

<https://www.j-platpat.inpit.go.jp/c1800/PU/JP-6556682/8FA775099ED7AC2CD55C297FC1FDE66A36C3D5E543A37D0EE312F095EE8A8833/15/en>

(19) [Publication country] JP

(12) [Kind of official gazette] A

(11) [Publication number] 2018064227

(43) [Date of publication of application] 20180419

(54) [Title of the invention] STEREO ACOUSTIC SIGNAL REPRODUCTION DEVICE, STEREO ACOUSTIC SIGNAL REPRODUCTION METHOD AND STEREO ACOUSTIC SIGNAL REPRODUCTION PROGRAM

(51) [International Patent Classification]

H04S 1/00 (2006.01)

H04R 3/00 (2006.01)

H04S 7/00 (2006.01)

[FI]

H04S 1/00 500

H04R 3/00 310

H04S 7/00 340

(21) [Application number] 2016202494

(22) [Filing date] 20161014

(71) [Applicant]

[Name] P SOFTHOUSE CO LTD

(72) [Inventor]

[Full name] SUZUKI YOICHI

[Full name] SAKAMOTO SHUICHI

[Full name] JORGE TREVINO

[Full name] SALVADOR CASTANEDA CESAR DANIEL

[Full name] KUDO TAKUMA

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6556682号  
(P6556682)

(45) 発行日 令和1年8月7日(2019.8.7)

(24) 登録日 令和1年7月19日(2019.7.19)

(51) Int. Cl.		F I			
<b>HO4S</b>	<b>1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	HO4S	1/00	500
<b>HO4R</b>	<b>3/00</b>	<b>(2006.01)</b>	HO4R	3/00	310
<b>HO4S</b>	<b>7/00</b>	<b>(2006.01)</b>	HO4S	7/00	340

請求項の数 5 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2016-202494 (P2016-202494)	(73) 特許権者	300004049
(22) 出願日	平成28年10月14日 (2016.10.14)		株式会社ピー・ソフトハウス
(65) 公開番号	特開2018-64227 (P2018-64227A)		宮城県仙台市宮城野区宮城野一丁目12番1号
(43) 公開日	平成30年4月19日 (2018.4.19)	(74) 代理人	110002147
審査請求日	平成30年7月24日 (2018.7.24)		特許業務法人酒井国際特許事務所
		(72) 発明者	鈴木 陽一
			宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
			国立大学法人東北大学大学内
		(72) 発明者	坂本 修一
			宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
			国立大学法人東北大学大学内
		(72) 発明者	トレビーニョ ホルヘ
			宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
			国立大学法人東北大学大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 立体音響信号再生装置、立体音響信号再生方法及び立体音響信号再生プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

立体音響信号を生成して再生する立体音響信号再生装置であって、

第1の距離で測定された頭部伝達関数に対して方位角に沿ったフーリエ変換を行った後に、ハンケル関数を用いて前記第1の距離から第2の距離への変換処理を行い、さらに前記ハンケル関数の次数を変数とする逆フーリエ変換を行って前記第2の距離における頭部伝達関数を生成する第1の処理部と、

入力された音響信号に対して前記第2の距離における頭部伝達関数をフィルタとして適用して前記立体音響信号を生成する第2の処理部と、

を備えたことを特徴とする立体音響信号再生装置。

【請求項2】

前記ハンケル関数を用いて前記第1の距離から第2の距離への変換処理を行う際に、前記フーリエ変換によって生成された前記第1の距離における方位角スペクトルに対して、強度依存の閾値を用いてフィルタリングすることを特徴とする請求項1に記載の立体音響信号再生装置。

【請求項3】

立体音響信号を再生する立体音響信号再生方法であって、

第1の距離で測定された頭部伝達関数に対して方位角に沿ったフーリエ変換を行って前記第1の距離における方位角スペクトルを算出する第1ステップと、

前記第1の距離における方位角スペクトルに対してハンケル関数を用いて前記第1の距

離から第2の距離への変換処理を行って前記第2の距離における方位角スペクトルを算出する第2ステップと、

前記第2の距離における方位角スペクトルに対して前記ハンケル関数の次数を変数とする逆フーリエ変換を行って前記第2の距離における頭部伝達関数を生成する第3ステップと、

入力された音響信号に対して前記第2の距離における頭部伝達関数をフィルタとして適用して前記立体音響信号を生成して再生する第4ステップと、

を含むことを特徴とする立体音響信号再生方法。

【請求項4】

前記第2ステップでは、前記第1ステップによって生成された前記第1の距離における方位角スペクトルに対して、強度依存の閾値を用いてフィルタリングすることで前記第2の距離における方位角スペクトルを算出する

