

平成23年度卒業論文

論文題目

証明書の顔写真への電子透かしによる  
なりすまし防止

神奈川大学 工学部 電子情報フロンティア学科

学籍番号 200802945

荒木 研二

指導担当者 木下宏揚 教授

# 目次

第1章	序論	3
第2章	基礎知識	5
2.1	画像処理技術	5
2.1.1	2値化	5
2.1.2	グレースケール	6
2.1.3	ガンマ補正	7
2.1.4	面積階調法(疑似濃淡表示)	7
2.1.5	濃度パターン法	7
2.1.6	ディザ法	8
2.1.7	組織的ディザ法	8
2.2	電子透かし	10
2.2.1	組織的ディザ法を用いた電子透かし	11
2.3	符号化技術	14
2.3.1	フーリエ変換	14
2.3.2	離散フーリエ変換	14
2.3.3	離散コサイン変換	15
2.3.4	ウェーブレット変換	16
2.4	QRコード	19
第3章	提案方式	20
3.1	提案方式	20
3.1.1	実験	22
第4章	結論	24
	謝辞	26

参 考 文 献	27
质 疑 应 答	30

## 目次

2.1	画像の2値化	5
2.2	中間値法スペクトル	6
2.3	単純平均法スペクトル	6
2.4	加重平均法スペクトル	7
2.5	Bayer型ディザマトリックス	8
2.6	網点型ディザマトリックス	8
2.7	渦巻型ディザマトリックス	9
2.8	組織ディザ法の原理 (Bayer型)	9
2.9	電子透かし	11
2.10	閾値 $M$ と出力 $Y$ の関係	12
2.11	出力パターン統計表	12
2.12	ウェーブレット変換	18
2.13	QRコードの仕様	19
2.14	QRコード	19
3.1	提案方式の流れ	21
3.2	使用した顔写真	22
3.3	使用したQRコード	22
3.4	ウェーブレット変換した顔写真	23
4.1	透かし情報入り画像	24

# 第1章

## 序論

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、複写・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。[1]

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の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。電子透かしが埋め込まれた紙をコピーするとロゴなどの埋め込まれた情報が浮かび上がるというものである。そして、今回はこの技術を利用する。

現在、カード会社の発展に伴い、多くの人が顔写真付きのカードを持つようになった。そして、そのカードを用いて本人確認をする機会も増加したが、写真と本人を比べるだけの簡単な本人確認も多くある。そのため、顔写真付きカードの顔部分を改ざんするなどによるなりすましの事件も多くなった。

本論文では，証明書の顔写真部分に電子透かしを埋め込むことによるなりすましの防止し，かつ高速に本人核にする技術の実現を目標とする．

## 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。[2]

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

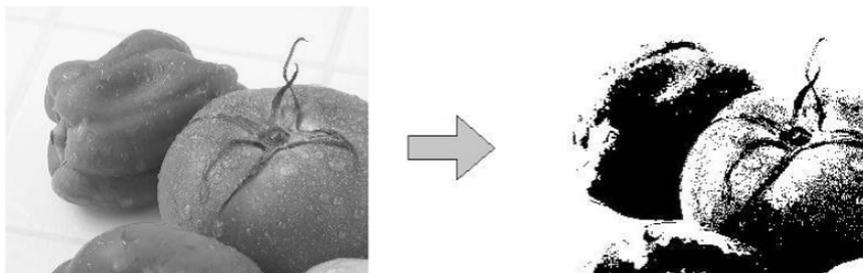


図 2.1 画像の2値化

基準となる閾値の値を変更することで2値化処理後の画像が異なり、2値化処理を行うことで画像からの検索情報の抽出が容易になり、また判定処理なども高速に実行できる。[3]

### 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。[4]

- 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。



図 2.2 中間値法スペクトル

- 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はいるが、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。



