

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7011908号

(P7011908)

(45)発行日 令和4年1月27日(2022.1.27)

(24)登録日 令和4年1月19日(2022.1.19)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 C 15/00 (2006.01)

G 0 1 C 15/00 1 0 3 A

G 0 9 G 5/36 (2006.01)

G 0 1 C 15/00 1 0 4 C

G 0 9 G 5/00 (2006.01)

G 0 9 G 5/36 5 2 0 E

B 6 4 C 27/08 (2006.01)

G 0 9 G 5/00 5 1 0 G

B 6 4 C 39/02 (2006.01)

G 0 9 G 5/00 5 5 0 C

請求項の数 12 (全22頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2017-164212(P2017-164212)

(22)出願日 平成29年8月29日(2017.8.29)

(65)公開番号 特開2019-39892(P2019-39892A)

(43)公開日 平成31年3月14日(2019.3.14)

審査請求日 令和2年6月12日(2020.6.12)

(73)特許権者 000220343

株式会社トブコン

東京都板橋区蓮沼町75番1号

(74)代理人 100096884

弁理士 未成 幹生

(72)発明者 佐々木 陽

東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会

社トブコン内

審査官 山▲崎▼ 和子

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学情報処理装置、光学情報処理方法および光学情報処理用プログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

光学的に無人航空機を追尾しつつ前記無人航空機までの距離を測定することで前記無人航空機の位置を測定する無人航空機の位置測定部と、

前記無人航空機を撮影するカメラと、

前記位置測定部が測定した前記無人航空機の位置に基づき、前記無人航空機の飛行状態を示すパラメータを算出する飛行状態算出部と、

前記飛行状態を示すパラメータおよび前記カメラが撮影した前記無人航空機の撮影画像を透過型の頭部装着型ディスプレイ上に表示する画像を作成する画像作成部と

を備える光学情報処理装置。

【請求項2】

前記飛行状態を示すパラメータが、前記無人航空機の飛行方向である請求項1に記載の光学情報処理装置。

【請求項3】

前記飛行状態を示すパラメータが、前記無人航空機の地表面からの高度および速度の一方または両方である請求項1または2に記載の光学情報処理装置。

【請求項4】

前記位置測定部が測定した前記無人航空機の位置と前記無人航空機の飛行空域における三次元地形情報とに基づいて地表面からの高度を算出する高度算出部を備える請求項1～3のいずれか一項に記載の光学情報処理装置。

【請求項 5】

前記位置測定部が測定した前記無人航空機の位置と前記無人航空機の飛行の障害となる障害物との間の距離を算出する距離算出部を備える請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の光学情報処理装置。

【請求項 6】

前記画像作成部は、前記無人航空機と前記障害物との間の距離に基づき、前記無人航空機と前記障害物との相対位置関係を表示する画像を作成する請求項 5 に記載の光学情報処理装置。

【請求項 7】

前記画像作成部は、前記無人航空機と前記障害物との間の距離に基づき、前記無人航空機と前記障害物との衝突を警告する画像を作成する請求項 5 または 6 に記載の光学情報処理装置。

10

【請求項 8】

前記画像作成部は、前記無人航空機と前記障害物との間の距離に基づき、前記無人航空機を回避させる方向を示す画像を作成する請求項 5 ～ 7 のいずれか一項に記載の光学情報処理装置。

【請求項 9】

前記無人航空機と前記無人航空機の飛行の障害となる障害物との間の距離が規定の値以下となった場合に、前記無人航空機と前記障害物とが前記透過型の頭部装着型ディスプレイ上に同時に表示されるように前記透過型の頭部装着型ディスプレイにおける表示倍率を調整する表示倍率調整部を備える請求項 5 ～ 8 のいずれか一項に記載の光学情報処理装置。

20

【請求項 10】

点群データを得るためのレーザースキャナを備え、
前記レーザースキャナにより前記障害物の三次元データが得られる請求項 5 ～ 9 のいずれか一項に記載の光学情報処理装置。

【請求項 11】

光学的に無人航空機を追尾しつつ前記無人航空機までの距離を測定することで前記無人航空機の位置を測定する無人航空機の位置測定ステップと、
前記無人航空機をカメラにより撮影する撮影ステップと、
前記位置測定ステップで測定した前記無人航空機の位置に基づき、前記無人航空機の飛行状態を示すパラメータを算出する飛行状態算出ステップと、
前記飛行状態を示すパラメータおよび前記カメラが撮影した前記無人航空機の撮影画像を透過型の頭部装着型ディスプレイ上に表示する画像を作成する画像作成ステップと
を備える光学情報処理方法。

30

【請求項 12】

コンピュータに読み取らせて実行させるプログラムであって、
コンピュータを
光学的に無人航空機を追尾しつつ前記無人航空機までの距離を測定することで前記無人航空機の位置を測定する無人航空機の位置測定部と、
前記位置測定部が測定した前記無人航空機の位置に基づき、前記無人航空機の飛行状態を示すパラメータを算出する飛行状態算出部と、
前記飛行状態を示すパラメータおよびカメラにより撮影した前記無人航空機の撮影画像を透過型の頭部装着型ディスプレイ上に表示する画像を作成する画像作成部と
して機能させる光学情報処理用プログラム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、UAV等の航空機の監視を行う技術に関する。

【背景技術】

【0002】

50

無人航空機（UAV(Unmanned aerial vehicle)）を撮影や測量等に用いる技術が知られている。この技術では、飛行するUAVを目視で監視する必要がある。飛行するUAVを監視する方法として、TS（トータルステーション）で飛行するUAVを追尾する方法がある（例えば、特許文献1を参照）。この方法では、TSが備えたターゲットの追尾機能を用いてUAVが追跡され、またTSは望遠鏡と画像撮影機能を備えているので、この光学系を用いたUAVの目視での追跡が可能となる。また、TSが備えるレーザー測距機能を用いて飛行するUAVの位置を特定することもできる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

10

【文献】US2014/0210663号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記のTSでUAVを追尾する方法では、TSが備えるターゲットの自動追尾機能が利用される。この技術では、探索用レーザー光でUAVを捕捉および追尾する。UAVは、探索用レーザー光を入射方向に反射する反射プリズムを備え、この反射プリズムからの反射光をTS側で検出することで、TSによるUAVの追尾が行われる。

【0005】

ところで、TSによるUAVの追尾では、TSがUAVを見失うことが問題となる。例えば、TSとUAVの間に鳥、電線、電柱、鉄塔、背の高い木、建物等が入った場合に、TSからの探索用レーザー光（追尾光）が遮られ、TSがUAVを見失う場合がある。

20

【0006】

TSがUAVを見失った場合、TSの望遠鏡を用いてUAVを探索する操作が操縦者や監視者によって行われるが、一旦見失ったUAVを望遠鏡の視野に入れるのは困難である。望遠鏡の倍率を下げれば視野を広くできるが、最大で数100m遠方を飛行するUAVを広い視野の中から探し出すのは困難である。

【0007】

操縦者がUAVを見失った場合、建物等への衝突や墜落といった事故が発生する可能性があり、そのようなことが発生しないようにすることが望まれる。このような背景において本発明は、飛行するUAVの監視を効果的に行う技術の提供を目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0008】

請求項1に記載の発明は、光学的に無人航空機を追尾しつつ前記無人航空機までの距離を測定することで前記無人航空機の位置を測定する無人航空機の位置測定部と、前記無人航空機を撮影するカメラと、前記位置測定部が測定した前記無人航空機の位置に基づき、前記無人航空機の飛行状態を示すパラメータを算出する飛行状態算出部と、前記飛行状態を示すパラメータおよび前記カメラが撮影した前記無人航空機の撮影画像を透過型の頭部装着型ディスプレイ上に表示する画像を作成する画像作成部とを備える光学情報処理装置である。

40

【0009】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、前記飛行状態を示すパラメータが、前記無人航空機の飛行方向であることを特徴とする。請求項3に記載の発明は、請求項1または2に記載の発明において、前記飛行状態を示すパラメータが、前記無人航空機の地表面からの高度および速度の一方または両方であることを特徴とする。

【0010】

請求項4に記載の発明は、請求項1～3のいずれか一項に記載の発明において、前記位置測定部が測定した前記無人航空機の位置と前記無人航空機の飛行空域における三次元地形情報とに基づいて地表面からの高度を算出する高度算出部を備えることを特徴とする。

