

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5895866号
(P5895866)

(45) 発行日 平成28年3月30日(2016.3.30)

(24) 登録日 平成28年3月11日(2016.3.11)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 S 19/07 (2010.01)

G O 1 S 19/07

請求項の数 8 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2013-20667 (P2013-20667)	(73) 特許権者	000006013
(22) 出願日	平成25年2月5日(2013.2.5)		三菱電機株式会社
(65) 公開番号	特開2014-153087 (P2014-153087A)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(43) 公開日	平成26年8月25日(2014.8.25)	(74) 代理人	100112210
審査請求日	平成26年10月29日(2014.10.29)		弁理士 稲葉 忠彦
		(74) 代理人	100108431
			弁理士 村上 加奈子
		(74) 代理人	100153176
			弁理士 松井 重明
		(74) 代理人	100109612
			弁理士 倉谷 泰孝
		(72) 発明者	佐藤 友紀
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三
			菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 G N S S測位装置およびG N S S測位方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のG N S S衛星から送信される測距信号を受信する受信機に接続され、当該受信機的位置を計測するG N S S測位装置において、G N S S衛星の測距信号から得られる擬似距離と搬送波位相の観測値の補正量に関する補強情報を受信する補強情報受信部と、前記補強情報を用いて受信機的位置算出を行う時刻における受信機的位置における第1の補正量およびその標準偏差を出力する補正量補間・外挿部と、受信機的位置算出を行う時刻の1つ前の時刻における受信機の状態量推定値およびその共分散行列を用いて、受信機的位置算出を行う時刻における受信機的位置を予測する受信機位置予測部と、G N S S衛星から送信される測距信号を受信し、航法暦とG N S S衛星の観測値を出力するG N S S信号受信部と、前記G N S S信号受信部で出力された航法暦を用いて衛星位置を計算する衛星位置計算部と、前記受信機位置予測部で予測された受信機位置、前記G N S S信号受信部で受信されたG N S S衛星の観測値、前記衛星位置計算部で計算された衛星位置および波数から、受信機的位置算出を行う時刻における受信機的位置における第2の補正量およびその標準偏差を出力する補正量推定部と、前記補正量補間・外挿部で出力された第1の補正量およびその標準偏差と前記補正量推定部で出力された第2の補正量およびその標準偏差とを重み付きで平均化した第3の補正量およびその標準偏差を出力する補正量平均化部と、前記補正量平均化部で出力された第3の補正量およびその標準偏差、前記G N S S信号受信部で受信されたG N S S衛星の観測値、受信機の状態量推定値およびその共分散行列を用いて受信機的位置を算出する位置算出部とを備えたことを特徴とするG N S S測位装

10

20

置。

【請求項 2】

補正量平均化部は、前記第 1 の補正量と前記第 2 の補正量の差が閾値以上の場合、第 2 の補正量の重みをゼロとし第 3 の補正量として第 1 の補正量を採用する処理、もしくは、次に補強情報を受信するまでの間補正量の使用を停止する処理、のいずれか一方を選択可能とすることを特徴とする請求項 1 に記載の G N S S 測位装置。

【請求項 3】

受信機位置予測部は、自律航法用のセンサのデータを出力する自律航法装置を備え、自律航法用のセンサのデータを基に受信機の位置情報を特定することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の G N S S 測位装置。

10

【請求項 4】

補正量推定部が出力した第 2 の補正量のうち搬送波位相補正量の波数のアンビギュイティを調整するアンビギュイティ調整部を備えることを特徴とした請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の G N S S 測位装置。

【請求項 5】

複数の G N S S 衛星から送信される測距信号を受信する受信機の位置を計測する G N S S 測位方法において、G N S S 衛星の測距信号から得られる擬似距離と搬送波位相の観測値の補正量に関する補強情報を受信する補強情報受信工程と、前記補強情報を用いて受信機の位置算出を行う時刻における受信機の位置における第 1 の補正量およびその標準偏差を出力する補正量補間・外挿工程と、受信機の位置算出を行う時刻の 1 つ前の時刻における受信機の状態量推定値およびその共分散行列を用いて、受信機の位置算出を行う時刻における受信機の位置を予測する受信機位置予測工程と、G N S S 衛星から送信される測距信号を受信し、航法暦と G N S S 衛星の観測値を出力する G N S S 信号受信工程と、前記 G N S S 信号受信工程で出力された航法暦を用いて衛星位置を計算する衛星位置計算工程と、前記受信機位置予測工程で予測された受信機位置、前記 G N S S 信号受信工程で受信された G N S S 衛星の観測値、前記衛星位置計算工程で計算された衛星位置および波数から、受信機の位置算出を行う時刻における受信機の位置における第 2 の補正量およびその標準偏差を出力する補正量推定工程と、前記補正量補間・外挿工程で出力された第 1 の補正量およびその標準偏差と前記補正量推定工程で出力された第 2 の補正量およびその標準偏差とを重み付きで平均化した第 3 の補正量およびその標準偏差を出力する補正量平均化工程と、前記補正量平均化工程で出力された第 3 の補正量およびその標準偏差、前記 G N S S 信号受信工程で受信された G N S S 衛星の観測値、受信機の状態量推定値およびその共分散行列を用いて受信機の位置を算出する位置算出工程とを備えたことを特徴とする G N S S 測位方法。

20

30

【請求項 6】

補正量平均化工程は、前記第 1 の補正量と前記第 2 の補正量の差が閾値以上の場合、第 2 の補正量の重みをゼロとし第 3 の補正量として第 1 の補正量を採用する処理、もしくは、次に補強情報を受信するまでの間補正量の使用を停止する処理、のいずれか一方を選択可能とすることを特徴とする請求項 5 に記載の G N S S 測位方法。

【請求項 7】

受信機位置予測工程は、自律航法用のセンサのデータを出力する自律航法工程を備え、自律航法用のセンサのデータを基に受信機の位置情報を特定することを特徴とする請求項 5 または 6 に記載の G N S S 測位方法。

40

【請求項 8】

補正量推定工程が出力した第 2 の補正量のうち搬送波位相補正量の波数のアンビギュイティを調整するアンビギュイティ調整工程を備えることを特徴とした請求項 5 から 7 のいずれか 1 項に記載の G N S S 測位方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、GPS (Global Positioning System、全地球測位システム) 衛星等のGNSS (Global Navigation Satellite System、全地球航法衛星システム) 衛星から送信される測距信号を受信して位置計測を行うGNSS測位装置およびGNSS測位方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来より、地球上あるいは宇宙空間における受信機が複数のGNSS衛星から測距信号を受信し、受信機に接続されたGNSS測位装置が当該受信機の位置を計測するGNSS測位方法が広く知られている。GNSS衛星の測距信号から得られる観測値には、擬似距離PR (Pseudo Range) と搬送波位相CP (Carrier Phase) とがある。

10

【0003】

擬似距離PRとは、衛星から発信された信号が受信機に到達するまでの伝播時間を、信号の搬送波に乗せられた測位用符号列 (C/Aコード、P2コードなど) の観測値と、受信機の時計と衛星の時計とを同期して生成した同じ測位用符号列の値の位相差から計算し、光速を掛けることで求めた衛星 受信機間の距離である。擬似距離PRで求めた距離には、受信機の時計と衛星の時計とが完全には同期されていない値を用いており、求めた距離には時計のずれによる誤差が含まれているため、“擬似”距離と呼ばれる。

【0004】

搬送波位相CPとは、上記の測位用符号列の観測時に追尾した搬送波の位相と、受信機の時計と衛星の時計とを同期して生成した同じ搬送波信号との位相差である。位相差には $2 \times N$ (Nは波数で整数値) のあいまいさ (アンビグイティ) があり、搬送波位相のみからは一意的に衛星 受信機間の距離を求めることはできないが、搬送波位相は擬似距離よりも観測分解能が高く低ノイズであるため、波数Nを正しく決定することができれば、高精度な距離観測量として利用することができる。

