

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6003146号
(P6003146)

(45) 発行日 平成28年10月5日 (2016. 10. 5)

(24) 登録日 平成28年9月16日 (2016. 9. 16)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 P 21/00 (2006. 01) GO 1 P 21/00
GO 1 P 15/18 (2013. 01) GO 1 P 15/18

請求項の数 10 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2012-73346 (P2012-73346)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成24年3月28日 (2012. 3. 28)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2013-205164 (P2013-205164A)		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(43) 公開日	平成25年10月7日 (2013. 10. 7)	(74) 代理人	100124682
審査請求日	平成27年3月18日 (2015. 3. 18)		弁理士 黒田 泰
		(74) 代理人	100104710
			弁理士 竹腰 昇
		(74) 代理人	100090479
			弁理士 井上 一
		(72) 発明者	杉谷 大輔
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
		審査官	岡田 卓弥

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 加速度バイアス推定方法及び計測装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

加速度センサーの第1の姿勢における出力値が所定値であるか否かを判定することと、
 前記所定値ではないと判定した場合に、前記加速度センサーの姿勢変更の指示をすることと、

前記加速度センサーの前記姿勢変更された第2の姿勢における出力値が前記所定値であるか否かを判定することと、

前記所定値であると判定されたときの複数の姿勢と、当該姿勢における前記加速度センサーの出力値との組合せを用いて、前記加速度センサーのバイアスを推定することと、
 を含む加速度バイアス推定方法。

10

【請求項 2】

前記所定値は重力加速度相当値である、
 請求項1に記載の加速度バイアス推定方法。

【請求項 3】

前記第1の姿勢及び前記第2の姿勢は、絶対座標系における前記加速度センサーの姿勢であり、

前記推定することは、前記絶対座標系における加速度として重力加速度以外の加速度がゼロであることを参照値として用いて、前記バイアスを推定することを含む、

請求項2に記載の加速度バイアス推定方法。

【請求項 4】

20

前記加速度センサーの出力値に基づいて設定した静止時の基準姿勢と、ジャイロセンサーの出力値とを用いて、前記加速度センサーの姿勢を算出することを更に含み、

前記推定することは、前記算出された姿勢と前記加速度センサーの出力値との組合せを用いて前記バイアスを推定することである、

請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の加速度バイアス推定方法。

【請求項 5】

前記推定することは、新たな前記組合せが得られる毎に逐次的に前記バイアスを推定する逐次近似演算処理を行うことを含む、

請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の加速度バイアス推定方法。

【請求項 6】

加速度センサーの姿勢を算出する姿勢算出部と、

前記姿勢算出部により算出された複数の姿勢と当該姿勢における前記加速度センサーの出力値との組合せを用いて、前記加速度センサーのバイアスを推定する推定部と、

を含む処理部を備え、

前記処理部は、前記加速度センサーの第 1 の姿勢における出力値が所定値であるか否かを判定し、前記所定値ではないと判定した場合に、前記加速度センサーを第 2 の姿勢に変更するための指示を行う計測装置。

【請求項 7】

前記所定値は重力加速度相当値である請求項 6 に記載の計測装置。

【請求項 8】

前記第 1 の姿勢及び前記第 2 の姿勢は、絶対座標系における前記加速度センサーの姿勢であり、

前記推定部は、前記絶対座標系における加速度として重力加速度以外の加速度がゼロであることを参照値として用いて、前記バイアスを推定する、

請求項 7 に記載の計測装置。

【請求項 9】

前記姿勢算出部は、前記加速度センサーの出力値に基づいて設定した静止時の基準姿勢と、ジャイロセンサーの出力値とを用いて、前記加速度センサーの姿勢を算出し、

前記推定部は、前記姿勢算出部により算出された姿勢と前記加速度センサーの出力値との組合せを用いて前記バイアスを推定する、

請求項 6 乃至 8 の何れか一項に記載の計測装置。

【請求項 10】

前記推定部は、新たな前記組合せが得られる毎に逐次的に前記バイアスを推定する逐次近似演算処理を行う、

請求項 6 乃至 9 の何れか一項に記載の計測装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、加速度センサーのバイアスを推定する方法等に関する。

【背景技術】

【0002】

いわゆるシームレス測位やモーションセンシング、姿勢制御など様々な分野において、センサーの活用が注目されている。センサーとしては、加速度センサーやジャイロセンサー、圧力センサー、地磁気センサーなどが広く知られている。センサーの計測結果を利用して慣性航法演算を行って移動体（例えば自転車や自動車、電車、船、飛行機など）の位置算出を行う技術も考案されている。

【0003】

例えば、慣性センサーの一種である加速度センサーを考えた場合、その出力値には、いわゆるゼロ点バイアスに代表されるバイアス（以下、「加速度バイアス」と称す。）が含まれる。この加速度バイアスの存在により、加速度センサーの出力値を用いて慣性航法演

10

20

30

40

50

算を行った場合、その演算結果に大きな誤差が生じる場合がある。例えば、特許文献 1 や 2 には、加速度バイアスを推定するための技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】国際公開第 2007/077859 号

【特許文献 2】特開 2010-271209 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

10

一般的に、加速度センサーのみを用いて加速度バイアスを推定しようとした場合、加速度センサーを特定の姿勢にし、重力加速度を参照して推定演算を行う必要がある。しかし、この方法では、加速度センサーの姿勢が特定の姿勢から少しでもずれていると、加速度バイアスが正しく推定されなくなるおそれがある。外部装置を用いて加速度センサーを特定の姿勢にする技術も考案されているが、この方法では外部装置が必須となる。

【0006】

また、加速度センサー以外のセンサー（例えば地磁気センサーや GPS (Global Positioning System) センサー。以下包括的に「参照用センサー」と称す。）の参照情報を用いて加速度バイアスを推定する手法も考案されている。しかし、これらの手法では、加速度バイアスの推定精度がもっぱら参照用センサーの検出精度に依存する。そのため、参照用センサーの検出精度が低い場合には、加速度バイアスの推定精度が低下する。また、そもそも参照用センサーによる検出が不可能な環境においては、加速度バイアスの推定そのものを行うことができないという問題もある。

