

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6037603号  
(P6037603)

(45) 発行日 平成28年12月7日(2016.12.7)

(24) 登録日 平成28年11月11日(2016.11.11)

(51) Int.Cl.		F I	
<b>GO 1 S</b>	<b>19/27</b>	<b>(2010.01)</b>	GO 1 S 19/27
<b>GO 1 S</b>	<b>19/25</b>	<b>(2010.01)</b>	GO 1 S 19/25
<b>GO 1 S</b>	<b>19/11</b>	<b>(2010.01)</b>	GO 1 S 19/11

請求項の数 9 (全 19 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2011-176112 (P2011-176112)</p> <p>(22) 出願日 平成23年8月11日 (2011.8.11)</p> <p>(65) 公開番号 特開2013-40790 (P2013-40790A)</p> <p>(43) 公開日 平成25年2月28日 (2013.2.28)</p> <p>審査請求日 平成26年7月1日 (2014.7.1)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000166247 古野電気株式会社 兵庫県西宮市芦原町9番52号</p> <p>(73) 特許権者 501396026 イーライド、インク。 eRide, Inc. アメリカ合衆国 カリフォルニア州、サン フランシスコ ザ プレジディオ オブ サンフランシスコ スーツ310 ビルデ ィングC ワン レターマン ドライブ One Letterman Drive , Bldg. C, Suite 310 T he Presidio of San Francisco San Franc isco, CA USA</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 長期コンパクト衛星モデル

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

軌道上のGPS衛星からエフェメリス、クロック、およびアルマナック情報を収集し、その情報を少なくとも1週間有効であり有用な拡張エフェメリス予測を構築するために使用することができるネットワーク・サーバと、

その位置と共に、受信機の位置fixに対する演算における前記拡張エフェメリス予測を前記ネットワーク・サーバに要求および使用することができるモバイル・クライアントとを備えたネットワーク対応の拡張エフェメリス航法システムにおいて、

前記ネットワーク・サーバは、

少なくとも連続する7日間のうちの1日の特定の時間帯をそれぞれ表わす幾つかの連続した長期コンパクト衛星モデルを構築する、衛星位置およびクロックの4時間の短期のコンパクト短期衛星モデル構築およびデータベース・ユニットを備え、前記モバイル・クライアントに前記長期コンパクト衛星モデルを送信するように構成され、

前記モバイル・クライアントからの、可視可能な軌道上のGPS衛星を探索および追跡するための拡張エフェメリス予測の要求に回答して、4時間の短期のコンパクト短期衛星モデルを構築し、長期コンパクト衛星モデルより先に前記モバイル・クライアントに送信するように構成され、

前記モバイル・クライアントは、前記4時間の短期のコンパクト短期衛星モデルを、その後可視となるGPS衛星を捕捉および追跡するための探索中に使用する、ネットワーク対応の拡張エフェメリス航法システム。

10

20

## 【請求項 2】

前記サーバと前記モバイル・クライアントとの間の制限付き通信チャンネルに送信される長期コンパクト衛星モデルのメッセージ・シーケンスであって、少なくとも1つのデルタ長期衛星モデルが後に続く完全な長期コンパクト衛星モデルを送ることをさらに備え、

前記デルタ長期衛星モデルは、その対応する長期コンパクト衛星モデルがどのように前の完全な長期コンパクト衛星モデルと異なるかを表現するために、最小数のデータ・ビットを使用する請求項1記載のネットワーク対応の拡張エフェメリス航法システム。

## 【請求項 3】

前記サーバでの観測基準点として使用し、エフェメリス、クロック、およびアルマナック情報のダウンロードに制限されている専用GPS受信機をさらに備える請求項2記載のネットワーク対応の拡張エフェメリス航法システム。

10

## 【請求項 4】

可能な場合は常に、前記モバイル・クライアントは、それが前記サーバから前に得た任意のクロック・モデル情報を、軌道上のGPS衛星から直接得るクロック・モデル情報で代用する請求項3記載のネットワーク対応の拡張エフェメリス航法システム。

## 【請求項 5】

すべての衛星エフェメリスおよびクロックの推定値を、現在時刻で終了する1週間の範囲のそれらがリアルタイムで到達するように、収集するように設けられた処理をさらに備え、

各衛星エフェメリスおよびクロックの推定値の更新は、それぞれのGPS衛星に対する使用中の衛星クロックおよび位置モデルにおいて積分され、これらのクロックおよび位置モデルは、各衛星に作用する力をすべて特徴づけ、それらを $x, y, z$ の位置形式で伝搬する請求項4記載のネットワーク対応の拡張エフェメリス航法システム。

20

## 【請求項 6】

1週間のエフェメリス履歴が、今後1週間の軌道の期待誤差(ECEF座標系におけるデルタ $x$ 、デルタ $y$ 、およびデルタ $z$ )を秒単位で演算するために使用される処理をさらに備える請求項5記載のネットワーク対応の拡張エフェメリス航法システム。

## 【請求項 7】

前記誤差が1軌道周期ベースでグラフ化される場合に、反復する特徴の形状が今後成長する測定可能な時間ベースによって特定され、成長係数を演算することができる1軌道周期の成長多項式モデルによって、1軌道周期の基準曲線として誤差をモデル化する処理をさらに備える請求項6記載のネットワーク対応の拡張エフェメリス航法システム。

30

## 【請求項 8】

前記衛星の機体軸で演算される成長係数を持った1軌道周期の成長多項式モデルをさらに備える請求項7記載のネットワーク対応の拡張エフェメリス航法システム。

## 【請求項 9】

今後1週間の位置およびクロックの誤差を予測し、期待誤差で前記軌道を補正する処理をさらに備える請求項8記載のネットワーク対応の拡張エフェメリス航法システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

40

## 【0001】

本発明は、航法受信機に関し、特に、被支援型GPS受信機がサーバからコンパクトなデータを、たとえそれらのネットワーク接続が希にのみ完了することができるのであってもダウンロードすることを可能にする全地球測位システム(GPS)衛星の軌道およびクロックの長期モデルの構築および使用に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

携帯電話機およびデジタル・カメラは、撮った写真に対するそれらのユーザおよび位置の位置fixを提供するGPS航法受信機を通常装備している。これらの埋込み型のGPS航法受信機は、サーバから衛星エフェメリスおよびアルマナック・データをダウンロードするこ

