

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[†]

抄録 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ている。

本稿では、本方式をモノラル音楽にも対応できるように拡張し、ステレオ音楽の場合、モノラルマイクロフォンを用いて片側チャンネルだけで透かし検出を行なえるようにしたので、その拡張方式の概要と電子楽器等の遠隔協奏制御に応用する提案について述べる。

Development of Contactless Sensible Watermark Embedding Technology for Audio Signals

Toshio MODEGI[†]

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.

In this paper, we propose an extended monaural audio watermark embedding method, which supports both monaural and stereo audio signals, and enables watermark detection by a single monaural microphone. We describe an abstract of our proposed watermark embedding algorithm and an ensemble controlling application for electronic musical instruments.

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、あらゆる攻撃に適用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

[†]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
[†]Media Technology Research Center,
Dai Nippon Printing Co., Ltd.
(e-mail: Modegi-T@mail.dnp.co.jp)

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、クロストークの影響を抑えるため指向性を上げる必要があり、そのため透かしが埋め込まれる低周波領域の検出感度が低下するというジレンマを抱えていた。そこで、本問題を解決するため、ステレオの片側チャンネルだけでモノラルマイクによる非接触検出を可能にした改良方式を提案する。

本稿では、先提案の電子透かし埋め込み方式と本改良方式の信号処理系の概要を述べる。続いて、本提案の応用事例として、音楽にコード情報（和音）等を埋め込み、再生中の音楽に対して電子楽器に協奏させるように遠隔制御するシステム構想について述べる。

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。

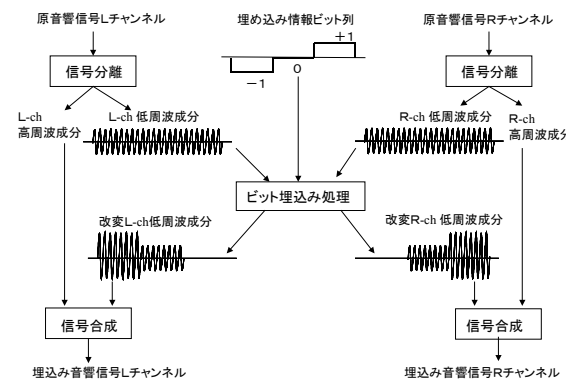


図1 先提案のステレオ埋め込み方式

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。

以下、本節では先提案の電子透かし埋め込みおよび抽出手法のアルゴリズムについて述べる。

2.2. 電子透かし埋め込みアルゴリズム

2.2.1. 音響信号の周波数次元変換

サンプリング周波数Fのソース音響信号から窓幅Nの固定間隔で抽出されたフレーム $X_l(i)$, $X_r(i)$ ($i=0, \dots, N-1$)に対応する離散フーリエ変換は、変換データの実部を $A_l(j)$, $A_r(j)$ ($j=0, \dots, N-1$), 虚部を $B_l(j)$, $B_r(j)$ ($j=0, \dots, N-1$)として、ハニング窓関数 $W(i)=0.5-0.5\cos(2\pi i/N)$ を用いて、以下のように入与えられる。

$$\begin{aligned} A_l(j) &= \sum_{i=0, N-1} W(i) X_l(i) \cos(2\pi ij/N) \\ B_l(j) &= \sum_{i=0, N-1} W(i) X_l(i) \sin(2\pi ij/N) \\ A_r(j) &= \sum_{i=0, N-1} W(i) X_r(i) \cos(2\pi ij/N) \\ B_r(j) &= \sum_{i=0, N-1} W(i) X_r(i) \sin(2\pi ij/N) \end{aligned} \quad (1)$$

