

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号  
特開2022-145428  
(P2022-145428A)

(43)公開日 令和4年10月4日(2022.10.4)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
G 0 1 B 11/00 (2006.01)	G 0 1 B 11/00 A	2 F 0 6 5
H 0 4 N 5/232(2006.01)	H 0 4 N 5/232 2 9 0	5 C 1 2 2

審査請求 有 請求項の数 11 O L (全20頁)

<p>(21)出願番号 特願2021-142003(P2021-142003)</p> <p>(22)出願日 令和3年8月31日(2021.8.31)</p> <p>(31)優先権主張番号 特願2021-45316(P2021-45316)</p> <p>(32)優先日 令和3年3月19日(2021.3.19)</p> <p>(33)優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)</p>	<p>(71)出願人 000001443 カシオ計算機株式会社 東京都渋谷区本町1丁目6番2号</p> <p>(74)代理人 100095407 弁理士 木村 満</p> <p>(72)発明者 村上 太一 東京都羽村市栄町3-2-1 カシオ計算機株式会社 羽村技術センター内</p> <p>F ターム(参考) 2F065 AA01 AA31 BB15 BB27 FF04 FF63 JJ07 JJ19 JJ26 MM02 QQ24 QQ25 QQ31 RR06 5C122 EA42 FH11 HA13 HA35 HA76 HB01 HB10</p>
---	---

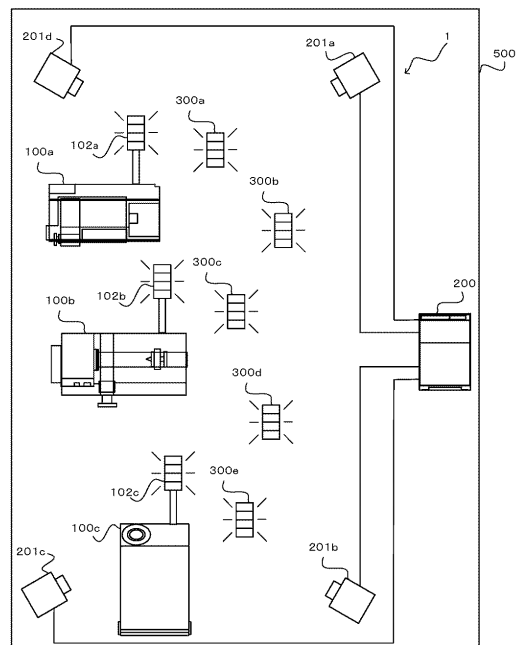
(54)【発明の名称】 移動体の位置測位装置、移動体の位置測位システム、移動体の位置測位方法及び移動体の位置測位プログラム

(57)【要約】

【課題】カメラが向いている方向が設置当初の状態から様々な要因で変化した場合であっても良好に位置測位を継続可能とする。

【解決手段】撮像方向が第1方向から第2方向に変化したカメラ201a~201dから、空間500内に配置されている少なくとも1つのマーカー300a~300eと、空間500内を動く少なくとも1つの移動体100a~100cと、を含む撮像画像を取得し、撮像画像と、初期データと、に基づいて、撮像方向の第1方向から第2方向への変化を検出し、現実世界におけるカメラ201a~201dの撮像方向を第2方向から第1方向に戻すことなしに、撮像画像に基づいて、少なくとも1つの移動体100a~100cの位置データを取得する。

【選択図】図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

撮像方向が第 1 方向から第 2 方向に変化したカメラから、空間内に配置されている少なくとも 1 つのマーカート、前記空間内を動く少なくとも 1 つの移動体と、を含む撮像画像を取得し、

前記撮像画像と、初期データと、に基づいて、前記撮像方向の前記第 1 方向から前記第 2 方向への変化を検出し、

現実世界における前記カメラの前記撮像方向を前記第 2 方向から前記第 1 方向に戻すことなしに、前記撮像画像に基づいて、前記少なくとも 1 つの移動体の位置データを取得する、

移動体の位置測位装置。

10

**【請求項 2】**

移動体側に固定されているカメラであって、撮像方向が第 1 方向から第 2 方向に変化したカメラから、空間内に配置されている複数のマーカが撮像された撮像画像を取得し、

前記撮像画像と、初期データと、に基づいて、前記撮像方向の前記第 1 方向から前記第 2 方向への変化を検出し、

現実世界における前記カメラの前記撮像方向を前記第 2 方向から前記第 1 方向に戻すことなしに、前記カメラから取得される撮像画像に基づいて、前記移動体の位置データを取得する、

移動体の位置測位装置。

20

**【請求項 3】**

前記初期データは、マーカが配置されるワールド座標データを含む、

請求項 1 又は 2 に記載の移動体の位置測位装置。

**【請求項 4】**

振動による外部要因又は経年要因により、前記カメラの前記撮像方向が前記第 1 方向から前記第 2 方向に変化する、

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の移動体の位置測位装置。

**【請求項 5】**

前記第 2 方向への変化を検出するときに、前記撮像画像に含まれるマーカの画像座標データと、前記マーカのワールド座標データと、に基づいて、前記カメラの前記撮像方向の変動を補正する補正値を算出する、

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の移動体の位置測位装置。

30

**【請求項 6】**

前記位置データを前記補正値に基づいて取得する、

請求項 5 に記載の位置測位装置。

**【請求項 7】**

前記撮像画像は、前記移動体がホームポジションに位置する時に撮像される、

請求項 2 に記載の移動体の位置測位装置。

**【請求項 8】**

前記移動体は、前記カメラの姿勢を検出する慣性センサを備え、

前記慣性センサのセンサ値に基づき少なくともロールを除く前記カメラの姿勢を補正する、

請求項 2 に記載の移動体の位置測位装置。

40

**【請求項 9】**

撮像方向が第 1 方向から第 2 方向に変化したカメラと、

空間内に配置されているマーカと、

前記空間内を動く移動体と、

少なくとも 1 つのプロセッサと、を備え、

前記少なくとも 1 つのプロセッサは、

前記マーカが撮像された第 1 撮像画像を取得し、

50

前記第 1 撮像画像と、初期データと、に基づいて、前記撮像方向の前記第 1 方向から前記第 2 方向への変化を検出し、

現実世界における前記カメラの前記撮像方向を前記第 2 方向から前記第 1 方向に戻すことなしに、前記第 2 方向を向く前記カメラにより取得される第 2 撮像画像に基づいて、前記移動体の位置を取得する、

移動体の位置測位システム。

【請求項 10】

撮像方向が第 1 方向から第 2 方向に変化したカメラにより、空間内に配置されているマーカーが撮像された第 1 撮像画像を取得し、

前記第 1 撮像画像と、初期データと、に基づいて、前記撮像方向の前記第 1 方向から前記第 2 方向への変化を検出し、

現実世界における前記カメラの前記撮像方向を前記第 2 方向から前記第 1 方向に戻すことなしに、前記第 2 方向を向く前記カメラにより取得される第 2 撮像画像に基づいて、移動体の位置を取得する、

移動体の位置測位方法。

【請求項 11】

少なくとも 1 つのプロセッサが、

撮像方向が第 1 方向から第 2 方向に変化したカメラにより、空間内に配置されているマーカーが撮像された第 1 撮像画像を取得し、

前記第 1 撮像画像と、初期データと、に基づいて、前記撮像方向の前記第 1 方向から前記第 2 方向への変化を検出し、

現実世界における前記カメラの前記撮像方向を前記第 2 方向から前記第 1 方向に戻すことなしに、前記第 2 方向を向く前記カメラにより取得される第 2 撮像画像に基づいて、移動体の位置を取得する、

移動体の位置測位プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、移動体の位置測位装置、移動体の位置測位システム、移動体の位置測位方法及び移動体の位置測位プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、可視光を用いた測量・位置検出技術は、カメラの設置毎にキャリブレーションを行っており、ごく短期的に測定するのが一般的である。そのため、カメラを据置きして用いる場合、カメラ設置条件がカメラの清掃、地震等による外部要因、ネジの緩み等の経年要因により初期値からずれてきてしまい、位置検出精度の低下問題が発生する。現状、位置検出精度を回復させるためには、あらためてキャリブレーションを行う必要がある。

【0003】

特許文献 1 は、カメラの設置時に検知エリアを撮像した基準画像と当該基準画像に設定された基準点の位置情報とを記憶し、周期的にカメラの撮像画像と基準画像との間の基準点のずれ量を検出し、検出されたずれ量に基づいて雲台を駆動するカメラシステムを開示する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2013 - 219628 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、雲台を駆動したり、あらためてキャリブレーションを実行すると、シス

