

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-71966  
(P2010-71966A)

(43) 公開日 平成22年4月2日(2010.4.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 S 19/09 (2010.01)	GO 1 S 5/14 5 2 6	2 F 1 2 9
GO 1 S 19/34 (2010.01)	GO 1 S 5/14 5 5 2	5 J 0 6 2
GO 1 S 19/27 (2010.01)	GO 1 S 5/14 5 4 5	
GO 1 S 19/42 (2010.01)	GO 1 S 5/14 5 7 4	
GO 1 C 21/00 (2006.01)	GO 1 C 21/00 D	

審査請求 未請求 請求項の数 22 書面 外国語出願 (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2008-269154 (P2008-269154)  
(22) 出願日 平成20年9月19日 (2008.9.19)

(71) 出願人 508311374  
ペトロフスキー イワン  
東京都調布市深大寺東町7-35-10  
深大寺荘2F  
(72) 発明者 ペトロフスキー イワン  
東京都調布市深大寺東町7-35-10  
深大寺荘2F  
Fターム(参考) 2F129 BB02 BB03 BB33  
5J062 AA13 BB01 BB05 CC07 DD23  
EE05

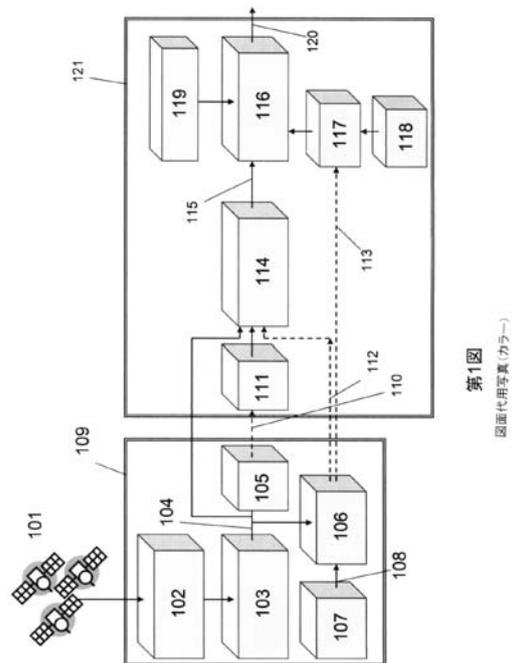
(54) 【発明の名称】 GNSS衛星による位置測定方法と装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】位置計算を航行メッセージの読み取りなしで、そして、ネットワークからのアシスト情報もなしで計算可能とする。

【解決手段】位置計算はコードと周波数の観測値とメモリーに保存される予測エフェメリスデータを利用して行われる。コードと周波数の観測値と予測値の差にもとづいて計算された損失関数が位置計算に使われる。位置計算は全地球衛星航法システム信号の1コード周期の利用で可能である。位置計算装置はフロントエンドと航行ユニットから構成される。フロントエンドユニットと航行ユニットは分離されている。デジタル化された中間周波数データはフロントエンド・ユニットから航行ユニットへ直接かデータ・リンク経由で通信可能であり、後の利用のためにメモリーに保存することも可能である。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

全地球衛星航法システム（GNSS）受信機（レシーバ・アンテナ）の位置とGNSS信号の受信の時間の計算方法で、  
GNSS衛星エフェメリスの供給、  
GNSSコード測定の供給、  
GNSSドップラー測定の供給、  
おおよその現在時刻の供給、  
以上のエフェメリス、コード測定、ドップラー測定と信号の受信のおおよその時刻を利用しGNSS受信機の位置と信号の受信の時間の計算。

10

**【請求項 2】**

以上 1. によるGNSS受信機の位置とGNSS信号の受信の時刻をポジショニングの時にネットワーク等を利用せずに計算する方法。

**【請求項 3】**

以上 1. によるGNSS受信機の位置とGNSS信号の受信の時刻を衛星エフェメリスとして予測エフェメリスを利用して計算する方法。

**【請求項 4】**

以上 1. によるGNSS受信機の位置とGNSS信号の受信の時刻を複数の局所極小点をもっている予測コード測定関数と実際のコード測定関数の大きさの差の関数に基づき損失関数を利用し計算する方法。

20

**【請求項 5】**

以上 1. によるGNSS受信機の位置とGNSS信号の受信の時刻を一般アルゴリズムを利用して損失関数の広域極小点探索を実現する計算方法。

**【請求項 6】**

以上 1. によるGNSS受信機の位置とGNSS信号の受信の時刻をシミュレートしたアニメーション方法を利用して損失関数の広域極小点探索を実現し計算する方法。

**【請求項 7】**

以上 1. によるGNSS受信機の位置とGNSS信号の受信の時刻を暴力的な探索法と関数の最適化アルゴリズムを利用して損失関数の広域極小点探索を実現し、計算する方法。

30

**【請求項 8】**

以上 1. による、GNSS受信機の位置と受信の時刻をドップラー測定関数と予測ドップラー測定関数の大きさの差の関数の損失関数を利用して初期探索範囲を限らせて計算する方法。

**【請求項 9】**

損失関数を予測コード測定関数との時間による変化と実際コード測定関数の時間による変化の差関数を基として、以上 1. によるGNSS受信機の位置とGNSS信号の受信の時刻を計算し、軌道人工衛星データのみでのポジショニングに利用するため決定するという計算方法。

**【請求項 10】**

センサー・ユニットと航行ユニットからなるGNSSレシーバ・システム・ユニット。

40

**【請求項 11】**

以上 10. によるGNSSレシーバ・システムがさらにセンサー・ユニットから航行ユニットへデータを送るコミュニケーション・モジュールを含む。

**【請求項 12】**

以上 10. によるGNSSレシーバ・システムのセンサー・ユニットがアンテナ、フロント・エンド・モジュールとメモリー・モジュールからなる。

**【請求項 13】**

以上 10. によるGNSSレシーバ・システムの航行ユニットが捕捉モジュール、時計、メモリー・モジュールとポジショニング・モジュールからなる。

**【請求項 14】**

50

以上 1 2 . によるセンサー・ユニットのフロント・エンド・モジュールが無線周波信号をアンテナから受信し変換とデジタル化された中間周波数信号を出力する。

【請求項 1 5】

以上 1 2 . によるセンサー・ユニットのメモリー・モジュールがデジタル化された中間周波数信号データを後の利用のため保存する。

【請求項 1 6】

以上 1 3 . による航行ユニットで補捉モジュールでデジタル化された中間周波数信号データが処理され、G N S S コードと周波数測定が出力される。

【請求項 1 7】

以上 1 3 . による航行ユニットでメモリー・ユニットが予測エフェメリスと衛星時計誤差情報を保存する。

10

【請求項 1 8】

以上 1 0 . による G N S S レシーバー・システムでセンサー・ユニットと航行ユニットが離れていて、コミュニケーション・モジュールにてつながれる。

【請求項 1 9】

以上 1 0 . による G N S S レシーバー・システムで航行ユニットが複数のセンサー・ユニットにコミュニケーション・モジュールにてつながれる。

【請求項 2 0】

以上 1 0 . による G N S S レシーバー・システムでデジタル化された中間周波数信号がリモート・センサー・ユニットからコントロール・センター・ユニットに位置の計算のためデータ・リンク・モジュールに用いて送信される。

20

【請求項 2 1】

以上 1 0 . による G N S S レシーバー・システムでデジタル化された中間周波数信号が後期、航行ユニットでの位置計算のために使用されるようにメモリー・モジュールにて保存される。

【請求項 2 2】

以上 1 3 . による航行ユニットでポジショニング・モジュールが捕捉モジュールからの G N S S コードと周波数測定、メモリー・モジュールからの衛星予測軌道と時計誤差、そして時計からの現在時刻を利用し G N S S フロントエンド・ユニット・アンテナの位置と G N S S の信号受信の時刻の計算を請求項 1 . にある通り行う。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

本発明は全地球衛星航法システム ( G N S S ) の分野、特にアシスト G N S S ( A G N S S ) 又はアシスト G P S ( A G P S ) 技術の代替として関連している。

【背景技術】

G N S S レシーバは複数の衛星の信号を利用し位置計算を行う。それがコード測定と周波数測定を行い、衛星エフェメリスと通信時間を含む航行メッセージを読み取ることが必要される。その情報を基として、G N S S レシーバはアンテナの位置を計算することができる。多くのアプリケーションが瞬時の位置計算を必要としている。瞬時の位置計算が可能になると衛星の信号をトラッキングすることと航行メッセージの読み取ることの必要がなくなる。G P S ( 全地球位置把握システム ) L 1 信号の航行メッセージ全体を読み取り、位置計算に必要なデータを完全に復調するには 3 0 秒近くかかる。航行メッセージ・データが他のデータ・リンクからアクセスできる場合にも航行メッセージからタイムマークを復調する必要があるため、それも 6 秒近くかかる。多くのアプリケーションにはデータのスナップ・ショットのみ使用し、瞬時の位置計算を可能にする必要がある。多くの場合には室内トラッキングは不可能なため航行メッセージを部分的にも復調することも不可能である。室内の移動に対してはマルチパスを変更させトラッキングがもともと可能であっても、中断される可能性がとても高い。

40

携帯電話での G P S 機能を使用する場合には、G P S と同時には携帯電話の使用は混信のため不可能である。その結果としてはユーザーが航行メッセージのデータの読み取りが完

