

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7576501号
(P7576501)

(45)発行日 令和6年10月31日(2024.10.31)

(24)登録日 令和6年10月23日(2024.10.23)

(51)国際特許分類	F I
G 0 1 C 21/16 (2006.01)	G 0 1 C 21/16
B 6 4 C 13/18 (2006.01)	B 6 4 C 13/18 D
G 0 8 G 5/00 (2006.01)	G 0 8 G 5/00 A

請求項の数 7 (全15頁)

(21)出願番号	特願2021-55326(P2021-55326)	(73)特許権者	000005348 株式会社SUBARU 東京都渋谷区恵比寿一丁目20番8号
(22)出願日	令和3年3月29日(2021.3.29)	(74)代理人	100090033 弁理士 荒船 博司
(65)公開番号	特開2022-152525(P2022-152525 A)	(74)代理人	100093045 弁理士 荒船 良男
(43)公開日	令和4年10月12日(2022.10.12)	(72)発明者	浅井 孝行 東京都渋谷区恵比寿一丁目20番8号 株式会社SUBARU内
審査請求日	令和6年2月1日(2024.2.1)	審査官	武内 俊之

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 慣性航法装置の誤差補正システム及び慣性航法装置の誤差補正方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

搭載した慣性航法装置が算出する位置と姿勢に基づいて自律的に飛行する複数の飛行体における慣性航法装置の誤差補正システムであって、

前記各飛行体はそれぞれ、前記慣性航法装置と、無線通信装置と、自機から見た他機の座標を算出するための座標算出装置と、誤差補正装置と、を搭載しており、

前記誤差補正装置は、

前記座標算出装置が算出した前記自機から見た他機の座標に基づいて自機データに基づく当該他機の方位角及び仰角を算出し、

前記無線通信装置が他機から受信した、当該他機の前記慣性航法装置が算出した当該他機の位置の情報と、自機の前記慣性航法装置が算出した自機の位置の情報に基づいて他機データに基づく当該他機の方位角及び仰角を算出し、

前記自機データに基づく当該他機の方位角及び仰角と、前記他機データに基づく当該他機の方位角及び仰角との差である測角残差に基づいて自機の前記慣性航法装置で生じる誤差を補正することを特徴とする慣性航法装置の誤差補正システム。

【請求項2】

前記誤差補正装置は、前記座標算出装置が算出した前記自機から見た他機の座標と、自機の前記慣性航法装置が算出した自機の前記姿勢の情報に基づいて前記自機データに基づく他機の方位角及び仰角を算出することを特徴とする請求項1に記載の慣性航法装置の誤差補正システム。

10

20

【請求項 3】

前記誤差補正装置は、前記自機の前記慣性航法装置が算出した自機の位置から前記他機の慣性航法装置が算出した当該他機の位置に向かうベクトルの方位角及び仰角を前記他機データに基づく当該他機の方位角及び仰角として算出することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の慣性航法装置の誤差補正システム。

【請求項 4】

前記誤差補正装置は、ある他機から受信した、当該他機の前記慣性航法装置が算出した当該他機の位置の情報が信用できないと判断した場合は、当該他機を含む他機に対して、当該他機の位置の情報が信用できない旨を表す信号を発信することを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の慣性航法装置の誤差補正システム。

10

【請求項 5】

前記誤差補正装置は、自機からの距離が遠い他機ほど重みが大きくなるように前記測角残差を重み付けして、前記測角残差に基づいて自機の前記慣性航法装置で生じる誤差を補正することを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の慣性航法装置の誤差補正システム。

【請求項 6】

前記誤差補正装置は、ある他機について算出した前記測角残差を立体角表現した場合の立体角が閾値以下である場合、当該他機の識別情報を含む精度確定信号を発信することを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載の慣性航法装置の誤差補正システム。

20

【請求項 7】

搭載した慣性航法装置が算出する位置と姿勢に基づいて自律的に飛行する複数の飛行体における慣性航法装置の誤差補正方法であって、

前記飛行体が自機から見た他機の座標を算出する座標算出工程と、

前記座標算出工程で算出した前記自機から見た他機の座標に基づいて自機データに基づく当該他機の方位角及び仰角を算出する自機データに基づく他機の方位角等算出工程と、無線通信装置を介して当該他機から受信した、当該他機の前記慣性航法装置が算出した当該他機の位置の情報と、自機の前記慣性航法装置が算出した自機の位置の情報に基づいて他機データに基づく当該他機の方位角及び仰角を算出する他機データに基づく他機の方位角等算出工程と、

30

前記自機データに基づく当該他機の方位角及び仰角と、前記他機データに基づく当該他機の方位角及び仰角との差である測角残差に基づいて自機の前記慣性航法装置で生じる誤差を補正する誤差補正工程と、を含むことを特徴とする慣性航法装置の誤差補正方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、飛行体に搭載された慣性航法装置の誤差補正システム及び慣性航法装置の誤差補正方法に関する。

【背景技術】

40

【0002】

無人航空機において自ら制御して自律的に飛行する方法としては、GPS 受信機を搭載し、複数の GPS 衛星から受信した GPS 信号に基づいて自らの位置を特定するなどして飛行する方法が知られている。

しかし、GPS による方法ではジャミングや周りの建築物等の影響を受けやすく、それらの影響を受けない、あるいは受けにくい方法として、慣性航法装置を用いる方法が知られている（特許文献 1、2 等参照）。

【0003】

一般的に、慣性航法装置では、加速度センサや角速度センサが測定した加速度や角速度を積分することで自身の位置（緯度、経度、高度）や姿勢（ピッチ、ロール、ヨー）を算

50

出する。

そして、無人航空機の制御部が、算出された位置や姿勢に基づいて自動操縦を行うように構成される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2020-147111号公報

