

称号及び氏名	博士（工学） 村田 晴美
学位授与の日付	平成 24 年 3 月 31 日
論文名	「埋め込み容量の増大および音質改善を目的とした 音楽電子透かし法に関する研究」
論文審査委員	主査 教授 汐崎 陽
	副査 教授 市橋 秀友
	副査 教授 吉岡 理文
	副査 准教授 荻原 昭夫

論文要旨

近年ブロードバンドの普及に伴い、インターネットを介した動画や画像、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り、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。電子透かしとは、デジタル情報(著作権情報など)を人間が知覚できないようにデジタルコンテンツそのものに埋め込む技術である。このとき埋め込まれる情報を透かしと呼び、あらかじめ透かしが埋め込まれたデジタルコンテンツが不正に配信された場合、そのデジタルコンテンツから透かしを取り出すことにより著作権を主張することができる。現在、インターネットを介して不正配信されているデジタルコンテンツのうち、音楽データが最も高い割合を占めている。そのため、音楽データへの電子透かしが注目されており、音楽データへの様々な電子透かしが研究されている。音楽電子透かしに求められる要件として、透かしが埋め込まれた後に音質が音楽データとしての価値を損なわないように維持されていること、および第三者などにより不正にデータを変更された場合であっても音楽データから透かしが正しく抽出できることが挙げられる。このようなデータ変更によって透かしが正しく抽出できないようにする行為を攻撃と呼び、また MP3 圧縮などのデータ圧縮などで音楽データの波形が変更されることにより透かしが正しく抽出できなくなる行為も攻撃に含むものとする。透かし入り楽曲の音質と、耐性および透かしの埋め込み容量との間にはトレードオフの関係がある。音質を向上させるためには、耐性が低くなり埋め込み容量も減少し、耐性を向上させる、

あるいは埋め込み容量を増大させるためには、音質が低下してしまうといった問題がある。

そこで、本論文では音楽データを対象とした新たな電子透かし法を提案する。まず従来の手法の中で種々の攻撃に対して耐性を有し、かつ高音質で埋め込み可能な手法において、限界のあった埋め込み容量の増大について述べる。著作権情報を埋め込むために、社団法人日本音楽著作権協会が主催する音楽電子透かし技術の評価プロジェクトである **STEP2000** では最低 **5.1bps** の埋め込み容量を必要としている。種々の攻撃に対して耐性を有する従来の手法の埋め込み容量は **43bps** であり、**STEP2000** の基準を満たしてはいるが、著作権情報以外の情報を埋め込むための容量が十分とは言えず、画像や音声などの付加的なデータを埋め込むことは難しい。埋め込み容量を増加させることによりさまざまなアプリケーションに活用することが可能となり、音楽電子透かし技術の応用範囲が広がると考える。しかし、埋め込み容量を増加させることにより音楽波形への変更量が多くなり、聴覚上知覚されにくい領域に埋め込みを施すことが困難になる。その結果、埋め込みを施すことにより生じるノイズが知覚されてしまい、音質が著しく劣化してしまうという問題が生じる。そこで、聴覚上知覚される領域に対しても不自然とならないように埋め込みを施す、音楽理論を用いた新たな音楽電子透かし法を提案する。すなわち、透かし信号が知覚された場合であっても不快と感じない音質となるように、透かし信号として演奏楽器と類似した音色をもつサンプリング音を用い、さらに原曲と協和音の関係になるように埋め込むことにより音質を改善する。したがって本論文では、以上に述べたような埋め込み容量の増大および知覚される領域に埋め込みを施すことによる音質改善について有効である音楽電子透かし法を提案する。

本論文の構成は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景および目的を述べるとともに、研究の概要について述べている。