20

【0007】

本発明は上述した課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、加速度バイアスを推定するための全く新しい手法を提案することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

以上の課題を解決するための第 1 の形態は、3 軸の加速度センサーの姿勢を変化させることと、前記姿勢と前記加速度センサーの出力値との複数の組合せを用いて、前記加速度センサーのバイアスを推定することと、を含む加速度バイアス推定方法である。

30

【0009】

この第 1 の形態によれば、3 軸の加速度センサーの姿勢を変化させ、その場合の姿勢と加速度センサーの出力値との複数の組合せを用いて、加速度センサーのバイアスを推定する。詳細については実施形態で述べるが、本願発明者は、加速度センサーの姿勢と出力値とバイアスとの関係を見出した。この関係に基づき、加速度センサーの姿勢と出力値との複数の組合せを用いることで、加速度センサーのバイアスを推定することが可能となる。

【0010】

また、この場合、他の形態として、3 軸の加速度センサーと、前記加速度センサーの姿勢を算出する姿勢算出部と、前記姿勢算出部により算出された複数の姿勢と当該姿勢における前記加速度センサーの出力値との組合せを用いて、前記加速度センサーのバイアスを推定する推定部と、を備えた計測装置を構成すると、第 1 の形態と同様の作用効果を発揮する計測装置を実現できる。

40

【0011】

第 2 の形態は、第 1 の形態の加速度バイアス推定方法において、前記推定することは、前記加速度センサーの出力値が重力加速度相当値であるときの前記姿勢と当該出力値との組合せを用いて前記バイアスを推定することである、加速度バイアス推定方法である。

【0012】

また、第 3 の形態として、第 2 の形態の加速度バイアス推定方法における前記姿勢は、絶対座標系における前記加速度センサーの姿勢であり、前記推定することは、前記絶対座

50

標系における加速度として重力加速度以外の加速度がゼロであることを参照値として用いて、前記バイアスを推定することを含む、加速度バイアス推定方法を構成することとしてもよい。

【 0 0 1 3 】

第2の形態によれば、加速度センサーの出力値が重力加速度相当値であるときの加速度センサーの姿勢と当該出力値との組合せを用いてバイアスを推定する。この場合において、第3の形態のように、絶対座標系における加速度として重力加速度以外の加速度がゼロであることを参照値として用いることで、加速度センサーのバイアスを正しく推定することが可能となる。

【 0 0 1 4 】

また、第4の形態として、第1乃至第3の何れかの形態の加速度バイアス推定方法において、前記加速度センサーの出力値に基づいて設定した静止時の基準姿勢と、前記加速度センサーと一体に設けたジャイロセンサーの出力値とを用いて、前記加速度センサーの姿勢を算出することを更に含み、前記推定することは、前記算出された姿勢と前記加速度センサーの出力値との組合せを用いて前記バイアスを推定することである、加速度バイアス推定方法を構成することとしてもよい。

【 0 0 1 5 】

この第4の形態によれば、加速度センサーの出力値に基づいて静止時の基準姿勢を設定する。この設定した基準姿勢を、加速度センサーと一体に設けたジャイロセンサーの出力値とともに用いることで、加速度センサーの姿勢を算出することができる。バイアスの推定に用いる姿勢は、このようにして算出した姿勢である。

【 0 0 1 6 】

また、第5の形態として、第1乃至第4の何れかの形態の加速度バイアス推定方法において、前記推定することは、新たな前記組合せが得られる毎に逐次的に前記バイアスを推定する逐次近似演算処理を行うことを含む、加速度バイアス推定方法を構成することとしてもよい。

【 0 0 1 7 】

この第5の形態によれば、加速度センサーの姿勢と出力値との新たな組合せが得られる毎に逐次的にバイアスを推定する逐次近似演算処理を行うことで、加速度センサーのバイアスの推定を効果的に行うことができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 8 】

【 図 1 】 (1) 慣性航法演算装置の外観構成図。(2) 慣性航法演算装置のブロック図。

【 図 2 】 加速度バイアス推定用データのデータ構成例を示す図。

【 図 3 】 加速度バイアス推定処理の流れを示すフローチャート。

【 図 4 】 実験結果の一例を示す図。

【 図 5 】 実験結果の一例を示す図。

【 図 6 】 第2の加速度バイアス推定処理の流れを示すフローチャート。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 9 】

以下、図面を参照して、本発明の好適な実施形態の一例について説明する。本実施形態は、慣性航法演算を行う慣性航法演算装置に本発明を適用した場合の実施形態である。但し、本発明を適用可能な形態が以下説明する実施形態に限定されるわけではないことは勿論である。

【 0 0 2 0 】

1. 構成

図1は、本実施形態における慣性航法演算装置1の構成を説明するための図であり、図1(1)は慣性航法演算装置1の外観構成図であり、図1(2)は慣性航法演算装置1の機能構成を示すブロック図である。

【 0 0 2 1 】

慣性航法演算装置 1 は、例えばユーザーの腰部に装着可能に構成された小型の電子機器であり、ユーザーがウォーキングやランニング等の運動を行う際に装着して、慣性航法演算を行うことが可能に構成されている。ユーザーの位置や速度等の情報を履歴的に記憶しておくことで、ユーザーは後から移動経路を確認したり、運動記録等の情報の編集を行うことが可能に構成されている。

【 0 0 2 2 】

慣性航法演算装置 1 は、センサー部 2 0 を備える。センサー部 2 0 は、3 軸の加速度センサー 2 1 と、3 軸のジャイロセンサー 2 3 とを有して構成される。加速度センサー 2 1 とジャイロセンサー 2 3 とは一体的に構成されており、共通の座標系における各軸方向の加速度及び各軸周りの角速度を検出して出力するように構成されている。加速度センサー 2 1 によって検出された加速度のことを「検出加速度」と称し、ジャイロセンサー 2 3 によって検出された角速度のことを「検出角速度」と称する。

