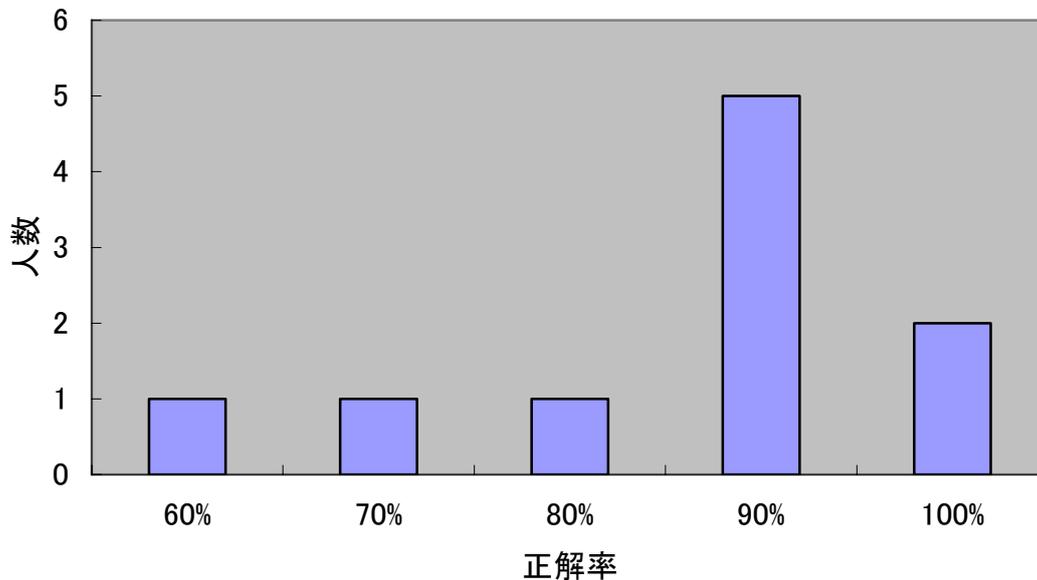


図 6 主観評価のヒストグラム

第7章 評価

客観評価では、6章の表1に示したようにマスキング、ランダム画像共にPSNRに大きな差異は見られなかった。これは、同じ量の透かしを埋め込んだため、画像の劣化も両画像共に差がなかったと考えられる。

主観評価では、18組の画像に対し、被験者が劣化していると感じた画像と、ランダム画像が一致した確率が、90%以上のケースが半数以上見られた。これは、劣化自体が同じ量であっても、マスキング効果によって、視覚的に劣化が目立ちにくくなっているためと考えられる。

第8章 結論

画像の拡大、縮小、JPEG 圧縮に耐性のある低周波成分に対し、マスキング効果を利用して透かしを埋め込んだ。

また、マスキング効果の有効性を検証するため、PSNR を用いた客観評価、10 人の被験者による主観評価を行った。

検証の結果、マスキング効果を用いることで、低周波成分に対して透かしを埋め込むことによる、視覚的な画像の劣化を抑えることに有効であることが示された。

今後の課題として、従来の方法では、透かし画像の画質を主観的に評価することで、手動決定していた、埋め込み量の自動決定が考えられる。

参考文献

[1]伊藤，坪川，マスキング効果を利用した JPEG 圧縮に耐性のある電子透かし，電子情報通信学会論文誌，D-II，Vol.J85-D-II，No.11，pp.1664-1671，2002年11月

謝辞

本研究を完遂するにあたり，多大なるご指導を受け賜りました東海大学電子情報学部情報メディア学科菊池浩明教授に心より感謝申し上げます。

また，多大なるご指導を賜り，本研究を導いて頂きました永井慧氏に深くお礼申し上げます。

そして，菊池研究室の同期の皆さんに感謝の意を述べると共に，謝辞とさせていただきます。