20

【0005】

しかしながら、GNSS測位においては、前述の衛星の時計誤差や航法暦によって求めた衛星の位置誤差等のような衛星自身に起因する誤差、電離層を電波が通過するとき大気中の電子密度に比例して電波速度が遅くなること (以下、「電離層遅延」という) による誤差等のような大気状態に起因する誤差及びマルチパス等のような受信機に起因する誤差が発生する。そのため、衛星 受信機間の距離観測値の誤差が大きくなり、その結果、受信機の位置計測 (測位) の精度は10m程度となる。

30

【0006】

そこで、現在、測量や地図作成等のような、より高精度な位置情報を必要とするアプリケーションにもGNSS測位を利用可能とするため、地球上にある正確な座標が既知の電子基準点等の観測データを用いて、上記の衛星自身に起因する誤差や大気状態に起因する誤差をGNSS衛星毎に推定し、誤差補正量 (以下、「補正量」という) を補強情報としてGNSS測位装置に提供し、GNSS衛星の測距信号から得られる観測値の誤差補正を行って、測位精度を向上させる方法が提案されている。これを実現するシステムを測位補強システムと呼び、多くの形態が提案され実施されている。

40

【0007】

このようなGNSS測位補強システムとしては大別して、VRS (Virtual Reference Station) 方式やFKP (Flächen Korrektur Parameter) 方式が知られている。これらの方式は、サービスセンターが地球上にあるサービスエリア内の複数の電子基準点の観測データから、エリア全体で有効な補強情報を生成する方式である。エリア内の受信機に接続されるGNSS測位装置は、受信機の概略位置情報を携帯電話回線等を利用してサービスセンターに送付し、同様の回線を用いてサービスセンターから当該位置における補強情報を取得し、このような補強情報を用いて誤差補正を行い高精度な測位を行なう。補正すべき誤差量は刻々と変化するため、必要とされる精度に応じた周期で、補強情報を提供する必要がある。携帯電話回線等

50

を利用したサービスにおいてはデータ伝送の回線容量が大きく、時間変動による精度劣化が無視できるほど、十分に速い周期（例えば1秒毎など）で補強情報を提供することが可能である。

【0008】

一方、測位補強システムのうち、例えば日本全国のような広域の範囲を対象としたGNSS測位装置が利用できる補強情報を準天頂衛星やSBAS (Satellite-Based Augmentation System) 等により一律に配信する場合、前述のように地上の携帯電話等の回線を用いて個別のユーザ毎に補強情報を配信する場合と比較して、データ伝送の回線容量が限られる。このことから、補強情報を圧縮（データ量を削減）して配信する技術が提案されている。圧縮の例としては、補正量を時間的に間引き、一定の周期毎に配信する方式や電離層での電波による遅延等、受信機の場所によって異なる補正量を空間的に間引き、等間隔の代表地点における値を配信する方式などが挙げられる。

10

【0009】

従って、圧縮された補強情報を使用する場合、時間的および空間的に間引いた補正量を使用するため、圧縮前の補強情報を使用する場合に対して、補正量自体が誤差を持つ。すなわち、GNSS観測値の誤差量の時間的変動に対して、得られる補正量の周期が長いと、無視できない補正量の誤差（時間的圧縮による誤差）が生じる。またGNSS観測値の誤差量の空間的変動に対して、補正量が得られる代表地点間の間隔が大きいと、無視できない補正量の誤差（空間的圧縮による誤差）が生じる。誤差量の局所的な変動が大きい時間帯や場所では、補正量を多項式等の関数によって時間的および空間的に補間・外挿しても、関数では細かい変動を表現しきれず、やはり無視できない補正量の誤差が生じる。

20

【0010】

そこで、補正量の誤差に関する情報をGNSS測位装置に提供する、あるいは間引かれた補正量を用いた補間・外挿の手法をGNSS測位装置側で工夫する等により、補正量の誤差の影響を軽減する技術が求められている。

【0011】

これに関する従来技術として、空間的に間引かれて配信された電離層遅延補正量を補間して使用する場合、補間した電離層遅延補正量を不確定性のある値として扱って処理を行なう測位方法が提案されている（例えば非特許文献1）。各GNSS衛星で擬似距離と搬送波位相に含まれる電離層遅延量は大きさが同じで符号が逆であること（擬似距離は遅延し、搬送波位相は進む）、また信号のキャリア周波数によって感度が異なるから、その不確定性が与える影響が信号毎に異なる性質を利用することで、電離層遅延の補正量の誤差をノイズ成分として分離し、測位結果に対する影響を低減している。

30

【0012】

また、サービスセンターにおいて時間的に間引いた補正量の誤差分散および、時間経過に伴う誤差分散の拡大係数をGNSS測位装置に提供し、GNSS測位装置側は測位を行なう時刻におけるGNSS衛星毎の補正量の誤差分散値を計算することで、測位計算において、それら衛星の使用もしくは不使用の決定や、誤差分散値が大きい衛星の補正した観測値の重みを下げる等の処理を行なう測位方法が提案されている（例えば特許文献1）。

40

【0013】

また、地球上にある正確な座標が既知の電子基準点等のGNSS衛星の観測値が時間的に間引かれて得られる場合に、高次の多項式による外挿を行い、データが得られない時刻における観測値を生成し、受信機の観測値と差分を取ることで、受信機の観測値に含まれる誤差を消去する測位方法が提案されている（例えば特許文献2）。これは一定の時間間隔毎に間引かれた補正量が得られる場合、補正量が得られた時刻における値から、補正量が得られていない時刻における値を、高次の多項式による外挿によって求め、使用することに相当する。

【先行技術文献】

【特許文献】

50

【0014】

【特許文献1】米国特開20100149026A1号公報(2頁右列8~34行)

【特許文献2】特開2000-304843号公報(12頁右列43行~13頁右列27行)

【非特許文献】

【0015】

【非特許文献1】D. Odijk: Weighting Ionospheric Corrections to Improve Fast GPS Positioning Over Medium Distance, ION GPS 2000(1114頁22行~1116頁19行)

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

しかしながら、非特許文献1のような測位方法にあつては、擬似距離と搬送波位相における値の符号が異なり、信号の周波数毎に感度が異なる電離層遅延の補正量の圧縮による誤差を低減することはできるが、衛星時計誤差、衛星軌道誤差、対流圏遅延等、擬似距離と搬送波位相に含まれる値の符号が同じになる場合には、信号の周波数によらず感度が等しい補正量の、圧縮による誤差は低減できないという問題がある。

【0017】

また、特許文献1のような測位方法においては、以下のような問題がある。すなわち、補正量が得られた時刻から時間が経過するほど、補正量の誤差分散値が大きくなり、受信機の測位計算における補正したGNSS観測値の重みが小さくなり、従って観測残差に対する修正ゲインが小さくなるため、静止測量においては収束時間が遅くなるという問題が生じる。また自動車などの移動体測量においては、移動に伴って拡大する受信機の位置の誤差分散を速やかに縮小させることができず、例えばGNSS衛星の信号の搬送波位相の波数を決定する処理の成功率を低下させるといった問題がある。

20

【0018】

さらに、特許文献2のような測位方法においては、以下のような問題がある。すなわち、時間的に間引かれた補正量を用いた測位において、測位計算を行う時刻における補正量を、補間・外挿計算によって求めて使用する場合、補正量の時間変動が大きい場合や、変曲点を含む場合は、補間・外挿計算の精度が低下し、測位精度の低下の原因となる。さらに、補強情報を配信する衛星の回線容量の制約から補強情報の配信間隔が長く、受信機がトンネルや高架下を通過することで、GNSS測位装置が取得すべき補強情報を受信し損ねた場合には、得られた補正量の時刻間隔が大きくなり、補間・外挿の計算精度が大きく低下するといった問題がある。