10

【 0 0 2 3 】

本実施形態では、慣性航法演算装置 1 が慣性航法演算を行う座標系を絶対座標系と定義する。絶対座標系はナビゲーションフレーム（ n フレーム）とも呼ばれる。絶対座標系としては、例えば北東下座標系として知られる N E D（North East Down）座標系を適用することができる。

【 0 0 2 4 】

また、慣性航法演算装置 1 に固定され、実空間を移動、回転する座標系をローカル座標系と定義し、センサー部 2 0 は、ローカル座標系での検出値を出力するように構成されているものとして説明する。ローカル座標系はボディフレーム（ b フレーム）とも呼ばれる。つまり、本実施形態において、センサー部 2 0 の検出座標系はローカル座標系と一致する。

20

【 0 0 2 5 】

ローカル座標系は、図 1（1）に示すように、例えば、紙面向かって右方向を正とする左右方向を x 軸（ロール軸）、紙面向かって手前方向を正とする前後方向を y 軸（ピッチ軸）、紙面向かって下方向を正とする上下方向を z 軸（ヨー軸）とする 3 次元直交座標系である。このローカル座標系において、 x 軸の軸周りの回転角をロール角“ ”、 y 軸の軸周りの回転角をピッチ角“ ”、 z 軸の軸周りの回転角をヨー角“ ”と定義する。これらの各軸周りの回転角を用いて、絶対座標系におけるセンサー部 2 0 の姿勢（加速度センサー 2 1 の姿勢）を表現する。

30

【 0 0 2 6 】

図 1（2）に示すように、慣性航法演算装置 1 は、主要な機能構成として、処理部 1 0 と、センサー部 2 0 と、操作部 3 0 と、表示部 4 0 と、音出力部 5 0 と、通信部 6 0 と、時計部 7 0 と、記憶部 8 0 とを備えて構成される。

【 0 0 2 7 】

処理部 1 0 は、記憶部 8 0 に記憶されているシステムプログラム等の各種プログラムに従って慣性航法演算装置 1 の各部を統括的に制御する制御装置及び演算装置であり、C P U（Central Processing Unit）や D S P（Digital Signal Processor）等のプロセッサを有して構成される。

40

【 0 0 2 8 】

処理部 1 0 は、主要な機能部として、初期設定部 1 1 と、姿勢算出部 1 3 と、加速度バイアス推定部 1 5 と、慣性航法演算部 1 7 とを有する。但し、これらの機能部は一実施例として記載したものに過ぎず、必ずしもこれら全ての機能部を必須構成要素としなければならないわけではない。また、これら以外の機能部を必須構成要素としてもよいことは勿論である。

【 0 0 2 9 】

操作部 3 0 は、例えばタッチパネルやボタンスイッチ等により構成される入力装置であり、押下されたキーやボタンの信号を処理部 1 0 に出力する。この操作部 3 0 の操作により、運動の開始や運動の終了といった各種指示入力となされる。

50

【 0 0 3 0 】

表示部 4 0 は、L C D (Liquid Crystal Display) 等により構成され、処理部 1 0 から入力される表示信号に基づいた各種表示を行う。表示部 4 0 には、慣性航法演算の演算結果等の情報が表示される。

【 0 0 3 1 】

音出力部 5 0 は、スピーカー等を有して構成される音出力装置であり、処理部 1 0 から出力される音出力信号に基づいた各種音出力を行う。音出力部 5 0 からは、音声ガイダンスや、歩行或いは走行に係るペース音等が音出力される。

【 0 0 3 2 】

記憶部 8 0 は、R O M (Read Only Memory) やフラッシュ R O M、R A M (Random Access Memory) 等の記憶装置によって構成され、慣性航法演算装置 1 のシステムプログラムや、加速度バイアス推定演算、慣性航法演算等の各種機能を実現するための各種プログラム、データ等を記憶している。また、各種処理の処理中データ、処理結果などを一時的に記憶するワークエリアを有する。

10

【 0 0 3 3 】

2 . 原理

処理部 1 0 の機能ブロックである初期設定部 1 1、姿勢算出部 1 3 及び加速度バイアス推定部 1 5 が行う処理について詳細に説明する。

【 0 0 3 4 】

2 - 1 . 初期設定

20

2 - 1 - 1 . ジャイロバイアスの推定

ジャイロセンサー 2 3 の出力値に含まれるバイアス (以下、「ジャイロバイアス」と称す。)を取り除くため、初期設定部 1 1 は、静止時におけるジャイロセンサー 2 3 の出力値を用いてジャイロバイアスを推定する。具体的には、例えば、慣性航法演算装置 1 を静止させた状態で一定期間、ジャイロセンサー 2 3 の出力値を取得する。そして、その一定期間分の出力値を平均処理し、その平均値をジャイロバイアスと推定する。

【 0 0 3 5 】

2 - 1 - 2 . 基準姿勢の設定

センサー部 2 0 の静止時の基準姿勢を設定する。具体的には、慣性航法演算装置 1 を静止させた状態で一定期間、加速度センサー 2 1 の出力値を取得する。そして、その一定期間分の出力値を平均処理し、その平均値を用いて基準姿勢を設定する。

30

【 0 0 3 6 】

センサー部 2 0 の基準姿勢を表す基準姿勢角として、次式 (1) に従って、基準ロール角 “ ϕ_0 ” 及び基準ピッチ角 “ θ_0 ” を算出する。

【 数 1 】

$$\phi_0 = \tan^{-1} \left(\frac{-f_y}{-f_z} \right)$$

$$\theta_0 = \tan^{-1} \left(\frac{f_x}{\sqrt{(f_y)^2 + (f_z)^2}} \right) \cdots (1)$$

40

但し、“ $f = (f_x, f_y, f_z)$ ” は、加速度センサー 2 1 の出力値の平均値である。なお、加速度センサー 2 1 の出力値からヨー角 “ ” を算出することはできないが、基準ヨー角 “ ψ_0 ” としては所与の値 (例えばゼロ) を設定すればよい。

