

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年12月12日(12.12.2024)



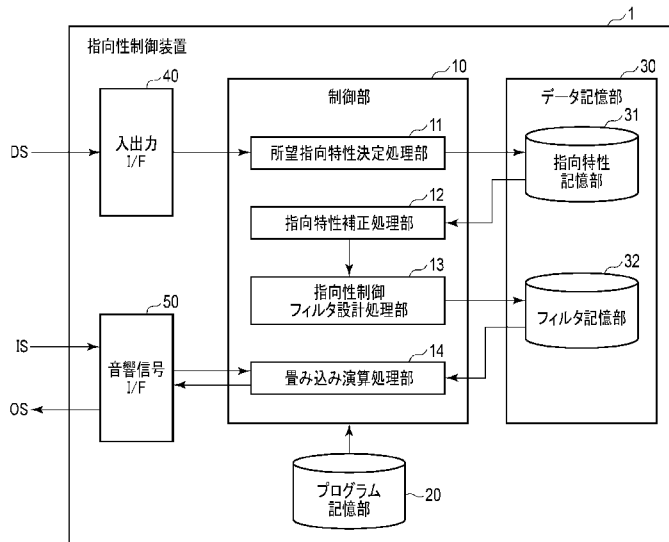
(10) 国際公開番号

WO 2024/252597 A1

- (51) 国際特許分類:
H04R 3/00 (2006.01) H04R 1/40 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/021257
- (22) 国際出願日: 2023年6月7日(07.06.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 今泉 健太 (IMAIZUMI, Kenta); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 堤 公孝
- (74) 代理人: 弁理士法人鈴榮特許総合事務所 (SUZUYE & SUZUYE); 〒1050014 東京都港区芝三丁目23番1号 セレスティン芝三井ビルディング11階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
- (TSUTSUMI, Kimitaka); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 深津 真二(FUKATSU, Shinji); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(54) Title: DIRECTIVITY CONTROL DEVICE FOR MICROPHONE ARRAY, DIRECTIVITY CONTROL METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: マイクホンアレイの指向性制御装置、指向性制御方法、およびプログラム



- 1 Directivity control device
10 Control unit
11 Desired directivity determination processing unit
12 Directivity characteristic correction processing unit
13 Directivity control filter design processing unit
14 Convolution operation processing unit
20 Program storage unit
30 Data storage unit
31 Directivity characteristic storage unit
32 Filter storage unit
40 Input/output interface
50 Acoustic signal interface

(57) Abstract: One aspect of the present invention is a directivity control device that controls the directivity of an acoustic signal input from a microphone array having a plurality of microphones. This directivity control device comprises: a directivity characteristic determination processing unit that determines a desired directivity characteristic from a desired sound collection direction; a directivity characteristic correction processing unit that corrects the desired directivity characteristic by using spherical harmonic function expansion; a directivity control filter design processing unit that designs a directivity control filter corresponding to each of the microphones on the basis of the corrected desired directivity characteristic; and a convolution operation processing unit that performs convolution operations of the input acoustic signal and the directivity control filter, and generates an output acoustic signal of which the directivity is controlled to the desired



HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

directivity characteristic.

(57) 要約: 本発明の一態様は、複数のマイクロホンを有するマイクロホンアレイから入力される音響信号の指向性を制御する指向性制御装置である。指向性制御装置は、所望の收音方向から所望の指向特性を決定する指向特性決定処理部と、所望の指向特性を、球面調和関数展開を用いて補正する指向特性補正処理部と、補正された所望の指向特性を基に、各マイクロホンに対応する指向性制御のフィルタを設計する指向性制御フィルタ設計処理部と、入力音響信号と指向性制御のフィルタの畳み込み演算を行い、指向性が所望の指向特性に制御された出力音響信号を生成する畳み込み演算処理部とを有する。

明 細 書

発明の名称：

マイクロホンアレイの指向性制御装置、指向性制御方法、およびプログラム

技術分野

[0001] この発明の一態様は、マイクロホンアレイの指向性制御装置、指向性制御方法、およびプログラムに関する。

背景技術

[0002] 近年、スピーカやヘッドホンを用いて音の伝播方向や大きさを制御・再現する再生方式が広まっている。また、パブリックビューイングや家庭などの空間を対象とした音響再生技術の研究が行われており、特に受聴者を囲うように配置した複数のスピーカにより所望の空間の音場を再現するといったことが行われている。このように、ある空間の音場を再現するには、再現対象となる空間の音響情報を取得する必要がある。

[0003] 一般的に、任意の音場の空間的な情報を得るには、3次元的に音場を收音する必要があるため、3次元的に配置されたマイクロホンから構成される收音機材により3次元空間の音場を効率的に收音することが求められる。すなわち、マイクロホンアレイに所望の指向特性を任意に付与する技術が求められる。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：Sato, Koya, and Yoichi Haneda. "Directivity control of a finite cylindrical loudspeaker array based on circular harmonics and longitudinal multipole expression." Acoustical Science and Technology 40.2 (2019): 93-104.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 非特許文献1は、マイクロホンアレイに所望の指向特性を任意に設定する技術を提案している。しかし、所望の指向特性として再現が難しい指向特性を設定した場合、生成される指向特性がサイドローブと呼ばれる目標方向以外への指向特性を有するビームフォーマが設計されてしまう。このため、目標方向の音を高い指向性で收音することができない。

[0006] この発明の目的は、マイクロホンアレイから入力される入力音響信号から、所望の目標方向の音が高い指向性で制御された出力音響信号を生成する技術を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一態様は、複数のマイクロホンを有するマイクロホンアレイから入力される入力音響信号の指向性を制御する指向性制御装置である。指向性制御装置は、所望の收音方向から所望の指向特性を決定する指向特性決定処理部と、所望の指向特性を、球面調和関数展開を用いて補正する指向特性補正処理部と、補正された所望の指向特性を基に、各マイクロホンに対応する指向性制御のフィルタを設計する指向性制御フィルタ設計処理部と、音響信号と指向性制御のフィルタの畳み込み演算を行い、指向性が所望の指向特性に制御された出力音響信号を生成する畳み込み演算処理部とを有する。

[0008] 本発明の一態様は、複数のマイクロホンを有するマイクロホンアレイから入力される入力音響信号の指向性を制御する指向性制御方法である。指向性制御方法は、所望の收音方向から所望の指向特性を決定するステップと、所望の指向特性を、球面調和関数展開を用いて補正するステップと、補正された所望の指向特性を基に、各マイクロホンに対応する指向性制御のフィルタを設計するステップと、音響信号と指向性制御のフィルタの畳み込み演算を行い、指向性が所望の指向特性に制御された出力音響信号を生成するステップとを有する。

[0009] 本発明の一態様は、複数のマイクロホンを有するマイクロホンアレイから入力される入力音響信号の指向性を制御する指向性制御プログラムである。

指向性制御プログラムは、プロセッサと記憶装置を有するコンピュータに、上記の指向性制御装置が備える各処理部による処理の少なくとも一部の機能を実行させる。

発明の効果

[0010] この発明の一態様によれば、マイクロホンアレイから入力される入力音響信号から、所望の目標方向の音が高い指向性で制御された出力音響信号を生成する技術を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は、この発明の一実施形態に係る指向性制御装置を含む收音システムの構成の一例を示す図である。

[図2]図2は、図1に示した指向性制御装置のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

[図3]図3は、図1に示した指向性制御装置のソフトウェア構成の一例を示すブロック図である。

[図4]図4は、図3に示した指向性制御装置による処理手順と処理内容の一例を示すフローチャートである。

[図5]図5は、最小二乗法を用いた指向性制御のフィルタの設計手法を説明するための観測系の一例を示す図である。

[図6]図6は、極座標系を示す図である。

[図7]図7は、3次までの球面調和関数を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、図面を参照してこの発明に係わる実施形態を説明する。

