

光透かしを用いた符号情報の埋め込み Code Information Embedding Using Illumination Watermarking

石川 安則[†] 上平 員丈[†] 谷中一寿[†]
Yasunori Ishikawa Kazutake Uehira Kazuhisa Yanaka

1. はじめに

光透かしは、照明光に透かし情報を含ませて被写体に照射することにより、デジタルカメラ等で撮影した画像データに透かしを埋め込む技術である。これにより、美術館の古典画など従来透かしの埋め込みが困難であった被写体に透かし情報を埋め込むことができ、得られた画像データは、一般的なデジタルコンテンツに埋め込む電子透かしと同様に著作権保護や流通管理などに利用が可能となる。我々は、DCT (Discrete Cosine Transform) や WHT (Walsh-Hadamard Transform), ウェーブレット変換 (DWT) などの直交変換を用いて光透かしを生成する方式を提案してきた[1][2][3]。本報告では、光透かしへの符号情報の埋め込みに関し、誤り訂正を含めた検出率評価を行うために、DWT を用いて照明光画像への符号情報の埋め込みについて新たに試行した結果を述べる。

2. 光透かしの方式

2.1 DCT および WHT による光透かし

上記の DCT や WHT を用いる光透かし方式の提案では、空間周波数領域における係数ブロックの最高周波数成分 (HC) に符号情報を埋め込む。DC 成分には、空間領域での画素ブロックの平均値を与え、HC の位相に従って"0"または"1"の 2 値情報を埋め込み、他の AC 成分はすべて"0"とする。このとき HC の絶対値は、埋め込む透かしの強度を制御することに注意する。この係数ブロックを直交逆変換して得られた画像データを照明光に用いて撮影した画像データを直交順変換することで、HC に埋め込んだ 2 値情報を抽出することができる。被写体が有する画像情報は、低い空間周波数成分が支配的と考えられるので、HC を抽出することが可能となる。

2.2 ハールウェーブレット変換による光透かし

直交変換として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を図 1 により説明する。1 階層の多重解像度画像において LL 成分画像全体に DC 値を与え、HL および LH 成分画像は、すべて "0" 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")。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 2×2 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。例えば、 $n=4$ として光透かしの画像データを生成し (これ

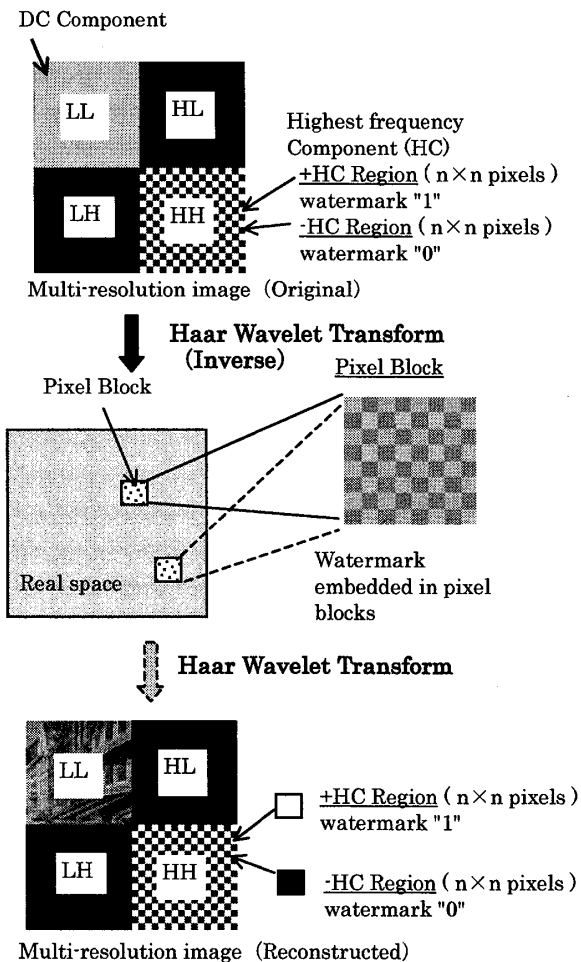


図 1 光透かしの処理手順

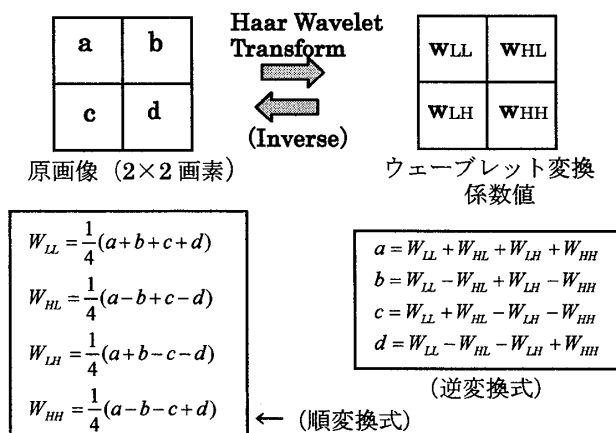


図 2 2次元ハールウェーブレット変換

[†] 神奈川工科大学, Kanagawa Institute of Technology

- ・セルサイズ：29×29セル (バージョン3)
- ・誤り訂正能力：レベルH (30%訂正能力)
- ・英数字の埋め込み数：最大35文字

図3 作成したQRコードの仕様

は同一のDC値とHC値による逆WHTを用いた画像と等価), これを被写体に照射し撮影して得られた画像データに対して8×8画素ブロック毎にハールDWTを施すと4×4係数のHH成分画像が再生できる。従ってこの方法では、光透かし領域の8×8画素ブロック毎に1ビットの透かし情報を埋め込むことができる。

