

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2007-504469
(P2007-504469A)

(43) 公表日 平成19年3月1日(2007.3.1)

(51) Int.C1.

G O 1 S 5/14 (2006.01)
H O 4 B 17/00 (2006.01)

F 1

G O 1 S 5/14
H O 4 B 17/00

テーマコード(参考)

5 J O 6 2
5 K O 4 2

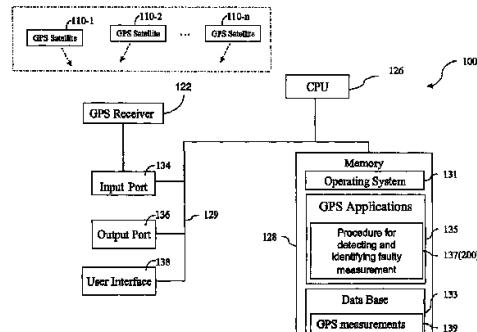
		審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 19 頁)
(21) 出願番号	特願2006-526112 (P2006-526112)	(71) 出願人 504278123 ナヴコム テクノロジー インコーポレイ テッド アメリカ合衆国 カリフォルニア州 90 503 トーランス マドロナ アベニュー — 20780
(86) (22) 出願日	平成16年8月19日 (2004.8.19)	(74) 代理人 100079108 弁理士 稲葉 良幸
(85) 翻訳文提出日	平成18年4月12日 (2006.4.12)	(74) 代理人 100093861 弁理士 大賀 真司
(86) 國際出願番号	PCT/US2004/027344	(74) 代理人 100109346 弁理士 大貫 敏史
(87) 國際公開番号	W02005/027283	
(87) 國際公開日	平成17年3月24日 (2005.3.24)	
(31) 優先権主張番号	10/656,956	
(32) 優先日	平成15年9月5日 (2003.9.5)	
(33) 優先権主張国	米国(US)	

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】受信機自動インテグリティ監視、並びに故障検出及び除去の方法

(57) 【要約】

G P S 受信機で考慮される複数の衛星に関して G P S 受信機により得られる複数の G P S 測定結果の中から、不完全な測定結果を検出し識別する方法は、複数の G P S 測定結果が不完全な測定結果を含むかどうかを判断する。複数の G P S 測定結果が不完全な測定結果を含むという判断に応じて、該方法は、複数の衛星の各々に関連する相関値を計算すること、及び不完全な G P S 測定結果の原因となっている衛星として最高の相関値に関連する衛星を選定することにより、不完全な測定結果の原因となっている衛星を識別する。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

離散時間制御されたプロセスの状態を判断するために使用される、複数の測定結果の中で不完全な測定結果を識別するための方法であって、

複数の測定結果の各々に関連する相関値を計算することと、

相関値に基づき、複数の測定結果の中で不完全な測定結果として、或る測定結果を選定することとを含む方法。

【請求項 2】

複数の測定結果の各々に関連する相関値が、複数の測定結果の残差と、複数の測定結果のうちの一つの変化（複数の測定結果の残りが不变である場合）に対応する残差との間の相関を表わす、請求項 1 に記載の方法。 10

【請求項 3】

複数の測定結果の各々に関連する相関値の計算が

残差感度行列を計算することと、

複数の測定結果に対応する残差を計算することと、

複数の測定結果の残差及び残差感度行列に基づいて、複数の測定結果の一つに関連する相関係数を計算することとを含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

複数の測定結果に対応する残差の計算が

離散時間制御されたプロセス状態の最小二乗解を取得することと、 20

最小二乗解に基づいて複数の測定結果の期待値を計算することと、

複数の測定結果と、複数の測定結果の期待値との間の差異を計算することとを含む請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

複数の測定結果に対応する残差が残差感度行列を用いて計算される請求項 3 に記載の方法。

【請求項 6】

複数の測定結果の中で、不完全な測定結果として或る測定結果を選定することが、最高の相関値を識別することと、

不完全な測定結果として、最高の相関値に関連する測定結果を選定することとを含む請求項 1 に記載の方法。 30

【請求項 7】

不完全な測定結果として、最高の相関値に関連する測定結果を選定することが、二番目に高い相関値を識別することと、

最高の相関値と二番目に高い相関値との間の差が所定のしきい値を超えたときに、不完全な測定結果として、最高の相関値に関連する測定結果を選定することとを含む請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

不完全な測定結果として、最高の相関値に関連する測定結果を選定することが、第一の所定しきい値を最高の相関値が超えていることを判断することと、 40

二番目に高い相関値を識別することと、

二番目に高い相関値が第一の所定しきい値より小さく、第一の所定しきい値と二番目に高い相関値の間の差が、第二の所定しきい値を超えていることを判断することとを含む請求項 6 に記載の方法。

【請求項 9】

離散時間制御されたプロセスの状態が G P S 受信機の位置と時計の偏倚に対する補正を含み、複数の測定結果が、複数の衛星に関して G P S 受信機により得られた G P S 距離の測定結果であり、複数の測定結果の各々が複数の衛星の一つに対応する請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

10

20

30

40

50

複数の衛星の数が5よりも大きい、請求項9に記載の方法。

【請求項11】

不完全な測定結果におけるエラーのサイズを決定することを更に含む、請求項1に記載の方法。

【請求項12】

不完全な測定結果におけるエラーのサイズの決定が、

複数の測定結果の二乗平均平方根残差を、複数の測定結果の一つにおける単位変化（複数の測定結果の残りが不变である場合）に対応する二乗平均平方根残差により除算することを含む、請求項11に記載の方法。

