

(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2017-211265
(P2017-211265A)

(43) 公開日 平成29年11月30日(2017.11.30)

(51) Int.Cl.
G01C 15/00 (2006.01)

F I
G01C 15/00 104C

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2016-104224 (P2016-104224)
(22) 出願日 平成28年5月25日 (2016.5.25)

(71) 出願人 000006208
三菱重工工業株式会社
東京都港区港南二丁目16番5号
(74) 代理人 100134544
弁理士 森 隆一郎
(74) 代理人 100064908
弁理士 志賀 正武
(74) 代理人 100108578
弁理士 高橋 詔男
(74) 代理人 100126893
弁理士 山崎 哲男
(74) 代理人 100149548
弁理士 松沼 泰史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 測量装置、移動体、測量方法及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】レーザ測域センサによる測量において、測量精度を向上するためにレーザ測域センサの位置情報を推定する測量装置を提供する。

【解決手段】測量装置は、地面と垂直な方向に旋回可能で伸縮機構を有するアームに設けられ、対象物との距離を計測する測域センサと、アームの伸縮量および旋回角に基づいて、測域センサの位置情報を計算するセンサ位置幾何学計算処理部と、センサ位置幾何学計算処理部が計算した測域センサの位置情報と、測域センサが走査して得た距離情報が示す対象物の位置に対応する点群情報とに基づいてスキャンマッチングを行い、測域センサの位置情報を計算するスキャンマッチング計算部と、を備える。

【選択図】 図1

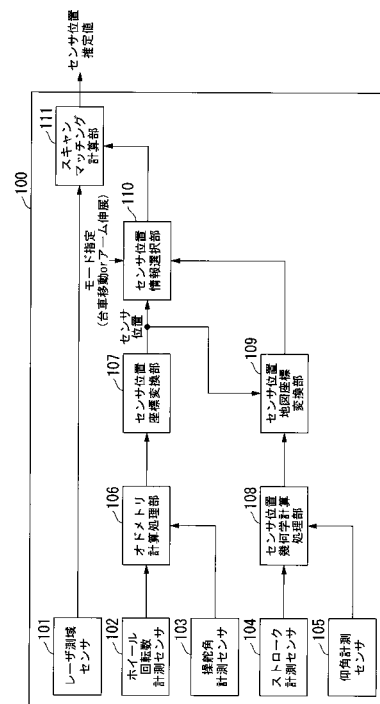


図1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

地面と垂直な方向に旋回可能で伸縮機構を有するアームに設けられ、対象物との距離を計測する測域センサと、

前記アームの長さおよび旋回角に基づいて、前記測域センサの位置情報を計算するセンサ位置幾何学計算処理部と、

前記センサ位置幾何学計算処理部が計算した測域センサの位置情報と、前記測域センサが走査して得た距離情報が示す対象物の位置に対応する点群情報と、に基づいてスキャンマッチングを行い、前記測域センサの位置情報を計算するスキャンマッチング計算部と、を備える測量装置。

10

【請求項 2】

前記測域センサは、所定の時間間隔で走査を行って点群情報を計測し、

前記スキャンマッチング計算部は、前記測域センサが所定のタイミングで計測した点群情報と、1つ前のタイミングで計測した点群情報とを比較してスキャンマッチングを行うにあたり、それぞれのタイミングにおいて前記センサ位置幾何学計算処理部が計算した測域センサの位置情報を用いて前記測域センサが計測した点群情報のそれぞれを変位させ、スキャンマッチングを行う、

請求項 1 に記載の測量装置。

【請求項 3】

前記測域センサの姿勢情報を計測する慣性センサ、をさらに備え、

前記スキャンマッチング計算部は、前記測域センサの位置情報に加えて、前記測域センサの姿勢情報を用いて、スキャンマッチングを行う、

請求項 1 または請求項 2 に記載の測量装置。

20

【請求項 4】

前記アームの長さおよび旋回角に応じた当該アームの撓み量を計算する撓み補償量計算部、をさらに備え、

前記スキャンマッチング計算部は、前記撓み補償量計算部が計算した撓み量による補正後の前記測域センサの位置情報を用いて、スキャンマッチングを行う、

請求項 1 から請求項 3 の何れか 1 項に記載の測量装置。

【請求項 5】

前記アームを有する移動体に備えられたセンサの計測値に基づいて当該移動体の位置情報を計算するオドメトリ計算処理部、

をさらに備え、

前記スキャンマッチング計算部は、前記オドメトリ計算処理部が計算した前記移動体の位置情報に基づく前記測域センサの位置情報を用いてスキャンマッチングを行う、

請求項 1 から請求項 4 の何れか 1 項に記載の測量装置。

30

【請求項 6】

前記スキャンマッチング計算部は、

前記アームが伸展動作および旋回動作が行われていない収納状態にある場合、前記オドメトリ計算処理部が計算した前記移動体の位置情報に基づく前記測域センサの位置情報のみを用いてスキャンマッチングを行い、

前記アームが伸展動作および旋回動作のうち少なくとも一方が行われている作業状態にある場合、前記オドメトリ計算処理部が計算した前記測域センサの位置情報に加えて、前記センサ位置幾何学計算処理部が計算した測域センサの位置情報を用いてスキャンマッチングを行う、

請求項 5 に記載の測量装置。

40

【請求項 7】

前記測域センサは、前記アームの軸方向回りに回転可能に設けられ、2次元平面を走査する測域センサであって、

前記アームが伸展動作および旋回動作のうち少なくとも一方が行われている作業状態に

50

ある場合、前記測域センサが走査する２次元平面が地面と垂直となるよう制御する走査平面方向変更部、

をさらに備える請求項１から請求項６の何れか１項に記載の測量装置。

【請求項８】

前記走査平面方向変更部は、前記アームが伸展動作および旋回動作が行われていない収納状態にある場合、前記測域センサの走査平面が地面と平行となるよう制御する、

請求項７に記載の測量装置。

【請求項９】

前記測域センサは、前記アームの軸方向回りに回転可能に設けられ、２次元平面を走査する測域センサであって、

前記測域センサの回転量を取得し、前記測域センサが走査して得た点群情報を３次元座標に変換する点群座標変換部と、

前記点群座標変換部が変換した点群情報を蓄積し、蓄積した点群情報の集合を用いて３次元の点群情報を生成する点群メモリ部と、

をさらに備え、

前記スキャンマッチング計算部は、前記点群メモリ部が生成した３次元の点群情報を用いてスキャンマッチングを行う、

請求項１から請求項６の何れか１項に記載の測量装置。

【請求項１０】

請求項１から請求項９の何れか１項に記載の測量装置と、

地面と垂直な方向に旋回可能で伸縮機構を有するアームであって、前記測量装置が備える測域センサが設けられたアームと、

を備える移動体。

【請求項１１】

地面と垂直な方向に旋回可能で伸縮機構を有するアームに設けられ、対象物との距離を計測する測域センサを備える測量装置が、

前記アームの長さおよび旋回角に基づいて、前記測域センサの位置情報を計算し、

前記計算した測域センサの位置情報と、前記測域センサが走査して得た距離情報が示す対象物の位置に対応する点群情報と、に基づいてスキャンマッチングを行い、前記測域センサの位置情報を計算する、

測量方法。

【請求項１２】

地面と垂直な方向に旋回可能で伸縮機構を有するアームに設けられ、対象物との距離を計測する測域センサを備える測量装置のコンピュータを、

前記アームの長さおよび旋回角に基づいて、前記測域センサの位置情報を計算する手段

、前記計算した測域センサの位置情報と、前記測域センサが走査して得た距離情報が示す対象物の位置に対応する点群情報と、に基づいてスキャンマッチングを行い、前記測域センサの位置情報を計算する手段、

として機能させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、測量装置、移動体、測量方法及びプログラムに関する。

【背景技術】

【０００２】

走行台車やロボット等の移動体にレーザ測域センサを搭載し、周辺の環境に存在する障害物との距離を計測し、移動体と障害物との位置関係から障害物の地図を構築する技術が知られている。レーザ測域センサは、センサ原点を基準として障害物までの距離情報を出力するため、移動しながら障害物の地図を作成するためには、レーザ測域センサが出力す

10

20

30

40

50

る距離情報を絶えず座標変換して絶対座標での値に更新する必要がある。このため、移動体による障害物地図作成では、レーザ測域センサの正確な位置・姿勢を常に計測する手段が必要である。レーザ測域センサの位置情報を計測するために、たとえばGPS等の位置センサを使う構成が考えられる。

【0003】

例えば、特許文献1や特許文献2には、走行台車に伸縮機構を有するアームを設け、アームの先端にGPSとレーザ測域センサを搭載して、アーム先端の位置情報を計測できるようにした測量装置が開示されている。この技術を用いると、土木工場の現場、災害現場など、瓦礫や地形の問題で走行台車を測量地点に移動させることが困難な場合や、測量対象がレーザ測距センサの視野角に入らないほど高所の場合でも、アームを伸ばすことで測量が可能になる。また、アーム端のGPSによる測位情報によって、レーザ測域センサの位置を確認することができるので、GPSによる測位情報を用いてレーザ測距センサの計測値を座標変換することで測量結果の精度を保つことができる。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平7-128057号公報

【特許文献2】特開平9-196672号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0005】

しかし、特許文献1、2の方法では、センサ位置がGPSによって観測されることが前提となっており、屋内などのGPS信号が受信できない環境では使用できない。また、走行台車の位置自体は、タイヤの回転速度、操舵角から幾何学的にある程度類推することが可能だが、初期位置からの相対変位を求める計算手法(オドメトリ)となるため走行距離増加に伴い誤差が累積するという課題がある。

【0006】

さらに、伸縮機構を有するアームの先端にレーザ測域センサを設ける場合、伸縮機構の仰角、およびストローク(伸展量)を計測する手段があれば、センサ位置をある程度幾何学的に推定することが可能だが、センサが設置される先端に向かうほど重力による部材の撓みが大きく影響し、センサ位置を正確に推定することは困難となる。部材の剛性を高めれば撓みの影響を小さくできるが、伸縮機構を含む走行台車全体の重量が大きくなり、移動に要する燃費の悪化、装置全体のコスト増を招いてしまう。あるいは、伸縮機構に歪ゲージ等を追加して、撓み量を直接推定する手段も考えられるが、センサの追加によってコストが増大する。また、全体的な重量軽減のためにアームに軽量部材を使用すると剛性が低くなるため、アームの先端位置は単純な片持ち梁をモデルとして計算すると位置・姿勢推定精度の誤差が大きくなってしまふといった課題がある。

