

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330214

研究課題名(和文)多層型音楽電子透かしにおける階層数による音質制御法

研究課題名(英文)A sound quality control method based on the number of layers in multilayer type audio watermarking

研究代表者

荻原 昭夫 (OGIHARA, Akio)

近畿大学・工学部・教授

研究者番号：60244654

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：我々が提案している多層型音楽電子透かし手法は、透かし情報の埋め込み処理を多層化することにより埋め込み容量の増大が実現可能である。しかしながら、多層化に応じて埋め込み処理による音質劣化が知覚されやすくなるという課題があった。そこで本研究では、生体信号を加味した客観的音質評価手法を用いて音質評価を実施した結果に従って、多層型音楽電子透かし手法の階層数を制御することで、埋め込み容量と音質との両立を実現した。

研究成果の概要(英文)：In our multilayer type audio watermarking method, we increase the capacity of embedding by introducing multi-layered embedding process of watermark information. However, there is the problem that sound quality degradation is likely to be perceived according to multi-layered embedding process. In this research, we control the number of layers in multilayer type audio watermarking method according to the sound quality obtained by objective sound quality evaluation method with biological signal. As a consequence, we realized the balance of embedding capacity and sound quality.

研究分野：音響情報処理

キーワード：音楽電子透かし 情報ハイディング

## 1. 研究開始当初の背景

電子透かし技術を使用することで、音楽データに対して付加データを埋め込むことが可能となる。通常、付加データが埋め込まれた音楽データは CD のような非圧縮のデータ形式で流通される。一方、近年では iPod などの携帯音楽プレイヤーが普及しており、これらの機器では mp3 圧縮等により圧縮された音楽データが使用されている。したがって、mp3 圧縮等に対しても耐性を有する音楽電子透かし手法が必要とされている。

その要求を満たす音楽電子透かし手法として、W.N.Lie らが提案した「低周波振幅変形を用いた音楽電子透かし手法」がある。この手法では、音声データを一定長の GOS (Group of samples) に分割する。さらに、1つの GOS を3つのセクションに分割し、これらの3つのセクションのエネルギーの相対的な大小関係を利用して、1つの GOS に1ビットの付加データを埋め込んでいる。しかしながら、W.N.Lie らが提案した手法には、埋め込むことのできるデータ量が少ないという問題点があった。

そこで、我々は埋め込み処理を再帰的に繰り返す手法である「多層型音楽電子透かし手法」を提案することで、埋め込むことのできるデータ量の増大を実現した。この手法では、付加データの埋め込み処理を多層化(多重化)することによって付加データ容量の増大を実現している。しかしながら、多重化に応じて埋め込み処理による音質劣化が知覚されやすくなるという課題が残されていた。

## 2. 研究の目的

我々は、再帰的に付加データの埋め込み処理を行うことで、付加データ容量の増大を可能とした多層型音楽電子透かし手法を既に提案している。本研究では、この多層型音楽電子透かし手法の階層数を制御することで、所望の音質を確保しつつ、付加データ容量を最大化するという、音質と付加データ容量との両立を実現する手法の開発を試みる。具体的には下記の3項目を研究目的とする。

### (1) 主観的評価による音質劣化の測定

多層型音楽電子透かし手法をコンピュータ上に実装した後、種々の楽曲データに適用する。次に、防音室内の静穏な環境下において、埋め込み処理後の楽曲に対する主観的音質評価実験を複数の聴取者を対象に実施するとともに、実験時の聴取者の生体信号(脳波)を測定する。この段階での主たる目的は、埋め込み処理後の楽曲に対する音質劣化が聴取者にとって主観的および生体的にどのように知覚されているかを調査し、データベース化することである。

### (2) 音質劣化の客観的評価手法の開発

上述のデータベースを用いて、埋め込み処理後の楽曲の音質を数値にて客観的に評価

する手法の開発を行う。多層型音楽電子透かし手法を適用するたびに、主観的に音質を評価しながら階層数を制御することは現実的ではない。そこで、コンピュータにより自動的に音質劣化を客観的に評価する手法を開発する。

