

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6747038号  
(P6747038)

(45) 発行日 令和2年8月26日(2020.8.26)

(24) 登録日 令和2年8月11日(2020.8.11)

(51) Int.Cl. F I  
G O I S 7/497 (2006.01) G O I S 7/497

請求項の数 4 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2016-89917 (P2016-89917)                  (22) 出願日 平成28年4月27日 (2016. 4. 27)                  (65) 公開番号 特開2017-198555 (P2017-198555A)                  (43) 公開日 平成29年11月2日 (2017. 11. 2)                  審査請求日 平成31年1月15日 (2019. 1. 15)</p>	<p>(73) 特許権者 000005223                  富士通株式会社                  神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番                  1号                  (74) 代理人 100104190                  弁理士 酒井 昭徳                  (72) 発明者 山尾 創輔                  神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番                  1号 富士通株式会社内                  審査官 山下 雅人</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 情報処理装置、キャリブレーション方法、およびキャリブレーションプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

回転軸を中心にパン方向に回転する駆動装置と、

前記回転軸に対してチルト軸が垂直となるように前記駆動装置に取り付けられて前記回転軸を中心として円軌道に沿って移動される状態で、前記チルト軸を中心に回転する光学系により、前記チルト軸を中心に回転する方向であるチルト方向に走査しながらレーザーを物体に向けて照射して自装置から前記物体までの距離を測定する測定装置と、

前記回転軸に対する前記チルト方向の回転角であるチルト角が0度のときのレーザーを照射する方向の前記回転軸に対する角度を示す前記測定装置のチルト傾斜角、および/または、前記回転軸に垂直な面に対する前記チルト軸の角度を示す前記測定装置のロール傾斜角を表す補正パラメータを含み、前記測定装置により測定される距離と測距方向から計測点の3次元座標を導出する計測モデルを用いて、前記測定装置がレーザーを照射する範囲のうち、前記回転軸に対する前記チルト方向の回転角であるチルト角が、0～180度の有効範囲または180～360度の冗長範囲のいずれか一方の範囲を用いて距離が測定された各点の3次元座標を算出し、

前記一方の範囲を用いて前記各点の距離が測定されたときの測距方向に基づいて、前記有効範囲または前記冗長範囲のうちの他方の範囲を用いて前記各点の距離が測定されたときの測距方向を推定し、

推定した前記測距方向に基づいて、前記計測モデルを用いて、前記他方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標を算出し、

10

20

前記一方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標と、前記他方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標との差を最小化するように、前記補正パラメータの値を算出する制御装置と、

を有することを特徴とする情報処理装置。

【請求項2】

前記制御装置は、

算出した前記補正パラメータの値に基づいて、前記計測モデルを用いて、前記有効範囲を用いて距離が測定された各点の3次元座標を含む3次元モデルを生成し、

生成した前記3次元モデルを出力する、ことを特徴とする請求項1に記載の情報処理装置。

10

【請求項3】

回転軸を中心にパン方向に回転する駆動装置と、前記回転軸に対してチルト軸が垂直となるように前記駆動装置に取り付けられて前記回転軸を中心として円軌道に沿って移動される状態で、前記チルト軸を中心に回転する光学系により、前記チルト軸を中心に回転する方向であるチルト方向に走査しながらレーザを物体に向けて照射して自装置から前記物体までの距離を測定する測定装置と、を有する情報処理装置のコンピュータが、

前記回転軸に対する前記チルト方向の回転角であるチルト角が0度のときのレーザを照射する方向の前記回転軸に対する角度を示す前記測定装置のチルト傾斜角、および/または、前記回転軸に垂直な面に対する前記チルト軸の角度を示す前記測定装置のロール傾斜角を表す補正パラメータを含み、前記測定装置により測定される距離と測距方向から計測点の3次元座標を導出する計測モデルを用いて、前記測定装置がレーザを照射する範囲のうち、前記回転軸に対する前記チルト方向の回転角であるチルト角が、0～180度の有効範囲または180～360度の冗長範囲のいずれか一方の範囲を用いて距離が測定された各点の3次元座標を算出し、

20

前記一方の範囲を用いて前記各点の距離が測定されたときの測距方向に基づいて、前記有効範囲または前記冗長範囲のうちの他方の範囲を用いて前記各点の距離が測定されたときの測距方向を推定し、

推定した前記測距方向に基づいて、前記計測モデルを用いて、前記他方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標を算出し、

前記一方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標と、前記他方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標との差を最小化するように、前記補正パラメータの値を算出する、

30

処理を実行することを特徴とするキャリブレーション方法。

【請求項4】

回転軸を中心にパン方向に回転する駆動装置と、前記回転軸に対してチルト軸が垂直となるように前記駆動装置に取り付けられて前記回転軸を中心として円軌道に沿って移動される状態で、前記チルト軸を中心に回転する光学系により、前記チルト軸を中心に回転する方向であるチルト方向に走査しながらレーザを物体に向けて照射して自装置から前記物体までの距離を測定する測定装置と、を有する情報処理装置のコンピュータに、

前記回転軸に対する前記チルト方向の回転角であるチルト角が0度のときのレーザを照射する方向の前記回転軸に対する角度を示す前記測定装置のチルト傾斜角、および/または、前記回転軸に垂直な面に対する前記チルト軸の角度を示す前記測定装置のロール傾斜角を表す補正パラメータを含み、前記測定装置により測定される距離と測距方向から計測点の3次元座標を導出する計測モデルを用いて、前記測定装置がレーザを照射する範囲のうち、前記回転軸に対する前記チルト方向の回転角であるチルト角が、0～180度の有効範囲または180～360度の冗長範囲のいずれか一方の範囲を用いて距離が測定された各点の3次元座標を算出し、

40

前記一方の範囲を用いて前記各点の距離が測定されたときの測距方向に基づいて、前記有効範囲または前記冗長範囲のうちの他方の範囲を用いて前記各点の距離が測定されたときの測距方向を推定し、

50

推定した前記測距方向に基づいて、前記計測モデルを用いて、前記他方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標を算出し、

前記一方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標と、前記他方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標との差を最小化するように、前記補正パラメータの値を算出する、

処理を実行させることを特徴とするキャリブレーションプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、情報処理装置、キャリブレーション方法、およびキャリブレーションプログラムに関する。 10

【背景技術】

【0002】

従来、物体に向けてレーザを照射し、反射光が返ってくるまでの時間を測定することにより、物体までの距離を計測するセンサがある。また、センサ内で光学系を回転させて水平方向のスキャニングを行いながら物体までの距離を計測する、いわゆる2D(2次元: 2-Dimensions)センサがある。

【0003】

先行技術としては、例えば、レーザレンジファインダのペアから共通に観測される対象物の位置の誤差が最小となるように、センサネットワーク座標系での各レーザレンジファインダの位置および向きを校正する技術がある。 20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2015-127664号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、従来技術では、2Dセンサを駆動装置により回転させて3D計測を行おうとすると、2Dセンサを駆動装置に取り付ける際の組み立て誤差により、2Dセンサが正規姿勢から傾斜して計測誤差が発生してしまう場合がある。具体的には、2Dセンサが正規姿勢から傾斜していると計測空間に歪みが生じる。このため、2Dセンサの正規姿勢からの傾斜を校正することになるが、どの方向にどの程度傾斜しているのかを手で判断することが難しく、校正作業に時間や手間がかかる。 30

【0006】

一つの側面では、本発明は、測定装置の正規姿勢からの傾斜角を算出することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一態様によれば、回転軸を中心にパン方向に回転する駆動装置と、前記駆動装置に取り付けられて前記回転軸を中心として円軌道に沿って移動される状態で、前記パン方向に垂直なチルト方向に走査しながら光を物体に向けて照射して自装置から前記物体までの距離を測定する測定装置と、を有する情報処理装置が、前記測定装置の傾斜角を表す補正パラメータを含み、前記測定装置により測定される距離と測距方向から計測点の3次元座標を導出する計測モデルを用いて、前記測定装置が光を照射する範囲のうちの前記チルト方向に0~180度の有効範囲または前記チルト方向に180~360度の冗長範囲のいずれか一方の範囲を用いて距離が測定された各点の3次元座標を算出し、前記一方の範囲を用いて前記各点の距離が測定されたときの測距方向に基づいて、前記有効範囲または前記冗長範囲のうちの他方の範囲を用いて前記各点の距離が測定されたときの測距方向を推定し、推定した前記測距方向に基づいて、前記計測モデルを用いて、前記他方の範囲 50

を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標を算出し、前記一方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標と、前記他方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標との差を最小化するように、前記補正パラメータの値を算出する情報処理装置、キャリブレーション方法、およびキャリブレーションプログラムが提案される。

【発明の効果】

【0008】

本発明の一側面によれば、測定装置の正規姿勢からの傾斜角を算出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】図1は、実施の形態にかかる情報処理装置100の一実施例を示す説明図である 10