50

とができる被支援型 (A-GPS) であり、従って、衛星自体から情報を直接収集する必要がない際の通常の長い時間を待つ必要がない。

【 0 0 0 3 】

GPSシステムでは、20,200kmの高度で地球を周回する少なくとも24基の衛星が、最低6基の衛星がユーザにいつでも見えるように軌道上を所定の間隔で配置されている。そのような衛星はそれぞれ、正確な時間および位置の信号を送信する。GPS受信機は、それに達するまでの信号の時間遅れを測定し、この時間遅れから見掛けの受信機・衛星間距離が演算される。このような少なくとも4基の衛星からの測定は、GPS受信機がその三次元位置、速度、およびシステム時間を演算することを可能にする。

【 0 0 0 4 】

受信機位置に対する解は、適切な衛星の各々が3次元空間のどこに存在するかを知ること依存している。それぞれの位置は、1組のケプラー方程式に属するパラメータとして報告される。従来のGPSシステムでは、GPSのエフェメリスは、表Iの項目をすべて含んでいる。

【表1】

表I

GPSエフェメリス・メッセージ

名前	記号
エフェメリスの基準時刻	toe
半長軸の平方根	$\sqrt{a}$
離心率	e
軌道傾転角 (toe時)	i0
昇交点経度	$\Omega_0$
近地点離角 (toe時)	$\omega$
平均近点角 (toe時)	M0
軌道傾転角の変化率	di/dt
昇交点経度の変化率	$\dot{\Omega}$
平均運動補正	$\Delta n$
緯度離角の余弦補正の振幅	Cuc
緯度離角の正弦補正の振幅	Cus
軌道半径の余弦補正の振幅	Crc
軌道半径の正弦補正の振幅	Crs
軌道傾転角の余弦補正の振幅	Cic
軌道傾転角の正弦補正の振幅	Cis

【 0 0 0 5 】

エフェメリス・メッセージの有効期間に、航法受信機にダウンロードされた完全なGPSエフェメリス・メッセージ情報を使用して、衛星のほぼ正確な位置および速度ならびにそのクロック (時間) オフセットを、その飛行中の任意の一瞬間のGPS時間から演算することが可能である。これは、勿論、GPSエフェメリス・メッセージをダウンロードすることができるものと考えられる。

【 0 0 0 6 】

GPS衛星の演算された位置は、これらのパラメータの殆どの小さな変化に非常に敏感であり、従って、各エフェメリスのダウンロード中に完全にそれらを通信することが必要で

10

20

30

40

50

ある。しかし、2005年12月15日に発行された米国特許出願第2005/0278116A1号に記述されるように、軌道傾転角の2つの高調波補正(CicおよびCis)がそれほど致命的ではないことも認められている。eRide社(カリフォルニア州サンフランシスコ)は、少なくとも、これらの2つのパラメータのうちの1つがゼロにセットされ、衛星位置の演算に使用されない「コンパクトな」衛星モデルを通信する。解の精度を著しく低下させることはない。二次クロック時間オフセットは、同様に僅かなインパクトしかなく、無視されることができる。

#### 【0007】

それは、周回軌道衛星およびそれらの軌道についてすべて記述する完全なアルマナックおよびエフェメリスを収集することができるようにGPS航法受信機に最低12.5分間の連続運転が必要である。多くのデータが存在し、この情報(navData)を転送するために使用される50Hzの変調は、非常に遅い。受信機の信号強度もまた、navDataの副キャリアを復調することが可能なように良好でなければならない。従って、時間不足および/または強い信号の不足は、迅速に最初の位置fixを得ようとするユーザにフラストレーションを感じさせることがある。

10

#### 【0008】

従来の受信機は、前の運用セッションにおいてアルマナック・データを格納することによってこの問題を解決する。その後、現在収集したエフェメリスデータは、格納されたアルマナック・データと比較され、何を更新する必要があるかを判断する。従って、より完全に更新されたアルマナックが構築され、今後のコールド・スタート時に即座に利用可能となるように受信機自体で維持される。

20

#### 【0009】

ネットワーク・サーバからの従来の衛星エフェメリスおよびアルマナック・データは、より速く古くなり、従って、A-GPS航法受信機は、少なくとも毎日、サーバに接続する必要がある。精度を変動させる典型的な見通し線(Los)は、通常容認される適用可能性範囲のエフェメリス時間(toe)の中心の後、4時間以内に25メートル以上も劣化する。現在、GPS衛星は、2時間毎に新しいエフェメリスを放送し、エフェメリス時間は、新しいモデルへの移行時の1時間後である。GPS衛星が12時間の軌道を移動するので、前のセッションからのモデルの使用は、位置fixを、最後のセッションの後に僅か5時間しか許容しない。これらのfixは、可視衛星の数が3基以下に低下した場合に劣化する。携帯電話機およびカメラが使用される方法の現実性を考えると、サーバに毎日接続することは可能ではないし現実的でもない。

30

#### 【0010】

他の拡張支援技術が、リアルタイムの被支援型GPSの技術を越えて発展した。頭上を飛ぶ衛星から受信している実際のエフェメリス情報を待つ代わりに、合成等価物が予測され、予めロードされる。そのような予測情報(つまり、「拡張エフェメリス」)は、1週間有効な衛星の今後のエフェメリスの推定値である。合成支援が装置で利用可能な場合には、GPSの起動時間は、サーバ処理がまったく必要ないのでリアルタイム支援技術と比べて短くすることができる。

#### 【0011】

2種類の拡張エフェメリス解が現在のところ標準であり、ネットワークに対応し完全に自律している。ネットワーク対応解は、予測サーバに周期的なデータのダウンロードを要求する。完全自律解は、ネットワーク・サポートを必要とせず、自身の衛星観察から自身の合成支援を学習し生成する。

40

#### 【0012】

完全自律解は、場合によっては不便な制限をし、実際に見ている衛星に対するデータだけを予測することができ、導出したデータは、その精度があまりに低下するまで3日間、使用可能である。ネットワーク対応解は、より長く、より正確な予測を提供し、衛星群全体に対して場合によっては10日ないし2週間、有効である。

