

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4149913号
(P4149913)

(45) 発行日 平成20年9月17日(2008.9.17)

(24) 登録日 平成20年7月4日(2008.7.4)

(51) Int.Cl.		F I		
GO 1 C 21/16	(2006.01)	GO 1 C 21/16		N
B 6 O R 16/02	(2006.01)	B 6 O R 16/02	6 6 O Z	
GO 1 C 22/00	(2006.01)	GO 1 C 22/00		W

請求項の数 17 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2003-505561 (P2003-505561)	(73) 特許権者	500575824
(86) (22) 出願日	平成14年3月5日(2002.3.5)		ハネウェル・インターナショナル・インコーポレーテッド
(65) 公表番号	特表2004-530890 (P2004-530890A)		アメリカ合衆国ニュージャージー州07962-2245, モーリスタウン, コロンビア・ロード 101, ピー・オー・ボックス 2245
(43) 公表日	平成16年10月7日(2004.10.7)	(74) 代理人	100089705
(86) 国際出願番号	PCT/US2002/006474		弁理士 社本 一夫
(87) 国際公開番号	W02002/103288	(74) 代理人	100076691
(87) 国際公開日	平成14年12月27日(2002.12.27)		弁理士 増井 忠武
審査請求日	平成17年2月4日(2005.2.4)	(74) 代理人	100075270
(31) 優先権主張番号	60/273, 771		弁理士 小林 泰
(32) 優先日	平成13年3月6日(2001.3.6)	(74) 代理人	100080137
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 千葉 昭男
(31) 優先権主張番号	09/828, 023		
(32) 優先日	平成13年4月6日(2001.4.6)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 慣性オドメータ補正による統合慣性VMS航法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

上部ボディ及び下部ボディを有しタイヤにより支持される車両の慣性航法データを正確に測定するシステムであって、

前記タイヤの回転に基づく走行距離データを提供する運動センサ手段と、

車両が移動するときの車両ピッチデータを含む車両の慣性センサデータを提供する慣性センサ手段と、

走行距離データを慣性センサデータと比較することによりタイヤの径の変化による走行距離データのピッチに関する誤差を決定し、該ピッチに関する誤差を減少するため走行距離データを補正する手段と、を含むシステム。

【請求項2】

前記決定する手段は、前記走行距離データの関数として前記慣性センサデータにおける誤差を決定し前記慣性センサデータを処理して前記走行距離データに基づく正確な車両の慣性航法データを提供する手段を含む請求項1に記載のシステム。

【請求項3】

前記慣性航法データは位置、速度及び姿勢である請求項2に記載のシステム。

【請求項4】

前記車両ピッチデータは車両の配向と水平軸に係る請求項1に記載のシステム。

【請求項5】

前記運動センサ手段はオドメータである請求項1に記載のシステム。

【請求項 6】

前記慣性センサ手段はジャイロ及び加速度計である請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

上部ボディ及び下部ボディを有しタイヤにより支持される車両の正確な慣性航法データを決定するシステムであって、

前記タイヤの回転に基づく走行距離データを提供する運動センサと、

車両が移動するときの車両ピッチデータを含む車両の慣性センサデータを提供する慣性センサと、

前記慣性センサデータに基づき車両の慣性航法データを提供し統合データを生成する装置と、

前記慣性航法データ及び走行距離データに前記統合データに基づきより正確な慣性航法データのための補正を提供する装置と、を含み、

前記補正を提供する装置は、タイヤ径の変化により生じる走行距離データにおけるピッチに関する誤差を、慣性センサデータ中に明示された車両ピッチの関数として決定する手段を含むシステム。

【請求項 8】

前記慣性センサデータが加速度及び角運動である請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記車両ピッチデータが車両の配向と水平軸に係する請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記運動センサがオドメータである請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記慣性センサがジャイロ及び加速度計である請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 12】

既知の位置からの車両の位置変化に基づいて位置を決定する手段を更に含む請求項 7 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記位置変化が慣性センサデータ及び走行距離データと統合されて統合データの一部となる請求項 12 に記載のシステム。

【請求項 14】

前記補正を提供する装置が統合データに基づいて位置を補正する請求項 13 に記載のシステム。

【請求項 15】

上部ボディ及び下部ボディを有しタイヤにより支持される車両に正確な慣性航法データを提供する方法であって、

車両のタイヤの回転を表す速度信号を生成するステップと、

車両のピッチを表すピッチ信号を生成するステップと、

タイヤ径の変化から生じる速度信号中の誤差を除去するためピッチ信号に応じて補正速度信号を生成するステップと、

補正速度信号に慣性センサから受け取った慣性センサデータを統合し統合データを生成するステップと、

正確な慣性航法データを提供するため前記統合データから車両用の慣性航法データを決定するステップと、を含む方法。

【請求項 16】

請求項 15 に記載の方法であって、更に上部ボディと下部ボディとの間の配向変化を決定するステップと、配向変化と前記速度信号の関係に応じて、慣性データ中の誤差を補正し、速度信号から決定された車両速度と、慣性データから決定された車両速度との間の誤差を低減するステップと、を含む方法。

【請求項 17】

シャーシ上に懸架された車両ボディ上の慣性航法システムと、

10

20

30

40

50

シャーシ上のタイヤのスピード信号を提供するオドメータと、慣性航法システムから車両のピッチを決定し、慣性航法システム内の誤差を補正するために使用する補正スピード信号を生成するためタイヤ径の変化に関連するオドメータにおける誤差を決定する手段と、を含む車両。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、トラックや戦車などの車両に搭載された慣性航法システム (inertial navigation systems; INS) の使用に関し、特に慣性航法システムと車両上の車両運動センサ (vehicle motion sensor; VMS) の機械式オドメータ (odometer; 走行距離計) とを統合する INS の使用に関する。

10

【背景技術】

【0002】

本出願は、2001年3月6日付申請の、米国特許仮出願第60/273,771号の優先権を主張するものである。現行のオドメータ支援慣性航法システム (INS) モデルは、車両サスペンションが剛体であることを仮定している。オドメータ支援慣性システムは、統合航法解を生成する。慣性システムが、車両ボディに装着されて車両運動を測定するのに対して、オドメータはシャーシの運動を測定するので、オドメータ支援慣性システムは、オドメータ中の誤差を補正するために、車両ボディと車両シャーシの間の配向 (orientation) を推定するように試みる。この慣性/オドメータ誤差モデルは、車両サスペンションシステムが剛直であるときには有効である。

