

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7204545号

(P7204545)

(45)発行日 令和5年1月16日(2023.1.16)

(24)登録日 令和5年1月5日(2023.1.5)

(51)国際特許分類

H 0 4 R 3/00 (2006.01)

F I

H 0 4 R 3/00 3 2 0

請求項の数 6 (全14頁)

(21)出願番号	特願2019-48406(P2019-48406)	(73)特許権者	000005326
(22)出願日	平成31年3月15日(2019.3.15)		本田技研工業株式会社
(65)公開番号	特開2020-150492(P2020-150492 A)		東京都港区南青山二丁目1番1号
(43)公開日	令和2年9月17日(2020.9.17)	(74)代理人	100165179
審査請求日	令和3年11月26日(2021.11.26)		弁理士 田▲崎▼ 聡
		(74)代理人	100126664
			弁理士 鈴木 慎吾
		(74)代理人	100154852
			弁理士 酒井 太一
		(74)代理人	100194087
			弁理士 渡辺 伸一
		(72)発明者	中臺 一博
			埼玉県和光市本町8-1 株式会社ホン
			ダ・リサーチ・インスティテュート・ジ
			ャパン内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 音響信号処理装置、音響信号処理方法、およびプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

音源とマイクロホンのうち少なくとも1つが移動する際、前記マイクロホンが受音する信号波形を算出する音響信号処理装置であって、

m (m は1から M の間の整数、 M は音源信号長)番目の離散時間で発した音源信号の振幅が、 k (k は1から K の間の整数、 K は収録信号長)番目の離散時間に前記マイクロホンによって受音される信号の振幅 $\triangle$ どの程度伝わるかを表したステアリング係数 $g_{k,m}$ を、 N (N は1以上の整数)次のフーリエ級数展開でモデル化する係数算出部と、

モデル化された前記ステアリング係数 $g_{k,m}$ を用いて前記マイクロホンが受音する信号波形を算出する収録信号算出部と、

を備える音響信号処理装置。

【請求項2】

k は離散化した離散時間を表し、 θ_k は離散時間における前記音源と前記マイクロホンとの角度を表し、 $\exp(in\theta_k)$ は n 次のフーリエ基底関数であり、 $c_{n,m}$ はフーリエ係数であり、

前記フーリエ基底関数を記憶する記憶部、を備え、

前記係数算出部は、

前記ステアリング係数 $g_{k,m}$ を次式で計算する、

【数1】

10

20

$$g_{k,m} = \sum_{n=-N}^N c_{n,m} \exp(in\theta_k)$$

請求項 1 に記載の音響信号処理装置。

【請求項 3】

前記収録信号算出部は、

K 行 (2 N + 1) 列の前記フーリエ基底関数の行列に、 (2 N + 1) 行 M 列の前記フーリエ係数の行列を乗じることで、前記ステアリング係数 $g_{k,m}$ を成分とする K 行 M 列の行列を算出する、請求項 2 に記載の音響信号処理装置。

10

【請求項 4】

前記収録信号算出部は、

(M + K) (2 N + 1) が (M × K) 未満の N を選択する、請求項 2 または請求項 3 に記載の音響信号処理装置。

【請求項 5】

音源とマイクロホンのうち少なくとも 1 つが移動する際、前記マイクロホンが受音する信号波形を算出する音響信号処理方法であって、

係数算出部が、 m (m は 1 から M の間の整数、 M は音源信号長) 番目の離散時間で発した音源信号の振幅が、 k (k は 1 から K の間の整数、 K は収録信号長) 番目の離散時間に前記マイクロホンによって受音される信号の振幅 Δ どの程度伝わるかを表したステアリング係数 $g_{k,m}$ を、 N (N は 1 以上の整数) 次のフーリエ級数展開でモデル化する係数算出手順と、

20

収録信号算出部が、モデル化された前記ステアリング係数 $g_{k,m}$ を用いて前記マイクロホンが受音する信号波形を算出する収録信号算出手順と、
を含む音響信号処理方法。

【請求項 6】

音源とマイクロホンのうち少なくとも 1 つが移動する際、前記マイクロホンが受音する信号波形を算出する音響信号処理装置のコンピュータに、

m (m は 1 から M の間の整数、 M は音源信号長) 番目の離散時間で発した音源信号の振幅が、 k (k は 1 から K の間の整数、 K は収録信号長) 番目の離散時間に前記マイクロホンによって受音される信号の振幅 Δ どの程度伝わるかを表したステアリング係数 $g_{k,m}$ を、 N (N は 1 以上の整数) 次のフーリエ級数展開でモデル化する係数算出手順と、

