

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-106907

(P2017-106907A)

(43) 公開日 平成29年6月15日(2017.6.15)

|                        |              |             |
|------------------------|--------------|-------------|
| (51) Int.Cl.           | F I          | テーマコード (参考) |
| GO 1 S 19/20 (2010.01) | GO 1 S 19/20 | 5 J O 6 2   |
| GO 1 S 19/28 (2010.01) | GO 1 S 19/28 |             |
| GO 1 S 19/37 (2010.01) | GO 1 S 19/37 |             |

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L 外国語出願 (全 19 頁)

|              |                              |          |                                                |
|--------------|------------------------------|----------|------------------------------------------------|
| (21) 出願番号    | 特願2016-222963 (P2016-222963) | (71) 出願人 | 500575824                                      |
| (22) 出願日     | 平成28年11月16日 (2016.11.16)     |          | ハネウェル・インターナショナル・インコーポレーテッド                     |
| (31) 優先権主張番号 | 14/949, 272                  |          | アメリカ合衆国ニュージャージー州07950, モリス・ブレインズ, テイバー・ロード 115 |
| (32) 優先日     | 平成27年11月23日 (2015.11.23)     | (74) 代理人 | 100140109                                      |
| (33) 優先権主張国  | 米国 (US)                      |          | 弁理士 小野 新次郎                                     |
|              |                              | (74) 代理人 | 100075270                                      |
|              |                              |          | 弁理士 小林 泰                                       |
|              |                              | (74) 代理人 | 100101373                                      |
|              |                              |          | 弁理士 竹内 茂雄                                      |
|              |                              | (74) 代理人 | 100118902                                      |
|              |                              |          | 弁理士 山本 修                                       |

最終頁に続く

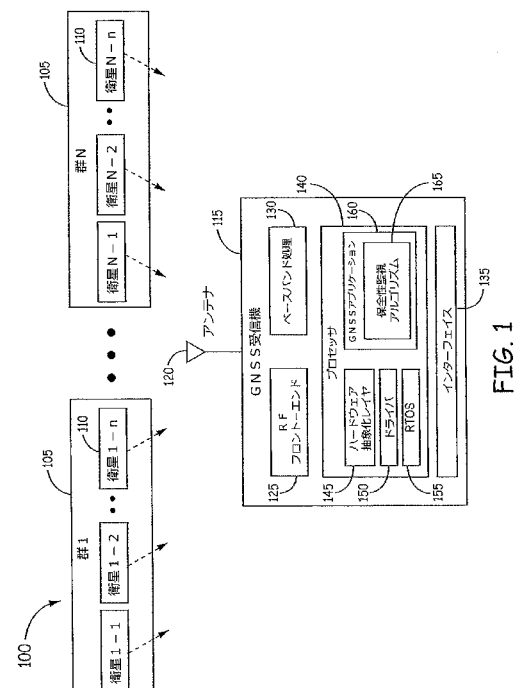
(54) 【発明の名称】 効率的な共分散行列の更新

## (57) 【要約】

【課題】 効率的な共分散行列の更新を提供する。

【解決手段】 効率的な共分散行列計算の方法が、A R A I M及びジオメトリスクリーニングを含む、特定のGNSSアプリケーションに関して開示される。本出願のシステム及び方法は、複数の共分散行列の計算を、ランク1の更新式を含む以前の手法よりもはるかに高い効率性で行えるようにする。たとえば、本出願のシステム及び方法は、有利なことに、以前の手法よりもはるかに少なく単純な算術演算を伴う。加えて、ランク1の更新式とは異なり、本出願のシステム及び方法は、所与の群のすべての衛星が除去される部分解を計算するために使用されてもよい。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

保全性監視方法を実施するように構成されたプロセッサ 140 を備える GNSS 受信機 115 であって、

1 つ又は複数の群 105 に配列された複数の衛星 110 について、前記 GNSS 受信機 115 のメモリに格納された元のジオメトリ行列  $G$  及び元の重み行列  $W$  にアクセスするステップと、

前記元のジオメトリ行列  $G$  及び前記元の重み行列  $W$  に対応する元の共分散行列  $A$  を計算するステップと、

第 1 の衛星を除去された変更済み衛星ジオメトリに対応する第 1 の変更済みジオメトリ行列

10

## 【数 1】

$$G_i$$

を生成するステップと、

前記元の共分散行列  $A$ 、及び前記元のジオメトリ行列  $G$  内の前記第 1 の衛星に対応するジオメトリ行列値  $g_i$  の第 1 のセットに基づいて、第 1 のベクトル  $v_i$  を事前計算するステップと、

前記第 1 のベクトル  $v_i$ 、ジオメトリ行列値  $g_i$  の前記第 1 のセット、及び前記元の重み行列  $W$  内の前記第 1 の衛星に対応する第 1 の重み値  $w_{ii}$  に基づいて、第 1 の重み係数  $x'_i$  を事前計算するステップと、

20

前記元の共分散行列  $A$ 、前記第 1 のベクトル  $v_i$ 、及び前記第 1 の重み係数  $x'_i$  に基づいて変更済み共分散行列

## 【数 2】

$$A_i$$

の複数の要素  $a'_{rs}$  を計算するステップとを備える GNSS 受信機 115。

## 【請求項 2】

1 つ又は複数の群 105 に配列された複数の衛星 110 について、GNSS 受信機 115 のメモリに格納された元のジオメトリ行列  $G$  及び元の重み行列  $W$  にアクセスするステップと、

30

前記元のジオメトリ行列  $G$  及び前記元の重み行列  $W$  に対応する元の共分散行列  $A$  を計算するステップと、

第 1 の衛星を除去された変更済み衛星ジオメトリに対応する第 1 の変更済みジオメトリ行列

## 【数 3】

$$G_i'$$

を生成するステップと、

前記元の共分散行列  $A$ 、及び前記元のジオメトリ行列  $G$  内の前記第 1 の衛星に対応するジオメトリ行列値  $g_i$  の第 1 のセットに基づいて、第 1 のベクトル  $v_i$  を事前計算するステップと、