30

【0019】

本発明は、時間的に間引かれた補正量を用いたGNSS測位装置及びGNSS測位方法において、衛星時計誤差、衛星軌道誤差、対流圏遅延等、擬似距離と搬送波位相に含まれる値の符号が同じで、信号の周波数によらず感度が等しい補正量の圧縮による誤差を低減すること、時間経過に伴う補正量の誤差分散値の増加によって受信機の測位計算における補正したGNSS観測値の重みが小さくなるのを避けること、及び補正量の時間変動・時刻間隔が大きい場合や、変曲点を含む場合でも、補間・外挿計算の精度の低下を抑制するGNSS測位装置およびGNSS測位方法を提供することを目的としている。

40

【課題を解決するための手段】

【0020】

本発明は、複数のGNSS衛星から送信される測距信号を受信する受信機に接続され、当該受信機の位置を計測するGNSS測位装置において、補正量に関する補強情報を受信する補強情報受信部と、前記補強情報を用いて受信機の位置算出を行う時刻における受信機の位置の第1の補正量およびその標準偏差を出力する補正量補間・外挿部と、受信機の位置算出を行う時刻の1つ前の時刻における受信機の状態量推定値およびその共分散行列

50

を用いて、受信機の位置算出を行う時刻における受信機の位置を予測する受信機位置予測部と、GNSS衛星から送信される測距信号を受信し、航法歴とGNSS衛星の観測値を出力するGNSS信号受信部と、前記GNSS信号受信部で出力された航法歴を用いて衛星位置を計算する衛星位置計算部と、前記受信機位置予測部で予測された受信機位置、前記GNSS信号受信部で受信されたGNSS衛星の観測値、前記衛星位置計算部で計算された衛星位置および波数から、受信機の位置算出を行う時刻における受信機の位置の第2の補正量およびその標準偏差を出力する補正量推定部と、前記補正量補間・外挿部で出力された第1の補正量およびその標準偏差と前記補正量推定部で出力された第2の補正量およびその標準偏差とを重み付きで平均化した第3の補正量およびその標準偏差を出力する補正量平均化部と、前記補正量平均化部で出力された第3の補正量およびその標準偏差、前記GNSS信号受信部で受信されたGNSS衛星の観測値、受信機の状態量推定値およびその共分散行列を用いて受信機の位置を算出する位置算出部から構成される。

10

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、受信機の位置とGNSS衛星の位置とから計算した幾何学的距離とGNSS衛星観測値から補正量を推定する処理、および推定した補正量と補強情報から計算された補正量の重み付き平均化を行なう処理を行なうため、時間的に間引かれた補正量を用いた測位において、測位計算を行う時刻における補正量を、補間・外挿計算のみによって求めて使用する場合と比較して、高精度に求めることができる。その結果、擬似距離と搬送波位相との値の符号にかかわらず、補正量の圧縮による誤差を低減でき、移動に伴って拡大する受信機の位置の誤差分散を速やかに縮小でき、補正量の時間変動・時刻間隔が大きい場合や、変曲点を含む場合でも、補間・外挿計算の精度の低下を抑制することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の実施の形態1による測位装置の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の実施の形態1の補正量補間・外挿部で計算された第1の補正量と時間との関係を示すグラフである。

【図3】本発明の実施の形態1の補正量推定部の動作を説明するための図である。

【図4】本発明の実施の形態1の補正量平均化部で計算された補正量の値と補正量の確率密度との関係を示すグラフである。

30

【図5】本発明の実施の形態1のフローチャートを示す図である。

【図6】本発明の実施の形態2による測位装置の構成を示すブロック図である。

【図7】本発明の実施の形態2のアンビギュイティ調整部の動作を説明するための図である。

【図8】本発明の実施の形態2のフローチャートを示す図である。

【図9】本発明の実施の形態2による測位装置の動作効果を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

実施の形態1 .

40

図1は、本発明を実施するための実施の形態1における測位装置の構成を示すブロック図である。図1に示すように、本実施の形態による測位装置は、補強情報受信部1、補強情報記憶部2、補正量補間・外挿部3、受信機位置予測部4、GNSS信号受信部5、衛星位置計算部6、補正量推定部7、補正量平均化部8および位置算出部9とから構成される。さらに、本実施の形態の各部の動作について説明する。以下、補正量に次の用語を使用する。

PRC: Pseudo Range Correction (擬似距離補正量)

CPC: Carrier Phase Correction (搬送波位相補正量)

【0024】

擬似距離補正量とは、擬似距離の誤差補正量を指し、搬送波位相補正量とは、搬送波位

50

相の誤差補正量を指す。C/Aコード、P2コード等、複数の擬似距離が存在する場合は、それらの擬似距離補正量をまとめてPRCと表記する。また同様に、L1波、L2波等、複数の搬送波位相が存在する場合も、それらの搬送波位相補正量をまとめてCPCと表記する。

【0025】

補強情報受信部1は、測位補強サービス提供者が推奨あるいは仕様にて規定する手法によって、準天頂衛星やSBASより受信したGNSS衛星の信号の補正量や補正量を計算するための情報や補正量に関する補強情報を受信する。

【0026】

補強情報記憶部2は、補強情報受信部1が受信した補強情報を記憶する。補正量補間・外挿部3での計算方法に必要な情報が得られるよう、過去の複数の時刻で受信した補強情報を記憶する。

【0027】

補正量補間・外挿部3は、補強情報記憶部2が記憶する補強情報を用いて、受信機的位置算出を行なう時刻tにおける、GNSS衛星の観測値に対する第1の補正量（擬似距離補正量prc1、搬送波位相補正量cpc1）およびその標準偏差値 σ_{prc1} 、 σ_{cpc1} を計算する。図2は、補正量補間・外挿部3で計算された第1の補正量（y）と時間（t）との関係を示すグラフである。第1の補正量は、図2に示すように、例えば過去の3つの時刻における補正量の値を用い、多項式表現によって外挿する。過去の3つの時刻をそれぞれ、t1、t2、t3、時刻に対応する補正量をそれぞれ、y1、y2、y3とすると、時刻t+1における補正量yは、次式で表される。

【0028】

【数1】

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_1^2 & t_1 & 1 \\ t_2^2 & t_2 & 1 \\ t_3^2 & t_3 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix}$$

【0029】

【数2】

$$y = at_t^2 + bt_t + c$$

【0030】

各GNSS衛星の各時刻における補正量は、例えば補強情報に衛星時計誤差Clk[m]（mは単位メートルを指す）、軌道誤差Orb[m]、対流圏遅延Trop[m]、電離層遅延Ion[m]、および、C/Aコード、P2コード、L1波搬送波位相、L2波搬送波位相のシグナル間バイアスBias（C/A、P2、L1、L2）[m]が含まれている場合、次式により擬似距離補正量と搬送波位相補正量を求めることができる。ただし、次式においては、補強情報に含まれる衛星時計誤差Clk[m]は、GNSS衛星の航法暦に含まれる衛星時計誤差で観測値を補正後、さらに補正誤差分を補正するために使用することを仮定している。

C1PRC（C/Aコードの擬似距離補正量）

$$= -Clk + Orb + Trop + 120 / 154 Ion + C/A_Bias$$

P2PRC（P2コードの擬似距離補正量）

$$= -Clk + Orb + Trop + 154 / 120 Ion + P2_Bias$$

L1CPC（L1波の搬送波位相補正量）

$$= -Clk + Orb + Trop - 120 / 154 Ion + L1_Bias$$

L2CPC（L2波の搬送波位相補正量）

$$= -Clk + Orb + Trop - 154 / 120 Ion + L2_B$$

10

20

30

40

50

i a s

その他、各時刻における補正量の計算方法、補間・外挿の計算方法に測位補強サービス提供者が推奨あるいは仕様にて規定する手法があれば、それらに従い計算する。

【0031】

標準偏差値 $_prc1$, $_cpc1$ は、予め設定した値、もしくは補強情報や外部から補正量の時間変化率に関する情報を取得して計算した値を用いる。補正量の時間変化率に関する情報を用いた補正量の標準偏差の計算は、例えば各GNSS衛星の擬似距離補正量、搬送波位相補正量それぞれについて、

