

# 光透かしを用いた高い秘匿性を有する符号情報の埋め込み Highly Secured Embedding of Code Information Using Illumination Watermarking

石川 安則<sup>†</sup>                      上平 員丈<sup>†</sup>                      谷中一寿<sup>†</sup>  
Yasunori Ishikawa              Kazutake Uehira              Kazuhisa Yanaka

## 1. はじめに

光透かし方式は、照明光に透かし情報を含ませることによりデジタルカメラ等の撮像手段に特別な仕掛けを必要とせず、実物体を撮影した画像データに透かし情報を埋め込むことができる技術である[2][3]。我々はこれまでに、ウェーブレット変換を利用して高い空間周波数領域に QR コードを用いて符号情報を埋め込む方式を検討し、QR コードの誤り訂正機能を用いれば、透かし埋め込み強度が低い(すなわち不可視性の高い)条件においても符号情報が100%復元できることを示した[1]。本報告では、透かし埋め込み強度と QR コードの復号率との関係を詳細に評価した結果から、光透かし方式による符号情報の埋め込みが高い秘匿性を有することを示す。

## 2. ハールウェーブレット変換による光透かし方式

ハールウェーブレット変換(以下、ハール DWT と記す)を用いて符号情報を埋め込む方法は、図1に示す通りである。1階層の多重解像度画像において LL 成分画像全体を一律な DC 値とし、生成する透かし画像の平均輝度値を与える。そして HH 成分画像には  $n \times n$  係数ごとに +HC 値または -HC 値を与える(それぞれ透かし情報"1"または"0")。HL および LH 成分画像は、すべて"0"とする。これを逆ハール DWT により空間領域に変換して再構成画像を求め照明光の画像データとする。各成分画像の画素数に対して再構成画像は縦横それぞれ2倍の画素数となる。図2は、2次元のハール DWT を示し、原画像の  $2 \times 2$  画素ブロックから LL, HL, LH, HH 成分のハールウェーブレット係数値が得られる。逆変換も同様である。ハール DWT の順変換式および逆変換式は、それぞれ式(1)と式(2)に示す簡単な一次式で表わされる。

$$\begin{aligned} w_{LL} &= \frac{1}{4}(a+b+c+d) \\ w_{HL} &= \frac{1}{4}(a-b+c-d) \\ w_{LH} &= \frac{1}{4}(a+b-c-d) \\ w_{HH} &= \frac{1}{4}(a-b-c+d) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} a &= w_{LL} + w_{HL} + w_{LH} + w_{HH} \\ b &= w_{LL} - w_{HL} + w_{LH} - w_{HH} \\ c &= w_{LL} + w_{HL} - w_{LH} - w_{HH} \\ d &= w_{LL} - w_{HL} - w_{LH} + w_{HH} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで  $n=4$  として光透かしの画像データを生成し、被写

<sup>†</sup> 神奈川工科大学, Kanagawa Institute of Technology

体に照射し撮影して得られた画像データに対して、 $8 \times 8$  画素ブロック毎にハールウェーブレット変換を施すと  $4 \times 4$  係数毎の HH 成分画像が得られる。正しく HH 成分が再生できれば"1"を埋め込んだブロックは、すべての係数値が +HC となり、"0"を埋め込んだブロックは、すべての係数値が -HC となる。しかしながら、この時被写体の持つ空間周波数成分が HH 成分を含むとその係数ブロックにはノイズが重畳され、誤った係数値が再生される可能性がある。そこで次の方法により読み出し処理を行う。まず、HH 成分画像における  $4 \times 4$  係数ブロック毎に、係数値の平均値を求める。次に求めた平均値の位相により、正值なら"1"を、そうでなければ"0"を  $4 \times 4$  係数ブロックのビット情報とする。このようにして  $4 \times 4$  係数毎の復号を行うことにより、被写体の HH 成分によるノイズの影響の低減を図る。