ことを特徴とする請求項3に記載の立体音響信号再生方法。

【請求項5】

請求項3又は請求項4に記載された立体音響信号再生方法をプロセッサ又はコンピュータに実行させる立体音響信号再生プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、立体音響信号を再生する立体音響信号再生装置、立体音響信号再生方法及び立体音響信号再生プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

人がヘッドフォン又はイヤホンを通じて音を聞く場合、音像の方向情報は失われ立体感は消失する。これは、空間に存在する音源から発せられる音が頭部、耳もしくは体などによる反射又は回折の影響を受けて変化するのに対し、ヘッドフォンから再生される音はこれらの影響が反映されていないためである。この音源から鼓膜又は外耳道入り口に到達するまでの音響伝達関数は、頭部伝達関数(Head Related Transfer Function)として知られている。

【0003】

ヘッドフォンで立体的な音響空間を再現する手法として、予め頭部伝達関数を測定し、再生時に頭部伝達関数に基づくフィルタを音響信号に対して適用するバイノーラル合成が広く知られている。

【0004】

あらゆる方位及び距離に対して頭部伝達関数を測定すれば、仮想的な音像の位置を自在に制御しながら信号を合成することが可能である。しかしながら、頭部伝達関数の測定は簡単に行えるものではなく、稠密なデータを測定することは非常に困難である。

【0005】

そこで、人間の音空間知覚精度が高い水平面に限定し音響空間を再現しようとする試みがなされている。下記非特許文献1には、水平面上の一定距離で測定された頭部伝達関数から、水平面上の任意の距離の頭部伝達関数を合成する手法が開示されている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】G. Enzner, M. Krawczyk, F. - M. Hoffmann, and M. Weinert, "3d reconstruction of HRTF-fields from 1d continuous measurements," in Proc. IEEE WASPAA, Oct. 2011, pp. 157160

【発明の概要】

10

20

30

40

50

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0007】

非特許文献1に示される手法では、水平面上の任意の距離における頭部伝達関数を算出することは可能であるが、頭部の前方と後方とで計算を分割する必要がある。このため、頭部の真正面の方位を $0^\circ$ としたとき、 $-90^\circ$ と $90^\circ$ の方位において、HRTFに不連続点が生じることとなり、立体的な音響空間を再現する際に品質の低下を招く原因となっていた。

## 【0008】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、水平面上の任意の距離の頭部伝達関数を合成する場合であっても、不連続点に起因する品質低下を抑制して、高品質な立体音響の再生を可能とする立体音響信号再生装置、立体音響信号再生方法及び立体音響信号再生プログラムを提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0009】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、立体音響信号を生成して再生する立体音響信号再生装置であって、第1の距離で測定された頭部伝達関数に対して方位角に沿ったフーリエ変換を行った後に、ハンケル関数を用いて前記第1の距離から第2の距離への変換処理を行い、さらに前記ハンケル関数の次数を変数とする逆フーリエ変換を行って前記第2の距離における頭部伝達関数を生成する第1の処理部と、入力された音響信号に対して前記第2の距離における頭部伝達関数をフィルタとして適用して前記立体音響信号を生成する第2の処理部と、を備えたことを特徴とする。

## 【発明の効果】

## 【0010】

本発明によれば、水平面上の任意の距離のHRTFを合成する手法を用いる場合であっても、不連続点に起因する品質低下を抑制して、高品質な立体音響の再生が可能になるという効果を奏する。また、人間の知覚精度が高い水平面において、臨場感の高い立体音響信号再生装置を実現できるという効果を奏する。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0011】

【図1】本実施の形態に係る立体音響信号再生装置を実現するための一例を示す機能ブロック図

【図2】本実施の形態の説明で使用する球状座標系を示す図

【図3】頭部伝達関数合成処理部による合成処理の流れを示すフローチャート

【図4】バンド幅制限手法の差異の説明に供する図

【図5】図4に示したそれぞれのフィルタを用いて実際に合成された頭部伝達関数の差異の説明に供する図

【図6】合成された頭部伝達関数の既存手法と本実施の形態に係る手法との差異の説明に供する図

【図7】本実施の形態に係る立体音響信号再生装置及び立体音響信号再生方法を実現するためのハードウェア構成の一例を示す図

## 【発明を実施するための形態】

## 【0012】

以下に、本発明の実施の形態に係る立体音響信号再生装置、立体音響信号再生方法及び立体音響信号再生プログラムを図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下の実施の形態により、本発明が限定されるものではない。

