

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：32515

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500128

研究課題名(和文)原音復元可能な音響電子透かし技術への信号変形耐性付加

研究課題名(英文)Robust and reversible audio watermarking technology

研究代表者

西村 明(Nishimura, Akira)

東京情報大学・総合情報学部・教授

研究者番号：30286182

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：音響信号に対して可逆秘匿情報と強耐性秘匿情報を秘匿し、検出して利用する新しい音響情報秘匿手法を開発した。情報秘匿済み信号に対して変形が無い場合は、完全な原信号への復元と可逆秘匿情報の完全検出を実現し、符号化などの変形がある場合でも強耐性秘匿情報が高い確率で検出できる。本技術はデジタル音楽データの配信時に、可逆秘匿情報を用いた高音質化などの付加価値を与えつつ、強耐性秘匿情報を用いた著作権管理を同時に行うことができる。また、知覚符号化が加わった情報秘匿済み音楽を、知覚符号化のみの音質劣化程度に復元することもできる。

研究成果の概要(英文)：The present study proposes a novel reversible and robust technique for hiding data in audio. It is perfectly reversible for unmodified stego signals and is semi-reversible for perceptually coded stego signals. The present technology achieves both copyright management using robust payload and enrichment of the sound quality using reversible payload in transmitting digital music data. In addition, perceptually-coded watermarked audio can be recovered to the sound quality of perceptually-coded audio.

研究分野：音響情報処理

キーワード：電子透かし 著作権管理 価値向上 音質 可逆透かし 音楽配信 知覚符号化

1. 研究開始当初の背景

通常の電子透かし技術は、コンテンツデータに情報を秘匿するため、そのコンテンツ品質は秘匿前に対して多少なりとも劣化する。そして、秘匿によって劣化した品質を元に戻すことは一般的に困難である。一方、リバーシブル電子透かし技術は、秘匿情報の検出と同時に、完全に元のコンテンツデータと同一に復元可能な情報秘匿技術である。しかし、従来のリバーシブル透かし技術は、情報秘匿済み音響信号が僅かでも変形を受けると、コンテンツデータの復元と秘匿情報の検出の両方が不可能となり、透かしとしての機能を全く失っていた。

そこで、完全に原音に復元できるリバーシブル透かし技術を元に、情報秘匿済み音響信号への変形に対して頑強に秘匿情報の検出を可能とする仕組みを持たせることで、音響信号の価値を高めるための付加情報を秘匿しつつ、全く音質劣化のない高音質な音響信号記録と再生を実現する本研究の着想に至った。

国内におけるリバーシブル音響透かし研究は、研究代表者が考案した整数 DCT による手法を用いて、音響信号への改ざん検出を目的で実施された共同研究[1]のみである。本研究計画は、リバーシブル音響透かしに変形耐性を持たせるという点でこれとは異なっている。

国外の研究である文献[2]では、波形振幅を2倍にすることで、最下位ビットを秘匿情報と置換する手法をとっているが、情報秘匿済み波形は振幅が不自然に大きく、情報の秘匿が明白である。文献[3]の方法は、過去の波形から先の波形を線形予測し、予測誤差と秘匿情報を合わせて記録する方法であるが、情報秘匿済み波形が1サンプルでも変化すると、それ以降の秘匿情報は全く取り出せない。また両手法とも、振幅の増減などの僅かな変化により秘匿情報の検出と原信号への復元は不可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、完全に原音に復元可能なリバーシブル音響電子透かし技術を対象とし、情報秘匿済み信号が変形を受けない場合は、完全な秘匿情報の検出および埋め込み前の原信号への完全な復元が可能である一方、情報秘匿済み信号に対してノイズ付加、フィルタリング、MP3 などの知覚符号化圧縮をはじめとする変形処理が加わった場合でも、秘匿情報の一部が高い確率で検出可能である技術を実現する。また、秘匿情報のある程度保持しつつ原信号に近づけるリバーシブル復元と、上述のような変形が加わった後でも、埋め込み前の原信号の音質にまで、ある程度まで復元すること(セミリバーシブル復元)を実現する。

