

(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2019-179474
(P2019-179474A)

(43) 公開日 令和1年10月17日(2019. 10. 17)

(51) Int. Cl.		F I		テーマコード (参考)
G05D 1/00 (2006.01)		G05D 1/00	A	5H301
B63C 11/00 (2006.01)		B63C 11/00	B	
B63C 11/48 (2006.01)		B63C 11/48	D	
B63B 43/20 (2006.01)		B63B 43/20		
B63B 49/00 (2006.01)		B63B 49/00	Z	
審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 25 頁)				

(21) 出願番号 特願2018-69429 (P2018-69429)
(22) 出願日 平成30年3月30日 (2018. 3. 30)

(71) 出願人 501204525
国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術
研究所
東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(74) 代理人 100098545
弁理士 阿部 伸一
(74) 代理人 100087745
弁理士 清水 善廣
(74) 代理人 100106611
弁理士 辻田 幸史
(74) 代理人 100189717
弁理士 太田 貴章

最終頁に続く

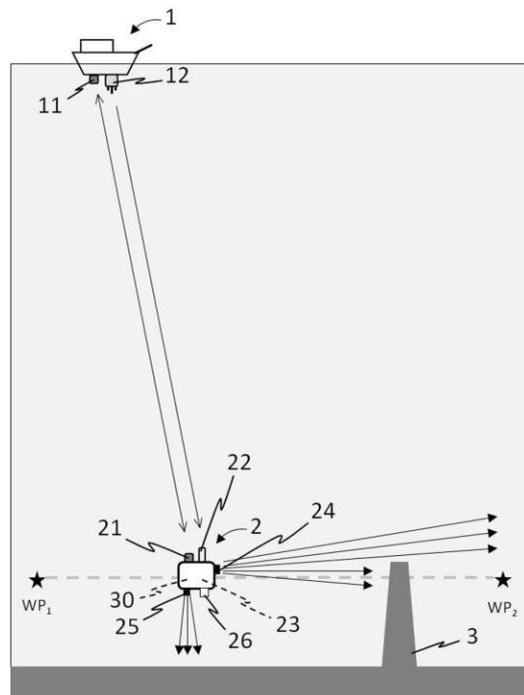
(54) 【発明の名称】 水中航走体の衝突後対応方法、衝突後対応装置、及び衝突後対応プログラム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 障害物に衝突した水中航走体が当該障害物によって通常航走が妨げられている状態から自律的に脱し、通常航走に戻ったか否かを判断することができる、水中航走体の衝突後対応方法、衝突後対応装置、及び衝突後対応プログラムを提供する。

【解決手段】 水中航走体2に搭載した加速度検出手段及び/又は加速度検出手段で障害物3への水中航走体2の衝突を検知し、検知した衝突点から上方向又は水平方向を含む空間に水中航走体2を所定距離X min又は所定時間t、平行移動させ、目標ウェイポイントWP₁の方向に水中航走体2の移動を試み、水中航走体2が一定時間t経過後に衝突点から一定距離 X min以上移動したか否かにより障害物3からの水中航走体2の回避を判断する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水の中を航走する水中航走体の障害物への衝突後の対応方法であって、前記水中航走体に搭載した加速度検出手段及び/又は加加速度検出手段で前記障害物への前記水中航走体の衝突を検知し、衝突点から上方向又は水平方向を含む空間に前記水中航走体を所定距離又は所定時間、平行移動させ、目標ウェイポイントへの方向に移動を試み、一定時間経過後に一定距離以上を進んだか否かにより前記障害物からの回避を判断することを特徴とする水中航走体の衝突後対応方法。

【請求項 2】

前記障害物からの回避ができなかったと判断された場合に、前記所定距離又は前記所定時間を変更し、前記目標ウェイポイントへの方向に移動を試み、以後、回避が行なわれたと判断されるまで、前記所定距離又は前記所定時間をさらに変更し、前記目標ウェイポイントへの方向への移動の試みを繰り返すことを特徴とする請求項 1 に記載の水中航走体の衝突後対応方法。

10

【請求項 3】

変更する前記所定距離又は前記所定時間としてランダム値を用いることを特徴とする請求項 2 に記載の水中航走体の衝突後対応方法。

【請求項 4】

前記衝突点から一旦後退した後、前記所定距離又は前記所定時間、平行移動させることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の水中航走体の衝突後対応方法

20

【請求項 5】

水の中を航走する水中航走体の障害物への衝突後の対応方法であって、前記水中航走体に搭載した加速度検出手段及び/又は加加速度検出手段で前記障害物への前記水中航走体の衝突を検知し、衝突点で前記水中航走体を所定角度、回頭させ、目標ウェイポイントの方向に移動を試み、一定時間経過後に一定距離以上を進んだか否かにより前記障害物からの回避を判断することを特徴とする水中航走体の衝突後対応方法。

【請求項 6】

前記障害物からの回避ができなかったと判断された場合に、前記所定角度を変更し、前記目標ウェイポイントへの方向に移動を試み、以後、回避が行なわれたと判断されるまで、前記所定角度をさらに変更し、前記目標ウェイポイントへの方向への移動の試みを繰り返すことを特徴とする請求項 5 に記載の水中航走体の衝突後対応方法。

30

【請求項 7】

変更する前記所定角度としてランダム値を用いることを特徴とする請求項 6 に記載の水中航走体の衝突後対応方法。

【請求項 8】

前記衝突点から一旦後退した後、前記所定角度、回頭させることを特徴とする請求項 5 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の水中航走体の衝突後対応方法。

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 4 に記載のいずれか 1 項に記載の水中航走体の衝突後対応方法を行なっても前記障害物からの回避ができない場合に、請求項 5 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の水中航走体の衝突後対応方法を行なう及び/又は前記水中航走体の推力を増すことを特徴とする水中航走体の衝突後対応方法。

40

【請求項 10】

水の中を航走する水中航走体の障害物への衝突後の対応装置であって、前記障害物への前記水中航走体の衝突を検知する前記水中航走体に搭載した加速度検出手段及び/又は加加速度検出手段と、衝突点から上方向又は水平方向を含む空間に前記水中航走体を所定距離又は所定時間、平行移動させる平行移動手段と、目標ウェイポイントへの方向に移動を試みる移動制御手段と、一定時間経過後に一定距離以上を進んだか否かにより前記障害物からの回避を判断する回避判断手段とを備えたことを特徴とする水中航走体の衝突後対応

50

装置。

【請求項 1 1】

前記衝突点で前記水中航走体を所定角度、回頭させる回頭手段を備え、前記目標ウェイポイントの方向に移動を試み、一定時間経過後に一定距離以上を進んだか否かにより前記障害物からの回避を前記回避判断手段で判断することを特徴とする請求項 1 0 に記載の水中航走体の衝突後対応装置。

【請求項 1 2】

前記障害物からの回避ができなかったと判断された場合に、前記所定距離若しくは前記所定時間又は前記所定角度を変更し、前記目標ウェイポイントへの方向に移動を試み、以後、回避が行なわれたと判断されるまで、前記所定距離若しくは前記所定時間又は前記所定角度をさらに変更し、前記目標ウェイポイントへの方向への移動の試みを繰り返す繰り返し手段を備えたことを特徴とする請求項 1 0 又は請求項 1 1 に記載の水中航走体の衝突後対応装置。

【請求項 1 3】

変更する前記所定距離若しくは前記所定時間又は前記所定角度のランダム値を発生するランダム値発生手段を備えたことを特徴とする請求項 1 2 に記載の水中航走体の衝突後対応装置。

【請求項 1 4】

前記衝突点から一旦後退させる後退手段を備えたことを特徴とする請求項 1 0 から請求項 1 3 のいずれか 1 項に記載の水中航走体の衝突後対応装置。

【請求項 1 5】

前記加速度検出手段及び / 又は前記加加速度検出手段は、前記水中航走体の航行に使用する航行用センサを共用することを特徴とする請求項 1 0 から請求項 1 4 のいずれか 1 項に記載の水中航走体の衝突後対応装置。

【請求項 1 6】

前記航行用センサは、慣性航法装置又はドップラーソナーであることを特徴とする請求項 1 5 に記載の水中航走体の衝突後対応装置。

【請求項 1 7】

水の中を航走する水中航走体の障害物への衝突後の対応プログラムであって、コンピュータに、前記障害物への前記水中航走体の衝突を検知する前記水中航走体に搭載した加速度検出手段及び / 又は加加速度検出手段の信号を受け付ける衝突検知ステップと、衝突点から上方向又は水平方向を含む空間に前記水中航走体を所定距離又は所定時間、平行移動させる平行移動ステップと、目標ウェイポイントへの方向に移動を試みる移動制御ステップと、一定時間経過後に一定距離以上を進んだか否かにより前記障害物からの回避を判断する回避判断ステップとを実行させることを特徴とする水中航走体の衝突後対応プログラム。

【請求項 1 8】

前記衝突点で前記水中航走体を所定角度、回頭させる回頭ステップをさらに備え、前記目標ウェイポイントの方向に移動を試み、一定時間経過後に一定距離以上を進んだか否かにより前記障害物からの回避を前記回避判断ステップで判断することを特徴とする請求項 1 7 に記載の水中航走体の衝突後対応プログラム。

【請求項 1 9】

前記回避判断ステップで前記障害物からの回避が否定された場合に、前記所定距離若しくは前記所定時間又は前記所定角度を変更し、前記目標ウェイポイントへの方向に移動を試み、以後、回避が行なわれたと判断されるまで、前記所定距離若しくは前記所定時間又は前記所定角度をさらに変更し、前記目標ウェイポイントへの方向への移動の試みを繰り返す繰り返しステップをさらに備えたことを特徴とする請求項 1 7 又は請求項 1 8 に記載の水中航走体の衝突後対応プログラム。

【請求項 20】

変更する前記所定距離若しくは前記所定時間又は前記所定角度のランダム値を発生するランダム値発生ステップをさらに備えたことを特徴とする請求項 19 に記載の水中航走体の衝突後対応プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、水の中を航走し調査作業等を行う水中航走体の衝突後対応方法、衝突後対応装置、及び衝突後対応プログラムに関する。

10

【背景技術】

【0002】

水中を自律的に航走する AUV (Autonomous Underwater Vehicle) 等の水中航走体を用いた水底探査が行われている。水中航走体による水底探査においては、水中航走体が水底に近づくほど調査精度が向上する。また、水中航走体が高速で移動するほど調査範囲が拡大する。しかし、水中航走体を低高度で高速移動させると、水中航走体が水底に衝突する危険性が高まる。

