

(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2017-1522  
(P2017-1522A)

(43) 公開日 平成29年1月5日(2017.1.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>B63C 11/48 (2006.01)</b>	B63C 11/48	Z 5J083
<b>B63B 49/00 (2006.01)</b>	B63B 49/00	B
<b>G01S 3/86 (2006.01)</b>	G01S 3/86	
<b>G01S 3/808 (2006.01)</b>	G01S 3/808	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2015-117501 (P2015-117501)	(71) 出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(22) 出願日	平成27年6月10日 (2015.6.10)	(74) 代理人	110001689 青稜特許業務法人
		(72) 発明者	川口 洋平 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
		(72) 発明者	遠藤 隆 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
		(72) 発明者	村上 泰 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動源検知装置、検知システム、および方法

(57) 【要約】

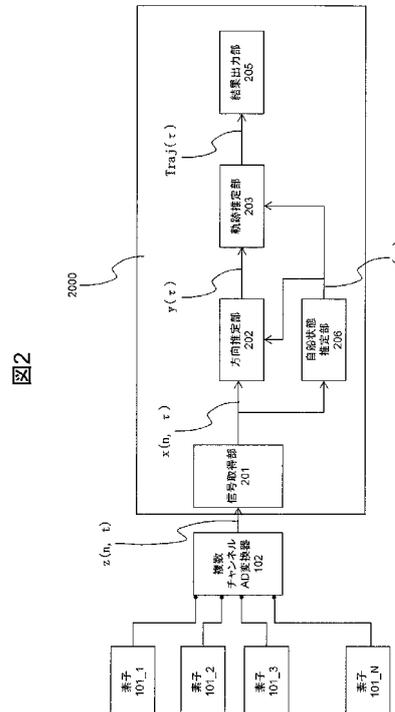
【課題】

物体の位置を推定できる信号が時間断続的にしか観測できない場合であっても、物体の位置を推定する装置を提供する。

【解決手段】

船舶用の検知システムであって、水中にある対象物からの振動を検知して、振動情報を得る検知部と、船舶の状態を判定する判定部と、判定部により船舶の状態が、振動情報に基づいて対象物の情報を推定可能と判定されたタイミングの振動情報を用いて、対象物の情報を得る推定部と、を有する検知システムである。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

船舶用の検知システムであって、  
 水中にある対象物からの振動を検知して、振動情報を得る検知部と、  
 前記船舶の状態を判定する判定部と、  
 前記判定部により前記船舶の状態が、前記振動情報に基づいて前記対象物の情報を推定可能と判定されたタイミングの前記振動情報を用いて、前記対象物の情報を得る推定部と、  
 を有する検知システム。

## 【請求項 2】

前記船舶の状態が、前記振動情報に基づいて前記対象物の情報を推定可能と判定されたタイミングとは、前記検知部が水中にあり、前記振動情報を検知可能な状態のタイミングを少なくとも含む、  
 請求項 1 記載の検知システム。

## 【請求項 3】

前記判定部は、  
 前記検知部からの信号および前記船舶の状態遷移をあらわすモデルを用いて、  
 前記船舶の状態を判定する、  
 請求項 1 記載の検知システム。

## 【請求項 4】

前記判定部は、  
 前記船舶に備えられたセンサにより取得される情報および前記船舶の状態遷移をあらわすモデルを用いて、  
 前記船舶の状態を判定する、  
 請求項 1 記載の検知システム。

## 【請求項 5】

前記判定部は、  
 前記船舶の駆動命令のパターンごとに、前記船舶の状態遷移をあらわすモデルを選択し、当該選択されたモデルを用いて、  
 前記船舶の状態を判定する、  
 請求項 1 記載の検知システム。

## 【請求項 6】

水中もしくは水上を移動可能な移動体に設けられ、水中の対象物からの振動を検知することにより、前記対象物の方向を推定する振動源検知装置であって、  
 前記対象物からの振動を検知して、振動情報を得る検知部と、  
 前記移動体の状態が、前記対象物の方向を推定することが可能な方向推定可能状態であるか否かを判定する判定部と、  
 前記検知部が得た振動情報のうち、前記方向推定可能状態の時に検知した振動情報を用いて前記対象物の方向を推定する推定部と、  
 を有する振動源検知装置。

## 【請求項 7】

請求項 6 に記載の振動源検知装置であって、  
 前記判定部が、前記検知部および前記移動体に設けられた他のセンサの少なくとも一つからの信号と、前記移動体の状態の時間遷移を表すモデルを用いて、前記方向推定可能状態か否かを判定することを特徴とする振動源検知装置。

## 【請求項 8】

請求項 7 に記載の振動源検知装置であって、  
 前記判定部が、前記移動体の駆動命令に応じて前記モデルを選択することを特徴とする振動源検知装置。

## 【請求項 9】

10

20

30

40

50

請求項 8 に記載の振動源検知装置であって、  
ユーザに船舶の駆動命令を提示する駆動命令提示部と、  
提示する前記駆動命令に対応する前記モデルを前記判定部が学習することを特徴とする  
振動源検知装置。

【請求項 10】

請求項 6 に記載の振動源検知装置であって、  
推定した前記対象物の方向と前記方向推定可能状態を、同一の時間軸を用いて同時に表  
示する、結果出力部を有する振動源検知装置。

【請求項 11】

請求項 6 に記載の振動源検知装置であって、  
前記判定部が加速度および気圧の情報の少なくとも一つを用いて、前記方向推定可能状  
態であるか否かを判定することを特徴とする振動源検知装置。

10

【請求項 12】

水上を移動する船舶において、水中にある対象物からの振動を検知して振動情報を得る  
検知部を用い、該振動情報に基づいて前記対象物の情報を推定する検知方法であって、  
前記検知部が水面から浮上しているタイミングおよび水面に接触したタイミングにおけ  
る、前記振動情報を排除して、前記対象物の情報を推定することを特徴とする検知方法。

【請求項 13】

前記タイミングを判定するために、前記検知部からの信号を用いるか、あるいはこれに  
加えて前記船舶の状態遷移モデルを用いることを特徴とする請求項 12 記載の検知方法。

20

【請求項 14】

前記タイミングを判定するために、加速度センサおよび圧力センサの少なくとも一つか  
らの信号を用いるか、あるいはこれに加えて前記船舶の状態遷移モデルを用いることを特  
徴とする請求項 12 記載の検知方法。

【請求項 15】

前記タイミングを判定するために、前記船舶の駆動命令および、前記船舶の駆動命令パ  
ターンごとに準備された前記船舶の状態遷移モデルを用いることを特徴とする請求項 12  
記載の検知方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、例えば船舶などに用いられる振動源検知装置、システムおよび方法に関する  
。

【背景技術】

【0002】

水中パッシブソナーなど、鯨や魚などの水中の物体から発せられる振動信号（源信号  
）を観測し、その物体の位置を推定するシステムは広く存在する。このような例としては  
、例えば、特開平 10 - 203486 号公報（特許文献 1）がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0003】

【特許文献 1】特開平 10 - 203486 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 には、自動操船装置と水中音響機器を併用する場合の船舶のノイズを、水中  
音響利用機器の許容ノイズ以下に抑える方法について記載されている。

【0005】

しかし、船舶を高速で駆動せざるをえない場合には、物体の方向や位置を推定できる信  
号が時間断続的にしか観測できない場合がある。例えば、船舶が非常に高速に移動してい