【請求項13】

不完全な測定結果におけるエラーのサイズの決定が、

複数の測定結果の二乗平均平方根残差を、残差感度行列における不完全な測定結果に対応する対角線要素の平方根により除算することを含む、請求項11に記載の方法。

【請求項14】

複数の衛星に関してGPS受信機により得られた複数のGPS測定結果の中で、不完全な測定結果を検出し識別するための方法であって、

複数のGPS測定結果が不完全な測定結果を含むかどうかを判断することと、

複数のGPS測定結果が不完全な測定結果を含むという判断に応じて、不完全な測定結果の原因となっている衛星を、

複数の衛星の各々に関連する相関値を計算することと、

不完全な測定結果の原因となっている衛星として、相関値に基づいて、複数の衛星の中からの或る衛星を選択することと
によって識別することとを含む方法。

【請求項15】

GPS測定結果が不完全な測定結果を含むかどうかの判断が、

複数のGPS測定結果に対応する後置残差を用いて検定統計量を計算することと、

検定統計量が誤りに対するしきい値を超えているかどうかを判断することとを含む請求項14に記載の方法。

【請求項16】

誤りに対するしきい値がGPS受信機により使用されるナビゲーション・モードの関数である請求項15に記載の方法。

【請求項17】

不完全なGPS測定結果におけるエラーのサイズを決定することを更に含む、請求項15に記載の方法。

【請求項18】

不完全な測定結果の原因となっている衛星が正しく識別されていることを確認することを更に含む、請求項17に記載の方法。

【請求項19】

不完全な測定結果の原因となっている衛星が正しく識別されていることの確認が、

不完全なGPS測定結果におけるエラーのサイズに基づいて後置残差を調整することと

、
調整された後置残差を用いて検定統計量を計算することと、
検定統計量が誤りに対するしきい値を超えないことを確認することとを含む請求項18に記載の方法。

【請求項20】

衛星に関連する相関値の計算が

残差感度行列を計算することと、

複数のGPS測定結果に対応する残差を計算することと、

残差及び残差感度行列に基づいて、衛星に関連する相関係数を計算することとを含む請求項14に記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 2 1】

不完全な G P S 測定結果の原因となっている衛星として、複数の衛星の中で或る衛星を選択することが

最高の相関値を識別すること、

不完全な G P S 測定結果の原因となっている衛星として、最高の相関値に関連する衛星を選択することとを含む請求項 1 4 に記載の方法。

【請求項 2 2】

コンピュータで実行可能なプログラム指示が実行されるとき、離散時間制御されたプロセスの状態を判断するために、複数の測定結果の中で不完全な測定結果を識別するための方法を行なうデジタル処理システムをもたらす、コンピュータで実行可能なプログラム指示を備えたコンピュータ読み取り可能なメディアであって、該方法は、

各々の相関値が複数の測定結果の一つに関連する、複数の相関値を計算すること、

不完全な測定結果として、複数の相関値の中で最高の相関値と関連する測定結果を選択することとを含む、コンピュータ読み取り可能なメディア。

【請求項 2 3】

方法が不完全な測定結果におけるエラーのサイズを決定することを更に含む、請求項 2 2 に記載のコンピュータ読み取り可能なメディア。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0 0 0 1】****発明の分野**

本発明は、一般に離散時間制御されたプロセス (discrete-time controlled process) における故障検出及び除去 (F D E) に関し、そして特にグローバルポジショニングシステム (G P S) における受信機自動インテグリティ監視 (R A I M) のための方法に関する。

【背景技術】**【0 0 0 2】****発明の背景**

G P S は地球上の物体を位置決定するために宇宙衛星を使用する。G P S により、衛星からの信号はG P S 受信機に届き、該G P S 受信機の位置を決定するために用いられる。最近では、ロックされたG P S 衛星信号を伴う各々の相関器チャネルに相当する二つのタイプのG P S 測定が民間のG P S 受信機に使用可能である。二つのタイプのG T S 測定は、周波数 1 . 5 7 5 4 G H z 及び 1 . 2 2 7 6 G H z 、又は波長 0 . 1 9 0 3 m 及び 0 . 2 4 4 2 m をそれぞれ有する二つの搬送波信号 L 1 、L 2 の、擬似距離 (pseudorange) 、及び統合されたキャリア位相である。擬似距離測定 (又はコード測定) は全てのタイプのG P S 受信機が実施できることに注目すべき基本的なG P S である。それは搬送波信号へと変調されたC / A 又はP コードを利用する。測定は関連コードが衛星から受信機へと移動するために要する見掛け時間 (the apparent time) 、すなわち、受信機の時計に基づく、信号が受信機に届く時間から、衛星の時計に基づく、信号が衛星を出発した時間を、マイナスしたものを記録する。キャリア位相測定は、再構成された信号の搬送波を、それが受信機に届く時に統合することにより得られる。従って、キャリア位相測定は、衛星の時計に基づく、信号が衛星を出発した時間と、受信機の時計に基づく、信号が受信機に届いた時間とから決定される、通過時間差 (transit time difference) の測定もある。しかしながら、受信機が信号のキャリア位相を追跡し始める時の、衛星と受信機の間の通過における全サイクルの当初の数は通常知られていないため、通過時間差は複数の搬送波サイクルにより誤ることがあり、すなわち、キャリア位相測定には全サイクルにわたる不明確性が存在する。

【0 0 0 3】

G P S 測定結果が利用できることにより、G P S 受信機と多数の衛星の各々との間の距離又は移動量 (range or distance) は信号の移動時間に光の速度を掛けることにより計

10

20

30

40

50

算される。受信機の時計は一般に測定範囲内で共通の偏倚を生じる、かなりの時間誤差を有するため、これらの距離は通常擬似距離（仮の距離）と呼ばれる。受信機の時計の誤差から来るこの共通の偏倚は、通常のナビゲーション計算の部分としての受信機の位置座標とともに解決される。衛星の軌道エラー、衛星の時計誤差、大気の効果、受信機ノイズ、及び多経路エラーを含む、その他の様々な要因が、計算された距離においてエラー又はノイズの原因となり得る。G P S受信機を有するユーザーが如何なる基準局とも情報交換せずに、考慮対象の複数の衛星に関してコード及び／又はキャリア位相距離を得る、独立型のG P Sナビゲーションについては、ユーザーは該距離においてエラー又はノイズを減らす方法に対し非常に制限される。

