

特徴空間のクラスタリングにより埋め込み位置選択を行う電子透かし

村上 健自 上野 義人

創価大学工学部

八王子市丹木町 1-236 創価大学工学部上野研究室

Tel: 0426-91-9427

E-mail: kenji@wwwueno.t.soka.ac.jp, ueno@iss.soka.ac.jp

あらまし ウェーブレット変換による電子透かしにおいて、誤り率を減らす方法を提案する。ウェーブレット変換による電子透かしでは、周波数成分へのエッジフィルタやMRR成分情報から埋め込み位置を求める。しかし、埋め込み後やアタックを受けた後は、周波数成分が変化し埋め込み位置を誤ってしまう。そこで、周波数成分からより強い特徴空間を作成し、埋め込み位置を求めることで誤りを減らす方法を提案する。さらに、クラスタリングを行うことよって特徴空間を分類することで、確実に埋め込み位置を求める。埋め込みは、重心位置を中心として複数埋め込むことにより、抽出時のずれの修正に用いる。

キーワード 電子透かし、ウェーブレット変換、クラスタリング、静止画像

A Digital Watermark using Clustering and Multiresolution Analysis of Image with Wavelet Transform

Kenji Murakami Yoshito Ueno

Faculty of Engineering, Soka University.

1-236, Tangi-cho, Hachioji city, Tokyo 192-8577, Japan

Tel: 0426-91-9427

E-mail: kenji@wwwueno.t.soka.ac.jp, ueno@iss.soka.ac.jp

Abstract Conventional watermarking using wavelet transform may be very weak against alteration attack of malicious users because of inaccurate detection of the embedded position. Therefore, we propose a new algorithm to detect the embedded position precisely. Our method is capable to detect the embedded watermark accurately by means of clustering the substantial characteristic of multi resolutional representation with the wavelet transform after applying the appropriate filter and getting their variance.

key words Digital Watermark, Wavelet Transform, Clustering, Image

1. はじめに

様々なメディアにおいてデジタル化の進む現在、その著作権をいかに保護していくかが課題である。デジタルコンテンツは、簡単に複製可能で、オリジナルとの区別が難しい。そのため、不法に使われた場合、そのコンテンツに対する著作権を主張しても、何らかの証拠がない限り決定力に乏しく、認められないことが多いのである。また、最近では、ネットワーク環境や圧縮技術の向上により、デジタルコンテンツが不法に配布・取引されるなどの問題も起きている。そこで、デジタルコンテンツに、著作権を主張するための情報を埋め込んでおこうと考えたのが電子透かしである。これによって、必要ときに自分だけの持つ鍵でデジタルコンテンツから情報を取り出し、著作権を主張することができる。

さらに、著作権の保護には、電子透かしだけでなく、デジタルコンテンツを扱うシステム内での保護も考える必要がある。一例を挙げると、ネットワーク上においては、メディア配信に ID などを埋め込んで使用したり、ブラウザに著作権保護システムを組み込んだり、エージェントでコンテンツを管理したり、また CD や DVD などのメディア媒体では、媒体そのものにコピープロテクトを施したり、再生・録音機器に複製できないような機能を持たせたりと、様々な方法が考えられている。これらの中には電子透かしを併用するものも多く、著作権保護のための技術として電子透かしは重要である。

電子透かしを用いて、情報をデジタルコンテンツに埋め込むことは簡単である。しかし、不可視の状態に埋め込まれた電子透かしは、その性質上、画像処理などのアタックに弱く、埋め込んだ情報が消えやすい。これまで提案されている電子透かしは、それぞれ一長一短があり、すべてのアタックに強い電子透かしはまだ存在しない。よりアタックに強い電子透かしが求められる。そこで、本論文では電子透かしにおける問題点をあげるとともに、その問題点のひとつである埋め込み位置誤りを解決する方法を提案する。

2. 電子透かし

電子透かしを分類すると、大きく 2 種類に分かれる。ひとつは、著作者情報画像として、なんらかのマーク(画像)を画像全体に埋め込む方法であり、もうひとつは、ビット情報として指定された場所に埋め込む方法である。前者は、主に画素値および輝度成分に埋め込まれることが多く、埋め込まれた情報を視覚による判断で認識可能である。この方法は、フィルタやノイズ等のアタックによる影響を受けにくいのが特徴である。しかし、埋め込み場所が特定