## 【0013】

図1は、本実施の形態に係る立体音響信号再生装置を実現するための一例を示す機能ブロック図である。図1に示すように、本実施の形態に係る立体音響信号再生装置1は、例えばモノラル信号である音響信号10を立体音響信号に変換して音響出力装置の一例であるヘッドフォン18で再生する装置であり、音像提示位置指示部12、頭部伝達関数デー

10

20

30

40

50

タ 1 4 及び演算装置 1 6 を備える。また、演算装置 1 6 は、頭部伝達関数合成処理部 1 6 a 及び第 2 の処理部であるバイノーラル信号合成処理部 1 6 b を備える。

【 0 0 1 4 】

立体音響信号とは、音を再生する際に音の方向、距離、広がりといった 3 次元的な要素を聴覚に与えることのできる音響信号である。

【 0 0 1 5 】

図 1 において、音像提示位置指示部 1 2 は、例えば、ヘッドフォン一体型の仮想現実 ( Virtual Reality : VR ) デバイスにおいては仮想空間上の音源の位置を指し示す機能を有する処理部である。音源の位置は、視聴者からの距離、方位、水平面からの高さを含む情報である。

【 0 0 1 6 】

演算装置 1 6 では、2 つの処理が行われる。まず、第 1 の処理部である頭部伝達関数合成処理部 1 6 a は、後述するコンピュータのストレージに蓄えられた頭部伝達関数データ 1 4 と、音像提示位置指示部 1 2 によって指定された音像の位置情報に基づいて、後述する本発明による変換処理を適用して目的の頭部伝達関数を合成する。また、第 2 の処理部であるバイノーラル信号合成処理部 1 6 b は、入力された音響信号 1 0 に対して、頭部伝達関数合成処理部 1 6 a にて合成された頭部伝達関数をフィルタとして適用して立体音響信号を生成する。バイノーラル信号合成処理部 1 6 b によって生成された立体音響信号は、ヘッドフォン 1 8 を通じて人の耳に届けられる。

【 0 0 1 7 】

以降では、本発明の核心部である頭部伝達関数合成処理部 1 6 a の処理内容について説明する。まず、本発明では、図 2 に示すように、 $r$  を半径、 $\theta$  を方位角、 $\phi$  を仰角とした球状座標系を採用する。また、半径  $r$ 、方位角  $\theta$  及び仰角  $\phi$  について、それぞれ独立な関数  $R(r)$ 、 $\Theta(\theta)$  及び  $\Phi(\phi)$  を用いる。そして、これらの独立な関数  $R(r)$ 、 $\Theta(\theta)$  及び  $\Phi(\phi)$  によって、 $(r, \theta, \phi, t)$   $R(r) \Theta(\theta) \Phi(\phi) \exp(-j\omega t)$  という関係式が成立する音場について考える。

【 0 0 1 8 】

ここで、上記のように定義した音場関数  $(r, \theta, \phi, t)$  において、以下の ( 1 ) 式に示される関係が成り立つ。

【 0 0 1 9 】

【数 1】

$$\frac{1}{R} \frac{d}{dr} \left[ r^2 \frac{d}{dr} \right] R + \frac{1}{\cos^2 \phi} \frac{1}{\Theta} \frac{d^2}{d\theta^2} \Theta + \frac{1}{\cos \phi} \frac{1}{\Phi} \frac{d}{d\phi} \left[ \cos \phi \frac{d}{d\phi} \right] \Phi = -r^2 \frac{\omega^2}{c^2} \quad \dots (1)$$

【 0 0 2 0 】

上記 ( 1 ) 式の詳細については、以下の非特許文献 2 を参照されたい。

【 0 0 2 1 】

[ 非特許文献 2 ] : E . G . ウィリアムズ著 吉川茂・西條献児訳 「フーリエ音響学」シュプリンガー・フェアラーク東京株式会社、2005年9月25日、P . 222 - 223

【 0 0 2 2 】

なお、上記非特許文献 2 で示される数式は、文献中の図 6 . 1 に示された球面座標系のものであるのに対し、上記 ( 1 ) 式で示される数式は、図 2 に示した球状座標系のものである点に注意されたい。

