

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-29825
(P2019-29825A)

(43) 公開日 平成31年2月21日(2019.2.21)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
H04S 7/00 (2006.01) H04S 7/00 300 5D162

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2017-147654 (P2017-147654)
(22) 出願日 平成29年7月31日 (2017.7.31)

(71) 出願人 000004075
ヤマハ株式会社
静岡県浜松市中区中沢町10番1号
(74) 代理人 100111763
弁理士 松本 隆
(72) 発明者 奥村 啓
静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマ
ハ株式会社内
Fターム(参考) 5D162 AA04 AA11 CA11 DA22 DA33
EG02

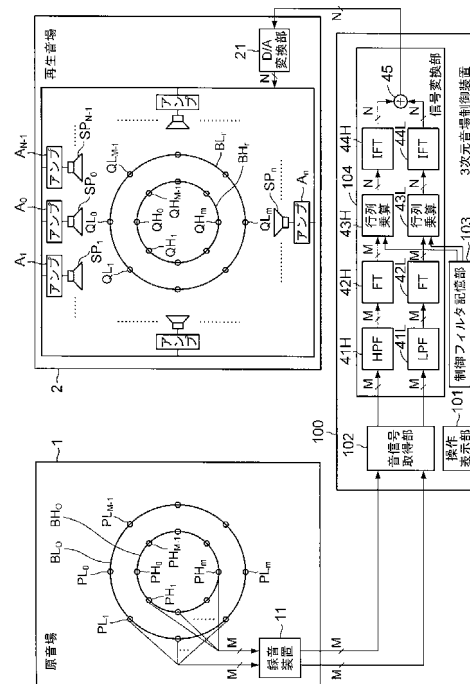
(54) 【発明の名称】 3次元音場制御装置および方法

(57) 【要約】

【課題】 演算量の著しい増加を招くことなく広い周波数範囲の音の制御が可能な境界音場制御を実現する。

【解決手段】 3次元音場制御装置100において、信号変換部104は、音の周波数に応じて境界面を切り替えることにより制御点の間隔を制御する。具体的には、信号変換部104は、所定のカットオフ周波数以下の帯域については、制御点の間隔が長い境界面BLr (= BLo) に対応した低域の境界音場制御を行い、上記カットオフ周波数以上の帯域については、制御点の間隔が短い境界面BHr (= BHo) に対応した高域の境界音場制御を行う。従って、全体として制御点の数を増加させることなく、広い周波数帯域に互って境界音場制御を実現することができる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

再生音場内の閉領域の境界を示す境界面上の複数の制御点に所望の音を発生させる境界音場制御を実行する音場制御手段を有し、

前記音場制御手段は、前記音の周波数に応じて前記境界面を切り替えることにより前記制御点の間隔を制御することを特徴とする 3 次元音場制御装置。

【請求項 2】

前記音場制御手段は、前記閉領域の外側に配置された複数のスピーカと前記複数の制御点との間の音響特性を示す制御フィルタを境界面毎に備えることを特徴とする請求項 1 に記載の 3 次元音場制御装置。

【請求項 3】

前記境界音場制御は、互いに異なる境界面に対応し、一部が重複して隣接する 2 つの周波数帯域に各々対応した第 1 および第 2 の境界音場制御を含み、前記第 1 および第 2 の音場制御の各出力信号を前記 2 つの周波数帯域が重複した周波数領域においてクロスフェードすることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の 3 次元音場制御装置。

【請求項 4】

前記境界面が球面であることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 の請求項に記載の 3 次元音場制御装置。

【請求項 5】

再生音場内の閉領域の境界を示す境界面上の複数の制御点に所望の音を発生させる境界音場制御を実行する過程であって、前記音の周波数に応じて前記境界面を切り替えることにより前記制御点の間隔を制御する音場制御過程を具備することを特徴とする 3 次元音場制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、3次元空間内の閉領域に音場を生成する装置および方法に関する。

【背景技術】

【0002】

3次元空間内に所望の音場を生成するための技術として境界音場制御がある。この境界音場制御では、次のような手順により原音場の閉領域内の音場と同じ音場を原音場とは別の再生音場の閉領域内に生成する。

(1) 原音場において、閉領域を取り囲む境界面上の複数の制御点において発生する音を録音する。

(2) 再生音場において、原音場の閉領域と同じ閉領域を想定し、その閉領域の外側から閉領域に向けて放音を行う複数のスピーカを配置する。

(3) 再生音場において、複数のスピーカから閉領域の境界面上の複数の制御点までの伝達関数を求め、その逆関数を求める。

(4) 再生音場の閉領域の境界面上の複数の制御点において、原音場の閉領域の複数の制御点において発生した音と同じ音を発生させることができる複数の音信号を上記逆関数を用いて算出し、複数のスピーカに供給する。

この境界音場制御に関する技術文献として、例えば特許文献 1 がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2012 - 10011 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、上述した境界音場制御では、制御可能な音の周波数が制御点間隔 d に依存す

10

20

30

40

50

る。具体的には、境界音場制御では、制御点間隔 d を制御対象となる音の最短波長の $1/4$ 以下にすることが望ましい。音速が 340.5 m/s (温度 15 での音速) である場合、周波数が 100 Hz である音の波長は 3.4 m となる。従って、 100 Hz の音の境界音場制御を適切に行うためには、制御点間隔 d を 85 cm 以下にする必要がある。同様に、 1 kHz の音の境界音場制御を適切に行うために、制御点間隔 d を 8.5 cm 以下にする必要がある。従って、広い周波数範囲の音の境界音場制御を行うためには、その周波数範囲の上限周波数により定まる短い制御点間隔で1つの境界面に多数の制御点を配置する必要があり、境界音場制御のための演算量が著しく増加する問題があった。