されやすく、書き換えられる可能性が高い。後者は、周波数成分上に埋め込むことが多く、前者より埋め込み場所が特定されにくいという特徴をもつ。アタックに対する強さは、それぞれの方式ごとに異なるが、一般に透かしの強さとトレードオフの関係にある。また、さらに細かく分類すると、様々な方式に分けられるが、基本的な特徴はこの 2 種である。

これからの電子透かしを考えると、画像の保存形式と同様に多様化すると予想できる。CPTWG(Copy Protection Technical Working Group)^[1]による標準化も進められているが、それぞれの場所で、システムに適した電子透かしが用いられる。例えば、MPEG や JPEG では DCT による埋め込み、MPEG7 や JPEG2000 では Wavelet による埋め込みというように、画像保存形式や圧縮の過程での埋め込みが効率的である。各方式でアタックに強い透かしが求められるため、これまでの方式の問題点をひとつひとつ解決し、透かし情報の誤り率の向上、アタックへの耐性を高めていく必要がある。

そこで、まず主な方式をあげ、どのような問題点があるかを以下に示す。

① 画素値への電子透かし

透かし情報は、主に画素値の下位ビットに埋め込まれる。下位ビットはノイズのようなものであり、透かし情報と入れ替えても画像への影響は少ない。しかし、アタックによってその情報が変わりやすく、ビット情報を埋め込むには適さない。最近では、ビット変化に対応できる埋め込み方法がある。

② 離散コサイン変換による電子透かし

DCT は MPEG, JPEG に用いられる周波数変換であり、透かし情報はビット情報として各ブロックの DCT 成分に数値制御で埋め込まれる。特に、量子化後の DCT 成分がよく用いられる。埋め込み場所としては、DC 成分、低周波数・中間周波数成分があげられる。また、ブロック化ひずみが現れやすいことが特徴である。

③ 離散フーリエ変換による電子透かし

よく周波数解析に用いる変換で、透かし情報はビット情報としてパワースペクトルや位相を制御することで埋め込まれる。また、実数・虚数成分の制御による埋め込みも試みられているが、あまりよい結果が得られていない。DCT などと同様に、スペクトル拡散を応用することで、画像全体および部分に情報を拡散させ、抽出時の誤りを減らすことができる。

④ 離散ウェーブレット変換による電子透かし

ウェーブレット変換は、周波数領域をオクター

分割し階層的に解析することが可能である。透かし情報はビット情報および画像として、高周波数成分、および中間周波数成分に埋め込まれる。埋め込み場所は、DCTやDFTのようにブロック単位ではなく、周波数成分情報やエッジフィルタなどによる特徴量から埋め込み位置を決定する。しかし、アタックによって埋め込み位置を誤る可能性がある。

また、全体的な問題として、数値制御による埋め込みではアタックに弱いことが知られている。そのため、画像情報から統計情報を抽出し閾値を決定したり、パターンを埋め込んだりと解決方法が提案されている。

このように、方式によって様々な問題があるが、本論文ではビット情報を埋め込む電子透かしの方式であるウェーブレット変換による電子透かしに注目する。この方法は、埋め込み位置選択の自由度が高く、ブロック化ひずみもないことが特徴である。そこで、一般的なウェーブレット変換における電子透かしの挙げると共に、その問題のひとつである埋め込み位置誤りについて解決方法を提案し、電子透かしの性能の向上を図る。

3. ウェーブレット変換による電子透かし

まず、最初に一般的なウェーブレット変換による電子透かしの流れを示す。(図1参照)

- 1) 画像に対しウェーブレット変換を行う。ウェーブレット変換には、ウェーブレット関数とスケールリング関数で構成される2次元フィルタバンクを用いる。2次元とは、水平方向へのフィルタバンクおよび垂直方向へのフィルタバンクを指す。

$$\text{ウェーブレット関数} : \psi_{n,m} = 2^{-n/2} \psi(x-m)$$

$$\text{スケールリング関数} : \varphi_{n,m} = 2^{-n/2} \varphi(x-m)$$

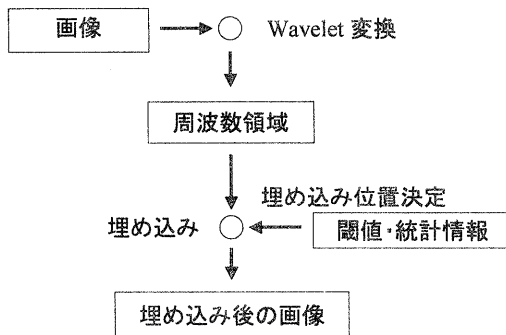


図1. 一般的なウェーブレット変換による電子透かし

ここでは、ウェーブレット変換に簡単なハール基底を採用する。ハール基底におけるウェーブレット関数、スケールリング関数は以下の通り。

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x < 1 \\ 0 & \text{others} \end{cases}$$

