

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4421819号
(P4421819)

(45) 発行日 平成22年2月24日 (2010. 2. 24)

(24) 登録日 平成21年12月11日 (2009. 12. 11)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 S 13/74 (2006. 01)
 B 6 4 G 1/10 (2006. 01)
 B 6 4 G 3/00 (2006. 01)
 GO 1 S 5/14 (2006. 01)

GO 1 S 13/74
 B 6 4 G 1/10
 B 6 4 G 3/00
 GO 1 S 5/14

請求項の数 10 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2002-577576 (P2002-577576)
 (86) (22) 出願日 平成14年1月15日 (2002. 1. 15)
 (65) 公表番号 特表2004-534212 (P2004-534212A)
 (43) 公表日 平成16年11月11日 (2004. 11. 11)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2002/000350
 (87) 国際公開番号 W02002/079800
 (87) 国際公開日 平成14年10月10日 (2002. 10. 10)
 審査請求日 平成16年12月17日 (2004. 12. 17)
 (31) 優先権主張番号 01108029.8
 (32) 優先日 平成13年3月29日 (2001. 3. 29)
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

前置審査

(73) 特許権者 501313458
 エスエーエスーアストラ エス ア
 ルクセンブルグ L-6815 シャトー
 ドゥ ベツドルフ
 L-6815 Chateau de B
 etzdorf Luxembourg
 (74) 代理人 100076428
 弁理士 大塚 康徳
 (74) 代理人 100112508
 弁理士 高柳 司郎
 (74) 代理人 100115071
 弁理士 大塚 康弘
 (74) 代理人 100116894
 弁理士 木村 秀二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 宇宙飛行体の測距情報を決定するための測距システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

地上の異なる場所の間に共通タイムベースを提供するためのシステムであって、
 通信路の構成要素を搭載する宇宙飛行体であって、該宇宙飛行体の位置が既知である宇宙飛行体と、

地上の異なる場所にある複数の受信局であって、各受信局が前記構成要素からの基準信号の受信に適合されている複数の受信局と、

前記複数の受信局間で同期化されたタイムベースの提供に適合されている同期化手段と、

前記同期化されたタイムベースの同期誤差の補正に適合されている補正手段であって、
 該補正が前記宇宙飛行体の既知の位置と前記複数の受信局の既知の位置との間の各受信基準信号の伝搬時間の測定値を利用してなされる補正手段とを備え、

前記複数の受信局のうち少なくとも一つの受信局が、前記基準信号を受信するための相関利得を生み出す相関受信機を備え、

前記宇宙飛行体がペイロード信号のカバー領域である覆域内に前記基準信号を送信し、
 前記相関受信機が前記宇宙飛行体の覆域外で前記基準信号を受信することを特徴とするシステム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、前記相関受信機が前記基準信号に含まれる所定の信号パターンの相関を基礎とすることを特徴とするシステム。

10

20

【請求項 3】

請求項 1 に記載のシステムにおいて、前記相関受信機がスペクトラム拡散信号のスペクトラム拡散復調を基礎とすることを特徴とするシステム。

【請求項 4】

請求項 3 に記載のシステムにおいて、前記スペクトラム拡散復調が前記相関利得に対応する処理利得を生み出すことを特徴とするシステム。

【請求項 5】

通信路の構成要素を搭載する位置が既知である宇宙飛行体の助力を得ながら地上の異なる場所の間に共通タイムベースを提供するための方法であって、

地上の異なる場所にある複数の受信局により前記構成要素からの基準信号を受信する手順と、

前記複数の受信局間で同期化されたタイムベースを提供する手順と、

前記同期化されたタイムベースの同期誤差を補正する手順であって、該補正が前記宇宙飛行体の既知の位置と前記複数の受信局の既知の位置との間の各受信基準信号の伝搬時間の測定値を利用してなされる手順とを有し、

前記複数の受信局のうち少なくとも一つの受信局に対して、第 1 及び / 又は第 2 基準信号を受信するための相関利得を生み出す相関方法が適用され、

前記宇宙飛行体がペイロード信号のカバー領域である覆域内に前記基準信号を送信し、

前記相関利得を生み出す相関方法が前記宇宙飛行体の覆域外での前記第 1 及び / 又は第 2 基準信号の受信に対して行われることを特徴とする方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の方法において、前記相関方法が前記第 1 及び / 又は第 2 基準信号に含まれる所定の信号パターンの相関を基礎とすることを特徴とする方法。

【請求項 7】

請求項 5 に記載の方法において、前記相関方法がスペクトラム拡散信号のスペクトラム拡散復調を基礎とすることを特徴とする方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の方法において、前記スペクトラム拡散復調が前記相関利得に対応する処理利得を生み出すことを特徴とする方法。

【請求項 9】

通信路の構成要素を搭載する位置が既知である宇宙飛行体の助力を得ながら地上の異なる場所の間に共通タイムベースを提供するための処理局であって、

地上の異なる場所にある複数の受信局からの伝搬時間データの受信に適合されている伝搬時間データ受信手段であって、各受信局が前記構成要素からの基準信号の受信に適合されていて、該複数の受信局間で同期化されたタイムベースが提供される伝搬時間データ受信手段と、

前記同期化されたタイムベースの同期誤差の補正に適合されている補正手段であって、該補正が前記宇宙飛行体の既知の位置と前記複数の受信局の既知の位置との間の各受信基準信号の伝搬時間の測定値を利用してなされる補正手段とを備え、

前記複数の受信局のうち少なくとも一つの受信局が、前記基準信号を受信するための相関受信機を備え、

前記宇宙飛行体がペイロード信号のカバー領域である覆域内に前記基準信号を送信し、

前記相関受信機が前記宇宙飛行体の覆域外で前記基準信号を受信することを特徴とする処理局。

【請求項 10】

通信路の構成要素を搭載する位置が既知である宇宙飛行体の助力を得ながら地上の異なる場所の間に共通タイムベースを提供するための処理方法であって、

地上の異なる場所にある複数の受信局からの伝搬時間データを受信する手順であって、各受信局が前記構成要素からの基準信号の受信に適合されていて、該複数の受信局間で同期化されたタイムベースが提供される手順と、

前記同期化されたタイムベースの同期誤差を補正する手順であって、該補正が前記宇宙飛行体の既知の位置と前記複数の受信局の既知の位置との間の各受信基準信号の伝搬時間の測定値を利用してなされる手順とを有し、

前記複数の受信局のうち少なくとも一つの受信局が、前記基準信号を受信するための相関利得を生み出す相関受信機を備え、

前記宇宙飛行体がペイロード信号のカバー領域である覆域内に前記基準信号を送信し、
前記相関受信機が前記宇宙飛行体の覆域外で前記基準信号を受信することを特徴とする
処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は通信路の構成要素を搭載した宇宙飛行体の測距情報を決定するための測距システム及び測距方法に関する。更に、本発明は、受信局及び受信局の作動方法、処理局及び処理方法、宇宙飛行体及び宇宙飛行体の作動方法、並びに、送信ユニットおよび送信ユニットの作動方法に関する。

【背景技術】

【0002】

静止通信衛星は国際電気通信連合（ITU）により正確に定められた宇宙空間の割り当て区画内に配置されなければならない。ところが、傾き及び偏心に起因する主経線の24時間周期の振動の効果とその長期ドリフトの効果の組み合わせにより、衛星は公称位置に対して明らかに移動する。従って、こういった摂動の効果の下で、衛星をいわゆるステーションキーピングボックスの内部に留まらせるべく最も経済的な方法で周期的に衛星の軌道を修正することにより、衛星を制御しなければならない。このような制御を行うには、衛星の位置及び／又は運動を正確に決定する必要がある。これは通常、測距と呼ばれる。

20

【0003】

静止衛星の高度な軌道位置決め技術のおかげで、最近では要求される測距精度が高くなっている。DE 198 36 602 A1により、狭い軌道空間の利用効率を高めるために、複数の衛星を静止軌道上のある位置に存在するいわゆる衛星クラスタ内に配置することが知られている。これは、ただ1個の衛星ではなく、複数の衛星を1つのステーションキーピングボックスの内部に留まるように制御することを意味する。

30

【0004】

衛星の宇宙座標を決定する基本的な方法は下記のような三辺測量法に基づいている。三辺測量の基本構成を図1に示す。3基の送信局101、102及び103が地上に配置されており、各送信局の位置P1、P2及びP3は既知である。もし距離d1、d2及びd3が測定できれば、衛星104の未知の位置P4も決定することができる。各送信局に対応する距離の測定値をd_iとし、衛星104及び各送信局P_iのデカルト座標をそれぞれ(x, y, z)及び(x_i, y_i, z_i)とする。このとき、次の関係が成り立つ。

【0005】

【数1】

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}$$

$$-\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} = f_i(\vec{q}) \quad , \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

40

【0006】

ここで、ベクトル $\vec{q} = [x, y, z]^T$ は衛星104の未知の位置ベクトルである。測定距離のベクトルは次のように表される。

【0007】

【数 2】

$$\vec{d} = \vec{f}(\vec{q}) \quad (2)$$

【0 0 0 8】

この非線形方程式を q について解くために一般的に用いられる方法の1つにガウス-ニュートン反復法がある。ベクトル q の最良推定値は近似的に次の反復式で表される。

【0 0 0 9】

10

【数 3】

$$\hat{q}_{k+1} = \hat{q}_k + (\vec{F}^T \vec{F})^{-1} \vec{F}^T (\vec{d} - \vec{f}(\hat{q}_k)) \quad (3)$$