50

全に終了するまで待たなければならない。

アメリカ特許 5,945,944 Krasner Norman F., Method and apparatus for determining time for GPS receivers, 08/31/1999、がネットワーク経由で時刻情報を供給する方法を記述している [1]。それに対して、本発明は航行メッセージの読み取りとネットワークのアシスト・データなしでの位置計算を可能にする。

2000年7月3rd International Conference of Information Fusion, FUSION 2000で公開された“Time Recovery through Fusion of Inaccurate Network Timing Assistance with GPS Measurements”という J. Syrjarinne の論文にはコード測定残差による損失関数利用の位置計算の方法が記述された [3]。

同じ2000年にアメリカ特許に“Method and apparatus for time-free processing of GPS signals”という題名の特許の申請があった [2]。それが衛星から通信された絶対時間情報又はGPSレシーバでの代替の時間情報源を使用せずにGPSレシーバの位置を計算するための方法と装置を記述している。GPSレシーバはワイヤレス・コミュニケーション・トランシーバを含んだ統合レシーバにあるが、正確な絶対時間情報源にアクセスできない。ワイヤレス・トランシーバはワイヤレス・ネットワークを経由しサーバに伝達する。

本発明と以上 [1], [2] と [3] に記述されたシステムと方法との違いは複数ある。本発明はレシーバから取れる時間源を利用し、ワイヤレス・レシーバなど、アシスト・データを供給するデータ・リンクを含めていない。その特徴は位置計算の時にはレシーバがネットワークにデータ・リンクを必要としていないこと。今回提案の発明はネットワークを一切必要としない。つまり、本発明はAGPSネットワーク外にもっと広い範囲のアプリケーションで使用できる。

GPS付きカメラなどのアプリケーションがネットワークなしで瞬時の位置計算を必要としている。カメラが使用される場所にいつもネットワークがあることは、ほぼ不可能である。もう一つのアプリケーションは空に機動する飛行機である。データのスナップ・ショットを使えることは以下の二つの利益になる。その一つめは、仮に衛星が航行システムに1ミリ秒しか見えないとしてもデータは失われない。その二つめは、時間遅れが小さい、その小ささは飛行機などの高ダイナミックの乗物にとってとても重要である。そういうアプリケーションにおいてネットワーク使用はほとんどの場合不可能な可能性が高い。ネットワークなしの瞬時の位置計算が望ましいのは、ネットワークは地震などの自然災害により機能不全または破壊されることがありえるためである。そういう場合にも瞬時の位置計算できることが重要である。

参考の [2] が位置計算のため必要とするのはレシーバのおおよその位置を数キロの精度でもとから知ることである。本発明はサーバなどからの仮定位置の情報を必要としない。初期の近似はレシーバに国名を入力するか、見える衛星のPRN (疑似乱数ノイズ) から捕捉できる。そういう方法は初期位置を数千キロ以内で与えるが本発明には十分である。本発明はレシーバで疑似距離の不確定性を解くことを仮定位置が不明であっても可能にする。参考 [2] の方法はアシスト情報と仮定位置なしで位置計算する方法を実際のアプリケーションに提供するものではない。

最近の発表 [4] にはアシスト情報と仮定位置なしでの位置計算方法が記述されている。しかし、[4] に記述されている方法は実際のアプリケーション化の余地がない。その記述によると位置計算には14分かかる。それは通常のGPSアルゴリズムによる30秒ぐらいかかる方法の30倍ほどの時間である。本発明は通常のGPSアルゴリズム方法より30倍速い計算方法を記述している。本発明の方法による位置計算は通常のGPSアルゴリズム方法によりかかる30秒のかわりに1-2秒程度での位置計算を可能にする。本発明で記述する方法は実際のアプリケーションに重要であるリアル・タイムの位置計算を可能にする。

10

20

30

40

50

本発明と[2]はアプリケーション分野が異なる。本発明はネットワーク接続有の携帯レシーバのみに限られていない。しかし、参考[2]はネットワークに接続されているレシーバのみに応用できる。

#### 【発明の開示】

本発明はコードとドップラー測定を利用した新しい位置把握方法である。本方法の新しさとは複数の極小点関数における広域極小点をもとめるための一般アルゴリズム[5]又はアニメリング方法[6]の応用、ドップラー測定での初期探索範囲の限定、そして予測エフェメリスの時計誤差の緩和などである。以上のものは組み合わせによってのみ応用可能で、同時応用により新しいGNSS位置把握方法を作る。ドップラー測定のみ位置計算に使用することはあまり役に立たず(特にトラッキング・ループ使用しない場合)、その理由 10 は結果の位置計算の精度が低すぎるため。しかし、それは複数の極小点関数における広域極小点をもとめるための初期探索範囲の制限には十分である。本発明は予測エフェメリスの利用を提案する。予測軌道データは更新なしで長時間使用可能であって長い時間のあいだ高い精度を提供する。衛星時計誤差の予測データはより速く低下する。こういう方法には軌道データが予測エフェメリスの有効期限をより長くし、結果としては時計誤差の緩和が本発明の重要な構成要素であるため、そのみ利用するのが重要である。

本発明は位置把握方法を利用した新しいGNSSレシーバ・システムである。GNSSレシーバ・システムは普通のレシーバとして、又はトラッキング・システムかアセット・モニタリング(車両運行管理システム)としての利用可能である。このトラッキング・システム 20 の他のトラッキング・システムとの違いはローバーの方でフロントエンドとメモリーのみが必要であるということ。アセット・モニタリング(車両運行管理)システムと他の存在しているアセット・モニタリング(車両運行管理)システムとの違いはローバーの方ではフロントエンドとコミュニケーション機のみが必要があること。従来のトラッキングとアセット・モニタリング・システムはローバーの方でフロントエンドの他にベースバンド・プロセッサと航行プロセッサを含む完全なレシーバを必要としている。本発明は結果としてローバーが従来のシステムより小さく、安く、電力消費が小さいトラッキング・システムを可能にする。それが可能となるのは本発明がGNSSデータの小さい、例えば、GPSのL1信号の1ミリ秒に同等である1コード周期の、スナップ・ショットをとる 30 うえでの位置計算を可能にするからである。このデータはメモリーに保存されること、又はコントロール・センターへ送信することが可能である。コントロール・センターはローバーの位置を1ミリ秒のデータだけを利用して計算できる。データの量は数百バイトほどの小さい量でもよい。在来のGNSS又はGPSの処理はデータをその三万倍ほど必要としている。それほどの量のデータを送信し、途中でメモリーに保存する必要のあるトラッキング・システムは非実用的である。そのため従来の技術ではデータをローバー側で処理する必要があった。そのためローバーには完全なレシーバもなければならなかった。本発明が可能にするのは完全なレシーバなしのフロントエンドである。

そのゆえにGNSS信号を処理し航行メッセージを読み取りする必要がなく、ネットワークと仮定位置なしで瞬時の位置計算をする方法と装置の必要性が現在この分野にある。

#### 【課題を解決する手順】

本発明はGPS位置把握又は他のGNSS衛星信号(GLONASSとGalileoを含む)に適用し得る。普通は捕捉段階後30秒ほどGPS信号のトラッキング、航行メッ 40 セージの読み取り、そして衛星の軌道データと時計誤差を引き出すことが必要となる。このデータが外のデータ・リンク又はメモリーから供給される場合にも航行メッセージの読み取りと送信時間を引き出すためGPS信号のトラッキングを捕捉段階後6秒間程度する必要 40 がある。本発明は捕捉ユニット、システム時計と予測又は実際エフェメリス情報の測定を利用しアンテナの位置を計算することを可能にする。

図.1は本発明GNSSレシーバ・システムのフローチャートを表示している。複数の衛星(101)のGNSS無線周波数信号がGNSSアンテナ(102)を経由し、フロント 50 50 エンド・モジュール(103)に通信される。フロントエンド・モジュール(103)は信号をGNSS周波数から中間周波数への変換を行い、信号をデジタル化する。デジタ

ル化された中間周波数信号(104)は本発明内には具体化により3つの使用方が可能。発明のGNSSシステムがアセット・モニタリングなどのシステム用(つまり、車両運行管理又は子供やペットのモニタリング)のGNSSセンサーとして使用される場合にはデジタル化された中間周波数信号(104)はコミュニケーション送信モジュール(105)へ移される。

発明のGNSSシステムがGNSSトラッキング・デバイスとして使用される場合はデジタル化された中間周波数信号(104)はメモリー・モジュール(106)に移される。時計(107)が各中間地点のデジタル化された中間周波数信号(104)データの各セットのタイムマークをメモリー・モジュール(106)に供給する。GNSSアンテナ(102)、フロントエンド・モジュール(103)、メモリー・モジュール(106)、時計(107)とコミュニケーション送信モジュール(105)を含むフロントエンド・ユニット(109)は別なデバイスとして設計され、離れて設置することができる。

フロントエンド・ユニット(109)が離れて設置され、アセット・モニタリング・システムのようなリモート・ローバーの瞬時の位置計算に使用される場合はバックされた中間周波数データ(110)はコミュニケーション受信モジュール(111)に通信される。フロントエンド・ユニット(109)が離れて設置され、トラッキング・システムに使用される場合はタイムマークされた中間地点のデジタル化された中間周波数データ・セット(112)がのちにメモリーからダウンロードされる。メモリー・モジュール(106)のタイムマーク(113)は対応のタイムマークされた中間地点のデジタル化された中間周波数データ・セット(112)と一緒に位置計算に使用される。発明のGNSSシステムがGNSSレシーバとして利用される場合にはデジタル化された中間周波数信号(104)は捕捉モジュール(114)へ直接フロントエンド・モジュール(103)から移される。

