

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年11月1日(01.11.2018)



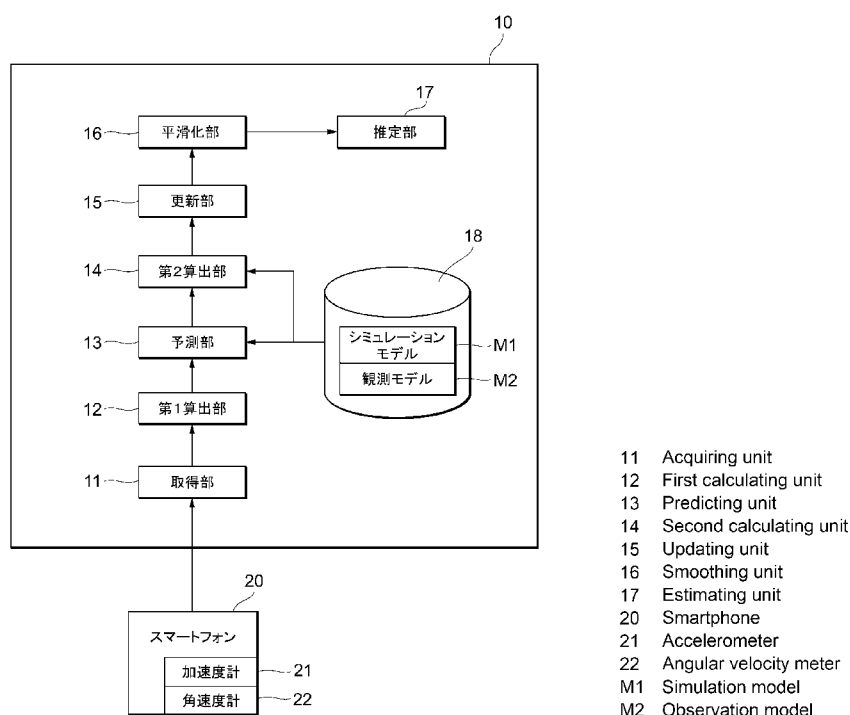
(10) 国際公開番号

WO 2018/199286 A1

- (51) 国際特許分類:
G01C 7/04 (2006.01) G01B 21/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/017182
- (22) 国際出願日: 2018年4月27日(27.04.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2017-088700 2017年4月27日(27.04.2017) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人東京大学 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) [JP/JP]; 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 長山 智則 (NAGAYAMA, Tomonori); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP). 趙博宇 (ZHAO, Boyu); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP). 王浩祺 (WANG, Haoqi); 〒1138654 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 稲葉 良幸, 外 (INABA, Yoshiyuki et al.); 〒1066123 東京都港区六本木6-10-1 六本木ヒルズ森タワー23階 TMI 総合法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,

(54) Title: ROAD SURFACE PROFILE ESTIMATING DEVICE, ROAD SURFACE PROFILE ESTIMATING SYSTEM, ROAD SURFACE PROFILE ESTIMATING METHOD, AND ROAD SURFACE PROFILE ESTIMATING PROGRAM

(54) 発明の名称: 路面プロファイル推定装置、路面プロファイル推定システム、路面プロファイル推定方法及び路面プロファイル推定プログラム



(57) Abstract: Provided is a road surface profile estimating device capable of accurately estimating a profile of any road surface, including ordinary roads, using a general purpose vehicle. A road surface profile estimating device 10 is provided with: an acquiring unit 11 which acquires an acceleration in a vertical direction and an angular velocity relating

BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告(条約第21条(3))

to a pitch axis; a first calculating unit 12 which calculates a displacement in the vertical direction, and calculates an angular displacement relating to the pitch axis; a predicting unit 13 which predicts time evolution of a state variable of a vehicle on the basis of a simulation model; a second calculating unit 14 which calculates, from the state variable, the acceleration, angular velocity, displacement, and angular displacement on the basis of an observation model; an updating unit 15 which updates the state variable by means of data assimilation between the acceleration and angular velocity acquired by the acquiring unit 11, the displacement and angular displacement calculated by the first calculating unit 12, and the acceleration, angular velocity, displacement and angular displacement calculated by the second calculating unit 14; and an estimating unit 17 which estimates the road surface profile on the basis of the state variable.

