

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7539552号
(P7539552)

(45)発行日 令和6年8月23日(2024.8.23)

(24)登録日 令和6年8月15日(2024.8.15)

(51)国際特許分類

G 0 1 S	17/89 (2020.01)	F I	G 0 1 S	17/89
G 0 1 S	17/93 (2020.01)		G 0 1 S	17/93

請求項の数 12 (全28頁)

(21)出願番号	特願2023-506395(P2023-506395)
(86)(22)出願日	令和3年3月15日(2021.3.15)
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/010365
(87)国際公開番号	WO2022/195670
(87)国際公開日	令和4年9月22日(2022.9.22)
審査請求日	令和5年9月11日(2023.9.11)

(73)特許権者	000005016 パイオニア株式会社 東京都文京区本駒込二丁目28番8号
(73)特許権者	520001073 パイオニアスマートセンシングイノベーションズ株式会社 東京都文京区本駒込二丁目28番8号
(74)代理人	100107331 弁理士 中村 聰延
(72)発明者	加藤 正浩 埼玉県川越市山田25番地1 パイオニア株式会社 川越事業所内
(72)発明者	幸田 健志 埼玉県川越市山田25番地1 パイオニア株式会社 川越事業所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 情報処理装置、制御方法、プログラム及び記憶媒体

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

船舶に設けられた計測装置が生成する点群データを取得する点群データ取得手段と、前記点群データに基づいて、前記船舶の自己位置を推定する自己位置推定手段と、岸の位置を取得する岸位置取得手段と、
前記船舶の自己位置及び前記岸の位置に基づいて、前記岸から第1の所定距離離れており
かつ、前記船舶の自己位置から第2の所定距離以内の位置の点群データを、水面において反射されることで計測された水面反射データとして抽出する水面反射データ抽出手段と、
前記水面反射データに基づき、水面高さを算出する水面高さ算出手段と、
を有する情報処理装置。

【請求項2】

前記水面高さ算出手段は、前記水面反射データの高さ方向の値の平均を前記水面高さとして算出する請求項1に記載の情報処理装置。

【請求項3】

前記水面高さ算出手段は、前記水面反射データの高さ方向の値の平均及び分散を算出し、前記分散が所定値未満である場合に、前記平均を前記水面高さとして算出する請求項2に記載の情報処理装置。

【請求項4】

前記水面高さに基づいて探索範囲を設定し、前記探索範囲に属する水面反射データに基づいて、障害物及び引き波を検出する検出手段を備える請求項1乃至3のいずれか一項に

記載の情報処理装置。

【請求項 5】

前記検出手段は、前記探索範囲に属する水面反射データが線状か否かを判定し、線状と判定された点群データが所定時間にわたり存在する場合に、当該線状の水面反射データを引き波として検出する請求項 4 に記載の情報処理装置。

【請求項 6】

前記検出手段は、前記探索範囲に属する水面反射データがかたまりを形成しているか否かを判定し、かたまりと判定された水面反射データが所定時間にわたり存在する場合に、当該かたまりの水面反射データを障害物として検出する請求項 4 に記載の情報処理装置。

【請求項 7】

前記検出手段は、前記水面反射データの高さ方向の値の分散に基づいて、前記探索範囲の高さ範囲を変化させる請求項 4 乃至 6 のいずれか一項に記載の情報処理装置。

【請求項 8】

前記水面高さに基づいて探索範囲を設定する探索範囲設定手段と、
前記探索範囲に属する水面反射データに基づいて引き波を検出する引き波検出手段と、
前記探索範囲に属する水面反射データから前記引き波に対応するデータを除去した引き波
除去データに基づいて、障害物を検出する障害物検出手段と、
を備え、

前記水面高さ算出手段は、前記引き波除去データから前記障害物に対応するデータを除去した障害物除去データに基づいて、前記水面高さを算出する請求項 1 に記載の情報処理装置。

10

20

30

40

【請求項 9】

前記船舶の自己位置に基づいて船舶着岸支援を行う着岸支援手段を備える請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の情報処理装置。

【請求項 10】

コンピュータが実行する制御方法であって、
船舶に設けられた計測装置が生成する点群データを取得し、
前記点群データに基づいて、前記船舶の自己位置を推定し、
岸の位置を取得し、
前記船舶の自己位置及び前記岸の位置に基づいて、前記岸から第 1 の所定距離離れており
かつ、前記船舶の自己位置から第 2 の所定距離以内の位置の点群データを、水面において反射されることで計測された水面反射データとして抽出し、
前記水面反射データに基づき、水面高さを算出する制御方法。

【請求項 11】

船舶に設けられた計測装置が生成する点群データを取得し、
前記点群データに基づいて、前記船舶の自己位置を推定し、
岸の位置を取得し、
前記船舶の自己位置及び前記岸の位置に基づいて、前記岸から第 1 の所定距離離れており
かつ、前記船舶の自己位置から第 2 の所定距離以内の位置の点群データを、水面において反射されることで計測された水面反射データとして抽出し、

前記水面反射データに基づき、水面高さを算出する処理をコンピュータに実行させるプログラム。

【請求項 12】

請求項 11 に記載のプログラムを記憶した記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、船舶において計測したデータの処理に関する。

【背景技術】

【0002】

50

従来から、レーザスキャナなどの計測装置を用いて計測した周辺物体の形状データを、予め周辺物体の形状が記憶された地図情報と照合（マッチング）することで、移動体の自己位置を推定する技術が知られている。例えば、特許文献1には、空間を所定の規則で分割したボクセル中における検出物が静止物か移動物かを判定し、静止物が存在するボクセルを対象として地図情報と計測データとのマッチングを行う自律移動システムが開示されている。また、特許文献2には、ボクセル毎の静止物体の平均ベクトルと共に分散行列とを含むボクセルデータとライダが出力する点群データとの照合により自己位置推定を行うスキヤンマッチング手法が開示されている。さらに、特許文献3には、船舶の自動着岸を行う自動着岸装置において、ライダから照射される光が着岸位置の周囲の物体に反射してライダにより受光できるように、船舶の姿勢を変化させる制御を行う手法が記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】国際公開WO 2013 / 076829

【文献】国際公開WO 2018 / 221453

【文献】特開2020 - 59403号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

昨今、自動車分野だけでなく、船舶においても、自動操船システムの検討が進められており、安全な自動操船には精度の良い自己位置推定は同様に重要である。外洋では周辺に構造物が少ないためGNSS (Global Navigation Satellite System) により自己位置を測位可能であるが、都市部の沿岸や河川では高層ビル等が隣接するため、受信衛星数の低下やマルチパスなどによりGNSS電波の受信環境は悪く、精度の良い測位はできないことが多い。よって、船舶の場合においても、上記のスキヤンマッチングによる高精度な位置推定が好適に適用される。

20

【0005】

一方、船舶にライダを搭載すると、下方向に向いたライダのビームの一部が水面で反射し、実際には存在しない場所からの検出データが得られてしまう。そのような水面反射によるデータは誤検出（誤警報）データであり、自己位置推定の精度に影響を与える。検出されたデータが誤検出データであるか否かを判定するためには、水面の高さを高精度で推定することが必要となる。

30

【0006】

本開示は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、水面の高さを高精度に推定することが可能な情報処理装置を提供することを主な目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

請求項に記載の発明は、情報処理装置であって、船舶に設けられた計測装置が生成する点群データを取得する点群データ取得手段と、前記点群データに基づいて、前記船舶の自己位置を推定する自己位置推定手段と、岸の位置を取得する岸位置取得手段と、前記船舶の自己位置及び前記岸の位置に基づいて、前記岸から第1の所定距離離れており、かつ、前記船舶の自己位置から第2の所定距離以内の位置の点群データを、水面において反射されることで計測された水面反射データとして抽出する水面反射データ抽出手段と、前記水面反射データに基づき、水面高さを算出する水面高さ算出手段と、を有する。

40

【0008】

また、請求項に記載の発明は、コンピュータが実行する制御方法であって、船舶に設けられた計測装置が生成する点群データを取得し、前記点群データに基づいて、前記船舶の自己位置を推定し、岸の位置を取得し、前記船舶の自己位置及び前記岸の位置に基づいて、前記岸から第1の所定距離離れており、かつ、前記船舶の自己位置から第2の所定距離以内の位置の点群データを、水面において反射されることで計測された水面反射データと

50

して抽出し、前記水面反射データに基づき、水面高さを算出する。

【0009】

また、請求項に記載の発明は、プログラムであって、船舶に設けられた計測装置が生成する点群データを取得し、前記点群データに基づいて、前記船舶の自己位置を推定し、岸の位置を取得し、前記船舶の自己位置及び前記岸の位置に基づいて、前記岸から第1の所定距離離れており、かつ、前記船舶の自己位置から第2の所定距離以内の位置の点群データを、水面において反射されることで計測された水面反射データとして抽出し、前記水面反射データに基づき、水面高さを算出する処理をコンピュータに実行させる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

10

【図1】運転支援システムの概略構成図である。

【図2】情報処理装置の構成を示すブロック図である。

【図3】自己位置推定部が推定すべき自己位置を3次元直交座標で表した図である。

【図4】ボクセルデータの概略的なデータ構造の一例を示す。

【図5】ライダから見た水面高さを説明する図である。

【図6】ライダの出射光の水面反射を説明する図である。

【図7】水面高さの推定に用いる点群データを説明する図である。

【図8】障害物の検出方法を説明する図である。

【図9】引き波の検出方法を説明する図である。

【図10】障害物／引き波検出部の機能構成を示すブロック図である。

20

【図11】探索範囲の決定方法を説明する図である。

【図12】ハフ変換により直線を検出するシミュレーションを行った結果を示す。

【図13】ユークリッドクラスタリングの例を示す。

【図14】ユークリッドクラスタリングのシミュレーション結果を示す。

【図15】物体の距離と点群データの間隔との関係を示す図である。

【図16】グルーピング閾値と点数閾値を固定にした場合と、適応的に設定した場合のシミュレーション結果を示す。

【図17】船舶の周辺で得られた水面反射データを示す。

【図18】水面反射データから引き波と障害物を除去する方法を示す。

【図19】障害物／引き波検出処理のフローチャートである。

30

【図20】引き波検出処理のフローチャートである。

【図21】直線検出の方法を説明する図である。

【図22】障害物検出処理のフローチャートである。

【図23】水面位置推定処理のフローチャートである。

【図24】引き波情報算出処理のフローチャート及び説明図である。

【図25】障害物情報算出処理のフローチャートである。

【図26】変形例1による水面位置推定方法の説明図である。

【図27】変形例2による引き波検出の例を示す。

【発明を実施するための形態】

【0011】

40

本発明の1つの好適な実施形態では、情報処理装置は、船舶に設けられた計測装置が生成する点群データを取得する点群データ取得手段と、岸から所定距離離れているデータであり、前記計測装置による計測位置から所定距離以内の位置を計測したデータを、水面において反射されることで計測された水面反射データとして抽出する水面反射データ抽出手段と、前記水面反射データに基づき、水面高さを算出する水面高さ算出手段と、を有する。

【0012】

上記の情報処理装置では、点群データ取得手段は、船舶に設けられた計測装置が生成する点群データを取得する。水面反射データ抽出手段は、岸から所定距離離れているデータであり、計測装置による計測位置から所定距離以内の位置を計測したデータを、水面において反射されることで計測された水面反射データとして抽出する。そして、水面高さ算出

