

平成 25 年度卒業論文

論文題目

## QRコードを用いた電子透かしの耐久性の検証

神奈川大学 工学部 電子情報フロンティア学科  
学籍番号 201002707  
匂坂 直樹

指導担当者 木下宏揚 教授

# 目次

<b>第1章 序論</b>	<b>3</b>
1.1 背景	3
1.2 問題点	3
1.3 関連研究	3
<b>第2章 基礎知識</b>	<b>4</b>
2.1 画像処理技術	4
2.1.1 2値化	4
2.1.2 グレースケール	4
2.2 符号化技術	5
2.2.1 フーリエ変換	5
2.2.2 離散フーリエ変換	5
2.2.3 離散コサイン変換	6
2.2.4 ウェーブレット変換	6
2.3 マスキング効果	6
2.4 QRコード	7
2.5 電子透かし	8
2.6 ステガノグラフィー	9
2.7 冗長性	9
2.8 コーナー検出	10
2.9 PSNR(ピーク信号対雑音比)	10
2.10 Scilab	10
<b>第3章 提案手法</b>	<b>11</b>
3.1 QRコードの符号化	11
3.2 埋め込み手順	11
<b>第4章 質疑応答</b>	<b>12</b>

## 目 次

2.1	画像の2値化 . . . . .	4
2.2	マスクング効果小 . . . . .	7
2.3	マスクング効果大 . . . . .	7
2.4	QR コード . . . . .	8
2.5	Scilab コンソール画面 . . . . .	10
3.1	QR コードの符号化 . . . . .	11

# 第1章 序論

## 1.1 背景

インターネットの普及に伴い、画像や音楽などのデジタルコンテンツがなくてはならないものになった。デジタルコンテンツは、複製・保存・加工が非常に容易に行え、かつ高品質で劣化が少ないという長所がある。そのため、音楽の違法ダウンロードのように不特定多数の人が簡単に入手することができてしまう。これによって、デジタルコンテンツが著作権者の思いに反した利用をされる事が起こり、著作権者が正当な利益を得ることができなくなることで新たな創作の妨げにもつながることも考えられる。このような著作権保護という問題を解決するための技術として提案されたのが、「電子透かし」である。電子透かしとは、紙幣のように本物であるという証拠を埋め込む技術である。しかし、電子透かしの場合、デジタルコンテンツの品質を損なわないように人が感じることでできないように透かしの埋め込む。画像であれば見れないように、音楽であれば聞こえないようにである。埋め込む情報には、ロゴ・著作者名など著作権関連のものが多い。画像における電子透かし技術はデジタルコンテンツの保護だけではなく、透かし情報を埋め込んだデジタルコンテンツをハードコピーしても消えることがない電子透かしも提案されている。

## 1.2 問題点

状来研究では1回ウェーブレット変換を行いLL成分に透かし情報を埋め込んでいた。しかしそれでは、透かし情報の耐久性は高いが、画像が多少ながら劣化してしまう。そこで本研究では2回ウェーブレット変換を行い、透かし情報の耐久性は高く、画像の劣化はより少ない最適の領域を求めていく。

## 1.3 関連研究

荒木研二，木下宏揚教授，証明写真への電子透かしによるなりすまし防止，神奈川大学 2011 年度卒業論文  
山崎慎太郎，木下宏揚教授，QR コードを用いた ID カードの顔写真に適した電子透かし，神奈川大学 2012 年度卒業論文

## 第2章 基礎知識

### 2.1 画像処理技術

#### 2.1.1 2値化

白と黒だけによる画像の表現処理である。各画素の明るさを一定の基準値により、白色と黒色の2つの色に変換する処理を行う。この一定の基準値のことを閾値という。閾値より小さい値を持つ画素を白、大きい値の画素を黒として表現する。通常、画像の各画素は0~255のRGB値を持っており、RGB値の平均値が各画素における明るさとなる。2値化処理は、画素(x; y)の濃淡画像をf(x; y)、閾値をTとすると、一般的には次項に従って処理される。

$$\begin{cases} \text{白色} & f(x;y) \leq T \\ \text{黒色} & f(x;y) > T \end{cases} \quad (2.1)$$

