

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6546730号
(P6546730)

(45) 発行日 令和1年7月17日(2019.7.17)

(24) 登録日 令和1年6月28日(2019.6.28)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 S 19/23 (2010.01) GO 1 S 19/23
GO 1 S 19/22 (2010.01) GO 1 S 19/22

請求項の数 3 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2014-207790 (P2014-207790) (22) 出願日 平成26年10月9日 (2014.10.9) (65) 公開番号 特開2016-75646 (P2016-75646A) (43) 公開日 平成28年5月12日 (2016.5.12) 審査請求日 平成29年10月3日 (2017.10.3)</p>	<p>(73) 特許権者 000004330 日本無線株式会社 東京都三鷹市牟礼六丁目2番11号 (74) 代理人 100119677 弁理士 岡田 賢治 (74) 代理人 100115794 弁理士 今下 勝博 (72) 発明者 小田 真嗣 東京都三鷹市下連雀五丁目1番1号 日本無線株式会社内 審査官 大▲瀬▼ 裕久</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 衛星信号受信装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

測位演算を行なう衛星信号受信装置であって、
 自装置と測位衛星の間の擬似距離を観測する擬似距離観測部と、
 前記擬似距離観測部が観測した擬似距離に基づいて、測位時刻より過去の時刻において、当該測位時刻における自装置の予測位置を予測した後に、当該測位時刻において、当該測位時刻における自装置の測位位置を更新する位置計算部と、
 前記位置計算部が当該測位時刻より過去の時刻において予測した、当該測位時刻における自装置の予測位置と、前記位置計算部が当該測位時刻において更新した、当該測位時刻における自装置の測位位置と、の差分ベクトルを計算する差分ベクトル計算部と、
当該測位時刻における自装置の速度ベクトルを計算する速度計算部と、
前記差分ベクトル計算部が計算した差分ベクトルが長いほど、さらに当該測位時刻における自装置の速度ベクトル誤差量が大きいほど、当該測位時刻において、当該測位時刻における誤差楕円を大きく計算する誤差楕円計算部と、
 を備えることを特徴とする衛星信号受信装置。

【請求項2】

自装置と測位衛星の間のドップラー周波数を観測するドップラー周波数観測部と、
前記差分ベクトル計算部が計算した差分ベクトルと、前記速度計算部が計算した速度ベクトルと、のなすベクトル間角度を計算し、計算したベクトル間角度に基づいて、速度ベクトル誤差量を計算する速度ベクトル誤差量計算部と、

10

20

をさらに備え、

前記速度計算部は、前記ドップラー周波数観測部が観測したドップラー周波数に基づいて、当該測位時刻において、当該測位時刻における自装置の速度ベクトルを計算し、

前記誤差楕円計算部は、前記速度ベクトル誤差量計算部が計算したベクトル間角度が90°又は270°に近いほど、当該測位時刻において、当該測位時刻における前記速度ベクトル誤差量を大きく計算することを特徴とする、請求項1に記載の衛星信号受信装置。

【請求項3】

前記誤差楕円計算部は、ENU(Local East、North、Up)座標系の高さ(Up軸)方向における自装置の測位位置を固定する2次元測位演算が行なわれるときに、ENU座標系の水平面(East-North平面)での誤差楕円の長半径及び短半径を、前記差分ベクトル計算部が計算した差分ベクトルに基づいて推定したENU座標系の高さ方向における誤差楕円の誤差分散で補正することを特徴とする、請求項1又は請求項2に記載の衛星信号受信装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マルチパスが測位位置に及ぼす影響を測位位置の誤差楕円に対して反映させる技術に関する。

【背景技術】

【0002】

GPS(米国)、Galileo(欧州)、GLONASS(ロシア)及びBeiDou(中国)等の衛星航法システムによる衛星信号を用いて測位演算を行なう、衛星信号受信装置(GNSS(Global Navigation Satellite System)受信装置)が、従来から広くユーザに利用されている。

【0003】

衛星信号受信装置が計算する測位位置は、衛星位置誤差、衛星時計誤差及びマルチパス等の影響による測位誤差を含んでいる。衛星信号受信装置のユーザは、測位位置の確度情報を必要とするため、衛星信号受信装置の測位演算部は、測位位置の精度指標を示す誤差楕円を計算する。

【0004】

測位位置及び誤差楕円の表示方法を図1に示す。ENU(Local East、North、Up)座標系は、測位位置を座標の原点とする座標系である。誤差楕円は、測位位置に中心を有し、真位置が楕円の内部に存在する確率が所定の確率(例えば、95%)であるような軸及び径を有する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平05-333131号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1では、誤差楕円の計算方法が開示されている。この文献では、複数の測位衛星の空間的なばらつき指標を示すDOP(Dilution Of Precision)に基づいて、誤差楕円を計算している。つまり、測位演算に利用可能な測位衛星数が少ないときや、測位演算に利用可能な測位衛星の配置が偏っているときに、誤差楕円の径が大きく計算される。しかし、図2を用いて以下に説明するように、マルチパスが測位位置に及ぼす影響を測位位置の誤差楕円に対して反映させることができなかつた。

【0007】

マルチパスが測位位置に及ぼす影響を図2に示す。衛星信号受信装置Rxは、高架構造E1の下部に位置する。測位衛星S1、S3、S4は、衛星信号受信装置Rxから見て天

10

20

30

40

50

頂以外の方向に位置する。測位衛星 S 2 は、衛星信号受信装置 R x から見て天頂方向に位置する。反射物体 R f は、衛星信号を反射する物体である。

【 0 0 0 8 】

すると、測位衛星 S 1、S 3、S 4 からの衛星信号は、高架構造 E 1 に遮られず、衛星信号受信装置 R x により受信される。よって、衛星信号受信装置 R x と測位衛星 S 1、S 3、S 4 の間の擬似距離は、誤差をあまり含んでいない。

【 0 0 0 9 】

しかし、測位衛星 S 2 からの衛星信号は、高架構造 E 1 に遮られて、反射物体 R f で反射されるマルチパスを経てから、衛星信号受信装置 R x により受信される。よって、衛星信号受信装置 R x と測位衛星 S 2 の間の擬似距離は、誤差を大きく含んでおり、擬似距離に誤差が重畳すれば、擬似距離を使用して計算された測位位置の精度も劣化する。