20

【0003】

車両サスペンションシステムは、車両ボディと車両シャーシの間が一定の配向であるときに、剛直である。慣性/オドメータ誤差モデルは、統合解 (integrated solution) が、車両シャーシに対する車両ボディの相対配向を、0.08度又はそれよりも良い精度で推定できるときに、「有効 (work well)」である。相対配向一定の仮定は、車両ボディが車両シャーシに対して大きく動くときには有効ではない。車両によっては、このような運動は2度 (degrees) 程度になる可能性がある。この配向の変化が正しくモデル化されていない場合には、オドメータ較正において大きな誤差が発生する。このようなオドメータ較正における誤差は、1次システム出力を劣化させる。垂直速度及び垂直位置 (高度) の両方が、オドメータモデル化誤差のために劣化 (degrade) する。

30

【0004】

オドメータが、車両荷重に応じて変形するタイヤを備える車両に接続されているときには、さらなる誤差源が生じる。このような変形は、車両が坂道を登り下りするときに発生する可能性があり、オドメータのスケールファクタにおいて、1~2パーセント程度の大きな変化を生じることになる。これらのスケールファクタ変化によって、車両が起伏のある地形を走行しているときには、位置同定性能が悪くなる可能性がある。

【0005】

オドメータ支援慣性システムの現況技術では、車両サスペンションシステムは剛体としてモデル化されている。オドメータ支援慣性システムは、統合航法解を生成する。この統合航法解には、車両位置、車両速度及び車両姿勢などのデータが含まれる。これらの1次システム出力に加えて、オドメータ支援慣性システムは、オドメータ誤差モデルを用いてオドメータを較正する。慣性システムは車両ボディ上に装着され、オドメータはシャーシの運動を測定するので、オドメータ支援慣性システムは、車両ボディと車両シャーシの間の配向を推定することを試みる。車両ボディは、エンジン、乗員、弾薬などを含む車両の上部として定義される。車両ボディは、車両シャーシの上に載っており、車両シャーシは、アクスル付きのフレームと車輪又はキャタピラ (tracks) とからなる車両の下方部分として定義される。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0006】

この慣性/オドメータ誤差モデルは、統合解が車両ボディの車両シャーシに対する相対配向を0.08度又はそれよりも良い精度で推定できるときには、有効である。相対配向一定の仮定は、車両ボディが車両シャーシに対して大きく動くときには、有効ではない。ある車両においては、このような運動は、2度程度の大きさになる可能性がある。オドメータ較正における重大な誤差は、この配向における変化が正確にモデル化されていないときに、発生する。オドメータ較正のこれらの誤差は、1次システム出力を悪化させる。垂直速度及び垂直位置(高度)の両方が、オドメータモデリング誤差のために劣化する。さらに、そのような高度変化によって、以下に説明するような較正における誤差が生ずる。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明によれば、航法状態補正を介してカルマンフィルタによって補正された、INSからの慣性センサデータは、積分されて慣性位置、速度及び姿勢を形成する。慣性位置は、地球上での車両の位置を表す。慣性速度は、地球に対しての車両の速度を表す。慣性姿勢データは、地球に対する車両ボディの配向を示す。車両運動又はスピードは、駆動システム、たとえばアクスル回転からオドメータを用いて測定される。車両ピッチは、INSによって検知される。一方はシャーシに他方はボディに装着された、車両上の2つの運動検知デバイスからのデータは、慣性速度及び姿勢情報と合わせて、カルマンフィルタによる観測処理用に使われるデータの積分を形成する。

【0008】

これらの積分は、慣性位置、速度及び姿勢データと合わせて、カルマンフィルタ用を使用することによって、オドメータ誤差状態に対する補正、及び航法誤差状態に対する補正を形成する。このシステムの出力は、最適補正された慣性航法解である。この慣性航法解は、車両の位置、速度、及び姿勢情報からなる。本発明の便益及び特徴は、以下に示す本発明の記述から、当業者には明らかになるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

ピッチ及びヨーに対するINS補正

慣性航法システム(INS)は、外部世界に自車両の地球表面上の位置、速度及び姿勢(ロール、ピッチ及びヨー)に関する情報を報告する自立型デバイスである。INSを搭載する陸上車両は、探着用や砲身又はレーダアンテナなどの物体の照準用などのさまざまな目的に、これらの情報を使用することができる。INSの出力(位置、速度及び姿勢)には、時間と共に増大する特性誤差が含まれる。INS出力にある量の誤差だけが許容される状況においては、支援デバイスからINSへ入力を供給するか、又は定期的に車両を完全停止させることによって、INS誤差の増加を制限しなくてはならない。

【0010】

車両を頻繁に停止させることが望ましくない状況においては、支援デバイスの選択が、INS誤差の経時的な増大を制御するための唯一の方法である。INSが、GPSなどの支援デバイスからの追加の情報で支援されるときには、この追加情報は、INSに入力され、INSカルマンフィルタによってシステム誤差を低減するために使用される。カルマンフィルタの設計と動作を記述する多くの参考文献があり、たとえば、The Analytic Sciences Corporationの技術スタッフ著、1974年Arthur Gelb編集による「Applied Optimal Estimation」がある。

【0011】

そのような支援デバイスの1つが、グローバル・ポジショニング・システム(GPS)受信機であり、これは地球周回衛星からの信号を使用して、INSとは独立の、位置及び速度情報を送ることによってINSを支援する。しかしながら、衛星からの信号は、構造物や樹木の葉により遮蔽されたり、戦時には敵により電波妨害されたりする可能性があるために、必ずしも連続的には存在しない。陸上車両上の独立した速度基準を提供する別の支援デバイスは、車両運動センサ(Vehicle Motion Sensor (VMS))と呼ばれる。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 2 】

VMSは、車両のドライブシャフトの回転を検出し、電気パルスストリームをINSに送るデバイスである。各パルスは、車両のドライブシャフトの一定回転数を表す。次いで、INSソフトウエアが、VMSから入力されたパルス数に、ドライブシャフト回転数を走行距離に変換するスケールファクタを乗じる。この距離情報を、カルマンフィルタにおいて使用して、経時的な誤差の増大が制限される。この種の支援情報の利点は、この情報が電波妨害されたり遮蔽されたりする可能性がないことである。

【 0 0 1 3 】

本発明は、車両ボディ2と車両シャーシ4の関係を、図1～3の車両ピッチに応じてモデル化する。この車両ピッチ関数は、ゼロ次項及び1次項を有する。慣性システムは、動作上の配慮から、車両1のボディ2に装着されている。車両1の動揺(sway)(F)は、車両シャーシ4に対する車両ボディ2の新配向角であり、車両ピッチ(y)に直接比例する。この比例常数がKである。車両ピッチは、車両ボディX軸と水平面との配向角(angular orientation)として定義される。車両ボディZ軸は、車両1の中心を通過して下向きである。車両ボディY軸は、X及びZ軸に垂直であり、かつボディX軸正方向に向いたときに右向きである。X、Y及びZ軸は、右手直交座標系を形成する。