### (3) 多層型音楽電子透かし手法における階層数による音質制御法の開発

上述の客観的評価手法により音質劣化を評価しながら、所望の音質を確保するという条件下で付加データ容量を最大化するように階層数を制御することにより、音質と付加データ容量との両立を実現する手法を開発する。

## 3. 研究の方法

上述の3つ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) 我々が提案している多層型音楽電子透かし手法の処理アルゴリズムをコンピュータ上に実装した後、種々の楽曲データに適用する。次に、防音室内の静穏な環境下において、埋め込み処理後の楽曲に対する主観的音質評価実験を複数の聴取者を対象に実施するとともに、実験時の聴取者の生体信号(脳波)を測定する。各楽曲データに対する「聴取者の主観的音質評価値」と「聴取時の生体信号」との対応を記録することによりデータベースを構築する。

(2) 上記(1)の主観的音質評価実験により得られたデータベースをもとに、埋め込み処理後の楽曲の音質を数値にて客観的に評価する手法の開発を行う。具体的には、国際電気通信連合(ITU)より勧告されているオーディオ信号を対象とした客観品質評価法である ITU-R BS.1387-1(PEAQ)をベースとし、「PEAQにより得られた音質評価値(ODG)」と「生体信号(脳波)から抽出した特徴量」とを新たなニューラルネットワークにより統合することにより、多層型音楽電子透かし手法を適用した楽曲の音質評価に適した客観的評価手法の開発を行う。さらに、この客観的評価手法の効果の評価するために、得られた音質評価値と主観的音質評価値とを比較することで、本手法の有効性を検証する。

(3) 多層型音楽電子透かし手法においては、階層数を増やすにしたがって、付加データ容量は増加し、音質は基本的には劣化する。ただし、音楽信号と付加データとの組み合わせによっては、階層数と音質の関係は必ずしも反比例するとは限らない。そこで、上記(2)の成果により得られた客観的評価手法により、多層型音楽電子透かし手法を適用した際の音質を評価しながら、所望の範囲内となるように音質を制御しつつ、階層数をなるべく増やすことにより付加データ容量の最大化

を図る手法の開発を行う。

#### 4. 研究成果

(1) 付加データの埋め込み処理後の楽曲に対する音質劣化が聴取者にとって主観的および生体的にどのように知覚されているかについて調査することを目的とし、「主観的評価による音質劣化の測定」を実施した。具体的には、「多層型音楽電子透かし手法の実装」、「多層型音楽電子透かし手法を種々の楽曲データ（音響試料）に適用した音質評価用データの作製」、「音質評価用データを対象とした主観的音質評価の実施」、「音質評価用データを聴取時の生体信号（脳波）の測定」の各項目に関する研究を実施した結果、音質劣化に対する主観的音質評価と生体信号（脳波）のデータを取得することができた。さらに、これらの主観的音質評価と生体信号（脳波）のデータを基にして、聴取者によって知覚される音質劣化と生体信号（脳波）との対応関係を記録したデータベースを構築した。本データベースは、聴取者の生体反応を反映した音質評価手法を開発する際の基礎的データの一つとして活用が可能となることから、本成果の意義は大きい。

(2) 上述のデータベースを用いて、聴取者の生体反応を反映しつつ「埋め込み処理後の楽曲の音質を数値にて客観的に評価する手法の開発」を実施した。具体的には、国際電気通信連合(ITU)より勧告されているオーディオ信号を対象とした客観品質評価法であるITU-R BS.1387-1(PEAQ)をベースとして、「PEAQにより得られた音質評価値(ODG)」と「生体信号(脳波)から抽出した特徴量」とを新たなニューラルネットワークにより統合することにより音質評価を行う手法を構築した。音質評価を行う際に聴取者の生体信号を導入することにより、本手法を用いることで人間の感覚を加味した音質評価値を得ることが可能となった。クラシック楽曲を対象として、「従来法であるPEAQによる音質評価値(図中のODG+5)」と「本研究の成果として得られた人間の感覚を加味した音質評価値(図中のNN3)」を求めた結果を図1に示す。同図に併記した主観的音質評価値(図中のMOS)との比較より、本研究により得られた音質評価値の方が主観的音質評価値との相関が高いことが確認でき、本手法の有効性が確認できた。

