

## QMF を用いた電子透かしの提案

安田 咲子      岡本 栄司      阿部 亨  
北陸先端科学技術大学院大学

近年、インターネットおよびデジタル AV 機器の普及により、誰にでも簡単にデジタル著作物を複製することが可能となった。これに伴い、著作物の著作権を巡っての問題が発生しつつある。これに対し、著作権保護の目的で、画像中に別の画像を隠蔽する電子透かし技術について最近研究が行われている。この中でも、画像の周波数領域に透かし情報を隠蔽する方式は、透かし情報の除去が困難であり安全性が高い。しかしこのとき、安全性と画質とのトレードオフが問題となり、そのために透かし情報を特定の周波数帯域に正確に埋め込むフィルタを考える必要がある。そこで本稿では、周波数分離特性の優れたフィルタである QMF を用いた電子透かし隠蔽法を提案し、その安全性と画質の関係を計算機実験により検証する。

## A Method for Hiding Watermark with QMF

Sakiko YASUTA      Eiji OKAMOTO      Toru ABE  
Japan Advanced Institute of Science and Technology

In recent years, the progress of Internet and digital AV equipment makes copying of digital contents easy. From this reason, copyright troubles have become a subject of discussion. In order to protect the copyright of digital contents, watermark techniques that hide the copyright information into an image are researched. Especially the method that hides watermark into the frequency domain of an image has the high security, because it is difficult to remove the copyright information from the watermarked image. In this method, a trade-off between the security and the quality of the image comes into problem. In this article, we propose a novel method for hiding watermark with QMF, and evaluate the security and the quality of the proposed method.

### 1 まえがき

近年、インターネットおよびデジタル AV 機器の普及により、誰にでも簡単にデジタル著作物を複製することが可能となった。これに伴い、著作物の著作権を巡っての問題が発生しつつある。これに対し、著作権保護の目的で、画像中に別の画像を隠蔽する電子透かし技術について研究が行われている。

電子透かし技術の方式は大きく2つに分けることができる。1つは画素の標本値に直接透かし情報を埋め込む方式であり、もう1つは画像データを変換し画像の周波数領域に透かし情報を埋め込む方式である。例えば前者では、輝度値が高い画素の近傍にある輝度の低い画素は見え難いというマスキング効果を利用したものや、画像データを小ブロックに分割し透かし情報を埋め込む手法などが提案されている。また後者では、DCT やウェーブレット変換を用いたものが提案されている。DCT やウェーブレット変換はデータの圧縮技術と関連が深く、圧縮技術は画像データとは切り離せないものと考えられるため、画像の周波数領域に透かし情報を埋め込む方式は今後ますます重要になるものと予想される。

周波数領域への変換手法として有名なものとして DCT が挙げられるが、DCT にはブロック歪みやモスキート雑音が生じやすいという欠点がある。そこで、次世代符合化として有望なサブバンド符合化を用いた透かし情報の埋め込み手法が検討されている。大西らは [3]、原画像を1度ウェーブレット変換し、その高周波帯域に透かし情報を埋め込む手法を提案している。これに対し石塚ら [2] は、原画像を1度ウェーブレット変換し、得られた低周波帯域を再度ウェーブレット変換し、そのなかの高周波帯域に透かし情報を埋め込む手法を提案している。この手法では、大西らの手法よりもより低周波帯域に情報を隠蔽することになるため、透かし情報を除去し難くなるとしている。

これらの手法では、DCT を用いるとブロック歪みが生じる等の問題を解消するために Haar 基底ウェーブレット変換を用いており、この点では、他のサブバンド符合化法を用いても同じ効果があるといえる。それならば、周波数帯域を急峻に分割できるフィルタを用い、透かし情報を特定の周波数帯域に正確に埋め込んだ方が、局所的に情報が埋め込まれるため、透かしを埋め込んだ画像の品質の劣化が少ないのではないかと予想される。そこで本稿では、周波数帯域を急峻に分割できる QMF(Quadrature Mirror Filter) を用い電子透かしを画像中に埋め込む手法を提案し、その安全性と画質の関係を実験により検証する、