捕捉モジュール(114)はデジタル化されたデータを処理し、捕捉された衛星の疑似乱数ノイズ(PRN)番号とGNSSドップラー測定を含んだGNSS観測量(115)を位置計算モジュール(116)へ出力する。時間基準モジュール(117)は位置計算モジュール(116)におおよその時刻をタイムマーク(113)から、又はトラッキング・システムの場合にはメモリー・モジュール(106)から、アセット・モニタリング又はGNSSレシーバ具体化の場合には時計(118)から供給する。メモリー・モジュール(119)は位置計算モジュール(116)にエフェメリス情報を供給する。エフェメリスは予測エフェメリス、又は実際のエフェメリスである。

位置計算モジュール(116)はユーザの位置(120)をメモリー・モジュール(119)が供給したGNSS衛星エフェメリス、捕捉モジュール(114)からのGNSSコード測定とGNSS測定(115)、そして時間基準モジュール(117)からのおおよその現在時刻を使用し計算する。

位置計算モジュール(116)は予測コード測定関数と実際のコード測定関数の大きさの差の関数の損失関数を作る。

$$F1 = \sum_{i=1}^{N-1} (w_i \times g\{f(\rho_i^m - \rho_j^m) - f(\rho_i^p - \rho_j^p)\})$$

$\rho_i^m$  が i 番衛星のコード測定、

$\rho_i^p$  が i 番衛星の予測コード、

$\rho_j^m$  が選択されたマスター衛星のコード測定

$\rho_j^p$  が選択されたマスター衛星の予測コード、

$w_i$  が i 番衛星の信号の信号対ノイズの比率に基づく重み関数。

10

20

30

40

50

損失関数は複数の局所極小点をもっている。位置計算モジュール(116)が一般アルゴリズムを利用し広域極小点探索を実現する。又は、位置計算モジュール(116)はアニーリング方法又は暴力的な探索法と最適化アルゴリズムを利用して損失関数の広域極小点探索を実現する。

以上の損失関数の探索範囲に制限をつけるため、位置計算モジュール(116)は位置の概算値の探索をドップラー測定関数と予測ドップラー測定関数の大きさの差の関数の損失関数を利用し行う。

$$F2 = \sum_{i=1}^{N-1} (w_i \times g\{f(d\rho_i^m - d\rho_j^m) - f(d\rho_i^p - d\rho_j^p)\})$$

10

$d\rho_i^m$  が i 番衛星のドップラー測定、

$d\rho_i^p$  が i 番衛星の予測ドップラー測定、

$d\rho_j^m$  が選択されたマスター衛星のドップラー測定、

$d\rho_j^p$  が選択マスター衛星の予測ドップラー測定、

$w_i$  が i 番衛星の信号の信号対ノイズの比率に基づく重み関数。

予測衛星時計誤差を減少させ、有効期限が長いエフェメリスの使用を可能にするためには位置計算モジュール(116)は以下の通り、軌道衛星データのみを位置計算に利用するために、もう一つの予測コード測定関数の時間による大きさの差の関数と実際のコード測定関数の時間による大きさの差の関数の損失関数を利用する。

20

$$F3 = \sum_{i=1}^{N-1} (w_i \times (g\{f(\rho_i^m[t_{k+1}] - \rho_j^m[t_{k+1}]) - f(\rho_i^p[t_{k+1}] - \rho_j^p[t_{k+1}])\} - g\{f(\rho_i^m[t_k] - \rho_j^m[t_k]) - f(\rho_i^p[t_k] - \rho_j^p[t_k])\}))$$

$\rho_i^m[t_{k+1}]$  が i 番衛星のエポック  $t_{k+1}$  のコード測定、

$\rho_i^m[t_k]$  が i 番衛星のエポック  $t_k$  のコード測定、

$\rho_i^p[t_{k+1}]$  が i 番衛星のエポック  $t_{k+1}$  の予測コード、

$\rho_i^p[t_k]$  が i 番衛星のエポック  $t_k$  の予測コード、

$\rho_j^m[t_{k+1}]$  が選択されたマスター衛星のエポック  $t_{k+1}$  のコード測定、

30

$\rho_j^p[t_{k+1}]$  が選択マスター衛星のエポック  $t_{k+1}$  の予測コード、

$\rho_j^m[t_k]$  が選択マスター衛星のエポック  $t_k$  のコード測定、

$\rho_j^p[t_k]$  が選択マスター衛星のエポック  $t_k$  の予測コード、

40

$w_i$  が i 番衛星の信号の信号対ノイズに基づく比率の重み関数。

従って、航行ユニット(121)は捕捉モジュール(114)、位置計算モジュール(116)、メモリー・モジュール(119)、時間基準モジュール(117)、時計(118)とコミュニケーション受信モジュール(111)からなる。

メモリー・モジュール(106)、時計(107)コミュニケーション送信モジュール(105)、時間基準モジュール(117)とコミュニケーション受信モジュール(111)はフロントエンド・ユニット(109)と航行ユニット(121)が同一される場合には不必要になることがある。

【発明が解決しようとする課題】

50

従って、本発明の主たる目的はアシスト・ネットワークを利用しない、そして、航行メッセージを読み取る必要のないGNSS位置把握システムを提供することである。

そのうえ、本発明の主たる目的は電源を入れた瞬間から1か2秒で位置計算を完了するGNSS位置把握レシーバ・システムを提供することである。

そのうえ、本発明の主たる目的はGNSS衛星信号の1コード期間のみで位置計算を行えるGNSS位置把握システムを提供することである。

そのうえ、本発明の主たる目的はGNSSフロントエンドをリモート・センサーとして使用するGNSS位置把握システムを提供することである。リモート・センサーはデジタル化された中間周波数データを複数のコミュニケーション・モジュールを通して一つか複数の航行ユニットに送信する。

そのうえ、本発明の主たる目的はGNSSフロントエンドをトラッキング・デバイスとして利用するGNSS位置把握システムを提供することである。トラッキング・デバイスは各中間地点に関するデジタル化された中間周波数データをメモリー・モジュールに後ほどに遠く設置された航行ユニットでの処理のため保管する。

#### 【実施例】

好ましい具体化は図2に表示されている。複数のGPS衛星(201)がキャリア、広がる疑似乱数コードと航行メッセージを含む無線周波数信号(202)を送信する。信号(202)はアンテナ(203)により受信され、フロントエンド・モジュール(204)にアンテナ・ケーブル(205)経由で通信される。フロントエンド・モジュール(204)は信号をGPS L1周波数から4MHz中間周波数へ変換を供給し、信号を16MHzのサンプリングレートでデジタル化する。デジタル化された中間周波数信号(206)が捕捉モジュール(207)へ通信される。本具体化はフロントエンドと航行ユニットが一個のデバイスに置かれる場合である。本具体化の場合には航行ユニットがパソコンにある。

ポジショニング以前に予測衛星エフェメリスがメモリー・モジュール(208)にダウンロードされる。例えば、ASCII SP3フォーマットのエフェメリスはCODEのFTPサイトftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODEからダウンロードできる。CODEは予測衛星エフェメリスなどの無料サービスを供給する国際地球数学サービス(International Geomatic Service)の一機関である[7]。

捕捉モジュール(207)は信号捕捉後に捕捉衛星の疑似乱数ノイズ(PRN)号(209)、GPSドップラー測定(210)とGPSコード測定(211)を出力する。

範囲探索モジュール(212)が予測衛星エフェメリスとシステム時計(213)を利用して、捕捉衛星のPRN号(209)と決まった所定の時間と衛星軌道で見える衛星のPRN号が同じである地域を探索する。本具体化での所定時間はパソコンのシステムの時間である。地域は初期探索範囲を定義し、それがダウンヒル探索モジュール(214)へ供給される。ダウンヒル探索モジュール(214)はダウンヒル・シンプレクス方法[6]を利用し損失関数の極小点を見つける。損失関数はドップラーベース損失関数形成モジュール(215)にてGPSドップラー測定(210)と予測ドップラー測定を利用して形成される。予測ドップラー測定は予測衛星(201)位置を探索時間範囲内とアンテナ(203)の探索座標範囲の位置を使用して計算される。初期決定モジュール(112)の4次元の探索範囲は受信時間とアンテナ位置により形成される。レシーバ時計誤差が計算からそれぞれの衛星と最高の仰角の選択されたマスター衛星の一对の差の形成により除外される。

ドップラーベース損失関数形成モジュール(215)は以下の通り損失関数を形成する。

10

20

30

40

$$F1 = \sum_{i=1}^{N-1} (w_i \{ (d\rho_i^m - d\rho_j^m)^2 - (d\rho_i^p - d\rho_j^p)^2 \})$$

$d\rho_i^m$  は i 番衛星のドップラー測定、

$d\rho_i^p$  は i 番衛星の予測ドップラー、

$d\rho_j^m$  は選択されたマスター衛星のドップラー測定、

$d\rho_j^p$  は選択されたマスター衛星の予測ドップラー、

10

$w_i$  は捕捉モジュール (207) からの i 番衛星の信号の信号対ノイズの比率に基づく重み関数である。本具体例では重み関数の係数はすべて 1 とセットされる。