10

【 0 0 1 0 】

このように、マルチパスの影響があるときには、マルチパスの影響がないときと比べて、測位位置の精度が劣化するため、誤差楕円の径を大きく計算する必要がある。しかし、マルチパスの影響があるときでも、マルチパスの影響がないときと比べて、複数の測位衛星の空間的なばらつき指標を示す D O P が大きくなるわけではない。よって、特許文献 1 では、マルチパスの影響があるときでも、マルチパスの影響がないときと比べて、D O P に基づいた誤差楕円の径は大きく計算されない。つまり、この文献での誤差楕円は、本来あるべき誤差楕円から乖離していた。

【 0 0 1 1 】

そこで、前記課題を解決するために、本発明は、マルチパスが測位位置に及ぼす影響を測位位置の誤差楕円に対してよりよく反映させることを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

上記目的を達成するために、測位時刻より過去の時刻において予測した、当該測位時刻における衛星信号受信装置の予測位置と、当該測位時刻において更新した、当該測位時刻における衛星信号受信装置の測位位置と、の差分ベクトルが長いほど、当該測位時刻において、当該測位時刻における誤差楕円を大きく計算することとした。

【 0 0 1 3 】

具体的には、本発明は、測位演算を行なう衛星信号受信装置であって、自装置と測位衛星の間の擬似距離を観測する擬似距離観測部と、前記擬似距離観測部が観測した擬似距離に基づいて、測位時刻より過去の時刻において、当該測位時刻における自装置の予測位置を予測した後に、当該測位時刻において、当該測位時刻における自装置の測位位置を更新する位置計算部と、前記位置計算部が当該測位時刻より過去の時刻において予測した、当該測位時刻における自装置の予測位置と、前記位置計算部が当該測位時刻において更新した、当該測位時刻における自装置の測位位置と、の差分ベクトルを計算する差分ベクトル計算部と、前記差分ベクトル計算部が計算した差分ベクトルが長いほど、当該測位時刻において、当該測位時刻における誤差楕円を大きく計算する誤差楕円計算部と、を備えることを特徴とする衛星信号受信装置である。

30

【 0 0 1 4 】

この構成によれば、マルチパスが測位位置に及ぼす影響が大きいほど、差分ベクトルが長くなり、差分ベクトルが長いほど、差分ベクトルを用いて算出したプロセス雑音が大きくなり、プロセス雑音を用いて算出した誤差楕円が大きくなるため、マルチパスが測位位置に及ぼす影響を測位位置の誤差楕円に対してよりよく反映させることができる。

40

【 0 0 1 5 】

また、本発明は、自装置と測位衛星の間のドップラー周波数を観測するドップラー周波数観測部と、前記ドップラー周波数観測部が観測したドップラー周波数に基づいて、当該測位時刻において、当該測位時刻における自装置の速度ベクトルを計算する速度計算部と、前記差分ベクトル計算部が計算した差分ベクトルと、前記速度計算部が計算した速度ベクトルと、のなすベクトル間角度を計算し、計算したベクトル間角度に基づいて、速度ベ

50

クトル誤差量を計算する速度ベクトル誤差量計算部と、をさらに備え、前記誤差楕円計算部は、前記速度ベクトル誤差量計算部が計算したベクトル間角度が 90° 又は 270° に近いほど、当該測位時刻において、当該測位時刻における誤差楕円を大きく計算することを特徴とする衛星信号受信装置である。

【0016】

この構成によれば、マルチパスが測位位置に及ぼす影響が大きいほど、差分ベクトルと速度ベクトルのなすベクトル間角度が 90° 又は 270° に近くなり、ベクトル間角度が 90° 又は 270° に近いほど、ベクトル間角度を用いて算出した速度ベクトル誤差量が大きくなり、速度ベクトル誤差量を用いて算出したプロセス雑音が大きくなり、プロセス雑音を用いて算出した誤差楕円が大きくなるため、マルチパスが測位位置に及ぼす影響を測位位置の誤差楕円に対してよりよく反映させることができる。

10

【0017】

また、本発明の前記誤差楕円計算部は、ENU(Local East、North、Up)座標系の高さ(Up軸)方向における自装置の測位位置を固定する2次元測位演算が行なわれるときに、ENU座標系の水平面(East-North平面)での誤差楕円の長半径及び短半径を、ENU座標系の高さ方向における誤差楕円の誤差分散で補正することを特徴とする衛星信号受信装置である。

【0018】

この構成によれば、測位演算に利用可能な測位衛星数が少なく、高さ方向の測位位置を固定する2次元測位演算を行なうときに、誤差楕円を大きくすることができる。逆に、測位演算に利用可能な測位衛星数が多く、高さ方向の測位位置を固定しない3次元測位演算を行なうときは、誤差楕円を大きくし過ぎないようにすることができる。

20

【発明の効果】

【0019】

このように、本発明は、マルチパスが測位位置に及ぼす影響を測位位置の誤差楕円に対してよりよく反映させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】測位位置及び誤差楕円の表示方法を示す図である。

【図2】マルチパスが測位位置に及ぼす影響を示す図である。

30

【図3】本発明の衛星信号受信装置の構成を示す図である。

【図4】本発明の差分ベクトル及びベクトル間角度を示す図である。

【図5】本発明の差分ベクトル及びベクトル間角度を示す図である。

【図6】本発明の差分ベクトルの計算方法を示す図である。

【図7】本発明の速度ベクトル誤差量の計算方法を示す図である。

【図8】本発明の誤差楕円の計算方法を示す図である。

【図9】本発明の誤差楕円の計算方法の全体構成を示す図である。

【図10】本発明及び比較例の誤差楕円の時系列グラフである。

【発明を実施するための形態】

【0021】

40

添付の図面を参照して本発明の実施形態を説明する。以下に説明する実施形態は本発明の実施の例であり、本発明は以下の実施形態に制限されるものではない。なお、本明細書及び図面において符号が同じ構成要素は、相互に同一のものを示すものとする。