50

るために、検知器（ソナーに用いるハイドロホンやマイクロホンなどの素子等）が水面から浮上してしまい、物体の方向や位置を推定できる信号自体を受信できない場合である。あるいは、船舶の駆動に伴うノイズが大きすぎて検知器の信号が飽和してしまう場合等である。大きなノイズの例としては、例えば、船体の上下動により水面に船体が衝突する際のノイズが考えられる。

【0006】

特許文献1等の従来技術では、このような場合でも対象とする物体の位置を特定できる技術は開示されていない。従って、従来システムでは、例えば、船舶を高速で駆動せざるをえない場合等の状況により、物体の位置を推定できる信号が時間断続的にしか観測できない場合、物体の位置を推定できなかった。

10

【0007】

そこで、本発明は、物体の位置を推定できる信号が時間断続的にしか観測できない場合であっても、物体の位置を推定する装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するために、本発明の一側面は、船舶用の検知システムであって、水中にある対象物からの振動を検知して、振動情報を得る検知部と、船舶の状態を判定する判定部と、判定部により船舶の状態が、振動情報に基づいて対象物の情報を推定可能と判定されたタイミングの振動情報を用いて、対象物の情報を得る推定部と、を有する検知システムである。

20

【0009】

典型的な例を示すと、船舶の状態が、振動情報に基づいて対象物の情報を推定可能と判定されたタイミングとは、検知部が水中にあり、振動情報を検知可能な状態のタイミングを少なくとも含む。逆にいうと、検知部が水中から出てしまい、振動情報を得ることができないタイミングや、検知部が水面に衝突して信号が飽和してしまうタイミングの信号では、対象物の情報を推定不可能と判定する。

【0010】

本発明の他の側面は、水中もしくは水上を移動可能な移動体に設けられ、水中の対象物からの振動を検知することにより、対象物の方向を推定する振動源検知システム装置であって、前記対象物からの振動を検知して、振動情報を得る検知部と、移動体の状態が、対象物の方向を推定することが可能な方向推定可能状態であるか否かを判定する判定部と、検知部が検知し得た振動情報のうち、方向推定可能状態の時に検知した振動情報を用いて、移動体からみた振動源対象物の方向を推定する推定部と、を有する振動源検知装置である。

30

【0011】

本発明の他の側面は、水上を移動する船舶において、水中にある対象物からの振動を検知して振動情報を得る検知部を用い、振動情報に基づいて対象物の情報を推定する検知方法であって、検知部が水面から浮上しているタイミングおよび水面に接触したタイミングにおける、振動情報を排除して、対象物の情報を推定することを特徴とする検知方法である。

40

【0012】

本発明の典型的な具体例では、水中の対象物からの振動を得て対象物の情報を推定する検知器は、パッシブソナーとして構成される。

【0013】

本発明の好ましい具体例では、移動体もしくは船舶の状態を判定するために、検知器によって検出される振動スペクトルや、別途設けられた加速度や圧力のセンサの情報をを用いる。

【0014】

本発明の好ましい具体例では、移動体もしくは船舶の状態を判定するために、移動体もしくは船舶の状態遷移モデルを用いる。

50

## 【0015】

本発明の好ましい具体例では、移動体もしくは船舶の状態遷移モデルは、移動体もしくは船舶の駆動（運転）命令情報の類型に応じて準備される。

## 【0016】

本発明の好ましい具体例では、移動体もしくは船舶は高速で移動する船舶、例えば小型大出力の船舶や、ウォータージェットにより推進する船舶である。

## 【0017】

本発明のさらに別の側面は、ウォータージェットにより推進する移動体に設けられ、水中の振動を検知する検知部と、移動体が方向推定可能状態であるか否かを判定する判定部と、検知部検知した振動情報のうち方向推定可能状態の時に検知した振動情報を用いて、移動体からみた振動源の方向を推定する推定部と、を有する振動源検知装置である。

10

## 【発明の効果】

## 【0018】

本発明によれば、物体の位置を推定できる信号が時間断続的にしか観測できない場合であっても、物体の位置を推定することが可能である。上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0019】

【図1】実施例の推定システムのハードウェア構成を示したブロック図である。

【図2】実施例の推定システムの機能ブロック図である。

20

【図3】実施例の推定システムの推定時のフローチャートである。

【図4】結果出力処理の例を示す平面図である。

【図5】自船状態遷移モデルのデータ構造を示す表図である。

【図6】実施例の方向推定処理のフローチャートである。

【図7】実施例の軌跡推定処理のフローチャートである。

【図8】自船状態遷移モデルのデータ構造の他の例を示す表図である。

【図9】実施例の推定システムの自船状態遷移モデル学習時のフローチャートである。

【図10】実施例の推定システムのハードウェア構成の他の例を示したブロック図である。

【図11】実施例の推定システムの他の例を示した機能ブロック図である。

30

【図12】自船状態遷移モデルのデータ構造の他の例を示す表図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0020】

以下、実施例を、図面を用いて説明する。以下に説明する発明の構成において、同一部分又は同様な機能を有する部分には同一の符号を異なる図面間で共通して用い、重複する説明は省略することがある。

## 【0021】

以下の実施例においては、例えばパッシブソナーの信号により、水中の物体の方向や位置を特定できないタイミング、例えば、検知部が水中から出てしまい、振動情報を得ることができないタイミングや、検知部が水面に衝突して信号が飽和してしまうタイミングの信号では、対象物の情報を推定不可能と判定する。このようなタイミングでは、正確に水中の物体の情報を推定できないからである。従って、このようなタイミングでは、パッシブソナーの信号を用いない。このため、以下の実施例では時間的に離散的にパッシブソナーの信号を得て、物体の情報を推定することになる。パッシブソナーの信号が得られないタイミングにおいては、時間的に離散的に得られた物体の情報を、外掃あるいは内掃して情報を補完する。外掃あるいは内掃の方式は、種々の公知技術を用いることができる。以下の実施例では、さらに具体的な例を説明する。

40

## 【実施例1】

## 【0022】

本実施例では、船舶を高速で駆動する等の場合、物体の位置を推定できる信号が時間断

50

続的にしか観測できない場合であっても、物体の位置を推定することが可能な振動源検知装置の例を説明する。本実施例は例えば、船舶に搭載された水中パッシブソナーシステムである。

【0023】

図1は、本実施例の推定システム100のハードウェア構成を示したブロック図である。

【0024】

本実施例の推定システム100は、ハイドロホンやマイクロホンなどの素子101\_1~101\_N、複数チャンネルAD変換器102、中央演算装置103、ユーザインタフェース部104、記憶媒体105、揮発性メモリ106から構成されている。ユーザインタフェース部104はディスプレイのような出力装置や、キーボードのような入力装置を含む。

10

【0025】

素子101\_1~101\_Nは、水中あるいは空中の音波をアナログ電圧値に変換し、複数チャンネルAD変換器102に送る。複数チャンネルAD変換器102は、複数チャンネルのアナログ電圧値を複数チャンネルのデジタル信号に変換し、中央演算装置103に送る。中央演算装置103は、ユーザインタフェース部104で操作可能であり、収集されたデータや、制御用の情報は、記憶媒体105、揮発性メモリ106に格納することができる。

【0026】

なお、一般に素子101\_1~101\_Nは、音波信号を取得するために水中あるいは空中に暴露される位置に配置される。船舶のソナー場合には、例えば船底や船側面の1または複数個所である。

20

【0027】

図2は、本実施例の推定システム100の機能ブロック図である。信号処理部2000は、具体的な構成例としては、信号取得部201、方向推定部202、軌跡推定部203、結果出力部205、自船状態推定部206は、ソフトウェアによる情報処理がハードウェア資源である中央演算装置103、ユーザインタフェース部104、記憶媒体105、揮発性メモリ106を用いて当該機能を実現する。あるいは、当該機能がハードウェアのみで実現される場合は、当該処理を実現する専用回路構成を示す。