40

前記第 1 のベクトル  $v_i$ 、ジオメトリ行列値  $g_i$  の前記第 1 のセット、及び前記元の重み行列  $W$  内の前記第 1 の衛星に対応する第 1 の重み値  $w_{ii}$  に基づいて、第 1 の重み係数  $x'_i$  を事前計算するステップと、

前記元の共分散行列  $A$ 、前記第 1 のベクトル  $v_i$ 、及び前記第 1 の重み係数  $x'_i$  に基づいて変更済み共分散行列

## 【数 4】

$$A_i$$

50

の複数の要素  $a'_{rs}$  を計算するステップとを備える G N S S 保全性監視方法。

【請求項 3】

前記 G N S S 保全性監視方法は、高度受信機自律保全性監視 ( A R A I M ) プロセスに関連して実施される請求項 2 に記載の G N S S 保全性監視方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、効率的な共分散行列の更新に関する。

【背景技術】

【0002】

10

[0001] 一部の全地球航法衛星システム ( G N S S ) アプリケーションは、使用可能な測定値の縮小セットを利用する位置情報解 ( p o s i t i o n   s o l u t i o n ) の評価を必要とする。そのようなアプリケーションの例は、高度受信機自律保全性監視 ( A d v a n c e d   R e c e i v e r   A u t o n o m o u s   I n t e g r i t y   M o n i t o r i n g ) ( A R A I M ) 及びジオメトリスクリーニングである。計算された位置情報解の保全性は、受信機から出力される情報の正確さに置かれ得る信頼の尺度を示す。保全性監視は、主としてシステム地上監視ネットワークによってまだ識別されていない弱ジオメトリ又は衛星障害に起因する位置誤差からユーザを保護する。

【0003】

20

[0002] A R A I M アルゴリズムの出力の 1 つは、保全性を境界付ける保護レベルである。R A I M アルゴリズムの解分離バージョンを使用する受信機は、複数の可能な部分解 ( s u b s o l u t i o n ) を評価する。各部分解は、衛星の縮小セットに基づいて位置情報解として決定される。保護レベルを計算するために、アルゴリズムは、通常は行列反転演算を必要とする、部分解共分散行列を含む、各部分解の複数の統計的特性を計算する。同様に、障害検出において利用されるしきい値を決定するために使用される分離共分散行列を取得するため、高い計算の複雑性が必要とされる。

【0004】

30

[0003] ジオメトリスクリーニングは、位置情報解において使用されるべき衛星の最適なサブセットを選択するアルゴリズムである。これは、複数の G N S S 群が動作可能であり、多数の衛星が視野内にある場合に必要となる。可視の衛星のサブセットのみを使用することで、計算上の負荷を大幅に低減することができ、サブセットが適正に選択される場合、精度及び保全性の低下はほとんど又は全く観察されないはずである。衛星サブセットを選択する最も有望な方法の 1 つは、部分解共分散行列に基づく。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明は、効率的な共分散行列の更新を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

40

[0004] 1 つの例示的な実施形態において、G N S S 受信機は保全性監視方法を実施するように構成されたプロセッサを備える。方法は、1 つ又は複数の群に配列された複数の衛星について、G N S S 受信機のメモリに格納された元のジオメトリ行列及び元の重み行列にアクセスするステップと、元のジオメトリ行列及び元の重み行列に対応する元の共分散行列を計算するステップと、第 1 の衛星を除去された変更済み衛星ジオメトリに対応する第 1 の変更済みジオメトリ行列を生成するステップとを備える。方法は、元の共分散行列、及び元のジオメトリ行列内の第 1 の衛星に対応するジオメトリ行列値の第 1 のセットに基づいて、第 1 のベクトルを事前計算するステップと、第 1 のベクトル、ジオメトリ行列値の第 1 のセット、及び元の重み行列内の第 1 の衛星に対応する第 1 の重み値に基づいて、第 1 の重み係数を事前計算するステップと、元の共分散行列、第 1 のベクトル、及び第 1 の重み係数に基づいて変更済み共分散行列の複数の要素を計算するステップとをさらに

50

備える。

【 0 0 0 7 】

[0005] G N S S 受信機は、アンテナと、R F フロント - エンドと、ベースバンド処理モジュールと、複数のインターフェイスとをさらに備えることができる。G N S S 受信機は、ハードウェア抽象化レイヤと、複数のドライバと、リアルタイムオペレーティングシステムとをさらに備えることができる。複数の衛星は、少なくとも2つの群に配列されてもよい。保全性監視方法は、変更済みジオメトリ行列を生成するステップと、ベクトルを事前計算するステップと、重み係数を事前計算するステップと、順に追加の衛星を除去された、複数の変更済み衛星ジオメトリの変更済み共分散行列の複数の要素を計算するステップとを反復して繰り返すステップをさらに備えることができる。変更済み共分散行列の複数の要素を計算するステップは、変更済み共分散行列の値のサブセットのみを計算し、次いで値の計算されたサブセットを、変更済み共分散行列内のそれぞれの対称相対位置に反映するステップとを備えることができる。変更済み共分散行列の複数の要素を計算するステップは、変更済み共分散行列の左上  $3 \times 3$  部分行列の対角値のみを計算するステップを備えることができる。

10

【 0 0 0 8 】

[0006] もう1つの例示的な実施形態において、G N S S 保全性監視方法は、1つ又は複数の群に配列された複数の衛星について、G N S S 受信機のメモリに格納された元のジオメトリ行列及び元の重み行列にアクセスするステップと、元のジオメトリ行列及び元の重み行列に対応する元の共分散行列を計算するステップと、第1の衛星を除去された変更済み衛星ジオメトリに対応する第1の変更済みジオメトリ行列を生成するステップとを備える。方法は、元の共分散行列、及び元のジオメトリ行列内の第1の衛星に対応するジオメトリ行列値の第1のセットに基づいて、第1のベクトルを事前計算するステップと、第1のベクトル、ジオメトリ行列値の第1のセット、及び元の重み行列内の第1の衛星に対応する第1の重み値に基づいて、第1の重み係数を事前計算するステップと、元の共分散行列、第1のベクトル、及び第1の重み係数に基づいて変更済み共分散行列の複数の要素を計算するステップとをさらに備える。

