

音響電子透かしに対するウェーブレットフィルタの影響

伊藤世紀† 姜 玄浩† 岩村恵市†

† 東京理科大学工学部第一部電気工学科

125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1

itou@sec.ee.kagu.tus.ac.jp {kang, iwamura}@ee.kagu.tus.ac.jp

あらまし 電子透かしの主な性能評価項目は品質、攻撃耐性、容量の3つに分けられる。埋め込み方法によってそれらの性能は様々であり、より良い性能の電子透かし技術を目指した研究が行われている。電子透かし技術ではウェーブレット変換領域に対して埋め込みを行う手法が提案されているが、変換に利用するフィルタによって透かしが埋め込まれる領域が変化するため、フィルタの選択が電子透かしの性能に何らかの影響があると考えられる。本論文ではウェーブレット変換を基にした音響電子透かし法を提案し、IHC委員会の定める評価基準を基に性能評価を行う。また、その評価にフィルタの種類がどのような影響を与えるかについて考察を行う。

Performance Analysis of Wavelet Filters for Audio Watermarking

Toshiki Ito† Hyunho Kang † Keiichi Iwamura †

†Tokyo University of Science.

6-3-1 Nijuku, Katsushika-ku, Tokyo 125-8585, JAPAN

itou@sec.ee.kagu.tus.ac.jp {kang, iwamura}@ee.kagu.tus.ac.jp

Abstract Digital watermarking technology is evaluated by three performances: capacity, quality and robustness. These performances will vary according to the embedding method, and so further research is being carried out to obtain more efficient embedding technique. The digital watermarking methods based on the wavelet transform are underway and the wavelet filter will change the embedded area and watermarking performance. In this paper, we implement a wavelet based audio watermarking and will observe the performance change according to the length of wavelet filter.

1 はじめに

ディジタル電子透かし技術は、画像、動画、音響データなどのディジタルコンテンツに対して情報を埋め込む技術であり、そのコンテンツの著作権保護をはじめ、様々なアプリケーションが提案されている。電子透かしの主な性能評価は埋め込んだ後のコンテンツの品質、攻撃耐性、電子透かしの容量の3つであり、それらの

性能向上を目的として透かしの開発が行われている。電子透かし技術において、透かし情報を埋め込む領域として周波数領域を利用することは有効な手段であり、離散フーリエ変換や離散コサイン変換など様々な周波数変換処理を行う電子透かし手法が提案されている [1][2]。離散ウェーブレット変換はそのような周波数変換の一つであり、これを利用した電子透かし手法も

提案されている [3][4]。離散ウェーブレット変換では、フィルタを利用し信号を低周波領域と高周波領域に分解する。その際利用されるフィルタの組み合わせはイングリッド・ドブシーが発見したものをはじめ様々な種類のものがあり [5]、フィルタの種類が変化すれば変換される領域も変化するため、電子透かしに利用する場合においてはフィルタの種類が性能に影響を与えることが考えられる。本論文では、ウェーブレット変換技術を基にした音響電子透かし法に対し、その性能評価を様々なウェーブレットフィルタを利用して調査し、フィルタの違いによる影響を考察する。

以降、2 章では導入する電子透かし手法について説明する。3 章では電子透かしの評価方法について説明し、その結果を示す。4 章では得られた結果からフィルタの違いによる性能の変化に関する考察を行い、5 章で結論を述べる。

2 電子透かし手法

本稿において提案する音響電子透かし手法として、ウェーブレット変換後の係数に対して Dither Modulation Quantization Index Modulation (DM-QIM 方式) [6] を用いて埋め込みを行う。また、透かし情報を埋め込む際 BCH 符号化を行う。本論文における埋め込み処理の簡単な流れを図 1 に示す。

2.1 BCH 符号化

BCH 符号化は誤り訂正符号の一つである。BCH 符号化では $GF(2)$ にある多項式を生成多項式とする。BCH 符号化はビット誤り訂正能力をビット冗長度を調節することで設定することができる。例えば、情報ビット 7 ビット、送信ビット 15 ビットとなる BCH (15,7) では誤り訂正可能なビット数は 3 ビットとなる。

