

コード進行を利用した音楽電子透かし法

An Audio Watermarking Method Using Chord Progression

村田 晴美†
Harumi Murata

荻原 昭夫‡
Akio Ogihara

1. まえがき

デジタルコンテンツに対して他のデジタル情報を埋め込む技術として電子透かしがある。本稿では、既存の手法とは異なり、ステゴ信号が音楽として成立する音質であれば、ホスト信号と異なる音が知覚された場合であっても音質上の問題はないという考えに基づいて透かしを埋め込む手法を提案する。そのために、和音のうちダイアトニックコードとオンコードを利用する。また、乱数を用いて透かしを埋め込むフレーム長を可変にすることで秘匿性を向上させる。さらに、ステゴ信号の音に違和感が生じないように、透かし信号として加える音源についても考慮し、楽器の音色を有する音源を透かし信号とする。これらにより、知覚された場合であっても違和感がなく聴くことができると考えられる。

2. コード進行を利用した音楽電子透かし法

2.1 コード

コードとは複数の音程を同時に鳴らした和音のことである。本稿では、コードのうちダイアトニックコードとオンコードを利用する。

ダイアトニックコードとは、調に含まれている音階を主音にもつ 7 種類のコードのことである[1]。コードの構成音はダイアトニックコードと同じであるが、コードの並び順を変更したい場合に用いられるコードをオンコードという。ダイアトニックコードと区別するためにコードが C、かつコードの最低音が E であることを C on E と表す。

2.2 透かしの埋め込み

最初に、COF 平面を利用した調判定の手法[2]を用いてホスト信号の調を判定して構成音 7 音を推定する。次に、ホスト信号をフレーム分割し、1 つのフレームに対して 2 ビットの透かしを埋め込む。ただし、本手法ではフレーム長は一定ではなく、秘密鍵 key をシードとして 0 から 1 の範囲で乱数を発生させ、その乱数の値に応じてフレーム長を設定する。BPM が 100 の 16 分音符を最小単位として以下に示す 4 パターンの音符を用いる。

- [0, 0.3]の場合：16 分音符
- (0.3, 0.7]の場合：8 分音符
- (0.7, 0.9]の場合：4 分音符
- (0.9, 1]の場合：16 分休符

ホスト信号を、秘密鍵 key をシードとした乱数によって決定されたフレーム長ごとに分割する。

16 分休符でなければ、対応するフレームに対して離散フーリエ変換 (DFT) を施して周波数スペクトルを得る。得られたスペクトルのうち、オクターブ 3 の 12 音階に対応す

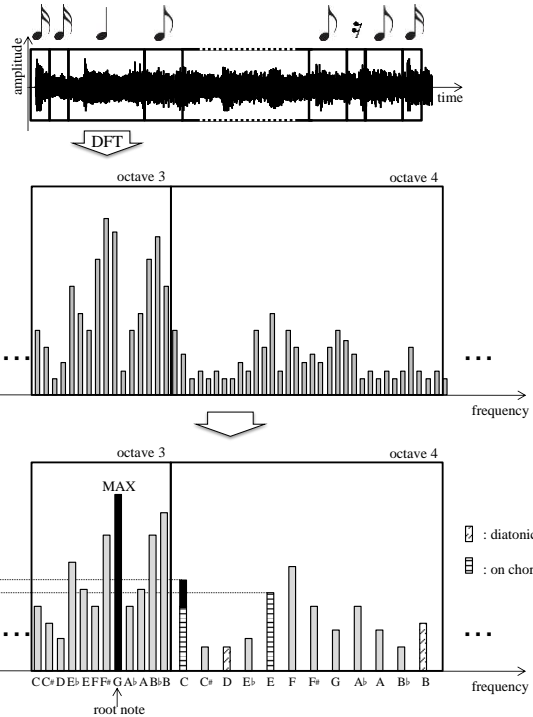


図 1 透かし“10”の埋め込み例

る振幅値を算出し、振幅値が最大である音階をコードの最低音とする。なお、オクターブ 4 は多くの楽器音の周波数範囲に含まれているため、透かしの埋め込みにはオクターブ 4 の領域を使用する。例として 1 ビット目の透かしが 1、2 ビット目の透かしが 0 の場合の埋め込みを図 1 に示し、以下に透かし 0 の埋め込み規則を示す。