## 2 QMF を用いた透かし埋め込み法

### 2.1 QMF

サブバンドフィルタの一つである QMF(Quadrature Mirror Filter) は、周波数分離特性に優れているフィルタである [5]。サブバンドフィルタの原理を図 1 に示す。

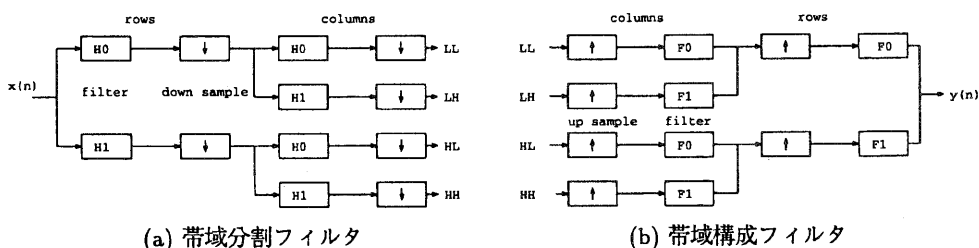


図 1: サブバンドフィルタを用いた帯域分割・帯域構成

画像を各周波数帯域に分割する場合は、図 1(a) に示す帯域分割フィルタを用いる。まず入力画像  $x(n)$  を水平方向に走査して高域通過フィルタ  $H_0$ 、低域通過フィルタ  $H_1$  に通し、画像の水平方向の低周波帯域と高周波帯域に分割する。次に、それぞれの画素を 2 対 1 の割合で間引く (down sample)。さらに、これにより得られた画像を垂直方向に走査して同じく  $H_0$ 、 $H_1$  に通し、それぞれの画素を 2 対 1 の割合で間引く。以上の処理により入力画像は、水平垂直両方向に低周波帯域を持つ LL 画像、垂直方向には高周波帯域を持つ LH 画像、水平方向には高周波帯域を持ち垂直方向には低周波・高周波帯域をそれぞれ持つ HL、HH 画像に分割される。また、さらに各周波数帯域を引続き分割する処理を行うことで、より局所的な周波数帯域を求めることができる。

各周波数帯域の情報から原画像を構成する場合は、図 1(b) に示す帯域構成フィルタを用い分割とは逆の処理を行う。まず、各帯域の成分を垂直方向に走査し、各画素に対し値 0 の画素を付加して (up sample)、これを再構成フィルタ  $F_0$ 、 $F_1$  に通す。水平方向にも同様の処理を施すことにより画像  $y(n)$  を再構成する。

