

(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2017-152857

(P2017-152857A)

(43) 公開日 平成29年8月31日(2017.8.31)

(51) Int.Cl.		F I			テーマコード (参考)	
HO4R	3/12	(2006.01)	HO4R	3/12	Z	5D018
HO4R	1/40	(2006.01)	HO4R	1/40	310	5D220
HO4R	3/00	(2006.01)	HO4R	3/00	310	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2016-32282 (P2016-32282)
 (22) 出願日 平成28年2月23日 (2016. 2. 23)

(71) 出願人 504133110
 国立大学法人電気通信大学
 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1
 (74) 代理人 100121131
 弁理士 西川 孝
 (74) 代理人 100082131
 弁理士 稲本 義雄
 (72) 発明者 羽田 陽一
 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国
 立大学法人電気通信大学内
 (72) 発明者 大小原 亮
 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国
 立大学法人電気通信大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フィルタ係数決定装置、フィルタ係数決定方法、プログラム、および再生システム

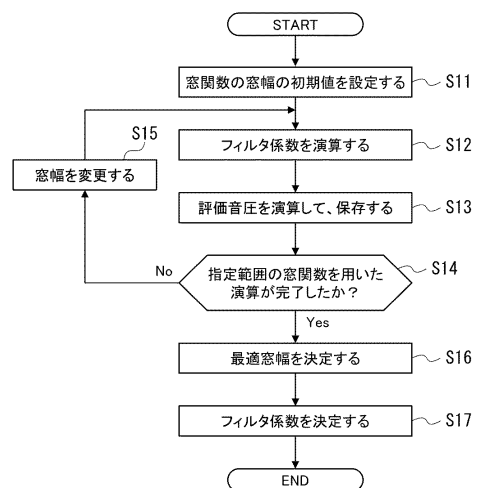
(57) 【要約】 (修正有)

【課題】スピーカアレイが指向性を備えるための最適なフィルタ係数を決定する。

【解決手段】フィルタ係数決定装置は、スピーカアレイを構成する複数のスピーカ素子の前段にそれぞれ配置されるフィルタに設定すフィルタ係数を演算により求め、求めたフィルタ係数、および、複数のスピーカ素子それぞれからスピーカアレイの周囲に設定されている複数の観測点までの伝達関数を用い、複数の観測点における指向性を評価するための評価音圧を算出する。スピーカアレイから最も強く音を放射させたい方向を所望方向とし、所望方向以外の音を抑圧させたい範囲を抑圧範囲とし、その抑圧範囲に対する音の放射の大きさが、予め設定された判定方法を満たすようにフィルタ係数を適応的に決定する。

【選択図】 図3

Fig. 3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

スピーカアレイを構成する複数のスピーカ素子の前段にそれぞれ配置されるフィルタに設定するフィルタ係数を演算により求めるフィルタ係数演算部と、

前記フィルタ係数演算部により求められた前記フィルタ係数、および、複数の前記スピーカ素子それぞれから前記スピーカアレイの周囲に設定されている複数の観測点それぞれまでの音の伝わり方を表す伝達関数を用いて、複数の前記観測点における指向性を評価するための評価音圧を算出する評価音圧演算部と

を備え、

前記スピーカアレイから最も強く音を放射させたい方向である所望方向を含む所望方向範囲以外の音を抑圧させたい範囲を抑圧範囲として、その抑圧範囲に対する音の放射の大きさが、予め設定された判定方法を満たすように前記フィルタ係数を適応的に決定するフィルタ係数決定装置。

10

【請求項 2】

前記フィルタ係数演算部が前記フィルタ係数の演算を行う際に用いる窓関数の窓幅が可变的となるように、前記フィルタ係数演算部に対して前記窓関数を設定する窓関数設定部と、

前記窓関数設定部により可变的に窓幅が設定される前記窓関数を、前記観測点における所望音圧に適用して前記フィルタ係数演算部により算出される前記フィルタ係数ごとに前記評価音圧演算部により算出される複数の前記評価音圧の中から、前記判定方法に基づいて最適な前記フィルタ係数を求めるのに用いられた最適な前記窓関数の窓幅を決定する最適窓幅決定部と

20

をさらに備え、

前記最適窓幅決定部により決定された窓幅の前記窓関数を用いて前記フィルタ係数演算部により算出される前記フィルタ係数が、前記フィルタに設定するものとして決定される請求項 1 に記載のフィルタ係数決定装置。

【請求項 3】

前記伝達関数の要素をどの程度重視するかを決定する重み係数を適応的に変化させて、前記フィルタ係数演算部に対して前記重み係数を設定する重み設定部と、

前記重み設定部により設定される前記重み係数を用いて前記フィルタ係数演算部により算出される前記フィルタ係数から前記評価音圧演算部により算出される前記評価音圧と、前記観測点における所望音圧との誤差が、所定の判定基準以下であるか否かを判定する評価判定部と

30

をさらに備え、

前記評価判定部により前記誤差が所定の判定基準以下であると判定された前記評価音圧を求めるのに用いた前記重み係数により算出される前記フィルタ係数が、前記フィルタに設定するものとして決定される

請求項 1 に記載のフィルタ係数決定装置。

【請求項 4】

前記伝達関数の要素をどの程度重視するかを決定する重み係数を適応的に変化させて、前記フィルタ係数演算部に対して前記重み係数を設定する重み設定部と、

40

前記重み設定部により設定される前記重み係数を用いて前記フィルタ係数演算部により算出される前記フィルタ係数から前記評価音圧演算部により算出される前記評価音圧と、前記観測点における所望音圧との誤差が、所定の判定基準以下であるか否かを判定する評価判定部と、

前記フィルタ係数演算部に対して正規化パラメータを設定するパラメータ設定部と、

前記評価判定部により前記誤差が所定の判定基準以下であると判定された前記評価音圧を求めるのに用いた前記重み係数により算出される前記フィルタ係数を、予め決められた周波数帯域内の複数の周波数ごとに前記フィルタ係数演算部により算出させ、前記周波数ごとの前記フィルタ係数を用いて、所望方向の音圧を前記周波数ごとに算出する周波数特

50

性評価部と

をさらに備え、

前記周波数特性評価部は、前記周波数に対する所望方向の音圧の平均値を算出し、

前記パラメータ設定部は、前記平均値に対する所望方向の音圧のズレが、予め設定されている設定値よりも大きい場合、前記正規化パラメータが大きくなるように修正して、前記周波数ごとにフィルタ係数を算出する処理を繰り返して行わせ、

最終的に、前記平均値に対する所望方向の音圧のズレが、予め設定されている設定値内であると判定された前記正規化パラメータで前記誤差が所定の判定基準以下であると判定された前記評価音圧を求めるのに用いた前記重み係数により算出される前記フィルタ係数が、前記フィルタに設定するものとして決定される

10

請求項 1 に記載のフィルタ係数決定装置。

【請求項 5】

前記重み設定部は、前記重み係数として、前記誤差の大きさに比例した値を設定する

請求項 2 または 3 に記載のフィルタ係数決定装置。

【請求項 6】

スピーカアレイを構成する複数のスピーカ素子の前段にそれぞれ配置されるフィルタに設定するフィルタ係数を演算により求め、

求められた前記フィルタ係数、および、複数の前記スピーカ素子それぞれから前記スピーカアレイの周囲に設定されている複数の観測点それぞれまでの音の伝わり方を表す伝達関数を用いて、複数の前記観測点における指向性を評価するための評価音圧を算出する

20

をステップを含み、

前記スピーカアレイから最も強く音を放射させたい方向である所望方向を含む所望方向範囲以外の音を抑圧させたい範囲を抑圧範囲として、その抑圧範囲に対する音の放射の大きさが、予め設定された判定方法を満たすように前記フィルタ係数を適応的に決定する

フィルタ係数決定方法。

【請求項 7】

スピーカアレイを構成する複数のスピーカ素子の前段にそれぞれ配置されるフィルタに設定するフィルタ係数を演算により求め、

求められた前記フィルタ係数、および、複数の前記スピーカ素子それぞれから前記スピーカアレイの周囲に設定されている複数の観測点それぞれまでの音の伝わり方を表す伝達関数を用いて、複数の前記観測点における指向性を評価するための評価音圧を算出する

30

をステップを含み、

前記スピーカアレイから最も強く音を放射させたい方向である所望方向を含む所望方向範囲以外の音を抑圧させたい範囲を抑圧範囲として、その抑圧範囲に対する音の放射の大きさが、予め設定された判定方法を満たすように前記フィルタ係数を適応的に決定する