ダウンヒル探索モジュール (214) はモジュール (216) で以降の探索のための新たな、より狭い範囲を定義し、それが主要探索モジュール (217) へ供給される。主要探索モジュール (217) は一般アルゴリズム [5] を利用しモジュール (218) で形成された損失関数の最小点を求める。損失関数は GPS コード測定 (211) と予測コード測定を使用して形成される。予測コード測定は予測衛星 (201) の探索時間範囲での位置とアンテナ (203) の探索座標範囲での位置により計算される。受信時間とアンテナの位置が初期化モジュール (216) で 4 次元の探索範囲を形成する。レシーバ時計誤差が観測値からそれぞれの衛星と最高の仰角の選択されたマスター衛星の一对の差の形成により除外される。損失関数形成モジュール (218) は以下の通り損失関数を形成する。

20

$$F2 = \sum_{i=1}^{N-1} (w_i \times \{ (\rho_i^m - \rho_j^m)^2 - (\rho_i^p - \rho_j^p)^2 \})$$

$\rho_i^m$  が i 番衛星のコード測定、

$\rho_i^p$  が i 番衛星の予測コード、

$\rho_j^m$  が選択されたマスター衛星のコード測定、

$\rho_j^p$  が選択されたマスター衛星の予測コード、

30

$w_i$  は捕捉モジュール (207) からの i 番衛星の信号の信号対ノイズの比率に基づいた重み関数。

コード不確定性はモジュール (219) にて修復される。ダウンヒル探索モジュール (214) は以降の探索のための新たなより狭い範囲を定義する。主要探索モジュール (217) が位置のより良い近似を求める。このユーザー初期位置の概算値 (220) は探索範囲初期化モジュール (216) へ伝達される。探索範囲初期化モジュール (216) は探索範囲を再定義し探索モジュール (214) へダウンヒル・シンプレクス法利用の高速な精密位置捕捉のため送信する。

40

計算された位置 (221) はユーザにディスプレイ (222) で出力されるのが可能でシステム時間をシステム時間補正モジュール (223) にて改良と修正することができる。エフェメリスが一週間を超える時間利用される場合は、予測衛星時計誤差が位置計算の精密を低下させる。その効果を減らすためにはシステムはモジュール (218) により形成された損失関数 F2 の代わりにモジュール (224) により形成された以下の関数を利用する。

$$F3 = \sum_{i=1}^{N-1} (w_i \times ((\rho_i^m[t_{k+1}] - \rho_j^m[t_{k+1}])^2 - (\rho_i^p[t_{k+1}] - \rho_j^p[t_{k+1}])^2 - (\rho_i^m[t_k] - \rho_j^m[t_k])^2 + (\rho_i^p[t_k] - \rho_j^p[t_k])^2))$$

;

$\rho_i^m[t_{k+1}]$  が i 番衛星のエポック  $t_{k+1}$  のコード測定、

$\rho_i^m[t_k]$  が i 番衛星のエポック  $t_k$  のコード測定、

$\rho_i^p[t_{k+1}]$  が i 番衛星のエポック  $t_{k+1}$  の予測コード、

$\rho_i^p[t_k]$  が i 番衛星のエポック  $t_k$  の予測コード、

$\rho_j^m[t_{k+1}]$  選択されたマスター衛星のエポック  $t_{k+1}$  のコード測定、

$\rho_j^p[t_{k+1}]$  選択されたマスター衛星のエポック  $t_{k+1}$  の予測コード、

$\rho_j^m[t_k]$  選択されたマスター衛星のエポック  $t_k$  のコード測定、

$\rho_j^p[t_k]$  選択されたマスター衛星のエポック  $t_k$  の予測コード、

10

$w_i$  は捕捉モジュール (207) からの i 番衛星の信号の信号対ノイズの比率に基づいた重み関数。

20

以上の詳細な記述には本発明は具体化例により説明されたが、その具体化例以外の構成又は配置の改修又は変更は熟練の者によりできるが、その場合の改修または変更は本発明の範囲内となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は航行メッセージの読み取りなしでかつネットワーク接続なしでのGNSSコードと周波数測定、そして予測エフェメリスを利用して位置計算を行うGNSSレシーバ・システムのブロック線図の表示である。(101)複数のGPS衛星 (102)GNSSアンテナ (103)フロントエンド・モジュール (104)デジタル化された中間周波数信号 (105)コミュニケーション送信モジュール (106)メモリー・モジュール (107)時計 (108)タイムマーク (109)フロントエンド・ユニット (110)パックされた中間周波数データ (111)コミュニケーション受信モジュール (112)タイムマークされた中間地点のデジタル化された中間周波数データ・セット (113)タイムマーク (114)捕捉モジュール (115)GNSS観測量 (116)位置計算モジュール (117)時間基準モジュール (118)時計 (119)メモリー・モジュール (120)計算されたユーザ位置 (121)航行ユニット

30

【図2】図2は発明のGNSSレシーバ・システムの適当な具体化ブロック線図である。(201)複数のGPS衛星 (202)GPS無線周波数信号 (203)GPSアンテナ (204)フロントエンド・モジュール (205)アンテナ・ケーブル (206)デジタル化された中間周波数信号 (207)捕捉モジュール (208)メモリー・モジュール (209)捕捉衛星のPRN号 (210)GPSドップラー測定 (211)GPSコード測定 (212)範囲探索モジュール (213)システム時計 (214)ダウンヒル探索モジュール (215)ドップラーベース損失関数形成モジュール (216)探索初期化モジュール (217)主要探索モジュール (218)主要損失関数形成モジュール (219)コード不確定性修復モジュール (220)ユーザ初期位置の概算値 (221)ユーザ位置 (222)ディスプレイ (223)システム時間補正モジュール (224)二重差分ベース損失関数形成モジュール

40

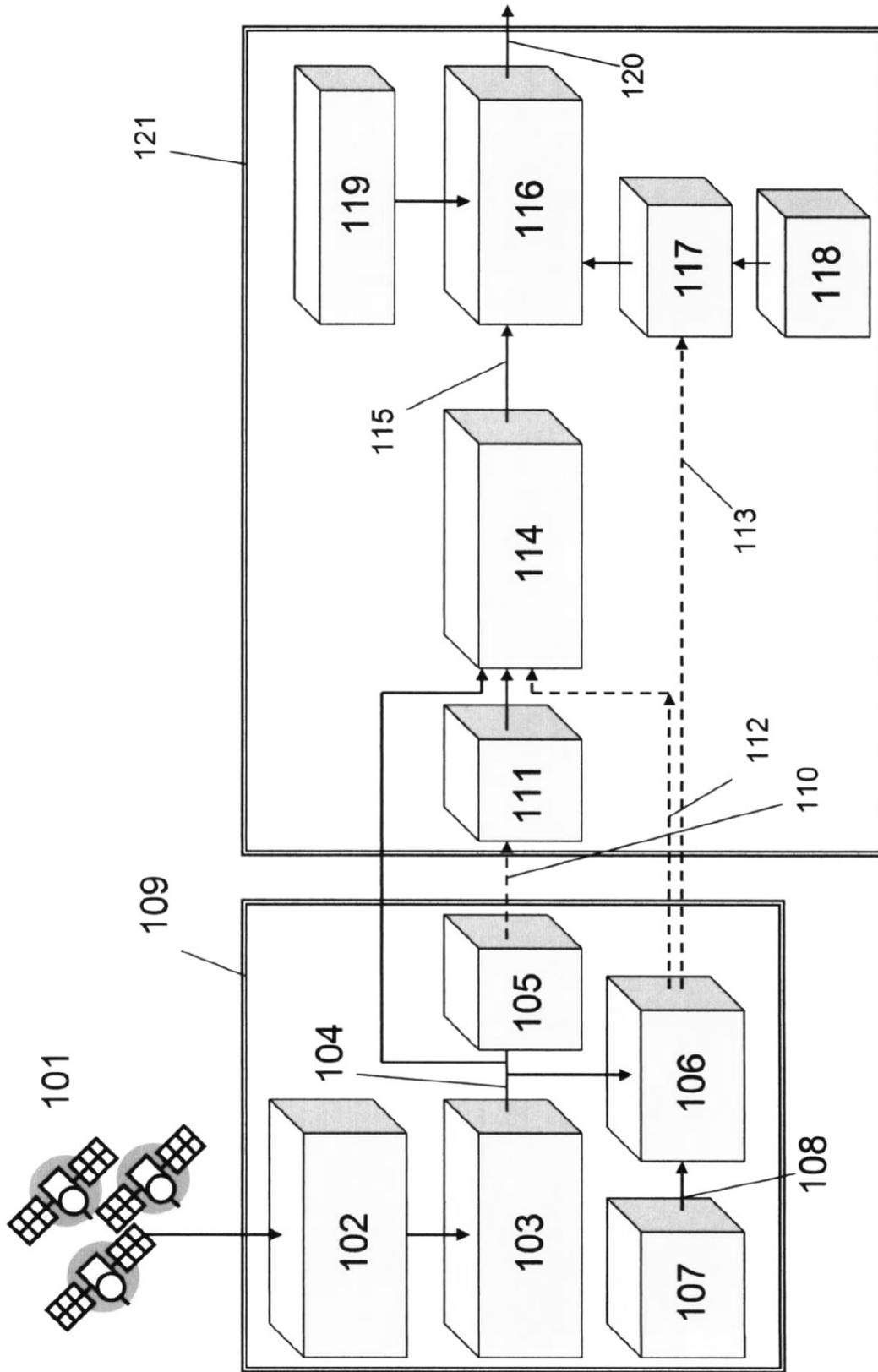
#### 【参考書目】

References Cited

50

1. US特許5,945,944 Krasner Norman F., Method and apparatus for determining time for GPS receivers、1999年8月31日発行。特許願書登録号08/845,545、1997年4月24日登録。
2. US特許6,417,801 van Diggelen, Frank, Method and apparatus for time-free processing of GPS signals、2002年9月07日発行。特許願書登録号715860、2000年11月17日登録
3. Syrjarinne, J. Time Recovery through Fusion of Inaccurate Network Timing Assistance with GPS Measurements. 3rd International Conference of Information, Fusion, FUSION July 2000, Volume II, Pages WED5:3-10. 10
4. Niilo Sirola, Exhaustive global grid search in computing receiver position from modular satellite range measurements, Journal of Physics: Conference Series 52 (2006) 73-82
5. S.N. Sivanandam S.N. Deepa Introduction to Genetic Algorithms, Springer-Verlag, 2008. 20
6. William H. Press et al., Numerical Recipes, 3<sup>rd</sup> edition, Cambridge University Press, 2007
7. J.M. Dow, R.E. Neilan, G. Gendt, "The International GPS Service (IGS): Celebrating the 10th Anniversary and Looking to the Next Decade," Adv. Space Res. 36 vol. 36, no. 3, p. 320-326, 2005. doi:10.1016/j.asr.2005.05.125 30