【0 0 1 0】

ここで、 F は次のヤコビ行列である。

【0 0 1 1】

【数 4】

$$\vec{F} = \frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{q}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} & \frac{\partial f_1}{\partial z} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} & \frac{\partial f_2}{\partial z} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x} & \frac{\partial f_3}{\partial y} & \frac{\partial f_3}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (4)$$

20

【0 0 1 2】

しかし、実際には図1にあるような三辺測量法の構成だけでなく、他の構成、例えば二辺測量法や四辺測量法の構成を採用することもできる。

【0 0 1 3】

30

二辺測量法では宇宙飛行体の完全な測距情報を出すことはできないが、宇宙飛行体の特定の座標だけに關心がある場合には、二辺測量法でも有用な場合がある。

【0 0 1 4】

また、四辺測量法の構成なら、追加の未知値の解を求めることもできる。四辺測量法の実際の構成を図2に示す。いま、宇宙飛行体の宇宙座標の他に、衛星に搭載されたトランスポンダのトランスポンダ遅延 D が未知量であるものとする。通常、この種のトランスポンダは周波数変換器、大電力増幅器等を備えている。このとき、各距離の測定値 d_i を求める方法は次のようになる。

【0 0 1 5】

【数 5】

40

$$d_i = D + \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}$$

$$-\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} = f_i(\vec{q}), \quad i = 1, 2, 3, 4$$

【0 0 1 6】

ここでも、ベクトル $q = [x, y, z]^T$ は衛星の未知の位置ベクトルである。ベクトル q の解は、式(2)、(3)及び(4)をそれぞれ書き換えることにより求めることができる。このと

50

き、ヤコビ行列は次のようになる。

【 0 0 1 7 】

【 数 6 】

$$\vec{F} = \frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{q}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} & \frac{\partial f_1}{\partial z} & \frac{\partial f_1}{\partial D} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} & \frac{\partial f_2}{\partial z} & \frac{\partial f_2}{\partial D} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x} & \frac{\partial f_3}{\partial y} & \frac{\partial f_3}{\partial z} & \frac{\partial f_3}{\partial D} \end{bmatrix} \quad (6)$$

10

【 0 0 1 8 】

更に別の未知量としては、未知の遅延に起因して受信機構により導入される時間遅延がある。この遅延は、例えばエラー回復機構に起因する。

【 0 0 1 9 】

WO 00/48018により、1つの送信/受信局に2つの受信機構を別個に設けることにより上記のような未知の遅延を補償することが知られている。受信機構により導入される時間遅延の補償手段を備える送信/受信局を図3に示す。送信・受信局301はマルチプレクサ/エンコーダ302、QPSK変調器303、アップコンバータ304及び衛星アンテナ305を備えている。デジタルペイロード信号306は要素データストリームから成り、マルチプレクサ/エンコーダ302に送られる。マルチプレクサ/エンコーダ302は、例えばMPEG-2規格やDVB規格に従って、複数のデジタルペイロード信号を単一のデジタルトランスポートストリームに変換する。デジタルトランスポートストリームはQPSK変調器303により変調され、アップコンバータ304に送られる。アップコンバータ304は、QPSK変調器303の出力を、衛星に搭載されたトランスポンダへの送信のために衛星アンテナ305に送ることができる信号に変換するために必要な装置を表す。通常、トランスポンダは、周波数変換器、大電力増幅装置等を備えている。

20

【 0 0 2 0 】

QPSK変調器303の出力信号、つまり変調されたデジタルトランスポートストリームは第1の受信機構307にも送られる。プロセッサ308が一連のサンプルを解析し、所定の信号パターンを追跡する。所定の信号パターンが見つかったと、プロセッサ308は開始信号STARTを時間測定回路309に送る。開始信号STARTを受けると、時間測定回路309は時間測定を開始し、停止信号STOPを受けるまで測定を継続する。

30

【 0 0 2 1 】

停止信号STOPは、第2の受信機構307'からの出力信号を受ける第2のプロセッサ308'により生成される。第1及び第2の受信機構307、307'はその構造及び構成要素に関して同一である。第2の受信機構307'への入力信号はダウンコンバータ310から供給される。ダウンコンバータ310は衛星アンテナ305からの信号を受信するもので、衛星アンテナ305からの受信信号をQPSK変調器303の出力信号に相当する信号に変換するために必要な全ての装置を備えている。

40

【 0 0 2 2 】

しかし、受信信号には遅延が生じている。なぜなら、信号は衛星アンテナ305から衛星312に搭載されたトランスポンダまで伝わって帰ってくるからである。

【 0 0 2 3 】

停止信号STOPを生成するため、第2のプロセッサ308'は、第1のプロセッサ308と同様に、第2の受信機構307'の出力信号に含まれる所定のビットシーケンスを追跡する。所定のビットシーケンスが検出されると、第2のプロセッサ308'は停止信号STOPを時間測定回路309に送り、時間測定回路309は時間測定を停止する。測定時間は地上局305と衛星312に搭載されたトランスポンダとの間の距離の2倍に相当する。ここで、アップコンバータ304、衛星アンテナ305及び衛星312に搭載さ

50

れているトランスポンダ内の固定した時間遅延はそれぞれ減算することができる。同一の受信機構 307、307' を用いているため、例えばエラー回復機構等による未知の遅延を補償することができる。

【0024】

図4はMPEG-2規格に従ったトランスポートストリームの図である。トランスポートストリームTSは、ヘッダH(4ビット)及びペイロード(184ビット)を基本構成要素とするパケットシーケンスである。ヘッダHは、同期情報(1ビット)、各種フラグ(トランスポートエラーインジケータ、ペイロードユニット開始インジケータ、トランスポート優先順位等)、ペイロード識別子PID(13ビット)及び連続性カウンタ(4ビット)を含む。ペイロード識別子PIDは個々の要素データストリームを逆多重化するために必要である。アダプテーションフィールドは必須ではないが、少なくとも0.1秒毎に送信される。このフィールドには補助的なプログラムデータ、特に、受信側で27MHzクロックを再生するために必要なプログラム参照クロックPCRが含まれる。

【0025】

続いて、トランスポートストリームが送信チャンネルに応じた異なる規格に従って処理される。衛星を介した送信の場合、ヨーロッパDVB衛星規格(DVB-S)が適用できる。この規格は、数あるメカニズムの中から畳み込み符号化及びリードソロモン符号化を規定するとともに、エラー制御ビットを追加して前方向誤り訂正(FEC)を行うことを可能にしている。同様に、地上波放送(DVB-T)及びケーブル放送(DVB-C)に関するヨーロッパDVB規格も存在する。

【0026】

トランスポートストリームTSに含まれる前記所定のビットシーケンスは、衛星地上局から衛星に搭載されたトランスポンダまでの往復伝達経路を計算するための基礎になるトリガ信号又は所定の信号パターンの生成に利用できる。このビットシーケンスは、例えば特定のペイロードPの形で、アップリンク側においてトランスポートストリームTSに挿入することができる。追加パケットの挿入を避けるため、プログラム識別子PID又はその一部を所定のビットシーケンスとして利用してもよい。トランスポートストリームには数個のPIDが必ず存在するはずであるが、その繰り返し速度は測距情報の決定にとっては高すぎる場合がある。このようなときは、所定のビットシーケンスを定義するために、PIDをトランスポートストリームヘッダHの他の情報、例えば連続性カウンタと組み合わせても良い。

【0027】

図2に記載の構成に基づく場合、各局はそれ自身で距離測定を行うことができる。次のステップでは、中央処理局において、上記のように式(5)及び(6)に基づいて衛星の位置が計算される。しかし、独立局を複数設置するには、各局に送信装置を設ける必要があり、それには相当な投資が必要となる。

【0028】

別の解決策としては、いわゆる疑似測距構成を利用するというものがある。疑似測距による四辺測量法の実際の構成を図5に示す。本願における疑似測距は、ある場所より信号が送信されてから別の場所でその信号を受信するまでの経過時間を測定するという単純な遅延測定を意味する。実際には、図5に示したように1つの送信局と複数の受信局を設ける。好ましくは、受信局の1つを送信局と組み合わせるようにする。しかし、各局について送信遅延を決定するには、全ての局間で時間を同期させる必要がある。送信機が実際にいつ信号を出したのかが受信機側でも分かる場合にのみ、遅延すなわちいわゆる疑似測距が可能である。静止衛星の測距の場合、この遅延はよりいっそう相対的に短い(約250ミリ秒)ため、クロック同期は短い時間に対して高度に安定的でなければならない。より具体的に言えば、同期精度は少なくとも10ナノ秒以下である必要がある。

【0029】

当然ながら、WO 00/48018により知られているものと同じ補償技術は疑似測距にも適用可能である。受信機構により導入される時間遅延を補償する手段を有する別個の送信局及

10

20

30

40

50

び受信局を図6に示す。送信局601はマルチプレクサ/エンコーダ602、QPSK変調器603、アップコンバータ604及び第1の衛星アンテナ605を備えている。デジタルパイロード信号606は要素データストリームから成り、マルチプレクサ/エンコーダ602に送られる。マルチプレクサ/エンコーダ602は、図3を参照しながら説明したように、複数のデジタルパイロード信号を、例えばMPEG-2規格やDVB規格に従った単一のデジタルトランスポートストリームに変換する。このデジタルトランスポートストリームはQPSK変調器603により変調され、アップコンバータ604に送られる。アップコンバータ604は、QPSK変調器603の出力を、衛星614に搭載されたトランスポンダへの送信のために衛星アンテナ605に送ることができる信号に変換するための装置を表す。通常、このような設備は、周波数変換器、大電力増幅装置等を備えている。