(57) 要約: 一般道路を含む任意の路面のプロファイルを、汎用の車両を用いて精度良く推定することのできる路面プロファイル推定装置等を提供する。路面プロファイル推定装置10は、垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度を取得する取得部11と、垂直方向の変位を算出し、ピッチ軸に関する角度変位を算出する第1算出部12と、シミュレーションモデルに基づいて、車両の状態変数の時間発展を予測する予測部13と、観測モデルに基づいて、状態変数から、加速度、角速度、変位及び角度変位を算出する第2算出部14と、取得部11により取得された加速度及び角速度並びに第1算出部12により算出された変位及び角度変位と、第2算出部14により算出された加速度、角速度、変位及び角度変位とのデータ同化によって、状態変数を更新する更新部15と、状態変数に基づいて、路面のプロファイルを推定する推定部17と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

路面プロファイル推定装置、路面プロファイル推定システム、路面プロファイル推定方法及び路面プロファイル推定プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、路面プロファイル推定装置、路面プロファイル推定システム、路面プロファイル推定方法及び路面プロファイル推定プログラムに関する。

背景技術

[0002] 従来、路面の縦断形状（以下、路面のプロファイルという。）を評価するために、路面の凹凸を測定し、例えば I R I（International Roughness Index：国際ラフネス指数）等の指数を算出する場合がある。路面プロファイルに関する情報は、路面の補修要否を判断したり、車両で走行した場合の快適性を評価したりするために用いられることがある。

[0003] 特開 2 0 1 7 - 0 4 0 4 8 6 号公報には、自転車に取り付けられた速度センサ、加速度センサ、角速度センサによって計測したデータに基づいて、自転車の走行距離及び鉛直方向変位を求め、走行距離と加速度に基づく鉛直方向変位を互いに関連付けるか、又は、加速度に基づく鉛直方向変位及び角速度に基づく鉛直方向変位を組み合わせることで走行距離と関連付けることによって、自転車道の路面プロファイルを求める測定装置が記載されている。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 路面プロファイルは、高精度なレーザ距離計を備えた専用車によって推定されることがある。しかしながら、路面プロファイルを推定する専用車は高価であり、使用することのできる事業者が限られていた。また、路面プロファイルを推定する専用車は、高速道路の路面プロファイルを推定することを前提として設計されることがあり、一般道路の路面プロファイルの推定に必

ずしも適していない場合があった。

[0005] 一方、汎用の車両に簡易なセンサを取り付けて路面プロファイルを推定する場合もあったが、十分な精度が得られないことがあった。

[0006] そこで、本発明は、一般道路を含む任意の路面のプロファイルを、汎用の車両を用いて精度良く推定することのできる路面プロファイル推定装置、路面プロファイル推定システム、路面プロファイル推定方法及び路面プロファイル推定プログラムを提供する。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一態様に係る路面プロファイル推定装置は、車両が接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度を取得する取得部と、加速度を積分して垂直方向の変位を算出し、角速度を積分してピッチ軸に関する角度変位を算出する第1算出部と、シミュレーションモデルに基づいて、車両が走行する路面の凹凸を表す変数、車両の上下運動を表す変数及び車両のピッチ軸に関する回転運動を表す変数を含む状態変数の時間発展を予測する予測部と、観測モデルに基づいて、予測部により予測された状態変数から、加速度、角速度、変位及び角度変位を算出する第2算出部と、取得部により取得された加速度及び角速度並びに第1算出部により算出された変位及び角度変位と、第2算出部により算出された加速度、角速度、変位及び角度変位とのデータ同化によって、状態変数を更新する更新部と、状態変数に含まれる路面の凹凸を表す変数に基づいて、路面のプロファイルを推定する推定部と、を備える。

[0008] この態様によれば、車両が接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度のみならず、垂直方向の変位及びピッチ軸に関する角度変位をデータ同化に用いることで、安定性の高い解析を実現することができ、一般道路を含む任意の路面のプロファイルを、汎用の車両を用いて精度良く推定することができる。

[0009] 上記態様において、予測部により予測される時点よりも後に取得部により取得された加速度及び角速度並びに第1算出部により算出された変位及び角

度変位に基づいて、状態変数を平滑化する平滑部をさらに備えてもよい。

[0010] この態様によれば、車両の垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度のみならず、垂直方向の変位及びピッチ軸に関する角度変位をデータの平滑化に用いることで、さらに精度良く路面のプロファイルを推定することができる。

[0011] 上記態様において、シミュレーションモデルは、車両のハーフカーモデルであり、

状態変数は、ハーフカーモデルの状態を表す変数であってよい。

[0012] この態様によれば、シミュレーションモデルとしてクォーターカーモデルを用いる場合に比べて、車両の運動状態をより正確に表すことができ、状態変数の時間発展をより精度良く予測することができる。

[0013] 上記態様において、路面の凹凸を表す変数は、ハーフカーモデルのフロントタイヤの垂直方向の変位及び速度と、ハーフカーモデルのリアタイヤの垂直方向の変位及び速度とを含み、車両の上下運動を表す変数は、ハーフカーモデルの重心の垂直方向の変位及び速度と、ハーフカーモデルのフロントサスペンションの垂直方向の変位及び速度と、ハーフカーモデルのリアサスペンションの垂直方向の変位及び速度とを含み、車両のピッチ軸に関する回転運動を表す変数は、ハーフカーモデルの重心を通るピッチ軸に関する回転角及び角速度を含んでよい。