フィルタ係数決定処理をコンピュータに実行させるプログラム。

【請求項 8】

スピーカアレイを構成する複数のスピーカ素子と、

前記スピーカ素子の前段にそれぞれ配置されるフィルタと

を備え、

40

前記フィルタには、

スピーカアレイを構成する複数のスピーカ素子の前段にそれぞれ配置されるフィルタに設定するフィルタ係数を演算により求め、

求められた前記フィルタ係数、および、複数の前記スピーカ素子それぞれから前記スピーカアレイの周囲に設定されている複数の観測点それぞれまでの音の伝わり方を表す伝達関数を用いて、複数の前記観測点における指向性を評価するための評価音圧を算出し、

前記スピーカアレイから最も強く音を放射させたい方向である所望方向を含む所望方向範囲以外の音を抑圧させたい範囲を抑圧範囲として、その抑圧範囲に対する音の放射の大きさが、予め設定された判定方法を満たすように適応的に決定された前記フィルタ係数が設定される

50

再生システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、フィルタ係数決定装置、フィルタ係数決定方法、プログラム、および再生システムに関し、特に、スピーカアレイが音の指向性を確実に備えるための最適なフィルタ係数を決定することができるようにしたフィルタ係数決定装置、フィルタ係数決定方法、プログラム、および再生システムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、いわゆるウェアラブル端末と称される腕時計型の携帯端末が発展してきている。ウェアラブル端末は、腕に常時装着するという観点から、脈拍等の生体信号を読み取って健康管理に利用されるなど多様な活用方法があり、今後の発展も期待されている。

【0003】

一方で、以前より腕時計型のハンズフリーフォンの商品化や検討が進んでいる。ハンズフリー通話は便利ではある反面、周囲に人がいるような環境では通話音声は外部に漏れてしまうことより、一般に普及しているとは言い難い。

【0004】

そこで、従来より、通話音声の漏れを防ぐために、音を耳元の方向にのみ強く放射する指向性スピーカを利用することが検討される。一般に指向性スピーカとしては、超音波を用いたパラメトリックスピーカ方式が知られているが、指向性を形成するためには平面状に超音波素子を並べるための面積が必要であり、小型化するのは困難である。

【0005】

例えば、特許文献1には、複数のスピーカを配置したスピーカアレイを用いて、それぞれのスピーカに設定される空間フィルタ関数と音源とによって駆動信号を生成することで、局所的に音響を再生することができる局所音響再生装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2015-231087号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、上述したようなスピーカアレイにおいて、音の指向性を備えるためのフィルタ係数を決定するためには様々なアプローチがあり、従来よりも、音の指向性を確実に備えるための最適なフィルタ係数を決定する方法が求められていた。

【0008】

本開示は、このような状況に鑑みてなされたものであり、スピーカアレイが音の指向性を確実に備えるための最適なフィルタ係数を決定することができるようにするものである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本開示の一側面のフィルタ係数決定装置は、スピーカアレイを構成する複数のスピーカ素子の前段にそれぞれ配置されるフィルタに設定するフィルタ係数を演算により求めるフィルタ係数演算部と、前記フィルタ係数演算部により求められた前記フィルタ係数、および、複数の前記スピーカ素子それぞれから前記スピーカアレイの周囲に設定されている複数の観測点それぞれまでの音の伝わり方を表す伝達関数を用いて、複数の前記観測点における指向性を評価するための評価音圧を算出する評価音圧演算部とを備え、前記スピーカアレイから最も強く音を放射させたい方向である所望方向を含む所望方向範囲以外の音を抑圧させたい範囲を抑圧範囲として、その抑圧範囲に対する音の放射の大きさが、予め設

10

20

30

40

50

定された判定方法を満たすように前記フィルタ係数を適応的に決定する。

【0010】

本開示の一側面のフィルタ係数決定方法またはプログラムは、スピーカアレイを構成する複数のスピーカ素子の前段にそれぞれ配置されるフィルタに設定するフィルタ係数を演算により求め、求められた前記フィルタ係数、および、複数の前記スピーカ素子それぞれから前記スピーカアレイの周囲に設定されている複数の観測点それぞれまでの音の伝わり方を表す伝達関数を用いて、複数の前記観測点における指向性を評価するための評価音圧を算出するステップを含み、前記スピーカアレイから最も強く音を放射させたい方向である所望方向を含む所望方向範囲以外の音を抑圧させたい範囲を抑圧範囲として、その抑圧範囲に対する音の放射の大きさが、予め設定された判定方法を満たすように前記フィルタ係数を適応的に決定する。

10

【0011】

本開示の一側面の再生システムは、スピーカアレイを構成する複数のスピーカ素子と、前記スピーカ素子の前段にそれぞれ配置されるフィルタとを備え、前記フィルタには、スピーカアレイを構成する複数のスピーカ素子の前段にそれぞれ配置されるフィルタに設定するフィルタ係数を演算により求め、求められた前記フィルタ係数、および、複数の前記スピーカ素子それぞれから前記スピーカアレイの周囲に設定されている複数の観測点それぞれまでの音の伝わり方を表す伝達関数を用いて、複数の前記観測点における指向性を評価するための評価音圧を算出し、前記スピーカアレイから最も強く音を放射させたい方向である所望方向を含む所望方向範囲以外の音を抑圧させたい範囲を抑圧範囲として、その抑圧範囲に対する音の放射の大きさが、予め設定された判定方法を満たすように適応的に決定された前記フィルタ係数が設定される。

20

【0012】

本開示の一側面においては、スピーカアレイを構成する複数のスピーカ素子の前段にそれぞれ配置されるフィルタに設定するフィルタ係数が演算により求められ、求められたフィルタ係数、および、複数のスピーカ素子それぞれからスピーカアレイの周囲に設定されている複数の観測点それぞれまでの音の伝わり方を表す伝達関数を用いて、複数の観測点における指向性を評価するための評価音圧が算出される。そして、スピーカアレイから最も強く音を放射させたい方向である所望方向を含む所望方向範囲以外の音を抑圧させたい範囲を抑圧範囲として、その抑圧範囲に対する音の放射の大きさが、予め設定された判定方法を満たすようにフィルタ係数が適応的に決定される。

30

【発明の効果】

【0013】

本開示の一側面によれば、スピーカアレイが音の指向性を確実に備えるための最適なフィルタ係数を決定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本技術を適用した音響再生システムの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【図2】フィルタ係数決定装置の第1の構成例を示すブロック図である。

40

【図3】フィルタ係数決定処理を説明するフローチャートである。

【図4】フィルタ係数決定装置の第2の構成例を示すブロック図である。

【図5】フィルタ係数決定処理を説明するフローチャートである。

【図6】フィルタ係数決定装置の第3の構成例を示すブロック図である。

【図7】フィルタ係数決定処理を説明するフローチャートである。

【図8】シミュレーション結果を示す図である。

【図9】シミュレーション結果を示す図である。

【図10】本技術を適用したコンピュータの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 1 5 】

以下、本技術を適用した具体的な実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【 0 0 1 6 】

なお、本明細書において、以下の説明で用いる信号は、単一周波数 に分解されているものとし、システムとして再生するときには、周波数合成を行い、あらかじめ設定した帯域の周波数成分を持つ信号として再生されるものとする。

【 0 0 1 7 】

図 1 は、本技術を適用した音響再生システムの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【 0 0 1 8 】

図 1 に示すように、音響再生システム 1 1 は、再生装置 1 2、N 個のフィルタ 1 3 - 1 乃至 1 3 - N、および、N 個のスピーカ 1 4 - 1 乃至 1 4 - N を備えて構成される。

【 0 0 1 9 】

再生装置 1 2 は、所定の音源データを再生し、その再生された音をスピーカ 1 4 - 1 乃至 1 4 - N から出力させるための音響信号を、フィルタ 1 3 - 1 乃至 1 3 - N を介してスピーカ 1 4 - 1 乃至 1 4 - N に供給する。

【 0 0 2 0 】

フィルタ 1 3 - 1 乃至 1 3 - N は、スピーカ 1 4 - 1 乃至 1 4 - N の前段にそれぞれ配置され、各自に設定されるフィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () と、再生装置 1 2 から出力される音響信号とを乗算して出力する。

【 0 0 2 1 】

スピーカ 1 4 - 1 乃至 1 4 - N は、人間が音として聞き取れる周波数帯域の音を出力可能な可聴域スピーカであり、フィルタ 1 3 - 1 乃至 1 3 - N を介して再生装置 1 2 から供給される音響信号に従った音を出力する。また、スピーカ 1 4 - 1 乃至 1 4 - N は、所定の配列で設置されることでスピーカアレイを構成し、図 1 の構成例では、例えば、腕輪のような円環状の配列で設置されたスピーカアレイを構成している。

【 0 0 2 2 】

このように構成される音響再生システム 1 1 は、フィルタ 1 3 - 1 乃至 1 3 - N にフィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () を適切に設定することで、所定の方向にのみ音が強く放射する指向性を備えることができる。

