

九州大学学術情報リポジトリ  
Kyushu University Institutional Repository

---

## Audio data hiding based on amplitude modulation and its application

西村, 明  
Faculty of Informatics, Tokyo University of Information Sciences

<https://doi.org/10.15017/18879>

---

出版情報 : 九州大学, 2010, 博士 (芸術工学), 論文博士  
バージョン :  
権利関係 :

# 第1章 序論

## 1.1 研究の背景

音，画像，映像，文字などのコンテンツ自体になんらかの情報を埋め込み，必要な時に検出して利用する技術は，情報秘匿 (information hiding, data hiding) とよばれる．デジタル情報メディアの普及に伴い，1990年代後半以降盛んに研究されるようになった技術である．情報秘匿技術は，メディア情報に付加的なデジタル情報を不可分に結び付けることができることが特徴であり，様々な利用法が考えられる．その埋め込む情報や利用法によって，情報秘匿技術は電子透かし (digital watermarking) とステガノグラフィ (steganography) におおまかに分類される．ここでは，音響信号に対する情報秘匿技術を，これら二つの利用法から概観する．

### 1.1.1 電子透かし

デジタル音楽データのコピー制御や著作権管理は，音ファイルのヘッダ部に暗号化された著作権管理情報を挿入したり，音データ自体を暗号化する仕組みで実現することができる [1]．後者は DRM (Digital Rights Management) システムとして，既に一部のインターネットで販売される音楽データに適用されている．しかし，ヘッダへの情報付加やデータの暗号化では，一旦アナログ信号として再生後，再度デジタル録音された音データ (アナログコピー) に対しては全く無効であり，そのような過程を経た後も有効なコピー制御や著作権管理技術が必要とされてきた．

電子透かしは，主に著作権管理のための情報 (透かし情報, watermark) を音楽信号に埋め込み，主に著作権者側で違法コピーや流出を検知するために，透かし情報を検出する．この透かし情報は，アナログ領域，放送や非可逆圧縮を経ても検出できるような仕組みが必要である．例えば，インターネット配信される音楽に，コンテンツ ID とよばれるその楽曲の演奏者や曲名などを一意に決定できるデータと，購入者情報を埋め込んでおく．もし，いったんアナログ信号に変換された信号をデジタル録音して，DRM をすり抜けた

音楽ファイルが違法配信された場合，違法配信を監視するサーバは，その音楽ファイルをダウンロードして透かし情報を検出することによって，配信者への通報やユーザへの違法配信警告を送ることが可能となる．

インターネットで配信されている楽曲そのものを同定するには，コンテンツ ID を透かしとして埋め込まなくとも，ダウンロードした楽曲の音響的特徴と，データベースに登録されている楽曲の音響的特徴とを比較し検出する，音響指紋 (audio fingerprinting)[2] という技術でも可能である．しかし，音響電子透かしの特徴は，同一の楽曲に対しても異なるデータ (例えば購入者データなど) を埋め込んで識別でき，かつデータベースとの照合なしに，透かしを検出した場所で検出した情報を利用できるのが特徴である．

コピー制御に電子透かしを用いるしくみとしては，音楽信号から透かしとして埋め込まれたコピー許可情報の検出を行う再生機器や，コピー許可情報の埋め込みを行う録音機器を規格化しておくことが考えられる．こうすれば，CD や DVD などのメディアから録音した楽曲データにコピー不可情報を埋め込むことができる．そうした透かし入り音楽信号を識別して再生できる機器を用いれば，アナログ録音やコピーされたデジタル楽曲ファイルが不正に流通して再生される際には，楽曲からコピー不可情報を検出し，再生やコピーができないような仕組みを実現することが可能である．

また，CM 番組の放送回数が契約通りに実施されているかを自動監視するためにも，CM 放送音声トラックへの透かし情報埋め込みが有効である．

### 1.1.2 ステガノグラフィ

ステガノグラフィは秘匿通信ともよばれ，埋め込む対象である音響信号の内容とは，一般に関係の薄いデータを埋め込む．ここでは，埋め込まれた音響信号は“おとり”となり，埋め込んだデータの方に利用価値があるような，利用形態を指している．ここで，おとり信号の自体からは，埋め込まれたデータの存在は分からないので，秘密裡に通信が可能となる．

一方，ステガノグラフィをより広義でとらえて，埋め込む対象の音響信号に対する補助データとしての役割をもつデータを埋め込む利用も考えられる．例えば，狭帯域音声符号化に対する帯域拡張用の補助データを音声符号化データ中に埋め込めば，狭帯域音声符号化方式の下位互換性を保ったままで，補助データに対応する復号化を行えば広帯域音声を利用することが可能となる [3, 4, 5, 6]．また，映画音楽やセリフ音に映画の字幕情報を埋

め込み，映画を視聴する難聴者の手元の機器で字幕情報を検出して専用字幕として表示すれば，健聴者と難聴者は同じスクリーン字幕無しの映画を楽しむこともできる．

情報秘匿技術の利用は，著作権保護/管理や秘匿通信といった従来重要視されてきた分野だけに限られる訳ではない．音響信号にデジタル情報を不可分に結び付けることができるという観点から見ると，音響データ通信路におけるパケット損失の隠蔽 [7]，メタデータの記録と検索 [8]，モニタリング，エンターテインメント，改ざん検出 [9, 10] などを含む情報法科学的な利用も検討されている．また，スピーカ再生音にデータを埋め込みマイクロホンで受音してデータを検出する利用法としては，画像による QR コードに似た情報配信 [11] や，聴覚障害者への情報提供 [12] など，さまざまな分野での利用可能性を秘めている．