50

手段は、水面反射データに基づき、水面高さを算出する。これにより、水面反射データを用いて、水面高さを高精度で算出することができる。

【0013】

上記の情報処理装置の一態様では、前記水面高さ算出手段は、前記水面反射データの高さ方向の値の平均を前記水面高さとして算出する。他の一態様では、前記水面高さ算出手段は、前記水面反射データの高さ方向の値の平均及び分散を算出し、前記分散が所定値未満である場合に、前記平均を前記水面高さとして算出する。

【0014】

上記の情報処理装置の他の一態様は、前記計測位置及び前記水面高さに基づいて探索範囲を設定し、前記探索範囲に属する点群データに基づいて、障害物及び引き波の少なくとも一方を検出する検出手段を備える。この態様では、水面高さを用いて、障害物や引き波を検出することができる。

10

【0015】

上記の情報処理装置の他の一態様では、前記検出手段は、前記探索範囲に属する点群データが線状か否かを判定し、線状と判定された点群データが所定時間にわたり存在する場合に、当該線状の点群データを引き波として検出し、前記探索範囲に属する点群データがかたまりを形成しているか否かを判定し、かたまりと判定された点群データが所定時間にわたり存在する場合に、当該かたまりを障害物として検出する。

【0016】

上記の情報処理装置の他の一態様では、前記検出手段は、前記水面反射データの高さ方向の値の分散に基づいて、前記探索範囲の高さ範囲を変化させる。これにより、波の高さに応じて、適切な探索範囲を設定することができる。

20

【0017】

本発明の他の好適な実施形態では、コンピュータが実行する制御方法は、船舶に設けられた計測装置が生成する点群データを取得し、岸から所定距離離れているデータであり、前記計測装置による計測位置から所定距離以内の位置を計測したデータを、水面において反射されることで計測された水面反射データとして抽出し、前記水面反射データに基づき、水面高さを算出する。これにより、水面反射データを用いて、水面高さを高精度で算出することができる。

【0018】

30

本発明の他の好適な実施形態では、プログラムは、船舶に設けられた計測装置が生成する点群データを取得し、岸から所定距離離れているデータであり、前記計測装置による計測位置から所定距離以内の位置を計測したデータを、水面において反射されることで計測された水面反射データとして抽出し、前記水面反射データに基づき、水面高さを算出する処理をコンピュータに実行させる。このプログラムをコンピュータで実行することにより、上記の情報処理装置を実現することができる。このプログラムは記憶媒体に記憶して取り扱うことができる。

【実施例】

【0019】

以下、図面を参照して本発明の好適な実施例について説明する。なお、任意の記号の上に「^」または「-」が付された文字を、本明細書では便宜上、「A^」または「A^-」（「A」は任意の文字）と表す。

40

【0020】

(1) 運転支援システムの概要

図1は、本実施例に係る運転支援システムの概略構成である。運転支援システムは、移動体である船舶と共に移動する情報処理装置1と、当該船舶に搭載されたセンサ群2とを有する。以後では、情報処理装置1と共に移動する船舶を「対象船舶」とも呼ぶ。

【0021】

情報処理装置1は、センサ群2と電気的に接続し、センサ群2に含まれる各種センサの出力に基づき、情報処理装置1が設けられた対象船舶の位置（「自己位置」とも呼ぶ。）

50

の推定を行う。そして、情報処理装置1は、自己位置の推定結果に基づき、対象船舶の自動運転制御等の運転支援を行う。運転支援には、自動着岸などの着岸支援も含まれる。ここで、「着岸」とは、岸壁に対象船舶を着ける場合の他、桟橋等の構造体に対象船舶を着ける場合も含まれる。情報処理装置1は、対象船舶に設けられたナビゲーション装置であつてもよく、船舶に内蔵された電子制御装置であつてもよい。

【0022】

また、情報処理装置1は、ボクセルデータ「VD」を含む地図データベース(DB: Data Base)10を記憶する。ボクセルデータVDは、3次元空間の最小単位となる立方体(正規格子)を示すボクセルごとに静止構造物の位置情報等を記録したデータである。ボクセルデータVDは、各ボクセル内の静止構造物の計測された点群データを正規分布により表したデータを含み、後述するように、NDT(Normal Distribution Transform)を用いたスキャンマッチングに用いられる。情報処理装置1は、NDTスキャンマッチングにより、例えば、対象船舶の平面上の位置、高さ位置、ヨー角、ピッチ角及びロール角の推定を行う。なお、特に言及がない限り、自己位置は、対象船舶のヨー角などの姿勢角も含まれるものとする。

10

【0023】

センサ群2は、対象船舶に設けられた種々の外界センサ及び内界センサを含んでいる。本実施例では、センサ群2は、ライダ(Lidar: Light Detection and Ranging、または、Laser Illuminated Detection And Ranging)3と、対象船舶の速度を検出する速度センサ4と、GPS(Global Positioning Satellite)受信機5と、3軸方向における対象船舶の加速度及び角速度を計測する慣性計測装置(IMU: Inertial Measurement Unit)6とを含んでいる。

20

【0024】

ライダ3は、水平方向および垂直方向の所定の角度範囲に対してパルスレーザを出射することで、外界に存在する物体までの距離を離散的に測定し、当該物体の位置を示す3次元の点群データを生成する。この場合、ライダ3は、照射方向を変えながらレーザ光を照射する照射部と、照射したレーザ光の反射光(散乱光)を受光する受光部と、受光部が出力する受光信号に基づくスキャンデータ(点群データを構成する点であり、以後では「計測点」と呼ぶ。)を出力する出力部とを有する。計測点は、受光部が受光したレーザ光に対応する照射方向と、上述の受光信号に基づき特定される当該レーザ光の応答遅延時間とに基づき生成される。なお、一般的に、対象物までの距離が近いほどライダの距離測定値の精度は高く、距離が遠いほど精度は低い。ライダ3は、本発明における「計測装置」の一例である。速度センサ4は、例えば、ドップラーを利用した速度計であつてもよく、GNSSを利用した速度計であつてもよい。

30

【0025】

なお、センサ群2は、GPS受信機5に代えて、GPS以外のGNSSの測位結果を生成する受信機を有してもよい。

【0026】

(2) 情報処理装置の構成

40

図2は、情報処理装置1のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。情報処理装置1は、主に、インターフェース11と、メモリ12と、コントローラ13と、を有する。これらの各要素は、バスラインを介して相互に接続されている。

【0027】

インターフェース11は、情報処理装置1と外部装置とのデータの授受に関するインターフェース動作を行う。本実施例では、インターフェース11は、ライダ3、速度センサ4、GPS受信機5及びIMU6などのセンサ群2の各センサから出力データを取得し、コントローラ13へ供給する。また、インターフェース11は、例えば、コントローラ13が生成した対象船舶の制御に関する信号を、対象船舶の運転を制御する対象船舶の各構成要素に供給する。例えば、対象船舶は、エンジンや電気モータなどの駆動源と、駆動源

50

の駆動力に基づき進行方向の推進力を生成するスクリューと、駆動源の駆動力に基づき横方向の推進力を生成するスラスターと、船舶の進行方向を自在に定めるための機構である舵等とを備える。そして、自動着岸などの自動運転時には、インターフェース 11 は、コントローラ 13 が生成した制御信号を、これらの各構成要素に供給する。なお、対象船舶に電子制御装置が設けられている場合には、インターフェース 11 は、当該電子制御装置に対し、コントローラ 13 が生成した制御信号を供給する。インターフェース 11 は、無線通信を行うためのネットワークアダプタなどのワイヤレスインターフェースであってもよく、ケーブル等により外部装置と接続するためのハードウェアインターフェースであってもよい。また、インターフェース 11 は、入力装置、表示装置、音出力装置等の種々の周辺装置とのインターフェース動作を行ってもよい。

10

【0028】

メモリ 12 は、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、ハードディスクドライブ、フラッシュメモリなどの各種の揮発性メモリ及び不揮発性メモリにより構成される。メモリ 12 は、コントローラ 13 が所定の処理を実行するためのプログラムが記憶される。なお、コントローラ 13 が実行するプログラムは、メモリ 12 以外の記憶媒体に記憶されてもよい。

【0029】

また、メモリ 12 は、ボクセルデータ VD を含む地図 DB 10 を記憶する。地図 DB 10 には、ボクセルデータ VD の他、例えば、着岸場所（岸、桟橋を含む）に関する情報、船舶が移動可能な水路に関する情報などが含まれている。なお、地図 DB 10 は、インターフェース 11 を介して情報処理装置 1 と接続されたハードディスクなどの情報処理装置 1 の外部の記憶装置に記憶されてもよい。上記の記憶装置は、情報処理装置 1 と通信を行うサーバ装置であってもよい。また、上記の記憶装置は、複数の装置から構成されてもよい。また、地図 DB 10 は、定期的に更新されてもよい。この場合、例えば、コントローラ 13 は、インターフェース 11 を介し、地図情報を管理するサーバ装置から、自己位置が属するエリアに関する部分地図情報を受信し、地図 DB 10 に反映させる。

20

【0030】

また、メモリ 12 には、地図 DB 10 の他、本実施例において情報処理装置 1 が実行する処理に必要な情報が記憶される。例えば、メモリ 12 には、ライダ 3 が 1 周期分の走査を行った場合に得られる点群データに対してダウンサンプリングを行う場合のダウンサンプリングのサイズの設定に用いられる情報が記憶される。

30

【0031】

コントローラ 13 は、CPU (Central Processing Unit)、GPU (Graphics Processing Unit)、TPU (Tensor Processing Unit) などの 1 又は複数のプロセッサを含み、情報処理装置 1 の全体を制御する。この場合、コントローラ 13 は、メモリ 12 等に記憶されたプログラムを実行することで、自己位置推定及び運転支援等に関する処理を行う。

【0032】

また、コントローラ 13 は、機能的には、自己位置推定部 15 と、障害物 / 引き波検出部 16 とを有する。そして、コントローラ 13 は、「点群データ取得手段」、「水面反射データ抽出手段」、「水面高さ算出手段」、「検出手段」及びプログラムを実行するコンピュータ等として機能する。

40

【0033】

自己位置推定部 15 は、ライダ 3 の出力に基づく点群データと、当該点群データが属するボクセルに対応するボクセルデータ VD とに基づき、NDT に基づくスキャンマッチング (NDT スキャンマッチング) を行うことで、自己位置の推定を行う。ここで、自己位置推定部 15 による処理対象となる点群データは、ライダ 3 が生成した点群データであってもよく、当該点群データをダウンサンプリング処理した後の点群データであってもよい。

