

村上 健自 上野 義人

創価大学大学院工学研究科

## 1. はじめに

電子透かしとは、デジタルコンテンツに著作者などの情報を不可視の状態で見え隠れさせる技術である。様々な電子透かしが提案されているが、本論文では、周波数領域への埋め込みであるウェーブレット変換による電子透かしを取り上げる。

ウェーブレット変換による電子透かしは、周波数領域へ変換後、中間周波数・高周波領域である MRR 成分を制御することで埋め込みを行うことが多い。他にも、DCT, DFT をもう一度施したり、スペクトル拡散を行ったり、位相パターンを埋め込んだりと様々な組み合わせによる電子透かしがある。本論文では MRR 成分を制御する電子透かしから、その問題点を示し、解決手法を提案する。

## 2. ウェーブレット変換による電子透かし

MRR 成分への電子透かしは、一般にフィルタや MRR 成分情報などで埋め込み位置を決め、偶数奇数制御などで埋め込みを行う。しかし、問題点としてアタックによって埋め込み位置を誤ることが分かっている。埋め込み位置を記憶することも可能だが、それではセキュリティが低く、アルゴリズム内で確実に埋め込み位置を確定する必要がある。そこで、アタックに強い埋め込み位置確定法を提案する。

## 3. 提案手法

埋め込み位置の誤りをなくすには、埋め込み位置を決める対象である特徴空間へのアタックの影響を減らす必要がある。通常の MRR 成分ではアタックの影響を直に受けるので、特徴空間としては使えない。そこで、広範囲の MRR 成分の分散を求め、特徴空間とすることで、アタックの影響を減少らし、さらにクラスタリングにより分類して確実に埋め込み位置を決定する方法を提案する。以下にそのアルゴリズムを示す。

- I.  $n$  回 Wavelet 変換後のウェーブレット係数  $LH_n$ ,  $HL_n$ ,  $HH_n$  を各々  $f_n(x, y)$  で表し、以下の式で特徴量を抽出する。特徴空間を  $F_n(x, y)$ 、 $N$  をフィルタの大きさとする。

$$F_n(x, y) = \sum_{i=-N}^N \sum_{j=-N}^N \frac{(f_n(x, y) - f_n(x+i, y+j))^2}{(N+1)(N+1)}$$

$$\text{ただし、} \overline{f_n(x, y)} = \sum_{i=-N}^N \sum_{j=-N}^N \frac{f_n(x+i, y+j)}{(N+1)(N+1)}$$

- II. 埋め込み位置を決定する。

特徴空間  $F_n(x, y)$  からサンプリングを行い初期クラスタを生成する。これを種子点としてウォード法によるクラスタリングを行う。ウォード法のアルゴリズムを以下に示す。

まず各クラスタの偏差平方和  $S_n$  を次式で求める。

$$S_n = \sum_{i=0}^k (F_n(i, j) - N_{cn})^2$$

ただし、 $N_{cn}$  はクラスタ内平均

次に、距離の近い3つのクラスタ  $a, b, c$  に対し、

$$\Delta S = {}_a S_n - ({}_b S_n + {}_c S_n)$$

を求め、 $\Delta S$  が最小の値を持つ2つのクラスタ（ここでは、 $b, c$ ）を融合する。クラスタリング終了条件には、 $\Delta S$  を用いる。ウォード法はクラスタ内の要素数が互いに大きくなならないという性質を持つので、埋め込み位置の分類に適している。

- III. 各クラスタの平均位置に埋め込みを行う。その際、半径  $r$  内のすべての点に同じビットを埋め込む。埋め込みは、偶数奇数制御で行う。
- IV. 逆変換を行い、画像を再構成する。
- V. 抽出は、上記の操作 I・II を実行し、クラスタ内より埋め込み情報を取り出す。その際、多数決処理により埋め込みビットを確定する。

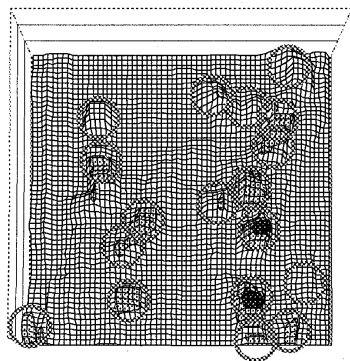


図1. HL成分からのクラスタリングによる埋め込み位置の確定

これらの操作により、確実な埋め込み及び抽出が可能になり、さらにアタック後の多少の埋め込み位置検出誤差にも対応することができる。

#### 4. シミュレーション結果

シミュレーションには 256\*256 の Lena 画像を用い、埋め込みは1回ウェーブレット後の MRR 成分である HL 成分に行なった。比較には、簡単なフィルタとしてエッジフィルタを用いて埋め込み位置の特定を行なった。なお、アタックには JPEG 圧縮を採用した。