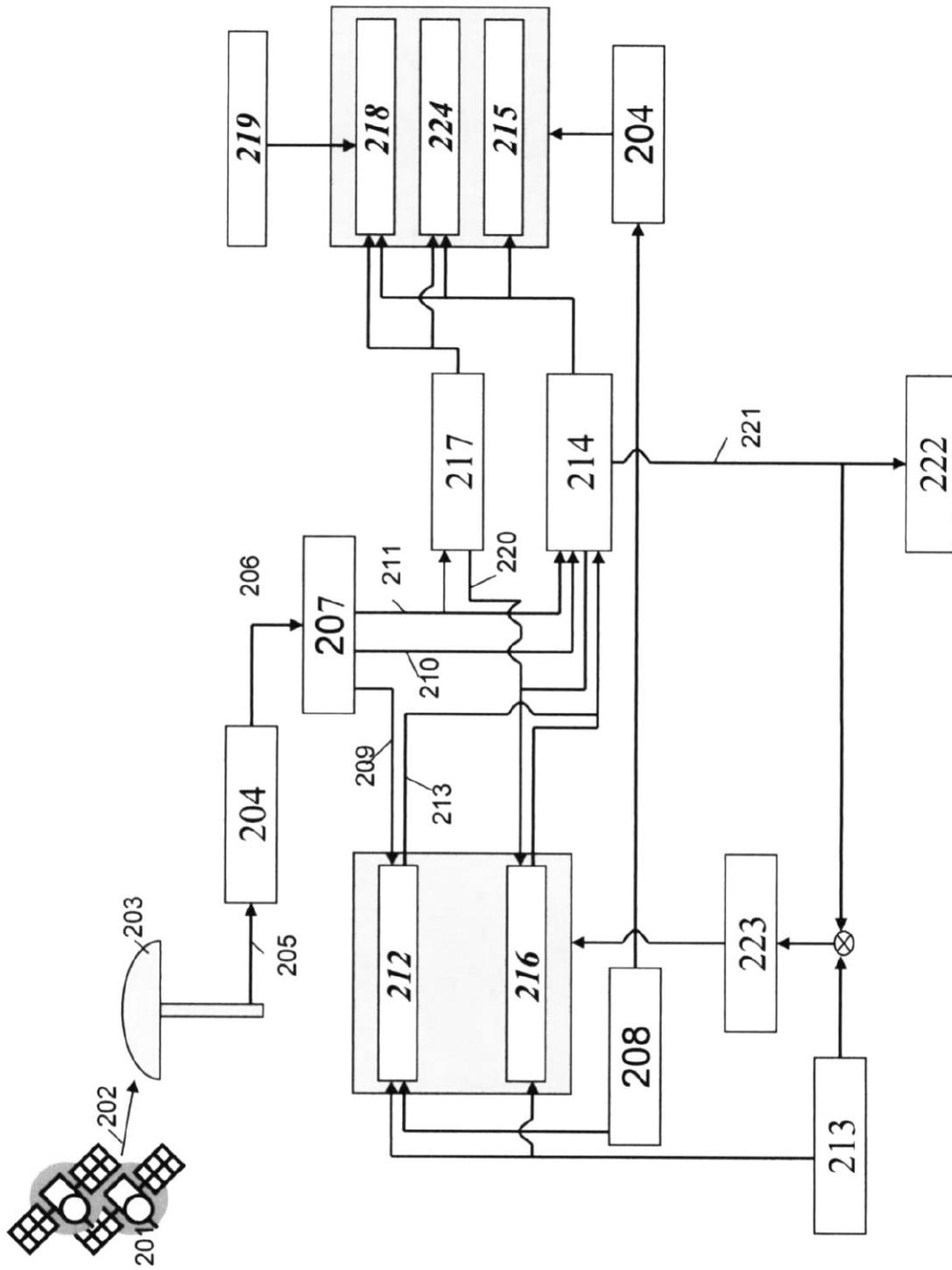
【図1】



第1図

図面代用写真(カラー)

【 図 2 】



第 2 図  
図面代用写真(カラー)

【 外国語明細書 】

## **TITLE OF INVENTION**

Method and apparatus for calculating position with GNSS satellites

## **FIELD OF THE INVENTION**

The present invention relates generally to the field of global navigation satellite systems (GNSS), specifically as an alternative to Assisted GNSS (AGNSS), or Assisted GPS (AGPS) technology.

## **BACKGROUND OF THE INVENTION**

GNSS receiver determines its position using signals from plurality of GNSS satellites. It is required to make code and frequency measurements and read navigation message, which provides satellite ephemeris and time of transmission. Based on this information the GNSS receiver can calculate a position of its antenna. It is very important for many applications to be able to provide an instant positioning. To make an instant positioning means to avoid a necessity of tracking a satellite signal and reading a navigation message. It takes about 30 seconds to read a complete navigation message for GPS (Global Positioning System) L1 signal to ensure a decoding of all necessary for positioning data. If navigation message data are available through some other data link, it is still necessary to decode a time mark from the navigation message, which may require up to six seconds. It is very important for many applications to be able to make a positioning instantly, using just a snapshot of data. It is often impossible to track the satellite signal indoors and therefore impossible to decode the navigation message, even partially. Moving indoors will change multipath and tracking most likely will be interrupted, even if it was possible in the first place.

In case of using the GPS function in cellular phone applications, the cellular phone cannot be used at the same time as GPS because of interference. It means that a user has to wait until all the data from the navigation message are acquired.

The US Patent 5,945,944 Krasner Norman F., Method and apparatus for determining

time for GPS receivers, Issued on 08/31/1999, describes method of supplying time information through a network [1]. The present invention makes it is possible to make a positioning without reading a navigation message and without getting assistance data from a network.

The paper of J.Syrjarinne titled "Time Recovery through Fusion of Inaccurate Network Timing Assistance with GPS Measurements", which was presented on July 2000 on 3rd International Conference of Information Fusion, FUSION 2000, describes a method of finding position, using specific cost function, which is based on code measurement residuals [3].

Later same year an application for US Patent, titled Method and apparatus for time-free processing of GPS signals, had been filed [2]. It describes a method and apparatus for computing GPS receiver position without using absolute time information transmitted by the satellite or by an alternative source of timing available at the GPS receiver. The GPS receiver is contained in an integrated receiver that also includes a wireless communication transceiver, but does not have access to an accurate source of absolute time information. The wireless transceiver communicates through a wireless network to a server.

The present invention is different from above systems and methods, which are described in [1] , [2] and [3] in numerous respects. Present invention is using time source available from the receiver and does not includes a wireless communication transceiver or any other data link to supply an assistance data. Its distinguished feature is that the receiver does not require data link to a network at the time of positioning. The proposed system does not rely on any network at all. Therefore the present invention can be used outside of AGPS networks for much wider range of applications.

Such application as GPS enhanced camera, would require an instant position fix without network assistance. It is unlikely that camera always used in places where a network is available. Another application is an aircraft, which is maneuvering in the

skies. An ability to use any snapshots of data will benefit its navigation in two respects. Firstly, no data are lost to a navigation system even if a satellite was in view only for a millisecond. Secondly, such data have much smaller latency, which is extremely important in case of high dynamic vehicles such as aircrafts. A network assistance most likely will also be impossible for such application.

It is also desirable to be able to make instant positioning without network because network can be malfunctioning or even destroyed during natural disasters such as earthquakes. It is still very important in such cases to be able to make instant and snapshot positioning.

Reference [2] requires to know receiver approximate position with an accuracy of a few kilometers in order to make a positioning. The present invention does not require having an a-priori position from the server. Initial approximation can be obtained either from introducing country name into the receiver, or from the PRN (Pseudo-Random Noise) numbers of visible satellites. Such approach will give an initial position within a few thousands of kilometers, which is enough for the present invention. The present invention allows to resolve pseudorange ambiguities in the receiver without knowing its a-priori position. The reference [2] method and apparatus do not present a way to calculate position without assistance information and a-priori position in practical applications.