図 2.3 単純平均法スペクトル

- 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。



図 2.4 加重平均法スペクトル

### 2.1.3 ガンマ補正

$\gamma$ (ガンマ)とは画像の明るさの変化に対する電圧換算値の変化比である。画像の色データと画像が実際に出力される際の信号の相対関係を調節し、より自然に近い表示を取得し、元画像データに忠実な画像の表示を再現するための補正をガンマ補正という。 $\gamma$ 補正の数式を下記に示す。[3]

$$\gamma = 255 \times \left(\frac{\gamma}{255}\right)^{1/y} \quad (2.2)$$

画像データと出力データとの値が正比例している時、 $\gamma$ 値は1になるが、実際には正比例しない。スキャナなどの入力装置やプリンタなどの出力装置はそれぞれ特有の値を持っており、スキャナなどで入力した画像をそのまま出力してしまうと $\gamma$ 値が1に近づかないため色合いが違ってしまう。広義に解釈すると、現在のほぼ全ての画像データは特定の出力環境に合わせられて作られていると言ってよい。出力環境が変わることでその時出力した画像データは完全な状態で表示することができないということである。そのため、出力機器の違いによる差異を緩衝し、より正確な画像データ取得においてユーザーはガンマ補正を行う必要がある。

### 2.1.4 面積階調法（疑似濃淡表示）

白と黒の2値しか表示できないディスプレイやプリンタを用いて白黒の濃淡画像を表示したい場合、白と黒の面積の割合を変化させて階調を再現させる手法を面積階調法という。代表的な方法として濃度パターン法とディザ法がある。

### 2.1.5 濃度パターン法

入力濃淡画像の1画素を出力側の $n \times n$ 画素（これをサブマトリックスと呼ぶ）に対応させ、各画素の濃淡レベルに合わせてサブマトリックス内の黒の画素の数を変えることで濃淡を再現する。サブマトリックスの大きさを大きくするほど階調再現性はよくなるが、入力画像に対して出力側は $n \times n$ 倍の表示領域を必要とする。

### 2.1.6 デイザ法

デイザ法とはある決められた階調でより豊富な階調を表現する技法である。例えば白と黒しか使えない状態で様々な濃さの灰色を表現する方法である。元の画像の画素の階調に応じて、一定の規則の基に白黒を生成し、白の出現頻度によって中間調が表現される。デイザ法は原画の1画素を複数ドットで表現する。遠目から見れば白黒の濃淡があるように見えるという人間の錯覚を利用したものである。身近に使われている例として、新聞の写真、カラープリントなどが挙げられる。[5]

### 2.1.7 組織的デイザ法

$N \times N$ の閾値からなるデイザマトリックスと呼ばれるサブマトリックスを入力画像に重ね合わせて、2値化を行う処理。あらかじめ決められた閾値マトリックスを用いて入力画素の輝度値を2値に変換する。有名なものでBuyer型、渦巻型、網点型などがある。256階調で表現する場合、それぞれの要素を17倍して使用する。 $4 \times 4$ 画素の入力値化の概念を図に示す。[3]

0	8	2	10
12	4	14	6
3	11	1	9
15	7	13	5

図 2.5 Bayer 型デイザマトリックス

11	4	6	9
12	0	2	14
7	8	10	5
3	15	13	1

図 2.6 網点型デイザマトリックス

6	7	8	9
5	0	1	10
4	3	2	11
15	14	13	12

図 2.7 渦巻型ディザマトリックス

8	9	10	9	0	8	2	10	
9	7	6	4	12	4	14	6	
6	5	4	2	3	11	1	9	
3	2	0	1	15	7	13	5	
3	4	4	2	0	8	2	10	
入力画像				ディザマトリックス				出力画像

図 2.8 組織ディザ法の原理 (Bayer 型)

## 2.2 電子透かし

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。

見た目わからない電子透かしは、検出ソフトを用いることで埋め込まれた情報を取り出すことができる。不正コピーやデータの改竄の検出にも役立つが、電子透かしの付与しても再エンコーディングやアナログ変換を行うことで電子透かし部分の情報が失われるという弱点もあり、そういった攻撃に強い方式が研究されている。

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。耐性が少ないため、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。[6] [7] [8]

電子透かしに必要とされる条件を示す。

1. 透かし情報埋め込みによる品質の劣化が少ない
2. 付加する情報量が多い
3. コンテンツの加工によって透かしが消えない
4. 非可視的である

ここでは静止画像を対象とした電子透かし技術を記述していく。下記の図には大学名・学籍番号・名前の情報が書かれたテキストファイルが透かし情報として埋め込まれている。



図 2.9 電子透かし

### 2.2.1 組織的ディザ法を用いた電子透かし

2値画像に組織的ディザ法を用いた電子透かしの埋め込み手法を説明する。組織的ディザ法には出力の偏りがあるので、それを利用する方法である。組織的ディザ法は、前述の通り、あらかじめ決められた閾値マトリックスを用いる方式となっている。[9]今回は例としてBayer型の閾値を用いて説明する。4×4画素の局所入力画像 $A$ 、閾値マトリックス $M$ 、その演算結果 $Y$ を図のように設定する。

