

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6106571号  
(P6106571)

(45) 発行日 平成29年4月5日(2017.4.5)

(24) 登録日 平成29年3月10日(2017.3.10)

(51) Int.Cl.	F I
G 1 O L 25/51 (2013.01)	G 1 O L 25/51 4 0 0
H O 4 R 3/00 (2006.01)	H O 4 R 3/00 3 2 0
G 1 O L 21/0272 (2013.01)	G 1 O L 21/0272 1 0 0 B

請求項の数 2 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2013-215271 (P2013-215271)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成25年10月16日 (2013.10.16)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2015-79080 (P2015-79080A)		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(43) 公開日	平成27年4月23日 (2015.4.23)	(74) 代理人	100121706
審査請求日	平成28年2月10日 (2016.2.10)		弁理士 中尾 直樹
		(74) 代理人	100128705
			弁理士 中村 幸雄
		(74) 代理人	100147773
			弁理士 義村 宗洋
		(72) 発明者	ガブリエル パブロ ナバ
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	白木 善史
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 音源位置推定装置、方法及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

Nを2以上の整数とし、Lを実際の音源の数とし、JをL  $J < N$  の関係を満たす整数とし、Kを2以上の整数とし、 $S_i$ をi番目の仮想的な音源の位置とし、n番目の検査ポイント $P_n$ を所定の位置とし、 $\theta_{k,n,i}$ をマイクロホンアレイkから見た仮想的な音源の位置 $S_i$ を基準とする検査ポイント $P_n$ の方向として、

J個の検査ポイント $P_n$  ( $n=1, 2, \dots, J$ )の各々について、各マイクロホンアレイkで、ある仮想的な音源の位置 $S_i$ を基準として各検査ポイント $P_n$ の方向をビームフォーミング測定することにより各周波数  $f$  についての観測信号のパワースペクトル $Y_k(f, \theta_{k,n,i})$ を取得し、これらの取得された $Y_k(f, \theta_{k,n,i})$ に基づく検査ポイント $P_n$ についての観測信号のクロススペクトルを要素とするJ次元の観測結果ベクトル $\tilde{y}$ を生成する観測結果ベクトル生成部と、

各上記マイクロホンアレイkについての伝達関数 $H_k(f, \theta_{k,n,i})$ が記憶されている記憶部と、

上記記憶部から読み込んだ伝達関数 $H_k(f, \theta_{k,n,i})$ を用いて以下の式により定義される観測行列Bを生成する観測行列生成部と、

【数 1 4】

$$B = \begin{pmatrix} \hat{H}(\omega, P_1, S_1) & \cdots & \hat{H}(\omega, P_1, S_N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{H}(\omega, P_J, S_1) & \cdots & \hat{H}(\omega, P_J, S_N) \end{pmatrix}$$

$$\hat{H}(\omega, P_n, S_i) = \prod_{k=1}^K H_k(\omega, \phi_{k,n,i}), \quad n \in \{1, 2, \dots, J\}, i \in \{1, 2, \dots, N\}$$

上記観測結果ベクトル $\sim y$ 及び上記観測行列 $B$ を用いて $\sim y = Bx$ という関係を満たす未知ベクトル $x$ の中でノルムが最小となる未知ベクトル $x$ を計算し、そのノルムが最小となる未知ベクトル $x$ の要素の中で絶対値が大きいものから $L$ 個の要素に対応する $L$ 個の仮想的な音源の位置 $S_i$ を推定された音源の位置として出力する音源位置推定部と、

10

を含む音源位置推定装置。

【請求項 2】

$N$ を2以上の整数とし、 $L$ を実際の音源の数とし、 $J$ を $L < J < N$ の関係を満たす整数とし、 $K$ を2以上の整数とし、 $S_i$ を $i$ 番目の仮想的な音源の位置とし、 $n$ 番目の検査ポイント $P_n$ を所定の位置とし、 $\phi_{k,n,i}$ をマイクロホンアレイ $k$ から見た仮想的な音源の位置 $S_i$ を基準とする検査ポイント $P_n$ の方向とし、

記憶部には、各上記マイクロホンアレイ $k$ についての伝達関数 $H_k(\omega, \phi_{k,n,i})$ が記憶されているとして、

20

観測ベクトル生成部が、 $J$ 個の検査ポイント $P_n$  ( $n=1, 2, \dots, J$ )の各々について、各マイクロホンアレイ $k$ で、ある各仮想的な音源の位置 $S_i$ を基準として各検査ポイント $P_n$ の方向をビームフォーミング測定することにより各周波数 $\omega$ についての観測信号のパワースペクトル $Y_k(\omega, \phi_{k,n,i})$ を取得し、これらの取得された $Y_k(\omega, \phi_{k,n,i})$ に基づく検査ポイント $P_n$ についての観測信号のクロススペクトルを要素とする $J$ 次元の観測結果ベクトル $\sim y$ を生成する観測結果ベクトル生成ステップと、