【0034】

障害物 / 引き波検出部 16 は、ライダ 3 が出力した点群データを用いて、船舶の周辺の

50

障害物や引き波を検出する。

【0035】

(3) 自己位置推定

次に、自己位置推定部15が実行するNDTスキャンマッチングに基づく自己位置推定に関する説明を行う。

【0036】

図3は、自己位置推定部15が推定すべき自己位置を3次元直交座標で表した図である。図3に示すように、 x y z の3次元直交座標上で定義された平面での自己位置は、座標「(x 、 y 、 z)」、対象船舶のロール角「 ϕ 」、ピッチ角「 θ 」、ヨー角(方位)「 ψ 」により表される。ここでは、ロール角 ϕ は、対象船舶の進行方向を軸とした回転角、ピッチ角 θ は、 x y 平面に対する対象船舶の進行方向の仰角、ヨー角 ψ は、対象船舶の進行方向と x 軸とのなす角として定義されている。座標(x 、 y 、 z)は、例えば緯度、経度、標高の組合せに相当する絶対位置、あるいは所定地点を原点とした位置を示すワールド座標である。そして、自己位置推定部15は、これらの x 、 y 、 z 、 ϕ 、 θ 、 ψ を推定パラメータとする自己位置推定を行う。

【0037】

次に、NDTスキャンマッチングに用いるボクセルデータVDについて説明する。ボクセルデータVDは、各ボクセル内の静止構造物の計測された点群データを正規分布により表したデータを含む。

【0038】

図4は、ボクセルデータVDの概略的なデータ構造の一例を示す。ボクセルデータVDは、ボクセル内の点群を正規分布で表現する場合のパラメータの情報を含み、本実施例では、図4に示すように、ボクセルIDと、ボクセル座標と、平均ベクトルと、共分散行列とを含む。

【0039】

「ボクセル座標」は、各ボクセルの中心位置などの基準となる位置の絶対的な3次元座標を示す。なお、各ボクセルは、空間を格子状に分割した立方体であり、予め形状及び大きさが定められているため、ボクセル座標により各ボクセルの空間を特定することが可能である。ボクセル座標は、ボクセルIDとして用いられてもよい。

【0040】

「平均ベクトル」及び「共分散行列」は、対象のボクセル内での点群を正規分布で表現する場合のパラメータに相当する平均ベクトル及び共分散行列を示す。なお、任意のボクセル「n」内の任意の点「i」の座標を

$$\mathbf{x}_n(i) = [x_n(i), y_n(i), z_n(i)]^T$$

と定義し、ボクセルn内での点群数を「 N_n 」とすると、ボクセルnでの平均ベクトル「 μ_n 」及び共分散行列「 V_n 」は、それぞれ以下の式(1)及び式(2)により表される。

【0041】

【数1】

$$\boldsymbol{\mu}_n = \begin{bmatrix} \bar{x}_n \\ \bar{y}_n \\ \bar{z}_n \end{bmatrix} = \frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} \mathbf{x}_n(i) \quad (1)$$

【0042】

【数2】

10

20

30

40

50

$$\mathbf{V}_n = \frac{1}{N_n - 1} \sum_{i=1}^{N_n} \{\mathbf{X}_n(i) - \boldsymbol{\mu}_n\} \{\mathbf{X}_n(i) - \boldsymbol{\mu}_n\}^T \quad (2)$$

【0043】

次に、ボクセルデータVDを用いたNDTスキャンマッチングの概要について説明する。

【0044】

船舶を想定したNDTによるスキャンマッチングは、水平面（ここではx y座標とする）内の移動量及び船舶の向きを要素とした推定パラメータ

10

$$\mathbf{P} = [t_x, t_y, t_z, t_r, t_p, t_b]^T$$

を推定することとなる。ここで、「 t_x 」はx方向の移動量、「 t_y 」はy方向の移動量、「 t_z 」はz方向の移動量、「 t_r 」はロール角、「 t_p 」はピッチ角、「 t_b 」はヨー角を示す。

【0045】

また、ライダ3が出力する点群データの座標を、

$$\mathbf{X}_L(j) = [x_n(j), y_n(j), z_n(j)]^T$$

とすると、 $\mathbf{X}_L(j)$ の平均値「 L'_n 」は、以下の式(3)により表される。

【0046】

【数3】

20

$$\mathbf{L}'_n = \begin{bmatrix} L'_x \\ L'_y \\ L'_z \end{bmatrix} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \mathbf{X}_L(j) \quad (3)$$

そして、上述の推定パラメータPを用い、平均値 L' を公知の座標変換処理に基づき座標変換する。以後では、変換後の座標を「 L_n 」とする。

【0047】

30

そして、自己位置推定部15は、地図DB10と同一の座標系である絶対的な座標系（「ワールド座標系」とも呼ぶ。）に変換した点群データに対応付けられるボクセルデータVDを探査し、そのボクセルデータVDに含まれる平均ベクトル $\boldsymbol{\mu}_n$ と共に分散行列 \mathbf{V}_n とを用い、ボクセルnの評価関数値（「個別評価関数値」とも呼ぶ。）「 E_n 」を算出する。この場合、自己位置推定部15は、以下の式(4)に基づき、ボクセルnの個別評価関数値 E_n を算出する。

【0048】

【数4】

$$E_n = \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\mathbf{L}_n - \boldsymbol{\mu}_n)^T \mathbf{V}_n^{-1} (\mathbf{L}_n - \boldsymbol{\mu}_n) \right\} \quad (4)$$

40

【0049】

そして、自己位置推定部15は、以下の式(5)により示される、マッチングの対象となる全てのボクセルを対象とした総合的な評価関数値（「スコア値」とも呼ぶ。）「 $E(k)$ 」を算出する。スコア値 E は、マッチングの適合度を示す指標となる。

【0050】

【数5】

50

$$E(k) = \sum_{n=1}^M E_n = E_1 + E_2 + \cdots + E_M \quad (5)$$

その後、自己位置推定部 15 は、ニュートン法などの任意の求根アルゴリズムによりスコア値 $E(k)$ が最大となるとなる推定パラメータ P を算出する。そして、自己位置推定部 15 は、時刻 k においてデッドレコニングにより算出した位置（「DR 位置」とも呼ぶ。）「 $X_{DR}(k)$ 」に対し、推定パラメータ P を適用することで、NDT スキャンマッチングに基づく自己位置（「NDT 位置」とも呼ぶ。）「 $X_{NDT}(k)$ 」を算出する。ここで、DR 位置 $X_{DR}(k)$ は、推定自己位置 $X^*(k)$ の算出前の暫定的な自己位置に相当し、予測自己位置「 $X^-(k)$ 」とも表記する。この場合、NDT 位置 $X_{NDT}(k)$ は、以下の式(6)により表される。

【0051】

【数6】

$$\mathbf{X}_{NDT}(k) = \overline{\mathbf{X}}(k) + \mathbf{P} \quad (6)$$

そして、自己位置推定部 15 は、NDT 位置 $X_{NDT}(k)$ を、現在の処理時刻 k での最終的な自己位置の推定結果（「推定自己位置」とも呼ぶ。）「 $X^*(k)$ 」とみなす。

【0052】

(4) 障害物 / 引き波の検出

次に、障害物 / 引き波検出部 16 による障害物及び引き波の検出について説明する。障害物 / 引き波検出部 16 は、1 時刻前までの処理で算出した水面高さを障害物や引き波の検出に使用する。船舶の近くに障害物がある場合、障害物との衝突や接触を避けて航行することが必要となる。障害物とは、例えば、他船、杭、橋脚、ブイ、網、ゴミなどである。また、近くに他船による引き波がある場合、その影響を受けて揺れが大きくならないように船舶の航行には注意を要する。そこで、障害物 / 引き波検出部 16 は、水面高さを用いて、船舶の近くに障害物や引き波があることを検出する。

【0053】

(4-1) 水面位置の推定

図 5 は、ライダ 3 から見た水面高さを説明する図である。船舶は、乗船者数や積荷量に応じて喫水位置が変わる。即ち、ライダ 3 から見た水面までの高さが変わることになる。図 5 (A) に示すように、船舶の喫水位置が低い場合、ライダ 3 から見た水面位置は低めとなる。一方、図 5 (B) に示すように、船舶の喫水位置が高い場合、ライダ 3 から見た水面位置は高めとなる。よって、図 5 (C) に示すように、水面位置を基準として所定の幅を有する探索範囲を設定することにより、障害物や引き波を正しく検出することが可能となる。

【0054】

図 6 は、ライダ 3 の出射光の水面反射を説明する図である。下方に向いたライダ 3 の出射光の一部は、水面で反射してライダ 3 に戻ってくる場合がある。いま、図 6 (A) に示すように、船舶上のライダ 3 がレーザ光を出射しているものとする。図 6 (B) は、岸壁近くにいる船舶においてライダ 3 が受光する光を示す。図 6 (B) において、ビーム 101 は、水面で反射することなく、直接対象物に照射した光の散乱光の一部がライダ 3 に戻って受光された光である。ビーム 102 は、ライダ 3 から出射され、水面で反射して直接ライダ 3 に戻って受光された光であり、水面反射光の 1 つ（以下、「直接水面反射光」とも呼ぶ。）である。ビーム 103 は、ライダ 3 から出射され、水面で反射した光が岸壁等に当たり、その錯乱光の一部が再度水面で反射し、それがライダ 3 に戻って受光された光であり、水面反射光の 1 つ（以下、「間接水面反射光」とも呼ぶ。）である。ライダ 3 は

10

20

30

40

50

水面で反射した光であることを認識できないので、ビーム 102 を受光した場合、ライダ 3 はその水面位置に物体があるかのように認識する。また、ビーム 103 を受光した場合、ライダ 3 は水面より下方に物体があるかのように認識する。よって、ビーム 103 を受光したライダは図示のように岸壁内部の位置を示す正しくない点群データを出力することになる。

【0055】

図 7 は、水面高さ（以下、「水面位置」とも呼ぶ。）の推定に用いる点群データを説明する図である。図 7 (A) は船舶を後方から見た図であり、図 7 (B) は船舶を上方から見た図である。船舶の周辺では、水面の揺らぎによって、ライダ 3 からのビームが水面とほぼ垂直となる場合が時々あり、前述のビーム 102 のような直接水面反射光が発生する。一方、船舶が岸に近い場合は、ライダ 3 からのビームが岸などで反射して前述のビーム 103 のような間接水面反射光が発生する。よって、障害物 / 引き波検出部 16 は、船舶の近くにおける直接水面反射光の点群データを複数個取得し、その z 座標値を平均化することにより、水面位置を推定する。船舶は水上に浮いているため、乗船者数や積荷量に応じて水中に沈みこむ量が変わり、ライダ 3 から水面までの高さが変わる。従って、上記の方法により、常にライダ 3 から水面までの距離を算出することが可能となる。

【0056】

具体的に、障害物 / 引き波検出部 16 は、ライダ 3 が出力する点群データから、岸から遠い位置で計測され、かつ、船舶に近い位置で計測された点群データを抽出する。ここで、岸から遠い位置とは、岸から所定距離以上離れた位置をいう。岸の位置は、地図 DB10 に記憶されている着岸場所（岸、桟橋を含む）などを用いることができる。また、岸とは、着岸場所以外の地上位置や構造物であってもよい。岸から遠い位置で計測された点群データを使用することにより、間接水面反射光の点群データを除外することができる。

【0057】

また、船舶に近い位置とは、船舶の自己位置から所定範囲内の位置をいう。船舶に近い位置で計測された点群データを用いることにより、直接水面反射光を計測した点群データ（以下、「直接水面反射データ」とも呼ぶ。）を使用して、水面位置を高精度に推定することが可能となる。

