

(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2013-533467

(P2013-533467A)

(43) 公表日 平成25年8月22日(2013.8.22)

(51) Int.Cl.

**G01S 19/53** (2010.01)  
**G01S 19/52** (2010.01)  
**G01C 21/28** (2006.01)

F 1

GO1S 19/53  
 GO1S 19/52  
 GO1C 21/00

テーマコード (参考)

2 F 1 2 9  
 5 J O 6 2

D

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 41 頁)

(21) 出願番号 特願2013-512083 (P2013-512083)  
 (86) (22) 出願日 平成23年5月18日 (2011.5.18)  
 (85) 翻訳文提出日 平成25年1月17日 (2013.1.17)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2011/036993  
 (87) 國際公開番号 WO2011/149738  
 (87) 國際公開日 平成23年12月1日 (2011.12.1)  
 (31) 優先権主張番号 12/786,137  
 (32) 優先日 平成22年5月24日 (2010.5.24)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 512303161  
 ロバート・ジェイ・ウェーリントン  
 アメリカ合衆国・ミネソタ・55431・  
 ブルーミントン・ラッセル・サークル・サ  
 ウス・9740  
 (74) 代理人 100108453  
 弁理士 村山 靖彦  
 (74) 代理人 100064908  
 弁理士 志賀 正武  
 (74) 代理人 100089037  
 弁理士 渡邊 隆  
 (74) 代理人 100110364  
 弁理士 実広 信哉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】複数の電磁信号からの物体の空間的配向情報の判定

## (57) 【要約】

物体の空間的配向を判定するための方法であって、物体と共に配置される受信機器によって、少なくとも3つの電磁信号のセットを受信することであって、受信された信号のセットのそれぞれは、異なる位置で少なくとも3つの別個の伝送器の異なるものによって伝送されている、受信することと、受信された信号のセットのそれぞれのものに対して、信号のセットが受信された物体から伝送器への方向を部分的に画定する情報を検出することであって、検出された情報は、物体が信号のセットを受信した到來方向を物体座標系に関して完全に画定する2つの角度のうちの1つを含み、検出された情報が、2つの角度のうちの第2のものを含まない、検出することと、受信された信号セットのそれぞれのものに対して検出された情報を使用して、ナビゲーション座標系に対する、ヨー、ピッチ、およびロール角を含む、物体の空間的配向を判定することと、を含む、方法。

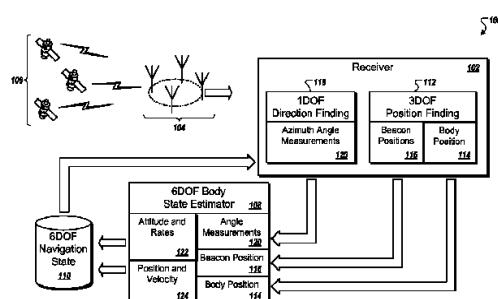


FIG. 1A

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

物体の空間的配向を判定するための機械実装された方法であって、

前記物体と共に配置される受信機器によって、少なくとも 3 セットの電磁信号を受信することであって、前記受信される電磁信号のセットのそれぞれが、異なる位置で、少なくとも 3 つの別個の伝送器のうちの異なるものによって伝送されている、受信することと、

前記受信される電磁信号のセットのそれぞれのものに対して、前記物体から前記電磁信号のセットが受信された前記伝送する伝送器への方向を部分的に画定する、部分的な方向情報を検出することであって、前記検出された部分的な方向情報が、前記物体が物体座標系に関して前記電磁信号のセットを受信した到来方向を完全に画定する、2 つの角度のうちの第 1 の角度を含み、前記検出された部分的な方向情報が、前記到来方向を完全に画定する前記 2 つの角度のうちの第 2 の角度を含まない、検出することと、

前記受信された電磁信号のセットのそれぞれのものに対して、前記検出された部分的な方向情報を使用して、ナビゲーション座標系に対するヨー、ピッチ、およびロール角を含む、前記物体の前記空間的配向を判定することと、を含む、方法。

**【請求項 2】**

前記第 1 の角度が、前記物体座標系に対して画定される方位角平面に対する前記到来方向を画定する方位角である、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 3】**

前記第 2 の角度が、前記物体座標系に対して画定される仰角平面に対する前記到来方向を画定する仰角である、請求項 2 に記載の方法。

**【請求項 4】**

前記第 1 の角度が、前記物体座標系に対して画定される仰角平面に対する前記到来方向を画定する仰角である、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記第 2 の角度が、前記物体座標系に対して画定される方位角平面に対する前記到来方向を画定する方位角である、請求項 4 に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記受信された電磁信号のセットのそれぞれのものに対して、部分的な方向情報の変化速度を検出することであって、前記検出される部分的な方向情報の変化速度が、前記物体がそこから前記物体座標系に関して前記電磁信号を受信する、前記到来方向を完全に画定する 2 つの角度のうちの第 1 の角度の変化速度を含む、検出することと、

前記ナビゲーション座標系に関する前記物体座標系の前記空間的配向の変化の角速度を判定することであって、前記判定することが、前記受信される電磁信号のセットのそれぞれのものに対する部分的な方向の前記検出された変化速度および前記判定された空間的配向を使用することを含む、判定することと、をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記受信機器によって提供されるセンサデータが、前記部分的な方向情報または前記部分的な方向情報の前記変化速度のうちの 1 つに変換される、請求項 6 に記載の方法。

**【請求項 8】**

前記受信された電磁信号のセットのそれぞれのものに対して、前記電磁信号のセットに対する前記部分的な方向情報の加速度を検出することであって、前記検出された前記部分的な方向情報の加速度が、前記物体がそこから受信する、前記到来方向を完全に画定する 2 つの角度のうちの第 1 の角度の加速度を含む、検出することと、

前記ナビゲーション座標系に関する前記物体座標系の前記空間的配向の角加速度を判定することであって、前記判定することが、前記受信された電磁信号のセットのそれぞれのものに対する前記検出された前記部分的な方向情報の加速度、および前記判定された空間的配向、ならびに前記判定された角変化速度を使用することを含む、判定することと、をさらに含む、請求項 6 に記載の方法。

**【請求項 9】**

10

20

30

40

50

前記受信機器によって提供されるセンサデータが、前記部分的な方向情報の加速度に変換される、請求項4に記載の方法。

**【請求項10】**

既知のナビゲーション座標系に関して、物体の空間的配向を判定するための機械実装された方法であって、

前記物体と共に配置される受信機器によって、少なくとも3セットの電磁信号を受信することであって、前記受信されるセットのそれぞれが、物体座標系に関して、少なくとも3つの別個の既知のナビゲーション方向のうちの異なるもので、前記物体に到来する、受信することと、

前記受信される電磁信号セットのそれぞれのものに対して、前記既知の到来方向をナビゲーション基準データセットに変換することと、

前記受信される電磁信号セットのそれぞれのものに対して、前記電磁信号のセットが受信される、前記既知のナビゲーション方向に対する物体座標系における物体方位角軸に対する方位角情報を検出することであって、前記方位角情報が、検出される仰角情報を含まない、検出することと、

前記既知のナビゲーション座標系における前記検出された方位角情報を、物体測定データセットに変換することと、

ヨー、ピッチ、およびロール角を含む、前記既知のナビゲーション座標系に関する前記物体座標系の前記空間的配向を判定することと、を含む、方法。

**【請求項11】**

判定することが、

前記既知のナビゲーション座標系に関する前記物体座標系の現在の姿勢の推定を表す、姿勢4元数を初期化することと、

前記ナビゲーション基準データセットおよび前記物体測定値データセットからの基準値を使用して、近似値を表す角度固有行列を確立することと、

前記基準姿勢4元数および前記角度固有行列を反復的にリファインすることと、

前記リファインした姿勢4元数を、相当するヨー、ピッチ、およびロール角に変換することと、を含む、請求項10に記載の方法。

**【請求項12】**

前記少なくとも3つの受信された電磁信号セットのそれぞれに対して、前記方位角情報の変化速度を測定することと、

前記少なくとも3つの別個の電磁信号セットのそれぞれに対して、前記方位角情報の前記変化速度を、物体測定速度行列に変換することと、

前記物体測定速度行列を使用して、既知のナビゲーション座標系に関する前記物体座標系の角速度の近似値を反復的にリファインすることと、をさらに含む、請求項10に記載の方法。

**【請求項13】**

前記反復的リファインメントが、

(a) 前記物体座標系の角速度を初期化することと、

(b) 前記物体座標系の前記角速度を使用して、4元数の導関数を推定することと、

(c) 前記速度行列を反復的にリファインすることと、

(d) 前記4元数の導関数から、前記物体座標系の前記角速度を計算することと、

(e) 二次エラー値を計算することと、

(f) 前記二次エラー値を、以前の二次エラー値と比較することと、を含み、

ステップ(b)から(f)が、複数回の反復で繰り返される、請求項12に記載の方法

。

**【請求項14】**

ステップ(b)から(f)が、前記二次エラー値と前記以前の二次エラー値の比較が実質的に同一になるまで繰り返される、請求項13に記載の方法。

**【請求項15】**

10

20

30

40

50

前記物体座標系の前記角速度は、前記物体座標系が未知または初期状態にある場合に、ゼロに初期化される、請求項13に記載の方法。

**【請求項16】**

前記物体座標系の前記角速度は、前記物体座標系が急速な回転状態にある場合に、大きな速度に初期化される、請求項13に記載の方法。

**【請求項17】**

前記物体座標系の前記初期角速度が、前記速度行列を調整するため、および姿勢の推定値または前記初期角速度に対する前記方位角情報の変化速度をリファインするために使用される、請求項13に記載の方法。

**【請求項18】**

既知のナビゲーション座標系に関する物体座標系の空間的配向を判定するためのシステムであって、

前記物体座標系と共に配置され、方向変換機を備える受信機であって、前記受信機が、前記物体座標系に関して既知のナビゲーション方向から電磁信号を受信し、発信源からの電磁信号のセットが受信される前記既知のナビゲーション方向についての部分的な方向情報を検出するように適合され、前記部分的な方向情報が、前記電磁信号が受信された、前記物体から前記発信源への方向を部分的に画定する、受信機と、

物体姿勢判定モジュールであって、

i) 前記物体が、そこから少なくとも3つの別個の受信された電磁信号のセットに対する前記電磁信号のセットを受信する、到来方向を完全に画定する2つの角度のうちの第1のものに対する検出された部分的な方向情報を、前記受信機から受信し、前記受信されたセットのそれぞれが、少なくとも3つの別個の既知のナビゲーション方向から到来し、前記検出された部分的な方向情報が、前記到来方向を完全に画定する2つの角度のうちの第2のものを含まないように、適合され、

ii) 前記受信された電磁信号のセットのそれぞれのものに対する前記検出された部分的な方向情報を使用して、前記既知のナビゲーション座標系に関する前記物体座標系のヨー、ピッチ、およびロール角を含む、前記空間的配向を画定するように適合される、物体姿勢判定モジュールと、を含む、システム。

**【請求項19】**

物体速度判定モジュールであって、

i) 少なくとも3つの別個の受信された電磁信号のセットに対する前記部分的な方向情報の検出された変化速度を、前記受信機から受信し、前記受信されたセットのそれぞれが、少なくとも3つの別個の既知のナビゲーション方向のうちの異なるものから到来するように適合され、

ii) 前記受信された電磁信号のセットのそれぞれのものに対する前記部分的な方向情報の前記検出された変化速度を使用して、前記既知のナビゲーション座標系に関する前記物体座標系の前記空間的配向の角変化速度を判定するように適合される、物体速度判定モジュールをさらに備える、請求項18に記載のシステム。

**【請求項20】**

物体加速度判定モジュールであって、

i) 前記受信機から前記電磁信号のセットに対する前記部分的な方向情報の検出された加速度を受信するように適合され、

ii) 前記受信された電磁信号のセットのうちのそれぞれのものに対する前記方位角情報の前記検出された加速度を使用して、前記ナビゲーション座標系に関する前記物体座標系の前記空間的配向の角加速度を判定するように適合される、物体加速度判定モジュールをさらに備える、請求項18に記載のシステム。

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【0001】**

本出願は、2010年5月24日に出願された、DETERMINING SPATI

10

20

30

40

50

ALL ORIENTATION INFORMATION OF A BODY FROM MULTIPLE ELECTROMAGNETIC SIGNALSと題される米国特許出願整理番号第12/786,137号の優先権を主張し、その開示は、参照により本明細書に組み込まれる。

#### 【0002】

本明細書は、物体においてナビゲーションシステムの異なる伝送器から受信される複数の電磁信号に基づいて、物体の空間的配向情報（例えば、配向、および／または配向の変化速度）を判定すること、ならびに物体のナビゲーションにおける空間的配向情報の使用に関する。

#### 【背景技術】

#### 【0003】

物体の空間的配向および／またはその変化速度を判定することは、多数の異なる適用において有用である。一例は、飛行機またはヘリコプター等の航空機体であり、航空機体の空間的配向は、現在の位置から所望の位置または所望の方向への物体のナビゲーションに使用可能である。操作中に、空間的配向情報（配向およびその変化速度を含む）は、その情報を使用して航空機体を手動で操縦することができる人物に提供され得るか、または航空機体のナビゲーションを制御する、コンピュータ制御されたナビゲーションシステムに提供され得る。物体の空間的配向が有用な別の適用は、油および天然ガス等の地下掘削のような地下適用である。このような地下適用において、視覚によって直接観察することができない地下のドリル先端の配向情報は、例えば、ドリルを目的の方向または目的の標的位置へナビゲートすることに有用であるか、または必要でさえあり得る。空間的配向情報が有用であり得るこれらの2つの一般的な適用例が例示目的であること、ならびに空間的配向情報が同様に有用であり得る、多数の他の現在および将来の適用が存在することを理解されたい。

#### 【0004】

航空機等の航空機体との関連において、例えば、空間的配向を判定するための従来の技術には、航空機の方向進路を判定するためのコンパス等の搭載機構、ならびに加えて、従来的に定義される姿勢のピッチ、ヨーおよびロール要素を含む、航空機の姿勢を判定する能力のある慣性ナビゲーション装置（例えば、加速度計およびジャイロスコープ）が含まれる。背景として、ピッチ角は、航空機の機首の上方向または下方向の回転を示し、ロール角は、航空機体を中心とした回転（または換言すると、翼の上方向または下方向の傾斜）を示し、ヨー角は、側面の回転（または換言すると、航空機の機首が、右または左方向に移動する）を示す、これらの従来タイプのような搭載ナビゲーションシステムはまた、航空機の姿勢の変化速度についての情報を提供することができる。多数の適用において、このような搭載ナビゲーションシステムは、全体的に十分ではあるが、多数の適用において、それらは、それら自体では、十分に正確でないか、または敏感でない場合がある。例えば、慣性ナビゲーションシステムに存在し得る1つの問題は、長時間にわたるその空間的配向の判定におけるドリフトの可能性、およびそのためにこのようなドリフトを定期的に較正または修正する必要性が生じる可能性があることである。さらに、空間的配向の変化速度は、特定の物体に対して非常に急激または急速であり得るため、このような空間的配向の判定機構は、それ自体では単純に非効率的である。

#### 【0005】

最近開発された、物体の空間的配向情報を判定するための別の技術は、マイクロ波の携帯電話基地局伝送または衛星伝送等、外部伝送システムから受信される電磁伝送を使用する。このような電磁伝送システムの1つの例示的分類は、全地球的航法衛星システム（GNSS）である。米国の全地球位置測定システム（GPS）、ロシアの全地球航法衛星システム（GLONASS）等のGNSSは、それぞれが、物体により受信され、物体によりナビゲーションに使用される、電磁伝送を行う複数の周回軌道衛星から構成される。