3. 研究の方法

(1) 線形予測誤差拡張法

音響信号に対する線形予測誤差拡張に基づく可逆情報秘匿方式を改善し、その評価を音楽信号と音声信号に対して行った。提案手法は、誤差拡張における拡張率に応じてペイロード量を可変させ(可変誤差拡張法)、音質劣化を制御することができる。また、ホスト信号をフレーム分割して埋め込み処理を行い、任意のフレーム毎にペイロードの検出とホスト信号の復元を可能にするための、補助データの埋め込みとフレーム同期の手法も含んでいる。

情報秘匿済み信号の客観音質評価とペイロード量を評価した結果、音楽信号および音声信号ではホスト信号のデータレートの1/40程度のペイロードを埋め込んでも、音質劣化は十分少ないことが分かった。

この予測誤差拡張率を規則的に変更することで、情報秘匿済み信号への変形が加わった後でもその規則性に隠された情報が検出できることを期待したが、結果として所望の性能を得ることはできなかった。

しかし、ここで新たに開発された可変誤差拡張法は、可逆ペイロードと強耐性ペイロードの両方を秘匿する手法として、(3)および(4)の研究方法に活かされることとなった。

(2) 強耐性音響電子透かしの評価基準検討

情報ハイディング技術では最低でも情報秘匿後のコンテンツ品質、攻撃耐性、埋め込み容量の評価が必須であるが、新しい手法の開発は盛んなものの、これら3つの要因に対して十分な種類の音響信号を対象とした評価が行われず、実効的な安全性評価が行われていないものが多い。

よって、埋め込みデータの検出を妨害する信号処理(攻撃)を採用する条件として、その信号処理によって音質劣化が極端でないことを、客観音質評価手法(PEAQ)を用いて評価した。この結果、強耐性音響電子透かし技術が満たすべき耐性を明らかにした。

(3) 区間パワー量子化法

整数値の音響信号波形をフレーム分割し、フレームごとの増幅率を操作して強耐性ペイロードを秘匿し、かつ増幅によって生じる整数値の隙間に可逆ペイロードを秘匿する可逆情報秘匿手法を開発した。

この手法は、情報秘匿済み信号への変形が加わった後でも振幅増幅率の変化の特徴が残存するため、強耐性ペイロードの検出は低いエラー率で可能であった。しかし、一旦変形が加わった後に、情報秘匿前の信号に近づけることはできなかった。

(4) 整数 MDCT 法

音響信号を短時間波形区間ごとに整数 MDCT 変換し、周波数領域での時系列帯域信号に対して、疑似乱数系列に基づいて振幅増幅を行う直接スペクトル拡散法により強耐性

パイロードを埋め込む。同時に、振幅拡張時に生じる整数振幅ヒストグラムの隙間に可逆パイロードを埋め込む手法を開発した。

4. 研究成果

前節(4)に示した整数 MDCT 法に対する評価結果を示す。いずれも、60 秒間の 20 種のホスト信号に対して、可逆パイロードおよび強耐性パイロード (7.2 bps) の両方を秘匿している。

(1)可逆パイロード秘匿容量

図1は、可逆パイロードの秘匿ビットレートを示した。一部の無音区間の多い楽曲を除いて、ほぼ理論値の 4800 bps 前後を得ることができた。また、情報秘匿済み信号に変形が加わらない場合に、完全な可逆性を実現できることも分かった。