【0058】

（4-2）障害物の検出

次に、障害物の検出方法を説明する。図 8 は、障害物の検出方法を説明する図である。上記のようにして水面位置が推定された後、障害物 / 引き波検出部 16 は、水面位置付近の高さの点群データに対して、ユークリッドクラスタリング処理を行う。図 8 (A) に示すように、ユークリッドクラスタリング処理によって、「かたまり」（以下、「クラスタ」とも呼ぶ。）を検出した場合、障害物 / 引き波検出部 16 は、そのクラスタを障害物候補として仮判定する。障害物 / 引き波検出部 16 は、複数の時刻のフレームで同様にクラスタの検出を行い、各時刻で同様のサイズのクラスタを検出した場合、そのクラスタを何らかの障害物と判定する。

【0059】

なお、ブイなどの水上の小さい障害物などを検出する場合、検出の観点からは水面反射成分も価値ある情報となり得る。図 8 (B)において、ビーム 111 は、ライダ 3 から出射され、ブイで反射してライダ 3 に戻ったものである。一方、ビーム 112 は、ライダ 3 から出射され、水面で反射してブイに当たり、その錯乱光の一部が再度水面で反射し、ライダ 3 へ戻って受光されたものである。ブイなどの小さい障害物の場合、ビーム 111 として直接ブイから反射して戻ってくるデータ数は少ないため、ビーム 112 のように水面で反射した成分のデータも含めることで、解析に用いるデータ数を増やし、クラスタリングに活用する。これにより、クラスタリング処理の対象となるデータ数が増えるため、クラスタリングの性能が向上する。

【0060】

障害物 / 引き波検出部 16 は、検出したクラスタを障害物と判定した場合、その障害物

の最も高い位置の点の z 座標から、水面位置を減算し、図 8 (B) に示すように障害物の水面から出ている高さ H_o を算出する。

【 0 0 6 1 】

(4 - 3) 引き波の検出方法

次に、引き波の検出方法を説明する。図 9 は、引き波の検出方法を説明する図である。前述のように水面位置が算出された後、障害物 / 引き波検出部 16 は、水面位置付近の高さの点群データに対して、z 座標を無視して 2 次元平面の点群としてハフ変換を行う。図 9 (A) に示すように、ハフ変換処理によって「直線」を検出した場合、障害物 / 引き波検出部 16 は、その直線を引き波候補として仮判定する。障害物 / 引き波検出部 16 は、複数の時刻のフレームで同様に直線の検出を行い、各時刻で同様の係数を持つ直線を検出した場合、その直線を引き波と判定する。

10

【 0 0 6 2 】

なお、引き波を検出する場合、検出の観点からは水面反射成分も価値ある情報となり得る。図 9 (B) において、ビーム 113 は、ライダ 3 から出射され、引き波で反射してライダ 3 に戻ったものである。一方、ビーム 114 は、ライダ 3 から出射され、水面で反射して引き波に当たり、その錯乱光の一部が再度水面で反射し、ライダ 3 へ戻って受光されたものである。引き波の場合、ビーム 113 として直接引き波から反射して戻ってくるデータ数は少ないため、ビーム 114 のように水面で反射した成分のデータも含めることで、解析に用いるデータ数を増やし、ハフ変換に活用する。これにより、ハフ変換処理の対象となるデータ数が増えるため、ハフ変換の性能が向上する。

20

【 0 0 6 3 】

障害物 / 引き波検出部 16 は、上記のように 2 次元データを用いて引き波の判定を行った後、引き波の一部と判定された点に対して、あらためて z 座標を評価する。具体的には、障害物 / 引き波検出部 16 は、水面高さよりも z 座標値が高い点のみを用いて z 座標の平均を求め、その平均値から水面位置を減算して引き波の水面からの高さ H_w を算出する。

【 0 0 6 4 】

(4 - 4) 障害物 / 引き波検出部の実施例

次に、障害物 / 引き波検出部 16 の実施例を説明する。以下の実施例では、障害物 / 引き波検出部 16 は、引き波検出 障害物検出 水面位置推定の順で処理を行うことにより、後段の処理を行いやすくなる。具体的には、水面位置推定ブロック 132 が推定した水面位置を用いて引き波と障害物の水面からの高さを求めるとともに、次の時刻の点群データに対する探索範囲の設定に使用する。

30

【 0 0 6 5 】

図 10 は、障害物 / 引き波検出部 16 の機能構成を示すブロック図である。障害物 / 引き波検出部 16 は、ライダ 3 で計測された点群データを受け取り、引き波情報と障害物情報を出力する。障害物 / 引き波検出部 16 は、探索範囲設定ブロック 121 と、直線抽出ブロック 122 と、引き波検出ブロック 123 と、引き波情報算出ブロック 124 と、引き波データ除去ブロック 125 と、ユークリッドクラスタリングブロック 126 と、障害物検出ブロック 127 と、障害物情報算出ブロック 128 と、障害物データ除去ブロック 129 と、平均・分散計算ブロック 130 と、時間フィルタブロック 131 と、水面位置推定ブロック 132 とを備える。

40

【 0 0 6 6 】

探索範囲設定ブロック 121 は、入力された点群データから、直接水面反射光の点群データを抽出し、障害物及び引き波の高さ方向の探索範囲を設定する。障害物 / 引き波検出部 16 は、図 5 (C) に示すように水面位置を中心として設定した探索範囲に属する点群データを抽出し分析することで障害物や引き波を検出するが、船舶の揺れが大きい場合や波が大きい場合、水面に浮遊している障害物や引き波は探索範囲から外れてしまい、検出できなくなる恐れがある。一方、それを回避するために探索範囲を大きくすると、波が小さい場合に無関係なデータが入り込み、検出精度が低下してしまう。

【 0 0 6 7 】

50

そこで、探索範囲設定ブロック 121 は、前述のように船舶の周辺で得られた直接水面反射データの z 座標値の標準偏差を求め、その標準偏差の値を用いて探索範囲を設定する。具体的には、探索範囲設定ブロック 121 は、直接水面反射データの z 座標値の標準偏差を用いて波の高さ（波高）を推定し、波高に応じて探索範囲を設定する。直接水面反射データの z 座標値の標準偏差が小さい場合、図 11 (A) に示すように波高は小さいと推測される。この場合、探索範囲設定ブロック 121 は探索範囲を狭くする。例えば、探索範囲設定ブロック 121 は、探索範囲を、直接水面反射データの z 座標値の平均値付近に設定する。これにより、ノイズの混入を低減できるため、障害物や引き波の検出精度が向上する。

【0068】

一方、直接水面反射の z 座標値の標準偏差が大きい場合、図 11 (B) に示すように波高が大きいと推測される。よって、探索範囲設定ブロック 121 は探索範囲を広くする。即ち、探索範囲設定ブロック 121 は、直接水面反射データの z 座標値の平均値を中心に、波高が小さいときよりも広い探索範囲を設定する。

【0069】

一例としては、探索範囲設定ブロック 121 は、図 11 (C) に示すように、直接水面反射データの z 座標値の標準偏差 を用いて、探索範囲を直接水面反射データの z 値の平均値を中心として $\pm 3\sigma$ の範囲などと設定してもよい。これにより、波が高い場合でも、探索範囲を広くすることができるため、障害物や引き波の検出漏れを防止することができる。探索範囲設定ブロック 121 は、設定した探索範囲を直線抽出ブロック 122 へ出力する。

【0070】

直線抽出ブロック 122 は、船舶周辺の探索範囲内で計測された直接水面反射データ（以下、「探索データ」とも呼ぶ。）から、ハフ変換を用いて直線を抽出する。直線抽出ブロック 122 は、抽出した直線を引き波検出ブロック 123 へ出力する。ハフ変換で直線を検出する際には離散化した 2 次元配列を用いるため、結果として求まる直線は近似的なものとなる。従って、直線抽出ブロック 122 と引き波検出ブロック 123 では、以下の手順により、より正確な直線を求める。

（手順 1）ハフ変換で近似直線を算出する。

（手順 2）近似直線への距離が所定の閾値（直線距離閾値）以内であるデータを抽出する。

（手順 3）抽出した複数のデータを用いて主成分分析を行い、直線をあらためて算出し、引き波の直線とする。

【0071】

上記の手順で直線を検出するシミュレーションを行った結果を図 12 に示す。図示のように、ハフ変換により求めた直線 141 は近似直線のため、データに対して少しずれがあることがわかる。直線 141 から直線距離閾値以内のデータを抽出し（図 12 では マーキング）、抽出されたデータを用いて主成分分析であらためて直線を算出することで、正確な引き波直線 142 を得ることができる。

【0072】

引き波検出ブロック 123 は、あらためて算出した直線を引き波と判定し、引き波を示す引き波データを引き波情報算出ブロック 124 及び引き波データ除去ブロック 125 へ出力する。引き波情報算出ブロック 124 は、引き波を示す直線の式と、船舶の自己位置とに基づいて引き波の位置、距離、角度、及び、高さを算出し、引き波情報として出力する。

【0073】

引き波データ除去ブロック 125 は、船舶周辺の探索範囲内で計測された探索データから引き波データを除去し、ユークリッドクラスタリングブロック 126 へ出力する。ユークリッドクラスタリングブロック 126 は、入力された探索データに対してユークリッドクラスタリング処理を行い、探索データのクラスタを検出して障害物検出ブロック 127 へ出力する。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 4 】

ユークリッドクラスタリングでは、まず対象となる全ての点に対し、他の全ての点との間の距離を計算し、得られた点間距離が所定値（以下、「グルーピング閾値」と呼ぶ。）よりも短い点を同じグループに入れる。次に、各グループのうち、所定の点数（以下、「点数閾値」と呼ぶ。）以上の点を含むグループをクラスタと見なす。なお、点数が少ないグループはノイズである可能性が高いため、クラスタとは見なさない。

【 0 0 7 5 】

図13は、ユークリッドクラスタリングの例を示す。図13(A)は、ユークリッドクラスタリングの対象となる複数の点を示す。図13(A)に示す各点の点間距離を計算し、グルーピング閾値と比較することによりグルーピングを行った。図13(B)の各矢印が示す距離がグルーピング閾値より大きいので、図13(B)に破線で示す5つのグループA～Eが得られた。次に、各グループに属する点数を点数閾値（ここでは「6」とする。）と比較し、図13(C)に示すように、点数閾値よりも多数の点を含むグループAとCのみが最終的にクラスタと判定された。

10

【 0 0 7 6 】

図14は、ユークリッドクラスタリングのシミュレーション結果を示す。図14(A)は、ユークリッドクラスタリングの際に引き波データが残っている場合のシミュレーション結果を示す。ユークリッドクラスタリングにおいて、グルーピング閾値でグループ判別を行う際、引き波データが残っていると、障害物と引き波を一緒にクラスタと判定してしまう恐れがある。図14(A)の例では、引き波と障害物が近かったために障害物と引き波のデータが同じグループとなり、そのグループの点数が点数閾値よりも高かったため、同じクラスタとして検出されてしまっている。

20

【 0 0 7 7 】

図14(B)は、引き波データを除去した後でユークリッドクラスタリングを行った場合のシミュレーション結果を示す。障害物を引き波と区別するため、引き波検出を先に行い、引き波データと判定されたデータを除いた上で、ユークリッドクラスタリングを行っている。この場合、引き波データの影響を受けることなく、障害物が正しくクラスタとして検出されている。