[0013] [一実施形態]

(構成例)

(1) システム

図1は、この発明の一実施形態に係る指向性制御装置を含む收音システムの全体構成を示す図である。

[0014] 一実施形態に係る收音システムは、マイクロホンアレイMCと、指向性制

御装置 1 と、指向性制御装置 1 に接続される入出力装置 2 とを備える。

[0015] マイクロホンアレイ MC は、複数のマイクロホン $MC_1 \sim MC_M$ を有する。

例えば、マイクロホン $MC_1 \sim MC_M$ は、同一円周上に等間隔に配置されている。マイクロホン $MC_1 \sim MC_M$ は、それぞれの收音方向を放射状に向けて配置されている。

[0016] マイクロホンアレイ MC のマイクロホン $MC_1 \sim MC_M$ は、それぞれの收音方向から入力される音を電気信号に変換し、入力音響信号 $I S_1 \sim I S_M$ として指向性制御装置 1 へ出力する。

[0017] 入出力装置 2 は、例えばシステム管理者またはユーザが使用するパーソナルコンピュータまたはスマートフォン等の携帯端末からなり、指向性制御装置 1 に対して、所望の指向特性の情報を入力するために使用される。なお、入出力装置 2 は例えばテレビジョンのリモコンやカーナビゲーション装置の操作パネルであってもよく、また入出力装置 2 と指向性制御装置 1 との間の接続手段は有線ケーブル以外に Bluetooth（登録商標）や WiFi（登録商標）、移動通信ネットワークなどの無線インタフェースであってもよい。

[0018] 指向性制御装置 1 は、マイクロホンアレイ MC の各マイクロホン $MC_1 \sim MC_M$ から入力される入力音響信号 $I S$ と、各マイクロホンに対応する指向性制御のフィルタとの畳み込み演算を行うことにより、所望の目標方向の音が高い指向性で制御された出力音響信号 $O S$ を生成する装置である。

[0019] （２）指向性制御装置 1

図 2 および図 3 は、それぞれ、指向性制御装置 1 のハードウェア構成およびソフトウェア構成を示すブロック図である。

[0020] 指向性制御装置 1 は、中央処理ユニット（Central Processing Unit：CPU）等のハードウェアプロセッサを使用した制御部 10 を備える。この制御部 10 に対して、バス 60 を介して、プログラム記憶部 20 およびデータ記憶部 30 を有する記憶ユニットと、入出力装置 2 が接続される入出力インタフェース（以後インタフェースを I/F と呼ぶ）40 と、音響信号 I/F 50 とを接続したものとなっている。

- [0021] 音響信号 $I/F50$ は、マイクロホンアレイ MC の各マイクロホン $MC_1 \sim MC_M$ が出力する入力音響信号 $I S$ ($I S_1 \sim I S_M$) を受け取ると共に、所望の目標方向の音が高い指向性で制御された出力音響信号 $O S$ を出力するために使用される。
- [0022] プログラム記憶部 20 は、例えば、記憶媒体として HDD (Hard Disk Drive) または SSD (Solid State Drive) 等の随時書込みおよび読出しが可能な不揮発性メモリと、ROM (Read Only Memory) 等の不揮発性メモリとを組み合わせ構成したもので、OS (Operating System) 等のミドルウェアに加えて、一実施形態に係る各種制御処理を実行するために必要なプログラムを格納する。
- [0023] データ記憶部 30 は、例えば、記憶媒体として、HDD または SSD 等の随時書込みおよび読出しが可能な不揮発性メモリと、RAM (Random Access Memory) 等の揮発性メモリとを組み合わせたもので、一実施形態を実施するために必要な主たる記憶部として、指向特性記憶部 31 と、フィルタ記憶部 32 とを備えている。
- [0024] 指向特性記憶部 31 は、制御部 10 により決定される所望の指向特性を記憶するために使用される。フィルタ記憶部 32 は、制御部 10 により算出される指向性制御のフィルタを記憶するために使用される。
- [0025] 制御部 10 は、一実施形態を実施するために必要な処理機能として、指向特性決定処理部 11 と、指向特性補正処理部 12 と、指向性制御フィルタ設計処理部 13 と、畳み込み演算処理部 14 とを備える。これらの処理部 11 ~ 14 は、何れもプログラム記憶部 20 に格納されたプログラムを制御部 10 のハードウェアプロセッサに実行させることにより実現される。
- [0026] 指向特性決定処理部 11 は、入出力装置 2 から入力される所望の收音方向を表す收音方向信号 $D S$ を入出力 $I/F40$ を介して受信し、マイクロホンアレイ MC の指向特性を決定し、決定した所望の指向特性を指向特性記憶部 31 に記憶させる処理を行う。
- [0027] 指向特性補正処理部 12 は、指向特性決定処理部 11 により決定された所

望の指向特性を、 $t - d e s i g n$ による球面調和関数展開を用いて補正する処理を行う。

[0028] 指向性制御フィルタ設計処理部13は、指向特性補正処理部12により補正された所望の指向特性を基に、指向性制御のフィルタを設計する処理を行い、この処理により算出される指向性制御のフィルタをフィルタ記憶部32に記憶させる。

[0029] 畳み込み演算処理部14は、音響信号 $I / F 50$ を介して入力される入力音響信号 $I S$ ($I S_1 \sim I S_M$)と、フィルタ記憶部32に記憶された指向性制御のフィルタとの畳み込み演算を行い、所望の目標方向の音が高い指向性で制御された出力音響信号 $O S$ を生成する。

[0030] (動作例)

以下では、指向性制御装置1により実行される指向性制御の基礎となる技術について、まず、指向特性技術、罰則項によるフィルタゲイン抑圧、サイドローブを抑圧した指向特性の設計について説明する。

[0031] (1) 指向特性技術

指向特性技術では、複数のマイクロホンを並べたマイクロホンアレイの周囲に制御点を配置し、マイクロホンから制御点までの伝達の特性を基に、指向性制御のフィルタを設計する。例えば、複数のマイクロホンは、同一円周上に等間隔で配置される。指向性制御のフィルタは、各マイクロホンが音を收音する方向または音を收音しない方向を制御するためのフィルタである。

[0032] 指向性制御のフィルタを設計するための代表的な手法として、最小二乗法を用いた手法がある。図5は、最小二乗法を用いた指向特性のフィルタの設計手法を説明するための観測系の一例を示す図である。

[0033]

[数1]

各マイクロホン $MC_1, MC_2, \dots, MC_M$ に対応する指向特性制御のフィルタを格納したベクトルを $\mathbf{w}(\omega) = [w_1(\omega), w_2(\omega), \dots, w_M(\omega)]^T$ とし、各制御点 $CP_1, CP_2, \dots, CP_Q$ で観測される信号を $\hat{\mathbf{d}}(\omega) = [\hat{d}_1(\omega), \hat{d}_2(\omega), \dots, \hat{d}_Q(\omega)]^T$ とすると、信号 $\hat{\mathbf{d}}(\omega)$ は以下のように表される。

$$\hat{\mathbf{d}}(\omega) = \mathbf{G}(\omega)\mathbf{w}(\omega), \quad (1)$$

$$\mathbf{G}(\omega) = \begin{pmatrix} G_{11}(\omega) & G_{12}(\omega) & \cdots & G_{1M}(\omega) \\ G_{21}(\omega) & G_{22}(\omega) & \cdots & G_{2M}(\omega) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{M1}(\omega) & G_{M2}(\omega) & \cdots & G_{QM}(\omega) \end{pmatrix}.$$