20

【 0 0 0 9 】

[0007] G N S S 保全性監視方法は、高度受信機自律保全性監視 (A R A I M) プロセスに関連して実施されてもよい。複数の衛星は、少なくとも2つの群に配列されてもよい。保全性監視方法は、変更済みジオメトリ行列を生成するステップと、ベクトルを事前計算するステップと、重み係数を事前計算するステップと、順に追加の衛星を除去された、複数の変更済み衛星ジオメトリの変更済み共分散行列の複数の要素を計算するステップとを反復して繰り返すステップをさらに備えることができる。変更済み共分散行列の複数の要素を計算するステップは、変更済み共分散行列の値のサブセットのみを計算し、次いで値の計算されたサブセットを、変更済み共分散行列内のそれぞれの対称相対位置に反映するステップとを備えることができる。変更済み共分散行列の複数の要素を計算するステップは、変更済み共分散行列の左上  $3 \times 3$  部分行列の対角値のみを計算するステップを備えることができる。第1のベクトルを事前計算するステップは、以下の式を使用して、第1のベクトル  $V_1$  を事前計算するステップを備えることができる。

30

40

【 0 0 1 0 】

【 数 1 】

$$v_i = A \cdot g_i = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} g_{i1} \\ g_{i2} \\ \vdots \\ g_{in} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{pmatrix}$$

【 0 0 1 1 】

、ここで

G = 元のジオメトリ行列、

50

W = 元の重み行列、

A = 元の共分散行列 =  $(G^T W G)^{-1}$ 、及び

【 0 0 1 2 】

【 数 2 】

$g_i^T$

【 0 0 1 3 】

= G の第 i 行値。

【0008】もう 1 つの例示的な実施形態において、GNSS プロセッサは、ハードウェア抽象化レイヤと、複数のドライバと、リアルタイムオペレーティングシステムと、保全性監視方法を実施するように構成された GNSS アプリケーションモジュールとを備える。方法は、1 つ又は複数の群に配列された複数の衛星について、GNSS 受信機のメモリに格納された元のジオメトリ行列及び元の重み行列にアクセスするステップと、元のジオメトリ行列及び元の重み行列に対応する元の共分散行列を計算するステップと、第 1 の衛星を除去された変更済み衛星ジオメトリに対応する第 1 の変更済みジオメトリ行列を生成するステップとを備える。方法は、元の共分散行列、及び元のジオメトリ行列内の第 1 の衛星に対応するジオメトリ行列値の第 1 のセットに基づいて、第 1 のベクトルを事前計算するステップと、第 1 のベクトル、ジオメトリ行列値の第 1 のセット、及び元の重み行列内の第 1 の衛星に対応する第 1 の重み値に基づいて、第 1 の重み係数を事前計算するステップと、元の共分散行列、第 1 のベクトル、及び第 1 の重み係数に基づいて変更済み共分散行列の複数の要素を計算するステップとをさらに備える。

10

20

【 0 0 1 4 】

【0009】GNSS 受信機に設置されてもよい。複数の衛星は、少なくとも 2 つの群に配列されてもよい。保全性監視方法は、変更済みジオメトリ行列を生成するステップと、ベクトルを事前計算するステップと、重み係数を事前計算するステップと、順に追加の衛星を除去された、複数の変更済み衛星ジオメトリの変更済み共分散行列の複数の要素を計算するステップとを反復して繰り返すステップをさらに備えることができる。変更済み共分散行列の複数の要素を計算するステップは、変更済み共分散行列の値のサブセットのみを計算し、次いで値の計算されたサブセットを、変更済み共分散行列内のそれぞれの対称相対位置に反映するステップとを備えることができる。変更済み共分散行列の複数の要素を計算するステップは、変更済み共分散行列の左上  $3 \times 3$  部分行列の対角値のみを計算するステップを備えることができる。

30

【 0 0 1 5 】

【0010】図面が例示的な実施形態を示すに過ぎず、したがって範囲を限定するものと見なされるべきではないことを理解すれば、例示的な実施形態は、添付の図面を使用することでさらに具体的かつ詳細に説明されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 6 】

【図 1】【0011】効率的な共分散行列更新の方法を実施する例示的な GNSS システムを示すブロック図である。

40

【図 2】【0012】図 2 A は、図 1 の GNSS システムに関連付けられたさまざまな例示的な行列を示す図である。図 2 B は、図 1 の GNSS システムに関連付けられたさまざまな例示的な行列を示す図である。図 2 C は、図 1 の GNSS システムに関連付けられたさまざまな例示的な行列を示す図である。図 2 D は、図 1 の GNSS システムに関連付けられたさまざまな例示的な行列を示す図である。

【図 3】【0013】本出願による共分散行列更新の方法の操作を示す流れ図である。

【図 4】【0014】更新済み行列

【 0 0 1 7 】

【数 3】

$A_{i,j}$

【0018】

の簡略バージョンを示す図であり、行列の対称的性質により、計算される必要のある要素のみを示す。

【図 5 A】[0015] 図 3 の共分散行列更新の方法の 1 つの特定の例の段階的な結果を示す図である。

【図 5 B】図 3 の共分散行列更新の方法の 1 つの特定の例の段階的な結果を示す図である。

【図 5 C】図 3 の共分散行列更新の方法の 1 つの特定の例の段階的な結果を示す図である。

【図 5 D】図 3 の共分散行列更新の方法の 1 つの特定の例の段階的な結果を示す図である。

【図 5 E】図 3 の共分散行列更新の方法の 1 つの特定の例の段階的な結果を示す図である。

【図 5 F】図 3 の共分散行列更新の方法の 1 つの特定の例の段階的な結果を示す図である。

【図 5 G】図 3 の共分散行列更新の方法の 1 つの特定の例の段階的な結果を示す図である。

【図 5 H】図 3 の共分散行列更新の方法の 1 つの特定の例の段階的な結果を示す図である。

【図 5 I】図 3 の共分散行列更新の方法の 1 つの特定の例の段階的な結果を示す図である。

【図 5 J】図 3 の共分散行列更新の方法の 1 つの特定の例の段階的な結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