そこで水中航走体は、水底への衝突を避けるため、自律的に下方ソナーからの情報により水底までの距離を一定に確保するか、又は深度を一定として水底からの高度を一定以上に確保している。また、水中航走体には障害物を自律的に避けるための前方障害物回避システムが搭載されている。前方障害物回避システムは、下方ソナー、前方ソナー、レーザー又はカメラにより水中航走体の進行方向に障害物を検出した場合には、障害物よりも高高度に水中航走体を移動させることで障害物を回避している。

20

しかし、前方障害物回避システムにより全方位を確認することは困難であり、死角が存在する。また、水中航走体は常に前方へ直進しているわけではなく、水中航走体が回頭中に障害物が現れる場合がある。また、下方ソナー、前方ソナー、レーザー及びカメラは、ごく近距離の障害物に対しては検知感度が低い。よって、水中航走体が障害物に衝突する可能性をゼロにすることは困難である。

また、水中航走体が障害物と衝突した場合は、特に衝突現場が水底付近だと、そこからの離脱に最適な行動を推定するための十分な情報が水中航走体の搭載センサから得られない可能性がある。

30

【0003】

図 7 は、水中航走体が岩礁等の障害物に衝突した状態の第一の例を示す図である。

水中航走体 502 には、通過するべき目標ウェイポイントの緯度、経度、高度（又は深度）の情報を含むウェイポイントリストが入力されている。

前方ソナー等のセンサで障害物 503 が検知されない場合、水中航走体 502 は次の目標ウェイポイントに向かって前進する。障害物 503 と衝突してもセンサが障害物 503 を検知できていなければ、水中航走体 502 の航走が障害物 503 によって妨げられていることを水中航走体 502 も調査母船 501 も認識できないため、水中航走体 502 は障害物 503 を押し続けることになる。

40

図 7 では水中航走体 502 が、1 番目の目標ウェイポイント WP₁ から 2 番目の目標ウェイポイント WP₂ へ移動しようとしている状況を示している。設定された制限時間内に水中航走体 502 が 2 番目の目標ウェイポイント WP₂ に到達しない場合、水中航走体 502 は緊急事態が発生したと判断してバラストを投下して緊急浮上するため、調査が長時間にわたって中断してしまう。

【0004】

図 8 は、水中航走体が岩礁等の障害物に衝突した状態の第二の例を示す図である。

岩礁等の障害物 503 が図 8 に示すようにオーバハングした形状の場合には、緊急事態が発生したと判断した水中航走体 502 がバラストを投下して緊急浮上しようとしても、障害物 503 の上部の張り出し部分に当たって浮上することができない。また、障害物

50

503によって水中音響信号が阻害されるため、調査母船501から水中航走体502に対して通信や測位を行うこともできない。

【0005】

図9は、水中航走体が岩礁等の障害物に衝突した状態の第三の例を示す図である。

障害物503が図9に示すように一端が水底に固定されたロープの場合には、ロープが絡まった水中航走体502は、一定パワーでロープを引っ張り続け、制限時間に達すると緊急事態が発生したと判断してバラストを投下して緊急浮上しようとする。しかし、ロープが絡まったままであれば緊急浮上できない。

【0006】

ここで、特許文献1には、巡回経路に沿って設けた各ウェイポイントを巡回させる自律制御型水中航走体が、1つのウェイポイントの場所から次に迎える順序のウェイポイントの場所を目標地点として移動する経路上で、水中航走体に装備した障害物検出ソナーにより経路上の障害物が検出されると、水中航走体を障害物のない方向へ移動させる緊急回避動作を行い、回避終了時の水中航走体の位置に、巡回経路の次の周回以降に経由させるための新たなウェイポイントを追加することで、障害物が検出された周回の次の周回以降は、水中航走体を、追加されたウェイポイントを経由させることで、障害物に差し掛かることなく巡回させる自律制御方法が開示されている。

また、特許文献2には、自動走行玩具に関し、玩具が障害物に近接又は衝突したときは、操向方向のいかに関わらず、所定方向に一定距離後退したのち、再び予定の操行及び操向を続行する障害物回避装置が開示されている。

また、特許文献3には、位置指令、速度指令、加速度指令のうちの少なくとも1つから必要駆動トルク指令の各要素を演算する必要駆動トルク指令要素演算手段と、位置、速度、加速度のうちの少なくとも1つ及び必要駆動トルク指令の各要素のうちの少なくとも1つを用いて必要駆動トルクを演算する必要駆動トルク演算手段と、上側しきい値及び下側しきい値を演算するしきい値演算手段と、必要駆動トルク、上側しきい値、下側しきい値及びロボットの各軸を駆動するモータの電流に基づいて衝突を判別する衝突判別手段とを備えたロボット制御装置において、加速度指令及び加加速度指令に応じて上側しきい値及び下側しきい値を変更すること、衝突判別後はロボットを停止又は衝突物から退避させることが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2011-34518号公報

【特許文献2】特開昭63-189189号公報

【特許文献3】特開2003-25272号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

特許文献1は、水中航走体の緊急回避動作を低減しようとするものであり、水中航走体が障害物に衝突した後の回避行動については何ら記載されていない。

また、特許文献2は、障害物に近接又は衝突したときは、所定方向に一定距離後退させることによって障害物を回避させるものであるから、後方に障害物が存在して一定距離後退させることができない場合は、障害物を回避できない。また、陸上走行時の衝突回避を目的としており、水中での衝突した後の回避行動に関する記載はない。

また、特許文献3は、作業用ロボットについて、衝突判別のための計算量を削減し、高精度に衝突判別を行おうとするものであり、水中での衝突した後の回避行動に関する記載はない。

【0009】

そこで本発明は、障害物に衝突した水中航走体が当該障害物によって通常航走が妨げられている状態から自律的に脱し、通常航走に戻ったか否かを判断することができる、水中

航走体の衝突後対応方法、衝突後対応装置、及び衝突後対応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】

【0010】

請求項1記載に対応した水中航走体の衝突後対応方法においては、水の中を航走する水中航走体の障害物への衝突後の対応方法であって、水中航走体に搭載した加速度検出手段及び/又は加加速度検出手段で障害物への水中航走体の衝突を検知し、衝突点から上方向又は水平方向を含む空間に水中航走体を所定距離又は所定時間、平行移動させ、目標ウェイポイントへの方向に移動を試み、一定時間経過後に一定距離以上を進んだか否かにより障害物からの回避を判断することを特徴とする。

10

請求項1に記載の本発明によれば、水中航走体は衝突点から上方向又は水平方向に移動して障害物からの回避を試みることができると共に、回避が成功したか否かを移動距離によって判断することができる。これにより、障害物に衝突した水中航走体は障害物によって通常航走が妨げられている状態から自律的に脱し、通常航走に戻ることができる。

【0011】

請求項2記載の本発明は、障害物からの回避ができなかったと判断された場合に、所定距離又は所定時間を変更し、目標ウェイポイントへの方向に移動を試み、以後、回避が行なわれたと判断されるまで、所定距離又は所定時間をさらに変更し、目標ウェイポイントへの方向への移動の試みを繰り返すことを特徴とする。

請求項2に記載の本発明によれば、水中航走体は、ある回避行動によっては障害物を回避できなかった場合に回避行動を異ならせて繰り返し回避を試みるため、離脱可能性を高めることができる。

20

【0012】

請求項3記載の本発明は、変更する所定距離又は所定時間としてランダム値を用いることを特徴とする。

請求項3に記載の本発明によれば、水中航走体の回避行動にランダム性を取り入れて偶然の離脱を試みることができるため、離脱可能性を効果的に高めることができる。

【0013】

請求項4記載の本発明は、衝突点から一旦後退した後、所定距離又は所定時間、平行移動させることを特徴とする。

30

請求項4に記載の本発明によれば、今まで航走して来た元の方向に一旦後退することにより、始めに障害物から水中航走体を後方へ離すことで、平行移動による離脱可能性を高めることができる。

【0014】

請求項5記載に対応した水中航走体の衝突後対応方法においては、水の中を航走する水中航走体の障害物への衝突後の対応方法であって、水中航走体に搭載した加速度検出手段及び/又は加加速度検出手段で障害物への水中航走体の衝突を検知し、衝突点で水中航走体を所定角度、回頭させ、目標ウェイポイントの方向に移動を試み、一定時間経過後に一定距離以上を進んだか否かにより障害物からの回避を判断することを特徴とする。

請求項5に記載の本発明によれば、水中航走体は衝突点で回頭して障害物からの回避を試みることができると共に、回避が成功したか否かを移動距離によって判断することができる。これにより、障害物に衝突した水中航走体は障害物によって通常航走が妨げられている状態から自律的に脱し、通常航走に戻ることができる。

40

【0015】

請求項6記載の本発明は、障害物からの回避ができなかったと判断された場合に、所定角度を変更し、目標ウェイポイントへの方向に移動を試み、以後、回避が行なわれたと判断されるまで、所定角度をさらに変更し、目標ウェイポイントへの方向への移動の試みを繰り返すことを特徴とする。

請求項6に記載の本発明によれば、水中航走体は、ある回避行動によっては障害物を回避できなかった場合に回避行動を異ならせて繰り返し回避を試みるため、離脱可能性を高

50

めることができる。

【 0 0 1 6 】

請求項 7 記載の本発明は、変更する所定角度としてランダム値を用いることを特徴とする。

請求項 7 に記載の本発明によれば、水中航走体の回避行動にランダム性を取り入れて偶然の離脱を試みることができるため、離脱可能性を効果的に高めることができる。

【 0 0 1 7 】

請求項 8 記載の本発明は、衝突点から一旦後退した後、所定角度、回頭させることを特徴とする。

請求項 8 に記載の本発明によれば、今まで航走して来た元の方向に一旦後退することにより、始めに障害物から水中航走体を後方へ離すことで、回頭による離脱可能性を高めることができる。

【 0 0 1 8 】

請求項 9 記載の本発明は、請求項 1 から請求項 4 に記載のいずれか 1 項に記載の水中航走体の衝突後対応方法を行なっても障害物からの回避ができない場合に、請求項 5 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の水中航走体の衝突後対応方法を行なう及び / 又は水中航走体の推力を増すことを特徴とする。

請求項 9 に記載の本発明によれば、水中航走体は、平行移動によっては障害物を回避できなかった場合に、回頭及び推力増加の少なくともどちらか一方を行って再度回避を試みるため、離脱可能性を高めることができる。