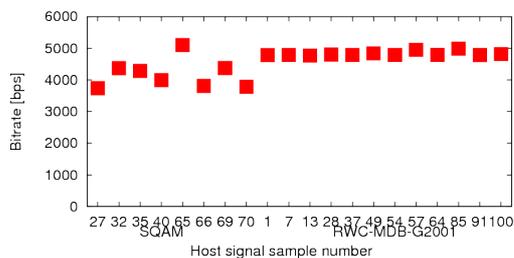


図1 可逆パイロードの秘匿ビットレート。

(2)知覚符号化耐性

発表雑誌論文[3]に示した評価方法に従い、情報秘匿済み信号に対する知覚符号化後に、強耐性パイロードの検出処理を行い、エラー率を求めた。図2にその結果を示した。いずれの信号でも、基準となる10%を下回るエラー率となることが分かった。

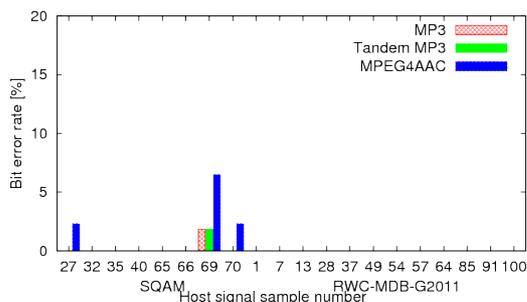


図2 情報秘匿済み信号に対するMP3変換後、二回MP3変換(Tandem MP3)後、MPEG4AAC返還後のビットエラー率。

(3)その他の耐性

発表雑誌論文[3]に示した評価方法に従い、情報秘匿済み信号に対するバンドパス処理、ノイズ付加、あるいは遅延音付加後に、強耐性パイロードの検出処理を行った。図3にその結果のエラー率を示した。バンドパス処理およびノイズ付加時には、無音区間の存在するSQAMデータベースのホスト信号を用いた場合に、基準となる10%を上回ることが分かったが、その他の条件では、10%を下回った。

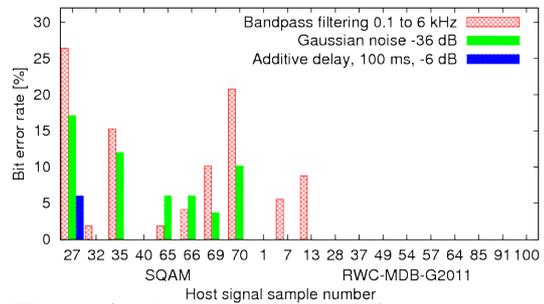


図3 バンドパス処理、ノイズ付加、あるいは遅延音付加後の強耐性パイロード検出時のエラー率。

(3)情報秘匿済み音楽信号の客観的音質劣化

発表雑誌論文[3]に示した評価方法に従い、PEAQ アルゴリズムを実装したソフトウェアを用いて、ホスト信号に対する情報秘匿済み信号の客観音質劣化度合いを示した。図4には比較のため、MP3 128 kbps による符号化を経た音質劣化も合わせて示した。

その結果、ごく一部の信号でMP3より音質が劣化するが、多くの信号の音質劣化は僅かであり、情報秘匿済み信号をMP3符号化した場合の音質劣化も、大きくないことが分かった。この評価結果は強耐性電子透かしとしての基準値を満たすことが分かった。

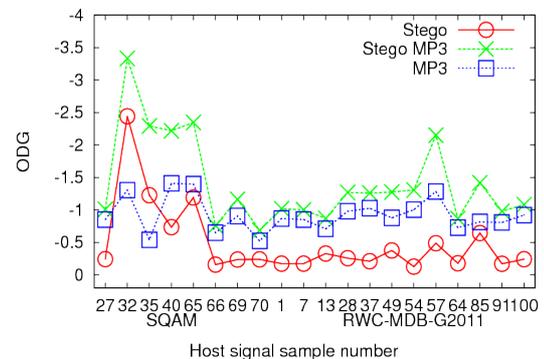


図4 情報秘匿済み音楽(Stego)、情報秘匿済み音楽のMP3 128kbps圧縮(Stego MP3)、MP3 128 kbps圧縮の客観音質評価値(ODG)