30

【0007】

そこでこの発明は、上述の課題を解決することのできる測量装置、移動体、測量方法及びプログラムを提供することを目的としている。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の第1の態様は、地面と垂直な方向に旋回可能で伸縮機構を有するアームに設けられ、対象物との距離を計測する測域センサと、前記アームの長さおよび旋回角に基づいて、前記測域センサの位置情報を計算するセンサ位置幾何学計算処理部と、前記センサ位置幾何学計算処理部が計算した測域センサの位置情報と、前記測域センサが走査して得た距離情報が示す対象物の位置に対応する点群情報と、に基づいてスキャンマッチングを行い、前記測域センサの位置情報を計算するスキャンマッチング計算部と、を備える測量装置である。

【0009】

50

本発明の第2の態様における前記測域センサは、所定の時間間隔で走査を行って点群情報を計測し、前記スキャンマッチング計算部は、前記測域センサが所定のタイミングで計測した点群情報と、1つ前のタイミングで計測した点群情報とを比較してスキャンマッチングを行うにあたり、それぞれのタイミングにおいて前記センサ位置幾何学計算処理部が計算した測域センサの位置情報を用いて前記測域センサが計測した点群情報のそれぞれを変位させ、スキャンマッチングを行ってもよい。

【0010】

本発明の第3の態様における前記測量装置は、前記測域センサの姿勢情報を計測する慣性センサ、をさらに備え、前記スキャンマッチング計算部は、前記測域センサの位置情報に加えて、前記測域センサの姿勢情報を用いて、スキャンマッチングを行ってもよい。

10

【0011】

本発明の第4の態様における前記測量装置は、前記アームの長さおよび旋回角に応じた当該アームの撓み量を計算する撓み補償量計算部、をさらに備え、前記スキャンマッチング計算部は、前記撓み補償量計算部が計算した撓み量による補正後の前記測域センサの位置情報を用いて、スキャンマッチングを行ってもよい。

【0012】

本発明の第5の態様における前記測量装置は、前記アームを有する移動体に備えられたセンサの計測値に基づいて当該移動体の位置情報を計算するオドメトリ計算処理部、をさらに備え、前記スキャンマッチング計算部は、前記オドメトリ計算処理部が計算した前記移動体の位置情報に基づく前記測域センサの位置情報を用いてスキャンマッチングを行ってもよい。

20

【0013】

本発明の第6の態様における前記スキャンマッチング計算部は、前記アームが伸展動作および旋回動作が行われていない収納状態にある場合、前記オドメトリ計算処理部が計算した前記移動体の位置情報に基づく前記測域センサの位置情報のみを用いてスキャンマッチングを行い、前記アームが伸展動作および旋回動作のうち少なくとも一方が行われている作業状態にある場合、前記オドメトリ計算処理部が計算した前記測域センサの位置情報に加えて、前記センサ位置幾何学計算処理部が計算した測域センサの位置情報を用いてスキャンマッチングを行ってもよい。

【0014】

本発明の第7の態様における前記測域センサは、前記アームの軸方向回りに回転可能に設けられ、2次元平面を走査する測域センサであって、前記アームが伸展動作および旋回動作のうち少なくとも一方が行われている作業状態にある場合、前記測域センサが走査する2次元平面が地面と垂直となるよう制御する走査平面方向変更部、をさらに備えていてもよい。

30

【0015】

本発明の第8の態様における前記走査平面方向変更部は、前記アームが伸展動作および旋回動作が行われていない収納状態にある場合、前記測域センサの走査平面が地面と平行となるよう制御してもよい。

【0016】

本発明の第9の態様における前記測量装置では、前記測域センサは、前記アームの軸方向回りに回転可能に設けられ、2次元平面を走査する測域センサであって、前記測域センサの回転量を取得し、前記測域センサが走査して得た点群情報を3次元座標に変換する点群座標変換部と、前記点群座標変換部が変換した点群情報を蓄積し、蓄積した点群情報の集合を用いて3次元の点群情報を生成する点群メモリ部と、をさらに備え、前記スキャンマッチング計算部は、前記点群メモリ部が生成した3次元の点群情報を用いてスキャンマッチングを行ってもよい。

40

【0017】

本発明の第10の態様は、上述の何れかに記載の測量装置と、地面と垂直な方向に旋回可能で伸縮機構を有するアームであって、前記測量装置が備える測域センサが設けられた

50

アームと、を備える移動体であってよい。

【0018】

本発明の第11の態様は、地面と垂直な方向に旋回可能で伸縮機構を有するアームに設けられ、対象物との距離を計測する測域センサを備える測量装置が、前記アームの長さおよび旋回角に基づいて、前記測域センサの位置情報を計算し、前記計算した測域センサの位置情報と、前記測域センサが走査して得た距離情報が示す対象物の位置に対応する点群情報と、に基づいてスキャンマッチングを行い、前記測域センサの位置情報を計算する、測量方法であってよい。

【0019】

本発明の第12の態様は、地面と垂直な方向に旋回可能で伸縮機構を有するアームに設けられ、対象物との距離を計測する測域センサを備える測量装置のコンピュータを、前記アームの長さおよび旋回角に基づいて、前記測域センサの位置情報を計算する手段、前記計算した測域センサの位置情報と、前記測域センサが走査して得た距離情報が示す対象物の位置に対応する点群情報と、に基づいてスキャンマッチングを行い、前記測域センサの位置情報を計算する手段、として機能させるためのプログラムであってよい。

10

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、測域センサの位置情報を正確に計算することができる。それにより、測域センサの検出結果に基づく地図情報の精度を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

20

【0021】

【図1】本発明に係る第一実施形態における測量装置の一例を示すブロック図である。

【図2】本発明に係る第一実施形態における測量装置を搭載した走行台車の一例を示す図である。

【図3】従来の方法による測量装置の測域センサの位置情報の計算方法を説明する第一の図である。

【図4】本発明に係る第一実施形態における測量装置の測域センサの位置情報の推定方法を説明する第一の図である。

【図5】従来の方法による測量装置の測域センサの位置情報の計算方法を説明する第二の図である。

30

【図6】本発明に係る第一実施形態における測量装置の測域センサの位置情報の推定方法を説明する第二の図である。

【図7】本発明に係る第一実施形態における測域センサの位置情報推定処理の一例を示す第一のフローチャートである。

【図8】本発明に係る第一実施形態における測域センサの位置情報推定処理の一例を示す第二のフローチャートである。

【図9】本発明に係る第一実施形態におけるスキャンマッチングの説明を行う図である。

【図10】本発明に係る第二実施形態における測量装置の一例を示すブロック図である。

【図11】本発明に係る第二実施形態における測量装置を搭載した走行台車の一例を示す図である。

40

【図12】本発明に係る第三実施形態における測量装置の一例を示すブロック図である。

【図13】本発明に係る第四実施形態における測量装置の一例を示すブロック図である。

【図14】本発明に係る第四実施形態における測量装置を搭載した走行台車の一例を示す図である。

【図15】本発明に係る第四実施形態における走査平面を示す第一の図である。

【図16】本発明に係る第四実施形態における走査平面を示す第二の図である。

【図17】本発明に係る第四実施形態における測域センサの位置情報推定処理の一例を示すフローチャートである。

【図18】本発明に係る第五実施形態における測量装置の一例を示すブロック図である。

【図19】本発明に係る第五実施形態における走査方法を示す図である。

50

【発明を実施するための形態】**【0022】****<第一実施形態>**

以下、本発明の一実施形態による測量装置を図1～図9を参照して説明する。

図1は本発明に係る第一実施形態における測量装置の一例を示すブロック図である。

図2は本発明に係る第一実施形態における測量装置を搭載した走行台車の一例を示す図である。

図2に示すように走行台車1は、アーム2、測量装置100、制御装置50を備えている。アーム2の一方の端は走行台車1に旋回可能に連結され、アーム2は地面と垂直方向の旋回動作（上下動作）が可能である。また、アーム2の他方の先端付近にはレーザ測域センサ101が設けられている。また、アーム2は伸縮機構を有しており伸展動作が可能である。制御装置50は、走行台車1の走行・停止、アーム2の伸縮・旋回動作を制御する。以下、アーム2が縮んだ状態（アーム2の長さが L_0 ）で且つアーム2が下げられた状態（仰角が略0度）を収納状態と呼ぶ。また、アーム2が伸展または旋回されている状態を作業状態と呼ぶ。アーム2の先端付近に設けられたレーザ測域センサ101は、走行台車1の周囲に存在する対象物（例えば、壁、塀、建物、岩など、これらを総称して障害物と呼ぶ）との距離を計測し、その距離情報に基づいて、レーザ測域センサ101の周囲の地図情報を作成するために用いられる。アーム2の伸展、旋回が可能のため、高所での測量が可能である。また、走行台車1は走行し、レーザ測域センサ101は、走行台車1の走行中にも距離の計測が可能である。従って、走行台車1の走行中に計測された距離情報に基づいて地図情報を作成することも可能であるが、地図情報を作成するためには、計測した距離情報は、走行台車1を基準とする座標系で計測された値であるため、地図情報の基準となる座標系における座標情報に変換しなければならない。つまり、レーザ測域センサ101が計測した自身を基準とする距離情報に対して、走行台車1の走行に伴うレーザ測域センサ101の移動分を補正する必要がある。また、高所測量時のように走行台車1が停止している場合であっても、アーム2が伸展、旋回した場合、アーム2の動作によるレーザ測域センサ101の移動分を補正する必要がある。測量装置100は、これらの補正を行って、レーザ測域センサ101の地図座標系における位置情報を計算する。

【0023】

次に測量装置100について詳しく説明する。測量装置100は、CPU（Central Processing Unit）を備えたコンピュータである。図1に示すように測量装置100は、レーザ測域センサ101と、ホイール回転数計測センサ102と、操舵角計測センサ103と、ストローク計測センサ104と、仰角計測センサ105と、オドメトリ計算処理部106と、センサ位置座標変換部107と、センサ位置幾何学計算処理部108と、センサ位置地図座標変換部109と、センサ位置情報選択部110と、スキャンマッチング計算部111とを備えている。