#### 【0013】

50

拡張エフェメリス解は、市場入手可能になったが、その特徴を実施した各チップセット販売者に厳密に所有権が残っている。チップセット所有者のネットワーク対応解は、通常はサーバ上の予測データを演算し、そして携帯機器に周期的にダウンロードされる。これらのサーバ・ベースの予測技術は、一般に、典型的には1衛星群当たり50～80キロバイト程度の、実質的に週毎のデータ・ペイロードを課する。広帯域データの接続性が問題となるか、または、高価過ぎることがある用途では、そのようなオーバーヘッドには高価過ぎて手が出ない。

【0014】

受信ネットワークは、チップセットから独立したネットワーク対応および完全自律の両方の拡張エフェメリス解を販売している。予測作業はすべて、共通のアーキテクチャを通じて装置上でなされる。ネットワーク対応装置では、毎週のデータ・ペイロードは1衛星群当たり約2キロバイトであり、SMSまたはFM RDS接続を通じた配布には十分小さい。予測データは、クライアント装置に実際には送信されない。

10

【0015】

必要なのは、新しい航法メッセージ情報を得るべく、サーバからのデータのダウンロード間の、一週間程度まで被支援型GPS受信機を有効にすることができるGPS衛星軌道およびクロックのコンパクト長期モデルである。

【発明の開示】

【0016】

簡潔には、本発明の改良されたネットワーク対応の拡張エフェメリス航法システムの実施形態は、軌道上のGPS衛星からエフェメリス、クロック、およびアルマナック情報を収集することができ、その情報を、少なくとも1週間有効で有用な拡張エフェメリス予測を構築するために使用するネットワーク・サーバを備えている。モバイル・クライアントは、それから見える軌道上のGPS衛星を探索および追跡するための拡張エフェメリス予測を要求および使用することができる。その改良は、モバイル・クライアントからの拡張エフェメリス予測の要求に応じて最初に送られるコンパクトな短期衛星モデルを構築し、また、少なくとも連続する7日間のうちの1日の固有部分をそれぞれ表わす幾つかの連続した長期衛星モデルを構築する、衛星位置およびクロックのコンパクト・モデル構築およびデータベース・ユニットによって特徴づけられる。

20

【図面の簡単な説明】

30

【0017】

本発明の詳細な記述他の目的および利点は、様々な図面で図示される好ましい実施形態の次の詳述を読んだ後で、当業者にとっては疑いなく明白になるであろう。

【図1】クライアントGPS受信機の拡張エフェメリス・サポート用のネットワーク・サーバおよびモバイル装置のシステムの実施形態の機能ブロック図である。

【図2】クライアントGPS受信機の拡張エフェメリス・サポート用の衛星モデルを構築し、通信し、再構築する本発明の方法の実施形態の機能ブロック図である。

【図3】短期および長期コンパクト衛星モデルがどのように送信に対して命じられ、使用され、更新されるかを表わす図である。

【図4】本発明の実施形態で使用される機体座標系の図である。

40

【図5】LTSCM基準時刻が特定のNANUメッセージに亘る期間の内側または外側であるケースI-IIの図である。

【図6】本発明のLTSCMの実施形態を構築および供給するサーバの方法のフローチャートである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

図1は、本発明の被支援型GPS航法受信機システムの実施形態を表わし、一般参照数字100によってここでは参照する。すべての軌道上のGPS衛星102の衛星群は、世界中で受信することができるGPS航法メッセージを放送している。

【0019】

50

GPS航法メッセージは、GPS衛星位置、クロック・オフセット、および他のシステム・パラメータについて記述するパラメータを含んでいる。航法メッセージは、毎秒50ビットで送信される300ビットのシーケンスの5個のサブフレームにそれぞれ分割された25個のデータフレームを含む。従って、サブフレームはそれぞれ6秒を必要とし、各フレームは30秒、25個のフレームの全セットは、完全に受信するのに12.5分掛かる。サブフレーム番号1, 2, および3は、完全な軌道およびクロックの記述、ならびにそれらを送信している衛星に関する他のメッセージに対してリザーブされている。サブフレーム4および5は、すべての衛星に共通のすべての衛星およびシステム・データに対する略した軌道およびクロック・データを担持している。GPS受信機は、データ・ビットを整列させ、それらにエラーがないかをパリティ・アルゴリズムでチェックし、それらを特定のパラメータを表わすセットに分け、それらを計り、そのビットを数値形式および特定の単位に変換する。例えば、メートル(m)、 $m^2$ 、半円、ラジアン、秒、秒/秒、秒/秒<sup>2</sup>、および週である。パラメータはそれぞれ、位置および時間の推定値を導出するためにGPS受信機によって必要とされる基礎を提供する。必要とされる様々なアルゴリズムは、ナビスターのGPS共同プログラム・オフィス(Navstar GPS Joint Program Office)のインタフェース制御に関する文献ICD-GPS-200Cで規定されている。

#### 【0020】

GPS衛星102に対する軌道位置およびクロックについて記述するGPS航法メッセージおよびすべてのエフェメリスおよびアルマナックは、多数の二次ソースから通常アクセス可能であり、これらのうちの幾つかがインターネットに接続される。例えば、米国の全国測地測量は、継続的に運用される観測基準点(CORS: Continuously Operating Reference Station)のサービスを提供する。CORSのサイトはそれぞれ、米国およびその領土全体の三次元測位活動を支援する全地球的衛星航法システム(GNSS: GPSおよびGLONASS)のキャリア位相およびコード・レンジの測定値を提供する。図1は、アンテナ104およびGPS受信機106がGPS航法メッセージ全体を私的に収集するために連続的に動作する代案を示している。

#### 【0021】

GPS受信機106は、非常に単純で安価な装置であることができ、それがしなければならないのは、すべての可視のGPS衛星から航法メッセージをダウンロードすることである。たとえ受信機が位置を演算しても、それがサーバで与えるアルゴリズムが航法データだけを使用し、GPSレンジに関連する観察を使用しないので、電離圏を除去するためのより高価な2重周波数追跡能力または測距能力を改良するための高度なマルチパス除去を必要としない。

#### 【0022】

ネットワーク・サーバ110は、アンテナ104と、専用衛星位置およびクロックのコンパクト・モデル構築およびデータベース112を提供するためのGPS受信機106とを備えることができる。米国沿岸警備隊およびGPSオペレーション・センタによるGPS衛星の現在および過去の運用状態、停止情報(NANU)113における、インターネット上の公に放送される情報は、長期コンパクト衛星モデル(LTCSM)を構築するために、専用衛星位置およびクロックのコンパクト・モデル構築およびデータベース112によって使用される。NANU報告113は、例えばwww.navcen.uscg.gov/gps/Current/current.oa1から毎日ダウンロードされる。