【 0 0 1 4 】

図1～図3は、異なる地形を走行する車両1と、その結果としての車両ボディ及びシャーシの配向を示す。図1は、水平地形上の車両1を示し、この場合にピッチ及びヨーはゼロである。車両ピッチがゼロのとき、車両動揺はゼロであり、車両シャーシ4と車両ボディ2の間の配向角は一定のままである。図2は、たとえば坂道を登る車両1を示す。車両ピッチは正であり、その結果として車両又はボディ動揺は正であり、車両シャーシ4と車両ボディ2との間の配向角は、車両ピッチに比例する新しい値に変化するが、これはサスペンションのために、車両ボディ2が後部においてキャタピラ又は車輪上でより低くなり、前部においてキャタピラ又は車輪上でより高くなるためである。

【 0 0 1 5 】

図3は、丘を下る車両1を示す。車両ピッチは、このときは負であり、車両の動揺も負である。先の例と同様に、車両シャーシ4と車両ボディ2との間の配向角は、車両ピッチに比例する新しい値に変化するが、このとき車両ボディ2は、後部においてキャタピラ又は車輪上で高く、前部においてキャタピラ又は車輪上で低くなる。

【 0 0 1 6 】

図4は、本発明を組み込んだ、INS(慣性航法システム)/VMS(車両運動センサ、たとえばオドメータ)航法システム10におけるデータの流れを示す。システム10に対する入力は、ボディ基準フレーム上での慣性データ(ジャイロ及び加速度計信号)及びシャーシ基準フレームからのVMS入力パルスである。ジャイロ及び加速度計(図示せず)は、車両1の慣性運動の測度を提供する。加速度計は、直線加速度を検出し、ジャイロは角運動を測定するために使用される。

【 0 0 1 7 】

VMSパルスは、車両運動センサからの離散パルスであり、このセンサは図示していないが、基本的には駆動輪又はキャタピラに接続されて速度を測定するオドメータである。VMSは、一般に、電子回路付きのオドメータケーブルを含み、このオドメータケーブルの回転をパルス計数に変換する。VMSは、オドメータケーブルの所与の回転に対して一定数のパルスを出力する。システム10の出力は、シャーシ上のボディの相対運動から生じるINS中の速度誤差を補正するために、VMSによって測定される速度を用いて、最適補正された慣性航法解である。この慣性航法解は、車両1に対する、位置、速度及び姿勢情報からなる。

【 0 0 1 8 】

図5は、車両位置変化決定手段12を示し、これはVMSデータ、慣性データ、及びカルマンフィルタデータを使用して、車両ボディ基準フレーム内の車両位置変化を表すベクトルを形成する。この計算は、カルマンフィルタの計算速度よりも速い速度で実施される

10

20

30

40

50

。カルマンフィルタの一般的な速度は、1ヘルツである。VMSデルタポジション(delta position)ベクトルは、10Hzより上で、100Hzより下の計算で形成される。VMSパルスは、最初に走行距離に変換される。VMSパルスに、走行距離に対する公称パルス数を表す定数Nominal_VMS_SF(スケールファクタ)を乗じる。たとえば、スケールファクタは各5パルスに対して30.48cm(1フィート)である。

【0019】

前回の処理サイクルからのVMS状態補正が、KF_VMS_SFすなわちカルマンフィルタ(KF)VMSスケールファクタとして入力される。VMSパルスは、KF_VMS_SFと合わされて、KF_VMSスケールファクタ補正を形成し、ある時間で走行した、現在測定VMS距離を補正して、VMS位置変化すなわちVMS_Delta_Positionを形成する。このVMS位置変化は、車両シャーシ基準フレームにおけるものである。VMS状態補正はまた、カルマンフィルタミスアライメント入力がKF_VMS_MAYX、KF_VMS_MAZX、KF_VMS_SWAY_ZXとして入力されるミスアライメント決定手段、又は計算14に入力される。車両ピッチはまた、VMS_MAXX、VMS_MAYX、VMS_MAZXとして表されるVMSミスアライメント推定値を決定するために入力され、これらはMuxに合成されて、1つのベクトルを形成し、次いでこれが、補正されたVMSデルタポジションと合成され、ミスアライメントベクトルを用いて、ボディフレームにおけるVMSデルタポジションが形成される。

10

【0020】

この出力は、車両ボディフレーム内での走行距離VMS_dp_Bである。Vehicle_Pitchは、慣性姿勢から形成され、この慣性姿勢はまた、この技術分野で公知の、標準的計算法を用いてVehicle_Roll及びVehicle_Headingを生成する。

20

【0021】

図6は、3つのVMSミスアライメント状態のカルマンフィルタ推定値を使用して、VMSパルスを、車両シャーシフレームから車両ボディフレームに変換するのに使用する方向余弦ベクトルを形成する方法を示すものである。KF_VMS_MAYXは、X軸のシャーシとY軸のボディとの間のミスアライメントである。KF_VMS_MAZXは、X軸のシャーシとZ軸のボディとの間のミスアライメントを表す。これらの2つのミスアライメント係数は、シャーシとボディが完全には位置合わせされないことから、オフセットとして常に存在することになる。VMS_MAYXは、車両1が移動している間、Y軸には、シャーシ4とボディ2との間の大きなミスアライメント変化はないために、更なる処理を行うことなく出力される。

30

【0022】

ボディ2とシャーシ4との間の動揺が、車両1が移動中に発生するために、VMS_MAZXは処理を必要とする。KF_VMS_SWAY_ZXと呼ぶ、図6のピッチ動揺状態記号は、図1、2、及び3におけるKと同じである。このスケールファクタは、ピッチの関数であり、発生したミスアライメントの変化を表し、したがってVehicle_Pitchと合成されて、全ミスアライメントとなる。この全ミスアライメントとKF_VMS_MAZXとが合成されて、シャーシ4とボディ2の間のZ軸の新ミスアライメントを表す、VMS_MAZXとなる。

40

【0023】

公知の計算法を用いて、MAZX及びMAYXから、VMS_MAXXが求められる。これは、シャーシ4とボディ2との間のミスアライメントを補償するための、新しい軸基準を表す方向余弦ベクトルである。たとえば、X、Y、Z軸がボディフレームにあると仮定する。前述のように、シャーシ4とボディ2にはミスアライメントが存在する。したがって、ミスアライメントを補償し、シャーシフレームデータをボディフレームで使用できるようにするために、シャーシフレームのX軸は、ボディフレームのX軸とある角度をなすことになる。この角度の余弦は、シャーシ4とボディ2との間のこのミスアライメントを補償すると共に、シャーシデータをボディ軸基準フレームで使用することができる新しい軸を提供する。