【0024】

レーザ測域センサ101は、例えば、3次元のレーザスキャナである。レーザ測域センサ101は、レーザ光で走査しながら障害物までの距離を計測する。レーザ測域センサ101が走査して得た距離情報が示す障害物の位置の集合を点群情報と呼ぶ。

ホイール回転数計測センサ102は、走行台車1が備えるタイヤを回転させるホイールの回転数を計測するセンサである。ホイール回転数計測センサ102が計測したホイールの回転数によって走行台車1の走行距離を計算することができる。

操舵角計測センサ103は、走行台車1が備えるタイヤの操舵角度を検出するセンサである。操舵角計測センサ103が計測した操舵角によって走行台車1の走行方向を計算することができる。

【0025】

オドメトリ計算処理部106は、ホイール回転数計測センサ102が計測したホイールの回転数と操舵角計測センサ103が計測した操舵角を累積して、ある基準点に対する走行台車1の位置情報、姿勢情報を計算する。なお、位置情報とは、所定位置を原点とする

座標系（例えば図2の座標系a）における、走行台車1の所定位置（例えば重心位置）の座標情報である。また、姿勢情報とは、例えば所定の方向に対して走行台車1の進行方向がなす角度である。なお、図2の座標系aとは、作成する地図情報を基準とする座標系である。以下この座標系を地図座標系と呼ぶ場合がある。

【0026】

センサ位置座標変換部107は、アーム2の収納状態におけるレーザ測域センサ101の位置情報、姿勢情報を計算する。具体的には、オドメトリ計算処理部106が計算した走行台車1の位置情報、姿勢情報に、図2の座標系bにおけるレーザ測域センサ101の収納状態における位置情報、姿勢情報を加算し、座標系aにおけるレーザ測域センサ101の位置情報、姿勢情報を計算する。なお、図2の座標系bとは、走行台車1の所定位置（例えば重心位置）を原点とし、前方方向をx軸、地面に対して垂直方向をz軸とする走行台車1を基準とする座標系である。

10

【0027】

ストローク計測センサ104は、アーム2のストロークを計測するセンサである。アーム2の伸縮は、走行台車1が備える制御装置50によって制御される。ストローク計測センサ104は、例えば、制御装置50からアーム2の伸展量の指令値を取得し、この指令値に基づく伸展量を加算したアーム2の長さ（ $L_0 + L$ ）を計算する。

仰角計測センサ105は、アーム2の垂直方向の旋回角度（仰角）を計測する。アーム2の上下方向の動作は、制御装置50によって制御される。例えば、仰角計測センサ105は、制御装置50からアーム2の上下動の指令値を取得し、この指令値に基づいてアーム2の仰角（ θ_1 ）を計算する。

20

【0028】

センサ位置幾何学計算処理部108は、ストローク計測センサ104が計測したアーム2の長さ（ $L_0 + L$ ）と仰角計測センサ105が計測した仰角（ θ_1 ）を用いて、幾何学的手法により図2の座標系cにおけるレーザ測域センサ101の位置情報、姿勢情報を計算する。なお、座標系cとは、走行台車1とアーム2の連結位置を原点とし、前方方向をx軸、地面に対して垂直方向をz軸とするアーム2の連結部を基準とする座標系である。例えば、座標系cにおけるレーザ測域センサ101のx座標は（ $L_0 + L$ ） $\cos \theta_1$ 、z座標は（ $L_0 + L$ ） $\sin \theta_1$ 、姿勢情報は θ_1 で表される。

センサ位置地図座標変換部109は、アーム2の作業状態におけるレーザ測域センサ101の地図座標系における位置情報、姿勢情報を計算する。具体的には、センサ位置地図座標変換部109は、センサ位置座標変換部107が計算した地図座標系でのレーザ測域センサ101の位置情報、姿勢情報と、センサ位置幾何学計算処理部108が計算した座標系cでのレーザ測域センサ101の位置情報、姿勢情報とを取得し、これらを用いて地図座標系におけるレーザ測域センサ101の位置情報、姿勢情報を計算する。より具体的には、センサ位置地図座標変換部109は、座標系cでのレーザ測域センサ101の位置情報、姿勢情報を、座標系bを基準とする値に座標変換し、さらに座標変換後の値にセンサ位置座標変換部107が計算した地図座標系で位置情報、姿勢情報を加算する。

30

【0029】

センサ位置情報選択部110は、ユーザが入力した現在の走行台車1の走行状態、アーム2の動作状態についての情報を取得し、現在の動作状態に対応するレーザ測域センサ101の地図座標系における位置情報、姿勢情報を出力する。具体的には、センサ位置情報選択部110は、ユーザが入力した走行台車1が移動しているかアーム2が伸展されているかを示す情報を取得する。また、センサ位置情報選択部110は、センサ位置座標変換部107が計算した位置情報、姿勢情報と、センサ位置地図座標変換部109が計算した位置情報、姿勢情報とを取得する。なお、走行台車1の移動中は、アーム2が収納状態である。この場合、レーザ測域センサ101の地図座標系における位置情報、姿勢情報は、センサ位置座標変換部107が計算した位置情報、姿勢情報である。この場合、レーザ測域センサ101の地図座標系における位置情報は、センサ位置地図座標変換部109が計算した位置情報、姿勢情報である。センサ位置情報選択部110は、アーム2の動作状態

40

50

に基づいて、センサ位置座標変換部 107 又はセンサ位置地図座標変換部 109 が計算した位置情報を選択して、スキャンマッチング計算部 111 に出力する。

【0030】

スキャンマッチング計算部 111 は、オドメトリや幾何学的手法を用いて計算したレーザ測域センサ 101 の地図座標系における位置情報、姿勢情報と、レーザ測域センサ 101 が計測した障害物との距離情報（点群情報）とを取得して、スキャンマッチングによってレーザ測域センサ 101 の位置情報を推定する。スキャンマッチングのアルゴリズムには、例えば ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズムを用いることができる。スキャンマッチング計算部 111 は、ICP アルゴリズムの初期値として、センサ位置情報選択部 110 から取得したレーザ測域センサ 101 の位置情報、姿勢情報を用いる。スキャンマッチング計算部 111 は、推定したレーザ測域センサ 101 の位置・姿勢の推定値を出力する。出力された推定値は、走行台車 1 が存在する位置周辺の地図情報の作成に用いられる。

10

測量装置 100 は、この他にも地図情報作成のための種々の機能を有していてもよいが、本実施形態では、地図情報の作成時に必要とされるレーザ測域センサ 101 の位置情報、姿勢情報の推定に必要な構成のみを説明し、他の構成の説明を省略する。

【0031】

次に図 3、図 4 を用いて、走行台車 1 の走行時におけるレーザ測域センサ 101 の位置情報の計算方法の概略について説明する。

図 3 は、従来の方法による測量装置の測域センサの位置情報の計算方法を説明する第一の図である。

20

従来は、レーザ測域センサ 101 の位置情報を、オドメトリによる測位や GPS の測位情報を用いて計算することが多かった。オドメトリによる測位には、誤差が累積されるという課題があり、GPS による測位には GPS 電波を受信できない環境では測位できない、反射波による精度の低下、測位間隔が長く、測位の間の移動を把握することができない等の課題があった。図 3 は、屋内や電波環境が良好ではない等の GPS が使用できない環境下でオドメトリのみによってレーザ測域センサ 101 の位置情報を計算した場合の、走行台車 1 に伴って実際にレーザ測域センサ 101 が移動した軌跡と、オドメトリを用いて計算したレーザ測域センサ 101 の軌跡とを示す図である。図 3 の軌跡 7 は、障害物 5A、5B の間の通路を走行台車 1 が移動したときの実際のレーザ測域センサ 101 の移動経路を示している。これに対し、軌跡 6 は、走行台車 1 が移動に伴って計測したホイール回転数や操舵角度に基づくオドメトリによるレーザ測域センサ 101 の移動経路を示している。図示するようにオドメトリによる測位のみを用いると誤差が徐々に大きくなる場合が多い。レーザ測域センサ 101 の位置情報の誤差が拡大すると、スキャンマッチングによる走行台車 1 の周辺の地図情報の精度も低下する。

30

【0032】

図 4 は、本発明に係る第一実施形態における測量装置の測域センサの位置情報の推定方法を説明する第一の図である。

障害物 5A、5B 上に表示された点線の丸印は、レーザ測域センサ 101 が時刻 $t-1$ に所定の範囲を走査して計測した距離情報に対応する点群情報を示している。同様に実線の丸印は、レーザ測域センサ 101 が時刻 t に所定の範囲を走査して計測した距離情報に対応する点群情報を示している。スキャンマッチング計算部 111 は、オドメトリによって計算した時刻 $t-1$ におけるレーザ測域センサ 101 の位置情報で時刻 $t-1$ に得られた点群情報を補正する。また、スキャンマッチング計算部 111 は、オドメトリによって計算した時刻 t におけるレーザ測域センサ 101 の位置情報で時刻 t に得られた点群情報を補正する。スキャンマッチング計算部 111 は、補正後の時刻 $t-1$ 、 t における点群情報を用いてスキャンマッチングを行いレーザ測域センサ 101 の位置の推定を行う。図 4 の軌跡 8 は、スキャンマッチング計算部 111 が推定した位置情報の軌跡を示している。図示するように軌跡 7 と軌跡 8 の誤差は、図 3 で例示した軌跡 7 と軌跡 6 の誤差に比べ小さく、精度よくレーザ測域センサ 101 の位置情報を推定できることが分かる。レーザ

40

50

測域センサ101の位置情報の誤差が小さいので、スキャンマッチングによる走行台車1の周辺の地図情報の精度も向上する。本実施形態によれば、レーザ測域センサ101の位置情報の平面方向における精度が向上できることが分かる。

【0033】

次に図5、図6を用いて、走行台車1を停車し、アーム2を伸展させた場合のレーザ測域センサ101の位置情報の計算方法の概略について説明する。

図5は、従来の方法による測量装置の測域センサの位置情報の計算方法を説明する第二の図である。

図5は、幾何学的手法のみによって計算した場合のレーザ測域センサ101の位置情報と実際のレーザ測域センサ101の位置との差を示している。従来は、アーム2の伸展時におけるレーザ測域センサ101の位置情報を、伸展長さ($L_0 + L$)と仰角 θ_1 による幾何学的な計算を用いて計算することが多かった。つまり、従来の方法では、図5に示す点3の位置を計算する。しかし、実際には、アーム2の撓みによって、レーザ測域センサ101は点3'に位置する。従来の方法では、アーム2の撓みを考慮しない為、レーザ測域センサ101の位置情報に誤差が生じる。従って、アーム2を伸展させて所定の範囲を走査して得られる高所の障害物9の地図情報の精度も低下する。