30

モデル化された前記ステアリング係数 $g_{k,m}$ を用いて前記マイクロホンが受音する信号波形を算出する収録信号算出手順と、

を実行させるプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本発明は、音響信号処理装置、音響信号処理方法、およびプログラムに関する。

40

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

マイクロホンを搭載している移動体が移動しながら、固定された音源からの音響信号を取得する装置がある。実環境では雑音のレベルや周波数特性等が時々刻々と変動する。予め取得した限られた個数の雑音の相関行列や音源の種類毎の音響特徴量を用いただけでは、雑音の影響を排除することができないことがある。そのため、実環境では目的音の方向を精度よく推定することが困難である。

【 0 0 0 3 】

これに対して、例えば特許文献 1 に記載の技術では、入力された音響信号に係る相関行列と、逐次に得られた雑音信号の相関行列に基づいて算出した空間スペクトルを用いるの

50

で、目的音の方向を精度よく推定する。

このような音響信号に対して処理を行う装置では、音源とマイクロホンとの伝達関数を、ステアリングベクトルを用いて処理を行っている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2014-56181号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

音源とマイクロホンのうち少なくとも1つが移動する場合の音響信号のシミュレーションを行う場合は、離散化した時間毎のステアリングベクトル（ステアリングベクトルデータベース）をあらかじめ用意する必要がある。しかしながら、従来技術では、この離散化した時間毎のステアリングベクトルの演算量が多く、演算に時間を要していた。

【0006】

本発明は、上記の問題点に鑑みてなされたものであって、音源またはマイクロホンのうち少なくとも1つが移動する場合にマイクロホンが受音する信号の演算において演算量を低減することができる音響信号処理装置、音響信号処理方法、および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】

【0007】

（1）上記目的を達成するため、本発明の一態様に係る音響信号処理装置<1>は、音源<2>とマイクロホン<3>のうち少なくとも1つが移動する際、前記マイクロホンが受音する信号波形を算出する音響信号処理装置であって、 m （ m は1から M の間の整数、 M は音源信号長）番目の離散時間で発した音源信号の振幅が、 k （ k は1から K の間の整数、 K は収録信号長）番目の離散時間に前記マイクロホンによって受音される信号の振幅 Δ どの程度伝わるかを表したステアリング係数 $g_{k,m}$ を、 N （ N は1以上の整数）次のフーリエ級数展開でモデル化する係数算出部<104>と、モデル化された前記ステアリング係数 $g_{k,m}$ を用いて前記マイクロホンが受音する信号波形を算出する収録信号算出部（106）と、を備える。

【0008】

（2）また、本発明の一態様に係る音響信号処理装置において、 k は離散化した離散時間を表し、 θ_k は離散時間における前記音源と前記マイクロホンとの角度を表し、 $\exp(in\theta_k)$ は n 次のフーリエ基底関数であり、 $c_{n,m}$ はフーリエ係数であり、前記フーリエ基底関数を記憶する記憶部、を備え、前記係数算出部は、前記ステアリング係数 $g_{k,m}$ を次式で計算する、

【数1】

$$g_{k,m} = \sum_{n=-N}^N c_{n,m} \exp(in\theta_k)$$

ようにしてもよい。

【0009】

（3）また、本発明の一態様に係る音響信号処理装置において、 K 行（ $2N+1$ ）列の前記フーリエ基底関数の行列に、（ $2N+1$ ）行 M 列の前記フーリエ係数の行列を乗じることで、前記ステアリング係数 $g_{k,m}$ を成分とする K 行 M 列の行列を算出するようにしてもよい。

【0010】

10

20

30

40

50

(4) また、本発明の一態様に係る音響信号処理装置において、前記収録信号算出部は、 $(M + K)(2N + 1)$ が $(M \times K)$ 未満の N を選択するようにしてもよい。

【 0 0 1 1 】

(5) 上記目的を達成するため、本発明の一態様に係る音響信号処理方法は、音源とマイクロホンのうち少なくとも 1 つが移動する際、前記マイクロホンが受音する信号波形を算出する音響信号処理方法であって、係数算出部が、 m (m は 1 から M の間の整数、 M は音源信号長) 番目の離散時間で発した音源信号の振幅が、 k (k は 1 から K の間の整数、 K は収録信号長) 番目の離散時間に前記マイクロホンによって受音される信号の振幅 Δ どの程度伝わるかを表したステアリング係数 $g_{k,m}$ を、 N (N は 1 以上の整数) 次のフーリエ級数展開でモデル化する係数算出手順と、収録信号算出部が、モデル化された前記ステアリング係数 $g_{k,m}$ を用いて前記マイクロホンが受音する信号波形を算出する収録信号算出手順と、を含む。

