K-021

乗法的パッチワーク法に基づく音楽電子透かしにおける埋め込み領域の拡張

An Audio Watermarking Based on Multiplicative Patchwork Method with Extension of Embedding Region

村田 晴美† 荻原 昭夫‡
Harumi Murata Akio Ogihara

1．まえがき

近年，デジタルコンテンツに対して著作権情報などを埋め込む電子透かしという技術が注目されている．種々の攻撃に対して耐性を有する音楽を対象とした手法として乗法的パッチワーク法に基づく手法（従来法）が文献[1]で提案されている．さらに，従来法に対して原曲を必要とせずに透かしを抽出する手法を文献[2]で提案した．本稿では，ある条件下においてウェーブレット係数の近似係数と詳細係数が独立することに着目し，埋め込む情報に応じて適した領域に埋め込むことができるように，複数の領域に透かしを埋め込むことが可能となる手法を提案する．

2．乗法的パッチワーク法に基づく音楽電子透かし

本章では，従来法における透かしの埋め込み法および抽出法について述べる．

音楽信号を連続した長さ N のフレームに分割する．各フレームに離散ウェーブレット変換を施し，そのサンプル群を，2 つの重複しないインデックスセット I_A, I_B を用いてさらに 2 つのサブセット A，B に分割する．ここで，各サブセットの要素を s_A, s_B とする．この 2 つのサブセットのエネルギー比 f の値が 1 に近い値である時のみ，フレームに“0”または“1”の透かしを埋め込む．

透かしの埋め込みは，埋め込み強度γを用いてサブセット A の振幅に式(1)または式(2)の演算を行なう．サブセット A と B とのエネルギー比を 1 よりも大きく，または小さくすることで透かしを埋め込む．

$$s'_A = \gamma s_A \quad (1\text{ を埋め込む場合}) \tag{1}$$

$$s'_A = \frac{1}{\gamma} s_A \quad (0\text{ を埋め込む場合}) \tag{2}$$

透かしの抽出は，埋め込まれたフレームのサブセットのエネルギー比と閾値 1 とを比較することで“0”または“1”を抽出する．

3．乗法的パッチワーク法に基づく音楽電子透かしにおける埋め込み領域の拡張

本章では，従来法に対して複数の領域に埋め込む範囲を拡張した場合の透かしの埋め込み法および抽出法について述べる．

従来法では，近似係数と詳細係数のうち近似係数にのみ透かしを埋め込んでいた．近似係数と詳細係数はある条件下では独立しており，近似係数と詳細係数の両方に透かしを埋め込むことが可能である．また，ウェーブレット変換

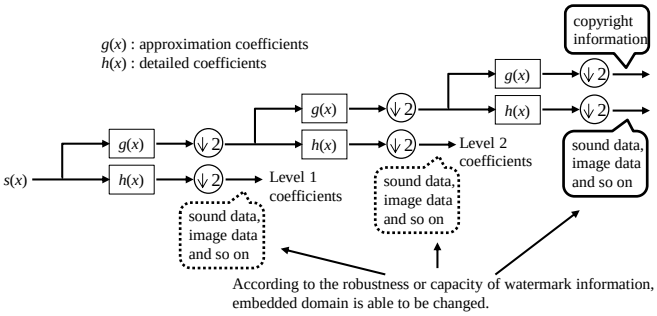

図 1　DWT の近似係数および詳細係数に情報を埋め込む例

のレベルが大きくなるにしたがって，音質は劣化するが，攻撃に対する耐性が高いことを予備実験で確認した．これらのことから，埋め込む情報に応じて透かしを埋め込む領域を変えることが可能であると考えられる．正しく抽出したい著作権情報と画像などの付加的なデータの両方を埋め込む例を図 1 に示す． 著作権情報は正しく抽出したいので，比較的耐性が高い大きなレベルに埋め込み，付加的なデータは多少の抽出誤りがあった場合でも認識可能であるため，小さなレベルに埋め込むことができる．そのため，埋め込む情報の容量に応じてレベルを選択することも可能となる．ここで，埋め込み対象の近似係数のレベルを p，詳細係数のレベルを q とすると，透かしを正しく抽出するためには $p \geq q$ を満たさなければならないことに注意する．