観測行列生成部が、上記記憶部から読み込んだ伝達関数 $H_k(\omega, \phi_{k,n,i})$ を用いて以下の式により定義される観測行列 $B$ を生成する観測行列生成ステップと、

【数 1 5】

$$B = \begin{pmatrix} \hat{H}(\omega, P_1, S_1) & \cdots & \hat{H}(\omega, P_1, S_N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{H}(\omega, P_J, S_1) & \cdots & \hat{H}(\omega, P_J, S_N) \end{pmatrix}$$

$$\hat{H}(\omega, P_n, S_i) = \prod_{k=1}^K H_k(\omega, \phi_{k,n,i}), \quad n \in \{1, 2, \dots, J\}, i \in \{1, 2, \dots, N\}$$

30

音源位置推定部が、上記観測結果ベクトル $\sim y$ 及び上記観測行列 $B$ を用いて $\sim y = Bx$ という関係を満たす未知ベクトル $x$ の中でノルムが最小となる未知ベクトル $x$ を計算し、そのノルムが最小となる未知ベクトル $x$ の要素の中で絶対値が大きいものから $L$ 個の要素に対応する $L$ 個の仮想的な音源の位置 $S_i$ を推定された音源の位置として出力する音源位置推定ステップと、

40

を含む音源位置推定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、音源位置を推定する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

50

音響ビームフォーミングを用いてTV会議室等の空間における音源位置を特定する音源定位技術が知られている。音響ビームフォーミングは、マイクロホンアレイを空間的に異なる位置に配置し、それらの出力信号に時空間フィルタを施すことで指向性を制御し、特定方向からの音響信号のみを得る技術である。非特許文献1には、1個のマイクロホンアレイを用いて音響ビームフォーミングを行うことで特定の領域に存在する音源位置を特定する技術が知られている（例えば、非特許文献1参照。）。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献1】WOLFGANG H. KUMMER, “Basic Array Theory”, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL.80, NO.1, JANUARY 1922 10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、非特許文献1の技術では、音響ビームフォーミングの指向方向の共線上に複数の音源がある場合には、各音源を区別することができない。

【0005】

この発明の目的は、音響ビームフォーミングの指向方向の共線上に複数の音源がある場合であっても、これらの複数の音源の位置を推定することができる音源位置推定装置、方法及びプログラムを提供することである。 20

【課題を解決するための手段】

【0006】

この発明の1つの態様による音源位置推定装置によれば、Nを2以上の整数とし、Lを実際の音源の数とし、JをL <math>J < N</math>の関係を満たす整数とし、Kを2以上の整数とし、 $S_i$ をi番目の仮想的な音源の位置とし、n番目の検査ポイント $P_n$ を所定の位置とし、 $\phi_{k,n,i}$ をマイクロホンアレイkから見た仮想的な音源の位置 $S_i$ を基準とする検査ポイント $P_n$ の方向として、J個の検査ポイント $P_n$  ( $n=1, 2, \dots, J$ )の各々について、各マイクロホンアレイkで、ある仮想的な音源の位置 $S_i$ を基準として各検査ポイント $P_n$ の方向をビームフォーミング測定することにより各周波数 $\omega$ についての観測信号のパワースペクトル $Y_k(\omega, \phi_{k,n,i})$ を取得し、これらの取得された $Y_k(\omega, \phi_{k,n,i})$ に基づく検査ポイント $P_n$ についての観測信号のクロススペクトルを要素とするJ次元の観測結果ベクトル $\tilde{y}$ を生成する観測結果ベクトル生成部と、各マイクロホンアレイkについての伝達関数 $H_k(\omega, \phi_{k,n,i})$ が記憶されている記憶部と、記憶部から読み込んだ伝達関数 $H_k(\omega, \phi_{k,n,i})$ を用いて以下の式により定義される観測行列Bを生成する観測行列生成部と、 30

【0007】

【数1】

$$B = \begin{pmatrix} \hat{H}(\omega, P_1, S_1) & \cdots & \hat{H}(\omega, P_1, S_N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{H}(\omega, P_J, S_1) & \cdots & \hat{H}(\omega, P_J, S_N) \end{pmatrix}$$

40

$$\hat{H}(\omega, P_n, S_i) = \prod_{k=1}^K H_k(\omega, \phi_{k,n,i}), \quad n \in \{1, 2, \dots, J\}, \quad i \in \{1, 2, \dots, N\}$$