2.2 DM-QIM 方式

QIM 方式はデータを埋め込む透かし情報に対応させながら量子化パラメータ Δ で量子化

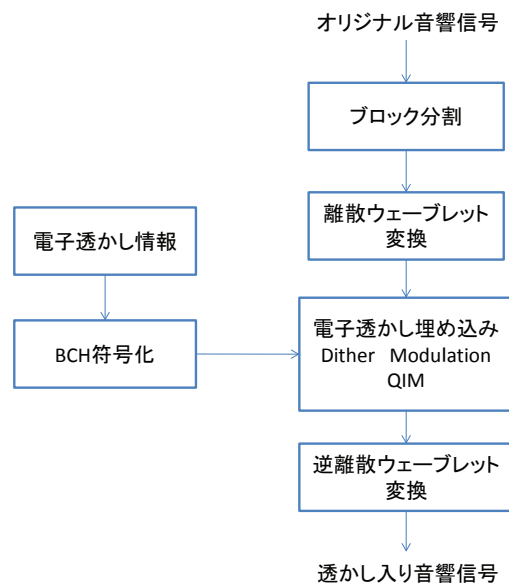


図 1: 電子透かし透かし埋め込み処理

することで透かしの埋め込み方法である。 Δ の値を大きくすることで、量子化される点の幅が大きくなり、攻撃によってデータが変化した場合でも同じ値に量子化される可能性が高く、すなわち攻撃耐性がある埋め込みとなるが、データの変化量が大きくなり品質が低下する。逆に Δ を小さな値に設定した場合は品質は良くなるが攻撃耐性が低下する。Dither Modulation はデジタル信号処理における量子化時に用いられる手法で、量子化点に乱数によって生成した Dither 関数 $D(n, b)$ を加えて量子化をすることで量子化誤差の周期性を排除する手法である。DM-QIM 方式は Dither Modulation を QIM に適応した方式で式 (1) のように値を量子化する。

$$s(n) = q(x(n) + D(n)) - D(n) \quad (1)$$

ここで、 $q(\cdot)$ は量子化関数を表している。

2.3 埋め込み手順

次に電子透かしの埋め込み処理手順を示す。オリジナル信号を $x(t)$ 、埋め込む N bit の電子透かし情報を $w(n) \in \{0, 1\} (0 \leq n \leq N-1)$ とする。 $w(x)$ に BCH 符号化を行い、符号化された透かし情報を $w_b(n)$ とする。一方、オリジナル信

号は10秒で分割し $x_1(T) \sim x_6(T)$ のようにブロック化する。それぞれのブロックに対してウェーブレット変換を行うことで、低周波係数 $X_{w1}(s)$ 、 $X_{w2}(s) \dots$ と高周波係数 $X_{s1}(s)$ 、 $X_{s2}(s) \dots$ を得る。次に、Dither 関数 $D_1(i)$ 、 $D_2(i)$ ($0 \leq i \leq I-1$) を以下の式で生成する。

$$D_1(i) = \text{rnd}(i) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} D_2(i) &= \text{rnd}(i) + \Delta/2 \quad \text{if } D_1(i) < 0 \\ D_2(i) &= \text{rnd}(i) - \Delta/2 \quad \text{else} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 I は埋め込みサンプル数、 Δ は埋め込み強度、 $\text{rnd}(i)$ は $-\Delta/2 \sim \Delta/2$ の乱数を表す。 I 、 Δ 及び、乱数生成に使用した鍵は検出側に共有される。

電子透かしの埋め込みは高周波係数に対して以下の式で行われる。

$$\begin{aligned} Y(i+nI) &= q(X_s(i+nI) + D_1(i)) \\ \text{if } w_b(n) &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y(i+nI) &= q(X_s(i+nI) + D_2(i)) \\ \text{if } w_b(n) &= 1 \\ (0 \leq i \leq I-1) \quad (0 \leq n \leq N-1) \end{aligned} \quad (4)$$

本論文では埋め込む係数として1段階目の高周波係数を選択した。上記処理の後、低周波係数、高周波係数に対して逆ウェーブレット変換を行い、透かし入り音響信号 $y(t)$ を得る。図2に埋め込む前のオリジナル音響信号と電子透かしを埋め込んだ音響信号の波形を示す。