#### 【0006】

受信されたGNSS伝送により行われる一般的で主要な使用は、物体の現在の位置を判

10

20

30

40

50

定することである。これは、例えば航空機および自動車によって使用されているように、非常に偏在的に既知である。一般的に G N S S の操作において、物体は、少なくとも 4 つの異なる G N S S の衛星から伝送を受信し、それらの伝送を使用して、物体の現在位置を判定する。物体の 3 次元位置（経度、緯度、および高度）を判定するための 1 つの方法には、既知の位置に位置付けられる、衛星またはビーコンにより伝送される電磁信号を受信することが含まれる。小型電動受信機を使用して、これらの受信された電磁信号に基づいて、位置を計算することができる。G N S S 衛星の伝送には、典型的に、その伝送が、いつ衛星によって送信されたかに関するタイムスタンプ情報が含まれてあり、そのため、受信する物体は、受信時刻を使用して、特定の衛星からの物体の距離を計算することができる。さらに、G N S S 衛星の伝送にはまた、軌道 G N S S 衛星の現在の位置、より具体的には、衛星の軌道情報を示す天体暦データが、従来的に含まれる。このように、物体は、伝送が受信された衛星のそれぞれの現在の位置に関する情報が提供され、その情報に加えて、各衛星が物体から離れている距離を使用して、物体の位置を判定する。

10

#### 【 0 0 0 7 】

位置の判定に使用することに加えて、G N S S はまた、より最近では、物体の空間的配向情報を判定するために使用されている。これを行うために、物体には、ベクトルによって画定される、電磁伝送が受信される正確な方向を検出する能力のある、受信および方向アンテナシステムが装備されている。特に、このようなシステムにおいて方向アンテナシステムを有する受信システムは、2 つの角度、すなわち方位角および仰角によって画定される、受信した G N S S 伝送に対するベクトル方向を検出するように構成される。G N S S 伝送のそれぞれに対する正確な受信ベクトルを知ることは、空間的配向情報を、これらの物体において判定することが可能になる。具体的には、正確なベクトル方向を考慮すると、衛星から物体までの各伝送の通過時間および伝送を送信した衛星の既知の位置に加えて、処理システムが、例えば従来の定義のヨー、ピッチ、およびロール要素を含む、物体の空間的配向情報を計算することができる。難点として、しかしながら、方位角および仰角の両方を画定する能力のある受信および方向アンテナシステムは、概して、例えば、より単純な受信およびアンテナシステムと比較して、複雑であり、配向が判定される物体に空間要求を強いる。

20

#### 【 0 0 0 8 】

特定のアンテナ構成はまた、運動または追加センサの補助なしで、物体の配向を判定する測定を行うことができる、回転センサとして使用することができる。このようなシステムは、物体上のアンテナに到来する G N S S 信号を使用して、物体の配向に対する G N S S 衛星の方向を判定する。幾何学は、物体から単一の衛星への方向を、衛星と 3 つの物体軸との間の 3 つの角度を特定することによって示すことを暗示する。これらの角の余弦を使用して、所定の座標系の座標に現れる各衛星に対する固有の方向余弦ベクトルを特定することができる。姿勢の推定に G N S S を使用する従来のシステムは、物体座標系において作製される方向余弦ベクトルの測定を行い、これらの測定値を、ナビゲーション座標系において既知の衛星位置と比較する。このようなシステムの別の実施形態は、指定の物体 x 軸と「オフボアサイト角」との間の角度について説明することになる。オフボアサイト角度はまた、物体 y および x 軸により画定される平面に対する衛星の「仰」角としても記載される。仰角が測定されたとして、衛星の方向余弦ベクトルは、衛星の方向が、x 軸を中心にどのように回転されるかを特定する、追加の「方位」角の測定によって判定することができる。従来のシステムは、ナビゲーション座標系に対する物体の配向を、少なくとも 2 つの衛星へのベクトルの方向（すなわち、仰角および方位角の両方）を測定し、これらの物体測定値およびナビゲーション座標系における衛星の既知の方向を使用することによって判定し、ナビゲーション座標系に対する実際の物体の回転を導く。

30

40

#### 【 発明の概要 】

#### 【 課題を解決するための手段 】

#### 【 0 0 0 9 】

1 つの一般的な態様において、外部ナビゲーションシステム伝送器からのナビゲーショ

50

ン伝送が受信される方向を、従来のシステムで必要とされる精度で検出することを要することなしに、物体の空間的配向情報を判定することが可能なシステム、構成要素、および方法を提供する。この一般的な態様において、本明細書に記載されるシステム、構成要素、および方法は、あまり正確ではない方向情報を使用し、依然として、適切および効率的に物体の空間的配向情報を判定することができる。そのため、本明細書に記載のシステム、構成要素、および方法は、従来のシステムにあったものよりも、複雑でなくてもよい、および／またはより少ない空間要件を必要とする、受信および方向アンテナシステムを必要とするわけではないが、その使用を可能にする。

#### 【0010】

一般的に、本明細書に記載の主題の1つの革新的な態様は、物体と共に配置される受信機器によって、少なくとも3セットの電磁信号を受信する動作であって、受信される電磁信号のそれぞれが、異なる位置で、少なくとも3つの別個の伝送器によって伝送されている、受信する動作と、受信される電磁信号のセットのそれぞれのものに対して、物体から電磁信号のセットが受信された伝送する伝送器への方向を部分的に画定する部分的な方向情報を検出する動作であって、検出される部分的な方向情報が、物体が物体座標系に関して電磁信号を受信した到来方向を完全に画定する2つの角度のうちの第1の角度を含み、検出される部分的な方向情報は、到来方向を完全に画定する2つの角度のうちの第2のものを含まない、検出する動作と、受信された電磁信号のセットのそれぞれのものに対して検出された部分的な方向情報を使用して、ナビゲーション座標系に対するヨー、ピッチ、およびロール角を含む、物体の空間的配向を判定する動作と、を含む、方法において、具体化することができる。この態様の他の実施形態には、本方法の機能を実行するように構成され、コンピュータ記憶デバイス上にコード化される、対応するシステム、装置、およびコンピュータプログラムが含まれる。

10

20

30

40

#### 【0011】

これらおよび他の実施形態は、それぞれ、以下の特徴の1つ以上を任意に含むことができる。第1の角度は、物体座標系に対して画定される、方位角平面に対する到来方向を画定する、方位角であってもよい。第2の角度は、物体座標系に対して画定される、仰角平面に対する到来方向を画定する、仰角であってもよい。さらに、第1の角度は、物体座標系に対して画定される仰角平面に対する到来方向を画定する、仰角であってもよく、第2の角度は、物体座標系に対して画定される方位角平面に対する到来方向を画定する、方位角であってもよい。

#### 【0012】

本方法は、受信される電磁信号のセットのそれぞれのものに対して、部分的な方向情報の変化速度を検出することであって、検出された部分的な方向情報の変化速度は、物体が物体座標系に対して電磁信号を受信した到来方向を完全に画定する2つの角度のうちの第1の角度の変化速度を含む、検出することと、ナビゲーション座標系に関して物体座標系の空間的配向の角変化速度を判定することであって、判定することは、受信される電磁信号のセットのそれぞれのものに対する部分的な方向の検出された変化速度および判定された空間的配向を使用することを含む、判定することと、をさらに含んでもよい。受信機器によって提供されるセンサデータは、部分的な方向情報のうちの1つか、または部分的な方向情報の変化速度に変換することができる。

#### 【0013】

本方法は、受信された電磁信号のセットのそれぞれのものに対して、電磁信号のセットに対する部分的な方向情報の加速度を検出することであって、検出された部分的な方向情報の加速度は、物体がそこから受信する到来方向を完全に画定する2つの角度のうちの第1の角度の加速度を含む、検出することと、ナビゲーション座標系に関する物体座標系の空間的配向の角加速度を判定することであって、判定することが、受信された電磁信号のセットのそれぞれのものに対する部分的な方向情報の検出された加速度、判定された空間的配向、および判定された角変化速度を使用することを含む、検出することと、をさらに含んでもよい。受信機器によって提供されるセンサデータは、部分的な方向情報の加速度

50

に変換され得る。

【0014】

さらなる方法には、物体と共に配置される受信機器によって、少なくとも3セットの電磁信号を受信することであって、受信されるセットのそれぞれは、物体座標系に関して、少なくとも3つの別個の既知のナビゲーション方向のうちの異なるもので、物体に到来する、受信することと、受信される電磁信号のセットのそれぞれのものに対して、既知の到来方向をナビゲーション基準データセットに変換することと、受信される電磁信号のセットのそれぞれのものに対して、電磁信号セットがそこから受信される既知のナビゲーション方向についての物体座標系における物体方位角軸に対する方位角情報を検出することであって、方位角情報が、検出される仰角情報を含まない、検出することと、既知のナビゲーション座標系における検出された方位角情報を、物体測定値データセットに変換することと、ヨー、ピッチ、およびロール角を含む、既知のナビゲーション座標系に関する物体座標系の空間的配向を判定することと、を含んでもよい。

10

【0015】

これらおよび他の実施形態は、それぞれ、任意で、以下の特徴のうちの1つ以上を含むことができる。判定することは、既知のナビゲーション座標系に関して、物体座標系の現在の姿勢の推定を表す姿勢の4元数を初期化することと、ナビゲーション基準データセットおよび物体測定値データセットからの基準値を使用して、近似値を表す角度固有行列を確立することと、基準姿勢4元数および角度固有行列を反復してリファインすることと、リファインした姿勢4元数を、相当するヨー、ピッチ、およびロール角に変換することと、を含むことができる。本方法は、少なくとも3つの受信された電磁信号セットのそれぞれに対して、方位角情報の変化速度を測定することと、少なくとも3つの別個の電磁信号セットのそれぞれに対して、方位角情報の変化速度を、物体測定速度行列に変換することと、物体測定速度行列を使用して、既知のナビゲーション座標系に関する物体座標系の角速度の近似値を反復的にリファインすることと、をさらに含んでもよい。

20

【0016】

反復的なリファインメントは、(a) 物体座標系の角速度を初期化することと、(b) 物体座標系の角速度を使用して、4元数の導関数を推定することと、(c) 速度行列を反復してリファインすることと、(d) 4元数の導関数から、物体座標系の角速度を計算することと、(e) 二次エラー値を計算することと、(f) 二次エラー値を、以前の二次エラー値と比較することと、を含み、ステップ(b)から(f)は、ある反復回数で繰り返される。さらに、ステップ(b)から(f)は、二次エラー値と以前の二次エラー値の比較が、実質的に同一になるまで繰り返されてもよい。

30

【0017】

物体座標系の角速度は、物体座標系が、未知または初期状態にある場合、ゼロに初期化され得る。物体座標系の角速度は、物体座標系が、急速な回転状態にある場合に、大きな速度に初期化され得る。物体座標系の初期角速度は、速度行列の調整、および初期角速度に対する姿勢の推定値または方位角情報の変化速度をリファインするために使用することができる。

40

【0018】

本明細書に記載の主題の他の革新的な態様は、データ処理装置によって実行される際に、そのデータ処理装置に、記載の操作を実行させる命令を含む、コンピュータプログラムでコード化された、コンピュータ記憶媒体に具体化することができる。さらに、システムは、方向変換器、および記載の操作を実行するように操作可能な物体姿勢判定モジュールを含む、物体座標系に配置される受信機を含むことができる。

【0019】

本発明の1つ以上の実施形態の詳細は、添付の図および以下の説明に記載される。本発明の他の特徴、目的、および利点は、説明および図面、ならびに特許請求の範囲から明らかであろう。

50

【図面の簡単な説明】

## 【0020】

【図1A】図1Aは、衛星ナビゲーションシステムおよび物体の空間的配向情報を判定するため衛星ナビゲーションシステムからの伝送を受信する物体に搭載して使用するための例示的システムの図である。

【図1B】図1Bは、物体の空間的配向情報の判定のための例示的プロセスのフローチャートである。

【図2】図2は、衛星ナビゲーションシステムおよび移動体（航空機）の図であり、種々の画定されるベクトルおよび角度を図示する。

【図3A】図3Aは、移動体（ヘリコプター）および衛星ナビゲーションシステムの衛星の図であり、物体から衛星へのベクトルを画定する角を図示する。  
10

【図3B】図3Bは、衛星の図および方位角情報を検出するように操作可能な例示的なアンテナである。

【図4】図4は、物体の空間的配向情報を判定するための例示的プロセスのフローチャートである。

【図5】図5は、4元数を使用して、方位角情報から物体の空間的配向情報を判定するための例示的プロセスのフローチャートである。

【図6】図6は、4元数を使用して、方位角の速度情報から物体の角速度を判定するための例示的プロセスのフローチャートである。

【図7A】図7Aは、空間的配向の推定値を使用して、遠隔システムにフィードバックを提供するための例示的プロセスのフローチャートである。  
20

【図7B】図7Bは、空間的配向の推定値を使用して、物体の軌道を調整するための例示的プロセスのフローチャートである。

【図7C】図7Cは、空間的配向の推定値を使用して、車両のパイロットに視覚的フィードバックを提供するための例示的プロセスのフローチャートである。

【図8】図8は、本明細書に記載のコンピュータ実装されたプロセスの実装に使用可能なコンピュータ構成要素のブロック図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0021】

種々の図面中の同様の参照記号は、同様の要素を示す。

## 【0022】

図1Aは、例えば、複数の衛星から構成されるGPSシステム等のナビゲーションシステムから受信される、ナビゲーション伝送に基づいて、位置および空間的配向、または姿勢、物体の情報を判定するために、移動体に装備することができる、姿勢情報判定システム100の例である。簡略的には、本システム100は、電磁ビーコン（例えば、衛星）のセット106から、方向変換器104を通じて電磁信号を受信し、受信した信号から種々の入力データを判定する能力のある受信機102を含む。図示されるように、方向変換器104は、円形アレイアンテナである。他の実装において、回転可能なアンテナ、ビーム形成アレイ、光学デバイス、または同様の方向センサを、方向変換器として使用することができる。受信機102は、6自由度（6DOF）の物体状態推定器108に入力データを提供し、そのデータを使用して、既知のナビゲーション座標系に関して、少なくとも6DOFの物体の測定値を判定する。6DOF測定値は、姿勢（ヨー、ピッチ、およびロール）についての3つの測定値、ならびに姿勢の変化速度（ヨー、ピッチ、およびロールのそれぞれの変化速度）についての3つの測定値を指す。6DOF姿勢情報測定値は、次いで、6DOFデータリポジトリ110に出力することができる。6DOF姿勢情報測定値は、いくつかの実施例において、受信機102がその機能を果たすことを補助するか、あるいは物体の経路を追跡するか、または進路のナビゲーション調整を行い、および/もしくは物体の経路内のナビゲーションエラーを修正するために使用することができる。受信機102は、物体の位置114およびビーコン106のそれぞれの位置を判定する能力のある、3DOF位置判定要素112を含み、後者は、ビーコン位置116のセットとして収集される。3DOF位置判定ユニット112の3自由度とは、基準ナビゲーション座  
40

標系内の配置点（物体および各ビーコンについて）の定義を指す。これらの3次元は、公的ナビゲーション座標系とも称される、地球中心地球固定（ECEF）座標系におけるx、y、およびz座標として記載することができる。ECEF座標系は、地球に固定され、その回転は地球中心を中心としている。このようにして、z軸は、地球の自転方向と平行して整列し、x軸は、赤道面とグリニッジ子午線との交点方向を指し、y軸は、x、y、およびzが右手系座標を作る方向で、地球表面に垂直である。

#### 【0023】

他の実装において、これらの3次元は、東、北、および上に対応する、x、y、およびz座標として記載することができる。例えば、地球の表面においては、東・北・上の基準座標系が、より便利な場合があり、一方で空中または宇宙においては、ECEF座標系が、より適切であることがわかり得る。10