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x < 1/2 \\ -1 & 1/2 < x < 1 \\ 0 & \text{others} \end{cases}$$

- 2) 変換により周波数領域は MRA (LL 成分) と MRR (LH, HL, HH 成分) に分割される。一般に透かしの埋め込みは高周波である MRR 成分に行う。MRR 成分を $f(x,y)$ とすると $f(x,y) \neq 0$ である場所に埋め込みを行わないと画像への影響が大きい。そのため、LL 成分へのエッジフィルタ適用や MRR 成分情報への閾値処理により埋め込み位置を決定する。また、埋め込み情報を $w(i)$ とすると、埋め込みは次のように行う。

$w(i)=1$ のとき、 $f(x,y)$ を奇数に変更

$w(i)=0$ のとき、 $f(x,y)$ を偶数に変更

また、透かしの強度を上げるには、重み付けした上での偶数奇数制御となる。重み2の場合は以下ようになる。

$w(i)=0$ のとき、 $f(x,y)/2$ が偶数になるように $f(x,y)$ を変更

- 3) 埋め込み後、逆ウェーブレット変換を行い、画像を再構成する。
- 4) 透かし情報の抽出は、埋め込んだときと同様の方法で埋め込み位置を確認し、成分情報が偶数か奇数かで0, 1を判断する。

このウェーブレット変換における問題のひとつは、2章で述べたように埋め込み位置を誤るところにある。埋め込み場所をあらかじめ決めておくことも可能であるが、画像によって埋め込み可能な場所が変わるためその情報を付加情報としてもたなければならない。ヘッダー領域などへの透かしのための付加情報の書き込みは最小限度であることが望ましい。また、鍵などを用いて埋め込み場所を特定する方法も考えられるが、目的の場所を特定するような有効な鍵は見つかっていない。透かしの誤り率を減らすためには、まずこの埋め込み位置誤りから解決する

必要がある。

そこで、解決方法を述べる前に、エッジフィルタによる誤り率がどのくらいであるかを示す。Lena 画像 (24bit Color, Size: 256×256) に対しウェーブレット変換を行い、輝度の LL 成分にエッジフィルタをかけ埋め込み位置を決定し、埋め込みを行った。エッジフィルタには、図 2 の Prewitte のエッジ検出オペレータを用い、エッジ強度の平均値を閾値として誤り率を調べた。また、さらにアタックとして JPEG 圧縮を施し同様に調べた。その結果を以下に示す。

$$h_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad h_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

図 2. Prewitte のエッジ検出オペレータ

エッジフィルタによる抽出時の誤り率

埋め込み後の抽出	5%
JPEG アタック後の抽出	15%

この結果がすべての画像に当てはまるとはいえないが、エッジフィルタによる誤りは、誤り率を増加させる要因のひとつである。特に、アタック後の誤り率が高いことが分かる。ビット情報を埋め込む電子透かしとしては、誤り率が 0% であることが望ましく、誤り率を増加させる要因を改善していく必要がある。

4. 埋め込み位置を考慮したウェーブレット変換による電子透かし

埋め込み位置誤りの要因は、埋め込み位置を検出する特徴量 (上記の方法ではエッジ強度) が、アタックにより変化してしまうことにある。そのため、どうしても閾値処理による埋め込み位置決定では、閾値前後の値で誤った認識をする。これを改善するには 2 つの方法がある。ひとつは、閾値を統計量などから可変的に決定する方法。もうひとつは、埋め込み位置をより強い特徴を示す空間から選択する方法である。本論文では後者を選択し、さらに特徴空間からの閾値処理だけでなく、それを分類することで確実な埋め込み位置選択を可能にする。そこで、図 3 のような流れで埋め込みを行う電子透かしを提案する。