[0016] 慣例に従って、さまざまな説明される特徴は、縮尺どおりには描かれないが、例示的な実施形態に関連する固有の特徴を強調するように描かれる。

[0017] 本出願は、部分解及び分離共分散行列を決定するために必要とされる計算の数を有利に減少させる、効率的な共分散行列更新の方法を実施するためのシステムを説明する。

【0020】

[0018] 図 1 は、効率的な共分散行列更新の方法を実施する例示的な GNSS システム 100 を示すブロック図である。説明される例において、GNSS システム 100 は、適切な GNSS 受信機 115 と通信し、各々複数の衛星 110 を備える、複数の衛星群 105 を備える。GNSS 受信機 115 は、アンテナ 120 と、RF フロント - エンドモジュール 125 と、ベースバンド処理モジュール 130 と、複数の適切なインターフェイス 135 とを備える。GNSS 受信機 115 は、ハードウェア抽象化レイヤ 145 を有するプロセッサ 140 と、1 つ又は複数のドライバ 150、リアルタイムオペレーティングシステム (RTOS) 155 と、保全性監視アルゴリズム 165 を実行するように構成された GNSS アプリケーションモジュール 160 とをさらに備える。動作中、GNSS システム アプリケーションモジュール 160 は、従来の GNSS システムよりもはるかに高い効率性で共分散行列の計算を実施することができる。

【0021】

[0019] 図 2 A 及び図 2 B はそれぞれ、GNSS システム 100 のジオメトリ行列 G 及び重み行列 W を示す。図 2 A に示されるように、ジオメトリ行列 G は、GNSS 受信機 115 と通信している衛星 110 の数に対応する m 行、及び n 列を有し、ここで  $n = 3 + C$  であり、C は GNSS 受信機 115 と通信している衛星群 105 の数に対応する。図 2 B に

示されるように、重み行列  $W$  は、 $m$  の行及び列を有し、対角線に沿った重み値以外がすべてゼロ値である正方行列である。前述のように、 $m$  は G N S S 受信機 1 1 5 と通信している衛星 1 1 0 の数と等しい。

【 0 0 2 2 】

[0020] 図 2 C は、共分散行列  $A$  を示し、これは  $A = (G^T W G)^{-1}$  として計算されてもよい。図 2 C に示されるように、共分散行列  $A$  は、 $n \times n$  の次元の正方行列であり、ここで  $n = 3 + C$  であり、 $C$  は G N S S 受信機 1 1 5 と通信している衛星群 1 0 5 の数に対応する。一般に、共分散行列  $A$  は、3 つの関心対象要素、つまり 3 つの位置軸（東、北、上）に沿った差異を表す、左上  $3 \times 3$  部分行列の対角線を含む。残りの行及び列は、衛星群 1 0 5 の時間変数の差異を表すが、これらは保全性計算には概して重要ではない。

10

【 0 0 2 3 】

[0021] 上記で説明されるように、A R A I M 及びジオメトリスクリーニングのような一部の G N S S アプリケーションは、複数の共分散行列計算を伴い、そのような計算の各々は、変更済みジオメトリ行列を持つ異なる部分解に対応する。たとえば、所与の G N S S アプリケーションは、第  $i$  の衛星を除去された変更済み共分散行列を計算するステップ伴うことができる。この例において、変更済み共分散行列を計算するプロセスは、図 2 D に示されるように、変更済みジオメトリ行列

【 0 0 2 4 】

【数 4】

$G_i$ ,

20

【 0 0 2 5 】

を定義することによって開始する。概して、変更済みジオメトリ行列の各要素  $g'_{ij}$  は、第  $i$  行の値がゼロに設定されていることを除いて、元のジオメトリ行列  $g_{ij}$  と同じである。

【 0 0 2 6 】

[0022] 従来の G N S S システムにおいて、次いで、変更済み共分散行列

【 0 0 2 7 】

【数 5】

$A_i$

30

【 0 0 2 8 】

は、次の式

【 0 0 2 9 】

【数 6】

$A_i = (G_i^T W_i G_i)^{-1}$

【 0 0 3 0 】

を使用して計算されてもよい。この従来のプロセスは、逆行列の計算が後に続く、2 つの行列乗算を必要とする。次いで、プロセスは、順に追加の衛星 1 1 0 を除去された、各々一意の共分散行列

40

【 0 0 3 1 】

【数 7】

$A_i$ ,

【 0 0 3 2 】

を伴う、複数の部分解を計算するために反復して繰り返される。そのようなプロセスは、特に G N S S システム 1 0 0 が多数の衛星 1 1 0 を有する場合には、計算的に要求が厳しい。

【 0 0 3 3 】

50

[0023] 共分散行列を計算するプロセスを簡略化することをめざして、長年にわたり多くの手法が開発されてきた。1つのそのような手法は、ランク1の更新式、つまりシャーマン・モリソンの公式であり、これはよく知られている。例を示すために、ランク1の更新式は、次の定義を適用することによって実施されてもよい。

