

携帯電話で非接触抽出可能な音楽への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

〒162-0066 東京都新宿区市谷台町 6-3

E-mail: [†]Modegi-T@mail.dnp.co.jp

あらまし 筆者らは、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新規な電子透かし埋め込み手法について提案した。本手法は、殆どロスレスに情報を埋め込むことができ、各種ロッシ型圧縮やアナログ変換の影響を受けにくいという特徴があり、スピーカ/マイクロフォンを経由した非接触な透かし検出が可能であることを確認した。

その後、本方式をステレオ音楽の片側チャンネルだけでも検出できるように拡張した方式を複数提案し、一部の方式については携帯電話でも透かし検出が可能であることを確認した。本稿では、その拡張アルゴリズムの概要と各提案方式の透かし検出精度について報告する。

キーワード 電子透かし、非接触抽出、アナログ耐性、音源定位、携帯電話

Development of Audio Watermark Technology to be Extracted Contactlessly by Cell Phone

Toshio MODEGI[†]

[†]Media Technology Research Center, Dai Nippon Printing Co., Ltd.

6-3, Ichigaya-Daimachi, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-0066 Japan

E-mail: [†]Modegi-T@mail.dnp.co.jp

Abstract We have proposed a novel audio watermarking technology, which embeds a set of bitstream data by changing two-channel stereo locations of lower frequency components in an embedding target audio signal. This method features nearly lossless embedding, robustness against lossy data compression or analogue conversion, and enables contactless asynchronous detection of embedded watermarks through speaker and microphone devices without the original audio signals.

Then, we propose several extended monaural embedding methods, which enable watermark detection by a single monaural microphone or cellphone. In this paper, we describe an abstract of our proposed watermark embedding and extracting algorithm, and experimental results of watermark extraction precision.

Keyword watermark, contactless detection, analogue conversion robustness, sound source location, cellphone

1. まえがき

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。特に画像の透かし分野では、携帯電話のカメラ等を用いた非接触な透かし検出技術が既に開発されているが[4]、透かしが埋め込まれた音楽をマイクロフォン等により非接触に検出する技術は現状実現できていない。

そこで筆者らは、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した[5]。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ち、スピーカ/マイクロフォンを経由し

た非接触検出が可能であることも確認している。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、オリジナルデータを使用せずにリアルタイム検出処理を実現している[5]。

しかし、非接触検出においてステレオマイクを必要とし実用性に乏しかったため、ステレオの片側チャンネルに対してモノラルマイクを向けるだけで検出できるように改良を加えた[6]。更に、携帯電話のマイクロフォン感度特性や音声圧縮に適應できるように、埋め込み方式を改良してきた。

本稿では、先提案の電子透かし埋め込み方式の概要と本改良方式の信号処理系について述べる。続いて、本改良方式の性能評価として、あらかじめ各方式にて楽曲情報が埋め込まれている音楽CDの再生音を、マイクロフォンや携帯電話を用いて非接触にキャプチャを行い、埋め込み情報を抽出する実験を行なったので、その結果を報告する。

2. 先提案の電子透かし埋め込み方式

2.1. ステレオ埋め込み方式の概要

図1に先に提案した電子透かし埋め込み手法の原理を記す[5]。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。