透かしの埋め込みには，文献[2]の手法を用いる．フレームのサブセットのエネルギー比の値 f が $f_{min} \leq f \leq f_{max}$ を満たす範囲に存在するフレームを埋め込み対象フレームとし，“0”を埋め込む場合はフレームのサブセットのエネルギー比が 1 より小さく，“1”を埋め込む場合はフレームのエネルギー比が 1 以上となるようにサブセット A の振幅を増減させる．

透かしの抽出は，レベル p の近似係数およびレベル q の詳細係数に対して，フレームのサブセットのエネルギー比 f'が $f_{min} \leq f' \leq f_{max}$ である範囲を透かしの抽出範囲とし，対象のフレームのサブセットのエネルギー比 f'と閾値 1 とを比較することで透かし“0”または“1”を抽出する．

4．実験

本章では，提案法の有効性を確認するための音質評価および耐性実験評価の結果ついて述べる．

4.1　実験条件

実験では，EBU 製作 SQAM の楽曲 8 曲と RWC 研究用音楽データベース（音楽ジャンル）の楽曲 12 曲の計 20 曲を使用した．これらの楽曲はステレオ音源であり，44.1 kHz,

†中京大学工学部情報工学科, Chukyo University
‡近畿大学工学部情報学科, Kinki University

Copyright © 2013 by Information Processing Society of Japan and
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers
All rights reserved.

16 bit で量子化された WAV 形式のデータである．使用した楽曲は，SQAM Track 27, 32, 35, 40, 65, 66, 69, 70, RWC-MDB-G-2001 No.1, 7, 13, 28, 37, 49, 54, 57, 64 85, 91, 100 で，先頭から 60 秒間を透かし埋め込みに使用した．ただし，60 秒未満の楽曲に関しては，60 秒になるまで繰り返している．

埋め込み系列は，15 秒間あたり 127 ビットの同期符号とペイロード 90 ビットの計 217 ビットとし，左チャンネルに埋め込んだ．本実験では，同期が正しくとれるか確認したかったため，同期符号を正しく抽出できるようにレベル 3 の近似係数に埋め込み，ペイロードをレベル 1 の詳細係数にそれぞれ埋め込んだ．また，埋め込みのフレーム長を N=1024，透かしの埋め込み範囲を決定する定数 $f_{\max}$=2，$f_{\min}$=0.15 とした．

4.2 音質評価

音質の客観的評価として PEAQ による評価を行ない，ODG 値で表す．文献[3]の評価指標に基づき，圧縮なしの原曲と圧縮なしの透かし入り楽曲，および圧縮なしの原曲と MP3 圧縮後の透かし入り楽曲との ODG 値を算出した．その結果を表 1 に示す．左チャンネル 20 曲中 4 曲で文献[3]で求められている最低値である–2.5 以下となっており，試聴による主観的評価においても，ノイズが知覚できる音質であった．この原因として，埋め込み範囲を大きく設定しすぎたことが考えられるため，音質を考慮して $f_{\max}$，$f_{\min}$ を設定する必要があると考えられる．

4.3 攻撃に対する評価

攻撃に対する耐性を確認するために，文献[3]で求められている攻撃のうち，以下の攻撃に対する耐性実験を行なった．以下の攻撃のうち，MP3 圧縮に対してのみ同期がとれるか実験した．

- MP3 圧縮　128 kbps (joint stereo)
- MP3 128 kbps (joint stereo) 2 回符号化
- ガウス性雑音付加 (overall average SNR 36 dB)

また，透かしのビットエラー率(Bit Error Rate, BER)を以下の式(3)で定義する．

$$\mathrm{BER} = \frac{\text{エラービット数}}{\text{30秒間における透かしのビット数}} \times 100 \quad [\%] \quad (3)$$