10

20

30

40

50

テムを長時間停止する必要があり、現場作業に影響が発生する。

【0006】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、カメラの向いている方向が設置当初の状態から様々な要因で変化した場合であっても良好に位置測位を継続可能とすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明に係る移動体の位置測位装置は、撮像方向が第1方向から第2方向に変化したカメラから、空間内に配置されている少なくとも1つのマーカと、前記空間内を動く少なくとも1つの移動体と、を含む撮像画像を取得し、前記撮像画像と、初期データと、に基づいて、前記撮像方向の前記第1方向から前記第2方向への変化を検出し、現実世界における前記カメラの前記撮像方向を前記第2方向から前記第1方向に戻すことなしに、前記撮像画像に基づいて、前記少なくとも1つの移動体の位置データを取得する。

10

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、カメラの向いている方向が設置当初の状態から様々な要因で変化した場合であっても良好に位置測位を継続できる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る可視光通信システムの一例を示す図である。

20

【図2】本発明の第1の実施の形態に係るサーバーの一例を示す図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態に係る撮像方向の変化検出・補正処理の一例を示すフローチャートである。

【図4】本発明の第2の実施の形態に係るサーバーによる信頼性判断処理の一例を示すフローチャートである。

【図5】本発明の第3の実施の形態に係る可視光通信システムの一例を示す図である。

【図6】本発明の第3の実施の形態に係る撮像方向の変化検出・補正処理の一例を示すフローチャートである。

【図7】本発明の第4の実施の形態に係る撮像方向の変化検出・補正処理の一例を示すフローチャートである。

30

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明の実施の形態にかかる位置測位システムとして可視光通信システムについて図面を参照して説明する。

【0011】

(第1の実施の形態)

図1は、可視光通信システム1の構成を示す図である。図1に示すように、可視光通信システム1は、空間500内に設置された移動体100a、100b、100c(以下、移動体100a、100b、100cのそれぞれを限定しない場合には、適宜「移動体100」と称する)と、位置測位装置に対応するサーバー200とを含んで構成される。

40

【0012】

移動体100aは、光源102aが取り付けられ、移動体100bは、光源102bが取り付けられ、移動体100cは、光源102cが取り付けられている(以下、光源102a、102b、102cのそれぞれを限定しない場合には、適宜「光源102」と称する)。サーバー200は、撮像装置に対応するカメラ201a、201b、201c、201dが取り付けられている(以下、カメラ201a、201b、201c、201dのそれぞれを限定しない場合には、適宜「カメラ201」と称する)。カメラ201は、雲台等の設置器具により空間500内に固定される。また、空間500内には、位置が変化しない固定点であるマーカ300a、300b、300c、300d、300eが設置されている(以下、マーカ300a、300b、300c、300d、300eのそれ

50

それを限定しない場合には、適宜「マーカー 300」と称する)。マーカー 300 及び光源 102 は、図示しない LED (Light Emitting Diode) を含む。光源 102 は、位置測位対象に対応する。

#### 【0013】

本実施の形態において、移動体 100 に取り付けられた光源 102 が移動体 100 の状態等の各種の送信対象の情報に対応する光を発することにより情報を送信する。一方、サーバー 200 は、カメラ 201 の時系列的に連続した撮像により得られた光の画像における発光色の变化を復調して光源 102 が発する情報を取得する。

#### 【0014】

本実施の形態では、当初、カメラ 201 a ~ 201 d の位置及び撮像方向が不明である。このため、上述したサーバー 200 による移動体 100 の状態等の取得に先立って、各カメラのカメラパラメータを求めて、カメラ 201 a ~ 201 d が認識する仮想空間と現実世界の空間との対応をとるためのキャリブレーションを行う。これによりカメラ 201 が取得する撮像画像は歪みが少なくなるように補正される。カメラパラメータは各カメラの内部パラメータ及び外部パラメータである。内部パラメータは、カメラ座標を画像座標に変換する行列であるカメラ固有のパラメータであって、焦点距離、レンズの光学中心位置を含み、キャリブレーションによって変化しない。外部パラメータは、ワールド座標をカメラ座標に変換する行列であり、空間 500 におけるカメラ 201 の位置・方向の情報を含んでいる。サーバー 200 は、カメラ 201 a ~ 201 d の撮像によって得られた画像におけるマーカー 300 a、300 b、300 c、300 d、300 e の各像の位置 (2次元座標情報) に基づいて、カメラパラメータを算出する。算出されたカメラパラメータは初期データとしてサーバー 200 に記憶される。

#### 【0015】

図 2 は、サーバー 200 の構成の一例を示す図である。図 2 に示すように、サーバー 200 は、制御部 202、画像入力部 204、メモリ 205、操作部 206、表示部 207 及び通信部 208 を含む。また、サーバー 200 には、カメラ 201 a ~ 201 d が配線を介して取り付けられている。サーバー 200 とカメラ 201 a ~ 201 d は、無線で接続されていてもよい。

#### 【0016】

カメラ 201 a は、レンズ 203 a を含み、カメラ 201 b は、レンズ 203 b を含み、カメラ 201 c は、レンズ 203 c を含み、カメラ 201 d は、レンズ 203 d を含む (以下、レンズ 203 a、203 b、203 c、203 d のそれぞれを限定しない場合には、適宜「レンズ 203」と称する)。レンズ 203 は、ズームレンズ等により構成される。レンズ 203 は、操作部 206 からのズーム制御操作、及び、制御部 202 による合焦制御により移動する。レンズ 203 の移動によってカメラ 201 が撮像する撮像画角や光学像が制御される。

#### 【0017】

カメラ 201 a ~ 201 d は、受光面に規則的に二次元配列された複数の受光素子により構成される。受光素子は、例えば、CCD (Charge Coupled Device)、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 等の撮像デバイスである。カメラ 201 a ~ 201 d は、レンズ 203 を介して入光された光学像を、制御部 202 からの制御信号に基づいて所定範囲の撮像画角で撮像 (受光) し、その撮像画角内の画像信号をデジタルデータに変換してフレームを生成する。また、カメラ 201 a ~ 201 d は、撮像とフレームの生成とを時間的に連続して行い、連続するフレームをサーバー 200 内の画像入力部 204 に出力する。

#### 【0018】

画像入力部 204 には、制御部 202 からの制御信号に基づいて、カメラ 201 から出力されたフレーム (デジタルデータ) が入力される。

#### 【0019】

制御部 202 は、例えば CPU (Central Processing Unit) によって構成される

。制御部 202 は、メモリ 205 に記憶されたプログラム（例えば、後述する図 3 に示すサーバ 200 の動作を実現するためのプログラム）に従ってソフトウェア処理を実行することにより、サーバ 200 が具備する各種機能を制御する。

【0020】

メモリ 205 は、例えば RAM (Random Access Memory) や ROM (Read Only Memory) である。メモリ 205 は、サーバ 200 における制御等に用いられる各種情報（プログラム等）を記憶する。また、メモリ 205 には、カメラ 201a ~ 201d の設置当初のキャリブレーション時に撮像した撮像画像、算出されたカメラパラメータが初期データとして記憶される。

【0021】

操作部 206 は、テンキーやファンクションキー等によって構成され、ユーザの操作内容を入力するために用いられるインターフェースである。表示部 207 は、例えば、LCD (Liquid Crystal Display)、PDP (Plasma Display Panel)、EL (Electro Luminescence) ディスプレイ等によって構成される。表示部 207 は、制御部 202 から出力された画像信号に従って画像を表示する。通信部 208 は、例えば LAN (Local Area Network) カードである。通信部 208 は、通信制御部 240 の制御に基づき、外部の通信装置との間で通信を行う。

【0022】

制御部 202 には、画像取得部 231 と、撮像方向検出部 232 と、補正判断部 234 と、補正值算出部 236 と、位置データ取得部 238 と、通信制御部 240 と、が含まれて構成される。

【0023】

画像取得部 231 は、カメラ 201 から夫々出力され、画像入力部 204 に入力されたフレーム（デジタルデータ）について、表示部 207 にスルー画像として表示させるべく、周辺減光補正や歪曲補正を行い、画質や画像サイズを調整する。また、画像取得部 231 は、操作部 206 からの記録指示操作に基づく制御信号が入力されると、記録指示された時点のカメラ 201 における撮像画角内、あるいは、表示部 207 に表示される表示範囲内の光学像を、例えば、JPEG (Joint Photographic Experts Group) 等の圧縮符号化方式にて符号化、ファイル化する機能を有する。

【0024】

2 台のカメラ 201 の組み合わせ（カメラペア）毎にカメラパラメータが求められた後、位置データ取得部 238 は、カメラ 201a ~ 201d の撮像によって画像取得部 231 から得られた各画像に含まれる巡回的な三色のパターンの光を検出する。