【0028】

信号取得部201は、サンプリングの時間間隔 秒ごとに、複数チャンネルAD変換器102から複数チャンネル入力信号 $z(n, t)$ を受信し、 $z(n, t)$ をバッファリングする。ただし、 $z(n, t)$ は時刻 $t$ 秒での素子 $n$ の入力信号を意味する。

30

【0029】

信号取得部201は、バッファリングされた過去 $M$ 回にわたっての入力信号系列 $[z(n, t-(M-1)), z(n, t-(M-2)), \dots, z(n, t-), z(n, t)]$ に対して、窓関数の乗算と短時間フーリエ変換を行い、複数チャンネル周波数領域信号 $x(n, )=[x(n, , 1), \dots, x(n, , F)]$ を計算し、出力する。ただし、 はサンプリングの時間間隔、 $F$ は短時間フーリエ変換の周波数番号の個数、 は窓関数の乗算と短時間フーリエ変換の対象時間の範囲( $t-(M-1)$  から $t$ までの時刻帯)を一つの時間フレームとみなしたときのフレーム番号を表す。

【0030】

自船状態推定部206は、複数チャンネル周波数領域信号 $x(n, )$ を入力として、自船状態推定処理を実行し、時刻 の自船状態推定結果 $c( )$ を出力する。

40

【0031】

方向推定部202は、複数チャンネル周波数領域信号 $x(n, )$ と自船状態推定結果を入力として、方向推定処理を実行し、時刻 の方向推定結果 $y( )=[y( , 1), \dots, y( , D)]$ を出力する。ただし、 $D$ は離散化した方向番号の個数である。方向推定処理は公知のように、複数の素子からの信号の時間差に基づいて、音源の方向を推定する。

【0032】

軌跡推定部203は、複数時刻の方向推定結果 $[y( -(B-1)), y( -(B-2)), \dots, y( )]$ と自船状態推定結果を入力として、軌跡推定処理を実行し、方向の時系列である軌跡推定結果 $Traj( )=[( -(B-1)), ( -(B-2)), \dots, ( )]$ を出力する。

50

## 【0033】

結果出力部205は、Traj( )をユーザに提示する。提示方法は、たとえば、ユーザインタフェース部104を介した画像情報提示、点字ディスプレイによる提示、音声による提示、プリンタを介した画像情報の印刷などである。

## 【0034】

図3は、本実施例の推定システム100の推定時のフローチャートである。

## 【0035】

まず、本実施例の推定システム100は、S301で、停止操作が行われたかどうかを判断し、測定停止操作が行われていなければS302以降の処理を実行する。測定停止操作が行われていれば推定システム100は停止する。

10

## 【0036】

次に、信号取得処理S302で、信号取得部201が、複数チャンネル入力信号 $z(n, t)$ をバッファリングし、バッファリングした入力信号系列 $[z(n, t-(M-1)), z(n, t-(M-2)), \dots, z(n, t-1), z(n, t)]$ に対して窓関数の乗算と短時間フーリエ変換を行い、複数チャンネル周波数領域信号 $x(n, f)=[x(n, f_1), \dots, x(n, f_F)]$ を出力する。

## 【0037】

次に、自船状態推定処理S303で、自船状態推定部206が、複数チャンネル周波数領域信号 $x(n, f)$ に基づいて自船状態の推定を行う。自船状態の推定には、隠れマルコフモデル(HMM)の状態推定方法である、ビタビアルゴリズムなどのアルゴリズムを用いる(図5で説明する)。自船状態は、たとえば「着水」、「浮上」、「降下」のいずれかのシンボルとして得られる。

20

## 【0038】

次に、方向推定処理S304で、方向推定部202が、複数チャンネル周波数領域信号 $x(n, f)$ と自船状態推定結果に基づいて音源方向推定を行う。方向推定結果は、方向ヒストグラムと呼ばれる、各時刻における各方向の音源の音量の大きさを表す2次元の信号 $y(n, \theta)$ として得られる。

## 【0039】

次に、軌跡推定処理S305で、軌跡推定部203が、複数時刻の方向推定結果 $[y(n, \theta_{-(B-1)}), y(n, \theta_{-(B-2)}), \dots, y(n, \theta_0)]$ を入力として、軌跡推定結果 $Traj(n)=[\theta_{-(B-1)}, \theta_{-(B-2)}, \dots, \theta_0]$ を出力する。

30

## 【0040】

次に、結果出力処理S305で、結果出力部205が、軌跡推定結果Traj( )を出力し、S301に戻る。

## 【0041】

図4は、本実施例の結果出力部205が、ユーザインタフェース部104を用いて、軌跡推定結果Traj( )を提示した例である。

## 【0042】

方向推定結果410と軌跡推定結果420に加えて、対応する自船状態も同時に提示することで、正確な方向推定結果が存在しない時間において、その原因が特定の自船状態によるものであることが明確となり、ユーザは正確な方向推定結果と対応する自船状態の時間だけに注目することができるという効果がある。

40

## 【0043】

図5は、本実施例の自船状態推定処理S303で用いる、自船状態遷移モデルのデータ構造の例である。このデータ構造は、例えば、記憶媒体105に記憶しておき、適宜処理に用いる。

## 【0044】

本実施例では、自船状態遷移モデルが隠れマルコフモデルであり、S個の自船状態 $s(1), \dots, s(S)$ を持つ。各自船状態は、「着水」、「浮上」、「降下」といったシンボルと対応する。各自船状態は、i番目の状態 $s(i)$ において生成する振動スペクトルの確率分布 $\text{dist}(i)$ および、次の時間フレームにi番目の状態 $s(i)$ からj番目の状態 $s(j)$ に遷移する遷移確

50

率 $q(i, j)$ を持つ。周波数スペクトルの確率分布 $\text{dist}(i)$ はたとえば混合ガウスモデル (GM) であり、 $\text{dist}(i)$ は $C(i)$ 個のクラスタ $[c(i, 1), \dots, c(i, C(i))]$ を持つ。 $c\_1$ 番目のクラスタ $c(i, c\_1)$ はスペクトルの平均 $\mu(i, c\_1)$  (数1) とスペクトルの共分散行列  $(i, c\_1)$  (数2) により定義される。

【 0 0 4 5 】

【 数 1 】

$$\mu(i, a) = \begin{bmatrix} \mu(i, a, 1) \\ \mu(i, a, 2) \\ \vdots \\ \mu(i, a, F) \end{bmatrix}$$

10

【 0 0 4 6 】

【 数 2 】

$$\Sigma(i, a) = \begin{bmatrix} \sigma(i, a, 1, 1)^2 & \sigma(i, a, 1, 2)^2 & \cdots & \sigma(i, a, 1, F)^2 \\ \sigma(i, a, 2, 1)^2 & \sigma(i, a, 2, 2)^2 & \cdots & \sigma(i, a, 2, F)^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma(i, a, F, 1)^2 & \sigma(i, a, F, 2)^2 & \cdots & \sigma(i, a, F, F)^2 \end{bmatrix}$$