【0005】

この発明は以上のような事情に鑑みてなされたものであり、演算量の著しい増加を招くことなく広い周波数範囲の音の制御が可能な境界音場制御を実現する技術的手段を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0006】

この発明は、再生音場内の閉領域の境界を示す境界面上の複数の制御点に所望の音を発生させる境界音場制御を実行する音場制御手段を有し、前記音場制御手段は、前記音の周波数に応じて前記境界面を切り替えることにより前記制御点の間隔を制御することを特徴とする3次元音場制御装置を提供する。

【0007】

この発明によれば、音場制御手段は、音の周波数に応じて境界面を切り替えることにより制御点の間隔を制御するので、1つの境界面に多数の制御点を配置する必要がなくなり、広い周波数範囲に互る境界音場制御を行うことができる。従って、この発明によれば、演算量の著しい増加を招くことなく広い周波数範囲の音の境界音場制御を行うことができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】この発明の第1実施形態である3次元音場制御装置を用いた3次元音場制御システムの構成を示す図である。

【図2】同3次元音場制御装置の信号変換部の動作を示すフローチャートである。

【図3】この発明の第2実施形態である3次元音場制御装置の信号変換部の一部の構成を示すブロック図である。

30

【図4】同信号変換部の処理内容を示す図である。

【図5】この発明の第3実施形態である3次元音場制御装置の制御フィルタ記憶部に記憶する制御フィルタを説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、図面を参照し、この発明の実施形態について説明する。

【0010】

< 第1実施形態 >

図1はこの発明の第1実施形態である3次元音場制御装置100を用いた3次元音場制御システムの構成を示す図である。本実施形態による3次元音場制御装置100は、原音場1に発生する音場と同じ音場を再生音場2内に発生するための制御を実行する装置である。

40

【0011】

図1に示すように、原音場1には、ある閉領域を取り囲む球面状の低域用境界面 BL_0 と、この低域用境界面 BL_0 の内部に包含された球面状の高域用境界面 BH_0 が設けられている。ここで、低域用境界面 BL_0 は、所定のカットオフ周波数以下の低域での音場制御のために設けられた境界面であり、高域用境界面 BH_0 は、同カットオフ周波数以上の高域での音場制御のために設けられた境界面である。これらの低域用境界面 BL_0 および高域用境界面 BH_0 は、実体のない仮想的な境界面である。

50

【 0 0 1 2 】

低域用境界面 $B L_o$ には、ほぼ均一な密度で仮想的な M (M は 2 以上の整数) 個の制御点 $P L_m$ ($m = 0 \sim M - 1$) が設けられており、これらの制御点にマイクロホンが配置されている。高域用境界面 $B H_o$ にも、ほぼ均一な密度で仮想的な M 個の制御点 $P H_m$ ($m = 0 \sim M - 1$) が設けられており、これらの制御点にマイクロホンが配置されている。ここで、高域用境界面 $B H_o$ の表面積は低域用境界面 $B L_o$ の表面積よりも小さく、各境界面に配置される制御点の数は同数である。従って、高域用境界面 $B H_o$ における制御点間隔は、低域用境界面 $B L_o$ における制御点間隔よりも短い。

【 0 0 1 3 】

原音場 1 には、録音装置 1 1 が設けられている。この録音装置 1 1 は、低域用境界面 $B L_o$ 上の制御点 $P L_m$ ($m = 0 \sim M - 1$) の各マイクロホンから出力される M チャンルの音信号と、高域用境界面 $B H_o$ 上の制御点 $P H_m$ ($m = 0 \sim M - 1$) の各マイクロホンから出力される M チャンルの音信号をデジタル形式に変換して記憶する。

10

【 0 0 1 4 】

再生音場 2 には、原音場 1 の低域用境界面 $B L_o$ と同様な形状および大きさの低域用境界面 $B L_r$ と、原音場 1 の高域用境界面 $B H_o$ と同様な形状および大きさの高域用境界面 $B H_r$ が設けられる。ここで、低域用境界面 $B L_r$ に対する高域用境界面 $B H_r$ の相対位置は、低域用境界面 $B L_o$ に対する高域用境界面 $B H_o$ の相対位置と同じである。聴取者の頭部は、高域用境界面 $B H_r$ により取り囲まれた閉領域内に位置している。

【 0 0 1 5 】

低域用境界面 $B L_r$ には、ほぼ均一な密度で仮想的な M 個の制御点 $Q L_m$ ($m = 0 \sim M - 1$) が設けられている。また、高域用境界面 $B H_r$ にも、ほぼ均一な密度で仮想的な M 個の制御点 $Q H_m$ ($m = 0 \sim M - 1$) が設けられている。ここで、低域用境界面 $B L_r$ における制御点 $Q L_m$ ($m = 0 \sim M - 1$) の各相対位置は、低域用境界面 $B L_o$ における制御点 $P L_m$ ($m = 0 \sim M - 1$) の各相対位置と同じである。また、高域用境界面 $B H_r$ における制御点 $Q H_m$ ($m = 0 \sim M - 1$) の各相対位置は、高域用境界面 $B H_o$ における制御点 $P H_m$ ($m = 0 \sim M - 1$) の各相対位置と同じである。