#### 【0024】

この実施例における3自由度は、緯度、経度、および高度の尺度であってもよい。いくつかの実装において、ビーコン106のそれぞれは、電磁信号コンテンツ内で、その位置情報を伝送することができ、その位置情報は、3DOF位置決定ユニット112によって単純に受信することができる。他の実装において、3DOF位置決定ユニット112は、ビーコン位置116のそれぞれを、ビーコンが任意の時点で配置される、基準のナビゲーション座標系内の配置をそこから判定することができる、軌道経路情報を含み得る、電磁信号内に提供される特徴および記憶された既知のビーコン配置のセットを識別することに基づいて、導くことができる。後者の場合において、伝送内に提供されるタイムスタンプ情報を使用して、システム100に提供される軌道経路情報から、ビーコン配置を判定することができる。位置情報に加えて、いくつかの実装において、物体位置114およびビーコン位置116は、速度情報およびタイムスタンプ情報もまた含むことができる。速度情報は、例えば、受信機102によって（例えば、ドップラー技術を使用して）判定される、方向変換器104の位置の変化速度を含むことができる。20

#### 【0025】

物体位置114およびビーコン位置116を使用して、ビーコン106のそれからの電磁信号の物体における到來方向、または換言すると、（ビーコンから物体への伝送が見通し線伝送である場合については）物体からビーコン106のそれぞれへのベクトルを判定することができる。物体からビーコンのそれぞれのものへのこれらのベクトルは、物体を中心としたローカルナビゲーション座標系に画定することができる。物体のローカルナビゲーション座標系を画定するためには、ECEF座標系を、（例えば、物体位置114で）例えば物体の中心への回転なしに変換して、物体位置114にローカルナビゲーション座標系を作製することができる。ローカルナビゲーション座標系は、実際の物体配向（姿勢）情報が画定され得る基準姿勢として機能することができる。30

#### 【0026】

受信機102はまた、方位角および任意で複数のビーコン106のそれへの検出された方向の方位角変化速度を含む、方位角測定値120のセットを判定する、1自由度（1DOF）方向決定構成要素118を含む。方位角測定値120は、物体座標系に画定される単一の変換器104の軸を中心とする角変位に基づいてもよい。物体座標系という用語は、本明細書に使用される際、姿勢情報が判定される、物体の構造に関して画定される、座標系または基準系を指し、したがって、物体座標系は、物体が移動すると移動し、したがって、ナビゲーション座標系に対して移動する。例示として、飛行機の物体座標系は、X-Y-Z座標系として定義することができ、3つの軸は飛行機の中心で交差し、x軸は、機首および機体の中心を通じて延在し、y軸は、飛行機の上部および下部を通じてx軸に垂直に延在し、z軸は、1つの翼からもう1つの翼へ、x軸およびy軸に垂直に延在する。40

#### 【0027】

本明細書に使用する際、物体座標系の座標は、x軸が、方向アンテナシステムがそこに回転され得る軸となるように配向され、方位角は、y-z平面で測定される。これ50

は、単純に、数学的表記の整合性のための慣例である。

#### 【0028】

方位角測定120を判定する際、ビーコン106から受信される電磁信号が到来するベクトル方向は、それぞれ、変換器104の軸に垂直である、物体座標系の水平面で、方向変換器104によって射影することができる。方位角測定120は、次いで、物体座標系の方位角平面に射影されたベクトルの変位に関する。方向変換器104からの各ビーコンの方位角方向は、例えば、方向変換器104が、单一の軸を中心に回転する際、ビーコン106のそれぞれに対するピーク信号振幅に基づいて測定することができる。いくつかの実装において、方向決定モジュール118は、マルチパス信号到来を分解して、最終的な方位角測定120を生成することができる。他の実装において、方向変換器104からの電子信号が、角速度情報を含む場合、方向決定ユニット118は、さらに、方位角測定120内に含まれる、方位角の測定変化速度を計算することができる。10

#### 【0029】

6DOF物体状態推定器108は、角度測定120、ビーコン位置116、および物体位置114を受信機102から受信し、この情報を使用して、物体の空間的配向または姿勢（例えば、ヨー、ピッチ、およびロール角）、ならびに任意で、物体の空間的配向の変化の角速度（再度、例えばヨー、ピッチ、およびロール角の変化速度）を計算することができる。これらの6つの要素の姿勢情報は、ナビゲーション座標系、例えばECEFに関して画定することができ、リポジトリ110に記憶することができる。ヨー、ピッチ、およびロール角の3DOF空間的配向尺度はまた、オイラー角と称される。オイラー角は、ローカルナビゲーション座標を回転させ、回転された座標系を物体座標系と一直線になるようにするために使用することができる、回転のセットを画定する。20

#### 【0030】

幾何学のため、ナビゲーション座標系のx軸は、間隔を空けて2回の回転を適用することによって、物体座標のx軸の実際の方向に回転することができる。まず、ナビゲーションx軸を、元のナビゲーション座標系のz軸を中心に、ヨー角を通じて、物体座標系のx軸方向に回転させることができる。次いで、新しいx軸を、新しいy軸を中心に、ピッチ角を通じて回転させることができる。新しいx軸は、物体座標系のx軸と揃った方向を指すことになる。この時点で、ロール角を使用して、新しい座標系を、合致する物体x軸を中心にして、新しいy軸およびz軸が、対応する物体座標系のy軸およびz軸に平行な方向を指すまで、回転させてもよい。いくつかの実施例において、方向余弦行列(DCM)等の $3 \times 3$ の回転行列、または単一の4元ベクトルの4元数を使用して、空間的配向問題を数学的にモデル化することができる。30

#### 【0031】

6DOF物体状態推定器108は、例えば、検出された方位角の余弦を使用して、角度測定120を物体測定データセットに変換することによって、物体の3DOF配向の判定を開始することができる。6DOF物体状態推定器108はまた、例えば、物体位置からビーコン位置への見通し線を使用して、ビーコン位置116および物体位置114をナビゲーションデータセットに変換する。配向の解を求める際、空間的配向の推定値を改善するために他のリファインメントが適用されてもよい。例えば、方位角速度または加速度の測定が方位角測定120内に含まれる場合に、任意で、追加の計算が、同様に角速度または角加速度を求めるために行われてもよい。40

#### 【0032】

6DOF物体状態推定器108が、空間的配向推定値および角速度推定値を、姿勢および速度測定のセット122として計算すると、姿勢および速度測定のセット122は、（例えば、物体の位置測定114に基づいて）物体の位置および速度測定のセット124と共に、6DOFレポジトリ110に提供され得る。

#### 【0033】

物体が、その経路に沿って継続する際（例えば、飛行中のヘリコプター、標的に向かうミサイル、路上のトラック、または地球表面下のドリル）、システム100はビーコン150

06からの情報を収集し続け、物体の位置、配向、および速度の変化を推定し続けることができる。いくつかの実装において、以前に計算された推定値を使用して、後続の計算の計算を速めるか、または後続の計算によって得られる推定値を改善させることができる。例えば、6DOFナビゲーション状態110を、受信機102に返して、例えば、ビーム進行またはマルチパス分解等の信号処理機能を補助することができる。

#### 【0034】

いくつかの実装において、6DOFリポジトリ110は、物体から離れて配置されてもよい。例えば、無線通信技術を使用して、姿勢および速度測定122および物体の位置および配置測定124を、それらが監視または遠隔誘導に使用され得る遠隔部に提供することができる。測定値は、いくつかの実装において、ローカルの6DOFリポジトリ110内に収集され、定期的に、バッチで遠隔システムに伝送され得る。いくつかの実装において、6DOF物体状態推定器108はまた、配向情報が判定されている物体から離れていてもよい。

#### 【0035】

測定値の収集に加えて、姿勢および速度測定値122、ならびに物体の位置および速度測定値124を使用して、いくつかの実施例において、物体の現在の進路に修正を行うか、または手動調整を行うために、操作者（例えば、飛行機、ヘリコプター、ドリル等）に、物体の配向の図表示を提供することができる。

#### 【0036】

いくつかの実装において、方位角測定値120を収集することよりも、方位決定モジュール118は、オフボアサイト角測定を行うか、またはそうでなければ方位角ではなく仰角のみを測定する可能性がある。仰角は、方位角の必然的帰結と見なされ得る（例えば、同様の角度であるが、ナビゲーション座標系内の異なる視点から見られる）。仰角とボアサイト角との和が、90度であるため、仰角は、オフボアサイト角の測定値から、容易に導くことができる。6DOF物体状態推定器108によって使用されるコンピュータによる方法は、方位角の測定値よりも、オフボアサイト角または仰角の測定値を受容するように、適宜調整することができる。

#### 【0037】

図1Bは、物体の空間的配向の判定および使用のための例示的プロセス150のフローチャートである。本プロセス150は、部分的に、図1Aに示されるシステムによって実行することができる。プロセス150は、ナビゲーションシステムの少なくとも3つの異なる電磁ビーコンからのナビゲーション信号、例えば、図1Aに示される衛星106からの信号を、受信することで開始する（152）。ナビゲーション信号は、電磁ビーコンの識別（異なる衛星から受信される異なる信号を区別するため）、またはナビゲーション座標系内での電磁ビーコンの位置、ならびに同期タイミングシステムに基づいて、伝送が生じる時間に関するタイムスタンプを含むことができる。

#### 【0038】

物体から伝送ビーコンへの部分的な方向情報は、複数の受信されたビーコンのそれぞれに対して検出される。部分的な方向情報は、方位角情報を含み得るが、仰角情報は含まない（154）。あるいは、例えば、部分的な方向情報は、仰角情報を含み得るが、方位角情報は含まない。部分的な方向情報は、例えば、図1Aの方向決定要素118によって検出され得る。部分的な方向情報は、方向変換器および受信機システムを使用して判定することができる。いくつかの実装において、方向変換器は、物理的に回転するアンテナもしくはアンテナアレイ、または電気的に回転されるアンテナアレイであってもよい。いくつかの実施例において、アンテナ要素のアレイは、アレイの要素のそれぞれにおいて、励磁電流の位相を変化させ、その際に、アレイの受信感度の方向を「回転」させることによってか、または特定の位相シフトを励磁電流に適用し、各アンテナ要素に励磁電流を適用し、交代でアンテナアレイの方向性を回転させることによって、電気的に回転することができる。方向変換器は、例えば、厳密に仰角情報を検出するためには、単純または安価過ぎる可能性がある。

## 【0039】

次に、物体の位置を計算する(156)。これは、例えば、図1Aの受信機によって行うことができる。例えば、伝送に提供される情報から判定される、電磁ビーコンの発信源の既知の位置を使用して、電磁ビーコンまでの距離を、同期タイミング機構を使用して判定される、電磁ビーコンにより提供されるタイムスタンプ情報、および受信時間情報を使用して計算することができる。3つ以上の電磁ビーコンと物体との間の距離を使用して、ナビゲーション座標系内の物体の位置を計算することができる。例えば、物体の緯度、経度、および高度を計算する能力は、標準的なGPS受信機によって提供することができる。

## 【0040】

10

物体の空間的配向を、次に計算する(158)。これは、例えば、図1Aの物体状態推定機108によって行うことができる。検出された部分的な方向情報、計算された物体の位置、および判定された電磁ビーコンの位置を使用して、物体の空間的配向を計算することができる。空間的配向を得るための例示的な計算の詳細は、本明細書の後半で詳細に記載される。

## 【0041】

物体の空間的配向の変化速度を計算する(160)。空間的配向の計算値および検出された方位角情報(または代替として、仰角情報)の変化速度に基づいて、空間的配向の変化速度を計算することができる。どのようにしてこれを計算することができるかについての詳細は、本明細書の後半に詳細に記載される。この変化速度情報は、後で使用するために、例えば、図1Aのリポジトリ110に記憶することができる。

20

## 【0042】

次に、計算された情報を使用して、物体の移動を制御する(162)。位置、空間的配向、空間的配向の変化速度の計算値を使用して、物体の進路を能動的に修正するか、または物体の進路を制御する操作者にフィードバックを提供することができる。物体の制御は、例えば、図1Aのリポジトリに記憶された情報を使用して行うことができる。例えば、この記憶された情報は、搭載型コンピュータ制御ナビゲーションシステムへの入力として機能することができ、および/または使用者への視覚的表示を生成するために使用することができる。

## 【0043】

30

従来的には、運動センサ(例えば、加速度計)および/または回転センサ(例えば、ジャイロスコープ)等の慣性センサは、物体の配向、ならびに任意で物体の速度(例えば、運動の方向および速度)を判定するために採用されている。多数のナビゲーションシステムは、GPS、ならびにジャイロスコープまたは加速度計等の慣性センサを採用して、物体の6自由度(6DOF)を判定する。これらのシステムは、総合GPS/慣性(GPSI)システムと称されることがある。GPSの読み取りを使用して、慣性航法システム(INS)によって提供される読み取りを修正および較正することができる。例えば、GPS計算を使用して、慣性センサ内のドリフトのために生じるナビゲーションエラーを抑制することができる。計算された空間的配向および空間配向の変化速度は、いくつかの実装において、慣性センサのナビゲーションエラーを抑制するために、システムに返すことができる。

40

## 【0044】

図3Aは、ヘリコプター302および衛星304の例示的な図であり、例示的な物体座標系312を説明するために使用する。図3Aはまた、ローカルナビゲーション座標系を図示し、ヨー、ピッチ、およびロール角は、図3Aに描写されるように全てゼロであると仮定して、ローカルナビゲーション座標系は、物体座標系312と同一である。図3Aはまた、物体(ヘリコプター302)から衛星へのベクトル306を図示し、衛星304からの見通し線伝送が物体において受信される方向、およびローカルナビゲーション座標系312に関して方向ベクトル306を画定する角度を示す。

## 【0045】

50

この説明図におけるヘリコプターの物体座標系（およびローカルナビゲーション座標系）は、前述の航空機体座標系例の実施例と同様であり、ヘリコプターの進行方向に向かって平行である $z$ 軸312c、ヘリコプターの中心を通って上下に延在し、 $z$ 軸312cに垂直である $x$ 軸312a、ヘリコプターの中心を通って横から横へ延在し、 $x$ 軸312aおよび $z$ 軸312cの両方に垂直である $y$ 軸を含む。3つの軸が交差する物体の中心点312dは、回転翼の中心である。

#### 【0046】

物体座標系の中心312dから衛星304へのベクトル306は、異なる方法で、ローカルナビゲーション座標系に関して画定されてもよい。例えば、ベクトル「 $r$ 」306は、ローカルナビゲーション座標系において、以下の等式で記載することができ、

$$r = [ r_x, r_y, r_z ]$$

#### 【0047】

ビーコン304とヘリコプター302との位置間の見通し線の差異として計算することができる値は、例えば、ヘリコプター302内のGPS受信機によって得られる。代わりに、ベクトル305を、物体座標系312（ローカルナビゲーション座標系と姿勢が揃っていない可能性がある）に関して考える場合、衛星304の座標は、物体座標系に対して、以下の等式を使用して記載することができる。

$$r_b = [ r_{bx}, r_{by}, r_{bz} ]$$

#### 【0048】

物体の空間的配向を判定することには、 $r$ に対する座標と、 $r_b$ の座標との間の変換の解を求めることが含まれる。先行技術において、衛星304に関して、物体座標系312におけるベクトル測定値である定量 $r_b$ を測定することができる、専用センサ（例えば、2DOF方向アンテナ）がヘリコプター302に追加される場合がある。変換は、次いで、2つの異なる衛星に対するベクトル測定値を使用して判定され得る。

#### 【0049】

先行技術において、ヘリコプター302から衛星304へのベクトルは、アンテナシステムが、3つの角度を検出する能力があるタイプのものであったと仮定して、3つの角度、すなわち3つの軸（ $x$ 、 $y$ 、および $z$ ）のそれぞれにつき1つの角度を使用して、断定的に記載される場合があった。一実施例において、ベクトル306は、単位ベクトルであると考える。図3Aに示されるように、単位ベクトル $r_b$ 306に対して、ヘリコプター302の物体座標系312から、衛星304へ向かうベクトル方向は、3つの方向余弦角度に等しい。ヘリコプター302の物体座標系の $x$ 軸312aと衛星304との間の第1の「ボアサイト」角 $\gamma_{x308}$ 、および物体座標系の $z$ 軸312cと衛星304との間の第2の「ボアサイト」角 $\gamma_{z310}$ が存在する。第3の方向余弦角度 $\gamma_y$ は、物体座標系の $y$ 軸312bに関して取られるボアサイト角であり、その角度は、図3Aの視点のため図示されていない。