【 0 0 7 8 】

一般的に、ライダの光ビームは放射状に出力されるため、データは遠くなるほど位置の間隔が広がる。よって、図15に示すように、距離の遠いデータほど、隣接するデータとの間隔が離れることになる。また、同じ大きさの物体であっても、近くに存在する場合は検出点数が多くなり、遠くに存在する場合は検出点数が少なくなる。従って、ユークリッドクラスタリング処理において、データの距離値に応じてグルーピング閾値と点数閾値を設定することで、ライダから近い物体でも遠い物体でもできるだけ同様の条件でクラスタリング判定を行うことができる。

30

【 0 0 7 9 】

図16は、データの距離が遠いほどグルーピング閾値を大きくし、グループの重心点までの距離が遠いほど点数閾値を小さくしてシミュレーションを行った結果を示す。

40

【 0 0 8 0 】

図16(A)は、

$$\text{グルーピング閾値} = 2.0 \text{ m}$$

$$\text{点数閾値} = 6 \text{ 点}$$

とした場合のシミュレーション結果を示す。

【 0 0 8 1 】

図16(B)は、

$$\text{グルーピング閾値} = a \times (\text{データ距離}),$$

$$\text{点数閾値} = b / (\text{グループの重心点までの距離})$$

としたときのシミュレーション結果を示す。なお、このシミュレーションでは、 $a = 0.2$ 、 $b = 80$ としたが、実際にはライダ3の特性により好適な値に設定される。

50

【 0 0 8 2 】

図 1 6 (A) と 図 1 6 (B) を 比較する と わかる ように、 図 1 6 (B) で は、 船舶 の 近く に 位置する クラスタ 1 に 加え て、 船舶 の 遠く に 位置する クラスタ 2 が 検出 でき て いる。 クラスタ 2 は、 各 データ 間の 距離 は 3 m 近辺 の 値 で ある が、 船舶 から データ ま での 距離 を 用いて 算出 さ れた グルーピング 閾値 は 約 4 . 5 m で ある ため、 その 閾値 よりも 距離 が 近い ため 同じ グループ と な り、 また データ 点数 は 4 点 で ある が、 グループ の 重心点 ま での 距離 を 用いて 算出 さ れた 点数 閾値 は 約 3 . 2 で ある ため、 その 閾値 よりも 点数 が 多かっ た た め、 クラスタ と 判定 さ れた。 な お、 上記 の 式 を 用い ると、 クラスタ 1 は、 船舶 から データ ま での 距離 を 用いて 算出 さ れた グルーピング 閾値 は 2 . 5 m 近辺 の 値 で あり、 点数 閾値 は 約 7 . 1 と なる ため、 図 1 6 (A) の 固定 値 と 比べ て 大きく 変わっ て い ない こ と が わかる。 この よう に 適応 的な 閾値 設定 により、 クラスタ の 未 検出 と 誤 検出 を 極力 防止 す る こ と が で き、 障害 物 検出 の 性能 を 向上 させ る こ と が で きる。

10

【 0 0 8 3 】

障害 物 検出 ブロック 1 2 7 は、 ユークリッド クラス タリング により 検出 さ れた 障害 物 を 示す 点群 データ (以下、「 障害 物 データ 」 呼ぶ。) を、 障害 物 情報 算出 ブロック 1 2 8 及び 障害 物 データ 除 去 ブロック 1 2 9 へ 出力 す る。 障害 物 情報 算出 ブロック 1 2 8 は、 障害 物 データ に 基づき、 船舶 の 自己 位置 を 基準 と し た 障害 物 の 位置、 距離、 角度、 サイズ 及び 高さ を 算出 し、 障害 物 情報 として 出力 す る。

【 0 0 8 4 】

障害 物 データ 除 去 ブロック 1 2 9 は、 船舶 周辺 の 探索範囲 内で 計測 さ れた 探索 データ か ら 障害 物 データ を 除 去 し、 平均・分散 計算 ブロック 1 3 0 へ 出力 す る。 船舶 周辺 の 直接 水面 反射 データ から 水面 位置 を 推定 す る 際、 引き波 や 障害 物 が 存在 す る と、 正しく 水面 位置 を 推定 す る こ と が で き ない た め で ある。

20

【 0 0 8 5 】

図 1 7 (A) は、 船舶 の 周辺 に 引き波 や 障害 物 が あ る 場合 に 得 られ た 直接 水面 反射 データ を 示す。 この 場合、 水面 よりも 高い 位 置 の データ や、 障害 物 や 引き波 による 間接 水面 反射 光 (図 8 (B) の ビーム 1 1 2 、 図 9 (B) の ビーム 1 1 4 など) は、 水面 位置 推定 における 誤 差 要 因 と な る。 よって、 引き波 データ 除 去 ブロック 1 2 5 及び 障害 物 データ 除 去 ブロック 1 2 9 に より、 図 1 7 (B) に 示す よう に 引き波 や 障害 物 を 除 去 し た 後 の 探索 データ を 用いて 水面 位置 推定 が 行わ れる。 具体 的 に は、 図 1 8 に 示す よう に、 船舶 の 周辺 に 引き波 と 障害 物 が あ る 状態 1 から、 状態 2 に 示す よう に 引き波 を 検出 し て 除 去 し、 状態 3 と す る。 次 に、 状態 4 に 示す よう に 障害 物 を 検出 し て 除 去 し、 状態 5 に 示す よう に、 引き波 や 障害 物 を 含ま ない 直接 水面 反射 データ を 得 る。

30

【 0 0 8 6 】

具 体 的 に、 平均・分散 計算 ブロック 1 3 0 は、 船舶 周辺 で 得 られ た 直接 水面 反射 データ の z 座標 値 の 平均 値 及び 分散 値 を 算出 し、 時間 フィルタ ブロック 1 3 1 へ 出力 す る。 時間 フィルタ ブロック 1 3 1 は、 入力 さ れた 直接 水面 反射 データ の z 座標 値 の 平均 値 を、 過去 の 水面 位置 と 平均 化 处理 又は フィルタ リング 处理 す る。 水面 位置 推定 ブロック 1 3 2 は、 平均 化 处理 又は フィルタ リング 处理 後 の z 座標 値 の 平均 値 と、 探索 データ の z 座標 値 の 分散 値 と を 用いて、 水面 位置 を 推定 す る。

40

【 0 0 8 7 】

水面 位置 を 推定 す る 際、 船舶 周辺 の 直接 水面 反射 データ の 分散 値 が 大きい 場合、 他船 の 通 過 など によ り 波 が 高くな っ て いる、 あるいは 障害 物 と して 検出 さ れ なかっ た 浮遊 物 等 が 存在 す る と 予想 す る こ と が で きる。 よって、 分散 値 が 所定 値 より 小さい 場合、 水面 位置 推定 ブロック 1 3 2 は、 直接 水面 反射 データ の 平均 値 を 用いて 水面 位置 を 推定、 更新 す る。 一方、 分散 値 が 所定 値 以上 で ある 場合、 水面 位置 推定 ブロック 1 3 2 は、 水面 位置 を 更新 せ ず、 前回 の 値 を 維持 す る。 ここ で、「 所定 値 」 は、 固定 値 で もよく、 過去 の 分散 値 の 平均 値 を 基 に 設定 し た 値、 例え ば 分散 値 の 平均 値 の 2 倍 など と して もよい。 そ し て、 水面 位置 推定 ブロック 1 3 2 は、 推定 し た 水面 位置 を 探索範囲 設定 ブロック 1 2 1 、 引き波 情報 算出 ブロック 1 2 4 及び 障害 物 情報 算出 ブロック 1 2 8 へ 出力 す る。 こ う し て、 新た に

50

得られた直接水面反射データに基づいて水面位置を更新しつつ、引き波及び障害物が検出される。

【0088】

(4-5) 障害物 / 引き波検出処理

次に、障害物 / 引き波検出部 16 により実行される障害物 / 引き波検出処理について説明する。図 19 は、障害物 / 引き波検出処理のフローチャートである。この処理は、図 2 に示すコントローラが予め用意されたプログラムを実行し、図 10 に示す各要素として動作することにより実現される。

【0089】

まず、障害物 / 引き波検出部 16 は、ライダ 3 により計測された点群データを取得する (ステップ S11)。次に、探索範囲設定ブロック 121 は、1 時刻前までの推定水面位置と、船舶の周辺で得られた直接水面反射データの z 座標値の標準偏差 とから、探索範囲を決定する (ステップ S12)。例えば、探索範囲設定ブロック 121 は、標準偏差のとき、

探索範囲 = 推定水面位置 ± 3
とする。

そして、探索範囲設定ブロック 121 は、決定した探索範囲内の点群データを抽出して、引き波検出用の探索データとする (ステップ S13)。

【0090】

次に、障害物 / 引き波検出部 16 は、引き波検出処理を実行する (ステップ S14)。図 20 は、引き波検出処理のフローチャートである。まず、直線抽出ブロック 122 は、探索範囲から得られた探索データの各点に対し、一旦 z 値を無視して x と y の 2 次元のデータとする (ステップ S101)。次に、直線抽出ブロック 122 は、全ての探索点に対し、以下の式 (7) を用いて を 0 ~ 180 度の範囲で変化させて、(,) を算出する (ステップ S102)。(,) を要素とする離散化した 2 次元配列を作成するため、「 」と「 」は整数で表現する。

【0091】

【数 7】

$$x \cos \theta + y \sin \theta - \rho = 0 \quad (7)$$

ここで、式 (7) は、図 21において、直線 L に垂線を引き、その垂線の足を r、距離を 、 x 軸との角度を としたとき、 と を用いて表した直線 L の方程式である。

【0092】

次に、直線抽出ブロック 122 は、各 (,) の個数を調べて、所定値よりも大きくなるものを抽出する (ステップ S103)。(,) を n 個抽出した場合、(1 , 1) ~ (n , n) が得られる。次に、直線抽出ブロック 122 は、抽出した(1 , 1) ~ (n , n) を式 (7) に代入し、n 本の直線 L₁ ~ L_n を生成する (ステップ S104)。

【0093】

次に、引き波検出ブロック 123 は、あらためて、全ての探索点に対して、生成した n 本の直線 L₁ ~ L_n までの距離を算出し、所定の距離以下となるものを引き波データとする (ステップ S105)。次に、引き波検出ブロック 123 は、上記の引き波データについて、z 値も含めた 3 次元のデータを引き波データとする (ステップ S106)。次に、引き波検出ブロック 123 は、抽出した引き波データを用いて、最小二乗法あるいは主成分分析にて、n 本の直線の式をあらためて算出する (ステップ S107)。そして、処理は図 19 のメインループへ戻る。

【0094】

次に、引き波データ除去ブロック 125 は、探索データから引き波データを除去して、

10

20

30

40

50

障害物検出用の探索データとする(ステップS15)。

【0095】

次に、障害物/引き波検出部16は、障害物検出処理を実行する(ステップS16)。図22は、障害物検出処理のフローチャートである。まず、ユークリッドクラスタリングブロック126は、全ての探索データに対し、他の全ての探索データとの間の点間距離を算出する(ステップS111)。もし探索データがn個の場合は、 $n(n-1)$ 個の点間距離が算出されることになる。次に、ユークリッドクラスタリングブロック126は、最初の対象データを選択し(ステップS112)、船舶から対象データまでの距離 r_1 を算出し、所定の係数aを用いてグルーピング閾値T1を算出する(ステップS113)。例えば、 $T_1 = a \cdot r_1$ とする。すなわち、グルーピング閾値T1は対象データごとに異なる値となる。