【0008】

観測結果ベクトル $\tilde{y}$ 及び観測行列Bを用いて $\tilde{y} = Bx$ という関係を満たす未知ベクトルxの中でノルムが最小となる未知ベクトルxを計算し、そのノルムが最小となる未知ベクトルxの要素の中で絶対値が大きいものからL個の要素に対応するL個の仮想的な音源の位置 $S_i$ を推定された音源の位置として出力する音源位置推定部と、を含む。

【発明の効果】

【0009】

50

音響ビームフォーミングの指向方向の共線上に複数の音源がある場合であっても、これらの複数の音源の位置を推定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】音源位置推定装置の例を説明するためのブロック図。

【図2】音源位置推定方法の例を説明するための流れ図。

【図3】発明の技術的背景を説明するための流れ図。

【図4】発明の技術的背景を説明するための流れ図。

【図5】発明の技術的背景を説明するための流れ図。

【発明を実施するための形態】

【0011】

[技術的背景]

まず、この発明の技術的背景について説明する。

【0012】

Kをマクロホンアレイの数、Lを実際の音源の数とする。また、Nをビームフォーミング測定を行うための当初の検査ポイントの数（従来法において必要な検査ポイントの数）とする。Kは2以上の正の整数であり、Lは1以上の正の整数であり、NはL<Nを満たす正整数である。すなわち、Nは2以上の正の整数である。

【0013】

なお、JをL J<<Nという関係を満たす整数として、ビームフォーミング測定を行うための実際の検査ポイントの数をJ個にすることができるが、これについては後述する。

【0014】

k番目(k=1,2,...,K)のマикроホンアレイの伝達関数 $H_k(\omega, \theta)$ を以下のように表すものとする。Mはk番目のマクロホンアレイを構成するマイクの数である。

【0015】

【数2】

$$H_k(\omega, \theta) = \frac{1}{M} a_k^A(\omega, \theta) a_k(\omega, \theta)$$

【0016】

ここで、 $a_k(\omega, \theta)$ は以下のように表されるものとする。

【0017】

【数3】

$$a_k(\omega, \theta) = [e^{j\frac{\omega d}{c}(0)\sin\theta}, e^{j\frac{\omega d}{c}(1)\sin\theta}, \dots, e^{j\frac{\omega d}{c}(M-1)\sin\theta}]^T$$

【0018】

ここで、 $\theta$ は指向方向、 $\omega$ は周波数、cは音速、jは虚数単位、dはk番目のマクロホンアレイにおける各マイク間の距離、 $A$ は行列又はベクトルの複素共役転置、Tは行列又はベクトルの転置を表す。なお、指向方向 $\theta$ は、図3に示すように、例えば各マクロホンアレイを構成するマイクの配列方向に対する垂直方向とのなす角度で定義される。

【0019】

また、dは、全てのマクロホンアレイにおいて同じであってよいし、マクロホンアレイごとに異なってもよい。このことを明らかにするために、図3では、dのことを $d_k$ と表記している。同様に、Mは、全てのマクロホンアレイにおいて同じであってよいし、マクロホンアレイごとに異なってもよい。このことを明らかにするために、図3では、Mのことを $M_k$ と表記している。

【0020】

今、位置Sに音源が存在していると仮定すると、各マクロホンアレイで位置Sの方向をビームフォーミング測定することにより得られる観測信号のクロスパワースペクトル $\Psi(\omega, S)$ は、以下のように表すことができる。なお、より正確には、 $\Psi(\omega, S)$ はクロスパワースペクトルの周波数帯域 $\omega$ の成分である。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 1 】

【数 4】

$$\hat{Y}(\omega, S) = \hat{H}(\omega, S) \hat{X}(\omega, S)$$

【 0 0 2 2 】

ここで、 $\hat{Y}(\omega, S)$ 、 $\hat{H}(\omega, S)$ 、 $\hat{X}(\omega, S)$ は以下の式により表わされる。

【 0 0 2 3 】

【数 5】

$$\hat{Y}(\omega, S) = \prod_{k=1}^K Y_k(\omega, \theta_k)$$

10

$$\hat{H}(\omega, S) = \prod_{k=1}^K |H_k(\omega, \theta_k)|^2$$

$$\hat{X}(\omega, S) = X^2(\omega, S)$$

【 0 0 2 4 】

$\theta_k$ は、k番目のマイクロホンアレイから見た位置Sの音源の方向（角度）であり、 $Y_k(\omega, \theta_k)$ は、k番目のマイクロホンアレイで $\theta_k$ 方向をビームフォーミング測定して得られる観測信号のパワースペクトルである。また、 $X(\omega, S)$ は位置Sの音源の信号のパワースペクトルである。