10

【0030】

QPSK変調器603の出力信号、すなわち変調されたデジタルトランスポートストリームは第1の受信機構607にも送られる。第1の受信機構607の出力信号はプロセッサ608により処理される。プロセッサ608はその出力信号を追跡して所定の信号パターンを探す。前記所定の信号パターンを見つけると、プロセッサ608は第1のトリガ信号EMISSIONを時間測定回路609に送る。第1のトリガ信号EMISSIONを受けると、時間測定回路609は第1のクロック回路611により与えられるタイムスタンプ情報(送信時刻)を登録する。

【0031】

20

また、受信局612は第2の衛星アンテナ613及びダウンコンバータ610'を備えている。ダウンコンバータ610'は第2の衛星アンテナ613から信号を受け取るもので、衛星アンテナ613からの受信信号をQPSK変調器603の出力信号に相当する信号に変換するために必要な全ての設備を備えている。しかし、受信信号には遅延が生じている。なぜなら、信号は第1の衛星アンテナ605から衛星614に搭載されたトランスポンダを経由して第2の衛星アンテナ613まで伝わるからである。

【0032】

ダウンコンバータ610'の出力信号は第2の受信機構607'に送られる。第1及び第2の受信機構607、607'は、構造及び構成要素に関して、つまり処理信号に与える影響に関して同一である。第2のプロセッサ608'は第2の受信機構607'の出力信号を受け、その出力信号を追跡して所定の信号パターンを探す。前記所定の信号パターンが見つかり、第2のプロセッサ608'はトリガ信号RECEPTIONを時間測定回路609'に送る。時間測定回路609'は第2のクロック回路611'により与えられるタイムスタンプ情報(つまり受信時刻)を登録する。

30

【0033】

その後、第2の時間測定回路609'がタイムスタンプ情報(受信時刻)を第1の時間測定回路609に送る。第1の時間測定回路609は、第2の時間測定回路609'から受け取ったタイムスタンプ情報及び先に第1の時間測定回路609により登録されたタイムスタンプ情報(送信時刻)に基づいて、信号遅延を計算する。

【0034】

40

今後の通信衛星については、現在使われている広域ビームを狭角スポットビームで置き換えることが予定されている。

【0035】

地球全体を覆域とする従来のトランスポンダを搭載した衛星を図7に示す。このトランスポンダのアンテナは、地球の可視領域全体が広域ビームによりカバーされるように、17.5度の3dBビーム幅を有している。従って、送信局は全て同一の広域ビームの下に位置している。この場合、図2または図5の構成が可能である。しかし、既に説明したように、今後の衛星については、現在使われている広域ビームを狭角スポットビームで置き換えることが予定されている。

【0036】

50

複数本の狭角ビームを出すアンテナに接続されたトランスポンダを搭載した衛星を図 8 に示す。ここでは例として 3dB ビーム幅が 1.75 度の場合を示している。例えば、狭角スポットビーム 801 をアップリンク送信経路として利用する一方、1 本又は 2 本以上の狭角スポットビーム 802 をダウンリンク送信経路として利用することができる。しかし、狭い非対称なスポットビームしか使わないこれら将来の衛星の場合、測距局が、送信ビームと受信ビームの交差部分に位置している場合を除いて送信しかできず、自分で発した信号を受信することはできないという問題が出てくる。これは、図 2 のような構成が不可能になり、図 5 のような構成だけが可能になることを意味している。更に、小径のスポットビームの使用により、異なる疑似測距局間の空間距離が非常に短くなり、それに応じて軌道決定精度が低下する。特に、単一の軌道スロットにある複数の衛星（つまり、衛星クラス）を同時に測位する場合、精度はもはや十分ではなくなる。

10

【0037】

異なる測距局間の空間距離の短縮による効果を図 9 に示す。問題を簡単にするため 2 次元表現にしてあるが、これは容易に 3 次元の場合に拡張できる。左側には空間距離が最適化された構成が示されている。2 つの局 (I、II) が基線 b で与えられる距離をおいて地上に配置されている。各局は図 2 に従った双方向構成又は図 5 に従った疑似測距構成により測距測定を行う。測定の不確定性は伝搬方向に関して異なることが示されている。伝搬方向に直交する方向では測距測定の不確定性は相対的に低いのに対し、伝搬方向に沿う方向では測距測定の不確定性は相対的に高い。この効果は 2 個の誤差楕円で表されている。一方の誤差楕円は局 I に対応し、もう一方の誤差楕円は局 II に対応している。局 I 及び II の 2 本のビームが垂直に交差する場合、衛星の目標位置の誤差は両方の誤差楕円の交差により与えられる円で表すことができる。これは、伝搬方向に沿う方向における高い不確定性が、他局の伝搬方向に直交する方向における低い不確定性により補償されることを意味している。

20

【0038】

図 9 の右側には、異なる 2 つの測距局 I 及び II の間の空間距離が短い構成が示されている。この場合、交差角は直角よりもかなり小さいため、伝搬方向に沿った方向における高い不確定性を他の局で補償することはもはやできない。従って、衛星の目標位置の交差誤差は両局 I 及び II の共通誤差楕円により表される。この結果、両局 I 及び II の伝搬方向に直交する方向における測距測定の不確定性が高くなる。

30

【特許文献 1】DE 198 36 602 A1 号公報

【特許文献 2】WO 00/48018 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0039】

従って、本発明の目的は、トランスポンダを搭載した衛星の測距情報を決定するための測距システム及びその方法であって、トランスポンダにより狭角スポットビームを用いる場合に追加コストを発生させることなく十分な精度が得られる測距システム及びその方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

40

【0040】

この目的は請求項 1 及び 2 に記載の測距システム及び測距方法により解決される。更に、請求項 3 及び 4 に記載の受信局及び受信局の作動方法、請求項 5 及び 6 に記載の処理局及び処理方法、請求項 7 及び 8 に記載の宇宙飛行体及び宇宙飛行体の作動方法、並びに、請求項 9 及び 10 に記載の送信ユニット及び送信ユニットの作動方法によっても解決される。

【発明の実施の形態及び効果】

【0041】

本発明に係る測距システムは、少なくとも複数の受信局の間で同期化されたタイムベースを提供するための同期化手段を備える図 5 に示したような疑似測距構成を基にしている

50

。更に、前記同期化されたタイムベースに加えて、少なくとも1つの受信局が基準信号を受信するための相関受信機を備えている。相関受信機を備える前記少なくとも1つの受信局はパイロード信号の覆域の範囲外に配置することができる。これにより、異なる測距局間の基線を長くすることができる。この結果、交差角が大きくなり、図9に従って説明したように、空間距離が大きくなる。

【0042】

スポットビームにより覆域1001を作り出すトランスポンダを搭載した衛星を図10に示す。ただし、本発明に従って相関受信機を用いることにより、基準信号を受信するための受信局を覆域1001の外に配置することができる。原理的には、このような受信機は覆域1002の内側に配置することも可能である。スポットビーム1001はここでも1.75度の3dBビーム幅を有しており、パイロード信号と基準信号の両方の送信に利用することができる。スポットビーム1001の電波到達範囲外に複数の受信局を配置できるようにするために、受信局1003及び1004には基準信号を受信するための相関受信機が備えられている。なお、基準信号の処理は時間制限が厳しくなく、パイロード信号のようにリアルタイムで処理する必要はないことに注意が必要である。これにより、所定信号パターンを長くし、それをオフラインで処理することが可能になる。相関利得が高ければ高いほど、受信信号の信号対雑音比は低くてもよくなる。これは、言い換えれば、受信局を電波到達範囲1001からより遠くに配置できるということを意味する。

【0043】

衛星アンテナのアンテナパターンを図11に示す。実効放射電力(EIRP)が方位角(AZ)又は仰角(EL)に対してそれぞれプロットされている。この図はまた、皿形アンテナの電波到達範囲の中心を基準とする、対応する受信局の位置に応じたEIRPの変化を表すものと説明することもできる。例えば、もし受信局が主ビームから0.75度分(38,400km離れた場所における500kmに相当)だけ移動すると、パイロード信号の受信電力は50dBWから46.7dBWに低下する。更に電波到達範囲の中心から1.25度(約840km)まで外側に移動すると、EIRPは40dBWまで低下する。

【0044】

しかしながら、受信したパイロード信号の品質を決定するために重要な値はEIRPではなく搬送波電力対雑音電力比(C/N)である。そこで、例として、受信局で受信された信号のダウンリンクEIRPとC/N比との関係を図12に示す。曲線Aは帯域幅36MHzの通常のパイロード信号の場合の関係を示し、曲線Bは、パイロード信号と同時に送信される、非常に高い処理利得を有するスペクトラム拡散信号の場合の関係を示す。いずれの曲線についても、口径1.2mの皿形アンテナを通じてKuバンドトランスポンダからパイロード信号を受信するものとする。