- ・UDRE：補強情報や外部から取得した、補正量の標準偏差
- ・ cur_time ：補正量の標準偏差を計算する時刻 t 、
- ・ ref_time ：補強情報や外部から取得した補正量の標準偏差、と対応する時刻
- ・UDRE $_growth_rate$ ：補強情報や外部から取得した、補正量の時間変化率

・ $time_of_validity$ ：補強情報や外部から取得した、スケール調整値とし、次式で得られたCorrected $_UDRE$ を、時刻 t における $_prc1$, $_cpc1$ として用いる。

$$Corrected_UDRE = \{ (cur_time - ref_time) / time_of_validity * (UDRE_growth_rate - 1) + 1 \} * UDRE$$

その他、サービス提供者が推奨あるいは仕様にて規定する手法があれば、それを使用する。

【0032】

続いて、受信機位置予測部4の動作について説明する。受信機位置予測部4は、受信機が位置および速度を状態量として持つ場合は、受信機の位置算出を行う時刻 t の1つ前の時刻 $t-1$ における受信機の状態量推定値のうち、位置、速度の推定値 $x_{t-1|t-1}$ 、 $v_{t-1|t-1}$ および共分散行列の位置・速度に関する項 $P^{xy}_{t-1|t-1}$ から、例えば次式にて時刻 t における受信機の位置・速度 $x_{t|t-1}$ 、およびその共分散行列 $P^{xy}_{t|t-1}$ を予測する。Qはプロセスノイズ行列である。

【0033】

【数3】

$$x_{qt-1} = x_{t-qt-1} + \Delta t \cdot v_{t-qt-1}$$

$$v_{qt-1} = v_{qt-1}$$

$$P_{qt-1}^{xy} = \begin{bmatrix} I & \Delta t \cdot I \\ O & I \end{bmatrix} P_{t-qt-1}^{xy} \begin{bmatrix} I & \Delta t \cdot I \\ O & I \end{bmatrix}^T + Q$$

【0034】

受信機が、位置、速度、加速度を状態量として持つ場合は、受信機の位置算出を行う時刻 t の1つ前の時刻 $t-1$ における受信機の状態量推定値のうち、位置、速度、加速度の推定値 $x_{t-1|t-1}$ 、 $v_{t-1|t-1}$ 、 $a_{t-1|t-1}$ および共分散行列の位置・速度・加速度に関する項 $P^{xya}_{t-1|t-1}$ から、例えば次式にて時刻 t における受信機の位置・速度・加速度 $x_{t|t-1}$ 、 $v_{t|t-1}$ 、 $a_{t|t-1}$ とその共分散行列 $P^{xya}_{t|t-1}$ を予測する。Qはプロセスノイズ行列である。

【0035】

【数 4】

$$x_{t-1} = x_{t-1} + \Delta t \cdot v_{t-1} + 1/2 \Delta t^2 \cdot a_{t-1}$$

$$v_{t-1} = v_{t-1} + \Delta t \cdot a_{t-1}$$

$$a_{t-1} = a_{t-1}$$

$$P_{t-1}^{xva} = \begin{bmatrix} I & \Delta t \cdot I & 1/2 \Delta t^2 \cdot I \\ O & I & \Delta t \cdot I \\ O & O & I \end{bmatrix} P_{t-1}^{xva} \begin{bmatrix} I & \Delta t \cdot I & 1/2 \Delta t^2 \cdot I \\ O & I & \Delta t \cdot I \\ O & O & I \end{bmatrix}^T + Q$$

10

【0036】

G N S S 信号受信部 5 は、G N S S 衛星の測距信号を受信し、航法暦と G N S S 衛星の観測値を出力する。本実施の形態では、測距信号受信部として、G N S S 信号受信部という用語を用いる。

【0037】

衛星位置計算部 6 は、G N S S 信号受信部 5 が出力する航法暦に含まれる G N S S 衛星の軌道情報を用い、各 G N S S 衛星の仕様書に記載の手順に従って、時刻 t における衛星の位置 $X^{sat}(t)$ を計算する。航法暦の他、I G S (I n t e r n a t i o n a l G N S S S e r v i c e s) 等が提供する精密暦等、衛星位置を計算できるものであれば、代用可能とする。

20

【0038】

続いて、補正量推定部 7 の処理について説明する。時刻 t - 1 と時刻 t の間に G N S S 衛星からの信号が障害物で遮断される等による搬送波位相追尾の中断（以下、「サイクルスリップ」という）が生じた場合、つまり、時刻 t - 1 における搬送波位相の値と時刻 t における搬送波位相の値の差が閾値以上である場合、搬送波位相の追尾がリセットされ、時刻 t - 1 までの波数の実数推定値や整数決定値が無効になるため、本実施の形態においては、補正量推定部 7 は、時刻 t - 1 と時刻 t の間にサイクルスリップが生じていないと判断された場合のみ、以下の処理を行なう。サイクルスリップが生じているか否かの判断は補正量推定部 7 で行う。（サイクルスリップが生じたと判断された場合、第 2 の補正量の標準偏差を無限大として、後述の補正量平均化部 8 における第 2 の補正量の重みがゼロになるようにする。サイクルスリップが生じても第 2 の補正量の重みをゼロとせず、使用可能とする手法は、実施の形態 2 で述べる。）

30

【0039】

補正量推定部 7 は、受信機位置予測部 4 が出力した時刻 t における受信機の位置の予測値 $x_{t|t-1}$ および共分散行列の位置に関する項 $P_{t|t-1}^x$ 、G N S S 信号受信部 5 が出力した G N S S 観測値 $P R, C P$ （擬似距離、搬送波位相）、衛星位置計算部 6 が出力した時刻 t における各 G N S S 衛星の位置 $X^{sat}(t)$ および波数（整数値が決定している場合は整数決定値、整数値が決定していない場合は実数推定値）を用いて、時刻 t における第 2 の補正量（擬似距離補正量 $p r c 2$ 、搬送波位相補正量 $c p c 2$ ）およびその標準偏差値 $\sigma_{p r c 2}, \sigma_{c p c 2}$ を計算する。図 3 は、本実施の形態の補正量推定部 7 の動作を説明するための図である。図 3 に示すように時刻 t における幾何学距離を次式で求める。

40

【0040】

【数 5】

$$\sqrt{|X_{t-1} - X^{sat}(t)|^2}$$

そして、時刻 t における擬似距離、搬送波位相、波数から、次式により各衛星の第 2 の補正量 $p r c 2, c p c 2$ を計算する。

$$\cdot p r c 2 = \quad - (\text{擬似距離} - \text{衛星時計誤差} - \text{相対論効果})$$

$$\cdot c p c 2 = \quad - (\text{搬送波位相} - \text{衛星時計誤差} - \text{相対論効果}) - \text{波長} \times \text{波数}$$

50

【 0 0 4 1 】

波数の整数決定値は、後述の位置算出部 9 が出力した値を用いる。波数の整数値が決定していない衛星の波数としては、後述の位置算出部 9 が出力する、時刻 $t - 1$ における波数推定値 $N_{t-1} | t-1$ を用いればよい。上式の衛星時計誤差は、GNSS 衛星の航法暦に含まれる衛星時計誤差の情報から、GNSS 衛星の仕様書の記載の手順に従って計算するものであり、補強情報に含まれる衛星時計誤差とは異なる。相対論効果も同様に、GNSS 衛星の仕様書に記載の手順に従って計算する。

標準偏差は例えば次式にて計算する。

波数の整数値が決定している衛星は、

- ・ $\sigma_{prc2} = \sqrt{\text{（幾何学距離の誤差分散値} + \text{擬似距離の観測誤差分散値）}}$
- ・ $\sigma_{cpc2} = \sqrt{\text{（幾何学距離の誤差分散値} + \text{搬送波位相の観測誤差分散値）}}$