【0004】

10

これらのエラーを除去又は減らすために、G P Sのアプリケーションにおいて一般に差動動作 (differential operations) が用いられる。ディファレンシャルG P S (D G P S) 動作は一般に、ベースの基準G P S受信機、ユーザーのG P S受信機、及びユーザー受信機と基準受信機との間の通信メカニズムを伴う。基準受信機は既知の場所に置かれ、既知の位置は上記のエラー要因の幾つか又は全てに関連する補正を生み出すために用いられる。補正是ユーザーの受信機に供給され、ユーザーの受信機はその計算位置を適切に補正するために該補正を使用する。補正是、基準サイトにおいて決定された基準受信機の位置に対する補正の形態、又は特定のG P S衛星の時計及び／又は軌道に対する補正の形態であり得る。基準受信機の位置に対する補正是、それらが最適な精度のため、同一の衛星がユーザーの受信機及び基準受信機により観察されることを必要とするという理由により、G P S衛星の時計又は軌道の補正ほど柔軟性がない。

【0005】

20

ディファレンシャルG P S (D G P S) の基本的な概念は、エラー要因から生じる擬似距離及び／又はキャリア位相測定におけるノイズ要素を打ち消すために、G P S測定結果に固有のエラーの空間的及び時間的相関関係を活用することにある。しかしながら、擬似距離又はキャリア位相測定における偏倚として現れるG P S衛星時計の時間エラーが、基準受信機とユーザーの受信機の間で完全に相関される一方で、他の大部分のエラー要因は相関されないか、又は相関は広域での適用において、すなわち基準受信機とユーザーの受信機間の距離が大きくなる時に消滅する。

【0006】

30

広域での適用におけるD G P Sシステムの不正確さを克服するために、様々な広域D G P S (W A D G P S) 技術が開発されている。W A D G P Sは、計算センター又はハブと通信している複数の基準局のネットワークを含む。エラーの補正是、基準局の既知の場所、及びそれらによりなされた測定に基づき、ハブにおいて計算される。計算されたエラーの補正是、次に衛星、電話、又は無線等の通信リンクを介してユーザーに伝送される。複数の基準局を使用することにより、W A D G P Sはエラーの補正についてより正確な算定を提供する。

【0007】

40

従って、G P S受信機を有するユーザーは様々なモードのナビゲーション、すなわち独立型G P S、D G P S、W A D G P S、キャリア位相D G P S等を使用し得る。いずれのナビゲーション・モードが使われても、衛星に関する距離は、不具合の衛星に対する測定などの不完全な測定結果に基づいて計算される可能性が常にある。この距離がユーザーの位置決定に使われるとき、誤った又は不適切な位置が生じる。従って、不完全な測定結果はG P Sシステムの信頼性及び完全性の重大な低下を生じ得る。それゆえ、G P Sシステムにおける故障検出及び除去 (F D E) のために様々なインテグリティ監視 (integrity monitoring) 技術が開発されている。受信機自動インテグリティ監視 (R A I M) は、冗長なG P S衛星測定結果を用いたG P Sにおけるインテグリティ監視方法のためにF A A (米国連邦航空局) により作られた名称である。

【0008】

50

R A I M及びF D Eに関する文献は豊富である。しかしながら、文献中の大部分の手順

は航空用に関し、あり得るエラーを位置の分野に限定しようと試みている。その結果、それらは一般に非常に高価な計算を伴う。R A I M手順について述べている最も古い論文は、ブラウン及びマクバーニーによる「最大分離解法を用いた内蔵型GPSインテグリティ・チェック」、ナビゲーション、35巻1号、41~53頁(Brown and McBurney, "Self-contained GPS Integrity Check Using Maximum Solution Separation," Navigation, Vol. 35, No. 1, pp 41-53)の論文である。この論文において著者らは(1)考慮されるn基の衛星に関するGPS測定結果の取得、(2)n基の衛星の各々について、他の(n-1)基の衛星に関する測定結果に基づいてユーザーの位置を解くこと、(3)水平面における解の間の可能なあらゆる距離を計算し、可能な距離の中で最大距離を決定すること、及び(4)最大距離を検定統計量として用い、該最大距離がしきい値を越えたときに不具合を宣言すること、を示唆している。明らかに、この技術は非常に多くの数値計算が必要であり、特定の測定結果又は衛星を不完全として分離はしない。

10

20

【0009】

他の早期の論文はパーキンソン及びアクセルラードによる「擬似距離残差を用いたGPS自動インテグリティ監視」、ナビゲーション、35巻2号、255~271頁(Parkinson and Axelrad, "Autonomous GPS Integrity Monitoring Using the Pseudorange Residual," Navigation, Vol. 35, No. 2, pp 255-271)である。この論文において、著者らは擬似距離測定残差に基づく優れた検定統計量を提案しているが、検定統計量を不具合の衛星の分離に用いることに関しては、彼らはブラウン及びマクバーニーにより用いられたものと類似の枠組みを用いている。すなわち、複数の衛星の各々について、彼らは当該衛星に関する測定を除外しながら検定統計量を計算している。再度、この手順は過度の計算負荷を与える。

30

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0010】

概要

GPS受信機で考慮される複数の衛星に関して、GPS受信機により得られる複数のGPS測定結果の中で不完全な測定結果を検出し識別する方法は、複数のGPS測定結果が不完全な測定結果を含むかどうかを判断する。複数のGPS測定結果が不完全な測定結果を含むという判断に応じて、該方法は複数の衛星の各々に関連する相関値を計算すること、及び不完全なGPS測定結果の原因となっている衛星として、最高の相関値に関連する衛星を選定することにより、不完全な測定結果の原因となっている衛星を識別する。一つの実施形態においては、正しい衛星が識別されることを保証するため、最大の相関値と関連している衛星は、所定のしきい値を最大の相関値が超え、そして所定のしきい値が二番目に大きい相関値よりも十分大きい場合に選定される。代替の実施形態において、最大の相関値に関連する衛星は最大の相関値と二番目に大きい相関値の間の差が所定のしきい値を超えた場合に選定される。