20

【 0 0 2 5 】

$X(\omega, S)$ は位置Sに音源が存在していれば大きな値を取り、位置Sに音源が存在していなければ $X(\omega, S)=0$ となり得る。言い換えれば、位置Sの近くに音源が存在しているほど大きな値を取る。ゆえに、 $\hat{Y}(\omega, S)$ は、位置Sの近くに音源が存在しているほどその値が大きくなる。

【 0 0 2 6 】

2次元平面上での音源の位置を推定するためには、例えば図4のように、対象とする2次元平面上の領域を格子で分割し、格子の交点（以下、格子点とする。）のそれぞれを検査ポイント $P_n$  ( $n=1, 2, \dots, N$ )として順番にビームフォーミング測定を行う。すなわち、Nは音源位置推定の対象となる空間全体を網羅する数が必要となる。図4の例では、左上の格子点からスタートし、(1)順次右側の格子点についてのビームフォーミング測定が行われ、(2)一番右側の格子点についてのビームフォーミング測定が終わったら一列下の一番左側の格子点についてのビームフォーミング測定が行われる。この(1)(2)を繰り返すことにより、最終的には右下の格子点についてビームフォーミング測定が行われる。その後、各検査ポイントについての観測信号のクロスパワースペクトルを求め、その値が最大となる位置に音源が存在すると推定すればよい。

30

【 0 0 2 7 】

仮に、位置 $S_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ )にそれぞれ音源が存在すると仮定すると、観測信号のクロスパワースペクトル $\hat{Y}(\omega, S_i)$ は以下のように表せる。

【 0 0 2 8 】

【数 6】

$$\hat{Y}(\omega, S_i) = \sum_{n=1}^N \hat{H}(\omega, P_n, S_i) \hat{X}(\omega, S_i) \quad \dots(1)$$

40

【 0 0 2 9 】

ここで、 $\hat{H}(\omega, P_n, S_i)$ は以下のように表すことができる。

【 0 0 3 0 】

【数7】

$$\hat{H}(\omega, P_n, S_i) = \prod_{k=1}^K |\hat{H}_k(\omega, \phi_{k,n,i})|^2$$

$$\phi_{k,n,i} = |\theta_k(P_n) - \theta_k(S_i)| \quad \dots(2)$$

【0031】

ここで、 $\theta_k(P_n)$ はk番目のマイクロホンアレイからみた検査ポイント $P_n$ の方向(角度)であり、 $\theta_k(S_i)$ はk番目のマイクロホンアレイからみた位置 $S_i$ の方向(角度)である。もちろん本当の音源の位置は分からないので、上述の式では、全ての検査ポイント $P_n$ の位置のそれぞれに音源が存在すると仮定している。つまり、 $S_i$ と $P_n$ は同数と仮定している。位置 $S_i$ に本当に音源が存在していれば、 $\hat{Y}(\omega, S_i)$ は大きな値を取る。よって、観測信号により計算される $\hat{Y}(\omega, S_i)$ が大きな値を取る位置に音源が存在すると推定することができる。

10

【0032】

ここで、計算量を少なくするために、圧縮センシングの原理を応用することにより、図5のように例えばランダムに選ばれた少数の検査ポイントについてビームフォーミング測定を行った結果のみに基づいて音源位置を推定してもよい。

【0033】

圧縮センシングは、観測行列と観測結果ベクトルから未知ベクトルを推定する問題として定式化される。そこで、式(1)を行列形式で表すと以下のように書ける。

20

$$y = Hx \quad \dots(3)$$

【0034】

ここで、 $y, H, x$ は以下のように表される。

【0035】

【数8】

$$y = \begin{bmatrix} \hat{Y}(\omega, S_1) \\ \vdots \\ \hat{Y}(\omega, S_N) \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} \hat{X}(\omega, S_1) \\ \vdots \\ \hat{X}(\omega, S_N) \end{bmatrix}$$

30

$$H = \begin{bmatrix} \hat{H}(\omega, P_1, S_1) & \cdots & \hat{H}(\omega, P_1, S_N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{H}(\omega, P_N, S_1) & \cdots & \hat{H}(\omega, P_N, S_N) \end{bmatrix} \quad \dots(4)$$

【0036】

観測結果ベクトル $y$ は、各検査ポイントについてビームフォーミング測定をして得られた観測信号により得られたクロススペクトルを要素とするベクトルであるとする。未知ベクトル $x$ は、各位置 $S_i$ に音源が存在すると仮定したときの音源のパワースペクトルを要素とするベクトルとする。観測行列 $H$ は、検査ポイント $P_n$ の方向と音源が存在すると仮定される位置 $S_i$ の方向とに依存する伝達関数を要素とする行列であるとする。