【文献】特開2019-115012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、加速度センサや角速度センサの測定値には、ランダムに発生するランダム誤差のほかにバイアス誤差、すなわち回転や加速がない場合にセンサが生成する信号（誤差）も含まれており、このバイアス誤差が慣性航法装置による位置や姿勢の算出の主要な誤差要因の1つになる。

そして、これは、無人航空機の場合だけでなく、有人の飛行体に搭載された慣性航法装置においても同様に問題になり得る。

【0006】

本発明は、上記の点を鑑みてなされたものであり、飛行体に搭載された慣性航法装置で生じるバイアス誤差等の誤差を適切に補正することが可能な慣性航法装置の誤差補正システム及び慣性航法装置の誤差補正方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記の問題を解決するために、請求項1に記載の発明は、

搭載した慣性航法装置が算出する位置と姿勢に基づいて自律的に飛行する複数の飛行体における慣性航法装置の誤差補正システムであって、

前記各飛行体はそれぞれ、前記慣性航法装置と、無線通信装置と、自機から見た他機の座標を算出するための座標算出装置と、誤差補正装置と、を搭載しており、

前記誤差補正装置は、

前記座標算出装置が算出した前記自機から見た他機の座標に基づいて自機データに基づく当該他機の方位角及び仰角を算出し、

前記無線通信装置が他機から受信した、当該他機の前記慣性航法装置が算出した当該他機の位置の情報と、自機の前記慣性航法装置が算出した自機の位置の情報に基づいて他機データに基づく当該他機の方位角及び仰角を算出し、

前記自機データに基づく当該他機の方位角及び仰角と、前記他機データに基づく当該他機の方位角及び仰角との差である測角残差に基づいて自機の前記慣性航法装置で生じる誤差を補正することを特徴とする。

【0008】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の慣性航法装置の誤差補正システムにおいて、前記誤差補正装置は、前記座標算出装置が算出した前記自機から見た他機の座標と、自機の前記慣性航法装置が算出した自機の前記姿勢の情報に基づいて前記自機データに基づく他機の方位角及び仰角を算出することを特徴とする。

【0009】

請求項3に記載の発明は、請求項1又は請求項2に記載の慣性航法装置の誤差補正システムにおいて、前記誤差補正装置は、前記自機の前記慣性航法装置が算出した自機の位置から前記他機の慣性航法装置が算出した当該他機の位置に向かうベクトルの方位角及び仰角を前記他機データに基づく当該他機の方位角及び仰角として算出す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から請求項3のいずれか一項に記載の慣性航法装置の誤差補正システムにおいて、前記誤差補正装置は、ある他機から受信した、当該他機の

10

20

30

40

50

前記慣性航法装置が算出した当該他機の位置の情報が信用できないと判断した場合は、当該他機を含む他機に対して、当該他機の位置の情報が信用できない旨を表す信号を発信することを特徴とする。

【0011】

請求項5に記載の発明は、請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の慣性航法装置の誤差補正システムにおいて、前記誤差補正装置は、自機からの距離が遠い他機ほど重みが大きくなるように前記測角残差を重み付けして、前記測角残差に基づいて自機の前記慣性航法装置で生じる誤差を補正することを特徴とする。

【0012】

請求項6に記載の発明は、請求項1から請求項5のいずれか一項に記載の慣性航法装置の誤差補正システムにおいて、前記誤差補正装置は、ある他機について算出した前記測角残差を立体角表現した場合の立体角が閾値以下である場合、当該他機の識別情報を含む精度確定信号を発信することを特徴とする。

10

【0013】

請求項7に記載の発明は、
 搭載した慣性航法装置が算出する位置と姿勢に基づいて自律的に飛行する複数の飛行体における慣性航法装置の誤差補正方法であって、
 前記飛行体が自機から見た他機の座標を算出する座標算出工程と、
 前記座標算出工程で算出した前記自機から見た他機の座標に基づいて自機データに基づく当該他機の方位角及び仰角を算出する自機データに基づく他機の方位角等算出工程と、
 無線通信装置を介して当該他機から受信した、当該他機の前記慣性航法装置が算出した当該他機の位置の情報と、自機の前記慣性航法装置が算出した自機の位置の情報に基づいて他機データに基づく当該他機の方位角及び仰角を算出する他機データに基づく他機の方位角等算出工程と、
 前記自機データの基づく当該他機の方位角及び仰角と、前記他機データに基づく当該他機の方位角及び仰角との差である測角残差に基づいて自機の前記慣性航法装置で生じる誤差を補正する誤差補正工程と、
 を含むことを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、飛行体に搭載された慣性航法装置で生じるバイアス誤差等の誤差を適切に補正することが可能となる。

30

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本実施形態に係る慣性航法装置の誤差補正システムが自律的に飛行する複数の飛行体で構成されることを表す図である。

【図2】各飛行体における慣性航法装置の誤差補正システムに関する構成を表すブロック図である。

【図3】画像中の他機の画像座標を座標変換して自機から見た当該他機の座標を算出することを説明する図である。

40

【図4】本実施形態に係る慣性航法装置の誤差補正方法の各工程を表すフローチャートである。

【図5】自機から見た他機の座標と自機の姿勢に基づいて自機データに基づく他機の方位角及び仰角を算出することを説明する図である。

【図6】他機の慣性航法装置が算出した当該他機の位置と自機の慣性航法装置が算出した自機の位置に基づいて他機データに基づく当該他機の方位角及び仰角を算出することを説明する図である。

【図7】自機と他機との距離が遠いほど位置の誤差に対応する、自機から見た他機の方位角や仰角の誤差が小さくなることを説明する図である。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 1 6 】

以下、本発明に係る慣性航法装置の誤差補正システム及び慣性航法装置の誤差補正方法の実施の形態について、図面を参照して説明する。

【 0 0 1 7 】

[慣性航法装置の誤差補正システム]