【 0 0 1 9 】

請求項 10 記載に対応した水中航走体の衝突後対応装置においては、水の中を航走する水中航走体の障害物への衝突後の対応装置であって、障害物への水中航走体の衝突を検知する水中航走体に搭載した加速度検出手段及び / 又は加加速度検出手段と、衝突点から上方向又は水平方向を含む空間に水中航走体を所定距離又は所定時間、平行移動させる平行移動手段と、目標ウェイポイントへの方向に移動を試みる移動制御手段と、一定時間経過後に一定距離以上を進んだか否かにより障害物からの回避を判断する回避判断手段とを備えたことを特徴とする。

請求項 10 に記載の本発明によれば、水中航走体は衝突点から上方向又は水平方向に移動して障害物からの回避を試みることができると共に、回避が成功したか否かを移動距離によって判断することができる。これにより、障害物に衝突した水中航走体は障害物によって通常航走が妨げられている状態から自律的に脱し、通常航走に戻ることができる。

【 0 0 2 0 】

請求項 11 記載の本発明は、衝突点で水中航走体を所定角度、回頭させる回頭手段を備え、目標ウェイポイントの方向に移動を試み、一定時間経過後に一定距離以上を進んだか否かにより障害物からの回避を回避判断手段で判断することを特徴とする。

請求項 11 に記載の本発明によれば、水中航走体は衝突点で回頭して障害物からの回避を試みることができる。

【 0 0 2 1 】

請求項 12 記載の本発明は、障害物からの回避ができなかったと判断された場合に、所定距離若しくは所定時間又は所定角度を変更し、目標ウェイポイントへの方向に移動を試み、以後、回避が行なわれたと判断されるまで、所定距離若しくは所定時間又は所定角度をさらに変更し、目標ウェイポイントへの方向への移動の試みを繰り返す繰り返手段を備えたことを特徴とする。

請求項 12 に記載の本発明によれば、水中航走体は、ある回避行動によっては障害物を回避できなかった場合に回避行動を異ならせて繰り返し回避を試みるため、離脱可能性を高めることができる。

【 0 0 2 2 】

請求項 13 記載の本発明は、変更する所定距離若しくは所定時間又は所定角度のランダム値を発生するランダム値発生手段を備えたことを特徴とする。

請求項 1 3 に記載の本発明によれば、水中航走体の回避行動にランダム性を取り入れて偶然の離脱を試みることができるため、離脱可能性を効果的に高めることができる。

【 0 0 2 3 】

請求項 1 4 に記載の本発明は、衝突点から一旦後退させる後退手段を備えたことを特徴とする。

請求項 1 4 に記載の本発明によれば、今まで航走して来た元の方向に一旦後退することにより、始めに障害物から水中航走体を後方へ離すことで、平行移動又は回頭による離脱可能性を高めることができる。

【 0 0 2 4 】

請求書 1 5 に記載の本発明は、加速度検出手段及び / 又は加加速度検出手段は、水中航走体の航行に使用する航行用センサを共用することを特徴とする。

請求書 1 5 に記載の本発明によれば、航行用センサを利用して障害物への水中航走体の衝突を検知することができるため、加速度検出手段及び加加速度検出手段を別途設ける必要が無い。

【 0 0 2 5 】

請求書 1 6 に記載の本発明は、航行用センサは、慣性航法装置又はドップラーソナーであることを特徴とする。

請求項 1 6 に記載の本発明によれば、慣性航法装置又はドップラーソナーを利用して障害物への水中航走体の衝突を検知することができる。

【 0 0 2 6 】

請求書 1 7 に記載に対応した水中航走体の衝突後対応プログラムは、水の中を航走する水中航走体の障害物への衝突後の対応プログラムであって、コンピュータに、障害物への水中航走体の衝突を検知する水中航走体に搭載した加速度検出手段及び / 又は加加速度検出手段の信号を受け付ける衝突検知ステップと、衝突点から上方向又は水平方向を含む空間に水中航走体を所定距離又は所定時間、平行移動させる平行移動ステップと、目標ウェイポイントへの方向に移動を試みる移動制御ステップと、一定時間経過後に一定距離以上を進んだか否かにより障害物からの回避を判断する回避判断ステップとを実行させることを特徴とする。

請求項 1 7 に記載の本発明によれば、水中航走体は衝突点から上方向又は水平方向に移動して障害物からの回避を試みることができると共に、回避が成功したか否かを移動距離によって判断することができる。これにより、障害物に衝突した水中航走体は障害物によって通常航走が妨げられている状態から自律的に脱し、通常航走に戻ることができる。

【 0 0 2 7 】

請求項 1 8 に記載の本発明は、衝突点で水中航走体を所定角度、回頭させる回頭ステップをさらに備え、目標ウェイポイントの方向に移動を試み、一定時間経過後に一定距離以上を進んだか否かにより障害物からの回避を回避判断ステップで判断することを特徴とする。

請求項 1 8 に記載の本発明によれば、水中航走体は衝突点で回頭して障害物からの回避を試みることができる。

【 0 0 2 8 】

請求項 1 9 に記載の本発明は、回避判断ステップで障害物からの回避が否定された場合に、所定距離若しくは所定時間又は所定角度を変更し、目標ウェイポイントへの方向に移動を試み、以後、回避が行なわれたと判断されるまで、所定距離若しくは所定時間又は所定角度をさらに変更し、目標ウェイポイントへの方向への移動の試みを繰り返す繰り返すステップをさらに備えたことを特徴とする。

請求項 1 9 に記載の本発明によれば、水中航走体は、ある回避行動によっては障害物を回避できなかった場合に回避行動を異ならせて繰り返し回避を試みるため、離脱可能性を高めることができる。

【 0 0 2 9 】

請求項 2 0 に記載の本発明は、変更する所定距離若しくは所定時間又は所定角度のランダ

10

20

30

40

50

ム値を発生するランダム値発生ステップをさらに備えたことを特徴とする。

請求項 20 に記載の本発明によれば、水中航走体の回避行動にランダム性を取り入れて偶然の離脱を試みることができるため、離脱可能性を効果的に高めることができる。

【発明の効果】

【0030】

本発明の水中航走体の衝突後対応方法によれば、水中航走体は衝突点から上方向又は水平方向に移動して障害物からの回避を試みることができると共に、回避が成功したか否かを移動距離によって判断することができる。これにより、障害物に衝突した水中航走体は障害物によって通常航走が妨げられている状態から自律的に脱し、通常航走に戻ることができる。

10

【0031】

また、障害物からの回避ができなかったと判断された場合に、所定距離又は所定時間を変更し、目標ウェイポイントへの方向に移動を試み、以後、回避が行なわれたと判断されるまで、所定距離又は所定時間をさらに変更し、目標ウェイポイントへの方向への移動の試みを繰り返す場合には、水中航走体は、ある回避行動によっては障害物を回避できなかった場合に回避行動を異ならせて繰り返し回避を試みるため、離脱可能性を高めることができる。

【0032】

また、変更する所定距離又は所定時間としてランダム値を用いる場合には、水中航走体の回避行動にランダム性を取り入れて偶然の離脱を試みることができるため、離脱可能性を効果的に高めることができる。

20

【0033】

また、衝突点から一旦後退した後、所定距離又は所定時間、平行移動させる場合には、今まで航走して来た元の方向に一旦後退することにより、始めに障害物から水中航走体を後方へ離すことで、平行移動による離脱可能性を高めることができる。

【0034】

また、本発明の水中航走体の衝突後対応方法によれば、水中航走体は衝突点で回頭して障害物からの回避を試みることができると共に、回避が成功したか否かを移動距離によって判断することができる。これにより、障害物に衝突した水中航走体は障害物によって通常航走が妨げられている状態から自律的に脱し、通常航走に戻ることができる。

30

【0035】

また、障害物からの回避ができなかったと判断された場合に、所定角度を変更し、目標ウェイポイントへの方向に移動を試み、以後、回避が行なわれたと判断されるまで、所定角度をさらに変更し、目標ウェイポイントへの方向への移動の試みを繰り返す場合には、水中航走体は、ある回避行動によっては障害物を回避できなかった場合に回避行動を異ならせて繰り返し回避を試みるため、離脱可能性を高めることができる。

【0036】

また、変更する所定角度としてランダム値を用いる場合には、水中航走体の回避行動にランダム性を取り入れて偶然の離脱を試みることができるため、離脱可能性を効果的に高めることができる。

40

【0037】

また、衝突点から一旦後退した後、所定角度、回頭させる場合には、今まで航走して来た元の方向に一旦後退することにより、始めに障害物から水中航走体を後方へ離すことで、回頭による離脱可能性を高めることができる。

【0038】

また、本発明の水中航走体の衝突後対応方法によれば、水中航走体は、平行移動によっては障害物を回避できなかった場合に、回頭及び推力増加の少なくともどちらか一方を行って再度回避を試みるため、離脱可能性を高めることができる。

【0039】

また、本発明の水中航走体の衝突後対応装置によれば、水中航走体は衝突点から上方向

50

又は水平方向に移動して障害物からの回避を試みることができると共に、回避が成功したか否かを移動距離によって判断することができる。これにより、障害物に衝突した水中航走体は障害物によって通常航走が妨げられている状態から自律的に脱し、通常航走に戻ることができる。

【0040】

また、衝突点で水中航走体を所定角度、回頭させる回頭手段を備え、目標ウェイポイントの方向に移動を試み、一定時間経過後に一定距離以上を進んだか否かにより障害物からの回避を回避判断手段で判断する場合には、水中航走体は衝突点で回頭して障害物からの回避を試みることができる。

【0041】

また、障害物からの回避ができなかったと判断された場合に、所定距離若しくは所定時間又は所定角度を変更し、目標ウェイポイントへの方向に移動を試み、以後、回避が行なわれたと判断されるまで、所定距離若しくは所定時間又は所定角度をさらに変更し、目標ウェイポイントへの方向への移動の試みを繰り返す繰り返し手段を備えた場合には、水中航走体は、ある回避行動によっては障害物を回避できなかった場合に回避行動を異ならせて繰り返し回避を試みるため、離脱可能性を高めることができる。

【0042】

また、変更する所定距離若しくは所定時間又は所定角度のランダム値を発生するランダム値発生手段を備えた場合には、水中航走体の回避行動にランダム性を取り入れて偶然の離脱を試みることができるため、離脱可能性を効果的に高めることができる。

【0043】

また、衝突点から一旦後退させる後退手段を備えた場合には、今まで航走して来た元の方向に一旦後退することにより、始めに障害物から水中航走体を後方へ離すことで、平行移動又は回頭による離脱可能性を高めることができる。