#### 【0023】

すべての衛星に対する完全な情報を常に利用可能にしておくために、GPS受信機は、地球の周囲の戦略的位置に配置されるべきであり、その結果、すべてのGPS衛星が、少なくとも2時間以内に見えるようになり、それらのうちのいずれかからのすべての放送エフェメリスを観察し考慮することができる。

#### 【0024】

長期の衛星位置およびクロックのコンパクト・モデル・サーバ114は、インターネット上の加入者に提示される。加入検証ユニット116は、そのオペレータの収益を生じさせるための個々の加入を管理する。無線送受信機118または電話回路網は、無線ネットワーク120(例えば、Wi-Fi、ブルートゥース、携帯電話機、GSMなど)とインタフェース接続する

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 5 】

携帯電話機またはデジタル・カメラなどのモバイル装置130は、携帯型且つ移動式であり、そのユーザによって1日のうちに何度もオン/オフされる。さらに、モバイル装置130は、無線ネットワーク120とそれ自身の無線送受信機132との間の信号およびサービス障害に頻繁に晒される。これは、サーバ114から専用衛星位置およびクロックのコンパクト・モデルをモバイル装置130が非常に頻繁にまたはユーザが迷惑しない程度に速くダウンロードすることができるようにすることを不可能または非実用的にする。

## 【 0 0 2 6 】

従って、本発明の幾つかの実施形態では、サーバ110によって提供される専用衛星位置およびクロックのコンパクト・モデルは、加入者によってダウンロードされた後で、少なくとも1週間は実行可能なように構築される。

## 【 0 0 2 7 】

長期コンパクト・モデル再構築ユニット134は、ホスト・プラットフォーム136によってサポートされる。処理は、現在のエフェメリスおよびクロックの推定値をICD-GPS-200型の15個のパラメータ形式で生成する。ホスト・プラットフォーム処理は、より良好にGPS受信機と適合するデータを抽出するためにインターネット・プロトコル形式を除去する。eRide社（カリフォルニア州サンフランシスコ）のPVT受信機は、例えば、NMEA ASCII形式でデータを受信し、それによって、インターネット・パケット・ペイロードが抽出され、ASCIIペイロードに変換される。eRide社のMP受信機は、例えば、機能呼出しに応じてホストからデータを直接受信することができる。ホストは、インターネット形式をMPクライアント・ソフトウェアの在来形式に変換する。

## 【 0 0 2 8 】

GPS衛星140の可視の衛星群は、アンテナ142およびGPS受信機144によって測定することができるGPS衛星102の局所的な部分集合である。完全なGPS航法メッセージは、コールド・スタートの直後でさえ、本質的に既に長期コンパクト・モデル再構築ユニット134の手元にある。従って、位置fixを演算するためにGPS衛星140の可視の衛星群から必要なものは、衛星140に対する擬似レンジの測定値だけである。これらは、より速く収集することができる。その結果は、航法解および表示装置146によって掲示される。弱い信号状態では、eRide社の「ブレッドクラム（breadcrumb）」技術を含むことで、GPS PRNコード位相の曖昧さの範囲内の相対的位置fixを可能にする基準位置を提供することができる。そのような「ブレッドクラム」は、GSMモデムまたはeRide社のサーバからのWiFiアクセス・ポイントで得ることができる。また、ユーザがおおよその位置を提供することを許可されることもある。10秒間でブレッドクラムおよびLTCSMのおおよその時間を組み合わせることは、非常に高感度の高速な初回測位時間（TTFF）を可能にすることができる。

## 【 0 0 2 9 】

図2は、専用衛星位置およびクロックのコンパクト・モデル構築およびデータベース112と長期コンパクト・モデル再構築ユニット134との動作に関する詳細を提供し、それらの両方が図1に示されている。コンピュータ・プログラム200は、例えば、サーバ110とモバイル装置130との間に分散され、これらによってそれぞれ実行される。処理202は、リアルタイムで、1週間に亘る現在時刻で終了する7日間の移動範囲で衛星エフェメリスおよびクロック推定値が到達する際に、それらを収集する。さらに、それはNANU報告を読み込む（利用可能な場合）。新しいデータの検証の後で、如何なる更新も、それぞれのGPS衛星102に対する実行中の衛星クロックおよび位置モデルにおいて積分される。これらのクロックおよび位置のモデルは、各衛星に作用する力（例えば、太陽、月、地球重力、太陽の圧力など）をすべて特徴づけ、 $x, y, z$ の地球中心・地球固定（ECEF）位置形式でそれらを伝搬する。幾つかの実施形態では、最新の衛星エフェメリスおよびクロック推定値の検証は、GPSパリティ保護が1/64もの高い誤り通過の誤り率を持つので、GPS受信機ネットワークから同じ新しい情報を少なくとも4回受信することを含んでいる。クロックおよび位置のモデルは、通信チャネル帯域幅の保存を助けるようにデータ・パケットに詰め込ま

10

20

30

40

50

れる。

【 0 0 3 0 】

処理204では、エフェメリス履歴の1週間のコレクションは、履歴軌道の1週間の実際の誤差（ECEF座標系におけるデルタx、デルタy、およびデルタz）を秒単位で演算するために使用される。処理206は、その誤差を衛星本体座標系（径方向、接線方向、および法線方向の軸を備える）に変換する。本体座標系の原点は衛星の中心にあり、径方向軸は地球の中心に向かい、接線方向軸は衛星の軌道の接線であり、法線方向軸は軌道に垂直である。

【 0 0 3 1 】

処理206は、各エラー成分の最小値および最大値に対する多項式成長モデルで1軌道周期（11時間58分）の基準曲線として径方向、接線方向、および法線方向の誤差をモデル化する。誤差が1軌道周期方式でグラフ化される場合、それらは反復する特徴の形状を有するのが分かる。そのような反復する特徴の形状は、時間と共に成長する時間ベースとなる。

