

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 20 日現在

機関番号：33908

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870681

研究課題名(和文)音楽理論を用いた音楽電子透かし法

研究課題名(英文)An audio watermarkin method using music theory

研究代表者

村田 晴美(Harumi, Murata)

中京大学・工学部・助教

研究者番号：10707186

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：透かしを埋め込んだ後であっても音楽データとしての価値を損なってはいけないという音楽電子透かしに求められる要件に対し、元の楽曲には含まれていない音が知覚された場合であっても演奏上の違和感が生じないようにするという新たな視点から埋め込み法を検討する。そのために、音楽理論の中の協和音に着目し、さらに音源の定位を利用した埋め込み法と非負値行列因子分解を用いた埋め込み法について、耐性と音質評価実験の結果から提案法の有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：For audio signals, the sound quality of the stego signal should not deteriorate. We examine an embedding method from the following different viewpoint. There is no problem even if another sound, not in the original signal, is perceived when the sound of the stego signal is musical. In this case, we can regard the sound quality of the stego signal as high in this work. Accordingly, we focus on consonance of music theory, and propose embedding methods using sound source localization and non-negative matrix factorization. It was confirmed the validity of these methods from evaluations of tolerance and sound quality.

研究分野：情報学

キーワード：音楽電子透かし 音楽理論 音源定位 非負値行列因子分解

1. 研究開始当初の背景

音楽データを含むデジタルコンテンツはコピーが容易で、コピーしても品質が劣化しないといった特徴がある。現状として、コピーされたデジタルコンテンツが不正に配信されていることが問題となっている。そこで、デジタルコンテンツの著作権保護が重要な課題となり、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では、透かしを埋め込んだ後であっても音楽データとしての価値を損なわないことが求められている。この要件を満たすために、従来の音楽電子透かし法では、知覚されにくい領域に透かしを埋め込んでいた。しかし、様々な攻撃に対して耐性を有し、十分な埋め込み容量を確保しながら音質劣化が知覚されないように埋め込むことは困難である。

また、従来の音楽電子透かし法では透かしを埋め込むために音楽信号の成分を操作しているため、音楽信号が劣化してしまうといった問題もある。

2. 研究の目的

上述の問題を解決するために、「知覚されないように透かしを埋め込む」のではなく、「知覚された場合であっても演奏上の違和感が生じないように透かしを埋め込む」ことにより音質に求められる要件を満たす手法について検討する。そのために、音楽情報処理技術のひとつである音源分離と音楽理論の中の協和音に着目する。さらに、音楽信号が劣化しないようにするために、音楽信号の成分を操作するのではなく音楽信号とは別の信号を付加することで透かしを埋め込む手法について考える。具体的には下記の2項目を研究目的とする。

(1) 音源の定位を利用した音楽電子透かし法の音質・耐性評価

複数の楽器が演奏されている楽曲に対しても透かしの埋め込みが可能になるように、Liにより提案されている音源分離技術を利用する。この手法により求められた音源の定位を利用した埋め込みを実装し、この手法に対して電子情報通信学会IHC委員会によって定められている第2回音響電子透かしコンテストの評価にしたがって音質と耐性を評価する。15秒あたり90 bits、60秒間の音楽信号に対して360 bitsの透かしを埋め込む。耐性評価では、BER (bit error rate) を基準としており、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秒間の信号を対象として、うち30秒間に埋め込まれた180 bitsのうちのエラービット数をBERとして算出する。このBERがMP3圧縮を含む3つの項目に対して10%以下となるようにする。音質評価では、客観的な音質を評価するPQevalAudioにより音質の劣化度を示すODG (objective difference grade) を算出し、各楽曲でODGが-2.5より小さい値となるよう

にする。

(2) 音源分離を用いた音楽電子透かし法の実装および有効性の評価

演奏上の違和感が生じないように透かしを埋め込む手法を音楽理論の和音の観点から考案する。和音には協和音と不協和音があり、協和音は不快に感じない和音のことで、元の楽曲と協和音の関係になるように別の音を透かし信号として加える。元の楽曲に含まれていない音を加えるため、元の楽曲の音質は劣化しない。さらに、透かし信号の音色を元の楽曲に含まれる楽器音と類似した音色にすることで、知覚されても演奏上の違和感がないような音質を得ることが目標である。