本実施形態に係る慣性航法装置の誤差補正システム 1 では、図 1 に示すように、後述する慣性航法装置や無線通信装置等を搭載して自律的に飛行する複数の飛行体 2 が、互いに無線通信するなどしながら、自らに搭載された慣性航法装置で生じる誤差をそれぞれ補正していくものである。

その際、飛行体 2 は無人航空機であってもよく、有人機であってもよい。

10

【 0 0 1 8 】

また、複数の飛行体 2 は、例えば、互いに協同して行動する僚機同士であってもよく、あるいは、例えば、偶然に近くを飛行する状態になった無関係の機体同士であってもよい。

また、複数の飛行体 2 は、自機 2 a と他機 2 b の 2 機のみであってもよく、あるいは、3 機以上であってもよい。

【 0 0 1 9 】

以下、本実施形態に係る慣性航法装置の誤差補正システム 1 について具体的に説明する。

図 2 は、各飛行体における慣性航法装置の誤差補正システムに関する構成を表すブロック図である。

【 0 0 2 0 】

20

[飛行体ごとの構成]

各飛行体 2 はそれぞれ、慣性航法装置 1 0 と、無線通信装置 1 1 と、座標算出装置 1 2 と、誤差補正装置 1 3 と、を搭載しており、搭載した慣性航法装置 1 0 が算出する位置（緯度、経度、高度）と姿勢（ピッチ、ロール、ヨー）に基づいて自律的に飛行するように構成されている。

また、本実施形態では、各飛行体 2 にはランプ 1 4 が取り付けられており、ランプ 1 4 を所定の明滅パターンで明滅させることで、ランプ 1 4 の明滅パターンにより自身の ID（識別情報）を他の飛行体 2（以下、他機という。）に通知するようになっている。

【 0 0 2 1 】

慣性航法装置 1 0 は、加速度センサ 1 0 A と角速度センサ 1 0 B とを備えており、加速度センサ 1 0 A や角速度センサ 1 0 B が出力した加速度や角速度を積分することで飛行体 2 の位置と姿勢を算出し、算出した位置や姿勢の情報を飛行体 2 の制御部 2 0 に送信する。

30

また、慣性航法装置 1 0 は、算出した位置や姿勢の情報のうち、位置（緯度、経度、高度）の情報に、自身が搭載されている飛行体 2 の ID を付与して、無線通信装置 1 1 を介して全ての他機に発信するようになっている。

【 0 0 2 2 】

ここで、全ての他機とは、無線通信装置 1 1 を介して自機と通信可能な飛行体 2 をいう。

また、無線通信装置 1 1 は、他機から発信された、当該他機の慣性航法装置 1 0 が算出し、当該他機の ID が付与された当該他機の位置（緯度、経度、高度）の情報を受信すると、当該他機の ID が付与された当該他機の位置の情報を座標算出装置 1 2 と誤差補正装置 1 3 に送信するようになっている。

40

【 0 0 2 3 】

[自機から見た他機の座標の算出]

座標算出装置 1 2 は、自機（すなわち当該座標算出装置 1 2 が搭載されている飛行体 2）から見た他機の座標（ $a z$, $e l$ ）を算出するための装置である。

以下、本実施形態での座標算出装置 1 2 における自機から見た他機の座標（ $a z$, $e l$ ）の算出の仕方について説明する。

【 0 0 2 4 】

座標算出装置 1 2 は、カメラ 1 2 A を備えている。ここでは、カメラ 1 2 A は任意の方向あるいは所定の範囲内で向きを変えることができるように構成されているものとする。

50

また、カメラ 1 2 A として全方位カメラ等を用いることも可能である。

また、本実施形態では、カメラ 1 2 A で動画撮影を行う場合について説明するが、静止画を撮影するように構成してもよい。なお、カメラ 1 2 A で静止画を撮影する場合、カメラ 1 2 A で撮影した画像に撮影されている他機の ID を取得するための機構が新たに設けられる。

【 0 0 2 5 】

座標算出装置 1 2 は、カメラ 1 2 A で撮影した動画を解析して、画像（すなわち動画を構成する 1 コマずつの各画像）中に撮影されている他機のランプ 1 4 の明滅パターンを割り出し、画像中に撮影されている当該他機の ID を割り出す。

そして、無線通信装置 1 1 が動画中に撮影されている他機から発信された位置の情報（すなわち割り出した当該 ID が付与された位置の情報）を受信して座標算出装置 1 2 に送信すると、座標算出装置 1 2 は、図 3 に示すように、そのタイミングで撮影された画像（動画を構成する 1 コマの画像）中の当該他機 2 b の画像座標（ u, v ）を割り出す。

10

【 0 0 2 6 】

そして、座標算出装置 1 2 は、上記のタイミングでのカメラ 1 2 A の向きと当該他機 2 b の画像座標（ u, v ）に基づいて、自機 2 a から見た当該他機 2 b の座標（ az, el ）を算出する。

すなわち、座標算出装置 1 2 は、図 3 に示すように、画像中の当該他機 2 b の画像座標（ u, v ）を座標変換して、自機 2 a の前方（FWD）、右方（RH）、下方（DWN）を座標軸とする直交座標系における当該他機 2 b の前方（FWD）軸に対する方位角（ az ）と仰角（ el ）を算出するようになっている。

20

【 0 0 2 7 】

なお、上記では、座標算出装置 1 2 がカメラ 1 2 A で撮影された画像を解析して自機 2 a から見た他機 2 b の座標（ az, el ）を算出する場合について説明するが、本発明はこの場合に限定されず、例えばレーダー等で得られた情報を用いて自機 2 a から見た他機 2 b の座標（ az, el ）を算出するように構成することも可能である。