● 透かし 0 の埋め込み (1 ビット目)

ダイアトニックコードの振幅の合計値 A_d がオンコードの振幅の合計値 A_o より大きい場合を透かし 0 の状態とする。透かしの埋め込み条件 $A_d > A_o$ を満たしていない場合、条件を満たすまでコードの最低音以外の構成音である第 3 音と第 5 音に対応する透かし信号をホスト信号へ加える。

● 透かし 0 の埋め込み (2 ビット目)

ダイアトニックコードの場合、主音から第 3 音の振幅値 A_{3rd} と第 5 音の振幅値 A_{5th} とを比較し、 A_{3rd} が A_{5th} より大きい場合を透かし 0 の状態とする。透かしの埋め込み条件 $A_{3rd} > A_{5th}$ を満たしていない場合、条件を満たすまで第 3 音に対応する透かし信号をホスト信号に加える。

オンコードの場合、最低音から第 4 音の振幅値 A_{4th} と第 6 音の振幅値 A_{6th} とを比較し、 A_{4th} が A_{6th} より大きい場合を透かし 0 の状態とする。透かしの埋め込み条件 $A_{4th} > A_{6th}$ を満たしていない場合は条件を満たす

†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

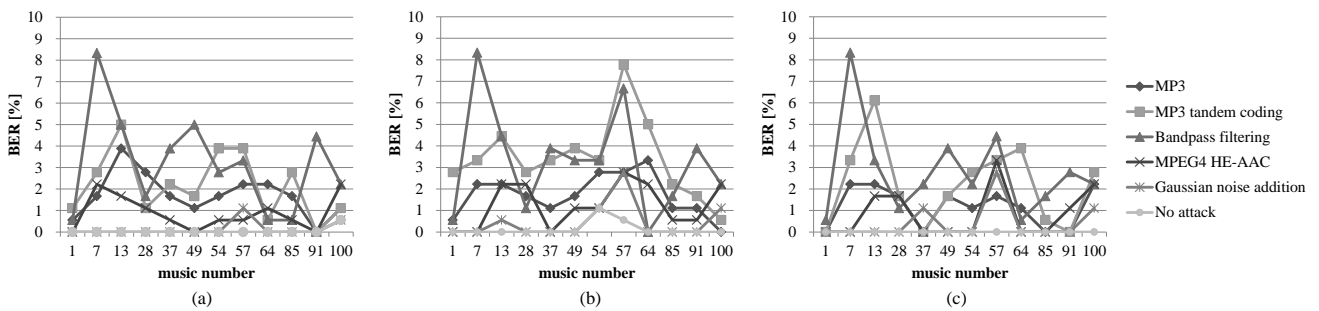


図2 BERの結果：(a) ベース音，(b) ピアノ音，(c) ピアノ演奏音

まで第4音に対応する透かし信号をホスト信号に加える。

埋め込み規則より，図1の2ビット目は条件を満たしていないため，条件を満たすように第4音であるCに対応する透かし信号を加えることで2ビット目の透かしを埋め込む。

3. 実験

実験に使用した楽曲は，RWC 研究用音楽データベース（音楽ジャンル）から12曲を選択した。これらの楽曲はサンプリング周波数44.1 kHz，16ビットに量子化されたステレオ音源の楽曲である。また，調判定の分析フレーム長を $N=4410$ とした。埋め込み系列は文献[3]で定められている90bitsのペイロード，埋め込み位置を検出するための同期符号として63bitsのM系列を使用し，合計153bitsを15秒間ごとに繰り返し埋め込んだ。さらに，Cubase Artist7でベースとピアノの2種類の音源に対して各種音階の音を作成し，文献[4]のピアノ楽曲の単音を抽出してSoundEngine Free ver.5.02で各種音階にピッチ変換した音をそれぞれ作成した。以降では，Cubaseで作成した透かし信号をベース音，ピアノ音とし，SoundEngineでピッチ変換した透かし信号をピアノ演奏音とよぶ。