40

50

【0011】

幾つかの実施形態において、GPS測定結果が不完全な測定結果を含むかどうかは、複数のGPS測定結果に相当する後置残差(post-fix residuals)を用いて検定統計量(test statistic)を計算し、そして検定統計量を、GPS受信機で用いられるナビゲーション・モードに基づいて選ばれたしきい残差値と比較することにより判断される。検定統計量がしきい残差値を超えた場合、不完全な測定結果は検出される。

【0012】

幾つかの実施形態において、衛星に関連する相関値は、衛星に関連づけられている相関係数の絶対値である。相関係数は、複数の衛星に対応する残差感度行列(residual sensitivity matrix)及び、複数のGPS測定結果に対応する後置残差を含む残差ベクトルに

50

基づき計算される。

【0013】

幾つかの実施形態において、不完全なGPS測定結果におけるエラーのサイズは、複数の衛星に対応する残差感度行列、及び二乗平均平方根残差に基づいて決定される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

実施形態の説明

図1は、複数のGPS測定結果の中から不完全なGPS測定結果を検出し識別する方法を実行するために使用することができるコンピュータ・システム100を例示している。複数のGPS測定結果の各々は、複数の衛星110-1、110-2、...、110-nの一つからの信号に基づいてGPS受信機122により得られ、ここでnはGPS受信機122で考慮する衛星の数である。複数の衛星、又はそれらの任意の一つかそれ以上は今後この書類中で時々衛星110と呼ばれる。幾つかの実施例では、GPS受信機122及びコンピュータ・システム100は、ポータブルか、携帯型か、又は装着できる位置追跡装置のような、単一のケース内の、単一の装置へ組み込まれ、あるいは車載又はさもなければ移動できる位置決定及び/又はナビゲーション・システムへ組み込まれている。他の実施形態では、GPS受信機122及びコンピュータ・システム100は単一の装置には組み込まれていない。

【0015】

図1に示すように、コンピュータ・システム100は、一つ以上の通信バス129により互いに連結された、中央演算処理装置(CPU)126、メモリ128、入力ポート134、出力ポート136、及び(オプションとして)ユーザー・インターフェース138を含む。メモリ128は高速ランダム・アクセス・メモリを含んでもよく、また一つ以上の磁気ディスク記憶装置のような不揮発性のマストレージを含んでもよい。メモリ128は、オペレーティング・システム131、データベース133、及びGPSアプリケーション手順(プロシジャー)135を格納することが望ましい。GPSアプリケーション手順は以下により詳細に述べられているように、不完全なGPS測定結果を検出し識別する方法を実行するための手順137を含んでもよい。メモリ128に格納されたオペレーティング・システム131、アプリケーション・プログラム、及び手順135と137は、コンピュータ・システム124のCPU126による実行用である。メモリ128はまた、本書類で議論される他のデータ構造と同様に、GPS擬似距離及び/又はキャリア位相測定139を含む、GPSアプリケーション手順135及び137の実行中に使用されるデータ構造を格納することが望ましい。

【0016】

入力ポート134はGPS受信機122からデータを受け取るためにあり、出力ポート136はデータ及び/又は計算結果の出力用に用いられる。データ及び計算結果はまたユーザー・インターフェース138のディスプレイ装置に表示されてもよい。

【0017】

図2は、複数の衛星110についてGPS受信機122により得られた複数のGPS測定結果の中から不完全なGPS測定結果を検出し識別する方法200を例示している。図2に示すように、方法200は複数のGPS測定結果が不完全な測定結果を含むかどうかを判断するためのステップ210を含んでいる。複数のGPS測定結果が不完全な測定結果を含んでいるというステップ210の判断に応じて、方法200は、更に複数のGPS測定結果の中から不完全な測定結果が分離され又は識別される、あるいは複数の衛星の中から不完全な測定結果の原因となっている衛星が分離され又は識別されるステップ220を含んでいる。識別された不完全な測定結果の原因となっている衛星において、方法200は、不完全な測定結果におけるエラーのサイズが決定されるオプションのステップ230、及び正しい識別がなされていることを確認するオプションのステップ240を含んでもよい。

【0018】

10

20

30

40

50

図3は、GPS測定結果がステップ210において不完全な測定結果を含んでいるかどうかを判断する方法300の実施形態を例示している。図3に示されるように、方法300は、複数のGPS測定結果に対応する後置残差が計算されるステップ310、及び検定統計量が後置残差を用いて形成され、複数のGPS測定結果が不完全な測定結果を含んでいるかどうか判断するためにしきい値と比較されるステップ320を含んでいる。GPS測定結果の残差は、該GPS測定結果と、GPS測定結果の予測値又は期待値との間の不一致を表わす。GPS受信機の位置又は時計の偏倚が調整される前には、該残差は、しばしば前置残差(pre-fix residuals)又は測定イノベーション(measurement innovations)と呼ばれる。測定イノベーションは、GPS測定結果と該GPS測定結果の理論的予測との間の差に基づいて計算できる。あるいは、GPS測定結果に対応する測定イノベーションは、以下に議論されるように、GPS測定結果と、GPS受信機の初期算定状態(initial estimated state)から計算されたGPS測定結果の期待値との間の差として計算することができる。