10

【0096】

次に、ユークリッドクラスタリングブロック126は、対象データとの点間距離が、グルーピング閾値T1より小さいデータと同じグループとする(ステップS114)。次に、ユークリッドクラスタリングブロック126は、全ての探索データを対象にしたか否かを判定する(ステップS115)。全ての探索データを対象にしていない場合(ステップS115:No)、ユークリッドクラスタリングブロック126は、次の対象データを選択し(ステップS116)、ステップS113へ戻る。

【0097】

一方、全ての探索データを対象とした場合(ステップS115:Yes)、ユークリッドクラスタリングブロック126は、抽出したグループに対してそれぞれ重心位置を求め、その重心位置までの距離 r_2 を算出する。そして、所定の係数bを用いて、点数閾値T2を設定する(ステップS117)。例えば、 $T_2 = b / r_2$ とする。すなわち、点数閾値T2はグループごとに異なる値となる。

20

【0098】

次に、ユークリッドクラスタリングブロック126は、グループごとに、点数閾値T2以上のデータ数が含まれるものを作成と判定し、障害物検出ブロック127は、そのクラスタを障害物とする(ステップS118)。そして、処理は図19のメインルーチンへ戻る。

【0099】

次に、障害物データ除去ブロック129は、探索データから障害物と判定されたデータを除去して、水面位置推定のためのデータとする(ステップS17)。

30

【0100】

次に、障害物/引き波検出部16は、水面位置推定処理を実行する(ステップS18)。図23は、水面位置推定処理のフローチャートである。まず、平均・分散計算ブロック130は、岸から遠く、船舶位置に近く、水面位置付近に存在するデータを水面反射データと判定する(ステップS121)。次に、平均・分散計算ブロック130は、複数スキンフレームの水面反射データを求め、所定のデータ数に達したら、それらのz方向の平均値と分散値を求める(ステップS122)。

40

【0101】

次に、平均・分散計算ブロック130は、分散値が所定値未満であるか否かを判定する(ステップS123)。分散値が所定値未満でない場合(ステップS123:No)、処理はステップS125へ進む。一方、分散値が所定値未満である場合(ステップS123:Yes)、時間フィルタブロック131は、求めたz値の平均値と、過去の推定水面位置とのフィルタリング処理を行い、水面位置を更新する(ステップS124)。次に、水面位置推定ブロック132は、算出した水面位置と分散値を出力する(ステップS125)。そして、処理は図19のメインルーチンへ戻る。

【0102】

次に、障害物/引き波検出部16は、引き波情報算出処理を実行する(ステップS19)。図24(A)は、引き波情報算出処理のフローチャートである。まず、引き波情報算

50

出ブロック 124 は、船舶の自己位置を基準とし、引き波検出ブロック 123 が検出した直線までの最短距離を計算し、引き波までの距離とする。また、その距離となる位置を求め、引き波の位置とする。また、その直線の係数から傾きを算出し、引き波の角度とする（ステップ S131）。

【0103】

なお、図 24 (B) に示すように、船舶の自己位置から直線までの最短距離は、直線に下した垂線の足までの距離となる。しかし、引き波として検出された直線は線分であるため、図 24 (C) に示すように、引き波として検出されたデータの端点が最短距離となる場合もある。従って、引き波情報算出ブロック 124 は、垂線の足までの座標が線分内にあるかどうかを確認し、ない場合は線分の端点までの距離を最短距離とする。

10

【0104】

次に、引き波情報算出ブロック 124 は、推定した水面位置よりも z 値が高い点のみを用いて z 座標値の平均を求め、推定した水面位置を用いて、引き波の水面からの高さを算出する（ステップ S132）。なお、z 座標値の平均値の代わりに、最大値を用いて引き波の高さとしてもよい。そして、処理は図 19 のメインルーチンへ戻る。

【0105】

次に、障害物 / 引き波検出部 16 は、障害物情報算出処理を実行する（ステップ S20）。図 25 は、障害物情報算出処理のフローチャートである。まず、障害物情報算出ブロック 128 は、船舶の自己位置を基準とし、障害物として検出されたクラスタデータの中で最短距離となるものを抽出し、それを障害物の位置とする。また、そのデータまでの距離を求め、障害物までの距離とする。さらに、そのデータの座標から障害物の角度を求める（ステップ S141）。

20

【0106】

次に、障害物情報算出ブロック 128 は、クラスタデータの中で、x と y の 2 次元平面において最も距離の離れている 2 点を抽出し、その距離を障害物の横方向のサイズとする。また、クラスタデータの中で、最も高い位置の点の z 座標から推定した水面位置を減算し、障害物の水面からの高さとする（ステップ S142）。そして、処理は図 19 のメインルーチンへ戻る。

【0107】

次に、障害物 / 引き波検出部 16 は、複数のフレームで同様の引き波を検出したか否かを判定する（ステップ S21）。船舶自体や引き波が移動する場合は厳密に一致することはないものの、ステップ S19 で算出する値が少しの違いしかなければ、同様の引き波と判定する。同様の引き波を検出しない場合（ステップ S21 : No）、処理はステップ S23 へ進む。一方、同様の引き波を検出した場合（ステップ S21 : Yes）、引き波情報算出ブロック 124 は、そのデータを引き波と断定し、引き波情報を船体システムに出力する（ステップ S22）。

30

【0108】

次に、障害物 / 引き波検出部 16 は、複数のフレームで同様の障害物を検出したか否かを判定する（ステップ S23）。船舶自体や障害物が移動する場合は厳密に一致することはないものの、ステップ S20 で算出する値が少しの違いしかなければ、同様の障害物と判定する。同様の障害物を検出しない場合（ステップ S23 : No）、処理は終了する。一方、同様の障害物を検出した場合（ステップ S23 : Yes）、障害物情報算出ブロック 128 は、そのデータを障害物と断定し、障害物情報を船体システムに出力する（ステップ S24）。そして、処理は終了する。

40

【0109】

(4 - 6) 変形例

(変形例 1)

上記の水面位置推定では水面反射データの分散値を利用しているが、図 26 に例示するように、積み荷の偏り等で船体がロール方向に静的に傾いていると、水面反射データの分散値も大きくなってしまう。このような状況で水面位置を推定する際には、水面位置推定

50

ブロック 132 は、右舷側の水面反射データと、左舷側の水面反射データをそれぞれ別々に処理し、右舷側の水面位置と左舷側の水面位置とを別々に求めてよい。もしくは、水面位置推定ブロック 132 は、水面反射データの右舷側の平均値と左舷側の平均値との差分が小さくなるように、ロール角を回転させる座標変換を水面反射データに対して施すことにより、右舷と左舷とを分けずに水面位置を推定できるようになる。

【0110】

(変形例 2)

上記の実施例では、直線抽出ブロック 122 は以下の手順 1 ~ 手順 3 により引き波の直線を抽出している。

(手順 1) ハフ変換で近似直線を算出する。

10

(手順 2) 近似直線への距離が所定の閾値(直線距離閾値)以内であるデータを抽出する。

(手順 3) 抽出した複数のデータを用いて主成分分析を行い、直線をあらためて算出し、引き波の直線とする。

【0111】

これに対し、以下の手順 4 を追加し、手順 4 の判定によって手順 2 と手順 3 を繰り返し実行してもよい。

(手順 4) 抽出されるデータが変わり、直線の式が変化した場合は、手順 2 に戻る。直線の式が変化しなくなったら、それを引き波の直線とする。

【0112】

図 27 の左側のグラフは、上記の手順 4 を実施せずに直線を求めた場合の例を示し、右側のグラフは手順 4 まで実施して、直線生成を収束させた場合の例を示す。手順 4 を加えることにより、引き波データの抽出漏れがなくなり、結果として直線の精度を向上させることができる。

20

【0113】

以上、実施例を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記実施例に限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、本願発明のスコープ内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。すなわち、本願発明は、請求の範囲を含む全開示、技術的思想にしたがって当業者であればなし得るであろう各種変形、修正を含むことは勿論である。また、引用した上記の特許文献等の各開示は、本書に引用をもって繰り込むものとする。

30

【符号の説明】

【0114】

1 情報処理装置

40

2 センサ群

3 ライダ

4 速度センサ

5 G P S 受信機

6 I M U

10 地図 D B

13 コントローラ

15 自己位置推定部

16 障害物 / 引き波検出部

121 探索範囲設定ブロック

122 直線抽出ブロック

123 引き波検出ブロック

124 引き波情報算出ブロック

125 引き波データ除去ブロック

126 ユーカリッドクラスタリングブロック

127 障害物検出ブロック

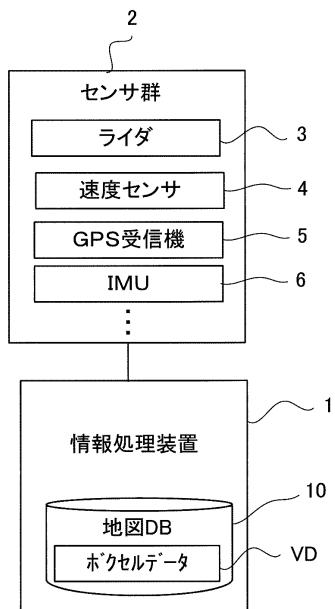
128 障害物情報算出ブロック

50

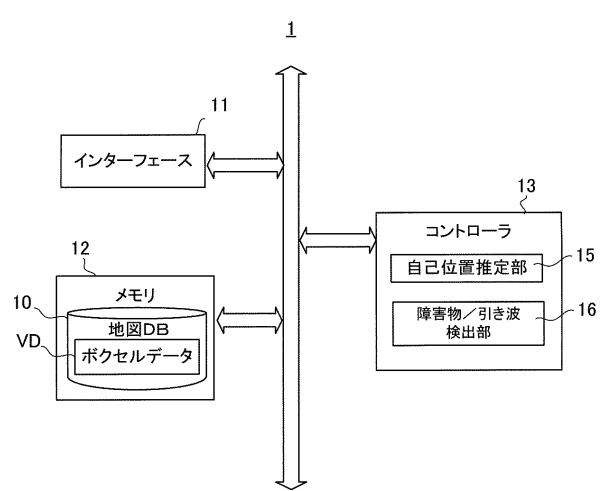
- 1 2 9 障害物データ除去ブロック
- 1 3 0 平均・分散計算ブロック
- 1 3 1 時間フィルタブロック
- 1 3 2 水面位置推定ブロック