【 0 0 2 3 】

本発明では、水平面上の頭部伝達関数を扱うので、仰角  $\phi$  が変化しても  $\cos \phi$  は一定であると考えられる。従って、上記 ( 1 ) 式の  $\frac{1}{\cos \phi} \frac{d}{d\phi} \left[ \cos \phi \frac{d}{d\phi} \right] \Phi$  に関する微分項については消去できる。また、整数  $m$  を導入し、 $\Phi(\phi) = \exp(jm\phi)$  としたときに、音場関数  $(r, \theta, \phi, t)$  が方位角  $\theta$  に沿って発振する波であると捉える。このとき、上記 ( 1 ) 式における

左辺の第2項は " $-m^2 / \cos^2$ " と置き換えることができる。加えて、 $R_2(r) = r^{(1/2)} R(r)$  の関係を満たす第2のR関数を導入する。この第2のR関数  $R_2(r)$  を用いると、上記(1)式から以下の(2)式に示されるベッセル微分方程式が得られる。

【0024】

【数2】

$$\frac{d^2}{dr^2} R_2 + \frac{1}{r} \frac{d}{dr} R_2 + \left[ \frac{\omega^2}{c^2} - \frac{\left( \frac{m^2}{\cos^2 \phi} + \frac{1}{4} \right)}{r^2} \right] R_2 = 0 \quad \dots(2)$$

【0025】

ここで、次数  $\mu$  を導入し、上記(2)式の括弧内を次の(3)式で置き換える。

【0026】

【数3】

$$\mu^2 = \frac{m^2}{\cos^2 \phi} + \frac{1}{4} \quad \dots(3)$$

【0027】

すると上記(2)式の解としてベッセル関数を得られ、ここでは次数  $\mu$  の第二種ハンケル関数  $H_\mu(r)$  を採用する。すなわち、 $R_2(r) = H_\mu\{(\omega/c)r\}$  と表すことができる。

【0028】

また、上記で定義した  $R_2(r) = r^{(1/2)} R(r)$  の関係から、 $R_2(r) = r^{(-1/2)} H_\mu\{(\omega/c)r\}$  の関係が成立する。

【0029】

これまでの導出過程から、(1)式で求められる時間領域の音場関数  $(r, \theta, t)$  は、周波数領域において、以下の(4)式のように表すことができる。

30

【0030】

【数4】

$$\Psi(r, \theta, \omega) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} C_m(\omega) r^{-\frac{1}{2}} H_\mu\left(\frac{\omega}{c} r\right) \exp(jm\theta) \quad \dots(4)$$

【0031】

上記(4)式において、 $(r, \theta)$  は周波数領域の音場関数であり、式中の  $C_m(\omega)$  は、 $\omega$  について変化する係数である。

【0032】

40

また、複素指数関数の正規直交性から、係数  $C_m(\omega)$  は、以下の(5)式のように定義することができる。

【0033】

【数5】

$$C_m(\omega) = \frac{1}{2\pi r^{-\frac{1}{2}} H_\mu\left(\frac{\omega}{c} r\right)} \int_{-\pi}^{\pi} \Psi(r, \theta, \omega) \exp(-jm\theta) d\theta \quad \dots(5)$$

【0034】

50

係数  $C_m(\quad)$  は、 $\quad$  には依存するが、距離  $r$  に関しては不変である。すなわち、ある距離において算出される係数  $C_m(\quad)$  は、他のあらゆる距離においても同一の値をとる。これを利用して (5) 式における距離を  $r_0$  とする。距離  $r_0$  は所定の距離である。なお、距離  $r_0$  と距離  $r$  とを符号無しで区別する場合を考慮し、距離  $r_0$  を適宜「第 1 の距離」と呼び、距離  $r$  を適宜「第 2 の距離」と呼ぶ。

【0035】

ここで、上記 (5) 式の右辺を上記 (4) 式に代入すると、以下の (6) 式が得られる。

【0036】

【数 6】

$$\Psi(r, \theta, \omega) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left( \frac{1}{2\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \exp(jm\theta) \times \left[ \frac{r^{-\frac{1}{2}} H_{\mu} \left( \frac{\omega}{c} r \right)}{r_0^{-\frac{1}{2}} H_{\mu} \left( \frac{\omega}{c} r_0 \right)} \right] \dots (6)$$

$$\times \left( \frac{1}{2\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \int_{-\pi}^{\pi} \Psi(r_0, \theta_0, \omega) \exp(-jm\theta_0) d\theta_0$$