50

【 0 0 2 4 】

図7は、慣性データ及びVMSデータを使用して、位置変化情報の2つの異なる供給源を合成する、カルマンフィルタ観測を形成する、積分手段又は処理を示す。図7においては、以下の信号が積分される。

(1) 慣性速度は、直接積分されて、航法フレーム内の積分慣性速度となる (Integral_v_L)。

(2) 航法フレームにおけるVMSデルタポジション (Integral_VMS_dp_L) は、ボディフレームにおける位置変化を航法フレームに変換するために、C_LBをVMS_dp_Bと合成した積分結果である。

(3) ボディから航法フレームへの変換行列 (C_LB) と、シャーシにおけるVMS位置変化 (VMS_Delta_Position) との積は、ミスアライメント推定値を生成する。この積分は、VMS_Misalignment_Integralと呼ばれる。

(4) 車両ピッチ角とVMS位置変化との積が合成されて動揺が求められる。この積分は、VMS_Pitch_Sway_Integralと呼ばれる。

【 0 0 2 5 】

前述のように、すべての計算は、カルマンフィルタの計算速度よりも速い計算速度で実施され、これは積分についても当てはまる。カルマンフィルタの一般的な速度は1ヘルツである。VMS積分は、10Hzから100Hzの任意の速度で行うことができる。

【 0 0 2 6 】

図8は、慣性航法解を補正するためにカルマンフィルタ補正を適用する補正手段18を示す。これらの補正は、カルマンフィルタの速度、一般的には1Hzで適用される。より複雑なモデルでは、慣性センサ誤差の補正を含めることができるが、これはこのモデルでは示していない。最初に、ジャイロ及び加速度計からの慣性センサデータが積分されて、慣性航法解が形成される。この航法解は、3つの出力の形態であり、それは、航法フレームの慣性車両速度、車両ボディから航法フレームへの変換行列、及び慣性車両位置である。カルマンフィルタ補正がこれらの出力に適用されて、より正確な慣性位置、速度及び姿勢が生成される。

【 0 0 2 7 】

図9は、慣性航法データと共に、VMSパルスの補正20を開発する手段を示す。カルマンフィルタを使用して、慣性データとVMSデータとを比較し、両方のデータセット内の誤差を求めるのに使用することができる。このチャートへの入力は、補正慣性システムデータと、VMS及び慣性データ積分である。このチャートの出力は、慣性出力及びVMS誤差状態に対する補正である。図10は、共分散行列及び誤差状態推定値を更新するのに使用される方程式を示す。図11は、慣性情報の積分を使用して状態遷移行列を形成する方法を示す。

【 0 0 2 8 】

図12は、VMSデルタポジション観測を使用して、慣性誤差状態及びVMS誤差状態の推定値を更新する方法を示す。図13は、観測不確かさデータ及び誤差状態共分散の現在推定値を使用して観測のゲインを定義する方法を示す。これらのチャートに示すカルマンフィルタ伝達及びゲイン方程式は、前述の文献「Applied Optimal Estimation」(The Analytic Sciences Corporation技術スタッフ著、Arthur Gelb編集、1974年)に基づいている。その他の式を用いて本発明の結果に到達してもよく、本発明はこれらの方程式に限定されるものではない。

【 0 0 2 9 】

図14は、VMSデルタポジション観測、及びこの観測のVMS誤差状態に対する感度を示す。最初に、ここでの積分は、データが時間に関係しないように変倍されている。観測ベクトルは、走行距離の更新位置である。観測行列は、すべての誤差感度を有する。速度及び姿勢は、公知の計算方法に基づいて補正される。VMSミスアライメント感度は、動揺におけるミスアライメント及び軸間のミスアライメントを更新する。VMSスケール

10

20

30

40

50

ファクタは、走行距離を決定するための倍率を提供する。補正されたミスアライメント出力を用いることで、車両は、動的な移動環境において慣性航法データの正確な決定を達成する能力を得る。

【0030】

VMS誤差補正

ここまでの論述では、INS精度に影響するピッチ及びヨーから生ずるINS誤差に対する解、すなわちINSを支持するボディとVMSを支持するシャーシとの間の相対的運動による誤差、及びVMSを使用して、INS誤差/時間増加を説明するカルマンフィルタの動作によってそれらの誤差を補正することを説明した。言い換えると、VMSは完全に正確であるという仮定に基づく、慣性データの補正である。

10

【0031】

しかしながら、本発明の別の態様では、坂道での変化、重量分布又はトラクションによって発生する可能性がある、VMSにおける不正確さを考慮する。これが発生すると、INSとVMSは一致せず、VMSから誤差が生ずる。実際には、両方の誤差補正処理を、それぞれをいかに適用するかを決定するカルマンフィルタと共に、使用する。

【0032】

INSカルマンフィルタは、支援デバイスからの新規の情報を、INS慣性センサからの既存情報と調和させる。このような情報の調和の目的は、支援デバイスに特有の誤差と共に、INSの出力からの特性誤差を推定、かつ除去することである。一例として、そのような誤差がVMSにおいてどのように生じるかを、どのようにVMSパルスがスピード、次いで積分によって速度に変換されるかを考慮することによって説明する。

20

【0033】

パルスを走行距離に変換する処理は、次のように作用する。1 Rev_{DS}が、車両のドライブシャフトの1回転を表すものとする。VMSは、車両のドライブシャフトの各回転に対して、K₁で表される、ある数のパルスを生成する。これは、数学的には次式で表される。

$$1 \text{ Rev}_{DS} = K_1 \text{ Pulses} \quad (1)$$

VMSの製造者が、定数K₁を決定する。同様に、後輪駆動車両の場合には、1 Rev_{RA}が車両のリアアクスルの1回転を表すものとする。K₂で表される、ドライブシャフトのある回転数は、車両のリアアクスルを1回転させることになる。これは数学的に以下の式で表される。

30

$$1 \text{ Rev}_{RA} = K_2 \text{ Rev}_{DS} \quad (2)$$

数K₂は、ディファレンシャル内のギア比によって決まる。最後に、リアアクスルの1回転毎に車両が走行する距離は、数学的に次式で表される。

$$1 \text{ Rev}_{RA} = 2 R_L \quad (3)$$

ここで、記号 R_L は、円の周囲に対する円の直径の比を表す、数学定数である。記号 R_L は、リアアクスルに装着された負荷状態でのタイヤの半径である。負荷状態でのタイヤの半径は、タイヤの中心から地面までの、測定可能な最短距離である。