2.2.2. 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。

$$E = \sum_{j=1, M} \{A_l(j)^2 + B_l(j)^2 + A_r(j)^2 + B_r(j)^2\} \quad (2)$$

$E > Lo$ (レベル下限値) のとき以下の変換を行う。 $N=4096$ 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) 埋め込みデータが+1の場合

$$\begin{aligned} E(j) &= \{A_l(j)^2 + B_l(j)^2 + A_r(j)^2 + B_r(j)^2\}^{1/2} \\ A_r'(j) &= A_r(j) E(j) / \{A_r(j)^2 + B_r(j)^2\}^{1/2} \\ B_r'(j) &= B_r(j) E(j) / \{A_r(j)^2 + B_r(j)^2\}^{1/2} \end{aligned}$$

$$A1'(j)=B1'(j)=0 \quad (3)$$

2) 埋め込みデータが -1 の場合

$$E(j)=\{A1(j)^2+B1(j)^2+Ar(j)^2+Br(j)^2\}^{1/2}$$

$$A1'(j)=A1(j)E(j)/\{A1(j)^2+B1(j)^2\}^{1/2}$$

$$B1'(j)=B1(j)E(j)/\{A1(j)^2+B1(j)^2\}^{1/2}$$

$$Ar'(j)=Br'(j)=0 \quad (4)$$

3) 埋め込みデータが 0 の場合

$$E(j)=$$

$$[0.5\{A1(j)^2+B1(j)^2+Ar(j)^2+Br(j)^2\}]^{1/2}$$

$$A1'(j)=A1(j)E(j)/\{A1(j)^2+B1(j)^2\}^{1/2}$$

$$B1'(j)=B1(j)E(j)/\{A1(j)^2+B1(j)^2\}^{1/2}$$

$$Ar'(j)=Ar(j)E(j)/\{Ar(j)^2+Br(j)^2\}^{1/2}$$

$$Br'(j)=Br(j)E(j)/\{Ar(j)^2+Br(j)^2\}^{1/2} \quad (5)$$

2.2.3. 音響信号の時間次元逆変換

A1(j)、B1(j)、Ar(j)、Br(j)の各要素に対して前節での述べた埋め込み処理を行った結果を各々A1'(j)、B1'(j)、Ar'(j)、Br'(j)とすると、更新されるフレームのデータ Xl'(i)、Xr'(i)は、以下のように、上記変換されたスペクトル A1'(j)、B1'(j)、Ar'(j)、Br'(j)に対してフーリエ逆変換を行った結果と、原フレーム Xl(i)、Xr(i)と窓関数による加重平均となる。

$$Xl'(i)=1/N \{ \sum_{j=0, N-1} A1'(j) \cos(2\pi ij/N) - \sum_{j=0, N-1} B1'(j) \sin(2\pi ij/N) \} + \{1-W(i)\} Xl(i)$$

$$Xr'(i)=1/N \{ \sum_{j=0, N-1} Ar'(j) \cos(2\pi ij/N) - \sum_{j=0, N-1} Br'(j) \sin(2\pi ij/N) \} + \{1-W(i)\} Xr(i) \quad (6)$$

2.3. 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、マイクロフォンなどの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 Xl(i)、Xr(i) (i=0, ..., N-1) に対して、2.2.1 節と同様なフーリエ変換を行い、埋め込み領域の実部を A1(j)、Ar(j) (j=1, ..., M)、虚部を B1(j)、Br(j) (j=1, ..., M) とする。(2)式に基づいて算出した総パワー値 E が >L (レベル下限値) のとき以下の抽出処理を行う。

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 Lo 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

≤ j ≤ 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 ≤ j ≤ 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。

$$E1 = \sum_{j=1+m, M-n} \{A1(j)^2+B1(j)^2\}$$

$$Er = \sum_{j=1+m, M-n} \{Ar(j)^2+Br(j)^2\} \quad (7)$$

上記算出した E1 と Er 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 > L かつ Er/E1 > 2 の場合、符号 + 1
- 2) E > L かつ E1/Er > 2 の場合、符号 - 1
- 3) 上記以外は符号を 0 とする。

2.4. 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 2 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。