$G$  = 衛星ジオメトリ行列、

$W$  =  $G$  に対応する重み行列、

$A = (G^T W G)^{-1}$  = 完全解の共分散行列、

【0 0 3 4】

【数 8】

$g_i^T$

10

【0 0 3 5】

=  $G$  の第  $i$  行の値 ( $g_i$  は  $n \times 1$  ベクトル)、

【0 0 3 6】

【数 9】

$G_i$

【0 0 3 7】

= 第  $i$  行をゼロに設定された  $G$ 、

【0 0 3 8】

【数 10】

20

$W_i$

【0 0 3 9】

= 第  $i$  行をゼロに設定された  $W$ 、

【0 0 4 0】

【数 11】

$A_i = (A_i G_i^T W_i)^{-1}$

【0 0 4 1】

= 第  $i$  の衛星を除去された部分解の共分散行列

30

$S = A G^T W$ 、

【0 0 4 2】

【数 12】

$S_i = A_i G_i^T W_i$ ; and

【0 0 4 3】

、及び

【0 0 4 4】

【数 13】

$B_i = (S_i - S) W^{-1} (S_i - S)^T$

40

【0 0 4 5】

= 分離共分散行列。

[0024] よく知られているランク1の更新式によれば、次の式は、上記の変数の間の関係を説明するために使用され得る。

【0 0 4 6】

【数 14】

$$A_i = A + \frac{A(g_i w_{ii} g_i^T)A}{1 - g_i^T w_{ii} A g_i} = A + B_i \quad (1)$$

50

【 0 0 4 7 】

[0025] 式 ( 1 ) は、その計算が第  $i$  の衛星を除去された部分解の共分散行列

【 0 0 4 8 】

【 数 1 5 】

 $A_i$ 

【 0 0 4 9 】

、及び実際にその部分解の分離共分散行列

【 0 0 5 0 】

【 数 1 6 】

 $B_i$ 

【 0 0 5 1 】

である分数を出力するという利点を有する。その結果、式 ( 1 ) は、所与の部分解のすべての統計的特性を説明する。加えて、ランク 1 の更新式は、反復して繰り返されてもよく、インデックスがセット

【 0 0 5 2 】

【 数 1 7 】

 $\hat{I}$ 

【 0 0 5 3 】

に含まれる衛星を除去された

【 0 0 5 4 】

【 数 1 8 】

 $A_i$ 

【 0 0 5 5 】

をもたらす。

[0026] 概して、式 ( 1 ) に示されるように、ランク 1 の更新式は、因子で除算された更新行列を伴う元の行列を合計することを伴う。この式は、有利なことに、上記で説明されるように、従来の GNSS システムにおいて通常は必要とされる逆行列計算ステップを除去する。実際に、ランク 1 の更新式は、従来の逆行列計算ステップを、計算的に要求が少ないわずかな追加の乗算ステップと置き換える。

【 0 0 5 6 】

[0027] これらの利点にもかかわらず、ランク 1 の更新式は、GNSS アプリケーションにおいて複数の共分散行列を計算するために使用される場合、特定の望ましくない非効率性を呈する。たとえば、ランク 1 の更新式は、

【 0 0 5 7 】

【 数 1 9 】

 $\hat{I}$ 

【 0 0 5 8 】

が単一の群に属するすべての衛星を含む場合に不明確になる。元の反転公式は、ジオメトリ行列からすべてゼロの列を除去して、非特異性が確保されるようにする必要がある。ランク 1 の更新式において、所与の群の最後の衛星を除去するステップは、式 ( 1 ) の右辺の分数が、ハードウェア計算能力の限界により不明確になるので問題を生じる。加えて、ランク 1 の更新式は、更新されるべき行列が常に対称であることを利用することができない。

【 0 0 5 9 】

[0028] 本出願において説明されるプロセスは、この対称性を利用して、ランク 1 の更新

10

20

30

40

50

式及びその他の既存の手法よりもはるかに高い効率性で

【 0 0 6 0 】

【 数 2 0 】

$A_i$

【 0 0 6 1 】

を計算する。たとえば、本出願のプロセスは、有利なことに、以前の手法よりもはるかに少なく単純な算術演算を伴う。加えて、ランク 1 の更新式とは異なり、本出願のプロセスは、所与の群のすべての衛星が除去される部分解を確実に計算するために使用されてもよい。

10

【 0 0 6 2 】

[0029] 本出願のプロセスは、以下の定義を確立することによって実施されてもよい。

【 0 0 6 3 】

【 数 2 1 】

$$B = g_i w_{ii} g_i^T \quad (2)$$

【 0 0 6 4 】

$$C = A B \quad (3)$$

$$D = C A \quad (4)$$

[0030] これらの定義を適用することで、式 (1) の右辺の分数の分子は、以下のように簡略化されてもよい。

20

【 0 0 6 5 】

【 数 2 2 】

$$A(g_i w_{ii} g_i^T) A = ABA = CA = D \quad (5)$$

【 0 0 6 6 】

加えて、以下の関係が表されてもよい。

$$b_{uv} = g_u w_{ii} g_v \quad (6)$$

【 0 0 6 7 】

【 数 2 3 】

$$c_{uv} = \sum_{k=1}^n a_{uk} b_{kv} = \sum_{k=1}^n a_{uk} g_k w_{ii} g_v \quad (7)$$

【 0 0 6 8 】

ここで、 $g_u$  は、 $g_i$  の第  $u$  の要素である。適切な代数簡約を通じて、 $d_{uv}$  は以下のように表されてもよい。

【 0 0 6 9 】

【 数 2 4 】

$$\begin{aligned} d_{uv} &= \sum_{l=1}^n c_{ul} a_{lv} \\ &= \sum_{l=1}^n (\sum_{k=1}^n a_{uk} g_k w_{ii} g_l) a_{lv} \\ &= w_{ii} \sum_{l=1}^n a_{lv} \sum_{k=1}^n a_{uk} g_k g_l \\ &= w_{ii} \sum_{l=1}^n a_{lv} g_l \sum_{k=1}^n a_{uk} g_k \\ &= w_{ii} \underbrace{(\sum_{l=1}^n a_{lv} g_l)}_{S_1} \underbrace{(\sum_{k=1}^n a_{uk} g_k)}_{S_2} \end{aligned} \quad (8)$$

40

【 0 0 7 0 】

[0031] 式 (8) 内の  $S_1$  は、 $A$  の第  $v$  列と  $g_i$  の内積として計算されてもよく、 $S_2$  は、 $A$  の第  $u$  行と