【0044】

また、加速度検出手段及びノ又は加加速度検出手段は、水中航走体の航行に使用する航行用センサを共用する場合には、航行用センサを利用して障害物への水中航走体の衝突を検知することができるため、加速度検出手段及び加加速度検出手段を別途設ける必要が無い。

【0045】

また、航行用センサは、慣性航法装置又はドップラーソナーである場合には、慣性航法装置又はドップラーソナーを利用して障害物への水中航走体の衝突を検知することができる。

【0046】

また、本発明の水中航走体の衝突後対応プログラムによれば、水中航走体は衝突点から上方向又は水平方向に移動して障害物からの回避を試みることができると共に、回避が成功したか否かを移動距離によって判断することができる。これにより、障害物に衝突した水中航走体は障害物によって通常航走が妨げられている状態から自律的に脱し、通常航走に戻ることができる。

【0047】

また、衝突点で水中航走体を所定角度、回頭させる回頭ステップをさらに備え、目標ウェイポイントの方向に移動を試み、一定時間経過後に一定距離以上を進んだか否かにより障害物からの回避を回避判断ステップで判断する場合には、水中航走体は衝突点で回頭して障害物からの回避を試みることができる。

【0048】

また、回避判断ステップで障害物からの回避が否定された場合に、所定距離若しくは所定時間又は所定角度を変更し、目標ウェイポイントへの方向に移動を試み、以後、回避が行なわれたと判断されるまで、所定距離若しくは所定時間又は所定角度をさらに変更し、目標ウェイポイントへの方向への移動の試みを繰り返す繰り返しステップをさらに備えた場合には、水中航走体は、ある回避行動によっては障害物を回避できなかった場合に回避

10

20

30

40

50

行動を異ならせて繰り返し回避を試みるため、離脱可能性を高めることができる。

【0049】

また、変更する所定距離若しくは所定時間又は所定角度のランダム値を発生するランダム値発生ステップをさらに備えた場合には、水中航走体の回避行動にランダム性を取り入れて偶然の離脱を試みることができるため、離脱可能性を効果的に高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0050】

【図1】本発明の一実施形態による水中航走体を用いた水中探査を示す概略図

【図2】同水中航走体の衝突後対応装置の構成図

【図3】同水中航走体の衝突後対応方法のフロー図

10

【図4】本発明の他の実施形態による水中航走体の衝突後対応装置の構成図

【図5】同水中航走体の衝突後対応方法のフロー図

【図6】同水中航走体の衝突後対応方法のフロー図

【図7】水中航走体が岩礁等の障害物に衝突した状態の第一の例を示す図

【図8】水中航走体が岩礁等の障害物に衝突した状態の第二の例を示す図

【図9】水中航走体が岩礁等の障害物に衝突した状態の第三の例を示す図

【発明を実施するための形態】

【0051】

以下に、本発明の実施形態による水中航走体の衝突後対応方法、衝突後対応装置、及び衝突後対応プログラムについて説明する。

20

図1は、本発明の実施形態による水中航走体を用いた水中探査を示す概略図である。

図1では、海洋や湖沼等において、調査母船1から調査水域に水中航走体2を投入し、水底の鉱物資源やエネルギー資源等の調査作業等を行う状態を示している。水中航走体2は、調査母船1に積載して調査水域まで運搬してきたものである。水中航走体2は、単数であっても複数であってもよい。

水中航走体2には、調査母船1からの投入前にオペレータによって、通過すべき目標ウェイポイントの緯度、経度、高度（又は深度）の情報を含むウェイポイントリストが入力されている。

調査母船1は、水中で調査作業等を行う水中航走体2に対して管制を行う。調査母船1には、水中航走体2との音響信号による双方向通信に用いる母船側通信手段11と、水中航走体2へ向けて信号を発する音響測位手段12が設けられている。

30

水中航走体2は無人かつ無索で自律航走するロボットである。水中航走体2には、調査母船1の母船側通信手段11との音響信号による双方向通信に用いる航走体側通信手段21と、調査母船1の音響測位手段12から発せられる信号に対して返答を行う音響トランスポンダ22と、自機の位置の測定に用いる航行用センサ23と、前方へ向けられた前方ソナー24と、下方へ向けられた下方ソナー25と、水中航走体2に質量を付加するバラスト26と、障害物3に衝突した水中航走体2を障害物3から離脱させるべく制御する衝突後対応装置30が設けられている。

水中航走体2は、調査母船1から投入された後、自律的に1番目の目標ウェイポイントWPに向かって潜航（下降）する。水中航走体2が潜航すると、調査母船1と水中航走体2間の電波は水によって遮断される。このため、調査母船1と水中航走体2間の情報通信は、水中航走体2が水中にあるときは水中音響通信によって行われる。なお、調査母船1や水中航走体2の周囲の雑音状況によっては、通信が成立しないこともある。また、水中航走体2が水中を移動する際は、水中航走体2自身の測位は、GPSによる測位から航行用センサ23による測位に切り替えて行われる。航行用センサ23は、加速度計やジャイロといった各種水中センサの計測結果を踏まえて測位等を行う慣性航法装置（以下、「INS」という）としている。

40

調査母船1からは、音響測位手段12による水中音響USBL測位により、音響トランスポンダ22が搭載されている水中航走体2の水中位置を測位することができる。また、水中音響通信装置11を用いた水中音響通信により、その測位結果を水中航走体2に送信

50

することや、簡単な指令を送ることもできる。なお、調査母船 1 と水中航走体 2 の位置関係、又は調査母船 1 や水中航走体 2 の周囲の雑音状況によっては、測位や通信が成立しないこともある。

【 0 0 5 2 】

水中航走体 2 は、1 番目の目標ウェイポイント WP_1 に到達すると、2 番目の目標ウェイポイント WP_2 に向かいつつ、センサによる水底調査を行う。水中航走体 2 は、2 番目の目標ウェイポイント WP_2 に到達すると、3 番目の目標ウェイポイント（図示略）以降も同様に航走しつつ、計画測線に沿って水底調査を行う。水中航走体 2 は、全ての目標ウェイポイントを通過したのち、バラスト 26 を投下し水面に向けて浮上する。

【 0 0 5 3 】

水中航走体 2 は、水底への衝突を避けるため、下方ソナー 25 から得た水底までの距離情報に基づいて自律的に水底までの距離を一定に確保している。なお、水中航走体 2 の深度を一定として水底からの高度を一定以上に確保することもできる。また、水中航走体 2 は、前方ソナー 24 によって進行方向に障害物 3 を検出した場合には、自律的に障害物 3 よりも高高度に移動することで障害物 3 を回避する。

また、水中航走体 2 は、自律的に緊急事態を解消できないと判断した場合や、調査母船 1 から水中音響通信で緊急浮上の指令を受信した場合には、スラスタを停止し、バラスト 26 を投下して緊急浮上することができる。

【 0 0 5 4 】

図 2 は、本実施形態による水中航走体の衝突後対応装置の構成図である。図 3 は、本実施形態による水中航走体の衝突後対応方法のフロー図である。

【 0 0 5 5 】

衝突後対応装置 30 は、水中航走体 2 が障害物 3 に衝突した場合に、水中航走体 2 に障害物 3 からの離脱行動を行わせる。

衝突後対応装置 30 は、衝突判断手段 40 と、所定値決定手段 50 と、平行移動手段 60 と、回頭手段 70 と、移動制御手段 80 と、回避判断手段 90 と、繰り返し手段 100 と、ランダム値発生手段 110 と、後退手段 120 と、推力変更手段 130 を備える。

【 0 0 5 6 】

衝突判断手段 40 は、加速度検出手段 41 から水中航走体 2 の加速度 a を取得し、加加速度検出手段 42 から水中航走体 2 の加加速度 j を取得する。加速度検出手段 41 及び加加速度検出手段 42 は、水中航走体 2 の航行に使用する航行用センサ 23 を共用している。このため、加速度検出手段 40 及び加加速度検出手段 41 を別途設ける必要が無い。

なお、本実施形態における航行用センサ 23 は INS であるが、INS の代わりにドップラーソナーを用いることもできる。

衝突判断手段 40 は、加速度検出手段 41 によって検出される水中航走体 2 の加速度 a と、加加速度検出手段 42 によって検出される水中航走体 2 の加加速度 j を監視し、加速度 a 又は加加速度 j が閾値（特に負の閾値）を越えた場合に、水中航走体 2 が何らかの障害物 3 に衝突したと判断する。

【 0 0 5 7 】

所定値決定手段 50 は、障害物 3 に衝突した水中航走体 2 をその障害物 3 から回避させるにあたって、移動目標となる所定値を決定する。所定値決定手段 50 は、所定距離決定部 51 と、所定時間決定部 52 と、所定角度決定部 53 を有する。

所定距離決定部 51 は、水中航走体 2 が障害物 3 に衝突した衝突点から水中航走体 2 を上方向又は水平方向に移動させる際の目標距離となる所定距離 X_{min} を決定する。

所定時間決定部 52 は、衝突点から水中航走体 2 を上方向又は水平方向に移動させる際の目標時間となる所定時間 t を決定する。

所定角度決定部 53 は、衝突点から水中航走体 2 を回頭させる際の目標角度となる所定角度 θ を決定する。

【 0 0 5 8 】

平行移動手段 60 は、水中航走体 2 を水平方向に移動させる水平移動部 61 と、水中航

10

20

30

40

50

走体 2 を鉛直方向に移動させる鉛直移動部 6 2 を有する。水平移動部 6 1 と鉛直移動部 6 2 を同時に用いることで、水中航走体 2 を斜め方向に移動させることも可能である。

平行移動手段 6 0 は、所定値決定手段 5 0 で決定された所定値に従い、衝突点から水中航走体 2 を上方向又は水平方向を含む空間に所定距離 X_{min} 又は所定時間 t 、水中航走体 2 の向きを変えことなく平行移動させる。

【 0 0 5 9 】

回頭手段 7 0 は、所定値決定手段 5 0 で決定された所定値に従い、衝突点で水中航走体 2 を所定角度、回頭させる。

【 0 0 6 0 】

移動制御手段 8 0 は、衝突点から上方向又は水平方向に所定距離 X_{min} 若しくは所定時間 t 平行移動した水中航走体 2、又は衝突点で所定角度 回頭した水中航走体 2 を、次の目標ウェイポイント WP_i の方向へ移動させようと試みる。