【 0 0 3 2 】

処理208は、径方向、接線方向、および法線方向の誤差を今後1週間分予測するために基準曲線および多項式成長モデルを使用する。それは、今後1週間分のクロック誤差も予測する。処理210は、処理208から導出した期待誤差で軌道を補正する。

【 0 0 3 3 】

従来のモデル化は、衛星軌道について記述するために4時間の9次多項式を使用する。これとは対照的に、処理212は、従来のGPS受信機にとってより容易に有用となるものに軌道を変換するためにケプラー・モデルを使用する。位置およびクロックの両方の楕円モデルの15個のパラメータ・モデル（表I）が出力され、NAVSTAR全地球測位システム（インタフェース・スペックIS-GPS-200、改定D、2004年12月7日）に定義されたものに類似している。3GPPによって定義されるような拡張エフェメリスが使用される。

【 0 0 3 4 】

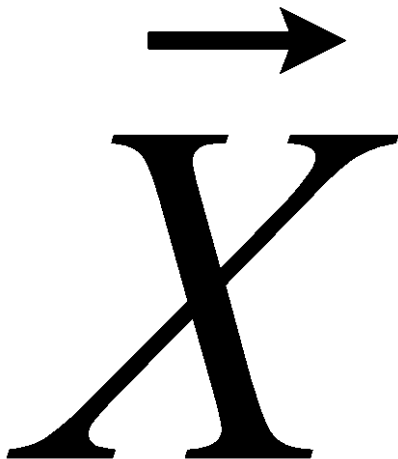
LTCSMのケプラー解法は、ECEF座標系における一連の衛星のX、Y、およびZ位置サンプルに最も良く適合するケプラー・パラメータ（例えば、エフェメリス・パラメータ）を解くために必要である。LTCSMのケプラー解法は、ケプラー・パラメータを形成する15個の状態値を推定する。

【数1】

$$\vec{X} = [a, e, i, 0, M0, \Delta n, di/dt, \omega, \Omega0, \dot{\Omega}, Crs, Crc, Cus, Cuc, Cis, Cic]$$

ベクトル

【数2】



の成分は、周知の非線形エフェメリス方程式を通じた既知の位置成分X、Y、Zと関係があ

る（例えば、ICD-GPS-200、<http://ocw.mit.edu/NR/rdonlyres/Earth-Atmospheric-and-Planetary-Sciences/12-540Spring-2008/LectureNotes/icd200cw1234.pdf> を参照）。有限位数のテーラー級数（[http://en.wikipedia.org/wiki/Taylor\\_series](http://en.wikipedia.org/wiki/Taylor_series)）を使用して、非線形のエフェメリス方程式は、 $X, Y, Z$ 位置にケプラー・パラメータを相関させる一次方程式を求めるために線形化される。そして、従来の最小二乗法が、ケプラー・パラメータを解くために使用される。

【数3】

$$\left[ X_i, Y_i, Z_i \right]_{i=1}^n$$

10

をエフェメリスに変換するために、エフェメリスがそれぞれ、15個のパラメータ（つまり、

【数4】

$$a, e, i_0, M_0, \Delta n, di/dt, \omega, \Omega, \dot{\Omega}, Crs, Crc, Cus, Cuc, Cis, Cic$$

）を含むことを認識し、従って、最終的に、幾つかの時間の最初の推定値と、 $[x, y, z]$  に対して収集された真のサンプルと共に、これらのパラメータを求める。

【数5】

$$X(\text{time} = t) = f(a, e, i_0, M_0, \Delta n, di/dt, \omega, \Omega, \dot{\Omega}, Crs, Crc, Cus, Cuc, Cis, Cic)$$

20

$Y(t)$ および $Z(t)$ についても同様である。

【0035】

$X, Y, Z$ の方程式は非線形であり、従って、テーラー展開は、それらを線形化するために使用される。

【数6】

$$X(t) = \hat{x}(t) + \sum_{j=1}^{IS} \left. \frac{\delta x}{\delta p_j} \right|_{\vec{p} = \hat{\vec{p}}} (p - \hat{p})$$

30

$Y(t)$ および $Z(t)$ についても同様である。「ハット」は、パラメータの最初の推定値を記号化している。

【0036】

$$\text{平均近点角は、} M_k = M_0 + n(t - t_{oe}) = E_k - e \sin E_k \quad \dots (1)$$

【0037】

一次テーラー展開が式(1)を線形化するために使用され、 $M_k$ および $e$ から $E_k$ を求める

40

【数 7】

$$M_o + n \left( \underbrace{n(t-t_{oe})}_{=\Delta t} \right) = E_k (1 - \hat{e} \cos \hat{E}_k) + \hat{E}_k \hat{e} \cos \hat{E}_k - e \sin \hat{E}_k$$

$$\xrightarrow{\text{yields}} E_k = \frac{M_o + n(\Delta t) - \hat{E}_k \hat{e} \cos \hat{E}_k - e \sin \hat{E}_k}{1 - \hat{e} \cos \hat{E}_k} \dots (2)$$

10

ここで、  
【数 8】

$$\hat{E}_k - \hat{e} \sin \hat{E}_k = \hat{M}_k \dots (3)$$

式(2)を微分し、最初の推定値と共にそれらの値を求めると、

【数 9】

$$\frac{\delta E_k}{\delta e} = \frac{\sin \hat{E}_k}{1 - \hat{e} \cos \hat{E}_k} \dots (4)$$

20

【数 10】

$$\frac{\delta E}{\delta M_o} = \frac{1}{1 - \hat{e} \cos \hat{E}_k} \dots (5)$$

30

【数 11】

$$\frac{\delta E}{\delta n} = \frac{\Delta t}{1 - \hat{e} \cos \hat{E}_k} \dots (6)$$

40

【数 1 2】

$$\sin r_k = \frac{\sqrt{1-e^2} \sin E_k}{1-e \cos E_k} \xrightarrow{\text{yields}}$$

$$\frac{\delta \sin r_k}{\delta e} = \frac{(\sin \hat{E}_k)(\hat{e} - \cos \hat{E}_k)(-2 + \hat{e}^2 + \hat{e} \cos \hat{E}_k)}{\sqrt{1-\hat{e}^2}(1-\hat{e} \cos \hat{E}_k)^3} \dots (7)$$