まず、閾値マトリックスの各要素の差 $k(k > 0$ に対し、 $x_i < x_j$ かつ $x_j - x_i = k$ )に着目する。ある指定した $k$ の値をもつ $(x_i, x_j)$ の組をBayer型マトリックス $M$ から探し

$$x_j - y_i = k \quad (k > 0) \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, 15$$

a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>
a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	a <sub>7</sub>
a <sub>8</sub>	a <sub>9</sub>	a <sub>10</sub>	a <sub>11</sub>
a <sub>12</sub>	a <sub>13</sub>	a <sub>14</sub>	a <sub>15</sub>

x <sub>0</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>
x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>
x <sub>8</sub>	x <sub>9</sub>	x <sub>10</sub>	x <sub>11</sub>
x <sub>12</sub>	x <sub>13</sub>	x <sub>14</sub>	x <sub>15</sub>

y <sub>0</sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>
y <sub>4</sub>	y <sub>5</sub>	y <sub>6</sub>	y <sub>7</sub>
y <sub>8</sub>	y <sub>9</sub>	y <sub>10</sub>	y <sub>11</sub>
y <sub>12</sub>	y <sub>13</sub>	y <sub>14</sub>	y <sub>15</sub>

A
M
Y

図 2.10 閾値  $M$  と出力  $Y$  の関係

て組み合わせる。この組合せを  $(x_i, x_j)k$  とする。たとえば、

$$(x_i, x_j)8 = \{(0, 8), (1, 9), (2, 10), (3, 11), (4, 12), (5, 13), (6, 14), (7, 15)\}$$

のようになる。この  $(x_i, x_j)8$  の閾値をもつ  $M$  の組について出力パターン  $(y_i, y_j)$  を調査すると、下記の表のようになる。

閾値 ( $x_i, x_j$ )	出力パターン( $y_i, y_j$ )			
	(0,0)	(0,1)	(1,0)	(1,1)
(0,8)	173	4	3575	344
(1,9)	493	2	3378	223
(2,10)	1084	2	2878	132
(3,11)	2048	1	1949	98
(4,12)	2441	0	1590	65
(5,13)	2861	0	1202	33
(6,14)	3176	0	908	12
(7,15)	3524	0	572	0
合計	15800	0	16052	907

図 2.11 出力パターン統計表

この表から (1,0) パターンは各  $k$  の値に対して多数存在するが、(0,1) パターンはほとんど存在しないことがわかる。画像の輝度レベルがわずかに 17 段階に量子化されたため、その中の 8 レベルの差といえども原画像の輝度範囲の 50% 以上の輝度差に相当する。このような急激な輝度変化は自然画像ではほとんど起こりえないことがわかる。

そこで、タイプ (0,0) と (1,1) には手をつけず、また若干の (0,1) タイプはあらかじめ

(1,0)に変更しておく。その準備が整えば、透かし情報に従ってタイプ(1,0)を制御することが可能となる。たとえば、透かしビットが1ならば(1,0)をそのまま用い、透かしビットが0ならば(1,0)を逆転して(0,1)に設定する。ディザ化する $4 \times 4$ の特定ブロックを鍵で指定し、そのブロックのみにこの操作を行い、他のブロックに対しては透かしビットの代わりにランダムなビット系列を埋め込む。このランダム系列により透かし情報を隠蔽することが重要である。このように1画素1ドット表現の中に、さらに透かしビットを埋めることが可能となる。

## 2.3 符号化技術

### 2.3.1 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。

$f(x, y)$  が2つの離散変数  $x$  および  $y$  の関数である場合、 $f(x, y)$  の2次元フーリエ変換は

$$F(\omega_1, \omega_2) = \sum_{x=-\infty}^{\infty} \sum_{y=-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-j\omega_1 x} e^{-j\omega_2 y} \quad (2.3)$$

の関係によって定義される。また、逆フーリエ変換は

$$f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{\omega_1=-\pi}^{\pi} \int_{\omega_2=-\pi}^{\pi} F(\omega_1, \omega_2) e^{j\omega_1 x} e^{j\omega_2 y} d\omega_1 d\omega_2 \quad (2.4)$$