3. 研究の方法

上述の研究目的を実現するために、下記の方法により研究を実施した。

(1) 音源の定位を利用した音楽電子透かし法の処理アルゴリズムを実装した後、楽曲データに適用し、透かしを埋め込む。次に、音質・耐性の評価をするために、電子情報通信学会IHC委員会では定められている評価基準にしたがって評価を行なう。耐性評価では、BERを基準としており、BERがMP3圧縮を含む3つの攻撃に対して10%以下となるように手法の改善をしながら耐性を向上させる。

(2) 音源分離を用いた音楽電子透かし法の実装をするために、どのような技術が有効であるかについて文献を調査する。調査結果から手法の考案をし、考案した埋め込み処理のアルゴリズムを実装する。その後、音楽データに対して(1)と同様にして評価実験を行なう。評価結果から手法の有効性について検討し、音質が良くなるように手法の改善をする。

4. 研究成果

(1) 音源の定位を利用した音楽電子透かし法の実装に関する研究については、当初の研究計画通りに埋め込み手法をコンピュータ上に実装し、評価実験を行なった。実験の結果、BERを10%以下とすることができなかったため、誤り訂正符号を導入した。透かしの抽出がすべて正しく行なうことができずに一部に抽出誤りが生じたとしても、誤り訂正符号を用いることで抽出誤りを訂正することができる。

実験には、IHC委員会では指定されているRWC研究用音楽データベース(音楽ジャンル)から12曲、SQAMの楽曲から8曲を使用した。耐性評価として、表1の5項目について実験をし、BERを算出した。RWC研究用音楽データベースの楽曲12曲についてはすべての項目で基準を満たすことができた。しかし、SQAMの楽曲については、MP3圧縮とMP3圧縮の2回符号化を除く3つの項目で基準を満た

さない楽曲があった。SQAMには1つの打楽器音で演奏されている曲があり、Liの手法により推定された音源数が少ないことで耐性が低くなったと考えられる。次に、客観的な音質評価をPQevalAudioにより実施し、ODG値を算出した。実験の結果、SQAMの楽曲では8曲の平均値が-1.76であり、8曲中3曲で基準を満たすことができなかった。RWC研究用音楽データベースの楽曲については12曲の平均値が-0.63であり、すべての楽曲で基準を満たすことができた。今後は、SQAMの楽曲に対しても耐性・音質評価の基準を満たすことができるように改善をする必要があると考えられる。

表1 BER [%]の結果: (a)MP3 圧縮, (b) DA-AD 変換, (c) MP3 2 回符号化, (d) HE-AAC, (e) 雑音付加

楽曲番号	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
SQAM Track 27	1.11	37.78	7.22	8.33	0.00
SQAM Track 32	0.00	14.44	2.22	2.22	5.00
SQAM Track 35	0.00	17.78	0.00	17.78	13.89
SQAM Track 40	0.56	6.67	2.22	0.56	22.22
SQAM Track 65	0.00	6.67	1.67	0.00	0.00
SQAM Track 66	0.56	21.67	9.44	8.33	0.00
SQAM Track 69	1.67	15.56	6.67	8.89	0.00
SQAM Track 70	0.00	8.89	0.00	1.67	5.00
RWC-MDB-G-2001 No.1	0.00	1.67	0.00	3.89	0.00
RWC-MDB-G-2001 No.7	0.00	6.11	0.00	0.00	0.00
RWC-MDB-G-2001 No.13	0.00	0.56	0.56	1.67	0.00
RWC-MDB-G-2001 No.28	0.00	7.22	0.00	1.67	0.00
RWC-MDB-G-2001 No.37	0.00	2.22	0.00	0.00	0.00
RWC-MDB-G-2001 No.49	0.00	3.89	0.00	1.67	0.00
RWC-MDB-G-2001 No.54	0.00	8.33	2.22	3.89	0.00
RWC-MDB-G-2001 No.57	0.00	0.00	3.33	0.00	2.78
RWC-MDB-G-2001 No.64	0.00	8.33	0.00	0.00	0.00
RWC-MDB-G-2001 No.85	0.00	6.67	0.56	0.00	0.00
RWC-MDB-G-2001 No.91	0.00	2.22	0.00	0.00	0.00
RWC-MDB-G-2001 No.100	0.00	4.44	0.00	1.11	0.00
平均	0.19	9.06	1.81	3.08	2.44

(2) 音源分離を用いた音楽電子透かし法では、多変量解析手法のひとつである非負値行列因子分解に着目した。非負値行列因子分解では、音楽信号を楽器音ごと、音高ごとに分離することができるため、ある特定の楽器音に対して透かしを埋め込むことが可能となる。この非負値行列因子分解に加えて、音楽理論の協和音を利用した音楽電子透かし法を提案した。非負値行列因子分解によって分離された楽器音の音高を根音とみなし、根音と協和音の関係である属音に透かし信号として音を加える。これにより、元の音楽信号を操作することなく透かしを埋め込むことができるため、元の楽曲の音質は劣化しない。また、根音とみなした音と類似した楽器の音色を有する楽器音の情報を透かし信号に用いるため、知覚される透かし信号は楽器音として認識され、楽曲としての違和感が少ないと考えられる。