第2章では、振幅の増減に基づく音楽電子透かし法に基づいて、埋め込みを多重化することにより埋め込み容量を増大できる音楽電子透かし法を提案している。音楽信号を **GOS(Group Of Samples)** と呼ばれる連続したサンプル群に分割し、さらに **GOS** を **3**つの区域に分割する。**3**つの区域の振幅の絶対値の平均値を求め、これらの大小関係により **1** または **0** の透かしを埋め込む。埋め込みの多重化において、透かしを埋め込んだ後の音楽信号を **Lv.1** の音楽信号とする。この **Lv.1** の音楽信号が、既に提案されている手法を用いて埋め込んだ透かし入り楽曲に対応する。この **Lv.1** の音楽信号における区域を新たな **GOS** とみなしてさらに透かしを埋め込み、これを **Lv.2** の音楽信号とする。以下同様の手順により、埋め込みレベルを上げることができる。この埋め込みの多重化を行なうことで、埋め込みレベルごとに独立して情報を埋め込むことが可能となり、埋め込みたい情報に求められる要件に応じて埋め込みレベルの選択が可能となる。すなわち、著作権情報などの完璧な抽出が求められる場合は攻撃に耐性がある下位レベルに埋め込み、多少の抽出誤りが許容される画像や音声データなどは上位レベルに埋め込むといった応用が考えられる。埋め込みレベルが **2** の場合に、基となる手法と比較して **4** 倍の埋め込み容量を確保することができた。しかし、埋め込みの多重化を行なうことにより埋め込み容量は増大するが、埋め込みレベルを大きくすることにより変更量が多くなるため、ノイ

ズが知覚されやすくなるといった問題がある。

第3章では、第2章で課題となっていた、区域の境界付近で発生するインパルス性のノイズと、埋め込みレベルを上げることにより生じるノイズを低減するための音質改善手法を提案している。区域の境界付近で知覚されるインパルス性のノイズに対しては、境界付近の増減率を滑らかにすることにより解決する。第2章では、透かしを埋め込むために区域ごとに増減を行っており、区域の境界における増減率は1である。しかし、隣り合う区域の振幅をともに増幅・減衰させる場合、区域の境界付近の増減率が大幅に変化するため、これがインパルス性のノイズの生じる原因の一つとなっていた。そこで、隣接する区域の増減率を考慮して滑らかに変更することによりインパルス性のノイズの発生を抑える。また、埋め込みレベルを上げることで生じるノイズに対しては、直流成分を用いることにより音質を向上させる。一般に直流成分は人の耳に知覚されないため、音楽信号に直流成分を加えたとしても音質の劣化が知覚されにくい。この性質を用いて、第2章において振幅を増幅させていた部分に対して直流成分を加えることで埋め込み条件を満足させる。これらの処理により、従来の手法と同程度の埋め込み容量であれば、耐性を維持したまま音質が改善されることを確認した。

第4章では、第3章までとは異なり、透かし信号が知覚された場合であっても音楽データの価値が保たれるような、音楽電子透かし法の音質向上手法を提案している。従来の手法では種々の攻撃に対して耐性を有し、かつ必要最低限の埋め込み容量を確保する場合、音質劣化が知覚されないように埋め込むことが困難であった。そこで、原曲以外の音が知覚された場合であっても不快と感じない音、すなわち演奏音と類似した音を加えることでこの問題を解決する。演奏音と類似した音色をもつ信号として、本手法ではサンプリング音を用いる。また、楽曲中で演奏されている和音の多くは協和音で構成されており、演奏音と協和音となる周波数に透かしを埋め込むことにより演奏上の違和感を減少させることが可能となる。本手法では、単一楽器演奏曲を対象とし、埋め込みに用いる協和音を長三和音(メジャーコード)とする。メジャーコードとは根音、長三度、完全五度からなる協和音のことであり、長三度は根音から半音3音離れた関係であり、完全五度は根音から半音7音離れた関係にある。しかし、演奏音と協和音の関係になるように透かしを埋め込むためには演奏音の情報が必要となる。そこで、自動採譜技術で用いられている音高推定法を用いることにより、演奏音のピッチ情報を得て透かしの埋め込み位置を決定する。以上の埋め込み法により、攻撃に対する高い耐性を維持しながら、知覚されても演奏上の違和感がない音質を得ることができた。