最初に、エッジフィルタによる埋め込み位置特定の誤り率を示す。フィルタには Prewitt のエッジ検出オペレータを、エッジ認識の閾値としてはエッジ強度の中間値を用いた。エッジフィルタによる埋め込み位置誤り率は 5%、JPEG 圧縮後には 14%であった。

次に、提案手法であるクラスタリングによる埋め込み位置検出を行なった。その際、初期クラスタには、分散値の最大値を用い、上位  $M$  % の値を閾値としてサンプリングした。また、クラスタリング終了条件には  $\Delta S$  を用いて抽出

を試みた。埋め込み半径は  $r = 2$  とする。結果を表1・表2に示す。

これによって、アタック前の埋め込み位置の誤りは、場合によっては 0%となり、エッジフィルタと同程度もしくはそれ以上であることが分かった。また、アタック後は明確にエッジフィルタより誤りが少ない結果になった。

#### 5. おわりに

今後の課題として、さらに最適なクラスタリングを行い、確実な埋め込み位置確定を行うことが必要である。また埋め込み位置周辺に埋め込むとき、すべて同じビットだと見破られる可能性も高く、セキュリティの高い埋め込みを検討する必要がある。加えて、他のアタックについても評価を行いたい。

#### 参考文献

- (1) チャールズ K.チュウイ著, 桜井明, 新井勉訳, "ウェーブレット応用", 東京電機大学出版局, 1997
- (2) 松井甲子雄, "電子透かしの基礎", 森北出版, 1998

表1. 埋め込み位置誤り

M% of the peak value of the variance

	10	20	30	40	50	60	70	80	90
50	222 / 219 1.35	117 / 117 0	61 / 59 3.28	33 / 34 2.94	20 / 19 5	9 / 10 10	4 / 4 0	4 / 4 0	3 / 3 0
100	159 / 160 0.63	88 / 90 2.22	47 / 46 2.13	27 / 28 3.57	17 / 17 0	8 / 9 11.1	4 / 4 0	4 / 4 0	3 / 3 0
150	134 / 131 2.23	73 / 72 1.37	42 / 43 2.32	24 / 25 4	16 / 16 0	7 / 8 12.5	4 / 4 0	4 / 4 0	3 / 3 0
200	113 / 113 0	62 / 64 3.13	40 / 39 2.5	21 / 21 0	15 / 16 6.25	7 / 8 12.5	4 / 4 0	4 / 4 0	3 / 3 0
250	106 / 106 0	59 / 58 1.69	38 / 37 2.63	21 / 21 0	13 / 14 7.14	7 / 7 0	4 / 4 0	4 / 4 0	3 / 3 0

表2. JPEG 圧縮後の埋め込み位置誤り

M% of the peak value of the variance

	10	20	30	40	50	60	70	80	90
50	222 / 210 5.41	117 / 106 9.4	61 / 57 6.56	33 / 31 6.06	20 / 18 10	9 / 8 11.1	4 / 4 0	4 / 4 0	3 / 3 0
100	159 / 146 8.17	88 / 81 7.95	47 / 46 2.13	27 / 27 0	17 / 17 0	8 / 8 0	4 / 4 0	4 / 4 0	3 / 3 0
150	134 / 123 8.21	73 / 68 6.85	42 / 37 11.9	24 / 24 0	16 / 15 6.25	7 / 7 0	4 / 4 0	4 / 4 0	3 / 3 0
200	113 / 111 1.77	62 / 63 1.59	40 / 37 7.5	21 / 22 4.55	15 / 13 13.3	7 / 7 0	4 / 4 0	4 / 4 0	3 / 3 0
250	106 / 105 0.94	59 / 54 8.47	38 / 33 13.16	21 / 21 0	13 / 12 7.69	7 / 7 0	4 / 4 0	4 / 4 0	3 / 3 0

a / b
c

- a: 埋め込んだ bit 数 (=クラスタ数)  
b: 抽出した bit 数  
c: 誤り率 (%)