【0022】

本発明の衛星信号受信装置の構成を図3に示す。衛星信号受信装置Rxは、信号受信部1、追尾処理部2、復調処理部3及び測位演算部4から構成される。

【0023】

信号受信部1は、アンテナを介してGNSS信号を受信する。

【0024】

追尾処理部2は、擬似距離観測部21、ドップラー周波数観測部22及び航法データ抽

50

出部 2 3 から構成される。

【 0 0 2 5 】

擬似距離観測部 2 1 は、衛星信号受信装置 R x と測位衛星の間の擬似距離を観測する。ドップラー周波数観測部 2 2 は、衛星信号受信装置 R x と測位衛星の間のドップラー周波数を観測する。航法データ抽出部 2 3 は、GNSS 信号から航法データのビット情報を抽出する。

【 0 0 2 6 】

復調処理部 3 は、航法データのビット情報を復調（又は復号）し、測位演算に必要なエフェメリス及び衛星時計情報を抽出して出力する。

【 0 0 2 7 】

追尾処理部 2 及び復調処理部 3 は、最大可視衛星数に応じて各々必要な個数が定まり、1 衛星に対して各々 1 個を用意する必要がある。

【 0 0 2 8 】

測位演算部 4 は、位置計算部 4 1、速度計算部 4 2、差分ベクトル計算部 4 3、速度ベクトル誤差量計算部 4 4 及び誤差楕円計算部 4 5 から構成される。

【 0 0 2 9 】

位置計算部 4 1 は、擬似距離観測部 2 1 が観測した擬似距離、復調処理部 3 が出力したエフェメリス及び衛星時計情報、並びに、衛星信号受信装置 R x が有する受信装置時計情報に基づいて、測位時刻より過去の時刻において、当該測位時刻における衛星信号受信装置 R x の予測位置を予測した後に、当該測位時刻において、当該測位時刻における衛星信号受信装置 R x の測位位置を更新する。

【 0 0 3 0 】

速度計算部 4 2 は、ドップラー周波数観測部 2 2 が観測したドップラー周波数、復調処理部 3 が出力したエフェメリス及び衛星時計情報、並びに、衛星信号受信装置 R x が有する受信装置時計情報に基づいて、当該測位時刻において、当該測位時刻における衛星信号受信装置 R x の速度ベクトルを計算する。

【 0 0 3 1 】

差分ベクトル計算部 4 3 は、位置計算部 4 1 が当該測位時刻より過去の時刻において予測した、当該測位時刻における衛星信号受信装置 R x の予測位置と、位置計算部 4 1 が当該測位時刻において更新した、当該測位時刻における衛星信号受信装置 R x の測位位置と、の差分ベクトルを計算する。

【 0 0 3 2 】

速度ベクトル誤差量計算部 4 4 は、差分ベクトル計算部 4 3 が計算した差分ベクトルと、速度計算部 4 2 が計算した速度ベクトルと、のなすベクトル間角度を計算し、計算したベクトル間角度に基づいて、速度ベクトル誤差量を計算する。

【 0 0 3 3 】

誤差楕円計算部 4 5 は、差分ベクトル計算部 4 3 が計算した差分ベクトルと、速度ベクトル誤差量計算部 4 4 が計算した速度ベクトル誤差量と、を用いてプロセス雑音を計算し、計算したプロセス雑音と、位置計算部 4 1 で使用した情報と、を用いて誤差楕円の径の長さ及び誤差楕円の軸の方向を計算する。

【 0 0 3 4 】

誤差楕円計算部 4 5 は、差分ベクトル計算部 4 3 が計算した差分ベクトルが長いほど、かつ、速度ベクトル誤差量計算部 4 4 が計算したベクトル間角度が 90° 又は 270° に近いほど、当該測位時刻において、当該測位時刻における誤差楕円を大きく計算する。

【 0 0 3 5 】

測位演算部 4 は、位置計算部 4 1 が計算した測位位置と、誤差楕円計算部 4 5 が計算した誤差楕円の径の長さ（長半径、短半径）及び誤差楕円の軸の方向と、を外部出力する。外部出力された情報は、衛星信号受信装置 R x を使用するユーザが、ナビゲーション等に利用する。

【 0 0 3 6 】

10

20

30

40

50

本発明の差分ベクトル及びベクトル間角度を図4、5に示す。 $p^{\wedge}_{k|k-1}$ は、位置計算部41が時刻 $k-1$ において予測した、時刻 k における衛星信号受信装置Rxの予測位置である。 $p^{\wedge}_{k|k}$ は、位置計算部41が時刻 k において更新した、時刻 k における衛星信号受信装置Rxの測位位置である。 $v^{\wedge}_{k|k}$ は、速度計算部42が時刻 k において計算した、時刻 k における衛星信号受信装置Rxの速度ベクトルである。 t は、時刻 $k-1$ と時刻 k の間の時間であり、 $p^{\wedge}_{k|k-1}$ は、 $p^{\wedge}_{k-1|k-1} + v^{\wedge}_{k-1|k-1} t$ と表わせる。

【0037】

α_k は、 $p^{\wedge}_{k|k-1}$ と $p_{k|k}$ の差分ベクトルである。 α_k は、 α_k と $v^{\wedge}_{k|k}$ のなすベクトル間角度である。図4では、 α_k は有限の長さを有し、 α_k は 0° 又は 180° に近く、図5では、 α_k は有限の長さを有し、 α_k は 90° 又は 270° に近い。差分ベクトル α_k の長さは、予測位置 $p^{\wedge}_{k|k-1}$ と実計算した位置 $p^{\wedge}_{k|k}$ との乖離度合いを示しており、マルチパスが及ぼす影響度合いが大きい状況であれば長くなる。ベクトル間角度 α_k は、道路の両脇に高層ビルがある場合や高架下走行時のような、マルチパスが及ぼす影響の度合いが非常に強い状況下では、 90° 又は 270° に近くなる。

【0038】

ここで、一般的に、進行方向には障害物はなく、進行方向と直角(90° 又は 270°)の方向に障害物があるため、マルチパスが及ぼす影響を受けている状況下では、図4の状態ではなく、図5の状態になる。つまり、図5に示した状況は、図4に示した状況より、マルチパスが及ぼす影響度合いが強い状況である。