【図2】図2は、測定装置102の傾斜角を示す説明図である。

【図3】図3は、測定装置102が正規姿勢から傾斜している場合の計測誤差を示す説明図である。

【図4】図4は、情報処理装置100のキャリブレーション方法の一実施例を示す説明図である。

【図5】図5は、情報処理装置100のハードウェア構成例を示すブロック図である。

【図6】図6は、情報処理装置100の機能的構成例を示すブロック図である。

【図7】図7は、センサ座標系および世界座標系を示す説明図である。

【図8】図8は、測距方向( $\theta_h, \theta_v$ )の推定方法を示す説明図である。 20

【図9】図9は、補正パラメータpの探索例を示す説明図である。

【図10】図10は、情報処理装置100のキャリブレーション処理手順の一例を示すフローチャート(その1)である。

【図11】図11は、情報処理装置100のキャリブレーション処理手順の一例を示すフローチャート(その2)である。

【図12】図12は、モデル生成処理の具体的処理手順の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下に図面を参照して、本発明にかかる情報処理装置、キャリブレーション方法、およびキャリブレーションプログラムの実施の形態を詳細に説明する。 30

【0011】

(実施の形態)

図1は、実施の形態にかかる情報処理装置100の一実施例を示す説明図である。図1において、情報処理装置100は、駆動装置101と、測定装置102と、制御装置103と、を有する。駆動装置101は、回転軸110(図1中、Z軸に対応)を中心にパン方向d1に回転するモータである。

【0012】

以下の説明では、パン方向d1の回転角(図1中、X軸に対する角度)を「回転角 $\theta_h$ ( $\theta_h = 0 \sim 360^\circ$ (度))」と表記する場合がある。ただし、駆動装置101が初期位置のときの正面方向とX軸方向とが一致しているものとする。 40

【0013】

測定装置102は、チルト方向d2に走査しながら光(例えば、レーザ)を物体に向けて照射し、反射光を受光するまでの時間を用いて自装置から物体までの距離を測定する2Dセンサである。チルト方向d2は、チルト軸120を中心に回転する方向である。すなわち、測定装置102は、チルト軸120を中心に光学系(例えば、後述の図5に示す発光部511、受光部512等)を回転させながら、図1中の太線矢印で示す方向(照射方向)に光を照射する。

【0014】

情報処理装置100において、測定装置102は、パン方向d1に対してチルト方向d 50

2が垂直となるように駆動装置101に取り付けられる。そして、測定装置102は、回転軸110を中心として円軌道に沿って移動される状態で、チルト方向d2に走査しながら光(以下、「レーザ」という)を物体に向けて照射して物体までの距離を測定する。

【0015】

この際、測定装置102は、チルト方向d2に「 $0 \sim 225^\circ$  ( $0^\circ$ 以上 $225^\circ$ 未満)、 $315 \sim 360^\circ$ 」の範囲でレーザを照射する。チルト方向d2に「 $225 \sim 315^\circ$ 」の範囲は、レーザを照射しない死角部分となる。ただし、チルト方向d2に「 $180 \sim 360^\circ$ 」の範囲のうち、どの範囲にレーザを照射するかは任意に設定可能であり、例えば、チルト方向d2に「 $180 \sim 360^\circ$ 」の範囲にレーザを照射することにしてもよい(死角部分なし)。

10

【0016】

より詳細に説明すると、例えば、測定装置102は、チルト方向d2に「 $0 \sim 225^\circ$ 、 $315 \sim 360^\circ$ 」の範囲を1080分割して、1周当たり25[msec]で1080点の計測を行う。測定装置102は、駆動装置101によってパン方向d1に、 $0^\circ$ から $360^\circ$ まで $0.24^\circ$ ずつ移動される度に、この計測を行う。

【0017】

これにより、2Dセンサである測定装置102を利用して3D計測を行うことができる。3D計測とは、立体的なものの位置や形状をデータ化することである。3D計測によって得られるデータ(3次元モデル)は、例えば、各種シミュレーションやCAD(Computer Aided Design)などのアプリケーションに利用することができる。

20

【0018】

制御装置103は、測定装置102の正規姿勢からのズレ(傾斜)を解析するコンピュータである。測定装置102の正規姿勢からのズレは、測定装置102を駆動装置101に取り付ける際の組み立て誤差(あるいは、経年劣化)により生じるものであり、例えば、図2に示すような、測定装置102の傾斜角(チルト傾斜角 $\theta_t$ 、ロール傾斜角 $\theta_r$ )によって表される。

【0019】

図2は、測定装置102の傾斜角を示す説明図である。図2において、チルト傾斜角 $\theta_t$ は、チルト角 $\theta_v$ が $0^\circ$ のときのレーザを照射する方向の回転軸110に対する角度を表す。チルト角 $\theta_v$ は、回転軸110に対するチルト方向d2の角度である。すなわち、測定装置102の正規姿勢からのズレがなければ、チルト傾斜角 $\theta_t$ は $0^\circ$ となる。

30

【0020】

また、ロール傾斜角 $\theta_r$ は、回転軸110に垂直な面に対するチルト軸120の角度を表す。すなわち、測定装置102の正規姿勢からのズレがなければ、ロール傾斜角 $\theta_r$ は $0^\circ$ となる。ところが、測定装置102を駆動装置101により回転させて3D計測を行う場合、図2に示したように、測定装置102が正規姿勢から傾斜していると、計測誤差が発生して計測空間に歪みが生じてしまう。

【0021】

ここで、図3を用いて、測定装置102が正規姿勢から傾斜している場合の計測誤差について説明する。

40

【0022】

図3は、測定装置102が正規姿勢から傾斜している場合の計測誤差を示す説明図である。図3の(3-1)において、測定装置102の正規姿勢からの傾斜として、チルト傾斜角 $\theta_t$ が「 $\theta_t = -5^\circ$ 」である場合を想定する。この場合、チルト角 $\theta_v$ を「 $\theta_v = 160^\circ$ 」として、回転角 $\theta_h$ が $0 \sim 180^\circ$ の $10^\circ$ 間隔で床面までの距離を測定した際の計測点(レーザが照射されて距離が測定される点)は、(3-1)に示すように、らせん状にずれる。

【0023】

(3-1)において、印は、チルト傾斜角 $\theta_t$ が「 $\theta_t = -5^\circ$ 」である場合の計測点

50

を示す。一方、印は、測定装置102が正規姿勢から傾斜していない場合の計測点を示す。このように、測定装置102が正規姿勢から傾斜( $\alpha_r = -5^\circ$ )しているときの計測点「印」は、測定装置102が正規姿勢から傾斜していないときの計測点「印」に比べて、計測方向へずれることになり、計測誤差が発生する。

【0024】

図3の(3-2)において、測定装置102の正規姿勢からの傾斜として、ロール傾斜角 $\alpha_r$ が「 $\alpha_r = 5^\circ$ 」である場合を想定する。この場合、チルト角 $\alpha_v$ を「 $\alpha_v = 160^\circ$ 」として、回転角 $\alpha_h$ が $0 \sim 180^\circ$ の $10^\circ$ 間隔で床面までの距離を測定した際の計測点は、(3-2)に示すように、らせん状にずれる。

【0025】

(3-2)において、印は、ロール傾斜角 $\alpha_r$ が「 $\alpha_r = 5^\circ$ 」である場合の計測点を示す。一方、印は、測定装置102が正規姿勢から傾斜していない場合の計測点を示す。このように、測定装置102が正規姿勢から傾斜( $\alpha_r = 5^\circ$ )しているときの計測点「印」は、測定装置102が正規姿勢から傾斜していないときの計測点「印」に比べて、計測方向と垂直方向へずれることになり、計測誤差が発生する。

【0026】

したがって、測定装置102を駆動装置101に取り付けて3D計測を行う場合、測定装置102の正規姿勢からの傾斜(ズレ)を校正する必要がある。しかしながら、測定装置102の正規姿勢からの傾斜を手で判断して校正するには知識やスキルが必要となるとともに時間や手間がかかる。

【0027】

なお、2Dセンサを回転機構により回転させて3D計測を行う際に生じる2Dセンサの傾斜を校正する従来技術として、例えば、ある補正パラメータをもとに3次元点群を計算し、3次元点群から平面パッチを抽出して、平面パッチの平面性・面積を評価し、補正パラメータを修正していくものがある(例えば、下記参考文献参照)。

【0028】

参考文献: B o r e s i g h t C a l i b r a t i o n o f C o n s t r u c t i o n M i s a l i g n m e n t s f o r 3 D S c a n n e r s B u i l t w i t h a 2 D L a s e r R a n g e f i n d e r R o t a t i n g o n I t s O p t i c a l C e n t e r

【0029】

ところが、この従来技術では、凹凸面(例えば、砂利道やレンガ壁)や曲面構造はノイズとなるため、一様に平らな面が環境中に存在する必要がある。また、平面パッチを抽出可能な密度・範囲の計測データを評価する必要がある。このため、キャリブレーションが適用可能な環境条件や計測条件に制約が生じ、キャリブレーションのロバスト性や計測機器の精度・利便性を損なうおそれがある。

【0030】

そこで、本実施の形態では、測定装置102の有効範囲外の計測(冗長スキャン)を利用して、測定装置102の傾斜を補正するための補正パラメータを求めることで、測定装置102の正規姿勢からの傾斜に伴う計測誤差を自動校正可能にするキャリブレーション方法について説明する。

【0031】

ここで、測定装置102の有効範囲および冗長範囲について説明する。測定装置102は、駆動装置101に取り付けられて回転軸110を中心として円軌道に沿って移動される。したがって、測定装置102がチルト方向 $d_2$ に $0 \sim 180^\circ$ の範囲を走査(スキャン)すれば、3次元空間全体の3D計測が行えることになる。