20

【 0 0 1 6 】

再生音場 2 において、低域用境界面 $B L_r$ の外側には、低域用境界面 $B L_r$ 内の閉領域および高域用境界面 $B H_r$ 内の閉領域に向けて放音を行う N 個 (N は 2 以上の整数) のスピーカ $S P_n$ ($n = 0 \sim N - 1$) が配置されている。また、これらのスピーカ $S P_n$ ($n = 0 \sim N - 1$) にはアンプ A_n ($n = 0 \sim N - 1$) が接続されている。D/A 変換部 2 1 には、3次元音場制御装置 1 0 0 から N チャンルのデジタル音信号が入力される。D/A 変換部 2 1 は、この N チャンルのデジタル音信号を N チャンルのアナログ音信号に変換してアンプ A_n ($n = 0 \sim N - 1$) に供給する。アンプ A_n ($n = 0 \sim N - 1$) は、各々に供給されるアナログ音信号に基づき、スピーカ $S P_n$ ($n = 0 \sim N - 1$) を各々駆動する。

30

【 0 0 1 7 】

3次元音場制御装置 1 0 0 は、再生音場 2 に配置されたスピーカ $S P_n$ ($n = 0 \sim N - 1$) を利用して、低域の境界音場制御と高域の境界音場制御を実行する装置である。ここで、低域の境界音場制御では、原音場 1 において発生する低域用境界面 $B L_o$ 内の音場の低域成分と同じ音場を再生音場 2 の低域用境界面 $B L_r$ 内に発生する。また、高域の境界音場制御では、原音場 1 において発生する高域用境界面 $B H_o$ 内の音場の高域成分と同じ音場を再生音場 2 の高域用境界面 $B H_r$ 内に発生する。

40

【 0 0 1 8 】

図 1 に示すように、3次元音場制御装置 1 0 0 は、操作表示部 1 0 1 と、音信号取得部 1 0 2 と、制御フィルタ記憶部 1 0 3 と、信号変換部 1 0 4 とを有する。

【 0 0 1 9 】

操作表示部 1 0 1 は、キーボード、マウス等の操作子と、液晶ディスプレイ等の表示部により構成されている。音信号取得部 1 0 2 は、録音装置 1 1 から 2 系統の M チャンルの

50

デジタル音信号を読み取る装置である。

【0020】

制御フィルタ記憶部103には、角周波数 k の関数である低域用制御フィルタ行列 $GL(k) = GL_{m,n}(k)$ ($m = 0 \sim M - 1$, $n = 0 \sim N - 1$)と高域用制御フィルタ行列 $GH(k) = GH_{m,n}(k)$ ($m = 0 \sim M - 1$, $n = 0 \sim N - 1$)が記憶されている。

【0021】

ここで、低域用制御フィルタ行列 $GL(k)$ の要素である低域用制御フィルタ $GL_{m,n}(k)$ は、スピーカ SP_n から低域用境界面 BL_r 上の制御点 QL_m までのインパルス応答(時間領域の信号)にフーリエ変換を施すことにより得られた伝達関数 $HL_{m,n}(k)$ の逆関数である。また、高域用制御フィルタ行列 $GH(k)$ の要素である高域用制御フィルタ $GH_{m,n}(k)$ は、スピーカ SP_n から高域用境界面 BH_r 上の制御点 QH_m までのインパルス応答(時間領域の信号)にフーリエ変換を施すことにより得られた伝達関数 $HH_{m,n}(k)$ の逆関数である。

【0022】

信号変換部104は、例えばDSP(Digital Signal Processor; デジタル信号処理装置)により構成されている。この信号変換部104は、再生音場2内の境界面上の複数の制御点に所望の音を発生させる境界音場制御を実行する音場制御手段であって、音の周波数に応じて境界面を切り替えることにより制御点の間隔を制御する音場制御手段として機能する。

【0023】

具体的には、信号変換部104は、低域の境界音場制御と高域の境界音場制御を実行する。ここで、低域の境界音場制御では、スピーカ SP_n ($n = 0 \sim N - 1$)に供給する音信号であって、原音場1の低域用境界面 BL_o 上の制御点 PL_m ($m = 0 \sim M - 1$)において発生する音の上記カットオフ周波数以下の低域成分と同じ音を再生音場2の低域用境界面 BL_r 上の制御点 QL_m ($m = 0 \sim M - 1$)において発生させる音信号を生成する。また、高域の境界音場制御では、スピーカ SP_n ($n = 0 \sim N - 1$)に供給する音信号であって、原音場1の高域用境界面 BH_o 上の制御点 PH_m ($m = 0 \sim M - 1$)において発生する音の上記カットオフ周波数以上の高域成分と同じ音を再生音場2の高域用境界面 BH_r 上の制御点 QH_m ($m = 0 \sim M - 1$)において発生させる音信号を生成する。

【0024】

図1において、信号変換部104を示すボックスの中には、HPF(High Pass Filter; 高域通過フィルタ)41HおよびLPF(Low Pass Filter; 低域通過フィルタ)41Lと、FT(Fourier Transform; フーリエ変換)部42Hおよび42Lと、行列乗算部43Hおよび43Lと、IFT(Inverse Fourier Transform; フーリエ逆変換)部44Hおよび44Lと、加算部45が示されている。これらはDSPである信号変換部104がマイクロプログラムを実行することにより実現される機能である。

【0025】

信号変換部104において、LPF41L、FT部42L、行列乗算部43LおよびIFT部44Lは、低域の境界音場制御を実現するための手段である。また、HPF41H、FT部42H、行列乗算部43HおよびIFT部44Hは、高域の境界音場制御を実現するための手段である。そして、加算部45は、低域の境界音場制御により得られる音信号と高域の境界音場制御により得られる音信号を加算して再生音場2のスピーカ SP_n ($n = 0 \sim N - 1$)を駆動する音信号を発生する手段である。なお、これらの手段の詳細については説明の重複を避けるため、本実施形態の動作説明において明らかにする。