【0019】

ナビゲーション・モードがどうであれ、GPSでナビゲートすることは、線形確率差分方程式により支配された離散時間制御されたプロセスを含む。

$$Hx = z + n \quad (1)$$

ここで、 x は離散時間制御されたプロセスの状態ベクトルであり、GPSの場合、GPS受信機の位置及び/又は時計の偏倚に対する補正を含む。 H は、GPS受信機から n 基の衛星の各々までの状態ベクトル又は単位ベクトルの方向余弦(direction cosines)を含む測定感度行列であり、 z は、複数のGPS測定結果に対応する測定イノベーションを含む測定イノベーション・ベクトル、そして n は測定ノイズ・ベクトルである。キャリア位相測定の場合、状態ベクトルは未知の不明確要素を含む可能性がある。

【0020】

後置残差は通常二段階のプロセスで得られる。第一に、 x の最小二乗解は、次のように求められる。

【数1】

$$\hat{x} = (H^T H)^{-1} H^T z \quad (2)$$

30

又は、加重最小二乗解の場合、次のように求められる。

【数2】

$$\hat{x} = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} z \quad (3)$$

40

式(4)の R は測定共分散行列であり、

【数3】

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \cdot & \\ 0 & & & & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

50

で表わされる。ここで、 i 、 $i = 1, 2, \dots, n$ は、 i 番目の衛星に関する GPS 測定ノイズの標準偏差を表わす。 i の計算法の例は、ピーター・ボナによる「GPS 位相及びコード観察における精度、相互相關、及び時間相關」、GPS ソリューションズ、4巻2号、2000年秋号、3~13頁（“Precision, Cross Correlation, and Time Correlation of GPS Phase and Code Observations”, by Peter Bona, GPS Solutions, Vol. 4, No. 2, Fall 2000, p. 3-13）、又は、カリフォルニア州リバーサイド、カリフォルニア大学電気工学科、Y. ヤンによる2001年6月の博士学位論文「低価格慣性ナビゲーション用の緊密に一体化された姿勢決定方法：2アンテナ式GPS及びGPS/M磁力計」（“Tightly Integrated Attitude Determination Methods for Low-Cost Inertial Navigation: Two-Antenna GPS and GPS/Magnetometer,” by Y. Yang, Ph.D. Dissertation, Dept. of Electrical Engineering, University of California, Riverside, CA June 2001）に見出され、双方ともここに参考として盛り込まれている。

【0021】

式(3)又は(4)で計算される状態への補正は、測定イノベーション（前置残差）を、方法300のステップ310において一組の後置残差へと変換するために、次の式に従って用いられる。

$$= S z. \quad (5)$$

ここで S はその要素として複数の GPS 測定結果に対応する後置残差を含む残差ベクトルである。 S は残差感度行列であり、

$$S = (1 - H(H^T H)^{-1} H^T) \quad (5a)$$

又は

$$S = (1 - H(H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1}) \quad (5b)$$

である。

【0022】

S は、その要素が測定イノベーションにおける単位変化に対応する残差である行列のため、残差感度行列と呼ばれる。これは次の議論を通じて説明できる。式(1)は、一組の任意の測定イノベーション・ベクトルに対応する、一組の状態ベクトルを含めるために拡張することができる。

$$H X = Z \quad (6)$$

ここで X は、一組の任意の測定イノベーション・ベクトル z_1, z_2, \dots, z_n に対応する、一組の状態ベクトル x_1, x_2, \dots, x_n を含む。今、 Z を単位行列とすれば、次の式で示されるように、複数の衛星のうちの異なる各一つの測定イノベーションにおける、他の衛星の測定イノベーションが不变に保たれている状態での、各々单一の単位変化（例えば 1 m 又はあらゆる任意の単位）を表わす一組の測定イノベーション・ベクトルに對応する状態ベクトルを得る。

$$H X = I \quad (7)$$

X の最小二乗解は次で表わされる。

【数4】

$$\hat{X} = (H^T H)^{-1} H^T \quad (8)$$

加重最小二乗解の場合、これは

【数5】

$$\hat{X} = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} \quad (9)$$

となる。

【0023】

式(8)をH倍することにより、最小二乗解に基づく各衛星の測定イノベーションについての予測が与えられる。

【数6】

10

$$H\hat{X} = H(H^T H)^{-1} H^T \quad (10)$$

イノベーション、すなわち単位行列の入力値からこの予測値を差し引くことにより、測定イノベーションにおける単位変化の残差を含む行列、つまり式(5a)又は(5b)の残差感度行列Sが得られる。式(5)に示すように、S行列は前置残差(測定イノベーション)を後置残差へと直接写像するために使用することができる。

【0024】

従って、S行列の各列(又は行)は、複数の衛星のうちの一つの測定イノベーションにおける、その他の複数の衛星の測定イノベーションが不变に保たれている状態での、単位変化に対応する残差を含む。S行列は多くの興味深い特性を有する。それは対称であり、幂等(idempotent)、すなわち $S = S^2 = S^3 = \dots$ であり、任意の行又は列の合計がゼロであり、そして任意の行又は列の長さが関連する対角線要素の平方根に等しい。状態ベクトルxが大部分のナビゲーション・モード用に四つの要素を有するため、Sの階数は $n - 4$ である(n は衛星の数)。

【0025】

S行列では、残差ベクトルにおける後置残差は、ステップ310の式(5)に従って計算できる。後置残差は、測定結果の数nで割った残差ベクトルのノルム値(又は長さ)である二乗平均平方根残差の計算、すなわち

30

【数7】

$$\delta = \sqrt{\frac{\Delta^T \Delta}{n}} \quad (11)$$

に使用可能である。

【0026】

ステップ310で後置残差を計算した後、方法300は更に後置残差又は二乗平均平方根残差が検定統計量を形成するために用いられるステップ320を含み、検定統計量は次に複数のGPS測定結果が不完全な測定結果を含んでいるかどうかを判断するために、誤りに対するしきい値(fault threshold)と比較される。検定統計量は二乗平均平方根残差であり得る。又は、それは、次の式のように、($n - 4$)の平方根のような衛星の数の適切な正規化により測られた、後置残差ベクトルの長さであり得る。