提案法の有効性を確認するために、ピアノとクラリネットの二重奏10曲について耐性評価および主観的な音質評価実験を行なった。耐性評価実験では、MP3 圧縮、DA-AD 変換、MP3 圧縮2回符号化、MPEG4 HE-AAC、ガ

ウス性雑音付加、およびバンドパスフィルタに対して評価をした。実験の結果、DA-AD 変換を除くすべての攻撃に対して10%以下となり、耐性を有していることを確認した。また、被験者15名に対してMOS (mean opinion score) による主観的な音質評価実験を行なった結果を図1に示す。MOSでは被験者が透かし入り楽曲を試聴し、音質がどのように感じたかを1~5の間の点数で評価する。実験の結果、全曲の平均値が3.9となり、元の楽曲と異なる音が知覚された場合であっても主観的な音質が良いことから、本手法の有効性を確認した。

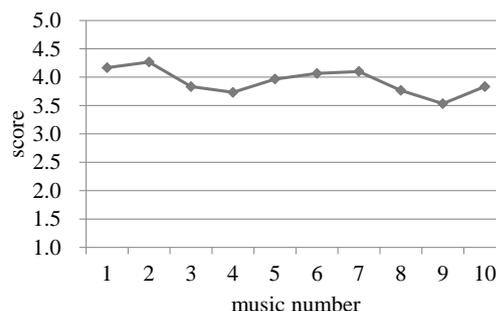


図1 MOSの結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 山本清高、村田晴美、荻原昭夫、目加田慶人、発音時刻の直交性を考慮したエレキベースの音高・発音時刻推定、電気学会論文誌 C、査読有、vol. 136、no. 12、2016、pp.1661-1667
- ② H.Murata, A.Ogihara, Improvement of the embedding capacity for audio watermarking method using non-negative matrix factorization, Smart Innovation, Systems and Technologies 63, Advances in Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Springer, 査読有, 2016, pp.107-114
- ③ H.Murata, A.Ogihara, M.Uesaka, Sound quality evaluation for audio watermarking based on phase shift keying using BCH code, IEICE Trans. on Information and Systems, 査読有, vol.E98-D, no.1, 2015, pp.89-94

[学会発表] (計 28 件)

- ① 荻原昭夫、村田晴美、脳波信号による音質評価法の検討 (第3報)、2017年電子情報通信学会総合大会、2017年3月23日、名城大学天白キャンパス (愛知県)
- ② 森川裕介、村田晴美、荻原昭夫、オクターブ類似性に基づく音楽電子透かし