【0039】

測位演算部4を構成する位置計算部41、速度計算部42、差分ベクトル計算部43、速度ベクトル誤差量計算部44及び誤差楕円計算部45の処理の流れを図6～8に示す。

【0040】

本発明の差分ベクトルの計算方法を図6に示す。

【0041】

位置計算部41及び速度計算部42は、以下に示す数式1～7を用いて、 $p^{\wedge}_{k|k}$ 及び $v^{\wedge}_{k|k}$ をそれぞれ計算する(ステップS1)。位置計算部41及び速度計算部42は、状態方程式及び観測方程式をそれぞれ立式し、カルマンフィルタによる手法で、観測量である擬似距離情報及びドップラー周波数情報を用いて、衛星信号受信装置Rxの測位位置 p 、速度ベクトル v 、時計誤差及び時計誤差ドリフトを算出する。状態量 x は、測位位置 p 、速度ベクトル v 、時計誤差及び時計誤差ドリフトを構成成分とし、観測量 z は、擬似距離の観測量及びドップラー周波数の観測量を構成成分とする。

【0042】

カルマンフィルタに適用する状態方程式は、数式1のように表わされる。

【数1】

$$x_k = F_k x_{k-1} + \omega_k, \omega_k \sim N(0, Q_k)$$

x_k は、時刻 k における状態量である。 F_k は、時刻 k におけるシステムモデルである。

ω_k は、平均が0、共分散行列が Q_k である多変数正規分布に従うプロセス雑音である。

【0043】

カルマンフィルタに適用する観測方程式は、数式2のように表わされる。

【数2】

$$z_k = H_k x_k + u_k, u_k \sim N(0, R_k)$$

z_k は、時刻 k における観測量である。 H_k は、時刻 k における観測モデルである。 u_k は、平均が0、共分散行列が R_k である多変数正規分布に従う観測雑音である。

【0044】

状態方程式と観測方程式を用いてカルマンフィルタの予測過程と更新過程を計算する。

【0045】

10

20

30

40

50

カルマンフィルタの予測過程は、数式 3、4 のように表わされる。

【数 3】

$$\hat{x}_{k|k-1} = F_k \hat{x}_{k-1|k-1}$$

【数 4】

$$P_{k|k-1} = \text{COV}(x_k - \hat{x}_{k|k-1}) = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k$$

$x_{k|k-1}^{\wedge}$ は、時刻 $k-1$ において予測された、時刻 k における推定状態量である。
 $x_{k-1|k-1}^{\wedge}$ は、時刻 $k-1$ において更新された、時刻 $k-1$ における推定状態量である。
 $P_{k|k-1}$ は、 $\text{COV}(x_k - x_{k|k-1}^{\wedge})$ から分かるように、時刻 $k-1$ において予測された、時刻 k における推定状態量の誤差共分散行列である。
 $P_{k-1|k-1}$ は、時刻 $k-1$ において更新された、時刻 $k-1$ における推定状態量の誤差共分散行列である。

10

【0046】

カルマンフィルタの更新過程は、数式 5 ~ 7 のように表わされる。

【数 5】

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k (z_k - H_k \hat{x}_{k|k-1})$$

20

【数 6】

$$P_{k|k} = \text{COV}(x_k - \hat{x}_{k|k}) = (I - K_k H_k) P_{k|k-1}$$

【数 7】

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T / (H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k)$$

$x_{k|k}^{\wedge}$ は、時刻 k において更新された、時刻 k における推定状態量である。
 $P_{k|k}$ は、 $\text{COV}(x_k - x_{k|k}^{\wedge})$ から分かるように、時刻 k において更新された、時刻 k における推定状態量の誤差共分散行列である。
 K_k は、時刻 k における最適カルマンゲインである。

30

【0047】

差分ベクトル計算部 43 は、以下に示す数式 8 又は数式 9 を用いて、差分ベクトル ε_k を計算する (ステップ S2)。

【数 8】

$$\varepsilon_k = \hat{p}_{k|k} - \hat{p}_{k|k-1}$$

【数 9】

$$\varepsilon_k = \hat{p}_{k|k} - (\hat{p}_{k-1|k-1} + \hat{v}_{k-1|k-1} \Delta t)$$

40

【0048】

$p_{k|k}^{\wedge}$ は、カルマンフィルタの更新過程で計算された推定状態量 $x_{k|k}^{\wedge}$ から取り出した衛星信号受信装置 Rx の測位位置である。
 $p_{k-1|k-1}^{\wedge}$ は、推定状態量 $x_{k-1|k-1}^{\wedge}$ から取り出した衛星信号受信装置 Rx の予測位置である。
 $p_{k-1|k-1}^{\wedge}$ は、推定状態量 $x_{k-1|k-1}^{\wedge}$ から取り出した衛星信号受信装置 Rx の測位位置である。
 $v_{k-1|k-1}^{\wedge}$ は、推定状態量 $x_{k-1|k-1}^{\wedge}$ から取り出した衛星信号受信装置 Rx の速度ベクトルである。
 t は、時刻 $k-1$ と時刻 k の間の時間である。数式 8 及び数式 9 は等価な式であり、計算処理のし易さに応じて選択する。

【0049】

50

本発明の速度ベクトル誤差量の計算方法を図7に示す。

【0050】

速度計算部42は、速度ベクトル v の計算で用いた数式2の時刻 k における観測モデル H_k を用いて、 $HDOP_v$ も計算する(ステップS3)。 $HDOP_v$ は、“Horizontal Dilution Of Precision”の頭文字をつなぎ合わせた言葉であり、測位衛星の水平面上での空間的なばらつき指標であることを意味する。 DOP の計算方法は、GPS分野では一般的であり、ECEF(Earth-Centered、Earth-Fixed)座標系から、測位位置を座標の原点とするENU(Local East、North、Up)座標系へと、観測モデル H_k を座標系変換し、変換後の行列と転置後の行列を乗算し、乗算後の行列の逆行列を計算し、対角成分の目的要素を加算して平方根をとる。また、 $HDOP_v$ の添え字の V は、速度ベクトル v の $HDOP$ という意味である。つまり、 $HDOP_v$ は、速度ベクトル v を計算するために用いた測位衛星の水平面上での空間的なばらつき指標であることを意味する。