2.4 検出手順

透かし入り信号 $y'(t)$ を10秒で分割し各ブロックに対してウェーブレット変換を行う。埋め込み時と同様の乱数を用いて $D_1(i)$ 、 $D_2(i)$ を生成した後、電子透かしを埋め込んだ領域に対して以下の計算を行い $D_{f1}(n)$ 、 $D_{f2}(n)$ を算出する。

$$D_{f1}(n) = \sum_{i=0}^{I-1} \frac{|Y_s(i+nI) - q(Y_s(i+nI) + D_1(i)) - D_1(i)|}{\sqrt{|Y_s(i+nI) - q(Y_s(i+nI) + D_1(i)) - D_1(i)|}} \quad (5)$$

$$D_{f2}(n) = \sum_{i=0}^{I-1} \frac{|Y_s(i+nI) - q(Y_s(i+nI) + D_2(i)) - D_2(i)|}{\sqrt{|Y_s(i+nI) - q(Y_s(i+nI) + D_2(i)) - D_2(i)|}} \quad (6)$$

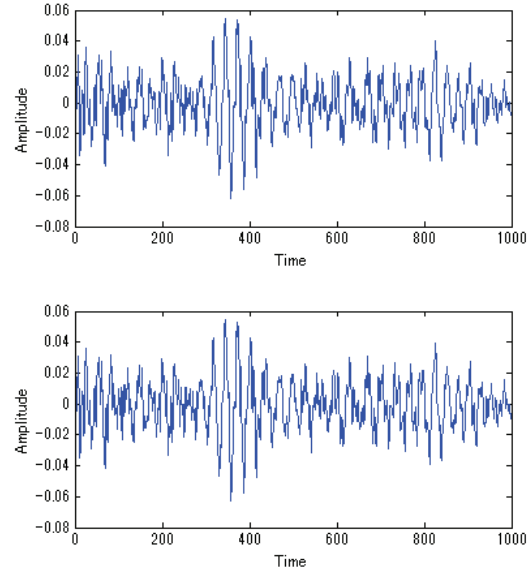


図 2: オリジナル音響信号（上）透かし入り信号（下）

算出した $D_{f1}(n)$ 、 $D_{f2}(n)$ の値を用いて検出された BCH 符号化ビット $W_b(n)$ は以下の式で表される。

$$\begin{aligned} W(n) &= 0 \quad \text{if } D_{f1} < D_{f2} \\ W(n) &= 1 \quad \text{else} \end{aligned} \quad (7)$$

$W_b(n)$ を求めたのち、BCH 復号化を行うことで埋め込んだ電子透かし情報を検出する。

3 評価方法

2章で述べた電子透かし手法を用いて電子透かしを埋め込み性能評価を行う。まず、使用するオリジナル音響を以下のように設定する。

- サンプル周波数：44100Hz
- 量子化：16bit
- チャンネル数：2
- 信号長：60sec

使用する音響信号は情報ハイディング及びその評価基準委員会（以下、IHC 委員会）にて指定

されている SQAM 音源を使用した。埋め込み時に使用するウェーブレットフィルタは MATLAB の Wavelet Toolbox にあるウェーブレットファミリーを使用する。MATLAB のウェーブレットファミリーはウェーブレットの種類と長さを指定する。今回の評価では Daubechies フィルタ、Coiflets フィルタ、Symlets フィルタを用いて埋め込み処理を行った。また、埋め込む透かし情報ビット数は 1 ブロックあたり 91bit (9.1bps) とした。埋め込み時の各パラメータ、BCH 符号化率などは以下のように設定した。

- 埋め込みサンプル数 I : 215
- 埋め込み強度 Δ : 0.005
- BCH(1023,91) : 誤り訂正能力 181 ビット

3.1 音質評価

音質評価は客観品質劣化度合 (Objective Difference Grade; ODG) を評価する。ODG の値は高い値ほど高品質であることを示し、0 は劣化が感知できない、-4 は劣化が非常に気になる状態を指す。評価に使用した音響ファイルは SQAM 音源より Track27, Track35, Track70 を使用した。図 3~5 に各ウェーブレットの種類、長さに対応する ODG の値の評価を示す。