#### 【0050】

ボアサイト角 $\gamma_{x308}$ で開始し、以下の等式を使用して、物体座標系 $x$ 軸312aとのその関係を記述することができる。

$$r_{bx} = \cos(\gamma_{x308})$$

#### 【0051】

$\gamma_{x308}$ が、ゼロに等しい場合、物体座標系の $x$ 軸312aは、直ぐに衛星304を指す。そうでなければ、衛星304は、軸から外れている。

#### 【0052】

第2の角度は、前述のように、その角度が、物体座標系の $y$ 軸312bまたは物体座標系の $z$ 軸312cに関して測定されるかに応じて、 $\gamma_y$ または $\gamma_z$ であり得る。これらの選択肢は、方向余弦としても既知の、以下の等式を使用して記述することができる。

$$r_{by} = \cos(\gamma_y)$$

$$r_{bz} = \cos(\gamma_z)$$

10

20

30

40

50

## 【0053】

3つの方向余弦を測定することに相当する、物体からビーコンへの方向ベクトル306を完全に画定する方法は、物体座標系の軸312a、312b、または312cのうち、任意に指定されたものに対する「仰角」の角度および「方位角」の角度の両方を測定することである。物体座標系のx軸312a等、任意のゼロではないベクトルは、物体座標系のx軸312aに垂直である物体座標系312の中心からの全ベクトルから構成される、固有の「法線」2次元(2D)平面を決定することができる。具体的には、物体座標系のy軸312bおよび物体座標系のz軸312cは、水平の法平面に含まれる。物体座標系312を使用して、ベクトルrb306等、任意の3元ベクトルが、物体座標系のx軸312aの方向ではない空間にあると考えると、ベクトル306と2Dの水平法平面との間に「仰角」の角度が存在する。

10

## 【0054】

図3Aにおいて、衛星304に対する仰角は、図の2D射影がz軸312cのすぐ上にベクトル306を示しているため、「ボアサイト」角gammaz310と同一であることがわかる。より一般的には、異なる透視図においては、ベクトル306が、z軸312cから離れて、x軸312aを中心に「方位角」角度を通って回転し、ボアサイト角gammaz310が、水平面上で仰角よりも大きくなることをもたらす場合がある。

## 【0055】

ヘリコプター302は、ヘリコプターの回転翼上に配設される、アンテナ314a、314b、および314cのアレイを有する。アンテナアレイは、ナビゲーションシステムの複数の衛星のうちの1つであろう衛星304(他のものは図3Aには示されない)を含む、衛星ナビゲーションシステムからの伝送を受信する。アンテナアレイの構成要素は、図3Aに示されるものよりも多いかまたは少なくてもよく、例えば、アンテナアレイ構成要素の数は、回転翼の数に直接対応していてもよい。アンテナは、回転翼が回転すると回転し、したがって、アンテナアレイは、方向アンテナの能力を有する。

20

## 【0056】

図3Bに示されるように、物体座標系356を有する円筒形のアンテナアレイ352は、伝送ベクトル358に沿って、電磁ビーコン354からの伝送を受信する。伝送ベクトル358は、物体座標系のz軸356aからの伝送ベクトル358のオフセットに関する方位角360、ならびに伝送ベクトル358とz軸356aおよびy軸356cを含む平面との間の角度に関する仰角362によって画定することができる。

30

## 【0057】

図3Aに戻り、ベクトル306は、したがって、3つの方向余弦角度、または方位角および仰角のいずれかによって、同等に画定することができる。方位角を判定するための垂直のx軸312aの選択は、ヘリコプターの回転翼上のアンテナアレイ要素314a、314b、314cの水平構造によって動かされる。回転翼が回転しているとき、例えば、アンテナアレイ314a～cの物理的な回転は、ビーコン304からの電磁信号を変調し、x軸312aに対する方位角の測定を補助する。

## 【0058】

ベクトル方向の正確な測定値を得るために専用センサを使用する代わりに、物体配向の低費用な推定は、例えば、スカラー方位角測定値のみを使用することによって、仰角または方向余弦のいずれの測定も要することなく、部分的な方向情報を使用して行うことができる。図2に示されるように、例示図200は、物体の周囲に配設される複数のビーコンの方位角変位を図示する。地球表面付近の飛行機202は、地球の周囲を回る、3つの衛星204a、204b、および204cのセットと通信している。飛行機202の配向は、飛行機202の物体座標系206a～cに関して記述することができる。衛星204のそれぞれの方向は、一般論として、物体座標系206の中心から、各衛星204a、204b、または204cへのベクトル測定208a、208b、および208cのセットを使用して記述することができる。しかしながら、物体座標系206の配向は、単純に、方位角210a、210b、210cの測定によって判定することができる。図2において

40

50

、方位角は、y 軸 2 0 6 c を方位角ゼロの基準として使用して、x 軸 2 0 6 a に沿って測定される。方位角 2 1 0 a 、 2 1 0 b 、 2 1 0 c は、以下のように画定することができる。

#### 【0 0 5 9】

物体座標系の x 軸 2 0 6 a 等の任意のベクトルが、物体座標系 x 軸 2 0 6 a に垂直である物体座標系 2 0 2 の中心からの全ベクトルから構成される固有の「法線」 2 次元 ( 2 D ) 平面 2 1 2 を画定する。換言すると、物体座標系の y 軸 2 0 6 c および物体座標系の z 軸 2 0 6 b は、水平法平面 2 1 2 に含まれる。物体座標系 2 0 6 を使用して、ベクトル r b 2 0 8 a 等、任意の 3 元ベクトルが、物体座標系の x 軸 2 0 6 a の方向ではない空間にあるとすると、物体座標系の x 軸 2 0 6 a およびベクトル r b 2 0 8 a の両方を含む、別の固有の 2 D 平面 ( 図 2 には示されない ) が存在する。この新しい平面は、物体座標系の x 軸 2 0 6 a に平行であり、法平面 2 1 2 と直線で交差する。したがって、法平面 2 1 2 の線と、物体座標系の x 軸 2 0 6 a に平行な平面との間の対応を確立する。

10

#### 【0 0 6 0】

物体座標系の x 軸 2 0 6 a の射影演算子と称される、 $3 \times 3$  行列 P が存在し、任意のベクトル r b を、物体座標系の x 軸 2 0 6 a に対する法平面 2 1 2 に位置する射影ベクトル P \* r b に射影する。定義上、

$$r_b = [ r_{bx}, r_{by}, r_{bz} ]$$

#### 【0 0 6 1】

さらに、結果として以下となる。

20

$$P * r_b = [ 0, r_{by}, r_{bz} ]$$

#### 【0 0 6 2】

r b は、単位ベクトルであると仮定され、さらに、前に判定されたように、r b x が cos ( gamma\_x ) に等しいと考えられるため、結果として、射影ベクトル P \* r b の長さは、sin ( gamma\_x ) に等しい。

30

#### 【0 0 6 3】

射影ベクトル P \* r b は、物体座標系の y 軸 2 0 6 c および物体座標系の z 軸 2 0 6 b それぞれに関して、方位角変位角度 mu\_y\_210 および mu\_z ( 図示されない ) を使用して記述することができる。これらの角度は、法平面 2 1 2 における角度が、3 元空間における角度と同一ではないため、ボアサイト角 gamma\_y またはボアサイト角 gamma\_z 310 ( 図 3 A に関連して記載される ) と同一ではないことに留意されたい。

#### 【0 0 6 4】

物体座標系の y 軸 2 0 6 c および物体座標系の z 軸 2 0 6 b は、垂直であるため、mu\_y\_210 が既知となると、角度 mu\_y\_210 および mu\_z は、90 度で異なるため、mu\_z を容易に導くことができる。このようにして、方位角 mu\_y\_210 と称され、物体座標系の y 軸 2 0 6 c に関する射影ベクトル P \* r b の角度として本明細書に記載される、各ビーコンに対する単一の角度を測定することに焦点を置くことができる。

30

#### 【0 0 6 5】

図 2 に戻り、第 1 の方位角 2 1 0 a は、物体座標系 2 0 6 の中心から第 1 のビーコン 2 0 4 a に延在する、単位ベクトル「 r 」 2 0 8 a から射影されるベクトルの位置を示す。同様に、第 2 の方位角 2 1 0 b は、物体座標系 2 0 6 の中心から第 2 のビーコン 2 0 4 b に延在する単位ベクトル「 r 」 2 0 8 b から射影されるベクトルの位置を示し、第 3 の方位角 2 1 0 c は、物体座標系 2 0 6 の中心から第 3 のビーコン 2 0 4 c に延在する単位ベクトル「 r 」 2 0 8 c から射影されるベクトルの位置を示す。

40

#### 【0 0 6 6】

実施においては、方位角そのものよりも、方位角 mu\_y\_210 および mu\_z ( 図示されない ) の余弦を測定することが便利な場合がある。方位角 mu\_y\_210 および mu\_z の余弦は、以下の等式によって表すことができる。

$$m_v = \cos ( mu_y )$$

$$m_w = \cos ( mu_z )$$

50

## 【0067】

3元空間において、 $x$ 軸 $206a$ に関するボアサイト角 $\gamma_{\text{amma}}_x$ （図示されない）は、以下の等式を使用して表すことができる。

$$\begin{aligned}s g x &= \sin(\gamma_{\text{amma}}_x) \\c g x &= \cos(\gamma_{\text{amma}}_x)\end{aligned}$$

## 【0068】

上述の等式を使用して、単位ベクトル（物体座標系からビーコンに延在する）および射影ベクトル（法平面 $212$ に関して物体座標系からのビーコンの方向を示す）に関して、以下を導くことができる。

$$\begin{aligned}P * r b &= s g x * [0, m v, m w] \\r b &= [c g x, s g x * m v, s g x * m w]\end{aligned}$$

10

## 【0069】

これらの等式を使用して、例えば、ボアサイト角 $\gamma_{\text{amma}}_x$ が測定されていなかつたとしても、方位角の測定値に基づいて、物体配向を判定するためのアルゴリズムを構築することができる。方位角測定値自体は、いくつかの実施例において、専用センサ（例えば、図1に関して記載される、受信機 $102$ の方向決定モジュール $118$ に含まれる）を使用して判定することができる。各ビーコンと物体座標系との間の方位角を測定することに加えて、いくつかの実装において、さらに、センサ（1つまたは複数）は、方位角速度としても称される、各方位角の導関数を判定することができる。

20

## 【0070】

方位角測定値を判定する際、回転可能なアンテナ等の方向変換器を使用して、法平面に関するビーコンの仰角に関係なく、物体位置からの各ビーコンの方位角を判定することができる。図3Aに示されるように、いくつかの実装において、1つ以上のアンテナを、ヘリコプターの回転翼上に載置することができ、翼の回転が、アンテナ（1つまたは複数）での方向決定を達成するために必要な回転を提供する。他の実装において、電気的に回転されるアンテナアレイを使用して、方位角測定値を判定することができる。例えば、図3Bに示されるように、複数のアンテナ要素 $366$ を、円筒形のアンテナアレイ $352$ の径の周囲に載置することができる。アンテナ要素の電気位相は、方位角に敏感な方向ビームを作製するように、調整することができる。電気位相を変更することにより、円筒形アンテナアレイ $352$ の方向ビームの、その物体座標系の $x$ 軸 $356b$ を中心とした回転 $364$ をもたらすことができる。円筒形のアンテナアレイ設計は、方位角 $m u_y 360$ を仰角 $362$ よりも正確に測定することができる。仰角 $362$ を使用することなく、方位角 $m u_y 360$ は、ビーコン $354$ への方向 $358$ についての必要な部分的情報を提供する。方位角 $m u_y 360$ の測定に加えて、いくつかの実装において、アンテナアレイ $352$ はまた、物体が回転するか、またはビーコン $354$ が移動する際、方位角 $m u_y 360$ の変化速度を測定することができる。

30

## 【0071】

図4は、物体の空間的配向情報を判定するための例示的プロセス $400$ のフローチャートである。簡略的には、プロセス $400$ は、方位角情報、および任意で、それぞれがナビゲーションシステムの複数のビーコンのうちの異なるものから発生する3つ以上の電磁信号セットに関連する方位角情報の変化速度を検出する。検出された方位角情報に基づいて、さらに仰角情報の検出を必要とすることなく、物体の空間的配向を推定することができる。さらに、検出された方位角情報の変化速度を使用して、物体の角速度をさらに推定することができる。プロセス $400$ は、いくつかの実施例において、図1に関して記載される、受信機 $102$ および6DOF物体状態推定機 $108$ によって実行することができる。

40

## 【0072】

プロセス $400$ は、それぞれがナビゲーションシステムの複数のビーコンの異なるものからの電磁信号のセットを受信することで開始する（402）。物体の通信領域にある3つ以上のビーコンは、例えば、ナビゲーション方向または各ビーコンの既知の位置を決定

50

するために変換され得る電磁信号セットと通信し、ビーコンは、互いに対しても異なる位置にある（例えば、物体に関連する単一の線内にない）。

#### 【0073】

電磁信号セットは、回転可能なアンテナ等の方向変換器によって受信することができる。第1の実施例において、回転可能なアンテナは、回転物体（例えば、ミサイル、または他の発射体）内に位置付けられる1つ以上のアンテナ、例えば、回転物体内に載置され、それに関して固定された小さなマイクロ波パッチアンテナを含むことができる。第2の実施例において、アンテナまたはアンテナアレイを、物体に対して画定された配向で、軸を中心に物理的に回転することができる（例えば、物体内またはその上で回転する回転盤に載置される、ヘリコプターの回転翼に載置される）。第3の実施例において、アンテナパターンのアンテナアレイは、アンテナパターンの振幅または位相を、軸を中心に回転させることによって、電気的に回転することができる。

10

#### 【0074】

電磁信号セットは、物体と見通し線通信にあるビーコンから到来し得るか、または信号は、物体が信号のナビゲーション方向を理解することができる方法で、物体に送られ得る。いくつかの実施例において、電磁信号セットは、GPSもしくはGLONASS航法衛星等の通信衛星、または陸上もしくは水上無線周波ビーコンから到来していてもよい。いくつかの実装において、3つのビーコンおよび物体は、好ましくは、全てが単一の平面内にない。

20

#### 【0075】

いくつかの実装において、電磁信号セットは、天体暦データと称される、ビーコンの正確な位置に関する情報を含む。いくつかの実施例において、天体暦データは、GPS形式、Ephemerides of the Planets and the Moon (EPM)形式(the Russian Institute for Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciencesにより開発)、またはIntegration Numerique Planetaire de l'Observatoire de Paris (INPOP)形式(the Institut de Mecanique Celeste et de Calcul des Ephemerides of Franceにより開発)を通じて導くことができる。物体内の受信機は、いくつかの実装において、ビーコンの既知の位置またはナビゲーション方向を、電磁信号セット内で、物体に通信されるビーコン識別コードを使用することによって、導くために使用することができる。

30

#### 【0076】

各電磁信号セットの到来方向は、ナビゲーション基準データセットに変換される(404)。例えば、電磁信号セットに基づいて、物体の受信機は、既知のナビゲーション座標系に関する物体の位置（例えば、物体座標系の中心のナビゲーション座標）を判定することができる。基準データセットは、いくつかの実装において、物体の速度をさらに含むことができる。基準データセットは、いくつかの実施例において、標準的なGPS復調および処理法を使用して決定することができる。

40

#### 【0077】

方位角情報を、各電磁信号セットに対して検出する(406)。例えば、物体座標系のyおよびz軸から構成される法平面に関するビーコンの射影ベクトルの方向を、ビーコンによって通信されている電磁信号をサンプリングすることにより検出し、ピーク信号振幅点を判定することができる。例えば、回転可能なアンテナ等の方向変換器を使用して、各ビーコンがピーク信号振幅点を示す方向を判定することができる。いくつかの実装において、物体の受信機内の専用センサは、物体座標系に対する方位角または方位角の余弦を測定することができる。