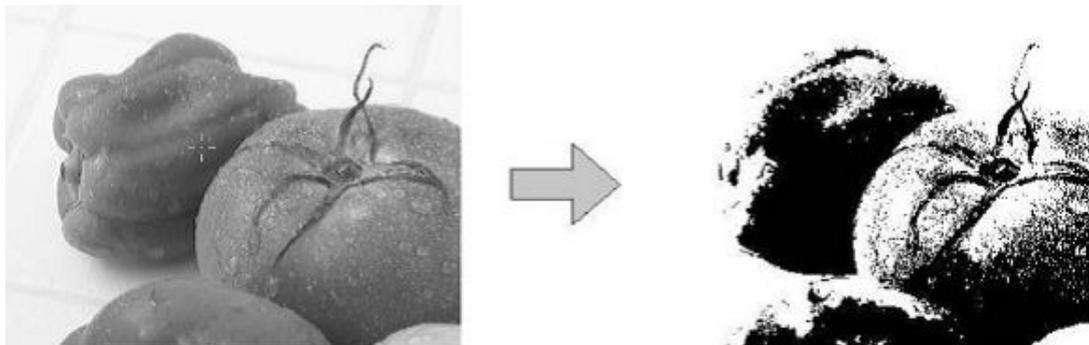


図 2.1: 画像の2値化

#### 2.1.2 グレースケール

グレースケールは画像を白から黒までの明暗だけで色の情報は含まずに表現する。灰色を何階調で表現するかをビット数によって表す。8ビットなら(白と黒を含めて)256階調、16ビットなら65536階調の灰色で表現することができる。グレースケール処理はその計算方式によりいくつかの計算方法が存在する。

- 中間値法:出力画素=(最大成分+最小成分)/2

対象画素における最大最小成分の平均を画素値とする方法である。カラーパターンが灰色一色に変換され、それぞれの色の違いが全て潰れてしまっている。非常に直感的で簡単ではあるが、意図して使う以外は適切ではない。

- 単純平均法:出力画素=(R 成分+G 成分+B 成分)/3

対象画素の RGB 各成分の平均値を画素値とする方法である。RGB 成分の値によってグレーに濃淡ができていますが、異色である青と緑が処理後では同色であったりと、人が感じる明るさの違いを無視してしまう。

- 加重平均法:出力画素=(0.299\*R 成分+0.587\*G 成分+0.114\*B 成分)

RGB 各成分に重み付けを加え、視覚感度を考慮した計算方法である。単純平均法で問題のあった青と緑にも処理後の差異が生じ、処理後の多色化が成される。

## 2.2 符号化技術

電子透かしを行う際に画像を符号化し、そこに情報を埋め込み、再び画像に変換することで電子透かしとなる。以下にその符号化技術を上げる。

### 2.2.1 フーリエ変換

ある変数の関数を変数に共役な変数の関数に変換する方法である。光、音や画像を周波数の関数として表したり (スペクトル分解)、位置の関数としての物体を波数の関数としての回折図形に変換したりするときに使われる。

### 2.2.2 離散フーリエ変換

コンピュータ上でフーリエ変換を行う場合、通常、離散フーリエ変換 (DFT) という変換を行う。離散変換とは、入力値と出力値が離散サンプルで、コンピュータ操作がしやすい変換のことである。この形式の変換を使用する主な理由は2つある。

- ・ DFT の入力と出力は両方が離散であり、コンピュータで操作しやすい
- ・ DFT を計算するために、高速フーリエ変換 (FFT) として知られるアルゴリズムがある。

### 2.2.3 離散コサイン変換

画像や音声などをサンプリングして離散的な信号に変換し、離散コサイン変換を行った後に符号化を行うことで、元の信号の大部分を損ねずにデータの容量を減らすことができる。JPEGなどの画像圧縮技術やACC、MP3などの音声圧縮技術において利用されている。離散コサイン変換は変換後の信号の周波数成分が低周波数領域に集中することが特徴である。データ圧縮に離散コサイン変換を利用する基礎知識 11 の場合、変換後の信号を量子化し符号化する際に、情報の集中していない領域にに対して少ない符号化ビットを割り当てるか、または0で近似し切り捨てることで、データの容量を減らすことが可能である。

### 2.2.4 ウェーブレット変換

フーリエ変換によって周波数領域を求める際には時間領域しか求まらないが、ウェーブレット変換では周波数領域と時間領域の両方が求まるのでフーリエ変換よりも精度のいい値が求まる。このことから電子透かしでは一般的にウェーブレット変換が用いられることが多い。

## 2.3 マスキング効果

マスキング効果とは、ある二つの異なる音波が耳に届くとき、弱い音波は強い音波に打ち消されてしまうという聴覚特性のことである。例えば、車などが通り過ぎる時や音楽を大音量でかけている時に誰かに話しかけられても中々聞き取ることにはできない。この特性は、視覚においても同様で、画素値同士の差が小さい画像に変化を加えることに比べ、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に紛れ、画像の変化が目立ちづらくなる。画像を評価する上で考慮すべき視覚特性として、