10

【 0 0 1 2 】

(6) 上記目的を達成するため、本発明の一態様に係るプログラムは、音源とマイクロホンのうち少なくとも 1 つが移動する際、前記マイクロホンが受音する信号波形を算出する音響信号処理装置のコンピュータに、 m (m は 1 から M の間の整数、 M は音源信号長) 番目の離散時間で発した音源信号の振幅が、 k (k は 1 から K の間の整数、 K は収録信号長) 番目の離散時間に前記マイクロホンによって受音される信号の振幅 Δ どの程度伝わるかを表したステアリング係数 $g_{k,m}$ を、 N (N は 1 以上の整数) 次のフーリエ級数展開でモデル化する係数算出手順と、モデル化された前記ステアリング係数 $g_{k,m}$ を用いて前記マイクロホンが受音する信号波形を算出する収録信号算出手順と、を実行させる。

20

【発明の効果】

【 0 0 1 3 】

上述した (1) または (5) あるいは (6) によれば、ステアリング係数を N (N は 1 以上の整数) 次のフーリエ級数展開でモデル化したので、伝達特性の演算量を低減することができる。

【 0 0 1 4 】

また、上述した (2)、(3) によれば、上述した式を用いてフーリエ係数を計算することで、ステアリング係数の演算量を低減することができる。

また、上述した (4) によれば、 $(M + K)(2N + 1)$ が $(M \times K)$ 未満の N を選択するため、ステアリング係数の演算量を従来より低減することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 5 】

【図 1】マイクロホンが固定され音源が移動する場合の例を示す図である。

【図 2】音源が固定されマイクロホンが移動する場合の例を示す図である。

【図 3】音源もマイクロホンも移動する場合の例を示す図である。

【図 4】実施形態に係る音響信号処理装置の構成例を示すブロック図である。

【図 5】従来技術における一般的な移動音源とマイクロホンが移動する場合のマイクロホンが受音する収録波形 (収録信号) の演算を説明するための図である。

【図 6】実施形態に係る移動する音源やマイクロホンにおける係数行列 G を説明するための図である。

40

【図 7】実施形態に係る音響信号処理装置の処理のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 6 】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。なお、以下の説明に用いる図面では、各部材を認識可能な大きさとするため、各部材の縮尺を適宜変更している。

【 0 0 1 7 】

図 1 は、マイクロホン 3 が固定され音源 2 が移動する場合の例を示す図である。図 2 は、音源 2 が固定されマイクロホン 3 が移動する場合の例を示す図である。図 3 は、音源 2

50

もマイクロホン 3 も移動する場合の例を示す図である。

図 1 ~ 図 3 において、符号 x_1 は、 $m = 1$ 番目の離散時間のときに音響信号処理装置 1 によって音源 2 が発した信号波形である。以下、符号 x_m は、 m 番目の離散時間のときに音源 2 が発した信号波形を表している。また、符号 y_1 は、 $k = 1$ 番目の離散時間のときにマイクロホン 3 が受音した収録波形を表している。以下、符号 y_k は、 k 番目の離散時間のときにマイクロホン 3 が受音した収録波形を表している。

なお、本実施形態では、周波数領域のスカラー値を大文字（例えば Y 、 X ）で表し、時間領域のスカラー値を小文字（例えば y 、 x ）で表現する。

【0018】

図 1 に示すように、移動音源の場合、すなわちマイクロホン 3 が固定され音源 2 が移動する場合、時間毎に異なる音源 2 であると考えることができる。

10

また、図 2 に示すように、移動マイクロホンの場合、すなわち音源 2 が固定されマイクロホン 3 が移動する場合、時間毎に異なるマイクロホン 3 であると考えることができる。

また、図 3 に示すように、移動音源と移動マイクロホンの場合、すなわち音源 2 もマイクロホン 3 が移動する場合、時間毎に異なる音源 2 であり、時間毎に異なるマイクロホン 3 であると考えることができる。

【0019】

[音響信号処理装置の構成]