The method that presents a way to calculate position without assistance information and a-priori position is described in recent publication [4]. However, the method which is described in [4] does not allow any practical application. It describes that it takes 14 minutes to calculate the position. It is about 30 times longer, than it is required by conventional GPS algorithms, which is 30 seconds. The present invention describes method, which allows to calculate a position about 30 times quicker than by conventional GPS algorithms and methods. The present invention allows to calculate position within one or two seconds, instead of 30 seconds of conventional GPS

algorithms. The present invention describes the methods, which allow to achieve positioning in real-time, which is essential for real life applications.

The present invention and [2] have different application areas. The present invention is not limited to mobile receivers connected to a network. The reference [2] is applicable only for a receiver connected to a network.

The present invention describes a novel method of deriving positioning with code and Doppler measurements. The novelty of this method includes an application of genetic algorithms [5] or simulated annealing methods [6] for finding a global minima of multiple-minima functions, a narrowing initial search area with Doppler measurements, and mitigating clock errors for predicted ephemeris. These items can be mostly used only in combination, forming together a new method of GNSS positioning. It is not useful to use Doppler measurements for positioning on its own, especially without tracking loops, because the accuracy of such positioning will be very poor. However, it is good enough to put constraints on initial search area for finding a global minima of multiple-minima functions. The present invention proposes to use predicted ephemerides. The predicted orbit data can be used for very long without update and still provide good positioning accuracy. Satellite clock error prediction data degrade much quicker. It is important for such method to be able to use only orbit data, because it increases validity period for predicted ephemerides, thus mitigating clock errors for predicted ephemeris is important component of the present invention.

This invention describes a new GNSS receiver system, which is using the proposed method of positioning. The GNSS receiver system can be used as a conventional receiver, a tracking system or an asset monitoring (fleet management system). The tracking system is different from the existing tracking systems in that on the rover side only front end and memory are needed. The asset monitoring (fleet management) system is different from the existing asset monitoring (fleet management) systems in that on the rover side only front end and communication device is needed. The conventional

tracking and asset monitoring systems require to have a complete receiver on the rover side, which includes, besides front end, baseband processor and navigation processor. The present invention therefore allows to create tracking systems with rover side, which can be by definition smaller, lighter, cheaper and with lower power consumption than in case of conventional systems. This is possible because present invention allows to calculate a position based on only very short snapshot of GNSS data, as small as one code period, which is for example equal to one millisecond for GPS L1 signal. This data can be kept in memory or send to a control center for processing. The control center can calculate a rover position using only one millisecond of data. The size of this data can be as small as a few hundred bytes. The conventional GNSS or GPS processing will require 30,000 times more data. It is impractical to make a tracking system, which will require such amount of data to be transmitted or kept in memory for each waypoint. Therefore it is necessary in a prior art to process all data on the rover side. It implies that rover side must include complete receiver. The present invention allows to use only front end instead of the complete receiver.

Therefore, a need exists in the art for a method and apparatus that processes GNSS signals and immediately calculates position without reading navigation message, without network presence and without a-priori position.

## **SUMMARY OF THE INVENTION**

The invention applies to positioning with GPS or in general with any GNSS satellite signals, including GLONASS and Galileo. It is normally required to track GPS signal after an acquisition stage for about 30 seconds to read navigation message and retrieve satellite orbit data and satellite clock errors. If these data are supplied through external data link or from memory, it is still required to track GPS signal after an acquisition stage for about six seconds to read navigation message and retrieve a time of transmission. The present invention allows to find antenna position using

measurements from the acquisition unit, system clock and ephemerides information either predicted or immediate.

FIG.1 shows a flowchart of the present invention GNSS receiver system. GNSS radio frequency signal from the plurality of GPS satellites (101) goes through GNSS antenna (102) to a front end module (103). The front end module (103) provides signal down-conversion from GNSS frequency to intermediate frequency and digitizes the signal. The digitized intermediate frequency signal (104) can be used in three different ways within the present invention depending on the embodiment. If the invented GNSS system used as GNSS sensor for systems such as asset monitoring system (fleet management, child or pet monitoring system), then the digitized intermediate frequency signal (104) is transferred to communication transmitter module (105).

If the invented GNSS system used as GNSS tracking device, then the digitized intermediate frequency signal (104) is transferred to memory module (106). The clock (107) supplies time mark into memory module (106) for each set of digitized intermediate frequency signal (104) data for each waypoint. The front end unit (109) comprising GNSS antenna (102), front end module (103), memory module (106), clock (107) and communication transmitter module (105) can be designed to be in a separated device and located remotely.

If the front end unit (109) is located remotely and is used for remote rover immediate positioning as for asset monitoring system, then packed digitized intermediate frequency data (110) are transmitted to a communication receiver module (111). If the front end unit (109) is located remotely and is used for tracking system then the time marked waypoint digitized intermediate frequency data sets (112) are downloaded from the memory at later time. Time marks (113) from memory module (106) are used in position calculation along with corresponded time marked waypoint digitized intermediate frequency data sets (112). If the invented GNSS system used as GNSS receiver the digitized intermediate frequency signal (104) goes into acquisition module

(114) directly from the front end module (103).

Acquisition module (114) processing the digitized data and outputs GNSS measurements (115) including pseudorandom noise (PRN) numbers of acquired satellites, GNSS Doppler measurements, to position calculation module (116). Time reference module (117) supplies the position calculation module (116) with approximate time either from time marks (113) from memory module (106) in case of tracking system, or from clock (118) in case of asset monitoring or GNSS receiver embodiment. Memory module (119) provides the position calculation module (116) with ephemerides information. The ephemerides can be predicted ephemerides or immediate ephemerides.

The position calculation module (116) calculates user position (120) using providing GNSS satellite ephemerides from memory module (119), GNSS code measurements and GNSS Doppler measurements (115) from acquisition module (114), and approximate current time from the time reference module (117).

The position calculation module (116) forms a cost function, comprising of functions of differences in magnitude of predicted code measurement functions and code measurement functions.

$$F1 = \sum_{i=1}^{N-1} (w_i \times g\{f(\rho_i^m - \rho_j^m) - f(\rho_i^p - \rho_j^p)\})$$

Where

$\rho_i^m$  is code measurement of i-th satellite ,

$\rho_i^p$  is predicted code of i-th satellite ,

$\rho_j^m$  is code measurement of chosen master satellite ,

$\rho_j^p$  is predicted code of chosen master satellite ,

$w_i$  is weight function formed based on signal-to-noise ratio for the i-th satellite signal.

The cost function has multiple local minima. The position calculation module (116) uses genetic algorithm to provide a realization of search cost function global minima. Alternatively, the position calculation module (116) uses a simulated annealing method or a combination of brute force and optimization algorithms to provide a realization of search cost function global minima.

To put constrains on the search area for said cost function, the position calculation module (116) finds an approximate position estimate, using another cost function comprising of functions of differences in magnitude of Doppler measurement functions and predicted Doppler measurement functions.

$$F2 = \sum_{i=1}^{N-1} (w_i \times g\{f(d\rho_i^m - d\rho_j^m) - f(d\rho_i^p - d\rho_j^p)\})$$

$d\rho_i^m$  is Doppler measurement of i-th satellite ,

$d\rho_i^p$  is predicted Doppler of i-th satellite ,

$d\rho_j^m$  is Doppler measurement of chosen master satellite ,

$d\rho_j^p$  is predicted Doppler of chosen master satellite ,

$w_i$  is weight function formed based on signal-to-noise ratio for the i-th satellite signal.

In order to mitigate the predicted satellite clock errors and facilitate usage of ephemerides with longer validity, the position calculation module (116) uses another cost function, which is constructed based on functions of differences in magnitude of differences over time of prediction code measurement functions and differences over time of code measurement functions in order to use only orbit satellite data for positioning calculation as follows.

$$F3 = \sum_{i=1}^{N-1} (w_i \times (g\{f(\rho_i^m[t_{k+1}] - \rho_j^m[t_{k+1}]) - f(\rho_i^p[t_{k+1}] - \rho_j^p[t_{k+1}])\} - g\{f(\rho_i^m[t_k] - \rho_j^m[t_k]) - f(\rho_i^p[t_k] - \rho_j^p[t_k])\}))$$

Where

$\rho_i^m[t_{k+1}]$  is code measurement of i-th satellite for epoch  $t_{k+1}$ ,

$\rho_i^m[t_k]$  is code measurement of i-th satellite for epoch  $t_k$ ,

$\rho_i^p[t_{k+1}]$  is predicted code of i-th satellite for epoch  $t_{k+1}$ ,

$\rho_i^p[t_k]$  is predicted code of i-th satellite for epoch  $t_k$ ,

$\rho_j^m[t_{k+1}]$  is code measurement of chosen master satellite for epoch  $t_{k+1}$ ,

$\rho_j^p[t_{k+1}]$  is predicted code of chosen master satellite for epoch  $t_{k+1}$ ,

$\rho_j^m[t_k]$  is code measurement of chosen master satellite for epoch  $t_k$ ,

$\rho_j^p[t_k]$  is predicted code of chosen master satellite for epoch  $t_k$ ,

$w_i$  is weight function formed based on signal-to-noise ratio for the i-th satellite signal.

Navigation unit (121) thus consists of the acquisition module (114), the position calculation module (116), memory module (119), time reference module (117), clock (118) and communication receiver module (111).

The memory module (106), clock (107), communication transmitter module (105), time reference module (117), and communication receiver module (111) may not be required if the front end unit (109) is designed to be in one device with navigation unit (121).