座標算出装置 1 2 は、以上の処理を全ての他機 2 b について行い、自機 2 a から見た当該他機 2 b の座標（ az, el ）を算出すると、算出した自機 2 a から見た当該他機 2 b の座標（ az, el ）に割り出した当該他機 2 b の ID を付与してそれぞれ誤差補正装置 1 3 に送信する。

30

【 0 0 2 8 】

[慣性航法装置で生じる誤差の補正]

次に、本実施形態での誤差補正装置 1 3 における自機 2 a の慣性航法装置 1 0 で生じる誤差の補正の仕方について説明する。なお、以下で説明する誤差補正装置 1 3 の処理の一部を座標算出装置 1 2 等で行うように構成することも可能である。また、座標算出装置 1 2 や誤差補正装置 1 3 等を 1 つの装置として構成することも可能である。

また、本実施形態に係る慣性航法装置の誤差補正方法についてもあわせて説明する。

【 0 0 2 9 】

慣性航法装置の誤差補正方法には、図 4 に示す各工程が含まれており、その流れに従って自機 2 a の慣性航法装置 1 0 で生じる誤差の補正の仕方について説明する。

40

座標算出装置 1 2 で自機 2 a から見た他機 2 b の座標（ az, el ）を算出する座標算出工程（ステップ S 1）については上記の通りである。

【 0 0 3 0 】

[自機データに基づく他機の方角及び仰角の算出]

誤差補正装置 1 3 は、座標算出装置 1 2 が算出した自機 2 a から見た他機 2 b の座標（ az, el ）に基づいて自機データに基づく当該他機 2 b の方位角及び仰角を算出する（自機データに基づく他機の方角等算出工程（ステップ S 2））。

この工程では、誤差補正装置 1 3 は、座標算出装置 1 2 から算出した自機 2 a から見た他機 2 b の座標（ az, el ）の情報が送信されてくると、画像中に撮影されている他機 2 b から位置の情報を受信したタイミングで自機 2 a の慣性航法装置 1 0 が算出した自機

50

2 a の姿勢（ピッチ、ロール、ヨー）の情報を入手する。

【0031】

そして、誤差補正装置 13 は、図 5 に示すように、座標算出装置 12 が算出した自機 2 a から見た他機 2 b の座標（ a_z, e_l ）と、自機 2 a の慣性航法装置 10 が算出した自機 2 a の姿勢（ピッチ p 、ロール r 、ヨー y ）の情報に基づいて、当該他機 2 b の方位角 $AZ1$ （真北基準。真北は図 5 における N 軸参照）と仰角 $EL1$ （水平面基準）を算出するようになっている。

しかし、この場合の「他機 2 b の方位角 $AZ1$ や仰角 $EL1$ 」は、あくまで自機 2 a の慣性航法装置 10 が算出した自機 2 a の姿勢（ピッチ p 、ロール r 、ヨー y ）に基づいて算出されたものであり、誤差が含まれている可能性があるため、「自機データに基づく他機の方位角 $AZ1$ 及び仰角 $EL1$ 」という。

10

【0032】

[他機データに基づく当該他機の方位角及び仰角の算出]

一方、誤差補正装置 13 は、無線通信装置 11 が当該他機 2 b から受信した、当該他機 2 b の慣性航法装置 10 が算出した当該他機 2 b の位置（緯度、経度、高度）の情報と、無線通信装置 11 が当該他機 2 b の位置の情報を受信したタイミングで自機 2 a の慣性航法装置 10 が算出した自機 2 a の位置（緯度、経度、高度）の情報に基づいて、他機データに基づく当該他機 2 b の方位角及び仰角を算出する（他機データに基づく他機の方位角等算出工程（ステップ S3））。

【0033】

この工程では、誤差補正装置 13 は、図 6 に示すように、自機 2 a の慣性航法装置 10 が算出した自機 2 a の位置（緯度 $LATa$ 、経度 $LONa$ 、高度 $ALTa$ ）から当該他機 2 b の慣性航法装置 10 が算出した当該他機 2 b の位置（緯度 $LATb$ 、経度 $LONb$ 、高度 $AL Tb$ ）に向かうベクトル V の方位角 $AZ2$ （真北基準）と仰角 $EL2$ （水平面基準）を当該他機 2 b の方位角 $AZ2$ 及び仰角 $EL2$ として算出するようになっている。

20

この場合の「他機 2 b の方位角 $AZ2$ や仰角 $EL2$ 」は、あくまで他機 2 b の慣性航法装置 10 が算出した、誤差が含まれている可能性がある他機 2 b の位置（緯度、経度、高度）に基づいて算出されたものであるため、上記の「自機データに基づく他機の方位角 $AZ1$ 及び仰角 $EL1$ 」と区別して「他機データに基づく他機の方位角 $AZ2$ 及び仰角 $EL2$ 」という。

30

【0034】

なお、ステップ S2（自機データに基づく他機の方位角及び仰角の算出）とステップ S3（他機データに基づく他機の方位角及び仰角の算出）は処理の順番が逆でもよく、あるいは併行して行われてもよい。

【0035】

[他機データに基づく当該他機の方位角及び仰角の算出]

続いて、誤差補正装置 13 は、ステップ S2 で算出した自機データに基づく他機 2 b の方位角 $AZ1$ 及び仰角 $EL1$ とステップ S3 で算出した他機データに基づく当該他機 2 b の方位角 $AZ2$ 及び仰角 $EL2$ との差である測角残差（ AZ, EL ）を算出し、算出した測角残差（ AZ, EL ）に基づいて自機 2 a の慣性航法装置 10 で生じる誤差（本実施形態では慣性航法装置 10 の加速度センサ 10 A と角速度センサ 10 B の各バイアス誤差）を補正する（誤差補正工程（ステップ S4））。