次に、音響信号処理装置の構成例を説明する。

図 4 は、本実施形態に係る音響信号処理装置 1 の構成例を示すブロック図である。図 4 に示すように、音響信号処理装置 1 は、操作部 101、係数記憶部 102、テーブル記憶部 103（記憶部）、係数算出部 104、収録信号算出部 106、出力部 107、音響信号生成部 108、および音響信号出力部 109 を備える。

20

【0020】

音響信号処理装置 1 は、音源 2 とマイクロホン 3 のうち少なくとも 1 つが移動する場合にマイクロホン 3 が受音する収録波形を算出するために用いるステアリング係数を、フーリエ係数モデルを用いて算出する。

【0021】

操作部 101 は、利用者が操作した操作結果を検出し、検出した操作結果を収録信号算出部 106 に出力する。操作部 101 は、例えばタッチパネルセンサ、キーボード、マウス等である。操作結果には、例えば音源 2 が移動することを示す情報、マイクロホン 3 が移動することを示す情報等が含まれている。

30

【0022】

係数記憶部 102 は、係数算出部 104 が算出したステアリング係数を記憶する。

【0023】

テーブル記憶部 103 は、係数算出部 104 がステアリング係数の算出に必要な値をテーブル形式で記憶する。

【0024】

係数算出部 104 は、音響信号生成部 108 が出力する音響信号とテーブル記憶部 103 が記憶する値を用いて、ステアリング係数を算出し、算出したステアリング係数を係数記憶部 102 に記憶させる。

40

【0025】

収録信号算出部 106 は、操作部 101 が出力する操作結果を取得する。また、収録信号算出部 106 は、音響信号生成部 108 が出力する音響信号を取得する。収録信号算出部 106 は、操作結果に基づいて、音響信号と、係数記憶部 102 が記憶するステアリング係数を用いて、マイクロホン 3 が受音する収録波形を算出する（シミュレーションする）。収録信号算出部 106 は、算出した算出結果を出力部 107 と音響信号生成部 108 に出力する。

【0026】

出力部 107 は、収録信号算出部 106 が出力する算出された結果を外部装置（例えば

50

画像表示装置、スピーカ)等)に出力する。

【0027】

音響信号生成部108は、音源から再生する音響信号を生成する。なお、音響信号生成部108は、収録信号算出部106が算出した結果に基づいて、再生する音響信号を補正したり生成したりするようにしてもよい。音響信号生成部108は、生成した音響信号を音響信号出力部109に出力する。

【0028】

音響信号出力部109は、音源2に接続されている。なお、音響信号出力部109は、増幅回路を有していてもよい。また、音響信号出力部109と音源2は有線で接続されていてもよく、無線で接続されていてもよい。有線で接続されている場合、音響信号出力部109はアナログ信号で出力信号を出力する。音源2と無線で接続されている場合、音響信号出力部109はデジタル信号で出力信号を出力する。音響信号処理装置1と無線で接続されている場合、音源2は、デジタル信号をアナログ信号に変換するDA(デジタル-アナログ)変換部を有している。なお、音源2は、スピーカである。

【0029】

[一般的な音場処理における伝達特性の算出]

以下の説明では、一般的な移動音源とマイクロホンが移動する場合の収録信号について説明する。

図5は、従来技術における一般的な移動する音源とマイクロホンが移動する場合のマイクロホンが受音する収録波形(収録信号)の演算を説明するための図である。なお、図5では、添え字を一部省略している。

【0030】

音源2の信号波形 x とマイクロホン3での収録波形 y は、次式(1)で計算できる。なお、 x と y は、時間領域のベクトルである。

【0031】

【数2】

$$y = Gx \quad \dots (1)$$

【0032】

式(1)において、 G は時間領域における係数行列である。

また、式(1)は次式(2)のように表現できる。

【0033】

【数3】

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{1,1} & \cdots & g_{1,M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{K,1} & \cdots & g_{K,M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_M \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

【0034】

式(2)において、 x_m ($m = 1, 2, 3, \dots, M$)は音源が移動した際の時間領域の信号波形であり、 y_k ($k = 1, 2, 3, \dots, K$)はマイクロホンが移動した際の時間領域の収録波形である。なお、 m は音源側の離散時間であり、 M は音源の信号長である。また、 k は受音側の離散時間であり、 K は収録信号長である。また、係数 $g_{k,m}$ は、 m 番目