#### 【0078】

任意で、方位角情報の変化速度を、各電磁信号セットについて測定することができる(408)。例えば、ビーコンの方位角は、受信機システムによって追跡される、各ビーコ

50

ンの整列時間を測定し、収集された整列時間の全ての加重和を計算することによって判定することができる。

#### 【0079】

方位角情報が変化している速度を、受信機内の時間に関して複数の方位角測定を行うことによって判定することができる。いくつかの実装において、物体内部の受信機は5ヘルツ以上の速度で測定値を報告することができる。測定期間は、いくつかの実装において、物体の性質に部分的に基づいて決定される。回転物体の配向の変化速度の判定は、より短い測定期間を要するため、例えば、高周波コーニング運動は、適度な正確さで計算することができる。

#### 【0080】

有効な推定値を得るために、いくつかの実装において、追跡される各ビーコン（例えば、3つ以上のGPS衛星）に対して、同じ回数の測定をコンパイルしてもよい。例えば、特定のビーコンに関連する特定の測定が、通信問題のために行われなかった場合、そのビーコンは、方位角情報の変化速度を判定する際の計算プロセスから除外され得る。

#### 【0081】

方位角( $mu_y$ )の変化速度( $mu_ydot$ )は、以下の等式によって定義することができる。

$$\begin{aligned}mvdot &= -\sin(mu_y) * mu_ydot \\mwdot &= -\sin(mu_z) * mu_zdot\end{aligned}$$

#### 【0082】

検出された方位角情報を、物体測定データセットに変換する(410)。方位角の測定で開始して、方位角の余弦は、以下の等式により表すことができる。

$$\begin{aligned}mv &= \cos(mu_y) \\mw &= \cos(mu_z)\end{aligned}$$

#### 【0083】

値 $mv$ および $mw$ は、受信機から物体状態推定モジュールに提供され得るか、または代替として、提供された方位角情報に基づいて、物体状態推定モジュールによって計算され得る。一般的に、物体測定データセットの形式は、物体配向が、どのようにして特定の実装に記述されることになるかに依存する。いくつかの実装において、方向余弦行列(DCM)等の $3 \times 3$ の回転行列Aは、ナビゲーション座標系で示されるベクトルから、物体座標系で示されるベクトルへの変換を記述することができる。物体配向を表す別の方法は、4元数と称される単一の4元ベクトルを通じて表され、数学的に以下のように表される。

$$e = [e_0, e_1, e_2, e_3]$$

#### 【0084】

3つのオイラー角は、いくつかの実装において、例えば、ニュートンの法則を使用して、直接操作することができる。いくつかの実装において、上述の方法のいずれも、実質的に等しいと見なすことができるため、空間的配向を求める際に、行列計算とオイラー角計算との間にいくらかの入れ替えが成されてもよい。

#### 【0085】

(408)において方位角情報の変化速度が測定されると、方位角情報は、物体測定行列に変換される(412)。一般的に、物体測定速度データセットの形式は、物体の速度が、どのようにして特定の実装において記述されることになるかに依存する。いくつかの実装において、角速度ベクトルの絶対値を使用して、回転の速度を、例えば、1秒あたりの全サイクル数（例えば、ヘルツ）、または1秒あたりの数学的ラジアンで、特定することができる。物体座標系において、3つの成分 $[p, q, r]$ は、物体軸の瞬時位置を中心とした物体の回転の組み合わせ速度を表すことができる。

#### 【0086】

直線関係が、以下の等式によって示される、オイラー角の導関数と  
 $eulerdot = [yawdot, pitchdot, rolldot]$

#### 【0087】

10

20

30

40

50

角速度の  $p$   $q$   $r$  成分との間に存在する。 $3 \times 3$  行列  $M_1$  を、オイラー角（例えば、ヨー、ピッチ、およびロール）の三角関数の条件を使用して構築することができ、以下の一次方程式が適用できる。

$$euler\_dot = M_1 * [p, q, r]$$

【0088】

別の実施例において、4元数4元ベクトルの導関数

$e\_dot = [e_0\_dot, e_1\_dot, e_2\_dot, e_3\_dot]$  は、

【0089】

以下の直線関係を示す、 $4 \times 3$  行列  $M_2$  を使用して、 $[p, q, r]$  3次元ベクトルにもまた関連し得る。

$$e\_dot = M_2 * [p, q, r]$$

【0090】

行列  $M_2$  の成分は、例えば、オイラー角に依存する行列  $M_1$  の成分と類似の方法で、4元数  $e$  の成分から導くことができる。上述の方法のいずれも、実質的に等しいと見なすことができるため、4元数の導関数と、オイラー角の導関数と、角速度との間のいくつかの入れ替えが、物体の角速度を求める再の計算に成されてもよい。

【0091】

既知のナビゲーション座標系に関する物体座標系の空間的配向を、判定する(414)。利用可能な情報は、物体測定データセットおよびナビゲーションデータセット内に格納される。物体測定データセットは、方位角に対する余弦  $m_v$  および  $m_w$  を含む。物体測定データセットは、ビーコンについての仰角情報（ボアサイト角  $gamma_x$  に等しい）を含まない。空間的配向の判定は、以下の等式により定義される、方向余弦ベクトル  $r_b$  についての部分的な情報を用いて進行し、

$$r_b = [c_{gx}, s_{gx} * m_v, s_{gx} * m_w]$$

【0092】

$gamma_x$  の余弦  $c_{gx}$  および正弦  $s_{gx}$  は、依然として未知である。ナビゲーションデータセットは、ナビゲーション座標系で示されるビーコンの方向余弦ベクトルの座標を含まない。これらの既知のナビゲーションベクトルは、本明細書に次のように定義される。

$$r = [r_x, r_y, r_z]$$

30

【0093】

例えば、ナビゲーション座標系に対する物体の空間的配向は、以下の等式に使用可能な何らかの未知の DCM  $A$  によって記述することができる。

$$r_b = A * r$$

【0094】

DCM  $A$  およびボアサイト角  $gamma_x$  のいずれも、物体座標系の空間的配向を決定することを見出すことができる未知の変数である。これは、費用関数  $J(A)$  を最小化することによって求められる。費用関数  $J(A)$  は、以下の方程式により表されるエラーベクトルの長さの全加重和（二乗）を使用して、得ることができる。

$$err = r_b - A * r$$

40

【0095】

ベクトル  $r_b$  の成分が、方位角測定に関連するため、スカラー最適化問題を反復して解き、物体の空間的配向を推定することができる。最適化は、ローカルナビゲーション座標から、物体座標系の座標へ変換する  $3 \times 3$  DCM  $A$  をもたらし、各ビーコンに対する未知のボアサイト角  $gamma_x$  を推定する。いくつかの実装において、測定のエラーおよび不確実性のため、解までの各測定の寄与は、測定の正確さの推定に応じて判断することができる。例えば、取得される測定値の数が多いほど（例えば、4つ以上のビーコンに関連する測定）、達成され得る正確性が高くなる。

【0096】

物体測定速度行列を形成し(410)、物体座標系の角速度の近似値を、反復してリフ

50

アインする(416)。まず、物体座標系の角速度の推定値が、初期化され得る。初期化に使用する値は、物体の状況に応じて多様であってもよい。例えば、物体が、回転発射体であることが既知の場合、物体座標系の角速度は、より大きな速度に初期化され得る。別の実施例において、物体が、その飛行パターンを開始する飛行機またはヘリコプターである場合、物体座標系の角速度は、車両の加速度に基づいて初期化されてもよい。以前の物体座標系の角速度の測定値が計算されている場合、初期化は、以前の計算に部分的に基づいて行われてもよい。

#### 【0097】

初期化された値は、DCM、オイラー角、または4元数の導関数を推定するために使用することができる。ビーコンのそれぞれから取得された測定値に関連する速度行列(例えば、上述のeulerdotまたはedot)を、反復してリファインすることができる。物体座標系の角速度は、次に、DCM、オイラー角、または4元数の導関数から計算することができる。

#### 【0098】

角速度推定の正確さを確認するために、二次エラー値が計算されてもよい。これが、推定値の反復の初めての実行ではない場合、二次エラー値を以前に計算された二次エラー値と比較して、推定値が、所望の正確度に達したかどうかを判定することができる。比較が失敗した場合、反復プロセスは、DCM、オイラー角、または4元数の導関数の推定を継続し得る。

#### 【0099】

いくつかの実装において、反復は、二次エラー値比較が、少なくとも既定数の有効数字(例えば、3、4、または6)について、現在の二次エラー値が以前の二次エラー値と等しいことを判定するまで、継続し得る。反復は、いくつかの実装において、一定回数の反復後または特定の期間が経過した後、中断されてもよい。例えば、角速度推定の反復は、新しい測定値が利用可能であることか、または電力消費の制限のために、短く切り上げられてもよい。

#### 【0100】

より多いかまたはより少ないステップが、プロセス400内に含まれてもよく、ステップのうちのいくつかは、記載されるものとは異なる順序で行われてもよい。いくつかの実装において、変化速度に加えて、加速度を推定することができる。いくつかの実装において、物体の位置および速度は、計算されない。例えば、携帯電話基地局のようにビーコンが固定であり、物体の位置が必要でない場合、プロセス400は、位置および速度情報を無視し、物体の空間的配向に関する情報の計算のみを行うことができる。これは、例えば、進路情報を、図的表示で操作者に提供する際に、適用可能である。

#### 【0101】

図5は、4元数を使用して、方位角情報から物体の空間的配向を判定するための例示的プロセス500のフローチャートである。簡略的には、プロセス500に利用可能な情報は、図4に関連して記載される、変数mw、mv、rb、およびrに関連する情報を含む、物体測定データセットおよび物体ナビゲーション基準データセットを含むことができる。物体ナビゲーション基準データセットは、例えば、物体座標系内に画定されるN個のナビゲーションベクトル、 $3 \times N$ 行列R(例えば、列がN個のナビゲーションベクトルである)に配設されるナビゲーションベクトル成分を含むことができる。行列Rの階数を判定する際、ナビゲーションベクトルの少なくとも3つが、一次独立であることが想定され得る。これは、例えば、GPS衛星を使用する場合に典型的である。本明細書に使用する際、方程式または等式内のアポストロフィは、ベクトルまたは行列の転置を取ることを指す。

#### 【0102】

プロセス500の目標は、既知のナビゲーション座標系から物体座標系の座標へ変換するために使用することができる、 $3 \times 3$ の方向余弦行列(DCM)Aを決定することである。物体座標系の軸の座標が、既知のナビゲーション座標系におけるベクトルとして書か

10

20

30

40

50

れる場合、3つの異なるベクトル $u$ 、 $v$ 、および $w$ を使用して、 $x$   $y$   $z$  物体座標軸を、既知のナビゲーション座標系における $3 \times 1$ 列ベクトルとして、定義することができる。以下のように、DCMは、 $3 \times 3$ 行列として定義することができ、

$$A = [ u' , v' , w' ]$$

## 【0103】

行は、行ベクトルに転置された $3 \times 1$ 列ベクトルの成分である。

## 【0104】

各ナビゲーションベクトル $r$ について、

$$r_b = A * r = [ u' * r , v' * r , w' * r ] を、$$

## 【0105】

$3 \times 1$ 列ベクトルとして表すことができる。

## 【0106】

図3Aに関連して記載されるように、3元のボアサイト角 $\gamma_{amma\_x}$ を、以下の等式を使用して表すことができる。

$$\begin{aligned} sgx &= \sin(\gamma_{amma\_x}) \\ cgx &= \cos(\gamma_{amma\_x}) \end{aligned}$$

## 【0107】

ボアサイト角 $\gamma_{amma\_x}$ を使用して、エラーべクトルを以下のように表すことができる。

$$err = r_b - A * r = [ cgx - u' * r , sgx * mv - v' * r , sgx * mw - w' * r ] \quad 20$$

## 【0108】

この時点では、ナビゲーションベクトル $r$ 、方位角余弦測定 $mv$ 、および方位角余弦測定 $mw$ は、既知の値である。

## 【0109】

プロセス500は、物体座標系の現在の姿勢の推定値を表す姿勢4元数の初期化で開始する(502)。4元数に関する問題を再計算して、単位4元数 $e$ において、3つの独立した未知数が存在することを認識することができる。図4に関連して導入した、費用関数 $J(A)$ に戻り、修正費用関数 $J(A(e))$ を、未知の4元数 $e$ 、既知のナビゲーションベクトル $r$ 、および既知の方位角余弦測定 $mv$ および $mw$ の関数として定義することができる。

## 【0110】

最適化問題は、以下の形態の固有ベクトル問題をもたらし、

$$H * e = lambada * e$$

## 【0111】

$e$ は4元数であり、 $H$ は、ベクトル測定 $r_b$ から導かれる $4 \times 4$ 角度固有行列 $H$ である。

## 【0112】

角度固有行列 $H$ は、未知であり、未知のボアサイト角 $\gamma_{amma\_x}$ 、ならびに既知の方位角余弦測定 $mv$ および $mw$ に依存している。スカラー測定を使用して、角度固有行列 $H$ を、ボアサイト角 $\gamma_{amma\_x}$ の近似値で開始する、4元数 $e$ を判定するための固有ベクトル問題を解く際に同時に推定することができる。

## 【0113】

$J(A(e))$ の最小化は、ナビゲーションベクトル $r$ の成分および方位角の余弦測定 $mv$ および $mw$ に単に依存する、既知の $4 \times 4$ 行列 $H_m$ について、スカラー量を最小化することと同一であることが判明し、

$$J(e) = (sgx - e' * Hm * e)^2$$

## 【0114】

費用関数 $J(e)$ は、未知パラメータ $sgx$ に明示的に依存するが、 $sgx$ の値は、默示的に $e$ に依存する。これは、二次的に制約される二次問題を導き、 $e$ が単位4元数であ

るという制約を維持するためにラグランジュ乗数を付加し、4元数成分に関して微分する場合、固有ベクトル問題は、以下をもたらす。

$$(H - \lambda m b d a * I) * q = 0$$

### 【0115】

固有行列  $H$  は、默示的にパラメータ  $s g x$  に依存する。この固有ベクトル問題は、4つの異なる固有値  $\lambda m b d a$  を用いて、4つの固有ベクトル  $q$  によって解くことができる。所望の姿勢 4 元数  $e$  は、この実施例において、正しいパラメータ  $s g x$  に対して最も大きな固有値  $\lambda m b d a$  を伴う固有ベクトル  $q$  である。

### 【0116】

パラメータ  $s g z$  に対する推定値を考慮すると、角度固有行列  $H$  は、ナビゲーション基準データセットおよび物体測定データセットからの基準値を使用して確立される(504)。既知のナビゲーションベクトル  $r$  のみに依存する  $3 \times 4$  行列  $H_u$ 、 $H_v$ 、および  $H_w$  を定義し、どのように角度固有行列  $H$  もまた、既知のボアサイト角  $g a m m a_x$  および測定余弦  $m_v$  および  $m_w$  に依存するかを示すことができる。角度固有行列  $H$  は、明示的に、ボアサイト角  $g a m m a_x$  の余接に依存する。

10

### 【0117】

#### 【数1】

$$ctn = \frac{cgx}{sgx}$$

20

### 【0118】

具体的には、角度固有行列  $H$  は、次の等式に一致する。

$$H = m_v * H_v + m_w * H_w + ctn * H_u$$

### 【0119】

これらの  $4 \times 4$  行列を、各ナビゲーションベクトル  $r$  に対して得ることができる。固有値問題を正しく提起するために、ナビゲーションベクトル  $r$  の全  $N$  個に対する寄与の和(または、任意で加重和)を形成することができる。少なくとも 3 つのビーコンに対するデータは、例えば、一意解を判定する必要がある場合がある。いくつかの実装において、小さなボアサイト角  $g a m m a_x$  を有するあらゆるナビゲーションベクトル  $r$  に対する寄与は、余接が無限であるために、無視することができる。したがって、 $N$  個の異なる角度固有行列が、測定および追跡されている場合であっても、方位角余弦測定  $m_v$  および  $m_w$  の信頼性が高く、ボアサイト角  $g a m m a_x$  が小さすぎないような角度固有行列のみが、最小二乗解を計算する際に使用可能である。