【0026】

図2は本実施形態における信号変換部104の動作を示すフローチャートである。以下、この図2を参照し、本実施形態の動作を説明する。

【0027】

信号変換部104は、操作表示部101を介して所定の指示が与えられると、図2に示

10

20

30

40

50

す低域境界音場制御処理 S 1 0 L および高域境界音場制御処理 S 1 0 H の並列実行を開始する。この並列実行に関しては各種の態様が考えられる。ある好ましい態様において、信号変換部 1 0 4 は、少なくとも 2 つの演算処理手段を有しており、そのうちの 2 つの演算処理手段を利用して低域境界音場制御処理 S 1 0 L および高域境界音場制御処理 S 1 0 H を並列実行する。他の好ましい態様において、信号変換部 1 0 4 は、共通の演算処理手段を時分割制御により利用して低域境界音場制御処理 S 1 0 L および高域境界音場制御処理 S 1 0 H を交互に実行する。

【 0 0 2 8 】

低域境界音場制御処理 S 1 0 L の処理内容は次の通りである。まず、ステップ S 1 1 L において、LPF 4 1 L は、低域用境界面 B L o 上の制御点 P L_m (m = 0 ~ M - 1) において收音された M チャンルのデジタル音信号を音信号取得部 1 0 2 を介して取得する。次にステップ S 1 2 L において、LPF 4 1 L は、音信号取得部 1 0 2 により取得された M チャンルのデジタル音信号に対して上記カットオフ周波数以上の帯域の成分を除去する低域通過処理を施して出力する。次にステップ S 1 3 L において、FT 部 4 2 L は、LPF 4 1 L から出力される M チャンルのデジタル音信号の各々を所定時間長のフレームに区切り、フレーム単位でフーリエ変換を行い、M チャンルのフーリエ変換係数列 X L_m (k) (m = 0 ~ M - 1) を出力する。

【 0 0 2 9 】

次にステップ S 1 4 L において、行列乗算部 4 3 L は、制御フィルタ記憶部 1 0 3 に記憶された低域用制御フィルタ行列 G L (k) と FT 部 4 2 L から出力されたフーリエ変換係数列 X L_m (k) (m = 0 ~ M - 1) を用いて、次式に示す行列乗算処理を実行し、N チャンルのフーリエ変換係数列 Y L_n (k) (n = 0 ~ N - 1) を出力する。

【 数 1 】

$$\begin{bmatrix} YL_0(k) \\ \vdots \\ YL_n(k) \\ \vdots \\ YL_{N-1}(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} GL_{0,0}(k) & \cdots & GL_{m,0}(k) & \cdots & GL_{M-1,0}(k) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ GL_{0,n}(k) & \cdots & GL_{m,n}(k) & \cdots & GL_{M-1,n}(k) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ GL_{0,N-1}(k) & \cdots & GL_{m,N-1}(k) & \cdots & GL_{M-1,N-1}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} XL_0(k) \\ \vdots \\ XL_m(k) \\ \vdots \\ XL_{M-1}(k) \end{bmatrix} \quad \cdots \cdots (1)$$

【 0 0 3 0 】

ここで、低域用制御フィルタ G L_{m, n} (k) は、スピーカ S P_n から制御点 Q L_m までの伝達関数の逆関数である。従って、この低域用制御フィルタ G L_{m, n} (k) をフーリエ変換係数列 X L_m (k) に乗算することにより得られるフーリエ変換係数列 Y L_n (k) は、制御点 Q L_m においてフーリエ変換係数列 X L_m (k) に相当する音を発生させることができるスピーカ S P_n 用の音信号を示すものとなる。

【 0 0 3 1 】

次にステップ S 1 5 L において、IFT 部 4 4 L は、N チャンルのフーリエ変換係数列 Y L_n (k) (n = 0 ~ N - 1) の各々について逆フーリエ変換を行い、各々 1 フレーム分の N チャンルの低域デジタル音信号を出力する。

以上が低域境界音場制御処理 S 1 0 L の処理内容である。

【 0 0 3 2 】

高域境界音場制御処理 S 1 0 H の処理内容は次の通りである。まず、ステップ S 1 1 H において、HPF 4 1 H は、高域用境界面 B H o 上の制御点 P H_m (m = 0 ~ M - 1) において收音された M チャンルのデジタル音信号を音信号取得部 1 0 2 を介して取得する。次にステップ S 1 2 H において、HPF 4 1 H は、音信号取得部 1 0 2 により取得された M チャンルのデジタル音信号に対して上記カットオフ周波数以下の帯域の成分を除去する

高域通過処理を施して出力する。次にステップ S 1 3 H において、F T 部 4 2 H は、H P F 4 1 H から出力される M チャンネルのデジタル音信号の各々を所定時間長のフレームに区切り、フレーム単位でフーリエ変換を行い、M チャンネルのフーリエ変換係数列 $X H_m(k)$ ($m = 0 \sim M - 1$) を出力する。

【 0 0 3 3 】

次にステップ S 1 4 H において、行列乗算部 4 3 H は、制御フィルタ記憶部 1 0 3 に記憶された高域用制御フィルタ行列 $G H(k)$ と F T 部 4 2 H から出力されるフーリエ変換係数列 $X H_m(k)$ ($m = 0 \sim M - 1$) を用いて、次式に示す行列乗算処理を実行し、N チャンネルのフーリエ変換係数列 $Y H_n(k)$ ($n = 0 \sim N - 1$) を出力する。