【0045】

まず第1に、パイロード信号の搬送波電力対雑音電力比C/NがEIRPに対して曲線Aに従った線形関係を有することは明らかである。パイロード信号を正しく受信するには最低6dBのC/Nが必要であると推定できる。従って、それに対応する40dBWのEIRPが受信局において必要になる。静止衛星が高度38,400kmにあり、1.2mの皿形アンテナでパイロード信号を受信するものとした場合、図11に従った説明から、受信局を電波到達範囲の中心から840km以上離して配置することはできないことになる。従って、図9に従って説明したような精度上の理由から電波到達範囲の中心からの距離を大きくしたい場合は、アンテナ利得を増大させること、つまり、皿形アンテナの口径を大きくすることが必要になる。例えば、図1に示した第1サイドローブに受信局を配置したい場合、約20dBのEIRP損失をアンテナ利得の増大で補償しなければならない。これを、Kuバンドに対して口径1.2mでアンテナ利得が41dBの皿形アンテナを使う場合と比較すると、口径約10mでアンテナ利得が61dBの皿形アンテナが必要になることになる。

【0046】

しかし、本発明では、「相関利得」を生み出す相関受信機を使用するため、たとえパイロード信号が負のC/N比を有していても、アンテナを大型化することなく基準信号を処

10

20

30

40

50

理することができる。本発明では、相関利得を生み出すあらゆる種類の相関法が利用可能である。2通りの相関法、すなわち、所定の信号パターンの処理とスペクトラム拡散変復調について、図12を参照しながら詳細に説明する。

【0047】

ペイロード信号又は別の基準信号に導入された所定の信号パターンを使用する方法では、原理的には、先に説明した曲線Aと同じ結果になる。しかし、今の場合、相関利得が導入されているため、曲線Aが上方向にシフトする。従って、曲線AにおいてC/N比が負であっても、それに応じた相関利得によりそれを補償することができるため、同じ大きさのアンテナが利用できる。なお、ペイロード信号では処理時間を準リアルタイムにする必要があるが、基準信号ではその必要はないことに注意すべきである。従って、相関受信機が信号を非常に低い又は負の信号対雑音比で受信することのできるものであれば、狭角スポットビームの電波到達範囲の外側に受信局を配置することも問題なく可能である。所定の信号パターンの受信時刻がわかっており、その時刻が相関受信機の内部で前記所定の信号パターンと相互に関連づけられていれば、やはり処理は可能である。この場合、測距信号の長さと、送信信号と受信信号との間の相関ピークの高さによって、受信信号に重なったノイズの許容レベルが決まる。相関利得が高ければ高いほど、受信信号の信号対雑音比が低くてもよくなる。これは、言い換えれば、電波到達範囲の主要領域からより遠くに受信局を配置できることを意味する。こうして、異なる受信局間の距離を相当に大きくすることができる。

【0048】

もう1つの相関技術はスペクトラム拡散変復調である。この場合、ペイロード信号は変調された搬送波信号とすることができる一方、基準信号はスペクトラム拡散信号とする。スペクトラム拡散変復調では、送信される変調波の帯域幅を通信路に送信する前に拡散(増大)させ、受信機ではその帯域幅を同じ量だけ逆拡散(縮小)する。とりわけ最もよく利用されている拡散技法は直接拡散(DS)変調と周波数ホッピング(FH)変調である。

【0049】

直接拡散変調波は、疑似乱数生成器の出力系列をパルス列に線形変調することにより形成される。このタイプの変調は、通常、2値位相遷移変調(BPSK)された信号情報とともに使用される。この変調信号は、次のようにして形成される。まず純粋な情報ビットストリームに疑似雑音シーケンスを乗算し(モジュロ2)、次にこうして生成された信号を用いてクリーン搬送波の位相を変調する。

【0050】

受信機では、通常、この疑似雑音(PN)波形が既に利用可能になっている(ただし、受信信号から疑似雑音波形を取得するアプリケーションもある)。受信機側の疑似雑音波形は、受信信号を逆拡散して元の帯域幅に戻すために用いられる。

【0051】

周波数ホッピング変調波は、疑似ランダムに生成される周波数偏移系列を用いてパルス列を非線形変調することにより形成される。この変調信号に、多値周波数遷移変調(MFSK)された複素情報信号が乗算される。受信機では、送信信号と通信路干渉とを合算したものに上記周波数ホッピング変調波と同じものが複素乗算される。これにより、送信信号が元のMFSKの形態に戻る。直接拡散の場合と同様に、受信機側では逆ホッピング波形が分かっているか、そうでなければ周波数ホッピング信号を取得及び追跡しなければならない。

【0052】

基準信号のスペクトラム拡散変調波を用いると図12の曲線Bのようになる。曲線Bは曲線Aとは異なる。その理由は、基準信号RSが、アンテナで捕らえられる雑音Nだけでなくペイロード信号そのものによっても乱されるからである。EIRP値が高い場合、C>>Nであるため、測距信号の劣化は搬送波のレベルに左右される。例えば、EIRPが高い場合、C/Nは通常12~14dB程度になる。受信局が電波到達範囲から動かされた場合

、C及びRSは同じ量だけ減衰する。一方、Nは一定のままである。このことから、なぜ $RS/(C+N)$ の減少がCの減少に比べてはるかに小さいかが分かる。このため、スペクトラム拡散変調を相関技術としても利用できるのである。例えば、電波到達範囲の中心においてC/Nが約16dB、 $RS/(C+N)$ が-25dBであったとする。もし基準信号の処理利得が約40dBであれば、その信号はなおも受信及び処理可能である。EIRPが40dBWのとき、C/Nは10dB低下して約6dBとなる一方、拡散信号は-25.8dBまでしか低下しない。この値は電波到達範囲の中心における値より0.8dB低いだけである。更に、もしEIRPが20dB低下して30dBWになると、ペイロード信号のC/Nは20dB低下して-3dBとなる。こうなると、標準的なビデオ信号のデコードは不可能である。一方、基準信号は5dBだけ低下して約-30dBとなるが、この信号は、処理利得が35dBより大きければなおデコード可能である。

10

【0053】

EP 1 041 397 A2により、MPEGデータストリームを受信するための更に別の相関技術が知られている。通常、MPEGストリームに現れる所定の信号パターンは、受信機内の時間測定素子を始動させるためには利用できない。なぜなら、デコーダ内に非確定的な信号遅延があるため、時間分解能が十分に高くないからである。その精度を高めるため、デコーダより後段におけるMPEGストリームの直接処理と、デコーダより前段におけるアナログ信号の直接相関との組み合わせを用いた2段階法が提案されている。デコーダより後段におけるMPEGストリームの直接処理では、デコーダ内の非確定的な信号遅延を含む所定の信号パターンの伝搬時間を概算的に推定する。この概算的推定に基づき、デコーダより前段において、デジタル化されたアナログ信号に対する高精度の相互関連付けが行われる。この高精度の相互関連付けの結果を用いて概算的推定が補正される。しかし、この方法でも、復調信号の概算処理を可能にするには、なお十分高いC/Nが必要である。第1段階での概算処理が不可能な場合、アナログ基準信号に相互関連付けを適用できるようにするには、LNBより後段かつ復調器より前段における変調信号の正確な信号パターンが分からなければならない。

20

【0054】

最後に、言うまでもないことであるが、相関利得を更に大きくするために相関技術をあらゆる形で組み合わせることが可能である。特に、所定の信号パターンを含むスペクトラム拡散基準信号を用いることが可能である。この場合、逆拡散された信号が、予め保存された所定の信号パターンとの相互相関処理、あるいは自己相関処理を再度受けることになる。

30

【0055】

このように、あらゆる場合において、受信局で相関受信機を使用すれば、追加的な相関利得及び/又は処理利得により信号対雑音比の不足が補償されるという利点があり、アンテナの口径を大きくせずに基準信号を受信できるようになる。

【0056】

異なる受信局間で時刻を同期させるにはいくつか可能な方法がある。1つは高精度GPS時刻転送を行うことである。全地球測位システム(GPS)は航法システムであるだけでなく時刻転送システムでもある。現在のGPS時刻転送の精度は、大陸間距離に対しては10-20ナノ秒のオーダー、同一大陸内では2-3ナノ秒である。例えば、Włodzimierz Lewandowski と Claudine Thomasの「GPS Time Transfer」(Proceedings of the IEEE, vol. 79, No. 7, 1991年7月)には様々なGPS時刻転送技術が提案されている。時刻転送のもう1つの技法は通信衛星を経由したいわゆる双方向時刻転送である。この方法は、例えばDieter Kirchnerの「Two-Way Time Transfer via Communication Satellites」(Proceedings of the IEEE, vol. 79, No. 7, 1991年7月)で詳しく説明されている。通常の単方向モードと比べると、双方向技術では、時刻転送に関与する各局が衛星経由でタイミング信号を交換しなければならず、従って、例えば図2に示した構成のように、受信局と送信局が必要になる。一般的には、これは、単方向法に比べて設備が高額になり、動作行程が複雑になることを意味する。更に、双方向モードはポイント・ツー・ポイントの技術であ

40

50

るため、ユーザはペアになって働き、測定データを交換しなければならない。双方向時刻転送技法の主な利点は、単方向法とは対照的に、衛星やユーザの位置に関する知識が、達成可能な精度の制限要因にならないことである。なぜなら、局間の相互往復経路については、経路遅延が相殺され、計算上考慮する必要がないからである。このことがあるため、双方向法は最も精度の高い時刻転送方法となる可能性を持っており、従って、双方向時刻転送法にも何らかの応用可能性がある。