[0014] 上記態様において、シミュレーションモデルは、状態変数の線形変換又は非線形変換とガウシアンノイズ又は非ガウシアンノイズによって状態変数の時間発展を表すモデルであり、観測モデルは、状態変数の線形変換又は非線形変換とガウシアンノイズ又は非ガウシアンノイズによって、加速度、角速度、変位及び角度変位を算出するモデルであってよい。

[0015] この態様によれば、非線形変換と非ガウシアンノイズを含むシミュレーションモデルによって状態変数の時間発展を表し、非線形変換と非ガウシアンノイズを含む観測モデルによって観測を表すことで、非線形の挙動や非ガウシアンノイズの揺動を正確に記述することができ、路面プロファイルをより精度良

く推定することができる。

[0016] 上記態様において、シミュレーションモデルは、状態変数の線形変換とガウシアンノイズによって状態変数の時間発展を表すモデルであり、観測モデルは、状態変数の線形変換とガウシアンノイズによって、加速度、角速度、変位及び角度変位を算出するモデルであり、更新部は、状態変数の2乗誤差を最小化するように、状態変数を更新してよい。

[0017] この態様によれば、線形変換とガウシアンノイズを含むシミュレーションモデルによって状態変数の時間発展を表し、線形変換とガウシアンノイズを含む観測モデルによって観測を表すことで、比較的負荷の軽い演算によって路面プロファイルを推定することができる。

[0018] 本発明の他の態様に係る路面プロファイル推定システムは、車両に設置され、車両が接地する路面に対して垂直方向の加速度を測定する加速度計と、車両に設置され、車両のピッチ軸に関する角速度を測定する角速度計と、車両が走行する路面のプロファイルを推定する路面プロファイル推定装置と、を含み、路面プロファイル推定装置は、加速度計から加速度を取得し、角速度計から角速度を取得する取得部と、加速度を積分して垂直方向の変位を算出し、角速度を積分してピッチ軸に関する角度変位を算出する第1算出部と、シミュレーションモデルに基づいて、車両が走行する路面の凹凸を表す変数、車両の上下運動を表す変数及び車両のピッチ軸に関する回転運動を表す変数を含む状態変数の時間発展を予測する予測部と、観測モデルに基づいて、予測部により予測された状態変数から、加速度、角速度、変位及び角度変位を算出する第2算出部と、取得部により取得された加速度及び角速度並びに第1算出部により算出された変位及び角度変位と、第2算出部により算出された加速度、角速度、変位及び角度変位とのデータ同化によって、状態変数を更新する更新部と、状態変数に含まれる路面の凹凸を表す変数に基づいて、路面のプロファイルを推定する推定部と、を備える。

[0019] この態様によれば、車両が接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度のみならず、垂直方向の変位及びピッチ軸に関する角

度変位をデータ同化に用いることで、安定性の高い解析を実現することができ、一般道路を含む任意の路面のプロファイルを、汎用の車両を用いて精度良く推定することができる。

[0020] 本発明の他の態様に係る路面プロファイル推定装置方法は、車両が接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度を取得する第1ステップと、加速度を積分して垂直方向の変位を算出し、角速度を積分してピッチ軸に関する角度変位を算出する第2ステップと、シミュレーションモデルに基づいて、車両が走行する路面の凹凸を表す変数、車両の上下運動を表す変数及び車両のピッチ軸に関する回転運動を表す変数を含む状態変数の時間発展を予測する第3ステップと、観測モデルに基づいて、第3ステップにおいて予測された状態変数から、加速度、角速度、変位及び角度変位を算出する第4ステップと、第1ステップにおいて取得された加速度及び角速度並びに第2ステップにおいて算出された変位及び角度変位と、第4ステップにおいて算出された加速度、角速度、変位及び角度変位とのデータ同化によって、状態変数を更新する第5ステップと、状態変数に含まれる路面の凹凸を表す変数に基づいて、路面のプロファイルを推定する第6ステップと、を含む。

[0021] この態様によれば、車両が接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度のみならず、垂直方向の変位及びピッチ軸に関する角度変位をデータ同化に用いることで、安定性の高い解析を実現することができ、一般道路を含む任意の路面のプロファイルを、汎用の車両を用いて精度良く推定することができる。

[0022] 本発明の他の態様に係る路面プロファイル推定装置プログラムは、路面プロファイル推定装置に備えられたコンピュータを、車両が接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度を取得する取得部、加速度を積分して垂直方向の変位を算出し、角速度を積分してピッチ軸に関する角度変位を算出する第1算出部、シミュレーションモデルに基づいて、車両が走行する路面の凹凸を表す変数、車両の上下運動を表す変数及び車両のピ

