

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3921172号

(P3921172)

(45) 発行日 平成19年5月30日(2007.5.30)

(24) 登録日 平成19年2月23日(2007.2.23)

(51) Int. Cl.

G O I S 5/14 (2006.01)

F I

G O I S 5/14

請求項の数 23 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2002-548469 (P2002-548469)
 (86) (22) 出願日 平成13年12月3日(2001.12.3)
 (65) 公表番号 特表2004-515766 (P2004-515766A)
 (43) 公表日 平成16年5月27日(2004.5.27)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2001/045828
 (87) 国際公開番号 W02002/046786
 (87) 国際公開日 平成14年6月13日(2002.6.13)
 審査請求日 平成16年11月16日(2004.11.16)
 (31) 優先権主張番号 09/730,324
 (32) 優先日 平成12年12月4日(2000.12.4)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 09/885,870
 (32) 優先日 平成13年6月20日(2001.6.20)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 501382085
 サーフ テクノロジー インコーポレイテ
 ッド
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
 112 サンノゼ イースト プロコー
 ロード 148
 (74) 代理人 110000110
 特許業務法人快友国際特許事務所
 (72) 発明者 シュー、アンドリュウ
 アメリカ合衆国カリフォルニア州9401
 5・ダリーシティー・#804・キングド
 ライブ 500

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 測位方法、擬似距離計算方法および測位システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

G P S 受信機の位置を特定する全地球測位方法であって、(A) G P S 受信機で G P S 信号を受信する工程と、(B) 近似受信時刻として、 G P S 受信機で G P S 信号が受信された時刻を測定する工
程と、(C) 衛星の第 1 近似位置として、その衛星の近似受信時刻での位置を計算する工程と
、(D) G P S 受信機の近似位置と衛星の第 1 近似位置に基づいて、その衛星の近似伝播
遅延を計算する工程と、(E) 近似受信時刻と衛星の近似伝播遅延に基づいて、その衛星の近似送信時刻を計算
する工程と、(F) 衛星の第 2 近似位置として、その衛星の近似送信時刻での位置を計算する工程と
、(G) G P S 信号と衛星の P R N コードのレプリカの間の位相オフセットを特定する工
程と、(H) G P S 受信機の近似位置と、衛星の第 2 近似位置と、位相オフセットから、その
衛星と G P S 受信機の間の完全な P R N コードの個数を計算する工程と、(I) 完全な P R N コードの個数と位相オフセットから、衛星についての擬似距離を計
算する工程と、

10

20

(J) 上記 (C) から (I) の各工程を、各衛星について実施する工程と、
(K) 衛星についての擬似距離を用いて G P S 受信機の位置を計算する工程を備える方法。

【請求項 2】

前記衛星の近似受信時刻での位置と、前記衛星の近似送信時刻での位置が、参照 G P S 受信機からのエフェメリスデータを用いて計算されることを特徴とする、請求項 1 の方法。

【請求項 3】

前記衛星の近似受信時刻での位置と、前記衛星の近似送信時刻での位置が、参照 G P S 受信機からのエフェメリスデータおよび差動 G P S データを用いて計算されることを特徴とする、請求項 1 の方法。

10

【請求項 4】

前記 (D) の工程の前に、差動 G P S データを用いて大気遅延を決定する工程をさらに備えており、

前記 (D) の工程において、近似伝播遅延が、G P S 受信機の近似位置と、衛星の第 1 近似位置と、大気遅延に基づいて計算されることを特徴とする、請求項 3 の方法。

【請求項 5】

G P S 受信機の近似位置が、G P S 受信機と直接通信するベース局の位置であることを特徴とする、請求項 1 から 4 の何れかの方法。

【請求項 6】

20

G P S 受信機の近似位置が、G P S 受信機と直接通信するベース局の位置と、G P S 受信機とベース局の間の通信の信号強度に基づいて計算されることを特徴とする、請求項 1 から 4 の何れかの方法。

【請求項 7】

前記 (A) と (B) の工程が、G P S 受信機によって実行され、
前記 (C) から (K) の工程が、G P S 受信機と通信する位置決定サーバによって実行されることを特徴とする、請求項 1 から 6 の何れかの方法。

【請求項 8】

前記 (H) の工程の前に、衛星クロック誤差補正因子を取得する工程をさらに備えており、

30

前記 (H) の工程において、衛星と G P S 受信機との完全な P R N コードの個数が、G P S 受信機の近似位置と、衛星の第 2 近似位置と、位相オフセットと、衛星クロック誤差補正因子に基づいて計算され、

前記 (I) の工程において、衛星についての擬似距離が、完全な P R N コードの個数と、位相オフセットと、衛星クロック誤差補正因子に基づいて計算されることを特徴とする、請求項 1 から 7 の何れかの方法。

【請求項 9】

前記 (I) の工程の前に、大気誤差補正因子を取得する工程をさらに備えており、
前記 (I) の工程において、衛星についての擬似距離が、完全な P R N コードの個数と、位相オフセットと、衛星クロック誤差補正因子と、大気誤差補正因子に基づいて計算されることを特徴とする、請求項 8 の方法。

40

【請求項 10】

前記 G P S 受信機が受信機クロックを備えており、
前記 (B) の工程において、近似受信時刻として、G P S 受信機で G P S 信号が受信された時刻が受信機クロックを用いて測定されることを特徴とする、請求項 1 から 9 の何れかの方法。

【請求項 11】

前記 G P S 受信機が、無線電話ネットワークと通信可能であって、
前記受信機クロックが、ネットワーククロックと同期していることを特徴とする、請求項 10 の方法。

50

【請求項 1 2】

G P S 受信機に対する G P S 衛星の擬似距離を計算する方法であって、

(A) G P S 受信機で G P S 信号を受信する工程と、

(B) 近似受信時刻として、G P S 受信機で G P S 信号が受信された時刻を測定する工程と、

(C) G P S 衛星の第 1 近似位置として、その G P S 衛星の近似受信時刻での位置を計算する工程と、

(D) G P S 受信機の近似位置と G P S 衛星の第 1 近似位置に基づいて、その G P S 衛星の近似伝播遅延を計算する工程と、

(E) 近似受信時刻と G P S 衛星の近似伝播遅延に基づいて、その G P S 衛星の近似送信時刻を計算する工程と、

(F) G P S 衛星の第 2 近似位置として、その G P S 衛星の近似送信時刻での位置を計算する工程と、

(G) G P S 信号と G P S 衛星の P R N コードのレプリカの間の位相オフセットを特定する工程と、

(H) G P S 受信機の近似位置と、G P S 衛星の第 2 近似位置と、位相オフセットから、その G P S 衛星と G P S 受信機との完全な P R N コードの個数を計算する工程と、

(I) 完全な P R N コードの個数と位相オフセットから、G P S 受信機に対する G P S 衛星の擬似距離を計算する工程を備える方法。

10

【請求項 1 3】

前記 G P S 衛星の近似受信時刻での位置と、前記 G P S 衛星の近似送信時刻での位置が、参照 G P S 受信機からのエフェメリスデータを用いて計算されることを特徴とする、請求項 1 2 の方法。

20

【請求項 1 4】

前記 G P S 衛星の近似受信時刻での位置と、前記 G P S 衛星の近似送信時刻での位置が、参照 G P S 受信機からのエフェメリスデータおよび差動 G P S データを用いて計算されることを特徴とする、請求項 1 2 の方法。

【請求項 1 5】

前記 (D) の工程の前に、差動 G P S データを用いて大気遅延を決定する工程をさらに備えており、

前記 (D) の工程において、近似伝播遅延が、G P S 受信機の近似位置と、G P S 衛星の第 1 近似位置と、大気遅延に基づいて計算されることを特徴とする、請求項 1 4 の方法。

30

【請求項 1 6】

G P S 受信機の近似位置が、G P S 受信機と直接通信するベース局の位置であることを特徴とする、請求項 1 2 から 1 5 の何れかの方法。

【請求項 1 7】

G P S 受信機の近似位置が、G P S 受信機と直接通信するベース局の位置と、G P S 受信機とベース局の間の通信の信号強度に基づいて計算されることを特徴とする、請求項 1 2 から 1 5 の何れかの方法。

40

【請求項 1 8】

前記 (A) と (B) の工程が、G P S 受信機によって実行され、

前記 (C) から (I) の工程が、G P S 受信機と通信する位置決定サーバによって実行されることを特徴とする、請求項 1 2 から 1 7 の何れかの方法。

【請求項 1 9】

前記 (H) の工程の前に、衛星クロック誤差補正因子を取得する工程をさらに備えており、

前記 (H) の工程において、G P S 衛星と G P S 受信機との完全な P R N コードの個数が、G P S 受信機の近似位置と、G P S 衛星の第 2 近似位置と、位相オフセットと、衛星クロック誤差補正因子に基づいて計算され、

50

前記（Ｉ）の工程において、ＧＰＳ受信機に対するＧＰＳ衛星の擬似距離が、完全なＰＲＮコードの個数と、位相オフセットと、衛星クロック誤差補正因子に基づいて計算されることを特徴とする、請求項１２から１８の何れかの方法。

【請求項２０】

前記（Ｉ）の工程の前に、大気誤差補正因子を取得する工程をさらに備えており、
前記（Ｉ）の工程において、ＧＰＳ受信機に対するＧＰＳ衛星についての擬似距離が、完全なＰＲＮコードの個数と、位相オフセットと、衛星クロック誤差補正因子と、大気誤差補正因子に基づいて計算されることを特徴とする、請求項１９の方法。

【請求項２１】

前記ＧＰＳ受信機が受信機クロックを備えており、
前記（Ｂ）の工程において、近似受信時刻として、ＧＰＳ受信機でＧＰＳ信号が受信された時刻が受信機クロックを用いて測定されることを特徴とする、請求項１２から２０の何れかの方法。