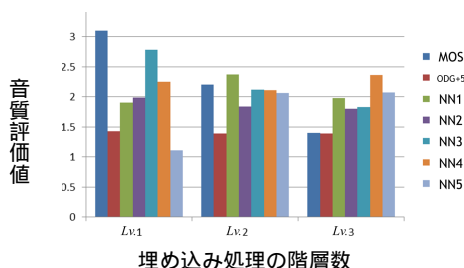


図1 従来法と提案法との音質評価結果

(3) 再帰的な付加データの埋め込み処理により付加データ容量の増大を可能とした多層型音楽電子透かし手法の階層数を変化させることで、付加データの埋め込み処理を施した複数の音響信号を作成した後、上述の「人間の感覚を加味した客観的音質評価手法」を用いて音質評価を実施した結果に従って、所望の音質を確保するという条件下で付加データ容量を最大化できた音響信号を選択するシステムを構築した。本システムにより多層型音楽電子透かし手法の階層数を制御することで、所望の音質を確保しつつ、付加データ容量を最大化することが可能になった。音質と付加データ容量との両立を実現できたという点において本成果の意義は大きい。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

H. Murata, A. Ogiwara, "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, vol.1, 2016, pp.107-114

H. Murata, A. Ogiwara, "Digital watermark for real instrumental sounds using non-negative matrix factorization", Proceedings of International Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, 査読有, vol.なし, 2016, pp.677-680

H. Murata, A. Ogiwara, "A study of audio watermarking method using non-negative matrix factorization", Proceedings of 11th International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, 査読有, vol.なし, 2016, pp.249-252

H. Murata and A. Ogiwara, "An audio watermarking method using nonharmonic notes as watermark signal", Proceedings of 15th International Symposium on Communications and Information Technologies, 査読有, vol.なし, 2015, pp.117-120

H. Murata and A. Ogiwara, "An audio watermarking method using tone of diatonic chord", Proceedings of 2015 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 査読有, vol.なし, 2015, pp.156-159

H. Murata, A. Ogiwara, 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  
H. Murata, A. Ogihara, “An audio watermarking method using pitch-transformed sound of original music”, Proceedings of 2014 Tenth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 査読有, vol.なし, 2014, pp.268-271

〔学会発表〕(計 24 件)

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・名古屋市)  
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・名古屋市)  
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、宮古島リゾートターミナルビル(沖縄県・宮古島市)  
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・仙台市)  
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・大分市)  
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・東広島市)  
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・長久手市)  
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・富山市)  
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・小樽市)  
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、九州大学伊都キャンパス(福岡県・福岡市)  
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・熊毛郡)  
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、東北大学片平キャンパス(宮城県・仙台市)  
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、熊本大学黒髪南キャンパス(熊本県・熊本市)  
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、山口大学常磐キャンパス(山口県・宇部市)  
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、山口大学常磐キャンパス(山口県・宇部市)  
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・名古屋市)  
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・松山市)  
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・石垣市）

荻原 昭夫、村田 晴美、脳波信号による音質評価法の検討、2015年電子情報通信学会総合大会、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・草津市）

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青葉山キャンパス（宮城県・仙台市）

- ⑳ 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・福岡市）
- ㉑ 荻原 昭夫、藤木 祥平、脳波を使用した食品嗜好性評価の検討、平成26年度（第65回）電気・情報関連学会中国支部連合大会、2014年10月25日、福山大学（広島県・福山市）
- ㉒ 荻原 昭夫、番匠 真、脳波を使用した音質評価の検討、平成26年度（第65回）電気・情報関連学会中国支部連合大会、2014年10月25日、福山大学（広島県・福山市）
- ㉓ 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・つくば市）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

荻原 昭夫 (OGIHARA, Akio)

近畿大学・工学部・教授

研究者番号：60244654

### (2) 研究分担者

なし