図 3~5 示したグラフより、どの種類のフィルタにおいても明らかにフィルタの長さが長くなるほど ODG が向上していることが確認できた。

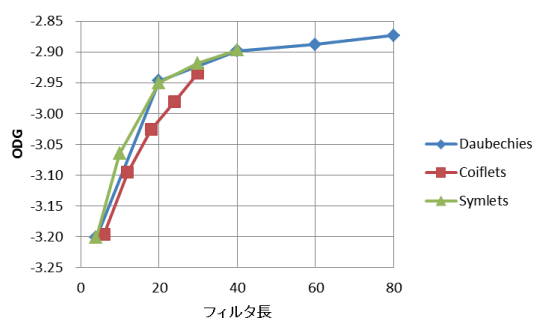


図 3: フィルタ別音質評価 : Track27

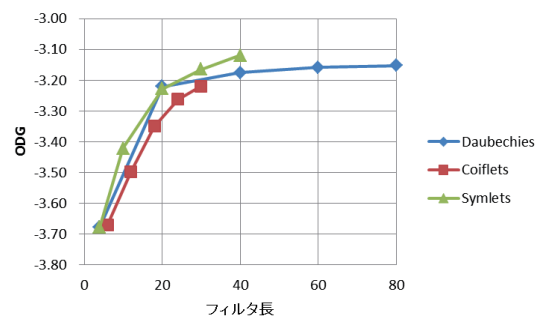


図 4: フィルタ別音質評価 : Track35

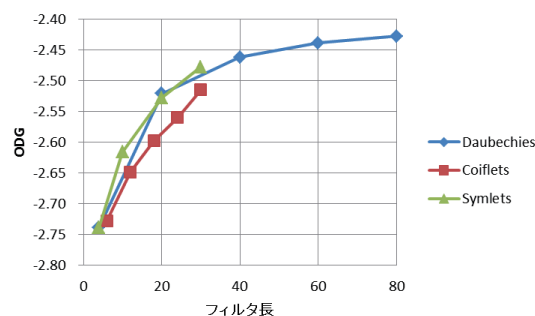


図 5: フィルタ別音質評価 : Track70

3.2 攻撃耐性評価

攻撃耐性を評価するに当たり、実施する攻撃項目として、IHC 委員会にて公開されている音響電子透かしコンテスト評価基準より選択した。行った攻撃項目は以下の 3 つである。

- MP3 128 kbps (joint stereo)
- ガウス性雑音付加 (overall average SNR 36dB)
- 遅延音付加 100ms, -6dB

電子透かしを埋め込んだ音響ファイルに対し各種攻撃を行った後、透かし情報の検出を行う。攻撃耐性の評価結果として、埋め込み時に使用したウェーブレットフィルタ毎に埋め込んだ透かし情報ビットが正しく検出できた割合を示す。本稿では代表として SQAM 音源より Track70 での実験結果を図 6~8 に示す。