【 0 0 6 1 】

回避判断手段 9 0 は、INS により移動開始前位置 X からの変位 X を確認し、水中航走体 2 が次の目標ウェイポイント WP_i の方向への移動試行を開始してから一定時間 t 経過後に、水中航走体 2 が一定距離 X_{min} 以上進んだか否かにより障害物 3 からの回避を判断する。これにより、回避の成否を移動距離によって判断することができる。

本発明の目的は、障害物 3 に衝突した水中航走体 2 が自律的に衝突現場を離れ、通常航走に戻ることである。このため、離脱判断のパラメータとして、水中航走体 2 の速度 v 、加速度、加加速度 j ではなく、位置 X を用いている。

【 0 0 6 2 】

繰り返し手段 1 0 0 は、所定距離変更部 1 0 1、所定時間変更部 1 0 2、所定角度変更部 1 0 3、所定値変更回数設定部 1 0 4 を有する。

所定距離変更部 1 0 1 は、所定距離 X_{min} を変更する。所定時間変更部 1 0 2 は、所定時間 t を変更する。所定角度変更部 1 0 3 は、所定角度 を変更する。所定値変更回数設定部 1 0 4 は、所定距離変更部 1 0 1 が変更する所定距離 X_{min} 、所定時間変更部 1 0 2 が変更する所定時間 t 、所定角度変更部 1 0 3 が変更する所定角度 のそれぞれについて、変更回数の上限を設定する。

繰り返し手段 1 0 0 は、回避判断手段 9 0 による回避判断において障害物 3 からの回避ができなかったと判断された場合に、所定距離 X_{min} 若しくは所定時間 t 又は所定角度

を変更し、次の目標ウェイポイント WP_i へ方向に移動を試み、以後、回避が行なわれたと判断されるまで、所定距離 X_{min} 若しくは所定時間 t 又は所定角度 をさらに変更し、次の目標ウェイポイント WP_i の方向への移動の試みを繰り返す。

【 0 0 6 3 】

ランダム値発生手段 1 1 0 は、所定距離変更部 1 0 1 が変更する所定距離 X_{min} 、所定時間変更部 1 0 2 が変更する所定時間 t 、所定角度変更部 1 0 3 が変更する所定角度 のそれぞれについて、ランダム値を発生する。

【 0 0 6 4 】

後退手段 1 2 0 は、衝突点から水中航走体 2 が平行移動する前、又は水中航走体 2 が衝突点で回頭する前に、衝突点から水中航走体 2 を今まで航走して来た元の方向に、一旦後退させる。なお、今まで航走して来た元の方向とは、全く同じ方向でなくとも、同じ方向と見做せる片側 4 5 度以内の方向であればよい。

推力変更手段 1 3 0 は、水中航走体 2 の推力を増加又は減少させる。

【 0 0 6 5 】

衝突後対応装置 3 0 は、コンピュータ (図示略) によって実行されるプログラムによって制御される。図 3 を用いて衝突後対応の流れを説明する。

【 0 0 6 6 】

衝突判断手段 4 0 は、水中航走体 2 の加速度 を検出する加速度検出手段 4 1 からの信号、及び水中航走体 2 の加加速度 j を検出する加加速度検出手段 4 2 からの信号を受け付け、加速度 又は加加速度 j が閾値 (特に負の閾値) を越えた場合は、水中航走体 2 が何

らかの障害物 3 に衝突したと判断する（衝突検知ステップ S 1）。

水中航走体 2 は、障害物 3 との衝突が検知されたことを音響通信によって調査母船 1 に知らせ、一定時間、調査母船 1 からの指令を待つ。調査母船 1 からの指令があった場合は、その指令に従って航行する。

一定時間内に調査母船 1 からの指令が無い場合、又は自律的に衝突現場からの離脱を試行せよとの指令を調査母船 1 から受信した場合は、水中航走体 2 は、以下のステップを実行することで衝突現場からの離脱を試みる。離脱に成功した場合は、通常航走に復帰して計画測線に沿った水底調査等を行う。

【 0 0 6 7 】

衝突検知ステップ S 1 の後、後退手段 1 2 0 は、衝突点から水中航走体 2 を一旦後退させる（平行移動前の後退ステップ S 2）。

10

平行移動の前に水中航走体 2 を今まで航走して来た元の方向に一旦後退させることによって障害物 3 から水中航走体 2 を後方へ離し、以降の回避行動による離脱可能性を高めることができる。

【 0 0 6 8 】

後退ステップ 2 の後、所定値決定手段 5 0 は、所定距離決定部 5 1 によって所定距離 X_{min} を決定するか、又は所定時間決定部 5 2 によって所定時間 t を決定する（平行移動の所定値決定ステップ S 3）。

【 0 0 6 9 】

所定値決定ステップ S 3 の後、平行移動手段 6 0 は、衝突点から水中航走体 2 を上方向又は水平方向に所定距離 X_{min} 又は所定時間 t 、水中航走体 2 の向きを変えずに平行移動させる（平行移動ステップ S 4）。

20

衝突点から水中航走体 2 を上方向又は水平方向に移動させることで、障害物 3 からの回避を図ることができる。

なお、水中航走体 2 を平行移動させる方向（上方向又は水平方向）は、任意に設定することができる。

【 0 0 7 0 】

平行移動ステップ S 4 の後、移動制御手段 8 0 は、次の目標ウェイポイント WP_i へ方向に移動を試みる（平行移動後の移動制御ステップ S 5）。

【 0 0 7 1 】

30

移動制御ステップ S 5 の後、回避判断手段 9 0 は、INS により移動開始前位置 X からの変位 X を確認し、水中航走体 2 が次の目標ウェイポイント WP_i の方向への移動試行を開始してから一定時間 t 経過後に、一定距離 X_{min} 以上進んだか否かにより障害物 3 からの回避を判断する（平行移動後の回避判断ステップ S 6）。

【 0 0 7 2 】

回避判断ステップ S 6 において、回避判断手段 9 0 は、水中航走体 2 が一定距離 X_{min} 以上進んだと判定した場合は、障害物 3 からの回避を肯定する。

障害物 3 からの回避が肯定された場合は、水中航走体 2 は衝突後対応を終了して通常航走に復帰する。

【 0 0 7 3 】

40

回避判断ステップ S 6 において、回避判断手段 9 0 は、水中航走体 2 が一定距離 X_{min} 以上進んでいないと判定した場合は、障害物 3 からの回避を否定する。

障害物 3 からの回避が否定された場合は、繰り返し手段 1 0 0 は、所定距離 X_{min} 又は所定時間 t を変更した回数が、所定値変更回数設定部 1 0 4 に設定されている上限に達しているか否かを判断する（所定距離等の変更回数判断ステップ S 7）。

【 0 0 7 4 】

変更回数判断ステップ S 7 において、変更回数が上限に達していないと判断された場合は、ランダム値発生手段 1 1 0 は、所定距離 X_{min} 又は所定時間 t のランダム値を発生する（所定距離等のランダム値発生ステップ S 8）。

【 0 0 7 5 】

50

ランダム値発生ステップS 8の後、繰り返し手段1 0 0の所定距離変更部1 0 1又は所定時間変更部1 0 2は、所定距離 X_{min} 又は所定時間 t をランダム値発生手段1 1 0が発生したランダム値を用いて変更し、平行移動ステップS 4に戻す。すると水中航走体2は、変更後の所定距離 X_{min} 又は所定時間 t に従って上方向又は水平方向に平行移動し（平行移動ステップS 4）、次の目標ウェイポイント WP_i へ方向に移動を試み（移動制御ステップS 5）、回避判断を行う（回避判断ステップS 6）。以後は、回避判断ステップS 6において回避が肯定されるか、又は変更回数判断ステップS 7において変更回数上限に達したと判断されるまで、所定距離 X_{min} 又は所定時間 t をさらに変更し平行移動ステップS 4に戻すことを繰り返す（繰り返しステップS 9）。

このように水中航走体2は、ある回避行動によっては障害物3を回避できなかった場合に、次の目標ウェイポイント WP_i の方向への移動の試みを回避行動を異ならせながら繰り返すため、離脱可能性を高めることができる。

また、繰り返し手段1 0 0が変更する所定距離 X_{min} 又は所定時間 t は、一定割合で変更することもできるが、本実施形態のようにランダム値発生手段1 1 0が発生させたランダム値を用いて変更することが好ましい。水中航走体2が衝突物3からの離脱を試みるための行動パターンが1つしか設定されていない場合、その行動パターンで離脱に成功しないと同一行動が繰り返され、水中航走体2は衝突物3によって航行が妨げられたままとなってしまう。離脱を試みる行動パターンが多く設定されている場合は離脱可能性を高めることができるが、多くの行動パターンを予め設定しておくのには多大な手間がかかる。そこで本実施形態においては所定距離 X_{min} 又は所定時間 t を変更する際にランダム値を用いることで、水中航走体2の回避行動にランダム性を取り入れている。これにより水中航走体2は所定距離 X_{min} 又は所定時間 t を変更するごとに異なった回避行動を行って偶然の離脱を試みることができるため、離脱可能性を効果的に高めることができる。

【0076】

変更回数判断ステップS 7において、変更回数上限に達したと判断された場合は、水中航走体2の回頭を行うフェーズに移行する。平行移動を所定回数行っても離脱できない場合は、他の行動を試すことによって離脱可能性を高めることができる。

後退手段1 2 0は、水中航走体2を一旦後退させる（回頭後の後退ステップS 1 0）。

水中航走体2の回頭を行う前に水中航走体2を、今まで航走して来た元の方向に一旦後退させることによって障害物3から水中航走体2を後方へ離し、以降の回避行動による離脱可能性を高めることができる。

【0077】

後退ステップS 1 0の後、所定値決定手段5 0は、所定角度決定部5 3によって所定角度を決定する（回頭の所定値決定ステップS 1 1）。

【0078】

所定値決定ステップS 1 1の後、回頭手段7 0は、水中航走体2を所定角度、回頭させる（回頭ステップS 1 2）。

水中航走体2を回頭させることで、障害物3からの回避を図ることができる。

【0079】

回頭ステップS 1 2の後、移動制御手段8 0は、次の目標ウェイポイント WP_i へ方向に移動を試みる（回頭後の移動制御ステップS 1 3）。

【0080】

移動制御ステップS 1 3の後、回避判断手段9 0は、INSにより移動開始前位置 X からの変位 X を確認し、水中航走体2が次の目標ウェイポイント WP_i の方向への移動試行を開始してから一定時間 t 経過後に、一定距離 X_{min} 以上進んだか否かにより障害物3からの回避を判断する（回頭後の回避判断ステップS 1 4）。