【 0 0 2 3 】

例えば、図 1 に示すように、最も強く音を放射させたい方向を所望方向として、その所望方向を含む所定の範囲を所望方向範囲として設定し、所望方向範囲以外の範囲を、音を抑圧させたい抑圧範囲として設定する。そして、音響再生システム 1 1 では、適切なフィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () を用いることにより、二点鎖線で示すように、所望方向範囲へ出現する音のピークであるメインローブを大きくし、抑圧範囲へ出現する音のピークであるサイドローブを小さくすることができる。

【 0 0 2 4 】

ここで、音響再生システム 1 1 が指向性を備えるためのフィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () について説明する。

【 0 0 2 5 】

例えば、スピーカ 1 4 - 1 乃至 1 4 - N の周囲の複数カ所に観測点を設け、それらの観測点において観測される音圧が、理想の音圧分布に近づくようにフィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () を決定することで、音響再生システム 1 1 は指向性を備えることができる。図 1 の例では、スピーカ 1 4 - 1 乃至 1 4 - N の周囲に M カ所の観測点が設けられ、それらの観測点において観測点音圧 p_1 乃至 p_M が観測される。また、スピーカ 1 4 - 1 乃至 1 4 - N が設置されている環境などに応じて、n 番目のスピーカ 1 4 - n から m 番目の観測点までの音の伝わり方を表す伝達関数 g_{mn} () が特定される。

【 0 0 2 6 】

10

20

30

40

50

そして、音源をパルスとし、フィルタ係数 $w_1(\omega)$ 乃至 $w_N(\omega)$ をベクトル化したフィルタ係数ベクトル $w(\omega)$ 、伝達関数 $g_{11}(\omega)$ 乃至 $g_{MN}(\omega)$ からなる伝達関数行列 $G(\omega)$ 、および、観測点音圧 p_1 乃至 p_M を並べてベクトル化した音圧ベクトル $p(\omega)$ には、次の式 (1) に示す関係が成り立つ。

【0027】

【数1】

$$p(\omega) = G(\omega)w(\omega) \quad \cdots(1)$$

【0028】

従って、理想的な音圧ベクトル $p(\omega)$ を実現するためのフィルタ係数 $w_1(\omega)$ 乃至 $w_N(\omega)$ は、次の式 (2) に示すような逆問題の解として求められるが、一般的に、伝達関数行列 $G(\omega)$ の安定的な逆行列が存在することは稀である。

10

【0029】

【数2】

$$w(\omega) = G(\omega)^{-1}p(\omega) \quad \cdots(2)$$

【0030】

このため、通常、伝達関数行列 $G(\omega)$ の逆行列を求めるために最小二乗法が用いられる。最小二乗法には様々なアプローチが存在し、これまでの検討からスピーカアレイの指向性制御には、次の式 (3) に示す形式を用いることで安定的にフィルタ係数 $w(\omega)$ を求めることができることが分かっている。

【0031】

【数3】

$$w(\omega) = (G(\omega)^H A(\omega) G(\omega) + \delta(\omega) I)^{-1} G(\omega)^H A(\omega) p(\omega) \quad \cdots(3)$$

【0032】

ここで、式 (3) に示すように、フィルタ係数 $w(\omega)$ を求めるには、指向性の形状を制御するための重み係数行列 $A(\omega)$ 、フィルタ係数 $w(\omega)$ を安定化させる正則化パラメータ $\delta(\omega)$ 、単位行列 I が用いられる。

【0033】

しかしながら、従来手法では、これらのパラメータは経験的に手作業で決められることが多く、相互の関係や指向性への影響などが統合的に議論されていなかった。さらに、目標とする音圧ベクトル $p(\omega)$ や伝達関数行列 $G(\omega)$ などの選択の仕方もフィルタ係数 $w(\omega)$ に影響を与えることより、最適なフィルタ係数 $w(\omega)$ を決定することは困難であった。

30

【0034】

そこで、以下で説明するようなフィルタ係数決定装置を用いて、最適なフィルタ係数 $w(\omega)$ を決定することにより、音響再生システム 11 が音の指向性を確実に備えることができるようにすることができる。

【0035】

次に、図 2 は、フィルタ係数 $w_1(\omega)$ 乃至 $w_N(\omega)$ を決定するフィルタ係数決定装置の第 1 の構成例を示すブロック図である。

40

【0036】

図 2 に示すように、フィルタ係数決定装置 21 は、伝達関数保持部 22、窓関数設定部 23、フィルタ係数演算部 24、評価音圧演算部 25、評価音圧保持部 26、および最適窓幅決定部 27 を備えて構成される。

【0037】

伝達関数保持部 22 は、例えば、図 1 を参照して説明したような音響再生システム 11 における N 個のスピーカ 14-1 乃至 14-N と M 力所の観測点との関係に従って、予め特定されている伝達関数行列 $G(\omega)$ を保持している。

【0038】

例えば、 n 番目のスピーカ 14-n から m 番目の制御点までの伝達関数 $g_{mn}(\omega)$ を行

50

列の要素として持つ伝達関数行列 $G(\omega)$ は、次の式 (4) で表される。また、フィルタ係数 $w_1(\omega)$ 乃至 $w_N(\omega)$ をベクトル化したフィルタ係数ベクトル $w(\omega)$ 、 M カ所の制御点 (音圧を制御したい位置) における所望音圧 $d_1(\omega)$ 乃至 $d_N(\omega)$ をベクトル化した所望音圧ベクトル $d(\omega)$ は、次の式 (4) で表される。

【 0 0 3 9 】

【 数 4 】

$$G(\omega) = \begin{pmatrix} g_{11}(\omega) & g_{12}(\omega) & \cdots & g_{1N}(\omega) \\ g_{21}(\omega) & g_{22}(\omega) & \cdots & g_{2N}(\omega) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{M1}(\omega) & g_{M2}(\omega) & \cdots & g_{MN}(\omega) \end{pmatrix} \quad \cdots(4) \quad 10$$

$$w(\omega) = [w_1(\omega) \quad w_2(\omega) \quad \cdots \quad w_N(\omega)]^T$$

$$d(\omega) = [d_1(\omega) \quad d_2(\omega) \quad \cdots \quad d_M(\omega)]^T$$

【 0 0 4 0 】

窓関数設定部 2 3 は、フィルタ係数演算部 2 4 においてフィルタ係数ベクトル $w(\omega)$ を求める演算を行う際に用いる窓関数を、フィルタ係数演算部 2 4 に対して設定する。ここで、フィルタ係数演算部 2 4 が演算に用いる窓関数の窓幅は可変であり、窓関数設定部 2 3 は、予め指定されている範囲の窓幅の窓関数を順次、フィルタ係数演算部 2 4 に対して設定する。 20

【 0 0 4 1 】

フィルタ係数演算部 2 4 は、フィルタ係数ベクトル $w(\omega)$ を、次の式 (5) を演算することにより算出する。

【 0 0 4 2 】

【 数 5 】

$$w(\omega) = (G(\omega)^H G(\omega))^{-1} G(\omega)^H d(\omega) \quad \cdots(5)$$

【 0 0 4 3 】

このとき、フィルタ係数演算部 2 4 は、窓関数設定部 2 3 により設定された窓幅の窓関数を所望音圧ベクトル $d(\omega)$ に適用することで、所望音圧ベクトル $d(\omega)$ が所望方向を中心として滑らかなものとなるようにして、フィルタ係数ベクトル $w(\omega)$ を求める演算を行う。そして、フィルタ係数演算部 2 4 は、窓関数の窓幅ごとに求めたフィルタ係数ベクトル $w(\omega)$ を評価音圧演算部 2 5 に供給する。 30

【 0 0 4 4 】

評価音圧演算部 2 5 は、フィルタ係数演算部 2 4 から供給されるフィルタ係数ベクトル $w(\omega)$ をフィルタ 1 3 - 1 乃至 1 3 - N に設定したときの指向性を評価するために、観測点ごとの評価音圧をベクトル化した評価音圧ベクトル $p(\omega) = G(\omega) w(\omega)$ を求める。 40

【 0 0 4 5 】

評価音圧保持部 2 6 は、フィルタ係数演算部 2 4 により求められたフィルタ係数ベクトル $w(\omega)$ ごとに、評価音圧演算部 2 5 により求められた評価音圧ベクトル $p(\omega)$ を保持する。

【 0 0 4 6 】

最適窓幅決定部 2 7 は、窓関数設定部 2 3 により設定された全ての窓関数を用いたフィルタ係数演算部 2 4 による演算が完了すると、評価音圧保持部 2 6 に保持された複数の評価音圧ベクトル $p(\omega)$ の中から、最適な評価音圧ベクトル $p(\omega)$ を求めるのに用いられた窓関数の窓幅を決定する。