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

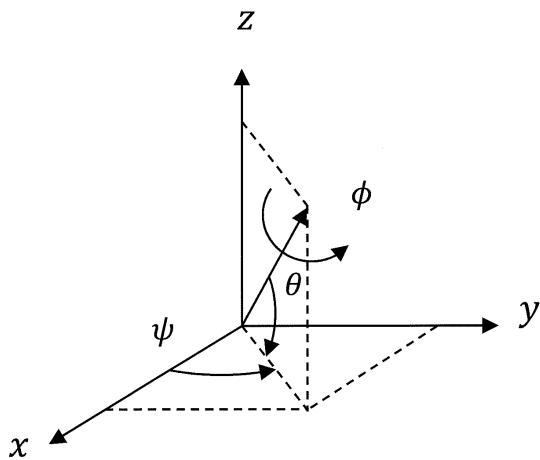
20

30

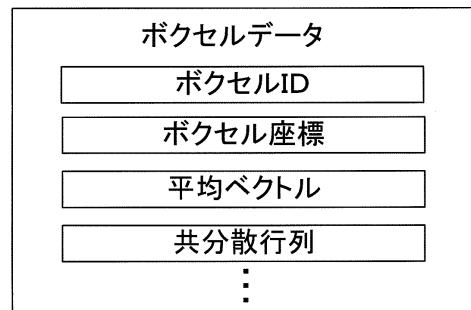
40

50

【図3】



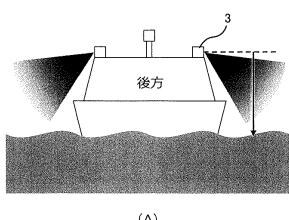
【図4】



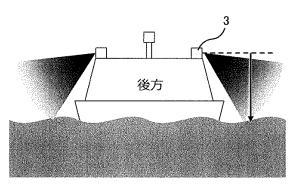
10

20

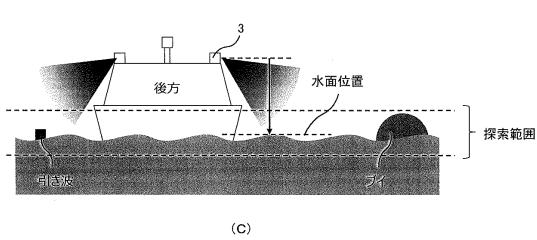
【図5】



(A)

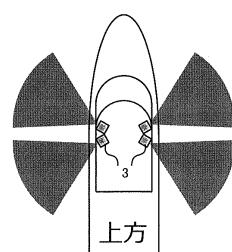


(B)

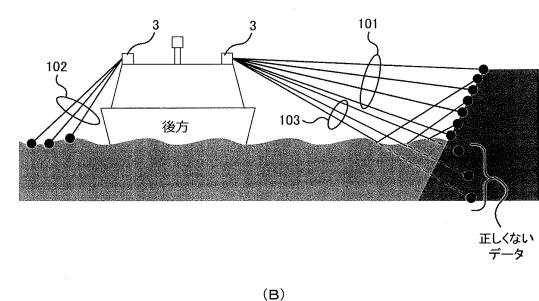


(C)

【図6】



(A)



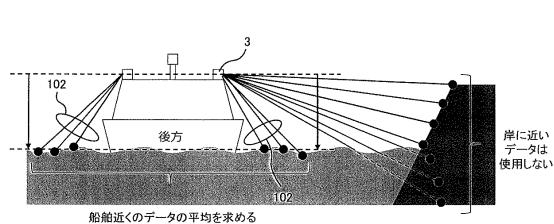
(B)

30

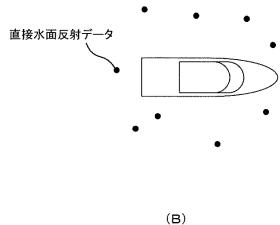
40

50

【図 7】

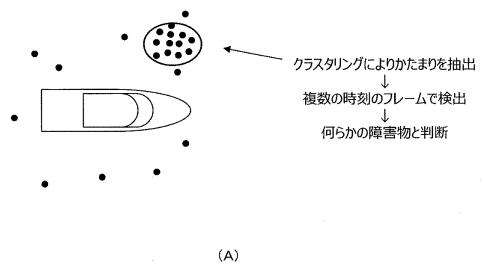


(A)



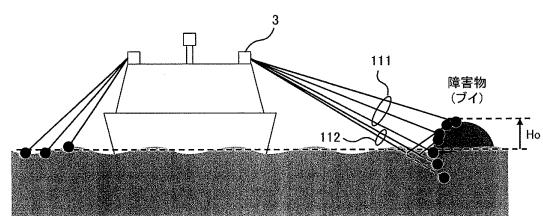
(B)

【図 8】



(A)

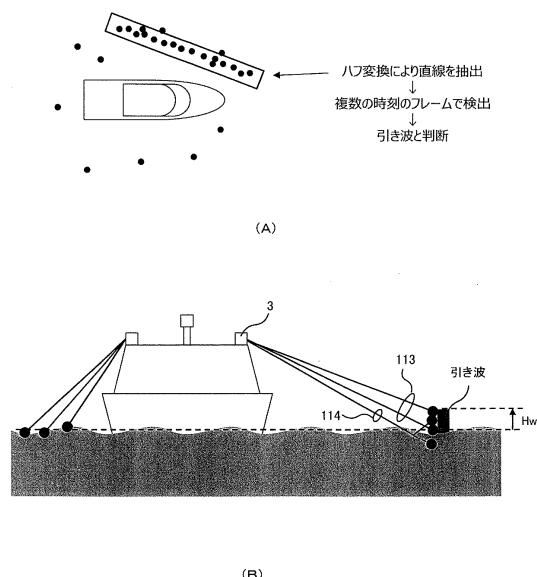
10



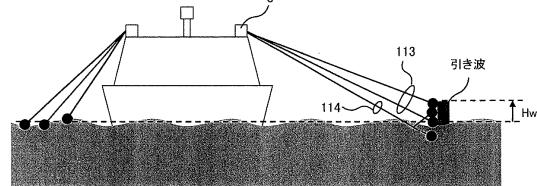
(B)

20

【図 9】

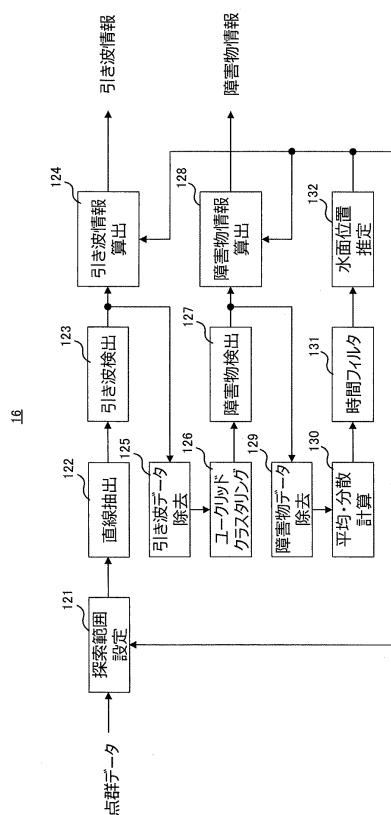


(A)



(B)

【図 10】

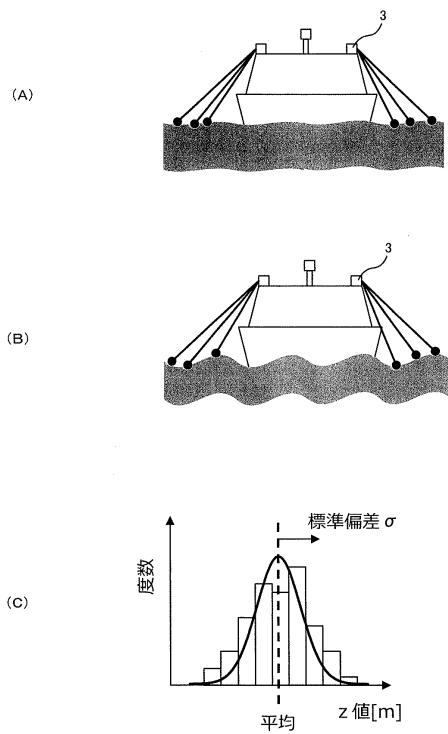


30

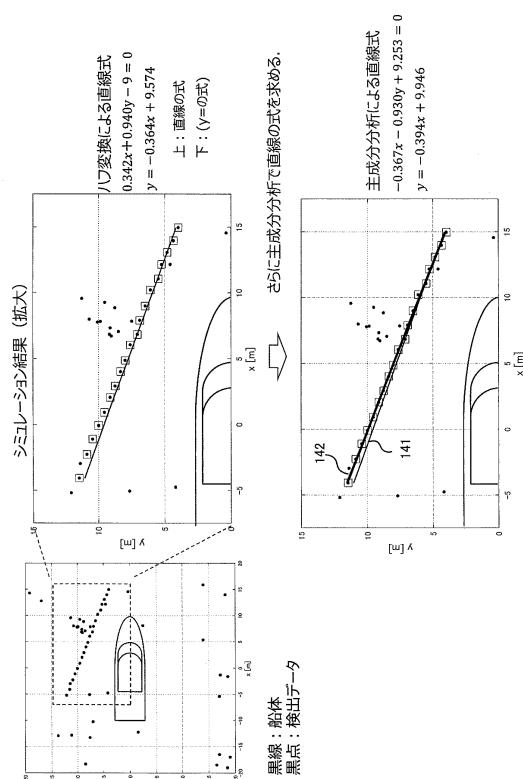
40

50

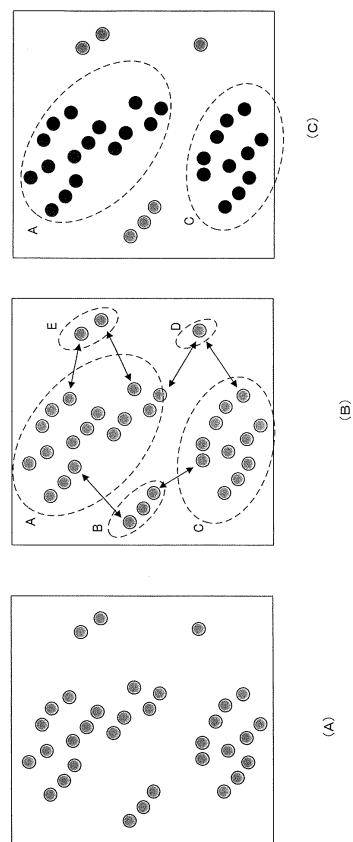
【図 1 1】



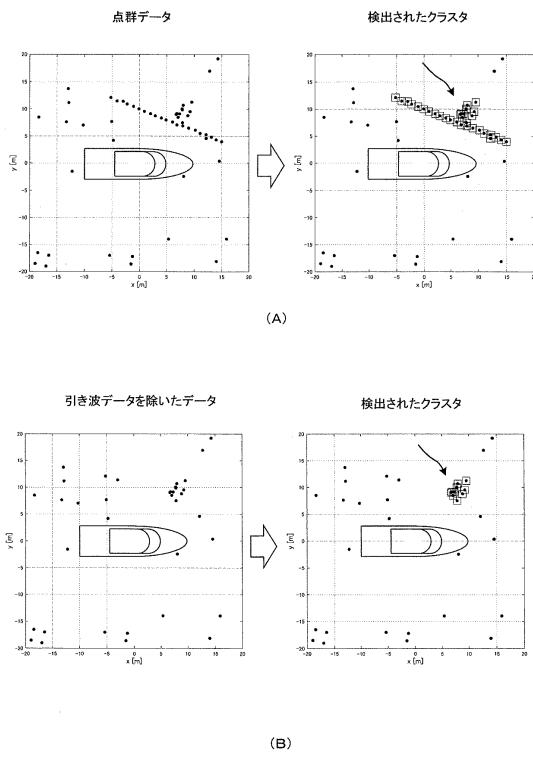
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