50

【 0 0 7 1 】

【 数 2 5 】

 $\mathbf{g}_i^T$ 

【 0 0 7 2 】

の内積として計算されてもよい。さらに、 $A$  は対称であるため、 $a_{1v} = a_{v1}$  及び  $S_1$  はまた、 $A$  の第  $v$  行と

【 0 0 7 3 】

【 数 2 6 】

 $\mathbf{g}_i^T$ 

10

【 0 0 7 4 】

に沿った内積であり、ゆえに  $S_1 = S_2$  である。したがって、内積の事前計算は、有利なことに、 $n \times 1$  の次元を有するベクトル  $\mathbf{v}_i$  を計算することによって単一ステップにおいて、

【 0 0 7 5 】

【 数 2 7 】

$$\sum_{j=1}^n a_{kj} g_j, 1 \leq k \leq n,$$

【 0 0 7 6 】

20

又は以下のように、完了され得る。

【 0 0 7 7 】

【 数 2 8 】

$$\mathbf{v}_i = A \cdot \mathbf{g}_i = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} g_{i1} \\ g_{i2} \\ \vdots \\ g_{in} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{pmatrix}$$

【 0 0 7 8 】

$A$  の行又は列に沿ってそのような内積を事前計算した後、 $D$  の要素は、有利なことに、わずか 2 つの乗算により決定されてもよい。

30

[0032] 以下の定義もまた、確立されてもよい。

【 0 0 7 9 】

【 数 2 9 】

$$x_i = 1 - \mathbf{g}_i^T \mathbf{w}_{ii} A \mathbf{g}_i = 1 - \mathbf{g}_i^T \mathbf{w}_{ii} \mathbf{v}_i \quad (10)$$

【 0 0 8 0 】

$$x'_i = w_{ii} / x_i \quad (11)$$

これらの定義を考慮すると、 $x_i$  は、式 (1) の右辺の分数の分母に対応する。したがって、式 (1) は以下のように書き換えられてもよい。

40

【 0 0 8 1 】

【 数 3 0 】

$$A_i = A + \frac{w_{ii} \mathbf{v}_i \mathbf{v}_i^T}{x_i} \quad (12)$$

【 0 0 8 2 】

加えて、式 (12) は以下のように書き換えられてもよい。

【 0 0 8 3 】

【数 3 1】

$$A_i = A + x'_i v_i v_i^T \quad (13)$$

【0 0 8 4】

[0033] 式 (9) のベクトル  $v_i$  は、式 (8) に関して上記で説明されるすべての事前計算された内積を含む。したがって、

【0 0 8 5】

【数 3 2】

$$A_i$$

10

【0 0 8 6】

の個々の要素は、以下の式を使用して計算されてもよい。

$$a'_{rs} = a_{rs} + x'_i \cdot v_r v_s \quad (14)$$

[0034] 図 3 は、本出願による共分散行列更新の方法 300 の操作を示す流れ図である。第 1 のステップ 305 において、ベクトル  $v_i$  は、上記の式 (9) に示されるように所与のベクトル  $g_i$  について事前計算される。次のステップ 310 において、重み係数  $x_i$  は、上記の式 (10) に示されるように事前計算される。次のステップ 315 において、重み係数  $x'_i$  は、上記の式 (11) に示されるように事前計算される。次のステップ 320 において、更新済み行列

【0 0 8 7】

20

【数 3 3】

$$A_i$$

【0 0 8 8】

の個々の要素は、上記の式 (14) に示されるように、順に計算される。

[0035] 有利なことに、ベクトル  $v_i$  及び重み係数  $x'_i$  が事前計算されてしまうと、更新済み行列の各要素、 $a'_{rs}$  は、わずか 2 つの乗算により計算されてもよい。更新済み行列

【0 0 8 9】

【数 3 4】

30

$$A_i$$

【0 0 9 0】

もまた対称であるので、各要素は個々に計算される必要はない。正確に言えば、要素  $a'_{rs}$  は、 $s = r$  である場合に限り計算され、次いで計算された要素は、更新済み行列

【0 0 9 1】

【数 3 5】

$$A_i,$$

【0 0 9 2】

40

内のそれらのそれぞれ対称相対位置に反映され、これは第  $i$  の衛星を除去された部分解の共分散行列に対応する。図 4 は、更新済み行列

【0 0 9 3】

【数 3 6】

$$A_i,$$

【0 0 9 4】

の簡略バージョンを示す図であり、行列の対称的性質により、計算される必要のある要素のみを示す。方法 300 は、さらに多くの衛星を除去された追加の部分解に対して、順に、反復して繰り返されてもよい。

50

## 【 0 0 9 5 】

[0036] 所与の共分散行列の各要素は、わずか2つの乗算により計算され得るので、本出願の方法300は、ランク1の更新式及びその他の既存の手法よりもはるかに高い効率性で共分散行列を計算することができる。加えて、所与の群の最後の衛星が除去される場合、所与の群の時間変数に対応するインデックス  $r$ 、 $s$  は省略されてもよい。したがって、群の除去は最も広義の予想される障害モードであるので、最後のステップでは、3つの要素、つまり左上  $3 \times 3$  部分行列の対角線を計算する必要があるのみである。その結果、本出願の方法300は、ランク1の更新式により生じる結果と同じ不明確な結果をもたらすことはない。

## 【 0 0 9 6 】

10

[0037] 例

[0038] 図5A～図5Jは、上記で説明される方法300の1つの固有の例の段階的な結果を示す図である。この特定の例において、図5Aは、2つの群からの16の衛星を含む固有の衛星ジオメトリの値を取り込まれたジオメトリ行列  $G$  を示す。図5Aに示されるように、ジオメトリ行列  $G$  は、16の行（各衛星ごとに1つ）及び5つの列（ $x$ 、 $y$ 、 $z$  座標について3つ、及び2つの群の時間変数についてさらに2つ）を含む。