【0034】

ここで各パルスは、次式で表される。

40

【0035】

【数1】

$$1 \text{ Pulse} = \frac{2\pi R_L}{K_1 K_2} \quad (4)$$

【0036】

ここで、VMSによって単位時間あたりに放出されるパルスの数(N)に、スケーリングファクタを乗じて、その単位時間内に走行した真の距離(D_{T_{True}})を求めることができる。スケーリングファクタは、2つの量の積である。第1の量SFは、VMSが最初に車両に搭載されるときに、INS製造業者が決定するスケールファクタの公称推定値であ

50

る。第2の量は $1 + \Delta_{SF}$ であり、ここで Δ_{SF} は SF の公称値からのずれに対するカルマンフィルタによる動的推定値である。これは数学的には次式で表すことができる。

【0037】

【数2】

$$DT_{True} = SF * (1 + \Delta_{SF}) * N \text{Pulses} = SF * (1 + \Delta_{SF}) * N \frac{2\pi R_L}{K_1 K_2} \quad (5)$$

【0038】

10

式(5)を使用するために、INSカルマンフィルタは、VMSから受け取るパルス数を、車両が走行する真の距離に最も正確に変換する値、 Δ_{SF} を求める。不運にも、この Δ_{SF} の値の選択は、式(5)中の他のすべての係数が時間に対して一定であるとの仮定から出発している。2、 K_1 、 K_2 及び SF は実際に定数であるが、負荷状態での半径 R_L は必ずしも一定ではない。図19において、負荷状態での半径 R_L を示してある。図からわかるように、車両のタイヤは、真円形状からいくぶん変形している。これは、車両の重量がタイヤ中の空気を圧縮して、負荷状態での半径 R_L が、タイヤの中心からタイヤの頂部まで測定した無負荷状態での半径 R_U よりわずかに小さくなることによるものである。

【0039】

20

R_U と R_L の差は、とりわけ車両の重量と、その重量の前後タイヤ間での分布に起因するものである。したがって、リアタイヤの負荷状態の半径は、フロントタイヤの負荷状態の半径と異なる可能性がある。一般に、車両の重量は、運動中に変化しないが、例外として燃料消費があり、これは長時間にわたって発生する小さな影響である。車両が運動中に急速に変化する可能性のあるものとしては、車両の重量分布がある。水平地形を走行する車両の重量分布を、図15に示してある。この図で、 $\theta = 0$ の表記は、車両が移動している面は、水平面とゼロ度の角度をなすことを示すものである。したがって、車両の重量ベクトルは、車両の走行面に垂直である。INS及びVMS支援デバイスを備える車両が、そのような水平面を走行し始めると、INSのカルマンフィルタが解として求める Δ_{SF} の値は、図15に示す負荷状態の半径の関数となる。

【0040】

30

いったん、車両が水平面と平行ではない面上を走行し始めると、車両の負荷状態半径は、新しい値に変化することになる。これが図17に示してあり、ここでは車両が登坂するのが示されている。図からわかるように、車両の重量分布は、図15に示したものから変化している。図17では、車両の重量分布は、前輪よりも、後輪側に向かって移動している。したがって、後輪中の空気は、より大きな重量で圧縮されて、負荷状態半径 R_L はより小さく $R_L - r$ となる。この効果は、下方の図18により詳細に示してある。

【0041】

r の大きさは、とりわけ走行中の坂道の勾配に依存する。負荷状態の半径の値が変化する結果として、車両が走行した真の距離を求める式、式(5)は次のようになる。

【0042】

40

【数3】

$$DT_{Reported} = SF * (1 + \Delta_{SF}) * N \frac{2\pi(R_L - \Delta r)}{K_1 K_2} \quad (6)$$

【0043】

これは以下のように解くことができる。

【0044】

【数4】

$$DT_{\text{Reported}} = SF * (1 + \Delta_{\text{SF}}) * N \frac{2\pi R_L}{K_1 K_2} - SF * (1 + \Delta_{\text{SF}}) * N \frac{2\pi \Delta r}{K_1 K_2} \quad (7)$$

【0045】

式(7)は、走行距離の計算に生じる誤差は、その絶対値が r と直接比例する線形誤差であることを示している。式(7)は、次のように書くことができる。

$$DT_{\text{Reported}} = DT_{\text{True}} - DT_{\text{Error}} \quad (8)$$

これらすべての逆は、車両が下り坂を走行中の場合に真である。車両の重量分布は、前方タイヤの方向に移動し、リアタイヤの負荷状態の半径は、ある量 r だけ、坂道の勾配に応じて増加する。このことを以下の図16に示してある。これによって、式(7)の誤差項は符号が変わり、次のようになる。

【0046】

【数5】

$$DT = SF * (1 + \Delta_{\text{SF}}) * N \frac{2\pi R_L}{K_1 K_2} + SF * (1 + \Delta_{\text{SF}}) * N \frac{2\pi \Delta r}{K_1 K_2} \quad (9)$$

【0047】

前記の全論述の逆は、車両が前輪駆動であれば真であり、前輪駆動とは、ドライブシャフトがリアアクスルを駆動せずにフロントアクスルを駆動することを意味する。このような状況においては、フロントタイヤの負荷状態の半径は、坂道を登りながら、増加して、式(7)の誤差項を正符号にする。また、フロントタイヤの付加状態の半径は、坂道を下っている間は減少し、式(9)の誤差項を負符号にする。

【0048】

走行距離の計算における誤差は、式(7)の第2項に起因する。この誤差項は、以下の式(10)で示すように、 r と線形関係で増大し、これはカルマンフィルタ中の数学モデルで、車輪付き車両の負荷状態での半径が、式(5)で示すように、一定であると誤って仮定されている結果である。

【0049】

【数6】

$$DT_{\text{error}} = -SF * (1 + \Delta_{\text{SF}}) * N \frac{2\pi \Delta r}{K_1 K_2} \quad (10)$$

【0050】

この現行技術VMS支援航法システムは、一定の負荷車輪半径を仮定している。式(7)の第2項に起因する誤差は、式(10)を式(5)で除することによって求められる。

これによって、誤差と真値の比である式(11)が得られる。

【0051】

【数7】

$$\frac{DT_{\text{Error}}}{DT_{\text{True}}} = \frac{-SF * (1 + \Delta_{\text{SF}}) * N \frac{2\pi \Delta r}{K_1 K_2}}{SF * (1 + \Delta_{\text{SF}}) * N \frac{2\pi R_L}{K_1 K_2}} = \frac{-\Delta r}{R_L} \quad (11)$$