10

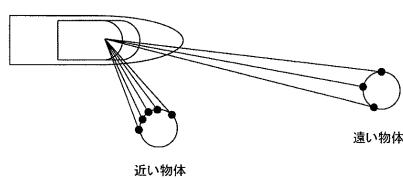
20

30

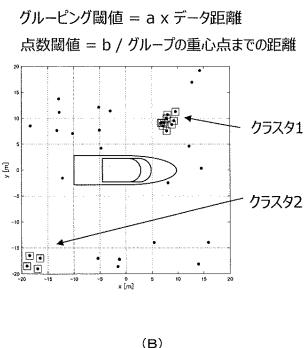
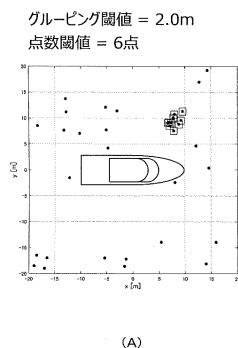
40

50

【図 1 5】

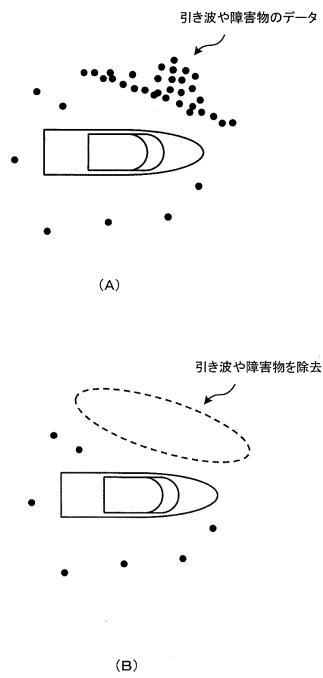


【図 1 6】

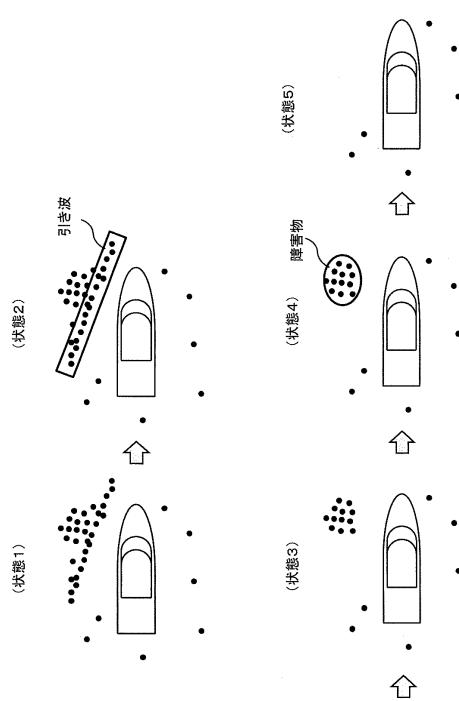


10

【図 1 7】



【図 1 8】



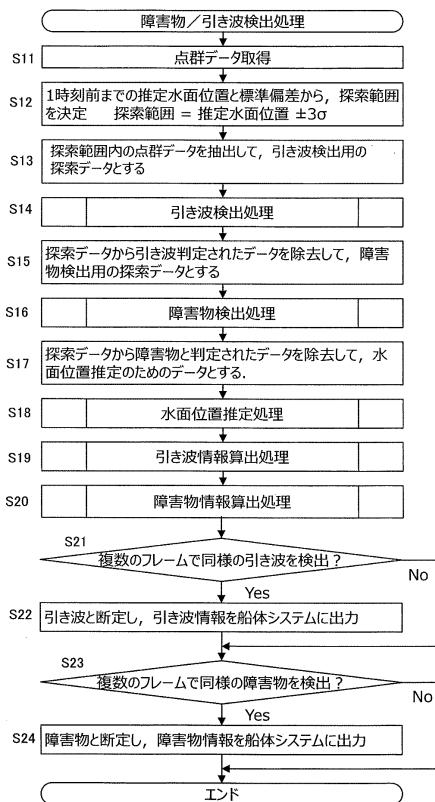
20

30

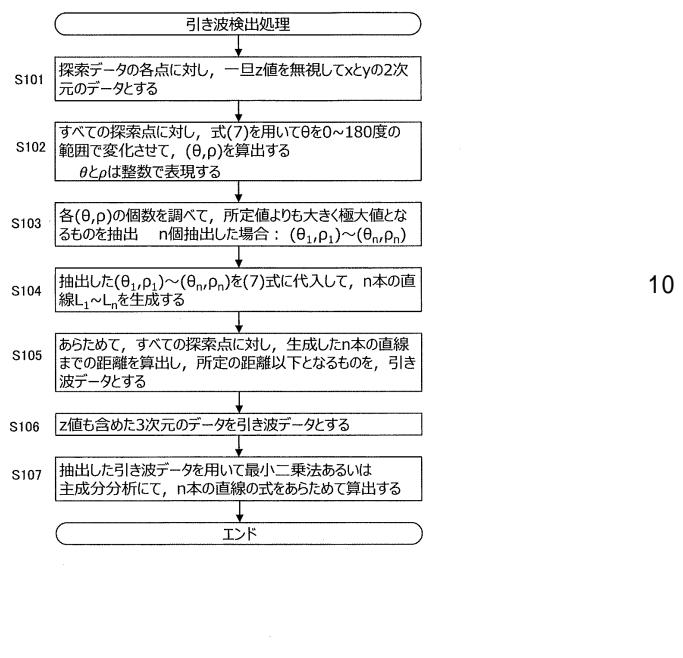
40

50

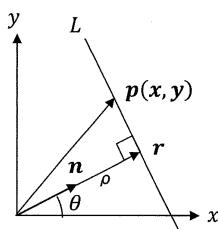
【図 19】



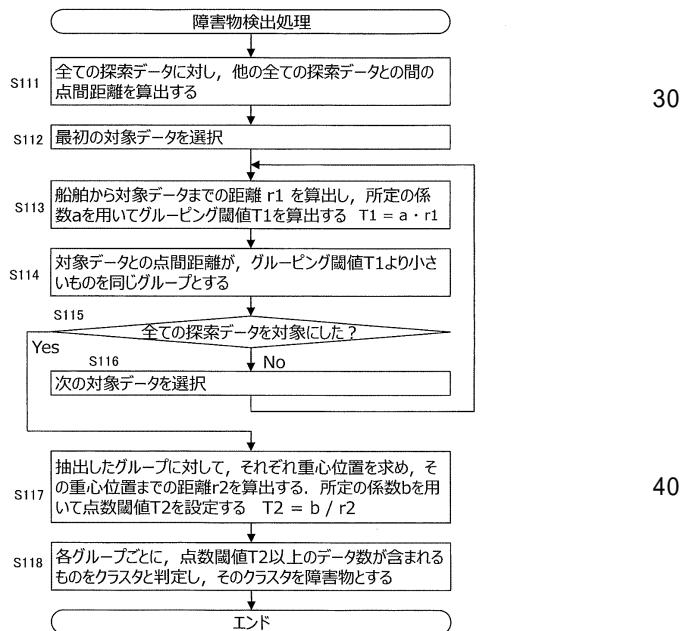
【図 20】



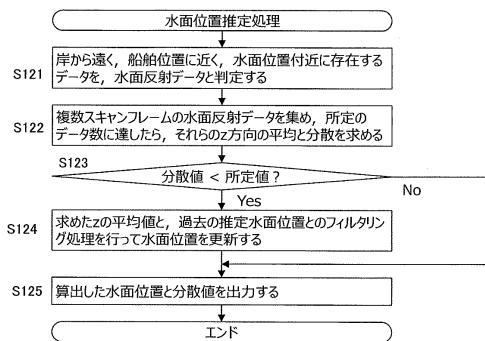
【図 21】



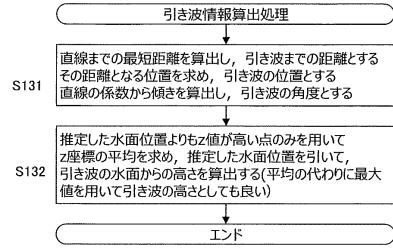
【図 22】



【図 2 3】

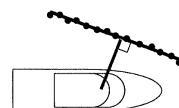


【図 2 4】

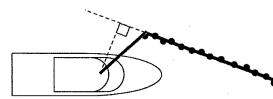


10

(A)



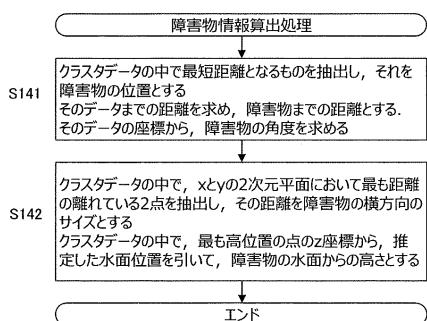
(B)



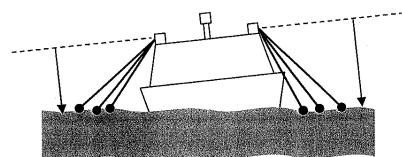
20

(C)

【図 2 5】



【図 2 6】



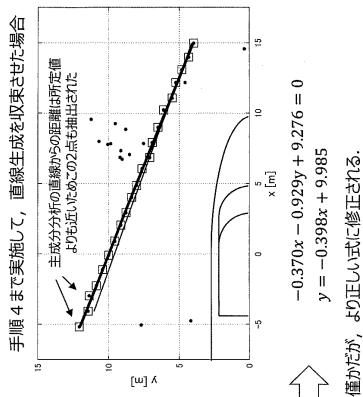
30

右舷と左舷で高さが異なる

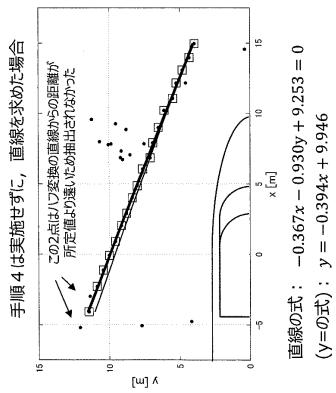
40

50

【図 2 7】



10



20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 加藤 将大
埼玉県川越市山田 25 番地 1 パイオニア株式会社 川越事業所内

(72)発明者 後藤田 明
埼玉県川越市山田 25 番地 1 パイオニア株式会社 川越事業所内

(72)発明者 白鳥 邦雄
東京都文京区本駒込二丁目 28 番 8 号 パイオニア株式会社内

審査官 渡辺 慶人

(56)参考文献 特表 2011-530712 (JP, A)
中国特許出願公開第 109917414 (CN, A)
国際公開第 2017/204076 (WO, A1)
国際公開第 2014/192530 (WO, A1)
特開 2006-292429 (JP, A)
特開 2012-237592 (JP, A)
特開 2016-206152 (JP, A)
特開 2017-133902 (JP, A)
特開 2008-281380 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G 01 S 7/00 - 7/64
13/00 - 17/95