によって求められる。

ここで、 $j = \sqrt{-1}$  であり、 $\omega_1, \omega_2$  はそれぞれ、 $x$  方向  $y$  方向の空間周波数を表す。

上式からわかるように、一般に  $F(\omega_1, \omega_2)$  は複素数となる。そこで、その性質を見るのに以下で定義される絶対値と偏角を求める。

$$|F(\omega_1, \omega_2)| = \sqrt{\operatorname{Re}\{F(\omega_1, \omega_2)\}^2 + \operatorname{Im}\{F(\omega_1, \omega_2)\}^2} \quad (2.5)$$

$$\arg\{F(\omega_1, \omega_2)\} = \tan^{-1} \frac{\operatorname{Im}\{F(\omega_1, \omega_2)\}}{\operatorname{Re}\{F(\omega_1, \omega_2)\}} \quad (2.6)$$

ただし、 $\operatorname{Re}\{F(\omega_1, \omega_2)\}, \operatorname{Im}\{F(\omega_1, \omega_2)\}$  はそれぞれ  $F(\omega_1, \omega_2)$  の実部と虚部を表す。 $|F(\omega_1, \omega_2)|$  は、フーリエスペクトルまたは振幅スペクトル、 $\arg\{F(\omega_1, \omega_2)\}$  は位相スペクトルと呼ばれている。さらに  $|F(\omega_1, \omega_2)|^2$  は、パワースペクトルと呼ばれている。[10]

### 2.3.2 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 [11]

DFT は有限領域  $0 \leq x \leq M - 1$  および  $0 \leq y \leq N - 1$  に対してのみ非ゼロである離散関数  $f(x, y)$  に対して定義される．2次元の DFT は

$$F(p, q) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi px/M} e^{-j2\pi qy/N} \quad \begin{array}{l} p = 0, 1, \dots, M - 1 \\ q = 0, 1, \dots, N - 1 \end{array} \quad (2.7)$$

で表せる．そして，逆 DFT は

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} F(p, q) e^{j2\pi px/M} e^{j2\pi qy/N} \quad \begin{array}{l} x = 0, 1, \dots, M - 1 \\ y = 0, 1, \dots, N - 1 \end{array} \quad (2.8)$$

で表すことができる．

$F(p, q)$  の値は  $f(x, y)$  の DFT 係数で，ゼロ周波数係数の  $F(0, 0)$  は DC 成分と呼ばれる．

### 2.3.3 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．[12]

離散コサイン変換は，信号をコサイン波の重ね合わせで表現したものであり，関数  $f(x, y) (x = 0, \dots, M - 1, y = 0, \dots, N - 1)$  に対する二次元離散コサイン変換 (DCT) は次式で定義される．

$$F_c(k, l) = C(k)C(l) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos\left(\frac{(2x+1)k\pi}{2M}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)l\pi}{2M}\right) \quad (2.9)$$

$$0 \leq k \leq M-1, 0 \leq l \leq N-1$$

$$C(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}} (k=0) \\ \sqrt{\frac{2}{M}} (1 \leq k \leq M-1) \end{cases} \quad C(l) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}} (l=0) \\ \sqrt{\frac{2}{N}} (1 \leq l \leq N-1) \end{cases}$$

また、離散コサイン逆変換 (IDCT) は次式で定義される。

$$f(x, y) = \frac{4}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} C(k)C(l)F_c(k, l) \cos\left(\frac{(2x+1)k\pi}{2M}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)l\pi}{2M}\right) \quad (2.10)$$

$$0 \leq x \leq M-1, 0 \leq y \leq N-1$$

$$C(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}} (k=0) \\ \sqrt{\frac{2}{M}} (1 \leq k \leq M-1) \end{cases} \quad C(l) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}} (l=0) \\ \sqrt{\frac{2}{N}} (1 \leq l \leq N-1) \end{cases}$$

DCT(IDCT) は有限個のデータに対しての変換であるため、入力データは  $N$  点ごとに分割して計算する必要がある。一般的には 8 個が良く用いられる。8 という数字で行う理由は、計算時間およびノイズの目立ちにくさのバランスが最良だからである。画像は 2 次元であるため、通常  $8 \times 8$  画素単位に分割し DCT 計算を行い、それを全画面について繰り返す。 $256 \times 256$  画素の場合は  $256 \div 8 \times 256 \div 8 = 1024$  個のブロックについて計算を行う。