## 1.2 技術とその課題

前節のような利用を考えると，音響信号への情報秘匿技術が満たすべき要求として，以下が挙げられる．

- ブラインド検出: 秘匿情報の検出に，秘匿情報を埋め込む前の原信号を必要としない
- 低音質劣化: 秘匿情報埋め込みに伴う音質劣化が知覚されにくい
- 秘匿性: 第三者に秘匿情報の存在を検知されにくい
- 頑強性: 秘匿情報入り音響信号の伝送および記録に伴う様々な変形 (知覚符号化，量子化ビット数 変換，サンプリング周波数変換など) を経た後でも，秘匿情報の残存性が高い
- 適用性: 広範囲な特徴を持つ音響信号に対して，上記条件を満たす

また，ステガノグラフィ用途として，埋め込む情報の方により価値がある場合は，

- 大容量: 上述の要求点のバランスを満たしつつ，できるかぎり大容量の情報を埋め込み，検出することができる．

さらに，ライブコンサートやアナウンス音声のような空間伝搬する音響信号から秘匿情報を抽出する利用を行う場合，

- 空間伝搬耐性: 秘匿情報入り音響信号に対する電気音響変換および空間伝搬を前提とした歪み(伝送周波数特性歪, 雑音/反射音/残響音の付加)に対して秘匿情報の残存性が高い

も重要である。

これまで,多くの音響情報秘匿技術が開発されてきたが,上述の条件を全て満たすかどうかの検証が試みられた技術はない。多くの従来技術は,対象とする音響信号の物理的性質に多少なりとも依存する手法を採っているが,広範囲な特徴をもつ音響信号に対して適用可能かどうか,特にその頑強性について検証した研究は少ない。また,空間伝搬耐性についても評価された技術は少ない。さらに,被験者の音質劣化検知能力を明らかにした上で,情報秘匿に伴う音質劣化の検知実験および音質劣化度合の評価実験を行った研究はほとんど無い。

### 1.3 本論文の目的と構成

本論文は,ブラインド検出を可能とする帯域分割と振幅変調に基づいた新しい音響情報秘匿技術を提案し,その性能を検証した上で,技術の新しい利用法を示し評価することを目的とする。

第1.1節では,音響情報秘匿技術について概観し,第1.2節では技術への要求点,すなわちブラインド検出,低音質劣化,秘匿性,頑強性,適用性,秘匿容量,空間伝搬耐性を挙げ,従来の研究においては,技術への幅広い要求点を満たしているかどうかの検証が少ないことを説明した。

第2章では,音響情報秘匿技術に関して,用いられる用語や概念などをはじめに説明し,技術への要求とそれに対応した評価方法を示す。次に,過去の研究において提案されてきた代表的な情報秘匿手法を解説し,その特徴を簡単にまとめる。さらに,性能向上のため補助的に用いられる技術も説明する。最後に,電子透かしとしての技術利用の現状について示す。

第3章では,帯域分割と振幅変調に基づく音響情報秘匿技術を説明し,電子透かし用途としての一般的な信号変形に対する耐性および基本的な空間伝搬耐性を,様々なジャンルの音楽を含む音楽データベースの楽曲100曲[13]を用いて明らかにする。また,情報埋め込みに伴う音質劣化については,音質劣化を比較的検出しやすい楽曲に対して,検知限となる埋め込み強度を明らかにし,検知限以上の強度で秘匿情報を埋め込んだ場合の主観的

な音質劣化度合を調べる．そして得られた主観的な音質劣化度合と，知覚符号化に伴う音質劣化を予測するために提案されている客観音質評価法 (PEAQ, Perceptual Evaluation of Audio Quality)[14] を用いて得られた，情報埋め込み済み音楽信号の客観音質劣化度合とを比較し，対応関係がみられるかどうかを調べる．

第4章では，前章で示した技術を，残響と背景雑音が重畳する空間伝搬条件において利用することを検討する．まず，音声データベースに収録されている22名の男声および女声音声を埋め込み対象として，スピーカ再生かつマイクロホン受音を前提とする空間伝搬条件での耐性を調べる．次に，埋め込み情報の検出を，マイクロホンにより受音した端末で行うのではなく，携帯電話の音声通話により接続する携帯電話ネットワークの先にあるサーバコンピュータにおいて実行するため，携帯電話の音声符号化を経ても情報伝達が可能かどうかを調べる．対象は，音声データベースおよび音楽ジャンルデータベースの楽曲100曲であり，シミュレーション実験および実室内環境における実験を行う．

第5章では，振幅変調に基づく音響情報秘匿手法と，従来から提案されているエコー拡散法による情報秘匿手法 [15] について，シミュレーション実験によってその性能を比較する．性能比較は，音響電子透かしとしての利用を前提として，埋め込み情報量と客観音質劣化度合を両手法間にて揃えた上で，情報秘匿済み信号に対する各種の変形への耐性について行う．また，音声信号に情報を埋め込んだ場合に，スピーカ再生およびマイクロホン受音を前提とする空間伝搬耐性があるかどうかの点でも比較を行う．

第6章では，振幅変調に基づく音響情報秘匿技術を用いて，スピーカから再生される音に同期して情報を呈示するシステムを提案する．ここでは，埋め込む情報にブロック符号化によるエラー訂正を施し，残響および付加雑音環境下において，エラー訂正の範囲に収まる正検出率をシミュレーション実験により求める．また，情報の同期呈示に必要な埋め込み情報検出における時間精度も同様に調べる．最後に，カラオケの伴奏音楽に歌詞を同期呈示するための情報を埋め込んでおき，スピーカ再生される伴奏音楽に同期してリアルタイムに歌詞を表示させるシステムの構成を説明し，その有効性を検証する．

第7章は，本論文の結論として，研究の成果のまとめと今後の課題を述べる．