【0081】

回避判断ステップS 1 4において、回避判断手段9 0は、水中航走体2が一定距離 X_{min} 以上進んだと判定した場合は、障害物3からの回避を肯定する。

障害物3からの回避が肯定された場合は、水中航走体2は衝突後対応を終了して通常航

走に復帰する。

【0082】

回避判断ステップS14において、回避判断手段90は、水中航走体2が一定距離 X_{min} 以上進んでいないと判定した場合は、障害物3からの回避を否定する。

障害物3からの回避が否定された場合は、推力変更手段130は、水中航走体2の推力を増す（推力増加ステップS15）。

水中航走体2の推力を増すことにより、少々強引に障害物3からの回避を試みて、離脱可能性を高めることができる。例えば、障害物3が水中航走体2に絡みついたロープの場合は、推力を増すことでロープを引きちぎって離脱できる可能性がある。無論、水中航走体2の水平方向を含む空間への平行移動、所定角度の回頭、衝突点からの一旦の後退等により、離脱できる可能性も大きい。

10

【0083】

推力増加ステップS15の後、回避判断手段90は、INSにより移動開始前位置Xからの変位 X を確認し、水中航走体2が次の目標ウェイポイントWP_iの方向への移動試行を開始してから一定時間 t 経過後に、一定距離 X_{min} 以上進んだか否かにより障害物3からの回避を判断する（推力増加後の回避判断ステップS16）。

【0084】

回避判断ステップS16において、回避判断手段90は、水中航走体2が一定距離 X_{min} 以上進んだと判定した場合は、障害物3からの回避を肯定する。

障害物3からの回避が肯定された場合は、水中航走体2は衝突後対応を終了して通常航走に復帰する。

20

【0085】

回避判断ステップS16において、回避判断手段90は、水中航走体2が一定距離 X_{min} 以上進んでいないと判定した場合は、障害物3からの回避を否定する。

障害物3からの回避が否定された場合は、推力変更手段130は、水中航走体2の推力を推力増加ステップS15における増加前のレベルに戻す（推力抑制ステップS17）。

【0086】

推力抑制ステップS17の後、繰り返し手段100は、所定角度 θ を変更した回数が、所定値変更回数設定部104に設定されている上限に達しているか否かを判断する（所定角度の変更回数判断ステップS18）。

30

【0087】

変更回数判断ステップS18において、変更回数が上限に達していないと判断された場合は、ランダム値発生手段110は、所定角度 θ のランダム値を発生する（所定角度のランダム値発生ステップS19）。

【0088】

ランダム値発生ステップS19の後、繰り返し手段100の所定角度変更部103は、所定角度 θ をランダム値発生手段110が発生したランダム値を用いて変更し、回頭ステップS12に戻す。すると水中航走体2は、変更後の所定角度 θ に従って回頭し、移動制御ステップS13、回避判断ステップS14、推力増加ステップS15、回避判断ステップS16、推力抑制ステップS17、変更回数判断ステップS18を実行する。以後は、回避判断ステップS14、S16において回避が肯定されるか、又は変更回数判断ステップS18において変更回数が上限に達したと判断されるまで、所定角度 θ をさらに変更し回頭ステップS12に戻すことを繰り返す（回頭の繰り返しステップS20）。

40

このように次の目標ウェイポイントWP_iの方向への移動の試みを繰り返すことで、水中航走体2は衝突した衝突物3からの離脱可能性を高めることができる。

また、繰り返し手段100が変更する所定角度 θ は、一定割合で変更することもできるが、本実施形態のようにランダム値発生手段110が発生させたランダム値を用いて変更することが好ましい。所定角度 θ を変更する際にランダム値を用いることで、水中航走体2は所定角度 θ を変更するごとに異なった回避行動を行って偶然の離脱を試みることができるため、離脱可能性を効果的に高めることができる。

50

【 0 0 8 9 】

変更回数判断ステップ S 1 8 において、変更回数が上限に達したと判断された場合は、水中航走体 2 の平行移動を行うフェーズに再び移行し、後退ステップ S 2 を実行する。回頭を所定回数行っても離脱できない場合は、他の行動を試すことによって離脱可能性を高めることができる。

【 0 0 9 0 】

次に、本発明の他の実施形態について説明する。

図 4 は、本発明の他の実施形態による水中航走体の衝突後対応装置の構成図である。

図 5 及び図 6 は、本発明の他の実施形態による水中航走体の衝突後対応方法のフロー図である。なお、上記した実施形態と同一機能部材については同一符号を付して説明を省略する。

10

【 0 0 9 1 】

衝突後対応装置 3 3 0 は、衝突判断手段 3 4 0 と、目標値決定手段 3 5 0 と、平行移動手段 3 6 0 と、回避判断手段 3 7 0 と、繰り返し手段 3 8 0 と、回頭手段 3 9 0 と、ランダム値発生手段 4 0 0 と、推力変更手段 4 1 0 を備える。

【 0 0 9 2 】

衝突判断手段 3 4 0 は、加速度検出手段 3 4 1 によって検出される水中航走体 2 の加速度 a と、加加速度検出手段 4 2 によって検出される水中航走体 2 の加加速度 j を監視し、加速度 a 又は加加速度 j が閾値（特に負の閾値）を越えた場合に、水中航走体 2 が何らかの障害物 3 に衝突したと判断する。

20

加速度検出手段 3 4 1 及び加加速度検出手段 3 4 2 は、水中航走体 2 の航行に使用する航行用センサ 2 3 を共用している。このため、加速度検出手段 3 4 1 及び加加速度検出手段 3 4 2 を別途設ける必要が無い。

【 0 0 9 3 】

目標値決定手段 3 5 0 は、障害物 3 に衝突した水中航走体 2 をその障害物 3 から回避させるにあたって、移動目標となる目標値を決定する。目標値決定手段 3 5 0 は、目標方向決定部 3 5 1 と、目標高度決定部 3 5 2 を有する。

目標方向決定部 3 5 1 は、水中航走体 2 の目標方向を決定する。目標高度決定部 3 5 2 は、水中航走体 2 の目標高度を決定する。

【 0 0 9 4 】

平行移動手段 3 6 0 は、水中航走体 2 を水平方向に移動させる水平移動部 3 6 1 と、水中航走体 2 を鉛直方向に移動させる鉛直移動部 3 6 2 を有する。水平移動部 3 6 1 と鉛直移動部 3 6 2 を同時に用いることで、水中航走体 2 を斜め方向に移動させることも可能である。

30

平行移動手段 3 6 0 は、目標値決定手段 3 5 0 で決定された目標値に従い、水中航走体 2 を目標方向又は目標高度へと移動させる。

【 0 0 9 5 】

回避判断手段 3 7 0 は、INS により移動開始前位置 X からの変位 ΔX を確認し、一定時間 t 経過後に水中航走体 2 が一定距離 X_{min} 以上進んだか否かにより障害物 3 からの回避を判断する。

40

【 0 0 9 6 】

繰り返し手段 3 8 0 は、目標方向変更部 3 8 1、目標高度変更部 3 8 2、目標値変更回数設定部 3 8 3 を有する。

目標方向変更部 3 8 1 は、目標方向 θ を $\theta + \Delta\theta$ だけ変更する。目標高度変更部 3 8 2 は、目標高度 h を $h + \Delta h$ だけ変更する。ここで、目標方向 θ は、衝突点から見た次の目標ウェイポイント WP_i の方向であり、目標高度 h は衝突点における高度である。

目標値変更回数設定部 3 8 3 は、目標方向変更部 3 8 1 及び目標高度変更部 3 8 2 による変更回数の上限を設定する。

繰り返し手段 3 8 0 は、回避判断手段 3 7 0 による回避判断において障害物 3 からの回避ができなかったと判断された場合に、目標方向を $\theta + \Delta\theta$ に変更し、又は目標高度を $h + \Delta h$

50

+ hに変更し、以後、回避が行なわれたと判断されるか変更回数が上限に達するまで、目標方向 + 又は目標高度 h + h の変更を繰り返す。

【 0 0 9 7 】

回頭手段 3 9 0 は、目標方向変更部 3 8 1 で変更された目標方向 + に従い、水中航走体 2 を + 方向に回頭させる。

【 0 0 9 8 】

ランダム値発生手段 4 0 0 は、目標方向変更部 3 8 1 が目標方向を変更する際の、目標高度変更部 3 8 2 が目標高度を変更する際の h のそれぞれについて、ランダム値を発生する。

【 0 0 9 9 】

推力変更手段 4 1 0 は、水中航走体 2 の推力を増加又は減少させる。

【 0 1 0 0 】

衝突後対応装置 3 3 0 は、コンピュータ（図示略）によって実行されるプログラムによって制御される。図 5 及び図 6 を用いて衝突後対応の流れを説明する。

【 0 1 0 1 】

衝突判断手段 3 4 0 は、加速度 又は加加速度 j が閾値（特に負の閾値）を越えた場合は、水中航走体 2 が何らかの障害物 3 に衝突したと判断する（衝突検知ステップ S 1 0 1 ）。

水中航走体 2 は、障害物 3 との衝突が検知されたことを音響通信によって調査母船 1 に知らせ、一定時間、調査母船 1 からの指令を待つ。調査母船 1 からの指令があった場合は、その指令に従って航行する。

一定時間内に調査母船 1 からの指令が無い場合、又は自律的に衝突現場からの離脱を試行せよとの指令を調査母船 1 から受信した場合は、水中航走体 2 は、以下のステップを実行することで衝突現場からの離脱を試みる。離脱に成功した場合は、通常航走に復帰して計画測線に沿った水底調査等を行う。

【 0 1 0 2 】

衝突検知ステップ S 1 0 1 の後、水平移動部 3 6 1 は、目標方向決定部 3 5 1 で設定された目標方向 に従い、次の目標ウェイポイント W P_i の方向である 方向に高度 h は変更せずに水中航走体 2 を前進させる（目標方向の前進ステップ S 1 0 2 ）。

障害物 3 に衝突後、何らかの理由により次の目標ウェイポイント W P_i の方向に航走可能になっている場合もあり得るので、まずは 方向に水中航走体 2 を前進させることにより、既に障害物 3 を回避した状態にあるか否かを確認することができる。

【 0 1 0 3 】

前進ステップ S 1 0 2 の後、回避判断手段 3 7 0 は、INS により移動開始前位置 X からの変位 X を確認し、水中航走体 2 が前進を開始してから一定時間 t 経過後に、方向に一定距離 x min 以上進んだか否かにより障害物 3 からの回避を判断する（目標方向の回避判断ステップ S 1 0 3 ）。