【0037】

上記 (6) 式は、乗算記号 " × " によって 3 つの項に分けられており、前から順に、第 1 項、第 2 項及び第 3 項とする。

【0038】

まず、第 3 項は、距離  $r_0$  における方位角  $\theta_0$  に沿った周波数領域の音場関数  $\Psi(r_0, \theta_0, \omega)$  のフーリエ変換であると解釈できる。また、大括弧で括られた第 2 項は、(3) 式で定義された次数  $\mu$  をパラメータとした距離  $r_0$  から任意の距離  $r$  へ変換するためのフィルタの役割を果たしている。そして、第 1 項は、複素指数関数の総和を求める逆フーリエ変換の式で表されている。上記 (6) 式を頭部伝達関数に適用すれば、頭部伝達関数における距離  $r_0$  を、任意の距離  $r$  に変換して再合成するフィルタ処理とみなすことができる。

【0039】

以上の説明内容が、図 1 における頭部伝達関数合成処理部 16 a による合成処理の詳細である。

【0040】

図 3 は、頭部伝達関数合成処理部 16 a による合成処理の流れを示すフローチャートである。図 3 では、頭部伝達関数を「HRTF」と表記している。以下、図 1 及び図 3 を参照して、処理の流れについて説明する。

【0041】

まず、距離  $r_0$  で測定された頭部伝達関数は、頭部伝達関数合成処理部 16 a に入力される (ステップ S101)。頭部伝達関数合成処理部 16 a では、以下のステップ S102 ~ S105 の処理が実行される。

【0042】

ステップ S102 では、方位角  $\theta_0$  に沿ったフーリエ変換が行われる。ステップ S102 の処理は、上記 (6) 式の第 3 項による演算に対応する。ステップ S102 の処理により、距離  $r_0$  における方位角スペクトルが算出される。

【0043】

ステップ S103 では、ハンケル関数を用いて距離  $r_0$  から距離  $r$  への変換処理が行われる。ステップ S103 の処理は、上記 (6) 式の第 2 項による演算に対応する。ステップ S103 の処理により、任意の距離  $r$  における方位角スペクトルが算出される。

## 【0044】

ステップS104では、ステップS103の出力に対して、整数mを変化させた逆フーリエ変換が行われる。ステップS104の処理は、上記(6)式の第1項による演算に対応する。なお、整数mとハンケル関数の次数 $\mu$ の間には、上記(3)式で示される関係があり、水平面内では $\mu = 0$ の値も固定(=0)される。このため、整数mを変数とする逆フーリエ変換は、次数 $\mu$ を変数とする逆フーリエ変換と言い換えてもよい。

## 【0045】

ステップS105では、ステップS104の出力、すなわち合成された距離rにおける頭部伝達関数が、バイノーラル信号合成処理部16bに出力される。ステップS105で生成された頭部伝達関数は、音響信号10に対してフィルタの役割りを果たす。このようにして、予め準備された音響信号10は、バイノーラル信号合成処理部16bによってバイノーラル合成され、目的とする立体音響信号が生成される。生成された立体音響信号は、ヘッドフォン18を通じて人の耳に届けられる。なお、バイノーラル合成については、多くの公知文献が存在しており、ここでの詳細な説明は割愛する。

## 【0046】

次に、上述したハンケル関数による変換処理を距離変換フィルタと見立てたときのバンド幅について説明する。

## 【0047】

実際面において、測定できる頭部伝達関数は、離散的なデータ群である。このため、連続体として算出した(6)式による距離変換フィルタを、そのまま適用することはできない。従って、方位角において制限されたバンド幅の領域にのみ、フィルタを適用する必要がある。

## 【0048】

ここで、従来手法として、以下の非特許文献3には、周波数依存の閾値によりバンド幅を制限する手法が開示されている。

## 【0049】

[非特許文献3]: N. A. Gumerov, A. E. O'Donovan, R. Duraiswami, and D. N. Zotkin, "Computation of the head-related transfer function via the fast multipole accelerated boundary element method and its spherical harmonic representation," J. Acoust. Soc. Am., vol. 127, no. 1, pp. 370-386, Jan. 2010.

## 【0050】

一方、本実施の形態では、更なる精度向上のため、以下の(7)式で表される強度依存の閾値を距離変換フィルタに適用したフィルタリングを行う。

## 【0051】

## 【数7】

$$\hat{D}(r, r_0, \omega) = \begin{cases} \frac{r}{r_0} D(r, r_0, \omega), & \text{if } |D(r, r_0, \omega)| \leq \frac{r_0^2}{r^2} \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad \dots (7)$$

## 【0052】

上記(7)式において、" $D(r, r_0, \omega)$ "は、上記(6)式の第2項に示した式であり、ハンケル関数によるフィルタを意味している。より詳細に説明すると、(7)式は、頭部伝達関数が測定された距離 $r_0$ と変換する距離rとの比率の2乗値を閾値とし、 $D(r, r_0, \omega)$ の大きさが閾値以下の範囲においてのみフィルタを適用することを意味している。