## 【 0 0 9 7 】

[0039] 図5Bは、ジオメトリ行列  $G$  に対応する値を取り込まれた重み行列  $W$  を示す。図5Bに示されるように、重み行列  $W$  は、16の行及び16の列を含み、対角線沿い以外はすべてゼロ値である。図5Cは、完全解に対応する共分散行列  $A$  を示す。システムは2つの群を有するので、共分散行列  $A$  は  $5 \times 5$  平方行列である、ただし関心対象要素は左上  $3 \times 3$  部分行列に位置する。

20

## 【 0 0 9 8 】

[0040] 図5に示される例において、共分散行列は、第3の衛星を除去された部分解について計算される。したがって、図5Dは、第3行値がゼロに設定された、変更済みジオメトリ行列  $G_3$  を示し、図5Eは、元のジオメトリ行列  $G$  の第3行からの値を含むベクトル  $g_3$  を示す。

## 【 0 0 9 9 】

[0041] 図5Fは、上記で説明されるステップ305の結果を示し、ここでベクトル  $v_3$  は、第3の衛星を除去された部分解について事前計算される。図5G及び図5Hは、上記で説明されるステップ310及び315の結果を示し、ここで重み係数  $x_3$  及び  $x'_3$  はそれぞれ、同じ部分解について事前計算される。

30

## 【 0 1 0 0 】

[0042] 図5Iは、上記で説明されるステップ320の結果を示し、ここで変更済み共分散行列  $A_3$  の1つの固有の要素  $a'_{24}$  が計算される。図5Jは、計算された値が適切な行列位置に配置された、変更済み共分散行列  $A_3$  を示す。この特定の例において、図5Jに示されるように、変更済み共分散行列  $A_3$  が対称であるので、要素  $a'_{24}$  の計算された値は、2つの行列位置に配置される。ステップ320は、残りの要素  $a'_{rs}$  を計算して、計算された値を変更済み共分散行列  $A_3$  に取り込むために必要に応じて繰り返されてもよい。

40

## 【 0 1 0 1 】

[0043] 上記で示されているように、本出願において説明される方法は、以前の手法よりもはるかに高い効率性で共分散行列を計算することができる。一般に、アルゴリズムの計算コストは、加算  $A$ 、乗算  $M$ 、及び除算  $D$  という算術演算において測定される。これらの演算の相対コストはプロセッサによって異なる場合もあるが、加算  $A$  は一般に、乗算  $M$  よりも少ないプロセッサ命令を消費すると考えられており、乗算  $M$  は、除算  $D$  よりもはるかに少ないプロセッサ命令を使用すると考えられている。一般的な法則として、さまざまなアルゴリズムの計算コストを比較する目的で、 $A = M$ 、及び  $D = 2M$  である。これらの「交換レート」を使用することで、本出願において説明される方法は、一般的な GNSS アプリケーションにおける計算コストを、概して約35%から約41%の範囲内の量まで低

50

減するのに十分な効率性を呈することが見出された。

【 0 1 0 2 】

[0044]これらの計算の効率性は、有利なことに、設計者が、従来の解決策に必要とされるものよりも単純で安価なプロセッサ及びその他のハードウェアを使用して、A R A I M及びジオメトリスクリーニングを含む望ましいG N S Sアプリケーションを実施することができるようにする。したがって、本出願において説明されるシステム及び方法を実施することにより、G N S Sシステムは、全体的なシステムパフォーマンスを低下させることなく、低減されたコストで設計されてもよい。

【 符号の説明 】

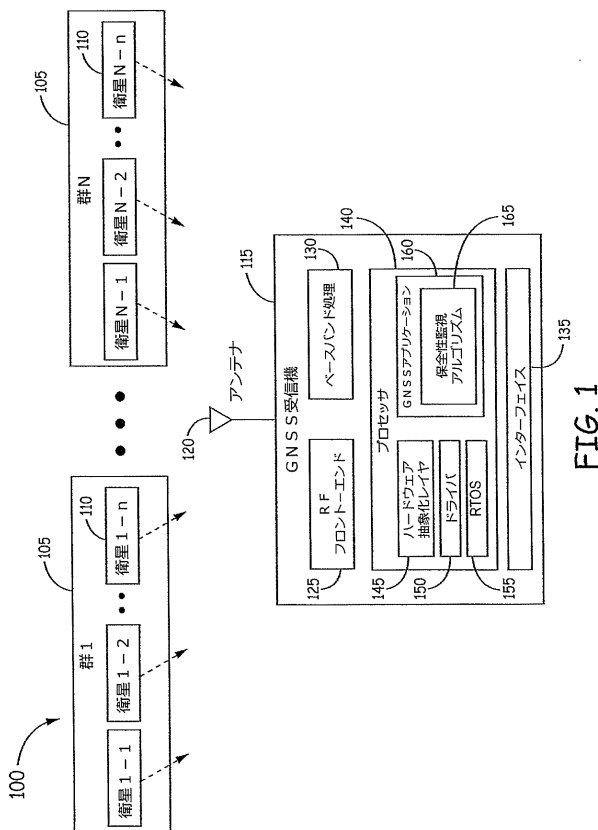
【 0 1 0 3 】

- 1 0 0 G N S Sシステム
- 1 0 5 衛星群、群
- 1 1 0 衛星
- 1 1 5 G N S S受信機
- 1 2 0 アンテナ
- 1 2 5 R Fフロント - エンドモジュール
- 1 3 0 ベースバンド処理モジュール
- 1 3 5 インターフェイス
- 1 4 0 プロセッサ
- 1 4 5 ハードウェア抽象化レイヤ
- 1 5 0 ドライバ
- 1 5 5 リアルタイムオペレーティングシステム ( R T O S )
- 1 6 0 G N S Sアプリケーションモジュール
- 1 6 5 保全性監視アルゴリズム

10

20

【 図 1 】



【 図 2 】

$$G = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & \cdots & g_{1n} \\ g_{21} & g_{22} & \cdots & g_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{m1} & g_{m2} & \cdots & g_{mn} \end{pmatrix}$$

FIG. 2A

$$G_j = \begin{pmatrix} g'_{11} & g'_{12} & \cdots & g'_{1n} \\ g'_{21} & g'_{22} & \cdots & g'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g'_{m1} & g'_{m2} & \cdots & g'_{mn} \end{pmatrix}$$