【 0 0 3 7 】

2 - 1 - 3 . 加速度ノルムの算出

静止時における検出加速度の大きさを算出する。この場合も、慣性航法演算装置 1 を静止させた状態で一定期間、加速度センサー 2 1 の出力値を取得する。そして、その一定期間分の出力値を平均処理し、その平均値を用いて、次式 (2) に従って加速度ノルム “ A ”

50

ccNorm」を算出する。

【数 2】

$$AccNorm = \sqrt{(f_x)^2 + (f_y)^2 + (f_z)^2} \cdots (2)$$

【0038】

2 - 2 . 姿勢算出

姿勢算出部 13 は、初期設定部 11 によって設定された静止時の基準姿勢と、ジャイロセンサー 23 の出力値とを用いて、センサー部 20 の姿勢を算出する。具体的には、ジャイロセンサー 23 の出力値である角速度を時間積分して、所定の時間間隔における姿勢角の変化分を算出する。そして、算出した姿勢角の変化分を基準姿勢角に加算することで、センサー部 20 の姿勢を算出する。

10

【0039】

2 - 3 . 加速度バイアス推定

加速度バイアス推定部 15 は、所定の加速度バイアス推定演算を行って、加速度バイアスを推定する。加速度バイアス推定演算では、加速度センサー 21 の姿勢及び加速度センサー 21 からの出力値と、バイアスとを結び付ける所与の関係に基づいて加速度バイアスを推定する。

【0040】

姿勢算出部 13 によって算出される姿勢には、加速度バイアスに起因する誤差（以下、「姿勢誤差」と称す。）が含まれている。前述したように、本実施形態では、加速度センサー 21 の出力値を用いて基準姿勢を設定している。しかし、加速度センサー 21 の出力値には加速度バイアスが含まれており、この加速度バイアスによる姿勢の誤差分が基準姿勢に含有されている。このため、基準姿勢に基づき算出される姿勢にも、加速度バイアスによる姿勢誤差が含まれることになる。

20

【0041】

正しい姿勢が明らかであれば、絶対座標系（nフレーム）とローカル座標系（bフレーム）とは、例えば方向余弦行列（DCM（Direction Cosine Matrix））を用いて互いの座標系を簡単に換算することができる。ところが、姿勢誤差の存在により、方向余弦行列を用いて絶対座標系からローカル座標系に座標変換した場合の座標系は、厳密にはローカル座標系とは一致しない。つまり、変換後の座標系は、姿勢誤差の分だけローカル座標系からずれた座標系となる。この姿勢誤差に起因する座標系のズレを加味したローカル座標系をローカル誤差座標系と定義する。

30

【0042】

加速度センサー 21 からは、加速度バイアスを含む検出値が出力されるため、加速度センサー 21 の出力値は、言ってみればローカル誤差座標系での出力値である。従って、加速度センサー 21 の出力値から加速度バイアスを減算することで、ローカル座標系での加速度（いわば真の加速度）が求まる。これを式で表すと、次式（3）のようになる。

【数 3】

$$f^c - Ba = f^b = C_c^b C_n^c f^n \cdots (3)$$

40

【0043】

式（3）において、「 $f^c = (f_x^c, f_y^c, f_z^c)$ 」はローカル誤差座標系での加速度である。「 $Ba = (Ba_x, Ba_y, Ba_z)$ 」は加速度バイアスである。「 $f^b = (f_x^b, f_y^b, f_z^b)$ 」はローカル座標系での加速度である。「 C_c^b 」はローカル誤差座標系からローカル座標系への変換行列（以下、「第 1 の変換行列」と称す。）であり、「 C_n^c 」は絶対座標系からローカル誤差座標系への変換行列（以下、「第 2 の変換行列」と称す。）である。また、「 $f^n = (f_x^n, f_y^n, f_z^n)$ 」は絶対座標系での加速度である。

【0044】

ローカル誤差座標系での加速度 f^c は加速度センサー 21 の出力値であり、既知である

50

。加速度バイアス Ba は未知である。加速度バイアス Ba が未知であるため、ローカル座標系での加速度 f^b も未知である。第 1 の変換行列 C^b_c は、姿勢誤差に基づく方向余弦行列として定義されるが、姿勢誤差が未知であるため、第 1 の変換行列 C^b_c も未知である。第 2 の変換行列 C^c_n は、姿勢算出部 13 によって算出された姿勢に基づく方向余弦行列として定義されるため、既知である。また、絶対座標系での加速度 f^n は未知である。

【0045】

ここで、第 1 の変換行列 C^b_c は、姿勢誤差が微小であると仮定することで、次式 (4) のように近似することができる。

【数 4】

$$C^b_c \approx \left(I_3 - \begin{pmatrix} 0 & -\Delta\psi & \Delta\theta \\ \Delta\psi & 0 & -\Delta\phi \\ -\Delta\theta & \Delta\phi & 0 \end{pmatrix} \right) \cdots (4)$$

10

【0046】

式 (4) において、「 I_3 」は 3×3 の単位行列である。また、「 $(\Delta\psi, \Delta\theta, \Delta\phi)$ 」は姿勢誤差であり、それぞれロール角誤差、ピッチ角誤差及びヨー角誤差である。

【0047】

また、式を簡単にするために、式 (3) の右辺の「 $C^c_n f^n$ 」を、次式 (5) のように置き換える。

20

【数 5】

$$C^c_n f^n = f^c_{DCM} \cdots (5)$$

但し、「 $f^c_{DCM} = (f^c_{DCM_x}, f^c_{DCM_y}, f^c_{DCM_z})$ 」である。これは、絶対座標系上の加速度を第 2 の変換行列を用いてローカル誤差座標系上の値に変換した加速度を表している。

【0048】

このとき、式 (3) は、式 (4) 及び式 (5) を用いて、次式 (6) のように書き換えることができる。

30

【数 6】

$$f^c - Ba \approx \left(I_3 - \begin{pmatrix} 0 & -\Delta\psi & \Delta\theta \\ \Delta\psi & 0 & -\Delta\phi \\ -\Delta\theta & \Delta\phi & 0 \end{pmatrix} \right) f^c_{DCM} \cdots (6)$$