【0011】

50

請求項 5 に記載の発明は、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の発明において、前記位置測定部が測定した前記無人航空機の位置と前記無人航空機の飛行の障害となる障害物との間の距離を算出する距離算出部を備えることを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

請求項 6 に記載の発明は、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の発明において、前記画像作成部は、前記無人航空機と前記障害物との間の距離に基づき、前記無人航空機と前記障害物との相対位置関係を表示する画像を作成することを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

請求項 7 に記載の発明は、請求項 5 または 6 に記載の発明において、前記画像作成部は、前記無人航空機と前記障害物との間の距離に基づき、前記無人航空機と前記障害物との衝突を警告する画像を作成することを特徴とする。

10

【 0 0 1 4 】

請求項 8 に記載の発明は、請求項 5 ～ 7 のいずれか一項に記載の発明において、前記画像作成部は、前記無人航空機と前記障害物との間の距離に基づき、前記無人航空機を回避させる方向を示す画像を作成することを特徴とする。

【 0 0 1 5 】

請求項 9 に記載の発明は、請求項 5 ～ 8 のいずれか一項に記載の発明において、前記無人航空機と前記無人航空機の飛行の障害となる障害物との間の距離が規定の値以下となった場合に、前記無人航空機と前記障害物とが前記透過型の頭部装着型ディスプレイ上に同時に表示されるように前記透過型の頭部装着型ディスプレイにおける表示倍率を調整する表示倍率調整部を備えることを特徴とする。

20

【 0 0 1 6 】

請求項 10 に記載の発明は、請求項 5 ～ 9 のいずれか一項に記載の発明において、点群データを取得するためのレーザースキャナを備え、前記レーザースキャナにより前記障害物の三次元データが得られることを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

請求項 11 に記載の発明は、光学的に無人航空機を追尾しつつ前記無人航空機までの距離を測定することで前記無人航空機の位置を測定する無人航空機の位置測定ステップと、前記無人航空機をカメラにより撮影する撮影ステップと、前記位置測定ステップで測定した前記無人航空機の位置に基づき、前記無人航空機の飛行状態を示すパラメータを算出する飛行状態算出ステップと、前記飛行状態を示すパラメータおよび前記カメラが撮影した前記無人航空機の撮影画像を透過型の頭部装着型ディスプレイ上に表示する画像を作成する画像作成ステップとを備える光学情報処理方法である。

30

【 0 0 1 8 】

請求項 12 に記載の発明は、コンピュータに読み取らせて実行させるプログラムであって、コンピュータを光学的に無人航空機を追尾しつつ前記無人航空機までの距離を測定することで前記無人航空機の位置を測定する無人航空機の位置測定部と、前記位置測定部が測定した前記無人航空機の位置に基づき、前記無人航空機の飛行状態を示すパラメータを算出する飛行状態算出部と、前記飛行状態を示すパラメータおよびカメラにより撮影した前記無人航空機の撮影画像を透過型の頭部装着型ディスプレイ上に表示する画像を作成する画像作成部として機能させる光学情報処理用プログラムである。

40

【発明の効果】

【 0 0 2 3 】

本発明によれば、飛行する UAV の監視を効果的に行う技術が得られる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 4 】

【図 1】実施形態の概念図である。

【図 2】発明を利用した TS（トータルステーション）のブロック図である。

【図 3】処理の手順の一例を示すフローチャートである。

【図 4】処理の手順の一例を示すフローチャートである。

50

【図 5】表示画面の一例を示す図である。

【図 6】表示画面の一例を示す図である。

【図 7】表示画面の一例を示す図である。

【図 8】実施形態のブロック図である。

【図 9】レチクルの画面上での位置を求める原理を示す原理図である。

【図 10】表示画面の一例を示す図である。

【図 11】表示画面の一例を示す図である。

【図 12】表示画面の一例を示す図である。

【図 13】表示画面の一例を示す図である。

【図 14】後方交会法の原理を示す原理図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0025】

1. 第 1 の実施形態

(構成)

図 1 には、発明を利用した位置測定装置の一例である TS (トータルステーション) のブロック図が示されている。TS 100 は、飛行する UAV 200 を追跡しながら測距光を用いた UAV 200 の三次元位置の測定を行う。UAV 200 の追跡は、探索光を用いて UAV 200 が備えた反射プリズム 202 を探索することで行われ、UAV 200 の位置の測定は、測距光を反射プリズム 202 に照射し、その反射光を検出することで行われる。また、TS 100 は、本発明を利用した光学情報処理装置として機能する。この機能により、操縦者 500 が掛けたスマートグラスに各種の画像情報が表示される。

20

【0026】

UAV 200 は、操縦者 500 により遠隔操作により操縦される。操縦者 500 は、コントローラ 501 を用いて UAV 200 の無線操縦を行う。勿論、UAV 200 を予め定めた飛行計画に従って自律飛行させることも可能である。UAV 200 は市販されている機種であり、特別なものではない。UAV 200 は、GNSS 位置測定装置、IMU、無線通信装置、飛行計画や飛行ログを記憶する記憶装置、高度計を備えている。

【0027】

UAV 200 に下部には、TS 100 による測定のターゲットとなる反射プリズム 202 が取り付けられている。また、UAV 200 はカメラ 201 を搭載しており、空中からの撮影が可能である。操縦者 500 は、スマートグラス 503 を掛けており、スマートグラス 503 には、TS 100 で処理された後述する各種の情報が表示される。

30

【0028】

TS 100 は、GNSS を用いた自身の位置測定装置、測量対象 (UAV 200) の画像を取得するカメラ、ターゲット (UAV 200 の反射プリズム 202) を探索する探索用レーザースキャン機能、測距用レーザ光を用いてターゲット (反射プリズム 202) までの距離を測距するレーザ測距機能、レーザ測距されたターゲットの方向 (水平角と垂直角 (仰角または俯角)) を測定する機能、ターゲットまでの距離と方向からターゲットの三次元位置を算出する機能、外部の機器との間で通信を行う機能、点群データを得るためのレーザースキャン機能を有する。

40

【0029】

ターゲットまでの距離と方向を測定することで、TS 100 に対するターゲットの位置を測定できる。ここで、TS 100 の位置が判っていれば、ターゲット (この場合は UAV 200) の地図座標系における位置 (緯度・経度・高度もしくは直交座標系上の XYZ 座標) を知ることができる。この機能は、市販の TS が持っている機能であり、特別なものではない。TS に関する技術としては、例えば、特開 2009-229192 号公報や特開 2012-202821 号公報等に記載されている。なお、地図座標系というのは、地図情報を扱う座標系 (例えば、緯度、経度、高度 (標高)) であり、例えば GNSS で得られる位置情報は通常地図座標系で記述される。

【0030】

50

以下、本実施形態で利用するＴＳ（トータルステーション）１００の一例を説明する。図２には、ＴＳ１００のブロック図が示されている。ＴＳ１００は、カメラ１０１、ターゲット探索部１０２、測距部１０３、水平・垂直方向検出部１０４、水平・垂直方向駆動部１０５、データ記憶部１０６、位置測定部１０７、通信装置１０８、ターゲット位置算出部１０９、ＵＡＶ追跡制御部１１１、レーザースキャナ１１２、制御用マイコン１１３、画像取得部１１４、画像作成部１１５、飛行高度算出部１１６、飛行速度算出部１１７、障害物までの距離算出部１１９、表示倍率調整部１２０、三次元モデル作成部１２１、外部標定要素算出部１２２、レチクル表示位置算出部１２３、ＵＡＶ方向算出部１２４を備えている。

【００３１】

10

図２に示す各機能部は、専用のハードウェアで構成してもよいし、マイコンによりソフトウェア的に構成できるものはソフトウェア的に構成してもよい。図２の構成を実現するために利用するハードウェアとしては、各種の電子デバイス(例えば、カメラ１０１を構成するカメラモジュールや通信装置１０８を構成する無線モジュール等)、モータ等を利用した各種の駆動機構、センサ機構、光学部品、各種の電子回路、ＣＰＵ（Central Processing Unit）、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）、ＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）等が挙げられる。以上のハードウェアの構成に関しては、ＵＡＶ２００についても同じである。

【００３２】

カメラ１０１は、ＵＡＶ２００やターゲット等の測量対象の動画像または静止画像を撮影する。カメラ１０１は、ＣＣＤやＣＭＯＳセンサを用いたカメラモジュールを利用して構成され、望遠鏡を介して測位対象（例えばＵＡＶ２００）の撮影を行い、その画像データを得る。通常、カメラ１０１が望遠鏡を介して撮影した画像を利用して測量対象となるターゲットの概略の視準が操作者により行われ、その後自動追尾機能による自律動作によりターゲットの精密な視準が行われる。