第5章では、第4章の手法を拡張し、複数楽器演奏曲を対象とした音楽電子透かし法を提案している。現在、音楽の多くは複数楽器で構成されており、単一楽器による演奏は少ない。単一楽器演奏曲ではサンプリング音源の選択は容易であるが、複数楽器演奏曲では各単音がどの楽器で演奏されているか瞬時に特定することは難しい。そこで、複数楽器演奏曲に対しても容易に適したサンプリング音源を用いることができるように音源同定を行なう。ここで音源同定とは、楽曲中に存在する各単音に対して、単音がどの楽器で演奏されているか特定する処理のことである。さらに、サンプリング音の利点を活かすために、楽曲中の単音に対して1つのサンプリング音を加えることにより、比較的振幅

値の大きなサンプリング音を加えた場合であっても演奏上の違和感がない音質を実現することが可能となる。透かし信号としてサンプリング音を用いることの有効性を確認するために、正弦波およびサンプリング音を透かし信号とした場合の透かし入り楽曲の音質および攻撃に対する耐性を比較した。その結果、正弦波を用いた場合では不自然と感じたが、サンプリング音を用いた場合では、攻撃に対して高い耐性を有しながら、知覚された場合であっても違和感のない音質が得られた。

第6章では、本研究で得られた結果の総括を行ない、結論としている。

審査結果の要旨

本論文は、音楽データの著作権保護を目的とした音楽電子透かし手法に関する研究成果をまとめたもので、次のような成果を得ている。

- (1) **MP3** 圧縮に耐性を持たせた従来手法の多くは、埋め込み容量および音質の点で実用上不十分であった。それに対して、埋め込みを多重化することにより埋め込み容量を増大させ、なおかつ音質の低下を抑える音楽電子透かし法を提案した。埋め込み容量を増加させることによりさまざまなアプリケーションに活用することが可能となり、音楽電子透かし技術の応用範囲が広がった。
- (2) 従来手法では種々の攻撃に対して耐性を有し、かつ音質劣化が知覚されないように埋め込むことが困難であった。そこで、透かし信号が知覚された場合であっても音楽データの価値が保たれるような、音楽理論を用いた新たな音楽電子透かし法を提案した。
- (3) 楽曲中で演奏されている和音の多くは協和音で構成されているため、提案手法では、演奏音と協和音となる周波数に透かしの埋め込むことにより、透かし埋め込みによる演奏上の違和感を減少させた。透かし信号として演奏楽器と類似した音色をもつサンプリング音を用い、さらに原曲と協和音の関係になるように埋め込むことにより音質を改善した。
- (4) 提案手法において、演奏音と協和音の関係になるように透かしの埋め込むためには演奏音の情報が必要となる。そこで、自動採譜技術で用いられている音高推定法を用いて、攻撃に対する高い耐性を維持しながら、演奏上の違和感がない音質を得ることができた。
- (5) 複数楽器演奏曲に対しても、適したサンプリング音源を用いることができるような音源同定を行なった。特定された楽器に似た音色のサンプリング音を透かし信号として用いることで、攻

撃に対して高い耐性を有しながら、透かし信号が知覚された場合であっても違和感のない音質を得ることができた。

以上の諸成果は、ネットワーク社会におけるデジタル著作物、特に音楽データ利用の安全性ならびに利便性向上についての基礎的な知見や基盤を与えるものであり、この分野の技術の発展に貢献するところ大である。また、申請者が自立して研究活動を行なうに十分な能力と学識を有することを証したものである。本委員会は、本論文の審査ならびに最終試験の結果から、博士(工学)の学位を授与することを適当と認める。