40

【0036】

具体的には、誤差補正装置 13 は、

$$AZ = AZ1 - AZ2 \quad \dots (1)$$

$$EL = EL1 - EL2 \quad \dots (2)$$

を計算して測角残差（ AZ, EL ）を算出し、算出した測角残差（ AZ, EL ）に基づいて慣性航法装置 10 の加速度センサ 10 A と角速度センサ 10 B の各センサバイアス値をそれぞれ算出する。

【0037】

50

そして、本実施形態では、誤差補正装置 13 は、慣性航法装置 10 の加速度センサ 10 A が出力する加速度に算出した加速度センサ 10 A のセンサバイアス値を加算し、角速度センサ 10 B が出力する角速度に算出した角速度センサ 10 B のセンサバイアス値を加算することで、慣性航法装置 10 の加速度センサ 10 A と角速度センサ 10 B の各バイアス誤差をそれぞれ補正する。

そして、慣性航法装置 10 は、補正された加速度や角速度を積分することで自機 2 a の位置（緯度、経度、高度）や姿勢（ピッチ、ロール、ヨー）を算出する。

【0038】

本実施形態に係る慣性航法装置の誤差補正システム 1 や慣性航法装置の誤差補正方法では、以上のステップ S1 ~ S4 の各工程を繰り返し行い、さらに、以上の処理を全ての他機 2 b について行って、慣性航法装置 10 の加速度センサ 10 A や角速度センサ 10 B が出力する加速度や角速度を修正することで、慣性航法装置 10 で生じるバイアス誤差等の誤差を補正するようになっている。

10

【0039】

[効果]

以上のように、本実施形態に係る慣性航法装置の誤差補正システム 1 や慣性航法装置の誤差補正方法によれば、誤差補正装置 13 が、座標算出装置 12 が算出した自機 2 a から見た他機 2 b の座標（ a_z, e_l ）に基づいて算出した自機データに基づく当該他機 2 b の方位角 AZ_1 及び仰角 EL_1 と、自機 2 a と当該他機 2 b の各慣性航法装置 10 がそれぞれ算出した自機 2 a と当該他機 2 b の各位置に基づいて算出した他機データに基づく当該他機 2 b の方位角 AZ_2 及び仰角 EL_2 との差である測角残差（ AZ, EL ）に基づいて自機 2 a の慣性航法装置 10 で生じる誤差を補正するように構成した。

20

【0040】

そのため、飛行体 2 に搭載された慣性航法装置 10 で発生する誤差（慣性航法装置 10 の加速度センサ 10 A や角速度センサ 10 B で発生するバイアス誤差等）を適切に補正することが可能となる。

そのため、GPS による方法ではジャミングや周りの建築物等の影響を受けやすく自機 2 a の位置（緯度、経度、高度）を特定しにくい状況、または GPS 信号を受信できない状況においても、慣性航法装置 10 を用いて自機 2 a の位置（緯度、経度、高度）や姿勢（ピッチ、ロール、ヨー）を算出して自律的に飛行することが可能となる。

30

【0041】

[誤差補正の精度を向上させるための処理等について]

なお、上記の実施形態では、全ての他機 2 b（すなわち無線通信装置 11 を介して自機 2 a と通信可能な飛行体 2）について算出した全ての測角残差（ AZ, EL ）を平等に扱って（すなわち例えばそれらの平均値を算出するなどして）自機 2 a の慣性航法装置 10 で生じる誤差（慣性航法装置 10 の加速度センサ 10 A や角速度センサ 10 B で発生するバイアス誤差等）を補正する場合について説明した。

【0042】

しかし、他機 2 b の慣性航法装置 10 が故障していたり、あるいは妨害等の目的で他機 2 b（あるいはそれになりすました他者）が故意に誤った情報を発信するなどして誤差補正の精度が低下してしまう場合があり得る。

40

そこで、以下では、誤差補正の精度を向上させるために上記のフローに追加し得るいくつかの処理等について説明する。

【0043】

[疑義信号や使用判定について]

前述したように、各飛行体 2（自機 2 a、他機 2 b）から、自らに搭載された慣性航法装置 10 が算出した当該自らの位置（緯度、経度、高度）の情報が発信されるが、例えば、以下のような場合、当該他機 2 b i から発信される位置の情報は信用できないと考えられる。

【0044】

50

(A) ある他機 2 b i について繰り返し算出される測角残差 ($A Z i$, $E L i$) の変動 (標準偏差 σ_i) は小さいが、測角残差 ($A Z i$, $E L i$) 自体の大きさが大きい場合。

具体的には、例えば、当該他機 2 b i について繰り返し算出される測角残差 ($A Z i$, $E L i$) の標準偏差 σ_i は所定の閾値未満でありばらつきが少ないが、 $A Z i$ 、 $E L i$ の絶対値の一方又は両方が所定の閾値以上に大きい場合。

【 0 0 4 5 】

すなわち、当該他機 2 b i について算出される測角残差 ($A Z i$, $E L i$) は毎回同じような値になるが、測角残差 ($A Z i$, $E L i$) の大きさが大きい状態が継続する場合である。

これは、当該他機 2 b i の慣性航法装置 1 0 が故障しているか、あるいは当該他機 2 b i (又は他者) が故意に誤った情報を発信していると考えられる。

【 0 0 4 6 】

(B) ある他機 2 b i について繰り返し算出される測角残差 ($A Z i$, $E L i$) の変動 (標準偏差 σ_i) が大きい場合。すなわち、当該他機 2 b i について毎回算出される測角残差 ($A Z i$, $E L i$) が所定の閾値以上でありばらつきが大きい場合である。