【 数 2 】

$$\begin{bmatrix} YH_0(k) \\ \vdots \\ YH_n(k) \\ \vdots \\ YH_{N-1}(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} GH_{0,0}(k) & \cdots & GH_{m,0}(k) & \cdots & GH_{M-1,0}(k) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ GH_{0,n}(k) & \cdots & GH_{m,n}(k) & \cdots & GH_{M-1,n}(k) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ GH_{0,N-1}(k) & \cdots & GH_{m,N-1}(k) & \cdots & GH_{M-1,N-1}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} XH_0(k) \\ \vdots \\ XH_m(k) \\ \vdots \\ XH_{M-1}(k) \end{bmatrix}$$

…… (2)

10

20

【 0 0 3 4 】

ここで、高域用制御フィルタ $G H_{m,n}(k)$ は、スピーカ $S P_n$ から制御点 $Q H_m$ までの伝達関数の逆関数である。従って、この高域用制御フィルタ $G H_{m,n}(k)$ をフーリエ変換係数列 $X H_m(k)$ に乗算することにより得られるフーリエ変換係数列 $Y H_n(k)$ は、制御点 $Q H_m$ においてフーリエ変換係数列 $X H_m(k)$ に相当する音を発生させることができるスピーカ $S P_n$ 用の音信号を示すものとなる。

【 0 0 3 5 】

次にステップ S 1 5 H において、I F T 部 4 4 H は、N チャンネルのフーリエ変換係数列 $Y H_n(k)$ ($n = 0 \sim N - 1$) の各々について逆フーリエ変換を行い、各々 1 フレーム分の N チャンネルの高域デジタル音信号を出力する。

以上が高域境界音場制御処理 S 1 0 H の処理内容である。

【 0 0 3 6 】

1 フレーム分の低域境界音場制御処理 S 1 0 L および高域境界音場制御処理 S 1 0 H が終了すると、信号変換部 1 0 4 の処理はステップ S 2 0 へ進む。このステップ S 2 0 において、加算部 4 5 は、I F T 部 4 4 L から得られる N チャンネルの低域デジタル音信号と、I F T 部 4 4 H から得られる N チャンネルの高域デジタル音信号とを同じチャンネル同士で加算し、N チャンネルのデジタル音信号を D / A 変換部 2 1 に供給する。

【 0 0 3 7 】

このステップ S 2 0 の処理が終了すると、信号変換部 1 0 4 は、録音装置 1 1 に格納された全ての音信号について低域境界音場制御処理 S 1 0 L および高域境界音場制御処理 S 1 0 H が終了したか否かを判断する (ステップ S 3 0)。この判断結果が「N O」である場合、信号変換部 1 0 4 は、低域境界音場制御処理 S 1 0 L および高域境界音場制御処理 S 1 0 H を再度実行する。また、ステップ S 3 0 の判断結果が「Y E S」である場合、信号変換部 1 0 4 の処理は終了となる。

【 0 0 3 8 】

次に本実施形態の効果を説明する。境界音場制御では、境界面が 1 つしかない。この 1 つの境界面を用いて、高域および低域での境界音場制御を行うとすると、境界面に多数の制御点を設け、高域では全ての制御点を用いた境界音場制御を行い、低域では例えば制御点を 1 つおきに使用し、制御点間が長い状態で境界音場制御を行うこととなる。この場合

30

40

50

、高域と低域とでは、境界音場制御に使用する制御点の数が異なるため、制御フィルタ行列のサイズが異なる。そのため、高域と低域とで、異なる演算を行うことになり、境界音場制御が複雑化する問題がある。また、境界面が1つしかないと、聴取者が再生音場内を移動して、境界面から外れた場合にその聴取者のための境界音場制御を行うことができなくなる問題がある。

【0039】

これに対し、本実施形態による3次元音場制御装置100において、信号変換部104は、音の周波数に応じて境界面を切り替えることにより制御点の間隔を制御する。具体的には、信号変換部104は、上記カットオフ周波数以下の帯域については、制御点の間隔が長い境界面 $B L r (= B L o)$ に対応した低域の境界音場制御を行い、上記カットオフ周波数以上の帯域については、制御点の間隔が短い境界面 $B H r (= B H o)$ に対応した高域の境界音場制御を行う。従って、本実施形態によれば、全体として制御点の数を増加させることなく、広い周波数帯域に互って境界音場制御を実現することができる。また、本実施形態では、境界面 $B L r (= B L o)$ に配置する制御点の数と、境界面 $B H r (= B H o)$ に配置する制御点の数が同数である。このため、低域用制御フィルタ行列 $G L (k)$ と、高域用制御フィルタ行列 $G H (k)$ のサイズが同じになる。従って、本実施形態では低域と高域とで同じ計算により境界音場制御を行うことができる。そして、本実施形態では、図2の低域境界音場制御処理 $S 1 0 L$ と高域境界音場制御処理 $S 1 0 H$ を同期させて並列実行することが可能であり、無駄な待ち時間を発生させることなく、加算処理(ステップ $S 2 0$)を実行することができる。従って、本実施形態によれば、低域での境界音場制御と高域での境界音場制御を効率的に実行することができる。また、本実施形態によれば、聴取者が再生音場内を移動して、高域用境界面から外れても、低域用境界面内に居れば、聴取者のために低域での境界音場制御を行うことができる。

【0040】

<第2実施形態>

図3はこの発明の第2実施形態による3次元音場制御装置の信号変換部104Aの構成の一部を示すブロック図である。この信号変換部104Aは、上記第1実施形態の信号変換部104に対し、乗算部46Lおよび46Hからなるクロスフェード部46を追加した構成となっている。