10

波数の整数値が決定していない衛星は、

- ・ $\sigma_{prc2} = \sqrt{\text{（幾何学距離の誤差分散値} + \text{擬似距離の観測誤差分散値）}}$
- ・ $\sigma_{cpc2} = \sqrt{\text{（幾何学距離の誤差分散値} + \text{搬送波位相の観測誤差分散値} + \text{波長}^2 \times \text{波数の推定誤差分散値）}}$

幾何学距離の誤差分散値 σ_p^2 の計算には、共分散行列の位置に関する成分の値を用い、次式にて計算する。

【 0 0 4 2 】

【 数 6 】

20

$$\sigma_p^2 = \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}, \frac{\partial \rho}{\partial y}, \frac{\partial \rho}{\partial z} \right)_{x_{\#-1}} \cdot P_{\#-1}^x \cdot \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}, \frac{\partial \rho}{\partial y}, \frac{\partial \rho}{\partial z} \right)_{x_{\#-1}}^T$$

【 0 0 4 3 】

擬似距離の観測誤差分散値は例えば $0.5^2 [m^2]$ 、搬送波位相の観測誤差分散値は例えば $0.002^2 [m^2]$ など、衛星の信号品質や受信機の処理回路の品質に対して適切な値を設定する。波数の整数値が決定していない衛星の処理における、波数の推定誤差分散値について説明する。波数の推定誤差分散値については、後述の位置算出部 9 の処理で得られる時刻 $t - 1$ における状態量の共分散行列 $P_{t-1} | t-1$ のうち、該当する衛星の波数に対応する対角成分の値を用いる。あるいは、例えば位置算出部 9 でカルマンフィルタを用いて行なう時間時間更新と同等の処理によって、時間更新後の共分散行列 $P_t | t-1$ を求め、そのうち該当する衛星の波数に対応する対角成分の値を用いてもよい。

30

【 0 0 4 4 】

ここで図 4 は、本実施の形態の補正量平均化部 8 で計算された補正量の値と補正量の確率密度との関係を示すグラフである。補正量平均化部 8 は、第 1 の補正量 p_{rc1} 、 c_{pc1} とその標準偏差 σ_{prc1} 、 σ_{cpc1} 、第 2 の補正量 p_{rc2} 、 c_{pc2} とその標準偏差 σ_{prc2} 、 σ_{cpc2} から、実際に使用する第 3 の補正量 p_{rc3} 、 c_{pc3} およびその標準偏差値 σ_{prc3} 、 σ_{cpc3} を計算する。なお、図 8 では、第 1 の補正量を C_1 、その標準偏差を σ_{C1} 、第 2 の補正量を C_2 、その標準偏差を σ_{C2} 、第 3 の補正量を C_3 、その標準偏差を σ_{C3} 、とまとめて表記した。つまり、次の計算式を用い、第 1 の補正量と、第 2 の補正量を、それぞれの標準偏差の値によって重み付けを行い、平均化することで、第 3 の補正量を計算する。

40

【 0 0 4 5 】

【数 7】

$$prc3 = \frac{\frac{1}{\sigma_{prc1}^2} \cdot prc1 + \frac{1}{\sigma_{prc2}^2} \cdot prc2}{\frac{1}{\sigma_{prc1}^2} + \frac{1}{\sigma_{prc2}^2}}$$

【0046】

【数 8】

10

$$cpc3 = \frac{\frac{1}{\sigma_{cpc1}^2} \cdot cpc1 + \frac{1}{\sigma_{cpc2}^2} \cdot cpc2}{\frac{1}{\sigma_{cpc1}^2} + \frac{1}{\sigma_{cpc2}^2}}$$

標準偏差 σ_{prc3} , σ_{cpc3} は次式にて計算する。

【0047】

【数 9】

20

$$\sigma_{prc3} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{\sigma_{prc1}^2} + \frac{1}{\sigma_{prc2}^2}}}$$

【0048】

【数 10】

$$\sigma_{cpc3} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{\sigma_{cpc1}^2} + \frac{1}{\sigma_{cpc2}^2}}}$$

【0049】

30

擬似距離補正量、搬送波位相補正量それぞれについて、時刻 $t-1$ から時刻 t への経過時間に応じて閾値を設定する。第 1 の補正量と第 2 の補正量の差が閾値以上の場合、第 1 の補正量、第 2 の補正量のいずれかの精度を疑われる。差が閾値以上の場合、システムの信頼性の要求に応じて、少なくとも次の 2 通りの処理の内、いずれか一方の処理を選択可能とする。

- ・第 2 の補正量の重みをゼロにし、第 3 の補正量 = 第 1 の補正量とする。
- ・次に補強情報を受信するまでの間、その衛星の補正量の使用を停止する。

【0050】

また通常、補強情報から計算した補正量には受信機の時計誤差やマルチパス等、受信機に起因する誤差補正量は含まれていないため、補正量補間・外挿部 3 で計算した第 1 の補正量には衛星自身に起因する誤差と大気状態に起因する誤差の補正量のみが含まれる。一方、補正量推定値で計算した第 2 の補正量には、受信機に起因する誤差に対する補正量も含まれている。この差異を解消するため、次のいずれかの処理を行なう。

40

・別途受信機に起因する誤差の推定値を保有している場合は、第 2 の補正量からその値を差し引く

・位置算出部 9 で GNSS 衛星の観測値を衛星間一重差に変換している場合は、基準となる衛星を決め、第 1 の補正量、第 2 の補正量をそれぞれ衛星間一重差の補正量に変換して、補正量の平均化は衛星間一重差のレベルで行うこととする。

【0051】

位置算出部 9 は、第 3 の補正量およびその標準偏差 σ_{prc3} 、 σ_{cpc3} と GN

50

S S 観測値および受信機の状態量推定値およびその共分散行列を用いて、受信機の位置算出計算を行う。受信機の位置・速度の推定値 $X_t | t-1$ 、波数が未決定の衛星の波数の推定値 $N_t | t-1$ 、および全状態変数の共分散行列 $P_t | t-1$ 、第3の補正量、GNSS 観測値を用いて、例えばカルマンフィルタによる時間更新および観測更新により、時刻 t における受信機の位置・速度の推定値 $X_t | t$ 、波数の推定値 $N_t | t$ および共分散行列 $P_t | t$ を計算する。第3の補正量の標準偏差は、観測更新における観測ノイズに加えて使用してもよい。搬送波位相の波数の整数値が決定していない衛星については、波数の実数推定値と共分散行列の波数に対応する項の値から、LAMBDA (The Least Squares Ambiguity Decorrelation Adjustment) 等を用いて、整数値の候補を求める。整数解の候補がレシオテストや残差テスト等の検定に合格した場合、波数決定となり、実数推定値を整数値で置き換える。

10

【0052】

次に、本実施の形態の測位処理を、図5のフローチャートを用いて説明する。まず、ステップ1 (S1) においては、新たな補強情報が補強情報受信部1で得られているかどうかを確認する。補強情報が得られている場合は、ステップ2 (S2) において得られた補強情報を補強情報記憶部2に記憶する。補強情報が得られていない場合は、ステップ3 (S3) に移行する。ステップ3 (S3) ではGNSS信号受信部5におけるGNSS観測量の有無や、予め定められた測位周期により、時刻 t において測位を行うかどうかを判断する。時刻 t において測位を行わない場合は、時刻 $t+1$ の処理に移行する。時刻 t において測位を行う場合は、ステップ4~7 (S4~S7) の処理により、各GNSS衛星の補正量を生成する。まず、ステップ4 (S4) において、補強情報記憶部2に記憶された補強情報を用い、補正量補間・外挿部3で時刻 t における第1の補正量を計算する。続いて、ステップ5 (S5) において、補正量推定部7で、サイクルスリップが発生したかどうかを判断する。 $t-1$ における搬送波位相の値と t における搬送波位相の値の差が閾値以上である場合に、サイクルスリップが生じたと判断する。初期化直後等、前時刻のデータがない場合も、サイクルスリップが発生したと判断する。サイクルスリップが発生していないと判断された場合、ステップ6 (S6) において受信機位置予測部4で受信機の位置を予測し、衛星位置計算部6で衛星位置を計算し、それらとGNSS信号受信部5から出力されたGNSS衛星の観測値から、補正量推定部7で時刻 t における第2の補正量を推定する。サイクルスリップが発生したと判断された場合は、ステップ7 (S7) に移行する。ステップ7 (S7) において、第1の補正量と第2の補正量を用いて補正量平均化部8でそれらの重み付け平均によって時刻 t における第3の補正量を計算する。ここでステップ5 (S5) においてサイクルスリップが発生したと判断された場合は、第2の補正量の重みをゼロとし、第1の補正量を第3の補正量とする。各GNSS衛星に対してステップ4~7 (S4~S7) の処理を完了後、ステップ8 (S8) において第3の補正量を用い、位置算出部9で受信機の位置算出を行う。これを繰り返す。