[0034] ここで、 M ($1 \leq m \leq M$) はマイクロホン数を示し、 Q ($1 \leq q \leq Q$) は制御点数を示す。また、 ω は角周波数 ($\omega = 2\pi f$)、 f は周波数を表す。 $W_m(\omega)$ は、 m 番目のマイクロホンに対応するフィルタ、 $G_{qm}(\omega)$ は、 m 番目のマイクロホン MC_m から q 番目の制御点 CP_q までの伝達関数である。 $\mathbf{G}(\omega)$ は、各マイクロホン $MC_1 \sim MC_M$ から各制御点 $CP_1 \sim CP_Q$ までの伝達関数 $G_{qm}(\omega)$ を格納した Q 行 M 列の伝達関数行列である。伝達関数 $G_{qm}(\omega)$ は以下の式で与えられる。

[0035] [数2]

$$G_{qm}(\omega) = \frac{e^{-jkr_{qm}}}{4\pi r_{qm}}. \quad (2)$$

ここで、 j は虚数 $j = \sqrt{-1}$ であり、 $k = \frac{\omega}{c}$ は波数、 r_{qm} は、 q 番目の制御点から m 番目のマイクロホンまでの距離である。指向性制御のフィルタを求める最小二乗法は、所望の指向特性 $\mathbf{d}(\omega)$ と、制御点にて観測される指向特性 $\hat{\mathbf{d}}(\omega)$ との誤差の二乗和 $\|\mathbf{e}(\omega)\|^2 = \|\mathbf{d}(\omega) - \hat{\mathbf{d}}(\omega)\|^2$ を最小化するフィルタ $\mathbf{w}(\omega)$ を求める最小化問題となる。したがって、最小化する目的関数 J は以下の式で表される。

[0036] [数3]

$$J = \|\mathbf{e}(\omega)\|^2 = (\mathbf{d}(\omega) - \mathbf{G}(\omega)\mathbf{w}(\omega))^H (\mathbf{d}(\omega) - \mathbf{G}(\omega)\mathbf{w}(\omega)). \quad (3)$$

[0037] ここで、上付き添字 H は複素共役転置を表す。 $\mathbf{w}(\omega)$ に対して、式(3)で表される目的関数 J を最小化する問題を解くことで、以下の指向性制御のフィルタが求まる。

[0038]

[数4]

$$\mathbf{w}(\omega) = \frac{\mathbf{G}(\omega)^H \mathbf{d}(\omega)}{\mathbf{G}(\omega)^H \mathbf{G}(\omega)}. \quad (4)$$

[0039] (2) 罰則項によるフィルタゲイン抑圧

指向性を制御するフィルタを設計する際に、フィルタからの出力音源に影響を与えるフィルタゲインが含まれた形でフィルタが算出される。

[0040] [数5]

指向性を制御するフィルタを設計する際に、フィルタからの出力音源に影響を与えるフィルタゲインが含まれた形でフィルタが算出される。ここで、ある角周波数 ω における m 番目のマイクロホンに対応するフィルタゲイン $F_m^{\text{gain}}(\omega)$ は以下のように定義する。

$$F_m^{\text{gain}}(\omega) = |w_m(\omega)| = w_m(\omega)^* w_m(\omega). \quad (5)$$

[0041] ここで、 $w_m(\omega)$ は、 m 番目のマイクロホンに対応するフィルタ係数を表す。また、上付きの $*$ は複素共役を表す。フィルタゲインが大きいと、入力信号も比例して大きくなり、收音した信号に混入したノイズが増幅してしまい性能低下の原因となる。それに対して、フィルタを導出する目的関数に対して後述する罰則項を用いて、指向性を制御するフィルタを導出する手法がある。この際、フィルタゲインを抑圧するために、フィルタ係数の二乗和を罰則項として用いている。

[0042] 最小二乗法による指向性制御のフィルタを例に、罰則項が用いられた際の指向性制御のフィルタを考える。式(3)の目的関数に罰則項を用いると、以下となる。

[0043] [数6]

$$J = \|\mathbf{e}\|^2 + \beta(\omega) \|\mathbf{w}(\omega)\|^2. \quad (6)$$

[0044] ここで、 $\beta(\omega)$ は正則化パラメータであり、損失項である $\|\mathbf{e}\|^2$ と、罰則項である $\|\mathbf{W}(\omega)\|^2$ との相対的な重みを制御するパラメータである。式(4)と同様に、 $\mathbf{w}(\omega)$ に関する最小化問題を解くことで、以下の指向性制御のフィルタ $\mathbf{W}(\omega)$ が求まる。

[0045]

[数7]

$$\mathbf{w}(\omega) = \frac{\mathbf{G}(\omega)^H \mathbf{d}(\omega)}{\mathbf{G}(\omega)^H \mathbf{G}(\omega) + \beta(\omega) \mathbf{I}} \quad (7)$$

[0046] ここで、 $\mathbf{I}$ はM行M列の単位行列であり、Mはマイクロホン数を示す。

[0047] (3) サイドローブを抑圧した指向特性の設計

マイクロホンアレイあるいはスピーカアレイを用いた指向性制御における課題の一つとして、所望の方向以外への指向特性が生じるサイドローブがある。サイドローブが生じる要因の一つとして、再現するのが難しい所望の特性を設定することがあげられる。指向性制御の代表的な手法として、所望の指向特性と再現される指向特性の誤差を最小化する手法がある。所望の指向特性として目標方向を1、それ以外の方向を0と設定されることが多いが、再現するのが困難な指向特性であり、また全体の最小化を目標とする手法であるため、サイドローブの形状等を制御することが困難である。

[0048] 非特許文献1に基づく方法では、最小二乗法を用いて指向性制御を行う際に、所望の指向特性を窓関数に置き換えることで、目標方向以外への指向特性であるサイドローブを抑圧している。所望の指向特性として窓関数を設定するため、目標の方向への指向特性のビーム幅は広くなるものの、サイドローブを抑圧できることが確認されている。

[0049] (4) 球面調和関数

図6に定義される極座標系を考える。このとき、球面上の任意の点で観測される音圧 $S(r, \omega)$ は以下の式で表される。

[0050] [数8]

$$S(\mathbf{r}, \omega) = \sum_{n=0}^{\infty} A_{n,m}(\omega) Y_{n,m}(\theta, \phi). \quad (8)$$

[0051] ここで、 $Y_{n,m}(\theta, \phi)$ は球面調和関数、 $A_{n,m}(\omega)$ はその展開係数であり、以下の式で定義される。

[0052] [数9]

$$Y_{n,m}(\theta, \phi) = \sqrt{\frac{2n+1}{4\pi} \frac{(n-m)!}{(n+m)!}} P_{n,m}(\cos \theta) e^{jm\phi}, \quad (9)$$

[0053] [数10]

$$A_{n,m}(\omega) = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi S(r, \theta, \phi, \omega) Y_{n,m}(\theta, \phi)^* \sin \theta \, d\phi d\theta. \quad (10)$$

[0054] ここで、 $P_{n,m}(\cdot)$ はルジャンドル陪関数であり、式(12)は球面調和関数展開と呼ばれる。また、 $Y_{n,m}(\theta, \phi)^*$ は球面調和関数の複素共役である。最大次数を N としたとき、次数 n と位数 m はそれぞれ $0 \leq n \leq N$ 、 $-n \leq m \leq n$ の値となる。また、次数が大きいほど複雑な形状の音場を表現することが可能である。図7に $N=3$ までの球面調和関数を示す。