10

20

30

50



## 【 0 0 5 3 】

なお、(7)式の上段部における " $r_0 / r$ " のスケーリング、すなわち  $D(r, r_0, \dots)$  の値に " $r_0 / r$ " を乗算しているのは、変換する距離が近距離でも遠距離でもフィルタとして機能するようにするためである。

## 【 0 0 5 4 】

図4は、バンド幅制限手法の差異を説明するための図である。横軸は周波数、縦軸は方位角に関するモードであり、上述した整数  $m$  の値を示している。に関するモードは、に関する次元と言い替えてもよい。

## 【 0 0 5 5 】

図4において、(a)は従来手法である周波数依存の閾値を用いた場合のフィルタ特性であり、(b)は本実施の形態で用いる強度依存の閾値を用いた場合のフィルタ特性である。(a)及び(b)の何れの場合も、150cmの距離で測定された頭部伝達関数を、25cmの距離へと変換した場合のスペクトルが示されている。ハッチングの濃淡は、フィルタ特性におけるゲイン値の大小を表している。特徴的なのは、(a)におけるハッチングAで示した部位の殆どと、ハッチングBで示した部位の多くが、(b)では零 ( $-[dB]$ ) に制限されて消失しているところにある。

## 【 0 0 5 6 】

図5は、図4に示したそれぞれのフィルタを用いて実際に合成された頭部伝達関数の差異を説明するための図である。横軸は周波数、縦軸は方位角である。(a)には周波数依存の閾値を用いたフィルタ特性によって合成された頭部伝達関数の大きさが示され、(b)には強度依存の閾値を用いたフィルタ特性によって合成された頭部伝達関数の大きさが示されている。

## 【 0 0 5 7 】

図5において、特徴的なのは、(a)では、ハッチングCで示した部位がノイズとなって表れるのに対し、(b)では、これに相当する部分が無い。これにより、強度依存の閾値を用いて合成した場合には、ノイズの少ない高精度な結果が得られていることが見て取れる。

## 【 0 0 5 8 】

なお、図5(a)において、ハッチングCの部分は、1.数kHz(ここでは  $f_1 [kHz]$  )とする)以下の部分が方位角に沿って帯状に広がっている部分であり、この部分は、図1に示すパイノール信号合成処理部16bにおいて、フィルタ処理によって低減させてもよい。なお、再生したい音響信号の特性が、 $f_1 [kHz]$  以下の成分を殆ど含まない場合であれば、周波数依存の閾値を用いた場合でも、ノイズの少ない結果を得ることは可能である。

## 【 0 0 5 9 】

図6は、合成された頭部伝達関数を既存手法と本実施の形態に係る手法との差異を説明するための図である。(a)及び(b)の何れも、150cmの距離で測定された頭部伝達関数を、25cmの距離へと変換した場合のスペクトルである。(b)は、本実施の形態におけるスペクトルであり、図5(b)に示したスペクトルを再掲したものである。一方、図6(a)は、非特許文献1に示された手法を用いて求めたスペクトルである。

## 【 0 0 6 0 】

既存手法を用いた(a)のスペクトルでは、 $90^\circ$  と  $-90^\circ$  の方位角において濃淡の不連続な部分が見られ、品質が低下する原因となることが読み取れる。これに対し、本実施の形態では、不連続のない高精度なスペクトルが得られていることが分かる。

## 【 0 0 6 1 】

以上説明したように、本実施の形態では、距離  $r_0$  で測定された頭部伝達関数データに対して方位角に沿ったフーリエ変換を行った後に、ハンケル関数を用いて距離  $r_0$  から距離  $r$  への変換処理を行い、さらにハンケル関数の次数  $\mu$  を変数とする逆フーリエ変換を行って距離  $r$  における頭部伝達関数を生成すると共に、入力された音響信号に対して距離  $r$  における頭部伝達関数をフィルタとして適用してパイノール合成を行うこととしたので

、水平面上の任意の位置に立体音響を高品質に再生することができる立体音響信号再生装置の実現が可能となる。

【0062】

なお、以上の実施の形態に示した構成は、本発明の内容の一例を示すものであり、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略又は変更することも可能である。また、別の公知の技術と組み合わせることも可能である。

【0063】

例えばクロストークキャンセラーの技術と組み合わせると、図1におけるヘッドフォン18の代わりにスピーカから音を出力する立体音響装置が実現可能である。

【0064】

また、本実施の形態に係る頭部伝達関数の合成処理をプログラムとして実装し、スマートフォンなどのモバイル端末で動作するアプリケーションを構成すれば、モバイル端末の方位センサーに応じて音像の位置がリアルタイムに変化する拡張現実コンテンツの提供などが可能である。