20

【００３３】

カメラ１０１の光軸と後述する測距部１０３の光軸（測距用レーザ光の光軸）とは一致しており、位置の特定を行うターゲットは、カメラ１０１の撮影画像の中心に捉えられる。ＴＳ１００は小型のディスプレイ（例えば、液晶ディスプレイ等）を備えており、カメラ１０１が撮影した画像は、そこに表示可能である。カメラ１０１が撮影した画像のデータは、外部に出力可能であり、適当なディスプレイに表示できる。この例では、カメラ１０１が撮影した画像は、ＵＡＶ２００の操縦を行う操縦者５００が掛けるスマートグラス５０２（頭部装着型ディスプレイの機能を有する眼鏡）に表示される。

30

【００３４】

スマートグラス５０２は、メガネ型ウェアラブル端末とも呼ばれる透過型の頭部装着型ディスプレイであり、ＵＡＶ２００の飛行に係る各種の情報が表示される。スマートグラス５０２は、画面を透かして遠くを見ることができ、視野の中に見える背景に重ねてＴＳ１００から出力される画像が表示される。スマートグラスは、メガネのレンズがある位置に小型のディスプレイが搭載されているメガネ型のデバイスである。このディスプレイは透過型であり、ディスプレイを介して向こう側を透かして見ることができる。

40

【００３５】

スマートグラスを掛けた人間は、眼鏡越しに対象物を見ながら、同時に仮想的に目の前に形成される画面（あたかも画面が目の前数十ｃｍから数ｍ先に展開されるように見える）に通常のディスプレイのように各種の画像が表示される。スマートグラスに表示される画像の規格は、ＰＣやスマートフォン等に表示される画像と同じものが利用可能である。スマートグラスは、複数のメーカーから各種のものが販売されている。

【００３６】

カメラ１０１が撮影し、ＴＳ１００装備のディスプレイおよび外部のディスプレイに表示される画像の倍率は可変できる。この画像のズーム機能は、光学的な手法による方法、デジタル処理による方法、両者を複合した方法等によって実現される。カメラ１０１として

50

市販のデジタルカメラを用い、それを外付けでTS100に装着する形態も可能である。カメラ101が撮影した画像のデータは、測距対象に係る測定時刻、測定方向、測定距離、測定対象の位置等のデータと関連付けられて適当な記憶領域に記憶することができる。

【0037】

ターゲット探索部102は、三角錐型または扇形ビームを有した探索用レーザー光を用いたターゲット(UAV200の反射プリズム202)の探索を行う。ターゲットの探索は、TS100を基準位置として行われる。TSによるターゲット(反射プリズム)の探索および追跡に関しては、例えば日本国特許第5124319号公報に記載されている。

【0038】

測距部103は、測距用レーザー光を用いたターゲットまでの距離の測定を行う。測距部103は、測距用レーザー光の発光素子、照射光学系、受光光学系、受光素子、測距演算部、基準光の光路を備えている。対象物までの距離は、対象物から反射された測距光と基準光の位相差から算出される。距離の算出方法は、通常のレーザー測距と同じである。

10

【0039】

水平・垂直方向検出部104は、測距部103が測距したターゲットの水平方向角と垂直方向角(仰角および俯角)を計測する。ターゲット探索部102、測距部103の光学系およびカメラ101を備えた筐体部分は、水平回転および仰角(俯角)制御が可能であり、水平方向角と垂直方向角は、エンコーダにより計測される。このエンコーダの出力が水平・垂直方向角検出部104で検出され、水平方向角と垂直方向角(仰角および俯角)の計測が行われる。

20

【0040】

水平・垂直方向駆動部105は、ターゲット探索部102、測距部103の光学系およびカメラ101を備えた筐体部分の水平回転および仰角制御(および俯角制御)を行うモータ、該モータの駆動回路、該駆動回路の制御回路を備えている。なお、この筐体部分には後述するレーザースキャナ112も配置されている。データ記憶部106は、TS100の動作に必要な制御プログラム、各種のデータ、測量結果等を記憶する。

【0041】

位置測定部107は、GNSSを用いたTS100の位置の測定を行う。位置測定部107は、相対測位と単独測位の両方を行う機能を有する。相対測位を行える環境であれば、相対測位を用いたTS100の位置の測定が好ましいが、相対測位が困難な場合は単独測位によるTS100の位置の測定が行われる。TS100によるUAV200の測位では、TS100の地図座標系における位置を既知のデータとして前もって取得する必要がある。実際の運用に当たっては、TS100を予め座標が既知の位置に設置する場合と、TS100を設置した位置を位置測定部107により測位する場合とがある。前者の場合、位置測定部107による測位は不要となる。

30

【0042】

通信装置108は、外部の機器との間で通信を行う。TS100は、外部の端末(専用端末、PC、タブレット、スマートフォン等)による操作が可能であり、この際の通信が通信装置108を用いて行われる。また、通信装置108は、TS100の動作に必要な各種のデータの受け付け、およびTS100が取得した各種のデータの外部への出力を行う。例えば、TS100からインターネット回線を介して地図情報や地形情報を扱うデータサーバにアクセスし、測量に係る各種の情報をTS100が取得することができる。また、図2に示す機能の一部を外付けの機器で行う構成も可能であり、その場合、通信装置108を介して各種のデータのやり取りが行われる。また、通信装置108は、コントローラ501からUAV200の送信される制御信号を受信する、この制御信号に基づき、図5に例示する操縦桿操作指示表示が行われる。

40

【0043】

ターゲット位置算出部109は、ターゲット(この場合は、UAV200搭載の反射プリズム202)までの距離と方向からTS100に対するターゲットの位置(座標)を算出する。ここで、ターゲットまでの距離は、測距部103で得られ、ターゲットの方向は水

50

平・垂直方向検出部 104 で得られる。基準位置となる TS100 の位置は、位置測定部 107 で特定されるので、TS100 に対するターゲットの位置を求めることで、ターゲットの地図座標系における位置を求めることができる。

【0044】

UAV 追跡制御部 111 は、補足した UAV を追尾する制御を行う。すなわち、ターゲット探索部 102 で検出した追尾光 (UAV から反射した追尾光) の入射方向に対応させて TS の方向を制御し、空中を移動する UAV に常に TS100 の光軸が向くようにする動的な制御が UAV 追跡制御部 111 で行われる。具体的には、ターゲット (反射プリズム 202) から反射した追尾光の TS100 に対する入射方向を検出し、それに基づき反射プリズム 202 の位置に TS100 の光軸 (測距部 103 からの測距光の光軸) が常に向くように、水平・垂直方向駆動部 105 に制御信号を出力する処理が UAV 追跡制御部 111 で行われる。

10

【0045】

レーザースキャナ 112 は、測距用レーザ光をスキャン光として用いて点群データを得る。点群データは、対象物を三次元座標が判明した点の集合として捉えたデータである。この例では、ターゲット探索部 102 とレーザースキャナ 112 は別構成であり、レーザースキャナ 112 は、ターゲット探索部 102 とは別に動作する。ここで、レーザースキャナが扱うレーザ光の波長は、ターゲット探索部 102 が用いるレーザ光と干渉しないように、ターゲット探索部 102 が用いるレーザ光とは別の波長が選択されている。点群データを得るレーザースキャナについては、例えば特開 2010-151682 号公報、特開 2008-268004 号公報、米国特許 8767190 号公報、米国特許 7969558 号公報等に記載されている。レーザースキャナ 112 としてスキャンを電子式 (Solid state optical phased array 方式) に行う電子式レーザースキャナを用いることもできる。この技術に関しては、例えば米国公開公報 US2015/0293224 号公報に記載されている。

20

【0046】

以下、レーザースキャナ 112 について説明する。レーザースキャナ 112 は、測距用レーザ光の照射部、対象物から反射した測距用レーザ光を受光する受光部、測距用レーザ光の飛行時間に基づき対象物までの距離を検出する測距部、測距用レーザ光の照射方向 (測距方向) を検出する測距方向検出部を備える。また、レーザースキャナ 112 は、自身の位置、測距距離および測距方向とに基づき測距用レーザ光の反射点の三次元位置を算出する測距対象点の位置算出部、測距用レーザ光の照射方向とその反射光の受光方向 (測距光の光軸) を制御するスキャン制御部を備える。