【0041】

上記第1実施形態において、境界音場制御を適切に行うためには、 $L P F 4 1 L$ の通過帯域の上限を示すカットオフ周波数と、 $H P F 4 1 H$ の通過帯域の下限を示すカットオフ周波数とが厳密に一致していることが望まれる。しかしながら、両カットオフ周波数を厳密に一致させることは難しい。そして、例えば $L P F 4 1 L$ の通過帯域の上限を示すカットオフ周波数 $f c 1$ が $H P F 4 1 H$ の通過帯域の下限を示すカットオフ周波数 $f c 2$ よりも低いと、再生音場2において周波数 $f c 1$ から周波数 $f c 2$ までの帯域の音が再生されない不具合が生じる。そこで、この発明の第2実施形態では、次のようにしてこの不具合を解消している。

【0042】

まず、本実施形態では、図4(a)に示すように、 $L P F 4 1 L$ の通過帯域の上限を示すカットオフ周波数 $f c 1$ を $H P F 4 1 H$ の通過帯域の下限を示すカットオフ周波数 $f c 2$ よりも高くし、低域境界音場制御処理 $S 1 0 L$ の通過帯域の上限側の一部と高域境界音場制御処理 $S 1 0 H$ の通過帯域の下限側の一部を重複させる。

【0043】

また、本実施形態では、低域境界音場制御処理 $S 1 0 L$ の通過帯域と高域境界音場制御処理 $S 1 0 H$ の通過帯域とが重複する周波数領域において、低域境界音場制御処理 $S 1 0 L$ の出力信号(周波数領域の信号)と高域境界音場制御処理 $S 1 0 H$ の出力信号(周波数領域の信号)のクロスフェードを行う。具体的には、本実施形態では、行列乗算部43Lから出力されるフーリエ変換係数列 $Y L_n (k)$ ($n = 0 \sim N - 1$)に対し、乗算部46Lにより図4(b)に示す係数 (k) を乗算し、 $I F T$ 部44Lに供給する。また、本

10

20

30

40

50

実施形態では、行列乗算部 4 3 H から出力されるフーリエ変換係数列 $YH_n(k)$ ($n = 0 \sim N - 1$) に対し、乗算部 4 6 H により図 4 (b) に示す係数 (k) を乗算し、I F T 部 4 4 H に供給する。

【0044】

さらに具体的には次の通りである。1つのフーリエ変換係数列 $YL_n(k)$ が例えば次のように L 個 (L は 2 以上の整数) のフーリエ変換係数からなるものとする。

【数 3】

$$YL_n(k) = \{YL_n(k_0), YL_n(k_1), \dots, YL_n(k_{L-1})\} \quad \dots (3) \quad 10$$

乗算部 4 6 L は、このフーリエ変換係数列の各フーリエ変換係数に各々の角周波数 k に対応付けられた係数 (k_0) 、 (k_1) 、 \dots 、 (k_{L-1}) を乗算することにより次のフーリエ変換係数列 $YL'_n(k)$ を算出して I F T 部 4 4 L に供給するのである。

【数 4】

$$YL'_n(k) = \{\alpha(k_0)YL_n(k_0), \alpha(k_1)YL_n(k_1), \dots, \alpha(k_{L-1})YL_n(k_{L-1})\} \quad \dots (4) \quad 20$$

フーリエ変換係数列 $YH_n(k)$ ($n = 0 \sim N - 1$) についても同様である。

【0045】

ここで、カットオフ周波数 f_{c2} 以下の帯域では、 $(k) = 1$ 、 $(k) = 0$ である。従って、この帯域では、フーリエ変換係数列 $YL_n(k)$ ($n = 0 \sim N - 1$) のみがそのまま I F T 部 4 4 L に供給される。

【0046】

一方、カットオフ周波数 f_{c1} 以上の帯域では、 $(k) = 0$ 、 $(k) = 1$ である。従って、この帯域では、フーリエ変換係数列 $YH_n(k)$ ($n = 0 \sim N - 1$) のみがそのまま I F T 部 4 4 H に供給される。 30

【0047】

そして、カットオフ周波数 f_{c2} 以上であり、かつ、カットオフ周波数 f_{c1} 以下の帯域では、周波数が高くなるに従い、 (k) が 1 から 0 に向かって徐々に減少し、 (k) が 0 から 1 に向かって徐々に増加する。従って、この帯域では、角周波数 k が増加するに従い、係数乗算後のフーリエ変換係数列 $(k)YL_n(k)$ が徐々に減少し、係数乗算後のフーリエ変換係数列 $(k)YH_n(k)$ が徐々に増加するクロスフェードが行われる。

【0048】

従って、本実施形態によれば、再生音場 2 において周波数 f_{c1} から周波数 f_{c2} までの帯域の音が再生されなくなる不具合を解消することができる。また、本実施形態では、行列乗算部 4 3 L および 4 3 H が乗算に使用する制御フィルタ行列のサイズが同じであるので、乗算部 4 6 L による係数 (k) の乗算処理と乗算部 4 6 H による係数 (k) の乗算処理とを同期させて実行することができる。従って、乗算部 4 6 L および 4 6 H を用いたクロスフェード処理の制御が容易であり、境界音場制御を効率的に実行することができるという利点がある。 40

【0049】

< 第 3 実施形態 >

図 5 はこの発明の第 3 実施形態である 3 次元音場制御装置の制御フィルタ記憶部 1 0 3 に記憶する制御フィルタを説明する図である。上記第 2 実施形態では、上記第 1 実施形態 50

の信号変換部 104 に対してクロスフェード部 46 を追加した。これに対し、本実施形態では、このようなクロスフェード部 46 を追加せず、その代わりに、制御フィルタ記憶部 103 に格納する制御フィルタ行列に予め加工を施すことにより上記第 2 実施形態と同様な効果を得る。