20

30

【0053】

次に、本実施の形態における効果をA)~E)として、以下に説明する。

A) 第1の補正量と第2の補正量の重み付け平均により求めた第3の補正量を位置算出に用いる構成とすることで、補正量の補間・外挿精度の低下による測位精度の低下を避けることができる。同時に、時間的に均一な精度の位置算出解を得ることができる。

40

B) 電離層遅延量等の個別の補正量ではなく、擬似距離補正量、搬送波位相補正量等の合計の補正量を、第1の補正量、第2の補正量として重み付け平均によって第3の補正量を求める構成とすることで電離層遅延以外の補正量の圧縮による誤差が低減できる。

C) 第1の補正量と第2の補正量の重み付け平均により求めた第3の補正量を位置算出に用いる構成としたため、時間経過により第1の補正量の誤差が拡大して第1の補正量の重みが下がっても、第2の補正量と重み付け平均を行なうために位置算出に用いる第3の補正量の重みは上げることができる。このため、時間経過での補正量の誤差拡大による、補正したGNSS観測値の位置算出における重みの低下を避けることができる。

D) 第1の補正量を計算することに加え、第2の補正量を計算する構成としたため、第1

50

の補正量と第２の補正量を比較し、位置算出計算を行う前に補正量の信頼度を評価することが可能となる。両者の補正量の差が著しい等、補間・外挿によって求めた補正量の精度の低下が疑われる場合には、補正量の使用を停止し、大きな測位誤差が生じる危険性を避けることができる。

E) 第２の補正量の計算に補強情報を直接用いない構成としたため、補強情報を取得し損ねた場合等、第１の補正量の計算に最新の補強情報が使用できず第１の補正量の信頼度が低下し、次に補強情報を受信するまで第１の補正量のみを補正量とした位置算出が不可となる場合に、第１の補正量と第２の補正量の重み付け平均によって第１の補正量よりも信頼度が高い第３の補正量を求め、位置算出を可能とすることができる。特にトンネルや高架下が多い都市部等、補強情報を受信し損ねることが頻発すると考えられる状況においては、全体として高精度な位置算出解が得られる時間の比率（アベイラビリティ）が増し、例えばモバイルマッピング等により地図を作成する作業の効率を向上させることができる。

10

【００５４】

実施の形態２．

図６は、本発明を実施するための実施の形態２における測位装置の構成を示すブロック図である。図６に示した本実施の形態の測位装置は、実施の形態１で示した図１の構成に自律航法装置１０およびアンビギュイティ調整部１１が追加されたものである。また、位置算出部９は、自律航法装置１０のセンサのスケールファクタ、バイアス等のセンサの状態量の推定値およびその共分散行列を出力に追加するように構成されている。さらに、本

20

【００５５】

自律航法装置１０は、例えば車両等の受信機の累積走行距離から求めた速度を出力するオドメータ、角速度を出力するジャイロ、加速度を出力する加速度センサなどから構成され、それらセンサの値を受信機位置予測部４に出力する。

【００５６】

受信機位置予測部４は、受信機の位置算出を行う時刻 t の１つ前の時刻 $t-1$ における受信機の状態推定量のうち、位置 $X_{t-1|t-1}$ とその共分散行列の位置に関する項 $P^{x_{t-1|t-1}}$ を初期値とし、後述の位置算出部９で得られたセンサ状態量の推定値を用いてスケールファクタやバイアスを補正する。そして、例えばストラップダウン方式の航法演算によってセンサ出力値から受信機の位置算出を行う時刻 t における受信機位置の予測値 $X_{t|t-1}$ および共分散行列 $P^{x_{t|t-1}}$ を予測する。 $t-1$ と t の間の n 個の時刻においてセンサ出力 s_i ($i=1 \dots n$) が得られる場合、例えば次式の数値積分によって受信機位置の予測値 $X_{t|t-1}$ を計算する。

30

< $i=1 \sim n$ まで繰り返し >

【００５７】

【数１１】

$$x_{i+1} = f(x_i, s_i)$$

【００５８】

40

【数１２】

$$x_0 = x_{t-t-1}, x_{t-t-1} = x_n$$

一般に f は、センサの仕様や取り付け位置によって決まる非線形の関数である。共分散行列 $P^{x_{t|t-1}}$ は、例えば次式のように線形化した f を用いて数値積分によって求める。 dQ はプロセスノイズ行列である。実施の形態１の場合と比較して１ステップの時間幅が短いため、 Q ではなく dQ と記載している。

< $i=1 \sim n$ まで繰り返し >

【００５９】

【数 1 3】

$$P_{i+1} = \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_{x_i, s_i} \cdot P_i \cdot \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_{x_i, s_i}^T + dQ$$

【0 0 6 0】

【数 1 4】

$$P_0 = P_{t-\Psi-1}, P_{\Psi-1} = P_n$$

【0 0 6 1】

補強情報受信部 1、補強情報記憶部 2、補正量補間・外挿部 3、GNSS 信号受信部 5、衛星位置計算部 6 の動作は実施の形態 1 と同じである。

10

【0 0 6 2】

補正量推定部 7 の動作は次の点を除き、実施の形態 1 と同じである。実施の形態 1 においては、時刻 $t-1$ と時刻 t の間にサイクルスリップが生じていないと判断された場合のみ、補正量推定部 7 の処理を行ない、サイクルスリップが生じたと判断された場合は、第 2 の補正量の標準偏差を無限大にし、補正量平均化部 8 の計算における第 2 の補正量の重みがゼロになるようにした。本実施の形態では、サイクルスリップが生じていないと判断された場合は実施の形態 1 と同じ処理で、サイクルスリップが生じたと判断された場合は、次式により、第 2 の補正量 ($p r c 2$ 、 $c p c 2$) とその標準偏差 ($_p r c 2$ 、 $_c p c 2$) を計算する。

20

- ・ $p r c 2 =$ (擬似距離 - 衛星時計誤差 - 相対論効果)
- ・ $c p c 2 =$ (搬送波位相 - 衛星時計誤差 - 相対論効果)
- ・ $_p r c 2 =$ (幾何学距離の誤差分散値 + 擬似距離の観測誤差分散値)
- ・ $_c p c 2 =$ (幾何学距離の誤差分散値 + 搬送波位相の観測誤差分散値)

各項の記載の詳細は、実施の形態 1 の説明を参照されたい。

次に、アンビギュイティ調整部 11 の動作を図 7 により説明する。アンビギュイティ調整部 11 は、補正量推定部 7 が出力した第 2 の補正量のうち搬送波位相補正量の波数のアンビギュイティを調整するが、時刻 $t-1$ と時刻 t の間にサイクルスリップが生じたと判断された場合にのみ、その処理を行なう。すなわち、サイクルスリップが生じた場合、時刻 $t-1$ までの波数 (整数値が決定している場合は整数決定値、未決定の場合は実数推定値) が用いられず、時刻 t における第 2 の補正量の搬送波位相補正量は波数をゼロとして計算されるため、第 2 の補正量の搬送波位相補正量には波長の整数倍の曖昧さが生じている。図 7 では第 1 の補正量の搬送波位相補正量を C_1 、第 2 の補正量の波長の整数倍の曖昧さがある搬送波位相補正量を C_2 と表記した。そのため、第 1 の補正量と第 2 の補正量の差が大きくなり、そのまま補正量平均化部 8 で平均化してしまうと、第 3 の補正量に大きな誤差が生じてしまう。そこで第 3 の補正量に大きな誤差が生じることを避けるため、第 1 の補正量の値を利用して、第 2 の補正量の搬送波位相補正量の計算時に適用されるべきであった波数の仮定値を求め、その仮定値を適用した第 2 の補正量と、第 1 の補正量を平均化する。