1. 空間周波数方向の視覚感度（高周波成分に加わる雑音ほど検知されにくい）
2. 雑音マスキング効果（変化の激しいブロックでの雑音は検知されにくい）

が挙げられる。これらは、画像に加わる雑音の程度が、元画像の変化の度合いによって異なることを示唆している。1のように、変化の激しい領域に重畳する雑音は検知されにくい。2では、低周波成分に加わる雑音でも、その周辺ブロックが高い周波数成分を含むほど、雑音を強く覆い検知されにくい事を意味する。

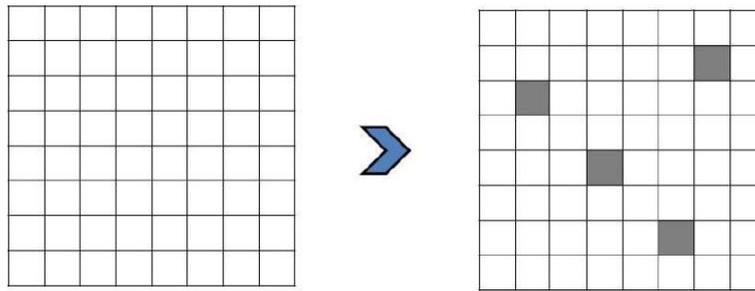


図 2.2: マスキング効果小

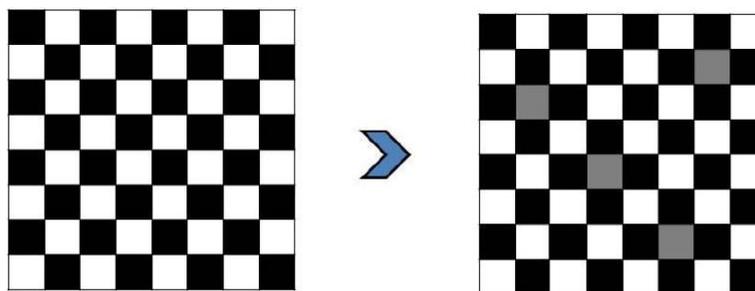


図 2.3: マスキング効果大

## 2.4 QR コード

QR コードは、2次元コードの一種であり、「リーダにとって読み取りやすいコード」を主眼にデンソーが1994年に発表したものである。縦方向と横方向二方向に情報を持つことで、一方向だけに情報を持っているバーコードに対し、記録できる情報量を飛躍的に増加させたコードである。QRコードシンボルの3コーナーに配置されている切り出しシンボルを検索することでQRコードの位置を認識することができ、高速な読み取りと360°どの方向からでも読み込むことが可能となっている。

また誤り訂正符号によりQRコードの一部が損傷した場合においてもデータを損失することなく復元することができる。誤り訂正には、シンボルの損傷度合いに応じた4段階のレベルを持っており、例えば、レベルHでは最大でコード面積の約30%が損傷した場合においても、データを復元することが可能である。QRコードは、数字、漢字、英数字、漢字、バイナリのデータを扱うことができ、最大で数字なら7089文字、英数字なら4296文字、漢字なら1817文字を表すことが可能である。

劣化に強く大量の情報を持つことが出来るQRコードは電子透かしに非常に優れているということになる。



図 2.4: QR コード

## 2.5 電子透かし

デジタルコンテンツはその優れた品質の他に、いくらコピーしても品質が劣化しない、取り扱いが簡単などの特徴がある。デジタルコンテンツを保有する人達にとっては、アイデア次第で無限のビジネスチャンスがあるように思える。一方、デジタルコンテンツはコピーしても劣化しないという特徴から、容易に不正コピーされてしまうという大きなリスクを背負っている。この不正コピー問題はデジタルコンテンツビジネスの事業化に際して障害の一つとなっており、対策としてコンテンツに何らかの保護をする仕組みが必要となる。この問題を解決する一手として考えられたものが電子透かしである。電子透かし技術とは、デジタルコンテンツにその冗長性を利用して他の情報を埋め込む技術のことである。電子透かしの埋め込まれた画像や音声データから電子透かし情報の検出を行うことで、著作権の保護を行うことが可能となる。埋め込むデジタルコンテンツにはテキスト・音声・画像・動画・プログラムなどがあり、著者名・コピー回数などの著作権関連情報を埋め込むことが多い。また、電子透かし手法を用途により以下のように分類できる。

- 不可視・高耐性型

埋め込み可能な情報量が少ないという欠点があるが、加工・圧縮などの処理に対して、耐性が高く、電子透かし情報の除去が困難であるという利点がある。

- 不可視・低耐性型

耐性を重視せずに、多くのデータを埋め込みたい場合に用いる。耐性が必要なため、画質への影響や劣化も少なくすることができる。コンテンツの改ざんの発見にも利用することができる。