の離散時間で発した音源信号の振幅が、 k 番目の離散時間で受信される信号の振幅へどの程度伝わるかを表したものである。

【 0 0 3 5 】

ここで、 m 番目の離散時間での音源座標を $r_x(m)$ とし、 k 番目の離散時間での受信点座標を $r_y(k)$ とする。また、 $r_x(m)$ から $r_y(k)$ に至るインパルス応答を、 t を離散時間として $h(t, r_x(m), r_y(k))$ で表すと、 $g_{k,m}$ は次式 (3) のよう表される。

【 0 0 3 6 】

【 数 4 】

$$g_{k,m} = h(k-m, r_x(m), r_y(k)) \quad \dots (3)$$

10

【 0 0 3 7 】

なお、式 (3) において、 $k-m < 0$ の時間において、 $h_{k,m}$ は、因果律より 0 となる。

移動する音源 2 やマイクロホン 3 において、 $g_{k,m}$ を要素に有する係数行列 G は規則的なパターンをもつ値になることが多い。このためフーリエ係数モデルを利用すると低次で近似できる可能性が高く有効である。

20

【 0 0 3 8 】

図 6 は、本実施形態に係る移動する音源やマイクロホンにおける係数行列 G を説明するための図である。なお、図 6 において、線の太さは、インパルス応答の振幅の大きさを表している。

音源 2 とマイクロホン 3 が相対的な位置に変化が少ない場合、係数行列 G は図 6 のように 4 5 度にほぼ同じ値が並ぶ。

音源 2 とマイクロホン 3 が互いに近づく場合は、斜めの線がより横線に近づく。音源 2 とマイクロホン 3 が互いに遠ざかる場合は、斜めの線が上下の線に近づく。インパルス応答自体が変化した場合でも、各線の濃淡がゆらぐだけで、基本的なパターンは、上述したようになる。

30

【 0 0 3 9 】

ここで、式 (2) は、 K 行 M 列の行列である。

このため、式 (2) を用いて、マイクロホン 3 が受信する収録波形を計算するのに、乗算回数は MK 回必要である。例えば、 $M = 72$ 、 K が 32 の場合の乗算回数は、 $2304 (= 72 \times 32)$ 回必要である。

【 0 0 4 0 】

[本実施形態による伝達特性の算出]

次に、本実施形態による伝達特性の算出方法を説明する。

本実施形態では、係数算出部 104 が、ステアリング係数 $g_m(\theta_k)$ を、次式 (4) のように N 次の複素フーリエ係数でモデル化する。なお、ステアリング係数 $g_m(\theta_k)$ は、各マイクロホン 3 についてのステアリング係数である。また、ステアリング係数 $g_m(\theta_k)$ は、行列内の表記では $g_{k,m}$ で表している。また、式 (6) において、 k (k は 1 から K の整数) は離散化した離散時間である。 θ_k は離散時間における前記音源と前記マイクロホンとの角度を表す。

40

【 0 0 4 1 】

【 数 5 】

50

$$g_m(\theta_k) = \sum_{n=-N}^N c_{n,m} \cdot \exp(in\theta_k) \quad \dots (4)$$

【 0 0 4 2 】

式 (4) において、 $c_{n,m}$ はフーリエ係数であり、 i は複素数を表す。また、 $c_{n,m}$ と $c_{-n,m}$ は互いに共役の関係である。また、 $\exp(in\theta_k)$ はフーリエの n 次の基底関数であり、フーリエの n 次の基底関数の計算は、予めテーブルを用意することで参照のみの処理である。この $\exp(in\theta_k)$ のテーブルは、テーブル記憶部 1 0 3 があらかじめ記憶している。

10

【 0 0 4 3 】

[係数の求め方]

ここで、例として、角度 θ_k のみを変数とする 1 次元のステアリング係数 $g(\theta_k)$ に対し、式 (4) で与えられる複素振幅モデルを導入した場合の係数 ($c_n(\omega)$) の決定方法について説明する。

実測した伝達関数の数を L 、その時の離散時間 θ_l ($l = 1, 2, 3, \dots, L$) とする

と次式 (5) の連立方程式が得られる。

【 0 0 4 4 】

【 数 6 】

$$\begin{aligned} g(\theta_1) &= \sum_{n=-N}^N c_n \exp(in\theta_1) \\ g(\theta_2) &= \sum_{n=-N}^N c_n \exp(in\theta_2) \\ &\vdots \\ g(\theta_L) &= \sum_{n=-N}^N c_n \exp(in\theta_L) \quad \dots (5) \end{aligned}$$