[0055] 一般的に、 (θ, ϕ) を等間隔で配置した制御点により球面調和関数展開係数を導出するには式(10)を近似した以下の式で求められる。

[0056] [数11]

$$\begin{aligned} A_{n,m}(\omega) &= \int_0^{2\pi} \int_0^\pi S(r, \theta, \phi, \omega) Y_{n,m}(\theta, \phi)^* \sin \theta \, d\phi d\theta. \\ &\approx \sum_{q=1}^Q \alpha_q S(r, \theta, \phi, \omega) Y_{n,m}(\theta, \phi)^* \end{aligned} \quad (11)$$

[0057] ここで、 α_q は補正係数である。式(11)に示すように積分を離散和で表現する際に近似が入るため正確な展開係数を得ることができない。

[0058] しかし、連続積分と離散和を一致させるため最適な制御点配置を導出する手法が知られている。この手法は、`t-design`と呼ばれ、文献「Zotter, Franz, and Matthias Frank. Ambisonics: A practical 3D audio theory for recording, studio production, sound reinforcement, and virtual reality. Springer Nature, 2019.」に記されている。`t-design`では、式(11)のような近似ではなく、正確に球面調和関数展開係数 $A_{n,m}(\omega)$ を導出することができる。

[0059] (5) この発明の一実施形態における指向性制御

以下、指向性制御装置1により実行される收音指向性制御について説明する。図4は、指向性制御装置1により実行されるマイクロホンアレイMCの指向性制御の処理手順と処理内容を示すフローチャートである。ここでは、`t-design`の球面調和関数展開を用いて補正した所望の指向特性と再

現される指向特性との誤差の二乗和と、フィルタ係数が任意の範囲内に収まるような指示関数を目標関数とした近接勾配法を解くことで所望の指向性再生を実現するフィルタを設計する例について説明する。

[0060] (5-1) 所望の指向特性の決定

システム管理者またはユーザは、マイクロホンアレイMCに再現したい所望の收音方向を入出力装置2に入力する。入出力装置2は、所望の收音方向を表す收音方向信号DSを生成して指向性制御装置1に送る。

[0061] 指向性制御装置1の制御部10は、入出力装置2から收音方向信号DSを入出力I/F40を介して取り込み、指向特性決定処理部11の制御の下、ステップS11において、收音方向信号DSから所望の指向特性を決定する。所望の指向特性は、 $t-d e s i g n$ により配置された制御点 $C P_q$ において観測される信号に対応する。指向性制御装置1の制御部10は、指向特性決定処理部11により決定された所望の指向特性を指向特性記憶部31に記憶させる。

[0062] (5-2) 所望の指向特性の補正

指向性制御装置1の制御部10は、指向特性決定処理部11により所望の指向特性が決定されると、続いて指向特性補正処理部12の制御の下、ステップS12において、指向特性補正処理部12は、指向特性記憶部31から所望の指向特性を読み込み、所望の指向特性を補正する。このため、指向特性補正処理部12は、入力された指向特性に対して、最大次数 N_{max} を用いて以下に示す式により球面調和関数展開係数 $A_{n,m}$ を計算する。 N_{max} は $t-d e s i g n$ の設計時に一意に求まる。

[0063]

[数12]

$$\begin{aligned}
 A_{n,m} &= \int_0^{2\pi} \int_0^\pi d(\theta, \phi) Y_{n,m}^*(\theta, \phi) \sin(\theta) d\theta d\phi \\
 &= \sum_{q=1}^Q d(\theta, \phi) Y_{n,m}(\theta, \phi)^*.
 \end{aligned} \tag{12}$$

ここで、 $Y_{n,m}(\theta, \phi)$ は球面調和関数を、 n および m はそれぞれ球面調和関数の次数と位数を、 $Y_{n,m}(\theta, \phi)^*$ は球面調和関数の複素共役を表す。また、得られた球面調和関数展開係数を用い、任意の次数 $\hat{N} < N_{\max}$ を用いて以下の式により所望の指向特性 $\hat{\mathbf{d}} = [\hat{d}(\theta_1, \phi_1), \hat{d}(\theta_2, \phi_2), \dots, \hat{d}(\theta_Q, \phi_Q)]^T$ を導出する。

[0064] [数13]

$$\hat{d}(\theta_q, \phi_q) = \sum_{n=0}^{\hat{N}} \sum_{m=-n}^n A_{n,m} Y_{n,m}(\theta_q, \phi_q). \tag{13}$$

ここで、 $\hat{N}$ に大きな値を与えるほど指向特性 $\hat{\mathbf{d}}$ は複雑な形状となり、小さな値ほど簡単な形状となる。次数 $\hat{N}$ を任意に設定することで入力された所望の指向特性 $\mathbf{d}$ の補正を行う。

[0065] (5-3) 指向性制御のフィルタの設計

次に指向性制御装置1の制御部10は、指向性制御フィルタ設計処理部13の制御の下、ステップS13において、指向特性補正処理部12により補正された所望の指向特性により設定された目的関数、マイクロホンのゲインの範囲制約の下、式(3)で表される目的関数の最適化問題を解くことにより、指向性制御のフィルタを算出する。ここでは、以下のような最適化問題を定義する。

[0066] [数14]

$$\min_{\mathbf{w}} \frac{1}{2} (\hat{\mathbf{d}} - \mathbf{G}\mathbf{w})^H (\hat{\mathbf{d}} - \mathbf{G}\mathbf{w}) + \iota_C(\mathbf{w}). \tag{14}$$

ここで、 $\mathbf{G}(\omega)$ はマイクロホンアレイを構成する M 個のマイクロホンから N 個の制御点までの伝達関数を格納した N 行 M 列の伝達関数行列であり、 $\mathbf{w}(\omega) = [w_1(\omega), w_2(\omega), \dots, w_M(\omega)]$ は各マイクロホンに対応するフィルタ係数 $w_m(\omega)$ を格納したフィルタ係数ベクトルを表す。また、 $\iota_C(\mathbf{w})$ は各マイクロホンのフィルタ係数に対する指示関数であり、各マイクロホンのフィルタ係数は $C := [a, b]^N (a < b)$ の範囲に投影される。ここで、簡単のため $f(\mathbf{w}) = \frac{1}{2} (\hat{\mathbf{d}} - \mathbf{G}\mathbf{w})^H (\hat{\mathbf{d}} - \mathbf{G}\mathbf{w})$, $g(\mathbf{w}) = \iota_C(\mathbf{w})$ と定義する。

[0067] [数15]

$$\min_{\mathbf{w}} f(\mathbf{w}) + g(\mathbf{w}). \quad (15)$$

[0068] 式(14)に対して $\mathbf{w}$ に関する劣微分を求めることで、以下のアルゴリズムが得られる。

[0069] [数16]

$$0 \in \nabla f(\mathbf{w}) + \partial g(\mathbf{w}) \Rightarrow \mathbf{w} = \text{prox}_{\gamma, \iota_C}(\mathbf{w} - \gamma \nabla f(\mathbf{w})). \quad (16)$$

[0070] ここで、 γ は更新率であり、 prox は近接演算子を表す。得られたアルゴリズムの更新式は以下で表される。

[0071] [数17]

近接勾配法による処理の流れ

1: 主変数、双対変数、更新回数の初期化 $\mathbf{w}^0, k = 0$

2: **while** $k < T_{\max}$

3: $\mathbf{w}^{k+1} = \text{prox}_{\gamma, \iota_C}(\mathbf{w}^k - \gamma \nabla f(\mathbf{w}^k))$