30

【0047】

測距用レーザ光は、特定の繰り返し周波数でパルス出力され、スキャンされながら特定の範囲に点々と照射される。測距用レーザ光の飛行時間から反射点までの距離が計算される。通常は、装置内に設けられた基準光路を飛翔したリファレンス光と対象物に照射されそこから反射された測距光との位相差から対象物までの距離が算出される。測距された距離、測距用レーザ光の照射方向およびレーザースキャナ 112 の位置から、反射点のレーザースキャナ 112 の位置を原点とした三次元位置が計算される。この反射点の位置を多数測定することで点群データが得られる。ここで、TS100 におけるレーザースキャナ 112 の位置と向きは、予め既知の情報として取得されており、レーザースキャナ 112 の地図座標系における位置は、位置測定部 107 の測位データに基づき算出される。よって、スキャンされた各点 (反射点) の地図座標系における三次元座標を取得できる。

40

【0048】

測距用レーザ光が特定の発振周波数でスキャンして照射されることで対象物における多数の反射点それぞれの三次元座標が取得される。この対象物における多数の反射点の集合が点群データとなる。点群データでは、三次元位置が特定された点の集合として対象物が捉えられる。

【0049】

50

レーザースキャナ 112 は、反射点の RGB 強度を取得できる。RGB 強度は、反射光を R 用フィルタ、G 用フィルタ、B 用フィルタで選別し、各色の光強度を検出することで得られる。よって、得られる点群データ各点の RGB 強度に関するデータも得られる。なお、RGB に限定されず—または複数の特定の色情報の強度を取得する形態も可能である。また、色情報と別に（または色情報に加えて）スキャン光の反射光の強度を検出する形態も可能である。色強度およびスキャン光の反射強度の少なくとも一方を利用することで、UAV 200 を鳥等の他の飛行物と区別（識別）できるようにしてもよい。

【0050】

制御用マイコン 113 は、後述する図 3 および図 4 の処理の手順の制御および TS 100 全体の動作の制御を行う。画像取得部 114 は、カメラ 101 が撮影した画像の画像データを取得する。画像作成部 115 は、スマートグラス 502 に表示する画像を作成する。図 5 ~ 図 7、図 10 ~ 図 13 には、画像作成部 115 で作成され、スマートグラス 502 に表示される画像の一例が示されている。

10

【0051】

飛行高度算出部 116 は、TS 100 が測位している UAV 200 の対地標高度を算出する。UAV 200 の対地標高度は、TS 200 が測位した UAV 200 の位置の標高から UAV 200 の位置の経度緯度における地表面の標高を差し引くことで求められる。なお、地表面の標高は、地図情報から取得するが、地図情報が得られなければ、TS 100 の設置位置の標高の値を採用する。

【0052】

20

飛行速度算出部 117 は、TS 100 が追跡する UAV 200 の速度（速さと向き）を算数する。TS 100 の位置は、刻々と測定されているので、移動経路の接ベクトルを計算することで、速度ベクトルが得られ、この速度ベクトルから UAV 200 の移動方向（ θ_x 、 θ_y 、 θ_z ）と速さ（ V_x 、 V_y 、 V_z ）が得られる。

【0053】

障害物までの距離算出部 119 は、UAV 200 の飛行の障害となる障害物がある場合に、UAV 200 からそこまでの距離を算出する。障害物は、建物、木、鉄塔、鳥等である。障害物に係る三次元データは、既存の三次元データ（例えば、三次元地図座標データ）やレーザースキャナ 112 から得られる点群データから取得する。鳥のデータは、既存のデータからは得られないので、レーザースキャナ 112 から得られる点群データから取得する。

30

【0054】

表示倍率調整部 120 は、スマートグラス 502 に表示される画像の表示倍率を調整する。例えば、UAV 200 が障害物と干渉しそうな場合、両者が視野内に入るように表示倍率が調整される。

【0055】

三次元モデル作成部 121 は、UAV 200 と障害物とを三次元的に捉えたモデルを作成する。このモデルは、UAV 200 と障害物との位置関係をスマートグラスに表示させる場合に利用される。この点は後述する。

【0056】

40

レチクル表示位置算出部 123 は、スマートグラス 502 の表示画面におけるレチクル（画面中の位置を示す、 $\square$ 、 $\circ$ 、 $\times$ 等のガイド表示）の表示位置を算出する。レチクルの表示位置は、スマートグラス 502 を透かして彼方に見える UAV 200（位置特定対象物）の表示画面における位置である。よって、レチクル表示位置算出部 123 は、スマートグラス 502 を透かして見える UAV 200（位置特定対象物）の表示画面における位置を計算する。方向算出部 124 は、スマートグラス 502 の視野から外れた UAV 200 の方向を算出する。レチクル表示位置算出部 123 および方向算出部 124 の処理の詳細については後述する。

【0057】

TS 100 およびスマートグラス 502 の操作は、専用端末、走査用アプリケーションソ

50

フトをインストールしたスマートフォンやタブレットを用いて行う。例えば、後述するスマートグラス502の表示される各種の表示の切り替えは、スマートフォンやタブレットを用いて行われる。勿論、専用のコントローラを用意し、TS100およびスマートグラス502の操作を行っても良い。また、UAV200のコントローラ501にTS100の操作機能を付加する形態、スマートフォンでUAV200とTS100の操作を行う形態等も可能である。

【0058】

(処理の一例)

以下、TS100で行われる処理の一例を説明する。図3および図4は、処理の手順の一例を示すフローチャートである。図3および4の処理を実行するプログラムは、データ記憶部106等の適当な記憶領域に記憶され、そこから読み出されて実行される。当該プログラムを適当な記憶媒体やデータサーバ等に記憶させ、そこから読み出して実行する形態も可能である。

10

【0059】

まず、TS100によりUAV200を捕捉し、レーザー測距によりその位置を特定する処理について説明する。図3にこの処理の一例が示されている。この処理では、まずUAV200の反射プリズム202の探索が行われる(ステップS101)。この処理は、ターゲット探索部102で行われる。また、レーザースキャナ112による点群データを取得するためのレーザースキャンが開始される。

【0060】

20

例えば、UAV200が飛び立つ前の地上に着陸している状態でTS100はUAV200を捕捉する。そして、捕捉したUAV200に対するレーザースキャンがレーザースキャナ112により開始され、UAV200およびその周囲の点群データの取得が開始される。その後、UAV200は飛行を開始し、TS100によるUAV200の追尾が行われ、同時にUAV200およびその周囲に対するレーザースキャンが継続して行われる。また、以下の方法でUAV200の追尾を行ってもよい。この場合、UAV200の飛行が開始されると、UAV200は最初に地上から規定の高さにまで上昇し、そこで停止する。この停止位置は予め飛行計画上で規定されており、TS100の側でも把握されている。そこで、この上昇して停止するUAV200の位置に照準してTS100はUAV200の捕捉を行う。また、UAV200をスキャン範囲に収めたレーザースキャンがレーザースキャナ112により開始され、UAV200およびその周囲の点群データの取得が開始される。この段階のレーザースキャンの範囲は、例えばUAV200を中心とした半径20~50m程度の範囲が選択される。

30

【0061】

ターゲットとなる反射プリズム202を捕捉したら、TS100の光軸(測距部103の光軸)を反射プリズム202に向ける制御が行われる(ステップS102)。反射プリズム202の捕捉後において、測距部103の光軸を反射プリズム202に向ける制御は、UAV追跡制御部111で行われる。

【0062】

次いで、測距部103から測距光を反射プリズム202に向けて照射し、UAV200の位置の測定を行う(ステップS103)。UAV200の位置の測定は、ターゲット位置算出部109で行われる。

40

【0063】

ステップS101→S102→S103の処理は繰り返し行われ、移動するUAV200の追跡が継続して行われる。この結果、UAV200の位置(三次元座標)が刻々と取得され、UAV200の位置および移動経路がTS100の側で把握される。

【0064】

TS101によってUAV200を追跡している状態で、カメラ101によってUAV200が撮影される。カメラ101によるUAV200の撮影画像は、スマートグラス502に表示される。以下、スマートグラス502に表示される画像に係る処理について説明