【0034】

図6は、本発明に係る第一実施形態における測量装置の測域センサの位置情報の推定方法を説明する第二の図である。

障害物9上に表示された点線の丸印は、レーザ測域センサ101が時刻 $t-1$ に所定の範囲を走査して計測した距離情報に対応する位置を示している。実線の丸印は、レーザ測域センサ101が時刻 t に所定の範囲を走査して計測した距離情報に対応する点群情報を示している。スキャンマッチング計算部111は、幾何学的手法によって計算した時刻 $t-1$ におけるレーザ測域センサ101の位置情報を用いて、時刻 $t-1$ に得られた点群情報を補正する。また、スキャンマッチング計算部111は、幾何学的手法によって計算した時刻 t におけるレーザ測域センサ101の位置情報を用いて、時刻 t に得られた点群情報を補正する。スキャンマッチング計算部111は、補正後の時刻 $t-1$ 、 t における点群情報を用いてスキャンマッチングを行いレーザ測域センサ101の位置の推定を行う。これにより、スキャンマッチング計算部111は、点3'に近い位置をレーザ測域センサ101の位置情報として推定できる可能性が高くなる。本実施形態によれば、部材の剛性を上げたり、センサを追加したり、部材を軽量化する等の対応を行うことなく、アーム2の伸展・旋回時におけるレーザ測域センサ101の位置情報、姿勢情報の推定精度を向上することができる。レーザ測域センサ101の位置情報、姿勢情報をより精度よく推定できるので、スキャンマッチングによる高所の地図情報の精度も向上する。

【0035】

次にレーザ測域センサ101の位置情報の推定処理の流れについて説明する。

図7は、本発明に係る第一実施形態における測域センサの位置情報推定処理の一例を示す第一のフローチャートである。

前提として、走行台車1は、地図情報の作成対象位置(測量対象位置)へ移動して、その場で停車してアーム2を展開し、アーム2を上下させ障害物9に対してレーザ光を走査し、障害物9を対象とした点群情報を計測するものとする。また、走行台車1の移動中、アーム2は収納状態であり、走行台車1が対象位置へ到着した後にアーム2を作業状態に切り替えるものとする。また、ユーザは、アーム2が収納状態か作業状態かを測量装置100へ入力する。また、レーザ測域センサ101は、走行台車1の走行中も走査を行い、走行中の走行台車1の周辺に存在する障害物5A、5Bを対象とする点群情報を計測する。また、レーザ測域センサ101は、所定の時間間隔で走査を行い、その度に計測した点群情報をスキャンマッチング計算部111に出力しているとする。

【0036】

まず、走行台車1が移動を開始する(ステップS10)。例えば、ユーザは、走行台車1を遠隔操作によって操作し、地図情報の作成対象位置へ向けて移動させる。

10

20

30

40

50

走行台車 1 が移動中、測量装置 100 は、レーザ測域センサ 101 の位置情報を推定する（ステップ S 11）。具体的には、オドメトリ計算処理部 106 は、所定の時間間隔でホイール回転数計測センサ 102 の計測値と、操舵角計測センサ 103 の計測値とを取得し、走行台車 1 の移動量、移動方向を計算する。次に、オドメトリ計算処理部 106 は、計算した移動量、移動方向を走行台車 1 の初期位置等に加算して走行台車 1 の位置情報、姿勢情報を計算する。また、センサ位置座標変換部 107 は、オドメトリ計算処理部 106 が計算した走行台車 1 の位置情報、姿勢情報と、収納状態におけるレーザ測域センサ 101 の走行台車 1 を基準とする座標系での位置情報、姿勢情報とを用いて、レーザ測域センサ 101 の地図座標系での位置情報、姿勢情報を計算する。このようにセンサ位置座標変換部 107 は、走行台車 1 の移動中に、所定の時間間隔でレーザ測域センサ 101 の位置情報（オドメトリによる位置情報）を計算し、センサ位置情報選択部 110 に出力する。センサ位置情報選択部 110 は、アーム 2 が収納状態にあることに基づいて、センサ位置座標変換部 107 が計算した位置情報を選択してスキャンマッチング計算部 111 に出力する。次にスキャンマッチング計算部 111 は、センサ位置座標変換部 107 が計算したレーザ測域センサ 101 の位置情報、姿勢情報と、レーザ測域センサ 101 が計測した障害物 5 A、5 B に対する点群情報とを用いて ICP スキャンマッチングを行いレーザ測域センサ 101 の位置情報を推定する。このようにスキャンマッチング計算部 111 は、走行台車 1 の移動中には、オドメトリによる位置情報を用いてスキャンマッチングを行う。図 2 の軌跡 8 は、スキャンマッチング計算部 111 が推定したセンサ位置の軌跡を示している。スキャンマッチング計算部 111 は、推定したレーザ測域センサ 101 の位置情報、姿勢情報を制御装置 50 等へ出力する。

10

20

【0037】

次に、制御装置 50 が、走行台車 1 の移動が完了したかどうかを判定する（ステップ S 12）。例えば、制御装置 50 は、スキャンマッチング計算部 111 から取得したレーザ測域センサ 101 の位置情報に基づいて、走行台車 1 が所定の対象位置に到達したかどうかを判定する。到達した場合、制御装置 50 は移動が完了したと判定する。到達していない場合、制御装置 50 は、移動が完了していないと判定する。移動が完了していない場合、ステップ S 11 からの処理を繰り返す。移動が完了した場合、制御装置 50 は移動が完了したことを示す信号をユーザへ通知する。このとき、ユーザは、アーム 2 の動作状態を収納状態から作業状態へ切り替えることを測量装置 100 へ入力する。また、ユーザは、アーム 2 の伸展、旋回動作を指示する情報を制御装置 50 へ入力する。制御装置 50 は、アーム 2 の動作を制御し、アーム 2 は伸展動作・旋回動作を開始する（ステップ S 13）。

30

【0038】

アーム 2 が作業状態にあるとき、測量装置 100 は、レーザ測域センサ 101 の位置情報を推定する（ステップ S 14）。具体的には、センサ位置幾何学計算処理部 108 は、ストローク計測センサ 104 の計測値と、仰角計測センサ 105 の計測値とを取得し、アーム 2 のストローク、仰角を計算する。また、センサ位置地図座標変換部 109 は、センサ位置幾何学計算処理部 108 が計算した作業状態におけるレーザ測域センサ 101 の走行台車 1 を基準とする座標系での位置情報、姿勢情報と、センサ位置座標変換部 107 が計算したレーザ測域センサ 101 の位置情報、姿勢情報とを用いて、レーザ測域センサ 101 の地図座標系での位置情報を計算する。このようにセンサ位置座標変換部 107 は、アーム 2 が伸縮したり上下に移動したりする度に、レーザ測域センサ 101 の位置情報（幾何学的手法による位置情報）を計算し、センサ位置情報選択部 110 に出力する。センサ位置情報選択部 110 は、アーム 2 が作業状態にあることに基づいて、センサ位置地図座標変換部 109 が計算した位置情報を選択してスキャンマッチング計算部 111 に出力する。次にスキャンマッチング計算部 111 は、センサ位置地図座標変換部 109 が計算したレーザ測域センサ 101 の位置情報、姿勢情報と、レーザ測域センサ 101 が計測した障害物 9 に対する点群情報とを用いて ICP スキャンマッチングを行いレーザ測域センサ 101 の位置情報、姿勢情報を推定する。このようにスキャンマッチング計算部 111

40

50

は、走行台車 1 が停止しアーム 2 が作業状態にあるときは、オドメトリによって計算した走行台車 1 の位置情報に、幾何学的手法によって計算したアーム 2 先端の位置情報を加算して得られるレーザ測域センサ 101 の位置情報を用いてスキャンマッチングを行う。スキャンマッチング計算部 111 は、推定したレーザ測域センサ 101 の位置情報を制御装置 50 等へ出力する。

【0039】

次に、制御装置 50 が、アーム 2 の伸展が完了したかどうかを判定する（ステップ S 15）。例えば、制御装置 50 は、スキャンマッチング計算部 111 から取得したレーザ測域センサ 101 の位置情報に基づいて、レーザ測域センサ 101 が測量対象位置（高さ）に到達したかどうかを判定する。到達した場合、制御装置 50 はアーム 2 の伸展が完了したと判定する。到達していない場合、制御装置 50 は、アーム 2 の伸展が完了していないと判定する。伸展が完了していない場合、ステップ S 14 の処理を繰り返す。伸展が完了した場合、制御装置 50 はアーム 2 の伸展・旋回動作を停止し、その位置での測量（高所測量）を行う（ステップ S 16）。つまり、レーザ測域センサ 101 は、所定の範囲を走査し、周辺に存在する障害物 9 との距離情報を計測する。

10

【0040】

次に図 7 のステップ S 11、ステップ S 14 のスキャンマッチング処理についてさらに詳しく説明する。

図 8 は、本発明に係る第一実施形態における測域センサの位置情報推定処理の一例を示す第二のフローチャートである。

20

図 9 は、本発明に係る第一実施形態におけるスキャンマッチングの説明を行う図である。

前提として、レーザ測域センサ 101 は、所定の時間間隔で走査を行い、その度に計測した点群情報をスキャンマッチング計算部 111 へ出力している。また、センサ位置情報選択部 110 は、センサ位置座標変換部 107 又はセンサ位置地図座標変換部 109 から取得した位置情報等をスキャンマッチング計算部 111 へ出力している。スキャンマッチング計算部 111 は、ある周期でスキャンマッチングを行うが、その間にレーザ測域センサ 101、センサ位置情報選択部 110 から取得した点群情報を記憶部（図示せず）に記録する等して記憶する。