【0025】

移動体 100a、100b、100c にそれぞれ取り付けられた光源 102a、102b、102c は、自己を一意に特定可能な ID (Identification) を識別可能に変調した、R (赤) G (緑) B (青) の三色の任意のパターンで巡回的に変化する光を発する。これは一実施例であり、自己を一意に特定できれば、発光色を必ずしも R (赤) G (緑) B (青) の三色の任意のパターンで巡回的に変化する必要も無い。

【0026】

位置データ取得部 238 は、この三色の発光のパターンを検出し、ID への復調を試みる。一実施例では、位置データ取得部 238 は、カメラペアに含まれる 2 台のカメラ 201 の撮像によって得られた画像の双方から同一の ID を検出することができた場合には、その ID に対応する光源 102 を検出することができたと見なす。なお、1 台のカメラ 201 からの撮像画像であっても、その撮像画像に固定点であるマーカーのいずれかが撮像されていれば、その撮像画像に含まれる発光体を備える移動体の位置の算出は可能である。

【0027】

次に、位置データ取得部 238 は、カメラペア毎に、当該カメラペアに含まれる 2 台のカメラ 201 のうちの一方のカメラ 201 の撮像面における光源 102 の像の位置 (Xg

10

20

30

40

50

a 2 , Y g a 2 ) と、他方のカメラ 2 0 1 の撮像面における上記光源 1 0 2 の像の位置 ( X g b 2 , Y g b 2 ) とを取得する。更に、位置データ取得部 2 3 8 は、双方の像の位置 ( X g a 2 , Y g a 2 )、( X g b 2 , Y g b 2 ) の組み合わせと、カメラパラメータとを用いて、空間 5 0 0 内の光源 1 0 2 のワールド座標の設置位置 ( X k 2 , Y k 2 , Z k 2 ) を算出する。

【 0 0 2 8 】

撮像方向検出部 2 3 2 は、カメラ 2 0 1 a ~ 2 0 1 d の設置後、常時、定期的あるいはユーザの指示により、カメラ 2 0 1 a ~ 2 0 1 d の撮像方向の変化を検出する。撮像方向検出部 2 3 2 は、カメラ 2 0 1 a ~ 2 0 1 d の撮像方向の変化を検出することにより、カメラ設置後の外部要因・経年要因によるカメラ設置条件の設置当初からのずれを検出する

10

【 0 0 2 9 】

撮像方向検出部 2 3 2 は、カメラ 2 0 1 a ~ 2 0 1 d の撮像によって得られた各画像におけるマーカー 3 0 0 の像の位置 ( 2 次元座標情報 ) を検出する。ここで、空間 5 0 0 内におけるマーカー 3 0 0 a、3 0 0 b、3 0 0 c、3 0 0 d、3 0 0 e の設置位置 ( ワールド座標系の 3 次元座標情報 ) は既知のものとされている。また、マーカー 3 0 0 a、3 0 0 b、3 0 0 c、3 0 0 d、3 0 0 e は、自己を一意に特定可能な I D を識別可能に変調された、R ( 赤 ) G ( 緑 ) B ( 青 ) の三色のパターンで巡回的に変化する光を発する。

【 0 0 3 0 】

撮像方向検出部 2 3 2 は、カメラ 2 0 1 a ~ 2 0 1 d について、2 台のカメラ 2 0 1 の組み合わせ ( カメラペア ) を設定する。4 台のカメラ 2 0 1 からの任意の 2 台のカメラ 2 0 1 の組み合わせ ( カメラペア ) のパターンは 6 つ ( 6 通り ) となる。

20

【 0 0 3 1 】

撮像方向検出部 2 3 2 は、カメラ 2 0 1 a ~ 2 0 1 d の撮像によって得られた各画像に含まれる巡回的な三色のパターンの光を検出する。更に、撮像方向検出部 2 3 2 は、この三色の発光のパターンに対応する I D への復調を試みる。メモリ 2 0 5 には、マーカー 3 0 0 a、3 0 0 b、3 0 0 c、3 0 0 d、3 0 0 e それぞれの設置位置と I D とが対応付けられて初期データ ( 固定点である各マーカーのワールド座標データを含む ) として記憶されている。

【 0 0 3 2 】

撮像方向検出部 2 3 2 は、カメラ 2 0 1 a ~ 2 0 1 d の各カメラの撮像によって画像取得部 2 3 1 から得られた画像から、I D に応じて変調された光である変調光領域 ( 予め設定された値以上の高い輝度値を有する、特定のサイズ・形状からなる画素領域 ) の検出を試みる。そして、検出することができた場合には、その I D に対応するマーカー 3 0 0 を検出することができたと見なす。撮像方向検出部 2 3 2 は I D に対応するマーカー 3 0 0 の設置位置を求める。

30

【 0 0 3 3 】

撮像方向検出部 2 3 2 は、カメラ 2 0 1 a ~ 2 0 1 d により撮像された画像と初期データであるカメラ 2 0 1 a ~ 2 0 1 d の設置当初の撮像画像とを比較して、撮像画像に含まれるマーカー 3 0 0 の画像位置又は設置位置に基づき、カメラ 2 0 1 a ~ 2 0 1 d のそれぞれの撮像方向の変化を検出する。

40

【 0 0 3 4 】

補正判断部 2 3 4 は、撮像方向検出部 2 3 2 によって検出された撮像方向の変化に基づいて、カメラ 2 0 1 a ~ 2 0 1 d について撮像方向の変動を補正するか否かを判断する。ここで、補正とは、空間 5 0 0 におけるカメラ 2 0 1 の位置・方向の情報である外部パラメータを修正する補正值を算出して撮像方向の変動をなくすよう修正する処理である。

【 0 0 3 5 】

補正判断部 2 3 4 は、補正をするか否かについて、( 1 ) 補正をする必要があるか否か、( 2 ) 補正が可能であるか否かという 2 つの観点から判断する。補正判断部 2 3 4 は、撮像画像に含まれるマーカー 3 0 0 の画像位置又は設置位置の、カメラ設置当初に撮像さ

50

れた撮像画像に含まれるマーカー 300 の画像位置又は設置位置からの変化（ずれ）が、設定された閾値に達するか否かにより補正の有無を判断する。閾値はカメラ毎に予めメモリ 205 に記憶されており、補正判断部 234 は、閾値をメモリ 205 から読み出して判断処理を実行する。また、閾値は、補正をする必要があるか否かを判断する閾値と、補正が可能であるか否かを判断する閾値とを備える。

【0036】

補正值算出部 236 は、補正判断部 234 の判断により、補正が可能かつ必要であると判断されたものについて、補正值を算出する。補正值として、カメラ 201 の位置・方向の情報である外部パラメータを修正する補正值パラメータを算出する。具体的には、外部パラメータの変動パラメータの逆行列から補正值を算出する。これについて以下に説明する。

10

【0037】

一般的に透視投影行列等を用いて、3次元空間の世界座標  $[Wp]$  と2次元画像の画像座標  $[u, v]$  との関係は、カメラの内部パラメータ  $[A]$  及び外部パラメータ  $[E]$  を用いることによって、以下の式のように表される。

【0038】

（数1）

$$[u, v] = [A][E][Wp] \cdots (1)$$

【0039】

次に、カメラ設置後に、外部要因・経年要因によりカメラの設置条件であるカメラの撮像方向が変動して、2次元画像の画像座標が  $[u, v]$  から  $[u', v']$  に変化した場合、3次元空間の世界座標  $[Wp]$  と2次元画像の画像座標  $[u', v']$  との関係は、以下の式のように表される。

20

【0040】

（数2）

$$[u', v'] = [A][E][E'][Wp] \cdots (2)$$

【0041】

ここで、 $[E']$  は、カメラの撮像方向の変動による外部パラメータ  $[E]$  に対する変動分のパラメータである。なお、カメラの内部パラメータ  $[A]$  は、カメラ固有のパラメータであり、カメラの設置条件が動いた場合にも変化はない。式(2)において、画像座標が  $[u, v]$  から  $[u', v']$  に変化する要因は、外部パラメータ  $[E]$  に対する変動分のパラメータ  $[E']$  によるものである。したがって、この変動分のパラメータ  $[E']$  に対して、逆行列を求めることにより補正值  $[E']^{-1}$  を算出し、この補正值を掛け合わせることで座標に対して補正を行う。

30

【0042】

逆行列を求めることにより補正值  $[E']^{-1}$  を算出するには、共通のマーカーをカメラペアが撮像していること、又は1台のカメラが2以上のマーカーを撮像していることが必要である。