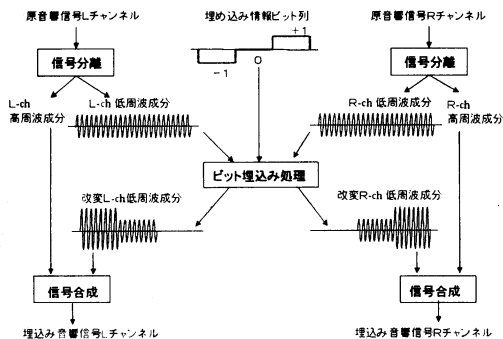


図1 先提案のステレオ埋め込み方式

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くロバスト性を備えている。

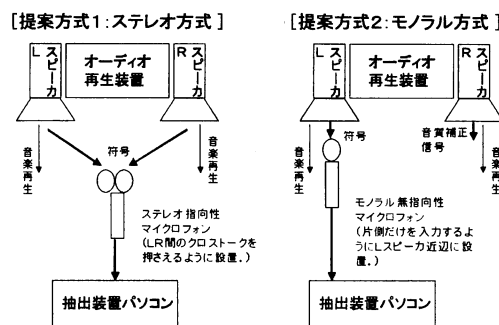


図2 マイクロフォンによる非接触抽出方法

2.2. モノラル埋め込み方式の概要

図2の左側は前述の提案方式1に基づいて透かしが埋め込まれた音楽に対して、1本のステレオ・マイクロフォンを用いて非接触抽出を実現する構成を示す。問題は左右音のクロストークを抑えるため、マイクロフォンの指向性を上げ、スピーカから等間隔の距離に配置する必要がある点にある。その結果、低周波領域の感度低下と入力音圧レベルの減少につながり、マイクロフォンのわずかな揺れが検出ミスにつながる。

これに対し、低周波の埋め込み領域を2バンドまたは3バンドに分割し、バンド間における音源位置をデータに基づいて互いに反転させながら、モノラル信号に対して透かしを埋め込む方式を提案した[6]。

具体的には、図3または図4に示されるようにモノラル信号(ステレオの場合はLチャンネル)上の2バンドまたは3バンド成分のいずれかを削除することによりバンド間比率を変化させ、ステレオの場合は、削除した成分をRチャンネル側の対応する領域に移動させることにより、ほぼ原音質を維持することができる。

一方、透かしの抽出は、図2右側のように、ステレオ信号の場合でもL側チャンネルだけで、モノラル・マイクロフォンにより行なえる。そのため、前述のクロストークの問題は無くなり、指向性を上げる必要が無いため、低周波領域の感度が低下することもなく、

$B_{r2}(j), B_{l3}(j), B_{r3}(j)$ ($j=0, \dots, N-1$)として、以下のよ
うに与えられる。

$$\begin{aligned}
 A_{l1}(j) &= \sum_{i=0, N-1} W_1(i) X_l(i) \cos(2\pi ij/M) \\
 B_{l1}(j) &= \sum_{i=0, N-1} W_1(i) X_l(i) \sin(2\pi ij/M) \\
 A_{l2}(j) &= \sum_{i=0, N-1} W_2(i) X_l(i) \cos(2\pi ij/M) \\
 B_{l2}(j) &= \sum_{i=0, N-1} W_2(i) X_l(i) \sin(2\pi ij/M) \\
 A_{l3}(j) &= \sum_{i=0, N-1} W_3(i) X_l(i) \cos(2\pi ij/M) \\
 B_{l3}(j) &= \sum_{i=0, N-1} W_3(i) X_l(i) \sin(2\pi ij/M) \\
 A_{r1}(j) &= \sum_{i=0, N-1} W_1(i) X_r(i) \cos(2\pi ij/M) \\
 B_{r1}(j) &= \sum_{i=0, N-1} W_1(i) X_r(i) \sin(2\pi ij/M) \\
 A_{r2}(j) &= \sum_{i=0, N-1} W_2(i) X_r(i) \cos(2\pi ij/M) \\
 B_{r2}(j) &= \sum_{i=0, N-1} W_2(i) X_r(i) \sin(2\pi ij/M) \\
 A_{r3}(j) &= \sum_{i=0, N-1} W_3(i) X_r(i) \cos(2\pi ij/M) \\
 B_{r3}(j) &= \sum_{i=0, N-1} W_3(i) X_r(i) \sin(2\pi ij/M) \quad (1)
 \end{aligned}$$