FIG. 2D

$$W = \begin{pmatrix} w_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & w_{mm} \end{pmatrix}$$

FIG. 2B

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

FIG. 2C



【図 5 C】

$$A = \begin{pmatrix} 0.2587 & -0.0634 & 0.2922 & -0.1663 & -0.1206 \\ -0.0634 & 0.4530 & -1.0851 & 0.6001 & 0.6224 \\ 0.2922 & -1.0851 & 4.7848 & -2.5460 & -2.8542 \\ -0.1663 & 0.6001 & -2.5460 & 1.4800 & 1.5135 \\ -0.1206 & 0.6224 & -2.8542 & 1.5135 & 1.8693 \end{pmatrix}$$

FIG. 5C

【図 5 F】

$$v_3 = A \cdot g_3 = \begin{pmatrix} 0.2587 & -0.0634 & 0.2922 & -0.1663 & -0.1206 \\ -0.0634 & 0.4530 & -1.0851 & 0.6001 & 0.6224 \\ 0.2922 & -1.0851 & 4.7848 & -2.5460 & -2.8542 \\ -0.1663 & 0.6001 & -2.5460 & 1.4800 & 1.5135 \\ -0.1206 & 0.6224 & -2.8542 & 1.5135 & 1.8693 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0.1627 \\ -0.9720 \\ 0.1697 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.0129 \\ -0.0346 \\ -0.6320 \\ 0.4377 \\ 0.4047 \end{pmatrix}$$

FIG. 5F

【図 5 D】

$$G_3 = \begin{pmatrix} -0.09394 & -0.69841 & 0.70951 & 1 & 0 \\ -0.77519 & 0.49721 & 0.3897 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.78944 & -0.065148 & 0.61036 & 1 & 0 \\ 0.036755 & 0.70231 & 0.71092 & 1 & 0 \\ 0.79064 & -0.3823 & 0.47827 & 1 & 0 \\ 0.80097 & 0.11428 & 0.5877 & 1 & 0 \\ -0.78091 & -0.46526 & 0.41679 & 0 & 1 \\ -0.58298 & 0.33659 & 0.73949 & 0 & 1 \\ 0.012476 & 0.90892 & 0.41679 & 0 & 1 \\ 0.19722 & 0.78605 & 0.58586 & 0 & 1 \\ 0.71267 & 0.054807 & 0.69936 & 0 & 1 \\ 0.72464 & -0.65493 & 0.2144 & 0 & 1 \\ 0.9295 & -0.30009 & 0.2144 & 0 & 1 \\ 0.30887 & -0.64459 & 0.69936 & 0 & 1 \\ -0.58213 & -0.56382 & 0.58586 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

FIG. 5D

【図 5 E】

$$g_3 = \begin{pmatrix} 0.1627 \\ -0.9720 \\ 0.1697 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

FIG. 5E

【図 5 G】

$$x_3 = 1 - w_{33}(g_3^T v_3) = 1 - 2.2192 \cdot \begin{pmatrix} 0.1627 & -0.9720 & 0.1697 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -0.0129 \\ -0.0346 \\ -0.6320 \\ 0.4377 \\ 0.4047 \end{pmatrix} = 0.1966$$

FIG. 5G

【 図 5 H 】

$$x'_3 = \frac{w_{33}}{x_3} = \frac{2.2192}{0.1966} = 11.2879$$

FIG. 5H

【 図 5 I 】

$$a'_{42} = a'_{24} = a_{24} + x'_5 \cdot v_2 \cdot v_4 = 0.6001 + 11.2879 \cdot (-0.0346) \cdot 0.4377 = 0.4291$$

FIG. 5I

【 図 5 J 】

$$A_3 = \begin{pmatrix} a'_{11} & a'_{12} & a'_{13} & a'_{14} & a'_{15} \\ a'_{12} & a'_{22} & a'_{23} & 0.4291 & a'_{25} \\ a'_{13} & a'_{23} & a'_{33} & a'_{34} & a'_{35} \\ a'_{14} & 0.4291 & a'_{34} & a'_{44} & a'_{45} \\ a'_{15} & a'_{25} & a'_{35} & a'_{45} & a'_{55} \end{pmatrix}$$

FIG. 5J

## フロントページの続き

(74)代理人 100147991

弁理士 鳥居 健一

(72)発明者 ヤクブ・スカリキー

アメリカ合衆国ニュージャージー州 0 7 9 5 0 , モリスタウン, テイバー・ロード 1 1 5 , ピー  
・オー・ボックス 3 7 7 , エム/エス 4 ディー 3 , ハネウエル・インターナショナル・インコ  
ーポレーテッド, パテント・サーヴィシズ

(72)発明者 マルティン・オレヤス

アメリカ合衆国ニュージャージー州 0 7 9 5 0 , モリスタウン, テイバー・ロード 1 1 5 , ピー  
・オー・ボックス 3 7 7 , エム/エス 4 ディー 3 , ハネウエル・インターナショナル・インコ  
ーポレーテッド, パテント・サーヴィシズ

(72)発明者 ユッシ・ラーサッカ

アメリカ合衆国ニュージャージー州 0 7 9 5 0 , モリスタウン, テイバー・ロード 1 1 5 , ピー  
・オー・ボックス 3 7 7 , エム/エス 4 ディー 3 , ハネウエル・インターナショナル・インコ  
ーポレーテッド, パテント・サーヴィシズ

(72)発明者 オンドレヤ・クティク

アメリカ合衆国ニュージャージー州 0 7 9 5 0 , モリスタウン, テイバー・ロード 1 1 5 , ピー  
・オー・ボックス 3 7 7 , エム/エス 4 ディー 3 , ハネウエル・インターナショナル・インコ  
ーポレーテッド, パテント・サーヴィシズ

F ターム(参考) 5J062 AA09 BB04 CC07 DD22 DD23

【外国語明細書】  
2017106907000001.pdf