- の位相特性を考慮した容量増大と RS 符号による耐性向上、2017 年電子情報通信学会総合大会、2017 年 3 月 23 日、名城大学天白キャンパス（愛知県）
- ③ 山本清高、村田晴美、荻原昭夫、目加田慶人、エレキベースのスラップ奏法を対象としたスペクトル特徴と演奏制約を利用した採譜支援、電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会、2017 年 3 月 20 日、名城大学天白キャンパス（愛知県）
- ④ 村田晴美、荻原昭夫、非負値行列因子分解を用いた音楽電子透かし法の音高推定の改善、電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会、2017 年 3 月 7 日、宮古島マリンターミナルビル(沖縄県)
- ⑤ 村田晴美、荻原昭夫、非負値行列因子分解を用いた音楽電子透かし法の埋め込み多重化に関する検討、電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会、2017 年 1 月 30 日、東北大学電気通信研究所（宮城県）
- ⑥ 村田晴美、荻原昭夫、異なる楽器の二重奏を対象とした非負値行列因子分解を用いた音楽電子透かし法の検討、電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会、2016 年 11 月 17 日、コンパルホール（大分県）
- ⑦ 荻原昭夫、安原尚吾、村田晴美、音楽電子透かしを用いたユーザ位置推定法の検討、平成 28 年度（第 67 回）電気・情報関連学会中国支部連合大会、2016 年 10 月 22 日、広島大学東広島キャンパス（広島県）
- ⑧ 村田晴美、荻原昭夫、ホスト信号と透かし信号の基底を分離した非負値行列因子分解による音楽電子透かし法、電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会、2016 年 9 月 16 日、愛知県立大学長久手キャンパス（愛知県）
- ⑨ 村田晴美、荻原昭夫、非負値行列因子分解を用いた音楽電子透かしの埋め込み方法の考察、第 15 回情報科学技術フォーラム、2016 年 9 月 8 日、富山大学五福キャンパス（富山県）
- ⑩ H.Murata, A.Ogihara, Digital watermark for real instrumental sounds using non-negative matrix factorization, Proc. International Conference on Circuits/ Systems, Computers and Communications, 2016 年 7 月 12 日, Okinawa Pref. Municipal Center (Okinawa)
- ⑪ H.Murata, A.Ogihara, A study of audio watermarking method using non-negative matrix factorization, Proc. 11th International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, 2016 年 6 月 1 日, Nara Kasugano International Forum IRAKA (Nara)
- ⑫ 村田晴美、荻原昭夫、非負値行列因子分解を用いた音楽電子透かし法の埋め込み容量の改善、電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会、2016 年 5 月 20 日、小樽経済センター（北海道）
- ⑬ 荻原昭夫、村田晴美、脳波信号による音質評価法の検討（第 2 報）、2016 年電子情報通信学会総合大会、2016 年 3 月 15 日、九州大学（福岡県）
- ⑭ 村田晴美、荻原昭夫、非負値行列因子分解による実演奏音に対する電子透かし法、電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会、2016 年 3 月 3 日、屋久島環境文化村センター（鹿児島県）
- ⑮ 村田晴美、荻原昭夫、楽曲の調判定と非負値行列因子分解を利用した音楽電子透かし法の検討、電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会、2016 年 1 月 19 日、東北大学（宮城県）
- ⑯ 村田晴美、荻原昭夫、非負値行列因子分解を利用した音楽電子透かし法の検討、電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会、2015 年 11 月 13 日、熊本大学（熊本県）
- ⑰ 番匠真、荻原昭夫、村田晴美、空間分割法を適用したサラウンド音楽電子透かしに関する研究、平成 27 年度(第 66 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会、2015 年 10 月 17 日、山口大学工学部（山口県）
- ⑱ 藤木祥平、荻原昭夫、村田晴美、変化率を用いた楽曲聴取時の脳波のパワースペクトルの特徴抽出、平成 27 年度(第 66 回)電気・情報関連学会中国支部連合大会、2015 年 10 月 17 日、山口大学工学部（山口県）
- ⑲ H.Murata, A.Ogihara, An audio watermarking method using nonharmonic notes as watermark signal, Proc. 15th International Symposium on Communications and Information Technologies, 2015 年 10 月 7 日, Nara Kasugano International Forum IRAKA (Nara)
- ⑳ 鈴木啓太、村田晴美、荻原昭夫、振幅および位相特性に基づく音楽電子透かし法における位相領域の細分化による埋め込み容量の増大、平成 27 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会、2015 年 9 月 28 日、名古屋工業大学（愛知県）

- 21 H.Murata, A.Ogihara, An audio watermarking method using tone of diatonic chord, Proc. 2015 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2015年9月24日, Adelaide (Australia)
- 22 村田晴美、荻原昭夫、コード進行を利用した音楽電子透かし法、第14回情報科学技術フォーラム、2015年9月15日、愛媛大学(愛媛県)
- 23 村田晴美、荻原昭夫、非和声音を透かし信号として利用した音楽電子透かし法の検討、電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会、2015年3月13日、大濱信泉記念館(沖縄県)
- 24 荻原昭夫、村田晴美、脳波信号による音質評価法の検討、2015年3月10日、立命館大学びわこ・くさつキャンパス(滋賀県)
- 25 村田晴美、荻原昭夫、音楽電子透かし法における楽曲の調判定を用いた音質の改善、電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会、2015年1月29日、東北大学工学研究科(宮城県)
- 26 村田晴美、荻原昭夫、対位法を利用した音楽電子透かし法の検討、電子情報通信学会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会、2014年11月21日、九州大学芸術工学部(福岡県)
- 27 村田晴美、荻原昭夫、原曲をピッチ変換した音を用いた音楽電子透かし法、第13回情報科学技術フォーラム、2014年9月4日、筑波大学筑波キャンパス(茨城県)
- 28 H.Murata, A.Ogihara, An audio watermarking method using pitch-transformed sound of original music, Proc. 2014 Tenth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2014年8月27日, Kitakyushu International Conference Center (Fukuoka)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村田 晴美 (MURATA Harumi)

中京大学・工学部・助教

研究者番号: 10707186