#### 2.3.4 ウェーブレット変換

ウェーブレット変換とは、ウェーブレット関数と呼ばれる関数  $\Psi(x)$  を平行移動と伸縮の操作を施したものと畳み込みで定義される。ウェーブレット関数は、ウェーブレット関数について 2 つの実数  $a (> 0)$ 、 $b$  をパラメータとし、縦軸方向に  $\frac{1}{\sqrt{a}}$  倍、横軸方向に  $a$  倍し  $b$  だけ平行移動させたものであり、次式で表される。

$$\Psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (2.11)$$

上式において  $a$  をスケールパラメータ、 $b$  をシフトパラメータと称する。

ウェーブレット変換は、上式で与えられたウェーブレット関数  $\Psi_{a,b}(x)$  を基底として信

号変換するものである．関数  $g(x)$  を解析する信号とするとこのウェーブレット変換は次式で定義される．

$$\Psi_{b,a} \equiv \int_{-\infty}^{\infty} g(x) \Psi_{a,b}(x) dx \quad (2.12)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} g(x) \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) dx \quad (2.13)$$

式 (2.11) から，元の信号  $g(x)$  を復元する逆ウェーブレット変換は次のように定義される．[13]

$$g(x) = \frac{1}{C_{\Psi}} \iint_{\mathbb{R}^2} \Psi_{b,a} \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \frac{dadb}{a^2} \quad (2.14)$$

ウェーブレット変換は様々な種類があるが，ここでは電子透かしにしばしば利用されるハール関数について説明する．ハール関数はウェーブレット変換の中でも最も簡単な関数であり，データの圧縮，伝送，ノイズ除去などによく利用される．特徴としては対称性，直行性を持つ．そして，計算式が簡単なため計算時間を短くすることができる

画像に対するウェーブレット変換は2次元ウェーブレット変換となり，1次元ウェーブレット変換を水平方向，垂直方向の2回行えば求めることができる．1次元ウェーブレット変換の計算式は

$$\begin{aligned} f_j[k] &= (f_{j+1}[2k] + f_{j+1}[2k+1])/2 \\ e_j[k] &= (f_{j+1}[2k] - f_{j+1}[2k+1])/2 \end{aligned} \quad (2.15)$$

ただし， $j = -1, -2, \dots, M$  :  $M$  はウェーブレット変換の階層  
 $k = 0, 1, 2, \dots, N/2$  :  $N$  は画素数

で求めることができる．

この作業を，水平方向，垂直方向の2回行うことで低周波成分，高周波成分に分けることができる．画像をウェーブレット変換した結果を下図に示す．4つの画像が表示されているが，それぞれ左上を  $LL$  成分，右上を  $LH$  成分，左下を  $HL$  成分，右下を  $HH$  成分と呼ぶ． $LL$  は低周波成分，その他は高周波成分で  $LH$  が横方向， $HL$  が縦方向， $HH$  は両方の微分波形を示している． $LH$  ,  $HL$  ,  $HH$  のどの部分を削除するかにより，最適な画像の圧縮を行うことが可能となる．[1]



図 2.12 ウェーブレット変換

また，逆ウェーブレット変換は

$$\begin{aligned} f_{j+1}[2k] &= f_j[k] + e_j[k] \\ f_{j+1}[2k+1] &= f_j[k] - e_j[k] \end{aligned} \tag{2.16}$$

により求められる．[14]

## 2.4 QRコード

QRコードとは、1994年にデンソーの開発部門が開発したマトリックス型二次元コードである。QRコードは二次元コードのため、バーコードに比べ情報量が多く、数字だけでなく英字や漢字など多言語のデータも格納できる。読み取りには識別子内に読み取り支援の箇所を設けることで、360°どの角度でも円滑な読み取りが可能である。また、リード・ソロモン誤り訂正機能により汚れや破損に対しても最大30%まで情報の復元が可能である。QRコードにはモデル1とモデル2があるが現在、主に利用されているのはモデル2である。

以下にQRコードの仕様とQRコードのサンプルを示す。このサンプルQRコードは誤り訂正レベルHで、型番が4(サイズが33×33)である。[15] [16]