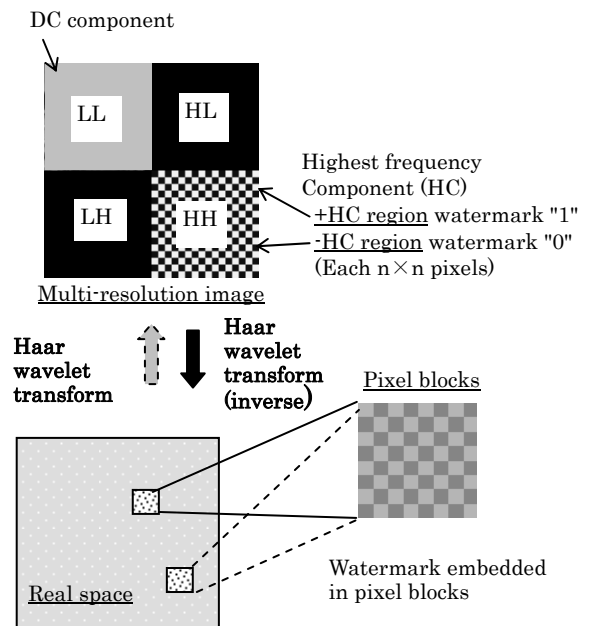


図1 光透かしの処理手順

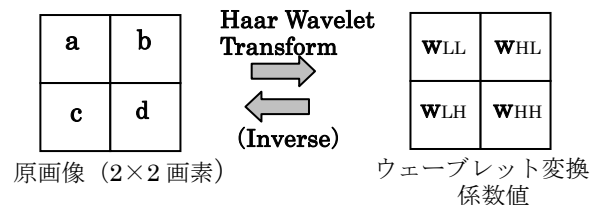


図2 2次元ハールウェーブレット変換

### 3. QRコードを用いた符号情報の埋め込み

ハール DWT を用いた光透かし方式において、HH 成分画像における  $n \times n$  係数ブロック毎に QR コードの 1 セルを割り当てれば、画像情報としての QR コードを用いて符号情報を埋め込むことができる。QR コードは、リードソロン符号による誤り訂正能力を有しており、これを用いて光透かしによる読み出し誤り耐性の評価が行える。ここでは、QR コードの 1 セルを HH 成分画像の  $4 \times 4$  係数ブロックに割り当て、白セルを +HC 値に黒セルを -HC 値に置換する。実験では、QR コードの仕様としてバージョン 3 を用いた。バージョン 3 では、 $29 \times 29$  セルの画像を用いて、誤り訂正能力としてレベル H (誤り訂正能力 30%) を用いると、バイナリデータを 24 バイト埋め込むことができる。ここではランダムな英数字 24 文字の QR コードを生成し、周囲に 3 セル幅の空白を加えることにより、HH 成分画像のサイズを  $128 \times 128$  画素とした。同じ画素サイズの LL 成分画像には DC 値を与え、HL 成分画像と LH 成分画像にはすべて "0" を与えて逆ハール DWT により  $256 \times 256$  画素サイズの光透かし画像を生成し、照明光に含ませて実験を行った。

### 4. 実験と結果の考察

本報告の実験では、DC 値を 150 に固定し HC 値を従来の実験で用いた 5, 7, 10, 15, 20, 25 の 6 つの値に加え、1, 2, 3, 4 という低い値についても評価を行い、QR コードの誤り訂正を含めた復元可能性について限界値の評価を行った。HC 値は、光透かしの埋め込み強度を制御し、透かし画像の不可視性と埋め込んだ符号情報の検出精度に影響を与えることに注意する必要がある。