この処理は、従来の技術に続き、最小二乗処理を使用して最終的にケプラー・モデルに到達する。

10

【0038】

送信時間を短くするために、処理214は、1つの完全なモデル、次に2つのデルタ・モデルを送信する（例えば、Character Studioモーション（CSM）キャプチャ形式で）。CSM形式は、位置マーカ・データを様々なモーション・キャプチャ・システムから二足歩行のキャラクタをアニメーション化すべくCharacter Studioにインポートするために使用されるASCIIファイルである。

【0039】

処理214は、幾つかの正弦関数の補正項を送信せず、二次クロック・モデルも送信しない。処理216は、課金済みのまたはそうでなければ許可された加入者のアドホック・ログオンを許可する。処理218は、情報を可及的にダウンロードする。処理220は、情報を受信し、それを予め規定したメモリ・ブロックに格納する。処理222は、ホスト装置のプログラム中の完全なエフェメリスを再構築する。処理224は、GPS受信機およびそのフラッシュ・メモリに、表Iのような形式の結果を送信する。GPS受信機は、完全なエフェメリスも再構築することができる。処理226は、再構築から航法解を演算する。

20

【0040】

図3は、すべてのGPSシステム衛星（SV）に対する短期および長期衛星モデルを形式し、それらをデータ・パケットに送り、そして、直接得られたクロック推定値およびエフェメリスが可能でないかまたは現実的でない場合にそのモデルを使用するデータ・パケット・コンパクト化方法300を表わしている。ネットワーク・サーバ304とモバイル・クライアント306との間の通信チャネル302は、非常に制限されていて遅く、これは、32基のSVすべての来週の拡張エフェメリス予測を通すための効率的な通信形式を必要とする。クライアント306に伝えられたデータ・パケットは、最小のオーバーヘッドを有していなければならない。

30

【0041】

クライアント306が頭上の衛星群308の探索を開始するために即時のエフェメリス支援を必要とする場合には、4時間の短期衛星モデル310が最初に送られ、従って、モバイル・クライアント306は、探索を開始することができる。

【0042】

長期モデルは、位置fixに対する十分な精度で今後1週間全体の衛星軌道またはクロックについて記述するために使用されることができない。軌道およびクロックは、まさに複雑過ぎる。従って、今後1週間の期間を3分割して7日のそれぞれの日を8時間のセグメントに分割し、各セグメントの最初と最後に1時間のバッファを与える（例えば、あらゆるGPS衛星に対して21個の10時間の長期モデル311~333）。これらは、4時間の短期衛星モデル310が送られた後で進められ、それらはメモリへの格納に対して最適化される。8時間のセグメントは、軌道誤差を越えた誤差を与えない、演算された軌道に対する適合誤差の良好なトレードオフを提供する。

40

【0043】

3つの10時間の長期モデル311~333の最初のもが「完全な」詳細で送られる（例えば、翌週の毎日の最初の3分の1）。完全なモデルに続く2つの10時間の長期モデル31

50

1～333は、「デルタ」の詳細として送られる（例えば、直前の完全な長期モデルから変更されたデータだけが実際に送られる）。従って、通信チャネルの帯域幅を節約する。それは、標準化された動画圧縮技術に類似し、ここでは「コンパクトな」長期衛星モデルと呼ばれる。典型的なデルタ・モデルは、図6に関して後述するように、39バイトを必要とする。典型的な完全なモデルは、73バイトを必要とする。

適合時間間隔 = 8 時間

1 日当たりの 1 基の衛星当たりの完全なモデルの数 = 1

1 日当たりの 1 基の衛星当たりのデルタ・モデルの数 = 2

各々の完全なモデルのサイズ = 73 バイト

各デルタ・モデルのサイズ = 39 バイト

常時運用中の衛星の数 = 31

日の数 = 7

10

1 週間に及ぶ長期コンパクト衛星モデルの合計ファイル・サイズは、 $31 \times 7 \times (73 + 2 \times 39)$ 、つまり、31.99 キロバイト (kB) になる。

【0044】

本発明の実施形態の重要で特徴的な態様は、32 kB 未満の今後 1 週間全体のコンパクト・モデルを通信することができることである。

【0045】

4 時間の短期衛星モデル310は、上述したような「コンパクトな」短期衛星モデル (CSM) であり、このモデルでは、eRide社が精度に影響を殆ど及ぼさない項を削除してある。クライアント306がサーバ304に衛星モデルの要求と共にその位置を送る場合、サーバ304は、4 時間の短期衛星モデル310を頭上のGPS衛星308に対応するものに低減することができる。CSMは、長期モデルを使用するための代わりに、探索および捕捉のための有効なアルマナックとして作用することができる。これらのデータは、絶えずメモリを入ったり出たりと循環し、モデルは、ホスト・プログラムが適切なLTCSMを選択する際に利用可能でない場合がある。そのようなCSMパツファは、GPS探索のためのより良好な擬似アルマナックである。

20

【0046】

さらに、2005年12月15日に発行された米国特許出願第2005/0278116A1号に記述されるように、ここで使用される4時間の短期衛星モデル310は、通信中のCicおよびCisのパラメータのうち少なくとも1つならびにその位置解の演算を常に省略する。これらの省略がもたらす平均誤差は、各衛星に対してたった数メートルのオーダーである。

30

【0047】

第2の方法は、2つのパラメータのうち1つだけを省略する（例えば、位置に対して最も小さな効果がある1つ）。軌道傾転補正は、

【数13】

$$\Delta = C_{is} \sin(2\phi_k) + C_{ic} \cos(2\phi_k)$$

40

であり、ここでは、

【数 1 4】

$$\phi_k$$

10

は緯度離角であり、 $C_{is}$ または $C_{ic}$ のうちの1つが

【数 1 5】

$$\text{Min}(C_{is} \sin(2\phi_k), C_{ic} \cos(2\phi_k))$$

20

に依存して省略される。平均誤差は、パラメータのうちの1つだけが演算で省略される場合、4倍程度低減される（例えば、位置解誤差は、1メートル未満である）。

【0 0 4 8】

衛星モデル310～333がクライアント306に到達した場合、それらは、位置fixだけのための軌道予測342およびクロック予測344としてフラッシュ・メモリ340に格納される。専用のフラッシュ・メモリのない、より低コストの受信機では、長期データベースは、ホスト・メモリに格納され、ホストおよび受信機が接続され、その結果、現在のLTCSMが受信機の揮発性メモリに押し込まれる。幾つかの埋込み型のROMのみのPVTチップでは、LTCSMは、動作中にのみ揮発性SRAMに格納される。スタートアップでは、GPS時間は、リアルタイム・クロックをどちらが有していても、ホストまたはGPS受信機によって決定される。これは、表Iに概略を示したようなケプラー形式で通信される。これらの軌道予測342およびクロック予測344は、コールド・スタート用の、ならびに、軌道およびクロック・データが直ちに頭上のGPS衛星308から直接利用可能でない高感度モード用のGPS航法受信機346によって使用されることができる。一旦GPS航法受信機346が頭上のGPS衛星308を追跡すると、航法メッセージが利用可能となり、クロック情報348が直接抽出されることができる。