40

【数8】

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta^T \Delta}{(n-4)}} \quad (12)$$

50

あるいは、非常に小さいエラーについて懸念しない場合は、誤りに対するしきい値は十分大きく設定可能であり、その場合、スケーリングは比較的重要でない。従って、検定統計量は、単純に後置残差ベクトルの長さ、すなわち

【数9】

$$\sigma = \sqrt{\Delta^T \Delta} \quad (12a)$$

になり得る。

【0027】

検定統計量が誤りに対するしきい値より大きいとき、複数のGPS測定結果は不完全な測定結果を含むと判断される。GPS受信機122の測定ノイズ（又は位置精度）のレベルはGPS受信機の動作するナビゲーション・モードにしばし依存するため、幾つかの実施形態において、誤りに対するしきい値は、GPS受信機122により使用されるナビゲーション・モードに対応するように選定される。

【0028】

図4は、方法200のステップ220における不完全な測定結果、又は不完全な測定結果の原因となっている衛星の識別のための方法400の実施形態を示す。図4に示すように方法400は、複数の測定結果の各々、又は複数の衛星の各々と関連する相関値が計算されるステップ410、ならびに複数の衛星110の中で最高の相関値と関連する衛星が不完全な測定結果の原因となっている衛星として識別されるか、又は最高の相関値に関連する衛星に対するGPS測定結果が不完全な測定結果として識別されるステップ420とを含んでいる。

【0029】

幾つかの実施形態において、複数の衛星の各々と関連する相関値は、衛星又は衛星に対する複数の測定結果の一つに関連する相関係数に基づき計算される。例えばj番目の衛星（ここでj=1, 2, ..., n）と関連する相関係数は、複数のGPS測定結果の残差と、他の衛星の測定イノベーションが不变に保たれている状態での、j番目の衛星に対する測定イノベーションにおける単位変化に対応する残差と、の間の相関を表わす。従って、j番目の衛星と関連する相関係数は、次の式によりS行列及び残差ベクトルを用いて計算することができる。

【数10】

$$\rho^j = \frac{\sum_i \Delta_i \cdot s_i^j}{|\Delta| \|s^j\|} \quad (13)$$

ここで ρ^j はj番目の衛星と関連する相関係数、 s_i は残差ベクトルのi番目の要素、

【数11】

$$s_i^j$$

はS行列のi行とj列の要素、 $|s|$ は残差ベクトルのノルム値、 s^j はS行列のj列及び、サーメーションは又はS行列のj列の全要素に対するものである。 s^j 、 $|s^j|$ の長さは対角線要素

【数12】

$$s_j^j$$

10

20

30

40

50

の平方根と等しいことに注意されたい。

【0030】

一つの実施形態において、衛星と関連する相関値は該衛星と関連する相関係数の絶対値に等しい。このように計算した相関値を用いて、複数の衛星と関連する相関値の中で最大の相関値に関連する衛星は、一般にステップ420において不完全な測定結果の原因となっている衛星として識別することができる。しかしながら、正しい衛星が識別されていることを確実にするため、追加のチェックを要することがある。

【0031】

五基の衛星のみが利用できるとき、全ての衛星に関連する相関係数は約1（又はマイナス1）でなければならない。これは、自由度が1のみである（すなわち、状態ベクトル中の未知数の数よりも、衛星が1だけ多い）ためである。五基の衛星に対応した五つの測定結果のみを用いて、S行列の各列は、列の長さが異なることを除き、完全に残差ベクトルと相關している。言い換えれば、方法200のステップ210において誤りを示した大きな二乗平均平方根残差は、衛星の内の任意の一つからの不完全な測定結果により引き起こされ得る。更に、衛星の数が5より大きい場合でも、悪化した地形により類似の現象が生じ得る。そのような悪化した地形は、一つより多い衛星が1又は-1に近い相関係数と関連づけられている場合に示される。

【0032】

従って、不完全な測定結果の原因となっている衛星を正しく識別することを保証するために、それぞれ図5A又は5Bに示される方法500A又は500Bをステップ420において使用することができる。方法500Aは複数の衛星と関連する相関値の中で最高の相関値が識別されるステップ510Aを含む。方法500Aは更に、最高の相関値が所定のしきい値を超えていていることを判断するためのステップ520A、及び所定のしきい値が複数の衛星と関連する相関値の中で二番目に高い相関値よりも十分大きいことを判断するためのステップ530Aを含む。あるいは、最高及び二番目に高い相関値が識別されるステップ510B、最高と二番目に高い相関値との差が計算されるステップ520B、及びその差が所定の最小差異値を超えていることを判断するためのステップ530Bを含む方法500Bが用いられる。

【0033】

識別された不完全な測定結果の原因となっている衛星で、方法200は更に、不完全な測定結果における如何なるエラーのサイズ（又は誤りのサイズ）も算定される、ステップ230を含んでいてもよい。特に方法200がリアルタイム運動学的（Real-Time Kinematic）（RTK）ナビゲーション・モードにおいて不完全な測定結果を識別するために用いられるとき、誤りのサイズの算定は時々有用である。RTKナビゲーションは通常キャリア位相測定及び、従って全体のサイクルの不明確性の解決（resolutions of whole-cycle ambiguities）を含むため、測定の誤りはトラッキング・ループにおけるサイクルのスリップ、又は全体サイクルの不明確性に対する不適切な判断の結果であり得る。そうである場合、誤りのサイズはキャリア波長の倍数になる。衛星が、衛星110-k（ここでkは1, 2, . . ., 又はn）のように与えられるとすると、最高の相関値が識別された状態では、エラーの大きさの最良の算定 e_k は、衛星100-jに関連するS行列の列の長さで割った、二乗平均平方根残差により与えられる。従って、 e_k は、残りの複数の衛星についての測定イノベーションが不变に保たれている状態での、衛星-kの測定イノベーションにおける単位変化に対応する二乗平均平方根残差である。S行列の列の長さは、該S行列の対応する対角線要素の平方根と等しいため、