10

【0051】

速度ベクトル誤差量計算部44は、衛星測位に利用可能な測位衛星数が、所定閾値以下であるかどうか確認する(ステップS4)。所定閾値は、例えば、5衛星と定義される。

【0052】

衛星測位に利用可能な測位衛星数が、所定閾値以下であるときは(ステップS4においてYES)、速度ベクトル誤差量の計算方法が実行される(ステップS5、ステップS6)。衛星測位に利用可能な測位衛星数が、所定閾値より多いときは(ステップS4においてNO)、速度ベクトル誤差量の計算方法が実行されない。

20

【0053】

以下の説明では、衛星測位に利用可能な測位衛星数が、所定閾値以下であるとき(ステップS4においてYES)を想定する。

【0054】

速度ベクトル誤差量計算部44は、以下に示す数式10を用いて、 $|\sin \theta_k|$ を計算する(ステップS5)。

【数10】

$$|\sin \theta_k| = \frac{\|\hat{v}_{k|k} \times \varepsilon_k\|}{\|\hat{v}_{k|k}\| \|\varepsilon_k\|}$$

30

【0055】

$\hat{v}_{k|k}$ は、推定状態量 $\hat{x}_{k|k}$ から取り出した衛星信号受信装置 R_x の速度ベクトルである。 ε_k は、数式8又は数式9で計算された差分ベクトルである。 $|\cdot|$ は絶対値の操作を表し、 $\|\cdot\|$ は、ノルム計算の操作を表す。

【0056】

速度ベクトル誤差量計算部44は、以下に示す数式11を用いて、速度ベクトル誤差量 σ_v を計算する(ステップS6)。 $HDOP_v$ は、速度計算部42がステップS3で計算したものである。 c_v は、速度観測誤差定数(例えば、 $1.9 \text{ m/s} = \text{観測誤差 } 10 \text{ Hz} \times \text{搬送波の波長 } 0.19 \text{ m}$)である。

40

【数11】

$$\sigma_v = HDOP_v \times \sigma_{cv} \times |\sin \theta_k|$$

【0057】

$HDOP_v$ は、速度ベクトル誤差量 σ_v が大きくなり過ぎることを防ぐ目的で、上限値(例えば、10)を設ける。速度ベクトル誤差量 σ_v は、図4又は図5の速度ベクトル v の劣化度合いであり、 $|\sin \theta_k|$ 項の効果により、マルチパスが及ぼす影響が小さい図4の状況からマルチパスが及ぼす影響が大きい図5の状況へと近づくほど、大きくなる

50

【 0 0 5 8 】

本発明の誤差楕円の計算方法を図 8 に示す。

【 0 0 5 9 】

誤差楕円計算部 4 5 は、以下に示す数式 1 2 を用いて、上述のプロセス雑音 Q_k に代わる新たなプロセス雑音 W_k を計算する (ステップ S 7)。

【数 1 2】

$$W_k = \varepsilon_k \varepsilon_k^T + T_{L \rightarrow G} \text{diag}[\sigma_v^2, \sigma_v^2, 0]_L$$

【 0 0 6 0 】

数式 1 2 の右辺第 1 項は、差分ベクトル計算部 4 3 がステップ S 2 で計算した、 x_k が関わる項である。数式 1 2 の右辺第 2 項は、速度ベクトル誤差量計算部 4 4 がステップ S 6 で計算した、 v が関わる項である。diag_L は、E N U 座標系での対角行列である。T_{L → G} は、E N U 座標系から E C E F 座標系への座標系変換行列である。

【 0 0 6 1 】

ここで、速度ベクトル誤差量 v は、E N U 座標系の水平面 (E a s t - N o r t h 平面) で表されている。一方で、差分ベクトル x_k は、E C E F 座標系で表されている。そこで、数式 1 2 において、座標系を統一するため、速度ベクトル誤差量 v に対して、E N U 座標系から E C E F 座標系への座標系変換を行なうのである。

【 0 0 6 2 】

なお、ステップ S 4 において NO となり、速度ベクトル誤差量 v の計算方法が実行されないときは、数式 1 2 において速度ベクトル誤差量 v はゼロになる。

【 0 0 6 3 】

誤差楕円計算部 4 5 は、以下に示す数式 1 3 ~ 1 5 を用いて、誤差楕円用の誤差共分散行列 $\tilde{P}_{k|k}$ を計算する (ステップ S 8)。数式 1 3 ~ 1 5 では、数式 4、6、7 と異なり、位置 p を状態量とするが、速度ベクトル v 、時計誤差及び時計誤差ドリフトを状態量としない。このため、数式 1 3 では、数式 4 と異なり、数式 1 2 で算出した新たなプロセス雑音 W_k を採用しており、数式 4 で採用したプロセス雑音 Q_k を採用していない。また、数式 1 4 及び数式 1 5 の $H_{k,p}$ と $R_{k,p}$ は、数式 2 の H_k と R_k から位置 p に関する成分のみを取り出した行列である。さらに、英文字の上部にチルダ (~) を付けた行列は、誤差楕円用の行列であることを表す。

【数 1 3】

$$\tilde{P}_{k|k-1} = \tilde{P}_{k-1|k-1} + W_k$$

【数 1 4】

$$\tilde{P}_{k|k} = (I - \tilde{K}_k H_{k,p}) \tilde{P}_{k|k-1}$$

【数 1 5】

$$\tilde{K}_k = \tilde{P}_{k|k-1} H_{k,p}^T / (H_{k,p} \tilde{P}_{k|k-1} H_{k,p}^T + R_{k,p})$$

【 0 0 6 4 】

誤差楕円計算部 4 5 は、数式 1 6 ~ 1 9 を用いて、誤差楕円の軸方向及び径の長さを計算する (ステップ S 9)。

10

20

30

40

【数 16】

$$\begin{pmatrix} \sigma_E^2 & \sigma_{EN}^2 & \sigma_{EU}^2 \\ \sigma_{NE}^2 & \sigma_N^2 & \sigma_{NU}^2 \\ \sigma_{UE}^2 & \sigma_{UN}^2 & \sigma_U^2 \end{pmatrix} = T_{G \rightarrow L} \tilde{P}_{k|k}$$