【 0 0 5 7 】

本発明の更なる特徴によると、従来技術では知られていない時刻同期化方法が提供される。この新規な時刻同期化方法は、共通タイムベースと、基準衛星の基準測距情報による前記共通タイムベースの補正との組み合わせにより時刻同期化を行うという知見に基づいている。従って、その位置を決定すべき衛星の他に、予め位置が正確に分かっている基準衛星が別途必要となる。このような基準衛星が利用可能であれば、中央送信局に対するある受信局の同期誤差は2機の衛星に対してほぼ同じになることが観察できる。これは、位置の分かっている基準衛星の測距測定値を利用して時刻同期誤差を補償することにより、通常なら十分に時刻が同期していない共通タイムベースであっても利用可能になることを意味する。

【 0 0 5 8 】

本発明によれば、衛星に搭載されたトランスポンダアンテナの電波到達範囲の中心に対する受信局の位置をいくつかの方法で求めることが可能になる。いずれの場合も、測距情報の計算精度を最適化するために受信局の位置を求めることが目的となる。通常の場合、1つの送信局と4つの受信局を含み、そのうち送信局が予め受信局のうちの1つを備えているという構成が考えられる。この構成の場合、3つの受信局を円周上に等間隔で配置し、送信局を中心に配置することにより、衛星に対して正三角形を形成すれば、計算精度を最適化することができる。

【 0 0 5 9 】

なお、本発明はトランスポンダを搭載した衛星に限られるものではなく、通信衛星の測距は本発明の好ましい側面に過ぎないものと理解すべきである。一般に、通信路の構成要素を搭載しており、その構成要素と複数の受信局との伝送遅延を測定できないかなる宇宙飛行体の座標でも、本発明により決定可能である。これは、その構成要素はトランスポンダでもよいが、リピータやミラー等でもよいことを意味する。更に、本発明において「宇宙飛行体」という語は移動する又は移動可能ないかなる物体をも包含するものである。

【 0 0 6 0 】

本発明の更なる解決策によると、通信路の構成要素を搭載した宇宙飛行体の位置を制御するための制御ユニット及び制御ユニットの作動方法が提供される。衛星用制御局の機能はテレメトリ・トラッキング・コマンド(TTC)という語で要約される。TTCでは次のような処理を行う。

- ・地上から制御信号を受け取って動作を開始し、装置の動作状態又は動作モードを変更する。
- ・測定結果、衛星の動作に関する情報、装置の動作及びコマンド実行の確認を地上に送信する。
- ・衛星の位置確認を可能にするため、地上・衛星間距離の測定と、もし可能なら視線速度の測定を有効にする。

【 0 0 6 1 】

まとめると、上述した本発明の目的は、先に言及した各主題に従って従属関係の順で一覧にした次のような特徴により解決される。

【 0 0 6 2 】

1. 通信路の構成要素を搭載した宇宙飛行体の測距情報を決定するための測距システムであって、

地上の異なる場所にある複数の受信局であって、各受信局が前記構成要素からの基準信

10

20

30

40

50

号を受信するように配置されている複数の受信局、

前記複数の受信局間で同期化されたタイムベースを提供するための同期化手段、

受信された各基準信号の伝搬時間及び前記同期化されたタイムベースに従って前記測距情報を計算する計算手段
を備え、

少なくとも1つの受信局が前記基準信号を受信するための相関受信機を備えるもの。

【0063】

2. 主題1に記載の測距システムであって、前記構成要素は基準信号を前記複数の受信局に送信する送信機であるもの。

【0064】

3. 主題1～2のいずれかに記載の測距システムであって、前記構成要素はトランスポンダであり、少なくとも1つの送信局がペイロード信号及び基準信号を前記トランスポンダ経由で送信するもの。

【0065】

従って、宇宙飛行体と複数の受信局との間の相互接続を可能にするいかなる構成要素でも可能である。これは、送信機でもトランスポンダでも利用できることを意味する。例えば衛星を使う場合、アップリンクパスが存在しなければ送信機を利用し、アップリンクパスとダウンリンクパスとの間の相互接続にはトランスポンダを利用する。

【0066】

4. 主題1～3のいずれかに記載の測距システムであって、相関受信機を備える前記少なくとも1つの受信局のアンテナの大きさが、前記相関受信機の受信利得を利用することにより最小化されているもの。

【0067】

これは、本発明では安価な受信素子を備える受信局でも利用することができるということを意味する。更に、先に述べたように、相関受信機を使えば、測距情報の計算精度を高めるために、対応する受信局を衛星の前記構成要素の電波到達範囲外に配置することができる。

【0068】

本発明によれば、基準信号の信号対雑音比を向上させるためのある種の相関利得を生み出すようなあらゆる種類の相関受信機が利用可能である。特に、次の種類の相関受信機が利用可能である。

【0069】

5. 主題1～4のいずれかに記載の測距システムであって、前記基準信号に含まれる所定の信号パターンを検出するために、それに対応する所定の信号パターンが前記相関受信機に保存されているもの。

【0070】

6. 主題5に記載の測距システムであって、変調後の基準信号に含まれる所定の信号パターンを検出するために、前記所定の信号パターンが変調後の形式で保存されているもの。

【0071】

7. 主題5に記載の測距システムであって、復調後の基準信号に含まれる所定の信号パターンを検出するために、前記所定の信号パターンが復調後の形式で保存されているもの。

【0072】

8. 主題1～7のいずれかに記載の測距システムであって、前記相関受信機がスペクトラム拡散受信機であり、前記基準信号がスペクトラム拡散信号であるもの。

【0073】

本発明のもう1つの重要な特徴は、複数の受信局の時刻同期化である。静止衛星の測距を行う場合、遅延は相対的に短い(約250ミリ秒)ため、クロック同期は短い時間に対して高度に安定である必要がある。より具体的には、同期精度は少なくとも10ナノ秒未満

10

20

30

40

50

にする必要がある。時刻同期化の好ましい技術は次の通りである。

【 0 0 7 4 】

9 . 主題 1 ~ 8 のいずれかに記載の測距システムであって、前記同期化手段が高精度 GPS 時刻転送を行うもの。

【 0 0 7 5 】

1 0 . 主題 1 ~ 8 のいずれかに記載の測距システムであって、前記同期化手段が双方向時刻転送を行うもの。

【 0 0 7 6 】

1 1 . 主題 1 ~ 8 のいずれかに記載の測距システムであって、前記同期化手段が共通タイムベースを供給し、前記共通タイムベースの同期誤差が基準衛星の基準測距情報により補正されるもの。

10

【 0 0 7 7 】

ペイロード信号及び基準信号は前記通信路を通じて送信される同一の情報ストリームの一部とすることができることは言うまでもない。

【 0 0 7 8 】

1 2 . 主題 1 ~ 1 1 のいずれかに記載の測距システムであって、前記ペイロード信号及び基準信号が一又は複数のデジタルトランスポートストリームの一部であるもの。

【 0 0 7 9 】

測距システムについて述べた前記主題 2 ~ 1 2 は他のカテゴリの主題にも適用可能である。他のカテゴリの主題は次の通りである。

20

【 0 0 8 0 】

1 3 . 通信路の構成要素を搭載した宇宙飛行体の測距情報を決定するための測距方法であって、

前記構成要素からの基準信号を地上の異なる場所にある複数の受信局によりそれぞれ受信する手順、

前記複数の受信局間で同期化されたタイムベースを提供する手順、

受信された各基準信号の伝搬時間と前記同期化されたタイムベースとに従って前記測距情報を計算する手順、

を備え、

少なくとも一つの受信局が前記基準信号を受信するための相関演算を実行するもの。

30

【 0 0 8 1 】

1 4 . 主題 1 3 に記載の測距方法であって、前記構成要素が前記基準信号を前記複数の受信局に送信するもの。

【 0 0 8 2 】

1 5 . 主題 1 3 ~ 1 4 のいずれかに記載の測距方法であって、前記構成要素が前記基準信号を前記複数の受信局に中継するもの。

【 0 0 8 3 】

1 6 . 主題 1 3 ~ 1 5 のいずれかに記載の測距方法であって、相関受信機を備える前記少なくとも一つの受信局のアンテナの大きさが、前記相関受信機の受信利得を利用することにより最小化されているもの。

40

【 0 0 8 4 】

1 7 . 主題 1 3 ~ 1 6 のいずれかに記載の測距方法であって、前記基準信号に含まれる所定の信号パターンを検出するために、それに対応する所定の信号パターンが前記相関受信機に保存されているもの。

【 0 0 8 5 】

1 8 . 主題 1 7 に記載の測距方法であって、変調後の基準信号に含まれる所定の信号パターンを検出するために、前記所定の信号パターンが変調後の形式で保存されているもの。

【 0 0 8 6 】

1 9 . 主題 1 7 に記載の測距方法であって、復調後の基準信号に含まれる所定の信号パ

50

ターンを検出するために、前記所定の信号パターンが復調後の形式で保存されているもの。

【 0 0 8 7 】

20．主題 1 3 ～ 1 9 のいずれかに記載の測距方法であって、前記相関演算がスペクトラム拡散技術に基づいており、前記基準信号がスペクトラム拡散信号であるもの。

【 0 0 8 8 】

21．主題 1 3 ～ 2 0 のいずれかに記載の測距方法であって、高精度 G P S 時刻転送により時刻同期化を行うもの。

【 0 0 8 9 】

22．主題 1 3 ～ 2 0 のいずれかに記載の測距方法であって、双方向時刻転送により時刻同期化を行うもの。 10

【 0 0 9 0 】

23．主題 1 3 ～ 2 0 のいずれかに記載の測距方法であって、共通タイムベースにより時刻同期化を行い、前記共通タイムベースの同期誤差が基準衛星の基準測距情報により補正されるもの。

