

和音の音楽理論に基づく音楽電子透かし法の調判定を用いた主観的評価の改善

金 里奈¹ 村田 晴美¹ 荻原 昭夫²

概要: デジタルコンテンツの著作権保護の手段として、電子透かしという技術が注目されている。音楽を対象とした電子透かし法として和音の音楽理論を用いた音楽電子透かしが考案されている。この手法では三和音の中音へ埋め込む際に調の判定をせず、全て長調として埋め込みを行なっている。しかし、音楽では調を重視しているため、長調と短調を判別する必要があると考える。そのため、本稿では調判定により長調と短調を判別することで主観的な音質を改善させる手法を提案する。

1. はじめに

近年、デジタル技術の普及に伴い、動画や音楽などのデジタルコンテンツの流通が増加している。デジタルコンテンツは複製が容易であり、また品質が劣化しないため、複製されたコンテンツがインターネット上に不正配信されるなどの著作権侵害が問題となっている。そこで、このような著作権侵害を防止するために、電子透かしという技術が注目されている。電子透かしとは、デジタルコンテンツに対して人間が知覚できないように著作権情報などを埋め込む技術である。この時に埋め込む情報を透かしと呼ぶ。この透かしを抽出することにより、著作権や正当な所有者を認証することができる [1]。本稿では様々なコンテンツの中でも音楽を対象とした電子透かしに着目する。

電子透かしには求められる条件として2点が挙げられる。1つ目は、透かしを埋め込むことでデジタルコンテンツの質が大きく劣化しないことである。本研究では音楽信号に透かしを埋め込むため、音質を考慮した埋め込みが必要となる。2つ目は、様々な攻撃により透かしが正しく抽出されない恐れがあるため、攻撃に対して耐性をもつように透かしを埋め込むことである。ここでいう攻撃とは、MP3圧縮やAAC変換、雑音付加などの、信号の変化により透かしが正しく抽出できないようにする行為のことである。

音楽データへの電子透かしの手法として、聴覚的マスキングを利用する手法 [2]、位相変調を利用する手法 [3]、オクターブ類似性に着目した手法 [4] など、多くの手法があ

る。本稿では攻撃に対する耐性があり、たとえ透かしの埋め込みによる音質劣化が知覚された場合であっても聴取者が不快に感じにくくなるような音楽理論の原理を用いた音楽電子透かし [5] に着目する（以下、従来法と呼ぶ）。従来法は、読み込んだ音楽データ（以下、ホスト信号と呼ぶ）を固定長フレームに分割し、フーリエ変換をする。次に、周波数の振幅スペクトル値を降順に並べ替え、周波数を分析する。そして、フレームごとに主体となる和音を見つけ出し、和音の属音のオクターブ1の振幅スペクトル値を操作することで任意の透かしを埋め込む手法である。全てのフレームで埋め込みを施した後、逆フーリエ変換をして再び時間領域に戻した音楽データをステゴ信号と呼ぶ。

従来法では音質評価と耐性評価の項目においては電子情報通信学会情報ハイディング及びその評価基準委員会 (IHC 委員会) [6] の要件を満たすことができているが、1分間の楽曲に対して360bit以上の透かしを埋め込むという埋め込み容量の要件を満たすことができていない。そのため、三和音に着目し、属音に加えて根音と中音のオクターブ1の振幅スペクトル値も操作することで任意の透かしを埋め込む手法が提案されている（以下、比較手法と呼ぶ）。比較手法は三和音の中音へ埋め込む際にホスト信号の調を判定せず、全て長調として埋め込みを行なっている。しかし、音楽では調を重視しているため、長調と短調を判別する必要があると考える。そこで、本稿では透かしを埋め込む前に調判定をすることで長調と短調を判別し、長調だけでなく短調の曲にも対応することで主観的な音質を改善させる手法を提案する。