【0032】

換言すれば、測定装置102がレーザを照射する範囲のうち、チルト方向に $180 \sim 360^\circ$ ( $180^\circ < \alpha_v < 360^\circ$ )の範囲は、レーザを照射しなくてもよい範囲となる。このため、チルト方向に $0 \sim 180^\circ$ ( $0^\circ < \alpha_v < 180^\circ$ )の範囲を「有効範囲」

10

20

30

40

50

と表記し、チルト方向に  $180 \sim 360^\circ$  ( $180^\circ < \nu < 360^\circ$ ) の範囲を「冗長範囲」と表記する。

【0033】

例えば、測定装置102は、チルト方向d2に「 $0 \sim 225^\circ$ 、 $315 \sim 360^\circ$ 」の範囲でレーザを照射する。この場合、測定装置102がレーザを照射する範囲のうち、「 $0 \sim 180^\circ$ 」は有効範囲であり、「 $180 \sim 225^\circ$ 、 $315 \sim 360^\circ$ 」は冗長範囲となる。

【0034】

つぎに、図4を用いて、実施の形態にかかる情報処理装置100のキャリブレーション方法の一実施例について説明する。

10

【0035】

図4は、情報処理装置100のキャリブレーション方法の一実施例を示す説明図である。図4において、XY平面に略平行な楕円図形は、パン方向d1の回転を示している。また、XY平面に略直交する円形図形は、チルト方向d2の回転を示している。円形図形の中心は、測定装置102の中心（例えば、光学中心）を示している。

【0036】

(1) 情報処理装置100は、計測モデルMLを用いて、有効範囲または冗長範囲のいずれか一方の範囲を用いて距離が測定された各点の3次元座標を算出する。ここで、計測モデルMLは、測定装置102の傾斜角を表す補正パラメータpを含み、測定装置102により測定される距離と測距方向から計測点の3次元座標を導出する関数であり、例えば

20

【0037】

測定装置102の傾斜角は、例えば、測定装置102のチルト傾斜角 $\theta_t$ やロール傾斜角 $\theta_r$ である。補正パラメータpは、測定装置102の正規姿勢からのズレ（傾斜）により生じる3次元座標の誤差を補正するための変数であり、例えば、測定装置102のチルト傾斜角 $\theta_t$ および/またはロール傾斜角 $\theta_r$ である。

【0038】

測距方向は、測定装置102により計測点の距離が測定されたときのパン方向d1の角度（水平インデックス：回転角 $\theta_h$ ）と、チルト方向d2の角度（垂直インデックス：チルト角 $\nu$ ）とから特定される方向である。以下の説明では、測定装置102により距離

30

【0039】

図4の例では、一方の範囲が「冗長範囲（ $180^\circ < \nu < 225^\circ$ 、 $315^\circ < \nu < 360^\circ$ ）」である場合を例に挙げて、冗長範囲を用いて距離が測定された、ある計測点Pの3次元座標 $M_C$ が示されている。なお、図4の例では、1点の計測点Pのみに着目しているが、冗長範囲を用いて距離が測定された各計測点Pについて3次元座標が算出される。

【0040】

以下の説明では、測定装置102により冗長範囲を用いて測定された計測点Pの距離（測距値L）と測距方向（ $\theta_h$ 、 $\nu$ ）とを対応付けて表す情報（レンジデータ）を「冗長データL（ $\theta_h$ 、 $\nu$ ）」と表記する場合がある。ただし、 $\theta_h$ は、計測点Pの距離が測定されたときの回転角である。 $\nu$ は、計測点Pの距離が測定されたときのチルト角である。

40

【0041】

(2) 情報処理装置100は、一方の範囲を用いて各点の距離が測定されたときの測距方向に基づいて、有効範囲または冗長範囲のうちの他方の範囲を用いて各点の距離が測定されたときの測距方向を推定する。ここで、測定装置102は回転軸110を中心として円軌道に沿って移動されるため、有効範囲または冗長範囲のうちの一方の範囲で距離が測定された点は、他方の範囲でも距離が測定されるはずである。

【0042】

情報処理装置100は、この対称性をもとに、他方の範囲を用いて各点の距離が測定さ

50

れたときの測距方向を幾何学的に推定する。そして、情報処理装置 100 は、推定した測距方向に基づいて、他方の範囲を用いて測定された各点の距離と測距方向とを対応付けて表す情報（レンジデータ）を取得する。

【0043】

なお、測距方向を推定する具体的な処理内容については、図 8 を用いて後述する。

【0044】

図 4 の例では、冗長範囲を用いて計測点 P の距離が測定されたときの測距方向 ( $\theta_h, \theta_v$ ) に基づいて、有効範囲 ( $0^\circ < \theta_v < 180^\circ$ ) を用いて計測点 P の距離が測定されたときの測距方向が推定される。そして、冗長データ L ( $\theta_h, \theta_v$ ) に対応する有効データ L ( $\theta'_h, \theta'_v$ ) が取得される。

10

【0045】

有効データ L ( $\theta'_h, \theta'_v$ ) は、測定装置 102 により有効範囲を用いて測定された計測点 P の距離（測距値  $L'$ ）と測距方向 ( $\theta'_h, \theta'_v$ ) とを対応付けて表す情報（レンジデータ）である。ただし、 $\theta'_h$  は、計測点 P の距離が測定されたときの回転角である。 $\theta'_v$  は、計測点 P の距離が測定されたときのチルト角である。

【0046】

(3) 情報処理装置 100 は、一方の範囲を用いて距離が測定された各点の 3 次元座標と、他方の範囲を用いて距離が測定された各点の 3 次元座標との差を最小化するように、補正パラメータ  $p$  の値を算出する。ここで、測定装置 102 の正規姿勢からの傾斜がなければ、ある点について、有効範囲および冗長範囲それぞれを用いて測定される距離は一致し、当該距離から導出される 3 次元座標は一致する。

20

【0047】

そこで、本実施の形態では、有効範囲を用いて測定された各点の距離から導出される 3 次元座標と、冗長範囲を用いて計測された各点の距離から導出される 3 次元座標との誤差を最小化することにより、測定装置 102 の傾斜の補正に最適な補正パラメータ  $p$  の値を算出する。

【0048】

図 4 の例では、情報処理装置 100 は、冗長データ L ( $\theta_h, \theta_v$ ) に対応する有効データ L ( $\theta'_h, \theta'_v$ ) に基づいて、計測モデル ML を用いて、有効範囲を用いて距離が測定された計測点 P の 3 次元座標  $M'_c$  を算出する。そして、情報処理装置 100 は、3 次元座標  $M_c$  と 3 次元座標  $M'_c$  との差を表す 3 次元誤差 を最小化するように、補正パラメータ  $p$  の値を算出する。

30

【0049】

補正パラメータ  $p$  の計算には、例えば、Nelder - Mead 法や Levenberg - Marquardt 法などの反復的な非線形最適化を適用することができる。具体的には、例えば、情報処理装置 100 は、補正パラメータ  $p$  の値を微少に変化させながら、上記 (1) ~ (3) の処理を反復することにより、3 次元誤差 を最小化するような、補正パラメータ  $p$  の値を探索する。

【0050】

図 1 の例では、3 次元誤差 がほぼ 0 となる補正パラメータ  $p$  の値、すなわち、測定装置 102 のチルト傾斜角  $\theta_t$ 、ロール傾斜角  $\theta_r$  が算出される。これにより、測定装置 102 の傾斜角（チルト傾斜角  $\theta_t$ 、ロール傾斜角  $\theta_r$ ）を反映した校正済みの計測点 P の 3 次元座標を求めることができる。

40

【0051】

このように、情報処理装置 100 によれば、測定装置 102 の有効範囲外の計測（冗長スキャン）を利用して、有効／冗長範囲の計測誤差を評価・最小化することで、測定装置 102 の傾斜を補正するための補正パラメータ  $p$  を計算して、測定装置 102 の正規姿勢からの傾斜に伴う計測誤差を校正することができる。

【0052】

（情報処理装置 100 のハードウェア構成例）

50



つぎに、情報処理装置100のハードウェア構成例について説明する。

【0053】

図5は、情報処理装置100のハードウェア構成例を示すブロック図である。図5において、情報処理装置100は、CPU(Central Processing Unit)501と、メモリ502と、I/F(Interface)503と、駆動装置101と、測定装置102と、を有する。また、各構成部は、バス500によってそれぞれ接続される。

【0054】

ここで、CPU501は、情報処理装置100の全体の制御を司る。メモリ502は、例えば、ROM(Read Only Memory)、RAM(Random Access Memory)およびフラッシュROMなどを有する。具体的には、例えば、フラッシュROMやROMが各種プログラムを記憶し、RAMがCPU501のワークエリアとして使用される。メモリ502に記憶されるプログラムは、CPU501にロードされることで、コーディングされている処理をCPU501に実行させる。

【0055】

I/F503は、有線または無線のネットワークに接続され、ネットワークを介して他のコンピュータ(例えば、利用者のパーソナル・コンピュータ)に接続される。そして、I/F503は、ネットワークと自装置内部とのインターフェースを司り、他のコンピュータからのデータの入出力を制御する。なお、図1に示した制御装置103は、例えば、CPU501と、メモリ502と、I/F503と、を含む。