3. 光透かしへのQRコードの埋め込み

画像データに符号情報を埋め込む簡易な方式としてQRコードを用いた。リードソロモン符号による誤り訂正能力を有しており、光透かしの読み出し誤り耐性の評価が行える。QRコードの1セルをHH成分画像の4×4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。実験用に作成したQRコードの仕様を図3に示す。ランダムな英数字を35文字埋め込んだQRコードを作成し、29×29セルのQRコード画像の周囲に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128×128画素とした。LL成分画像にはDC値を、HL成分画像とLH成分画像にはすべて"0"を与え(それぞれ128×128画素)、QRコードを埋め込んだHH成分画像とともに逆ハールDWTにより256×256画素サイズの光透かし画像を生成した。

4. 実験と結果の考察

SCID N2画像をプリントして被写体とし、前項で生成した光透かし画像をプロジェクタ(800×600画素のDLPプロジェクタ)により照射して4288×2848画素の解像度を有するデジタルカメラで撮影した。DC値=150とし、HC値は透かし埋め込み強度を評価するためのパラメータとし、HC=5, 7, 10, 15, 20, 25の6つの値で評価した。照射した透かし画像のサイズは、256×256画素(すなわち8×8画素ブロックが32×32=1024ブロック)であるが、撮影した画像データ上では、約1300×1300画素であった。撮影した画像データの一部を拡大した画像を図4に示す。これを画像処理により256×256画素に縮小し、ハールDWTを施して128×128係数のHH成分画像を求める(すなわち4×4係数ブロックが32×32=1024ブロック)。この時、被写体画像の持つ空間周波数成分がHH成分を含めば、その係数ブロックにはノイズが重畳される。そこで、以下の手順により読み出し処理を行った。

- (1) HH成分画像における4×4係数ブロック毎に、すべての係数値の平均値を求める。
- (2) 求めた平均値の位相により、正值なら"1"を、負値なら"0"を4×4係数ブロックのビット情報とする。

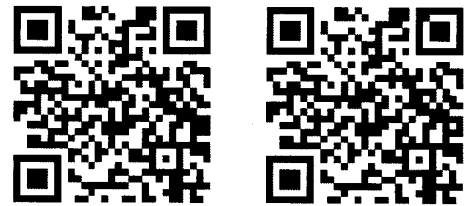
以上の手順により読み出したビット情報を2値画像データとして、埋め込んだQRコードを復元した。

復元したQRコードの画像データを読み取りソフト[4]を用いて埋め込み情報を復号した。その結果、HC=5~25のすべての条件でQRコードを誤り無く復号できた。誤り訂正率は、HC=5で1.4%、その他のHC値では、0%であった。



(HC=15、256×256画素)

図4 光透かし照射画像の一部(拡大)



(a) 原画像

(b) HC=5の復元画像

図5 使用したQRコード

なお、埋め込んだQRコードの原画像とHC=5の条件で復元したQRコードの画像を図5に示す。位置検出パターン部を含む幾つかのセルに誤りが見られることがわかる。

以上の結果から、誤り訂正を行えば光透かし画像が100%読み出し可能であることが示された。従来の直交変換を用いた実験結果からも、30%程度の誤り訂正能力があれば十分な復元能力を有すると考えられる。なお光透かしの視認性の評価については、HC=10以下では、2m程度の距離からの観察では見えにくいという主観評価結果が得られている[2][3]。

5. まとめ

ハールDWTを用いてQRコードにより符号情報を光透かしに埋め込む実験を行い、透かしが視認しにくい条件において100%符号情報を読み出し可能であることが実証できた。今回の実験では、簡便な符号情報埋め込み方式としてQRコードを用いたが、透かし埋め込みの符号化効率など必ずしも最適な方式とは言えない。実用化には、より効率的な符号化方法での評価が必要と考えられる。

参考文献

- [1]石川安則, 上平員丈, 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).
- [2]Y. Ishikawa, K. Uehira and K. Yanaka, "Illumination watermarking technique using orthogonal transforms", Proc. IAS2009(2009).
- [3]K. Uehira and M. Suzuki, "Digital watermarking technique using brightness-modulated light", Proc. ICME2008(2008).
- [4]<http://tokasoft.matrix.jp/soft/> (2010-6-27参照).