50

する。なお、この処理は、スマートフォン、タブレット、PC等のディスプレイにカメラ101が撮影した画像を表示する場合も同じである。

【0065】

図4にスマートグラス502に表示される画像に係る処理の一例を示す。図3の処理が行なわれ、TS100によってUAV200が捕捉され、その測位が継続的に行われている状態で、図4の処理が実行される。まず、UAV200の対地高度が高度算出部116で算出される(ステップS111)。次に、飛行速度算出部117でUAV200の速度(方向と速さ)の算出が行われる(ステップS112)。

【0066】

次に、スマートグラス502の表示画面の中に、カメラ101が撮影したUAV200の画像を表示する(ステップS113)。次に、スマートグラス502の表示画面上に、この段階で得られているUAV200の飛行状態の情報が表示される(ステップS114)。飛行状態の情報としては、例えば対地高度と速度(飛行方向と飛行の速さ)の情報が挙げられる。飛行状態の情報としては、上昇率、下降率、旋回半径、飛行計画航路からのずれ、TS100からの距離等が挙げられる。ステップS113とS114の処理は、画像作成部115で行われる。ステップS114の段階で、操縦者500がスマートグラス502越しに見る視界の様子の一例を図5に示す。

【0067】

次に、UAV200と障害物との間の距離の算出が「障害物との間の距離算出部119」で行われる(ステップS115)。次に、ステップS115で算出した距離が予め定めた規定値以下(例えば、15m以下)であるか否かの判定が行われ(ステップS115)、この距離が規定値以下であれば、ステップS117に進み、そうでなければステップS111以下の処理が繰り返される。ステップS111以下の処理が繰り返されることで、スマートグラス502に表示されている高度と速度の情報が刻々と継続して更新される。

【0068】

ステップS117では、UAV117と対象となる障害物との両方が画面上に表示されるようにスマートグラス502上での表示倍率の調整が行われる。この処理は、倍率調整部120で行われる。この処理の結果得られる表示画面の一例を図6に示す。図6のようにUAV200と障害物とを同時に画面上に表示することで、操作者500は、UAV200と障害物との位置関係を把握できる。

【0069】

更にUAV200と障害物との距離が危険と判定される距離以下(例えば、10m以下)となると、警告表示画面がスマートグラス502上に表示される(ステップS118)。この処理は、画像作成部115で行われる。この表示では、UAV200が障害物に衝突する可能性がある旨の表示が行われ、更に障害物までの距離、方向、予想される接触するまでの時間、回避に適した方向等が表示される。図7にこの際の表示画面の一例を示す。

【0070】

2. 第2の実施形態

TS100の光軸上にUAV200と障害物が存在する場合、TS100のカメラ101が得た画像では、UAV200と障害物とが重なり、両者の距離感が判りづらい場合がある。この場合、以下に説明する視点変更表示をスマートグラス502上に表示する。視点変更表示は、三次元モデル作成部121で作成された三次元モデルに基づき、画像作成部115で作成される。

【0071】

三次元モデル作成部121は、UAV200のダミーモデルと障害物の三次元モデルを作成する。UAV200のダミーモデルは、ターゲット位置算出部109が算出した三次元位置に配置されたUAV200を模した三次元データ化されたダミーモデルである。このダミーモデルの向きは正確でないが、ここでは重要視しない。

【0072】

障害物の三次元モデルの取得は、三次元地図情報のデータベースから取得する方法やレー

10

20

30

40

50

ザースキャナ 1 1 2 から得た点群データから取得する方法がある。ただし、レーザースキャナ 1 1 2 から得た点群データは、オクルージョンの問題があり、T S 1 0 0 から死角となる部分のデータは欠落しているので、欠落した部分はデータを補完する等してモデル化したイメージ画像を作成する。

【 0 0 7 3 】

画像作成部 1 1 5 は、上記の U A V 2 0 0 と障害物とが含まれた三次元モデルを U A V 2 0 0 と障害物とを結ぶ線に垂直または水平方向から見た画像を作成する。この画像において、U A V 2 0 0 はモデル化されており、障害物も場合によってはモデル化され不自然な画像となるが、両者の距離感を把握するための画像であるので、その点は許容する。

【 0 0 7 4 】

ここで、U A V 2 0 0 と障害物の三次元位置は判っているので、両者の離間距離は判る。そこで、上記の画像中に両者の離間距離を表示する。また、U A V の移動方向やその他図 5 ~ 7 に示す各種の情報も表示する。この画像では、T S 1 0 0 の光軸上に U A V 2 0 0 と障害物が重なっている場合でも U A V 2 0 0 と障害物の位置関係が視覚的に把握できる。

【 0 0 7 5 】

3 . 第 3 の実施形態

図 5 には、スマートグラス 5 0 2 の視界、すなわちスマートグラス 5 0 2 越しに U A V が小さく見えている状態が示されている。本実施形態では、このスマートグラス 5 0 2 越しに見えている U A V の画面上での位置にガイド表示（目印の表示）となるレチクルを表示する。このレチクルが表示されることで、スマートグラスの画面上における U A V 2 0 0 の位置が示され、また T S 1 0 0 が当該 U A V 2 0 0 を捕捉している旨が表示される。

【 0 0 7 6 】

また図 5 では、U A V 2 0 0 が見えているが、U A V 2 0 0 の飛行位置が遠い場合、目視では U A V 2 0 0 が見えない（または視認し難い）場合がある。また、鳥と区別し難い場合も有り得る。このような場合、スマートグラス 5 0 2 上の操縦者 5 0 0 が見ている画面上、言い換えるとスマートグラス 5 0 2 越しの操縦者 5 0 0 の視野内に、U A V 2 0 0 の位置をガイド表示するレチクルが表示されると便利である。

【 0 0 7 7 】

図 1 0 にスマートグラス 5 0 2 の画面上における U A V 2 0 0 の位置をガイドするレチクルが表示された例が示されている。図 1 0 の場合、U A V 2 0 0 が比較的大きく見えている例が示されているが、U A V 2 0 0 までの距離が遠く、視認し難い場合や鳥と区別が付き難い場合は、レチクル表示によりスマートグラス 5 0 2 越しに見えている視界中で U A V 2 0 0 の位置がガイドされることで、U A V 2 0 0 を直接視認しやすくなる。

【 0 0 7 8 】

以下、スマートグラス 5 0 2 に図 1 0 の表示を行わせる仕組みについて説明する。スマートグラス 5 0 2 に図 1 0 の表示を行わせる処理は、図 2 のレチクル表示位置算出部 1 2 3 で行われる。

【 0 0 7 9 】

レチクル表示位置算出部 1 2 3 では、以下の処理が行なわれる。まず、外部標定要素算出部 1 2 2 によりスマートグラス 5 0 2 の外部標定要素（向きと位置）が算出される。スマートグラス 5 0 2 の外部標定要素の算出については後述する。

【 0 0 8 0 】

スマートグラス 5 0 2 の向きは、その正面の方向で定義される。スマートグラス 5 0 2 の位置は、スマートグラス 5 0 2 を掛けている人（この場合は、操縦者 5 0 0）の仮想的な視点位置である。この視点位置は、スマートグラス 5 0 2 の設計時に設定されているので、その位置を用いる。この位置は、T S 1 0 0 で扱われている座標系（例えば、地図座標系）で記述される。

【 0 0 8 1 】

スマートグラス 5 0 2 の位置が判れば、U A V 2 0 0 の位置は T S 1 0 0 で測位され既知であるので、スマートグラス 5 0 2 と U A V 2 0 0 を結ぶ方向線を設定し、その方向線と

10

20

30

40

50

スマートグラス 5 0 2 の表示画面（操縦者 5 0 0 の目の前に仮想的に表示される画面）との交点が、レチクル表示位置として求められる。このレチクル表示位置は、仮に視認できれば、そこに U A V 2 0 0 が見える位置である。こうしてスマートグラス 5 0 2 の視野の中におけるレチクルの位置が算出される。

【 0 0 8 2 】

例えば、図 9 において、点 P 1 が U A V 2 0 0 の三次元位置であり、点 O がスマートグラス 5 0 2 を掛けている人間（操縦者 5 0 2）の視点の位置である。ここで、点 P 1 と点 O を結ぶ方向線と仮想的に配置されるスマートグラス 5 0 2 の表示画面との交点 p 1 がレチクルの表示位置として算出される。

【 0 0 8 3 】

上記の算出結果に基づき、スマートグラス 5 0 2 の画面上にレチクルを表示する処理が画像作成部 1 1 5 で行われる。こうして、図 1 0 に例示する画像がスマートグラス 5 0 2 上に表示される。