【0043】

上記以外の場合、すなわち1台のカメラが1つのマーカーを撮像している場合、逆行列を求めることにより補正值  $[E']^{-1}$  を算出することができない。この場合、補正值算出部 236 は、カメラ座標系の各座標軸回りの回転角の組み合わせを総当たりして補正值  $[E']^{-1}$  であるパラメータを選定する。ここで、カメラを固定する雲台が、カメラの左右方向の動きであるパン、カメラの上下方向の動きであるチルト、カメラの光軸回りの回転であるロールの3軸のうち、パン、チルトの2軸を調整できる回転台である場合、パン、チルトのみの回転角の組み合わせとすることにより、総当たりする組み合わせの数を少なくすることができる。さらに雲台のパン、チルト調整の可動範囲、可動単位である調整分解能に応じて総当たりする組み合わせの数を絞り込むことができる。

40

【0044】

補正值算出部 236 は、逆行列を算出することにより、又は回転角の組み合わせを総当

50

たりすることにより求めた補正值  $[E']^{-1}$  をメモリ 205 に記憶する。

【0045】

次に、フローチャートを参照して、サーバ 200 の動作を説明する。図 3 は、サーバ 200 による撮像方向の変化検出・補正処理の動作の一例を示すフローチャートである。この処理は、空間 500 内の移動体 100 の位置測位を実行している間、常に実行されてもよく、定期的に行われてもよく、ユーザの指示により実行されてもよい。

【0046】

カメラ 201 a ~ 201 d は、空間 500 内の撮像を行っている。制御部 202 内の撮像方向検出部 232 は、画像取得部 231 によって取得されたカメラ 201 a ~ 201 d の撮像画像とメモリ 205 から読み出した初期データであるカメラ設置当初のカメラ 201 a ~ 201 d の撮像画像とを比較する。具体的には、撮像画像に含まれる共通 ID のマーカー 300 の画像位置又は設置位置を比較する。比較に基づいて、画像取得部 231 によって新たに取得されたカメラ 201 a ~ 201 d の撮像方向について、カメラ設置当初のカメラ 201 a ~ 201 d の撮像方向である第 1 方向から第 2 方向への変化を検出する (ステップ S101)。

なお本明細書で定義する第 1 方向とは、システム導入当初、或いは、システム稼働中、カメラのキャリブレーション実行時に固定手段によって固定されていたカメラの撮像方向である。

カメラ 201 を固定する固定手段により、カメラ 201 は当初、第 1 方向を向けて固定されていた。しかし、地震を含む外部要因やネジを含む固定部の緩みを含む経年要因により、カメラ 201 が向く方向は、前記第 1 方向から前記第 1 方向以外の方向 (第 2 方向) にずれることがある。本実施例では、固定手段がカメラを固定する方向が物理的にずれたとしても、そのずれを物理的に変更する (戻す) 操作を必要としない。

【0047】

次に、制御部 202 内の補正判断部 234 が、撮像方向検出部 232 により検出された撮像方向の変化に基づいて、外部パラメータの補正が必要か否かを判断する (ステップ S102)。

【0048】

補正判断部 234 は、撮像画像に含まれるマーカー 300 の画像位置又は設置位置のカメラ 201 の設置当初のマーカー 300 の画像位置又は設置位置に対する変化 (ずれ) を閾値と比較する。カメラ 201 の設置当初の撮像方向である第 1 方向から現在の撮像方向である第 2 方向への変化量が閾値以上である場合、外部パラメータの補正が必要であると判断され (ステップ S102 : YES)、続いて、外部パラメータの補正が可能であるか否かを判断される (ステップ S103)。第 1 方向から第 2 方向への変化量は、マーカー 300 の画像位置又は設置位置の移動量で判断する。また、カメラ 201 の撮像方向が大きくずれて、設置当初の撮像画像に含まれるマーカー 300 が現在の撮像画像に含まれず、共通のマーカー 300 が存在しない場合、撮像方向検出部 232 は変化量を検出することができない。そこで、補正判断部 234 は、変化量を検出できない場合も補正が必要であると判断する。

【0049】

カメラ 201 の設置当初の撮像方向である第 1 方向から現在の撮像方向である第 2 方向への変化量がわずかであるか、又は変化がなく、変化量が閾値より小さい場合、補正判断部 234 は、外部パラメータの補正の必要なしと判断し (ステップ S102 : NO)、処理を終了する。

【0050】

次に、ステップ S103 において、補正判断部 234 は、現在のカメラ 201 の撮像画像から外部パラメータを補正可能であるか否かを判断する。具体的には、撮像画像に含まれるマーカー 300 の画像位置が、画像の中心から大きくずれて画像の隅の部分に位置しているか、又は画角から外れているか否かを判断する。マーカー 300 の位置が画像の中心から大きくずれて、外部パラメータの補正で調整できない場合、補正判断部 234 は、

補正不可能であると判断し（ステップ S 1 0 3 : N O ）、エラーであることを表示部 2 0 7 に表示してユーザに警告する（ステップ S 1 0 4 ）。なお、警告は、視覚による表示に限らず、音声によるものであってもよい。ユーザへの警告後、制御部 2 0 2 は、処理を終了する。警告を受けて、ユーザはカメラ 2 0 1 の設置位置を調整する。

【 0 0 5 1 】

マーカ-3 0 0 の位置が外部パラメータの補正で調整できないほど画像の中心から大きくずれていない場合、補正判断部 2 3 4 は、補正可能であると判断し（ステップ S 1 0 3 : Y E S ）、補正值算出処理に移行する。

【 0 0 5 2 】

制御部 2 0 2 の補正值算出部 2 3 6 は、補正值算出に先立って、共通のマーカ-3 0 0 を撮像しているカメラペアが存在するか、又は単体のカメラ 2 0 1 が 2 以上の複数のマーカ-3 0 0 を撮像しているか否かを判断する（ステップ S 1 0 5 ）。共通のマーカ-3 0 0 を撮像しているカメラペアが存在する場合、又は 1 台のカメラ 2 0 1 が 2 以上のマーカ-3 0 0 を撮像している場合（ステップ S 1 0 5 : Y E S ）、カメラパラメータ（内部パラメータ及び外部パラメータ）と、メモリ 2 0 5 に記憶されているマーカ-3 0 0 の既知のワールド座標（真値）と、現在の撮像画像から算出されたマーカ-3 0 0 のワールド座標（ずれ後）と、に基づき逆行列を求めることにより補正值  $\{E'\}^{-1}$  を算出する（ステップ S 1 0 6 ）。 10

【 0 0 5 3 】

共通のマーカ-3 0 0 を撮像しているカメラペアが存在せず、かつカメラ 2 0 1 が 1 つのマーカ-3 0 0 のみを撮像している場合（ステップ S 1 0 5 : N O ）、補正值算出部 2 3 6 は、カメラ座標系の各座標軸回りの回転角のうち、ロール方向のずれはないと仮定してパン、チルトについての回転角の組み合わせを総当たりして補正值  $\{E'\}^{-1}$  であるパラメータを選定する（ステップ S 1 0 7 ）。なお、ロール方向にも調整可能な雲台の場合、ロール方向も変化させた組み合わせで総当たりして補正值  $\{E'\}^{-1}$  を選定してもよい。 20

【 0 0 5 4 】

ステップ S 1 0 6 又はステップ S 1 0 7 で補正值  $\{E'\}^{-1}$  が求められると、位置データ取得部 2 3 8 は、カメラパラメータの補正を実行して、補正されたカメラパラメータに基づいて、移動体 1 0 0 の位置データを取得する（ステップ S 1 0 8 ）。補正值  $\{E'\}^{-1}$  は、カメラ 2 0 1 の撮像方向の変動による外部パラメータ  $\{E\}$  に対する変動分のパラメータ  $\{E'\}$  の逆行列である。したがって、この変動分のパラメータ  $\{E'\}$  に対して、この補正值を掛けあわせることで座標に対して補正を実行する。位置データ取得部 2 3 8 は、カメラ 2 0 1 の撮像面における移動体 1 0 0 の光源 1 0 2 の像の位置と、補正值を掛けあわせることにより補正されたカメラパラメータとを用いて、空間 5 0 0 内の光源 1 0 2 のワールド座標の設置位置を算出する。これにより、撮像方向がカメラ 2 0 1 の設置当初の第 1 方向から第 2 方向に変化しても、現実世界におけるカメラ 2 0 1 の撮像方向を第 2 方向から第 1 方向に戻すことなしに、撮像画像に基づいて、移動体 1 0 0 の位置データを取得する。このように、カメラ 2 0 1 が向いている方向が設置当初の状態から様々な要因で変化した場合であってもキャリブレーションを不要とし、稼働中のシステムを停止することなく位置測位精度を回復することができる。 30 40

【 0 0 5 5 】

（第 2 の実施の形態）

次に、他の実施の形態について説明する。本実施の形態において、可視光通信システム 1 は図 1 と同様であり、サーバ-2 0 0 は図 2 と同様である。本実施の形態においては、カメラペアごとにマーカ-3 0 0 及び光源 1 0 2 の設置位置が算出され、算出された設置位置についての信頼性が判断される。