【 0 0 4 7 】

例えば、評価音圧演算部 2 5 により算出された評価音圧ベクトル $p(\omega)$ のうち、抑圧 50

方向の音圧レベルが最適に抑制されているものを特定する抑圧判定方法として、次の第 1 乃至第 3 の抑圧判定方法を用いることができる。

【0048】

第 1 の抑圧判定方法では、図 1 に示すように所望方向範囲および抑圧範囲が予め設定されており、それぞれの範囲の音圧レベルの和の比が最大となるようにすることを基準として、抑圧方向の音圧レベルが最適に抑制されている評価音圧ベクトル p () を特定する。即ち、第 1 の抑圧判定方法では、所望方向のメインローブと抑圧方向のサイドローブとのエネルギー比を最大とするような評価音圧ベクトル p () が特定される。

【0049】

第 2 の抑圧判定方法では、図 1 に示すように抑圧範囲を予め設定し、その抑圧範囲における音圧レベルの平均値が最小となるようにすることを基準として、抑圧方向の音圧レベルが最適に抑制されている評価音圧ベクトル p () を特定する。即ち、第 2 の抑圧判定方法では、抑圧方向のサイドローブのエネルギーを最小とするような評価音圧ベクトル p () が特定される。

10

【0050】

第 3 の抑圧判定方法では、図 1 に示すように抑圧範囲を予め設定し、その抑圧範囲における音圧レベルの最大値が最小となるようにすることを基準として、抑圧方向の音圧レベルが最適に抑制されている評価音圧ベクトル p () を特定する。即ち、第 3 の抑圧判定方法では、抑圧方向のサイドローブの最大値を最小とするような評価音圧ベクトル p () が特定される。

20

【0051】

このような予め設定された抑圧判定方法を満たすように、最適窓幅決定部 27 は、抑圧方向の音圧レベルが最適に抑制される評価音圧ベクトル p () を特定し、その評価音圧ベクトル p () を求めるのに用いられた窓関数の窓幅を決定することができる。なお、抑圧判定方法は、第 1 乃至第 3 の抑圧判定方法に限定されることなく、これら以外の方法を採用してもよい。そして、その窓関数の窓幅を用いて算出されたフィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () からなるフィルタ係数ベクトル w () が、スピーカ 14 - 1 乃至 14 - N に設定するものとして決定される。

【0052】

このように、フィルタ係数決定装置 21 は、スピーカ 14 - 1 乃至 14 - N による指向性を実現するのに最適なフィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () を確実に決定することができる。

30

【0053】

次に、図 3 は、図 2 のフィルタ係数決定装置 21 において、最適なフィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () を決定するフィルタ係数決定処理を説明するフローチャートである。

【0054】

ステップ S11 において、窓関数設定部 23 は、フィルタ係数演算部 24 に対して窓関数の窓幅の初期値を設定する。

【0055】

ステップ S12 において、フィルタ係数演算部 24 は、伝達関数保持部 22 から伝達関数行列 G () を読み出す。そして、フィルタ係数演算部 24 は、窓関数設定部 23 により設定された窓幅の窓関数が適用された所望音圧ベクトル d () を用いて、上述の式 (5) を演算することによりフィルタ係数ベクトル w () を算出する。

40

【0056】

ステップ S13 において、評価音圧演算部 25 は、ステップ S12 においてフィルタ係数演算部 24 が算出したフィルタ係数ベクトル w () と、伝達関数行列 G () とに基づいて、評価音圧ベクトル p () を求める演算を行う。そして、評価音圧演算部 25 は、この演算により求められた評価音圧ベクトル p () を評価音圧保持部 26 に供給し、評価音圧保持部 26 は、評価音圧ベクトル p () を保持する。

【0057】

50

ステップ S 1 4 において、フィルタ係数演算部 2 4 は、予め指定されている範囲の窓幅の窓関数を全て用いて、フィルタ係数演算部 2 4 によりフィルタ係数ベクトル w () を求める演算が完了したか否かを判定する。

【 0 0 5 8 】

ステップ S 1 4 において、フィルタ係数演算部 2 4 が、フィルタ係数ベクトル w () を求める演算が完了していないと判定した場合、即ち、フィルタ係数ベクトル w () を求める演算に用いていない窓幅の窓関数がある場合、処理はステップ S 1 5 に進む。

【 0 0 5 9 】

ステップ S 1 5 において、窓関数設定部 2 3 は、フィルタ係数演算部 2 4 に対して設定する窓関数の窓幅を変更し、フィルタ係数演算部 2 4 に設定して、処理はステップ S 1 2 10
に戻る。そして、予め指定されている範囲の窓幅の窓関数の全てを用いてフィルタ係数ベクトル w () が求められるまで、以下、同様の処理が繰り返される。

【 0 0 6 0 】

一方、ステップ S 1 4 において、フィルタ係数演算部 2 4 が、フィルタ係数ベクトル w () を求める演算が完了したと判定した場合、処理はステップ S 1 6 に進む。

【 0 0 6 1 】

ステップ S 1 6 において、最適窓幅決定部 2 7 は、評価音圧保持部 2 6 に保持された複数の評価音圧ベクトル p () の中から、上述したような抑圧判定方法に基づいて最適な評価音圧ベクトル p () を特定する。そして、最適窓幅決定部 2 7 は、特定した評価音
20
圧ベクトル p () を求めるのに用いられた窓関数の窓幅を決定する。

【 0 0 6 2 】

ステップ S 1 7 において、窓関数設定部 2 3 は、ステップ S 1 6 において最適窓幅決定部 2 7 により決定された窓幅の窓関数をフィルタ係数演算部 2 4 に設定する。そして、フィルタ係数演算部 2 4 は、その窓関数を用いて算出したフィルタ係数ベクトル w () を、フィルタ 1 3 - 1 乃至 1 3 - N に設定するものとして決定し、フィルタ係数決定処理は終了される。

【 0 0 6 3 】

以上のように、フィルタ係数決定装置 2 1 は、最適な窓幅を決定することで、最適なフィルタ係数ベクトル w () を求めることができる。

【 0 0 6 4 】

次に、図 4 は、フィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () を決定するフィルタ係数決定装置の第 2 の構成例を示すブロック図である。なお、図 4 に示すフィルタ係数決定装置 2 1 A において、図 2 のフィルタ係数決定装置 2 1 と共通する構成については同一の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【 0 0 6 5 】

図 4 に示すように、フィルタ係数決定装置 2 1 A は、伝達関数保持部 2 2、フィルタ係数演算部 2 4、および評価音圧演算部 2 5 を備える点で、図 2 のフィルタ係数決定装置 2 1 と共通する構成となっている。そして、フィルタ係数決定装置 2 1 A は、重み設定部 2 8 および評価判定部 2 9 を備える点で、図 2 のフィルタ係数決定装置 2 1 と異なる構成とな
40
っている。

【 0 0 6 6 】

また、フィルタ係数決定装置 2 1 A のフィルタ係数演算部 2 4 は、フィルタ係数ベクトル w () を、次の式 (6) を演算することにより算出する。

【 0 0 6 7 】

【 数 6 】

$$w(\omega) = (G(\omega)^H A(\omega) G(\omega))^{-1} (G(\omega) A(\omega))^H d(\omega) \quad \cdots (6)$$

【 0 0 6 8 】

ここで、式 (6) において、重み係数行列 A () は、制御点の個数 M と、スピーカ 1 4 の個数 N とのうちの、どちらか大きい方の数 L を大きさとして持つ正方行列であり、伝
50

達関数 g_{mn} () それぞれの要素をどの程度重視するかを決定する重み係数 a_1 () 乃至 a_L () を対角要素に持っており、次の式 (7) で表される。

【0069】

【数7】

$$A(\omega) = \begin{pmatrix} a_1(\omega) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & a_2(\omega) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & a_L(\omega) \end{pmatrix} \quad \cdots(7)$$

【0070】

重み設定部 28 は、フィルタ係数演算部 24 に対して重み係数行列 A () を設定する。例えば、重み設定部 28 は、初期値として全ての重み係数 a_1 () 乃至 a_L () を 1 とした重み係数行列 A () をフィルタ係数演算部 24 に設定する。そして、重み設定部 28 は、その設定された重み係数行列 A () を用いて求められたフィルタ係数ベクトル w () から求められる誤差ベクトル e () が予め設定されている判定基準以下となるように適応的に重み係数 a_1 () 乃至 a_L () を変化させて、重み係数行列 A () をフィルタ係数演算部 24 に設定する。