【 0 1 0 4 】

回避判断ステップ S 1 0 3 において、回避判断手段 3 7 0 は、水中航走体 2 が衝突点から一定距離 X min 以上進んだと判定した場合は、障害物 3 からの回避を肯定する。

障害物 3 からの回避が肯定された場合は、水中航走体 2 は衝突後対応を終了して通常航走に復帰する。

【 0 1 0 5 】

回避判断ステップ S 1 0 3 において、回避判断手段 3 7 0 は、水中航走体 2 が衝突点から一定距離 X min 以上進んでいないと判定した場合は、障害物 3 からの回避を否定する。

障害物 3 からの回避が否定された場合は、ランダム値発生手段 4 0 0 は、目標方向を変更するための のランダム値を発生する（目標方向のランダム値発生ステップ S 1 0 4 ）。

【 0 1 0 6 】

10

20

30

40

50

ランダム値発生ステップS 1 0 4の後、繰り返し手段3 8 0の目標方向変更部3 8 1は、目標方向をランダム値発生手段4 0 0が発生したランダム値を用いて + に変更する(目標方向の変更ステップS 1 0 5)。

【0 1 0 7】

変更ステップS 1 0 5の後、繰り返し手段3 8 0は、目標方向を変更した回数が、目標値変更回数設定部3 8 3に設定されている上限に達しているか否かを判断する(目標方向の変更回数判断ステップS 1 0 6)。

【0 1 0 8】

変更回数判断ステップS 1 0 6において、変更回数が上限に達していないと判断された場合は、水平移動部3 6 1は、目標方向変更部3 8 1によって変更された目標方向 + に従い、 + 方向に水中航走体2を平行移動する(移動ステップS 1 0 7)。移動ステップS 1 0 7の後、回避判断ステップS 1 0 3に戻る。

10

【0 1 0 9】

変更回数判断ステップS 1 0 6において、変更回数が上限に達したと判断された場合は、水中航走体2の回頭を行うフェーズに移行する。

回頭手段3 9 0は、目標方向変更部3 8 1によって変更された目標方向 + に従い、 + 方向に水中航走体2を回頭し、前進する(回頭ステップS 1 0 8)。

【0 1 1 0】

回頭ステップS 1 0 8の後、回避判断手段3 7 0は、INSにより移動開始前位置Xからの変位 X を確認し、水中航走体2が回頭後に前進を開始してから一定時間 t 経過後に、 + 方向に一定距離 x_{min} 以上進んだか否かにより障害物3からの回避を判断する(回頭の回避判断ステップS 1 0 9)。

20

【0 1 1 1】

回避判断ステップS 1 0 9において、回避判断手段3 7 0により障害物3からの回避が肯定された場合は、水中航走体2は衝突後対応を終了して通常航走に復帰する。

【0 1 1 2】

回避判断ステップS 1 0 9において、回避判断手段3 7 0により障害物3からの回避が否定された場合は、推力変更手段4 1 0は、水中航走体2の推力を増して前進する(推力増加ステップS 1 1 0)。

【0 1 1 3】

推力増加ステップS 1 1 0の後、回避判断手段3 7 0は、INSにより移動開始前位置Xからの変位 X を確認し、水中航走体2が推力増加後に前進を開始してから一定時間 t 経過後に、 + 方向に一定距離 x_{min} 以上進んだか否かにより障害物3からの回避を判断する(推力増加後の回避判断ステップS 1 1 1)。

30

【0 1 1 4】

回避判断ステップS 1 1 1において、回避判断手段3 7 0により障害物3からの回避が肯定された場合は、水中航走体2は衝突後対応を終了して通常航走に復帰する。

【0 1 1 5】

回避判断ステップS 1 1 1において、回避判断手段3 7 0により障害物3からの回避が否定された場合は、推力変更手段4 1 0は、水中航走体2の推力を推力増加ステップS 1 1 0における増加前のレベルに戻す(推力抑制ステップS 1 1 2)。

40

【0 1 1 6】

推力抑制ステップS 1 1 2の後、繰り返し手段3 8 0は、回頭フェーズにおいて目標方向 + を変更した回数が、目標値変更回数設定部3 8 3に設定されている上限に達しているか否かを判断する(回頭の変更回数判断ステップS 1 1 3)。

【0 1 1 7】

変更回数判断ステップS 1 1 3において、変更回数が上限に達していないと判断された場合は、ランダム値発生手段4 0 0は、目標方向を変更するための のランダム値を発生する(回頭のランダム値発生ステップS 1 1 4)。

【0 1 1 8】

50

ランダム値発生ステップS 1 1 4の後、繰り返し手段3 8 0の目標方向変更部3 8 1は、目標方向をランダム値発生手段4 0 0が発生したランダム値を用いて + に変更し(回頭の目標方向変更ステップS 1 1 5)、回頭ステップS 1 0 8に戻す。

【0 1 1 9】

変更回数判断ステップS 1 1 3において、変更回数が上限に達したと判断された場合は、水中航走体2の目標高度を変更するフェーズに移行する。

ランダム値発生手段4 0 0は、目標高度を変更するための h のランダム値を発生する(目標高度のランダム値発生ステップS 1 1 6)。

【0 1 2 0】

ランダム値発生ステップS 1 1 6の後、繰り返し手段3 8 0の目標高度変更部3 8 2は、目標高度をランダム値発生手段4 0 0が発生したランダム値を用いて $h + h$ に変更する(目標高度変更ステップS 1 1 7)。

10

【0 1 2 1】

目標高度変更ステップS 1 1 7の後、鉛直移動手段3 6 2は、目標高度変更部3 8 2によって変更された目標高度 $h + h$ に従い、 $h + h$ に鉛直移動する(鉛直移動ステップS 1 1 8)。

【0 1 2 2】

鉛直移動ステップS 1 1 8の後、回避判断手段3 7 0は、INS又は下方ソナー2 5により移動開始前高度 h からの変位 h を確認し、水中航走体2が移動を開始してから一定時間 t 経過後に、一定高度差 h_{\min} 以上進んだか否かにより障害物3からの回避を判断する(鉛直移動後の回避判断ステップS 1 1 9)。

20

【0 1 2 3】

回避判断ステップS 1 1 9において、回避判断手段3 7 0により障害物3からの回避が肯定された場合は、水中航走体2は衝突後対応を終了して通常航走に復帰する。

【0 1 2 4】

回避判断ステップS 1 1 9において、回避判断手段3 7 0により障害物3からの回避が否定された場合は、繰り返し手段3 8 0は、目標高度を変更した回数が、目標値変更回数設定部3 8 3に設定されている上限に達しているか否かを判断する(目標高度の変更回数判断ステップS 1 2 0)。

【0 1 2 5】

変更回数判断ステップS 1 2 0において、変更回数が上限に達したと判断された場合は、衝突後対応を終了する。

30

【0 1 2 6】

変更回数判断ステップS 1 2 0において、変更回数が上限に達していないと判断された場合は、繰り返し手段3 8 0は、ランダム値発生ステップS 1 1 6に戻ったのち目標高度変更ステップS 1 1 7において目標高度 $h + h$ をさらに変更し、以後、回避判断ステップS 1 1 9において回避が肯定されるか、又は変更回数判断ステップS 1 2 0において変更回数が上限に達したと判断されるまで、ランダム値発生ステップS 1 1 6に戻ったのち目標高度変更ステップS 1 1 7において目標高度 $h + h$ を変更することを繰り返す。

【0 1 2 7】

このように回避の試みを繰り返すことで、衝突物3からの離脱可能性を高めることができる。

40

また、繰り返し手段3 8 0が変更する際の h 及び h は、一定割合で変更することもできるが、本実施形態のようにランダム値発生手段4 0 0が発生させたランダム値を用いて変更することが好ましい。 h 及び h にランダム値を用いることで、水中航走体2は目標方向又は目標高度を変更するごとに異なった回避行動を行って偶然の離脱を試みることができるため、離脱可能性を効果的に高めることができる。

【0 1 2 8】

なお、図2に示した実施形態における衝突後装置3 0と、図4に示した他の実施形態における衝突後装置3 3 0における各手段又は各部を任意に組み合わせた衝突後装置を用い

50

、図 3 に示した実施形態における衝突後対応方法と、図 5 及び図 6 に示した他の実施形態における衝突後対応方法とを任意に組み合わせて、衝突した障害物 3 からの離脱を水中航走体 2 に試みさせることもできる。

【産業上の利用可能性】

【0129】

本発明の水中航走体の衝突後対応方法、衝突後対応装置、及び衝突後対応プログラムは、水底調査等を行う水中航走体に適用することで、障害物との衝突後、水中航走体が外部センサで周囲の詳細状況が把握できない場合であっても、自律的に衝突現場からの離脱を試みさせることができる。

【符号の説明】

【0130】

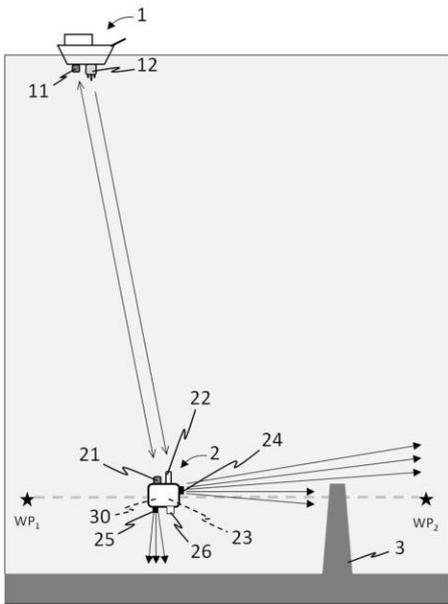
- 2 水中航走体
- 3 障害物
- 23 航行用センサ
- 30 衝突後対応装置
- 41 加速度検出手段
- 42 加加速度検出手段
- 60 平行移動手段
- 70 回頭手段
- 80 移動制御手段
- 90 回避判断手段
- 100 繰り返し手段
- 110 ランダム値発生手段
- 120 後退手段
- WP。 目標ウェイポイント
- S1 衝突検知ステップ
- S4 平行移動ステップ
- S5 移動制御ステップ
- S6、S14、S16 回避判断ステップ
- S8、S19 ランダム値発生ステップ
- S9、S20 繰り返しステップ
- S12 回頭ステップ