20

【 0 0 4 7 】

例えば単純な例として、自船状態が、素子101 (または船) が水中に存在する「着水」、素子が水面から出ている「浮上」、素子が水面上を下降し水面に衝突する「降下」の状態を持つとする。複数チャンネル周波数領域信号 $x(n, \quad)$ は、各状態において特有の周波数スペクトルを持つ。例えば、「着水」状態であれば、自船の雑音 (水を介して入ってくるエンジン音、水との摩擦音等) と水中音 (物体からの反射音等) のスペクトルである。また、水面から浮いた状態である「浮上」状態であれば、自船の雑音 (エンジン音) のみのスペクトルであり、水中音は得られない。また、「降下」状態であれば船体と水との衝突により瞬間的に大きなノイズが発生する。このような特有のスペクトルを用いて、現在の状態がある程度推定できるが、本実施例ではさらに自船状態遷移モデルを用いて、ある状態からある状態への遷移確率を反映させ、精度のよい状態推定を行う。

30

【 0 0 4 8 】

すなわち、船舶の状態は所定状態を一定の法則または周期で遷移する遷移モデルとして考えることができる。自船状態遷移モデルは、例えば、「浮上」状態の次は「降下」状態に遷移する確率が高い。「降下」状態の次は「着水」状態に遷移する確率が高いなどのモデルを、船舶の物理的な運動の実験またはシミュレーションにより作成すればよい。

40

【 0 0 4 9 】

以上のように、自船状態推定部206は、複数チャンネル周波数領域信号 $x(n, \quad)$ と自船状態遷移モデルにより、自船状態を推定する。

【 0 0 5 0 】

図6は、本実施例の方向推定処理S304のフローチャートである。

【 0 0 5 1 】

まず、本実施例の方向推定部202は、S601で、自船状態が「着水」であるかどうかを判断する。「着水」であれば素子101は水中の物体から発せられる振動信号 (源信号) を観

50

測し、その物体の位置を推定することができる。よって、状態が「着水」であればS602以降を実行し、そうでなければ終了する。すなわち、図5にて説明したように、「浮上」状態であれば素子101が水中の物体からの信号が得られない。また、「降下」状態であれば大きなノイズのために素子101が正確に信号を取得できない。よって、「浮上」「降下」状態においては方向推定処理を行わない。

【0052】

次に、方向推定部202は、S602で、数3により各周波数 $f$ における素子間共分散行列 $\mathbf{R}(f, \tau)$ を計算する。ただし、 $\gamma$ は0以上1以下の定数である。

【0053】

【数3】

$$\mathbf{R}(f, \tau) = (\gamma - 1)\mathbf{R}(f, \tau - 1) + \gamma \begin{bmatrix} x(1, \tau, f)^* x(1, \tau, f) & x(2, \tau, f)^* x(1, \tau, f) & \cdots & x(N, \tau, f)^* x(1, \tau, f) \\ x(1, \tau, f)^* x(2, \tau, f) & x(2, \tau, f)^* x(2, \tau, f) & \cdots & x(N, \tau, f)^* x(2, \tau, f) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x(1, \tau, f)^* x(N, \tau, f) & x(2, \tau, f)^* x(N, \tau, f) & \cdots & x(N, \tau, f)^* x(N, \tau, f) \end{bmatrix}$$

10

【0054】

次に、方向推定部202は、S603で数4により、方向ヒストグラムを計算し、終了する。

【0055】

【数4】

$$h(\tau, \theta) = \sum_{f=1}^F \mathbf{a}(f, \theta)^H \mathbf{R}(f, \tau) \mathbf{a}(f, \theta)$$

20

【0056】

ただし、 $\mathbf{a}(f, \theta) = [a(f, \theta, 1), \dots, a(f, \theta, N)]$ は周波数 $f$ における方向 $\theta$ のステアリングベクトルを表し、 $\mathbf{a}(f, \theta)$ の各要素 $a(f, \theta, n)$ は素子配置に基づくシミュレーションによって数5で計算される。ただし、 $\eta(f, n)$ は素子1と素子 $n$ の間での源信号の到達時間の差であり、FreqMaxは周波数番号 $F$ に対応する周波数である。

30

【0057】

【数5】

$$a(f, \theta, n) = \exp(j2\pi \frac{f}{F} \times \text{FreqMax} \times \eta)$$

【0058】

本実施例では、音源方向推定に最小分散ビームフォーマ法を用いているが、音源方向推定には他にも遅延和アレ法、最小分散ビームフォーマ法、GCC-PHAT法、SRP-PHAT法、MUSIC法、ESPRIT法、SPIRE法などが存在し、それらのいずれを用いても良い。

40

【0059】

以上のように、本実施例では状態が「着水」のとき方向推定処理を行うように構成される。この結果、図4に示したように、方向推定結果410は離散的に求められる。

【0060】

図7は、本実施例の軌跡推定処理S305のフローチャートである。

【0061】

軌跡推定は、具体的には、軌跡仮説を構成する音源方向 $\theta$ を観測信号として、カルマンフィルタを実行することで、真の音源方向 $\theta$ を計算する。たとえば、カルマンフィルタのシステムモデルと観測モデルは、それぞれ数6と数7であらわされる。ただし、

50

は時間フレームの間隔を表し、 $\mathbf{R}_\xi$  は或る共分散行列を表し、 $\xi$  は或る分散値を表す。

【 0 0 6 2 】

【 数 6 】

$$\begin{bmatrix} \tilde{\theta}(\tau) \\ \tilde{\dot{\theta}}(\tau) \end{bmatrix} = \mathbf{F} \begin{bmatrix} \tilde{\theta}(\tau-1) \\ \tilde{\dot{\theta}}(\tau-1) \end{bmatrix} + \xi$$

ただし、
$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta\tau \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \xi \sim N(0, \mathbf{R}_\xi)$$

10

【 0 0 6 3 】

【 数 7 】

$$\theta(\tau) = \tilde{\theta}(\tau) + \psi$$

$$\theta(\tau) = \mathbf{H} \begin{bmatrix} \tilde{\theta}(\tau) \\ \tilde{\dot{\theta}}(\tau) \end{bmatrix} + \psi$$

ただし、
$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \psi \sim N(0, \sigma_\psi)$$

20

【 0 0 6 4 】

ここで、カルマンフィルタの代わりにパーティクルフィルタなど他の追跡アルゴリズムを用いてもよい。まず、本実施例の軌跡推定部203は、S701で、数8により軌跡を予測する

30

【 0 0 6 5 】

【 数 8 】

$$\begin{bmatrix} \tilde{\theta}_{\tau-1}(\tau) \\ \tilde{\dot{\theta}}_{\tau-1}(\tau) \end{bmatrix} = \mathbf{F} \begin{bmatrix} \tilde{\theta}_{\tau-1}(\tau-1) \\ \tilde{\dot{\theta}}_{\tau-1}(\tau-1) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{P}_{\tau-1}(\tau) = \mathbf{F} \mathbf{P}_{\tau-1}(\tau-1) \mathbf{F}^T + \mathbf{R}_\xi$$

40

【 0 0 6 6 】

次に、本実施例の軌跡推定部203は、S702で、自船状態が「着水」であるかどうかを判断する。「着水」であればS703を実行し、そうでなければS704を実行する。本実施例の軌跡推定部203は、S703で、数9により軌跡の推定値を更新し、終了する。

【 0 0 6 7 】

【数 9】

$$e(\tau) = \theta(\tau) - \mathbf{H} \begin{bmatrix} \tilde{\theta}_{\tau-1}(\tau) \\ \tilde{\dot{\theta}}_{\tau-1}(\tau) \end{bmatrix}$$

$$S(\tau) = \sigma_{\psi}^2 + \mathbf{H} \mathbf{P}_{\tau-1}(\tau) \mathbf{H}^T$$

$$\mathbf{K}(\tau) = \mathbf{P}_{\tau-1}(\tau) \mathbf{H}^T S(\tau)^{-1}$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{\theta}_{\tau}(\tau) \\ \tilde{\dot{\theta}}_{\tau}(\tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{\theta}_{\tau-1}(\tau) \\ \tilde{\dot{\theta}}_{\tau-1}(\tau) \end{bmatrix} + \mathbf{K}(\tau) e(\tau)$$

$$\mathbf{P}_{\tau}(\tau) = (\mathbf{I} - \mathbf{K}(\tau) \mathbf{H}) \mathbf{P}_{\tau-1}(\tau)$$