【 0 0 8 4 】

次に、外部標定要素算出部 1 2 2 で行われるスマートグラス 5 0 2 の外部標定要素の算出について説明する。まず、U A V 2 0 0 の飛行開始時における T S 1 0 0 による U A V 2 0 0 のロックを行う際に、校正処理を行い外部標定要素の初期値を取得する。この際、U A V 2 0 0 は規定の高度で停止し、T S 1 0 0 による U A V 2 0 0 のロック（捕捉）が行われる。

【 0 0 8 5 】

この際、スマートグラス 5 0 2 の表示を校正モードとし、図 1 1 に示す画面を表示する。図 1 1 の画面では、画面中（視野中）の規定の位置（この場合は中心）に視準用のガイド表示を表示させた例が示されている。操縦者 5 0 0 は、視準用のガイド表示の中央に U A V 2 0 0 が見えるように頭を動かし、視準用のガイド表示の中央に U A V 2 0 0 の像を捉える。この状態で校正処理を実行する。この処理は、例えば操作端末として使用されるスマートフォンを操作して行われる。

【 0 0 8 6 】

ここで、操縦者 5 0 0 は、G N S S を利用した位置特定装置 3 0 3 を携帯しており（例えば、スマートフォンの G P S 機能が用いられる）その測位データは T S 1 0 0 に送られる。外部標定要素算出部 1 2 2 は、操縦者 5 0 0 から送られてきた測位データと位置測定部 1 0 7 の測位データを用いて相対測位を行い、操縦者 5 0 0 の視点の三次元位置を算出する。

【 0 0 8 7 】

例えばスマートフォンの G P S 機能を用いる場合、予めスマートフォンを胸ポケットに入れた場合、ズボンの尻ポケットに入れた場合等の補正値を用意しておき、その補正値を用いて、操縦者 5 0 0 の視点位置を算出する。

【 0 0 8 8 】

こうして、操縦者 5 0 0 の視点の位置、この視点の位置から見た U A V 2 0 0 の位置のデータが得られる。ここで、操縦者 5 0 0 の視点の位置から U A V 2 0 0 の位置に向かう方向がスマートグラス 5 0 2 の向きとなる。以上のようにして、スマートグラス 5 0 2 の外部標定要素（位置と向き）の初期値が算出される。

【 0 0 8 9 】

この外部標定要素は、操縦者 5 0 0 が移動および頭を動かすと変化する。この変化に対応したスマートグラス 5 0 2 の外部標定要素の修正が外部標定要素算出部 1 2 2 で行われる。スマートグラス 5 0 2 の外部標定要素の修正は、図 8 の三次元電子コンパス 3 0 1 と三次元加速度センサ 3 0 2 の出力に基づいて検出される。

【 0 0 9 0 】

三次元電子コンパス 3 0 1 と三次元加速度センサ 3 0 2 は、スマートグラス 5 0 2 に取り付けられ、スマートグラス 5 0 2 の向きの変化を検出する。三次元電子コンパス 3 0 1 は、スマートグラス 5 0 2 の三次元方向を検出する。三次元加速度センサ 3 0 2 は、スマー

10

20

30

40

50

トグラス 502 に加わる加速度の三次元成分を検出する。三次元電子コンパス 301 と三次元加速度センサ 302 は、スマートフォンに利用されている部品を利用している。

【0091】

三次元電子コンパス 301 と三次元加速度センサ 302 の出力は、TS100 に入力される。データの伝送は、無線 LAN 回線等が利用される。三次元電子コンパス 301 と三次元加速度センサ 302 の出力を受け、外部標定要素算出部 122 は、スマートグラス 502 の向きを随時修正する。また、操縦者 500 が携帯した GNSS 位置測定装置 303 の測位データの変化から、スマートグラス 502 の位置を随時修正する。こうして、スマートグラス 502 の外部標定要素が随時修正され、この随時修正される外部標定要素を用いて図 10 に例示するレチクルの表示に係る処理が行なわれる。

10

【0092】

上述したスマートグラス 502 の外部標定要素の修正は、徐々に誤差が累積し、修正が行われてゆく過程で精度が失われてゆく。以下、スマートグラス 502 の外部標定要素の精度を保つ処理について説明する。この処理では、視準目標として TS100 を用いる。すなわち、図 12 に示すように、TS100 が視準用の十字ガイドの中心に位置するように操縦者 500 は頭を動かす。この状態で外部標定要素 122 の再算出を行う。

【0093】

この際、外部標定要素算出部 122 では以下の処理が行なわれる。この処理では、スマートグラスの位置（操縦者 500 の視点位置）および TS100 の位置の情報を取得し、スマートグラス 502 の位置から TS100 に向かう方向を算出する。こうして、スマートグラス 502 の外部標定要素を再計算する。スマートグラス 502 の外部標定要素は、操縦者 502 が移動および頭を動かすと変化するが、その修正は上述した方法で随時行われる。

20

【0094】

上記の TS100 を視準してのスマートグラス 502 の外部標定要素の算出は、最初の段階での初期値の計算に用いてもよい。また、UAV100 が視準し易い位置にある場合は、図 11 に関連して説明した方法でスマートグラス 502 の外部標定要素の再計算（校正）を行ってもよい。また、位置を特定したターゲットを操縦者 500 から見える範囲に配置し、それを視準することで上記の外部標定要素の再計算（あるいは初期設定）を行ってもよい。

30

【0095】

上記のスマートグラス 502 の外部標定要素の再計算を随時行うことで、外部標定要素の精度の低下に伴う図 10 のレチクル表示の精度の低下を抑えることができる。スマートグラス 502 に GNSS 位置特定装置と IMU（慣性計測装置）を搭載し、スマートグラス 502 の外部標定要素（位置と姿勢）をリアルタイムに計測する形態も可能である。なお、スマートグラス 502 に GNSS 位置特定装置と IMU を搭載する余裕がない場合、頭部装着型ヘルメットや頭部装着型補助器具に GNSS 位置特定装置と IMU を取り付け、この頭部装着型ヘルメットや頭部装着型補助器具を頭部に装着し、スマートグラス 502 の外部標定要素の取得を行う形態も可能である。

【0096】

4. 第4の実施形態

スマートグラスにカメラを固定し、このカメラが撮影した画像に基づき、スマートグラスの外部標定要素を算出する方法も可能である。この場合、位置が特定された複数のターゲット、スマートグラスに取り付ける小型のカメラ、画像からターゲットを抽出するターゲット抽出部が必要であり、外部標定要素算出部 122 においてターゲットを用いた後方交会法によるスマートグラスの外部標定要素の算出が行われる。後方交会法を用いたカメラの外部標定要素の算出については、例えば、特開 2013 - 186816 号公報に記載されている。

【0097】

以下、カメラの撮影画像を利用したスマートグラスの外部標定要素の算出について説明す

40

50

る。この場合、スマートグラスに動画を撮影するカメラを装着する。スマートグラスとカメラの位置と向きとの関係は既知のデータとして予め取得しておく。また、スマートグラスを装着した人間から見える範囲に、位置（三次元座標）が予め特定された3つ以上の識別可能なターゲットを配置する。この際、人間が動き、また頭の向きを変えても常に3つ以上のターゲットが当該カメラに撮影されるようにターゲットを配置する。ターゲットとしては、数字やカラーコードにより識別する形態が利用できる。カラーコードターゲットとしては、例えば特開2011-053030号公報や特開2011-053031号公報に記載されている。

【0098】

カメラは、ターゲットの撮影が主目的であるので、ターゲットを効果的に撮影できる向きに設定する。また水平方向におけるカメラの向きもターゲットが効果的に撮影できる向きであれば、スマートグラスの向きに合わせる必要はなく、例えばスマートグラスを装着した人間の側方や後方にカメラを向けてもよい。

10

【0099】

外部標定要素の算出に当たっては、まず初期の状態では3つ以上のターゲットを当該カメラで撮影する。そして撮影画像からターゲットを画像処理により識別し抽出する。各ターゲットの三次元座標は既知であるので、後方交会法により当該カメラの外部標定要素が算出できる。スマートグラス（カメラ）が動くと、カメラの外部標定要素は変化するが、3つ以上のターゲットが写っていれば後方交会法によりカメラの外部標定要素が算出できる。こうして、変動するカメラの外部標定要素の算出が継続して行われる。