30

### 【0120】

このアルゴリズムを適用する際、例えば、MatLabにおいて、以下の計算を使用して、角度固有行列を確立し、姿勢 4 元数  $e$  を初期化することができる。

### 【0121】

まず、全  $N$  個のナビゲーションベクトル  $r$  に対して、全ての  $4 \times 4$  行列(例えば、 $H_u$ 、 $H_v$ 、 $H_w$ )の格納を初期化することができる。

```
Hur = zeros(N, 4, 4);
Hvr = zeros(N, 4, 4);
Hwr = zeros(N, 4, 4);
```

40

### 【0122】

次に、各ナビゲーションベクトル  $r$ ( $1 \sim N$ )に対する行列を定義することができる。

### 【0123】

ベクトル成分および余弦測定を、 $3 \times N$  行列  $R$  に配設されるナビゲーションベクトル成分から抽出することができる。

```
r_x = R(1, i);
r_y = R(2, i);
r_z = R(3, i);
```

50

【 0 1 2 4 】

 $u$  に対するナビゲーションベクトル  $r$  の射影の行列  $H_{u\ r}$  を、算出することができる。

【 0 1 2 5 】

【数 2】

$$Hu = \begin{bmatrix} rx & 0 & -rz & ry \\ 0 & rx & ry & rz \\ -rz & ry & -rx & 0 \\ ry & rz & 0 & -rx \end{bmatrix}$$

$$Hur(i,:,:)=Hu(:,:);$$

10

【 0 1 2 6 】

 $v$  に対する  $r$  の射影の行列  $H_{v\ r}$  を算出することができる。

【 0 1 2 7 】

 $w$  に対する  $r$  の射影の行列  $H_{w\ r}$  を算出することができる。

【 0 1 2 8 】

【数 3】

$$Hv = \begin{bmatrix} ry & rz & 0 & -rx \\ rz & -ry & rx & 0 \\ 0 & rx & rz & -ry \\ -rx & 0 & rz & -ry \end{bmatrix}$$

$$Hvr(i,:,:)=Hv(:,:);$$

20

【 0 1 2 9 】

30

ナビゲーション行列は、例えば、それらが、行列  $R$  においてナビゲーションベクトル  $r$  だけに依存するため、单一回だけ算出され得る。ナビゲーション行列は、次いで、以下のアルゴリズムで使用することができる。

【 0 1 3 0 】

基準姿勢 4 元数および角度固有行列を、反復してリファインする（506）。4 元数  $e$  を算出するためのアルゴリズムのコアは、4 元数  $e$  の初期近似値をリファインする反復的なプロセスを含む。反復が行われるたびに、例えば、4 元数  $e$  の以前の算出結果がリファインされたものになり、最終的な 4 元数  $e$  により近似の値を提供する。プロセスは、任意の回数で繰り返すことができるが、推定値が測定エラーにより偏ったものになる点に達する可能性がある。

【 0 1 3 1 】

40

4 元数リファインアルゴリズムの変形には、例えば、4 元数  $e$  に対する初期推定値を画定するための異なるアプローチが含まれる。一般的に、ローカルナビゲーション座標系に対する物体座標系のおおよその配向について既知であり得るものはいずれも、 $q$  に対する初期推定に組み込むことができる。これには、いくつかの実施例において、センサ測定、車両に関する開始バス情報、以前に計算された空間的配向の推定値、または物体の位置、配向、速度、または加速度に関する、他の測定もしくは計算された推定値が含まれる。4 元数方法の実施例を使用して、単に、4 元数  $e$  が単位 4 元ベクトルとして定義されるため、各近似値  $q$  は、単位 4 の 4 元ベクトルによって表すことができる。

【 0 1 3 2 】

以下の反復アルゴリズム例において、寄与は、単純化のために加重されていない。他の

50

実装において、個別の寄与が、加重され得る。

【0 1 3 3】

推定された4元数 $q$ を使用して、推定された4元数 $e$ のベクトル成分をまず抽出することによって、ボアサイト角 $gammam_x$ の全てに対する余接を推定することができる。

$$q = [ q_0, q_x, q_y, q_z ]$$

【0 1 3 4】

次に、物体 $x$ 軸ベクトル $u$ のローカルナビゲーション座標系の座標を形成することができる。

$$u = [ q_x^2 + q_0^2 - q_y^2 - q_z^2, 2 * (q_x * q_y + q_z * e_0), 2 * (q_x * q_z - q_y * q_0) ]$$

10

【0 1 3 5】

次に、物体座標系の $x$ 軸 $u$ から形成されたボアサイト角 $gammam_x$ の余弦、正弦、および余接を、以下のように推定することができる。

【0 1 3 6】

【数4】

$$\cos = u'^* R$$

$$\sin = \sqrt{1 - \cos^2}$$

$$\ctn = \frac{\cos}{\sin}$$

20

【0 1 3 7】

余接推定値を使用して、 $4 \times 4$ の角度固有行列 $H$ を再算出することができるようになる。

【0 1 3 8】

$4 \times 4$ 角度固有行列 $H_u$ 、 $H_v$ 、 $H_w$ 、および $H$ を、以下のように初期化することができる。

30

$$\begin{aligned} H_u &= zeros(4, 4); \\ H_v &= zeros(4, 4); \\ H_w &= zeros(4, 4); \\ H &= zeros(4, 4); \end{aligned}$$

【0 1 3 9】

角度固有行列 $H$ は、全てのナビゲーションベクトル $r$ をループすることにより $N$ 個のナビゲーションベクトル $r$ からの（加重）寄与を加算することによって算出することができ（ $i = 1 : N$ ）、

【0 1 4 0】

(1) ベクトル $r$ に対する角度固有行列を抽出し、

$$\begin{aligned} H_u(:, :) &= H_{ur}(i, :, :); \\ H_v(:, :) &= H_{vr}(i, :, :); \\ H_w(:, :) &= H_{wr}(i, :, :); \end{aligned}$$

40

【0 1 4 1】

(2) ナビゲーションベクトル $r$ に対する余弦方位角測定値を抽出する。

$$\begin{aligned} m_v &= M_v(1, i) \\ m_w &= M_w(1, i) \end{aligned}$$

【0 1 4 2】

(3) ナビゲーションベクトル $r$ の寄与を、角度固有行列 $H$ に加算する。

$$H = H + m_v * H_v + m_w * H_w + Ctnq(i) * H_u$$

50

## 【0143】

4元数測定値  $q$  は、今では、角度固有行列  $H$  を使用して、改善および再正規化することができる。

## 【0144】

## 【数5】

$$q = H^* q$$

$$q = \frac{q}{\|q\|}$$

10

## 【0145】

これは、初期4元数推定値  $q$  よりも良好な、実際の姿勢4元数  $e$  の近似値を提供する新しい単位4元数  $q$  をもたらす。推定された4元数  $q$  を使用して全てのボアサイト角  $g_{ammam\_x}$  に対する余接を推定すること、余接推定値を使用して角度固有行列  $H$  を再算出すること、ならびに結果として得られる4元数推定値  $q$  を改善および再正規化することを含む、ある回数の反復後、最終的な4元数推定値  $q$  は、姿勢4元数  $e$  に対する妥当な近似値となるはずである。

## 【0146】

いくつかの実装において、反復は、二次エラー関数が、実質的に改善を終えるまで、繰り返される。姿勢4元数  $e$  に対する実際の正確な測定値が既知である場合、二次エラー関数は、理想的には、各ナビゲーションベクトル  $r$  に対してゼロとなる。

$$J(e) = (sgx - e' * Hm * e)^2 = 0$$

20

## 【0147】

これに基づいて、利用可能な所定の測定データが、二次エラー推定を改善していないような場合は、反復を中止することができる。より正確な余弦測定値が後に利用可能になった場合、例えば、反復を再開することができる。

## 【0148】

リファインされた姿勢4元数を、同等のヨー、ピッチ、およびロール角に変換する(508)。例えば、DCMまたはヨー、ピッチ、およびロール角のオイラー角は、物体配向の異なる表示間の等式を現す従来的な方法を使用して、4元数推定値  $q$  から導くことができる。

30

## 【0149】

図6は、4元数を使用して、方位角速度情報から物体の角速度を判定するための例示的プロセス600のフローチャートである。4元数  $e$  および角度固有行列  $H$  に関する図5に関連して記載される方法と同様に、4元数の導関数  $e_{dot}$  は、方位角余弦測定  $mvdot$  および  $mwdot$  の導関数、ならびにボアサイト角  $gammam_x$  に依存する導関数行列  $Hdot$  を使用して、所定の方位角余弦測定  $mvdot$  および  $mwdot$  の導関数を計算することができる。4元数  $e$  の解とは異なって、しかしながら、4元数の導関数  $e_{dot}$  は、導関数行列  $Hdot$  の固有ベクトルではないことがわかる。

40

## 【0150】

一般的に、4元数の導関数  $e_{dot}$  を判定するために、 $H$  の固有ベクトルは、4元数の導関数  $e_{dot}$  が、固有ベクトル  $H$  の一次結合として表されることを可能にする方法で慎重に正規化され得る。角度固有行列  $H$  の場合、全ての固有値は、実質的に異なり、正規化は、容易かつ効率的に実行され得る。いくつかの実装において、より上位の4元数の導関数は、以下の原理を使用して、(例えば、物体の加速度を判定するために)より上位の固有行列から算出することができる。

## 【0151】

完全測定を想定して、姿勢4元数  $e$  は、固有値  $lambda$  に対応する、角度固有行列

50

$H$  の固有ベクトルである。4元数  $e$  は、以下の固有値方程式を常に満たし、

$$(H - \lambda \text{a m b d a}) * e = 0$$

### 【0152】

$H$  は、角度固有行列であり、 $e$  は、図5で固有値  $\lambda \text{a m b d a}$  に関して記述される姿勢4元数である。

### 【0153】

この方程式の導関数を取得することによって、2つの項の和を形成する。

$$(H - \lambda \text{a m b d a}) * e \text{dot} + (H \text{dot} - \lambda \text{a m b d a} \text{dot}) * e = 0$$

### 【0154】

$H \text{dot}$  および  $\lambda \text{a m b d a} \text{dot}$  が既知であれば、方程式を解くことができる。単純に、2つの  $4 \times 4$  行列  $H \text{mL}$  および  $H \text{mL} \text{dot}$  を定義し、 $e \text{dot}$  の解を求める。 10

$$H \text{mL} = H - \lambda \text{a m b d a}$$

$$H \text{mL} \text{dot} = H \text{dot} - \lambda \text{a m b d a} \text{dot}$$

$$H \text{mL} * e \text{dot} = -H \text{mL} \text{dot} * e$$

### 【0155】

$H \text{mL}$  は、唯一であり、固有ベクトル4元数  $e$  の方向にある。しかしながら、 $e' * e = 1$  の二次制約に基づいて、微分により  $e \text{dot}$  が  $e$  に対して垂直であるということになり、そのため、 $e \text{dot}$  が、 $e$  方向の自明でない成分を有するという心配がほとんどない。換言すると、 $e \text{dot}$  は、角度固有行列  $H$  の他の固有ベクトルの和と考えることができる。 20

### 【0156】

固有値の導関数を得るために、以下の方程式を微分することができる。

$$e' * (H - \lambda \text{a m b d a}) * e = 0$$

### 【0157】

これは、以下の方程式をもたらす。

$$\lambda \text{a m b d a} \text{dot} = e' * H \text{dot} * e$$

### 【0158】

固有値の導関数の解くことは、これもまた  $e \text{dot}$  に依存する  $H \text{dot}$  を判定することを伴う。

$H \text{dot}$  および  $e \text{dot}$  は、スカラー二次エラー関数  $J_2(e \text{dot})$  を最小化する、反復的な近似法によって同時に得ることができる。 30

$$J_2(e \text{dot}) = (H \text{mL} * e \text{dot} - H \text{mL} \text{dot} * e)^2$$

### 【0159】

測定された方位角余弦導関数が、2行ベクトル（例えば、 $1 \times N$  行列） $M \text{vdot}$  および  $M \text{wdot}$  に格納されていると仮定することから開始する。また、プロセス500（図5を参照）中に計算されたデータが利用可能であると仮定する。

### 【0160】

プロセス600は、物体座標系の角速度を初期化することで開始する（602）。 $3 \times 1$  角速度ベクトル  $pqr$  および他のデータ構造は、角速度の反復的なリファインメントが開始する前に初期化するものとする。角速度ベクトル  $pqr$  は、例えば、利用可能な追加の測定値、以前の推定値、または物体について既知の他の情報に基づいて、角速度の妥当な推定値に初期化することができる。いくつかの実装において、角速度ベクトルは、ゼロに初期化される。 40

### 【0161】

他の行列を、図5に関連して記載されるデータを使用して初期化することができる。標準的な行列の技術を、次の行列固有値方程式を満たす、算出のための角度固有行列  $H$ 、および  $4 \times 4$  固有ベクトル行列  $X$ 、および固有値の対角  $4 \times 4$  行列  $L$  に適用することができる。

$$H * X = L * X$$

### 【0162】

行列 X および L の列の順序は、以下になるように配設することができる。

$$\begin{aligned} X ( : , 4 ) &= e \\ L ( 4 , : ) &= l \ a \ m \ b \ d \ a \end{aligned}$$

### 【0 1 6 3】

特異行列 H - l a m b d a に対する擬似逆 H m L i n v を算出し、以下のように初期化することができる。

### 【0 1 6 4】

### 【数 6】

$$L m L i n v = z e r o s ( 4 , 4 )$$

$$LmLinv(1,1) = \frac{1}{(L(1,1) - lambda)}$$

$$LmLinv(2,2) = \frac{1}{(L(2,2) - lambda)}$$

$$LmLinv(3,3) = \frac{1}{(L(3,3) - lambda)}$$

$$Hm L i n v = X * L m L i n v * X'$$

10

20

### 【0 1 6 5】

H d o t を算出するために使用されるいくつかの  $4 \times 4$  行列もまた、初期化することができる。

$$\begin{aligned} H u &= z e r o s ( 4 , 4 ) ; \\ H v &= z e r o s ( 4 , 4 ) ; \\ H w &= z e r o s ( 4 , 4 ) ; \\ H d o t &= z e r o s ( 4 , 4 ) ; \end{aligned}$$

### 【0 1 6 6】

上述のように初期化されたこれらのデータ構造を用いて、角速度 p q r の反復的なりファインメントのためのステップを開始することができる。4 元数の導関数を、推定された角速度を使用して計算する (6 0 4)。例えば、4 元数の導関数 e d o t は、以下のように、近似角速度から推定することができる。

30

### 【0 1 6 7】

### 【数 7】

$$p = pqr(1)$$

$$q = pqr(2)$$

$$r = pqr(3)$$

$$\Omega_{omega} = \begin{bmatrix} 0 & -p & -q & -r \\ p & 0 & r & -q \\ q & -r & 0 & p \\ r & q & -p & 0 \end{bmatrix}$$

$$edot = (0.5) * \Omega_{omega} * e$$

40

50

## 【0168】

角度固有行列の導関数および固有値を計算する(606)。導関数 H d o t および l a m b d a d o t は、例えば、以下のプロセスにより算出することができる。

## 【0169】

まず、ナビゲーション座標系内の物体座標系の X 軸の導関数を、以下のように推定することができる。

## 【0170】

## 【数8】

$$\begin{aligned} e_0 \text{dot} &= e \text{dot}(1, 1); \\ e_x \text{dot} &= e \text{dot}(2, 1); \\ e_y \text{dot} &= e \text{dot}(3, 1); \\ e_z \text{dot} &= e \text{dot}(4, 1); \\ u \text{dot} &= 2 * \begin{bmatrix} ex \text{dot} * ex + e0 \text{dot} * e0 - ey \text{dot} * ez \text{dot} \\ ex \text{dot} * ey + ey \text{dot} * ex + e0 \text{dot} * ez \text{dot} + ez \text{dot} * e0 \text{dot} \\ ez \text{dot} * ex \text{dot} + ex \text{dot} * ez \text{dot} - e0 \text{dot} * ey \text{dot} - ey \text{dot} * e0 \text{dot} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