これは、当該他機 2 b i の慣性航法装置 1 0 が故障していると考えられる。

【 0 0 4 7 】

そこで、本実施形態では、上記のような場合、すなわち、自機 2 a の誤差補正装置 1 3 は、ある他機 2 b i から受信した、当該他機 2 b i の慣性航法装置 1 0 が算出した当該他機 2 b の位置 (緯度、経度、高度) の情報に基づいて算出した測角残差 ($A Z i$, $E L i$) が例えば上記の (A) や (B) の条件を満たすなどして信用できないと判断した場合は、当該他機 2 b i を含む他機 2 b に対して、当該他機 2 b i の位置の情報が信用できない旨を表す信号を発信するように構成されている。

【 0 0 4 8 】

以下、この信号を疑義信号という。

疑義信号には、例えば、発信する情報が信用できないと判断した対象の他機 2 b i の ID と、当該疑義信号を発信する自機 2 a の ID と、疑義の種類 (たとえば上記の (A) や (B) など) が含まれる。

【 0 0 4 9 】

そして、ある他機 2 b i について自機 2 a や他の他機 2 b が疑義信号を発信した場合、自機 2 a の誤差補正装置 1 3 は、当該他機 2 b i について算出した測角残差 ($A Z i$, $E L i$) を自機 2 a の慣性航法装置 1 0 で生じる誤差の補正には使用しないように使用判定を行うように構成することができる。

このように構成すれば、他機 2 b の故障した慣性航法装置 1 0 が算出した当該他機 2 b の位置の情報等や、妨害等の目的で故意に誤った情報を発信している他機 2 b の位置の情報等を、自機 2 a の慣性航法装置 1 0 で生じる誤差の補正に用いないようにすることが可能となり、誤差補正の精度を向上させることが可能となる。

【 0 0 5 0 】

一方、他機 2 b が自身以外の多くの他機 (自機 2 a を含む。) に対して疑義信号を発信するような場合は、当該他機 2 b の慣性航法装置 1 0 自体が故障している可能性がある。

あるいは、当該他機 2 b (又は他者) がシステムを攪乱する等の目的をもって故意に疑義信号を多発している可能性もある。

【 0 0 5 1 】

そのため、ある他機 2 b が、例えば通信可能な全ての飛行体 2 のうち所定割合 (例えば半分) 以上の他の他機 2 b (自機 2 a を含む。) に対して疑義信号を発信している場合、自機 2 a の誤差補正装置 1 3 は、当該他機 2 b が発信する疑義信号を無視するように構成することが可能である。

この場合、自機 2 a の誤差補正装置 1 3 は、疑義信号を多発する当該他機 2 b 以外の他機 2 b について算出した測角残差 ($A Z$, $E L$) を自機 2 a の慣性航法装置 1 0 で生

10

20

30

40

50

じる誤差の補正に使用するように使用判定を行うように構成することが可能である。

【 0 0 5 2 】

なお、この場合、疑義信号を多発する当該他機 2 b 以外の他機 2 b (すなわち慣性航法装置 1 0 が故障しておらずシステムを攪乱する等の目的を有していないと思われる他機 2 b) が発信する疑義信号の対象の他機 2 b については、自機 2 a の誤差補正装置 1 3 は、その他機 2 b について算出した測角残差 ($A Z$, $E L$) は自機 2 a の慣性航法装置 1 0 で生じる誤差の補正には使用しないように使用判定を行う。

また、ある他機 2 b について算出した測角残差 ($A Z$, $E L$) を自機 2 a の慣性航法装置 1 0 で生じる誤差の補正に使用するか否かの使用判定に、他の基準を加味するように構成することも可能である。

10

【 0 0 5 3 】

[重み付けについて]

また、全ての他機 2 b (すなわち無線通信装置 1 1 を介して自機 2 a と通信可能な飛行体 2) について算出した各測角残差 ($A Z$, $E L$) をそれぞれ重み付けして、自機 2 a の慣性航法装置 1 0 で生じる誤差の補正に用いるように構成することも可能である。

以下、重み付けを行う際に考慮し得るいくつかの要素について説明する。

【 0 0 5 4 】

[自機と他機との距離について]

図 7 に示すように、例えば 2 機の他機 2 b の慣性航法装置 1 0 が算出する位置 (緯度、経度、高度) の誤差 (図 7 ではイメージ的に上下方向の矢印で示されている。) が同程度である場合、自機 2 a と他機 2 b との距離 L が遠いほど、位置の誤差 に対応する、自機 2 a から見た他機 2 b の方位角や仰角の誤差 は小さくなる。

20

すなわち、自機 2 a から他機 2 b までの距離 L が近い場合に比べて、自機 2 a から他機 2 b までの距離 L が遠い方が、当該他機 2 b の慣性航法装置 1 0 が算出する位置に多少大きな誤差 があっても、自機 2 a から見た当該他機 2 b の方位角や仰角に与える影響が小さいため、距離 L が遠い他機 2 b について算出した測角残差 ($A Z$, $E L$) の方が、距離 L が近い他機 2 b について算出した測角残差 ($A Z$, $E L$) よりも精度が高い。

【 0 0 5 5 】

そのため、自機 2 a の誤差補正装置 1 3 は、自機 2 a からの距離 L_j が遠い他機 2 b j ほど重みが大きくなるように測角残差 ($A Z_j$, $E L_j$) を重み付けして、上記のように測角残差に基づいて自機 2 a の慣性航法装置 1 0 で生じる誤差を補正するように構成することが可能である。

30

この場合の重み w_j 、すなわち自機と他機との距離 L_j に関する重み $w_j (L_j)$ は、例えば、

$$w_j (L_j) = \exp(- \quad / L_j) \quad \dots (3)$$

の形とすることができる (\quad は定数)。

【 0 0 5 6 】

[有効測角目標数について]