30

具体的には、

40

差分 $D i f =$

| 第 1 の補正量の搬送波位相補正量 - (第 2 の補正量の搬送波位相補正量 - 波長 $\times N 1$)
| が最小化されるような $N 1$ と 2 番目に最小化されるような $N 2$ を求め、
 $N 1$ を適用した場合の差分 $D i f 1$ と、 $N 2$ を適用した場合の差分 $D i f 2$ の差の絶対値
| $D i f 1 - D i f 2$ | が規定値以上の場合に、 $N 1$ を前記仮定値として採用する。
| $D i f 1 - D i f 2$ | が規定値以上であることにより、 $N 1$ が正しいことを判断する。
| $D i f 1 - D i f 2$ | が規定値以下の場合、第 1 の補正量が第 2 の補正量のいずれかの精度が疑われる。この場合、システムの信頼性の要求に応じて、少なくとも次の 2 通りの処理の内、いずれか一方の処理を選択可能とする。

- ・ 補正量平均化部 8 において第 2 の補正量の重みをゼロにし、第 3 の補正量 = 第 1 の補正

50

量とするようにする。

・次に補強情報を受信するまでの間、その衛星の補正量の使用を停止する。

補正量平均化部 8 の動作は、実施の形態 1 と同じである。

位置算出部 9 は、第 3 の補正量とその標準偏差 σ_{prc3} 、 σ_{cpc3} と GNSS 観測値および受信機と自律航法センサの状態量およびその共分散行列を用いて位置算出計算を行う。受信機の位置の推定値 $X_{t|t-1}$ 、波数が未決定の衛星の波数の推定値 $N_{t|t-1}$ 、センサの状態量の推定値 $S_{t|t-1}$ 、および全状態変数の共分散行列 $P_{t|t-1}$ と、第 3 の補正量、GNSS 観測値を用いて、例えばカルマンフィルタによる時間更新および観測更新により、時刻 t における受信機の位置の推定値 $X_{t|t}$ 、波数の推定値 $N_{t|t}$ 、センサ状態量の推定値 $S_{t|t}$ および共分散行列 $P_{t|t}$ を計算する。第 3 の補正量の標準偏差は、観測更新における観測ノイズに加えて使用してもよい。搬送波位相の波数の整数値が決定していない衛星については、波数の実数推定値と共分散行列の波数に対応する項の値から、 $LAMBDA(The Least Squares Ambiguity Decorrelation Adjustment)$ 等を用いて、整数値の候補を求める。整数解の候補がレシオテストや残差テスト等の検定に合格した場合、波数決定となり、実数推定値を整数値で置き換える。

【0063】

次に、本実施の形態の測位処理を、図 8 のフローチャートを用いて説明する。ステップ 1 (S1) ~ ステップ 5 (S5) までの処理は、実施の形態 1 と同じである。実施の形態 2 では、ステップ 5 (S5) においてサイクルスリップが発生していないと判断された場合、ステップ 6 (S6) において自律航法装置 10 から自律航法装置のセンサデータを取得し、受信機位置予測部 4 で受信機の位置を計算し、衛星位置計算部 6 で衛星位置を計算し、それらと、GNSS 信号受信部 5 から出力された GNSS 衛星の観測値から、補正量推定部 7 で時刻 t における第 2 の補正量を推定する。サイクルスリップが発生したと判断された場合は、ステップ 7 (S7) において自律航法装置 10 から自律航法装置のセンサデータを取得し、受信機位置予測部 4 で受信機の位置を計算し、衛星位置計算部 6 で衛星位置を計算し、それらと、GNSS 信号受信部 5 から出力された GNSS 衛星の観測値から、補正量推定部 7 で時刻 t における第 2 の補正量を推定する。ただし第 2 の補正量の搬送波位相補正量の計算においては、波数の値はゼロとして計算する。続いて、ステップ 8 (S8) において、アンビギュイティ調整部 11 で、第 1 の補正量の値を利用して、波数をゼロとしたことによる第 2 の補正量のアンビギュイティを調整する。続いて、ステップ 9 (S9) において、第 1 の補正量と第 2 の補正量を用いて補正量平均化部 8 でそれらの重み付け平均によって時刻 t における第 3 の補正量を計算する。各 GNSS 衛星に対してステップ 4 ~ 9 (S4 ~ S9) の処理を完了後、ステップ 10 (S10) において第 3 の補正量を用い、位置算出部 9 で受信機の位置算出を行う。これを繰り返す。

【0064】

次に、本実施の形態における特有の効果を A) ~ C) として、以下に説明する。本実施の形態では、本発明の実施の形態 1 の効果に加え、以下の効果が得られる。

A) アンビギュイティ調整部 11 を構成要素として追加することで、時刻 $t-1$ と時刻 t の間にサイクルスリップが生じた場合にも、第 2 の補正量を利用することができる。

B) 受信機位置予測部 4 の入力に自律航法装置 10 のセンサデータを追加することで、トンネルや高架下等で GNSS 衛星が不可視の時間が継続しても、実施の形態 1 の場合と比較してより高い精度で時刻 t における受信機位置を求めることができ、したがってより高精度な第 2 の補正量を推定することができる。

C) 図 9 は、本実施の形態による測位装置の動作効果を説明するための図である。図 9 に、1 つの受信機 ((a) ~ (c)) を示し、左から右に時間経過に伴う受信機の位置の移動を示す。受信機が (a) の位置に移動したとき、準天頂衛星等の補強情報を配信する衛星と GNSS 衛星の両方が受信機からみて可視である。受信機が (b) の位置に移動したとき、トンネル等を通過することによって、受信機からみて衛星が不可視になる区間を通っている状態である。そして、受信機がトンネル等を通過した後である (c) の位置に