【請求項２２】

前記ＧＰＳ受信機が無線電話ネットワークと通信可能であって、
前記受信機クロックがネットワーククロックと同期していることを特徴とする、請求項２１の方法。

【請求項２３】

ＧＰＳ受信機と、ＧＰＳ受信機と通信可能な位置決定サーバを備える測位システムであって、

ＧＰＳ受信機が、
ＧＰＳ信号を受信する手段と、
近似受信時刻として、ＧＰＳ信号が受信された時刻を測定する手段を備えており、
位置決定サーバが、
衛星の第１近似位置として、その衛星の近似受信時刻での位置を計算する手段と、
ＧＰＳ受信機の近似位置と衛星の第１近似位置に基づいて、その衛星の近似伝播遅延を計算する手段と、

近似受信時刻と衛星の近似伝播遅延に基づいて、その衛星の近似送信時刻を計算する手段と、

衛星の第２近似位置として、その衛星の近似送信時刻での位置を計算する手段と、
ＧＰＳ信号と衛星のＰＲＮコードのレプリカの間の位相オフセットを特定する手段と

、
ＧＰＳ受信機の近似位置と、衛星の第２近似位置と、位相オフセットから、その衛星とＧＰＳ受信機の間完全なＰＲＮコードの個数を計算する手段と、

完全なＰＲＮコードの個数と位相オフセットから、衛星についての擬似距離を計算する手段と、

衛星についての擬似距離を用いてＧＰＳ受信機の位置を計算する手段を備えている測位システム。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

（技術分野）

本発明は、位置 - 決定方法及び装置に関する。

【０００２】

（発明の背景）

多くのアプリケーションにおいて、その環境中の位置を予測することが必要である。今日、多くの位置決定システムがこの課題のために提案されてきた。そのようなシステムの一つが、全地球測位システム（ＧＰＳ）である。このシステムは、地球の軌道上の複数の衛星を含む。また、地球上には、ＧＰＳ受信器、モニタリングステーション及び差動ＧＰＳ受信器を有する。

【０００３】

10

20

30

40

50

GPS衛星は、GPS受信器が地球上での自身の位置を予測可能である信号を送信する。GPS衛星信号は、典型的には、(1)搬送波信号、(2)擬似ランダム雑音(PRN)コード、(3)ナビゲーションデータを合成したものを含む。GPS衛星は、2種類の搬送波周波数で伝送する。第一の搬送波周波数は、約1575.42MHzであるのに対して、第2の周波数は約1227.60MHzである。第2の搬送波周波数は主として軍事的アプリケーションのために用いられている。

【0004】

各々の衛星は、第1の搬送波信号を変調する目的で2つのPRNコードを用いる。第1のコードはcoarse acquisition(C/A)コードである。このコードはチップ(chip)と呼ばれる連続する1023のエレメントであり、それは約1MHzレートで変調される。第2のコードはprecise(P)コードであり、7日周期で繰り返され、10MHzレートで変調される。異なった衛星によって送信されるGPS信号を区別するために、異なるPRNコードが異なる衛星へとアサインされる。

10

【0005】

ナビゲーションデータは第1の搬送波信号及びPRNコードに重ね合わされる。ナビゲーションデータは一連の5つのフレームとして送信される。各フレームは長さ6秒であり、いつフレームが送信されたかというタイムスタンプを有する。また、ナビゲーションデータのフレームは、衛星のクロック誤差、衛星の軌道(即ちエフェメリスデータ)、及びその他のシステムステータスデータに関する情報を提供する。GPS衛星はその高さ、位置、及びスピードにおけるエフェメリス誤差をモニターするモニタリングステーションよりエフェメリスデータを受信する。

20

【0006】

GPS衛星によって送信される信号を基に、GPS技術は、典型的には三角測量法を用いることでGPS受信器の位置を予測する。それは通常1.57542GHzの周波数において、少なくとも4つの衛星信号の捕捉及びトラッキングを要求する。GPS信号の捕捉はしばしば、様々な位相オフセット及びドップラー変位した周波数での、受信したGPS信号と各衛星のC/Aコードとの間の相関計算を伴う。コード位相及び位相の遅延は、別名で位相オフセットと呼ばれる。各衛星について、GPS捕捉技術は、最大の計算された相関値とともに、その相関値を生じる位相オフセット及びドップラー変位を記録する。GPS捕捉技術は次に、結果として最も高く記録された相関値を生じる複数の衛星(例えば4つの衛星)を識別する。

30

【0007】

信号を捕捉した後、信号トラッキングプロセスが、それら衛星のための記録された相関値に関係する位相オフセット及びドップラー値で、識別された衛星からの信号をデコードする。具体的には、信号トラッキングプロセスは識別された衛星に対する識別された位相オフセット及びドップラー値を用い、識別された衛星の各々のナビゲーションデータを抽出する。抽出されたデータの一部は、タイムスタンプ情報である。

【0008】

抽出された時間データより、信号トラッキングプロセスは受信器及び識別された衛星の間の距離を計算し得る。とりわけ、衛星の信号の送信遅延(即ち信号が衛星より受信器に向かって移送される時間)が、受信器が衛星の信号を受信した時間より衛星の送信開始時間(即ち衛星の抽出されたタイムスタンプ)を差し引くことで計算されてもよい。次に、受信器と衛星との距離が、光速と衛星の信号送信遅延時間とを乗ずることで計算され得る。受信器と衛星との間の予測距離若しくは正確な距離が、しばしば衛星の疑似距離と呼ばれる。

40

【0009】

信号のトラッキングの後、典型的には計算された疑似距離と衛星の位置とを基に、三角測量プロセスがGPS受信器位置を計算する。信号の捕捉の間に識別された各衛星の位置は、衛星エフェメリスデータより計算される。理論上、三角測量は3つの衛星のみについて位置と疑似距離の計算を要求する。しかし受信器のクロックにおける不正確さのために

50

、三角測量法はしばしば4つの衛星の位置と疑似距離とを用いる。

【0010】

複数のGPSシステムはまた、差動GPS技術を用いることでその正確さを改善する。そのような技術は、既知の場所における差動GPS受信器の操作を要求する。それらの位置を計算するためにタイミング信号を用いる通常のGPS受信器とは異なって、差動GPS受信器は信号経路(path)に起因するタイミング誤差を計算するべく、既知の場所を用いる。これら差動GPSレシーバは、GPS信号の移動にかかる時間を決定し、また実際の時間との比較を行う。それらの比較を基に、差動GPSレシーバは「誤差補正」因子を生成し、それは近くのGPS受信器へとリレーされる。GPS受信器は、次にそれらの誤差を送信遅延計算に入れる。

10

【0011】

信号のトラッキングは複数の不利益を有する。例えばそれは煩雑な計算であり、それ故多大な時間を要する。また信号のトラッキングは、タイムスタンプが6秒の長さのナビゲーションデータフレームに埋め込まれている時、選択された衛星のタイムスタンプを抽出するのに最悪6秒、また平均でも3秒を要する。この要求が、位置決定プロセスのスピード低下を招く。最終的には信号のトラッキング及び信頼性をもったデータデコーディングは、捕捉に必要とされるよりもさらに高い信号パワーを要求する。このことは、室内若しくは都市環境におけるようにGPS信号が減衰される場合の重大な障害となってしまう。

【0012】

それ故GPS受信器の位置を迅速に識別することが可能な全地球測位システムが必要とされる。GPS受信器の位置を識別するために少量の受信GPSデータのみを必要とする全地球測位システムもまた必要とされる。更に一般的には、複数の若しくは全ての上述された必要性を処理する位置決定システムが必要とされる。

20

【0013】

(発明の概要)

本発明の複数の実施例は、複数の送信機と少なくとも一つの受信機とを有する位置決定システムを提供する。各々の送信機が個別で周期的に繰り返される要素を含む信号を送信し、受信機は基準信号を受信する。受信された基準信号に基づき、位置決定システムは、次のように受信器の推定位置を特定する。送信機のセット内の各送信機に対して、システムは、受信された基準信号と、送信機の周期的繰り返し要素のレプリカとの間の位相オフセットを計算する。システムはまた、受信機の近似位置と、受信された信号の近似受信時間を特定する。次にシステムは特定された近似位置及び時間また計算された位相オフセットを用い、送信機のセットのための疑似距離を計算する。最終的に、計算された疑似距離を用いることで、システムは受信機の推定位置を特定する。

30

【0014】

(発明を実施するための最良の形態)

本発明は、位置決定方法及び装置を提供する。以下の説明では、説明の目的で多数の詳説が示されている。しかしながら、当業者は、これら特定の詳説を用いることなしに本発明が実行され得ることを理解されるであろう。例えば、いくつかの実施例では本発明は以下に、全地球測位システム(global positioning system)に言及して説明されている。当業者は、本発明の別の実施例では、別の種類の位置決定システムが用いられることを理解されるであろう。別の例では公知の構造及びデバイスは、本発明の説明が不必要な詳説によって不明瞭にならないようにブロックダイアグラムの形態で示されている。

40

【0015】

本発明のいくつかの実施例は、受信機が受信した「参照信号(基準信号)」から位置決定を行うような位置決定システムである。本明細書中で用いているように、参照信号は位置情報が得られるようなあらゆる種類の信号を意味している。それゆえに、参照信号は、GPS(「global positioning system」)信号、CDMA(「code division multiple access」)信号、GSM(「global system for mobile communication」)信号、TDMA(「time division multiple access」)信号、CDPD(「cellular digital packet data」)信号、若し