¹ 中京大学 工学部
School of Engineering, Chukyo University

² 近畿大学 工学部
Faculty of Engineering, Kindai University

Octave scale	1	2	3	4	5	6	7	8	
12 Pitch class notes	C	32.703	65.406	130.813	261.626	523.251	1046.502	2093.004	4186.008
	C#	34.648	69.296	138.591	277.183	554.365	1108.730	2217.460	4434.920
	D	36.708	73.416	146.832	293.655	587.330	1174.659	2349.318	4698.636
	D#	38.891	77.782	155.563	311.127	622.254	1244.508	2489.016	4978.032
	E	41.204	82.407	164.814	329.628	659.255	1318.510	2637.020	5274.040
	F	43.654	87.307	174.614	349.228	698.456	1396.913	2793.826	5587.652
	F#	46.250	92.499	184.997	369.994	739.989	1479.978	2959.956	5919.912
	G	49.000	97.999	195.998	391.995	783.991	1567.982	3135.964	6271.928
	G#	51.913	103.826	207.652	415.305	830.609	1661.219	3322.438	6644.876
	A	55.000	110.000	220.000	440.000	880.000	1760.000	3520.000	7040.000
	A#	58.271	116.541	233.082	466.164	932.328	1864.655	3729.310	7458.620
	B	61.736	123.471	246.942	493.883	987.767	1975.533	3951.066	7902.132

図 1 周波数表

2. 和音の音楽理論を用いた音楽電子透かし法 (従来法)

本章では、従来法 [5] の埋め込みと抽出方法について述べる。

2.1 透かしの埋め込み

【Step 1】 ホスト信号を L ミリ秒の固定長フレームに分割する。

【Step 2】 フレームごとにフーリエ変換を行ない、時間領域から周波数領域に変換する。フーリエ変換によって得られた振幅スペクトル値を降順に並べ替えて上位 50 位を決定する。決定した振幅スペクトル値に対応する周波数と最も近い周波数の音階を図 1 の周波数表を用いてそれぞれ特定し、最も近い周波数の音階を根音とする。特定した根音から半音で 7 音上の音である属音の振幅スペクトル値を、対応する根音の振幅スペクトル値にそれぞれ加算していく。加算した振幅スペクトル値の合計が大きい和音の根音をフレームの主となる音階とする。

【Step 3】 Step 2 で決定された主となる音階に対応する属音のオクターブ 1 の振幅スペクトル値が、閾値となる周波数の振幅スペクトル値を上回っていれば状態 1, 下回っていれば状態 0 とする。ここで、各フレームにおいて、振幅スペクトル値を降順に並び替えた時の上位 N 位の周波数の振幅スペクトル値を閾値とする。また、ステゴ信号が攻撃を受けた場合を考慮し、透かし 1 か透かし 0 を埋め込むかによって N の値を変更させる。図 2 のように、透かし 1 を埋め込むときには N を高い順位 N_1 とし、透かし 0 を埋め込むときには

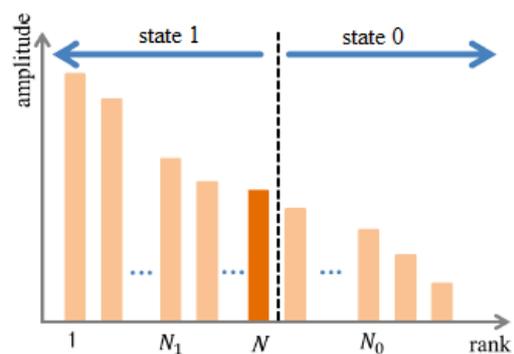


図 2 従来法の閾値設定

N を低い順位 N_0 とする。任意の透かしを埋め込みたい場合には以下のパターンがある。

- 透かし 1 を埋め込む場合: 求めた属音のオクターブ 1 の振幅スペクトル値が N_1 の振幅スペクトル値を下回れば、 N_1 の振幅スペクトル値を上回るように振幅スペクトル値を増幅させる。
- 透かし 0 を埋め込む場合: 求めた属音のオクターブ 1 の振幅スペクトル値が N_0 の振幅スペクトル値を上回れば、 N_0 の振幅スペクトル値を下回るように振幅スペクトル値を減衰させる。

【Step 4】 全てのフレームで透かしの埋め込みを施した後、逆フーリエ変換をすることでステゴ信号を得る。

2.2 透かしの抽出

透かしの抽出には、フレーム長と閾値 N_e ($N_1 < N_e < N_0$) が必要となる。フレーム長と閾値を用いて、埋め込み時と同様に、ステゴ信号を L ミリ秒の固定長フレームに分割する。フレームごとにフーリエ変換を行ない、時間領域から