10

【0068】

20

本実施例の軌跡推定部203は、S704で、数10により軌跡の推定値に予測値を格納し、終了する。

【0069】

【数10】

$$\begin{bmatrix} \tilde{\theta}_{\tau}(\tau) \\ \tilde{\dot{\theta}}_{\tau}(\tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{\theta}_{\tau-1}(\tau) \\ \tilde{\dot{\theta}}_{\tau-1}(\tau) \end{bmatrix}$$

30

【0070】

以上のように、本実施例では状態が「着水」のとき軌跡の更新処理を行うように構成される。一方、状態が「着水」ではない場合には、時刻 の方向推定結果 $y(\ )$ が得られないため、予測値を推定軌跡として格納する。

【0071】

本実施例は、以上の構成により、船舶を高速で駆動せざるをえない場合であっても、物体の位置を推定することが可能である。

【0072】

なお、図2のブロック図では、自船状態推定結果 $c(\ )$ を方向推定部202と軌跡推定部203の両方に入力している。そして、図7の処理では、軌跡推定部203で、処理S702において自船状態推定結果 $c(\ )$ により状態を検知しているが、S702において自船状態推定結果 $c(\ )$ を用いず、方向推定部202からの方向推定結果 $y(\ )$ が得られないことにより、状態が「着水」ではないことを知ることができる。この場合は、軌跡推定部203に自船状態推定結果 $c(\ )$ を入力する必要はない。

40

【0073】

また、他の変形例としては、方向推定部202では常に方向推定処理を行い、常に方向推定結果 $y(\ )$ を軌跡推定部203に入力し、軌跡推定部203において自船状態推定結果 $c(\ )$ を用いてフィルタリングを行ってもよい。この場合は、方向推定部202に自船状態推定結果 $c(\ )$ を入力する必要はない。

【0074】

50

なお、上記の単純な例では、「着水」、「浮上」、「降下」の3つの状態で例示したが、振動スペクトルの確率分布の分類に基づいて、さらに細分化してもよいのはもちろんである。

【実施例2】

【0075】

本実施例では、船舶の駆動命令を利用して、自船状態や状態遷移の頻度が異なる場合であっても、物体の位置を推定する振動源検知装置の例を説明する。本実施例では、船舶の運転に使用する制御信号に基づいて、状態遷移モデルを選択する。船舶の駆動命令とは、出力（エンジン）の制御命令、操舵命令（舵を持つ船では舵の駆動信号、ウォータージェット推進の船舶では、ノズルの噴射方向制御信号等）など、船舶の状態を変更するための命令全般を含む。

10

【0076】

図8は、本実施例の自船状態遷移モデルのデータ構造の例である。自船駆動命令 $k$ ごとに異なった自船状態遷移モデル $u(k)$ を割り当て、データベースに格納している。それぞれの自船状態遷移モデル $u(k)$ が隠れマルコフモデルであり、 $S(k)$ 個の状態 $s(k,1), \dots, s(k, S(k))$ を持つ。自船状態遷移モデル $u(k)$ は、自船駆動命令 $k$ が $i$ 番目の状態 $s(k,i)$ において生成する振動の周波数スペクトルの確率分布 $\text{dist}(k, i)$ 、および、自船駆動命令 $k$ が次の時刻フレームに $i$ 番目の状態 $s(k,i)$ から $j$ 番目の状態 $s(k,j)$ に遷移する遷移確率 $q(k, i, j)$ を持つ。周波数スペクトルの確率分布 $\text{dist}(k, i)$ はたとえば混合ガウスモデル（GMM）であり、 $\text{dist}(k, i)$ は $C(k, i)$ 個のクラスタ $[c(k, i, 1), \dots, c(k, i, C(k, i))]$ を持つ。 $c_{l_1}$ 番目のクラスタ $c(k, i, c_{l_1})$ はスペクトルの平均 $\mu(k, i, c_{l_1})$ （数11）とスペクトルの共分散行列 $\Sigma(k, i, c_{l_1})$ （数12）により定義される。

20

【0077】

【数11】

$$\mu(k, i, a) = \begin{bmatrix} \mu(k, i, a, 1) \\ \mu(k, i, a, 2) \\ \vdots \\ \mu(k, i, a, F) \end{bmatrix}$$

30

【0078】

【数12】

$$\Sigma(k, i, a) = \begin{bmatrix} \sigma(k, i, a, 1, 1)^2 & \sigma(k, i, a, 1, 2)^2 & \cdots & \sigma(k, i, a, 1, F)^2 \\ \sigma(k, i, a, 2, 1)^2 & \sigma(k, i, a, 2, 2)^2 & \cdots & \sigma(k, i, a, 2, F)^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma(k, i, a, F, 1)^2 & \sigma(k, i, a, F, 2)^2 & \cdots & \sigma(k, i, a, F, F)^2 \end{bmatrix}$$

40

【0079】

本実施例は、このように自船駆動命令 $k$ ごとに自船状態遷移モデル $u(k)$ を持つので、自船駆動命令 $k$ の情報に基づいて、自船駆動命令 $k$ に適した自船状態遷移モデル $u(k)$ を選択し、使用することができる。すなわち本実施例では、自船状態を表す振動スペクトルや遷移確率は自船駆動命令 $k$ ごとに定められることになる。

【0080】

50

図9は、本実施例の推定システム100の、自船状態遷移モデル学習時のフローチャートである。例えば実際に操船することにより、自船の状態遷移を学習する。推定システム100は、すべての自船駆動命令に対して、S801以降の処理を反復する。

【0081】

まず、推定システム100は、自船駆動方法提示処理S801で、ユーザインタフェース部104を用いて、これから学習する自船状態遷移モデルに対応する自船駆動命令をユーザに提示する。これを受けて、ユーザは、提示された自船駆動命令を開始し、継続することが期待される。

【0082】

次に、信号取得処理S802で、信号取得部201が、複数チャンネル入力信号 $z(n, t)$ をバッファリングし、バッファリングした入力信号系列 $[z(n, t-(M-1)), z(n, t-(M-2)), \dots, z(n, t-1), z(n, t)]$ に対して窓関数の乗算と短時間フーリエ変換を行い、複数チャンネル周波数領域信号 $x(n, f)=[x(n, f_1), \dots, x(n, f_F)]$ を出力する。

10

【0083】

次に、自船状態遷移モデル学習処理S803で、自船状態推定部206が、複数チャンネル周波数領域信号 $x(n, f)$ に基づいて自船状態遷移モデルの学習を行う。自船状態遷移モデルの学習には、隠れマルコフモデル(HMM)の学習方法である、Baum-Welchアルゴリズムなどのアルゴリズムを用いる。

【0084】

次に、推定システム100は、S804で学習が完了したかどうかを判断する。具体的には、自船状態遷移モデル $u(k)$ の周波数スペクトルの確率分布 $\text{dist}(k, i)$ と遷移確率 $q(k, i, j)$ が収束し、前回の反復と比べて変化量が小さくなった時に学習が完了したと判断する。完了したと判断した場合、次の自船駆動命令に対し、S801以降の処理を反復実行する。そうでない場合、信号取得処理S802に戻る。