20

【0100】

図14に後方交会法の原理を示す。この場合、点Oはカメラの位置（撮影視点の位置）であり、点P1、P2、P3はターゲットの位置であり、p1、p2、p3はカメラが撮影した画像の画面上におけるターゲット像の位置である。ここで、点P1、P2、P3は予め特定（測位）され既知であり、p1、p2、p3は撮影画像から得られる。そして、P1とp1を結ぶ方向線、P2とp2を結ぶ方向線、P3とp3を結ぶ方向線を設定し、この3本の方向線の交点Oを求めることでカメラの位置Oが求められる。

【0101】

また、点Oと画面中心とを結ぶ方向線を求めることでカメラの光軸が数学的に求められる。このカメラの光軸を求めることで、点Oからの光軸の向きがカメラの向きとして求められる。こうして、スマートグラスに固定されたカメラの位置と向き、つまり外部標定要素が算出される。カメラとスマートグラスとの相対位置関係および向きとの関係は既知であるので、カメラの外部標定要素が求まることで、スマートグラスの外部標定要素が求まる。

30

【0102】

カメラによる撮影を継続して行い、上記の処理を継続して行うことで、スマートグラスの変動する外部標定要素が逐次計算され、継続して更新され続ける。

【0103】

例えば、図1のスマートグラス502に、操縦者500の周囲の地表を撮影するカメラを固定する。また、操縦者500の周囲に複数のターゲットを配置し、その位置を測定しておく。また、スマートグラス502とカメラの位置と向きとの関係は予め取得しておく。ここで、操縦者500がUAV200の操縦（あるいは監視）を行っている状態で、常に3つ以上のターゲットがカメラに撮影されるように、ターゲットの配置を行う。

40

【0104】

操縦者502が頭を動かし、スマートグラス502の外部標定要素が変動しても、上記のターゲットを用いたスマートグラス502の外部標定要素の算出が行われ、その時点でのスマートグラス502の外部標定要素が取得される。この処理は継続して行われ、スマートグラス502の外部標定要素は、常に更新される。この動的に更新される外部標定要素を用いて、例えば図10の表示に係る処理が行われる。

【0105】

この手法の場合、カメラ、撮影画像からターゲットを抽出する画像処理部が必要であり、

50

また事前に複数のターゲットの測位の作業が必要となるが、動的に変動するスマートグラスの外部標定要素を高い精度で取得できる。

【 0 1 0 6 】

本明細書中で説明したスマートグラス 5 0 2 の外部標定要素を求める手法は、複数を組み合わせる用いることが可能である。図 1 0 のレチクルの表示には、U A V 2 0 0 の位置のデータが必要であるが、この位置のデータとして U A V 2 0 0 が搭載する G N S S 位置測定装置の測位データを用いることもできる。

【 0 1 0 7 】

カメラとしてステレオカメラを用い、ステレオ画像から抽出された特徴点の位置を前方交会法により求めて点群データを得、この点群データを標定点としてカメラの外部標定要素（スマートグラスの外部標定要素）を算出することもできる。また、1台のカメラを用い、視点の変更によるステレオ画像の取得を行って上記の場合と同様に点群データを得、この点群データに基づくカメラの外部標定要素（スマートグラスの外部標定要素）の算出も可能である。これらの場合も初期値の取得に位置を特定したターゲットが必要であるが、画像から抽出した点群も標定に用いるので、上述したターゲットのみを用いる場合に比較すればその数を減らすことができる。ステレオ画像から点群データを得る技術、および一つのカメラでステレオ画像を得、そこから点群データを得る技術については特開 2 0 1 3 - 1 8 6 8 1 6 号公報に記載されている。

【 0 1 0 8 】

5 . 第 5 の実施形態

ここでは、操縦者 5 0 0 が U A V 1 0 0 を見失った場合に、スマートグラス 5 0 2 の表示画面上に操縦者 5 0 0 から見た U A V 1 0 0 の方向をガイドする表示を行う例について説明する。T S 1 0 0 が U A V 2 0 0 を追跡しているが、操縦者 5 0 0 が U A V 1 0 0 を見失う場合がある。この場合、U A V 方向算出部 1 2 4 の機能により、スマートグラス 5 0 2 の表示画面（操縦者 5 0 0 がスマートグラスを介して視認している視界）中に U A V 1 0 0 の方向をガイドする表示が行われる。

【 0 1 0 9 】

図 1 3 にその際の表示画面の一例を示す。この場合、左上の方向に視線を向けると、U A V 1 0 0 が捕捉できる。以下、U A V 方向算出部 1 2 4 の機能について説明する。まず、T S 1 0 0 が捕捉し、ターゲット位置算出部 1 0 9 で算出されている U A V 2 0 0 の位置を取得する。次に、外部標定要素算出部 1 2 2 で算出されているスマートグラス 5 0 2 の外部標定要素を取得する。

【 0 1 1 0 】

次に、スマートグラス 5 0 2 の光軸（正面の方向）と直交し、U A V 2 0 0 に向かうベクトルを求め、このベクトルをスマートグラス 5 0 2 の表示面に正射影し、それを矢印としてスマートグラス 5 0 2 に表示する。こうして、図 1 3 に示す U A V 2 0 0 の方向を示す矢印の表示（ガイド表示）がスマートグラス 5 0 2 に表示される。図 1 3 の画像見て、操縦者 5 0 2 は矢印の方向に顔を向けることで、U A V 2 0 0 の方向を見、U A V 2 0 0 を捕捉できる。この際、U A V 2 0 0 が視界に入ったところで、図 1 0 に例示するレチクルの表示が行われるので、例え U A V 2 0 0 が遠く、視認し難くても U A V 2 0 0 の視認が容易となる。

【 0 1 1 1 】

（その他）

スマートグラス 5 0 2 を U A V 2 0 0 の操縦者 5 0 0 以外の人間かかけてもよい。U A V の表示画面上での位置をガイドする方法として、矢印の表示を行う方法、4 分割や 9 分割された画面中のどの分割画面に U A V が位置しているかを強調表示する方法も可能である。図 1 0 のレチクル表示を行う対象として、U A V 以外の位置が特定された点や対象物を選択することも可能である。図 1 0 に例示する技術は、位置が特定された対象物の監視、探索、確認等に利用できる。本明細書に開示する発明は、対象物の視認を効果的に行う技術に利用できる。

10

20

30

40

50

【符号の説明】

【 0 1 1 2 】

1 0 0 ... T S (トータルステーション)、 2 0 0 ... U A V、 2 0 1 ... カメラ、 2 0 0 ... 反
射プリズム、 5 0 0 ... U A V の操縦者、 5 0 1 ... コントローラ、 5 0 2 ... スマートグラス。