実験は、被写体として SCID N2 画像のプリントを用い、生成した光透かし画像を解像度  $800 \times 600$  画素の DLP プロジェクタにより照射し、解像度  $4288 \times 2848$  画素のデジタルカメラで撮影した。照射した透かし画像のサイズは、撮影した画像データ上では、約  $1300 \times 1300$  画素であった。これを画像処理により  $256 \times 256$  画素に縮小し、ハール DWT を施して  $128 \times 128$  係数の HH 成分画像を求め、第 2 節で説明したように  $4 \times 4$  係数ブロック毎にすべての係数値の平均値を求め、その位相により埋め込んだ情報を復号する。これを QR コードのセル値とし、埋め込んだ QR コードを復元した。

次に復元した QR コードを読み取りソフト[4]を用いて復号を行った。実験を行ったすべての HC 値における評価結

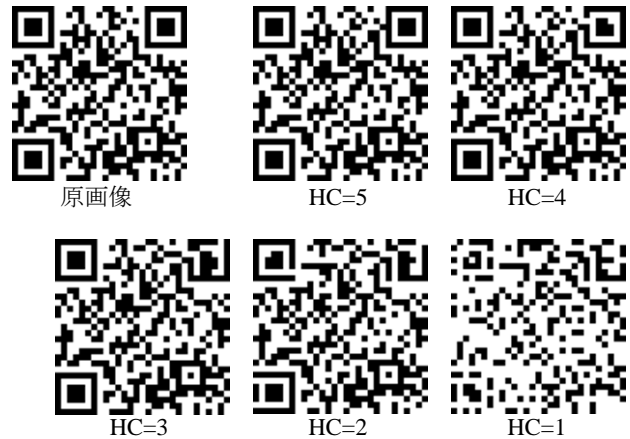


図3 実験に用いた QR コードと復元画像

果を表 1 にまとめた。ここで "Error" とは誤り率が訂正能力 (本実験では 30%) を越え復号ができなかったことを示す。すなわち、HC=3 以上の条件においては、埋め込んだ QR コードを復号できたが、HC=1 および 2 の条件では、復号することができなかった。ただし、HC 値による復号限界については、被写体画像や光透かしの照射条件、またデジタルカメラの撮影条件などにより変動すると考えられる。なお図 3 に、実験に用いた QR コードの原画像と、HC=1~5 の条件における復元画像を示す。

また、光透かしの不可視性の評価については、HC=5 以下の条件においては 2m 程度の距離からの主観評価結果によれば、非常に見えにくいという結果が得られている[3]。この結果、HC=5 以下の条件では、光透かしの埋め込みは、非常に高い秘匿性を有すると言える。

### 5. まとめ

以上述べてきたように、ハール DWT と QR コードを用いて光透かし方式により符号情報を埋め込む実験を行い、光透かしの埋め込み強度が非常に低い条件における QR コードの復号可能性について評価を行った。この結果、透かしが非常に視認しにくく秘匿性が非常に高い条件においても QR コードの誤り訂正能力を利用すれば符号情報を正しく復号可能であることが実証できた。

今後は、被写体画像や光透かしの照射条件および撮影条件など実験条件を広範囲に設定して評価を行い、検出限界の精緻化を図っていく予定である。

表 1 QR コードの復号結果  
(数値は誤り率, Error は復号できず)

HC	1	2	3	4	5
Error Rate	Error	Error	14.3%	4.3%	2.9%

HC	7	10	15	20	25
Error Rate	2.9%	0%	1.4%	0%	0%

#### 参考文献

- [1]石川安則, 上平員文, 谷中一寿, "光透かしを用いた符号情報の埋め込み", FIT 2010, I-073 (2010)
- [2]石川安則, 上平員文, 谷中一寿, "ウェーブレット変換を用いた光透かし", 2010 年画像電子学会年次大会予稿 (2010).
- [3]Y. Ishikawa, K. Uehira and K. Yanaka, " Practical evaluation of Illumination watermarking technique using orthogonal transforms", IEEE/OSA J. Display Technology, 6( 9), pp.351-359 (2010).
- [4]<http://tokasoft.matrix.jp/soft/> (2011-6-22 参照).