【0041】

30

まず、スキャンマッチング計算部 111 が、記憶部より一つ前に計測した点群の情報を読み出して取得する（ステップ S 20）。次にスキャンマッチング計算部 111 が、今回の点群の情報をレーザ測域センサ 101 から取得する（ステップ S 21）。次にスキャンマッチング計算部 111 が、一つ前に計測した点群情報と今回計測した点群情報を ICP アルゴリズムに設定する。次に、スキャンマッチング計算部 111 は、初期化処理を行う（ステップ S 22）。初期化する変数は、例えば、繰り返し回数 k の上限閾値 2、2 つの点群の距離の判定に用いる閾値 1、2 つの点群情報に与える初期変位量（並進ベクトル t_0 、回転行列 R_0 ）である。並進ベクトル t_0 や回転行列 R_0 の初期値は、ステップ S 11 においては、センサ位置座標変換部 107 が計算したレーザ測域センサ 101 のオドメトリによる位置情報、姿勢情報に基づく値である。また、ステップ S 14 においては、センサ位置地図座標変換部 109 が計算したレーザ測域センサ 101 の幾何学的手法による位置情報、姿勢情報に基づく値である。ICP アルゴリズムを用いたスキャンマッチングでは、適切な初期変位を与えないと局所解に陥るといった問題がある。そのため、以降の処理の効率化、安定化のため、ステップ S 22 で与える初期変位が重要となる。例えば、ステップ S 11 の場合、スキャンマッチング計算部 111 は、一つ前のタイミングに計測した点群情報について、そのタイミングにおけるオドメトリによる位置情報を用いて初期変位を与える。同様に今回のタイミングに計測した点群情報について、今回のタイミングにおけるオドメトリによる位置情報を用いて初期変位を与える。

40

【0042】

初期変位的具体例を示す。ステップ S 11 について、オドメトリによるレーザ測域セン

50

サ 1 0 1 の位置情報、姿勢情報を $(x_{od}, y_{od}, \theta_{od})$ とすると、初期変位量として R_0 、 t_0 に以下の値を設定する。

【 0 0 4 3 】

【 数 1 】

$$R_0 = \begin{pmatrix} \cos\theta_{od} & -\sin\theta_{od} \\ \sin\theta_{od} & \cos\theta_{od} \end{pmatrix}$$

10

【 0 0 4 4 】

【 数 2 】

$$t_0 = \begin{bmatrix} x_{od} \\ y_{od} \end{bmatrix}$$

【 0 0 4 5 】

また、ステップ S 1 4 について、幾何学的手法によるレーザ測域センサ 1 0 1 の位置情報、姿勢情報を $(x_{arm}, z_{arm}, \theta_{arm})$ とすると、初期変位量として R_0 、 t_0 に以下の値を設定する。

20

【 0 0 4 6 】

【 数 3 】

$$R_0 = \begin{pmatrix} \cos\theta_{arm} & -\sin\theta_{arm} \\ \sin\theta_{arm} & \cos\theta_{arm} \end{pmatrix}$$

【 0 0 4 7 】

【 数 4 】

$$t_0 = \begin{bmatrix} x_{arm} \\ z_{arm} \end{bmatrix}$$

30

【 0 0 4 8 】

この例の場合、2次元面内でのスキャンマッチングを例として挙げており、オドメトリによる計算結果を使う場合と、幾何学的手法による計算結果を使う場合では対象平面が異なる。具体的には、オドメトリによる計算結果は図 2 における $x y$ 平面、幾何学的手法による計算結果を使う場合は図 2 における $x z$ 平面である。したがって、上記の θ_{od} は、 Z 軸周りの角度（ヨー角）、 θ_{arm} は Y 軸周りの角度（ピッチ角）を意味する。なお、ICP アルゴリズムのインプットとなる点群も、ステップ S 1 1 の処理については $x y$ 平面上の座標情報として与えられ、ステップ S 1 4 の処理については $x z$ 平面上の座標情報として与えられる。

40

【 0 0 4 9 】

図 9 (a) は、ステップ S 2 0 ~ ステップ S 2 2 の処理を行った後の点群の一例を示したものである。図 9 (a) の星印は、一つ前のタイミングで計測した点群である。丸印は、今回取計測した点群である。

【 0 0 5 0 】

次にスキャンマッチング計算部 1 1 1 は、点群間距離が最小となる対応関係を探索する

50

(ステップS23)。図9(b)は、ステップS23の処理を概念的に示したものである。スキャンマッチング計算部111は、一つ前のタイミングで計測した点群と今回計測した点群とを比較し、対応点(最も近い点)を探索する。

【0051】

次にスキャンマッチング計算部111は、一つ前のタイミングで計測した点群と今回計測した点群に対し、対応点間距離が最も小さくなるよう、今回計測した点群に並進および回転のうち少なくとも一方の変換を加える(ステップS24)。図9(c)は、ステップS24の処理を概念的に示したものである。

【0052】

次にスキャンマッチング計算部111は、変換後の対応間距離 および繰り返し回数kを評価する。具体的には、スキャンマッチング計算部111は、対応間距離 が所定の閾値1以下か、または、繰り返し回数kが所定の閾値2を上回っているかどうかを評価する(ステップS25)。対応間距離 の評価には、例えば、各対応点間距離の総和などの評価関数を用いてもよい。2つの点群が完全に一致すれば対応点間距離はすべて0になり、各対応点間距離の総和も0となる。このような場合、対応間距離 が所定の閾値1以下の条件を満たす。また、評価関数値が閾値1より大きい場合、スキャンマッチング計算部111は、対応点の組み合わせを変更して再度評価を行う。例えば、図9(d)の例の場合、点d0の対応点を点D1から点D2に変更して評価を行う。スキャンマッチング計算部111は、評価関数値が閾値1以下となるまで、対応点を変えて繰り返し計算する。また、繰り返し回数kは、ステップS23からの繰り返し回数である。このような評価を行った結果、何れの条件も満たさない場合、ステップS23からの処理を繰り返す。つまり、並進量・回転量を更新する。また、ステップS25において、どちらかの条件を満たす場合、スキャンマッチングを終了する。図9(e)で例示するような状態となり、評価関数値が閾値1以下となった場合、ステップS24で計算した並進量・回転量が、2つの点群が計測される間でのレーザ測域センサ101の移動量である。スキャンマッチング計算部111は、この並進量・回転量からレーザ測域センサ101の位置情報、姿勢情報を推定する。

【0053】

図8で説明したスキャンマッチングの方法によれば、オドメトリや幾何学的な手法によって計算したレーザ測域センサ101の位置情報、姿勢情報やを補助的に用いてスキャンマッチングを行うことで、スキャンマッチングの精度を高めることができる。

【0054】

本実施形態によれば、屋内等のGPSによる測位が不可能な環境下でも走行台車1の移動時、アーム2の伸展時におけるレーザ測域センサ101の位置を正確に推測し、正確な測量を行うことが可能となる。また、アーム2の伸展時に重力による撓みが生じてもレーザ測域センサ101の位置を正確に推定することができるため、アーム2の剛性のある程度妥協することが可能となり、装置全体の重量減、それによる燃費効率向上、部材コスト削減といった効果が得られる。また、測量のために必要なレーザ測域センサ101による計測結果を用いてレーザ測域センサ101の位置を推定するので、歪ゲージ等の追加センサが不要でありコスト増を抑制することができる。

【0055】

<第二実施形態>

以下、本発明の第二実施形態による測量装置について図10~図11を参照して説明する。

図10は、本発明に係る第二実施形態における測量装置の一例を示すブロック図である。図11は、本発明に係る第二実施形態における測量装置を搭載した走行台車の一例を示す図である。

本発明の第二実施形態に係る構成のうち、本発明の第一実施形態に係る測量装置100を構成する機能部と同じものには同じ符号を付し、それぞれの説明を省略する。第二実施形態に係る測量装置100Aは、第一実施形態の構成に加えて、慣性計測装置112を備

10

20

30

40

50

えている。

慣性計測装置 112 は、図 11 に示すようにレーザ測域センサ 101 の近傍に設けられる慣性センサである。慣性計測装置 112 は、レーザ測域センサ 101 の姿勢情報を計測する。例えば、慣性計測装置 112 は、アーム 2 の作業状態におけるレーザ測域センサ 101 の地面と平行な面に対する角度を計測する。慣性計測装置 112 は、計測した姿勢情報（角度）をスキャンマッチング計算部 111 に出力する。

スキャンマッチング計算部 111 は、図 7 のステップ S14 においてレーザ測域センサ 101 の姿勢情報 $a_{r m}$ に慣性計測装置 112 の計測値を用いることができる。スキャンマッチング計算部 111 は、慣性計測装置 112 から取得した姿勢情報を用いてスキャンマッチングを行うことで、レーザ測域センサ 101 の位置情報、姿勢情報をさらに正確に推定することができる。例えば、走行台車 1 の足場の角度が急激に変化した場合など、レーザ測域センサ 101 の姿勢が大きく変化することがある。そのような場合に、レーザ測域センサ 101 の姿勢の変化を考慮せずにスキャンマッチングを行うと、対応点の探索が困難となり、レーザ測域センサ 101 の位置情報が精度よく推定できない可能性がある。本実施形態では、慣性計測装置 112 が計測した姿勢情報を用いて初期変位を与えることができ、スキャンマッチング処理を効率化、安定化することができる。

【0056】

第二実施形態によれば、第一実施形態の効果に加え、スキャンマッチング処理の精度向上・高速化が可能となる。また、レーザ測域センサ 101 の姿勢情報を直接計測し、その値を用いることで、環境の影響等に適切に対応し運用性を向上させることができる。

【0057】

< 第三実施形態 >

以下、本発明の第三実施形態による測量装置について図 12 を参照して説明する。

図 12 は、本発明に係る第三実施形態における測量装置の一例を示すブロック図である。

本発明の第三実施形態に係る構成のうち、本発明の第二実施形態に係る測量装置 100A を構成する機能部と同じものには同じ符号を付し、それぞれの説明を省略する。第三実施形態に係る測量装置 100B は、第二実施形態の構成に加えて、撓み補償量計算部 113 を備えている。

撓み補償量計算部 113 は、ストローク計測センサ 104 から取得したアーム 2 のストロークおよび仰角計測センサ 105 から取得した仰角に基づいて、アーム 2 の先端位置の撓み量を計算する。撓み補償量計算部 113 は、例えば、アーム 2 を片持ち梁とみなした物理モデルに基づいて撓み量を計算してもよい。あるいは、アーム 2 のストロークおよび仰角を変化させつつ、そのときの撓み量を予め実測し、アーム 2 のストロークおよび仰角に対応付けて撓み量を記録したルックアップテーブルを作成し、このルックアップテーブルに基づいて撓み量を計算してもよい。撓み補償量計算部 113 は、センサ位置幾何学計算処理部 108 が計算したレーザ測域センサ 101 の位置情報、姿勢情報を、計算した撓み量で補正する。センサ位置地図座標変換部 109 は、補正されたレーザ測域センサ 101 の位置情報、姿勢情報を取得し、以降の処理を行う。