周波数領域に変換する。フーリエ変換によって得られた振幅スペクトル値を降順に並べ替えて上位 50 位を決定する。決定した振幅スペクトル値に対応する周波数を分析していく。並べ替えた振幅スペクトル値に対応する周波数と最も近い周波数の音階を図 1 の周波数表を用いて特定し、最も近い周波数の音階を根音とする。特定した根音から半音で 7 音上の音である属音の振幅スペクトル値を、対応する根音の振幅スペクトル値に加算していく。加算した振幅スペクトル値の合計が最も大きい和音の根音をフレームの主となる音階とする。求めた属音のオクターブ 1 の振幅スペクトル値を参照し、閾値 N_e の振幅スペクトル値を上回れば透かし 1 とし、下回れば透かし 0 として抽出する。

3. 和音の音楽理論に基づく音楽電子透かし法の調判定を用いた主観的評価の改善（提案法）

本章では、従来法の問題点と改善点、調判定の方法と提案法の埋め込みと抽出方法について述べる。

3.1 従来法の問題点と改善点

従来法は低い音の音高推定が必要であるため、固定長フレームの長さを $L = 417$ ミリ秒としている。しかし、 L を 417 ミリ秒にすると 1 分間の楽曲に対して透かしの埋め込みが 143bit となるため、IHC 評価基準の 1 分間の楽曲に対して 360bit 以上の透かしの埋め込みという要件を満たしていない。

フレーム長を短くして埋め込み容量を増大させる方法は低い音の音高推定が難しくなる。従来法では属音のオクターブ 1 の振幅スペクトル値を操作して透かしの埋め込んでいるため、低い音の音高推定をする必要がある。そこで、比較手法では埋め込み容量を増大させるために属音に加えて根音と中音のオクターブ 1 の振幅スペクトル値にも透かしの埋め込んでいる。比較手法では三和音の中音へ埋め込む際に調の判定をせず、全て長調として埋め込みを行っている。しかし、音楽では調を重視しているため、長調と短調を判別する必要があると考える。そこで、提案法では埋め込みを行なう前に調判定 [7], [8] をし、長調と短調の判別を行なうことで、短調の曲にも対応させる。

3.2 調判定

調判定とは、楽曲のあるフレーズが何の調であるかを判定することである。本稿では、調判定の手法として Circle of Fifth 平面を用いたキー推定 [7] を参考にし、クロマベクトルと調性ベクトルを用いて調判定を行なう。

まず、窓幅 W サンプル、スライド幅 S サンプルとし、ホスト信号に対して 44100 点の短時間フーリエ変換を行なう。次に、切り出した区間の周波数スペクトルのオクターブをまとめ 12 半音階ごとに量子化するクロマベクトルを

得る。クロマベクトルを得る際、正規化することで音量の大きい区間のベクトルと小さい区間のベクトルとの間で不公平が出ないようにする。クロマベクトル C を式 (1) で与える。

$$C(t) = \begin{bmatrix} c_C(t) \\ \vdots \\ c_B(t) \end{bmatrix}, \text{ただし } |C(t)| = 1 \quad (1)$$

得られたクロマベクトルからどの調性がどの程度の尤度を持っているかを計算し、調性ベクトルへ変換する。調性ベクトル K を式 (2), (3) で与える。

$$K(t) = \begin{bmatrix} k_C(t) \\ \vdots \\ k_B(t) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$k_{P_n}(t) = \sum_{i=0}^{11} w_i f(c_{P_{i+n(\bmod 12)}}(t)) (P_0 = C, \dots, P_{11} = B) \quad (3)$$

クロマベクトルから調性ベクトルへ計算する際に重み w を長調、短調でそれぞれ設定する。また、打ち切り関数を用いることにより、突発的な単音のピークによる調性ベクトルのぶれを抑える。打ち切り関数を式 (4) で与える。

$$f(x) = \frac{1}{6(1 + e^{24(1/12-x)})} \quad (4)$$

以上の手順で調判定を行ない、 K のうち最も高い値をもつキーを楽曲の調とする。

3.3 透かしの埋め込み手順

[Step 1] ホスト信号を 4 つの区間に分割する。IHC 評価基準において 15 秒あたりに 90bit の透かしの埋め込みという条件があり、本稿では 1 分間の楽曲に対して 4 分割とすることで、曲の途中で転調した場合を考慮する。分割後に 3.2 節の調判定を各区分で行なう。