【0056】

駆動装置101は、図1に示したように、回転軸110を中心にパン方向d1に回転するモータである。測定装置102は、発光部511と、受光部512と、駆動部513と、センサ制御部514と、を含む。発光部511は、レーザを照射する光源であり、例えば、半導体レーザである。受光部512は、反射光を受光する。駆動部513は、チルト軸120(図1参照)を中心にチルト方向d2に発光部511を回転させる。センサ制御部514は、チルト方向d2に走査しながらレーザを物体に向けて照射し、反射光を受光するまでの時間を用いて自装置から物体までの距離を測定する。

【0057】

なお、情報処理装置100は、上述した構成部のほかに、例えば、ディスクドライブ、ディスク、SSD(Solid State Drive)、入力装置、ディスプレイなどを有することにしてもよい。

【0058】

(情報処理装置100の機能的構成例)

図6は、情報処理装置100の機能的構成例を示すブロック図である。図6において、情報処理装置100は、取得部601と、算出部602と、対応付け部603と、評価部604と、生成部605と、出力部606と、を含む構成である。取得部601~出力部606は制御部となる機能であり、具体的には、例えば、図5に示したメモリ502に記憶されたプログラムをCPU501に実行させることにより、または、I/F503により、その機能を実現する。各機能部の処理結果は、例えば、メモリ502に記憶される。

【0059】

取得部601は、測定装置102により測定された計測点Pまでの距離(測距値L)と測距方向( $\theta_h, \theta_v$ )とを対応付けて表すレンジデータL( $\theta_h, \theta_v$ )を取得する。具体的には、例えば、取得部601は、全周のレンジデータ群を取得する( $0^\circ < \theta_h < 360^\circ$ 、 $0^\circ < \theta_v < 360^\circ$ (ただし、死角部分を除く))。

【0060】

算出部602は、計測モデルMLを用いて、測定装置102の有効範囲または冗長範囲のいずれか一方の範囲を用いて距離が測定された計測点Pの3次元座標 $M_C$ を算出する。以下の説明では、有効範囲または冗長範囲のいずれか一方の範囲として「冗長範囲」を例に挙げて説明する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 1 】

具体的には、例えば、算出部 6 0 2 は、全周のレンジデータ群から冗長データ  $L(\theta_h, \theta_v)$  を選択する。そして、算出部 6 0 2 は、選択した冗長データ  $L(\theta_h, \theta_v)$  に基づいて、計測モデル  $M_L$  を用いて、計測点  $P$  の 3 次元座標  $M_C$  を算出する。ここで、図 7 を用いて、計測モデル  $M_L$  について説明する。

## 【 0 0 6 2 】

図 7 は、センサ座標系および世界座標系を示す説明図である。図 7 において、センサ座標系は、 $X_S$  軸（不図示）と  $Y_S$  軸と  $Z_S$  軸とからなる直交座標系である（ただし、 $X_S = 0$ ）。センサ座標系の原点  $O_S$  は、測定装置 1 0 2 の中心（例えば、光学中心）である。世界座標系は、図 1 に示したような、 $X$  軸と  $Y$  軸と  $Z$  軸とからなる直交座標系である。

10

## 【 0 0 6 3 】

計測モデル  $M_L$  は、例えば、下記式 (1) ~ (4) により表すことができる。ただし、 $M_C$  は、世界座標系における計測点  $P$  の位置を示す 3 次元座標である。 $M_S$  は、センサ座標系における計測点  $P$  の位置を示す 3 次元座標であり、例えば、下記式 (2) により表される。 $L$  は、測距値である。 $\theta_h, \theta_v$  は、測距方向を示す水平インデックス（回転角）、垂直インデックス（チルト角）である。 $R_C$  は、回転を表しており、例えば、下記式 (3) により表される。 $R_x, R_y, R_z$  は、それぞれ  $X, Y, Z$  軸周りの回転行列である。 $\phi_t, \phi_r$  は、補正パラメータ  $p$  である。 $t$  は、並進を表しており、例えば、下記式 (4) により表される。 $D$  は、回転軸 1 1 0 から測定装置 1 0 2 の中心までの最短距離を表すオフセット値である（例えば、図 1 参照）。

20

## 【 0 0 6 4 】

## 【 数 1 】

$$M_C = [X, Y, Z]^T = R_C(M_S + t) \quad \dots(1)$$

$$M_S = [X_S, Y_S, Z_S]^T = [0, L\cos\theta_v, L\sin\theta_v]^T \quad \dots(2)$$

$$R_C = R_z(\theta_h)R_y(\phi_r)R_x(\phi_t) \quad \dots(3)$$

$$t = [D, 0, 0]^T \quad \dots(4)$$

## 【 0 0 6 5 】

この場合、算出部 6 0 2 は、冗長データ  $L(\theta_h, \theta_v)$  に基づいて、上記式 (1) ~ (4) を用いて、計測点  $P$  の 3 次元座標  $M_C$  を算出する。なお、3 次元座標  $M_C$  の算出は、例えば、全周のレンジデータ群に含まれる全ての冗長データ  $L(\theta_h, \theta_v)$  について行われる。

30

## 【 0 0 6 6 】

対応付け部 6 0 3 は、有効範囲または冗長範囲のうち、一方の範囲を用いて距離が測定された計測点  $P$  の 3 次元座標  $M_C$  と、他方の範囲を用いて距離が測定された計測点  $P$  の 3 次元座標  $M'_C$  とを対応付ける。ここでは、一方の範囲は「冗長範囲」であり、他方の範囲は「有効範囲」である。

## 【 0 0 6 7 】

このため、対応付け部 6 0 3 は、冗長範囲を用いて距離が測定された計測点  $P$  の 3 次元座標  $M_C$  と、有効範囲を用いて距離が測定された計測点  $P$  の 3 次元座標  $M'_C$  との対応付けを行う。この場合、まず、対応付け部 6 0 3 は、冗長範囲を用いて計測点  $P$  の距離（測距値  $L$ ）が測定されたときの測距方向（ $\theta_h, \theta_v$ ）に基づいて、有効範囲を用いて計測点  $P$  の距離（測距値  $L'$ ）が測定されたときの測距方向（ $\theta'_h, \theta'_v$ ）を推定する。

40

## 【 0 0 6 8 】

ここで、図 8 を用いて、測距方向（ $\theta'_h, \theta'_v$ ）の推定方法について説明する。

## 【 0 0 6 9 】

図 8 は、測距方向（ $\theta'_h, \theta'_v$ ）の推定方法を示す説明図である。図 8 に示すように、測定装置 1 0 2 が正規姿勢から傾斜（チルト傾斜角  $\phi_t$ 、ロール傾斜角  $\phi_r$ ）していると、測定装置 1 0 2 は、回転軸 1 1 0 を中心として点線で示す円軌道に沿って移動される。

50

点 $M_C$ は、冗長範囲を用いて距離が測定された、測距方向 $(\theta_h, \theta_v)$ の計測点 $P$ を示している。

【0070】

この場合、有効範囲を用いて計測点 $P$ の距離が測定されるときにの水平インデックスは、(水平インデックス： $\theta_h$ )との対称的な関係から、(上面図)に示すような「 $\theta'_h$ 」となる。このため、(水平インデックス： $\theta'_h$ )は、例えば、下記式(5)を用いて表すことができる。ただし、 $X, Y$ は、計測点 $P$ の3次元座標 $M_C$ の $X, Y$ 座標である。

【0071】

【数2】

$$\theta'_h = \theta_h + 2\cos^{-1}\left(\frac{D\cos\phi_r}{\sqrt{X^2 + Y^2}}\right) \quad \dots(5)$$

10

【0072】

また、有効範囲を用いて計測点 $P$ の距離が測定されるときにの垂直インデックスは、(垂直インデックス： $\theta_v$ )との対称的な関係から、(側面図)に示すような「 $\theta'_v$ 」となる。このため、(垂直インデックス： $\theta'_v$ )は、例えば、下記式(6)を用いて表すことができる。

【0073】

【数3】

$$\theta'_v = \pi - \theta_v + 2\phi_t \quad \dots(6)$$

20

【0074】

これにより、対応付け部603は、冗長データ $L(\theta_h, \theta_v)$ に基づいて、上記式(5)および(6)を用いて、有効範囲を用いて計測点 $P$ の距離(測距値 $L'$ )が測定されたときの測距方向 $(\theta'_h, \theta'_v)$ を推定することができる。

【0075】

つぎに、対応付け部603は、推定した測距方向 $(\theta'_h, \theta'_v)$ に基づいて、全周のレンジデータ群から、冗長データ $L(\theta_h, \theta_v)$ に対応する有効データ $L(\theta'_h, \theta'_v)$ を取得する。具体的には、例えば、対応付け部603は、全周のレンジデータ群から、測距方向が推定した測距方向 $(\theta'_h, \theta'_v)$ に最も近いレンジデータを、有効データ $L(\theta'_h, \theta'_v)$ として探索する(ただし、 $180^\circ < \theta'_v < 225^\circ$ 、 $315^\circ < \theta'_v < 360^\circ$ )。