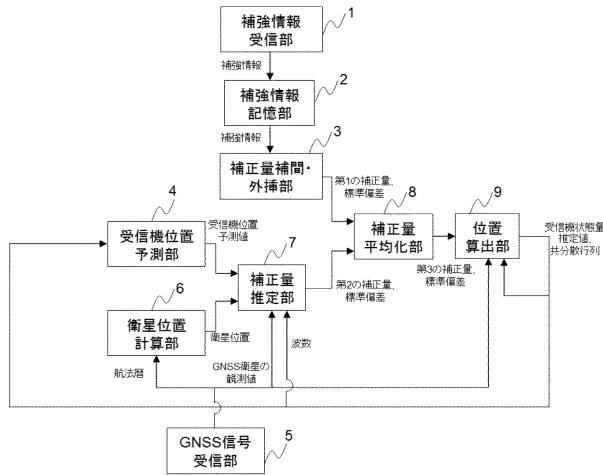
移動したとき、受信機からみて衛星が、再度、可視になるとする。補強情報は、受信機が（a）～（c）のいずれの位置に移動したときでも衛星からGNSS測位装置に継続して配信されている状態にある。受信機が（a）の位置に移動したとき、受信機に接続されているGNSS測位装置は、GNSS衛星から補強情報を受信し、次に補強情報を受信するまでの間、補正量の外挿を行なう。図9中の不可視区間に入る前までの、「Fix状態」とは、前述の規定数以上のGNSS衛星の信号の波数が決定し、 $X_t | t$ が高精度に求まっている状態を示す。受信機が（b）の位置に移動したときも、GNSS衛星は、GNSS測位装置に補強情報を配信しているが、受信機は不可視区間を走行しているため、受信機に接続されているGNSS測位装置は最新の補強情報を得ることができない。そのため、再度可視になった直後は、GNSS測位装置は、（a）の位置に移動したときまでに得た補強情報から求めた第1の補正量と、不可視区間中、自律航法装置から予測した受信機の位置から計算した第2の補正量との重み付けによって第3の補正量を求め、測位計算を行う。その後の受信機が（c）の位置でGNSS測位装置が補強情報を受信するまでの間は、GNSS測位装置は、受信機が（a）の位置に移動したときに得た補強情報から求めた第1の補正量と、可視になった直後の位置算出結果による位置推定値を初期値とした航法装置から予測した受信機の位置から計算した第2の補正量、との重み付けによって第3の補正量を求め、受信機の位置算出計算を行う。図9に示すように、都市部におけるGNSS測位装置においては、受信機がトンネルや高架下を通過している場合、GNSS測位装置が補強情報を受信し損ねてしまい、補正量補間・外挿部3で第1の補正量を計算するために、最新の補強情報を利用できなくなる。このような場合、例えば過去の複数の時刻における補正量を補強情報から計算する場合、衛星が不可視の区間を出た直後のGNSS衛星の観測値の補正量は、最新の補強情報から計算できたはずの補正量の時刻に対して一つ過去の時刻における補正量から外挿して求めなければならず、補正量の精度が低下する。そこで不可視区間に入る直前で規定数以上のGNSS衛星の信号の波数が決定し $X_t | t$ が高精度に求まっている場合、それを初期値として自律航法装置で位置を予測することで、数秒～数10秒程度であれば、第2の補正量の推定が可能な位置予測精度を維持することができ、前述の外挿による第1の補正量の精度の低下を補償することができる。自律航法装置を用いた位置予測の精度は実施の形態1における受信機位置予測部における予測精度よりも高く、トンネルや高架下を通過時などの長時間の予測に有効である。予測が可能な時間は、自律航法装置10のスペックに依存する。

【符号の説明】

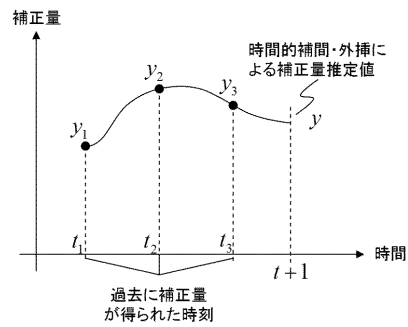
【0065】

1 補強情報受信部、2 補強情報記憶部、3 補正量補間・外挿部、4 受信機位置予測部、5 GNSS信号受信部、6 衛星位置計算部、7 補正量推定部、8 補正量平均化部、9 位置算出部、10 自律航法装置、11 アンビギュイティ調整部

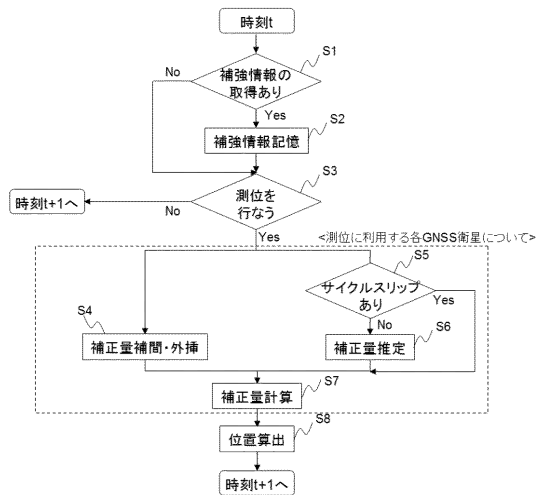
【図1】



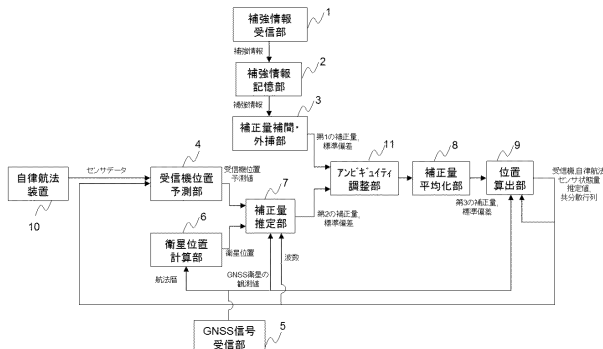
【図2】



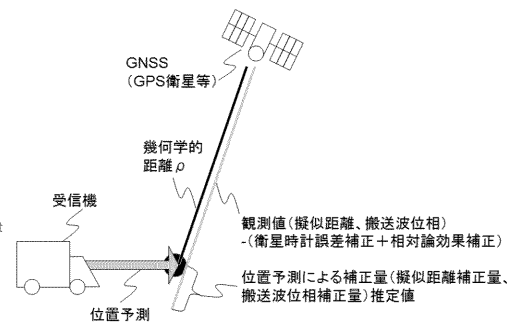
【図5】



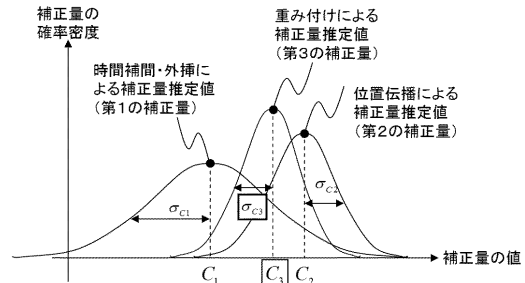
【図6】



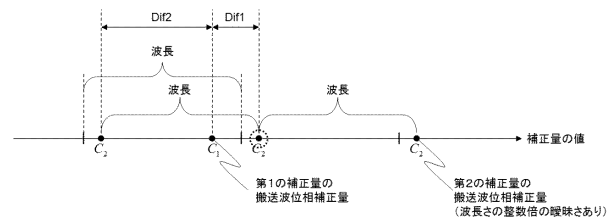
【図3】



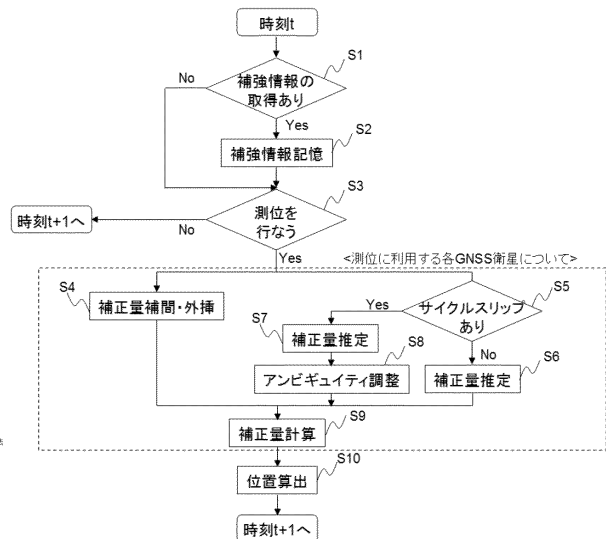
【図4】



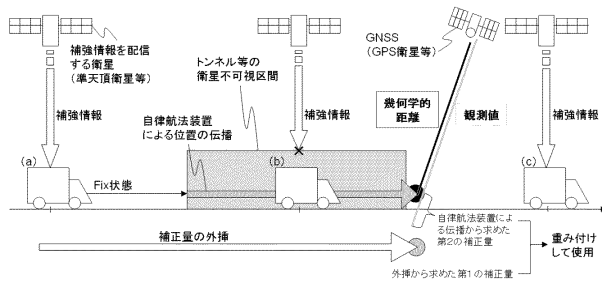
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 宮 雅一

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 三田村 陽平

(56)参考文献 特開2006-105721(JP,A)

特開2011-221035(JP,A)

特開2008-058164(JP,A)

特開2010-112725(JP,A)

特開2011-112576(JP,A)

特開2006-162292(JP,A)

特開2000-180525(JP,A)

特開平11-190771(JP,A)

米国特許第05477458(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 19/00 - 19/55