【0049】

式 (6) を成分に分けて書き表すと、次式 (7) のようになる。

【数 7】

$$\begin{pmatrix} f^c_x - Ba_x \\ f^c_y - Ba_y \\ f^c_z - Ba_z \end{pmatrix} \approx \left(I_3 - \begin{pmatrix} 0 & -\Delta\psi & \Delta\theta \\ \Delta\psi & 0 & -\Delta\phi \\ -\Delta\theta & \Delta\phi & 0 \end{pmatrix} \right) \begin{pmatrix} f^c_{DCM_x} \\ f^c_{DCM_y} \\ f^c_{DCM_z} \end{pmatrix} \cdots (7)$$

40

【0050】

式 (7) の行列式は 3 元の連立方程式を表している。この連立方程式から未知数である姿勢誤差「 $(\Delta\psi, \Delta\theta, \Delta\phi)$ 」を消去すると、最終的に次式 (8) が導出される。

【数 8】

$$f_{DCM_x}^c(f_x^c - f_{DCM_x}^c) + f_{DCM_y}^c(f_y^c - f_{DCM_y}^c) + f_{DCM_z}^c(f_z^c - f_{DCM_z}^c) \\ = f_{DCM_x}^c Ba_x + f_{DCM_y}^c Ba_y + f_{DCM_z}^c Ba_z \cdots (8)$$

【0051】

式(8)における未知数は、加速度バイアス Ba の3成分と加速度 f_{DCM}^c の3成分との計6個である。ここで、式(8)を用いて加速度バイアス Ba を推定するために、絶対座標系における加速度として重力加速度以外の加速度がゼロであることを参照値として用いる。具体的には「 $f^n = (0, 0, g)$ 」とする参照値を設定する。

10

【0052】

第2の変換行列 C_n^c は、センサー部20の姿勢を用いて定義されるため、姿勢算出部13によって算出された姿勢「 (\quad, \quad, \quad) 」と参照値「 $f^n = (0, 0, g)$ 」とを用いれば、式(5)からローカル誤差座標系での加速度 f_{DCM}^c を推定することができる(以下、推定した加速度 f_{DCM}^c のことを「推定加速度」と称する。)。

【0053】

これにより、式(8)における未知数は、加速度バイアス Ba の3成分の3個となる。そのため、原理的には少なくとも3本の式を立てることができれば、式(8)を用いて加速度バイアス Ba を求めることができる。しかし、コンピュータプログラムとして実用化するには、未知数を求める演算は、収束演算を利用した近似解を求める演算となる。そのため、より短時間に正しい解(未知数)を求めるためにも、より多くの式が得られる方が良い。

20

【0054】

より多くの式を立式するために、本実施形態では、センサー部20の姿勢を変化させ、その場合のセンサー部20の姿勢と加速度センサー21の出力値との複数の組合せを取得する。具体的には、ユーザーによって慣性航法演算装置1の姿勢を変化させてもらい、それぞれの姿勢において姿勢算出部13によって算出された姿勢と加速度センサー21の出力値との複数の組合せを取得する。そして、これらの組合せを用いて式(8)をそれぞれ立式し、それらの連立方程式を解くことで、加速度バイアス Ba を推定する。

【0055】

30

但し、前述したように、本実施形態では、絶対座標系における加速度として重力加速度以外の加速度がゼロであることを参照値として用いることとしている。つまり、式(5)において $f^n = (0, 0, g)$ として推定加速度 f_{DCM}^c を推定ことにしている。このため、センサー部20に重力加速度以外の加速度が発生していない状態における加速度センサー21の姿勢と出力値との組合せを、加速度バイアスの推定演算に使用することが必要とされる。

【0056】

そこで、ユーザーに慣性航法演算装置1をゆっくりと回転させるように指示を与え、それぞれの姿勢において加速度センサー21の出力値が重力加速度相当値であるか否かを判定する。そして、加速度センサー21の出力値が重力加速度相当値であると判定した場合にのみ、その状態における加速度センサー21の姿勢と出力値との組合せを加速度バイアスの推定演算に採用する。

40

【0057】

3. データ構成

図1に示すように、記憶部80には、処理部10により読み出され、加速度バイアス推定処理(図3参照)として実行される加速度バイアス推定プログラム81と、慣性航法演算処理として実行される慣性航法演算プログラム82とが記憶されている。加速度バイアス推定処理については、フローチャートを用いて詳細に後述する。

【0058】

慣性航法演算処理では、慣性航法演算部17は、センサー部20の出力値を用いて、従

50

来公知の慣性航法演算を行って、慣性航法演算装置 1 の位置、速度及び移動方向を算出する。この慣性航法演算では、慣性航法演算部 17 は、初期設定部 11 によって推定されたジャイロバイアスをジャイロセンサー 23 の出力値から減算して演算に使用するとともに、加速度バイアス推定部 15 によって推定された加速度バイアスを加速度センサー 21 の出力値から減算して演算に使用する。

【0059】

また、記憶部 80 には、センサーデータ 83 と、初期設定データ 84 と、加速度バイアス推定用データ 85 と、加速度バイアスデータ 86 と、慣性航法演算データ 87 とが記憶される。

【0060】

センサーデータ 83 は、センサー部 20 の検出結果が記憶されたデータである。例えば、所定時間間隔毎にセンサー部 20 から出力される加速度及び角速度のデータが時系列に記憶される。

【0061】

初期設定データ 84 は、初期設定部 11 が初期設定で求めた各種の諸量が記憶されたデータである。基準姿勢やジャイロバイアス、加速度ノルムといったデータがこれに含まれる。

【0062】

加速度バイアス推定用データ 85 は、加速度バイアス推定部 15 が加速度バイアスの推定演算を行うために用いるデータであり、そのデータ構成の一例を図 2 に示す。各々の加速度バイアス推定用データ 85 には、データの番号であるデータ No 851 が対応付けられている。そして、センサー部 20 の検出軸 853 と、姿勢算出部 13 によって算出された姿勢を表す算出姿勢角 855 と、加速度センサー 21 の出力値である検出加速度 857 と、参照値を用いて推定した推定加速度 859 とが対応付けて記憶される。