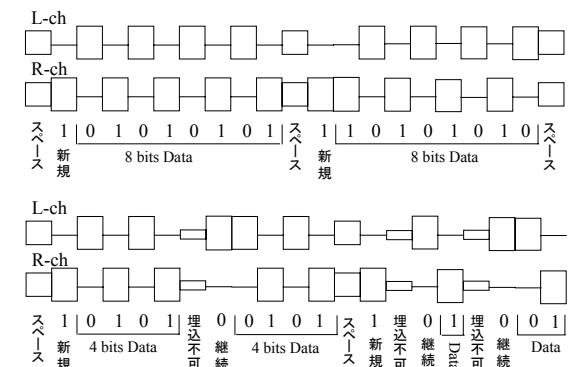


図 2 バイトデータ列の埋め込み事例

2.5. 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 3 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 L と R 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 3 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。

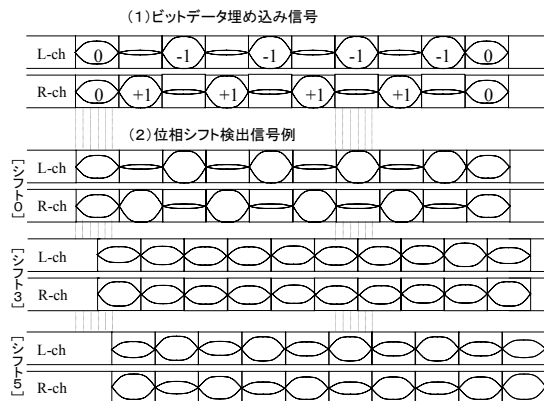


図 3 抽出時のフレーム位相補正の事例

3. 改良型の電子透かし埋め込み方式

3.1. 先提案の問題点と改良方式の提案

前述の方式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・ガンマイクロフォンを用いても非接触抽出を実現することができる。その際、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。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。本埋め込み方式は元来低周波音の指向性の悪さを活用しているので、指向性を求めるのは不適切といえる。

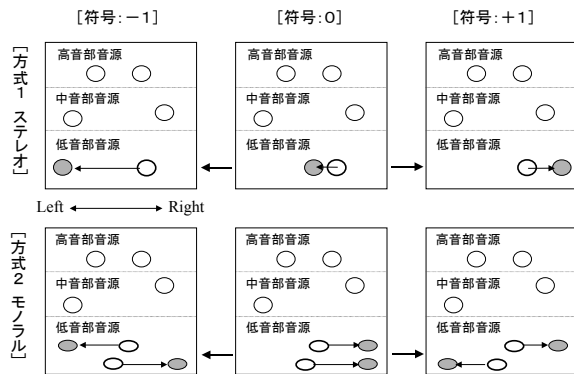


図 4 2つの電子透かし埋め込み方式の概念

そこで、図 4 下段のように低周波の埋め込み領域を 2 バンドに分割し、バンド間における音源位置を互いに变化させながら透かしの埋め込みを行なう方式を提案する。具体的には、図 5 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 バンド成分の一方または双方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、ステレオに埋め込まれた場合でも 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、スピーカに近づけることが可能になるため十分な感度で精度の良い検出が行なえる。更にマイクロフォンを若干揺らしても検出が可能になるため、特にモバイル用途に適している。

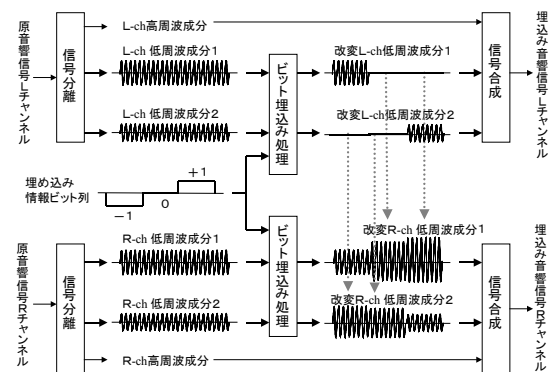


図 5 モノラル埋め込み方式の処理概要

3.2. 改良方式の透かし埋め込みアルゴリズム

2.2.2 節で述べた低周波成分の変換を以下のように変更する以外は先提案方式と同様である。

2.2.1 節で算出したフーリエ変換データの实部 $A1(j)$ ($j=1, \dots, 2M$), 虚部 $B1(j)$ ($j=1, \dots, 2M$) に対して、まず以下 2 つバンド領域における総パワーを算出する。

$$E1 = \sum_{j=1, M} \{A1(j)^2 + B1(j)^2\}$$
$$E2 = \sum_{j=1, M} \{A1(j+M)^2 + B1(j+M)^2\} \quad (8)$$