スキャンマッチング計算部 111 は、図 7 のステップ S14 において撓み量で補正された後のレーザ測域センサ 101 の位置情報、姿勢情報を用いてスキャンマッチングを行う。これにより、レーザ測域センサ 101 の位置情報、姿勢情報をさらに正確に推定することができる。

【0058】

第三実施形態によれば、第二実施形態の効果に加え、スキャンマッチング処理の精度向上・高速化・ロバスト化が可能となり、運用性を向上させることができる。

なお、第三実施形態の撓み補償量計算部 113 を、第一実施形態の構成に追加した構成としてもよい。

【0059】

< 第四実施形態 >

以下、本発明の第四実施形態による測量装置について図 1 3 ~ 図 1 7 を参照して説明する。

図 1 3 は、本発明に係る第四実施形態における測量装置の一例を示すブロック図である。

図 1 4 は、本発明に係る第四実施形態における測量装置を搭載した走行台車の一例を示す図である。

本発明の第四実施形態に係る構成のうち、本発明の第三実施形態に係る測量装置 1 0 0 B を構成する機能部と同じものには同じ符号を付し、それぞれの説明を省略する。第四実施形態に係る測量装置 1 0 0 C は、第三実施形態の構成に加えて、走査平面方向変更部 1 1 4 を備えている。

第四実施形態に係るレーザ測域センサ 1 0 1 は、2次元のレーザスキャナである。また、図 1 4 に示すようにアーム 2 の先端部には回転機構 2 1 が設けられ、レーザ測域センサ 1 0 1 をアーム 2 の軸方向回りに回転させることで走査平面を変更することができる。

走査平面方向変更部 1 1 4 は、センサ位置情報選択部 1 1 0 に入力されたアーム 2 の動作状態（収納状態か作業状態か）に応じて、レーザ測域センサ 1 0 1 の走査平面を切り替えるよう制御装置 5 0 に指示を行う。

【 0 0 6 0 】

図 1 5 は、本発明に係る第四実施形態における走査平面を示す第一の図である。

図 1 5 は、走行台車 1 が走行中の場合のレーザ測域センサ 1 0 1 の走査平面 P 1 を示している。走行台車 1 が走行中の場合、つまり、センサ位置情報選択部 1 1 0 に入力されたアーム 2 の動作状態が収納状態の場合、走査平面方向変更部 1 1 4 は、レーザ測域センサ 1 0 1 の走査平面 P 1 が地面と平行な面となるように制御する。

【 0 0 6 1 】

図 1 6 は、本発明に係る第四実施形態における走査平面を示す第二の図である。

図 1 6 は、走行台車 1 が停止し、アーム 2 を伸展させている場合のレーザ測域センサ 1 0 1 の走査平面 P 2 を示している。センサ位置情報選択部 1 1 0 に入力されたアーム 2 の動作状態が作業状態の場合、走査平面方向変更部 1 1 4 は、レーザ測域センサ 1 0 1 の走査平面 P 2 が地面と垂直な面となるように制御する。

【 0 0 6 2 】

次にレーザ測域センサ 1 0 1 の位置情報の推定処理の流れについて説明する。

図 1 7 は、本発明に係る第四実施形態における測域センサの位置情報推定処理の一例を示すフローチャートである。

なお、図 7 と同様の処理については簡単に説明を行う。まず、走行台車 1 が移動を開始する（ステップ S 1 0）。走行台車 1 が移動中、測量装置 1 0 0 は、レーザ測域センサ 1 0 1 の位置情報を推定する（ステップ S 1 1）。次に、制御装置 5 0 が、走行台車 1 の移動が完了したかどうかを判定する（ステップ S 1 2）。移動が完了していない場合、ステップ S 1 1 からの処理を繰り返す。移動が完了した場合、制御装置 5 0 は移動が完了したことを示す信号をユーザへ通知する。このとき、ユーザは、アーム 2 の動作状態を収納状態から作業状態へ切り替えることを測量装置 1 0 0 へ入力する。センサ位置情報選択部 1 1 0 は、ユーザの入力した情報を走査平面方向変更部 1 1 4 へ出力する。走査平面方向変更部 1 1 4 は、センサ位置情報選択部 1 1 0 に入力された収納状態から作業状態への切り替え指示情報に基づいてレーザ測域センサ 1 0 1 の走査平面を地面に水平な平面から垂直な平面に切り替えるよう制御装置 5 0 に指示する。制御装置 5 0 は、回転機構 2 1 を制御し、レーザ測域センサ 1 0 1 の走査平面を回転させる（ステップ S 1 2 1）。次にユーザは、アーム 2 の伸展、旋回動作を指示する情報を制御装置 5 0 へ入力する。制御装置 5 0 は、アーム 2 の動作を制御し、アーム 2 は伸展動作・旋回動作を開始する（ステップ S 1 3）。次に測量装置 1 0 0 は、レーザ測域センサ 1 0 1 の位置情報を推定する（ステップ S 1 4）。次に制御装置 5 0 が、アーム 2 の伸展が完了したかどうかを判定する（ステップ S 1 5）。伸展が完了した場合、制御装置 5 0 はアーム 2 の伸展・旋回動作を停止し、その位置での測量（高所測量）を行う（ステップ S 1 6）。

10

20

30

40

50

【0063】

第四実施形態によれば、第三実施形態の効果に加え、安価な2次元のレーザ測域センサを用いて走行台車1の移動時およびアーム2の伸展時におけるレーザ測域センサ101の位置推定が可能になる。

なお、第四実施形態は、第一実施形態、または、第二実施形態に適用してもよい。

【0064】

< 第五実施形態 >

以下、本発明の第五実施形態による測量装置について図18～図19を参照して説明する。

図18は、本発明に係る第五実施形態における測量装置の一例を示すブロック図である

10

。本発明の第五実施形態に係る構成のうち、本発明の第一実施形態に係る測量装置100を構成する機能部と同じものには同じ符号を付し、それぞれの説明を省略する。第五実施形態に係る測量装置100Dは、第一実施形態の構成に加えて、アーム先端回転軸エンコーダ115、点群座標変換部116、点群メモリ部117を備えている。

第四実施形態と同様に第五実施形態に係るレーザ測域センサ101は、2次元のレーザスキャナである。また、図14に示すようにアーム2の先端部には回転機構21が設けられ、レーザ測域センサ101をアーム2の軸方向回りに回転させることで走査平面を変更することができる。また、制御装置50は、回転機構21を常時回転させながら走行台車1を移動させたり、アーム2を伸展させたりする。

20

アーム先端回転軸エンコーダ115は、回転機構21の回転量(角度)を計測する。

点群座標変換部116は、レーザ測域センサ101から点群情報を取得する。また、点群座標変換部116は、アーム先端回転軸エンコーダ115から回転機構21の回転量を取得する。点群座標変換部116は、取得した回転量の情報を用いて点群情報を3次元空間の座標情報に座標変換する。

点群メモリ部117は、点群座標変換部116が座標変換した点群情報を一定周期分蓄積し、それらをアセンブリして、疑似的な3次元のレーザスキャナで走査を行った場合の点群情報(3次元の点群)を生成し、3次元の点群情報をスキャンマッチング計算部111に出力する。

スキャンマッチング計算部111は、3次元点群情報と、センサ位置情報選択部110から取得したレーザ測域センサ101の位置情報、姿勢情報(オドメトリまたは幾何学的手法による位置情報、姿勢情報)とを用いてスキャンマッチングを行い、レーザ測域センサ101の3次元における位置情報(XYZ座標)、姿勢情報(ロール角、ピッチ角、ヨー角)を求める。

30

【0065】

図19は、本発明に係る第五実施形態における走査方法を示す図である。

図19(a)は、走行台車1が走行中の場合のレーザ測域センサ101の走査方法を示している。走行台車1が走行中の場合、制御装置50は、回転機構21を回転させながら走行台車1を移動する。レーザ測域センサ101は、走査平面を360度変化させながら点群情報の計測を行う。点群座標変換部116は、レーザ測域センサ101が計測した2次元の点群情報に、アーム先端回転軸エンコーダ115が計測した回転量を加え、2次元の点群の座標情報を3次元空間内の座標情報に変換する。点群メモリ部117は、例えば、レーザ測域センサ101の走査平面が360度変化する度に、その間蓄積した点群情報をアセンブリして3次元のレーザスキャナが計測した点群情報と同様の点群情報の集合を生成する。スキャンマッチング計算部111は、点群メモリ部117から3次元の点群情報を取得し、3次元点群情報とオドメトリによる位置情報を用いてスキャンマッチングを行う。

40

【0066】

図19(b)は、アーム2の伸展時におけるレーザ測域センサ101の走査方法を示している。この場合も制御装置50は、回転機構21を回転させながらアーム2を伸展動作

50

させたり、旋回動作させたりする。走行時と同様に点群メモリ部 117 は、3次元の点群情報を生成し、スキャンマッチング計算部 111 は、点群メモリ部 117 から3次元の点群情報を取得し、3次元点群情報と幾何学的手法による位置情報を用いてスキャンマッチングを行う。

【0067】

本実施形態によれば、安価な2次元レーザ測域センサを用いて、走行台車1の移動時およびアーム2の伸展時におけるレーザ測域センサ101の位置推定が可能となる。これにより、測量装置100Dの製造コストを抑えることができる。また、2次元の点群情報をアセンブリして3次元点群を疑似的に生成することにより、3次元空間でのスキャンマッチング可能となる。これにより、レーザ測域センサ101の3次元空間での位置情報、姿勢情報を推定することができ、より精密な測量が可能となる。

なお、第五実施形態は、第二実施形態、第三実施形態の構成に適用することも可能である。

【0068】

なお上述の測量装置100、100A、100B、100C、100Dは内部に、コンピュータシステムを有している。そして、上述した測量装置100等における各処理の過程は、プログラムの形式でコンピュータ読み取り可能な記録媒質に記憶されており、このプログラムをコンピュータが読み出して実行することによって、上記処理が行われる。ここでコンピュータ読み取り可能な記録媒質とは、磁気ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、DVD-ROM、半導体メモリ等をいう。また、このコンピュータプログラムを通信回線によってコンピュータに配信し、この配信を受けたコンピュータが当該プログラムを実行するようにしてもよい。