10

【0071】

評価判定部 29 は、重み設定部 28 により設定された重み係数行列 A () でフィルタ係数演算部 24 により算出されたフィルタ係数ベクトル w () および伝達関数行列 G () を用いて、次の式 (8) を演算することにより、評価音圧ベクトル p () を算出する。さらに、評価判定部 29 は、算出した評価音圧ベクトル p () および所望音圧ベクトル d () を用いて、次の式 (8) を演算することにより、誤差ベクトル e () を算出する。

20

【0072】

【数8】

$$p(\omega) = G(\omega)w(\omega) \quad \cdots(8)$$

$$e(\omega) = d(\omega) - p(\omega)$$

【0073】

そして、評価判定部 29 は、重み設定部 28 により適応的に変化される重み係数 a_1 () 乃至 a_L () から求められる誤差ベクトル e () が、予め設定されている判定基準以下となる判定方法を満たすように、評価音圧ベクトル p () を算出するのに用いたフィルタ係数ベクトル w () を、フィルタ 13 - 1 乃至 13 - N に設定するものとして決定する。

30

【0074】

このように、フィルタ係数決定装置 21 A は、重み係数 a_1 () 乃至 a_L () を適応的に変化させることにより、スピーカ 14 - 1 乃至 14 - N による指向性を実現するのに最適なフィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () を確実に決定することができる。

【0075】

次に、図 5 は、図 4 のフィルタ係数決定装置 21 A において、最適なフィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () を決定するフィルタ係数決定処理を説明するフローチャートである。

40

【0076】

ステップ S 21 において、重み設定部 28 は、フィルタ係数演算部 24 に対して設定する重み係数行列 A () を初期化する。例えば、重み設定部 28 は、上述したように、全ての重み係数 a_1 () 乃至 a_L () を 1 とした重み係数行列 A () をフィルタ係数演算部 24 に設定する。

【0077】

ステップ S 22 において、フィルタ係数演算部 24 は、伝達関数保持部 22 から伝達関

50

数行列 G () を読み出し、重み設定部 28 により設定された重み係数行列 A () を用いて、上述の式 (6) を演算することによりフィルタ係数ベクトル w () を算出する。

【0078】

ステップ S23 において、評価音圧演算部 25 は、ステップ S22 においてフィルタ係数演算部 24 が算出したフィルタ係数ベクトル w () を用いて、上述の式 (8) を演算することにより、評価音圧ベクトル p () を算出する。

【0079】

ステップ S24 において、評価音圧演算部 25 は、ステップ S23 において算出した評価音圧ベクトル p () および所望音圧ベクトル d () から求められる誤差ベクトル e () が、予め設定されている判定基準以下であるか否かを判定する。

10

【0080】

ステップ S24 において、評価音圧演算部 25 が、誤差ベクトル e () が判定基準以下でないと判定した場合、即ち、誤差ベクトル e () が判定基準より大きいと判定した場合、処理はステップ S25 に進む。

【0081】

ステップ S25 において、重み設定部 28 は、フィルタ係数演算部 24 に対して設定する重み係数 a_1 () 乃至 a_L () を修正し、その修正を適用した重み係数 a_1 () 乃至 a_L () からなる重み係数行列 A () をフィルタ係数演算部 24 に設定する。その後、処理はステップ S22 に戻り、誤差ベクトル e () が判定基準以下となるまで、以下、同様の処理が繰り返される。

20

【0082】

そして、ステップ S24 において、評価音圧演算部 25 が、誤差ベクトル e () が判定基準以下であると判定した場合、処理はステップ S26 に進む。なお、処理が規定回数だけ繰り返したときに、処理がステップ S26 に進むようにしてもよい。

【0083】

ステップ S26 において、評価音圧演算部 25 は、ステップ S24 において判定基準以下であると判定された誤差ベクトル e () を求めるのに用いられたフィルタ係数ベクトル w () を、フィルタ 13 - 1 乃至 13 - N に設定するものとして決定し、フィルタ係数決定処理は終了される。

【0084】

以上のように、フィルタ係数決定装置 21A は、重み係数 a_1 () 乃至 a_L () を適応的に変更することで、最適なフィルタ係数ベクトル w () を求めることができる。ここで、重み設定部 28 は、重み係数 a_1 () 乃至 a_L () として、誤差ベクトル e () の大きさに比例した値を設定することができる。例えば、誤差ベクトル e () の大きさには、誤差ベクトル e () の大きさの絶対値、誤差ベクトル e () の大きさの二乗値、誤差ベクトル e () の大きさの対数などが含まれる。

30

【0085】

次に、図 6 は、フィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () を決定するフィルタ係数決定装置の第 3 の構成例を示すブロック図である。なお、図 6 に示すフィルタ係数決定装置 21B において、図 4 のフィルタ係数決定装置 21A と共通する構成については同一の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

40

【0086】

図 6 に示すように、フィルタ係数決定装置 21B は、伝達関数保持部 22、フィルタ係数演算部 24、評価音圧演算部 25、重み設定部 28、および評価判定部 29 を備える点で、図 4 のフィルタ係数決定装置 21A と共通する構成となっている。そして、フィルタ係数決定装置 21B は、パラメータ設定部 30 および周波数特性評価部 31 を備える点で、図 4 のフィルタ係数決定装置 21A と異なる構成となっている。

【0087】

また、フィルタ係数決定装置 21B のフィルタ係数演算部 24 は、フィルタ係数ベクトル w () を、次の式 (9) を演算することにより算出する。

50

【 0 0 8 8 】

【 数 9 】

$$w(\omega) = (G(\omega)^H A(\omega) G(\omega) + \delta(\omega) I)^{-1} (G(\omega) A(\omega))^H d(\omega) \quad \dots (9)$$

【 0 0 8 9 】

ここで、式 (9) において、重み係数行列 A () は、上述の式 (7) により表される。また、正則化パラメータ () は、正の数であり、初期値として $G^H A G$ の要素の最大値より予め設定されている小さな値 (例えば、 10^{-3} 倍程度の小さな値) を持つ。また、単位行列 I は、 $G^H A G$ と同じ要素数である。

【 0 0 9 0 】

パラメータ設定部 3 0 は、フィルタ係数演算部 2 4 に対し正則化パラメータ () を設定する。 10

【 0 0 9 1 】

周波数特性評価部 3 1 は、フィルタ係数演算部 2 4 により算出されたフィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () からなるフィルタ係数ベクトル w () を用いて、次の式 (1 0) を演算することにより、所望方向の音圧 b () を周波数ごとに算出する。

【 0 0 9 2 】

【 数 1 0 】

$$b(\omega) = g_{look}(\omega)^T w(\omega) \quad \dots (10)$$

【 0 0 9 3 】

ここで、式 (1 0) において、ベクトル g_{look} () は、スピーカ 1 4 - 1 乃至 1 4 - N から所望方向までの伝達関数を要素として持つ。 20

【 0 0 9 4 】

そして、フィルタ係数決定装置 2 1 B では、予め決められた周波数帯域内で、予め決められた所定の周波数ステップ (周波数の刻み幅) の周波数ごとに、フィルタ係数演算部 2 4 がフィルタ係数ベクトル w () を求める演算を行う際の周波数が設定され、判定基準以下となるフィルタ係数ベクトル w () が求められる。

【 0 0 9 5 】

例えば、周波数帯域が 300 ~ 3000Hz に決められており、かつ、周波数ステップが 100Hz に決められている場合、初期設定として、その周波数帯域内の最小値 (300Hz) が設定され、フィルタ係数演算部 2 4 によりフィルタ係数ベクトル w () が求められる。そして、評価音圧演算部 2 5 による評価音圧ベクトル p () の算出、評価判定部 2 9 による誤差ベクトル e () を用いた判定、および、重み設定部 2 8 による重みの設定が繰り返して行われ、判定基準以下となるフィルタ係数ベクトル w () が求められる。 30

【 0 0 9 6 】

さらに、周波数特性評価部 3 1 は、フィルタ係数演算部 2 4 がフィルタ係数ベクトル w () を求める演算を行う際の周波数を、周波数ステップに従って増加させ、その次の周波数 (400Hz) に設定する。以下、順次、周波数特性評価部 3 1 は、予め決められた周波数帯域内の最大値 (3000Hz) を用いた演算が行われるまで、周波数ステップに従って増加させた周波数を設定し、判定基準以下となるフィルタ係数ベクトル w () を求める処理を繰り返して行わせる。 40

【 0 0 9 7 】

その後、周波数特性評価部 3 1 は、周波数に対する所望方向の音圧 b () の平均値を算出する。そして、パラメータ設定部 3 0 は、この平均値に対する所望方向の音圧 b () のズレが、予め設定されている設定値よりも大きい場合、正則化パラメータ () が大きくなるように修正する。そして、上述したような周波数帯域内で所定の周波数ステップの周波数ごとに、フィルタ係数演算部 2 4 によるフィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () を算出する処理を繰り返して行わせる。即ち、求められたフィルタ係数ベクトル w () を用いた所望方向の音圧 b () を周波数順に並べてみて、平坦な特性であるかを調べ、飛び出しているような大きな値になっている周波数があったら、その周波数の正則化パラ 50