【数 17】

$$x^T \begin{pmatrix} \sigma_E^2 & \sigma_{EN}^2 \\ \sigma_{NE}^2 & \sigma_N^2 \end{pmatrix}^{-1} x = r^2, \quad x = \begin{pmatrix} u_E \\ u_N \end{pmatrix}$$

10

【数 18】

$$\begin{pmatrix} \sigma_E^2 & \sigma_{EN}^2 \\ \sigma_{NE}^2 & \sigma_N^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \end{pmatrix} = \lambda_i \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \end{pmatrix}, \quad i = 1, 2, \quad \lambda_1 \geq \lambda_2$$

20

【数 19】

誤差楕円の軸方向： $\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \end{pmatrix}, i = 1, 2$

誤差楕円の長半径及び短半径の長さ： $r\sqrt{\lambda_i}, i = 1, 2$

【0065】

σ_E^2 、 σ_{EN}^2 、 σ_{EU}^2 、 σ_{NE}^2 、 σ_N^2 、 σ_{NU}^2 、 σ_{UE}^2 、 σ_{UN}^2 、 σ_U^2 は、ENU座標系での誤差楕円用の誤差共分散行列の各種成分である。T_{G→L} は、ECF座標系からENU座標系への座標系変換行列である。x は、測位位置を座標の原点とするENU座標系での誤差楕円の円周である。r は、真位置が誤差楕円の内部に存在する確率に依存するパラメータであり、例えば、当該確率 = 95%であれば、r = 2.4 である。u_E、u_N は、x の成分であり、数式 17 で求められる (u_E、u_N)^T をプロットすることで、図 1 で示したような ENU 座標系の E - N 平面での誤差楕円を描画できる。

30

【0066】

λ_i は、ENU 座標系の E - N 平面での誤差楕円用の誤差共分散行列の固有値である。 $(X_i, Y_i)^T$ は、ENU 座標系の E - N 平面での誤差楕円用の誤差共分散行列の固有ベクトルである。数式 19 によって、前記固有値 λ_i と前記固有ベクトル $(X_i, Y_i)^T$ から、誤差楕円の長軸及び短軸の軸方向並びに長半径及び短半径の長さを計算する。ここで、 $\lambda_1 \geq \lambda_2$ であるから、 $r\sqrt{\lambda_1}$ は、ENU 座標系の E - N 平面での誤差楕円の長半径の長さとなり、 $r\sqrt{\lambda_2}$ は、ENU 座標系の E - N 平面での誤差楕円の短半径の長さになる。

40

【0067】

つまり、誤差楕円計算部 45 は、数式 16 ~ 19 を用いて、ENU 座標系の E - N 平面での誤差楕円用の誤差共分散行列の固有ベクトル及び固有値を計算することにより、ENU 座標系の E - N 平面での誤差楕円の軸方向及び径の長さを計算することができる。

【0068】

誤差楕円計算部 45 は、位置計算部 41 での衛星信号受信装置 Rx の位置算出時にて、

50

2次元測位演算が行なわれているかどうかを確認する(ステップS10)。2次元測位演算は、ENU座標系での高さ方向(Up軸)の位置を固定して位置計算する手法であり、測位衛星数が3衛星程度と少ない場合に実施される。2次元測位演算は、GPS分野では一般的な手法であり、測位衛星数が少ない時に位置を求めることができるというメリットがあるが、求めた位置の誤差が固定する高さ方向の位置誤差に比例して大きくなるというデメリットもある。

【0069】

2次元測位演算が行なわれるときは(ステップS10においてYES)、2次元測位演算時における誤差楕円の補正方法が実行される(ステップS11)。2次元測位演算が行なわれないときは(ステップS10においてNO)、2次元測位演算時における誤差楕円の補正方法が実行されない。

10

【0070】

以下の説明では、2次元測位演算が行なわれるとき(ステップS10においてYES)を想定する。

【0071】

誤差楕円計算部45は、数式20を用いて、誤差楕円を補正する(ステップS11)。

【数20】

2次元測位演算時の誤差楕円の長半径及び短半径の長さ： $r\sqrt{\lambda_i} + \beta r\sqrt{\sigma_U^2}, i = 1, 2$

20

数式20の第1項は、数式19の r_i そのものである。数式20の第2項は、数式19の r_i の補正項である。 λ_i は、測位衛星数に依存するパラメータである。位置計算部41にて測位衛星数が少なく、2次元測位演算が行なわれたときは、 λ_i は1以上の値となり、位置計算部41にて測位衛星数が多く、2次元測位演算が行なわれないときは、 λ_i は0近傍の値となり、つまり、 λ_i は測位衛星数に反比例する補正係数である。 r は、数式17に示した r そのものである。 σ_U^2 は、数式16に示した σ_U^2 そのものである。

【0072】

つまり、誤差楕円計算部45は、位置計算部41にて測位衛星数が少なく、2次元測位演算が行なわれたときに、水平面(E-N平面)での誤差楕円の長半径及び短半径の長さを、測位衛星数に反比例する補正係数を乗じた高さ方向(Up軸)の誤差分散で補正する。2次元測位演算では、高さ方向の位置を固定するという演算手法の特性上、高さ方向の位置誤差が水平面での位置誤差として現れるという特徴があるため、高さ方向の誤差分散を使用して、誤差楕円の水平面の長半径及び短半径を補正する。

30

【0073】

本発明の誤差楕円の計算方法の全体構成を図9に示す。

【0074】

ステップS21の予測過程について説明する。この予測過程は、前回の更新過程で計算した推定状態量 $x_{k-1|k-1}^{\wedge}$ 及び誤差共分散行列 $P_{k-1|k-1}$ を入力し、さらにプロセス雑音 Q_k を入力する。次に、入力した各種情報をカルマンフィルタの予測過程の数式3、4に適用し、推定状態量 $x_{k|k-1}^{\wedge}$ 及び誤差共分散行列 $P_{k|k-1}$ を計算し出力する。