【0050】

図 5 に示すように、本実施形態では、低域用制御フィルタ行列 $GL(k)$ の要素である低域用制御フィルタ $GL_{m,n}(k)$ に対して上記第 2 実施形態と同様な係数 $\alpha(k)$ を乗算し、その乗算結果である低域用制御フィルタ $GL'_{m,n}(k)$ を低域用制御フィルタ $GL_{m,n}(k)$ の代わりに制御フィルタ記憶部 103 に格納する。また、本実施形態では、高域用制御フィルタ行列 $GH(k)$ の要素である高域用制御フィルタ $GH_{m,n}(k)$ に対して上記第 2 実施形態と同様な係数 $\alpha(k)$ を乗算し、その乗算結果である高域用制御フィルタ $GH'_{m,n}(k)$ を高域用制御フィルタ $GH_{m,n}(k)$ の代わりに制御フィルタ記憶部 103 に格納する。

10

【0051】

具体的には、次の通りである。1つの低域用制御フィルタ $GL_{m,n}(k)$ が例えば次のようなフィルタ係数列であるとする。

【数 5】

$$GL_{m,n}(k) = \{GL_{m,n}(k_0), GL_{m,n}(k_1), \dots, GL_{m,n}(k_{L-1})\} \quad \dots\dots (5)$$

20

このフィルタ係数列の各フィルタ係数に係数 $\alpha(k_0)$ 、 $\alpha(k_1)$ 、 \dots 、 $\alpha(k_{L-1})$ を乗算し、次のような低域用制御フィルタ $GL'_{m,n}(k)$ を算出して制御フィルタ記憶部 103 に格納するのである。

【数 6】

$$GL'_{m,n}(k) = \{\alpha(k_0)GL_{m,n}(k_0), \alpha(k_1)GL_{m,n}(k_1), \dots, \alpha(k_{L-1})GL_{m,n}(k_{L-1})\} \quad \dots\dots (6)$$

30

高域用制御フィルタ $GH_{m,n}(k)$ についても同様である。

【0052】

制御フィルタ記憶部 103 の記憶内容を除けば、本実施形態の動作は上記第 1 実施形態と同様である。

【0053】

本実施形態においても上記第 2 実施形態と同様な効果が得られる。また、本実施形態によれば、上記第 2 実施形態のクロスフェード部 46 が不要なので、上記第 2 実施形態よりも少ない演算量で上記第 2 実施形態と同様な効果が得られる。

【0054】

<他の実施形態>

以上、この発明の第 1 ~ 第 3 実施形態について説明したが、この発明には他にも実施形態が考えられる。例えば次の通りである。

【0055】

(1) 上記各実施形態では、原音場の境界面 BL_0 の制御点 PL_m ($m = 0 \sim M - 1$) と境界面 BH_0 の制御点 PH_m ($m = 0 \sim M - 1$) にマイクロホンを配置し、これらのマイクロホンにより各制御点における音信号を取得した。しかし、このようにする代わりに、原音場の各制御点への音の伝搬状況についての音響シミュレーションを実行し、この音響シミュレーションにより各制御点での音を示す音信号を取得してもよい。

【0056】

40

50

(2) 上記各実施形態は、次のような態様でも実施され得る。

【0057】

(2-1) 再生音場を利用するユーザが、所望の原音場を指定する原音場指定情報と、同原音場において演奏する曲に関する曲指定情報と、再生音場の構成に関する再生音場構成情報(例えば再生音場を囲む壁の形状、大きさ、レイアウトに関する情報)と、再生音場におけるスピーカ SP_n ($n=0\sim N-1$)の配置位置に関するスピーカ配置情報とをネットワーク上のサーバに送信する。

【0058】

(2-2) サーバでは、スピーカ配置情報に基づいて、スピーカ SP_n ($n=0\sim N-1$)の内側に収まる適当な大きさの低域用の境界面と高域用の境界面を設定する。また、低域用の境界面と高域用の境界面とに同数の制御点を配置する。そして、サーバでは、ユーザから受信した再生音場構成情報とスピーカ配置情報とに基づいて、各スピーカから各制御点へのインパルス応答を求め、このインパルス応答から低域用制御フィルタ行列と高域用制御フィルタ行列を求める。また、サーバでは、ユーザから受信した原音場指定情報が示す原音場において、再生音場と同様な低域用の境界面の各制御点と高域用の境界面の各制御点を設け、曲指定情報が示す曲を演奏した場合に、各制御点に発生する音を示す音信号をシミュレーションにより求める。そして、サーバは、このようにして得られた低域用制御フィルタ行列と、高域用制御フィルタ行列と、低域用の境界面の各制御点に対応した音信号と、高域用の境界面の各制御点に対応した音信号とを再生音場を利用するユーザに送信する。

10

20

【0059】

(2-3) ユーザは、サーバから受信した各情報を例えば上記第1実施形態の3次元音場制御装置に与え、低域および高域での境界音場制御を実行させる。

【0060】

この態様によれば、ユーザは、低域用制御フィルタ行列と高域用制御フィルタ行列とを演算するための手段を有していない場合でも、上記第1実施形態における低域および高域での境界音場制御を3次元音場制御装置に実行させることができる。

【0061】

(3) 上記第1~第3実施形態では、境界面を2つ使用し、音の周波数帯域を2つに分けて境界音場制御を行ったが、境界面を3つ以上使用し、音の周波数帯域を3つ以上に分けて境界音場制御を行ってもよい。

30

【0062】

(4) 上記第1~第3実施形態では、複数の境界面を球面としたが、複数の境界面は、必ずしも球面である必要はなく、複数の境界面間に包含関係があるのであれば、球面以外の閉曲面であってもよい。