【 0 0 5 6 】

図 4 は、他の実施の形態に係るサーバ-2 0 0 による信頼性判断処理の動作の一例を示すフローチャートである。図 4 に示す動作は、マーカ-3 0 0 毎に行われる。 40 50

## 【 0 0 5 7 】

カメラペア毎に、当該カメラペアに含まれる2台のカメラ201は、同一のマーカ-300を撮像すると、この撮像画像を画像入力部204を介して取得し、制御部202の撮像方向検出部232がID取得により当該マーカ-300を特定することを試みる(ステップS201)。

## 【 0 0 5 8 】

次に、撮像方向検出部232は、ステップS301においてマーカ-300を撮像し、IDを取得することができたカメラペアを選択する(ステップS202)。

## 【 0 0 5 9 】

次に、撮像方向検出部232は、ステップS202において選択したカメラペア毎に、当該カメラペアに含まれる2台のカメラ201による撮像画像に基づいて、マーカ-300の設置位置を算出する(ステップS203)。具体的には、撮像方向検出部232は、カメラペアのうち一方のカメラ201の撮像によって得られた画像におけるマーカ-300の像の位置と、他方のカメラ201の撮像によって得られた画像におけるマーカ-300の像の位置とを取得する。更に、撮像方向検出部232は、これら取得された2つの位置の組み合わせと、カメラペアに対応するカメラパラメータとを用いて、マーカ-300の設置位置を算出する。

## 【 0 0 6 0 】

次に、撮像方向検出部232は、ステップS203において設置位置を算出したマーカ-300について、設置信頼性を求める(ステップS204)。例えば、カメラ201aを中心として、カメラ201aとカメラ201bのカメラペアに基づいて算出されたマーカ-300cの設置位置を( $X_b, Y_b, Z_b$ )、カメラ201aとカメラ201cのカメラペアに基づいて算出されたマーカ-300cの設置位置を( $X_c, Y_c, Z_c$ )、カメラ201aとカメラ201dのカメラペアに基づいて算出されたマーカ-300cの設置位置を( $X_d, Y_d, Z_d$ )とする。ここで、いずれのカメラペアもカメラ設置当初においてマーカ-300cを撮像可能であるとする。いずれのカメラペアもマーカ-300cの設置位置を算出していることから、算出された値は、同じであるはずである。マーカ-300cの設置位置は既知であり、予めメモリ205に記憶されている。撮像方向検出部232は、メモリ205からマーカ-300cの設置位置を読み出して、各カメラペアによって算出されたマーカ-300cの設置位置( $X_b, Y_b, Z_b$ )、( $X_c, Y_c, Z_c$ )、( $X_d, Y_d, Z_d$ )との差を求める。

## 【 0 0 6 1 】

撮像方向検出部232は、各カメラペアについて求めた差が0であるか又は誤差範囲内であるか否かにより、図3の撮像方向の変化検出・補正処理が必要であるか否かを判断する(ステップS205)。各カメラペアについて求めた差が誤差範囲を超えているカメラペアがある場合(ステップS205: YES)、撮像方向検出部232は、撮像方向の変化検出・補正処理を行う必要があるとして、図3の処理に移行する。例えば、前記の例において、カメラ201aとカメラ201dのカメラペアに基づいて算出されたマーカ-300cの設置位置( $X_d, Y_d, Z_d$ )について求めた差が誤差範囲を超えており、他のカメラペアに基づいて算出されたマーカ-300cの設置位置について求めた差が誤差範囲内である場合、カメラ201dの設置信頼性が低いと判断して、図3の撮像方向の変化検出・補正処理に移行する。

## 【 0 0 6 2 】

各カメラペアについて求めた差が0であるか又は誤差範囲内である場合(ステップS205: NO)、カメラ201a~201dの設置信頼性に問題がないと判断して処理を終了する。

## 【 0 0 6 3 】

なお、上記の例では、各カメラペアによって算出されたマーカ-300の設置位置とメモリ205から読み出された既知のマーカ-300の設置位置との差を求めたが、これに限らず、各カメラペアによって算出されたマーカ-300の設置位置をそれぞれ比較し、

他の複数のカメラペアによって算出されたマーカー300の設置位置と異なる設置位置が算出されたカメラペアについて、設置信頼性が低いと判断してもよい。例えば、カメラ201aとカメラ201bのカメラペアに基づいて算出されたマーカー300cの設置位置( $X_b, Y_b, Z_b$ )とカメラ201aとカメラ201cのカメラペアに基づいて算出されたマーカー300cの設置位置( $X_c, Y_c, Z_c$ )が同じであり、カメラ201aとカメラ201dのカメラペアに基づいて算出されたマーカー300cの設置位置( $X_d, Y_d, Z_d$ )のみが他のカメラペアから算出された設置位置と比べて誤差範囲を超えて異なる場合、カメラ201dの設置信頼性が低いと判断する。

【0064】

また、上記の信頼性判断処理を、図3の撮像方向の変化検出・補正処理のステップS101及びステップS102に置き換えてもよい。この場合、ステップS103において、既知のマーカー300の設置位置との差又は他の複数のカメラペアによって算出されたマーカー300の設置位置との差が、外部パラメータの補正で対応できないほど大きい場合、補正が不可能であると判断してエラーを警告するようにしてもよい。

【0065】

(第3の実施の形態)

上記第1及び第2の実施の形態において、カメラ201は空間500内に固定設置されていた(以下、これをカメラ固定型と称する)。これに対して、第3の実施の形態では、カメラ201が移動体100に固定設置されており、カメラ201は移動体100の移動に伴って移動する場合(以下、これをカメラ移動型と称する)について説明する。

【0066】

図5は、本実施の形態にかかる可視光通信システム1の構成を示す図である。ここでは、移動体100としてフォークリフトを例として記載している。図5に示すように、可視光通信システム1は、空間500内を移動する移動体100と、移動体100に取り付けられたカメラ201と、空間500の天井や側面等に取り付けられた光源であるマーカー300a、300b、300c、300dと、サーバー200とを含んで構成される。サーバー200とカメラ201は、無線で接続されており、サーバー200は空間500の外に設置されている。もちろん、サーバー200は空間500内に設置されてもよい。その他、図1と同じ構成については同一番号を付し、説明を省略する。また、サーバー200の構成は、サーバー200とカメラ201a~201dが無線で接続されている以外、図2に示す構成と同様であるため、説明を省略する。

【0067】

カメラ201は移動体100の移動に伴って移動し、複数のマーカー300を撮像し、カメラが存在する位置、すなわち移動体100の位置を測定する。カメラ移動型では、2個以上のマーカーをカメラの視野に収めることでカメラ位置を測定できる。カメラ固定型と比較すると、観測点が少なくなるため、カメラパラメータに要求される精度要件は高くなる。カメラ201を移動体100に取り付ける関係上、移動体100の走行時の振動等によりカメラ201の設置条件が初期値からずれてきてしまい、位置検出精度の低下問題が発生する頻度が、カメラ固定型に比べ高くなる。したがって、カメラ移動型では、日常的にカメラ201の設置条件のずれを補正することが重要になる。例えば移動体100がフォークリフトの場合、作業終了時に、フォークリフトを停車させる位置が運用上決まっていることが多い。この場合、運用上決まっているフォークリフトの停車位置(ホームポジション)に戻った時に、カメラが向いている方向のずれを補正するとよい。ホームポジションから視認できるマーカーの位置は常に同じであるはずである。したがって、移動体100がホームポジションに戻った時に、カメラ201の撮像方向の変化検出・補正処理の動作を実行する。

【0068】

図6は、サーバー200による撮像方向の変化検出・補正処理の動作の一例を示すフローチャートである。この処理は、移動体100がホームポジションに戻った時に、自動的に実行されるが、ユーザの指示により実行されてもよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 9 】

移動体 1 0 0 がホームポジションに戻ると、カメラ 2 0 1 は、ホームポジションから空間 5 0 0 内の撮像を行う。制御部 2 0 2 内の撮像方向検出部 2 3 2 は、画像取得部 2 3 1 によって取得されたカメラ 2 0 1 の撮像画像とメモリ 2 0 5 から読み出した初期データであるカメラ設置当初のホームポジションにおけるカメラ 2 0 1 の撮像画像とを比較する。メモリ 2 0 5 には、カメラ 2 0 1 の設置当初のキャリブレーション時にホームポジションにおいて撮像した撮像画像、算出されたカメラパラメータが初期データとして予め記憶されている。撮像画像に含まれる共通 ID のマーカー 3 0 0 の画像位置又は設置位置を比較し、画像取得部 2 3 1 によって新たに取得されたカメラ 2 0 1 の撮像方向について、カメラ設置当初のカメラ 2 0 1 の撮像方向である第 1 方向から現在の撮像方向である第 2 方向への変化を検出する（ステップ S 3 0 1）。