50

くはその他の位置情報が得られる信号であってよい。

【0016】

しかしながら、以下に説明される実施例では、参照信号はGPS受信機の位置を見積もるために用い得るGPS信号である。地球上でGPS受信機は通常、地球の周囲を回る人工衛星によって送信されるいくつかの信号の合成であるようなGPS信号を受信する。そのようなGPS人工衛星の信号の特性は背景の章に説明されている。

【0017】

GPS受信機は独立型の装置であってもよいし、別のモバイルデバイス（例えば、携帯情報端末（「PDA」）、無線電話、その他）の一部であってもよいし、別のモバイルデバイスへの通信接続（例えば、専売SpringBoardを介してHandspring VIsor PDAへの接続）ができてよい。GPS受信機に対してのそのようなアーキテクチャのいくつかは、2000年12月4日に提出された「Method and Apparatus for Determining Location Using a Thin-Client Device」という題の米国特許出願第09/730,324号に説明されている。この出願（2000年12月4日に提出された「Method and Apparatus for Determining Location Using a Thin-Client Device」という題の米国特許出願第09/730,324号）の開示に言及することをもって本明細書の一部とする。

10

【0018】

いくつかの実施例では、GPS受信機の位置を（1）最初に、受信機によって受信したGPS参照信号からK-デジタルサンプル s_1 、 $\dots$ 、 s_K を生成し、次に（2）GPS受信機の位置を見積もるためにデジタル化されたGPS参照データ（基準データ）を用いて、GPS受信機の位置を見積もる。GPS受信機は通常、デジタル化作業を実行する。さらに、いくつかの実施例では、GPS受信機は受信したGPS信号の一部のみをデジタル化する。そのようなサンプル生成のためにGPS受信機を用い得るような単純な信号処理回路の例が、図1の参照とともに以下に説明されている。

20

【0019】

いくつかの実施例では、（1）GPS受信機により全部が実行される、（2）GPS受信機と接続しているような別のデバイス若しくはコンピュータにより全部が実行される、又は（3）GPS受信機により一部が実行され、GPS受信機と接続しているような別のデバイス若しくはコンピュータにより一部が実行される、のいずれかで実行され得るような位置決定プロセスを用いることによってデジタル化されたGPS参照データからGPS受信機の位置が見積もられる。

30

【0020】

いくつかの実施例では、位置決定プロセスは、受信したGPS参照データの信号トラッキングを実行せずに、1組の人工衛星に対して擬似距離を計算する。これらの実施例のいくつかでは、前記プロセスは、1組の人工衛星の各々に対して受信した参照信号のサンプル及び人工衛星のPRNコードのレプリカの間の位相オフセットを計算する。システムは、受信機の近似位置及び概ねの受信時間（例えば、受信信号の開始と概ね同じ時間）も特定する。

【0021】

このシステムは次に、1組の人工衛星の擬似距離を計算するために、計算された位相オフセット、受信機の概ねの位置、及び概ねの受信時間を用いる。人工衛星の擬似距離を計算するために、いくつかの実施例では、第1サンプル s_1 を生じるような信号を送信した時間から受信機が第1サンプル s_1 を生成した時間までに人工衛星から送信されたPRNコードの全て若しくは大部分の長さを計算するために、受信機の近似位置と及び人工衛星の計算されたオフセットを用いる。

40

最終的に、このシステムは計算された擬似距離を用いて受信機の推定位置を特定する。

【0022】

ある状況下では、見積もられた受信機の位置は受信機の正確な位置と合致する。別の状況下では、見積もられた受信機の位置は正確な受信機の位置と合致し、その精度は観察者には正確な位置との区別がつかないほど高性能である。しかしながら、さらに別の状況下で

50

は、見積もられた位置はある誤差量によってGPS受信機の正確な位置から異なり、このような状況下では、いくつかの実施例はこの（見積もられた位置及び実際の受信機の位置の間の）誤差が特定の位置決定アプリケーションに対して確実に許容範囲にあるようにするためにいくつかのステップをとる。いくつかのより具体的な位置決定プロセスを図2～10の参照によって説明していく。

1. デジタル参照データの生成

図1は、GPS信号を受信し、このGPS信号からK-デジタルサンプルを生成するような信号処理回路100を図示している。この図に示されているように、信号処理回路100はGPSアンテナ105、GPSチューナー110、クロック115、ダウンコンバータ120、及びアナログからデジタルへの（「A/D」）コンバータ125を含む。

10

【外1】

GPSアンテナは105は、地球の周囲を回るいくつかのGPS衛星によって送信されたいくつかの信号と雑音の合成であるGPS信号 $\tilde{s}(t)$ を受信する。アンテナ105及びその関連回路は、一般的には約1.57ギガヘルツ（「Ghz」）であるようなGPSキャリア周波数の参照GPS信号 $\tilde{s}(t)$ を受信するように構成されている。RFチューナー110は、アンテナ105からGPS信号 $\tilde{s}(t)$ を受信する。このチューナー110は、概ねGPS信号の周波数の信号を捕らえるべく調整されている。それゆえに、このチューナーはアンテナ105より受信したGPS参照信号 $\tilde{s}(t)$ を捕らえる。

20

【0023】

RFチューナーは、クロック信号を受信すべくクロック115と通信接続されている。このクロック115は、信号処理回路100の構成要素の動作を同期させるための1つ以上のクロック信号を生成する。このクロックも、同期クロック信号130を受信する。このクロック115は、様々なソースから同期信号130を受信し得る。例えば、いくつかの実施例では、この信号処理回路100は、（1）同期信号と共に無線信号を捕らえ、（2）この信号をクロック115に供給するような、RF処理回路を含む。

30

【0024】

この同期信号によって、クロックが最初にその内部時間をセットすることが可能となり、クロックが参照クロック（基準クロック）と同期することも可能になる。いくつかの実施例では、受信機はネットワーク（例えば、無線電話ネットワーク）の一部であり、受信機クロックのGPSクロックからの外れがマイクロ秒若しくはミリ秒の範囲内であるように、そのクロック115はネットワーククロックと同期している。いくつかの実施例では、クロック115はGPSクロックと1ミリ秒以下の範囲で同期している。受信機クロックの不正確さの程度は、（1）同期信号130を得るソース及び方法、（2）同期信号ソースのクロックの正確さ、（3）GPS受信機クロックの正確さに依存する。

40

【0025】

別の実施例では、受信機クロックをGPS時間の所望の時間間隔内に保持するために別の技術を用いてもよいことに留意されたい。例えば、いくつかの実施例では、内部的にクロックのずれに対しての見積もり及び補正を有してもよい。別の実施例では、受信機に高精度のクロックを用いる。

【0026】

【外2】

図1に示されているように、ダウンコンバータ120は、チューナーの出力を受信する（即ち、捕獲したGPS参照信号 $\bar{s}(t)$ を受信する）。このダウンコンバータ120は、捕獲したGPS参照信号を中間周波数（「IF」）の参照信号 $\bar{s}(t)$ へと変換する。これを行うために、いくつかの実施例ではダウンコンバータは、捕獲したGPS信号の周波数を例えば50MhzのIF周波数へと変換するようなIFミキサーを含む。いくつかの実施例では、ダウンコンバータはIFミキサーの入力及び／又は出力をフィルタリング及び増幅するために1つ以上の帯域通過及び増幅ステージも含む。

10

【0027】

信号処理回路100は、無線周波数と対立するような中間周波数でA/Dコンバータ125が参照信号をサンプリングし得るようにダウンコンバータを利用する。当業者は、別の実施例では信号処理回路中に1つ以上のダウンコンバータを含んでよいことを理解するであろう。さらに、いくつかの実施例ではGPS参照信号を、A/Dコンバータでサンプリングされるようなベースバンド参照信号に変換するために1つ以上のダウンコンバータを用いてもよい。

20

【0028】

【外3】

いくつかの実施例では、A/Dコンバータのサンプリングレートは、周波数帯域の少なくとも2倍であり、他方、別の実施例ではサンプリングレートはこのレートと異なっている。このA/Dコンバータ125は、ダウンコンバータ120から受信したIF参照GPS信号 $\bar{s}(t)$ をサンプリングし、IFGPS信号 $\bar{s}(t)$ のK-デジタルサンプル $s_1, \dots, s_K$ を出力する。これらのサンプルは受信したGPS信号の一部のみからであり、位置決定プロセスが用いるようなデジタルGPS参照データとして機能する。

30

【0029】

【外4】

これらのサンプルは、GPS 時間 $t_1, \dots, t_K$ でとられる。対応する受信機クロック時間を $\tilde{t}_1, \dots, \tilde{t}_K$ と表示する。それゆえに、 $\tilde{t}_1$ は、受信機で受信した GPS 信号の第 1 サンプルを記録した受信機クロック時間を表す。以下に説明する実施例では GPS 時間と完全に同期していないような受信機クロックによって測定されるので、第 1 サンプル時間 $\tilde{t}_1$ は第 1 サンプルがいつ生成されたかについて大体の時間を表す。A/D コンバータも第 1 サンプル時間 $\tilde{t}_1$ を出力する。本明細書中では、変数の値が該変数によって表されるアイテムの実際の値の近似値であることを示すために、「チルダ」を変数の概ね上に付けている（ $\tilde{t}_1$ のように）。

10

【0030】

II. GPS受信機の位置の見積もり

図 2 は、信号処理回路 100 によって生成されたデジタルサンプルから GPS 受信機の位置を見積もるような位置決定プロセス 200 を図示している。以下に説明されるような実施例では、GPS 受信機と分離している位置決定サーバがこのプロセス 200 を実行する。当業者は、別の実施例では、このプロセス 200 が (1) GPS 受信機によって全部実行されるか、(2) GPS 受信機によって一部が実行され、GPS 受信機と通信している別のデバイス若しくはコンピューター（例えば、位置決定サーバ）によって一部が実行される、のいずれかで実行されることも理解するであろう。