40

【0075】

ステップS22の更新過程について説明する。この更新過程は、ステップS21の予測過程で計算した推定状態量 $x_{k|k-1}^{\wedge}$ 及び誤差共分散行列 $P_{k|k-1}$ を入力し、さらに観測量 z_k 及び観測雑音 R_k を入力する。次に、入力した各種情報をカルマンフィルタの更新過程の数式5~7に適用し、推定状態量 $x_{k|k}^{\wedge}$ 及び誤差共分散行列 $P_{k|k}$ を計算し出力する。

【0076】

ステップS23の計算過程について説明する。この計算過程は、ステップS21の予測過程で計算した推定状態量 $x_{k|k-1}^{\wedge}$ を入力し、さらにステップS22の更新過程で

50

計算した推定状態量 $x^{\wedge}_{k|k}$ を入力する。入力した各種推定状態量から衛星信号受信装置 Rx の位置 $p^{\wedge}_{k|k}$ 、 $p^{\wedge}_{k|k-1}$ 及び速度ベクトル $v^{\wedge}_{k|k}$ を取り出す。次に、取り出した各種情報を数式 8 ~ 12 に適用し、 σ_k 、 $|\sin \theta_k|$ 、 v 及び上述のプロセス雑音 Q_k に代わる新たなプロセス雑音 W_k を計算し、プロセス雑音 W_k を出力する。

【0077】

ステップ S 2 4 の誤差楕円の予測過程について説明する。この誤差楕円の予測過程は、前回の更新過程で計算した誤差楕円用の誤差共分散行列 $P_{k-1|k-1}$ を入力し、さらにステップ S 2 3 の計算過程で計算した新たなプロセス雑音 W_k を入力する。次に、入力した情報を数式 13 に適用し、誤差楕円用の誤差共分散行列 $P_{k|k-1}$ を計算し出力する。

10

【0078】

ステップ S 2 5 の誤差楕円の更新過程について説明する。この誤差楕円の更新過程は、ステップ S 2 4 の誤差楕円の予測過程で計算した誤差楕円用の誤差共分散行列 $P_{k|k-1}$ を入力し、さらに観測雑音 R_k を入力する。入力した観測雑音 R_k から位置 p に関する成分のみを取り出す。次に、入力した情報及び取り出した情報を数式 14、15 に適用し、誤差楕円用の誤差共分散行列 $P_{k|k}$ を計算し出力する。

【0079】

ステップ S 2 6 の誤差楕円の軸方向及び径の長さの計算過程について説明する。ステップ S 2 6 の計算過程は、ステップ S 2 5 の誤差楕円の再更新過程で計算した誤差楕円用の誤差共分散行列 $P_{k|k}$ を入力する。次に、入力した情報を数式 16 ~ 19 に適用し、誤差楕円の軸方向及び径の長さを計算する。また、2次元測位演算が行われていれば、数式 20 によって、誤差楕円の径の長さを補正する。計算された誤差楕円の軸方向及び径の長さは、衛星信号受信装置 Rx を使用するユーザ側に外部出力される。

20

【0080】

本発明及び比較例の誤差楕円の時系列グラフを図 10 に示す。図 10 に示した時系列グラフは、衛星信号受信装置 Rx の搭載車両が図 2 のような高架下を走行時の、誤差楕円の時系列グラフである。「位置誤差」は、測位位置と真位置間の距離を示す。「従来誤差楕円」は、従来技術の誤差楕円の長半径を示す。「本発明誤差楕円」は、本発明の誤差楕円の長半径を示す。

30

【0081】

誤差楕円は、以下の条件を満たすことが理想的である。(1) 誤差楕円は位置誤差を上回ること。誤差楕円が位置誤差を下回れば、測位位置の誤差が大きいかにも関わらず、ユーザは測位位置の誤差が実際より小さいと認識してしまう。(2) 誤差楕円は位置誤差を過剰に上回らず少しだけ上回ること。誤差楕円が位置誤差を過剰に上回れば、測位位置の誤差が小さいにも関わらず、ユーザは測位位置の誤差が実際より大きすぎると認識してしまう。

【0082】

従来の誤差楕円は、測位時刻 23 : 17 : 37 以降において、位置誤差を下回っているため、上述の条件を満たしておらず理想的ではない。本発明の誤差楕円は、測位時刻 23 : 17 : 37 以降を含めて、時系列の全測位時刻において、位置誤差を少しだけ上回っているため、上述の条件を満たしており理想的である。

40

【0083】

以上に説明の事項は、以下のようにまとめられる。

【0084】

本発明では、マルチパスが測位位置に及ぼす影響が大きいほど、差分ベクトル σ_k が長くなり、差分ベクトル σ_k が長いほど、差分ベクトル σ_k を用いて算出したプロセス雑音 W_k が大きくなり、プロセス雑音 W_k を用いて算出した誤差楕円が大きくなるため、マルチパスが測位位置に及ぼす影響を測位位置の誤差楕円に対してよりよく反映させることができる。

50

【 0 0 8 5 】

そして、マルチパスが測位位置に及ぼす影響が大きいほど、差分ベクトル \mathbf{k} と速度ベクトル \mathbf{v} のなすベクトル間角度 θ_k が 90° 又は 270° に近くなり、ベクトル間角度 θ_k が 90° 又は 270° に近いほど、ベクトル間角度 θ_k を用いて算出した速度ベクトル誤差量 Δv が大きくなり、速度ベクトル誤差量 Δv を用いて算出したプロセス雑音 W_k が大きくなり、プロセス雑音 W_k を用いて算出した誤差楕円が大きくなるため、マルチパスが測位位置に及ぼす影響を測位位置の誤差楕円に対してよりよく反映させることができる。

【 0 0 8 6 】

さらに、測位演算に利用可能な測位衛星数が少なく、E N U座標系の高さ方向 (Up軸) の測位位置を固定する2次元測位演算を行なうときに、E N U座標系の水平面 (E - N平面) の誤差楕円の長半径及び短半径を、E N U座標系の高さ方向 (Up軸) における誤差楕円の誤差分散で補正することで、誤差楕円を大きくすることができる。逆に、測位演算に利用可能な測位衛星数が多く、E N U座標系の高さ方向 (Up軸) の測位位置を固定しない3次元測位演算を行なうときは、E N U座標系の水平面 (E - N平面) の誤差楕円の長半径及び短半径を、E N U座標系の高さ方向 (Up軸) における誤差楕円の誤差分散で補正しないため、誤差楕円を大きくし過ぎないようにすることができる。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 8 7 】