4: $k \leftarrow k + 1$

5: **end while**

6: 出力 $\mathbf{w} \leftarrow \mathbf{w}^{k+1}$

[0072] ここで、 k は更新回数、 $T_{\max}$ は最大更新回数であり更新回数 k が最大更新回数 $T_{\max}$ を超えた時点でアルゴリズムが停止する。以上のアルゴリズムを用いることでフィルタゲインを任意の範囲に納めた指向性制御のフィルタを算出することができる。

[0073] 指向性制御装置1の制御部10は、指向性制御フィルタ設計処理部13により算出された指向性制御のフィルタをフィルタ記憶部32に記憶させる。

[0074] (5-4) 入力音響信号とフィルタの畳み込み

指向性制御のフィルタの算出および保存処理が終了すると、指向性制御装置1の制御部10は、以後、マイクロホンアレイMCの指向性制御の処理を以下のように実行する。

[0075] すなわち、指向性制御装置1の制御部10は、マイクロホンアレイMCから入力音響信号ISを音響信号I/F50により受信する。このとき、入力

音響信号 I_S は、アナログ信号であれば音響信号 $I/F50$ によりデジタル信号に変換される。続いて、指向性制御装置 1 の制御部 10 は、畳み込み演算処理部 14 の制御の下、ステップ S14 において、音響信号 $I/F50$ により受信された入力音響信号 I_S と、フィルタ記憶部 32 に記憶されている指向性制御のフィルタとの畳み込み演算を行う。これにより、所望の目標方向の音が高い指向性で制御された音響信号が生成される。生成された音響信号は、音響信号 $I/F50$ によりアナログ信号に変換された後、出力音響信号 O_S として出力される。

[0076] (効果)

以上に述べたように、この発明の一実施形態に係る指向性制御装置 1 は、マイクロホンアレイ MC の各マイクロホン $MC_1 \sim MC_M$ から入力される入力音響信号 $I_{S_1} \sim I_{S_M}$ と、各マイクロホンに対応する指向性制御のフィルタとの畳み込み演算を行うことにより、所望の目標方向の音が高い指向性で制御された出力音響信号 O_S を生成する装置である。

[0077] 指向特性決定処理部 11 において、入力された收音方向から所望の指向特性を決定する。

[0078] 指向特性補正処理部 12 において、所望の指向特性を、 $t-d e s i g n$ による球面調和関数展開を用いて補正する。

[0079] 指向性制御フィルタ設計処理部 13 において、フィルタ係数が任意の範囲内に収まるような指示関数を目標関数とした近接勾配法を解くことで、所望の指向性再生を実現する指向性制御のフィルタを設計する。

[0080] 畳み込み演算処理部 14 において、入力される入力音響信号 I_S と、算出された指向性制御のフィルタとの畳み込み演算を行うことにより、所望の目標方向の音が高い指向性で制御された出力音響信号を生成する。

[0081] [他の実施形態]

なお、この発明は上記実施形態に限定されるものではない。例えば、一実施形態では、指向性制御装置 1 により実行される指向特性補正処理、指向性制御フィルタ設計処理、および畳み込み演算処理を、すべてハードウェアプ

ロセッサ（CPU）にプログラムを実行させることで実現する場合を例にと
って説明した。しかし、これらの機能の一部または全てを、ASIC（Appli
cation Specific Integrated Circuit）またはDMC（Digital Signal Proc
essor）等の特定用途向けに構成された集積回路を用いて実現してもよい。

[0082] 要するにこの発明は、上記実施形態そのままに限定されるものではなく、
実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できる
。また、上記実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせに
より種々の発明を形成できる。例えば、実施形態に示される全構成要素から
幾つかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施形態に亘る構成要
素を適宜組み合わせてもよい。

符号の説明

[0083] MC₁～MC_M…マイクロホン
CP₁～CP_Q…制御点
1…指向性制御装置
2…入力装置
10…制御部
11…指向特性決定処理部
12…指向特性補正処理部
13…指向性制御フィルタ設計処理部
14…畳み込み演算処理部
20…プログラム記憶部
30…データ記憶部
31…指向特性記憶部
32…フィルタ記憶部
40…入出力I/F
50…音響信号I/F

請求の範囲

- [請求項1] 複数のマイクロホンに有するマイクロホンアレイから入力される入力音響信号の指向性を制御する指向性制御装置であって、
所望の收音方向から所望の指向特性を決定する指向特性決定処理部と、
前記所望の指向特性を、球面調和関数展開を用いて補正する指向特性補正処理部と、
補正された前記所望の指向特性を基に、各マイクロホンに対応する指向性制御のフィルタを設計する指向性制御フィルタ設計処理部と、
音響信号と前記指向性制御のフィルタの畳み込み演算を行い、前記指向性が前記所望の指向特性に制御された音響信号を生成する畳み込み演算処理部とを有する、
指向性制御装置。
- [請求項2] 前記指向特性補正処理部は、前記所望の指向特性を、 $t - d e s i g n$ で設計された制御点による最大の次数の球面調和関数により球面調和関数の展開係数の導出を行い、得られた展開係数をもとに任意に指定した次数で指向特性を再構成することにより、前記所望の指向特性を補正する、
請求項1に記載の指向性制御装置。
- [請求項3] 前記指向性制御フィルタ設計処理部は、前記所望の指向特性と再現される指向特性の誤差を最小化することにより前記フィルタを設計する、
請求項1に記載の指向性制御装置。
- [請求項4] 前記指向性制御フィルタ設計処理部は、各マイクロホンのフィルタゲインが所定の範囲に収まるように前記フィルタを設計する、
請求項1に記載の指向性制御装置。
- [請求項5] 複数のマイクロホンに有するマイクロホンアレイから入力される音響信号の指向性を制御する指向性制御方法であって、

所望の収音方向から所望の指向特性を決定するステップと、
前記所望の指向特性を、球面調和関数展開を用いて補正するステップと、

補正された前記所望の指向特性を基に、各マイクロホンに対応する指向性制御のフィルタを設計するステップと、

音響信号と前記指向性制御のフィルタの畳み込み演算を行い、前記指向性が前記所望の指向特性に制御された出力音響信号を生成するステップとを有する、

指向性制御方法。

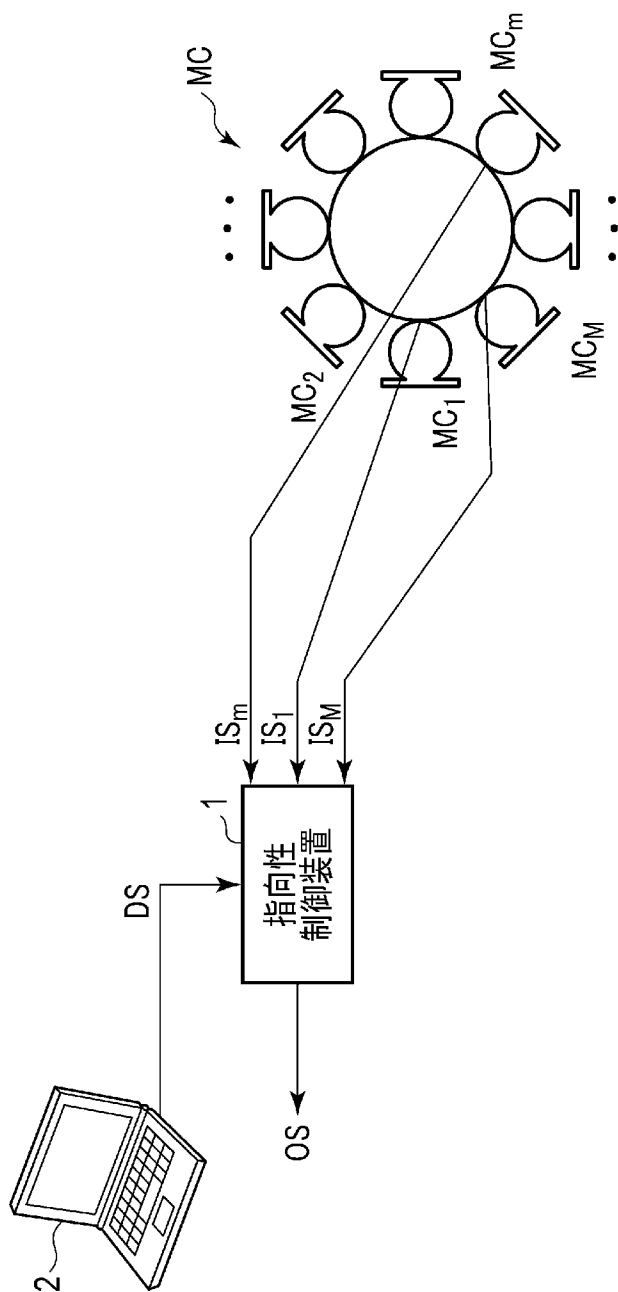
[請求項6]