20

【0031】

図 3 は、前記プロセス 200 を実行するような位置決定サーバ 300 を図示している。いくつかの実施例では、このサーバはただ 1 つのコンピュータであるが、別の実施例では複数のコンピューターがこのサーバを形成している。いくつかの実施例では、これら複数のコンピューターは分散設置されてよい。このサーバは、独立型のデバイスであってもよいし、別のデバイスの一部であってもよい。

30

【0032】

図 3 に示されているように、位置決定サーバ 300 は、デジタル GPS 参照データ $s_1, \dots, s_K$ を 1 つ以上のベース局 310 を介してクライアントデバイス 305 から受信する。クライアントデバイス 305 は、GPS 受信機であるか、GPS 受信機を含んでいるか、若しくは GPS に通信接続されているかのいずれかでよい。さらに、各ベース局は個々の領域内で、GPS 受信機の信号送信を検知し、この情報を位置決定サーバに中継する。当業者は、GPS 受信機からの信号を位置決定サーバへと中継するための種々の通信アーキテクチャ及びネットワークをベース局に用いてよいことを理解するであろう。いくつかの実施例では、ベース局は、クライアントデバイス 305 に無線通信を提供するような電話塔 (cell tower) である。

40

【0033】

【外 5】

位置決定サーバ300は、デジタルGPS参照データ $s_1, \dots, s_K$ を受信すればいつでも個々のGPS受信機に対してプロセス200を実行する。受信機参照GPSデータに付け加えて、本発明のいくつかの実施例では、サーバ300はプロセス200を実行するためのいくつかの別のデータアイテムを用いる。例えば、いくつかの実施例では複数の人工衛星に対しての擬似距離を計算するためにGPS受信機の近似位置を用いる。以下に説明されている実施例では、近似位置は、地球を中心として、地球を固定した座標系上の点を表現するような3次元ベクトル $\tilde{\ell}$ を用いて表されている。いくつかの実施例では、この近似位置を実際のGPS受信機の位置に対して $\pm 150\text{Km}$ 以内で特定する。

10

【0034】

【外6】

別の実施例は、近似位置 $\tilde{\ell}$ を異なる方法で特定する。以下に説明される実施例では、近似位置は受信機によって生成されたGPS参照データを中継するようなベース局310の位置である。いくつかの実施例では、ベース局によって転送された信号から近似位置の情報を抽出する。別の実施例では、サーバ300は、全てのベース局の位置を記憶しているような（図3のデータベース315のような）記憶構造からベース局位置情報を検索するためにベース局の特定を用いる。別の実施例では、ベース局で到来時間差（TDOA）、到来角（AOA）、及び／又は到来セクター（SOA）による方法を用いてベース局310とクライアントデバイス305との間の信号の強度を測定することにより近似位置 $\tilde{\ell}$ を決定する。さらに、別の実施例は、現在の第1サンプル時間の既定の時間間隔内で記録された最後のGPS受信機位置として近似位置を特定する。当業者は、別の実施例ではGPS受信機の近似位置を特定するために多数の別の方法が用いられることを理解するであろう。

20

30

【0035】

いくつかの実施例では、データ処理サーバは差動GPSデータ、衛星クロック補正データ、ナビゲーションビット、及びエフェメリスデータ（ephemeris data）にアクセスする必要がある。サーバは、そのようなデータを種々のソースから受信し得る。例えば、図3に示されているように、サーバは1以上のインターネットのような通信ネットワーク325を介して1以上の参照GPS受信機320からそのようなデータを受信し得る。

40

【0036】

個々のGPS受信機に対してプロセス200を実行するために、位置決定サーバ300は最初に、GPS参照データの第1サンプル s_1 を生じさせるような信号を送信した時の全てのGPS衛星の近似位置を（205で）計算する。この計算は以下のセクションII.Aで図4の参照によりさらに説明される。

50

【 0 0 3 7 】

【 外 7 】

このプロセスは次に GPS 受信機の近似位置 $\tilde{\ell}$ の上方の N 々の GPS 衛星を (210で) 特定する。この特定は以下のセクション II.B で図 5 及び 6 の参照によりさらに説明される。近似位置 $\tilde{\ell}$ の N 々の上方人工衛星を特定した後、プロセス 200 は P 々 (P は N 以下の数) の人工衛星に対しての位相オフセットを (215で) 計算する。この計算は以下のセクション II.C で図 7 の参照によりさらに説明される。

10

【 0 0 3 8 】

【 外 8 】

P 々の人工衛星それぞれについて、次にこのプロセスは計算されたコード位相、GPS 受信機近似位置、及び人工衛星の近似位置からの擬似距離を (220で) 計算する。以下にさらに説明されるように、各人工衛星の近似位置は、受信機クロックに基づいた近似第 1 サンプル時間 $\tilde{t}_1$ に基づいて計算される。擬似距離の計算は以下のセクション II.D で図 8 ~ 10 の参照によりさらに説明される。

20

【 0 0 3 9 】

プロセス 200 は次に、GPS 受信機の推定位置を計算するために計算された擬似距離を (225で) 用いる。いくつかの実施例では、以下のセクション II.E で説明されているように三角測量技術を用いて計算された擬似距離から GPS 受信機の推定位置を計算する。

【 0 0 4 0 】

A. 人工衛星位置の計算

【 外 9 】

30

上述したように、位置決定プロセス 200 は最初に、第 1 サンプル s_1 を生じさせるような信号を送信した時の人工衛星の近似位置を計算する。受信機はこの第 1 サンプルを時間 $\tilde{t}_1$ に生成する。

【 0 0 4 1 】

エフェメリスデータと差動データが与えられると、実用的には人工衛星 i の位置 y^i は GPS 時間 t の決定論的関数である。エフェメリスデータと差動データから人工衛星の位置を得るための一組の等式が、1996 年の Artech House、Elliott Kaplan による「Understanding GPS Principles and Applications」の 38 ページのテーブル 2.3 に提供されている。計算された人工衛星位置は、通常は地球を中心として地球を固定した座標系で規定されるような 3 次元ベクトル ($y^i \in R^3$) である。

40

【 0 0 4 2 】

人工衛星 i の位置を計算するために、このプロセス 200 は最初に、人工衛星が第 1 サンプルを生じさせるような信号を送信した時間を計算する必要がある。しかしながら、信号のトラッキングを実行せずに正確な送信時間を計算するのは困難である。それゆえに、このプロセス 200 はこれらパラメータの正確な計算をする代わりに各人工衛星の近似的な送信時間及び位置を計算する。

【 0 0 4 3 】

50

より具体的には、各人工衛星*i*の送信時間は実際の第1サンプル時間 t_1 からこの人工衛星に対しての実際の信号通過遅延 τ_i を引いたものである。この信号通過遅延 τ_i は第1サンプル s_1 を生じさせるような信号の人工衛星の送信と、受信機による第1サンプルの生成との間の時間である。等式(1)は、人工衛星*i*の正確な信号通過遅延 τ_i を計算する1つの方法を示している。

【0044】

【数1】

$$\tau_i = H(\ell, y^i(t_1 - \tau_i)) = \frac{\|\ell - y^i(t_1 - \tau_i)\|}{c} + \tau_i^a + \tau^r \quad (1)$$

10

【0045】

この等式では、 ℓ は第1サンプル時間 t_1 での受信機の正確な位置であり、 $y^i(t_1 - \tau_i)$ は送信時間 $(t_1 - \tau_i)$ きっかりの人工衛星の正確な位置であり、 c は光速であり、 τ_i^a は大気状態による遅延であり、 τ^r は受信機のアナログ処理によって生じる遅延である。

【0046】

位置決定プロセス200は、差動データを用いて大気状態遅延 τ_i^a を決定し得る。位置決定プロセス200は各GPS受信機と関連する処理遅延 τ^r を(データ記憶装置315のような)記憶構造からの検索もし得る。しかしながら、(1)正確なサンプル時間 t_1 、(2)サンプル時間 t_1 ちょうどの受信機の正確な位置 ℓ 、(3)送信時間 $(t_1 - \tau_i)$ ちょうどの人工衛星の正確な位置 $y^i(t_1 - \tau_i)$ を確かめるのは困難である。それゆえに、信号通過遅延 τ_i の正確な値を得るために等式(1)を解くのは困難である。

20

【0047】

【外10】

それゆえに、いくつかの実施例では、位置決定プロセス200は各人工衛星*i*に対して近似的な信号通過遅延 $\tilde{\tau}_i$ を(205で)計算する。以下の等式(2)は、近似的信号通過遅延 $\tilde{\tau}_i$ を計算する1つの方法を示している。この等式は、(1)第1サンプル時間が $\tilde{t}_1$ であり、(2)受信機が近似位置 $\tilde{\ell}$ に配置されており、(3)送信時の人工衛星の位置が近似的第1サンプル時間 $\tilde{t}_1$ の位置と同じであると仮定している。

30

【数2】

$$\tilde{\tau}_i = H(\tilde{\ell}, y^i(\tilde{t}_1)) = \frac{\|\tilde{\ell} - y^i(\tilde{t}_1)\|}{c} + \tau_i^a + \tau^r \quad (2)$$

【0048】

40

【外11】

上述したように、いくつかの実施例では近似GPS受信機位置 $\tilde{\ell}$ としてベース局の塔位置を用いており、この塔位置は受信した電話塔特定を用いてデータベースから検索する。