ここで、3種の窓関数 $W_1(i), W_2(i), W_3(i)$ はハニ
ング窓関数 $W(i)=0.5-0.5\cos(2\pi i/M)$ に対して、以下の
ように時間軸で分割したものである。分離窓関数 $W_3(i)$
を定義付けるための m は N より小さい値で、例えば N
 $/2$ を与える。

$$\begin{aligned}
 W_1(i) &= W(i), W_2(i)=0, W_3(i)=0 \quad (0 \leq i < N/2-m) \\
 W_3(i) &= 0.5-0.5\cos(2\pi(i-N/2+m)/m) \\
 &\quad (N/2-m \leq i \leq N/2+m) \\
 W_1(i) &= W(i)-W_3(i), W_2(i)=0, \quad (N/2-m \leq i \leq N/2) \\
 W_1(i) &= 0, W_2(i)=W(i)-W_3(i), \quad (N/2 < i \leq N/2+m) \\
 W_1(i) &= 0, W_2(i)=W(i), W_3(i)=0 \\
 &\quad (N/2+m < i \leq N-1) \quad (2)
 \end{aligned}$$

3.2.2. 低周波成分の変換

フーリエ変換データの実部 $A_l(j), A_r(j)$ ($j=1, \dots, M$),
虚部 $B_l(j), B_r(j)$ ($j=1, \dots, M$) に対して、まず以下総
パワーを算出する。

$$\begin{aligned}
 E_l &= \sum_{j=1, M} \{A_{l1}(j)^2 + B_{l1}(j)^2\} \\
 E_2 &= \sum_{j=1, M} \{A_{l2}(j)^2 + B_{l2}(j)^2\} \quad (3)
 \end{aligned}$$

M は埋め込み低周波領域の上限値で、 $N=4096$ でサン
プリング周波数が 44.1kHz の場合、 $M=20$ (約 200Hz ま
での低周波成分) に設定するのが適当である。 $1 \leq j \leq M$
について以下のような変換を行う。尚、 L_0 は埋め込み
を行なうことが可能なレベル下限値であり、以下いざ
これの場合も式(6)に示す変換は常に実行する。

- 1) $E_2 > L_0$ かつ埋め込みデータが +1 の場合
下記式(4)を実行する。
- 2) $E_1 > L_0$ かつ埋め込みデータが -1 の場合
下記式(5)を実行する。
- 3) 上記以外(埋め込みデータ 0 の場合を含む)
下記式(4)及び(5)を実行する。

$$\begin{aligned}
 E_1(j) &= \{A_{l1}(j)^2 + B_{l1}(j)^2 + A_{r1}(j)^2 + B_{r1}(j)^2\}^{1/2} \\
 A_{r1}'(j) &= A_{r1}(j) E_1(j) / \{A_{r1}(j)^2 + B_{r1}(j)^2\}^{1/2} \\
 B_{r1}'(j) &= B_{r1}(j) E_1(j) / \{A_{r1}(j)^2 + B_{r1}(j)^2\}^{1/2} \\
 A_{l1}'(j) &= B_{l1}'(j) = 0 \quad (4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_2(j) &= \{A_{l2}(j)^2 + B_{l2}(j)^2 + A_{r2}(j)^2 + B_{r2}(j)^2\}^{1/2} \\
 A_{r2}'(j) &= A_{r2}(j) E_2(j) / \{A_{r2}(j)^2 + B_{r2}(j)^2\}^{1/2} \\
 B_{r2}'(j) &= B_{r2}(j) E_2(j) / \{A_{r2}(j)^2 + B_{r2}(j)^2\}^{1/2} \\
 A_{l2}'(j) &= B_{l2}'(j) = 0 \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_3(j) &= \{A_{l3}(j)^2 + B_{l3}(j)^2 + A_{r3}(j)^2 + B_{r3}(j)^2\}^{1/2} \\
 A_{r3}'(j) &= A_{r3}(j) E_3(j) / \{A_{r3}(j)^2 + B_{r3}(j)^2\}^{1/2} \\
 B_{r3}'(j) &= B_{r3}(j) E_3(j) / \{A_{r3}(j)^2 + B_{r3}(j)^2\}^{1/2} \\
 A_{l3}'(j) &= B_{l3}'(j) = 0 \quad (6)
 \end{aligned}$$

