

## オーディオのアナログ耐性電子透かし埋め込み技術の開発

茂出 木 敏 雄†

大日本印刷株式会社 情報コミュニケーション研究開発センター†

## 1. はじめに

これまで音楽に対してデジタル的に電子透かしを埋め込む種々の手法が提案されているが、音質に少なからず劣化を伴い、MPEG 等のロッシー型圧縮や、ライン信号やスピーカ/マイクを経由したアナログコピーにより、埋め込み情報が維持されないという問題があった。

文献[1]では MPEG と同様なマスキング処理を用いた埋め込み手法を提案し、文献[2]では MPEG の対象外の低周波領域にデータを埋め込む方法を提案することにより、MPEG 圧縮に対するロバスト性を改善している。文献[3]ではスペクトラム拡散法を用いてアナログ変換に対するロバスト性を改善している。しかし、いずれの手法も音質を多少犠牲にし、あらゆる攻撃に適応できるロバスト性を備えていると言い難い。そのため現状では、パソコンによる音楽CDのデジタルコピーを抑止することは可能であるが、ライン信号やスピーカ/マイクを経由したアナログコピーには無力である。

そこで本稿では、一般の2チャンネルステレオ音楽データに対して、低周波領域の定位を、埋め込む情報ビットに基づいて偏移させる方法を用いた新規な電子透かし埋め込み手法について提案する。提案手法は、全体的な音楽品質には殆ど影響を与えず、MPEG 等のロッシー型圧縮やアナログ変換の影響を受けにくいという特徴をもつ。また、透かし検出側は、単純なFFTによる信号処理で簡便に実現でき、リアルタイム処理も容易である。本手法により、あらかじめ楽曲情報が埋め込まれている音楽CDの再生音を、アナログ的にキャプチャを行い、曲名等の楽曲属性情報を抽出する実験を行ったので、以下その結果を報告する。

## 2. 提案手法

図1に本稿で提案する電子透かし埋め込み手法の原理を記す。一般的な2チャンネル・ステレオ音楽信号に対して低周波成分を抽出し、埋め込むビット情報に基づいて、その低周波成分の定位を一定の時間間隔で左端(-1)、右端(+1)、またはセンター(0)に変化させる。即ち、左チャンネル成分のみ、右チャンネル成分のみ、左右チャンネル均等の3通りに再分配する。ここで、データを3値にすることにより、-1と+1を埋め込みビット情報に割り当て、0をバイト間の区切りなど同期をとるためのスペースに使用することができる。

本手法により埋め込まれた音楽信号は、低周波成分の定位が移動するだけであるため、全体的な音楽品質は殆ど原音と同じである。そして、ヒトの音源定位感覚は低周波では鈍感であるため、埋め込まれた低周波成分の定位の移動については殆ど認識できない。具体的には100Hz前後以下の成分についてはヘッドフォンで視聴しても変位を判別できない。更に、埋め込まれた情報は、種々の方法でロッシー型圧縮が行われても、アナログ系を経由しても、2チャンネル間の信号バランスに顕著な偏移が起こらない限り消失することは無い。

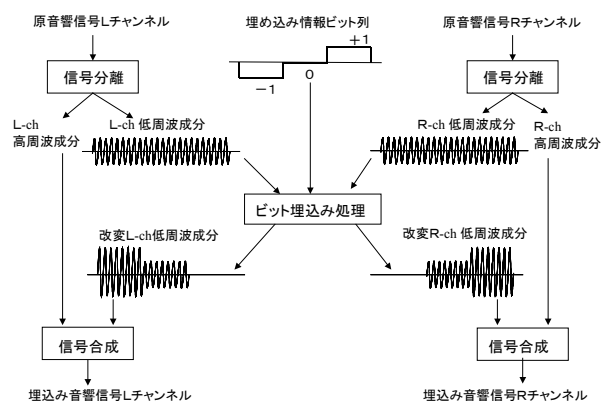


図1 本提案の電子透かし埋め込み手法

Development of Audio Watermarking Technique Robust to Analogue Conversion

† Toshio Modegi, Media Technology Laboratory, Dai Nippon Printing Co., Ltd. (e-mail: Modegi-T@mail.dnp.co.jp)