サブバンドフィルタでは、分割・構成フィルタの伝達特性により、種々のフィルタが構成され得る。QMF バンクでは、各フィルタは以下のように関係づけられている。

$$H_1 = H_0(-z), F_0(z) = H_1(-z), F_1(z) = -H_0(-z) \quad (1)$$

上式の関係から、QMF バンクにおいて独立なフィルタは  $H_0$  のみであり、他のフィルタはすべて  $H_0$  を用いて表現できることが分かる。

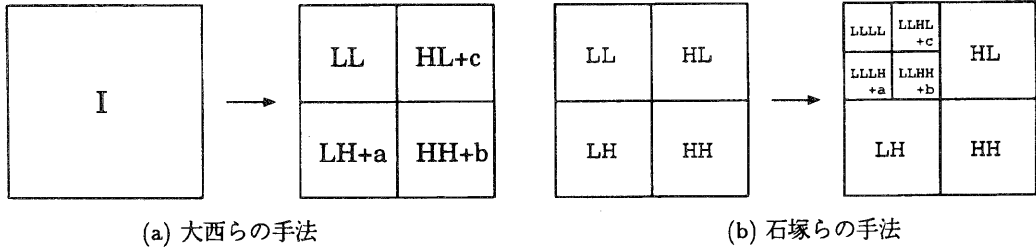


図 2: サブバンドフィルタを用いた透かし埋め込み法

## 2.2 透かし埋め込み法

サブバンドフィルタを用いた透かし情報の埋め込み法を図 2 に示す。

大西らは、図 2(a) に示すように、原画像  $I$  をウェーブレット変換により各周波数帯域に分割し、得られた LH, HL, HH の 3 つの帯域に透かし情報として任意の値  $a, b, c$  を加え、これにウェーブレット逆変換を施すことで、画像の高周波数帯域に透かし情報を埋め込む手法を用いている。透かし情報の再生は、透かしが隠蔽された画像を各周波数帯域に分割し、その周波数分割画像と原画像の周波数分割画像との差分を求めることにより行う。

これに対し石塚らは、図 2(b) に示すように、一度ウェーブレット変換された画像である LL をさらに再帰的に周波数分割し、得られた LLLH, LLHL, LLHH に透かし情報を加えることで、より局所的な周波数帯域に透かし情報が隠蔽できる手法を用いている。

ウェーブレット変換の代わりに QMF を用い原画像を各周波数帯域に分割した場合も、これらの埋め込み手法は同様に適用することができる。

なお本実験ではウェーブレット変換の場合、 $2 \times 2$  画素の block ごとに帯域分割・構成を行ない、QMF の場合は画像全体において図 1 の手順を踏み、帯域分割・構成を行なった。

## 3 実験

ウェーブレット変換を用い原画像を各周波数帯域に分割し透かし情報を埋め込んだ場合と、より急峻な周波数分割特性をもつ QMF (32tap, インパルス応答を表 1 に示す) を用いた場合について、その画質・安全性を比較評価する実験を行った。

実験用の原画像として  $512 \times 512$  画素、1 画素 8bit の濃淡画像を、透かし情報として計  $1024 \times 3 = 3072$  bit (全 bit 値は 1) を用いた。原画像中ランダムに選択した 1024 箇所、2.2 節に述べた方法により帯域分割を行い  $a, b, c$  を各 1bit として 3 つの帯域に透かし情報を埋め込むことにする。

n	インパルス応答						
0	0.000691058	8	-0.004187483	16	0.466405300	24	0.017981450
1	-0.001403793	9	-0.031238620	17	0.128557900	25	-0.000130386
2	-0.001268303	10	0.014568440	18	-0.099802430	26	-0.009458318
3	0.004234195	11	0.052947450	19	-0.039348780	27	0.001414246
4	0.001414246	12	-0.039348780	20	0.052947450	28	0.004234195
5	-0.009458318	13	-0.099802430	21	0.014568440	29	-0.001268303
6	-0.000130386	14	0.128557900	22	-0.031238620	30	-0.001403793
7	0.017981450	15	0.466405300	23	-0.004187483	31	0.000691058

表 1: 32tap QMF のインパルス応答

画質を評価する場合は、次式で定義される PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) を評価値として用いた。

$$\text{PSNR} = 20 \log_{10} \left( I_0 / \sqrt{\xi} \right) \text{ [dB]} \quad (2)$$

ここで、 $I_0$  は各画素のとり得る輝度レベルの幅を、 $\xi$  は変換画像と原画像との平均 2 乗誤差を表す。

### 3.1 実験 1: QMF により高周波帯域に透かし情報を埋め込んだ場合

原画像を QMF により低周波帯域と高周波帯域に分割し、高周波帯域 (LH, HL, HH) に透かし情報を埋め込む実験を行なった。この手法は、画像の高周波帯域を削除したり、書き換えることにより透かし情報を除去しても画質の劣化があまり目立たないため、安全性が低いという欠点がある。

高周波帯域に透かし情報を埋め込んだ画像を図 3(a) に示す。また、高周波帯域に透かし情報を埋め込んだ場合、高周波帯域を除去することによって、透かし情報を削除することができる。図 3(a) から高周波帯域を除去し透かし情報を削除した画像を図 3(b) に示す。