【 0 0 9 1 】

24．主題 1 3 ～ 2 3 のいずれかに記載の測距方法であって、前記ペイロード信号及び基準信号が一又は複数のデジタルトランスポートストリームの一部であるもの。

【 0 0 9 2 】

25．通信路の構成要素を搭載した宇宙飛行体の測距情報を提供するための受信局であって、 20

前記構成要素から基準信号を受信するための相関受信機、及び

前記受信局と地上の基準点との間で同期化されたタイムベースを提供するための同期化手段

を備えるもの。

【 0 0 9 3 】

26．主題 2 5 に記載の受信局であって、前記受信局のアンテナの大きさが、前記相関受信機の受信利得を利用することにより最小化されているもの。

【 0 0 9 4 】

27．主題 2 5 ～ 2 6 のいずれかに記載の受信局であって、前記基準信号に含まれる所定の信号パターンを検出するために、それに対応する所定の信号パターンが前記相関受信機に保存されているもの。 30

【 0 0 9 5 】

28．主題 2 7 に記載の受信局であって、変調後の基準信号に含まれる所定の信号パターンを検出するために、前記所定の信号パターンが変調後の形式で保存されているもの。

【 0 0 9 6 】

29．主題 2 7 に記載の受信局であって、復調後の基準信号に含まれる所定の信号パターンを検出するために、前記所定の信号パターンが復調後の形式で保存されているもの。

【 0 0 9 7 】

30．主題 2 5 ～ 2 9 のいずれかに記載の受信局であって、前記相関受信機がスペクトラム拡散受信機であり、前記基準信号がスペクトラム拡散信号であるもの。 40

【 0 0 9 8 】

31．主題 2 5 ～ 3 0 のいずれかに記載の受信局であって、前記同期化手段が高精度 G P S 時刻転送を行うもの。

【 0 0 9 9 】

32．主題 2 5 ～ 3 0 のいずれかに記載の受信局であって、前記同期化手段が双方向時刻転送を行うもの。

【 0 1 0 0 】

33．主題 2 5 ～ 3 0 のいずれかに記載の受信局であって、前記同期化手段が共通タイムベースを供給し、前記共通タイムベースの同期誤差が基準衛星の基準測距情報により補 50

正されるもの。

【 0 1 0 1 】

34．通信路の構成要素を搭載した宇宙飛行体の測距情報を提供する受信局の作動方法であって、

前記構成要素から基準信号を受信する手順、及び

前記受信局と地上の基準点との間で同期化されたタイムベースを提供する手順を含むもの。

【 0 1 0 2 】

35．主題34に記載の方法であって、前記受信局のアンテナの大きさが、相関受信機の受信利得を利用することにより最小化されているもの。

10

【 0 1 0 3 】

36．主題34～35のいずれかに記載の方法であって、前記基準信号に含まれる所定の信号パターンを検出するために、それに対応する所定の信号パターンが相関受信機に保存されているもの。

【 0 1 0 4 】

37．主題36に記載の方法であって、変調後の基準信号に含まれる所定の信号パターンを検出するために、前記所定の信号パターンが変調後の形式で保存されているもの。

【 0 1 0 5 】

38．主題36に記載の方法であって、復調後の基準信号に含まれる所定の信号パターンを検出するために、前記所定の信号パターンが復調後の形式で保存されているもの。

20

【 0 1 0 6 】

39．主題34～38のいずれかに記載の方法であって、相関受信機がスペクトラム拡散受信機であり、前記基準信号がスペクトラム拡散信号であるもの。

【 0 1 0 7 】

40．主題34～39のいずれかに記載の方法であって、同期化手段が高精度GPS時刻転送を行うもの。

【 0 1 0 8 】

41．主題34～39のいずれかに記載の方法であって、同期化手段が双方向時刻転送を行うもの。

【 0 1 0 9 】

30

42．主題34～39のいずれかに記載の方法であって、同期化手段が共通タイムベースを供給し、前記共通タイムベースの同期誤差が基準衛星の基準測距情報により補正されるもの。

【 0 1 1 0 】

43．通信路の構成要素を搭載した宇宙飛行体の測距情報を決定するための処理局であって、

地上の異なる場所にある複数の受信局から伝搬時間データを受信するための伝搬時間データ受信手段

を備え、

前記受信局が前記構成要素から基準信号をそれぞれ受信するために配置され、前記複数の受信局の間で同期化されたタイムベースが提供され、少なくとも1つの受信局が前記基準信号を受信するための相関受信機を備えるもの。

40

【 0 1 1 1 】

44．通信路の構成要素を搭載した宇宙飛行体の測距情報を決定するための処理方法であって、

地上の異なる場所にある複数の受信局から伝搬時間データを受信する手順を備え、

前記受信局が前記構成要素から基準信号をそれぞれ受信するために配置され、前記複数の受信局の間で同期化されたタイムベースが提供され、少なくとも1つの受信局が前記基準信号を受信するための相関受信機を備えるもの。

50

【 0 1 1 2 】

45．地上の異なる場所にある複数の受信局に基準信号を送信又は中継するための通信路の構成要素

を備える宇宙飛行体であって、

前記複数の受信局の間で同期化されたタイムベースが提供され、前記基準信号が関連受信機により受信されるように揃えられているもの。

【 0 1 1 3 】

46．宇宙飛行体の作動方法であって、

前記宇宙飛行体に通信路の構成要素を設ける手順を備え、

10

前記構成要素は地上の異なる場所にある複数の受信局に基準信号を送信又は中継するように配置され、前記複数の受信局の間で同期化されたタイムベースが提供され、

前記基準信号が関連受信機により受信されるように揃えられているもの。

【 0 1 1 4 】

47．以下のものを備える送信ユニット：

宇宙飛行体に搭載されたトランスポンダ経由で地上の異なる場所にある複数の受信局に基準信号を送信するための送信手段であって、前記基準信号は関連受信機により受信されるように揃えられている第1送信手段、及び

前記送信ユニットと前記複数の受信局との間で同期化されたタイムベースを提供するための同期化手段。

20

【 0 1 1 5 】

48．主題47に記載の送信ユニットであって、前記宇宙飛行体の測距情報が、前記送信ユニットと前記複数の受信局のそれぞれとの間における前記基準信号の伝搬時間と前記同期化されたタイムベースとに従って計算されるもの。

【 0 1 1 6 】

49．主題48に記載の送信ユニットであって、前記測距情報に応じて前記宇宙飛行体の作動状態又は作動モードを変更するために前記トランスポンダにコマンド信号を送信するための第2の送信手段を備えるもの。

【 0 1 1 7 】

50．以下の手順を備える送信ユニットの作動方法：

30

宇宙飛行体に搭載されたトランスポンダ経由で複数の受信局に基準信号を送信する手順、ここで、前記基準信号は関連受信機により受信されるように揃えられている、及び

前記送信ユニットと前記複数の受信局との間で同期化されたタイムベースを提供する手順。

【 0 1 1 8 】

51．主題50に記載の方法であって、前記宇宙飛行体の測距情報が、前記送信ユニットと前記複数の受信局のそれぞれとの間における前記基準信号の伝搬時間と前記同期化されたタイムベースとに従って計算されるもの。

【 0 1 1 9 】

52．主題51に記載の方法であって、前記測距情報に応じて前記宇宙飛行体の作動状態又は作動モードを変更するために前記トランスポンダにコマンド信号を送信するもの。

40

【 0 1 2 0 】

上述した本発明のあらゆる特徴は、上記組合わせに限られず、他の組合わせによる応用や単独での応用も可能である。

【実施例】

【 0 1 2 1 】

以下、添付図面を参照しながら、本発明の一例について説明する。

【 0 1 2 2 】

図1～12については、既に本明細書の導入部で説明済みである。

【 0 1 2 3 】

50

図13は処理局と遠隔の受信局との相互接続を示す。受信局用の疑似測距構成は図5に従ったようなものと仮定することができる。従って、局1303、1304及び1305は受信局であり、局1302は送信・受信局である。局1302の内部装置は図3に従って設計し、局1303、1304及び1305の内部装置は図6に従って設計することができる。処理局1301を送信・受信局1302の内部に統合すると有利である。この場合、受信局1303、1304及び1305と処理局1301との間に電気通信リンク1306、1307及び1308を設ける。処理局1301は、対応する衛星の測距情報を計算するために各受信局から伝搬時間データを受信する。この計算は上述の通り式(1)~(6)に基づいて行われる。

【0124】

少なくとも1つの受信局が相関受信機を備えているため、各伝搬時間は電波到達範囲とは無関係に確定することができる。これにより、測距情報の計算精度を高めることができる。更に、処理局において、伝搬時間データの期待値に基づくアンビギュイティ及び信頼性の検査を導入することができる。

【0125】

全地球測位システム(GPS)に基づく様々な時刻転送技術を図14~17に示す。

【0126】

図14は時刻配信(供給)法の原理を示す。この方法は最も単純で精度も極めて低いが、地球全体をカバーでき、受信機により提供されるデータ以外のデータを必要としない。GPS時刻へのアクセス精度は、局所的な観測条件、主に受信アンテナ座標の質と必要なデータの量に依存する。アンテナ座標の不確定性が10mのとき、この精度は13分の航跡に対して100ナノ秒の範囲になる。