30

【0076】

ここで、測距方向が推定した測距方向 $(\theta'_h, \theta'_v)$ に最も近いレンジデータとは、例えば、推定した測距方向 $(\theta'_h, \theta'_v)$ との水平/垂直インデックスそれぞれの角度差の総和が最小となるレンジデータである。また、有効データ $L(\theta'_h, \theta'_v)$ の探索手法としては、例えば、kd木による最近傍探索を用いることができる。

【0077】

これにより、冗長データ $L(\theta_h, \theta_v)$ に対応する有効データ $L(\theta'_h, \theta'_v)$ を取得することができる。ただし、水平/垂直インデックスそれぞれの角度差の総和の最小値が、予め決められた閾値以上となる場合は、対応付け部603は、冗長データ $L(\theta_h, \theta_v)$ に対応する有効データがないと判断することにしてもよい(探索失敗)。

40

【0078】

つぎに、対応付け部603は、取得した有効データ $L(\theta'_h, \theta'_v)$ に基づいて、計測モデル $M_L$ を用いて、有効範囲を用いて距離(測距値 $L'$ )が測定された計測点 $P$ の3次元座標 $M'_C$ を算出する。具体的には、例えば、対応付け部603は、下記式(7)~(10)を用いて、計測点 $P$ の3次元座標 $M'_C$ を算出する。

【0079】

## 【数4】

$$M'_C = [X', Y', Z']^T = R'_C(M'_S + t) \quad \dots(7)$$

$$M'_S = [X'_S, Y'_S, Z'_S]^T = [0, L' \cos \theta'_v, L' \sin \theta'_v]^T \quad \dots(8)$$

$$R'_C = R_z(\theta'_h) R_y(\phi_r) R_x(\phi_t) \quad \dots(9)$$

$$t = [D, 0, 0]^T \quad \dots(10)$$

## 【0080】

そして、対応付け部603は、算出部602によって算出された計測点Pの3次元座標 $M_C$ と、算出した計測点Pの3次元座標 $M'_C$ とを対応付ける。なお、3次元座標 $M_C$ と3次元座標 $M'_C$ との対応付けは、例えば、3次元座標 $M_C$ が算出された計測点Pごとに行われる。 10

## 【0081】

評価部604は、対応付けられた計測点Pの3次元座標 $M_C$ と、計測点Pの3次元座標 $M'_C$ との差を最小化するように、補正パラメータpの値を算出する。ここで、補正パラメータpは、測定装置102のチルト傾斜角 $\phi_t$ および/またはロール傾斜角 $\phi_r$ である。具体的には、例えば、評価部604は、下記式(11)を用いて、各計測点Pの3次元座標 $M_C$ と3次元座標 $M'_C$ との差を表す3次元誤差 $\varepsilon$ をそれぞれ算出する。

## 【0082】

## 【数5】

$$\varepsilon = |M_C - M'_C|_2 \quad \dots(11) \quad 20$$

## 【0083】

つぎに、評価部604は、例えば、下記式(12)を用いて、各計測点Pの3次元座標 $M_C$ と3次元座標 $M'_C$ との差を表す3次元誤差 $\varepsilon$ を累積することにより、評価値 $E(p)$ を算出する。この際、評価部604は、例えば、閾値 $\varepsilon_{th}$ 以下となる3次元誤差 $\varepsilon$ のみを累積することにより、定義域に制限を設けて外れ値を除外することにしてもよい。

## 【0084】

## 【数6】

$$E(p) = \int_{\Omega_r} \varepsilon^2 \quad \dots(12) \quad 30$$

$$\text{ただし、} \Omega_r = \{(\theta_h, \theta_v) \mid 0^\circ \leq \theta_h < 360^\circ, 180^\circ \leq \theta_v < 225^\circ, 315^\circ \leq \theta_v < 360^\circ\}$$

## 【0085】

そして、評価部604は、例えば、下記式(13)を用いて、評価値 $E(p)$ を最小化するような、補正パラメータpの値を探索する。ただし、補正パラメータpを「 $p = (\phi_t, \phi_r)$ 」とする。補正パラメータpの初期値 $p_0$ は、「 $p_0 = (0, 0)$ 」、あるいは、解析的な手法により推定した値に設定される。

## 【0086】

## 【数7】

$$\hat{p} = (\hat{\phi}_t, \hat{\phi}_r) = \arg \min_p E(p) \quad \dots(13) \quad 40$$

## 【0087】

ここで、図9を用いて、評価値 $E(p)$ を最小化する補正パラメータpの探索例について説明する。

## 【0088】

図9は、補正パラメータpの探索例を示す説明図である。図9において、グラフ900は、 $\phi_t$ と $\phi_r$ との組み合わせに応じて変化する評価値 $E(p)$ の大きさを表す。ここでは、評価部604は、Nelder-Mead法を用いて、補正パラメータpの値を微妙に変化させながら、評価値 $E(p)$ を最小化する補正パラメータpの値(図9中、「 $p^*$ 」) 50

)を探索する。

【0089】

より詳細に説明すると、評価部604は、評価値 $E(p)$ の大きさがグラフ900の谷に向かうように、補正パラメータ $p$ の値を微少に変化させていく。すなわち、評価部604が、補正パラメータ $p$ の値を更新するたびに、算出部602、対応付け部603が上述した処理を行う。そして、評価部604は、評価値 $E(p)$ の大きさの変化量(減少量)が閾値未満となったら収束したと判断し、そのときの補正パラメータ $p$ の値を、評価値 $E(p)$ を最小化する補正パラメータ $p^*$ とする。

【0090】

これにより、各計測点 $P$ の3次元座標 $M'_c$ との差を最小化するような補正パラメータ $p$ の値を算出することができる。

10

【0091】

なお、ここでは、補正パラメータ $p$ の値を微少に変化させながら、グラフ900の谷となる補正パラメータ $p^*$ を探索する場合を例に挙げて説明したが、これに限らない。例えば、評価部604は、 $\theta_t$ と $\theta_r$ の様々な組み合わせについて、評価値 $E(p)$ の大きさを事前に計算し、評価値 $E(p)$ の大きさが最小となるときの組み合わせを、補正パラメータ $p^*$ とすることにしてもよい。

【0092】

図6の説明に戻り、生成部605は、算出された補正パラメータ $p$ の値に基づいて、3次元モデル $Q$ を生成する。ここで、3次元モデル $Q$ は、情報処理装置100の周囲環境を表す3次元モデルであり、測定装置102の傾斜角(チルト傾斜角 $\theta_t$ 、ロール傾斜角 $\theta_r$ )を反映した校正済みの各計測点 $P$ の3次元座標 $M_c$ を含む情報である。

20

【0093】

具体的には、例えば、生成部605は、全周のレンジデータ群から、有効範囲を用いて測定された計測点 $P$ の距離(測距値 $L$ )と測距方向( $\theta_h, \theta_v$ )とを対応付けて表すレンジデータ $L(\theta_h, \theta_v)$ を取得する。そして、生成部605は、取得したレンジデータと、算出された補正パラメータ $p$ ( $p = (\theta_t, \theta_r)$ )の値とに基づいて、上記式(1)~(4)を用いて、計測点 $P$ の3次元座標 $M_c$ を算出する。

【0094】

3次元座標 $M_c$ の算出は、例えば、全周のレンジデータ群のうちの有効範囲を用いて距離が測定された全てのレンジデータ $L(\theta_h, \theta_v)$ について行われる。これにより、測定装置102により有効範囲を用いて距離が測定された各計測点 $P$ の3次元座標 $M_c$ を含む3次元モデル $Q$ を生成することができる。

30

【0095】

出力部606は、生成された3次元モデル $Q$ を出力する。出力部606の出力形式としては、例えば、I/F503による外部のコンピュータへの送信、メモリ502への記憶、不図示のディスプレイへの表示、不図示のプリンタへの印刷出力などがある。

【0096】

なお、上述した説明では、有効範囲または冗長範囲のいずれか一方の範囲として、「冗長範囲」を例に挙げて説明したが、一方の範囲を「有効範囲」とし、他方の範囲を「冗長範囲」とすることにしてもよい。ただし、この場合、冗長範囲に死角部分があれば、対応する冗長データがない有効データについても処理(探索)することになる。このため、一方の範囲を「冗長範囲」とし、他方の範囲を「有効範囲」とするほうが処理効率的に望ましいといえる。

40

【0097】

(情報処理装置100のキャリブレーション処理手順)

つぎに、図10および図11を用いて、情報処理装置100のキャリブレーション処理手順について説明する。

【0098】

図10および図11は、情報処理装置100のキャリブレーション処理手順の一例を示

50

すフローチャートである。図10のフローチャートにおいて、まず、情報処理装置100は、駆動装置101により測定装置102を回転させて距離を測定することにより、全周( $0^\circ < \theta_h < 360^\circ$ 、 $0^\circ < \theta_v < 360^\circ$  (ただし、死角部分を除く))のレンジデータ群を取得する(ステップS1001)。

【0099】

そして、情報処理装置100は、補正パラメータ $p$ の初期値 $p_0$ を設定する(ステップS1002)。ただし、補正パラメータ $p$ を「 $p = (\theta_t, \theta_r)$ 」とする。初期値 $p_0$ としては、例えば、「 $p_0 = (0, 0)$ 」、あるいは、解析的な手法により推定した値が設定される。