40

【0037】

ここで、実際の音源の数が $L$ が $N$ よりも小さな数( $L < N$ )とすると、未知ベクトル $x$ の要素中で実際には音源が存在しない位置 $S_i$ に関する $\hat{X}(\omega, S_i)$ の値は0となり、未知ベクトル $x$ が疎なベクトルとなるので、圧縮センシングの理論を応用することで未知ベクトル $x$ を推定することができる。

【0038】

そこで、観測数である検査ポイントの数を $N$ ではなく、検査ポイントの数を $J$ とする。ただし、 $L \leq J < N$ とする。もちろん、 $L \leq J < N$ であってもよい。 $y$ から $J$ 個の検査ポイントについての観測信号をランダムに抽出するための変換行列 $A$ を考える。 $A$ は、 $H$ と無相関な $J \times N$ の行列である。例えば、 $J=5$ 、 $N=10$ としたとき、

50

【 0 0 3 9 】

【 数 9 】

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

【 0 0 4 0 】

といったような行列を用いればよい。そして、

$$B = AH$$

10

とおくと、式(3)の両辺に左からAを乗算することで、

$$\sim y = Bx \quad \dots (5)$$

が得られる。 $\sim y$ はJ個の検査ポイントについての観測信号から計算されるクロススペクトルを要素とするベクトル、すなわち、実際のビームフォーミング測定により得られる観測信号に基づくクロススペクトルの列である。よって、 $\sim y$ を観測結果ベクトル、Bを観測行列、xを未知ベクトルとして、圧縮センシングの理論を応用すれば、式(5)の疎な未知ベクトルxを推定することができる。すなわち、下記式を最小化する問題を解くことにより、未知ベクトルxを推定すればよい。

【 0 0 4 1 】

【 数 1 0 】

20

$$\tilde{x} = \arg \min \|x\|_1 \quad \dots (6)$$

*subject to*  $Bx = \tilde{y}$

【 0 0 4 2 】

このような $\sim x$ を求める方法としては、周知の基底追跡法(basis pursuit method)やmatching pursuit法及びその派生形、さらに不動点法、EMアルゴリズム(確率伝搬法)などを用いればよい(例えば、参考文献1参照。)。これによって $L_1$ ノルムを最小化あるいは近似的に最小化する方法がある。

【 0 0 4 3 】

【参考文献1】Richard Baraniuk, "Compressing Sensing", Lecture Notes in IEEE Signal Processing Magazine, Volume 24, July, 2007

30

【 0 0 4 4 】

$\sim x$ が求まると、 $\sim x$ の要素の中で大きな値を取る方からL個の要素に対応するL個の位置  $S_i$  が音源位置として特定される。

【 0 0 4 5 】

[実施形態]

音源位置推定装置の構成例を図1に示す。また、この音源位置推定装置による音源位置推定方法の流れを図2に示す。

【 0 0 4 6 】

音源位置推定装置は、観測結果ベクトル生成部1、記憶部2、観測行列生成部3及び音源位置推定部4を例えば備えている。

40

【 0 0 4 7 】

Nを2以上の整数とし、 $i=1, 2, \dots, N$ として、 $S_i$ をi番目の仮想的な音源の位置とする。当初の仮想的な音源の数はN個であるとする。

【 0 0 4 8 】

Lを実際の音源の数として、JをL  $J < N$ の関係を満たす整数とし、 $n=1, 2, \dots, J$ として、n番目の検査ポイント  $P_n$  を所定の位置とする。検査ポイント  $P_n$  の数はJ個である。

【 0 0 4 9 】

Kを2以上の整数とし、 $k=1, 2, \dots, K$ とする。マイクロホンアレイkの数はK個である。マイクロホンアレイkとは、k番目のマイクロホンアレイのことである。

50

## 【 0 0 5 0 】

$\phi_{k,n,i}$  を、マイクロホンアレイ  $k$  から見た仮想的な音源の位置  $S_i$  を基準とする検査ポイント  $P_n$  の方向とする。 $\phi_{k,n,i}$  は、例えば式 (2) のように定義される。

## 【 0 0 5 1 】

観測結果ベクトル生成部 1 は、各マイクロホンアレイ  $k$  で、ある仮想的な音源の位置  $S_i$  を基準として各検査ポイント  $P_n$  の方向をビームフォーミング測定することにより各周波数についての観測信号のパワースペクトル  $Y_k(\omega, \phi_{k,n,i})$  を取得し、これらの取得された  $Y_k(\omega, \phi_{k,n,i})$  に基づいて以下の式により定義される観測結果ベクトル  $\tilde{y}$  を生成する (ステップ S 1)。ここで、各検査ポイントにおいて測定対象とする仮想的な音源の位置は 1 つ ( $S_i$ ) とする。つまり、当初の  $N$  個の仮想的な音源位置のうち、 $J$  個の仮想的な音源位置を対象としてビームフォーミング測定を行う。生成された観測結果ベクトル  $\tilde{y}$  は、音源位置推定部 4 に提供される。