【0049】

【外12】

各人工衛星 i に対して、このプロセスはそのようにして近似第 1 サンプル時間 $\tilde{t}_1$ 及び人工衛星の近似信号通過遅延 $\tilde{\tau}_i$ に基づく近似送信時間 $(\tilde{t}_1 - \tilde{\tau}_i)$ を計算する。したがって、各人工衛星 i に対して、このプロセスはエフェメリスデータ及び差動データを用いて、計算された近似送信時間 $(\tilde{t}_1 - \tilde{\tau}_i)$ での人工衛星の近似位置 $y^i(\tilde{t}_1 - \tilde{\tau}_i)$ を計算する。上述したように、エフェメリスデータと差動データから人工衛星の位置を得るための一組の等式が、1996 年の Artech House、Elliott Kaplan による「Understanding GPS Principles and Applications」の 38 ページのテーブル 2.3 に提供されている。

10

【 0 0 5 0 】

【 外 1 3 】

この方法の下に計算された近似人工衛星位置は送信時間での人工衛星の真の位置からわずかに数メートルしか離れていないということを示し得る。150km 未満の近似位置誤差は、正確さにほとんど影響を及ぼさないが、一方で受信時間の誤差はミリ秒当たり 4 メートル未満となっている。受信機が（セルラーネットワークのような）ネットワークの一部である場合、受信機クロックは 1 ミリ秒よりもずっと精密である。本明細書中では、近似人工衛星位置 $y^i(\tilde{t}_1 - \tilde{\tau}_i)$ の速記として記号 $\tilde{y}^i$ を用いていることを覚えておかれたい。

20

【 0 0 5 1 】

【 外 1 4 】

図 4 は、上述した方法を用いて、第 1 生成サンプルを生じるような信号を人工衛星が送信した近似時間 $(\tilde{t}_1 - \tilde{\tau}_i)$ での各 GPS 衛星 i の近似位置を計算するプロセス 400 を図示している。本発明のいくつかの実施例では、このプロセスはプロセス 200 の 205 で用いられる。

30

【 0 0 5 2 】

図 4 で示されているように、プロセス 400 は最初に、有している GPS 衛星のリストの中から第 1 番目の GPS 衛星 i を（405 で）選択する。次にこのプロセスは、受信機と関連する信号処理遅延 τ^y を（410 で）決定する。いくつかの実施例では、プロセス 200 及び位置決定サーバ 300 に用いられる得るような GPS 受信機の各々と関連する処理遅延 τ^y を記憶構造に記憶する。それゆえに、これらの実施例では、プロセス 400 は問題の個々の GPS 受信機と関連する処理遅延 τ^y を記憶構造から検索する。

40

【 0 0 5 3 】

【 外 1 5 】

次に、選択された人工衛星に対してこのプロセスは大気遅延 τ_i^a を (4 1 5 で) 計算する。この大気遅延は受信した GPS 差動データ及び近似受信機位置 $\tilde{r}$ から得ることが可能である。受信した GPS 差動データから大気遅延を得る 1 つの方法は、1996 年の Artech House、Elliott Kaplan による「Understanding GPS Principles and Applications」の第 8 章に説明されている。

【 0 0 5 4 】

10

【 外 1 6 】

4 2 0 では、このプロセスは次に選択された人工衛星の近似第 1 サンプル時間 $\tilde{t}_1$ での近似位置 $y'(\tilde{t}_1)$ を計算する。いくつかの実施例ではこのプロセスは時間 $\tilde{t}_1$ でのこの位置を、1996 年の Artech House、Elliott Kaplan による

「Understanding GPS Principles and Applications」の 38 ページのテーブル 2.3 中に提供されている一組の等式を用いて、エフェメリスデータと差動データから計算する。

20

【 0 0 5 5 】

【 外 1 7 】

時間 $\tilde{t}_1$ での人工衛星の近似位置を計算した後、プロセス 4 0 0 は選択された人工衛星の近似信号通過遅延 $\tilde{\tau}_i$ を (4 2 5 で) 計算する。このプロセスは、(4 2 0 で計算された) 近似人工衛星位置 $y'(\tilde{t}_1)$ 、(それぞれ 4 1 0 と 4 1 5 で得られる) 信号処理遅延 τ^r と大気遅延 τ_i^a 、及び近似受信機位置 $\tilde{r}$ から近似信号通過遅延 $\tilde{\tau}_i$ を計算するために上述した等式 (2) を用いる。

30

【 0 0 5 6 】

【 外 1 8 】

次に、このプロセスは近似第 1 サンプル時間 $\tilde{t}_1$ から (4 2 5 で計算された) 近似信号通過遅延 $\tilde{\tau}_i$ を引くことにより選択人工衛星に対しての近似送信時間 $(\tilde{t}_1 - \tilde{\tau}_i)$ を (4 3 0 で) 計算する。このプロセスは次に、4 3 5 で計算された近似送信時間 $(\tilde{t}_1 - \tilde{\tau}_i)$ での選択人工衛星の近似位置 y' を (4 4 0 で) 計算する。いくつかの実施例では、このプロセスはこの位置を、1996 年の Artech House、Elliott Kaplan による「Understanding GPS Principles and Applications」の 38 ページのテーブル 2.3 中に提供されている一組の等式を用いて、エフェメリスデータと差動データから計算する。

40

【 0 0 5 7 】

近似送信時間での選択人工衛星の位置を計算した後、このプロセスは選択した人工衛星が GPS 衛星リスト中の最後の GPS 衛星かどうかを (4 4 0 で) 決定する。最後でなければ、こ

50

のプロセスはこのリストから別のGPS衛星を（４４５で）選択し、この新しく選択した人工衛星の近似位置を決定するために４１５～４３５を繰り返す。さもなければ、このプロセスは、第１生成サンプルを生じるような信号を送信した近似時間でのGPS衛星の位置を全て計算したものと終了する。

【００５８】

B. 上方にある人工衛星の特定

【外１９】

GPS衛星の近似位置の特定後、このプロセス２００は現在「上方にある」人工衛星を（２１０で）特定する。いくつかの実施例では、このプロセス２００は、人工衛星が近似位置 $\tilde{\ell}$ に対して上方にあれば且つあるときだけに、クライアントデバイス３０５に対して上方にあると単純に仮定することにより「上方にある」人工衛星を特定する。

10

【００５９】

【外２０】

それゆえに、これらの実施例ではプロセス２００は各人工衛星 i を調査し、人工衛星が近似位置 $\tilde{\ell}$ の上にあるかどうか決定する。いくつかの実施例では、このプロセスは $\tilde{\ell}'\tilde{\ell} \leq \tilde{\ell}'\tilde{y}^i$ であれば且つであるときだけに、人工衛星 i を上方にある人工衛星として特定する。（「プライム」はベクトルの転置を示していることに留意せよ。）別の言葉で言えば、このプロセスは人工衛星の近似位置ベクトル s_i と近似位置ベクトル $\tilde{\ell}$ とのスカラー積が近似位置ベクトル同士のスカラー積以上であれば且つあるときだけに、人工衛星 i を上方にある人工衛星として指定する。

20

30

【００６０】

【外２１】

この指定基準は、近似位置ベクトル $\tilde{\ell}$ 上への人工衛星の近似位置ベクトル y^i の射影の大きさが、近似位置ベクトル $\tilde{\ell}$ の大きさ以上であるかどうかを概ね決定する。もしそうであれば、人工衛星は上方にある人工衛星である。

【００６１】

【外２２】

40

図5は、この指定基準を図示したものである。この図は、地球510上の近似位置 $\tilde{l}$ にあるGPS受信機505と、地球の周囲を回る2つの人工衛星515及び520を示している。位置 $\tilde{l}$ の水平線525の下方にあるので、人工衛星515は上方にある人工衛星ではない。したがって、その位置ベクトル y^{515} の近似位置ベクトル $\tilde{l}$ への射影の大きさは近似位置ベクトル $\tilde{l}$ の大きさ未満である。一方で、位置 $\tilde{l}$ の水平線525よりも上方にあるので、人工衛星520は上方にある人工衛星である。それゆえに、その位置ベクトル y^{520} の近似位置ベクトル $\tilde{l}$ 上への射影の大きさは近似位置ベクトル $\tilde{l}$ の大きさよりも大きく
10
なっている。

【0062】

【外23】

図6は、上述したような上方にある人工衛星を特定する方法を用いるプロセス600を図示している。本発明のいくつかの実施例では、このプロセスはプロセス200の210で用いられる。図6に示されているように、このプロセス600は最初に、近似位置ベクトル $\tilde{l}$ 同士のスカラー積を(605で)計算する。
20

【0063】

【外24】

プロセス600は次に有しているGPS衛星リストからGPS衛星を(610で)選択する。次にこのプロセスは、近似位置ベクトル $\tilde{l}$ と205で計算された選択人工衛星の近似位置ベクトル $\tilde{y}$ とのスカラー積を(615で)計算する。
30

【0064】

620で、このプロセス600は615で生成されたスカラー積が605で生成されたスカラー積以上であるかどうか決定する。605で生成されたスカラー積以上でなければ、このプロセスは以下に説明されるような630へ移行する。さもなければ、このプロセスは610で選択された人工衛星を上方にある人工衛星として指定し、次に630へ移行する。

【0065】

630で、このプロセスは有しているGPS衛星リスト上の全てのGPS衛星を調査したかどうか決定する。全てを調査していなければ、このプロセスはこのリストから別のGPS衛星を選択するために610へ戻り、新しく選択した人工衛星が上方にある人工衛星かどうかを決定するために上述した作業を繰り返す。
40

【0066】

このプロセスが全てのGPS衛星を調査したと一度(630で)決定すると、このプロセスは終了する。このプロセスは通常、プロセス600の終了時間までに、ある整数NのGPS衛星が上方にある人工衛星であると特定する。

【0067】

C. 位相オフセットの計算

【外25】

10

20

30

40

50

近似位置 $\tilde{r}$ に対して上方にある人工衛星を特定した後、このプロセス 200 はこの上方にある人工衛星に対しての位相オフセットを (215で) 特定する。位相オフセットを計算するための 1つの方法が下記に説明されている。しかしながら、当業者は位相オフセットを計算するために種々の別の方法が使われてもよいことを理解するであろう。