10

20

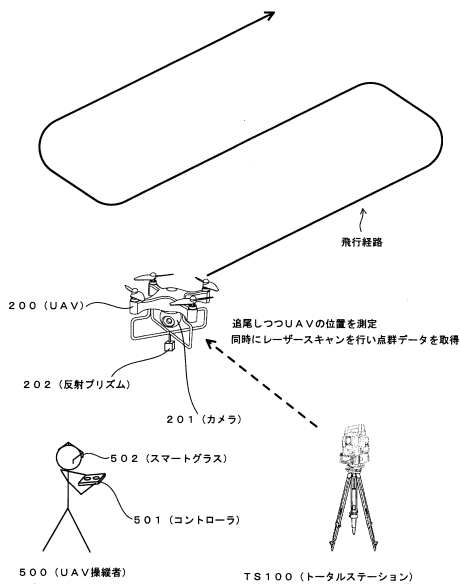
30

40

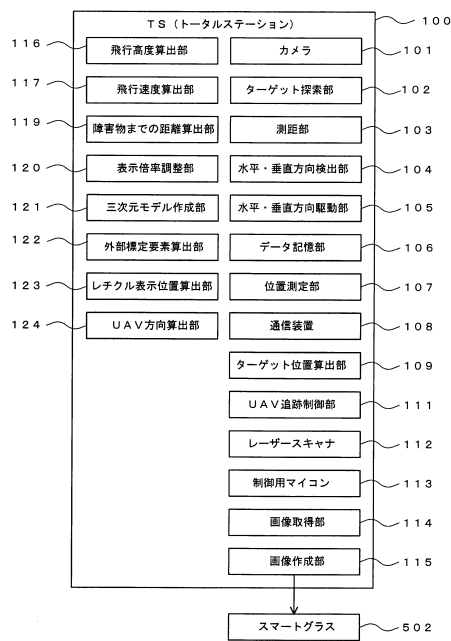
50

【図面】

【図 1】



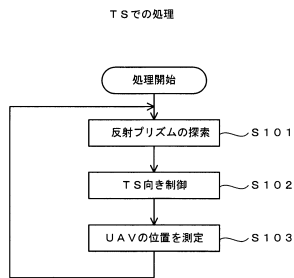
【図 2】



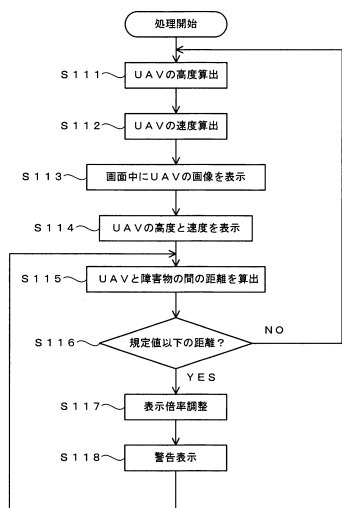
10

20

【図 3】



【図 4】

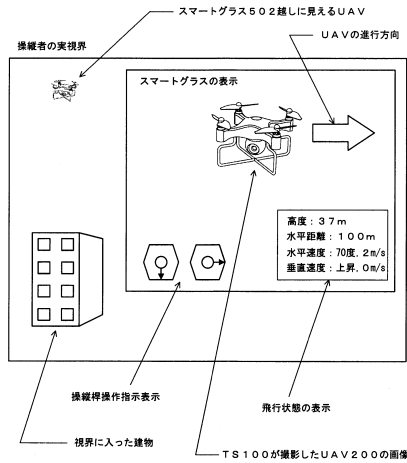


30

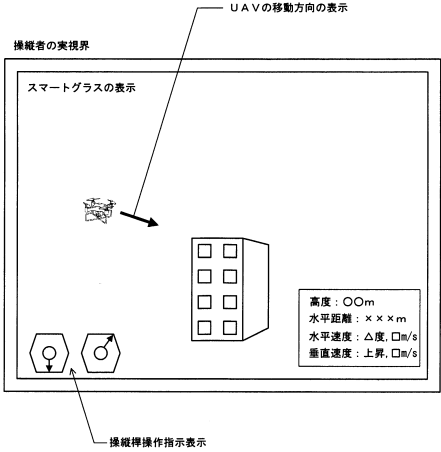
40

50

【図 5】

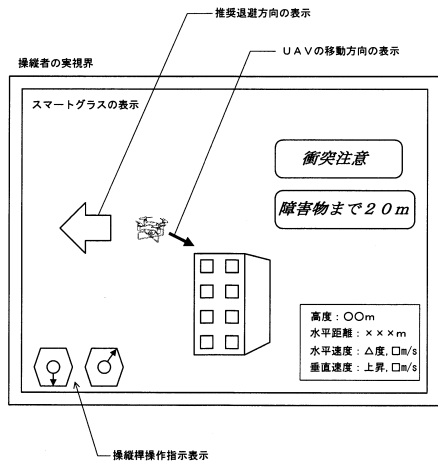


【図 6】

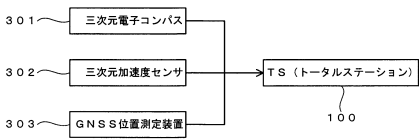


10

【図 7】



【図 8】



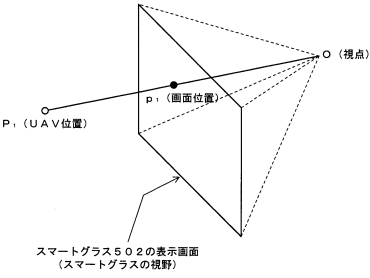
20

30

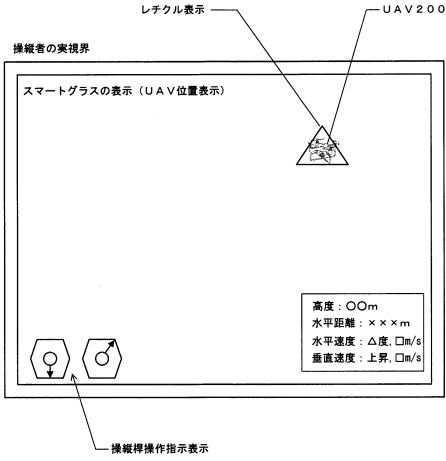
40

50

【図 9】

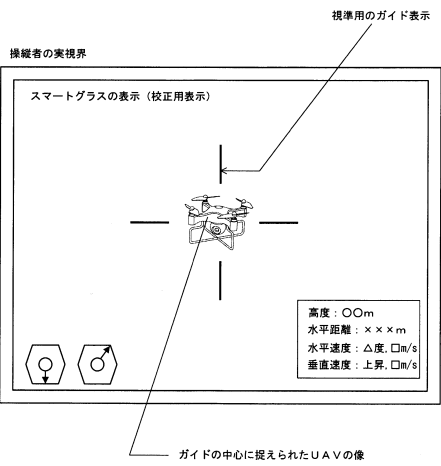


【図 10】

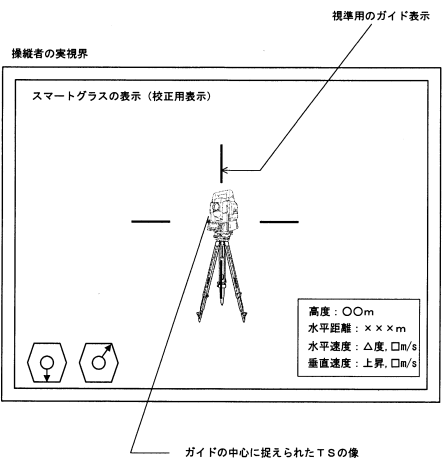


10

【図 11】



【図 12】



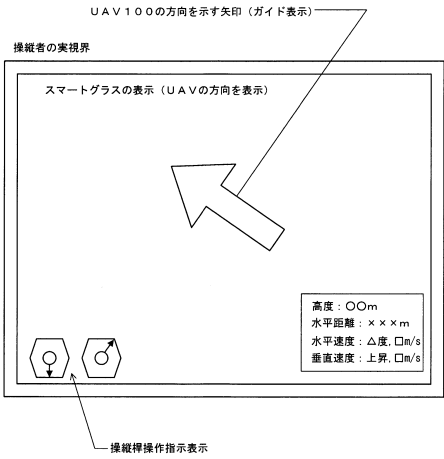
20

30

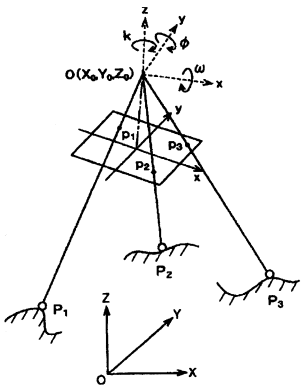
40

50

【図 13】



【図 14】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

B 6 4 C 27/08

B 6 4 C 39/02

(56)参考文献

特開 2 0 1 5 - 0 0 1 4 5 0 (J P , A)

特開 2 0 1 1 - 2 0 3 0 5 6 (J P , A)

特開平 0 9 - 2 4 3 3 6 5 (J P , A)

特表 2 0 1 7 - 5 0 1 4 7 5 (J P , A)

特表 2 0 0 9 - 5 3 8 4 8 7 (J P , A)

特開 2 0 1 3 - 1 8 6 8 1 6 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

G 0 1 C 1 / 0 0 - 1 / 1 4

3 / 0 0 - 3 / 3 2

5 / 0 0 - 1 5 / 1 4

G 0 1 B 1 1 / 0 0 - 1 1 / 3 0

G 0 1 S 7 / 4 8 - 7 / 5 1

1 7 / 0 0 - 1 7 / 9 5

G 0 5 D 1 / 0 0 - 1 / 1 2

G 0 9 G 5 / 0 0 - 5 / 4 0

G 0 2 B 2 7 / 0 0 - 3 0 / 6 0

B 6 4 B 1 / 0 0 - 1 / 7 0

B 6 4 C 1 / 0 0 - 9 9 / 0 0

B 6 4 D 1 / 0 0 - 4 7 / 0 8

B 6 4 F 1 / 0 0 - 5 / 6 0

B 6 4 G 1 / 0 0 - 9 9 / 0 0

G 0 9 G 5 / 0 0