10

## 【 0 0 5 2 】

## 【数 1 1】

$$\tilde{y} = \begin{pmatrix} Y^{(1)}(\omega, S_1) \\ \vdots \\ Y^{(J)}(\omega, S_J) \end{pmatrix}$$

$$Y^{(n)}(\omega, S_i) = \prod_{k=1}^K Y_k(\omega, \phi_{k,n,i}), \quad n=1,2,\dots,J$$

20

## 【 0 0 5 3 】

$Y^{(n)}(\omega, S_i)$  は、観測結果ベクトル  $\tilde{y}$  の  $n$  番目の要素を意味する。つまり、 $\tilde{y}$  は、 $J$  個の検査ポイント  $P_n$  ( $n=1,2,\dots,J$ ) の各々について、ある仮想的な音源の位置  $S_i$  ( $i \in \{1,2,\dots,N\}$ ) を基準として当該検査ポイント  $P_n$  の方向を各マイクロホンアレイでビームフォーミング測定することにより得た観測信号  $Y_k(\omega, \phi_{k,n,i})$  のクロススペクトル  $Y^{(n)}(\omega, S_i)$  を要素とする  $J$  次元のベクトルである。

## 【 0 0 5 4 】

なお、ここでの検査ポイント  $P_n$  のインデックス  $n$  は、技術的背景の欄の記載で言うところの  $N$  個の検査ポイントのうち先頭から  $J$  個を使うという意味ではなく、 $N$  個の検査ポイントの中からランダムに選んだ  $J$  個の検査ポイント又は  $N$  個の検査ポイントの中の所定の  $J$  個の検査ポイントについて 1 から順にインデックスを振り直したものに相当する点に注意されたい。

30

## 【 0 0 5 5 】

また、仮想的な音源の位置  $S_1, \dots, S_J$  は、 $S_1, \dots, S_J \in \{S_1, \dots, S_N\}$  であるが、 $\{S_1, \dots, S_N\}$  のうち先頭から  $J$  個の音源の位置を使うという意味ではなく、 $N$  個の仮想的な音源の位置の中からランダムに選んだ  $J$  個の仮想的な音源の位置又は  $N$  個の仮想的な音源の位置の中の所定の  $J$  個の仮想的な音源の位置について 1 から順にインデックスを振り直したものに相当する。

## 【 0 0 5 6 】

検査ポイント  $P_n$  は、技術的背景の欄で述べたように、仮想的な音源の位置  $S_i$  と同じ位置にあってもよいし、異なる位置にあってもよい。また、技術的背景の欄で述べたように、格子点上にあってもよいし、格子点上になくてもよい。

40

## 【 0 0 5 7 】

記憶部 2 には、各マイクロホンアレイ  $k$  についての伝達関数  $H_k(\omega, \phi_{k,n,i})$  が予め記憶されているとする。

## 【 0 0 5 8 】

観測行列生成部 3 は、記憶部 2 から読み込んだ伝達関数  $H_k(\omega, \phi_{k,n,i})$  を用いて以下の式により定義される観測行列  $B$  を生成する (ステップ S 2)。生成された観測行列  $B$  は、音源位置推定部 4 に提供される。

50



【 0 0 5 9 】

【 数 1 2 】

$$B = \begin{pmatrix} \hat{H}(\omega, P_1, S_1) & \cdots & \hat{H}(\omega, P_1, S_N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{H}(\omega, P_J, S_1) & \cdots & \hat{H}(\omega, P_J, S_N) \end{pmatrix}$$

$$\hat{H}(\omega, P_n, S_i) = \prod_{k=1}^K H_k(\omega, \phi_{k,n,i})$$

【 0 0 6 0 】

10

観測行列Bは、検査ポイント $P_n$  ( $n=1, 2, \dots, J$ ) についての伝達関数を要素に持つ行列である。なお、観測行列Bは、N個の検査ポイントについての伝達関数を要素に持つ行列H (式(4)参照)の左から変換行列Aを乗じる ( $B=AH$ ) ことにより生成しても良い。このとき変換行列Aは $J \times N$ 行列であって、例えば、当初のN個の検査ポイントのうち実際にビームフォーミング測定に用いたJ個の検査ポイントに対応する行以外の行の要素は全て0であり、J個の検査ポイントに対応するJ個の行がJ個の一次独立な単位ベクトルとなるように構成すればよい。単位ベクトル中の1となる要素の位置は、観測結果ベクトル $\sim y$ における検査ポイントの順序に依存して決まる。