30

【 0 0 4 5 】

この連立方程式は、次式 (6) のように、行列とベクトルを利用して記述できる。

【 0 0 4 6 】

【 数 7 】

$$g = Ac \quad \dots (6)$$

40

【 0 0 4 7 】

式 (6) において、 c は係数ベクトル、 A はモデルの係数である。各ベクトルは次式 (7) ~ 次式 (9) である。

【 0 0 4 8 】

【 数 8 】

$$g = [g(\theta_1)g(\theta_2)\cdots g(\theta_L)]^T \quad \dots (7)$$

50

【 0 0 4 9 】

【 数 9 】

$$c = [c_{-N} c_{-N+1} \cdots c_{-1} c_{-0} c_1 \cdots c_N]^T \quad \cdots (8)$$

【 0 0 5 0 】

【 数 1 0 】

$$A = [a1^T a2^T \cdots al \cdots aL^T]^T \quad \cdots (9)$$

10

【 0 0 5 1 】

なお、式 (9) において、 a 1 は次式 (1 0) である。

【 0 0 5 2 】

【 数 1 1 】

$$al = [\exp(-iN\theta_l) \cdots \exp(-i(N-1)\theta_l) \cdots \exp(-i\theta_l) l \exp(i\theta_l) \cdots \exp(iN\theta_l)]^T \quad \cdots (10)$$

20

【 0 0 5 3 】

式 (1 0) から、求めるべき係数ベクトル c は、次式 (1 0) として求めることができる。

【 0 0 5 4 】

【 数 1 2 】

$$c = A^+ g \quad \cdots (11)$$

30

【 0 0 5 5 】

式 (1 0) において、 A + は A の疑似逆行列 (ムーアペンローズ型疑似逆行列) である。式 (1 0) により、一般に、変数の数 2 N + 1 よりも式の数 L が多い場合 (2 N + 1 > L の場合)、係数は誤差の 2 乗和が最小となる解として得られる。また、そうでない場合 (2 N + 1 ≤ L の場合) は、式 (2) の解の中で解のノルムが最小になる解が得られる。

40

【 0 0 5 6 】

次に、マイクロホン 3 での収録波形 y k は、次式 (1 2) のように計算することができる。

【 0 0 5 7 】

【 数 1 3 】

50

$$\begin{aligned}
y_k &= \sum_{m=1}^M x_m \left\{ \sum_{n=-N}^N c_{n,m} \cdot \exp(in\theta_k) \right\} \\
&= \sum_{m=1}^M \sum_{n=-N}^N \{ x_m c_{n,m} \cdot \exp(in\theta_k) \} \\
&= \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-N}^N \{ x_m c_{n,m} \cdot \exp(in\theta_k) \} \\
&= \sum_{n=-N}^N \exp(in\theta_k) \sum_{m=-N}^N x_m c_{n,m} \quad \dots (12)
\end{aligned}$$

10

【 0 0 5 8 】

式 (2)、(1 2) は、行列・ベクトルで次式 (1 3) のように表される。

20

【 0 0 5 9 】

【 数 1 4 】

$$\begin{bmatrix} g_1(\theta_1) & \cdots & g_M(\theta_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_1(\theta_K) & \cdots & g_M(\theta_K) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \exp(-iN\theta_1) & \cdots & \exp(-iN\theta_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \exp(-iN\theta_K) & \cdots & \exp(-iN\theta_K) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{1,-N} & \cdots & c_{M,-N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{1,N} & \cdots & c_{M,N} \end{bmatrix}$$

... (1 3)

30

【 0 0 6 0 】

式 (1 3) において、左辺は行数が K であり、列数が M である。また、右辺の第 1 項はフーリエ基底関数であり、行数が K であり、列数が 2 N + 1 (フーリエ級数の数) である。また、右辺の第 2 項はフーリエ係数であり、行数が 2 N + 1 (フーリエ級数の数) であり、列数が M である。

【 0 0 6 1 】

ここで、式 (1 3) を $g = S c$ とする。

40

フーリエモデルで計算する場合、マイクロホン 3 が受音する時間領域における収録波形 y_k は、 $y_k = g x = S c x = S (c x)$ のように表すことができる。

S は、式 (1 3) のように、K 行、2 N + 1 列の行列であり、K (2 N + 1) 回の乗算が必要である。また、c は、式 (1 3) のように、2 N + 1 行、M 列の行列であり、(2 N + 1) M 回の乗算が必要である。このため、式 (1 3) の乗算回数の合計は、(M + K) (2 N + 1) 回である。