【0069】

また、上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよい。さらに、前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイル(差分プログラム)であってもよい。

【0070】

その他、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、上記した実施の形態における構成要素を周知の構成要素に置き換えることは適宜可能である。また、この発明の技術範囲は上記の実施形態に限られるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。走行台車1は移動体の一例である。

【符号の説明】

【0071】

- 1・・・走行台車
- 2・・・アーム
- 100、100A、100B、100C、100D・・・測量装置
- 101・・・レーザ測域センサ
- 102・・・ホイール回転数計測センサ
- 103・・・操舵角計測センサ
- 104・・・ストローク計測センサ
- 105・・・仰角計測センサ
- 106・・・オドメトリ計算処理部
- 107・・・センサ位置座標変換部
- 108・・・センサ位置幾何学計算処理部
- 109・・・センサ位置地図座標変換部
- 110・・・センサ位置情報選択部
- 111・・・スキャンマッチング計算部
- 112・・・慣性計測装置
- 113・・・撓み補償量計算部
- 114・・・走査平面方向変更部

- 115 . . . アーム先端回転軸エンコーダ
- 116 . . . 点群座標変換部
- 117 . . . 点群メモリ部

【図1】

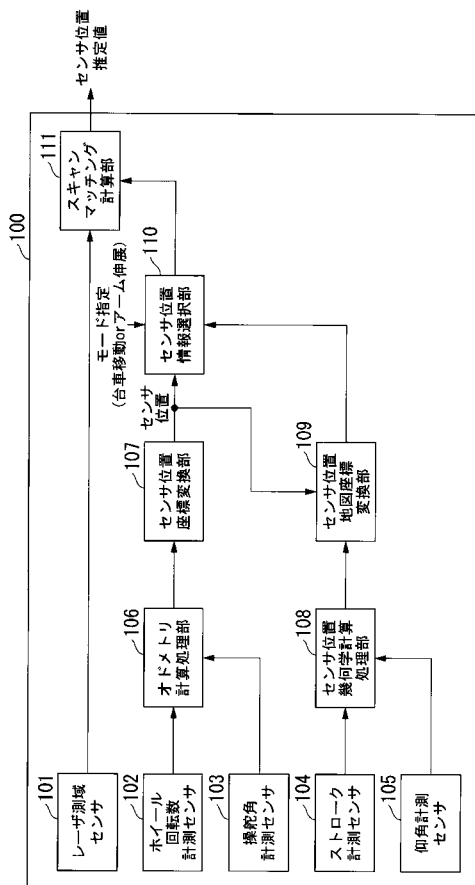


図1

【図2】

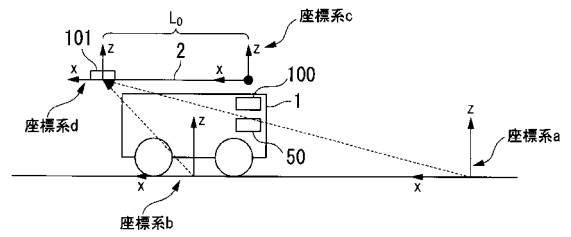


図2

【 図 3 】

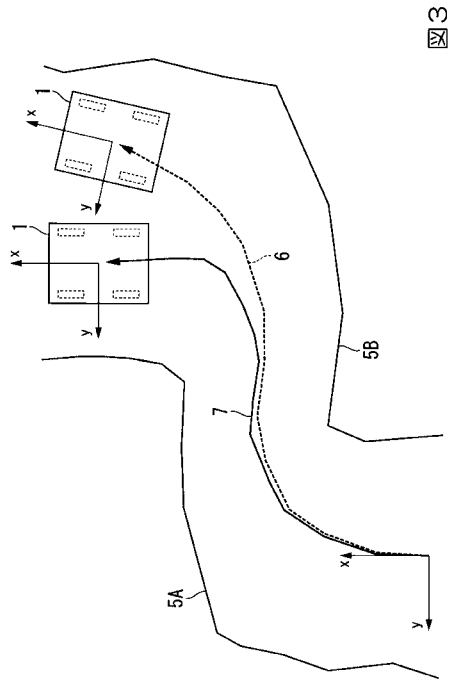


図 3

【 図 4 】

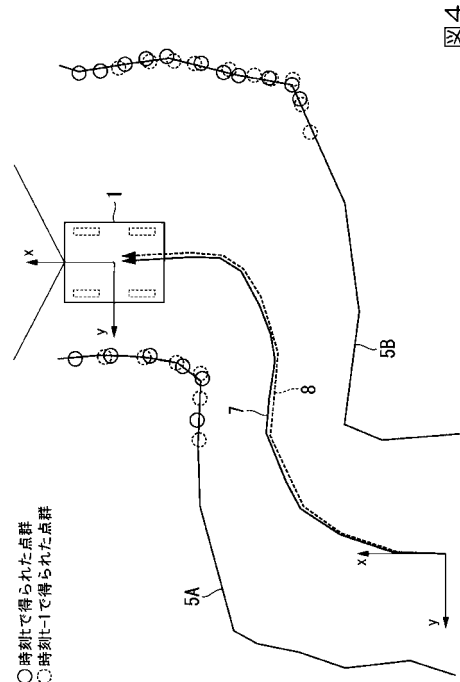


図 4

○時刻tで得られた点群
 ○時刻t-1で得られた点群

【 図 5 】

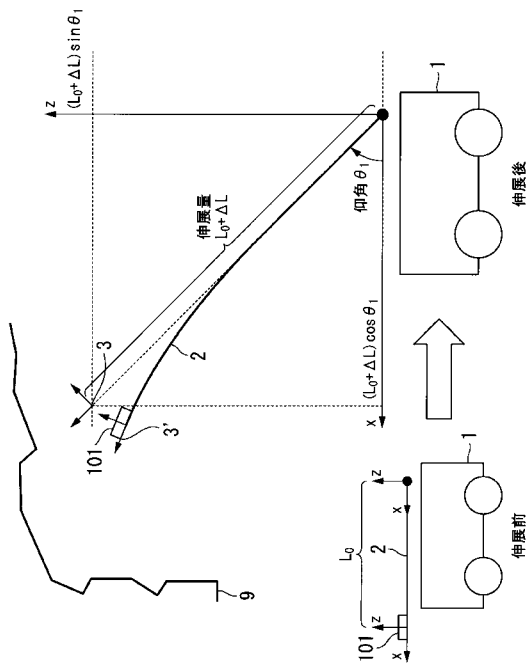


図 5

【 図 6 】

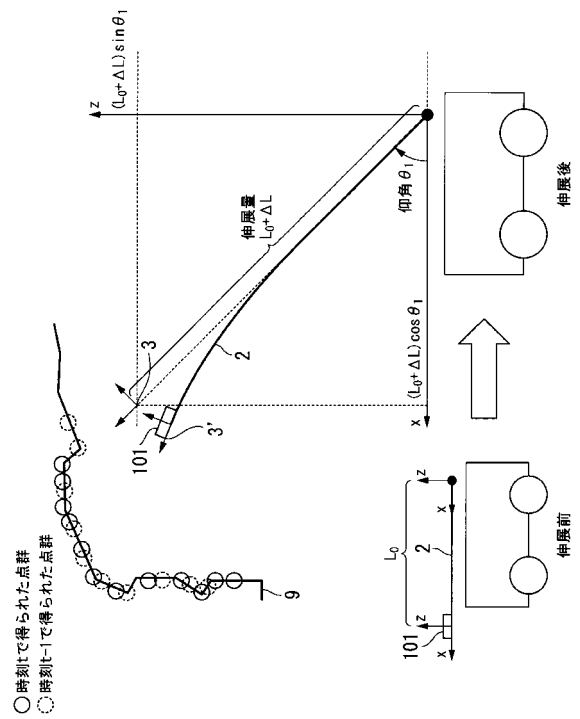


図 6