【 0 0 6 1 】

音源位置推定部4は、観測結果ベクトル $\sim y$ 及び上記観測行列Bを用いて $\sim y=Bx$ という関係を満たす未知ベクトル $x$ の中でノルムが最小となる未知ベクトル $x$ を計算し、そのノルムが最小となる未知ベクトル $x$ の要素の中で絶対値が大きい要素に対応する仮想的な音源の位置 $S_i$ を推定された音源の位置として出力する (ステップS3)。

20

【 0 0 6 2 】

言い換えれば、音源位置推定部4は、観測結果ベクトル $\sim y$ 及び上記観測行列Bを用いて、例えば式(6)の最小化問題を解くことにより、未知ベクトル $x$ を求める。

【 0 0 6 3 】

$\sim y=Bx$ という関係を満たす未知ベクトル $x$ の中でノルムが最小となる未知ベクトル $x$ の計算は、技術的背景の欄で記載したように、例えば参考文献1に記載された手法や、周知の基底追跡法(basis pursuit method)やmatching pursuit法及びその派生形、さらに不動点法, EMアルゴリズム (確率伝搬法) などを用いればよい。

30

【 0 0 6 4 】

$C$ を1  $C$   $L$ の関係を満たす正の整数として、未知ベクトル $x$ の要素の中で絶対値が大きい要素とは、未知ベクトル $x$ のJ個の要素を大きい順に並べたときの上位C個の要素のことである。

【 0 0 6 5 】

このように、複数のマイクロホンアレイを用いることにより、何れかのマイクロホンアレイの音響ビームフォーミングの指向方向の共線上に複数の音源がある場合であっても、これらの複数の音源の位置を推定することができる。

【 0 0 6 6 】

40

また、圧縮センシングの原理を応用し、測定する検査ポイント $P_n$ の数を、当初の仮想的な音源の位置 $S_i$ の数であるNよりも少なくした場合には、少ない演算量で音源位置を推定することができる。

【 0 0 6 7 】

[ 変形例等 ]

式(6)は疎な未知ベクトル $x$ を求めるため一手段である。式(6)は下記のような $L_0$ 擬ノルム最小化問題の緩和問題であるので、直接的に $L_0$ 擬ノルム最小化を行ってもよい。これは組み合わせ最適化問題を解くことによって実行可能である。

【 0 0 6 8 】

【数 1 3】

$$\tilde{x} = \arg \min \|x\|_0$$

*subject to*  $Bx = \tilde{y}$

【 0 0 6 9 】

また、近似的に最小化を行う方法が提案されている。さらに、 $L_p$  (擬) ノルム ( $0 < p < 1$ ) の最小化問題に書き換えることも可能であり、これを最小化又は近似的に最小化することによっても疎な  $x$  が求められることが知られている。

【 0 0 7 0 】

したがって、音源位置推定部 4 で用いられる未知ベクトル  $x$  のノルムは、 $L_1$  ノルムであってもよいし、 $L_0$  擬ノルムであってもよいし、 $L_p$  (擬) ノルム ( $0 < p < 1$ ) であってもよい。

10

【 0 0 7 1 】

上述の各種の処理は、記載に従って時系列に実行されるのみならず、処理を実行する装置の処理能力あるいは必要に応じて並列的あるいは個別に実行されてもよい。その他、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能であることはいうまでもない。

【 0 0 7 2 】

上述の構成をコンピュータによって実現する場合、各装置が有すべき機能の処理内容はプログラムによって記述される。このプログラムをコンピュータで実行することにより、上記処理機能がコンピュータ上で実現される。この処理内容を記述したプログラムは、コンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録しておくことができる。コンピュータで読み取り可能な記録媒体の例は、非一時的な (non-transitory) 記録媒体である。このような記録媒体の例は、磁気記録装置、光ディスク、光磁気記録媒体、半導体メモリ等である。

20

【 0 0 7 3 】

このプログラムの流通は、例えば、そのプログラムを記録した DVD、CD-ROM 等の可搬型記録媒体を販売、譲渡、貸与等することによって行う。さらに、このプログラムをサーバコンピュータの記憶装置に格納しておき、ネットワークを介して、サーバコンピュータから他のコンピュータにそのプログラムを転送することにより、このプログラムを流通させる構成としてもよい。

【 0 0 7 4 】

このようなプログラムを実行するコンピュータは、例えば、まず、可搬型記録媒体に記録されたプログラムもしくはサーバコンピュータから転送されたプログラムを、一旦、自己の記憶装置に格納する。処理の実行時、このコンピュータは、自己の記録装置に格納されたプログラムを読み取り、読み取ったプログラムに従った処理を実行する。このプログラムの別の実行形態として、コンピュータが可搬型記録媒体から直接プログラムを読み取り、そのプログラムに従った処理を実行することとしてもよく、さらに、このコンピュータにサーバコンピュータからプログラムが転送されるたびに、逐次、受け取ったプログラムに従った処理を実行することとしてもよい。サーバコンピュータから、このコンピュータへのプログラムの転送は行わず、その実行指示と結果取得のみによって処理機能を実現する、いわゆる A S P (Application Service Provider) 型のサービスによって、上述の処理を実行する構成としてもよい。