[Step 2] ホスト信号を L ミリ秒の固定長フレームに分割する。

[Step 3] 2.1 節の Step 2 と同様にして、フレームの主となる音階を求める。

[Step 4] Step 3 で決定された主となる音階に対応する属音のオクターブ 1 の振幅スペクトル値が、閾値となる周波数の振幅スペクトル値を上回っていれば状態 1、下回っていれば状態 0 とする。ここで、従来法と同様に各フレームにおいて、振幅スペクトル値を降順に並び替えた時の上位 N 位の周波数の振幅スペクトル値を閾値とする。図 3 のように、透かし 1 を埋め込むときには N を高い順位 N_{d1} とし、透かし 0 を埋め込むときには N を低い順位 N_{d0} とする。任意の透かしの埋め込みたい場合には以下のパターンがある。

- 透かし 1 を埋め込む場合：求めた属音のオクターブ 1

の振幅スペクトル値が N_{d1} の振幅スペクトル値を下回れば、 N_{d1} の振幅スペクトル値を上回るように振幅スペクトル値を増幅させる。

- 透かし0を埋め込む場合：求めた属音のオクターブ1の振幅スペクトル値が N_{d0} の振幅スペクトル値を上回れば、 N_{d0} の振幅スペクトル値を下回るように振幅スペクトル値を減衰させる。

【Step 5】 決定された根音のオクターブ1の振幅スペクトル値が、閾値となる振幅スペクトル値を上回っていれば状態1，下回っていれば状態0とする。属音と同様に、透かし1を埋め込むときには N を高い順位 N_{r1} とし、透かし0を埋め込むときには N を低い順位 N_{r0} とする。任意の透かしを埋め込みたい場合には、属音に埋め込む場合と同様のパターンがある。

- 透かし1を埋め込む場合：求めた根音のオクターブ1の振幅スペクトル値が N_{r1} の振幅スペクトル値を下回れば、 N_{r1} の振幅スペクトル値を上回るように振幅スペクトル値を増幅させる。
- 透かし0を埋め込む場合：求めた根音のオクターブ1の振幅スペクトル値が N_{r0} の振幅スペクトル値を上回れば、 N_{r0} の振幅スペクトル値を下回るように振幅スペクトル値を減衰させる。

【Step 6】 Step 1の結果，長三和音であれば根音から半音で4音高い音，短三和音であれば根音から半音で3音高い音を中音とする。決定された中音のオクターブ1の振幅スペクトル値が、閾値となる振幅スペクトル値を上回っていれば状態1，下回っていれば状態0とする。属音と同様に、透かし1を埋め込むときには N を高い順位 N_{m1} とし、透かし0を埋め込むときには N を低い順位 N_{m0} とする。任意の透かしを埋め込みたい場合には、属音に埋め込む場合と同様のパターンがある。

- 透かし1を埋め込む場合：求めた中音のオクターブ1の振幅スペクトル値が N_{m1} の振幅スペクトル値を下回れば、 N_{m1} の振幅スペクトル値を上回るように振幅スペクトル値を増幅させる。
- 透かし0を埋め込む場合：求めた中音のオクターブ1の振幅スペクトル値が N_{m0} の振幅スペクトル値を上回れば、 N_{m0} の振幅スペクトル値を下回るように振幅スペクトル値を減衰させる。

【Step 7】 全てのフレームで透かしの埋め込みを施した後，逆フーリエ変換をすることでステゴ信号を得る。

3.4 透かしの抽出

透かしの抽出には，フレーム長と閾値 N_{re} , N_{de} , N_{me} ($N_{r1} < N_{re} < N_{r0}$, $N_{d1} < N_{de} < N_{d0}$, $N_{m1} < N_{me} < N_{m0}$) が必要となる。フレーム長と閾値を用いて，埋め込み時と同様に調判定から根音，中音，属音を推定する。抽