$N=4096$ でサンプリング周波数が 44.1kHz の場合、 $M=10$ に設定し、 $\sim 100\text{Hz}$ および $\sim 200\text{Hz}$ の領域に埋め込むのが適当である。 $E1$ および $E2$ のレベル下限値を L_0 として、以下処理を行う

- 1) $E2 > L_0$ で埋め込みデータが $+1$ の場合、 $j=1, \dots, M$ の各要素に対して以下数式 (9) に基づく改変を加え、 $j=M+1, \dots, 2M$ の各要素には改変を加えない。
- 2) $E1 > L_0$ で埋め込みデータが -1 の場合、 $j=M+1, \dots, 2M$ の各要素に対して以下数式 (9) に基づく改変を加え、 $j=1, \dots, M$ の各要素には改変を加えない。
- 3) 上記いずれでも無い場合は、埋め込みデータを 0 と扱い、 $j=1, \dots, 2M$ の全要素に対して以下数式 (9) に基づく改変を加える。

ステレオ信号の場合、

$$E(j) = \{A1(j)^2 + B1(j)^2 + Ar(j)^2 + Br(j)^2\}^{1/2}$$
$$Ar'(j) = Ar(j)E(j) / \{Ar(j)^2 + Br(j)^2\}^{1/2}$$
$$Br'(j) = Br(j)E(j) / \{Ar(j)^2 + Br(j)^2\}^{1/2}$$
$$A1'(j) = B1'(j) = 0$$

モノラル信号の場合、

$$A1'(j) = B1'(j) = 0 \quad (9)$$

3.3. 改良方式の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モノラルまたはステレオの L チャンネル側のデータ $X1(i)$ ($i=0, \dots, N-1$) に対して、2.2.1 節と同様なフーリエ変換を行い、埋め込み領域の实部を $A1(j)$ ($j=1, \dots, 2M$), 虚部を $B1(j)$ ($j=1, \dots, 2M$) とする。(8)式に基づいて算出した各バンド領域における総パワー値 $E1$ または $E2$ のいずれかが $>L$ (レベル下限値) のとき以下の抽出処理を行う。

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、先提案方式と同様に、 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、第 1 バンド領域では $1 \leq j \leq M$ 、第 2 バンド領域では $M+1 \leq j \leq 2M$ であるが、境界部は周辺成分の影響を受け、特に第 1 バンドと第 2 バンドとの境界領域は、検出精度への影響は顕著になる。そこで、第 n バンド領域を $1+m \leq j \leq M-n$ 、第 2 バンド領域を $M+1+m \leq j \leq 2M-n$ (m と n は正の整数で、例えば $m=1, n=2$ に設定) として、各々周波数範囲の縮小補正を施し、(8)式と同様な以下計算を行なう。

$$E1 = \sum_{j=1+m, M-m} \{A1(j)^2 + B1(j)^2\}$$
$$E2 = \sum_{j=1+m, M-m} \{A1(j+M)^2 + B1(j+M)^2\} \quad (10)$$

上記算出した $E1$ と $E2$ 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) $E2 > L$ かつ $E2/E1 > 2$ の場合、符号 $+1$
- 2) $E1 > L$ かつ $E1/E2 > 2$ の場合、符号 -1
- 3) 上記以外は符号を 0 とする。