## OBJECTS OF THE INVENTION

Hence, it is a primary object of the instant invention to provide GNSS positioning system, which makes a positioning without using network assistance and without reading navigation message.

It is a further primary object of the present invention to provide GNSS positioning receiver system, which makes a positioning within one or two seconds from the moment the GNSS positioning receiver system is switched on.

It is a further primary object of the present invention to provide GNSS positioning system, which can make a positioning using only one code period of GNSS satellite signal.

It is a further primary object of the present invention to provide GNSS positioning system, which uses GNSS front ends as remote sensors. The remote sensors send digitized intermediate frequency data through communication modules to one or several navigation units.

It is a further primary object of the present invention to provide GNSS positioning system, which uses GNSS front end as tracking device. The tracking device keeps digitized intermediate frequency data for each waypoint in memory module for later processing in remotely located navigation unit.

## EMBODIMENT

The preferred embodiment is shown in Fig.2. The plurality of GPS satellites (201) transmit radio frequency signal (202) comprising carrier, spreading pseudo-random code and navigation message. The signal (202) is received by antenna (203) and transferred to front end module (204) through antenna cable (205). Front end module (204) provides signal down-conversion from GPS L1 frequency to 4 MHz intermediate frequency and digitizes the signal with 16 MHz sampling rate. The digitized intermediate frequency signal (206) is transferred to acquisition module (207). This embodiment is for the case when the front end unit and navigation unit are located in one device. In this particular embodiment the navigation unit resides on a personal computer.

Prior the positioning, predicted satellite ephemerides are downloaded into memory module (208). For example, the ephemerides in ASCII SP3 format can be downloaded

from CODE ftp site <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE>. CODE is a part of International Geomatic Service organization, which provide some services, including predicted satellite ephemerides, to community free of charge [7].

Acquisition module (207) after acquiring signals outputs pseudorandom noise (PRN) numbers of acquired satellites (209), GPS Doppler measurements (210) and GPS code measurements (211).

Region area finding Module (212) using predicted satellite ephemerides (208) and system clock (213) finds a region from where satellites with the same PRN numbers as PRN numbers of acquired satellites (209) are visible for given time and satellite orbits. Given time is a computer system time in the present embodiment. The region defines initial search area, which is supplied to Downhill Search module (214). Downhill Search module (214) uses Downhill Simplex method [6] and finds a minimum of cost function. The cost function is formed by Doppler based cost function forming module (215), using GPS Doppler measurements (210) and predicted Doppler measurements. Predicted Doppler measurements are calculated using predicted satellites (201) position in time search area and antenna (202) position in coordinate search area. The time of reception and antenna position forms four-dimensional search area in initialization module (212). Receiver clock error is excluded from measurements by forming single differences between satellites and chosen master satellite with highest elevation angle.

The Doppler based cost function forming module (215) forms the cost function as follows:

$$F1 = \sum_{i=1}^{N-1} (w_i \{ (d\rho_i^m - d\rho_j^m)^2 - (d\rho_i^p - d\rho_j^p)^2 \})$$

Where

$d\rho_i^m$  is Doppler measurement of i-th satellite ,

$d\rho_i^p$  is predicted Doppler of i-th satellite ,

$d\rho_j^m$  is Doppler measurement of chosen master satellite ,

$d\rho_j^p$  is predicted Doppler of chosen master satellite ,

$w_i$  is weight function formed based on signal-to-noise ratio for the i-th satellite signal from Acquisition module (207) . The weight function coefficient are set all to 1 in this embodiment.

The Downhill Search module (214) defines a new narrower region in module (216) for the further search, which is supplied to main search module (217). The main search module (217) uses genetic algorithm [5] and finds a minimum of cost function, which is formed in module (218). Cost function is formed using GPS code measurements (211) and predicted code measurements. Predicted code measurements are calculated using predicted satellites (201) position in time search area and antenna (202) position in coordinate search area. The time of reception and antenna position forms four-dimensional search area in initialization module (216). Receiver clock error is excluded from measurements by forming single differences between satellites and chosen master satellite with highest elevation angle. The cost function forming module (218) forms the cost function as follows:

$$F2 = \sum_{i=1}^{N-1} (w_i \times \{(\rho_i^m - \rho_j^m)^2 - (\rho_i^p - \rho_j^p)^2\})$$

Where

$\rho_i^m$  is code measurement of i-th satellite ,

$\rho_i^p$  is predicted code of i-th satellite ,

$\rho_j^m$  is code measurement of chosen master satellite ,

$\rho_j^p$  is predicted code of chosen master satellite ,

$w_i$  is weight function formed based on signal-to-noise ratio for the i-th satellite signal from Acquisition module (207) .

The code ambiguities are restored in module (219). The Downhill Search module (214) defines a new narrower region for the further search. The Main search module (217) finds a good approximation of the position. This first user position approximate estimation (220) is transferred to search area initialization module (216). The search area initialization module (216) redefines search area and sends it to search module (214) to use Downhill Simplex method for quick find the precise position.

The calculated position (221) can be output to user through display (222) and used to refine and adjust the system time in system time adjustment module (223).

If ephemerides are intended to be used for a time longer than one week, then predicted satellite clock errors can significantly decrease accuracy of positioning. In order to mitigate their affect, the system instead of cost function F2, formed by module (218) uses the following function, formed by module (224).

$$F3 = \sum_{i=1}^{N-1} (w_i \times ((\rho_i^m[t_{k+1}] - \rho_j^m[t_{k+1}])^2 - (\rho_i^p[t_{k+1}] - \rho_j^p[t_{k+1}])^2 - (\rho_i^m[t_k] - \rho_j^m[t_k])^2 + (\rho_i^p[t_k] - \rho_j^p[t_k])^2))$$

Where

$\rho_i^m[t_{k+1}]$  is code measurement of i-th satellite for epoch  $t_{k+1}$ ,

$\rho_i^m[t_k]$  is code measurement of i-th satellite for epoch  $t_k$ ,

$\rho_i^p[t_{k+1}]$  is predicted code of i-th satellite for epoch  $t_{k+1}$ ,

$\rho_i^p[t_k]$  is predicted code of i-th satellite for epoch  $t_k$ ,

$\rho_j^m[t_{k+1}]$  is code measurement of chosen master satellite for epoch  $t_{k+1}$ ,

$\rho_j^p[t_{k+1}]$  is predicted code of chosen master satellite for epoch  $t_{k+1}$ ,

$\rho_j^m[t_k]$  is code measurement of chosen master satellite for epoch  $t_k$ ,

$\rho_j^p[t_k]$  is predicted code of chosen master satellite for epoch  $t_k$ ,

$w_i$  is weight function formed based on signal-to-noise ratio for the i-th satellite signal

from Acquisition module (207) .

Also in the forgoing detailed description the present invention has been described by reference to various specific embodiments, it is to be understood that modifications and alterations in the structure and arrangement of those embodiments other than those specifically set forth herein may be achieved by those skilled in the art and that such modifications and alterations are to be considered as within the overall scope of this invention.

#### **BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS**

FIG.1 is a block diagram representation of GNSS receiver system, which calculates position using GNSS code and frequency measurements and predicted ephemerides without reading navigation message and without connection to a network.

- (101) The plurality of GPS satellites
- (102) GNSS Antenna
- (103) Front end module
- (104) Digitized intermediate frequency signal
- (105) Communication transmitter module
- (106) Memory module
- (107) Clock
- (108) Time mark
- (109) Front end unit
- (110) Packed digitized intermediate frequency data
- (111) Communication receiver module
- (112) Time marked waypoint digitized intermediate frequency data sets
- (113) Time marks
- (114) Acquisition module
- (115) GNSS measurements
- (116) Position calculation module

- (117) Time reference module
- (118) Clock
- (119) Memory module
- (120) Navigation unit
- (121) Calculated user position

FIG.2 is a block diagram representation of the invented GNSS receiver system according to a preferred embodiment.

- (201) The plurality of GPS satellites
- (202) GPS radio frequency signal
- (203) GPS antenna
- (204) Front end module
- (205) Antenna cable
- (206) Digitized intermediate frequency signal
- (207) Acquisition module
- (208) Memory module
- (209) PRN numbers of acquired satellites
- (210) GPS Doppler measurements
- (211) GPS code measurements
- (212) Region area finding module
- (213) System clock
- (214) Downhill Search module
- (215) Doppler based cost function forming module
- (216) Search Initialization module
- (217) Main search module
- (218) Main cost function forming module
- (219) Code ambiguities restoration module
- (220) First user position approximate estimation
- (221) User position

(222) Display

(223) System time adjustment module.

(224) Double Differenced based cost function forming module.