プロセッサと記憶装置を有するコンピュータに、

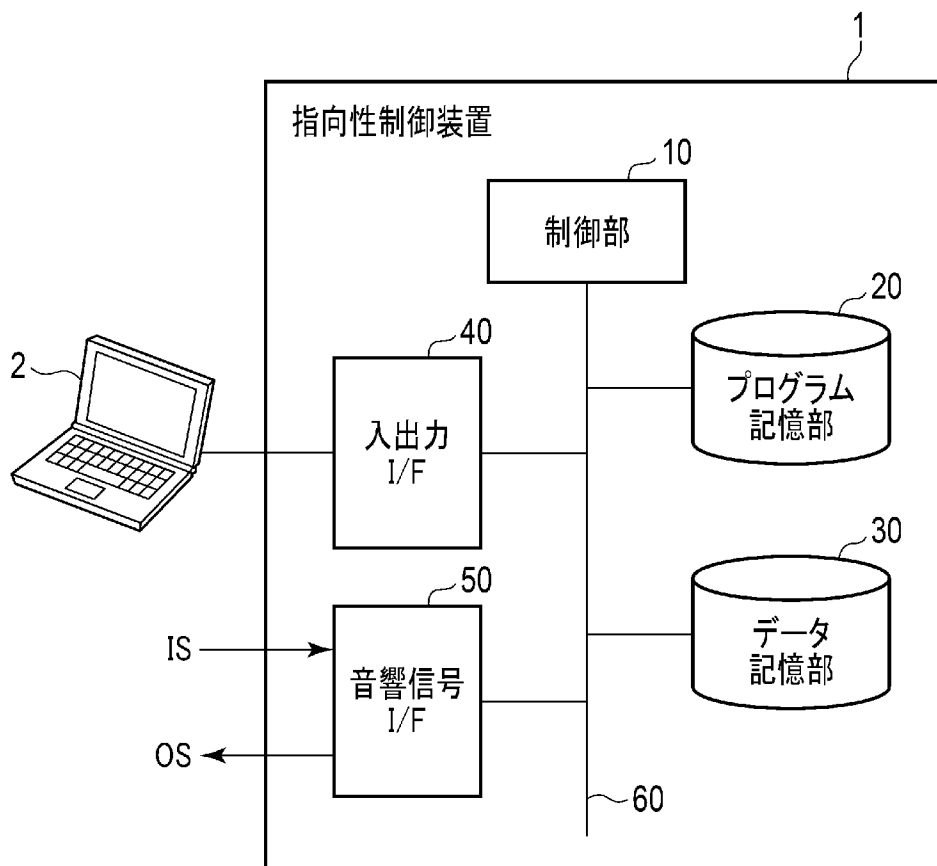
請求項 1 から 4 までのいずれかに記載の指向性制御装置が備える前記各処理部による処理の少なくとも一部を実行させる、

指向性制御プログラム。

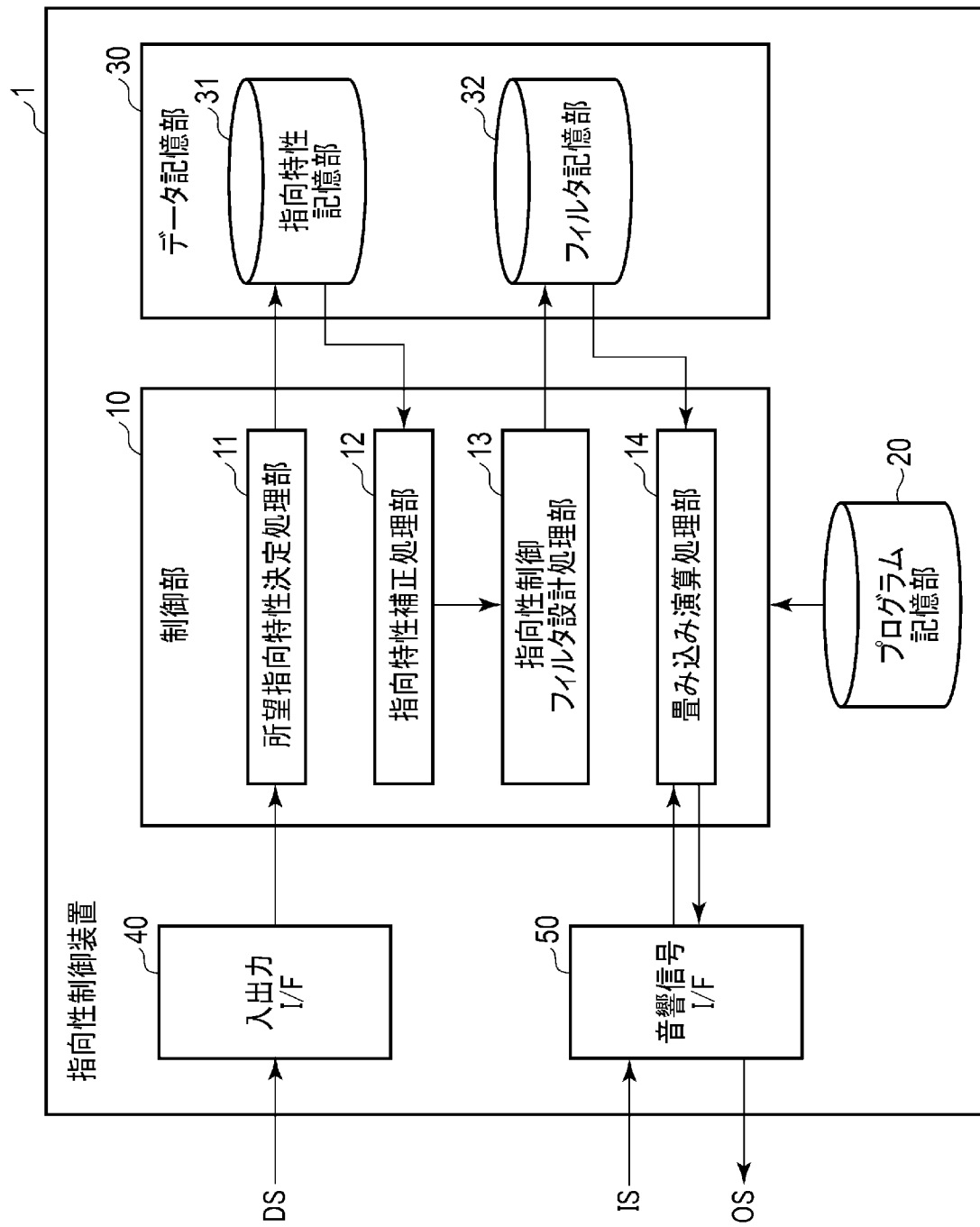
[図1]