3.1 攻撃に対する耐性実験

透かしの攻撃に対する耐性を評価するための評価指標としてbit error rate (BER) [%]を算出した。BERは以下の式(1)で求められる値とした。

$$\text{BER} = \frac{\text{エラービット数}}{\text{30秒間に埋め込まれたビット数(180bits)}} \times 100[\%] \quad (1)$$

ステゴ信号の先頭から15秒間のうちランダムに定める開始時刻から，連続45秒間のステゴ信号を対象とし，うち30秒間に埋め込まれた180bitsのうちのBERを算出する[3]。BERが最大10%以下を評価基準としている。

BERの結果を図2に示す。これらの結果から，評価基準であるBERが10%以下をすべて満たしていた。また，透かし信号の違いによる攻撃の耐性に大きな違いはみられなかった。以上から，提案法では実験を行なった5種類の攻撃に対する耐性が高いといえる。

3.2 音質評価実験

ステゴ信号の音質を評価するために，PQevalAudioによる客観的音質の評価実験を行なった。

ODGの結果を表1に示す。評価基準[3]では，Iの最低値を-2.5とし，IIについては全楽曲のODGの算術平均が-2.0以上であることが求められている。この結果から，ベース

表1 埋め込み強度を調整した場合のODGの結果：(I)原曲とステゴ信号との比較，(II)原曲とステゴ信号をMP3圧縮した劣化信号との比較

楽曲番号	ODG					
	ベース音		ピアノ音		ピアノ演奏音	
	I	II	I	II	I	II
No.1	-0.391	-1.220	-0.441	-1.355	-0.417	-1.284
No.7	-0.478	-1.287	-0.567	-1.451	-0.533	-1.375
No.13	-1.074	-1.708	-1.306	-2.045	-1.287	-2.009
No.28	-0.710	-2.110	-1.058	-2.735	-0.687	-1.948
No.37	-0.774	-2.140	-1.226	-2.951	-0.923	-2.297
No.49	-1.286	-2.654	-1.543	-2.919	-1.192	-2.488
No.54	-0.499	-1.635	-0.549	-1.835	-0.521	-1.695
No.57	-1.289	-3.087	-1.555	-3.319	-1.316	-3.102
No.64	-0.615	-1.404	-0.781	-1.854	-0.693	-1.523
No.85	-1.885	-2.960	-2.543	-3.442	-1.811	-2.890
No.91	-0.564	-1.483	-0.638	-1.749	-0.631	-1.606
No.100	-0.796	-1.885	-1.554	-3.187	-0.913	-2.051
平均値	-0.864	-1.965	-1.147	-2.404	-0.910	-2.022

音では攻撃に対する耐性および音質ともに評価基準を満たすことが可能であることが確認できた。

4. まとめ

本稿では，楽曲のコード進行を利用した音楽電子透かし法を提案した。提案法では，ダイアトニックコードとオンコードを使用し，コードの違いで1ビット，構成音の振幅の大小関係により1ビットの合計2ビットの透かしを1つのフレームに埋め込んだ。実験の結果から，ベース音では客観的音質が良く，攻撃に対する耐性があった。

今後の課題として，楽曲ごとに適切な透かし信号を選択し，透かし信号に依存することなく音質が良くなるように改良することなどが挙げられる。

謝辞

本研究はJSPS 科研費26870681，26330214の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 斉藤修，“スグに使えるコード進行レシピ，”リットーミュージック，2013。
- [2] 井下貴仁，甲藤二郎，“Circle of Fifth平面を用いたキー推定，”情処学研報，2008-MUS-76，pp.131-136，2008。
- [3] “音響信号に対する電子透かし技術の評価基準，”<http://www.ieice.org/iss/emm/ihc/audio/audio2013v2.pdf> (閲覧日：2013年10月1日)。
- [4] “大人のためのやさしく弾けるクラシック名曲100，”リットーミュージック，2009。