(4)知覚符号化後の音質復元性能

図5には、情報秘匿済み信号をMP3符号化し復号化した後の信号から、強耐性秘匿情報を取り去ることで、ホスト信号の音質にどこまで近づけられるかを示した。

その結果、ホスト信号をMP3符号化した信号の客観的音質に近い音質まで復元する、リバーシブル復元を実現できることが分かった。

<引用文献>

1. "A Reversible Acoustic Steganography for Integrity Verification," Xuping Huang, Akira Nishimura and Isao Echizen, DIGITAL WATERMARKING, LNCS 6526 pp.305-316 (2011)
2. "Reversible Audio Watermarking",

Proceedings of the 114th AES Convention,
No.5818 (2003)

3. "Reversible Data Hiding for Audio Based on Prediction Error Expansion", Proc. of IHHMSP2008, pp.249-252 (2008)

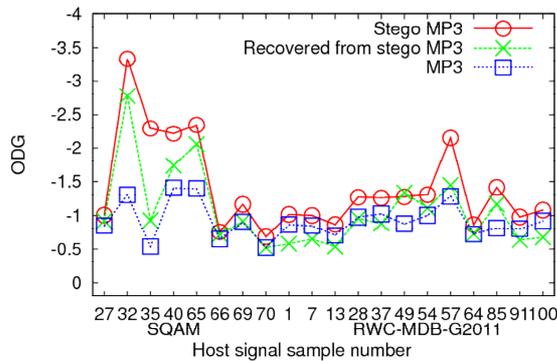


図4 情報秘匿済み音楽を MP3 変換後、音質を復元する処理（透かしを除去する処理）を行った後の客観音質評価値（ODG）。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

1. "Reversible and robust audio watermarking based on spread spectrum and amplitude expansion", Akira Nishimura, Proceeding of International Workshop on Digital Forensics and Watermarking, 15 pages, (2014) 査読有
2. "Reversible and robust audio watermarking based on quantization index modulation and amplitude expansion", Akira Nishimura, Digital-forensics and Watermarking: 12th International Workshop; IWDW2013 Revised Selected Papers, LNCS8389, pp.275-287, (2014) 査読有 DOI:10.1007/978-3-662-43886-2.20.
3. "Audio Watermarking based on Amplitude Modulation and Modulation Masking", Akira Nishimura, Proc. International Workshop on Information Hiding and its Criteria for evaluation (IWIHC 2014), pp.49-55, (2014) 査読有. DOI:10.1145/2598908.2598915.
4. "Objective evaluation of sound quality for attacks on robust audio watermarking", Akira Nishimura, Masashi Unoki, Akio Ogiwara, Kazuo Kondo, International Congress on Acoustics 2013, POMA Volume 19, 9 pages, pp. 030052 (June 2013) 査読無し.
5. "Controlling quality and payload in reversible data hiding based on modified error expansion for segmental audio waveforms", Akira Nishimura, Proc. of IHHMSP2012, pp.110-113, (2012). 査読有

〔学会発表〕(計 4 件)

1. "整数 MDCT 領域でのスペクトル拡散と振幅拡張に基づく可逆かつ強耐性音響電子透かし", 西村 明, 電子情報通信学会 技術報告 Vol.114, No.222, pp.47-52 (2014)
2. "振幅拡張に基づく量子化変調を用いた可逆かつ強耐性音響電子透かし", 西村 明, 平成 25 年日本音響学会秋季講演論文集 (2013)
3. "線形予測誤差拡張による音響信号へのリバーシブル情報ハイディング", 西村 明, 電子情報通信学会技術報告, Vol.112, No.467, pp.59-64, (2013)
4. "線形予測誤差分拡張を用いた G.711 音声信号へのロスレス情報ハイディング", 西村 明, AES Japan Conference in Sendai 2012, 5 pages, (2012)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西村 明 (NISHIMURA, Akira)

東京情報大学・総合情報学部・教授

研究者番号: 30286182