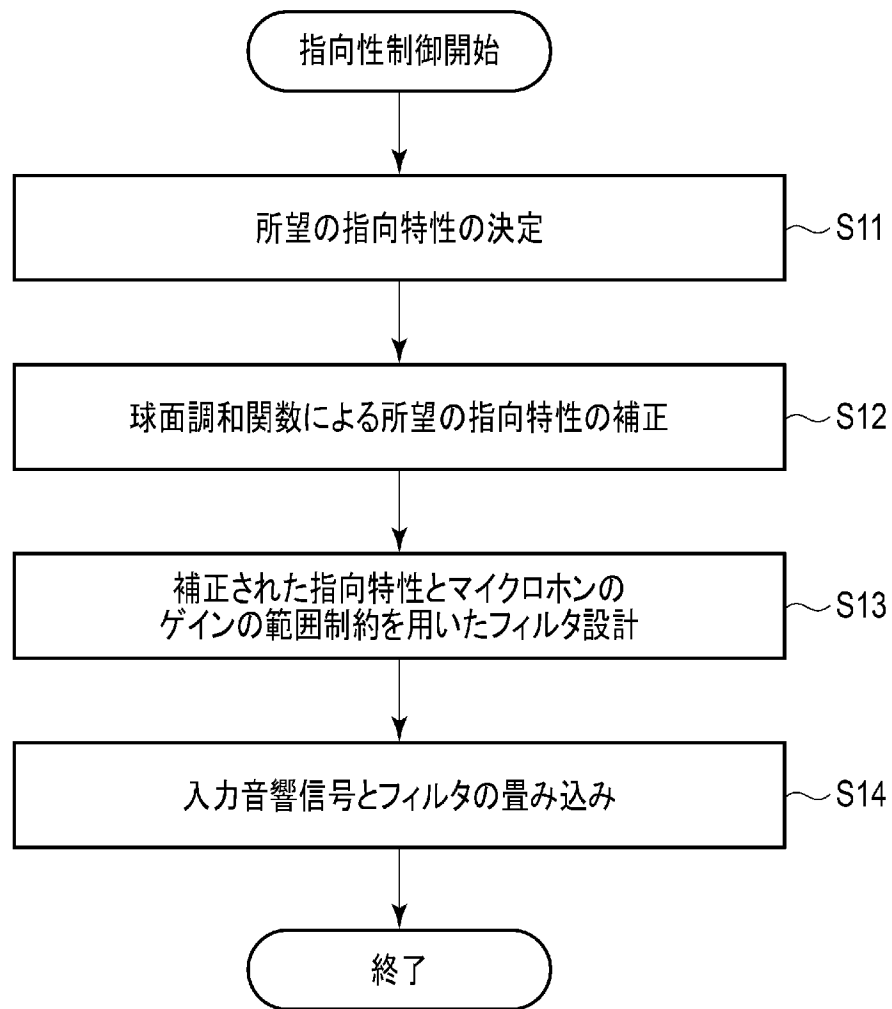
[図2]



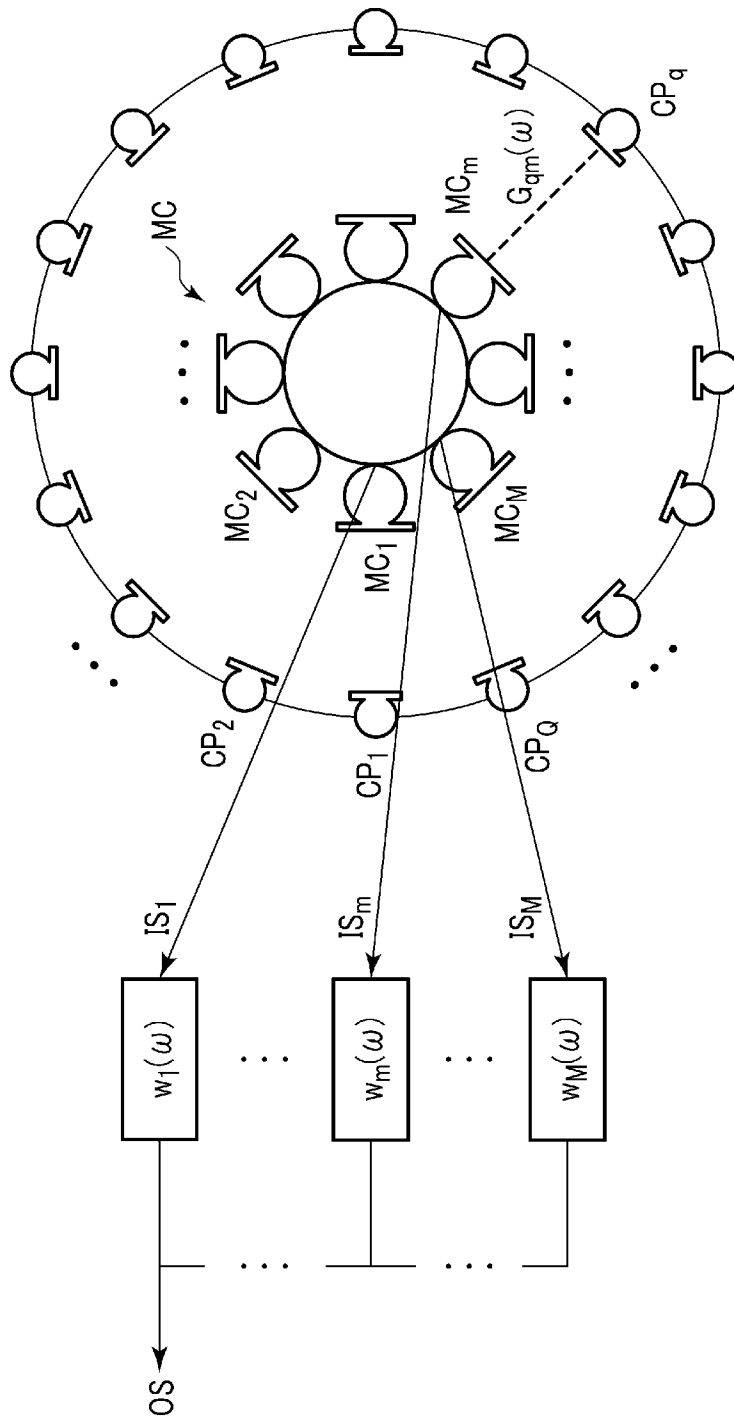
[図3]