【0052】

一般的な軍事事務においては、走行距離の水平位置誤差が0.15%程度であることを必要とする。式(11)は、負荷状態半径40.64cm(16in)の車両が、坂道を走行中に、タイヤがさらに0.06096cm(0.024in)縮小又は拡大した場合には、走行距離の0.15%の水平位置誤差の許容値を超える可能性があることを意味している。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 3 】

この問題に対する解決法は、走行距離の計算における誤差 DT_{error} が、式 (1 0) で示すように、負荷状態半径 r の動的変化に対して線形であることを理解することから始まる。次は、限られた範囲において、 r は、車両が水平軸となす角度 θ に対して線形であることの理解である。言い換えると、限られた領域において、 r は、車両が走行中の坂道の勾配に対して線形である。さらに言い換えると、限られた領域において、 r は車両のピッチに対して線形である。この限られた領域に対する適切な範囲は、経験的にピッチのプラスマイナス 1 0 度に決定されている。

【 0 0 5 4 】

したがって、解決法は、式 (5) に示す数学モデルから、以下の式 (1 2) に示すモデルへの変更を含む。この式において、 N は車両のピッチをラジアンで表したものであり、 Δ_{SF} は新規パラメータであり、このパラメータは、 K_1 を乗ずると、付加状態半径 r の推定変化を与える比例定数を表す。

【 0 0 5 5 】

【 数 8 】

$$DT_{True} = SF * (1 + \Delta_{SF}) * N \frac{2\pi(R_L - \alpha\theta)}{K_1 K_2} \quad (12)$$

【 0 0 5 6 】

カルマンフィルタ実装の目的では、式 (1 2) は式 (1 3) で示すように簡略化される。

【 0 0 5 7 】

【 数 9 】

$$DT_{True} = \text{Nominal_VMS_SF} * (1 + \Delta_{SF} + K_VMS_SF_Pitch * \theta) * N \quad (13)$$

【 0 0 5 8 】

ここで、

【 0 0 5 9 】

【 数 1 0 】

$$\text{Nominal_VMS_SF} = \frac{2\pi R_L SF}{K_1 K_2} \quad (14)$$

【 0 0 6 0 】

また、

【 0 0 6 1 】

【 数 1 1 】

$$K_VMS_SF_Pitch = -\frac{\alpha}{R_L} \quad (15)$$

【 0 0 6 2 】

Δ_{SF} の積は小さく、したがって無視する。この誤差 (V M S ピッチ誤差) に対する解決法は、V M S パルス及び慣性データを入力として使用する、上記で説明した I N S 誤差を含む、全体プロセスを示す図 4 の機能ブロックに示してある。

【 0 0 6 3 】

V M S、慣性、及びカルマンフィルタデータを使用して、車両ボディフレームにおける車両位置変化を表すベクトルを形成する方法を示す、図 5 を参照すると、入力は V M S パルス、V M S 状態補正及び慣性姿勢である。V M S パルスは、V M S からの離散時間間隔にわたる蓄積パルス列であり、すなわちドライブシャフトの離散的回転を表している。V

10

20

30

40

50

MSパルスは、公称VMSスケールファクタKを乗じることによって走行距離に変換される。

【0064】

VMS状態補正は、VMS誤差状態に対する補正である、VMS誤差状態はカルマンフィルタでモデル化されている。カルマンフィルタは、VMSスケールファクタの時間変化誤差、車両ピッチに比例するVMSスケールファクタの誤差、VMSのINSに対する一定ミスアライメント、及び車両ピッチに比例するVMSミスアライメントの誤差をモデル化している。状態補正の1つは、処理ポイント5aにおける、INS検知ピッチの関数としての推定スケールファクタであり、処理ポイント5bにおいてこれに車両ピッチが乗算され、処理ポイント5cにおいてピッチに応じてVMS_SF_Changeが生成される。

10

【0065】

処理ポイント5cにおける値は、KF_VMS_SF、及びVMS状態補正の1つと、5dで加算されて、処理ポイント5eにおいて、出力VMSスケールファクタ補正を生成する。処理ポイント5eの値には、VMS距離を乗じて、処理ポイント5gで補正距離(VMS_Delta_Position)を生成する。ポイント5gで得られた値には、処理ポイント5hで生成される、ボディとシャーシの公称アライメントを表す方向ベクトルを乗じる。

【0066】

5jにおける慣性姿勢は、車両ピッチに関する情報を含み、これはVMSミスアライメント及びVMSスケールファクタの現在補正を形成するのに使用される。カルマンフィルタVMSスケールファクタ誤差状態は、VMS走行距離を補正するのに使用される。この補正出力は、VMS_Delta_Position(間隔中の補正走行距離)と呼ばれる。ミスアライメント情報は、INS基準フレーム内のベクトル、すなわちVMS_dp_B(ボディ基準フレームにおける位置変化)と呼ばれる、ボディフレーム内のベクトルを生成するのに使用される。VMSデルタポジションベクトルは、10Hzより上で、100Hzより下の計算で形成される。図2はまた、ピッチに応じてスケールファクタに対するカルマンフィルタ補正を適用する方法を示す。

20

【0067】

図7はVMS及び慣性データの積分の形成を示しており、この図では、各カルマンフィルタサイクルにおける出力サンプル積分は、位置変化情報の2つの異なる供給源を合成する、カルマンフィルタ観測を形成するために使用される慣性及びVMSデータの積分を示す。以下の計算が、図7で実行される。航法フレームにおける慣性速度v_Lが積分されて、Integral_v_Lを形成する。ボディフレーム内のVMSデルタポジションは、ボディ/航法フレーム変換行列C_LBを乗算することによって航法フレームに変換される。この積が蓄積されて、航法フレームにおけるVMSデルタポジションの積分Integral_VMS_dp_Lが形成される。ボディから航法フレームへの変換行列(C_LB)と、VMSデルタポジションスカラーとの積の各要素も積分される。

30

【0068】

この積分は、VMS_Misalignment_Integralと呼ばれる。航法フレーム内のVMSデルタポジションと車両ピッチ角の積が積分されて、ピッチ関連スケールファクタ誤差への感度を形成する。この積分は、VMS_Pitch_SF_Integralと呼ばれる。車両ピッチ角とVMS位置変化の積が、積分されてピッチ関連ミスアライメントへの感度を形成する。この積分は、MS_Pitch_Sway_Integralと呼ばれる。