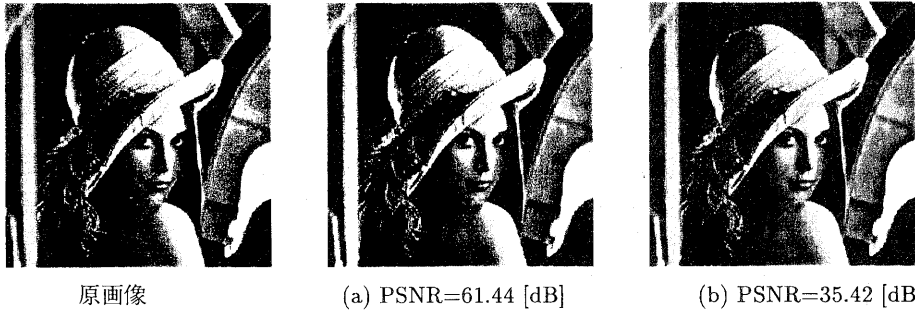


図 3: QMF により高周波帯域に透かし情報を埋め込んだ画像 (a) と、高周波帯域を除去した画像 (b)。

### 3.2 実験 2: QMF により中間波帯域に透かし情報を埋め込んだ場合

原画像を QMF により低周波帯域と高周波帯域に分割し、さらに低周波帯域 (LL) を再帰的に分割する。得られた低周波帯域内の高周波帯域 (LLLH, LLHL, LLHH: 中間波帯域と呼ぶことにする) に透かし情報を埋め込む実験を行なった。中間波帯域に透かし情報を埋め込む場合、これを取り除くために中間波帯域を削除したり、情報を書き換えたりすると画質の劣化が著しいため、安全性は高いと言える。また画像を圧縮した場合にも透かし情報が除去されないという利点がある。

中間波帯域に透かし情報を埋め込んだ画像を図 4(a) に示す。また、透かし情報を除去するために、この中間波帯域までの成分 (中間波帯域と高周波帯域) を除去した画像を図 4(b) に示す。

実験 1 の結果と比べて、中間波帯域に透かし情報を埋め込むことにより、画質の劣化が大きくなることが PSNR の値からも分かる。しかし透かし情報の除去のために、中間波帯域まで削除した画像は視覚的にも明かに画質が悪いため、改竄が困難である。このことを考慮すると、簡単に透かし情報を除去されないために、低周波側に透かし情報を隠蔽したほうが良いといえる。

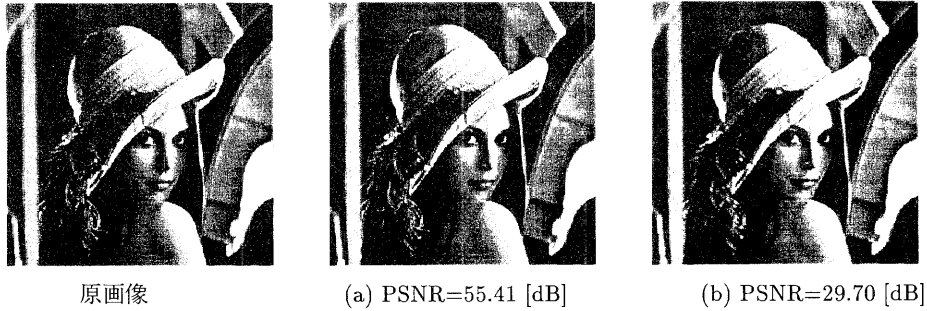


図 4: QMF により中間波帯域に透かし情報を埋め込んだ画像 (a) と, 中間・高周波帯域を除去した画像 (b).

### 3.3 実験 3: ウェーブレット変換を用い帯域分割を行った場合

実験 1, 2 と, ウェーブレット変換を用い帯域を分割し透かし情報を埋め込む従来法との, 画質の劣化の度合の比較を行なった. なお, 透かし情報を埋め込んだ箇所及び bit 数は, 実験 1, 2 の場合と同様である. 実験結果を図 5 に示す.