【0100】

つぎに、情報処理装置100は、取得した全周のレンジデータ群から、未選択の冗長データ $L(\theta_h, \theta_v)$ を選択する(ステップS1003)。そして、情報処理装置100は、選択した冗長データ $L(\theta_h, \theta_v)$ に基づいて、上記式(1)~(4)を用いて、計測点 $P$ の3次元座標 $M_C$ を算出する(ステップS1004)。

【0101】

つぎに、情報処理装置100は、冗長データ $L(\theta_h, \theta_v)$ に基づいて、上記式(5)および(6)を用いて、有効範囲を用いて計測点 $P$ の距離(測距値 $L'$ )が測定されたときの測距方向(水平インデックス： $\theta'_h$ 、垂直インデックス： $\theta'_v$ )を推定する(ステップS1005)。そして、情報処理装置100は、推定した測距方向( $\theta'_h, \theta'_v$ )に基づいて、全周のレンジデータ群から、冗長データ $L(\theta_h, \theta_v)$ に対応する有効データ $L(\theta'_h, \theta'_v)$ を取得する(ステップS1006)。

【0102】

つぎに、情報処理装置100は、取得した有効データ $L(\theta'_h, \theta'_v)$ に基づいて、上記式(7)~(10)を用いて、計測点 $P$ の3次元座標 $M'_C$ を算出する(ステップS1007)。そして、情報処理装置100は、計測点 $P$ の3次元座標 $M_C$ と、算出した計測点 $P$ の3次元座標 $M'_C$ とを対応付ける(ステップS1008)。

【0103】

つぎに、情報処理装置100は、全周のレンジデータ群から選択されていない未選択の冗長データ $L(\theta_h, \theta_v)$ があるか否かを判断する(ステップS1009)。ここで、未選択の冗長データ $L(\theta_h, \theta_v)$ がある場合(ステップS1009: Yes)、情報処理装置100は、ステップS1003に戻る。

【0104】

一方、未選択の冗長データ $L(\theta_h, \theta_v)$ がない場合(ステップS1009: No)、情報処理装置100は、図11に示すステップS1101に移行する。

【0105】

図11のフローチャートにおいて、まず、情報処理装置100は、上記式(11)を用いて、ステップS1008において対応付けた3次元座標 $M_C$ と3次元座標 $M'_C$ との各ペアの3次元誤差 $\Delta$ をそれぞれ算出する(ステップS1101)。つぎに、情報処理装置100は、算出した各ペアの3次元誤差 $\Delta$ に基づいて、上記式(12)を用いて、評価値 $E(p)$ を算出する(ステップS1102)。

【0106】

そして、情報処理装置100は、評価値 $E(p)$ を最小化するように、補正パラメータ $p$ の値を微小に変化させて、補正パラメータ $p$ の値を更新する(ステップS1103)。つぎに、情報処理装置100は、評価値 $E(p)$ の大きさの変化量(減少量)が収束したか否かを判断する(ステップS1104)。

【0107】

ここで、収束していない場合(ステップS1104: No)、情報処理装置100は、図10に示したステップS1003に戻る。一方、収束した場合(ステップS1104: Yes)、情報処理装置100は、更新した補正パラメータ $p$ ( $p = (\theta_t, \theta_r)$ )の値に基づいて、3次元モデル $Q$ を生成するモデル生成処理を実行する(ステップS1105)

10

20

30

40

50

)。

【0108】

なお、モデル生成処理の具体的な処理手順については、図12を用いて後述する。

【0109】

そして、情報処理装置100は、生成した3次元モデルQを出力して(ステップS1106)、本フローチャートによる一連の処理を終了する。これにより、駆動装置101に取り付ける際の組み立て誤差により生じる測定装置102の正規姿勢からの傾斜に伴う計測誤差を自動校正することができる。

【0110】

つぎに、図12を用いて、図11に示したステップS1105のモデル生成処理の具体的な処理手順について説明する。

【0111】

図12は、モデル生成処理の具体的な処理手順の一例を示すフローチャートである。図12のフローチャートにおいて、まず、情報処理装置100は、全周のレンジデータ群を取得する(ステップS1201)。そして、情報処理装置100は、水平インデックス(回転角)： $\theta_h$ を「0」とし、3次元モデルQを{ }とする(ステップS1202)。

【0112】

つぎに、情報処理装置100は、垂直インデックス(チルト角)： $\theta_v$ を「0」とする(ステップS1203)。そして、情報処理装置100は、上記式(1)~(4)を用いて、レンジデータL( $\theta_h, \theta_v$ )と補正パラメータp( $p = (\theta_t, \theta_r)$ )の値とに基づいて、3次元座標 $M_c$ を算出する(ステップS1204)。

【0113】

つぎに、情報処理装置100は、算出した3次元座標 $M_c$ を3次元モデルQ{ }に追加する(ステップS1205)。そして、情報処理装置100は、垂直インデックス： $\theta_v$ を「 $\theta_v + \Delta\theta_v$ 」として(ステップS1206)、 $\theta_v$ が $180^\circ$ よりも大きくなったか否かを判断する(ステップS1207)。ただし、 $\Delta\theta_v$ は、垂直インデックス： $\theta_v$ における増分である。

【0114】

ここで、 $\theta_v$ が $180^\circ$ 以下の場合(ステップS1207：No)、情報処理装置100は、ステップS1204に戻る。一方、 $\theta_v$ が $180^\circ$ より大きい場合(ステップS1207：Yes)、情報処理装置100は、水平インデックス： $\theta_h$ を「 $\theta_h + \Delta\theta_h$ 」として(ステップS1208)、 $\theta_h$ が $360^\circ$ 以上となったか否かを判断する(ステップS1209)。ただし、 $\Delta\theta_h$ は、水平インデックス： $\theta_h$ における増分である。

【0115】

ここで、 $\theta_h$ が $360^\circ$ 未満の場合(ステップS1209：No)、情報処理装置100は、ステップS1203に戻る。一方、 $\theta_h$ が $360^\circ$ 以上の場合(ステップS1209：Yes)、情報処理装置100は、モデル生成処理を呼び出したステップに戻る。

【0116】

これにより、測定装置102の傾斜角(チルト傾斜角 $\theta_t$ 、ロール傾斜角 $\theta_r$ )を反映した校正済みの各計測点Pの3次元座標 $M_c$ を含む3次元モデルQを生成することができる。

【0117】

以上説明したように、実施の形態にかかる情報処理装置100によれば、測定装置102の傾斜角を表す補正パラメータpを含む計測モデルMを用いて、測定装置102の冗長範囲を用いて距離が測定された各計測点Pの3次元座標 $M_c$ を算出することができる。また、情報処理装置100によれば、冗長範囲を用いて計測点Pの距離(測距値L)が測定されたときの測距方向( $\theta_h, \theta_v$ )に基づいて、有効範囲を用いて計測点Pの距離(測距値L')が測定されたときの測距方向( $\theta'_h, \theta'_v$ )を推定することができる。また、情報処理装置100によれば、推定した測距方向( $\theta'_h, \theta'_v$ )に基づいて、計測モデルMを用いて、有効範囲を用いて距離が測定された各計測点Pの3次元座標 $M'_c$ を

10

20

30

40

50

算出することができる。そして、情報処理装置 100 によれば、算出した各計測点 P の 3 次元座標  $M_c$  と各計測点 P の 3 次元座標  $M'_c$  との差を表す 3 次元誤差を最小化するように、補正パラメータ p の値を算出することができる。

【0118】

これにより、測定装置 102 を駆動装置 101 に取り付ける際の組み立て誤差により生じる、測定装置 102 の正規姿勢からの傾斜（ズレ）に伴う計測誤差を自動校正することが可能となる。

【0119】

また、情報処理装置 100 は、測定装置 102 のチルト傾斜角  $\theta_t$  および/またはロール傾斜角  $\theta_r$  を補正パラメータ p として用いることができる。これにより、計測誤差の要因となるチルト傾斜角  $\theta_t$  および/またはロール傾斜角  $\theta_r$  を考慮して、測定装置 102 の正規姿勢からの傾斜に伴う計測誤差を自動校正することが可能となる。

10

【0120】

一例として、測定装置 102 のチルト傾斜角  $\theta_t$  が「 $\theta_t = 1.17^\circ$ 」で、ロール傾斜角  $\theta_r$  が「 $\theta_r = -0.33^\circ$ 」の状態から、測定装置 102 の下にスペーサを入れて、ロール傾斜角  $\theta_r$  をさらに「 $3.85^\circ$ 」上げた場合を想定する。この場合、情報処理装置 100 により、補正パラメータ p として「 $p = (\theta_t, \theta_r) = (1.21^\circ, 3.57^\circ)$ 」が得られた。これは、スペーサを入れる前の状態からの差分が「 $(+0.04^\circ, +3.90^\circ)$ 」となっており、誤差が「 $(+0.04^\circ, +0.05^\circ)$ 」で  $0.1^\circ$  の精度でキャリブレーション可能であることがわかる。