30

【0 0 4 9】

クロック情報348は、機会が発生すると、クロック予測344を更新または交換するために使用される。10時間の長期モデル311～333に含まれたクロック予測344は、軌道予測342を行なうよりも遥かに速く劣化する傾向がある。最新のクロック・モデルを得ることが可能な場合には、モデルが格納され、サーバによって前に提供された任意のクロック・モデルに取って代わる。

40

【0 0 5 0】

宇宙機の軌道は、それらに周知の力が作用するので、予測可能である。しかし、衛星クロックは、原子時計基準から導出され、予測が不可能なランダムな摂動を持つ。この理由から、サーバは、LTCSMを送る際に、最も最近の観察されたエフェメリス・ベースのクロック・モデルを常に提供するべきである。多くの努力が適合を改善するためになされるが

50

、結果として生じる予測は、クロック予測における全体的な統計的改善を通常は生み出さない。

【 0 0 5 1 】

本発明の長期コンパクト衛星モデル (LTCSM) の実施形態は、多項式およびケプラー・モデルの両方に共通である誤り訂正アルゴリズムを使用する。表 I I は、ここで使用されるような、幾つかの関係する用語の定義を列挙している。

【表 2】

表 I I  
定義

参照開始時刻：LTCSMの7日間の使用期間の開始時刻。	10
積分開始時刻：参照開始時刻の7日前の、積分の開始時刻。	
生モデル：誤り訂正前の衛星モデル。	
訂正後モデル：誤り訂正後の衛星モデル。	
履歴週：エフェメリスが利用可能であり、実際の誤差が演算される、参照開始時刻の前の週。	
使用週：エフェメリスが未だ利用可能でない、参照開始時刻での今後の開始の週。	
生モデル誤差：エフェメリスと比較される際の生モデルの誤差。誤差ハターンは、履歴週の生誤差から学習する。	
予測誤差：使用週に投影した生モデルの期待誤差。	20

【 0 0 5 2 】

図 1 の NANU 報告 113 を再度参照して、表 I I I は、2009 年 4 月 1 日に発行された NANU ページの例である。デルタ V 操作の開始時刻は、GPS 週番号で 501、エフェメリス時間 (TOE) で 403200 秒である。デルタ V 操作の終了時間は、GPS 週番号 501 で、TOE で 455400 秒である。ここで注目すべき情報は、それは、092/1600 日目と 093/0630 日目との間でデルタ V 操作 (FCS TDV) が PRN 18 に対して生じることを、91 日目 (2009 年 4 月 1 日) について発表するセクション 2.A の予報である。このイベントおよび PRN 18 は、NANU 例の周囲の望ましいモデル・ジェネレータの挙動について記述するための使用に対して、ここでは選択される。



## 【 0 0 5 4 】

表IVは、クライアントへのメッセージ送信のために合計39バイトに詰め込まれた（パッキングされた）デルタ・モデル・パラメータを列挙している（例えば、図3中の311～333）。

## 【表4】

表IV  
デルタ・モデルのハッキング・デザイン

バイト番号	パラメータ	サイズ (バイト)	ビット・アロケーション
1 - 4	E   Axis	4	17   15
5 - 8	$\Omega_n$	4	32
9 - 12	Af1   N	4	18   14
13 - 14	Msb1   Dot   I0	2	1   15
15	Rlme2	1	8
16 - 19	M0	4	32
20 - 23	SinW   Lsb10 Crs	4	22   10
24 - 27	CosW   Lsb10 Crc	4	22   10
28 - 31	Lsb11   Dot   Lsb10 Cus   Lsb11 Cuc	4	11   10   11
32 - 35	AenI   Af0	4	18   14
36 - 37	Msb2 Crs   Msb2 Crc   Cis/Cic	2	2   2   12
38 - 39	Msb2 Cus   Msb1 Cuc   $\Omega_n$	2	2   1   13

10

20

## 【 0 0 5 5 】

図6(A)は、今後1週間有効である使用可能なLTSCMを生成するために使用することができるバックグラウンド処理のサーバ・モデル・ジェネレータ600を表わしている。処理602は、基準エフェメリスを求め、放送された任意の適切なNANU報告を解析するために連続的に実行される（図2の処理204、206などを参照）。開始604に始まり、処理606は、各GPS衛星の1週間のクロックおよびエフェメリス履歴をエフェメリスデータベースに収集する。処理608は、履歴における衛星位置の初期的な改善を行なう。処理614は、14日間の軌道情報を積分する。処理612は、積分した軌道情報に対する適合を求めるために必要な誤り訂正を演算する。そして、処理614は、演算した誤差に各々、8時間に有効なモデルを適合させる。これらのモデルは、モデル・データベースに入れられる。

30

## 【 0 0 5 6 】

図6(B)は、野外のクライアントからのモデルの要求にリアルタイムで応答するサーバ・クライアント・マネージャ620を表わしている。新しいLTSCMメッセージ622は、新しいモデルがモデル・データベースに入れられる都度、サーバ・モデル・ジェネレータ600からのJava（登録商標）メッセージ・サービス・パケットとして到着する。これらは、処理624でモデル・キャッシュ・メモリに入れられる。キャッシュ・メモリ構造は、迅速な応答を可能にする。処理626は、LTSCM要求628が到来し、LTSCM要求ハンドラ630によってサービスを受ける際に、モデル・キャッシュから直ちに最新のモデルを提供する。処理632は、図3に示された形式にLTSCM応答を形成する。