【0063】

加速度バイアスデータ 86 は、加速度バイアス推定部 15 によって推定された加速度バイアスの値が記憶されたデータである。

慣性航法演算データ 87 は、慣性航法演算部 17 によって演算された位置や速度、移動方向等が記憶されたデータである。

【0064】

4. 処理の流れ

図 3 は、記憶部 80 に記憶されている加速度バイアス推定プログラム 81 に従って処理部 10 が実行する加速度バイアス推定処理の流れを示すフローチャートである。この加速度バイアス推定処理では、センサー部 20 から所定時間間隔毎に出力値が出力されて、記憶部 80 のセンサーデータ 83 に随時記憶されるものとして説明する。

【0065】

最初に、初期設定部 11 が、初期設定を行う（ステップ A1）。具体的には、上記の原理に従って、基準姿勢と、ジャイロバイアスと、加速度ノルムとをそれぞれ算出し、初期設定データ 84 として記憶部 80 に記憶させる。

【0066】

次いで、処理部 10 は、検出加速度が重力加速度相当であるか否かを判定する（ステップ A3）。具体的には、加速度センサー 21 の最新の出力値を用いて加速度ノルムを算出し、初期設定データ 84 に記憶されている加速度ノルムとの差の絶対値を求める。そして、その絶対値が所定の閾値未満（或いは閾値以下）である場合に、検出加速度が重力加速度相当であると判定する。

【0067】

検出加速度が重力加速度相当であると判定した場合は（ステップ A3；Yes）、姿勢算出部 13 が、初期設定データ 84 に記憶されている基準姿勢と、ジャイロセンサー 23 の出力値とを用いて、センサー部 20 の姿勢（姿勢角）を算出する（ステップ A5）。

【0068】

次いで、処理部 10 は、ローカル誤差座標系での加速度を推定する（ステップ A 7）。具体的には、ステップ A 5 で求めた算出姿勢角を用いて第 2 の変換行列を定義する。そして、第 2 の変換行列を参照値に作用させることで、ローカル誤差座標系での加速度を推定する。

【0069】

次いで、処理部 10 は、ステップ A 5 で求めた算出姿勢角 855 と、加速度センサー 21 の最新の検出加速度 857 と、ステップ A 7 で求めた推定加速度 859 とを対応付けた加速度バイアス推定用データ 85 を用いて、逐次近似演算処理を行う（ステップ A 9）。

【0070】

逐次近似演算処理では、例えば逐次最小二乗法を利用して、式（8）に従って加速度バイアスの推定値を求める。この逐次最小二乗法では、加速度センサーの最新の姿勢及び出力値の組合せを用いて 1 時刻前の加速度バイアスの推定値を修正することで、加速度バイアスの近似解を求める。なお、逐次最小二乗法それ自体は従来公知であるため、数式を用いた説明は割愛する。

【0071】

次いで、処理部 10 は、収束条件が成立したか否かを判定する（ステップ A 11）。具体的には、例えば、1 時刻前に求めた加速度バイアスの推定値と、今回求めた加速度バイアスの推定値との差を算出し、その差が所定の閾値未満（或いは閾値以下）であることが所定回数連続した場合に、収束条件が成立したと判定する。

【0072】

収束条件が成立しなかったと判定した場合は（ステップ A 11；No）、処理部 10 は、ユーザーに対する姿勢変更指示を行う（ステップ A 13）。例えば、ユーザーに装置をゆっくりと回転させるように促すメッセージを表示部 40 に表示させたり、音声ガイダンスを音出力部 50 から音出力させるなどすればよい。そして、処理部 10 は、ステップ A 3 に戻る。

【0073】

ステップ A 11 において収束条件が成立したと判定した場合は（ステップ A 11；Yes）、処理部 10 は、加速度バイアスの推定値を、加速度バイアスデータ 86 として記憶部 80 に記憶させる（ステップ A 15）。そして、処理部 10 は、加速度バイアス推定処理を終了する。

【0074】

5．実験結果

図 4 及び図 5 を参照して、本実施形態の加速度バイアス推定方法の有効性を説明する。

図 4 は、逐次最小二乗法を用いて加速度バイアスを推定した場合の加速度バイアスの収束の様子を示す図である。図 4 において、横軸は、加速度バイアスの推定に用いた観測値（加速度センサーの姿勢及び出力値の組合せ）の数を示し、縦軸は加速度バイアスを示す。x 軸の加速度バイアスを実線で、y 軸の加速度バイアスを点線で、z 軸の加速度バイアスを一点鎖線でそれぞれ示している。

【0075】

この結果を見ると、観測値の数がおよそ 100 個となった時点で、全ての検出軸の加速度バイアスが収束していることがわかる。100 個というように感じるかもしれないが、検出加速度が重力加速度相当であると判定されている間の観測値は随時採用されるため、加速度センサー 21 の姿勢変化に要する時間は短時間で済む。

【0076】

図 5 は、上記の実験で得られた加速度バイアスの推定値を示す図である。x 軸、y 軸及び z 軸のそれぞれについて、加速度バイアスの真値と推定値とを対比したテーブルを示している。この結果を見ると、各検出軸について加速度バイアスの推定値は真値に近い値となっていることがわかる。

【0077】

6．作用効果

加速度センサー 21 の姿勢を様々に変化させた場合の当該姿勢と加速度センサー 21 の出力値との複数の組合せを用いて、加速度バイアスを推定する。本実施形態では、絶対座標系における加速度として重力加速度以外の加速度がゼロであることを参照値として用いて加速度バイアスを推定する。そのため、加速度センサー 21 の検出加速度が重力加速度相当であるか否かを判定し、この条件を満たす場合の姿勢及び出力値の組合せを加速度バイアスの推定演算に用いることで、加速度バイアスを正しく推定することが可能となる。