【0065】

最後に、本実施の形態に係る立体音響信号再生装置及び立体音響信号再生方法を実現するためのハードウェア構成について説明する。図7は、本実施の形態に係る立体音響信号再生装置及び立体音響信号再生方法を実現するためのハードウェア構成の一例を示す図である。

【0066】

図7において、CPU21は、全体的な制御を司るプロセッサである。ROM22は、制御プログラムを格納しているリード・オンリー・メモリである。RAM23は、作業用のメモリエリアなどとして利用されるランダム・アクセス・メモリである。ストレージ24は、ハードディスクやシリコンメモリなどの外部記憶装置である。本実施の形態の例であれば、頭部伝達関数データ14及び音響信号10の保持に用いられる。なお、頭部伝達関数データ14及び音響信号10は外部ネットワーク25に接続される図示しないサーバ装置を介して入力することも可能である。

【0067】

音響出力装置26は、立体音響信号を再生するヘッドフォン又はスピーカなどで構成される。操作子群27は、立体音響信号の再生を制御するための操作ボタン及び操作アイコンのうち少なくとも一つである。表示器28は、再生状態を表示する手段である。内部ネットワーク29は、各構成部間の通信を実現するための通信手段であり、内部バス、無線通信手段、ネットワークアダプタなどである。

【0068】

本実施の形態に係る立体音響信号再生装置及び立体音響信号再生方法をプロセッサもしくはコンピュータにて実行させるための命令群で構成されるプログラムは、例えばROM22に記憶されるか、もしくは、RAM23内に保持される。ストレージ24に記憶された音響信号、もしくは、外部ネットワーク25を介して図示しないサーバから入力される音響信号に対し、CPU21がRAM23をワーキングメモリとして使用しながら上述の処理を行い、音響出力装置26から立体音響が再生される。以上の構成により、立体的な音響空間を構築し、構築した立体音響を再生することができる立体音響信号再生装置、立体音響信号再生方法を実現することができる。

【符号の説明】

【0069】

1 立体音響信号再生装置、10 音響信号、12 音像提示位置指示部、14 頭部伝達関数データ、16 演算装置、16a 頭部伝達関数合成処理部、16b バイノーラル信号合成処理部、18 ヘッドフォン、24 ストレージ、25 外部ネットワーク、26 音響出力装置、27 操作子群、28 表示器、29 内部ネットワーク。