- 可視・可逆型

所有権を明示的にコンテンツ上に表示する電子透かしである。透かしの埋め込んだコンテンツの再利用ができるように、電子透かしを除去することができる。電子透かしを除去するには、特別なプログラムと鍵が必要である。これにより、コンテンツの所有者は、安心してコンテンツをインターネット上で公開したりすることができる。

- 可視・非可逆型

所定のコンテンツの所有権をはっきり利用者に示す際に用いる。この型は埋め込んだ透かしデータは取り除くことが出来ない。不正な再利用や販売を防止する目的を持ち、コンテンツに所有者の名前やロゴマークを付加する。

電子透かしに必要なとされる条件を以下に示す。

1. コンテンツの品質の維持。
2. 透かしの情報量。多いほど望ましい。
3. 透かしの埋め込みや検出にかかる計算量。少ない方が望ましい。
4. 編集耐久性。コンテンツを編集した時に透かしが消えてしまったら意味がない。
5. 安全性。意図的な透かしの消去・改竄が出来ないこと。

## 2.6 ステガノグラフィー

ステガノグラフィー (steganography) とは、音声や画像などのデータに秘密のメッセージを埋め込む技術である。ある程度の大きさ以上の音声や映像、画像などのマルチメディアデータは冗長性を含むため、データをわずかに改変しても人間には知覚できない。この性質を利用して、見た目などをほとんど変化させずにデータの中にメッセージ (多くの場合は文字) を埋め込む技術がステガノグラフィーである。メッセージを秘匿する技術という点では暗号技術に似ているが、暗号はメッセージが発見されても解読されないようにする技術であるのに対し、ステガノグラフィーはメッセージが送られていること自体を気付かれないようにする技術である。一般的な電子透かしとの違いは、電子透かしはコンテンツを保護する目的であるのに対し、ステガノグラフィーはコンテンツはダミーであり、その中に入っている透かし情報に価値があるということである。

## 2.7 冗長性

その情報の表現に最低限必要な情報量よりも、実際に使われている情報量がどのくらい多いかを冗長性という。電子透かしではこの冗長性を利用する。

## 2.8 コーナー検出

電子透かしを埋め込んだ画像をハードコピーすると画質の劣化や角度が変わってしまうことなどにより透かしを検出できないことが多い。その中で角度の問題をコーナー検出により解決する。

## 2.9 PSNR(ピーク信号対雑音比)

原画像となにかしらの処理をした画像を比較したときのノイズの割合。PSNR40[dB]以上で原画像と見分けがつかない。PSNR35[dB]以上で透かし入り画像としては良しとされるレベル。しかし、注意深く画像を見比べれば人間でも劣化がわかるレベル。

## 2.10 Scilab

Scilabは、工学と科学のためのオープンな計算環境を与える数値計算のソフトウェア・パッケージである。数値計算機能以外にも、信号処理、行列や多項式の数式の処理、関数のグラフ表示なども行うことができる。機能やコマンドはMATLABによく似ているが、互換性はない。本研究ではScilab5.4.1を使い処理を行った。