40

【0069】

これらの積分のすべては、カルマンフィルタの計算速度よりも速い速度で実行される。これらの積分は、各カルマンフィルタ間隔において、サンプリングがリセットされる。一般的なカルマンフィルタ速度は、1Hzである。VMS積分は、10Hzから100Hzまでの任意の速度で起こりえる。

50

【0070】

慣性航法解及びVMS誤差モデルへのカルマンフィルタ補正を示す図9は、カルマンフィルタを使用して、慣性及びVMSデータを比較し、両セットのデータ中の誤差を決定する方法を示している。入力、慣性システムデータ、ならびにチャート1.3で形成されたVMS及び慣性データ積分である。実行される最初のプロセスは、誤差状態ベクトル及び誤差状態共分散を、図8で実行されたVMS及び慣性データサンプルの時間に伝達させることを含む。

【0071】

VMS及び慣性データ積分は、カルマンフィルタで使用されるVMSデルタポジション観測を形成するのに使用される。さらに、このデータを使用して各観測に対する感度行列が形成される。感度行列は、この観測が各カルマンフィルタ誤差にどのように影響するかを数学的に関係づける。

10

【0072】

次いで、カルマンフィルタは観測を処理し、更新された誤差状態ベクトル及び更新された共分散行列を生成する。この更新された誤差状態ベクトルは、このチャートの出力である2つの部分、慣性誤差状態への補正及びVMS誤差状態に対する補正に分割される。

【0073】

図14を参照すると、VMSデルタポジション観測及び関連する観測感度行列は、VMSデルタポジション観測及びVMS誤差状態に対する観測の感度を定義する。航法フレーム内のVMSデルタポジションの積分Integral_VMS_dp_Lは、積分時間によって換算され、慣性速度の積分Integral_v_Lから減算されてデルタ位置観測を形成する。デルタ位置観測の感度行列が形成される。この観測の速度誤差に対する感度は、積分周期の時間である。この観測の姿勢誤差に対する感度は、VMSデルタポジションの積分から形成される。

20

【0074】

この観測のVMSスケールファクタ誤差に対する感度もまた、VMSデルタポジションの積分から形成される。VMSミスアライメント誤差に対するこの観測の感度は、VMSミスアライメント積分から形成される。ピッチ関連ミスアライメント誤差に対するこの観測の感度は、VMSピッチ動揺積分から形成される。ピッチ関連VMSスケールファクタ誤差に対するこの観測の感度は、VMSピッチスケールファクタ積分から形成される。このチャートの出力は、観測ベクトル及び観測感度行列である。前述のすべての修正及び変更に加えて、当業者であれば、本発明及びその構成要素と機能を、その真の範囲と趣旨から逸脱することなく、全体的又は部分的に修正することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0075】