【0078】

本実施形態では、加速度センサー 21 の出力値に基づいて、加速度センサー 21 の静止時の基準姿勢を設定する。そして、設定した基準姿勢と、加速度センサー 21 と一体に設けたジャイロセンサー 23 の出力値とを用いて、加速度センサー 21 の姿勢を算出する。加速度センサー 21 の出力値には加速度バイアスが含まれるため、加速度センサー 21 の出力値に基づいて設定した基準姿勢は、加速度バイアスによる姿勢誤差を含んでいる。本実施形態では、この姿勢誤差による座標系のズレを考慮し、ローカル誤差座標系での加速度（バイアスを内在する加速度センサーの出力値）と、ローカル座標系での加速度（いわば真の加速度）との関係に基づいて導出した演算方法を用いて、加速度バイアスの推定演算を行う。

【0079】

上記の推定演算では、加速度センサー 21 の姿勢と出力値との新たな組合せが得られる毎に逐次的に加速度バイアスを推定する逐次近似演算処理を用いて加速度バイアスを推定する。この逐次近似演算処理は、1 時刻前の加速度バイアスの推定値を新たに取得した観測値を用いて修正することで加速度バイアスを推定していく処理となるため、過去に取得した観測値をメモリに保存しておく必要はなく、メモリ容量を節約できる。

【0080】

本実施形態の加速度バイアス推定方法では、加速度センサーを回転させる動作の制限が少なく、加速度センサーを決められた姿勢にする必要がないため、ユーザーへの負担が少ないという利点がある。また、従来の手法のように、加速度センサーを決められた姿勢にするための外部装置を必要とせず、慣性センサーのみで加速度バイアスを推定することができる。さらに、地磁気センサーや GPS センサー等の参照用センサーの参照情報を必要としないため、参照用センサーの検出精度や周囲の環境の如何に関わらず、加速度バイアスを推定することができる。

【0081】

7. 変形例

本発明を適用可能な実施例は、上記の実施例に限定されることなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更可能であることは勿論である。以下、変形例について説明する。

【0082】

7-1. 加速度バイアス推定演算

上記の実施形態では、逐次近似演算処理を行って加速度バイアスを推定したが、一括的に加速度バイアスを推定する一括近似演算処理を行って加速度バイアスを推定することとしてもよい。

【0083】

図 6 は、この場合に処理部 10 が、図 3 の加速度バイアス推定処理に代えて実行する第 2 の加速度バイアス推定処理の流れを示すフローチャートである。なお、加速度バイアス推定処理と同一のステップについては同一の符号を付して再度の説明を省略し、加速度バイアス推定処理とは異なる部分を中心に説明する。

【0084】

ステップ A 7 の後、処理部 10 は、ステップ A 5 で求めた算出姿勢角 855 と、加速度センサー 21 の最新の検出加速度 857 と、ステップ A 7 で求めた推定加速度 859 とを対応付けた加速度バイアス推定用データ 85 を、記憶部 80 に蓄積記憶させる（ステップ B 9）。

【0085】

次いで、処理部 10 は、記憶部 80 に所定数（例えば 100 個）の加速度バイアス推定用データ 85 が蓄積されているか否かを判定する（ステップ B 11）。そして、まだ所定数に達していないと判定した場合は（ステップ B 11；No）、ステップ A 13 へと移行する。

【0086】

また、データ数が所定数に達していると判定した場合は（ステップ B 11；Yes）、処理部 10 は、一括近似演算処理を行う（ステップ B 13）。具体的には、記憶部 80 に蓄積された所定数の加速度バイアス推定用データ 85 を用いて、例えば一括処理による最小二乗法を利用して加速度バイアスを推定する。そして、処理部 10 は、加速度バイアスの推定値を記憶部 80 に記憶させた後（ステップ A 15）、第 2 の加速度バイアス推定処理を終了する。

10

【0087】

7 - 2 . 適用例

上記の実施形態では、腰に装着する慣性航法演算装置に本発明を適用した場合の実施形態について説明したが、本発明を適用可能な電子機器はこれに限られるわけではない。例えば、携帯型ナビゲーション装置（ポータブルナビ）や携帯型電話機、パソコン、PDA といった他の電子機器にも本発明を適用可能である。

【0088】

また、加速度センサーの加速度バイアスを推定するのが本願の主要な特徴の 1 つであるため、加速度センサーを利用する形態であれば、測位以外の形態にも本発明を適用可能である。例えば、センサー部 20 及び処理部 10 を有する歩数計に本発明を適用してもよい。その場合、処理部 10 は、慣性航法演算部 17 の代わりに歩数検出部を具備し、この歩数検出部が、加速度センサー 21 のバイアスを補正して利用する形態となる。

20

【0089】

7 - 3 . 処理の主体

上記の実施形態では、センサー部の出力値を用いて、電子機器の処理部（プロセッサ）が加速度バイアスの推定を行うこととして説明した。しかし、加速度センサー及びジャイロセンサーとプロセッサとが一体化されたセンサーユニット（例えば INS（Inertial Navigation System））を電子機器に設けることとし、センサーユニットの処理部が加速度バイアスの推定を行うこととしてもよい。この場合は、推定した加速度バイアスを用いて加速度センサーの検出値を補正し、センサーユニットからは、バイアスによる誤差が補償された検出値が出力されるように構成することができる。