メータ () を大きな値に修正することで、周波数ごとに求められる所望方向の音圧 b () が全体的に平坦となるようにする。

【0098】

そして、最終的に、所望方向の音圧 b () の平均値に対する所望方向の音圧 b () のズレが、予め設定されている設定値以内となった正則化パラメータ () が特定されたときに、誤差ベクトル e () が判定基準以下であると判定された評価音圧ベクトル p () を求めるのに用いられた重み係数 a_1 () 乃至 a_L () により算出されるフィルタ係数ベクトル w () が、フィルタ $13 - 1$ 乃至 $13 - N$ に設定するものとして決定される。

【0099】

次に、図7は、図6のフィルタ係数決定装置21Bにおいて、最適なフィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () を決定するフィルタ係数決定処理を説明するフローチャートである。

【0100】

ステップS31において、パラメータ設定部30は、フィルタ係数演算部24に対して設定する正則化パラメータ () を初期化する。即ち、パラメータ設定部30は、上述したように、 $G^H A G$ の要素の最大値より予め設定されている小さな値とした正則化パラメータ () をフィルタ係数演算部24に設定する。

【0101】

ステップS32において、フィルタ係数演算部24は、フィルタ係数ベクトル w () を求める演算を行う際の周波数を、初期値として、予め決められた周波数帯域内の最小値に設定する。

【0102】

ステップS33において、重み設定部28は、フィルタ係数演算部24に対して設定する重み係数行列 A () を初期化する。例えば、重み設定部28は、上述したように、全ての重み係数 a_1 () 乃至 a_L () を1とした重み係数行列 A () をフィルタ係数演算部24に設定する。

【0103】

ステップS34において、フィルタ係数演算部24は、伝達関数保持部22から伝達関数行列 G () を読み出し、重み設定部28により設定された重み係数行列 A () 、および、パラメータ設定部30により設定された正則化パラメータ () を用いて、上述の式(9)を演算することによりフィルタ係数ベクトル w () を算出する。

【0104】

ステップS35において、評価音圧演算部25は、ステップS34においてフィルタ係数演算部24が算出したフィルタ係数ベクトル w () を用いて、上述の式(8)を演算することにより、評価音圧ベクトル p () を算出する。

【0105】

ステップS36において、評価音圧演算部25は、ステップS35において算出した評価音圧ベクトル p () および所望音圧ベクトル d () から求められる誤差ベクトル e () が、予め設定されている判定基準以下であるか否かを判定する。

【0106】

ステップS36において、評価音圧演算部25が、誤差ベクトル e () が判定基準以下でないと判定した場合、即ち、誤差ベクトル e () が判定基準より大きいと判定した場合、処理はステップS37に進む。

【0107】

ステップS37において、重み設定部28は、フィルタ係数演算部24に対して設定する重み係数 a_1 () 乃至 a_L () を修正し、その修正を適用した重み係数 a_1 () 乃至 a_L () からなる重み係数行列 A () をフィルタ係数演算部24に設定する。その後、処理はステップS34に戻り、新たに設定された重み係数 a_1 () 乃至 a_L () を用いて、以下、同様の処理が繰り返される。

10

20

30

40

50

【0108】

一方、ステップS36において、評価音圧演算部25が、誤差ベクトル e ()が判定基準以下であると判定した場合、処理はステップS38に進む。

【0109】

ステップS38において、フィルタ係数演算部24は、直前のステップS34においてフィルタ係数ベクトル w ()を求めた際に用いた周波数が、予め決められた周波数帯域内の最大値であるか否かを判定する。

【0110】

ステップS38において、フィルタ係数演算部24が、周波数が最大値でないと判定した場合、処理はステップS39に進む。ステップS39において、フィルタ係数演算部24は、フィルタ係数ベクトル w ()を求める演算を行う際の周波数を、現在の周波数から所定の周波数ステップに従って増加した周波数に変更して設定する。その後、処理はステップS33に戻り、新たに設定された周波数を用いて、以下、同様の処理が繰り返される。

10

【0111】

一方、ステップS38において、フィルタ係数演算部24が、周波数が最大値であると判定した場合、処理はステップS40に進む。即ち、この場合、処理が繰り返して行われることによって、ステップS34において、予め決められた周波数帯域内における所定の周波数ステップごとの全ての周波数で、フィルタ係数ベクトル w ()が求められている。

20

【0112】

ステップS40において、周波数特性評価部31は、ステップS34においてフィルタ係数演算部24により算出されたフィルタ係数ベクトル w ()を用いて、上述の式(10)を演算することにより、所望方向の音圧 b ()を周波数ごとに算出する。さらに、周波数特性評価部31は、周波数に対する所望方向の音圧 b ()の平均値を算出する。

【0113】

ステップS41において、周波数特性評価部31は、ステップS40で算出した平均値に対する所望方向の音圧 b ()のズレが、予め設定されている設定値以内であるか否かを判定する。

【0114】

ステップS41において、周波数特性評価部31が、平均値に対する所望方向の音圧 b ()のズレが、予め設定されている設定値以内でないと判定した場合、即ち、そのズレが設定値外である場合、処理はステップS42に進む。

30

【0115】

ステップS42において、パラメータ設定部30は、正則化パラメータ ()が大きくなるように修正する。その後、処理はステップS32に戻り、修正された正則化パラメータ ()を用いて、以下、同様の処理が繰り返される。

【0116】

一方、ステップS41において、周波数特性評価部31が、平均値に対する所望方向の音圧 b ()のズレが、予め設定されている設定値以内であると判定した場合、処理はステップS43に進む。なお、処理が規定回数だけ繰り返したときに、処理がステップS43に進むようにしてもよい。

40

【0117】

ステップS43において、評価音圧演算部25は、最終的に、ステップS36において判定基準以下であると判定された誤差ベクトル e ()を求めるのに用いられたフィルタ係数ベクトル w ()を、フィルタ13-1乃至13-Nに設定するものとして決定し、フィルタ係数決定処理は終了される。

【0118】

以上のように、フィルタ係数決定装置21Bは、重み係数 a_1 ()乃至 a_L ()および正則化パラメータ ()を適応的に変更することで、最適なフィルタ係数ベクトル w

50

()を求めることができる。

【0119】

ここで、図8および図9に示すシミュレーション結果を参照して、スピーカ14-1乃至14-Nの指向性について説明する。なお、図8および図9において、半径方向の大きさは周囲への放射音圧レベル(指向特性)の大きさを表しており、最大値を30dBとして表示している。

【0120】

図8および図9の右側には、図7のフィルタ係数決定処理により自動的に決定されたフィルタ係数 w_1 ()乃至 w_N ()を用いたシミュレーション結果が示されている。また、図8および図9の左側には、従来手法により求められたフィルタ係数 w_1 ()乃至 w_N ()を用いたシミュレーション結果が示されている。

10

【0121】

例えば、図1に示すように所望方向を90°に設定し、図8には、1000Hzの音を出力したときの指向特性をシミュレーションした結果が示されており、図9には、600~3200Hzの音を出力したときの指向特性をシミュレーションした結果が示されている。

【0122】

図8および図9に示すように、従来手法と比較して、図7のフィルタ係数決定処理により自動的に重み係数 a_1 ()乃至 a_L ()を調整して決定されたフィルタ係数 w_1 ()乃至 w_N ()を用いることで、サイドローブを大幅に抑圧することができる。

【0123】

なお、上述した図4のフィルタ係数決定装置21Aおよび図6のフィルタ係数決定装置21Bにおいて、重み設定部28は、周波数に依らずに一定となるように重み係数行列A()を設定する。また、重み設定部28は、一定間隔の周波数帯域において同一の値を取るように重み係数行列A()を設定する。

20

【0124】

また、フィルタ係数決定装置21(フィルタ係数決定装置21Aおよび21Bも含む)では、フィルタ係数演算部24によるフィルタ係数 w_1 ()乃至 w_N ()の算出、および、評価音圧演算部25による評価判定の両方において、伝達関数行列G()の伝達関数 g_{mn} ()として、実測したインパルス応答をフーリエ変換した値を使用することができる。または、フィルタ係数演算部24によるフィルタ係数 w_1 ()乃至 w_N ()の算出において、2次元あるいは3次元の自由空間伝達関数や、FDTD(Finite Difference Time Domain)法などのシミュレーションによって算出された伝達関数 g_{mn} ()を用い、評価判定基準を満たす最適な伝達関数 g_{mn} ()を用いることができる。