また、本実施形態では、自機 2 a の誤差補正装置 1 3 がある他機 2 b について算出した測角残差 ($A Z$, $E L$) を立体角表現した場合の立体角 が設定された閾値以下であり小さい場合、少なくとも当該他機 2 b に対しては自機 2 a の慣性航法装置 1 0 が算出する位置や姿勢の精度が確定したとして、当該他機 2 b の I D を含む精度確定信号を発信するようになっている。

40

精度確定信号には、精度が確定した対象としての当該他機 2 b の I D のほか、少なくとも当該精度確定信号を発信した自機 2 a の I D も含まれる。なお、上記の立体角 について設定される閾値を可変とすることも可能であり、例えば、閾値を、自機 2 a が当該他機 2 b を初めて認識した時点では大きな値に設定し、誤差の補正処理を繰り返すごとに徐々に小さくしていくように構成することも可能である。

【 0 0 5 7 】

このように構成する場合、ある他機 2 b j の I D を含む精度確定信号の数 N_j (以下、

50

有効測角目標数 N_j という。)が多いほど(すなわちある他機 $2 b_j$ を精度が確定した対象として挙げる飛行体 2 の数 N_j が多いほど)、当該他機 $2 b_j$ は多くの飛行体 2 と位置や姿勢の精度が確定していると考えられる。

そして、当該他機 $2 b_j$ について算出した測角残差 ($A Z_j$, $E L_j$) を自機 $2 a$ の慣性航法装置 10 で生じる誤差の補正に用いる際の重み付けを重くするように構成すれば、誤差補正の精度を向上させることができる。

【0058】

そのため、自機 $2 a$ の誤差補正装置 13 は、ある他機 $2 b_j$ の ID を含む精度確定信号の数 N_j (すなわち有効測角目標数 N_j) が多いほど当該他機 $2 b_j$ について算出した測角残差 ($A Z_j$, $E L_j$) の重み w_j が大きくなるように重み付けして、測角残差に基づいて自機 $2 a$ の慣性航法装置 10 で生じる誤差を補正するように構成することが可能である。

10

この場合の重み w_j 、すなわち有効測角目標数 N_j に関する重み $w_j (N_j)$ は、例えば、

$$w_j (N_j) = \exp(- \quad / N_j) \quad \dots (4)$$

の形とすることができる(\quad は定数)。

【0059】

[測角残差の変動の安定性について]

また、上記の疑義信号の所で説明したように、ある他機 $2 b_i$ について算出される測角残差 ($A Z_i$, $E L_i$) の変動(標準偏差 σ_i)は小さいが、測角残差 ($A Z_i$, $E L_i$) 自体の大きさが大きい場合(上記(A)参照)は、当該他機 $2 b_i$ の慣性航法装置 10 の故障や当該他機 $2 b_i$ (又は他者)が故意に誤った情報を発信している可能性がある。

20

しかし、上記のように、ある他機 $2 b_j$ について算出した測角残差 ($A Z_j$, $E L_j$) を立体角表現した場合の立体角 θ_j が閾値以下であり小さく、発信された精度確定信号の対象となっているような他機 $2 b_j$ については、当該他機 $2 b_j$ の慣性航法装置 10 の故障や当該他機 $2 b_j$ (又は他者)が故意に誤った情報を発信している可能性はなく、あるいはその可能性は非常に小さい。

【0060】

そして、そのような場合には、当該他機 $2 b_j$ について算出される測角残差 ($A Z_j$, $E L_j$) の変動が小さい方が(すなわち測角残差の変更が安定している方が)、変動が大きい場合よりも測角残差の信頼性が高く、そのような測角残差を自機 $2 a$ の慣性航法装置 10 で生じる誤差の補正に用いる際の重み付けを重くするように構成すれば、誤差補正の精度を向上させることができる。

30

【0061】

そのため、自機 $2 a$ の誤差補正装置 13 は、発信された精度確定信号の対象となっている他機 $2 b_j$ について算出した測角残差 ($A Z_j$, $E L_j$) の変動(標準偏差 σ_j)が小さいほど当該他機 $2 b_j$ について算出した測角残差 ($A Z_i$, $E L_i$) の重み w_j が大きくなるように重み付けして、測角残差に基づいて自機 $2 a$ の慣性航法装置 10 で生じる誤差を補正するように構成することが可能である。

40

この場合の重み w_j 、すなわち測角残差の標準偏差 σ_j に関する重み $w_j (\sigma_j)$ は、例えば、

$$w_j (\sigma_j) = \exp(- \quad \cdot \sigma_j) \quad \dots (5)$$

の形とすることができる(\quad は定数)。

【0062】

そして、本実施形態では、上記の式(3)~(5)を考慮して、自機 $2 a$ の誤差補正装置 13 は、ある他機 $2 b_j$ について算出した測角残差 ($A Z_j$, $E L_j$) の重み w_j を以下の式(6)に従って算出するようになっている。

【数1】

50

$$w_j = \frac{1}{\sum_j w_j} \times \exp\left(-\frac{\alpha}{L_j}\right) \times \exp\left(-\frac{\beta}{N_j}\right) \times \exp(-\gamma \cdot \sigma_j) \quad \dots(6)$$

【 0 0 6 3 】

本実施形態では、このように、他機 2 b について算出した測角残差 (A Z j , E L j) のうち、信頼性が低い測角残差 (A Z j , E L j) は重み w j を小さくし、信頼性が高い測角残差 (A Z j , E L j) ほど重み w j を大きくするように重み付けして測角残差に基づいて自機 2 a の慣性航法装置 1 0 で生じる誤差を補正するように構成することで、互いに精度確定信号の対象となる他機 2 b を増やしていくことが可能となり、慣性航法装置 1 0 を搭載して自律的に飛行する複数の飛行体 2 (自機 2 a を含む。) が全体的に慣性航法装置 1 0 で発生する誤差を小さくしていくことが可能となる。