埋め込んだ情報は自分の名前と学籍番号である。

コードの大きさ	21×21セル・25×25セル～177×177(4セル間隔)
情報の種類及び情報量	数字:MAX7, 089
	英・数・記:MAX4, 296
	バイナリ(8bit):MAX2, 953
	漢字:MAX1, 817
	* 全て誤り訂正レベルMの場合 * 混在も可能
誤り訂正能力	レベルL:シンボルの約7%の汚れ・破損しても復元可
	レベルM:シンボルの約7%の汚れ・破損しても復元可
	レベルQ:シンボルの約7%の汚れ・破損しても復元可
	レベルH:シンボルの約7%の汚れ・破損しても復元可
連結機能	最大16分割(細長いエリア等への印字)

図 2.13 QRコードの仕様



図 2.14 QRコード

## 第3章

# 提案方式

### 3.1 提案方式

顔写真に電子透かしを埋め込むことでなりすまし，改ざんの防止を提案した．この目的を達成するための条件を示す．[17]

1. 透かし情報埋め込みにより画質が劣化しない
2. 十分な情報量を埋め込むことができる
3. 対象をハードコピーしても透かし情報が消えない
4. 透かし情報読み取りが正しく行える
5. 透かし読み取り速度が速い

上記の2，4を考慮して，連続して発生する誤りに強いリード・ソロモン誤り訂正機能持ち，大量の情報量を埋め込み可能な「QRコード」を透かし情報として埋め込むことを提案する．埋め込み方法は，対象をハードコピーする，JPEG圧縮などをして透かし情報が消えないように周波数成分利用型の電子透かしを用いて，ウェーブレット変換を利用する．ウェーブレット変換の中でも，電子透かしにはハール関数というものが利用されることが多く，かつ簡単な関数であるので，この方法を利用することにした．上記の1，5に関しては実際にQRコードを顔写真に埋め込み，その結果から検討していくことにする．ここで，今回の研究の性質上，1は人が写真を見て本人確認ができれば問題ないとする．5の読み取り速度は，高速にできることを目標とするので，レスポンスタイムが1秒以内であることが好ましい．この1秒

という値は一般的に普及している PASM0 , Suica などに使われている FelicCa の速さを参考にして考えた値である . [18] [19]

提案方式の流れを示す .

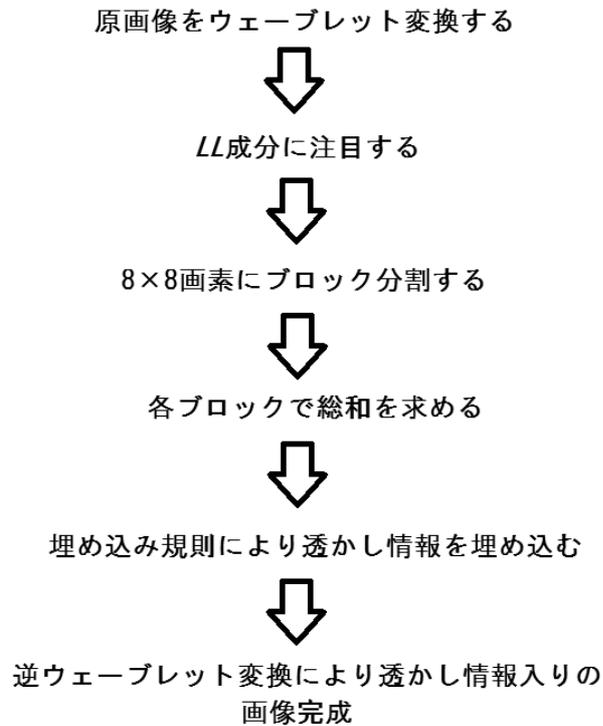


図 3.1 提案方式の流れ

埋め込み規則は , 埋め込む QR コードにより電子透かしビットを決めることにする .

- QR コードが黒なら電子透かしビットを 0 にする
- QR コードが白なら電子透かしビットを 1 にする

次に , 電子透かしビット値により各ブロックの総和を変更し , 透かし情報を埋め込む .

- 電子透かしビットが 0 なら総和を偶数にする
- 電子透かしビットが 1 なら総和を奇数にする

総和を変更したブロックの各画素値に変更を加える .