20

【0121】

また、情報処理装置 100 は、算出した補正パラメータ p の値に基づいて、計測モデル ML を用いて、有効範囲を用いて距離が測定された各計測点 P の 3 次元座標  $M_c$  を含む 3 次元モデル Q を生成して出力することができる。これにより、測定装置 102 の傾斜角（チルト傾斜角  $\theta_t$ 、ロール傾斜角  $\theta_r$ ）を反映した校正済みの計測点 P の 3 次元座標群を含む 3 次元モデル Q を生成することができる。

【0122】

これらのことから、情報処理装置 100 によれば、環境の 3 次元構造に関する何らかの知識（ターゲット、平面など）を必要とすることなく、任意の 3 次元構造の環境で、測定装置 102 の正規姿勢からの傾斜（ズレ）に伴う計測誤差を自動校正することができる。また、キャリブレーションが適用可能な環境条件や計測条件に関する制約を緩和しつつ、計測精度および利便性を向上させることができる。

30

【0123】

なお、本実施の形態で説明したキャリブレーション方法は、予め用意されたプログラムをパーソナル・コンピュータやワークステーション等のコンピュータで実行することにより実現することができる。本キャリブレーションプログラムは、ハードディスク、フレキシブルディスク、CD-ROM、MO (Magnetooptical disk)、DVD (Digital Versatile Disk)、USB (Universal Serial Bus) メモリ等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録され、コンピュータによって記録媒体から読み出されることによって実行される。また、本キャリブレーションプログラムは、インターネット等のネットワークを介して配布してもよい。

40

【0124】

上述した実施の形態に関し、さらに以下の付記を開示する。

【0125】

(付記 1) 回転軸を中心にパン方向に回転する駆動装置と、

前記駆動装置に取り付けられて前記回転軸を中心として円軌道に沿って移動される状態で、前記パン方向に垂直なチルト方向に走査しながら光を物体に向けて照射して自装置から前記物体までの距離を測定する測定装置と、

前記測定装置の傾斜角を表す補正パラメータを含み、前記測定装置により測定される距

50



離と測距方向から計測点の3次元座標を導出する計測モデルを用いて、前記測定装置が光を照射する範囲のうちの前記チルト方向に0～180度の有効範囲または前記チルト方向に180～360度の冗長範囲のいずれか一方の範囲を用いて距離が測定された各点の3次元座標を算出し、

前記一方の範囲を用いて前記各点の距離が測定されたときの測距方向に基づいて、前記有効範囲または前記冗長範囲のうち他方の範囲を用いて前記各点の距離が測定されたときの測距方向を推定し、

推定した前記測距方向に基づいて、前記計測モデルを用いて、前記他方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標を算出し、

前記一方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標と、前記他方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標との差を最小化するように、前記補正パラメータの値を算出する制御装置と、

を有することを特徴とする情報処理装置。

【0126】

(付記2) 前記補正パラメータは、前記測定装置のチルト傾斜角および/またはロール傾斜角を表すパラメータである、ことを特徴とする付記1に記載の情報処理装置。

【0127】

(付記3) 前記制御装置は、

算出した前記補正パラメータの値に基づいて、前記計測モデルを用いて、前記有効範囲を用いて距離が測定された各点の3次元座標を含む3次元モデルを生成し、

生成した前記3次元モデルを出力する、ことを特徴とする付記1または2に記載の情報処理装置。

【0128】

(付記4) 前記チルト傾斜角は、前記チルト方向に0度のときに光を照射する方向の前記回転軸に対する角度を表し、

前記チルト方向は、チルト軸を中心に回転する方向であり、

前記ロール傾斜角は、前記回転軸に垂直な面に対する前記チルト軸の角度を表す、ことを特徴とする付記2に記載の情報処理装置。

【0129】

(付記5) 回転軸を中心にパン方向に回転する駆動装置と、前記駆動装置に取り付けられて前記回転軸を中心として円軌道に沿って移動される状態で、前記パン方向に垂直なチルト方向に走査しながら光を物体に向けて照射して自装置から前記物体までの距離を測定する測定装置と、を有する情報処理装置のコンピュータが、

前記測定装置の傾斜角を表す補正パラメータを含み、前記測定装置により測定される距離と測距方向から計測点の3次元座標を導出する計測モデルを用いて、前記測定装置が光を照射する範囲のうちの前記チルト方向に0～180度の有効範囲または前記チルト方向に180～360度の冗長範囲のいずれか一方の範囲を用いて距離が測定された各点の3次元座標を算出し、

前記一方の範囲を用いて前記各点の距離が測定されたときの測距方向に基づいて、前記有効範囲または前記冗長範囲のうち他方の範囲を用いて前記各点の距離が測定されたときの測距方向を推定し、

推定した前記測距方向に基づいて、前記計測モデルを用いて、前記他方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標を算出し、

前記一方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標と、前記他方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標との差を最小化するように、前記補正パラメータの値を算出する、

処理を実行することを特徴とするキャリブレーション方法。

【0130】

(付記6) 回転軸を中心にパン方向に回転する駆動装置と、前記駆動装置に取り付けられて前記回転軸を中心として円軌道に沿って移動される状態で、前記パン方向に垂直なチル

10

20

30

40

50

ト方向に走査しながら光を物体に向けて照射して自装置から前記物体までの距離を測定する測定装置と、を有する情報処理装置のコンピュータに、

前記測定装置の傾斜角を表す補正パラメータを含み、前記測定装置により測定される距離と測距方向から計測点の3次元座標を導出する計測モデルを用いて、前記測定装置が光を照射する範囲のうちの前記チルト方向に0～180度の有効範囲または前記チルト方向に180～360度の冗長範囲のいずれか一方の範囲を用いて距離が測定された各点の3次元座標を算出し、

前記一方の範囲を用いて前記各点の距離が測定されたときの測距方向に基づいて、前記有効範囲または前記冗長範囲のうち他方の範囲を用いて前記各点の距離が測定されたときの測距方向を推定し、

10

推定した前記測距方向に基づいて、前記計測モデルを用いて、前記他方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標を算出し、

前記一方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標と、前記他方の範囲を用いて距離が測定された前記各点の3次元座標との差を最小化するように、前記補正パラメータの値を算出する、

処理を実行させることを特徴とするキャリブレーションプログラム。

【符号の説明】

【0131】

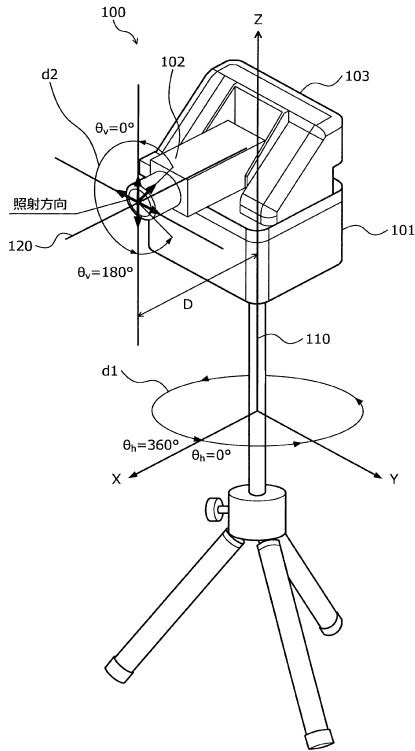
- 100 情報処理装置
- 101 駆動装置
- 102 測定装置
- 103 制御装置
- 110 回転軸
- 120 チルト軸
- 500 バス
- 501 CPU
- 502 メモリ
- 503 I/F
- 511 発光部
- 512 受光部
- 513 駆動部
- 514 センサ制御部
- 601 取得部
- 602 算出部
- 603 対応付け部
- 604 評価部
- 605 生成部
- 606 出力部
- 900 グラフ