【0127】

図15はクロックトランスポート法を示す。クロックトランスポート法は10ナノ秒以下の高精度な時刻比較を対象とする。地上における任意の異なる場所にあるクロックA及びBは、12時間未満の観測時間遅延で同一の衛星又は衛星群を順次観測することにより、比較することができる。このようにすると、衛星を最大仰角で観測できるため、大気差モデルに対する感度を低減できるという利点がある。しかし、この方法は衛星クロックの不安定性の影響を受ける。これは12時間に対して5ナノ秒程度である。

【0128】

図16はGPSコモンビュー法を示す。局A及びB、あるいは更に多くの局が、同一の衛星からの信号を同時に受け、データを互いに送信し合っ

【0129】

てクロックを比較する。この方法の主な利点は、GPS時刻が差分計算の際に打ち消されるため、衛星クロックの誤差の影響を受けないということである。コモンビューモードの最高精度は約1ナノ秒である。

【0130】

GPS時刻転送法の他に、本発明のもう1つの特徴に従った別の時刻同期化法について図18~21に従って説明する。この時刻同期化法の基本的な考え方は、異なる受信局に共通タイムベースを提供し、その共通タイムベースの同期誤差を、宇宙座標が正確に分かっている基準衛星の基準測距情報により補正するというものである。

【0131】

図18は、1機の衛星に関する、異なる受信局についての時刻同期誤差の測定値を示す。再び図5に従った疑似測距構成を採るものとし、軌道上のある位置に衛星1A、1B、1C、1D、1E、1F、1G及び1Hを含む衛星クラスが存在するものとする。図18に示した測定結果から分かるように、局III及びIIの間では時刻同期誤差に相関性がない。しかし、本発明の知見によれば、1つの局についてみた場合、異なる衛星に対する時刻同期誤差はほぼ同じである。この結果を図19に示す。

【 0 1 3 2 】

図 1 9 は、2 機の異なる衛星に関する、異なる受信局についての時刻同期誤差の測定値を示す。再び図 5 において、同じ軌道位置にある衛星 1 A 及び 1 B が選択され、局 III についての測距誤差が時間をかけて測定されている。左側の図から分かるように、測距誤差はほぼ同じである。右側の図には両方の測定値の差が示されている。

【 0 1 3 3 】

図 1 9 の結果から次のことが言える。すなわち、2 機の衛星のうち一方（例えば衛星 1 B）の位置が分かれば、各受信局と送信局との間の同期誤差を求めることができる。同期誤差が分かれば、衛星 1 A についての疑似測距測定データを補正することができる。このような測定のための機構は図 2 0 に示したようなものになる。

10

【 0 1 3 4 】

図 2 0 は 2 機の異なる衛星に関する疑似測距測定の基本構成を示す。局 I が送信及び受信装置を備えるマスタ局であるものとする。

【 0 1 3 5 】

一方、他の各局は受信局である。ただし、図では例として局 III だけを示している。局 I の場所においては衛星 1 A の位置が分かっているものとする。この場合、受信局 III による疑似測距測定は次のような手順で行われる。

【 0 1 3 6 】

まず最初のステップでは、2 通りの所定の信号パターンが局 I から衛星 1 A 及び 2 A 経由で受信局 III に送信される。次のステップでは、受信局 III が軌道 1 及び軌道 2 の疑似測距測定に基づく伝搬時間データを局 I に送信する。仮定より、局 I では軌道 1 の距離がわかっているから、図 1 9 に従って説明したようにして補正計算を行うことができる。これにより、衛星 2 A の測距情報を計算し、衛星 1 A を基準とすることにより分かる同期誤差によってその情報を修正することができる。結果として、限られた精度しかない任意の共通タイムベースに基づく場合でも、その共通タイムベースを基準衛星 1 A の基準測距情報により補正することで、疑似測距測定を行うことができる。

20

【 0 1 3 7 】

図 2 1 は、図 1 8 に従った基本構成を有する 1 つの受信局用の処理装置を示す。この図からわかるように、この受信装置は構造を非常に簡素にできるので、受信局を低コストで構築することができる。各受信局は、受信アンテナ 2 1 0 7、2 1 0 8 に接続された L N B 2 1 0 1、2 1 0 4、ダウンコンバータ 2 1 0 2、2 1 0 5、及び復調器 2 1 0 3、2 1 0 6 を備える類似した 2 つの受信機構を備えている。各構成要素は周波数・タイミングデバイス 2 1 0 9 により制御されている。このデバイスはまた共通タイムベース、例えば簡単な GPS 受信機も備えている。データは、軌道 1 及び軌道 2 の伝搬時間データを決定するためのデータ収集ユニット 2 1 1 0 に集められる。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 3 8 】

【 図 1 】三辺測量法の基本構成を示す。

【 図 2 】四辺測量法の実際の構成を示す。

【 図 3 】受信機構により導入される時間遅延の補償を行う送信・受信局を示す。

40

【 図 4 】M P E G - 2 規格に従ったトランスポートストリームの図を示す。

【 図 5 】疑似測距による四辺測量法の実際の構成を示す。

【 図 6 】受信機構により導入される時間遅延の補償を行う別個の送信局及び受信局を示す。

【 図 7 】地球全体を覆域を有するトランスポンダを搭載した衛星を示す。

【 図 8 】数本の狭いビームによる覆域を有するトランスポンダを搭載した衛星を示す。

【 図 9 】異なる測距局間の空間距離の短縮による効果を示す。

【 図 1 0 】スポットビーム及び相関受信機による覆域を有するトランスポンダを搭載した衛星を示す。

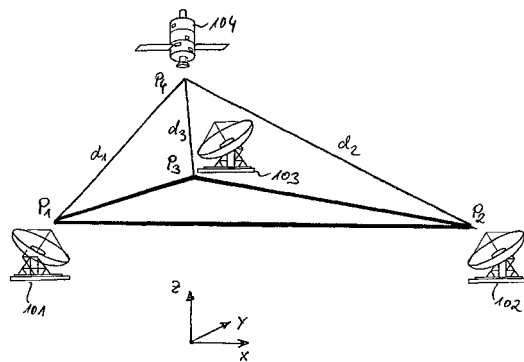
【 図 1 1 】衛星アンテナのアンテナパターンを示す。

50

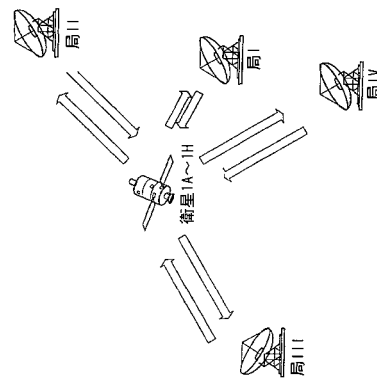
- 【図 1 2】受信局で受信された信号のダウンリンク EIRP と C/N 比との関係を示す。
 【図 1 3】処理局と遠隔の受信局との相互接続を示す。
 【図 1 4】様々な時刻転送技術を示す。
 【図 1 5】様々な時刻転送技術を示す。
 【図 1 6】様々な時刻転送技術を示す。
 【図 1 7】様々な時刻転送技術を示す。
 【図 1 8】1 機の衛星に関する、異なる受信局についての時刻同期誤差の測定値を示す。
 【図 1 9】2 機の異なる衛星に関する、異なる受信局についての時刻同期誤差の測定値を示す。
 【図 2 0】2 機の異なる衛星に関する疑似測距測定の基本構成を示す。
 【図 2 1】図 2 0 に従った基本構成における 1 つの受信局用の処理装置を示す。