10

## 【 0 0 7 0 】

次に、制御部 2 0 2 内の補正判断部 2 3 4 が、撮像方向検出部 2 3 2 により検出された撮像方向の変化に基づいて、外部パラメータの補正が必要か否かを判断する（ステップ S 3 0 2）。

## 【 0 0 7 1 】

補正判断部 2 3 4 は、検出された第 1 方向から第 2 方向への変化量が閾値以上である場合、外部パラメータの補正が必要であると判断され（ステップ S 3 0 2 : Y E S）、続いて、外部パラメータの補正が可能であるか否かを判断される（ステップ S 3 0 3）。検出された第 1 方向から第 2 方向への変化量がわずかであるか、又は変化がなく、変化量が閾値より小さい場合、補正判断部 2 3 4 は、外部パラメータの補正の必要なしと判断し（ステップ S 3 0 2 : N O）、処理を終了する。補正が必要であるか否かの判断は、図 3 のステップ S 1 0 2 と同様である。

20

## 【 0 0 7 2 】

次に、ステップ S 3 0 3 において、補正判断部 2 3 4 は、現在のカメラ 2 0 1 の撮像画像から外部パラメータを補正可能であるか否かを判断する。補正が可能であるか否かの判断は、図 3 のステップ S 1 0 3 と同様である。マーカー 3 0 0 の位置が画像の中心から大きくずれて、外部パラメータの補正で調整できない場合、補正判断部 2 3 4 は、補正不可能であると判断し（ステップ S 3 0 3 : N O）、エラーであることを表示部 2 0 7 に表示してユーザに警告する（ステップ S 3 0 4）。ユーザへの警告後、制御部 2 0 2 は、処理を終了する。マーカー 3 0 0 の位置が外部パラメータの補正で調整できないほど画像の中心から大きくずれていない場合、補正判断部 2 3 4 は、補正可能であると判断し（ステップ S 3 0 3 : Y E S）、補正值算出処理に移行する。

30

## 【 0 0 7 3 】

制御部 2 0 2 の補正值算出部 2 3 6 は、カメラパラメータ（内部パラメータ及び外部パラメータ）と、撮像画像中の 2 以上のマーカー 3 0 0 についてメモリ 2 0 5 に記憶されているマーカー 3 0 0 の既知の世界座標（真値）と、現在の撮像画像から算出されたマーカー 3 0 0 の世界座標（ずれ後）と、に基づき逆行列を求めることにより補正值  $[E']^{-1}$  を算出する（ステップ S 3 0 5）。

## 【 0 0 7 4 】

ステップ S 3 0 5 で補正值  $[E']^{-1}$  が求められると、位置データ取得部 2 3 8 は、カメラパラメータの補正を実行して、補正されたカメラパラメータに基づいて、カメラ 2 0 1 の位置、すなわち移動体 1 0 0 の位置について自己測位して位置データを取得する（ステップ S 3 0 6）。補正值  $[E']^{-1}$  は、カメラ 2 0 1 の撮像方向の変動による外部パラメータ  $[E]$  に対する変動分のパラメータ  $[E']$  の逆行列である。したがって、この変動分のパラメータ  $[E']$  に対して、この補正值を掛けあわせることで座標に対して補正を実行する。

40

## 【 0 0 7 5 】

補正が行われた移動体 1 0 0 の位置座標が求められると、ホームポジションの位置座標と比較して、求められた位置座標がホームポジションの位置と一致しているか、すなわち

50

求められた位置座標が正しいか否か判断する（ステップS307）。ホームポジションの位置座標は予めメモリ205に記憶されている。制御部202は、メモリ205からホームポジションの位置座標を読み出して上記判断を実行する。求められた位置座標が正しい場合（ステップS307：YES）、処理を終了する。求められた位置座標が正しくない場合（ステップS307：NO）、ステップS301に戻り、ステップS301以降の処理を繰り返す。

【0076】

第3の実施の形態によれば、カメラ201が移動体100に固定設置されている場合において、撮像方向がカメラ201の設置当初の第1方向から第2方向に変化しても、現実世界におけるカメラ201の撮像方向を第2方向から第1方向に戻すことなしに、撮像画像に基づいて、移動体100の位置データを取得する。このように、カメラ201が向いている方向が設置当初の状態から様々な要因で変化した場合であってもキャリブレーションを不要とし、稼働中のシステムを停止することなく位置測位精度を回復することができる。また、作業終了時に必ず戻るホームポジション位置で補正処理を実行することから、日常的に補正処理がなされる。したがって、カメラ201が移動体100に設置されることによるカメラ201の姿勢が変化しやすい環境において、位置測位精度を維持することが可能である。

10

【0077】

（第4の実施の形態）

上記第3の実施の形態において、撮像画像からパン、チルト、ロールの3軸の回転角のすべてについて補正を行う補正值 $[E']^{-1}$ を求めた。これに対して、第4の実施の形態では、カメラ201に慣性センサを設置し、センサ値に基づいてパン、チルト、ロールの一部を補正したうえで、撮像画像から補正值 $[E']^{-1}$ を求める。これにより、補正值 $[E']^{-1}$ を求める計算処理が簡単になる。

20

【0078】

慣性センサとして、加速度センサ及びジャイロセンサがカメラ201に設置される。加速度センサ及びジャイロセンサはカメラ201の移動状態を測定する。なお、慣性センサは加速度センサとジャイロセンサのどちらか一方であってもよく、カメラ201の姿勢を検出できるものであればよい。また、慣性センサはカメラ201とともに移動するカメラ201の設置器具に設置されてもよい。加速度センサは、3軸加速度センサであり、互いに直交する3軸方向の加速度を検出することにより、カメラ201の移動中の動作速度の変化を計測する。ジャイロセンサは、3軸角速度センサであり、加速度センサにおいて加速度を規定する3軸について各々の軸を中心として回転する角速度を検出することにより、カメラ201の移動中の動作方向の変化を計測する。

30

【0079】

図7は、本実施の形態におけるサーバー200による撮像方向の変化検出・補正処理の動作の一例を示すフローチャートである。第3の実施の形態と同様に、この処理は、移動体100がホームポジションに戻った時に、実行される。

【0080】

移動体100がホームポジションに戻ると、カメラ201に設置された加速度センサ及びジャイロセンサのセンサ値から変化量を検出する（ステップS401）。

40

【0081】

また、カメラ201は、ホームポジションから空間500内の撮像を行う。制御部202内の撮像方向検出部232は、画像取得部231によって取得されたカメラ201の撮像画像とメモリ205から読み出した初期データであるカメラ設置当初のホームポジションにおけるカメラ201の撮像画像とを比較する。比較に基づいて、画像取得部231によって新たに取得されたカメラ201の撮像方向について、カメラ設置当初のカメラ201の撮像方向である第1方向から第2方向への変化を検出する（ステップS402）。

【0082】

次に、制御部202内の補正判断部234が、撮像方向検出部232により検出された

50

撮像方向の変化に基づいて、外部パラメータの補正が必要か否かを判断する（ステップ S 4 0 3）。カメラ 2 0 1 の設置当初の撮像方向である第 1 方向から第 2 方向への変化量が閾値以上である場合、外部パラメータの補正が必要であると判断され（ステップ S 4 0 3 : Y E S）、続いて、外部パラメータの補正が可能であるか否か判断される（ステップ S 4 0 4）。カメラ 2 0 1 の設置当初の撮像方向である第 1 方向から第 2 方向への変化量がわずかであるか、又は変化がなく、変化量が閾値より小さい場合、補正判断部 2 3 4 は、外部パラメータの補正の必要なしと判断し（ステップ S 4 0 3 : N O）、処理を終了する。

#### 【 0 0 8 3 】

次に、ステップ S 4 0 4 において、補正判断部 2 3 4 は、現在のカメラ 2 0 1 の撮像画像から外部パラメータを補正可能であるか否かを判断する。マーカー 3 0 0 の位置が画像の中心から大きくずれて、外部パラメータの補正で調整できない場合、補正判断部 2 3 4 は、補正不可能であると判断し（ステップ S 4 0 4 : N O）、エラーであることを表示部 2 0 7 に表示してユーザに警告する（ステップ S 4 0 5）。制御部 2 0 2 は、処理を終了する。マーカー 3 0 0 の位置が外部パラメータの補正で調整できないほど画像の中心から大きくずれていない場合、補正判断部 2 3 4 は、補正可能であると判断し（ステップ S 4 0 4 : Y E S）、加速度センサ及びジャイロセンサのセンサ値に基づくチルト及びロールの補正処理（ステップ S 4 0 6）に移行する。