【0068】

10

【外26】

人工衛星に対しての位相オフセットは、(1) GPS 参照データの一部である人工衛星の PRN コードと、(2) プロセス 200 で用いられる人工衛星 PRN コードのレプリカとの間の位相の差異である。このプロセス 200 は、ドップラーシフト値 $\hat{f}_D$ 及び位相オフセット $\hat{\phi}$ の種々の候補による、人工衛星の PRN コードのレプリカと受信した GPS 参照データとの間のスカラー積 $R_i(\hat{\phi}, \hat{f}_D)$ の大きさの 2 乗であるようなアンビギュイティ関数(ambiguity function) $A_i(\hat{\phi}, \hat{f}_D)$ によって、人工衛星の位相オフセットを計算する。等式 (3) 及び (4) は、アンビギュイティ関数及び相関関数の数学的表現を提供する。

20

【数3】

$$A_i(\hat{\phi}, \hat{f}_D) = |R_i(\hat{\phi}, \hat{f}_D)|^2, \quad (3)$$

【0069】

【数4】

30

$$R_i(\hat{\phi}, \hat{f}_D) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \bar{x}_i(t_k - \tilde{t}_i - \hat{\phi}) \tilde{s}_k^{\hat{f}_D} \quad (4)$$

【0070】

【外27】

これらの等式では、(1) t_k は k^{th} 番目サンプルの GPS 時間を示しており、(2) $\tilde{s}_k^{\hat{f}_D}$ は、候補となるドップラーシフト値が適用された後の k^{th} 番目サンプルであり、(3) 候補となるドップラーシフト値 $\hat{f}_D$ は人工衛星のドップラー値及びクロックのドップラー値を示しており、(4) $\bar{x}_i(t)$ は、プロセス 200 が用いる人工衛星の C/A コードの (ナビゲーションビットによって修正された) レプリカ $x_i(t)$ の帯域通過をフィルタリングしたバージョンである。このドップラーシフト値は、このサンプルに $e^{-2\pi j(f_{IF} + \hat{f}_D)(t_k - t_i)}$ を乗じることによって k^{th} 番目サンプルに適用される。

40

【0071】

50

【外 2 8】

いくつかの実施例では、候補 $(\hat{\phi}, \hat{f}_D)$ はしらみ潰しに探され、人工衛星に対して最大のアンビギュイティ値を生じるような候補の組の位相オフセットが人工衛星の位相オフセットとして選択される。以下に図 7 を参照して説明されるように、いくつかの実施例ではさらなるステップによってこの選択をする。これらの実施例では、有効な位相オフセットを検出するためにアンビギュイティのある閾値比を用いており、有効な位相オフセットを有していない人工衛星を無視する。例えば、いくつかの実施例では、人工衛星の最大アンビギュイティが一定比で平均アンビギュイティを越えていることを必要とし、それにより位相オフセットを有効とみなす。別の実施例では、アンビギュイティピークの最高点と次のアンビギュイティピークの最高点との間の比のような種々の閾値テストが用いられてもよい。

10

【0072】

【外 2 9】

さらに、いくつかの実施例では連続する $\hat{\phi}$ 及び $\hat{f}_D$ の各々についての積の総和としてスカラー積関数 $R_i(\hat{\phi}, \hat{f}_D)$ を計算するよりもむしろ、 $R(\cdot, \hat{f}_D)$ を相関関数としてみなしている。実施例の 1 つでは、計算時間を向上させるために相関定理及び高速フーリエ変換 (FFT) を用いている。

20

【0073】

図 7 は、いくつかの上方にある人工衛星に対しての有効な位相オフセットを計算するためのプロセス 700 を示している。プロセス 200 は上方にある人工衛星を特定した後でこのプロセス 700 を (215 で) 実行する。このプロセス 700 は最初に (705 で)、上方にある人工衛星を選択し、この人工衛星の最大アンビギュイティ値が 0 と等しくなるように規定する。

30

【0074】

【外 3 0】

次に、このプロセス 700 は選択した人工衛星に対しての候補となる位相オフセット $\hat{\phi}$ 及びドップラーシフト値 $\hat{f}_D$ の数を (710 で) 数え上げる。次にこのプロセスは候補となる位相オフセット $\hat{\phi}$ 及びドップラーシフト $\hat{f}_D$ を (715 で) 選択し、上記の等式 (3) 及び (4) を用いて選択した候補の組に対してのアンビギュイティ値を (720 で) 計算する。

40

【0075】

次にこのプロセスは 720 で計算されたアンビギュイティ値が、選択した人工衛星に対してここまでに記録された最大のアンビギュイティ値よりも大きいかどうかを (725 で) 決定する。もし大きくなければ、このプロセスは以下に説明されるような 735 に移行する。もし大きければ、(730 で) このプロセスは最大アンビギュイティ値を 720 で計算された値と等しくなるようにセットし、この人工衛星の位相オフセットをここまでの位相オフセットで最適のものとして記憶する。次にこのプロセスは 735 へ移行する。

【0076】

50

735で、このプロセスは候補の組を全て調査したかどうか決定する。もし全て調査していなければ、このプロセスは715に戻り、別の候補の組を選択する。そうでなければ、このプロセスは選択した人工衛星の最大アンビギュイティ値がアンビギュイティ値の閾値を越えているかどうかを(740で)決定する。もし越えていれば、(745で)このプロセスは擬似距離を計算する必要がある人工衛星リストに選択した人工衛星を追加し、その位相オフセットとして730で記憶されたこの人工衛星に対しての最適の位相オフセットを記憶する。

【0077】

745から、このプロセスは750に移行する。このプロセスは選択した人工衛星の最大アンビギュイティ値がアンビギュイティ値の閾値を越えていないと(740で)決定した場合にも750に移行する。745で、このプロセスは上方にある人工衛星の全てを調査したかどうか決定する。もし全て調査していなければ、このプロセスは705に戻り、別の人工衛星を選択する。そうでなければこのプロセスは終了する。

【0078】

D. 擬似距離の計算

いくつかの上方にある人工衛星の位相オフセットを計算した後、このプロセス200は次に、1組の人工衛星に対しての擬似距離を計算するために受信機の近似位置及び計算された位相オフセットを(220で)用いる。人工衛星の擬似距離を計算するために、このプロセス200は、この人工衛星が第1サンプル s_1 を生じさせるような信号を送信した時間から受信機が第1サンプル s_1 を生成した時間までにこの人工衛星によって送信されたPRNコードの全て若しくは大部分の長さを計算する。

【0079】

上述したように、信号通過遅延がこの継続時間(即ち、人工衛星が第1サンプル s_1 を生じさせるような信号を送信した時間と受信機が第1サンプル s_1 を生成した時間との間の時間)を指している。人工衛星の i^{th} 番目の信号通過遅延の間、人工衛星 i はいくつかのPRNコードを送信する。

【0080】

図8は、これらのPRNコードが3つのカテゴリーにグループ化され得ることを図示している。第1番目のカテゴリーは第1サンプル s_1 を生じさせる信号を含むようなPRNコードセグメント805である。以下の考察では、このPRNコードセグメントを第1PRNコードセグメントと呼ぶ。この第1PRNコードセグメント805は、第1サンプルを生じるような信号が第1PRNコードチップの一部であるときは完全な若しくは概ね完全なセグメントであると言われており、また、第1サンプルを生じるような信号が第1PRNコードチップの後のチップの一部であるときは部分的なセグメントであると言われている。

【0081】

第2番目のカテゴリーは、人工衛星が第1PRNコードの後且つ第1サンプル時間の前に送信した完全なPRNコード810を含む。以下の考察では、これらのPRNコードは全PRNコードとして呼ぶ。第3番目のカテゴリーは、受信機が第1サンプルを生成したときに人工衛星が送信しているようなPRNコード815である。以下の考察では、このPRNコードセグメントを最終PRNコードセグメント815と呼ぶ。この最終PRNコードセグメント815は、第1サンプル時間に人工衛星がこのコードの最終チップを送信しているときは完全な若しくは概ね完全なセグメントであると言われており、第1サンプル時間に人工衛星がこのコードの最終チップの前のチップを送信しているときは部分的なセグメントであると言われている。

【0082】

以下で等式(5)は、差動補正及び人工衛星クロックの誤差を考慮した後の第1PRNコード、最終PRNコード、及び全PRNコードの総和によってGPS受信機と i^{th} 番目の人工衛星の間の推定距離を計算する1つの方法を図示している。言い換えれば、等式(5)は i^{th} 番目の人工衛星に対しての擬似距離 ρ_i の数学的な表現を提供している。

【0083】

10

20

30

40

50

【数5】

$$\rho_i = p_i + m_i l + (c v_i + d_i^{\varepsilon}) + d_i \quad (5)$$

この等式では、(1) p_i は第1コードセグメントの長さであり、(2) m_i は全PRNコードの数であり、(3) l は、約300Kmである全PRNコードの長さであり、(4) v_i は i^{th} 番目の人工衛星の送信位相であり、(5) c は光速であり、(6) $c v_i$ は人工衛星クロックの誤差に対しての調整なしの最終PRNコードの長さであり、(7) d_i^{ε} は人工衛星クロック誤差の補正因子であり、(8) d_i は大気誤差補正因子である。

【0084】

したがって、等式(5)では、(1)第1項(p_i)は第1コードセグメントの長さを考慮したものであり、(2)第2項($m_i l$)は全PRNコードを考慮したものであり、(3)第3項($c v_i + d_i^{\varepsilon}$)は人工衛星クロック誤差を調整した後の最終PRNコードを考慮したものであり、(4)第4項(d_i)は大気遅延を考慮したものである。