20

本実施例は、以上の構成により、船舶の駆動命令によって自船状態や状態遷移の頻度が異なる場合であっても、物体の位置を推定することが可能である。

【実施例3】

【0085】

本実施例では、自船状態と振動信号の間の相関が小さい場合であっても、物体の位置を推定する振動源検知装置の例を説明する。例えば、加速度センサと気圧センサの検出情報を利用する。

30

【0086】

図10は、本実施例の推定システム100のハードウェア構成を示した図である。

【0087】

本実施例の推定システム100は、ハイドロホンやマイクロホンなどの素子101\_1~101\_N、複数チャンネルAD変換器102、中央演算装置103、ユーザインタフェース部104、記憶媒体105、揮発性メモリ106、加速度センサ1001、気圧センサ1002から構成されている。

【0088】

素子101\_1~101\_Nは、水中あるいは空中の音波をアナログ電圧値に変換し、複数チャンネルAD変換器102に送る。複数チャンネルAD変換器102は、複数チャンネルのアナログ電圧値を複数チャンネルのデジタル信号に変換し、中央演算装置103に送る。

40

【0089】

図11は、本実施例の推定システム100の機能ブロック図である。

【0090】

信号処理部11000は、具体的な構成例としては、信号取得部201、方向推定部202、軌跡推定部203、結果出力部205、自船状態推定部206は、ソフトウェアによる情報処理がハードウェア資源である中央演算装置103、ユーザインタフェース部104、記憶媒体105、揮発性メモリ106を用いて当該機能を実現する。あるいは、当該機能がハードウェアのみで実現される場合は、当該処理を実現する専用回路構成を示す。

【0091】

50

信号取得部201は、サンプリングの時間間隔 秒ごとに、複数チャンネルAD変換器102から複数チャンネル入力信号 $z(n, t)$ を受信し、 $z(n, t)$ をバッファリングする。ただし、 $z(n, t)$ は時刻 $t$ 秒での素子 $n$ の入力信号を意味する。バッファリングされた過去 $M$ 回にわたっての入力信号系列 $[z(n, t-(M-1)), z(n, t-(M-2)), \dots, z(n, t-), z(n, t)]$ に対して、窓関数の乗算と短時間フーリエ変換を行い、複数チャンネル周波数領域信号 $x(n, )=[x(n, , 1), \dots, x(n, , F)]$ を計算し、出力する。ただし、 はサンプリングの時間間隔、 $F$ は短時間フーリエ変換の周波数番号の個数、 は窓関数の乗算と短時間フーリエ変換の対象時間の範囲 ( $t-(M-1)$  から $t$ までの時刻帯) を一つの時間フレームとみなしたときのフレーム番号を表す。

【0092】

自船状態推定部1101は、加速度センサ1001と気圧センサ1002のセンサ値を入力として、自船状態推定処理を実行し、時刻 の自船状態推定結果 $c( )$ を出力する。この場合、例えば、加速度センサ1001により船体の上下の動きを検知し、「着水」「浮上」「降下」等の状態を検知する。また、圧力センサ1002により、水中か否かなどの状態を検知する。実施例1, 2と同様に、自船状態推定部1101の自船状態の推定には、隠れマルコフモデル(HMM)の状態推定方法である、ピタビアルゴリズムなどのアルゴリズムを用いる。自船状態は、たとえば「着水」、「浮上」、「降下」のいずれかのシンボルとして得られる。

【0093】

方向推定部202は、複数チャンネル周波数領域信号 $x(n, )$ と自船状態推定結果を入力として、方向推定処理を実行し、時刻 の方向推定結果 $y( )=[y( , 1), \dots, y( , D)]$ を出力する。ただし、 $D$ は離散化した方向番号の個数である。

【0094】

軌跡推定部203は、複数時刻の方向推定結果 $[y( -(B-1)), y( -(B-2)), \dots, y( )]$ と自船状態推定結果を入力として、軌跡推定処理を実行し、方向の時系列である軌跡推定結果 $Traj( ) = [ ( -(B-1)), ( -(B-2)), \dots, ( )]$ を出力する。

【0095】

結果出力部205は、 $Traj( )$ をユーザに提示する。提示方法は、たとえば、ユーザインタフェース部104を介した画像情報提示、点字ディスプレイによる提示、音声による提示、プリンタを介した画像情報の印刷などである。

【0096】

本実施例では、センサ1001, 1002の情報により自船状態を推定するが、合わせて、実施例1, 2のように振動スペクトルを併用してもよい。なお、センサの情報量が大きく情報精度が高ければ、状態遷移モデルを用いずに、センサのみで自船状態の推定が可能である場合もあるが、センサを維持するコストを考慮すると、状態遷移モデルを用いる利点がある。

【0097】

図12は、本実施例の自船状態遷移モデルのデータ構造の例である。

【0098】

自船駆動命令 $k$ ごとに異なった自船状態遷移モデル $u(k)$ を割り当て、データベースに格納している。それぞれの自船状態遷移モデル $u(k)$ が隠れマルコフモデルであり、 $S(k)$ 個の状態 $s(k, 1), \dots, s(k, S(k))$ を持つ。自船状態遷移モデル $u(k)$ は、自船駆動命令 $k$ が $i$ 番目の状態 $s(k, i)$ において生成する、1次元目に加速度センサの値、2次元目に気圧センサの値を持つベクトル(センサベクトル)の確率分布 $\text{dist}(k, i)$ 、および、自船駆動命令 $k$ が次の時刻フレームに $i$ 番目の状態 $s(k, i)$ から $j$ 番目の状態 $s(k, j)$ に遷移する遷移確率 $q(k, i, j)$ を持つ。センサベクトルの確率分布 $\text{dist}(k, i)$ はたとえば混合ガウスモデル(GMM)であり、 $\text{dist}(k, i)$ は $C(k, i)$ 個のクラスタ $[c(k, i, 1), \dots, c(k, i, C(k, i))]$ を持つ。 $c_{-l}$ 番目のクラスタ $c(k, i, c_{-l})$ はセンサベクトルの平均 $\mu(k, i, c_{-l})$ (数13)とセンサベクトルの共分散行列  $(k, i, c_{-l})$ (数14)により定義される。

【0099】

10

20

30

40

【数 1 3】

$$\mu(k,i,a) = \begin{bmatrix} \mu(k,i,a,1) \\ \mu(k,i,a,2) \end{bmatrix}$$

【0 1 0 0】

【数 1 4】

$$\Sigma(k,i,a) = \begin{bmatrix} \sigma(k,i,a,1,1)^2 & \sigma(k,i,a,1,2)^2 \\ \sigma(k,i,a,2,1)^2 & \sigma(k,i,a,2,2)^2 \end{bmatrix}$$

10

【0 1 0 1】

本実施例は、このように、振動入力と異なる加速度や気圧といったセンサ入力を用いて自船状態遷移の遷移を行うので、自船状態と振動信号の間の相関が小さい場合であっても、物体の位置を推定することができる。図 1 2 に示す例では、自船状態を表すセンサ情報や遷移確率は自船駆動命令kごとに定められることになる。

【0 1 0 2】

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

20

【0 1 0 3】

また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、上記の各構成、機能等は、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現してもよい。各機能を実現するプログラム、テーブル、ファイル等の情報は、メモリや、ハードディスク、SSD (Solid State Drive) 等の記録装置、または、ICカード、SDカード、DVD等の記録媒体に置くことができる。

30

【0 1 0 4】

また、制御線や情報線は説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。実際には殆ど全ての構成が相互に接続されていると考えてもよい。