MP3 圧縮後の透かしのビットエラー率を表 2 に示す．これより，全ての楽曲において MP3 圧縮および 2 回符号化の透かしのビットエラー率は文献[3]で求められている 10%以下を満たしている．また，同期符号を用いて透かしを抽出した場合であっても埋め込み開始位置が既知の場合と同じように抽出できることを確認した．

5. まとめ

本稿では，乗法的パッチワーク法に基づく音楽電子透かしにおいて，近似係数のみではなく詳細係数に対しても透かしを埋め込むことにより埋め込み領域を拡張する手法を提案した．提案法により，埋め込む情報に応じて領域を変更させることができた．

今後の課題として，音質を改善するとともに，透かしの再現率をさらに向上させることが挙げられる．

表 1　各楽曲の ODG 値および全楽曲の平均値

	原曲-圧縮なし	原曲-圧縮なし(左)	原曲-MP3
Track 27	0	-1.199	-1.805
Track 32	0	-3.648	-3.471
Track 35	0	-3.839	-3.816
Track 40	0	-1.585	-3.143
Track 65	0	-3.453	-3.405
Track 66	0	-0.515	-1.234
Track 69	0	-0.848	-1.953
Track 70	0	-1.436	-1.503
No.1	0	-0.228	-1.130
No.7	0	-0.723	-1.427
No.13	0	-1.108	-1.332
No.28	0	-1.398	-2.430
No.37	0	-0.855	-2.297
No.49	0	-2.156	-2.567
No.54	0	-0.567	-1.516
No.57	0	-1.682	-2.939
No.64	0	-0.908	-1.469
No.85	-0.386	-2.809	-2.764
No.91	-0.074	-0.600	-1.508
No.100	-0.008	-0.773	-1.688
average	-0.023	-1.517	-2.170

表 2　各楽曲の MP3 圧縮後の透かしのビットエラー率および全楽曲の平均値

	MP3(同期なし)	MP3(同期あり)	2回符号化	雑音付加
Track 27	8.3	8.3	2.2	27.8
Track 32	8.9	8.9	7.8	17.8
Track 35	5.6	5.6	7.2	48.3
Track 40	1.7	1.7	2.8	21.7
Track 65	7.2	7.2	2.8	24.4
Track 66	5.6	5.6	8.3	48.3
Track 69	6.1	6.1	4.4	36.1
Track 70	8.9	8.9	2.8	34.4
No.1	6.7	6.7	8.9	15.6
No.7	8.3	8.3	5.6	3.9
No.13	6.7	6.7	4.4	7.8
No.28	9.4	9.4	8.3	6.1
No.37	3.3	3.3	6.7	10.0
No.49	9.4	9.4	7.8	2.8
No.54	8.9	8.9	6.7	3.9
No.57	3.9	3.9	4.4	5.6
No.64	8.3	8.3	6.7	2.2
No.85	6.1	6.1	8.9	23.3
No.91	8.3	8.3	7.8	5.6
No.100	7.2	7.2	5.0	7.8
average	6.94	6.94	5.98	17.67

謝辞

本研究は科研費 23500224 の助成を受けたものである．

参考文献

[1] N.K. Kalantari, M.A. Akhaee, S.M. Ahadi ,H. Amindavar, “Robust Multiplicative Patchwork Method for Audio Watermarking,” IEEE Trans. Audio, Speech, Lang. Process., vol. 17, no. 6, pp.1133-1141, 2009.

[2] H. Murata, M. Yamamoto, A. Ogihara, T.Funabashi, “Sound Quality Improvement by Converting an Embedding Domain for Blind Audio Watermarking Based on Multiplicative Patchwork Method, ” Proc. ITC-CSCC 2012, D-W1-05, 2012.

[3] 西村明，荻原昭夫，鵜木祐史，近藤和弘，薗田光太郎，岩村惠市，立花隆輝:「音響信号に対する情報ハイディング技術の評価基準」, 2012 年暗号と情報セキュリティシンポジウム予稿集, 3F1-4, pp. 1-8, 2012.

Copyright © 2013 by Information Processing Society of Japan and
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers
All rights reserved.