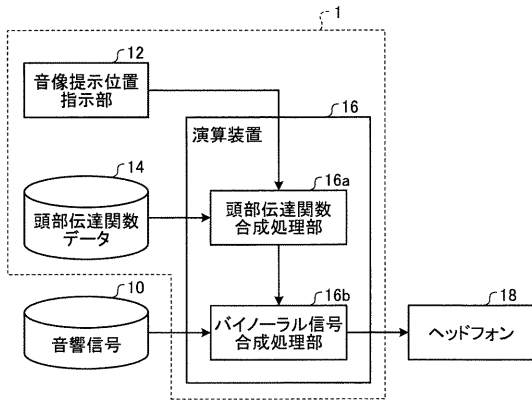
10

20

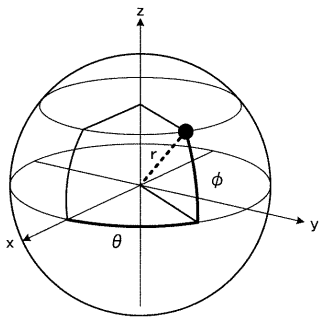
30

40

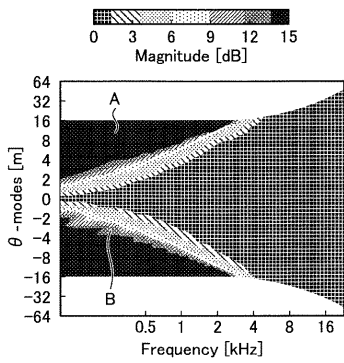
【図1】



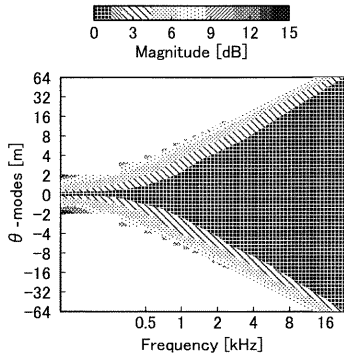
【図2】



【図4】

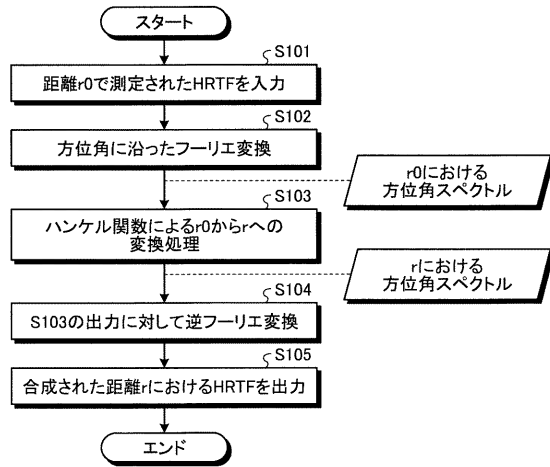


(a)周波数依存の閾値

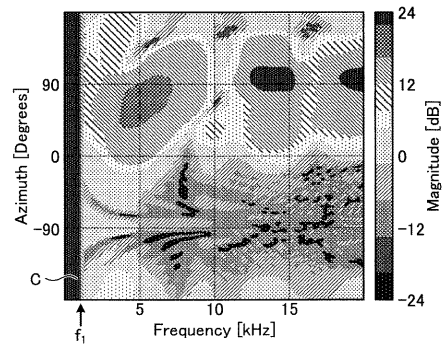


(b)強度依存の閾値

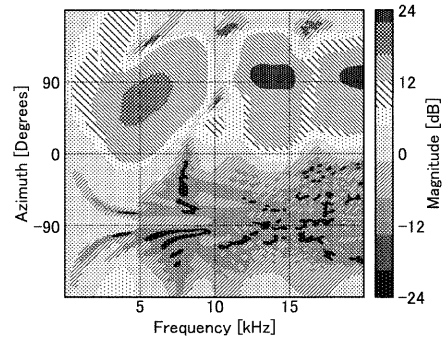
【図3】



【図5】

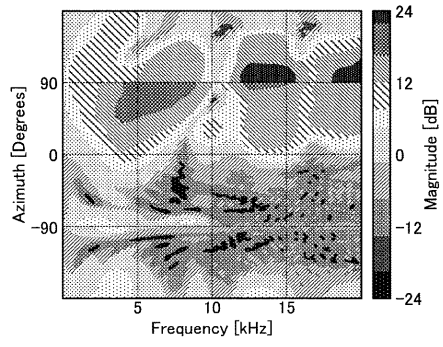


(a)周波数依存の閾値

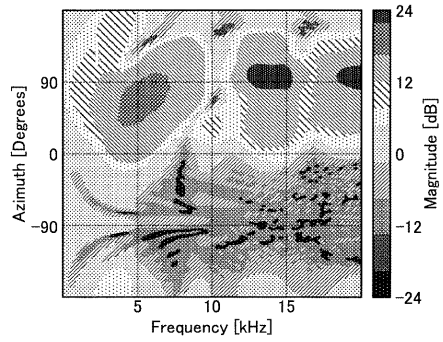


(b)強度依存の閾値

【図6】

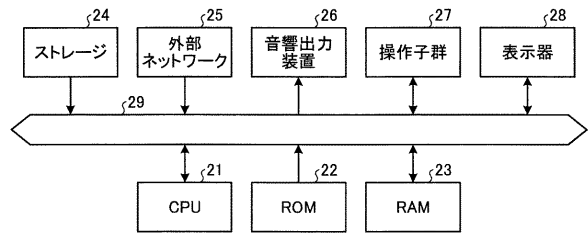


(a)既存手法



(b)本実施の形態

【図7】



---

フロントページの続き

(72)発明者 サルバドル セザル

宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学大学内

(72)発明者 工藤 拓磨

宮城県仙台市宮城野区宮城野一丁目12番1号 株式会社ピー・ソフトハウス内

審査官 富澤 直樹

(56)参考文献 特表2009-512364(JP, A)

米国特許出願公開第2014/0105405(US, A1)

染田 恵一郎, 球体・円板音響特性を用いた定位感強調の検討, 日本音響学会 2013年 秋季研究発表会講演論文集CD-ROM [CD-ROM], 日本, 一般社団法人日本音響学会, 2013年 9月27日, pp.691-692

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04S 1/00 - 7/00

H04R 3/00

H04R 5/00 - 5/04

G10K 15/00

G01H 1/00 - 17/00