以下より、各フェーズについて説明する。

4.1. 特徴量の抽出

ウェーブレット変換を行った後、MRR 成分に対し

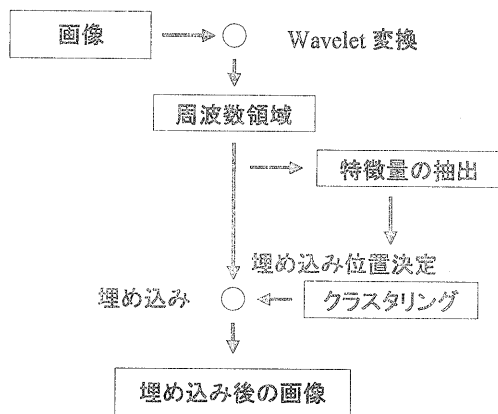


図 3. 埋め込み位置を考慮した電子透かし

各ベクトル値における分散を、次式を用いて画像全体を走査する。

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

これにより、ある MRR 成分 $f(x, y)$ を中心とした $(2M+1) \times (2N+1)$ 領域の分散を求め、より強い特徴空間を形成することができる。Lena 画像における HL 成分を図 4 に、分散値による特徴空間を図 5 のグラフに示す。

これらより、分散値による特徴空間は、通常の HL 成分より変化が激しく、所々でピークが見られることが分かる。

4.2. クラスタ分析

特徴空間を閾値だけで埋め込み位置を決定する方法では、どんなに特徴空間を強くしても、同様に誤りが起きる可能性がある。そこで、ある閾値で分散値をサンプリングし、クラスタリングにより分類することで埋め込み位置を決定する。これにより、埋め込み場所を確実に決定する。今回、クラスタリングにはウォード法を用いた。このクラスタリング手法は、クラスタの結合に重心からの標準偏差を利用する方法で、今回のようにサンプルがほぼまとまった集団を形成すると予測できる場合は有効な方法である。なお、クラスタリング終了条件には、クラスタ数ではなく、結合条件である標準偏差 $\Delta S = S_{new} - (S_a + S_b)$ を用いる。

4.3. 埋め込み

埋め込みは、クラスタリングにより求めた重心

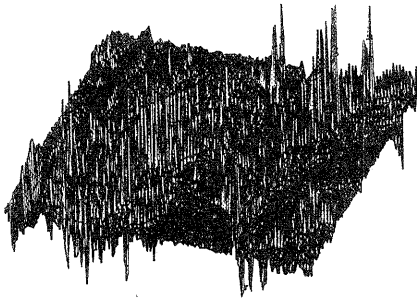


図 4. HL 成分

位置を中心に行う。その際、半径 R の距離にある領域にも同様の埋め込みを行い、抽出時の誤り訂正に用いる。なお、埋め込みは偶数奇数制御で行う。ただし、 R は隣のクラスタと隣接しないためにも ΔS より小さい値である必要がある。

4.4. 抽出

抽出は、同様の処理の後、クラスタの重心から同じく半径 R の領域を参照し、多数決処理にて行う。これは、埋め込み位置特定のずれを回避するためである。

5. シミュレーション 1

まず、分散値による特徴空間がどのくらい強いかを調べる。そこで、アタック後の分散値との相関係数を調べ、比較する。アタックには、様々なものがあるが画像処理の中から 5 つを選択し、シミュレーションを行った。ここでのアタックは、シャープ、ぼかし、JPEG 高圧縮・標準圧縮、ノイズ付加、明るさの減少とする。なお、アタックは市販の PhotoShop で処理を行った。表 1 には各アタック後の特徴空間の相関係数を示す。

この結果、相関係数は最低でも 0.89 であり、かな

表 1. アタック後の特徴空間の相関係数

アタック	相関係数
シャープ	0.9687
ぼかし	0.8901
ガウスノイズ(量10)	0.9965
JPEG高圧縮	0.9941
JPEG標準圧縮	0.9967
明るさ(-25)	0.9954

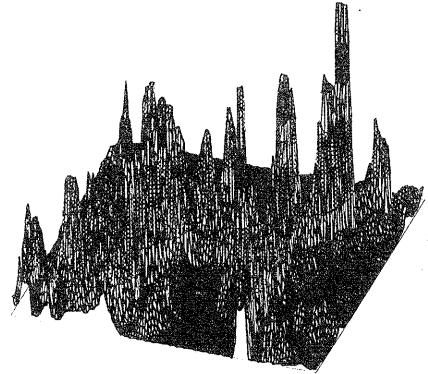


図 5. 分散値による特徴空間

りの相関がある。これにより、アタック後も変わらない特徴空間であることが分かる。

ここで、相関の最も低いぼかし後の特徴空間を図 6 に示す。図 5 と図 6 を比べても、特徴の強度に差はあるものの、ピークの場所がほとんど変わらず存在することが分かる。