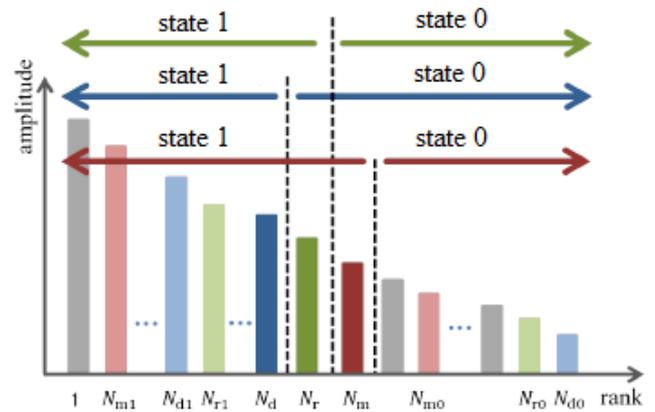


図3 提案法の閾値設定

出は属音，根音，中音の順番で行なう。

属音 求めた属音のオクターブ1の振幅スペクトル値を参照し，閾値 N_{de} の振幅スペクトル値を上回れば1とし，下回れば0として抽出をする。

根音 求めた根音のオクターブ1の振幅スペクトル値を参照し，閾値 N_{re} の振幅スペクトル値を上回れば1とし，下回れば0として抽出をする。

中音 求めた中音のオクターブ1の振幅スペクトル値を参照し，閾値 N_{me} の振幅スペクトル値を上回れば1とし，下回れば0として抽出をする。

4. 実験

本章では提案法の有効性を確認するために，攻撃に対する耐性評価実験，音質評価実験を行なった結果を示す。

4.1 実験条件

本実験では，RWC 研究用音楽データベース（音楽ジャンル）の楽曲を使用した。これらの楽曲はステレオ音源であり，サンプリング周波数が44.1kHz，16bitで量子化されたPCM形式のデータである。ポップス1曲（No.1），ロック1曲（No.7），ダンス1曲（No.13），ジャズ1曲（No.28），ラテン1曲（No.37），クラシック1曲（No.49），行進曲2曲（No.54，No.57），ワールド1曲（No.64），声楽1曲（No.85），邦楽1曲（No.91），ア・カペラ1曲（No.100）の計12曲であり，各曲の先頭1分間を使用した。透かしの埋め込み系列であるペイロード [6] を用いて埋め込みを行なった。

提案法では固定長フレーム $L = 417$ ミリ秒，窓幅 $W = 4096$ サンプル，スライド幅 $S = 2048$ サンプルとした。また，調判定する際の調性ベクトルの重みを図4に示す。比較手法，提案法の埋め込み閾値は全て統一し， N_{r1} , N_{d1} , N_{m1} を40とし， N_{r0} , N_{d0} , N_{m0} を80とした。抽出の閾値も同様に全て統一し， N_{re} , N_{de} , N_{me} を50とした。すべての手法で両チャンネルに埋め込みを行ない858bitの

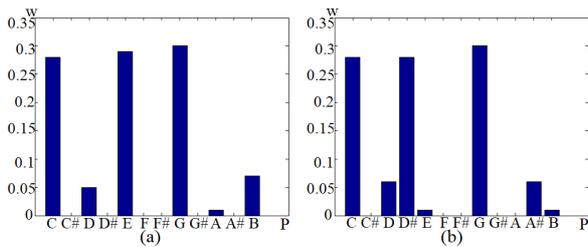


図 4 重み w : (a) メジャーの場合, (b) マイナーの場合

表 1 比較手法の耐性評価 (BER[%]) の実験結果

楽曲	MP3	MP3 (2 回符号化)	AAC	雑音付加
No.1	0.70	2.33	1.05	0
No.7	3.15	3.50	1.40	0.11
No.13	3.50	4.78	1.05	0.17
No.28	1.17	2.10	1.05	0
No.37	2.10	2.56	1.40	0
No.49	0.82	0.58	1.40	0
No.54	1.28	1.98	0.35	0.04
No.57	0	0.82	1.17	0.12
No.64	1.28	2.56	0.93	0.01
No.85	0.93	1.86	0.70	0.23
No.91	0.93	2.45	1.05	0.06
No.100	1.52	1.98	0.47	0.36