40

## 【 0 0 5 7 】

本発明は、現在のところ好ましい実施形態の点から記述されたが、本開示が、限定するものと解釈されるべきでないことが理解される。様々な変更および修正が、疑いなく、上記の開示を読んだ後で当業者に明白となる。従って、添付した特許請求の範囲が本発明の範囲内に該当するような変更および修正をすべて包含すると解釈されることを意図している。

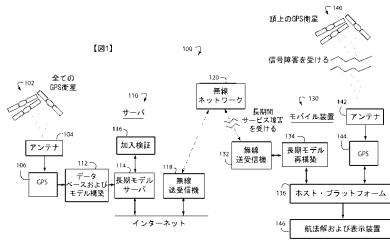
## 【符号の説明】

50

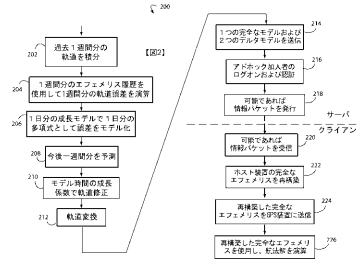
## 【 0 0 5 8 】

1 0 0	被支援型GPS航法受信機システム	
1 0 2、1 4 0、3 0 8	GPS衛星	
1 0 4、1 4 2	アンテナ	
1 0 6、1 4 4、3 4 6	GPS受信機	
1 1 0	ネットワーク・サーバ	
1 1 2	データベース	
1 1 4	コンパクト・モデル・サーバ	
1 1 6	加入検証ユニット	
1 1 8	無線送受信機	10
1 2 0	無線ネットワーク	
1 3 0	モバイル装置	
1 3 2	無線送受信機	
1 3 4	長期コンパクト・モデル再構築ユニット	
1 3 6	ホスト・プラットフォーム	
1 4 6	航法解および表示装置	
2 0 0	コンピュータ・プログラム	
3 0 0	データ・パケット・コンパクト化方法	
3 0 2	通信チャンネル	
3 0 4	ネットワーク・サーバ	20
3 0 6	モバイル・クライアント	
3 1 0	4時間の短期衛星モデル	
3 4 0	フラッシュ・メモリ	
3 4 2	軌道予測	
3 4 4	クロック予測	
3 4 8	クロック情報	

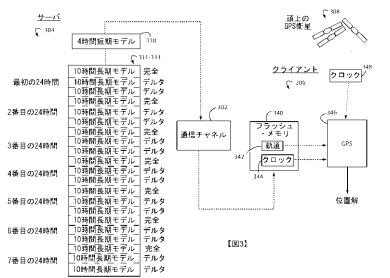
【図1】



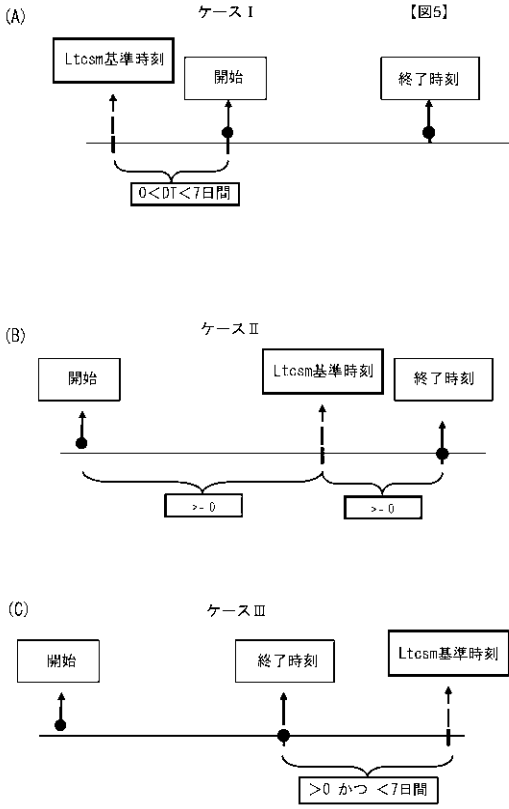
【図2】



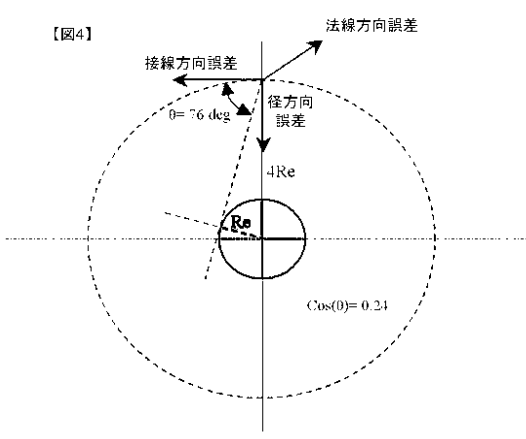
【図3】



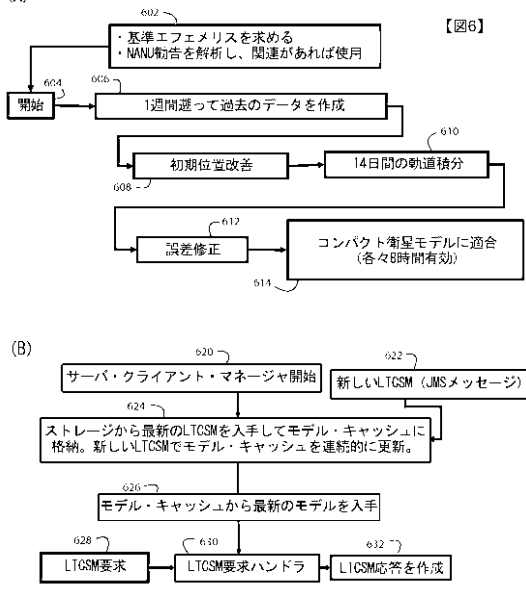
【図5】



【図4】



【図6】



## フロントページの続き

(74)代理人 100130904

弁理士 大洞 正嗣

(72)発明者 ポール ダブル マクバーニー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州, サンフランシスコ セカンド アベニュー 571

(72)発明者 シャラーム レザエイ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州, ダンビル マルセイユ コート 55

審査官 三田村 陽平

(56)参考文献 特開2010-156631(JP,A)

特表2004-529032(JP,A)

特表2008-513738(JP,A)

特開2010-101804(JP,A)

特開2005-338079(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 5/00 - 5/14

G01S 19/00 - 19/55