【図1】水平地形上を移動する車両を示す図である。

【図2】登り傾斜地形上を移動する車両を示す図である。

【図3】下り傾斜地形上を移動する車両を示す図である。

【図4】動揺に基づいて、高精度慣性航法データを決定する本発明のシステムを示す図である。

40

【図5】ボディフレームにおける車両位置の変化の決定を示す図である。

【図6】車両におけるボディとシャーシ間のミスアライメントの決定を示す図である。

【図7】速度、位置変化、ミスアライメント、動揺の積分を示す図である。

【図8】慣性航法データの補正を示す図である。

【図9】慣性航法データと共にVMSのための補正の決定を示す図である。

【図10】誤差及び共分散行列の決定を示す図である。

【図11】誤差及び共分散行列の決定に係る状態遷移行列の形成を示す図である。

【図12】誤差及び共分散行列更新を示す図である。

【図13】更新共分散と共に更新誤差を決定するのに必要なカルマンゲインの決定を示す図である。

50

【図14】図7から得られた積分データに基づくVMSと共に、慣性航法データ用の補正係数の部分的決定を示す図である。

【図15】水平高度におけるタイヤ走行車両を示す図である。

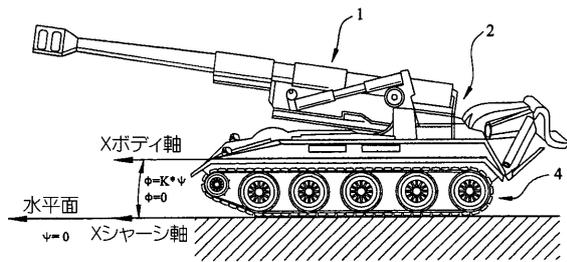
【図16】下り勾配上の車両を示す図である。

【図17】登り勾配上の車両を示す図である。

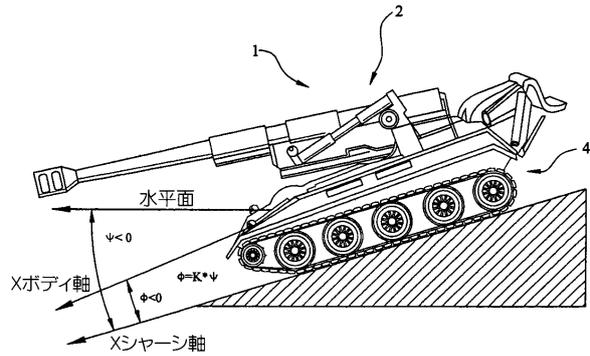
【図18】車両配向の変化によるタイヤ直径の変化を示す図である。

【図19】車両配向の変化によるタイヤ直径の変化を示す図である。

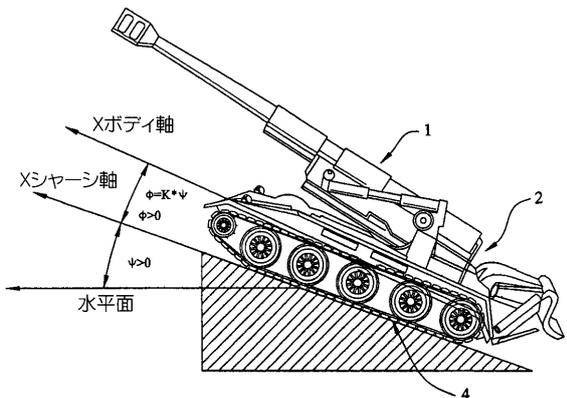
【図1】



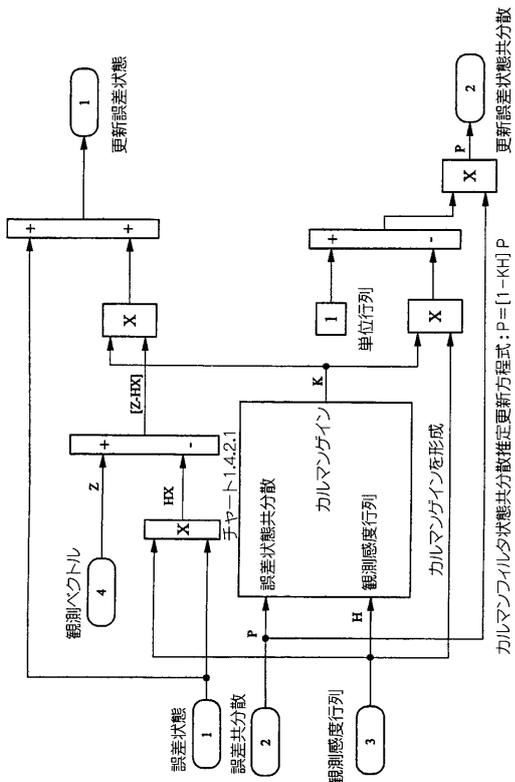
【図3】



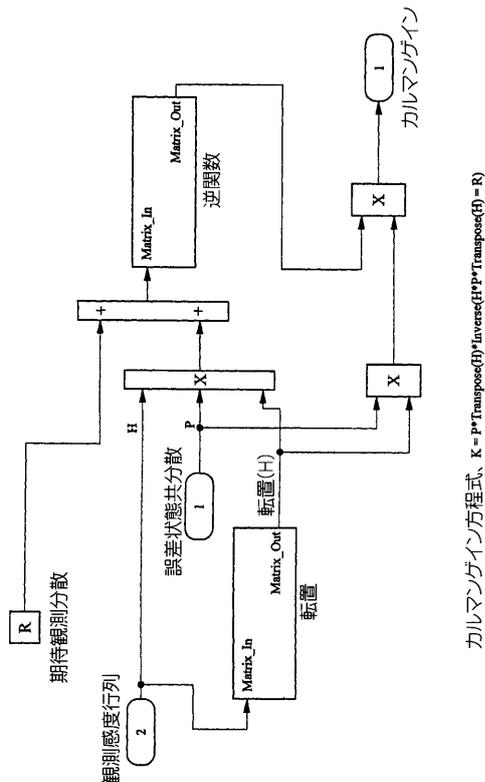
【図2】



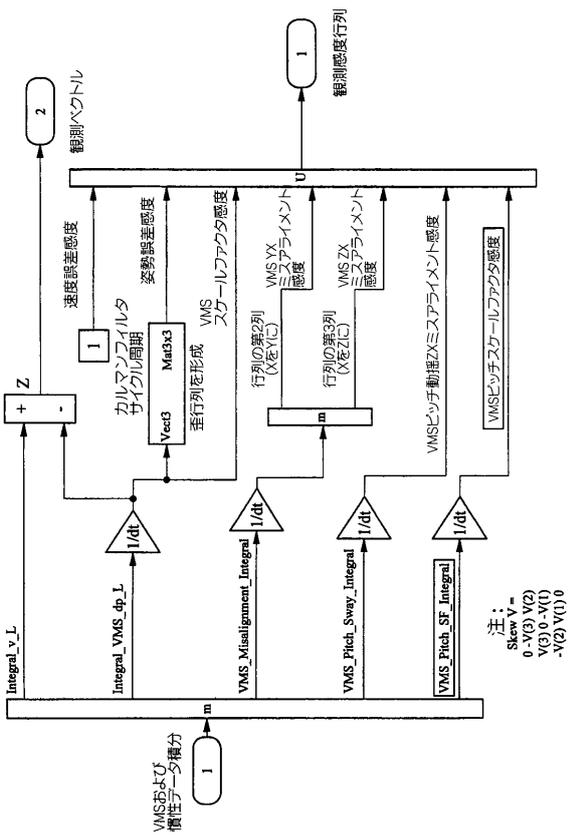
【 図 1 2 】



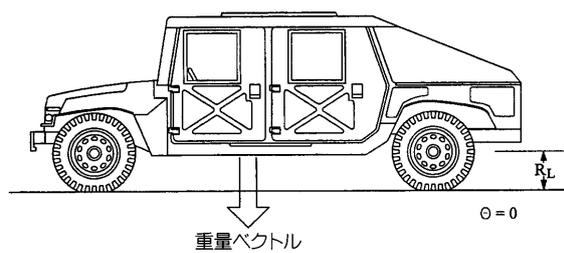
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

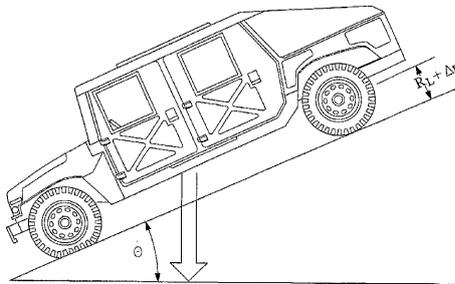
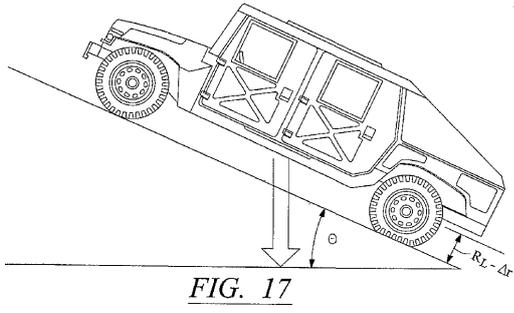
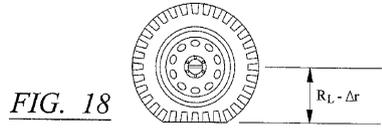


FIG. 16

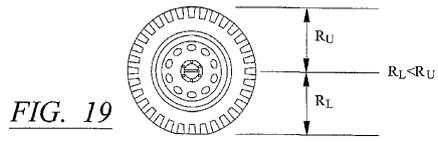
【 17 】



【 18 】



【 19 】



フロントページの続き

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100093713

弁理士 神田 藤博

(72)発明者 モーガン, ケネス・エス

アメリカ合衆国フロリダ州 3 3 7 0 2, セント・ピーターズバーグ, ノースイースト, エイティーン
ンス・ストリート 6 3 6 0

(72)発明者 ヴァウジン, マイケル・オー

アメリカ合衆国フロリダ州 3 4 6 9 5, セイフティ・ガーバー, ハーバー・ウッズ・サークル 5

審査官 片岡 弘之

(56)参考文献 特開平 0 5 - 2 1 5 5 6 4 (J P , A)

特表 2 0 0 3 - 5 0 8 7 3 7 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

G01C 21/00 -21/36

G01C 23/00 -25/00

G01C 22/00 -22/02

B60R 16/02

F41H 7/00