10

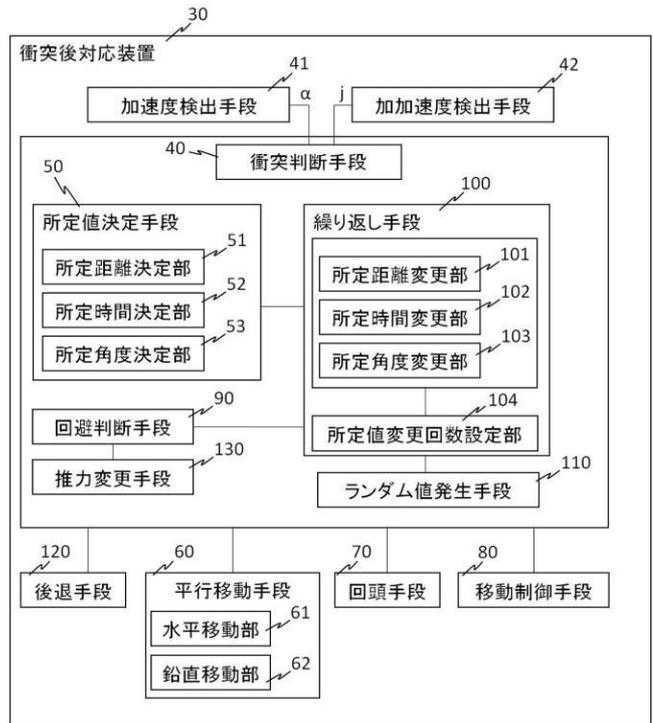
20

30

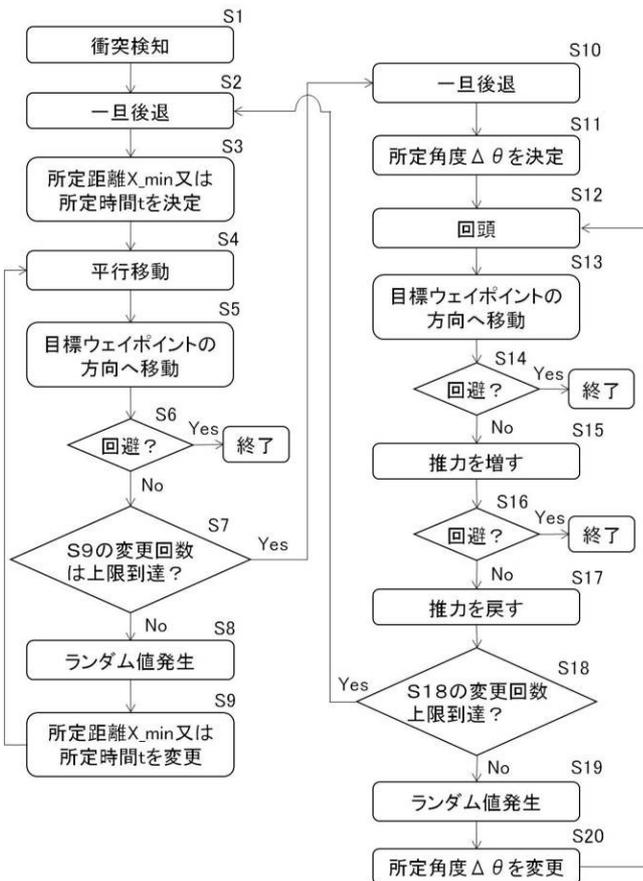
【図1】



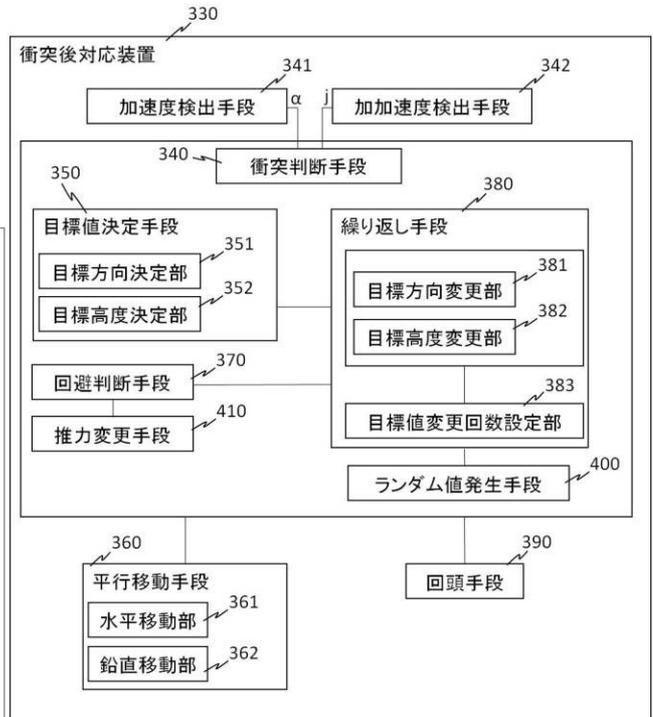
【図2】



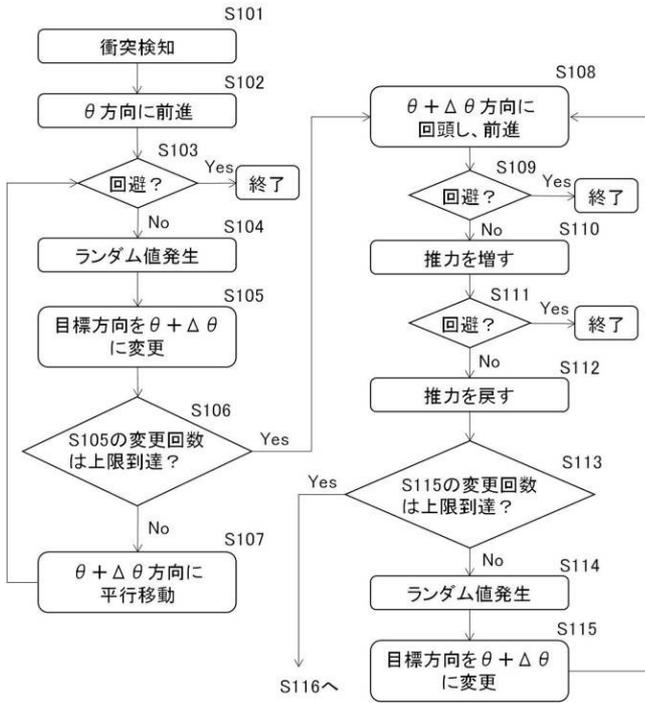
【図3】



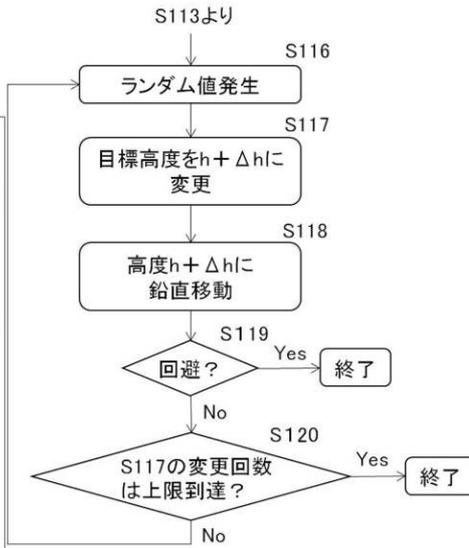
【図4】



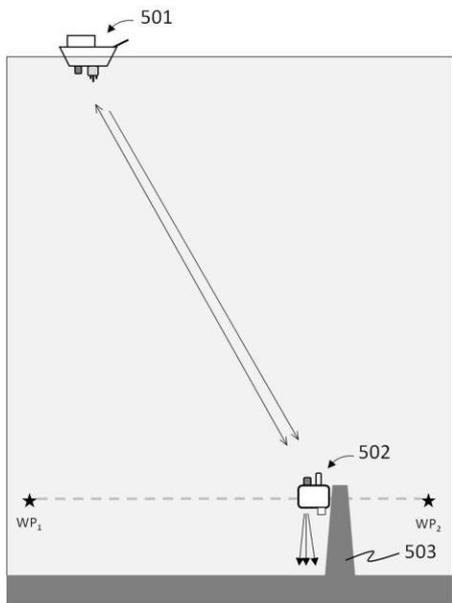
【図5】



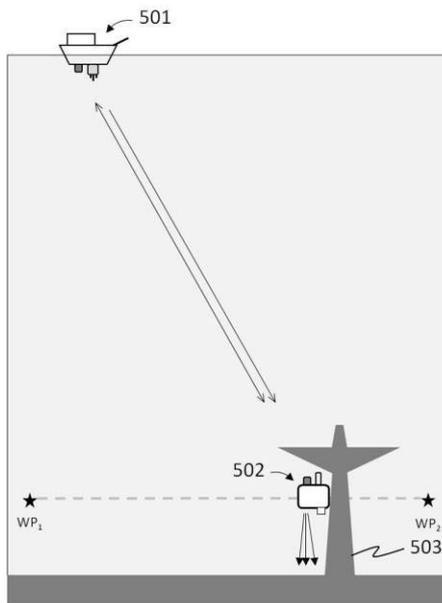
【図6】



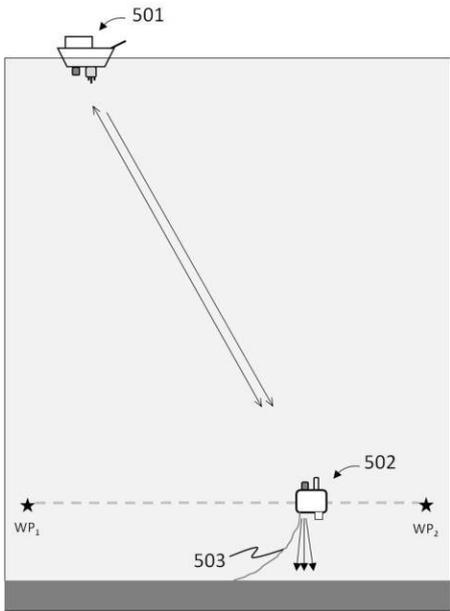
【図7】



【図8】



【 図 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 篠野 雅彦

東京都三鷹市新川6丁目3番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

(72)発明者 瀬田 剛広

東京都三鷹市新川6丁目3番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

(72)発明者 岡本 章裕

東京都三鷹市新川6丁目3番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

(72)発明者 稲葉 祥梧

東京都三鷹市新川6丁目3番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

Fターム(参考) 5H301 AA05 AA10 BB10 DD01 GG10 GG16 LL01 LL06 LL11 LL14