3.2.3. ステレオ音響信号の時間次元逆変換

前節での述べた埋め込み処理を行った結果を各々
 $A_{l1}'(j), B_{l1}'(j), A_{l2}'(j), B_{l2}'(j), A_{l3}'(j), B_{l3}'(j),$
 $A_{r1}'(j), B_{r1}'(j), A_{r2}'(j), B_{r2}'(j), A_{r3}'(j), B_{r3}'(j)$
とすると、更新されるフレームのデータ $X_l'(i),$
 $X_r'(i)$ は、以下のように、上記変換されたスペクトル
に対してフーリエ逆変換を行った結果と、原フレーム
 $X_l(i), X_r(i)$ と窓関数による加重平均となる。

$$\begin{aligned}
 X_l'(i) &= 1/N \{ \sum_{j=0, N-1} A_{l1}'(j) \cos(2\pi ij/M) \\
 &\quad + \sum_{j=0, N-1} A_{l2}'(j) \cos(2\pi ij/M) \\
 &\quad + \sum_{j=0, N-1} A_{l3}'(j) \cos(2\pi ij/M) \\
 &\quad - \sum_{j=0, N-1} B_{l1}'(j) \sin(2\pi ij/M) \\
 &\quad - \sum_{j=0, N-1} B_{l2}'(j) \sin(2\pi ij/M) \\
 &\quad - \sum_{j=0, N-1} B_{l3}'(j) \sin(2\pi ij/M) \} \\
 &\quad + \{1-W(i)\} X_l(i)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_r'(i) &= 1/N \{ \sum_{j=0, N-1} A_{r1}'(j) \cos(2\pi ij/M) \\
 &\quad + \sum_{j=0, N-1} A_{r2}'(j) \cos(2\pi ij/M) \\
 &\quad + \sum_{j=0, N-1} A_{r3}'(j) \cos(2\pi ij/M) \\
 &\quad - \sum_{j=0, N-1} B_{r1}'(j) \sin(2\pi ij/M) \\
 &\quad - \sum_{j=0, N-1} B_{r2}'(j) \sin(2\pi ij/M) \\
 &\quad - \sum_{j=0, N-1} B_{r3}'(j) \sin(2\pi ij/M) \} \\
 &\quad + \{1-W(i)\} X_r(i) \quad (7)
 \end{aligned}$$

3.3. 電子透かし抽出アルゴリズム

埋め込まれた音響信号に対して、場合によりアナロ
グ系を含む各種信号変換系を経由して、サンプリング
周波数 F でデジタル化された離散音響データの左チャ
ンネル成分 $X_l(i)$ ($i=0, \dots, N-1$) に対して、3.2.1 節と
同様なフーリエ変換を行い、埋め込み領域の実部を
 $A_{l1}(j), A_{l2}(j)$ ($j=1, \dots, M$), 虚部を $B_{l2}(j), B_{l3}(j)$ ($j=1,$
 \dots, M) とする。ただし、 $A_{l3}(j)$ と $B_{l3}(j)$ は抽出時には算
出不要である。

アナログ系を通すと、埋め込み時と抽出時の低周波領域のレベルは大幅に変化するため、 L は埋め込み時に設定した L_0 の値に対して、抽出時の平均信号レベルを基に動的に増減させる必要がある。また、埋め込み時の周波数範囲は $1 \leq j \leq M$ であるが、境界部は周辺成分の影響を受け、特にアナログ系を通すとその影響は顕著になるため、 $1+m \leq j \leq M-n$ (m と n は正の整数で、例えば $m=1, n=2$ に設定) なる周波数範囲の縮小補正を施し、以下計算を行なう。

$$E_1 = \sum_{j=1+m, M-n} \{A_{11}(j)^2 + B_{11}(j)^2\}$$

$$E_2 = \sum_{j=1+m, M-n} \{A_{12}(j)^2 + B_{12}(j)^2\} \quad (8)$$

上記算出した E_1 と E_2 の比率に基づいて符号判定を行ない、左右比率は 2 程度が適当である。

- 1) $E_2 > L$ かつ $E_2/E_1 > 2$ の場合、符号を +1
- 2) $E_1 > L$ かつ $E_1/E_2 > 2$ の場合、符号を -1
- 3) 上記以外は符号を 0 とする。