図 6~8 より、どのようなフィルタを使用しても攻撃耐性の大きな違いは確認できなかったが、3 つの種類のフィルタのうち Daubechi フィ

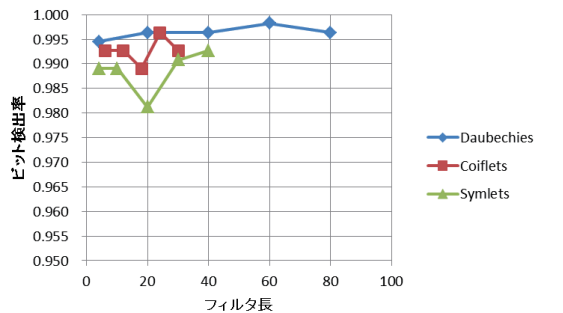


図 6: フィルタ別攻撃耐性評価：MP3 圧縮

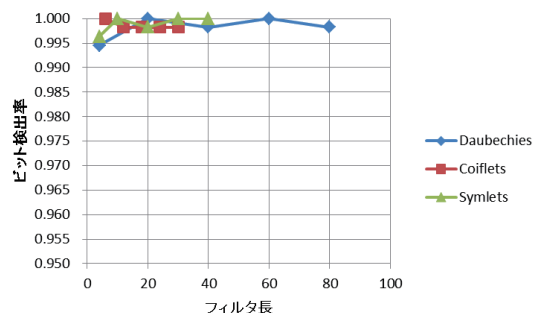


図 7: フィルタ別攻撃耐性評価：ガウス性雑音

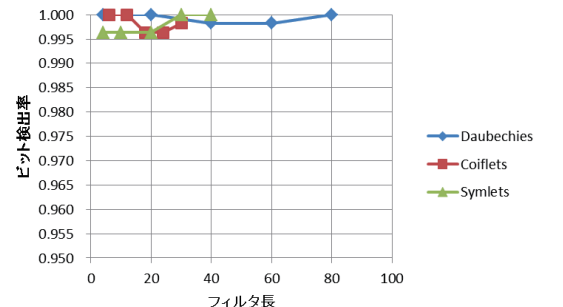


図 8: フィルタ別音質評価：遅延音

ルタを使用した場合、特に MP3 圧縮耐性でわずかに検出率が良くなる傾向がある。他の音響ファイルにおいても似たような結果を確認した。

4 考察

3 章で示した音質評価の結果よりウェーブレットフィルタの長さが小さい場合に比べて、フィルタの長さが十分大きい場合の方が ODG が向上することが分かる。Daubechies、Coiflets、

Symlets フィルタの違いを比較すると Coiflets フィルタを使用した場合、他の 2 つと比べてわずかに音質が低下していた。また、攻撃耐性評価における結果ではフィルタの種類、フィルタの長さの違いによるビット検出率の変化はどの攻撃項目においても認められなかった。3 種類のフィルタを比較すると、Daubechies フィルタを使用した場合、若干出率が高くなる傾向がある。以上の結果より、本方式の電子透かしの性能の観点から、十分な長さを持つウェーブレットフィルタを使用することが透かし入り信号の品質が向上するため有効だと考えられ、また Daubechies フィルタを使用すると検出精度が向上する可能性があることが分かった。

5 結論

4 章での考察より、電子透かしの埋め込み時のウェーブレット変換には長いウェーブレットフィルタを使用すると音質が向上することを示した。しかし、評価方法として参考にした IHC 委員会の評価基準によると ODG の値は -2.5 が最低値となっており、今回最も長いフィルタでの埋め込みであっても基準の品質を満たさないため、さらなる音質向上が必要となる。攻撃耐性について考慮すると、わずかな差ではあるものの Daubechies フィルタを使用することが有効であると思われる。以上のことから、本方式において使用するウェーブレットフィルタは、長い Daubechies フィルタが最も適していると考えられる。

参考文献

- [1] I.J. Cox, J. Kilian, F. Leighton, and T. Shamson, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia". IEEE Transactions on Image Processing, vol.6, no.12, pp.1673-1687, 1997.
- [2] I.J. Cox, M.L. Miller, J.A. Bloom, J. Fridrich, T. Kalker, Digital Watermarking and Steganography, 2nd Edition, Morgan Kaufmann, 2007.

- [3] X.Y. Wang, and H. Zhao, "A Novel Synchronization Invariant Audio Watermarking Scheme Based on DWT and DCT". IEEE Transactions on Signal Processing, vol.54, no.12, pp.4835-4840, Dec. 2006.
- [4] M. Barni, F. Bartolini, and A. Piva, Improved Wavelet-Based Watermarking Through Pixel-Wise Masking. IEEE Transaction on Image Processing, vol. 10, no. 5, 2001.
- [5] D. B. Percival and A. T. Walden, Wavelet Methods for Time Series Analysis, Cambridge University Press, 2000.
- [6] B. Chen, and G. W. Wornell, "Quantization Index Modulation: A Class of Provably Good Methods for Digital Watermarking and Information Embedding". IEEE Transaction on Information Theory vol. 47, no. 4, 2001.