20

30

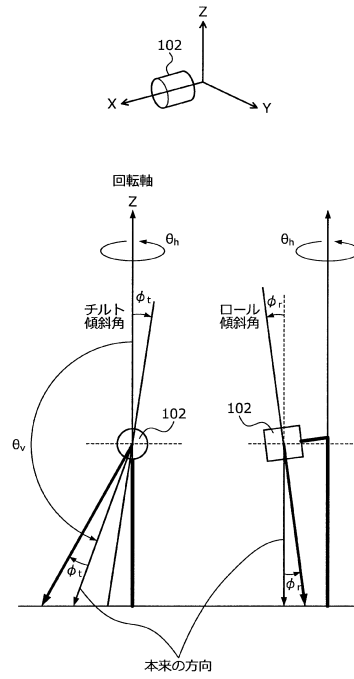
【図1】

実施の形態にかかる情報処理装置100の一実施例を示す説明図



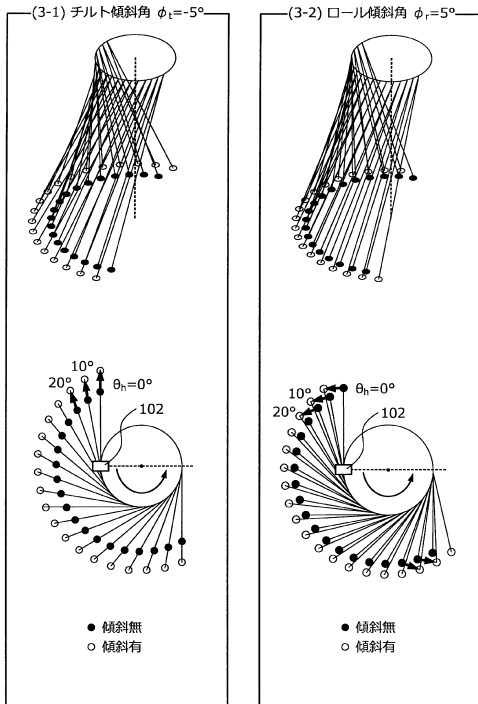
【図2】

測定装置102の傾斜角を示す説明図



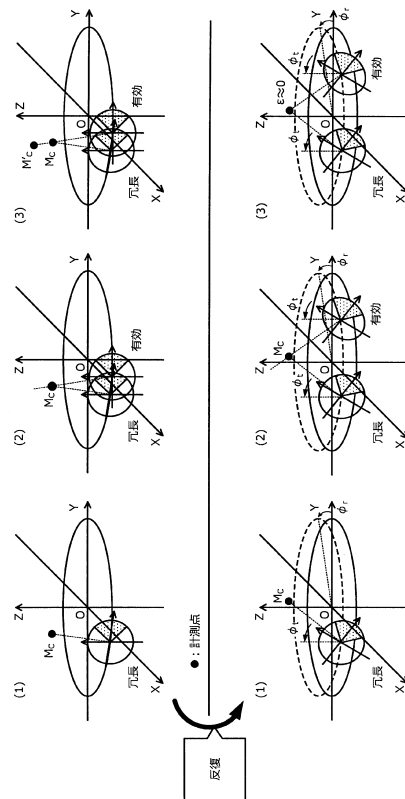
【図3】

測定装置102が正規姿勢から傾斜している場合の計測誤差を示す説明図

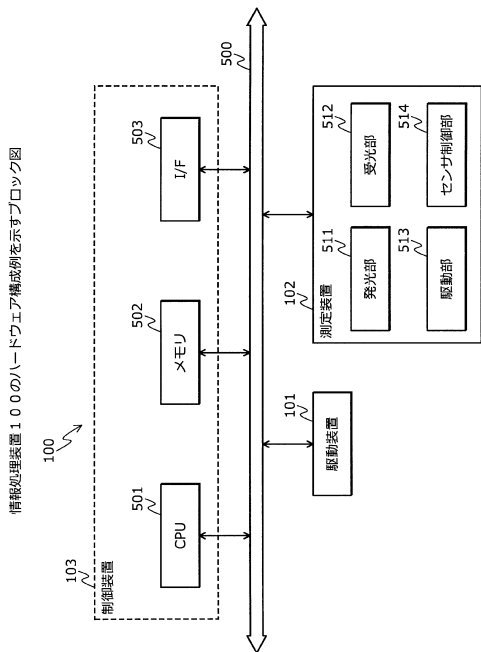


【図4】

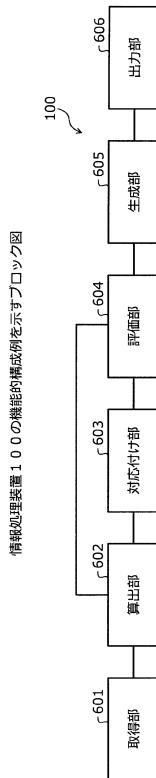
情報処理装置100のキャリブレーション方法の一実施例を示す説明図



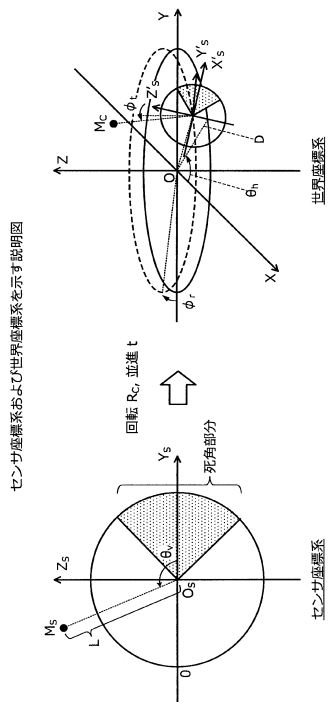
【図5】



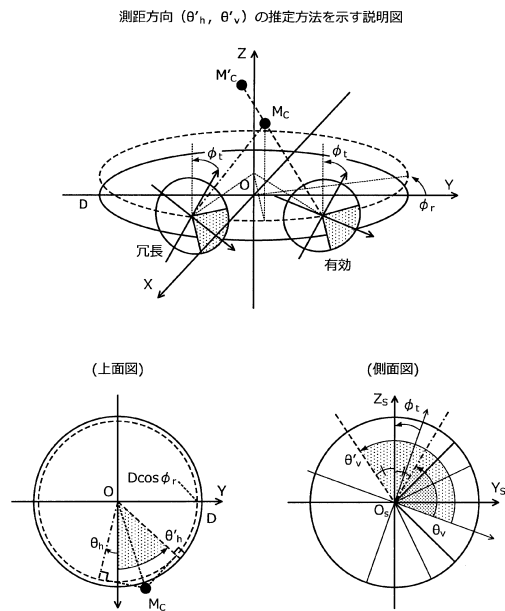
【図6】



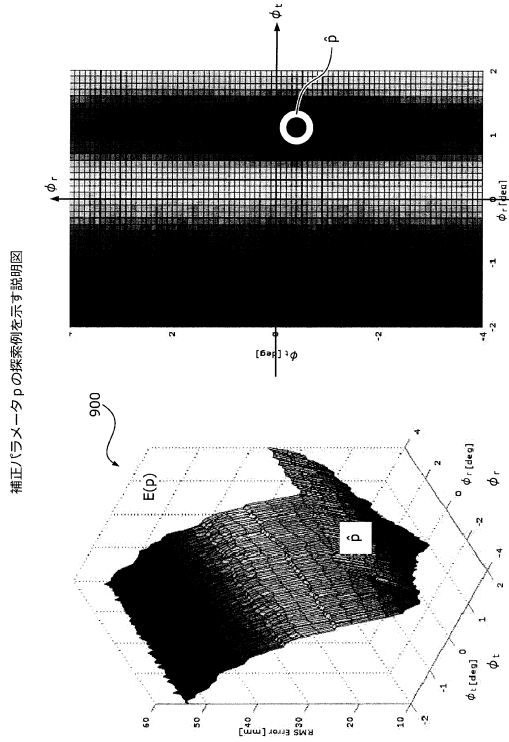
【図7】



【図8】

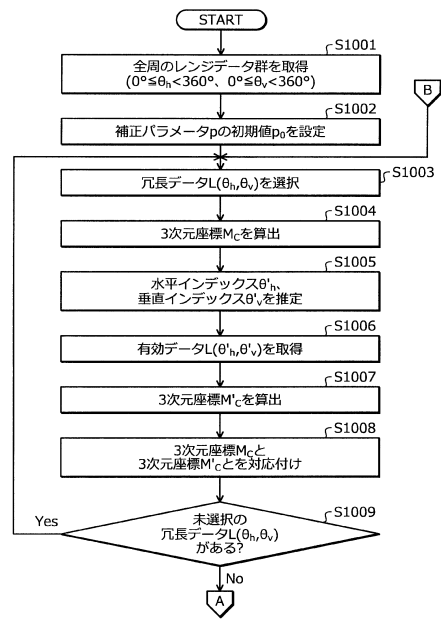


【図9】



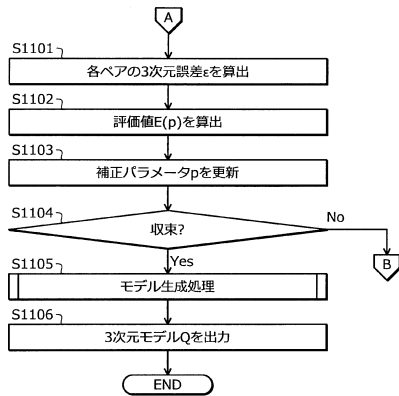
【図10】

情報処理装置100のキャリブレーション処理手順の一例を示すフローチャート(その1)



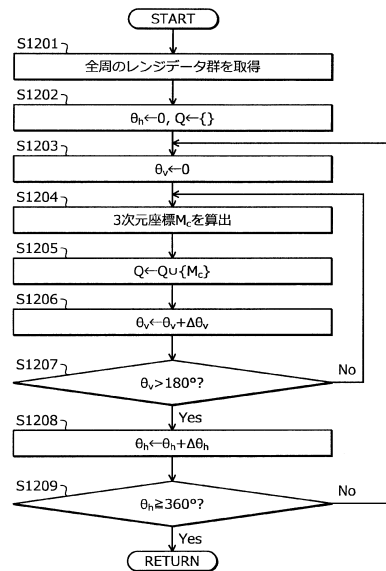
【図11】

情報処理装置100のキャリブレーション処理手順の一例を示すフローチャート(その2)



【図12】

モデル生成処理の具体的な処理手順の一例を示すフローチャート



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平06 - 011346 (JP, A)  
特開2013 - 064692 (JP, A)  
特開2008 - 134163 (JP, A)  
特表2009 - 508122 (JP, A)  
特表2007 - 514943 (JP, A)  
米国特許出願公開第2014 / 0375795 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/48 - 7/51  
G01S 17/00 - 17/95  
G01B 11/00 - 11/30  
G01C 3/06 - 3/08  
G01C 9/00 - 9/36  
G01C 15/00 - 15/14