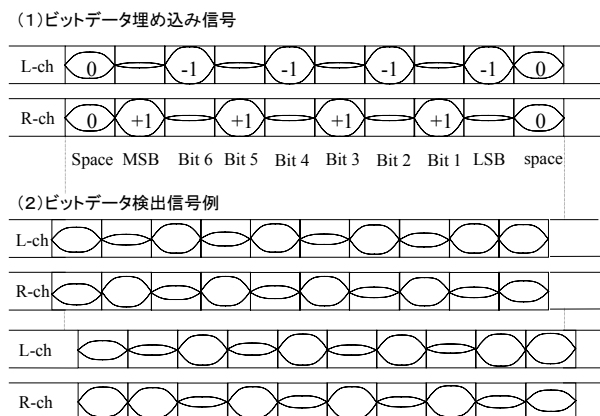


図2 データの埋め込みと抽出シーケンス

図2は8ビットのバイトデータ 10101010 を音響信号に埋め込んだ事例である。4096 サンプルを1フレームとしてハニング窓をかけてフーリエ変換を行い、各フレームにビット情報として-1または+1のデータを書き込み、バイト間のスペースとして、0のデータを書き込む。ビット情報を書き込む途中で、所定のレベルの低周波成分が存在しないフレームに遭遇した場合は、そのフレームにスペースと同様な0のデータを書き込み、以降は改めて MSB から再度ビット情報を書き直すようにする。

アナログ入力を行った音響サンプルから埋め込みデータを抽出する際は、まず埋め込み時のフレームに同期させる必要があるが、本提案手法では窓関数を設定することにより、調度1/2フレームだけ位相がずれる場合を除き、厳密に位相を合わせなくても抽出が可能である。更に、位相を数段階ずらして、-1または+1のフレームにおいて、最もLとRの成分の差が顕著になる位相条件を探索すれば、高精度な同期合わせとデータ抽出が可能になる。リアルタイム処理を必要としない用途では後者の手法を用いることが望ましい。

バイトデータを抽出するには、まずスペースを認識し、-1または+1のビットデータを連続して8回読み込む。途中でスペースを認識した場合は、再度バイトデータを頭から読み直す。このようにして、ソース音響サンプルがバイトの途中であっても、それ以降のバイトデータを抽出することができる。

スピーカやマイクなどのアナログ系を経由して入力を行った音響信号においては、左右チャンネルのバランスが偏ることが多い。そこで、図3のように、認識したスペースデータの左右音量比率をもとに補正を行う。

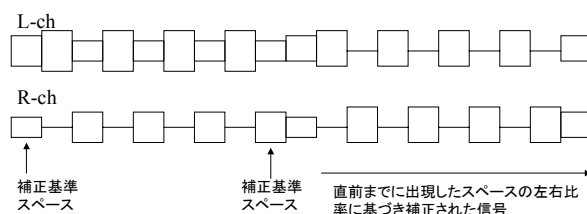


図3 入力音響信号の左右偏重補正

### 3. 実験結果

本提案手法に基づく電子透かしの埋め込み及び抽出機能を Windows パソコンに実装し、CD 音楽素材を用いて、非リアルタイムに以下4通りの手法で抽出実験を行った結果を記す。

[実験条件]

- ・音楽素材：DNP イメージソング「響き合う心」4分21秒全曲(44.1kHz, 16bits, 2-ch)
- ・信号処理方式：4096 ポイント FFT 1-20 領域(約 200Hz 以下)にデータ埋め込み
- ・埋め込みデータ：ASCII 文字列 207 bytes

[抽出実験結果] 抽出できた適正文字列数

- 1) 原理埋め込みデジタルデータ：206
- 2) MP3 (56kbps) で圧縮したデータ：178
- 3) ライン経由でアナログコピー：146
- 4) スピーカ/マイク経由入力：91

### 4. おわりに

本提案手法により、スピーカ/マイク経由アナログ入力でも、約半分の埋め込み情報を抽出できることを確認できた。今後は、データ抽出精度を向上させるとともに、エラー訂正符号を付加し、リアルタイムに抽出できる実用ツールを開発し、スピーカで再生中の楽曲情報を抽出できるようにする予定である。

### 参考文献

- [1] 中山 彰, 陸 金林, 中村 哲, 鹿野 清宏: "心理音響モデルに基づいたオーディオ信号の電子透かし," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J83-D2, No. 11, pp. 2255-2263 (Nov. 2000).
- [2] Ching-Te WANG, Tung-Shou CHEN, and Zhen-Ming XU: "A Robust Watermarking System Based on the Properties of Low Frequency in Perceptual Audio Coding," IEICE Transactions, Vol. E85-A, No. 6, pp. 1257-1264 (Jun. 2002).
- [3] Kirovski, D. and Malvar, H. S.: "Spread-spectrum watermarking of audio signals," Signal Processing, IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 51, No. 4, pp. 1020-1033, (Apr. 2003).