#### 【 0 0 8 4 】

ステップ S 4 0 6 では、センサ値に基づいてチルト及びロールの補正を行い、パンの補正は行わない。パンについては、センサ値に基づく補正処理が複雑となるため、続いて実行される撮像画像に基づく補正值算出処理によりパンの補正が行われる。ステップ S 4 0 6 において、加速度センサの 3 軸出力とジャイロセンサの 3 軸出力をカルマンフィルタやローパスフィルタに入力することにより、地面に対する、加速度の 3 軸データと、角速度の 3 軸データとを算出して、重力方向の推定を行う。また、カルマンフィルタやローパスフィルタ以外の軸推定方式を採用して重力方向の推定を行ってもよい。重力方向の推定が行われると、加速度センサやジャイロセンサのデータについて推定された重力方向に姿勢を補正する。これにより、チルト及びロールについて補正がなされる。

#### 【 0 0 8 5 】

次に、制御部 2 0 2 の補正值算出部 2 3 6 は、カメラパラメータ（内部パラメータ及び外部パラメータ）と、撮像画像中の 2 以上のマーカー 3 0 0 についてメモリ 2 0 5 に記憶されているマーカー 3 0 0 の既知の世界座標（真値）と、現在の撮像画像から算出されたマーカー 3 0 0 の世界座標（ずれ後）と、に基づき逆行列を求めることにより補正值  $[E']^{-1}$  を算出する（ステップ S 4 0 7）。ステップ S 4 0 6 において既にチルト及びロールが補正されていることから、補正值  $[E']^{-1}$  を求める計算処理の負担は軽減される。

#### 【 0 0 8 6 】

ステップ S 4 0 7 で補正值  $[E']^{-1}$  が求められると、位置データ取得部 2 3 8 は、カメラパラメータの補正を実行して、補正されたカメラパラメータに基づいて、カメラ 2 0 1 の位置、すなわち移動体 1 0 0 の位置について自己測位して位置データを取得する（ステップ S 4 0 8）。

#### 【 0 0 8 7 】

移動体 1 0 0 の位置座標が求められると、メモリ 2 0 5 から読み出したホームポジションの位置座標と比較して、求められた位置座標がホームポジションの位置と一致しているか、すなわち求められた位置座標が正しいか否か判断する（ステップ S 4 0 9）。求められた位置座標が正しい場合（ステップ S 4 0 9 : Y E S）、処理を終了する。求められた位置座標が正しくない場合（ステップ S 4 0 9 : N O）、ステップ S 4 0 1 に戻り、ステップ S 4 0 1 以降の処理を繰り返す。

#### 【 0 0 8 8 】

第 4 の実施の形態によれば、第 3 の実施の形態による効果に加えて、補正值  $[E']^{-1}$

10

20

30

40

50

を算出するためのパラメータであるチルト、ロールの回転角を慣性センサのセンサ値に基づき補正することにより、パラメータが少なくなり、補正值  $[E']^{-1}$  を算出するための処理が簡単になる。また、慣性センサのセンサ値に基づく補正において計算処理が複雑となるパンの回転角を補正值  $[E']^{-1}$  によって補正することにより慣性センサのセンサ値に基づく補正の計算処理が簡単になる。

【0089】

上記第2、第3、第4の実施の形態において、移動体100のホームポジションへの停車精度は考慮しなかった。これに対して、映像解析 (Video Content Analysis) を併用して、移動体100の停車精度を緩和してもよい。例えば、チェッカーボードのようなパターンをホームポジションに設けることで、移動体100の停車姿勢を割出し、移動体100の停車方向のずれによる左右方向の回転のずれを補正する。

10

【0090】

上記実施の形態において、CPUがRAMやROMに記憶されたプログラムを実行することによって、制御部202として機能した。しかしながら、CPUがRAMやROMに記憶されたプログラムを実行する代わりに、例えばASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field-Programmable Gate Array)、各種制御回路等の専用のハードウェアを備え、専用のハードウェアが、制御部202として機能しても良い。この場合、一部を専用のハードウェアによって実現し、他の一部をソフトウェア又はファームウェアによって実現しても良い。

【0091】

20

本発明の実施の形態を説明したが、本発明の範囲は、上述の実施の形態に限定するものではなく、特許請求の範囲に記載された発明の範囲とその均等の範囲を含む。以下に、この出願の願書に最初に添付した特許請求の範囲に記載した発明を付記する。付記の番号は、この出願の願書に最初に添付した特許請求の範囲の通りである。

【0092】

(付記1)

撮像方向が第1方向から第2方向に変化したカメラから、空間内に配置されている少なくとも1つのマーカと、前記空間内を動く少なくとも1つの移動体と、を含む撮像画像を取得し、

前記撮像画像と、初期データと、に基づいて、前記撮像方向の前記第1方向から前記第2方向への変化を検出し、

30

現実世界における前記カメラの前記撮像方向を前記第2方向から前記第1方向に戻すことなしに、前記撮像画像に基づいて、前記少なくとも1つの移動体の位置データを取得する、

移動体の位置測位装置。

【0093】

(付記2)

移動体側に固定されているカメラであって、撮像方向が第1方向から第2方向に変化したカメラから、空間内に配置されている複数のマーカが撮像された撮像画像を取得し、

前記撮像画像と、初期データと、に基づいて、前記撮像方向の前記第1方向から前記第2方向への変化を検出し、

40

現実世界における前記カメラの前記撮像方向を前記第2方向から前記第1方向に戻すことなしに、前記カメラから取得される撮像画像に基づいて、前記移動体の位置データを取得する、

移動体の位置測位装置。

【0094】

(付記3)

前記初期データは、マーカが配置されるワールド座標データを含む、

付記1又は2に記載の移動体の位置測位装置。

【0095】

50

(付記 4)

振動による外部要因又は経年要因により、前記カメラの前記撮像方向が前記第 1 方向から前記第 2 方向に変化する、

付記 1 乃至 3 のいずれか 1 つに記載の移動体の位置測位装置。

【 0 0 9 6 】

(付記 5)

前記第 2 方向への変化を検出するときに、前記撮像画像に含まれるマーカの画像座標データと、前記マーカのワールド座標データと、に基づいて、前記カメラの前記撮像方向の変動を補正する補正值を算出する、

付記 1 乃至 4 のいずれか 1 つに記載の移動体の位置測位装置。

【 0 0 9 7 】

(付記 6)

前記位置データを前記補正值に基づいて取得する、

付記 5 に記載の位置測位装置。

【 0 0 9 8 】

(付記 7)

前記撮像画像は、前記移動体がホームポジションに位置する時に撮像される、

付記 2 に記載の移動体の位置測位装置。

【 0 0 9 9 】

(付記 8)

前記移動体は、前記カメラの姿勢を検出する慣性センサを備え、

前記慣性センサのセンサ値に基づき少なくともロールを除く前記カメラの姿勢を補正する、

付記 2 に記載の移動体の位置測位装置。

【 0 1 0 0 】

(付記 9)

撮像方向が第 1 方向から第 2 方向に変化したカメラと、

空間内に配置されているマーカと、

前記空間内を動く移動体と、

少なくとも 1 つのプロセッサと、を備え、

前記少なくとも 1 つのプロセッサは、

前記マーカが撮像された第 1 撮像画像を取得し、

前記第 1 撮像画像と、初期データと、に基づいて、前記撮像方向の前記第 1 方向から前記第 2 方向への変化を検出し、

現実世界における前記カメラの前記撮像方向を前記第 2 方向から前記第 1 方向に戻すことなしに、前記第 2 方向を向く前記カメラにより取得される第 2 撮像画像に基づいて、前記移動体の位置を取得する、

移動体の位置測位システム。

【 0 1 0 1 】

(付記 10)

撮像方向が第 1 方向から第 2 方向に変化したカメラにより、空間内に配置されているマーカが撮像された第 1 撮像画像を取得し、

前記第 1 撮像画像と、初期データと、に基づいて、前記撮像方向の前記第 1 方向から前記第 2 方向への変化を検出し、

現実世界における前記カメラの前記撮像方向を前記第 2 方向から前記第 1 方向に戻すことなしに、前記第 2 方向を向く前記カメラにより取得される第 2 撮像画像に基づいて、移動体の位置を取得する、

移動体の位置測位方法。

【 0 1 0 2 】

(付記 11)

10

20

30

40

50

少なくとも1つのプロセッサが、  
 撮像方向が第1方向から第2方向に変化したカメラにより、空間内に配置されているマーカーが撮像された第1撮像画像を取得し、  
 前記第1撮像画像と、初期データと、に基づいて、前記撮像方向の前記第1方向から前記第2方向への変化を検出し、  
 現実世界における前記カメラの前記撮像方向を前記第2方向から前記第1方向に戻すことなしに、前記第2方向を向く前記カメラにより取得される第2撮像画像に基づいて、移動体の位置を取得する、  
 移動体の位置測位プログラム。