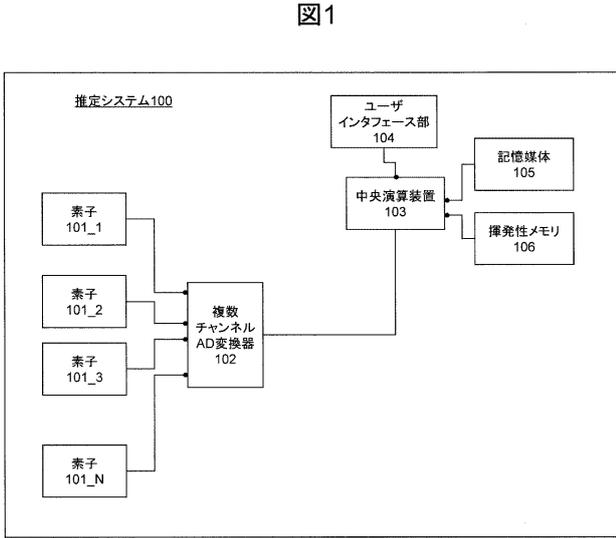
【符号の説明】

【0 1 0 5】

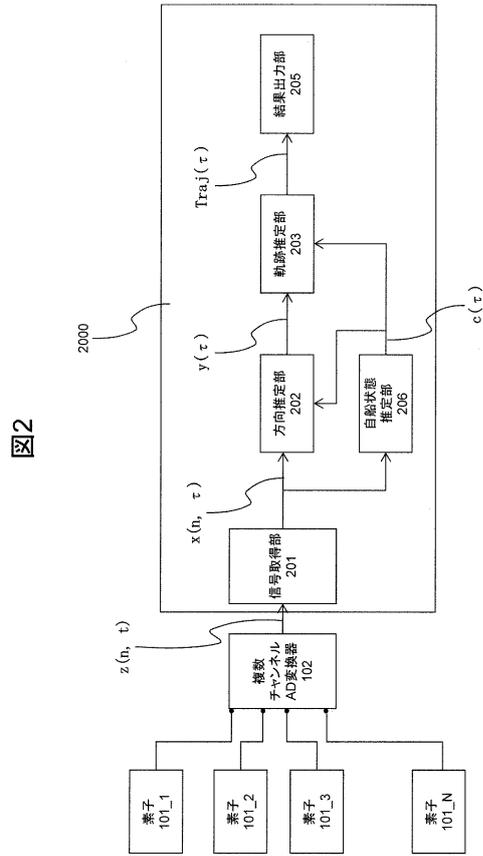
100：推定システム、101：素子、102：複数チャンネル A D 変換器、103：中央演算装置、104：ユーザインタフェース部、105：記憶媒体、106：揮発性メモリ