#### References Cited

#### Patent Documents References

1. US Patent 5,945,944 Krasner Norman F., Method and apparatus for determining time for GPS receivers, Issued on 08/31/1999, Application No. 08/845,545 filed on 04/24/1997
2. US Patent 6,417,801 van Diggelen, Frank, Method and apparatus for time-free processing of GPS signals , Issued on 07/09/2002, Application No. 715860 filed on 11/17/2000

#### Other references

3. Syrjarinne, J. Time Recovery through Fusion of Inaccurate Network Timing Assistance with GPS Measurements. 3rd International Conference of Information, Fusion, FUSION July 2000, Volume II, Pages WED5: 3-10.
4. Niilo Sirola; Exhaustive global grid search in computing receiver position from modular satellite range measurements, Journal of Physics: Conference Series 52 (2006) 73–82
5. S.N. Sivanandam S.N. Deepa Introduction to Genetic Algorithms, Springer-Verlag, 2008.
6. William H.Press et al., Numerical Recipes, 3<sup>rd</sup> edition, Cambridge University Press, 2007
7. J.M. Dow, R.E. Neilan, G. Gendt, "The International GPS Service (IGS): Celebrating the 10th Anniversary and Looking to the Next Decade," Adv. Space Res. 36 vol. 36, no. 3, pp. 320-326, 2005. doi:10.1016/j.asr.2005.05.125

**Claims**

What is claimed is:

1. A method of calculating the position of a Global Navigation Satellite System (GNSS) receiver antenna and time of GNSS signal reception,  
providing GNSS satellite ephemerides;  
providing GNSS code measurements;  
providing GNSS Doppler measurements;  
providing approximate current time;  
computing the position of a GNSS receiver antenna and time of signal reception, using said ephemerides, code measurements, Doppler measurements and approximate time.
2. The method for determining GNSS receiver antenna position and time of GNSS signal reception according to claim 1, wherein the position is calculated in absence of network connection at the time of positioning.
3. The method for determining GNSS receiver antenna position and time of GNSS signal reception according to claim 1, wherein satellite ephemerides are predicted ephemerides.
4. The method for determining GNSS receiver antenna position and time of GNSS signal reception according to claim 1, wherein a cost function, comprising of functions of difference in magnitude between predicted code measurement functions and code measurement functions, has multiple local minima.
5. The method for determining GNSS receiver antenna position and time of GNSS signal reception according to claim 1, wherein a genetic algorithm is applied to provide a realization of cost function global minima search.

6. The method for determining GNSS receiver antenna position and time of GNSS signal reception according to claim 1, wherein a simulated annealing method is applied to provide a realization of cost function global minima search.

7. The method for determining GNSS receiver antenna position and time of GNSS signal reception according to claim 1, wherein a combination of brute force and function minimization algorithms is applied to provide a realization of cost function global minima search.

8. The method for determining GNSS receiver antenna position and time of GNSS signal reception according to claim 1, wherein a cost function comprising of functions of difference in magnitude of Doppler measurement functions and predicted Doppler measurement functions is used to limit initial search area.

9. The method for determining GNSS receiver antenna position and time of GNSS signal reception according to claim 1, wherein cost function is constructed, based on functions of differences in magnitude of differences over time of predicted code measurement functions and differences over time of code measurement functions, in order to use only orbit satellite data for positioning calculation.

10. A GNSS receiver system comprising sensor unit and navigation unit.

11. The GNSS receiver system according to claim 10, further including communication module to send data from sensor unit to navigation unit.

12. The GNSS receiver system according to claim 10, wherein sensor unit consists of antenna, front end module, memory module.

13. The GNSS receiver system according to claim 10, wherein navigation unit consists of acquisition module, clock, memory module and positioning module.

14. The sensor unit according to claim 12, wherein front end module receives radio frequency signal from antenna and outputs down-converted and digitized intermediate frequency signal.

15. The sensor unit according to claim 12, wherein memory module keeps digitized intermediate frequency signal data for later use.

16. The navigation unit according to claim 13, wherein acquisition processes said digitized intermediate frequency signal and outputs GNSS code and frequency measurements.

17. The navigation unit according to claim 13, wherein memory unit keeps predicted ephemeris and satellite clock errors information.

18. The GNSS receiver system according to claim 10, wherein sensor unit and navigation unit are located in different places and connected by communication module.

19. The GNSS receiver system according to claim 10, wherein navigation unit is connected to a plurality of sensor units by communication module.

20. The GNSS receiver system according to claim 10, wherein digitized intermediate frequency signal is transmitted from remote sensor unit to control center unit for calculating a position through the data link module.

21. The GNSS receiver system according to claim 10, wherein digitized intermediate frequency signal is kept in the memory module to be transferred to said navigation unit for position calculation at a later stage.

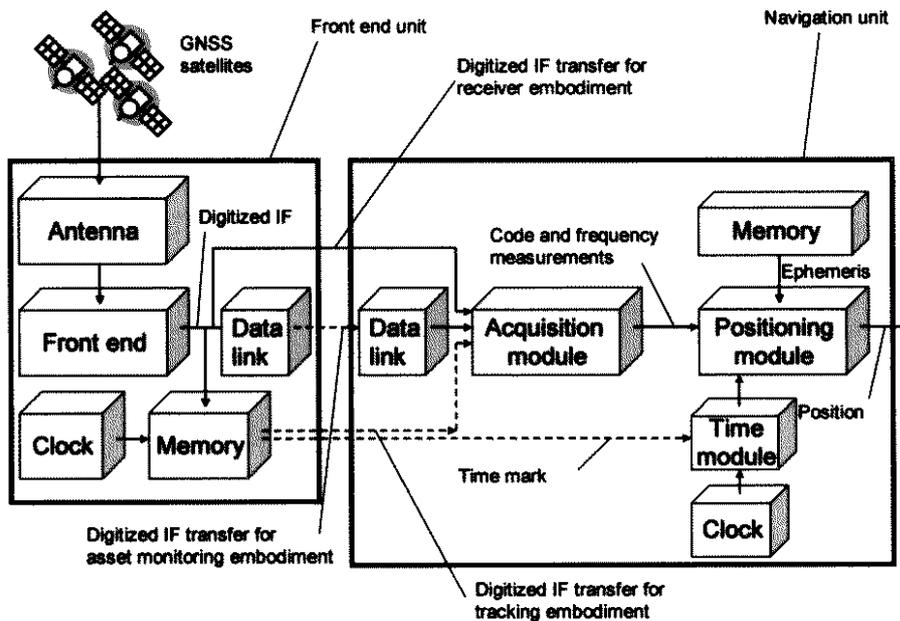
22. The navigation unit according to claim 13, wherein positioning module using GNSS

code and frequency measurements from acquisition module, satellite predicted orbits and clock errors from memory module, and current time from clock calculates a position of GNSS front end unit antenna and time of GNSS signal reception according to claim 1.

## 1. Abstract

A method and apparatus for calculating position with global navigation satellite systems is disclosed. The position can be calculated without reading a navigation message, and without receiving assistance information from a network. The position calculation is realized using code and frequency measurements and predicted ephemeris data, which are kept in memory. Cost functions constructed on the basis of functions of differences in the magnitude of functions of actual and predicted code and frequency measurements are used for positioning. Positioning can be achieved using one code period of a global navigation satellite system signal. The apparatus for calculating position is divided into a front end unit and a navigation unit. The front end unit and the navigation unit can be separated and located at a distance from each other. A digitized intermediate frequency data from the front end unit can be transferred to the navigation unit either immediately or through a data link, or, alternatively, kept in memory for later processing in the navigation unit.

## 2. Representative Drawing



Sheet 1 of 2

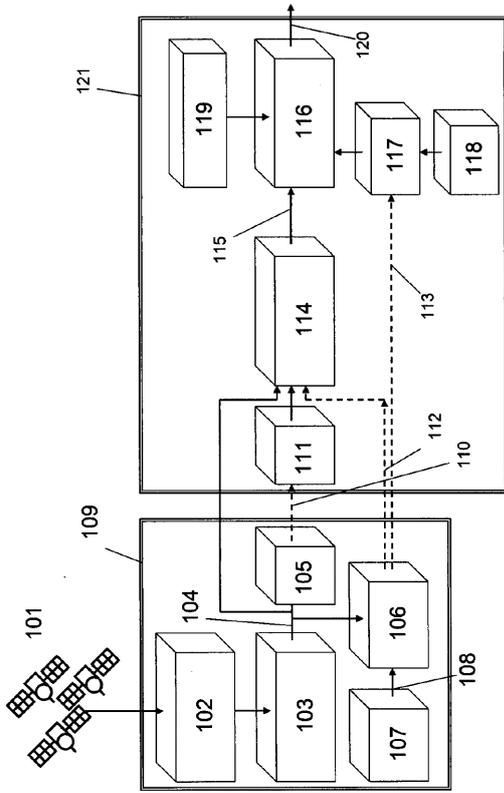


Fig. 1

Sheet 2 of 2

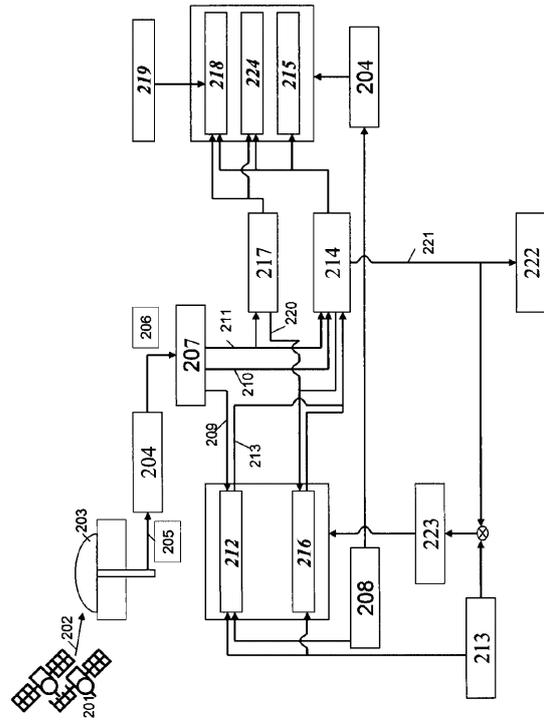


Fig. 2