10

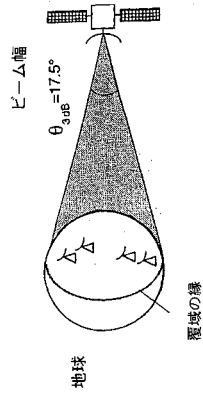
【図 1】



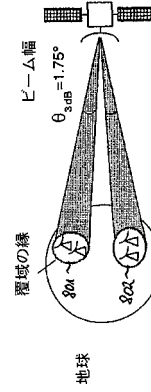
【図 2】



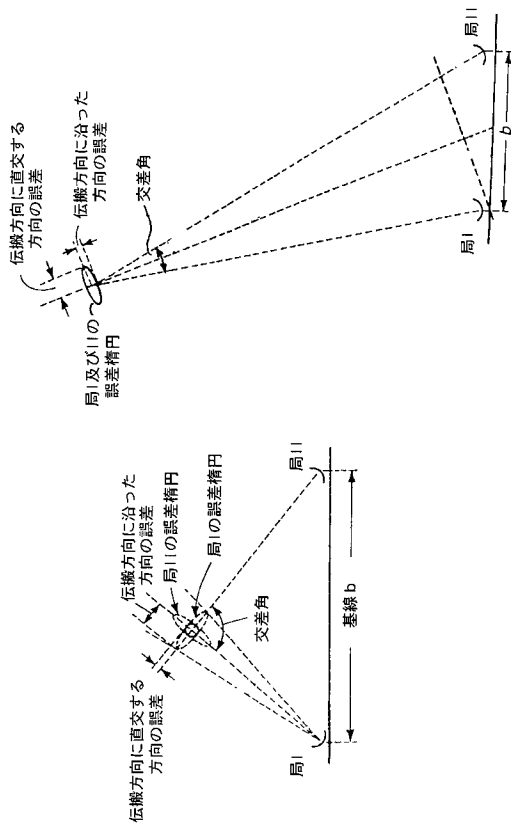
【図 7】



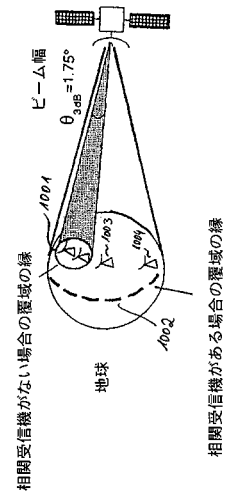
【図 8】



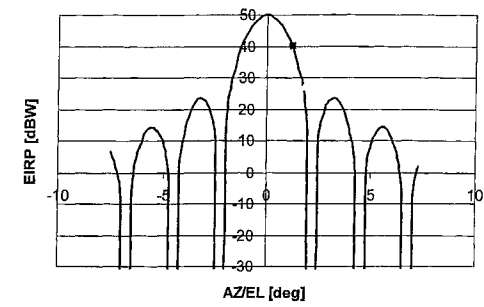
【図 9】



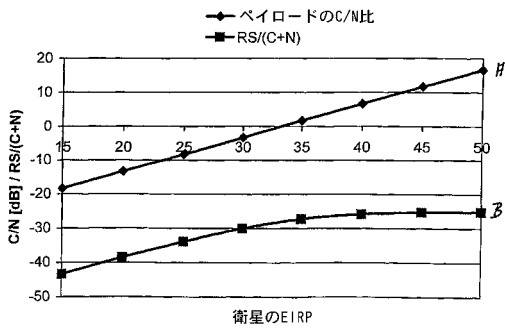
【図 10】



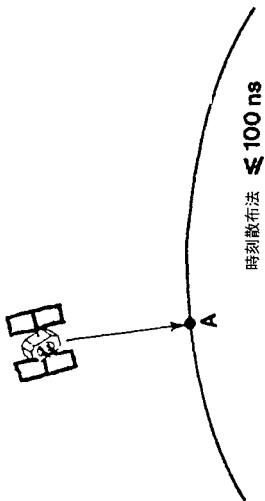
【図 1 1】



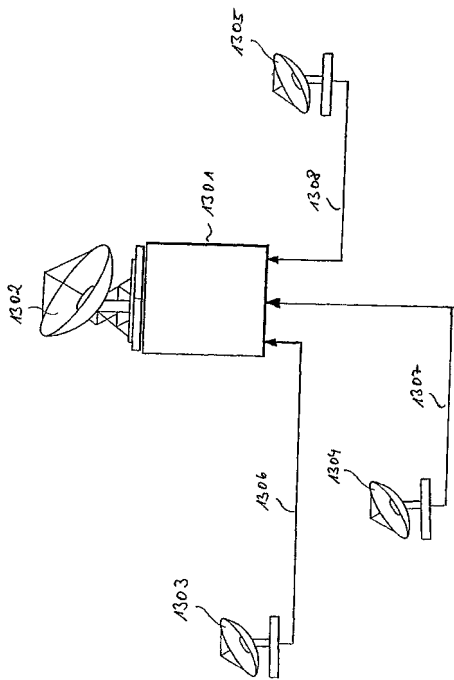
【図 1 2】



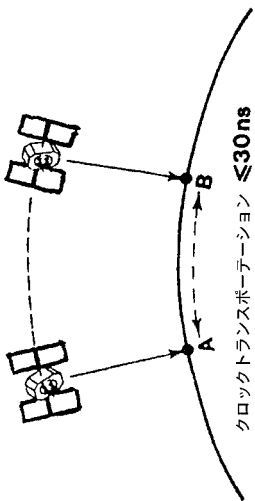
【図 1 4】



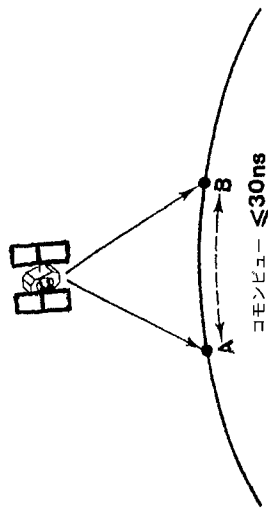
【図 1 3】



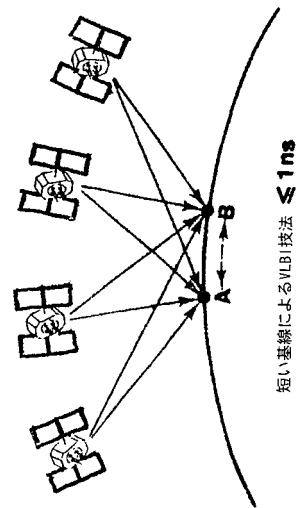
【図 1 5】



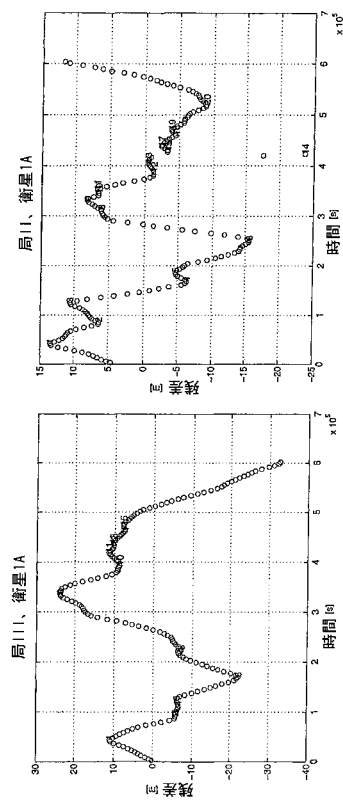
【図 16】



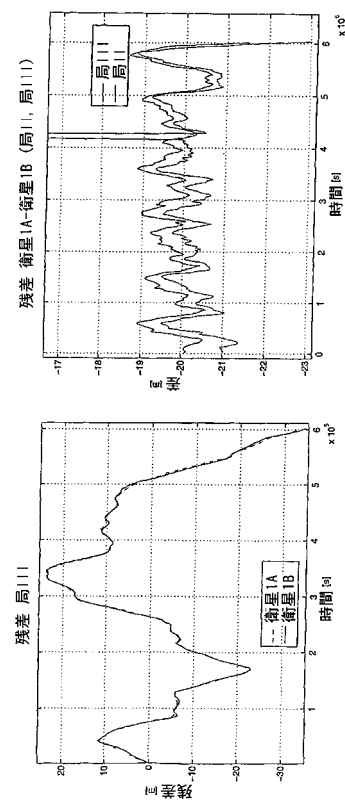
【図 17】



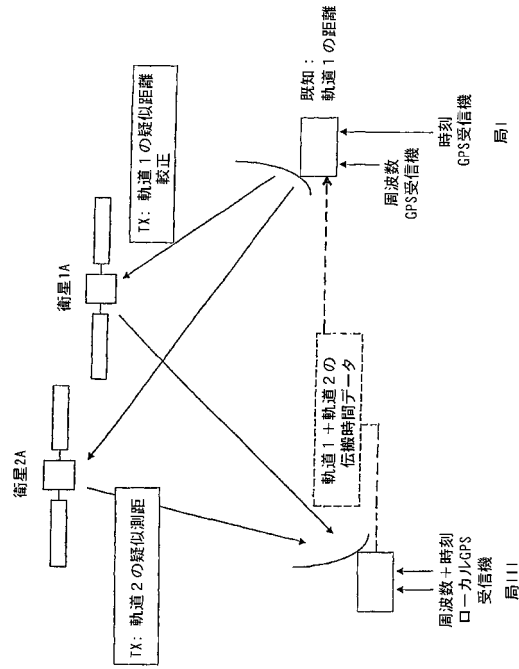
【図 18】



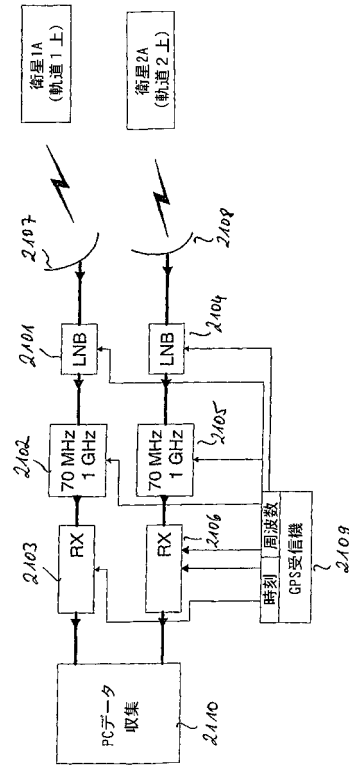
【図 19】



【図20】



【図21】



フロントページの続き

(74)代理人 100130409

弁理士 下山 治

(72)発明者 ガイ・ハーレス

ルクセンブルグ L - 5 8 2 3 フェンタンジェ オブ デル シュテルツ 3 7

審査官 大和田 有軌

(56)参考文献 国際公開第00/048018(WO, A1)

国際公開第00/014903(WO, A1)

特開昭63-073731(JP, A)

米国特許第4812852(US, A)

米国特許第5570096(US, A)

特表2004-510393(JP, A)

特開2000-131413(JP, A)

特開平09-223997(JP, A)

特開平04-027887(JP, A)

特表2003-510614(JP, A)

実開昭57-114987(JP, U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 5/00 - 5/14

G01S 7/00 - 7/42

G01S 13/00 - 13/95

G04G 7/00 - 7/02

H04B 7/00 - 7/26

B64G 1/00 - 99/00