40

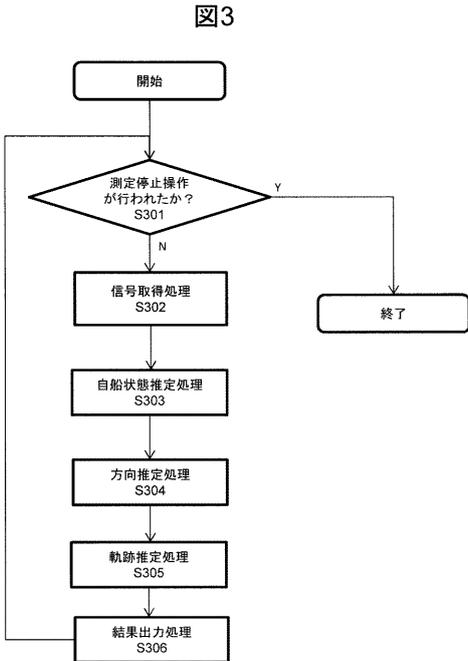
【 図 1 】



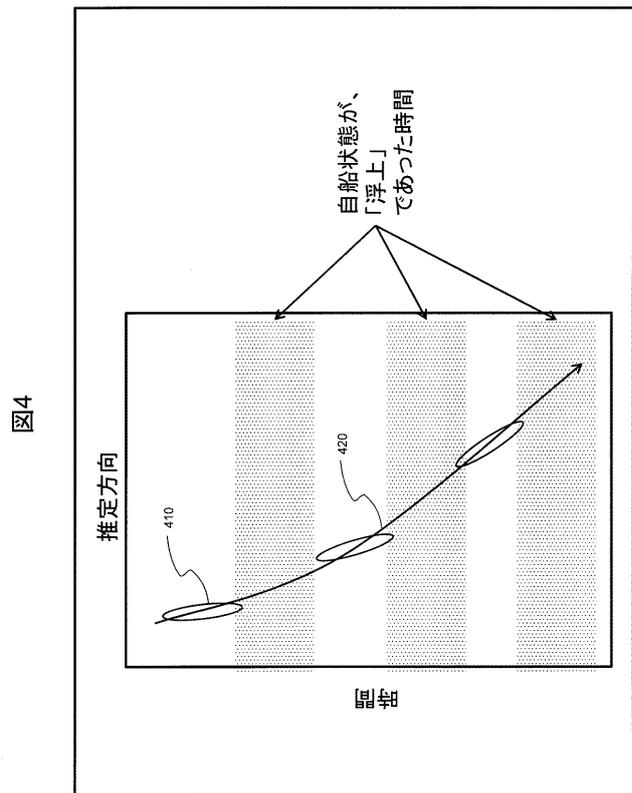
【 図 2 】



【 図 3 】

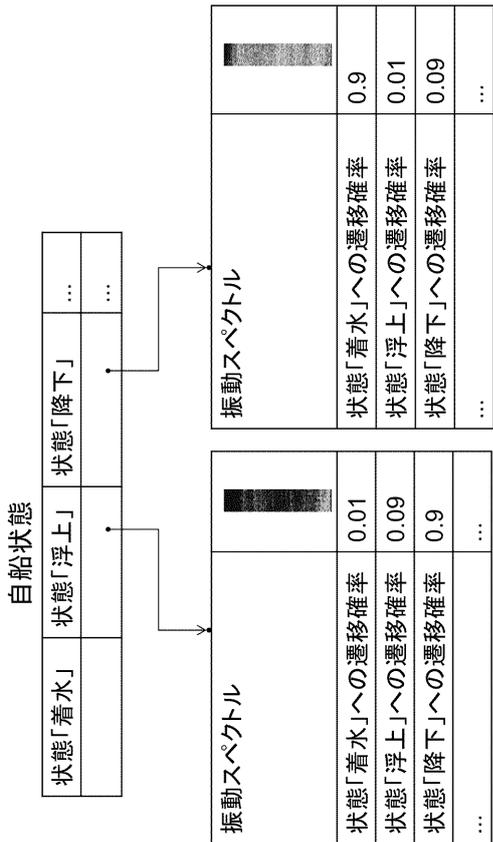


【 図 4 】



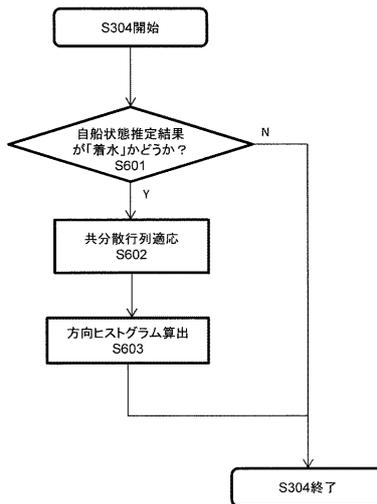
【 図 5 】

図5



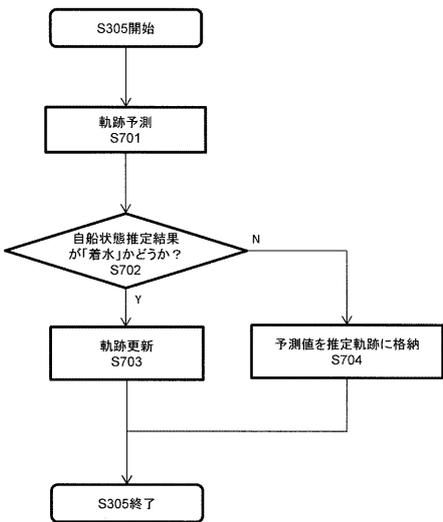
【 図 6 】

図6



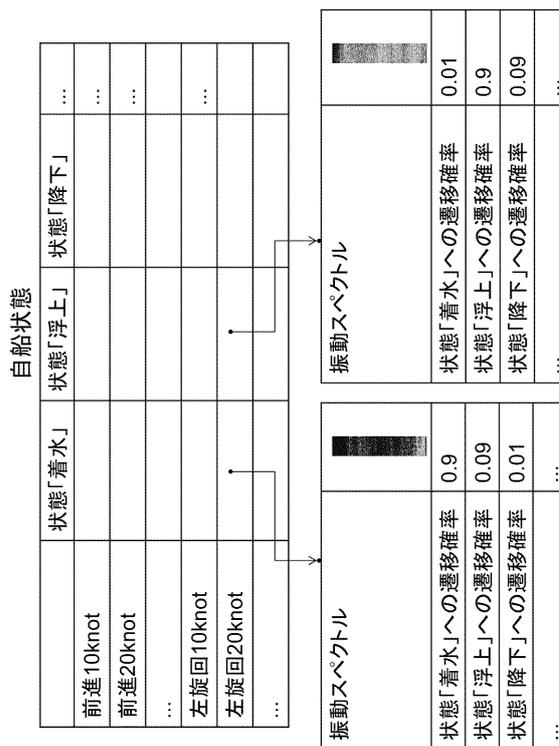
【 図 7 】

図7



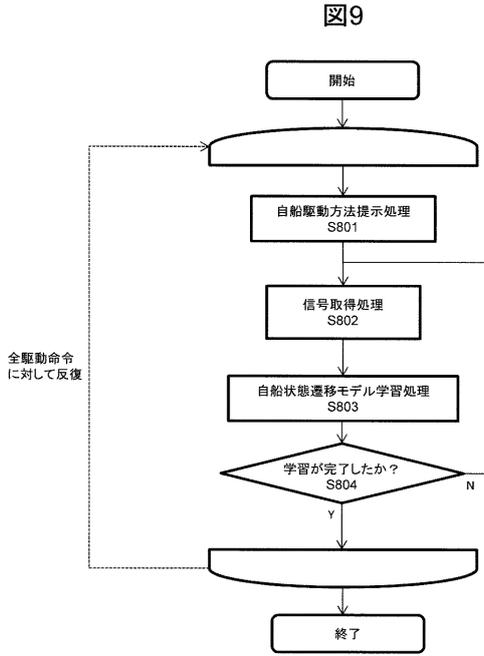
【 図 8 】

図8

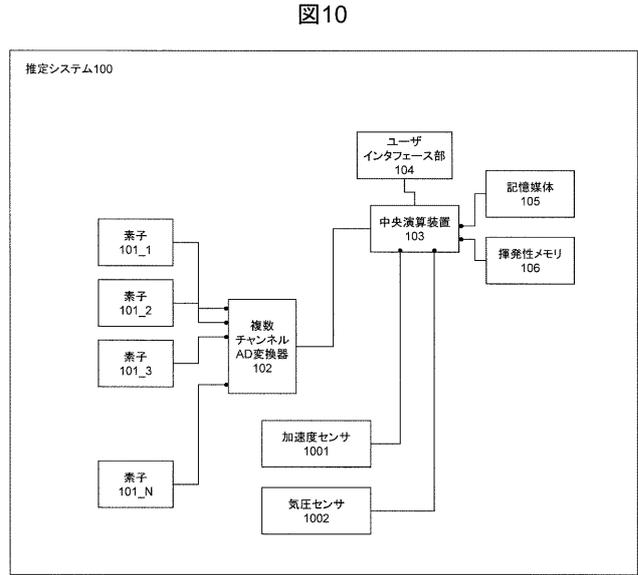


自船状態

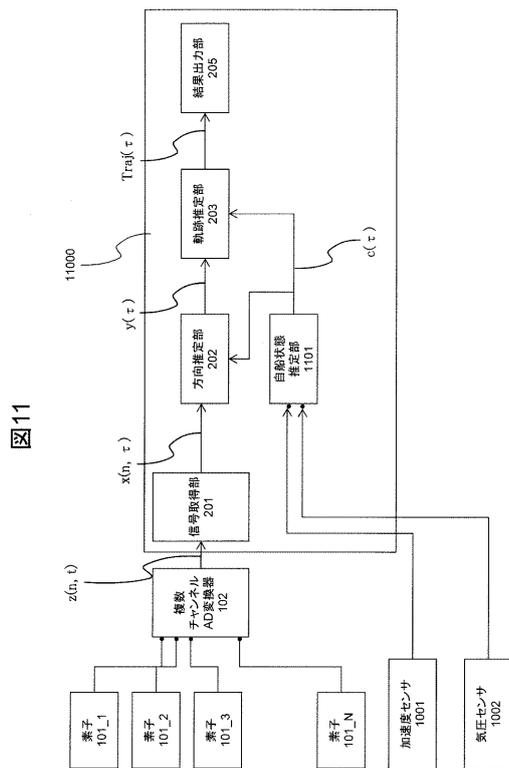
【 図 9 】



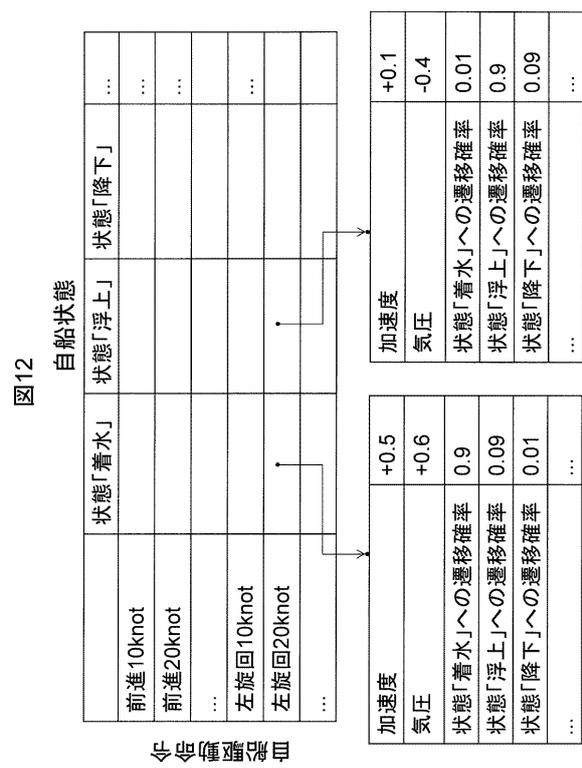
【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 加藤 健太郎

東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

(72)発明者 戸上 真人

東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

(72)発明者 高島 遼一

東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

Fターム(参考) 5J083 AA05 AB12 AC17 AC29 AD01 AD17 AD19 AF16 BE41 CA09  
CA10 CA12 EC19