### 3.1.1 実験

今回、使用した画像を示す。顔写真のほうはスマートフォンで撮影したものである。QRコードは2章のQRコードのサンプルと同じもので、自分の学籍番号と名前が埋め込んである。

ただし、今回作成したプログラムは ppm ファイルと pgm ファイルに対応しており、使用した画像はすべて ppm ファイルである。画像の拡張子変換には、フリーソフトを利用した。jpg → bmp は BMP-JPG こんばーちゃ Ver 1.00a を bmp → ppm(pgm) は BMPtoPNM コンバータ Ver1.00 を使用した。[20] [21]

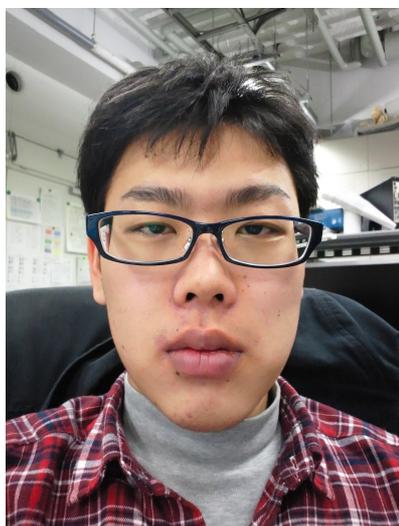


図 3.2 使用した顔写真



図 3.3 使用した QR コード

図 3.1 の流れにしたがって透かし情報を埋め込む  
まず、図 3.2 をウェーブレット変換する。

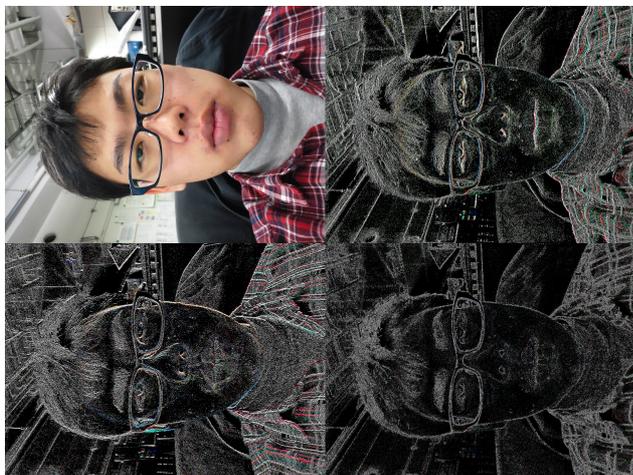


図 3.4 ウェーブレット変換した顔写真

図 3.2 は横向きの画像であり、図 3.4 の向きが正しいが顔写真として見やすいように意図的に回転させて表示している。画像処理はもともとの画像で行った。

図 3.4 において左上の  $LL$  成分を  $8 \times 8$  画素のブロックに分割し、総和を求める。図 3.3 のパターンに従い、値を変更する。その後、逆ウェーブレット変換により透かし情報入り画像ができる。

この結果は次章で、考察とともに述べる。

## 第4章

# 結論

本稿では，顔写真付きのカード・証明書に電子透かしを用いることでなりすましや改ざんを防止することを提案した．QRコードを透かし情報として埋め込んだ顔写真と今回の研究結果を下に示す．



図 4.1 透かし情報入り画像

上の写真より QRコードを埋め込むことでの画像の劣化はないという主観的評価が得られ，透かし入り画像から抽出した QRコードもスマートフォンの QRコード読み取りアプリで問題なく読み取ることができた．今回の研究のテーマにおいては，本人確認が正しく行えればいいので，QRコードを透かし情報として埋め込むことに問題ないと言える結果が得られた．しかし，対象をハードコピーした画像をスキャンして埋め込んだ QRコードを抽出することまではいたらなかった．透かし情報抽出も 1秒はかかってしまった．透かし情報抽出の処理のみで，この結果はよくないといえる．

今後の課題として、上に示した通り、対象をハードコピーに適応してからの読み取り可能であるかの確認、ユーザにストレス無く利用してもらうために透かし情報抽出の速度を改善することが課題となる。

## 謝辞

本研究を行なうにあたり，終始熱心に御指導していただいた木下宏揚教授に心から感謝致します．また，研究活動に限らず様々な助言を頂きました南出和宏氏をはじめ，公私にわたり良き研究生生活を送らせていただいた木下研究室の方々に感謝致します．