○時刻tで得られた点群
 ○時刻t-1で得られた点群

【 図 7 】

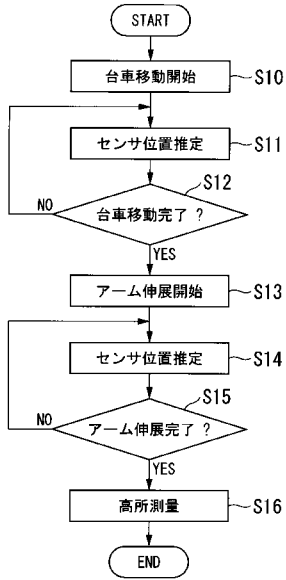


図 7

【 図 8 】

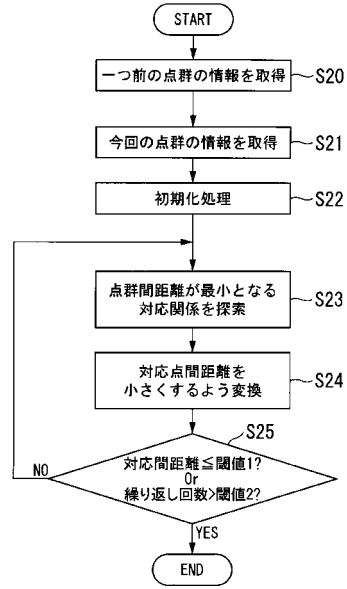


図 8

【 図 9 】

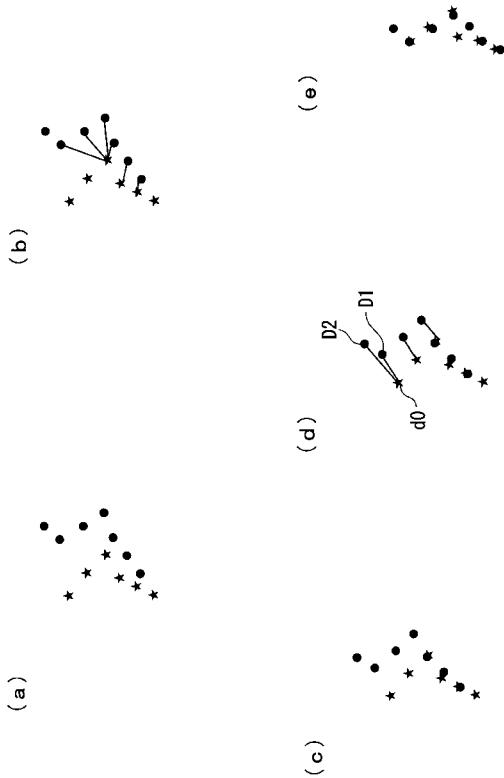


図 9

【 図 10 】

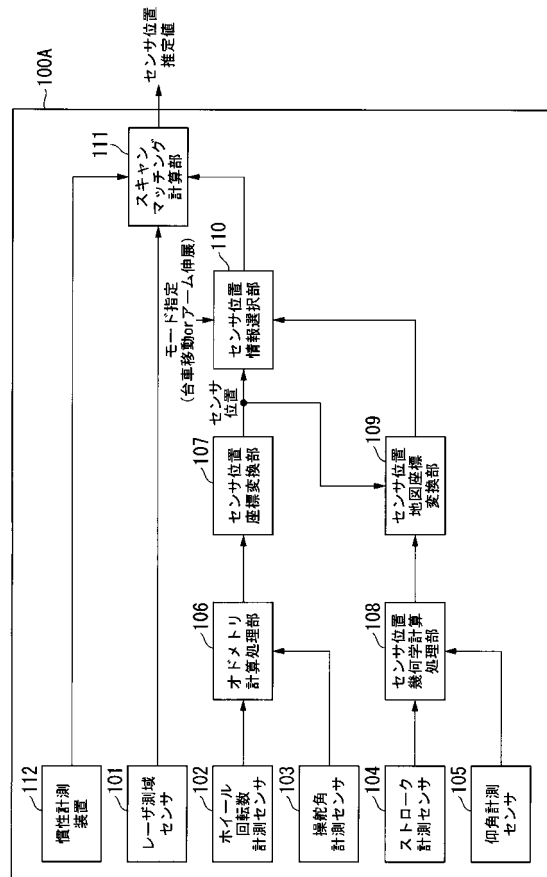


図 10

【図 1 1】

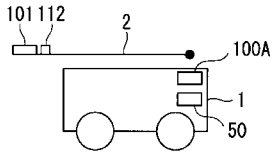


図 1 1

【図 1 2】

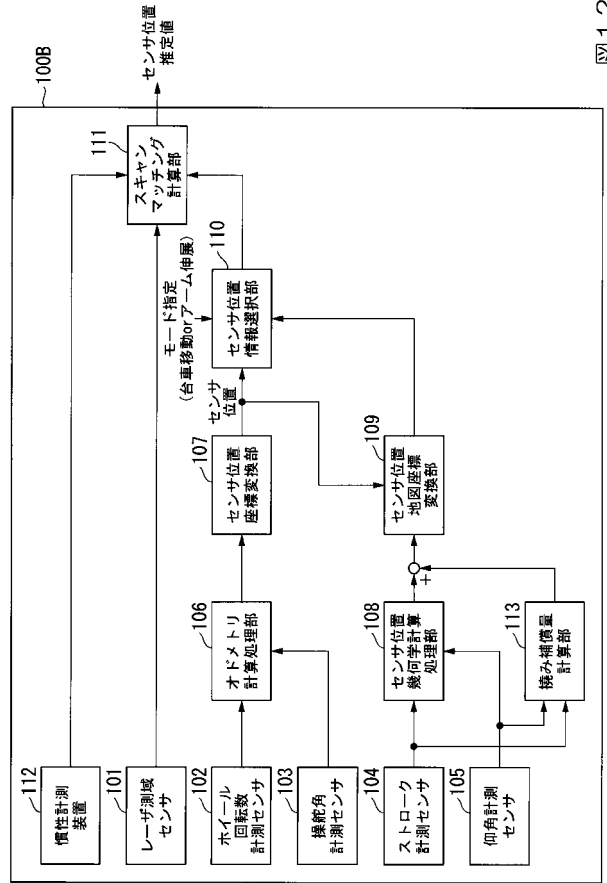


図 1 2

【図 1 3】

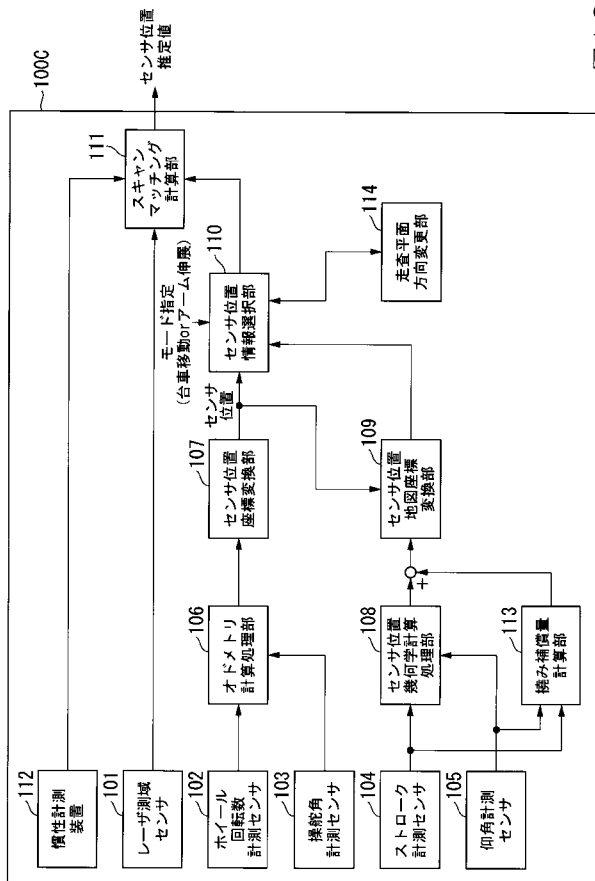


図 1 3

【図 1 4】

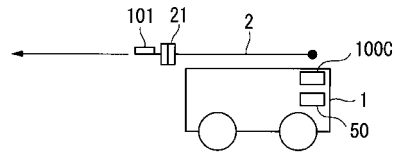


図 1 4

【図 1 5】

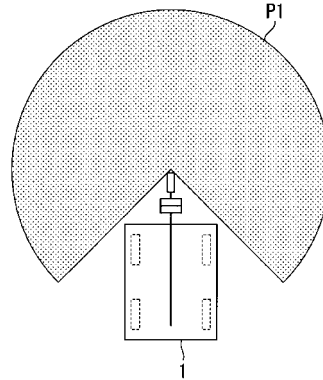


図 1 5

【 図 1 6 】

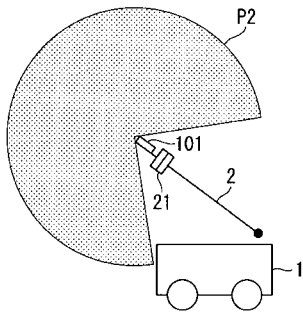


図 1 6

【 図 1 7 】

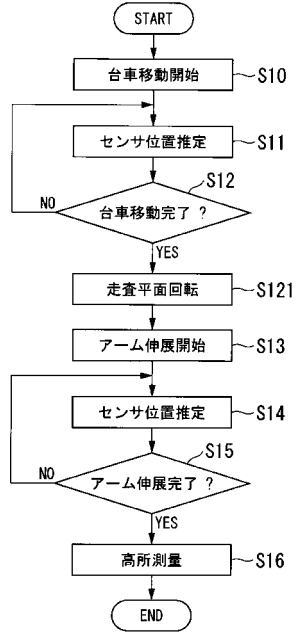


図 1 7

【 図 1 8 】

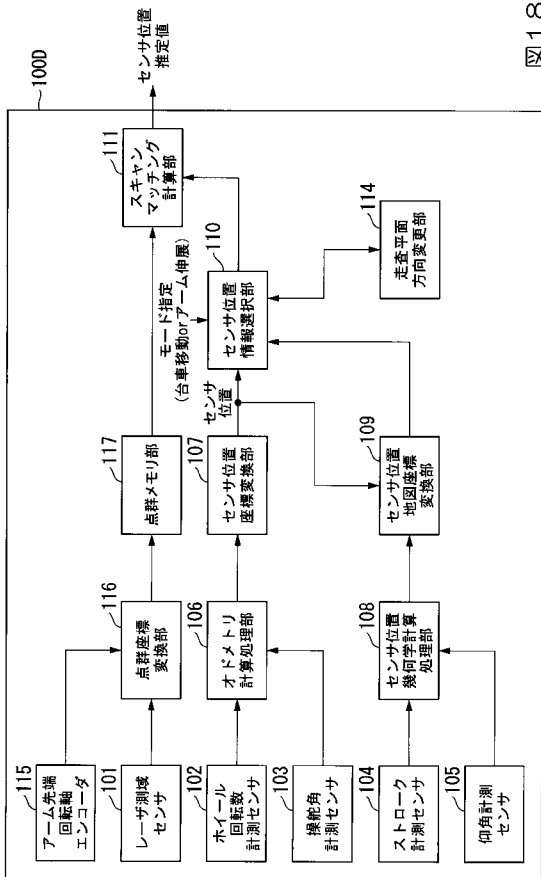


図 1 8

【 図 1 9 】

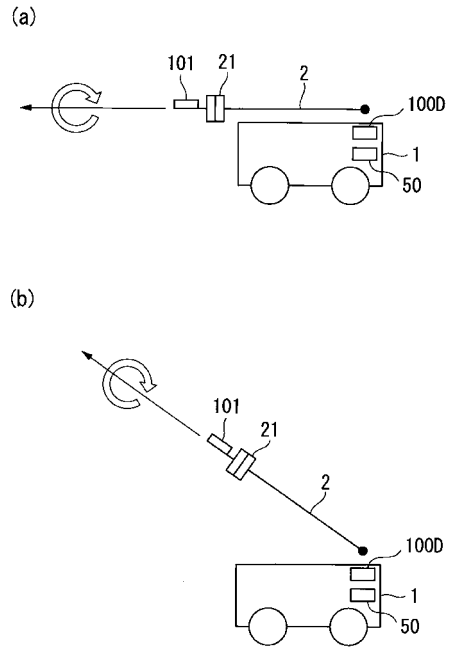


図 1 9

フロントページの続き

- (72)発明者 木内 裕介
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 大西 典子
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 小島 弘義
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 池田 健太郎
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 橋本 達矢
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内