【符号の説明】

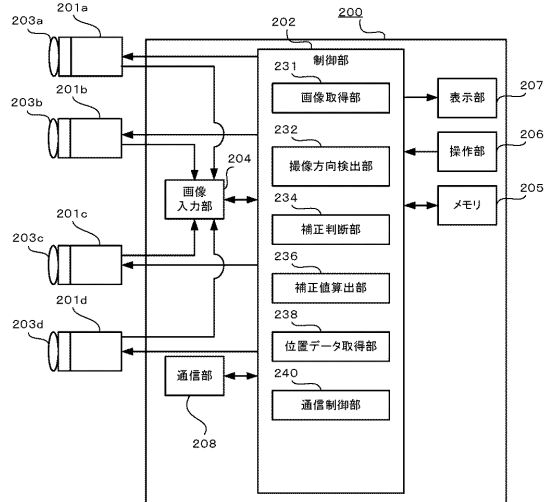
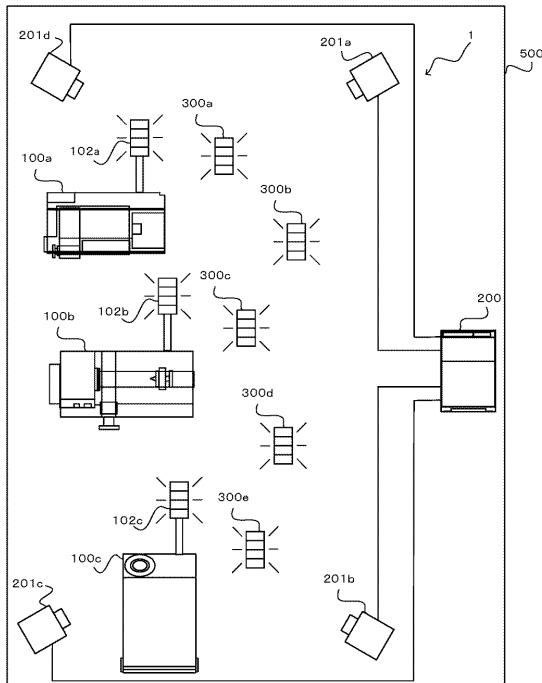
【0103】

1...可視光通信システム、100a, 100b, 100c...移動体、102a, 102b, 102c...光源、200...サーバー、201a, 201b, 201c, 201d...カメラ、202...制御部、203a, 203b, 203c, 203d...レンズ、204...画像入力部、205...メモリ、206...操作部、207...表示部、208...通信部、231...画像取得部、232...撮像方向検出部、234...補正判断部、236...補正值算出部、238...位置データ取得部、240...通信制御部、300a, 300b, 300c, 300d, 300e...マーカー、500...空間

【図面】

【図1】

【図2】



10

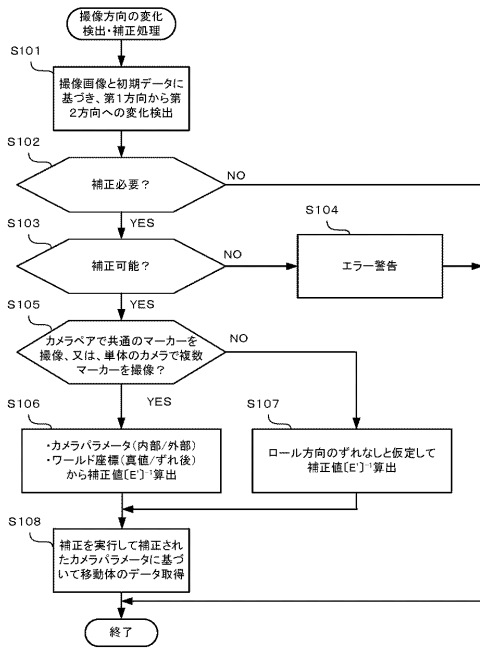
20

30

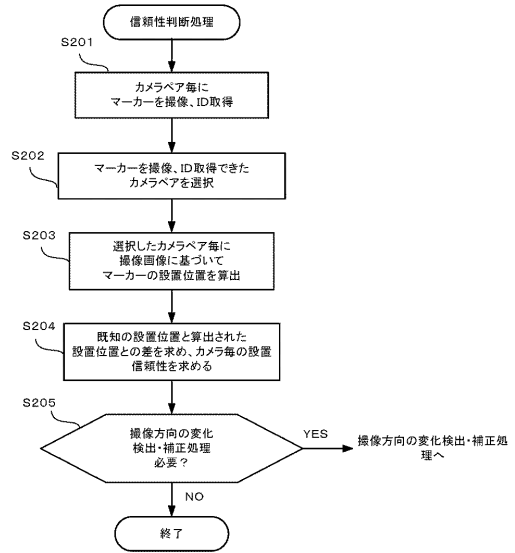
40

50

【 図 3 】



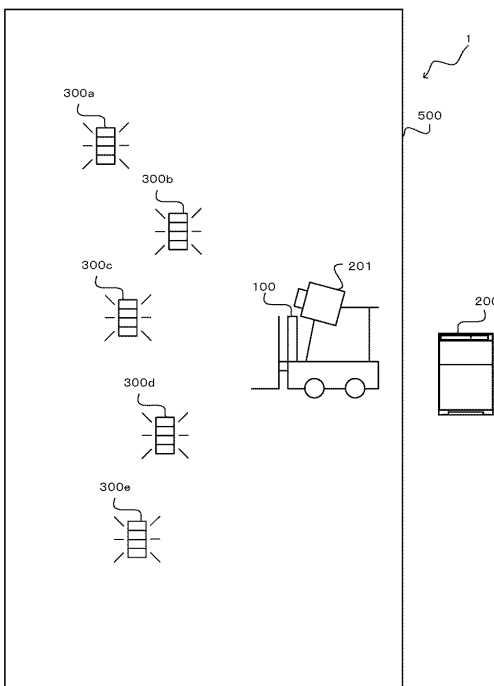
【 図 4 】



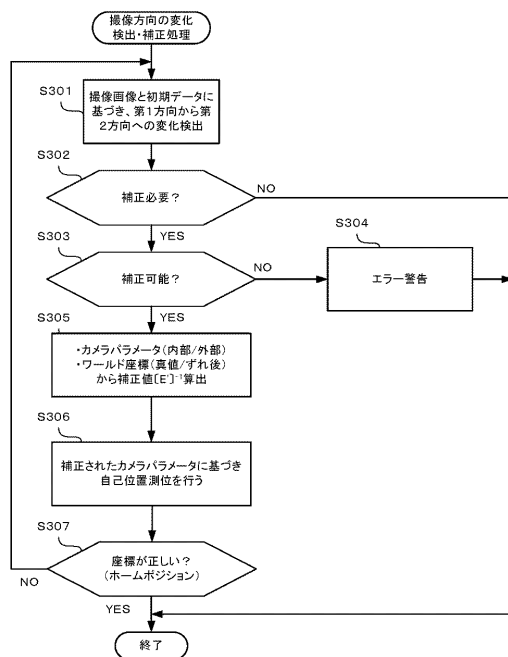
10

20

【 図 5 】



【 図 6 】

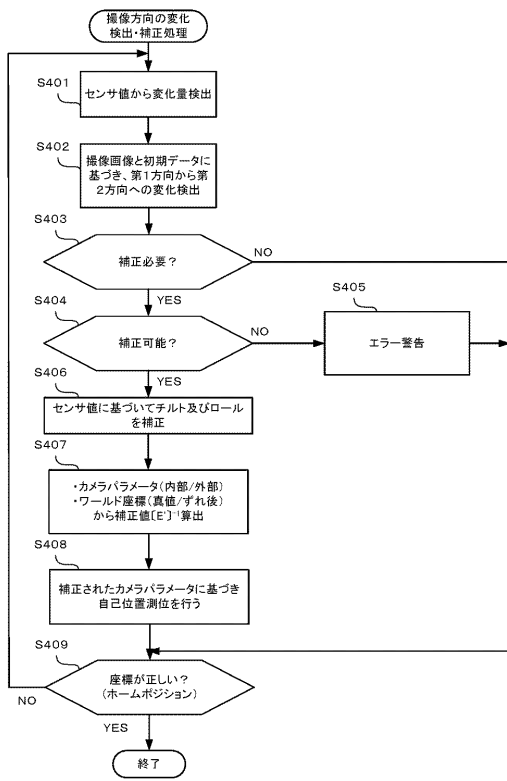


30

40

50

【図7】



10

20

30

40

50