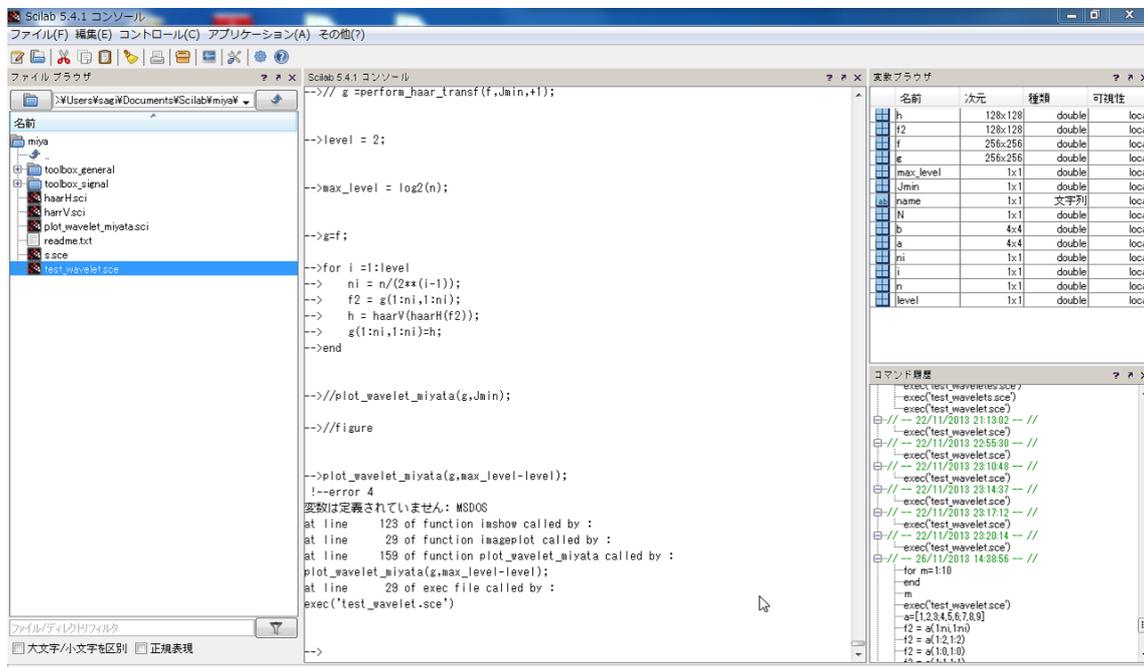


図 2.5: Scilab コンソール画面

## 第3章 提案手法

状来研究では1回ウェーブレット変換を行いLL成分に透かし情報を埋め込んでいた。しかしそれでは、透かし情報の耐久性は高いが、画像が多少ながら劣化してしまう。そこで本研究では2回ウェーブレット変換を行い、透かし情報の耐久性は高く、画像の劣化はより少ない最適の領域を求めていく。本研究ではscilabを使い実装を行った。

### 3.1 QRコードの符号化

QRコードは2値画像なのでこれを利用する。黒に対して1bit 白に対して0bitを与える。埋め込み手順からわかるが今回の方式では元画像とQRコードの画像の大きさの比は最低でも1:8となる。

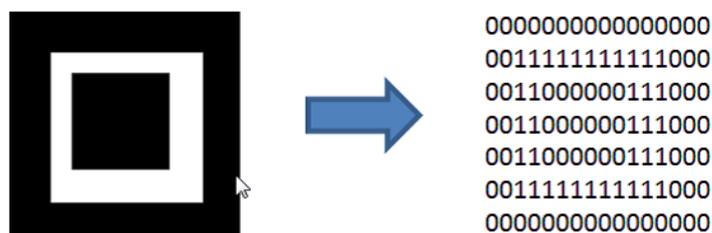


図 3.1: QRコードの符号化

### 3.2 埋め込み手順

1. 元画像に対して二回ウェーブレット変換を行い中間領域を得る。
2. 中間領域であるHH2成分を $N \times N$ 画素ブロックに分割する。
3. 各ブロックごとに画素値の総和を求める。
4. 3.1で求めたQRコードbit情報を画素値の総和に埋め込む。
5. 逆ウェーブレット変換を行い透かし入り画像の完成となる。

## 第4章 質疑応答

Q: (ハールウェーブレット変換処理の) 図についてそれぞれは何を表しているのか？

A: 左上は縦横方向＝低周波成分 (LL)

左下は横方向＝低周波成分、縦方向＝高周波成分 (HL)

右上は横方向＝高周波成分、縦方向＝低周波成分 (LH)

右下は縦横方向＝高周波成分 (HH)

## 参考文献

- [1] デジタルカメラで読み取り可能な品質劣化の少ない不可視コード埋め込みに関する検討、森田雅治
- [2] 荒木研二, 木下宏揚教授, 証明写真への電子透かしによるなりすまし防止, 神奈川大学 2011 年度卒業論文
- [3] 山崎慎太郎, 木下宏揚教授, QR コードを用いた ID カードの顔写真に適した電子透かし, 神奈川大学 2012 年度卒業論文
- [4] 磯崎邦隆, 菊池浩明教授, 電子透かしにおけるマスキング効果の主観評価, 東海大学 2006 年度卒業論文
- [5] 電子透かし技術デジタルコンテンツのセキュリティ、画像電子学会、2004
- [6] 電子透かしとコンテンツ保護、小野東、2001
- [7] デジタル画像処理、CG-ARTS 教会、2004
- [8] ウェーブレット解析の基礎理論、新井康平、2000
- [9] 波形解析のための数値計算ソフト Scilab 入門、大川善邦、2013
- [10] ウェーブレットビギナーズガイド、榊原進、1995
- [11] ウェーブレットによる信号処理と画像処理、中野弘毅、山本鎮男、吉田康夫、1999
- [12] DWT-Based Watermarking Using QR Code、Shinjun Zhang and Kazuyoshi Yoshino、2008