4. 電子楽器の遠隔協奏制御への応用

本稿で提案した電子透かしの埋め込み手法を用いて、音楽に各種制御コードを埋め込み、音楽演奏に同調させて種々なデバイスに対して時系列な遠隔制御を行なうことができる。本稿では、電子楽器をコントロールする構成案について以下述べる。

本提案の電子透かし手法を用いると、CD 品質の $44.1\text{kHz}/16\text{bits}/2\text{ch}$ のステレオ音楽素材に対して、フレーム長 4096 の FFT を用いて、埋め込み領域を $1-20$ ポイントの範囲 (約 200Hz 以下) に設定すると、約 10bps のレートでバイト配列を埋め込める。(埋め込みレートはフレーム長や埋め込み領域を変更すれば増減できるが、音楽品質と抽出精度の関係から本設定が良好であった。)

このレートでは、MIDI データや歌詞テキストを埋め込むにはやや遅すぎるが、コードネームや表情記号を埋め込むことはできる。コードネーム自体は 5000 パターン以上あるが、1 つの楽曲に使用されるコードネームの種類は数 10 種類であるため、数ビットで符号化することができる。

このコード情報は、音楽コンテンツ内の指定されたタイムコード位置に電子透かしとして埋め込む必要がある。しかし、本提案手法ではソース音響信号の低周波成分の定位を動かすことにより、情報を埋め込むことを基本にしているため、低周波成分が存在しない高音楽器だけの区間や無音区間では埋め込むことができない。

これに対しては、品質の劣化を許容する場合と、そうでない場合とで2通りの解決策がある。前者の場合、図5の上側の左チャンネルの波形パターンを固定信号波形で発生させてしまう方法がとれる。この場合、低周波成分に若干ノイズが載るが、指定タイムコード位置に埋め込むことができる。

後者の場合、あらかじめ試験配列データを楽曲全体に埋め込み、埋め込みが行なうことができたタイムコード情報を入手しておく。そして、目的とするコード情報の指定タイムコードに近い位置に埋め込まれた試験配列データの内容をコード情報に置換して、再度埋め込み処理を行えば良い。この場合、音楽の品質には殆ど影響を与えないが、指定タイムコード位置と若干ずれて埋め込まれるケースが生じる。

このようにコード情報が埋め込まれた音楽を図6のような構成で再生すれば、音楽と同期してコードネームが電子楽器側に遠隔伝送される。あらかじめ、楽曲のテンポ・拍子、コードのパターンを設定しておけば、拍の頭に合せて電子楽器に協奏させることができる。コードを受信するハードウェアとしてはパソコンやMIDIシンセサイザというハイエンド構成から携帯電話まで種々の情報家電機器を活用できる。

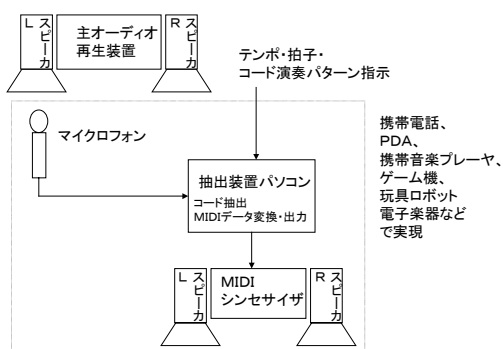


図5 電子楽器協奏システム構成

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アナログ系を通したときの抽出精度が顕著に向上しており、特にスピーカ/マイク経由アナログ入力では、90%近い埋め込み情報を抽出できることを確認できた。

今後、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で再生中の楽曲情報等を抽出できるようにする予定である。

本稿で提案した電子楽器の協奏システムについては、種々のプラットフォーム上で試作し、新規な音響無線タグ技術としての実現可能性を確認する予定である。また、音楽制作側への応用として、使用する音楽基本素材に電子透かしを埋め込み、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[6]に応用するための実証実験を進める予定である。

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: "音楽制作工程におけるトレーサビリティシステムの提案", 電子情報通信学会・総合大会論文集, Vol.A, pp.209, March 2005.