30

40

【 0 0 7 5 】

上記実施形態では、コンピュータ上で所定のプログラムを実行させて本装置の処理機能が実現されたが、これらの処理機能の少なくとも一部がハードウェアで実現されてもよい。

【符号の説明】

【 0 0 7 6 】

- 1 観測結果ベクトル生成部
- 2 記憶部
- 3 観測行列生成部

50

4 音源位置推定部

【図1】

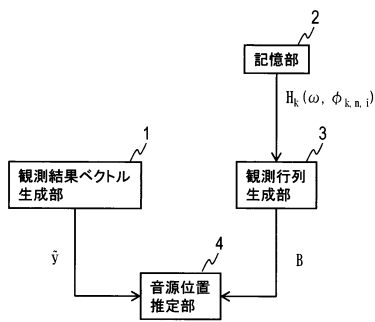


図1

【図2】

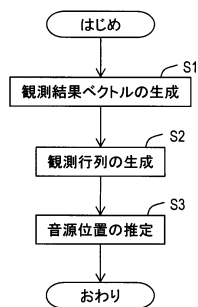


図2

【図3】

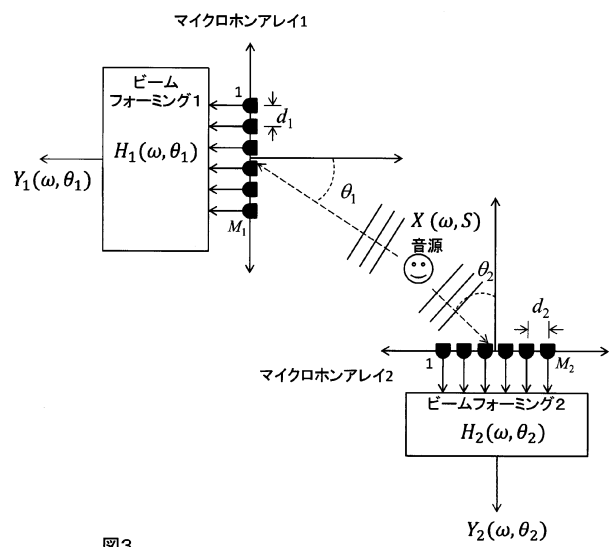


図3

【 図 4 】

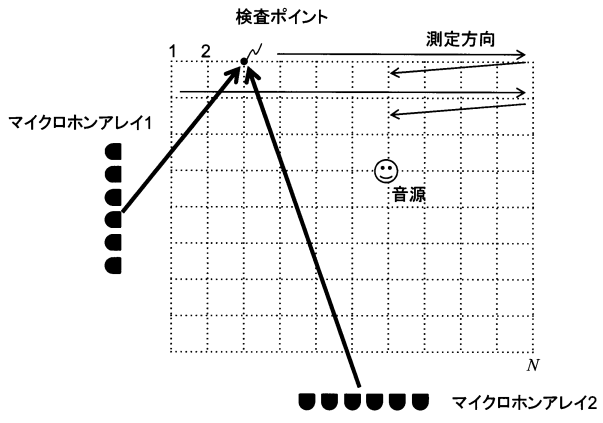


図4

【 図 5 】

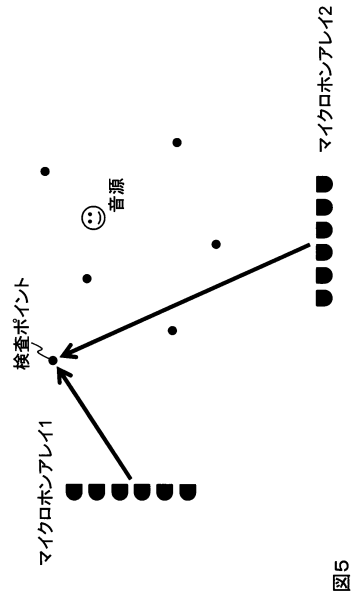


図5

---

フロントページの続き

- (72)発明者 鎌本 優  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 佐藤 尚  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 原田 登  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 守谷 健弘  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 安田 勇太

- (56)参考文献 国際公開第2013/64628(WO, A1)  
国際公開第2012/58229(WO, A1)  
国際公開第2012/072787(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G10L 25/51  
G10L 21/02 - 21/0388  
H04R 3/00