30

【0125】

なお、音響再生システム11において、スピーカ14-1乃至14-Nが直線的に配置された直線スピーカアレイを用いる場合、重み係数行列A()の重み係数 a_1 ()乃至 a_L ()は、直線スピーカアレイを軸として片側の平面内にある伝達関数行列G()のみを用いるように設定することができる。

【0126】

また、音響再生システム11において、スピーカ14-1乃至14-Nが平面的に配置された平面スピーカアレイを用いる場合、重み係数行列A()の重み係数 a_1 ()乃至 a_L ()は、平面スピーカアレイを含む平面内にある伝達関数行列G()に対してのみ適応的に変化させることができる。

40

【0127】

さらに、平面スピーカアレイを用いる場合、重み係数行列A()の重み係数 a_1 ()乃至 a_L ()は、平面スピーカアレイを含む平面内にある伝達関数行列G()に対しては、全ての抑圧方向の伝達関数 g_{mn} ()に対して適応的に変化させ、平面スピーカアレイを含む平面と垂直な方向に対しては、平面スピーカアレイが対称な形状であるとき、その対称軸に沿った平面の上側半分の抑圧方向の重み係数 a_1 ()乃至 a_L ()のみ適応的に変化させることができる。

50

【 0 1 2 8 】

また、重み係数 a_1 () 乃至 a_L () は、最大値および最小値と、最大値および最小値の間のステップ幅が予め設定されている。

【 0 1 2 9 】

なお、フィルタ係数演算部 2 4 は、上述したような式を用いてフィルタ係数ベクトル w () を算出する他、次の式 (1 1) を演算することによりフィルタ係数ベクトル w () を算出することができる。

【 0 1 3 0 】

【 数 1 1 】

$$w(\omega) = (G(\omega)^H A(\omega) G(\omega))^{-1} D (D^H (G(\omega)^H A(\omega) G(\omega))^{-1} D)^{-1} H \quad \dots (11)$$

10

【 0 1 3 1 】

ただし、式 (1 1) で用いる伝達関数行列 D は、次の式 (1 2) の計算において H の値に必ず拘束したい 1 つ以上の伝達関数 g_{mn} () を含む行列を表すものである。

【 0 1 3 2 】

【 数 1 2 】

$$H = D^T w \quad \dots (12)$$

【 0 1 3 3 】

また、フィルタ係数演算部 2 4 がフィルタ係数ベクトル w () を算出するのに、空間相関行列 R () を用いるアルゴリズムを採用する場合、空間相関行列 R () の計算に重み係数行列 A () を導入してもよい。そして、フィルタ係数演算部 2 4 は、予め設定した評価関数に対して予め設定した評価基準値に合致するように、重み係数行列 A () を適用的に変化させてフィルタ係数ベクトル w () の算出を行うことができる。

20

【 0 1 3 4 】

以上のように、本技術を適用したフィルタ係数決定装置 2 1 は、可聴域の音を出力するスピーカ 1 4 - 1 乃至 1 4 - N を並べて構成されるスピーカアレイを用いて、指向性を形成するためのフィルタ係数 w_1 () 乃至 w_N () を求めることができる。従って、このようなスピーカアレイによって、周囲への音漏れ部分である抑圧範囲の音を適切に抑圧することができるので、利用者は、従来よりも良好な指向性を備えることを聴感的に体験することができる。また、小型で、自由な指向性を備えるスピーカアレイは、様々な応用に適用可能であり、例えば、耳を閉塞しない状態で運動しながら音楽を聴取することや、スポーツ観戦または美術鑑賞において個別ガイダンスを聴取することなどに利用可能である。さらに、指向性を外部に向けるような構成とすることで、新しい身体音楽表現などにも応用することができる。

30

【 0 1 3 5 】

なお、上述のフローチャートを参照して説明した各処理は、必ずしもフローチャートとして記載された順序に沿って時系列に処理する必要はなく、並列的あるいは個別に実行される処理 (例えば、並列処理あるいはオブジェクトによる処理) も含むものである。また、プログラムは、1 の CPU により処理されるものであっても良いし、複数の CPU によって分散処理されるものであっても良い。

40

【 0 1 3 6 】

また、上述した一連の処理 (フィルタ係数決定方法) は、ハードウェアにより実行することもできるし、ソフトウェアにより実行することもできる。一連の処理をソフトウェアにより実行する場合には、そのソフトウェアを構成するプログラムが、専用のハードウェアに組み込まれているコンピュータ、または、各種のプログラムをインストールすることで、各種の機能を実行することが可能な、例えば汎用のパーソナルコンピュータなどに、プログラムが記録されたプログラム記録媒体からインストールされる。

【 0 1 3 7 】

図 1 0 は、上述した一連の処理をプログラムにより実行するコンピュータのハードウエ

50

アの構成例を示すブロック図である。

【0138】

コンピュータにおいて、CPU (Central Processing Unit) 101, ROM (Read Only Memory) 102, RAM (Random Access Memory) 103は、バス104により相互に接続されている。

【0139】

バス104には、さらに、入出力インタフェース105が接続されている。入出力インタフェース105には、キーボード、マウス、マイクロホンなどよりなる入力部106、ディスプレイ、スピーカなどよりなる出力部107、ハードディスクや不揮発性のメモリなどよりなる記憶部108、ネットワークインタフェースなどよりなる通信部109、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、或いは半導体メモリなどのリムーバブルメディア111を駆動するドライブ110が接続されている。

10

【0140】

以上のように構成されるコンピュータでは、CPU101が、例えば、記憶部108に記憶されているプログラムを、入出力インタフェース105及びバス104を介して、RAM103にロードして実行することにより、上述した一連の処理が行われる。

【0141】

コンピュータ (CPU101) が実行するプログラムは、例えば、磁気ディスク (フレキシブルディスクを含む)、光ディスク (CD-ROM (Compact Disc-Read Only Memory), DVD (Digital Versatile Disc) 等)、光磁気ディスク、もしくは半導体メモリなどよりなるパッケージメディアであるリムーバブルメディア111に記録して、あるいは、ローカルエリアネットワーク、インターネット、デジタル衛星放送といった、有線または無線の伝送媒体を介して提供される。

20

【0142】

そして、プログラムは、リムーバブルメディア111をドライブ110に装着することにより、入出力インタフェース105を介して、記憶部108にインストールすることができる。また、プログラムは、有線または無線の伝送媒体を介して、通信部109で受信し、記憶部108にインストールすることができる。その他、プログラムは、ROM102や記憶部108に、あらかじめインストールしておくことができる。

【0143】

なお、本実施の形態は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本開示の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。

30

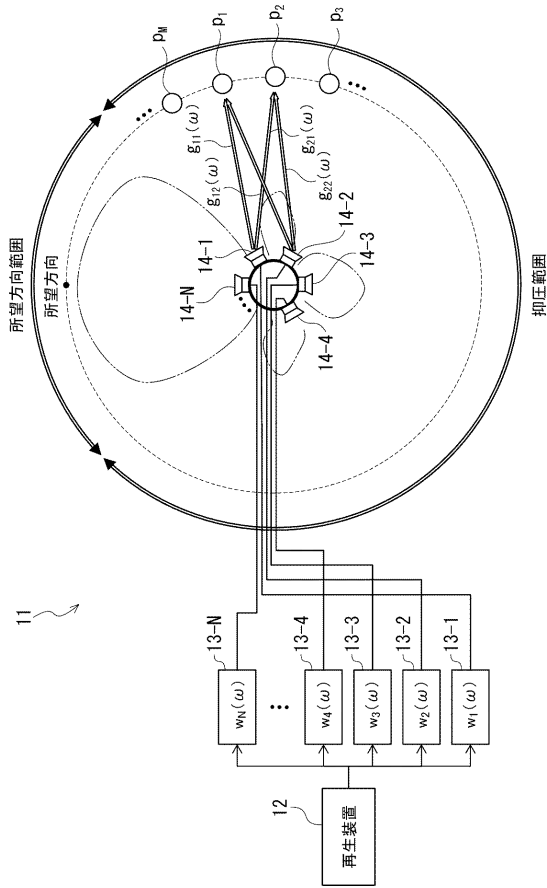
【符号の説明】

【0144】

11 音響再生システム, 12 再生装置, 13-1乃至13-N フィルタ,
14-1乃至14-N スピーカ, 21 フィルタ係数決定装置, 22 伝達関数保持部,
23 窓関数設定部, 24 フィルタ係数演算部, 25 評価音圧演算部,
26 評価音圧保持部, 27 最適窓幅決定部, 28 重み設定部, 29 評価判定部,
30 パラメータ設定部, 31 周波数特性評価部