6. シミュレーション 2

図 3 の流れで埋め込みを行う。今回は、Lena 画像 (24bit Color, Size : 256×256) に対し、輝度値成分に埋め込みを行った。埋め込みビットは、ランダムに 0, 1 を選択する。ここでは、特徴空間である分散値は $N, M = 2$ で求め、クラスタリングにおけるサンプリング閾値と、クラスタ終了条件である標準偏差とを変化させてシミュレーションを行った。なお、埋め込み半径は $R = 2$ とする。埋め込み後の誤り率を表 2 に示す。さらに、アタックとして JPEG 高圧縮を行った結果を表 3 に示す。

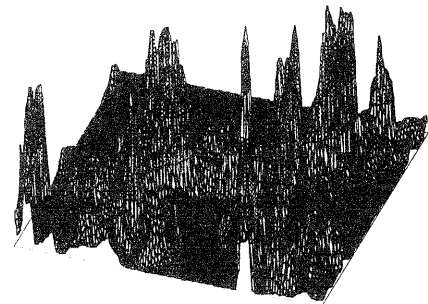


図 6. ぼかし後の分散値による特徴空間

表 2. 埋め込み後の誤り率

分散値からのサンプリング閾値(分散値の最大を100とする)

ΔS	10		20		30		40		50		60		70	
	50	222 / 219	117 / 117	61 / 59	33 / 34	20 / 19	9 / 10	4 / 4	1.35	0	3.28	2.94	5.00	10.00
100	159 / 160	88 / 90	47 / 46	27 / 28	17 / 17	8 / 9	4 / 4	0.63	2.22	2.13	3.57	0	11.10	0
150	134 / 131	73 / 72	42 / 43	24 / 25	16 / 16	7 / 8	4 / 4	2.23	1.37	2.32	4.00	0	12.50	0
200	113 / 113	62 / 64	40 / 39	21 / 21	15 / 16	7 / 8	4 / 4	0	3.13	2.50	0	6.25	12.50	0

表 3. JPEG 圧縮後の誤り率

分散値からのサンプリング閾値(分散値の最大を100とする)

ΔS	10		20		30		40		50		60		70	
	50	222 / 210	117 / 106	61 / 57	33 / 31	20 / 18	9 / 8	4 / 4	5.41	9.40	6.56	6.06	10.00	11.10
100	156 / 146	88 / 81	47 / 46	27 / 27	17 / 17	8 / 8	4 / 4	8.17	7.95	2.13	0	0	0	0
150	134 / 123	73 / 68	42 / 37	24 / 24	16 / 15	7 / 7	4 / 4	8.21	6.85	11.90	0	6.25	0	0
200	113 / 111	62 / 63	40 / 37	21 / 22	15 / 13	7 / 7	4 / 4	1.77	1.59	7.50	4.55	13.3	0	0

a / b
c

- a: 埋め込み数
- b: 抽出数
- c: 誤り率

これらの結果より、埋め込み後の誤り率はほぼ 0% から 5% であり、エッジフィルタより有効であることが分かった。また、JPEG 圧縮後は、ほとんどが 10% 以内に収まっており、同じくエッジフィルタより誤り率が改善されることが分かった。

7. 今後の課題

強い特徴空間から埋め込み位置を求めることで、誤り率は多少改善された。しかし、確実に 0% で抽出できるとはいえない。今後は、クラスタリング時のサンプリング閾値および終了条件の値の決定方法を探るとともに、埋め込み位置決定に重心のみではなく、分散値の強さも考慮に入れることによりさらに誤り率を減らしていく。また、埋め込みについてもより強い埋め込み方法、そして、より多くの情報を埋め込む方法を検討する。

参考文献

- [1] <http://www.dvcc.com/cptwg/>
- [2] チャールズ K. チュウイ著 / 桜井明・新井勉訳: ウェブレット応用、東京電機大学出版局、1997
- [3] 松井甲子雄: 電子透かしの基礎—マルチメディアのニュープロテクト技術、森北出版、1998