10

【0085】

図9は、以下の等式(6)にしたがって人工衛星の擬似距離を計算するプロセス900を図示したものである。

【0086】

【数6】

$$\rho_i = p_i + m_i l + d_i^{\varepsilon} + d_i \quad (6)$$

20

等式(6)は、 i^{th} 番目の人工衛星に対しての別の擬似距離 ρ_i を計算するための数学的な表現を提供している。等式(6)は、人工衛星クロック誤差に対しての調整なしの最終PRNコードの長さである $c v_i$ を含んでいないこと以外は等式(5)と類似している。以下でさらに説明されるように、このプロセス900は $c v_i$ を計算しないが、この項を P への人工衛星で全て一緒に考慮するために、続く三角測量作業にむしろ残している。

【0087】

1. 第1PRNコードセグメントの長さの計算

人工衛星 i の第1コードセグメント805の長さ p_i は、この人工衛星の位相オフセット ϕ_i と関連したコードの長さである。したがって、このコードの長さを以下の考察で位相の長さと呼ぶ。図10は、人工衛星 i の位相の長さ p_i と位相オフセットの関係を図示している。この図は3つのコードを示している。第1のコード1005は、受信した信号中の i^{th} 番目の人工衛星のPRNコードである(この図では、受信したPRNコードの模式図は受信信号中の劣化及びびずみを無視している)。

30

【0088】

第2コードは、位置決定プロセスが利用するような i^{th} 番目の人工衛星のPRNコードのレプリカ1010である。図10は、完全なコードのレプリカの長さを図示している。第3コードは、受信したコード1005と完全に合致させるためにある位相オフセットだけシフトさせたレプリカのバージョンである。図10に示されているように、この位相の長さは、受信した信号中の第1コードセグメントの長さ p_i と等しいような位相オフセットと関連がある。

40

【0089】

位相オフセット ϕ_i が0~1の間の正規化された時間の値として表現されると、 i^{th} 番目の人工衛星の位相の長さ p_i は、以下の等式(7)で表現される。

【0090】

【数7】

$$p_i = \phi_i c \quad (7)$$

この位相の長さは別の方法で表現してもよい。例えば、位相オフセットが別の方法で表現されると、それは異なるように表現されてよい。

【0091】

50

2. 全PRNコードセグメントの長さの計算

i^{th} 番目の人工衛星が第1PRNコード 8 0 5 の後且つ第1サンプル時間の前に送信した全PRNコード 8 1 0 の長さを計算するために、いくつかの実施例では、最初に、これらの完全なコードの数 m_i を計算する。等式 (8) は、この数を計算するための数学的な表現を提供する。

【 0 0 9 2 】

【 数 8 】

$$m_i = \text{round} \left(\frac{\|\tilde{y}' - \tilde{\ell}\| - (p_i + d_i^{\varepsilon})}{l} \right) \quad (8)$$

10

【 0 0 9 3 】

【 外 3 1 】

この等式で示されるように、全 PRN コードの数は、 i^{th} 番目の人工衛星の近似位置 $\tilde{y}'$ 、GPS 受信機の近似位置 $\tilde{\ell}$ 、 i^{th} 番目の計算された位相の長さ p_i 、及び PRN コードの長さ l に基づいて見積もることが可能である。つまり、この数は、

(1) 人工衛星と受信機との間の近似距離を得るために GPS 受信機の近似位置から人工衛星の近似位置を引き、(2) この近似距離から位相の長さと距離補正因子 d_i^{ε} を加えたものを引き、(3) その結果生じた値を PRN コードの長さ l で割り、(4) 割った結果を最も近い整数値に丸めることにより、見積もることができる。距離補正因子 d_i^{ε} の計算は以下のサブセクションで説明される。全 PRN コードの数を一度見積もってしまえば、上述したように、この数を PRN コードの長さ l に乗じることでこれらコードの長さを得ることができる。

20

30

3. 最終PRNコードセグメントの長さの計算及び人工衛星クロック誤差の補正

人工衛星クロック誤差を考慮することによりGPS衛星クロックが全て同期している限りは、最終コードセグメント 8 1 5 の長さは P 枚の人工衛星全てに対して等しくなる。それゆえに、上述したように、このプロセス 9 0 0 は以下で調整なしのPRNコードの長さ (cv_i) をゼロにセットし、この項を P 枚の人工衛星で全て一緒に考慮するために、続く三角測量作業に残している。

【 0 0 9 4 】

上述のように、等式 (6) は、人工衛星クロック誤差を考慮するために距離補正因子 d_i^{ε} を含む。等式 (9) は、この誤差補正因子を計算するための1つの公式を提供している。

【 0 0 9 5 】

【 数 9 】

$$d_i^{\varepsilon} = \varepsilon_i c \quad (9)$$

40

この等式では、 ε_i はいくつかの実施例では位置決定プロセスによって通信ネットワーク 3 2 5 を介してGPS受信機 3 2 0 から受信されるような人工衛星クロック誤差である。

【 0 0 9 6 】

4. 差動補正の調整

上述したように、等式 (6) は、差動補正因子 d_i を含む。この補正因子は大気状態及びその他の影響による信号通過遅延を考慮するためのものである。この差動補正因子は、第三

50

者ベンダー、通信ネットワーク 325 経由で公的に利用可能なデータ（例えば、www.ngs.noaa.gov/CORS/cors-data.html）、独立したGPS受信機の文書及びその他のソースを含むような、種々のソースから得ることができる。

【0097】

5. 擬似距離計算プロセス 900

図9の擬似距離計算プロセス900を以下に説明する。このプロセスは最初に、擬似距離を計算するためにプロセス700が選択したP_kの人工衛星の1つを（905で）選択する。次にこのプロセスは、プロセス700によって計算された位相オフセットφ_iから選択した人工衛星の位相の長さP_iを計算するために上述した等式（7）を（910で）用いる。

10

【0098】

このプロセスは次に、人工衛星クロック誤差による距離補正因子d_i^εを計算するために等式（9）を（915で）用いる。上述したように、いくつかの実施例では、通信ネットワーク325を介してGPS受信機320から人工衛星クロック補正ε_iを検索する。このプロセスは920で、第1PRNコード805の後且つ第1サンプル時間の前に選択した人工衛星が送信した全PRNコード810の数を計算するために等式（8）を用いる。このプロセス900は次に、915で計算された数を約300kmくらいのPRNコードの長さlに乘じることによって、これら全PRNコードの長さを（925で）計算する。このプロセスは次に930で、大気遅延補正因子d_iを特定する。

【0099】

20

このプロセスは次に、910、920、925、及び930で計算された値の総和をとることによって、選択した人工衛星の擬似距離を（935で）計算する。このプロセス900は次に、プロセス700によって特定されたP_kの人工衛星の全ての擬似距離が生成されたかどうかを（940で）決定する。もし全てが生成されていなければ、このプロセスは905に戻り、次の人工衛星を選択し、新しく選択した人工衛星の擬似距離を計算するために910～935を繰り返す。さもなければプロセスは終了する。

【0100】

E. 位置を決定するための擬似距離の三角測量

擬似距離の計算の後、このプロセス200は次に、GPS受信機の推定位置を計算するために計算された擬似距離を（225で）用いる。いくつかの実施例では、計算された擬似距離からGPS受信機の推定位置を計算するために三角測量の技術を用いる。

30

【0101】

三角測量には、1996年のArtech House、Elliott Kaplanによる「Understanding GPS Principles and Applications」のページ44～48で説明されているような複数の方法がある。当業者は、これらの方法のいずれもが計算された擬似距離から受信機の位置を計算するために本発明と一緒に容易に用いる得ることを理解するであろう。

【0102】

いくつかの実施例では、この三角測量のアルゴリズムは、人工衛星の距離の共通の不確定性を補正するために4つの人工衛星を用いており、三角測量の際に4つの人工衛星を用いることに対して従来のGPSの判断である受信機のクロック誤差を補正する代わりに用いられている。セクションII.D及び図8で説明されるように、この不確定性は最終PRNコード815である。この項は全ての人工衛星で共通であり、それゆえに、4つの人工衛星を含むことで、三角測量アルゴリズムはこの項を解くことが可能である。最終PRNコードのこの受信機クロック誤差及び不確定性は同じエンティティの等価な表現である。

40

【0103】

当業者は、上述した実施例がいくつかの利点を有することを理解するであろう。例えば、これらの実施例は人工衛星の擬似距離を計算するために信号のトラッキングを実行しない。したがって、これらの実施例はいくつかの先行技術よりも高速である。さらに、これらの実施例は、人工衛星のタイムスタンプを抽出しないので、数秒ものGPSデータを必要としない。

50

【 0 1 0 4 】

本発明は多数の特定の詳説に関して説明されているが、当業者は本発明は、本発明の精神から離れずに、別の特定の形態で実施されてもよいことを理解するであろう。例えば、上記で説明された実施例は商用GPS周波数を用いているが、別の実施例は軍事用GPS周波数を用いており、一方で別の実施例は商用周波数及び軍事用周波数の両方を用いる。すなわち、当業者は本発明は前述の例示的な詳説に制限されるものではなく、むしろ付随する請求項によって規定されることを理解するであろう。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 図 1 は、GPS信号を受信し、このGPS信号からいくつかのデジタルサンプルを生成するような信号処理回路を図示している。