10

## 【0171】

次に、ボアサイト角 g\_a\_m\_m\_a\_x に対する三角導関数を、以下のように推定することができる。

20

## 【0172】

## 【数9】

$$\begin{aligned} C \cos \text{dot} &= u \text{dot}' * R \\ S \sin \text{dot} &= -C \text{dot} * C \cos \text{dot} \\ C \text{dot} &= \frac{(C \cos \text{dot} * S \sin \text{dot}) - (S \sin \text{dot} * C \cos \text{dot})}{S \sin^2} \end{aligned}$$

30

## 【0173】

ナビゲーションベクトル r からの固有行列の導関数 H d o t への寄与の和を、以下のように、(図5に関連して記載される) プロセス 500 からのデータを使用して、得ることができる。

$$H \text{dot} = 0 * H \text{dot}$$

## 【0174】

i = 1 : N について、  
 $H_u(:, :) = H_{ur}(:, :, :, :);$   
 $H_v(:, :) = H_{vr}(:, :, :, :);$   
 $H_w(:, :) = H_{wr}(:, :, :, :);$   
 $H \text{dot} = H \text{dot} + M_{vdot}(1, i) * H_v + M_{wdot}(1, i) * H_w + C_{tdot}(1, i) * h_u$

40

## 【0175】

終了

## 【0176】

固有値 l a m b d a d o t の導関数を、以下のように推定することができる。

$$l \text{ambdado}t = e' * H \text{dot} * e$$

## 【0177】

導関数を使用して、角速度を計算する(608)。例えば、4 元数の導関数 e d o t は、l a m b d a d o t および固有行列の導関数 H d o t の推定値に基づいて、計算できるようになる。

50

```
HmLdot = Hdot - lambdadot
edot = -1 * HmLinv * HmLdot * e
```

## 【0178】

物体座標系の角速度を、4元数の導関数から計算する(608)。例えば、以下の行列方程式を解いて、角速度ベクトルp q rを推定することができるようになる。

## 【0179】

## 【数10】

$$D = (0.5) * \begin{bmatrix} -ex & -ey & -ez \\ e0 & -ez & ey \\ ez & e0 & -ex \\ -ey & ex & e0 \end{bmatrix}$$

$$edot = D * pqr$$

$$pqr = \frac{D}{edot}$$

10

## 【0180】

上述の方程式の結果が、実際の角速度をより近似に求めるために使用可能な物体座標系の角速度の新しい推定値である。

20

## 【0181】

二次エラー値を計算する(610)。例えば、以下の算出を実行し、J2(edot)の値を確保することができる。

$$J2(edot) = (HmL * edot - HmLdot * e)^2$$

## 【0182】

エラー値が、実質的に、以前に計算されたエラー値と同一である場合(612)、プロセス600は終了する。そうでなければ、プロセス600は、物体座標系の角速度を使用して、4元数の導関数を推定することに戻る(604)。

30

## 【0183】

ある回数で(604)から(610)の反復を繰り返した後、例えば、結果として得られる角速度p q rの推定値は、十分に正確であることが予想される。図5に関連して記載される4元数eを推定するためのアルゴリズムにあるように、4元数の導関数edotに対する実際の正確な測定値が既知の場合、二次エラー関数J2(edot)は、同様にゼロとなるであろう。

$$J2(edot) = 0$$

## 【0184】

これに基づいて、反復は、与えられた利用可能な測定値データが、二次エラー推定を改善していないような場合に、中止され得る。より正確な余弦の導関数測定値が、後に利用可能になった場合、例えば、反復を再開することができる。

40

## 【0185】

図7Aは、空間的配向の推定値を使用して、遠隔システムにフィードバックを提供するための例示的プロセス700のフローチャートである。遠隔システムは、いくつかの実装において、試験(例えば、回転する発射体が、設計者によって推定された経路およびコーニングモデルに従っているかどうかを判定する)、修正(例えば、進路を外れてしまった物体の経路を調整する)、または制御(例えば、物体の経路を能動的に調整する)のために、この情報を使用することができる。例えば、遠隔制御デバイスにおける利用者は、表面に載置された電磁ビーコン、およびパイプラインドリル内蔵の物体配向推定機から得られた配向測定値に基づいて、パイプラインドリルの経路を能動的に調整することができる。

50

## 【0186】

プロセス 700 は、物体の位置情報を判定することで開始する(702)。物体の位置情報は、例えば、GPS受信機を通じて等、従来の方法で判定することができる。

#### 【0187】

物体の配向は、仰角情報を使用することなく、検出された方位角情報を使用して判定される(704)。例えば、図4に関連して記載されるプロセスを使用して、物体の配向を推定することができる。

#### 【0188】

物体の位置情報および空間的配向情報は、ローカルデータ記憶装置に収集される(706)。例えば、物体の位置データおよび配向推定データを、物体に直接接続されるデータ記憶装置内に収集することができる。

10

#### 【0189】

情報を遠隔で提供する準備ができると(708)、物体の位置情報および空間的配向情報を、遠隔システムに無線で通信することができる(710)。物体が能動的に制御されている場合、例えば、データは、計算されるたびに、遠隔システムに無線で通信されてもよい。いくつかの実装において、物体の位置データおよび配向推定データのセットを収集し、データを遠隔システムに定期的に提供することができる。一実施例において、データは、毎N回の反復後に提供されてもよい。別の実施例において、データは、固定の時間スケジュール(例えば、10秒毎)で提供されてもよい。物体の位置データおよび配向推定データは、いくつかの実装において、エラー条件を満たすことに基づいて、遠隔システムに提供されてもよい。例えば、物体の配向推定データが、計画されたナビゲーション経路と著しく異なる場合、遠隔システムは、警告を受け得る。

20

#### 【0190】

情報が遠隔システムに提供されたかどうかに関わらず、プロセス700は、現在および異なる可能性のある、物体の位置および姿勢に基づいて、物体の位置情報の判定に戻る(702)。

#### 【0191】

図7Bは、空間的配向の推定値を使用して物体の軌道を調整するための、例示的プロセス720のフローチャートである。プロセス720は、例えば、ミサイルもしくは衛星等の発射体、またはヘリコプター、潜水艦、もしくは航空機等の無人機体の誘導システムにおいて使用可能である。

30

#### 【0192】

プロセス720は、物体の位置情報を判定することで開始する(722)。物体の位置情報は、例えば、GPS受信機を通じて等、従来の方法で判定することができる。

#### 【0193】

物体の配向は、仰角情報を使用することなく、検出された方位角情報を使用して判定される(724)。例えば、図4に関連して記載されるプロセスを使用して、物体の配向を推定することができる。

#### 【0194】

物体の位置情報および空間的配向を、所望の経路と比較する(726)。例えば、所定の軌道または飛行計画を、図1に関連して記載される6DOF物体状態推定機108等の物体姿勢推定モジュールにプログラムすることができる。いくつかの実装において、物体の位置および推定配向と、物体の所望の経路との間で、閾値の比較を行ってもよい。

40

#### 【0195】

物体が、経路から外れると(728)、物体の進路は、物体の位置および空間的配向を、所望の経路と再度一致するように調整することができる(730)。いくつかの実装において、所定の進路と現在の物体の位置および配向との間の差異を使用して、物体の経路を調整することができる。発射体または無人機体の実施例において、調整は、飛行システムを通じて行われてもよい。いくつかの実施例において、翼、羽根、または先尾翼等の受動的な調整要素を、物体を所望の軌道に再度一致するように調整することができる。物体が潜水艦の場合、例えば、バラストシステムを調整することができる。推進ジェット等の

50

能動的要素もまた、物体を再整列させるために調整可能である。

【0196】

物体が進路を外れないと判断されるかどうかに関わらず、プロセス720は、現在または異なる可能性のある物体の位置および姿勢に基づいて、物体の位置情報の判定に戻る(722)。

【0197】

図7Cは、空間的配向の推定値を使用して、飛行機、ヘリコプター、トラック、または潜水艦等のパイロットまたは操作者に、視覚的なフィードバックを提供するための例示的プロセス740のフローチャートである。プロセス740は、いくつかの実装において、パイロットが、物体配向の実際の視覚的指示へのアクセスを制限されている時に、パイロットに、視覚的指示を提供することができる。例えば、パイロットは、沈泥もしくは視界の悪い海の領域を通過する際、または飛行機が濃い雲に入る際、物体の姿勢の指示をほとんど有しないか、または全く有しない。別の実施例においては、携帯電話の画面を進行方向情報で拡張することができ、そうして歩行者が、密林地域から出るためのコンパスとして携帯電話を使用することができるようになる。携帯電話の基地局は、アンテナが方位角情報を検出する能力を有して、携帯電話の配向を判定するためのナビゲーションピーコンとして機能することができる。

10

【0198】

プロセス740は、仰角情報を使用することなく、検出された方位角情報を使用して、物体の配向を判定することで開始する(742)。例えば、図4に関連して記載されたプロセスを使用して、物体の配向を推定することができる。

20

【0199】

物体の位置および空間的配向を、グラフィカルユーザインターフェース(GUI)にプロットする(744)。例えば、擬似水平、物体の姿勢のシミュレーション、または既知のナビゲーション座標系に関する物体座標系の姿勢表示を、車両制御装置のダッシュボード領域内または携帯電話もしくは遠隔制御装置の表示領域に図的にプロットすることができる。

30

【0200】

使用者からの入力を受信して、空間的配向を調整する(746)。例えば、利用者は、車両を偽水平と再度整列させるか、または物体の姿勢のシミュレーションを正すために、車両の配向を手動で調整することができる。

30

【0201】

プロセス740は、有人車両に関して記載されるが、いくつかの実装において、GUIは、無人車両の遠隔パイロットに提供されてもよい。例えば、暗闇、沈泥、または雲の覆いが、遠隔制御された無人車両の経路を遮る場合、典型的に、無人車両から中継される1つ以上のカメラ画像に頼っているパイロットは、プロセス740を頼りに、配向のフィードバックを提供することができる。

【0202】

図8は、本明細書に記載のシステムおよび方法の実装に使用可能なコンピューティングデバイス800のブロック図である。例えば、コンピューティングデバイス800は、受信機(図1に示される受信機102等)または6DOF物体状態推定器(図1に示される物体状態推定器108等)に使用可能である。

40

【0203】

コンピューティングデバイス800には、プロセッサ802、メモリ804、記憶装置806、入力デバイスおよび画像表示部等の入出力デバイス808、ならびにこれらの構成要素間の通信を提供するバスシステム810が含まれる。プロセッサ802は、メモリ804または記憶デバイス806に記憶された命令を含む、コンピューティングデバイス800内での実行のための命令を処理して、本明細書に前述の種々の操作を行うことができる。さらに、本明細書に記載の構成要素はまた、ファームウェアまたは特定用途向け集積回路(ASSIC)に実装することができ、その場合、図8は、単純にデバイス操作の例

50

示である。

【0204】

記載される特徴は、デジタル電子回路、またはコンピュータハードウェア、ファームウェア、ソフトウェア、もしくはそれらの組み合わせにおいて実装可能である。装置は、明白に情報媒体に具体化されたコンピュータプログラム製品、例えば、プログラム可能プロセッサによる実行のための機械可読記憶デバイスにおいて、実装することができ、方法ステップは、命令のプログラムを実行するプログラム可能プロセッサによって実行され、入力データに基づいて作動し出力を生成することによって、記載の実装の機能を実行することができる。記載の特徴は、データ記憶装置システム、少なくとも1つの入力デバイス、および少なくとも1つの出力デバイスからデータおよび命令を受信し、データおよび命令をそこへ伝送するように接続される、少なくとも1つのプログラム可能なプロセッサを含む、プログラム可能なシステム上で実行可能な1つ以上のコンピュータプログラムに、有利に実装することができる。コンピュータプログラムは、特定の動作を行うか、または特定の結果をもたらすために、直接的または間接的にコンピュータで使用可能な命令のセットである。コンピュータプログラムは、コンパイル型またはインタプリタ型言語を含む、任意の形態のプログラム言語で書くことができ、独立型プログラム、またはモジュール、コンポーネント、サブルーチン、もしくはコンピュティング環境での使用に好適な他のユニットを含む、任意の形態で展開することができる。

10

【0205】

命令のプログラムを実行するのに好適なプロセッサには、例示として、汎用および専用両方のマイクロプロセッサ、ならびに任意の種類のコンピュータの単独または複数のプロセッサの1つが含まれる。一般的に、プロセッサは、読み取り専用メモリもしくはランダムアクセスメモリ、または両方から、命令およびデータを受信することになる。コンピュータの必須要素は、命令を実行するためのプロセッサ、ならびに命令およびデータを記憶するための1つ以上のメモリである。一般的に、コンピュータはまた、データファイルを記憶するための1つ以上の大容量記憶デバイスを含むか、それと操作可能に接続されることになり、このようなデバイスには、内蔵ハードディスクおよび取り外し可能ディスク等の磁気ディスク、光磁気ディスク、ならびに光ディスクが挙げられる。コンピュータプログラム命令およびデータを実体的に具現化するために好適な記憶デバイスには、任意の形態の不揮発性メモリが含まれ、例示として、E P R O M、E E P R O M、およびフラッシュメモリデバイス等の半導体メモリ装置、内蔵ハードディスクおよび取り外し可能ディスク等の磁気ディスク、光磁気ディスク、ならびにC D - R O MおよびD V D - R O Mディスクが挙げられる。プロセッサおよびメモリは、A S I C（特定用途向け集積回路）により補完されるか、またはそこに組み込まれてもよい。

20

30

【0206】

利用者との相互作用を提供するために、利用者に情報を表示するためのC R T（陰極線管）またはL C D（液晶画面）モニタ等の表示デバイス、使用者がそれによってコンピュータに入力を提供することができる、キーボードおよびマウスまたはトラックボール等のポイントティングデバイスを有するコンピュータに、特徴を実装することができる。

40

【0207】

特徴は、データサーバ等のバックエンドコンポーネントを含むか、またはアプリケーションサーバもしくはインターネットサーバ等のミドルウェアコンポーネントを含むか、またはグラフィカルユーザインターフェースもしくはインターネットブラウザを有するクライアントコンピュータ等のフロントエンドコンポーネントを含むか、あるいはこれらの任意の組み合わせを含む、コンピュータシステムに実装することができる。システムの構成要素は、通信ネットワーク等のデジタルデータ通信の任意の形態または媒体によって接続することができる。通信ネットワークの例には、例えば、L A N、W A N、ならびにインターネットを形成するコンピュータおよびネットワークが含まれる。

【0208】

コンピュータシステムには、クライアントおよびサーバが含まれてもよい。クライアン

50

トおよびサーバは、一般的に、互いに離れており、典型的には、記載されるもののようなネットワークを介して相互作用する。クライアントとサーバの関係は、それぞれのコンピュータ上で作動するコンピュータプログラムに基づいて生じ、互いに対してもクライアント・サーバ関係を有する。

#### 【0209】

少數の実装が上で詳細に記載されてきたが、他の修正が可能である。さらに、図で描写された論理の流れは、所望の結果を達成するために、示される特定の順序または連続した順序を必要としない。さらに、他の動作が提供されるか、または記載の流れから動作が排除されてもよく、他の構成要素が記載のシステムに追加されるか、またはそこから除去されてもよい。したがって、他の実装は、以下の請求項の範囲内である。