【0063】

(5) 上記第1~第3実施形態では、境界音場制御により得られる音信号を再生音場のスピーカ SP_n ($n=0\sim N-1$)にリアルタイムに供給したが、境界音場制御により得られる音信号を記憶手段に蓄積し、その後、記憶手段から音信号を読み出してスピーカ SP_n ($n=0\sim N-1$)に供給してもよい。

40

【0064】

(6) 上記第1~第3実施形態では、原音場の制御点において得られた音信号を用いて再生音場における境界音場制御を行ったが、この発明の適用範囲はこれに限定されるものではない。この発明は、再生音場の境界面の制御点において任意の所望の音を発生させる境界音場制御を行う3次元音場制御装置に適用可能である。

【0065】

(7) 上記第1~第3実施形態では、再生音場のスピーカ SP_n ($n=0\sim N-1$)として実体のあるスピーカを使用したが、スピーカ SP_n ($n=0\sim N-1$)の一部を仮想スピーカにより実現してもよい。あるいはスピーカ SP_n ($n=0\sim N-1$)の全部をヘッドホン再生により仮想スピーカとして実現してもよい。

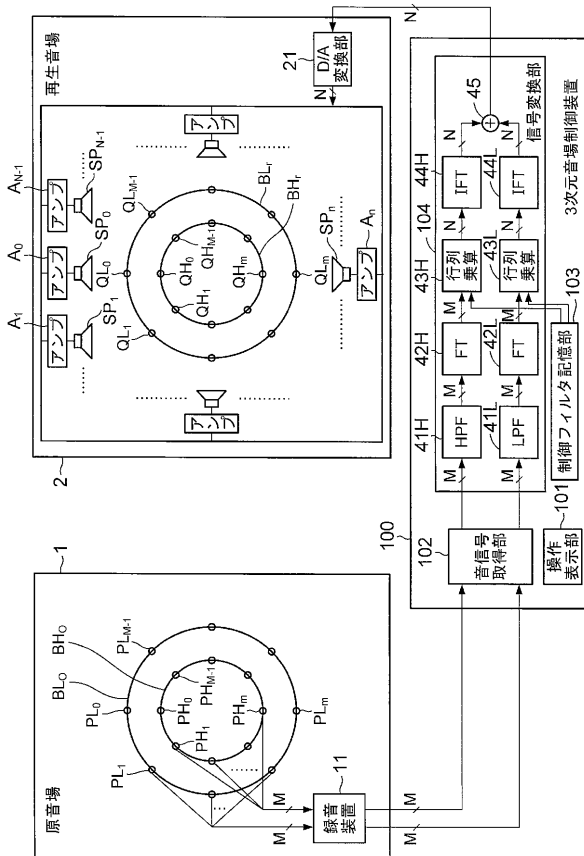
50

【符号の説明】

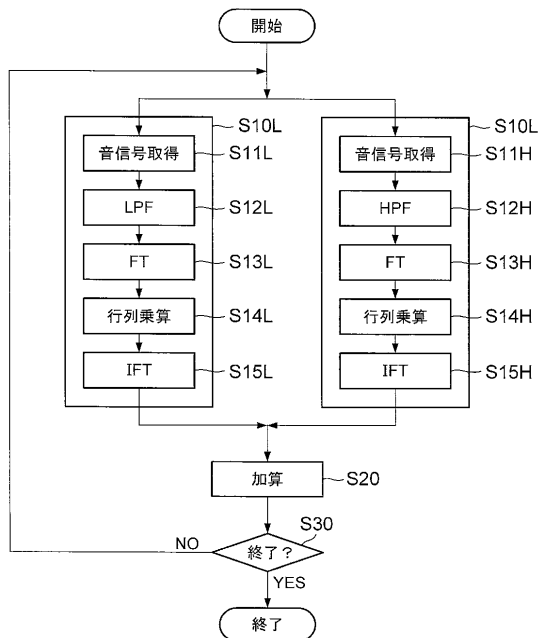
【0066】

1 …… 原音場、2 …… 再生音場、11 …… 録音装置、BL₀, BL_r …… 低域用境界面、BH₀, BH_r …… 高域用境界面、PL_m (m = 0 ~ M - 1), PH_m (m = 0 ~ M - 1), QL_m (m = 0 ~ M - 1), QH_m (m = 0 ~ M - 1) …… 制御点、SP_n (n = 0 ~ N - 1) …… スピーカ、A_n (n = 0 ~ N - 1) …… アンプ、21 …… D/A変換部、100 …… 3次元音場制御装置、101 …… 操作表示部、102 …… 音信号取得部、103 …… 制御フィルタ記憶部、104 …… 信号変換部、41L …… LPF、41H …… HPF、42L, 42H …… FT部、43L, 43H …… 行列乗算部、44L, 44H …… IFT部、45 …… 加算部、46 …… クロスフェード部、46L, 46H …… 乗算部。

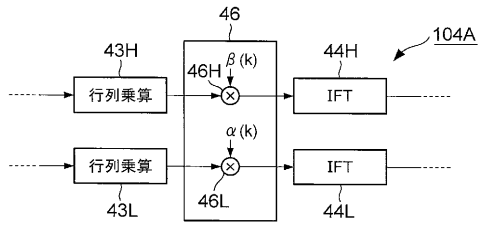
【図1】



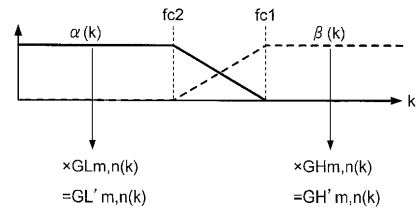
【図2】



【 図 3 】



【 図 5 】



【 図 4 】