10

【 0 0 6 4 】

なお、本発明が上記の実施形態等に限定されず、本発明の趣旨を逸脱しない限り、適宜変更可能であることは言うまでもない。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 5 】

1 慣性航法装置の誤差補正システム

2 飛行体

2 a 自機

2 b 他機

1 0 慣性航法装置

1 1 無線通信装置

1 2 座標算出装置

1 3 誤差補正装置

A L T 高度 (位置)

(a z , e l) 自機から見た他機の座標

A Z 1、E L 1 自機データに基づく他機の方角及び仰角

A Z 2、E L 2 他機データに基づく他機の方角及び仰角

L A T 緯度 (位置)

L j 自機からの距離

L O N 経度 (位置)

N j 有効測角目標数 (精度確定信号の数)

p ピッチ (姿勢)

r ロール (姿勢)

V ベクトル

w j 重み

y ヨー (姿勢)

(A Z , E L) 測角残差

j 測角残差の標準偏差 (測角残差の変動)

立体角

20

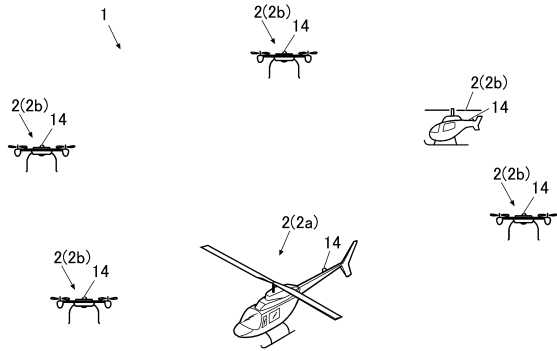
30

40

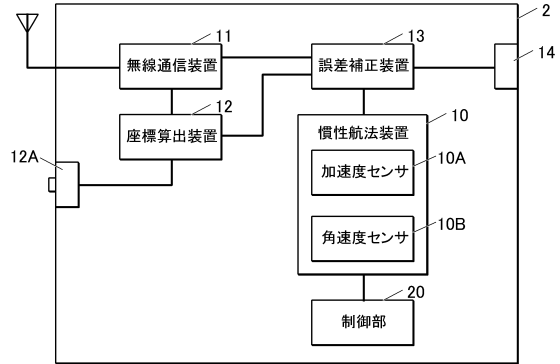
50

【図面】

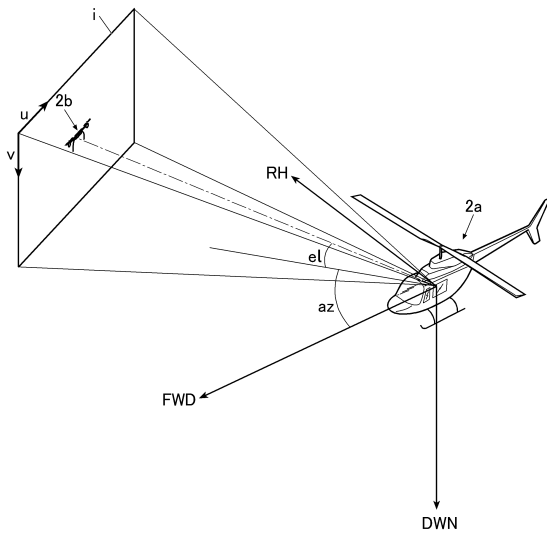
【図 1】



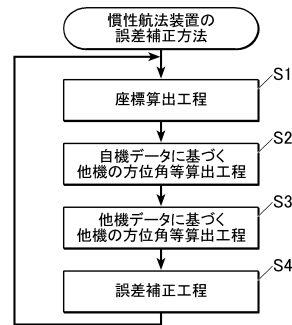
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

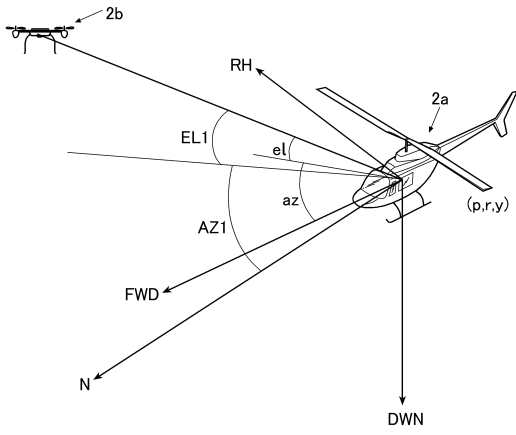
20

30

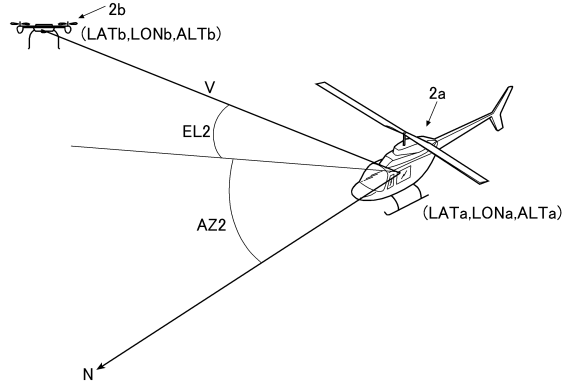
40

50

【 図 5 】

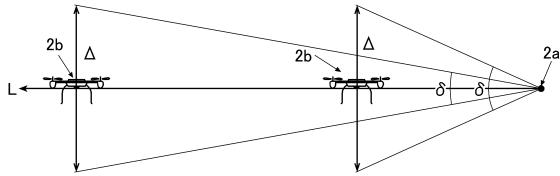


【 図 6 】



10

【 図 7 】



20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2020-063968(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G01C 21/16

B64C 13/18

G08G 5/00