本発明の衛星信号受信装置は、マルチパスが測位位置に及ぼす影響を測位位置の誤差楕円に対してよりよく反映させることができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 8 】

R x : 衛星信号受信装置

S 1、S 2、S 3、S 4 : 測位衛星

E 1 : 高架構造

R f : 反射物体

1 : 信号受信部

2 : 追尾処理部

3 : 復調処理部

4 : 測位演算部

2 1 : 擬似距離観測部

2 2 : ドップラー周波数観測部

2 3 : 航法データ抽出部

4 1 : 位置計算部

4 2 : 速度計算部

4 3 : 差分ベクトル計算部

4 4 : 速度ベクトル誤差量計算部

4 5 : 誤差楕円計算部

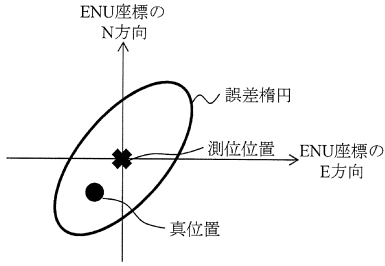
10

20

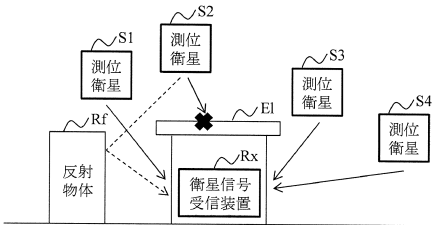
30

40

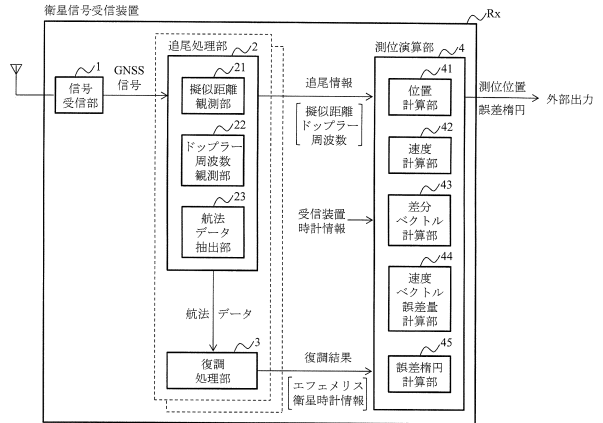
【図1】



【図2】

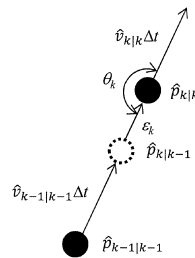


【図3】



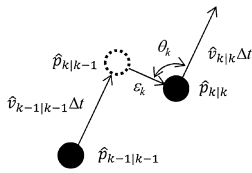
【図4】

$\theta_k \sim 0 \text{ deg. or } 180 \text{ deg.}$

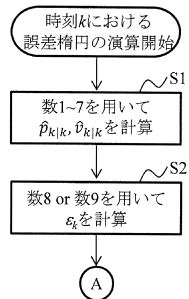


【図5】

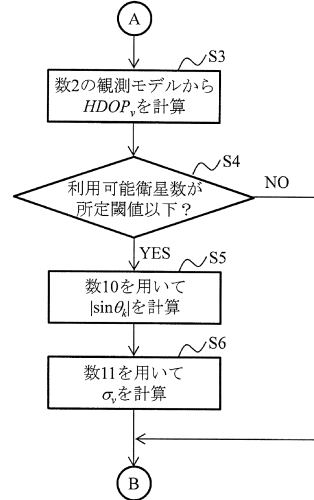
$\theta_k \sim 90 \text{ deg. or } 270 \text{ deg.}$



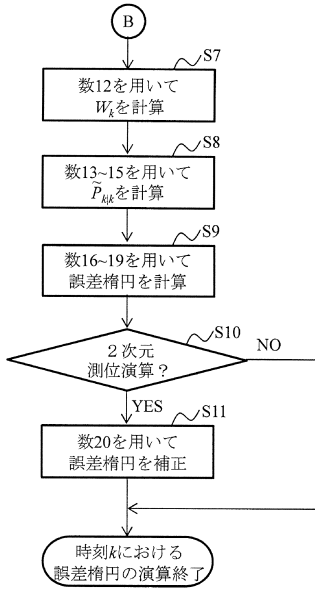
【図6】



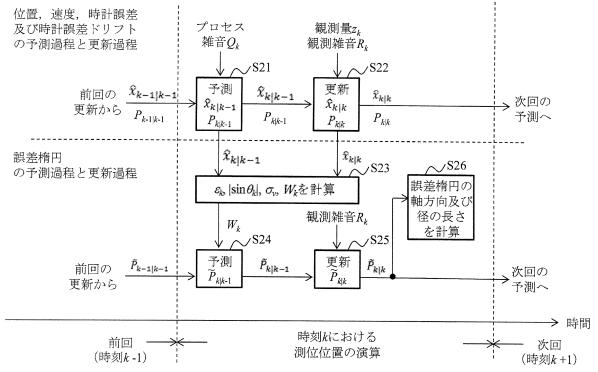
【図7】



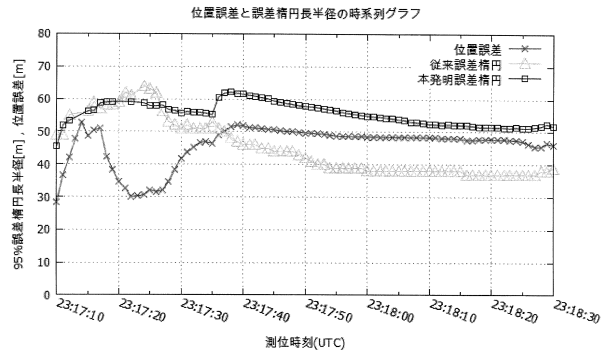
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2011-002324(JP,A)
特開2006-258525(JP,A)
特開平4-166781(JP,A)
特開2014-142272(JP,A)
特開2009-25045(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 19/00 - 19/55