2012年2月

荒木 研二

## 参考文献

- [1] 小野束 ”電子透かしとコンテンツ保護” オーム社
- [2] ”マイクロソフトアカデミックポータル アルゴリズム入門:第3章 画像処理入門1”  
<http://msdn.microsoft.com/ja-jp/academic/cc998604>
- [3] 田村秀行”コンピュータ画像処理” オーム社 , 2002 年
- [4] osakana.factory”グレースケールのひみつ”
- [5] ”画像情報処理学習支援プログラム”  
<http://www.gifu-nct.ac.jp/elec/yamada/iwata/index.html>  
<http://ofo.jp/osakana/cgtips/grayscale.phtml>
- [6] ”電子透かし報告書”  
<http://it.jeita.or.jp/eltech/report/2001/01-jou-04.pdf>
- [7] KIT ステガノグラフィ研究グループ  
<http://www.datahide.com/BPCSj/>
- [8] ステガノグラフィ  
<http://hp.vector.co.jp/authors/VA017815/insideof4.htm>
- [9] 電子透かし技術の種類と使用法  
<http://dev.sbins.co.jp/watermark/usage.html>
- [10] ”デジタル画像処理” CG-ARTS 協会
- [11] ”MathWorks”  
<http://www.mathworks.co.jp>
- [12] ”IT用語辞典 e-Words”  
<http://e-words.jp/>

- [13] 芦野隆一”ウェーブレット解析入門”
- [14] 峰村ゼミ ”ウェーブレット変換の基礎と応用”
- [15] ”QR コードドットコム (株式会社デンソーウェーブ)”  
<http://www.qrcode.com>
- [16] ”小林クリエイト株式会社”  
<http://k-cr.jp/>
- [17] 中村高雄 ”コンテンツへのメタデータバインディングのための電子透かし技術の研究”総合研究大学院大学複合科学研究科情報学専攻
- [18] ”通信用語の基礎”  
<http://www.wdic.org/w/TECH/FeliCa>
- [19] ”Sony Japan”  
[http://www.sony.co.jp/SonyInfo/technology/technology/theme/felica\\_01.html](http://www.sony.co.jp/SonyInfo/technology/technology/theme/felica_01.html)
- [20] うちじゅう ”BMP-JPG こんばんーちゃ Ver 1.00a”  
<http://uchijyu.hp.infoseek.co.jp>
- [21] ”BMPtoPNM コンバータ Ver1.00”  
<http://members9.tsukaeru.net/daina>
- [22] 工藤敬文 ”トレース画像に対応可能な電子透かしの提案”平成 22 年度卒業論文
- [23] 屋良朝心, 山城毅 ”Wavelet 変換を用いたカラー画像電子透かし” 琉球大学工学部紀要 (69):77-84  
<http://ir.lib.u-ryukyu.ac.jp/handle/123456789/7107>
- [24] 石塚祐一, 酒井泰行, 櫻井幸一, ”ウェーブレット変換における画像への署名データの埋込み”, 電子情報通信学会論文誌,D- Vol.j79-D- No.6pp.1017-1024(1996 年 6 月)
- [25] ”武蔵システム”  
<http://musashi.or.tv/index.html>

- [26] ”愛知県総合教育センター”  
<http://www.apec.aichi-c.ed.jp/>
- [27] ”松崎公紀, 榎村雅章, 小沢慎治: ”概略図を入力とした特徴量グラフに基づく  
絵画画像検索”, ”電子情報通信学会論文誌”, Vol.J87-D-II No.2, pp.521-533, 2004  
年2月.
- [28] 金城和志, 稲葉宏幸”幾何学的に耐性を有する線画用電子透かしの提案” 情報処理  
学会論文誌 Vol46、NO.8
- [29] スコット・モスコウィッツ”電子透かし”小学館
- [30] 松井甲子雄”電子透かしの基礎”森北出版株式会社
- [31] ”村上研究室”  
<http://ipr20.cs.ehime-u.ac.jp/index.html>
- [32] ”ウィキペディア (Wikipedia)”  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/>

## 質疑応答

能登教授

Q:従来の電子透かし技術との違いは？

A:現状はないが、QRコードを画像データとして埋め込むことにより大容量を埋め込むことができ、劣化は少なくできるようになると考えている。

豊島教授

Q:埋め込み可能な容量は？

A:QRコードのサイズによる。