なお、係数算出部 1 0 4 は、(M + K) (2 N + 1) が (M × K) 未満の N を選択するようにしてもよい。これにより、本実施形態によれば、ステアリング係数の演算量を従来より低減することができる。

【 0 0 6 2 】

50

〔処理手順〕

次に、音響信号処理装置１の処理手順例を説明する。

図７は、本実施形態に係る音響信号処理装置１の処理のフローチャートである。

【００６３】

（ステップＳ１）操作部１０１は、利用者が操作した操作結果を取得する。

（ステップＳ２）係数算出部１０４は、音響信号生成部１０８が生成した音響信号に対して、操作結果に基づいて、テーブル記憶部１０３が記憶する値（ $\exp(\ln \theta_k)$ ）のテーブル）を用いて、ステアリング係数を算出する。続けて、係数算出部１０４は、算出したステアリング係数を係数記憶部１０２に記憶させる。

【００６４】

（ステップＳ３）収録信号算出部１０６は、音響信号生成部１０８が生成した音響信号を取得する。

（ステップＳ４）収録信号算出部１０６は、取得した音響信号に対して、係数記憶部１０２が記憶するステアリング係数を用いて、マイクロホン３が受音する収録波形を算出する。

【００６５】

なお、 N 次のフーリエ係数でモデル化において、フーリエ級数展開に限らず、テーラー展開やスプライン補間等、他の手法を用いてもよい。

【００６６】

以上のように、本実施形態によれば、ステアリング係数を N （ N は１以上の整数）次のフーリエ級数展開でモデル化したので、ステアリング係数の演算量を低減することができる。また、本実施形態によれば N （ N は１以上の整数）次のフーリエ級数展開でモデル化

【００６７】

ので、係数記憶部１０２に格納するデータ量を従来より低減することができる。

なお、本発明における音響信号処理装置１の機能の全てまたは一部を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することにより音響信号処理装置１が行う処理の全てまたは一部を行ってもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、ＯＳや周辺機器等のハードウェアを含むものとする。また、「コンピュータシステム」は、ホームページ提供環境（あるいは表示環境）を備えたＷＷＷシステムも含むものとする。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ＲＯＭ、ＣＤ－ＲＯＭ等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムが送信された場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリ（ＲＡＭ）のように、一定時間プログラムを保持しているものも含むものとする。

【００６８】

また、上記プログラムは、このプログラムを記憶装置等に格納したコンピュータシステムから、伝送媒体を介して、あるいは、伝送媒体中の伝送波により他のコンピュータシステムに伝送されてもよい。ここで、プログラムを伝送する「伝送媒体」は、インターネット等のネットワーク（通信網）や電話回線等の通信回線（通信線）のように情報を伝送する機能を有する媒体のことをいう。また、上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよい。さらに、前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイル（差分プログラム）であってもよい。

【００６９】

以上、本発明を実施するための形態について実施形態を用いて説明したが、本発明はこうした実施形態に何等限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々の変形および置換を加えることができる。

【符号の説明】

10

20

30

40

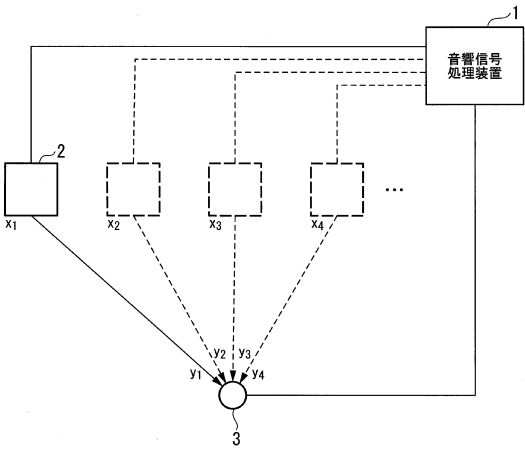
50

【 0 0 7 0 】

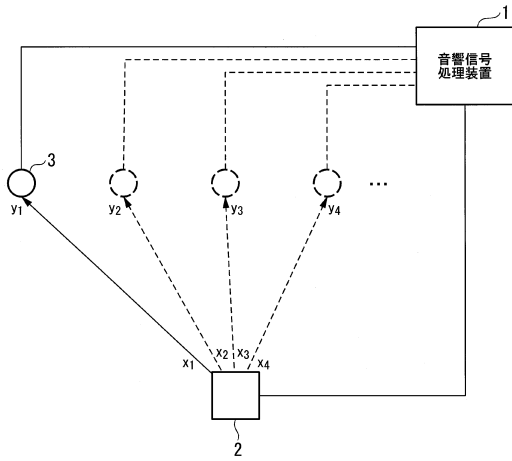
1 ... 音響信号処理装置、1 0 1 ... 操作部、1 0 2 ... 係数記憶部、1 0 3 ... テーブル記憶部、1 0 4 ... 係数算出部、1 0 6 ... 収録信号算出部、1 0 7 ... 出力部、1 0 8 ... 音響信号生成部、1 0 9 ... 音響信号出力部、2 ... 音源、3 ... マイクホン