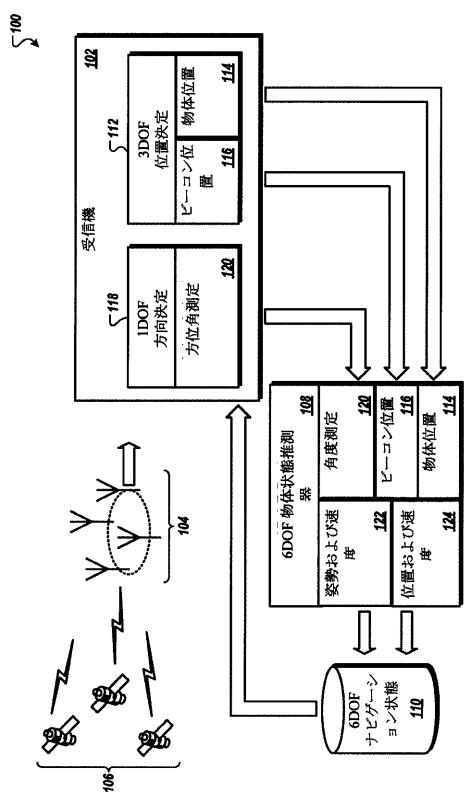
10

#### 【符号の説明】

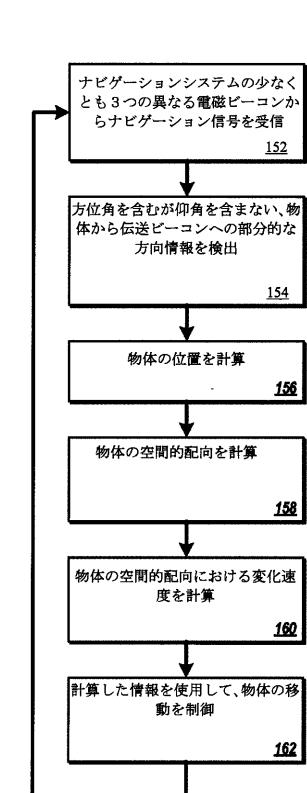
##### 【0210】

- 102 受信機
- 104 方向変換器
- 106 電磁ビーコン
- 108 6自由度物体状態推定機
- 110 6自由度データリポジトリ

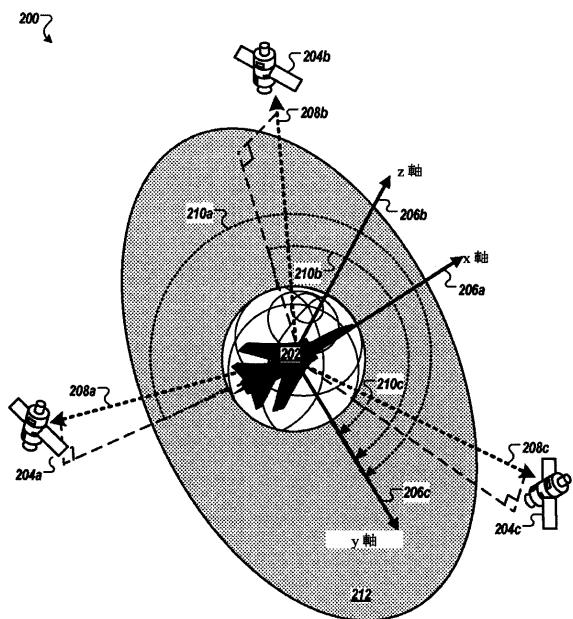
【図1A】



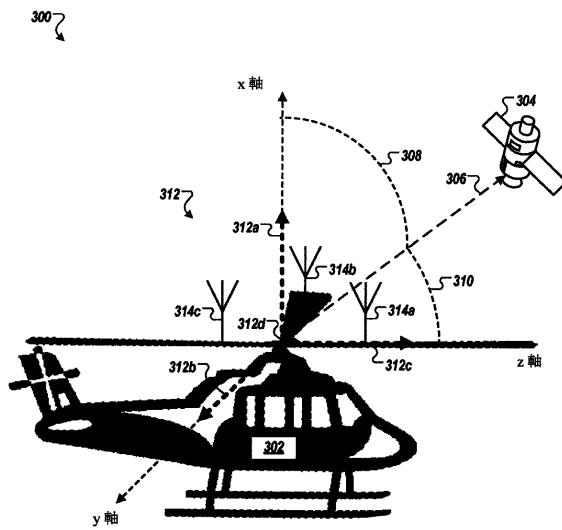
【図1B】



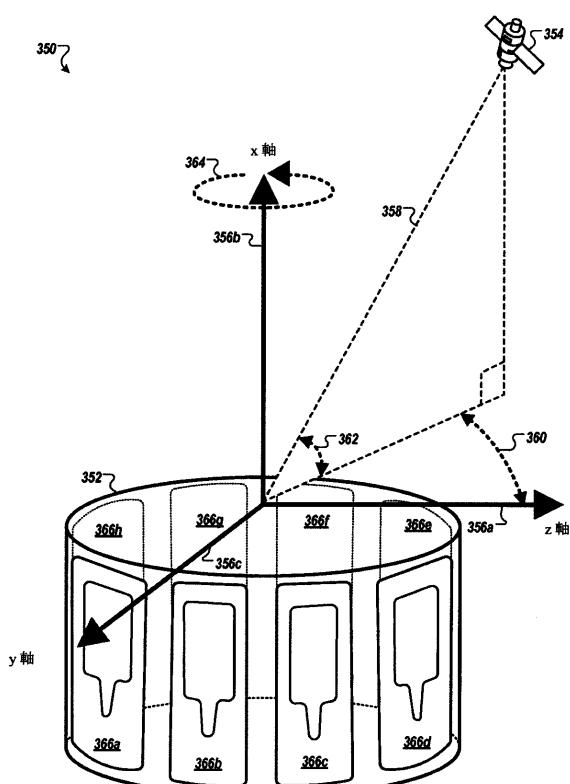
【図2】



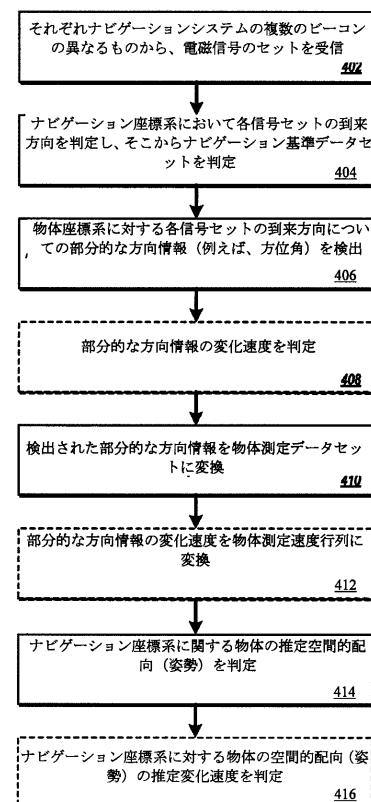
【図3A】



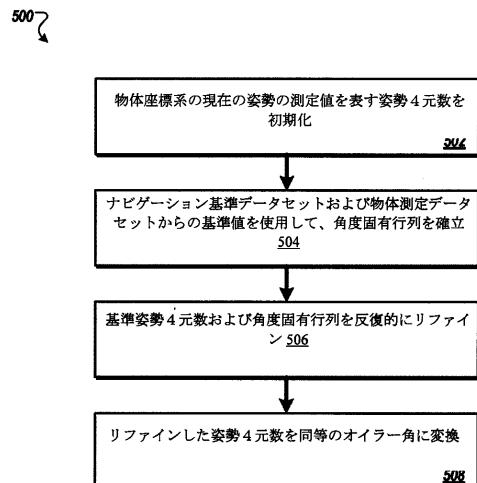
【図3B】



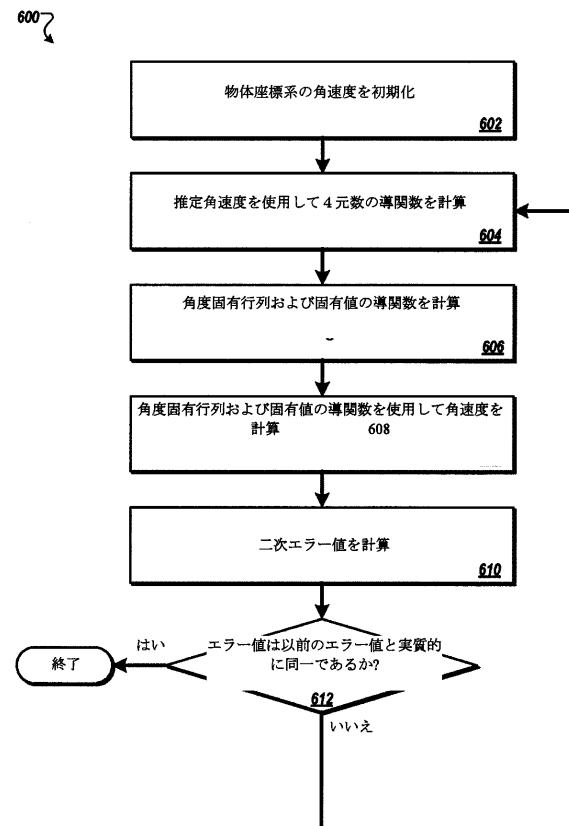
【図4】



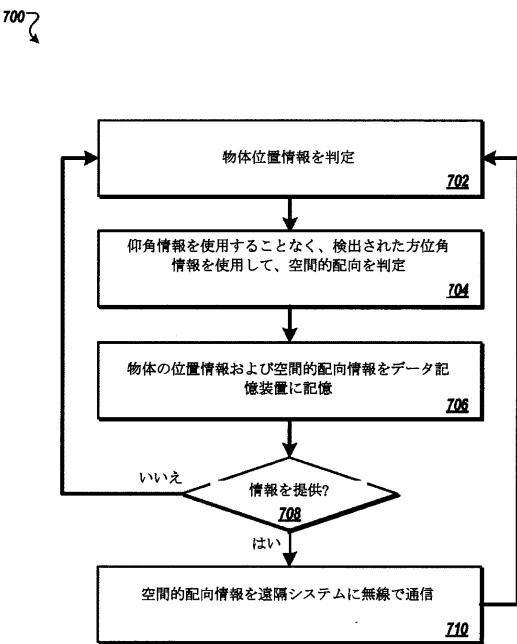
【図5】



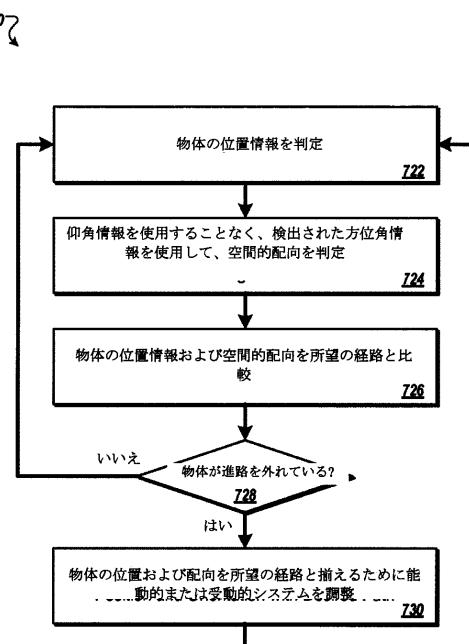
【図6】



【図7A】

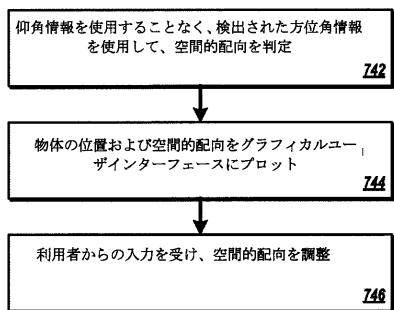


【図7B】



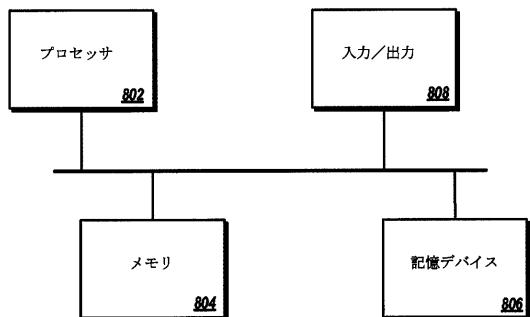
【図7C】

740



【図8】

800



## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

		International application No PCT/US2011/036993															
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. G01S3/52 G01S19/53 G01S19/36 ADD.																	
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																	
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) 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																	
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b> <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 6 452 543 B1 (TSENG GAN-TAI [US] ET AL) 17 September 2002 (2002-09-17)</td> <td style="padding: 2px; vertical-align: top;">1-5,10, 11,18</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">A</td> <td style="padding: 2px;">abstract figures 3,4 column 4, line 57 - column 5, line 34 column 6, line 28 - column 7, line 11 -----</td> <td style="padding: 2px; vertical-align: top;">6-9, 12-17, 19,20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">A</td> <td style="padding: 2px;">US 2008/068263 A1 (TEKAWY JONATHAN A [US] ET AL) 20 March 2008 (2008-03-20) abstract figure 5 paragraph [0023] - paragraph [0026] claims 1-6 -----</td> <td style="padding: 2px; vertical-align: top;">1-20</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">A</td> <td style="padding: 2px;">US 2003/078705 A1 (KUMAR LALIT [US] ET AL) 24 April 2003 (2003-04-24) the whole document ----- -/-</td> <td style="padding: 2px; vertical-align: top;">1-20</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	US 6 452 543 B1 (TSENG GAN-TAI [US] ET AL) 17 September 2002 (2002-09-17)	1-5,10, 11,18	A	abstract figures 3,4 column 4, line 57 - column 5, line 34 column 6, line 28 - column 7, line 11 -----	6-9, 12-17, 19,20	A	US 2008/068263 A1 (TEKAWY JONATHAN A [US] ET AL) 20 March 2008 (2008-03-20) abstract figure 5 paragraph [0023] - paragraph [0026] claims 1-6 -----	1-20	A	US 2003/078705 A1 (KUMAR LALIT [US] ET AL) 24 April 2003 (2003-04-24) the whole document ----- -/-	1-20
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.															
X	US 6 452 543 B1 (TSENG GAN-TAI [US] ET AL) 17 September 2002 (2002-09-17)	1-5,10, 11,18															
A	abstract figures 3,4 column 4, line 57 - column 5, line 34 column 6, line 28 - column 7, line 11 -----	6-9, 12-17, 19,20															
A	US 2008/068263 A1 (TEKAWY JONATHAN A [US] ET AL) 20 March 2008 (2008-03-20) abstract figure 5 paragraph [0023] - paragraph [0026] claims 1-6 -----	1-20															
A	US 2003/078705 A1 (KUMAR LALIT [US] ET AL) 24 April 2003 (2003-04-24) the whole document ----- -/-	1-20															
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.															
<p>* Special categories of cited documents :</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>																	
Date of the actual completion of the international search  1 September 2011	Date of mailing of the international search report  07/09/2011																
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Ó Donnabháin, C																

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No PCT/US2011/036993
---

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 018 315 A (INCE MICHAEL DANE [US] ET AL) 25 January 2000 (2000-01-25) abstract figure 1 ----- US 5 101 356 A (TIMOTHY LA MAR K [US] ET AL) 31 March 1992 (1992-03-31) the whole document -----	1-20
A		1-20

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No  
PCT/US2011/036993

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6452543	B1	17-09-2002	NONE	
US 2008068263	A1	20-03-2008	NONE	
US 2003078705	A1	24-04-2003	NONE	
US 6018315	A	25-01-2000	NONE	
US 5101356	A	31-03-1992	NONE	

---

フロントページの続き

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

(72)発明者 ロバート・ジェイ・ウェリントン

アメリカ合衆国・ミネソタ・55431・ブルーミントン・ラッセル・サークル・サウス・974  
0

F ターム(参考) 2F129 BB03 BB22 BB26 BB47 BB64 HH04 HH12 HH18 HH19 HH20  
HH21  
5J062 AA11 BB01 BB02 BB03 CC07 DD23 FF01 FF04 GG02