この結果より, QMF を用い帯域分割を行い透かし情報を埋め込んだ方が, ウェーブレット変換を用いて透かし情報を埋め込むよりも, わずかではあるが画質の劣化は少ないことが分かった.

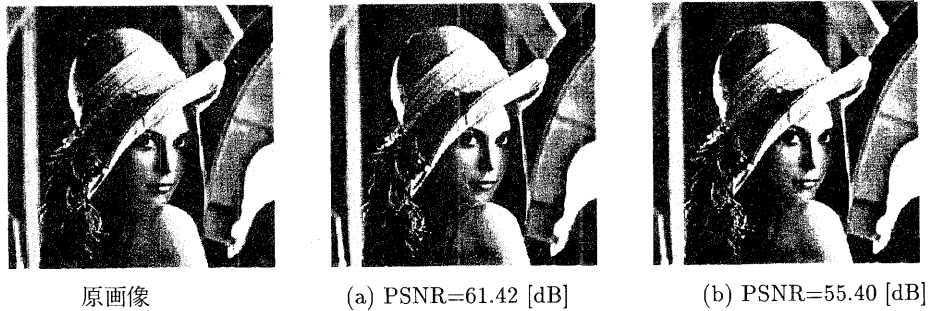


図 5: ウェーブレット変換により透かし情報を高周波帯域に埋め込んだ画像 (a) と, 中間波帯域に埋め込んだ画像 (b).

### 3.4 考察

以上の実験結果より, 画像の劣化を押さえ, より改竄に強い透かし情報の埋め込み法を実現するためには, 画像中のより低周波側の帯域に情報を隠蔽した方が良いといえる. また, 帯域分割に際し, QMF を用いた場合と Haar 基底ウェーブレットを用いた場合では, QMF を用いた方が画質の劣化が少ないことが分かった.

一般に周波数変換技術を用いる場合において, 全体の隠蔽する情報の総量を変えずに, 情報を埋め込む場合, 透かし情報の改竄のしにくさと, 埋め込み後の画質には必ずトレードオフが存在するという束縛があることが知られている. この束縛のなかでわずかな差異ではあるが, 画質の劣化を押えられたことは, 特に画像中の非常に鋭敏な部分である低周波数帯域に情報を埋め込んだ場合においても画質の劣化を押えられたことは, 良い結果であるといえる.

## 4 まとめ

攻撃に強い電子透かしを実現するためには、画像の低周波領域に透かし情報を埋め込むことが有効である。しかしその場合、安全性と画質とのトレードオフが問題となってくる。

本稿では、原画像に透かし情報を埋め込んだ場合、および埋め込んだ透かし情報を削除した場合の画質劣化の評価実験を行い、急峻な周波数分割特性をもつ QMF を用いて画像を帯域分割し特定の周波数帯域に透かし情報を埋め込む手法の有効性について検討を行った。

透かし情報の埋め込みに適した周波数帯域、画像中の箇所は、画像によって異なってくると考えられる。様々な画像へ透かし情報を埋め込む際、最適な帯域、箇所を如何に決定するかが今後の課題として挙げられる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり助言を頂いた金沢大学の橋本秀雄教授に感謝します。

## 参考文献

- [1] 高橋 史忠,「電子透かし」がマルチメディア時代を守る, 日経エレクトロニクス, vol.683, pp.99-123 (1997).
- [2] 石塚 裕一, 酒井 康行, 櫻井 幸一, ウェーブレット変換を用いた電子透かし技術の安全性と信頼性に関する実験的考察, SCIS'97-26D (1997).
- [3] 大西 淳児, 松井 甲子雄, ウェーブレット変換を利用した著作権保護のための署名符合化, SCIS'96-9C (1996).
- [4] 酒井 康行, 石塚 裕一, 櫻井 幸一, 著作権保護のためのウェーブレット変換を用いた電子透かし方式の安全評価, 情処学論, vol.38, no.12, pp.2640-2647 (1997).
- [5] J.W.Woods and S.D.O'Neil, Subband Coding of Images, IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol.ASSP-34, no.5, pp.1278-1288 (1986).