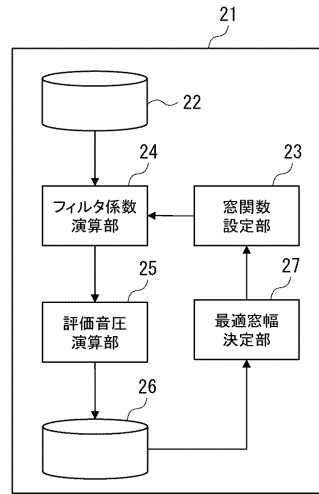
【図1】

Fig. 1



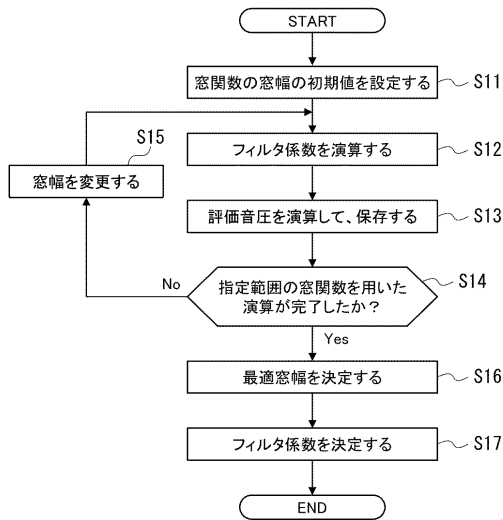
【図2】

Fig. 2



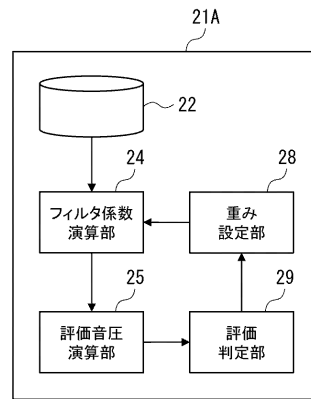
【図3】

Fig. 3



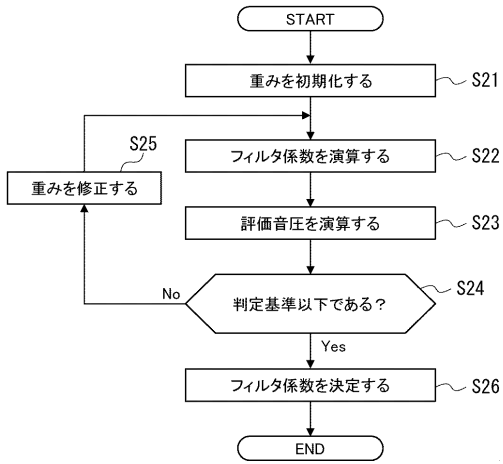
【図4】

Fig. 4



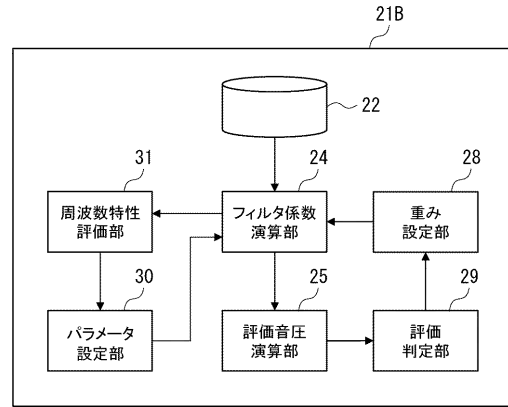
【 図 5 】

Fig. 5



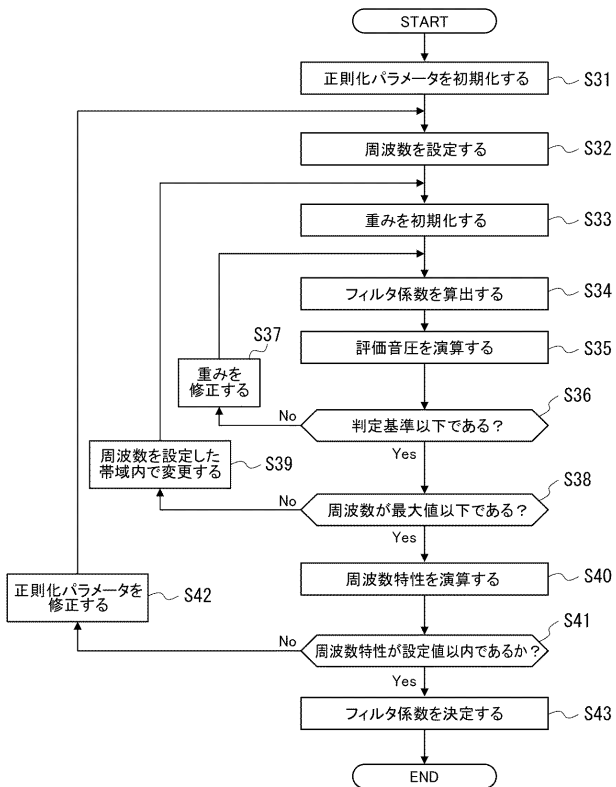
【 図 6 】

Fig. 6



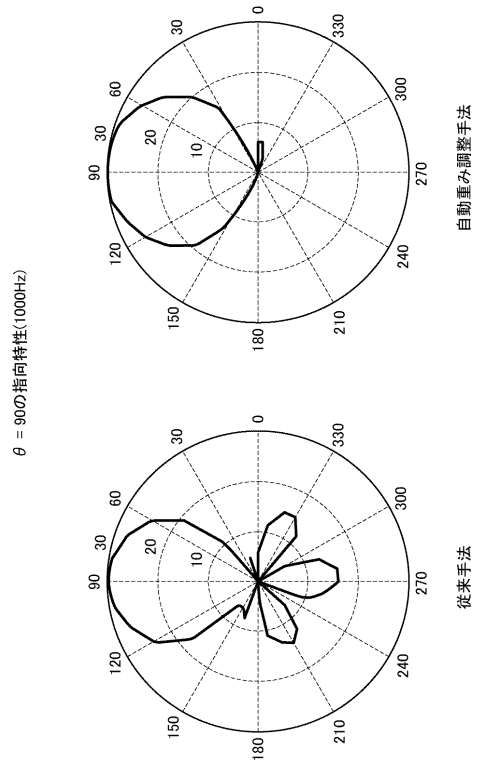
【 図 7 】

Fig. 7



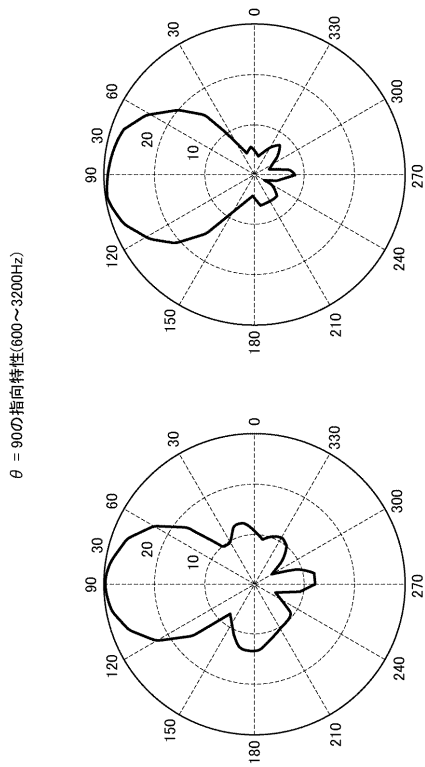
【 図 8 】

Fig. 8



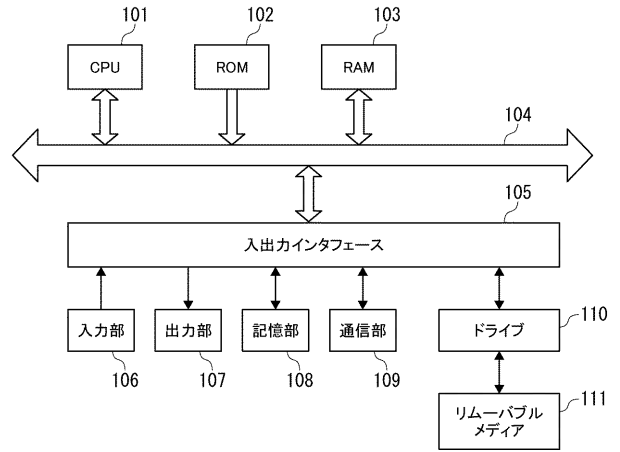
【図9】

Fig. 9



【図10】

Fig. 10



フロントページの続き

(72)発明者 佐藤 航也

東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内

(72)発明者 関 貴志

東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内

Fターム(参考) 5D018 AF23

5D220 AA16 AB06