10

【図 2】 図 2 は、信号処理回路によって生成されたデジタルサンプルからGPS受信機的位置を決定するようなプロセスを図示している。

【図 3】 図 3 は、位置 - 決定システムを図示している。

【図 4】 図 4 は、特定の送信時間でのGPS衛星の近似位置を計算するプロセスを図示している。

【図 5】 図 5 は、近似位置の「上方」にある人工衛星の1つ及び近似位置の「上方」にない別の人工衛星を図示している。

【図 6】 図 6 は、近似位置の上方にある人工衛星を特定するようなプロセスを図示している。

【図 7】 図 7 は、いくつかの人工衛星に対する位相オフセットを計算するプロセスを図示している。

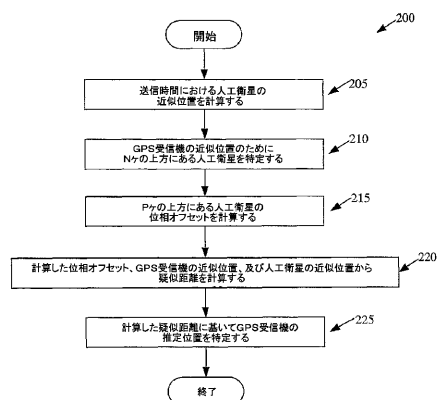
20

【図 8】 図 8 は、いくつかのGPS衛星からGPS受信機が受信するコードセグメントの種類を図示している。

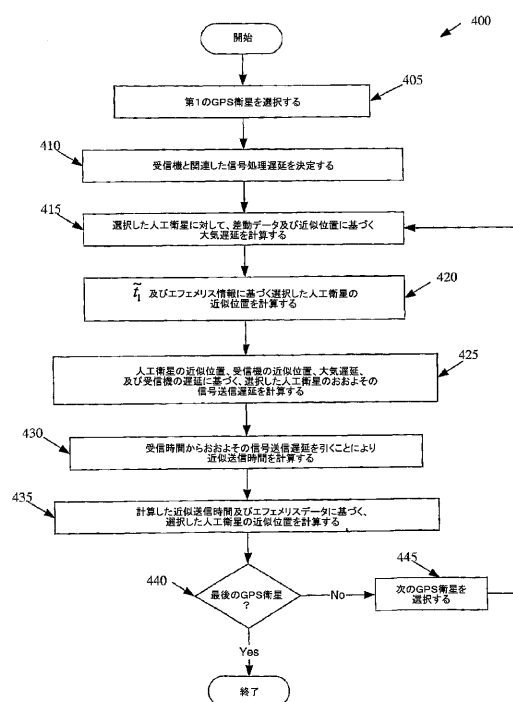
【図 9】 図 9 は、擬似距離を計算するプロセスを図示している。

【図 10】 図 10 は、GPS受信機によって受信したPRNコード、GPS受信機により記憶されているこのコードのレプリカ、及びこのレプリカの位相シフトバージョンを図示している。

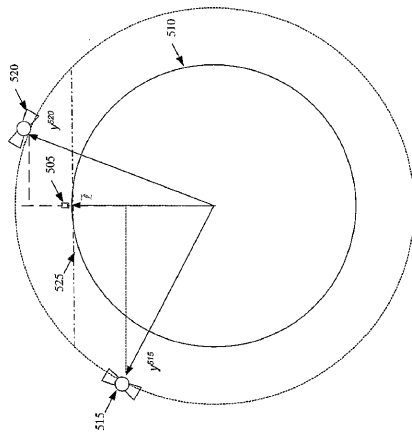
【图 2】



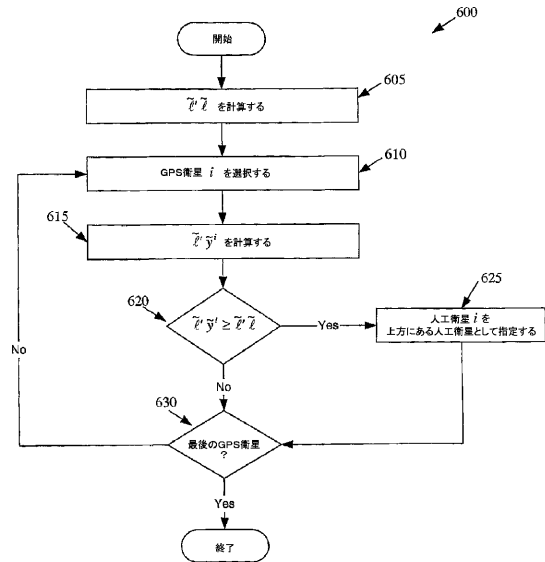
【 図 4 】



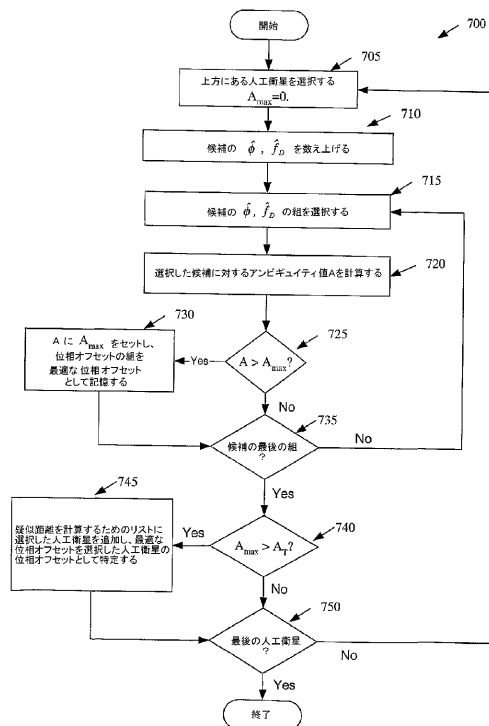
【図 5】



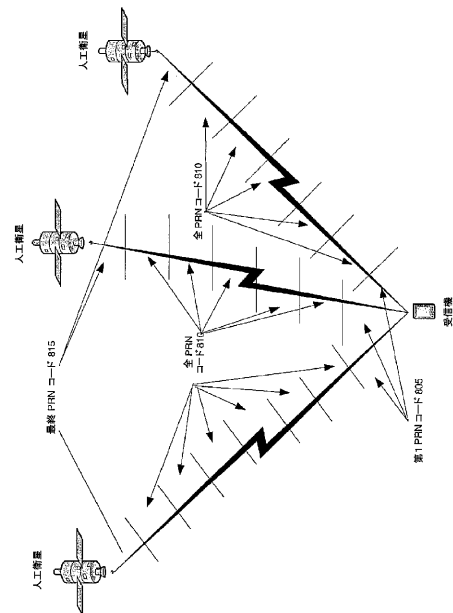
【図 6】



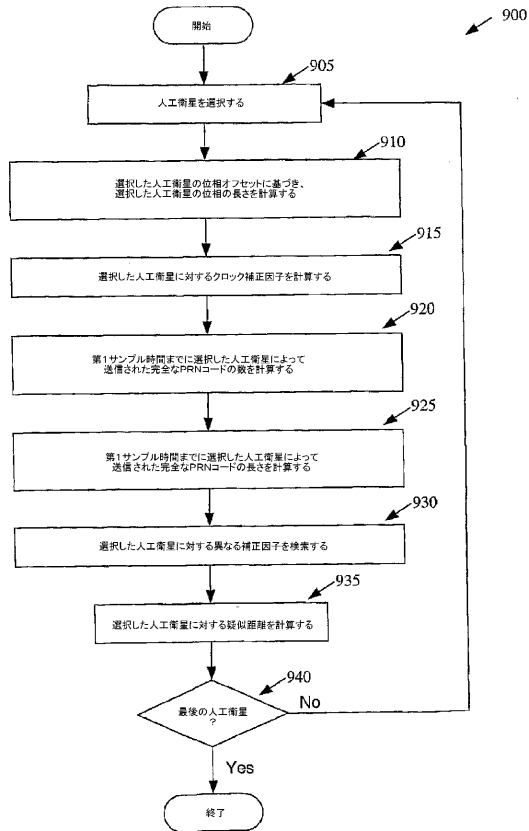
【図 7】



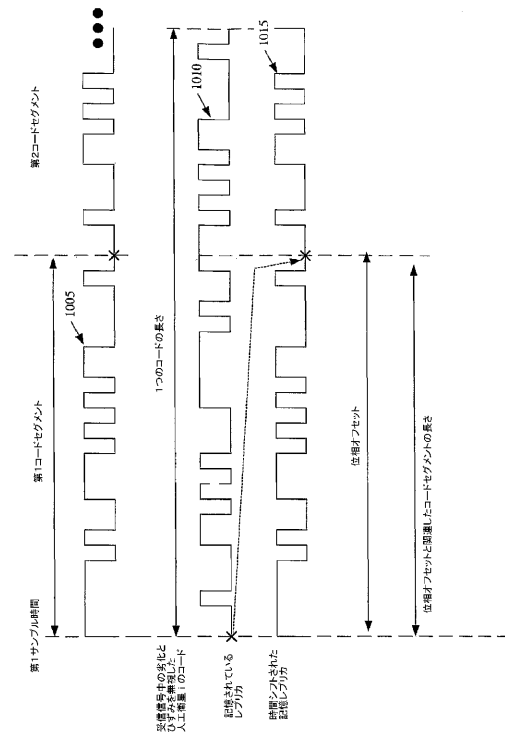
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 ファンロイ、ベンジャミン
アメリカ合衆国カリフォルニア州94403・サンマテオ・#312・デアンザブルバード 1
700

(72)発明者 チチクリス、ジョン
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州02421・レキシントン・ドーバーレーン 6

審査官 有家 秀郎

(56)参考文献 特開平09-119973(JP,A)
米国特許第05365450(US,A)
特開平05-030024(JP,A)
特開平07-140223(JP,A)
特開平11-174142(JP,A)
国際公開第00/049695(WO,A1)
国際公開第00/010031(WO,A1)
国際公開第99/019743(WO,A1)
国際公開第00/058748(WO,A1)
国際公開第00/010028(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01S 5/00-5/14