3.4. ワードデータ列の埋め込み方法

埋め込み対象の音響信号の低周波領域のレベルはコンテンツにより変動し、随所に埋め込みできないフレームが発生する。そこで、基本的に可変長のビットデータ形式で埋め込み、埋め込むデータは 8 ビットの文字列や圧縮された可変長ワードでも対応できるようにした。

レベルが小さくて埋め込みができない場合およびビットデータ列の区切りを示すデータとして 0 を埋め込み、0 と 0 の間に -1 または +1 のビットデータ列を連続して配置させる。そして 0 に続くビットデータ列の先頭に、後続するビット列が新規ワードの先頭ビットか現ワードの継続ビットかを識別するフラグを 1 ビット分挿入する。

図 7 は本提案に基づき、8 ビット固定長のバイトデータ列の埋め込み事例を示す。上段は、8 ビット固定長で 2 バイトのデータを埋め込んだ標準的な事例で、下段は途中でレベルが小さいフレームに遭遇したため、バイト内のビット列を分断して埋め込んだ事例である。

3.5. 抽出時のフレーム位相補正方法

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信号レベルが十分あれば抽出が可能である。ただし、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、図 8 で示すような位相補正を行ない、埋め込みフレームに同期させる必要がある。こ

れは、位相を例えば 6 段階ずらして、-1 または +1 のフレームにおいて、最も第 1 成分と第 2 成分の成分の比率が顕著になる位相シフト条件を探索し、その条件で符号判定を行なう。図 8 の事例で補正を行うと、演算負荷が 6 倍に増大するが、音響サンプルの録音処理に比べれば十分速いため、本機能を付加してもリアルタイム処理は実現できる。

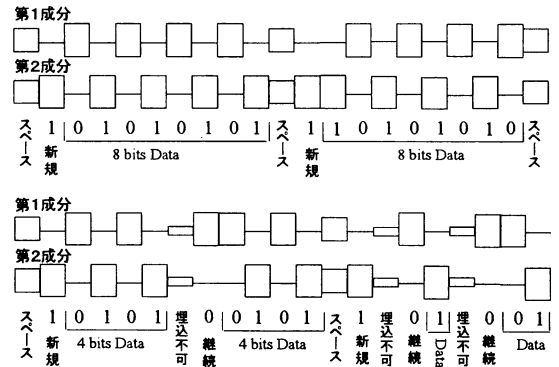


図 7 バイトデータ列の埋め込み事例

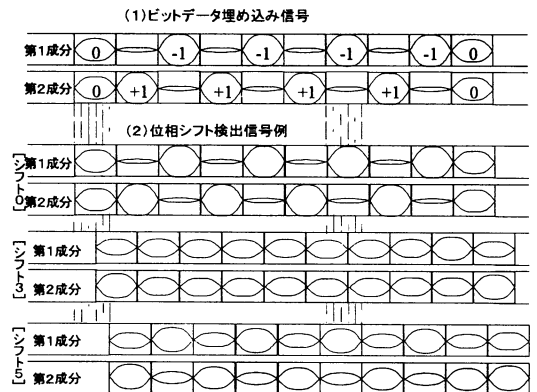


図 8 抽出時のフレーム位相補正の事例

4. 提案手法の評価実験

先の提案手法および本稿で提案した改良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 音楽素材に対して 4 通りの手法で埋め込み、リアルタイムに 5 通りの手法で抽出実験を行った結果を以下記す。使用したスピーカ及びマイクロフォンはソニー製で各々 50Hz 以上の帯域をもつもので、マイクロフォンは左右 120° の指向性があるステレオタイプのものを使用し、モノラル方式の場合は指向性をオフにして L 側スピーカに近づけて使用した。携帯電話による非接触抽出は、Vodafone V603SH

の音声録音機能を使用して、録音された圧縮音声ファイルをPCに転送して抽出処理を行った。

[実験条件 1]

・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
以下80バイトを繰り返し、曲全体に埋め込む。

DNPgroup_ImageSong, Sharing-a-Dream, MusicByTakaoKisugi, SongByEPO, (C)DNP2002-2005