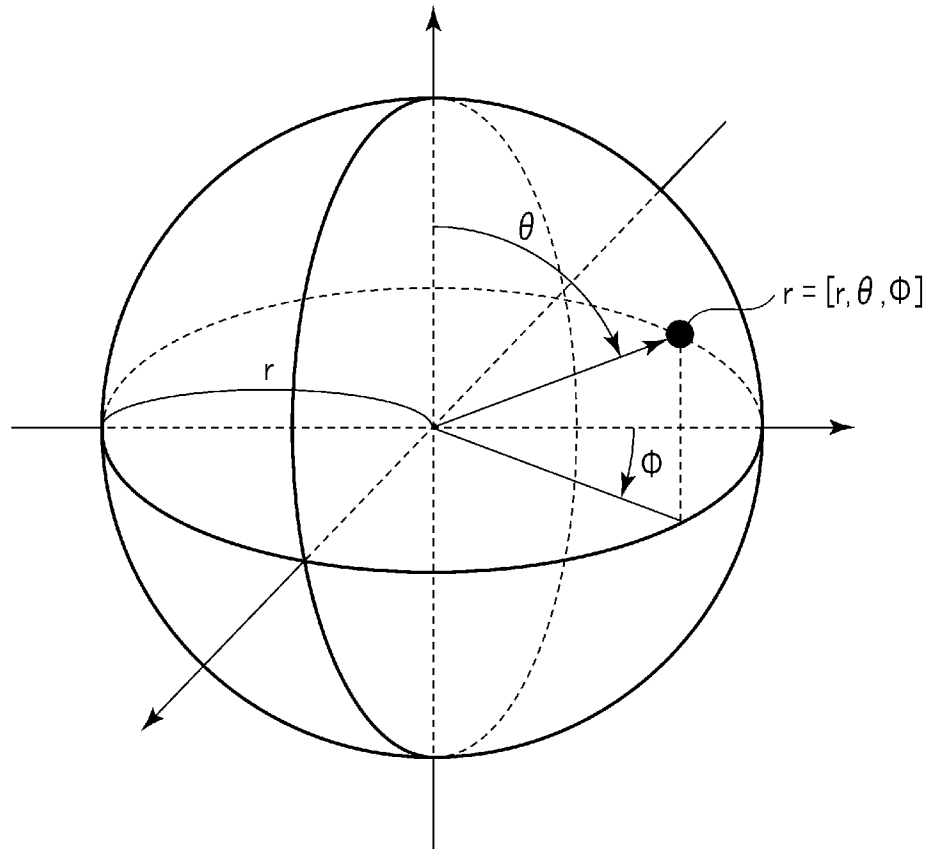
[図4]



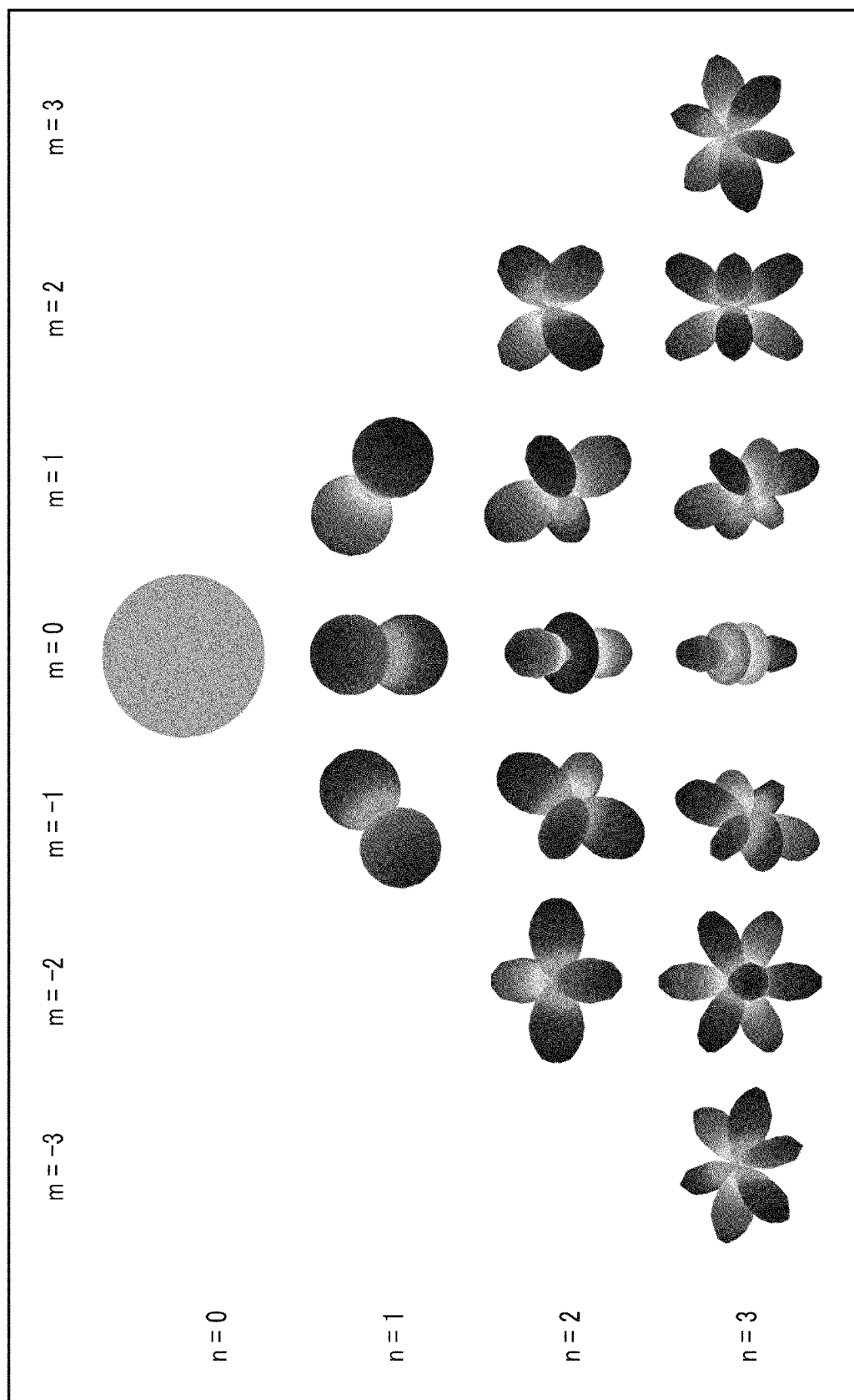
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/021257

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H04R 3/00**(2006.01)i; **H04R 1/40**(2006.01)i

FI: H04R3/00 320; H04R1/40 320A

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04R3/00; H04R1/40

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023

Registered utility model specifications of Japan 1996-2023

Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-523731 A (NTNU TECHNOLOGY TRANSFER AS) 04 October 2012 (2012-10-04) aragraphs [0176], [0261]-[0275], fig. 21	1-6
A	JP 2019-75616 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 16 May 2019 (2019-05-16) paragraphs [0007]-[0058], fig. 1-3	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

02 August 2023

Date of mailing of the international search report

15 August 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)

3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915

Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/021257

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2012-523731	A	04 October 2012	US	2012/0093344 A1
				paragraphs [0166], [0287]-	
				[0313], fig. 21	
				WO	2010/116153 A1
JP	2019-75616	A	16 May 2019	CN	102440002 A

				(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H04R 3/00(2006.01)i; H04R 1/40(2006.01)i FI: H04R3/00 320; H04R1/40 320A														
B. 調査を行った分野														
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H04R3/00; H04R1/40														
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年													
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）														
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
A	JP 2012-523731 A (エヌティーエヌユー テクノロジー トランスファー エーエス) 04.10.2012 (2012 - 10 - 04) 段落[0176], [0261]-[0275], 図21	1-6												
A	JP 2019-75616 A (日本電信電話株式会社) 16.05.2019 (2019 - 05 - 16) 段落[0007]-[0058], 図1-3	1-6												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの</td> <td>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献	“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの													
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 02.08.2023	国際調査報告の発送日 15.08.2023													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 堀 洋介 5Z 3996 電話番号 03-3581-1101 内線 3591													

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/021257

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2012-523731	A	04.10.2012	US 2012/0093344 A1 段落[0166],[0287]-[0313], 図21 WO 2010/116153 A1 CN 102440002 A	
JP	2019-75616	A	16.05.2019	(ファミリーなし)	