【 図 面 】

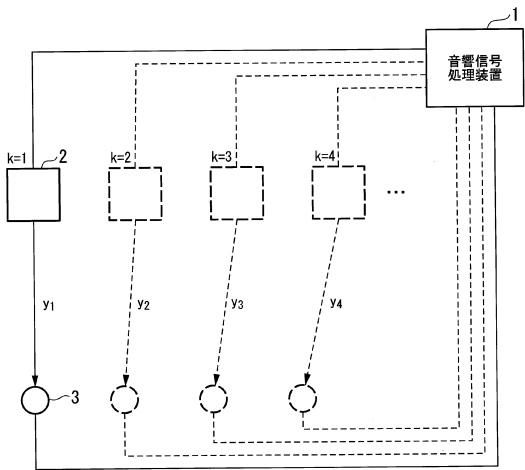
【 図 1 】



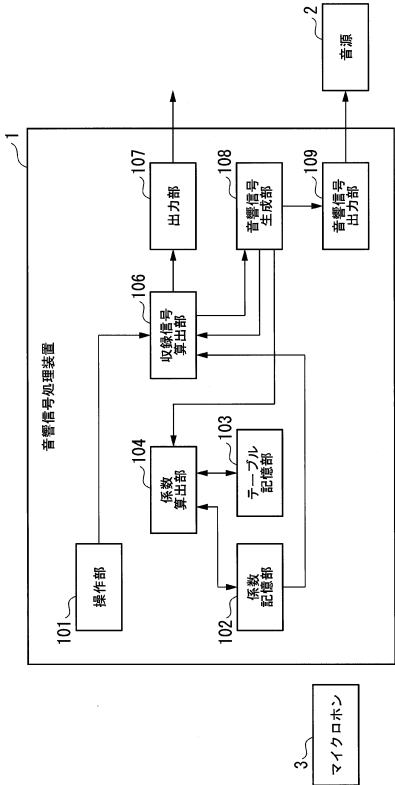
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



10

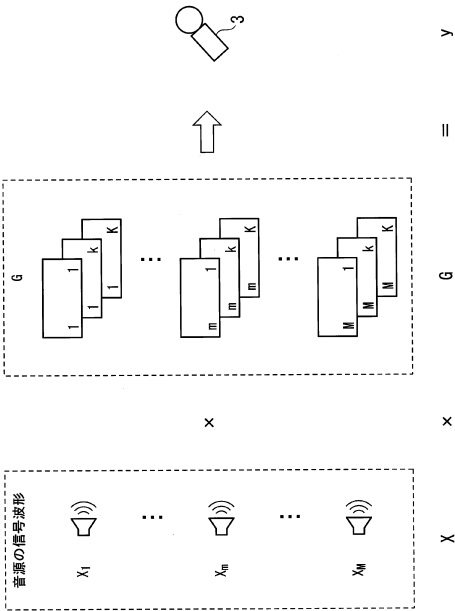
20

30

40

50

【図 5】



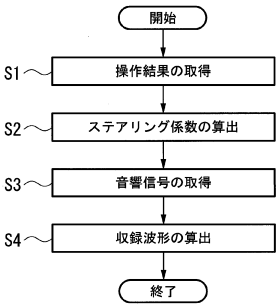
【図 6】

$$G = \begin{bmatrix} \text{0} \\ \text{ } \\ \text{ } \\ \text{ } \\ \text{ } \end{bmatrix}$$

10

20

【図 7】



30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 中島 弘史

東京都新宿区西新宿一丁目 2 4 番 2 号 学校法人工学院大学内

審査官 西村 純

(56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 0 1 9 8 3 5 (U S , A 1)

特開 2 0 0 8 - 1 4 1 5 9 3 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 0 8 5 6 1 5 (U S , A 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

H 0 4 R 1 / 0 0 - 3 1 / 0 0