【数13】

$$e_k = \frac{\delta\sqrt{n}}{\sqrt{s_k}} \quad (14)$$

10

20

30

40

50

が得られる。

悪い地形では対角線要素は小さくなり得ることに注意されたい。しかしながら、対角線要素が小さいほど、対応する衛星からの測定エラーは、それが二乗平均平方根残差の検出しやすい値に対する超過を生じ得る前に、より大きくなるに違いない。

【0034】

不完全な測定結果におけるエラーのサイズの算定に伴って、方法200は更に複数のGPS測定結果の中にただ一つの不完全な測定結果が存在し、不完全な測定結果の原因となっている衛星の識別が正しくなされていることを確認するための、ステップ240を含む。図6はステップ240において確認を行なうための方法600を例示している。図6に示すように、方法600は、残差ベクトル'がエラーを説明できるように(account for the error)次の式に従って調整されるステップ610を含んでいる。

$$\mathbf{e}' = \mathbf{e} + S \mathbf{E} \quad (15)$$

ここでEは、その測定にエラーがない衛星に対応するゼロ要素と、不完全な測定結果の原因となった衛星100-k用の e_k の値とを有するベクトルである。方法600は更に、調整された残差ベクトル'が式中の残差ベクトルの置き換えとして使用された後で、検定統計量が式(11)、(12)、又は(12a)に従って再計算されるステップ620を含んでいる。誤りの識別が正しくなされた場合、再計算された検定統計量は、該検定統計量のためのしきい値テストに合格して、そこで誤りが取り除かれたことを示さなければならない。従って、方法600は更に、複数のGPS測定結果の中にただ一つの不完全な測定結果が存在し、不完全な測定結果の原因となっている衛星の識別が正しく行なわれていることを確認するための、再計算された検定統計量が誤りに対するしきい値と比較されるステップ630を含んでいる。

【0035】

不完全なGPS測定結果を識別するための上記の方法は、完全に測定領域(in the measurement domain)で働くため、計算的に有効である。トラッキングされている衛星が五基よりも多く存在する場合、本方法は、追加的な計算的複雑性に対して僅かな費用で(with only a small cost in additional computational complexity)、GPSを用いた位置決定及びナビゲーションの信頼性を劇的に改善するために使用することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】不完全なGPS測定結果又は、不完全なGPS測定結果の原因となっている衛星を検出し識別する方法を実施するために使用可能なコンピュータ・システムのプロックダイヤグラムである。