表1 4通りの埋め込み方式による抽出実験

埋め込み方式	Stereo 図1法	Mono 1 図3法	Mono2 図4法	Mono3 図6法
原音楽データへの埋め込み文字数	243	198	219	208
デジタル音楽データより直接抽出	243	198	219	208
MP3 (56kbps)圧縮を施して抽出	239	189	214	198
ラインでアナログコピーして抽出	242	195	171	189
マイクロフォンにより非接触抽出	207	115	119	143
携帯電話により非接触抽出		4	117	59

表1に示される通り、マイクロフォンによる非接触精度においては、図1のステレオ法がベストであるが、モノラル法においては今回提案の図6手法が最良となった。そこで、以下の通り、図6の手法を用いて埋め込み領域を拡大し、携帯電話で抽出する追加実験を行った結果、1-40領域((3)(8)式においてM=40)まで拡大すれば安定して抽出できた。

[実験条件 2] 図6埋め込み手法

- 1) 1-20領域(約200Hz以下)に埋め込み：208
- 2) 1-30領域(約300Hz以下)に埋め込み：244
- 3) 1-40領域(約400Hz以下)に埋め込み：257

[携帯電話による非接触抽出結果]

- 1) 1-20埋め込み 抽出データ：59 bytes
Dugov8Sn-aa,yBis,o(C!05r,hrnMaMJakuw^Bm,
02-Xpuwg--r,ecaKis
- 2) 1-30埋め込み 携帯電話抽出データ：121 bytes
cup_IgeSrSharng-a-rea,sicy4koisgSongBOCD225gulSo
Sari-a-MsiBTakaoKiugiSonPO(NPupmaen,Saring-aDeM
yaks`\$SCgyp,N20-205DNPgoup
- 3) 1-40埋め込み 携帯電話抽出データ：209 bytes
DNPgroup_ImageSog,Sharing-a-Drem,MusicyTakaoKis

ugi,SongByEO,(C)202Nroup_IaeSg,Shaing-a-ream,Mus
icByTakaoKisgi,SongByEPO(C)D002-20DNo_Imgog,S
haring-a-Drem,MusicBTakaoKisuSonByEPO,C)DNP200
2-05DNPgroup_ImgogSong,S

5. あとがき

本提案の電子透かし埋め込み方式は、先提案のステレオ方式に比べると劣るが、モノラル方式においては顕著な抽出精度の改善が見られ、マイクロフォンによる非接触抽出では、80%近い埋め込み情報を抽出できることを確認できた。ただし、先いずれの提案手法に比べても、原理的に位置ずれの影響を受けやすく、携帯電話による抽出精度は先提案図4の手法の方が良好な場合があり、今後種々の機種種の携帯電話を用いて実験を重ねる予定である。

また、埋め込み可能なビットレートとデータ抽出精度を更に向上させ、エラー訂正符号を付加し、リアルタイムに信頼性の高い抽出ができる実用ツールを開発するとともに、抽出ソフトウェアを携帯電話等に実装し、民生用の安価なスピーカーで再生中の楽曲情報や関連する情報サイトのURL等を抽出できるようにする予定である。

更に、本稿で提案した、電子透かし埋め込み手法を、新規な音響無線タグ技術として、端末内のコンテンツやロボットなどを音楽と同期させて遠隔制御したり、完成楽曲からミックスダウン前の音楽素材や合成条件等を追跡可能にする音楽制作業務のトレーサビリティに応用することを検討する予定である。

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, November, 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, June, 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, April, 2003.
- [4] 中村 高雄, 片山 淳, 山室 雅司, 曾根原 登: "カメラ付携帯電話機を用いたアナログ画像からの高速電子透かし検出方式," 電子情報通信学会誌, Vol.J87-D2, No.12, pp.2145-2155, December, 2004.
- [5] 茂出木 敏雄: "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", 情報処理学会第67回全国大会論文集, Vol.3, pp.271-272, March 2005.
- [6] 茂出木 敏雄: "非接触抽出可能な音楽への電子透かし埋め込み技術の開発", 電子情報通信学会・技術研究報告(応用音響研究会), EA2005-4, pp.19-24, April 2005.