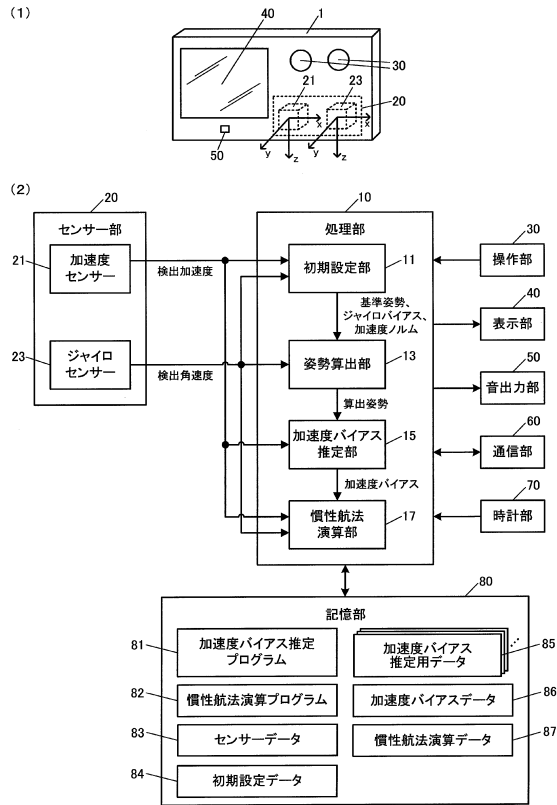
30

【符号の説明】

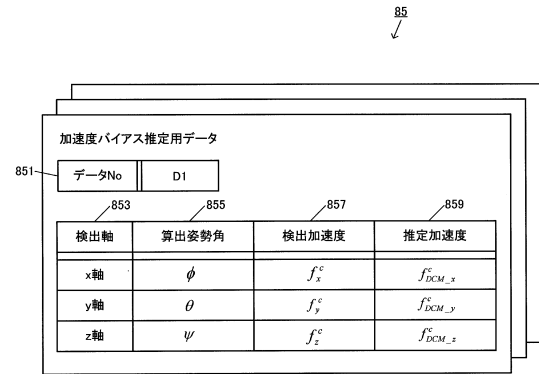
【0090】

1 慣性航法演算装置、 10 処理部、 20 センサー部、 21 加速度センサー、 23 ジャイロセンサー、 30 操作部、 40 表示部、 50 音出力部、 60 通信部、 70 時計部、 80 記憶部

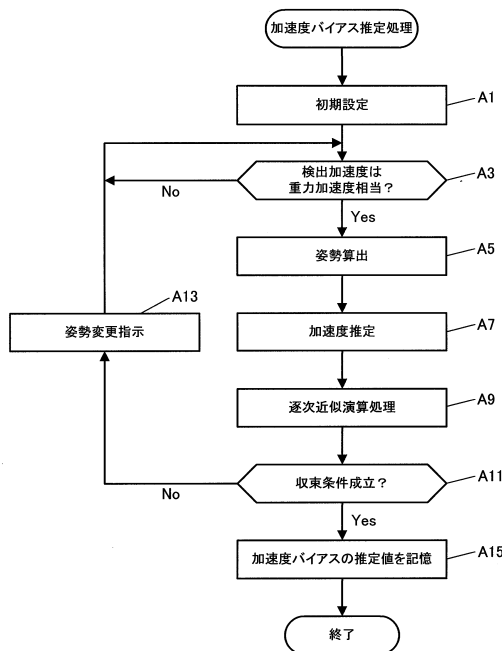
【図 1】



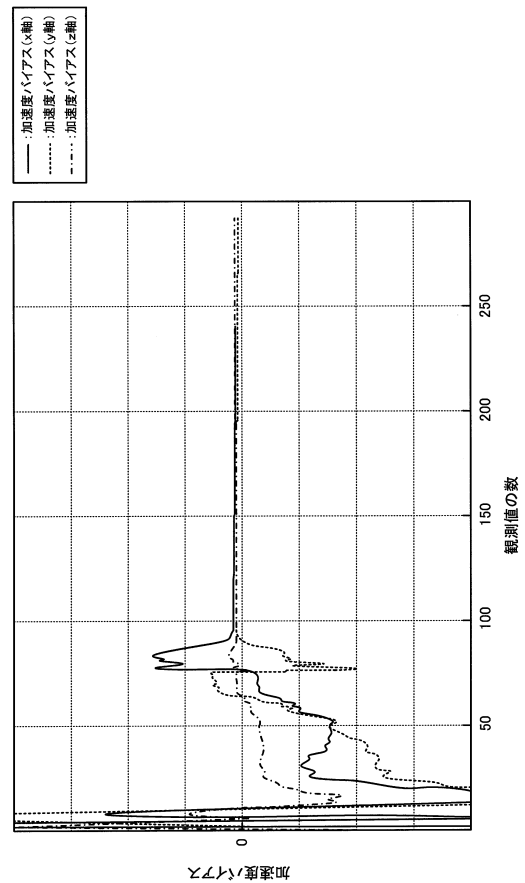
【図 2】



【図 3】



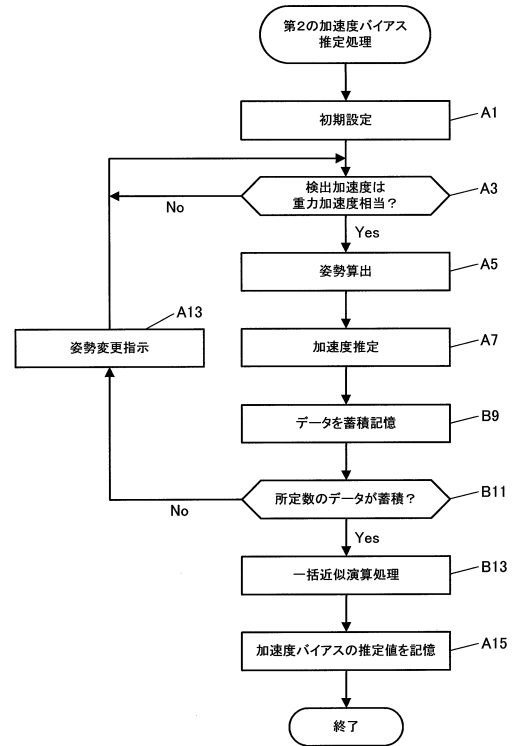
【図 4】



【図 5】

	x軸	y軸	z軸
真値(G)	0.1181	0.1060	0.1025
推定値(G)	0.1417	0.1142	0.1218

【図 6】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2012-73346(JP,A)
特開2010-271209(JP,A)
国際公開第2007/077859(WO,A1)
特開平10-267651(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
G01P15/00-21/02