透かしを埋め込んだ。

4.2 耐性評価

比較手法, 提案法において, 以下の 4 つの攻撃モデルに対して実験を行なった。

- MP3 128kbps (joint stereo)
- MP3 128kbps (joint stereo) tandem coding
- MPEG4 HE-AAC 96kbps
- Gaussian noise addition (overall average SNR 36dB)

耐性評価では, BER(Bit Error Rate) という誤り率を用いる。BER は以下の式 (5) で求める。

$$BER = \frac{\text{エラービット数}}{\text{全ての埋め込んだビット数}} \times 100 [\%] \quad (5)$$

なお, IHC 評価基準としては上記 4 つの攻撃モデル全てにおいて BER が 10%未滿を満たすことが挙げられている。また, 雑音付加に関しては 100 回実験した結果の平均値から BER を算出した。

比較手法, 提案法の結果を表 1, 2 にそれぞれ示す。実験結果より, 比較手法, 提案法ともに全ての項目において基準を満たすことができた。

4.3 音質評価

音質評価実験では, 客観的音質評価実験と主観的音質評価実験を行なった。

4.3.1 客観的音質評価

客観的音質評価では, PEAQ 測定 [10] により

表 2 提案法の耐性評価 (BER[%]) の実験結果

楽曲	MP3	MP3 (2 回符号化)	AAC	雑音付加
No.1	0.70	2.33	0.70	0
No.7	3.15	3.50	1.52	0.11
No.13	3.96	5.59	1.40	0.08
No.28	1.17	2.10	0.58	0
No.37	1.28	3.85	1.28	0
No.49	0.82	0.58	1.28	0
No.54	1.28	1.98	0.82	0.02
No.57	0	0.82	1.17	0.09
No.64	1.28	2.56	0.93	0.03
No.85	0.93	1.86	0.70	0.22
No.91	0.93	2.45	1.05	0.05
No.100	1.52	1.98	0.47	0.45

表 3 比較手法の客観的音質評価 (ODG) の実験結果

楽曲	A	B
No.1	0	-1.05
No.7	0	-1.03
No.13	-0.37	-1.00
No.28	-0.02	-1.19
No.37	-0.02	-1.21
No.49	-0.35	-1.17
No.54	0	-1.19
No.57	-0.06	-1.56
No.64	0	-0.89
No.85	-0.22	-1.12
No.91	0	-0.98
No.100	0	-1.10
平均	-0.09	-1.12

ODG(Objective Difference Grade) といわれる劣化度合いを算出し, 評価を行なった。ODG は, 0 から -4 の値をとり, 0 に近いほどホスト信号からの劣化が少ない。以下が IHC 評価基準の客観的音質評価の要件である。

A ステレオのホスト信号とステレオのステゴ信号との比較

B ステレオのホスト信号とステレオのステゴ信号に MP3 圧縮を行なった劣化信号との比較

A については, 全ての楽曲で -2.5 以上, B については平均が -2.0 以上であれば IHC 委員会の定めた基準を満たすこととなる。

比較手法, 提案法の結果を表 3, 4 にそれぞれ示す。実験結果より, 全ての実験において基準を満たすことができた。また, 表 3 と表 4 の ODG を比較すると, 提案法の音質は比較手法と同程度に保つことができたといえる。

4.3.2 主観的音質評価

主観的音質評価では, ABX テストおよび ABC/HR 比較 [9] によりステゴ信号を採点した。実験では, steinberg 製のデジタルオーディオインターフェース UR242 とソニー製のステレオヘッドホン HDR-CD900ST を使用した。ABX テストでは試聴環境 α において人物 β が音源 A と音

表 4 提案法の客観的音質評価 (ODG) の実験結果

楽曲	A	B
No.1	0	-1.05
No.7	0	-1.03
No.13	-0.32	-1.00
No.28	-0.02	-1.21
No.37	0	-1.21
No.49	-0.35	-1.29
No.54	0	-1.19
No.57	-0.06	-1.56
No.64	0	-0.89
No.85	-0.22	-1.20
No.91	0	-0.99
No.100	0	-1.10
平均	-0.08	-1.14