【図2】不完全なGPS測定結果又は、不完全なGPS測定結果の原因となっている衛星を検出し識別する方法を例示するフローチャートである。

【図3】複数のGPS測定結果が不完全なGPS測定結果を含むかどうか決定するための方法を例示するフローチャートである。

【図4】複数のGPS測定結果の中で不完全なGPS測定結果を識別するための方法を例示するフローチャートである。

【図5A】最大の相関値を有する衛星を、不完全なGPS測定結果の原因となっている衛星として識別するための方法を例示するフローチャートである。

【図5B】最大の相関値を有する衛星を、不完全なGPS測定結果の原因となっている衛星として識別するための他の方法を例示するフローチャートである。

【図6】不完全なGPS測定結果の原因となっている衛星が正しく識別されていることを確認するための方法を例示するフローチャートである。

10

20

30

40

【図1】

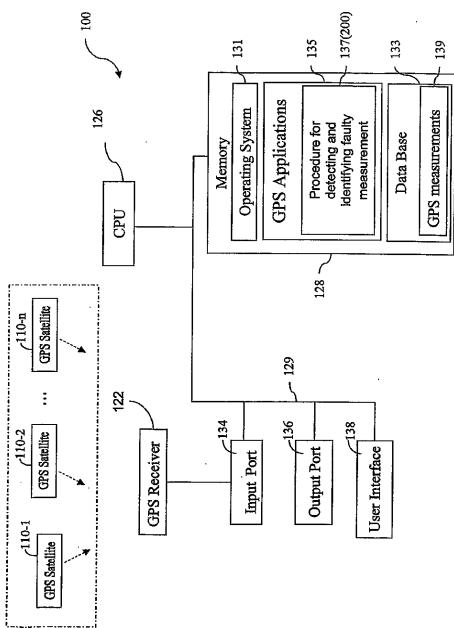


FIGURE 1

【図3】

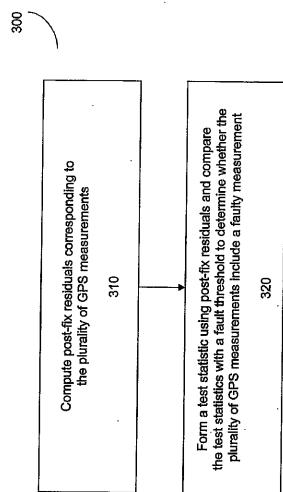


FIGURE 3

【図2】

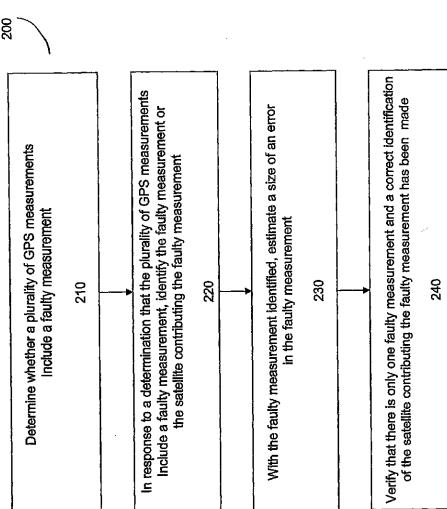


FIGURE 2

【図4】

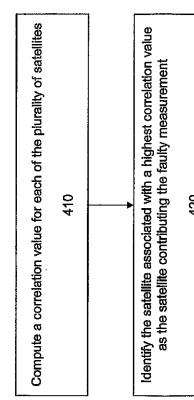


FIGURE 4

【 図 5 A 】

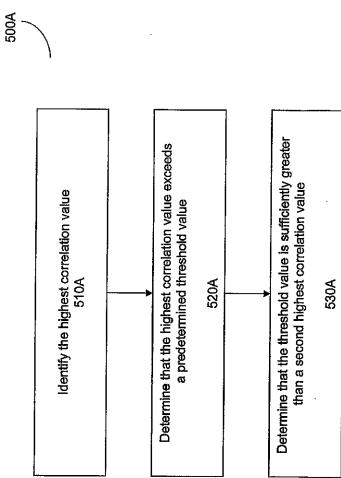


FIGURE 5A

【 図 5 B 】

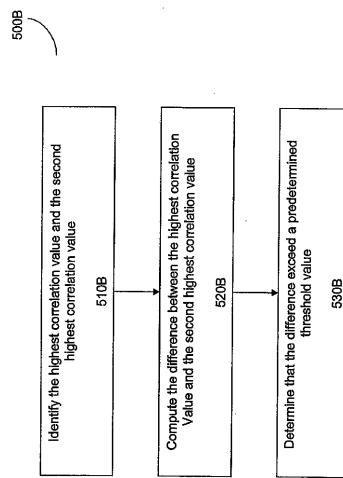


FIGURE 5B

【 図 6 】

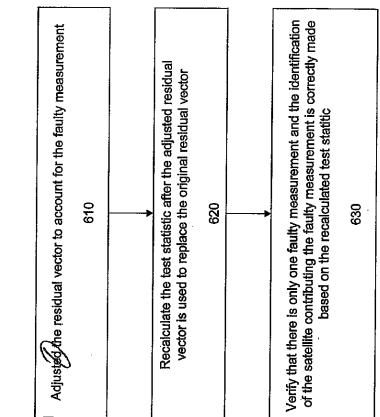


FIGURE 6

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		PCT/US2004/027344												
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G01S1/00														
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC														
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G01S														
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched														
Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data														
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Category *</th> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">X</td> <td style="padding: 2px;">US 5 931 889 A (MISRA ET AL) 3 August 1999 (1999-08-03) column 5, line 18 - column 10, line 16; figures 1-3</td> <td style="padding: 2px;">1,6-19, 21-23</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">A</td> <td style="padding: 2px;">VAN DIGGELEN F ET AL: "Mathematical aspects of GPS RAIM" POSITION LOCATION AND NAVIGATION SYMPOSIUM, 1994., IEEE LAS VEGAS, NV, USA 11-15 APRIL 1994, NEW YORK, NY, USA, IEEE, 11 April 1994 (1994-04-11), pages 733-738, XP010117799 ISBN: 0-7803-1435-2 the whole document</td> <td style="padding: 2px;">1-22</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">-/-</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	US 5 931 889 A (MISRA ET AL) 3 August 1999 (1999-08-03) column 5, line 18 - column 10, line 16; figures 1-3	1,6-19, 21-23	A	VAN DIGGELEN F ET AL: "Mathematical aspects of GPS RAIM" POSITION LOCATION AND NAVIGATION SYMPOSIUM, 1994., IEEE LAS VEGAS, NV, USA 11-15 APRIL 1994, NEW YORK, NY, USA, IEEE, 11 April 1994 (1994-04-11), pages 733-738, XP010117799 ISBN: 0-7803-1435-2 the whole document	1-22		-/-	
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.												
X	US 5 931 889 A (MISRA ET AL) 3 August 1999 (1999-08-03) column 5, line 18 - column 10, line 16; figures 1-3	1,6-19, 21-23												
A	VAN DIGGELEN F ET AL: "Mathematical aspects of GPS RAIM" POSITION LOCATION AND NAVIGATION SYMPOSIUM, 1994., IEEE LAS VEGAS, NV, USA 11-15 APRIL 1994, NEW YORK, NY, USA, IEEE, 11 April 1994 (1994-04-11), pages 733-738, XP010117799 ISBN: 0-7803-1435-2 the whole document	1-22												
	-/-													
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.												
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the International filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed														
Date of the actual completion of the international search 4 April 2005		Date of mailing of the international search report 18/04/2005												
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl. Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Fanjul Caudevilla, J												

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		PCT/US2004/027344
C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	BROWN R G: "A BASELINE GPS RAIM SCHEME AND A NOTE ON THE EQUIVALENCE OF THREE RAIM METHODS" NAVIGATION, PARIS,, FR, vol. 39, no. 3, 1992, pages 301-316, XP000198246 ISSN: 0028-1530 the whole document	1-22
A	JUANG J-C ET AL: "Failure detection approach applying to GPS autonomous integrity monitoring" IEE PROCEEDINGS: RADAR, SONAR & NAVIGATION, INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, GB, vol. 145, no. 6, 1 December 1998 (1998-12-01), pages 342-346, XP006011450 ISSN: 1350-2395 the whole document	1-22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

PCT/US2004/027344

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5931889 A	03-08-1999 US	5623414 A	22-04-1997

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,M,A,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NA,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 ハッチ, ロナルド, アール.

アメリカ合衆国, カリフォルニア州 90744, ウィルミントン, ラクメ アベニュー 114
2

(72)発明者 シャープ, リチャード, ティー.

アメリカ合衆国, カリフォルニア州 90503, トランス, オニックス ストリート 5212

(72)発明者 ヤン, ユンチュン

アメリカ合衆国, カリフォルニア州 90710, ハーバー シティ, パインズ エステーツ ド
ライブ 26355

F ターム(参考) 5J062 AA06 AA09 BB03 CC07 DD22 DD23 EE04

5K042 AA05 BA10 BA11 CA02 CA12 DA27 EA02 EA06 EA11 FA11
GA01 GA12 JA01 LA09