表 5 主観的音質評価の採点基準

score	criterion for subjective evaluation
5	imperceptible,transparent
4	perceptible but not annoying
3	slightly annoying
2	annoying
1	very annoying

表 6 主観的評価実験結果の被験者平均スコア

楽曲	score	
	比較手法	提案法
No.1	5.0	5.0
No.7	5.0	5.0
No.13	4.8	4.8
No.28	4.8	4.8
No.37	5.0	5.0
No.49	4.8	4.9
No.54	5.0	5.0
No.57	4.8	4.8
No.64	5.0	5.0
No.85	4.8	4.8
No.91	4.9	5.0
No.100	5.0	5.0

源 B をランダムに選んで再生された X を聞いて、X が A と B のどちらに等しいか答えるテストである。統計的に信頼できる結果を出すため、試行回数を最低 8 回とし、テスト途中の正解率は被験者には知らせない。ABC/HR 比較はホスト信号 R とステゴ信号 M との比較によって 1~5 の間の点数をつける。その採点基準を表 5 に示し、評価の結果を表 6 に示す。なお、本実験においては 20 代男性 8 名、女性 2 名の計 10 名の被験者を対象に行なった。

実験結果を表 6 に示す。なお、この結果は各楽曲において被験者 10 人のスコアの平均をとったものである。実験より、提案法の評価スコアが比較手法の評価スコアより改善されたことが分かった。

5. まとめ

本稿では、音楽理論の原理を用いた音楽電子透かしに着目した手法に対して、調判定を用いて長三和音と短三和音の判別をすることで主観的音質評価を改善させる手法を提案した。提案法では比較手法と同程度の耐性と埋め込み容量を保ちつつ、調判定を用いることで短調の曲と転調も考慮し、透かしのより自然に埋め込むことで主観的な音質を改善することを目的としている。

実験の結果から、耐性、客観的音質評価および埋め込み容量において比較手法と同程度に保つことができ、また主観的音質評価の改善をすることができた。しかし、曲を等分割して調判定をしているため、実際の転調に合わせて分割できていない。そのため、今後の課題として、実際に転調している箇所を特定して透かしの埋め込む必要があると考える。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18K18174 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 松井甲子雄, 岩切宗利, “情報ハイディングの基礎,” 森北出版, 2004.
- [2] L.Boney, A. H. Tewk, K.N.Hamdy, “Digital Watermarks for Audio Signals,” Proc. International Conference on Multimedia Computing and Systems, pp.473-480, 1996.
- [3] 西村竜一, 鈴木真奈美, 鈴木陽一, “時変全域通過フィルタを用いた音楽信号用電子透かしの提案,” 信学技報, EA2001-36, pp.65-72, 2001.
- [4] 村松徹, 荒川薫, “オクターブ類似性に基づくオーディオ信号への電子透かし,” 信学論 (A), vol.J87-A, no.6, pp.787-796, 2004.
- [5] A. Yogeswaran, P. Payeur, and J. Azaho, “Content-Adaptive Musical Audio Watermarking based on the Music Theory of Chords,” in Proc. IEEE 8th Int. Workshop on Haptic Audio Visual Environments and Games, pp.129-134, 2009.
- [6] IHC Evaluation Criteria and Competition, “<http://www.ieice.org/iss/emm/ihc/audio/audio.html>,” Accessed 4 October, 2018.
- [7] 井下貴仁, 甲籐二郎, “Circle of Fifth 平面を用いたキー推定,” 情処学研報, Vol.2008-MUS-76, No.22, pp.131-136, 2008.
- [8] 植村あい子, 甲籐二郎, “DNCOF ベクトルとクロマベクトルを用いた和音認識,” 情処学研報, Vol.2011-MUS-90, No.5, pp.1-6, 2011.
- [9] ITU-R BS. 1116-1, “Methods for the subjective assessment of small impairments in audio system including multichannel sound system,” Rec., International Telecom-munications Union, Geneva, Switzerland, 1997.
- [10] ITU-R Rec. BS. 1387, “Methods for Objective Measurements of Perceived Audio Quality,” 2001.