ッチ軸に関する回転運動を表す変数を含む状態変数の時間発展を予測する予測部、観測モデルに基づいて、予測部により予測された状態変数から、加速度、角速度、変位及び角度変位を算出する第2算出部、取得部により取得された加速度及び角速度並びに第1算出部により算出された変位及び角度変位と、第2算出部により算出された加速度、角速度、変位及び角度変位とのデータ同化によって、状態変数を更新する更新部、及び状態変数に含まれる路面の凹凸を表す変数に基づいて、路面のプロファイルを推定する推定部、として機能させる。

[0023] この態様によれば、車両が接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度のみならず、垂直方向の変位及びピッチ軸に関する角度変位をデータ同化に用いることで、安定性の高い解析を実現することができ、一般道路を含む任意の路面のプロファイルを、汎用の車両を用いて精度良く推定することができる。

発明の効果

[0024] 本発明によれば、一般道路を含む任意の路面のプロファイルを、汎用の車両を用いて精度良く推定することのできる路面プロファイル推定装置、路面プロファイル推定システム、路面プロファイル推定方法及び路面プロファイル推定プログラムを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0025] [図1]本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定システムの概略図である。

[図2]本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定装置の機能ブロック図である。

[図3]本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定装置により用いられるシミュレーションモデルの概念図である。

[図4]本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定装置により実行される第1処理のフローチャートである。

[図5]本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定装置により実行され

る第2処理のフローチャートである。

[図6]本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定システムにより推定された、走行距離と路面プロファイルの関係を示す第1グラフである。

[図7]本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定システムにより推定された、走行距離と路面プロファイルの関係を示す第2グラフである。

[図8]本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定システムにより推定された、走行距離と路面プロファイルの関係を示す第3グラフである。

[図9]本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定システムにより推定された路面プロファイルのパワースペクトルを示す第4グラフである。

[図10]本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定システムにより路面プロファイルを推定した際の、車両の走行距離と速度を示す第5グラフである。

[図11]本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定システムにより路面プロファイルを推定した際の、車両の走行距離と速度を示す第6グラフである。

[図12]本発明の第2実施形態に係る路面プロファイル推定装置により実行される第3処理のフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0026] 添付図面を参照して、本発明の実施形態について説明する。なお、各図において、同一の符号を付したものは、同一又は同様の構成を有する。

[0027] [第1実施形態]

図1は、本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定システム1の概略図である。路面プロファイル推定システム1は、車両30と、車両30が接地する路面に対して垂直方向の加速度を測定する加速度計21と、車両30のピッチ軸に関する角速度を測定する角速度計22と、車両30が走行する路面のプロファイルを推定する路面プロファイル推定装置10と、を含む。本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1において、加速度計21及び角速度計22は、スマートフォン20に内蔵されたものである。ス

スマートフォン20は、車両30のダッシュボードやトランクルーム等、任意の場所に設置されてよい。もっとも、加速度計21及び角速度計22は、独立して車両30に設置されるものであってもよい。加速度計21は、車両30が接地する路面に対して垂直方向の加速度を測定するが、必ずしも垂直方向の加速度のみを測定するものでなくてもよく、路面に対して水平方向の加速度をも測定するものであってもよい。加速度計21は、車両30の加速度の複数の成分のうち、少なくとも路面に対して垂直方向の成分を測定するものであればよい。角速度計22は、車両30のピッチ軸に関する角速度を測定するが、必ずしもピッチ軸に関する角速度のみを測定するものでなくてもよく、車両30のロール軸に関する角速度やヨー軸に関する角速度をも測定するものであってもよい。角速度計22は、車両30の複数の軸に関する角速度のうち、少なくともピッチ軸に関する角速度を測定するものであればよい。

[0028] 路面プロファイル推定装置10は、加速度計21及び角速度計22によって測定した加速度及び角速度等に基づいて、車両30が走行する路面のプロファイルを推定する。本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1において、路面プロファイル推定装置10は、通信ネットワークNを介してスマートフォン20と接続される。ここで、通信ネットワークNは、有線又は無線の通信網であってよい。なお、路面プロファイル推定装置10は、必ずしもスマートフォン20と独立した装置でなくてもよく、スマートフォン20と一体となって構成されるものであってもよい。その場合、スマートフォン20にインストールされた路面推定プログラムが実行されることで、スマートフォン20が路面プロファイル推定装置10として機能してよい。

[0029] 車両30は、路面上を4輪のタイヤで走行する自動車であってよい。もっとも、車両30は、3輪や2輪のものであってもよいし、5輪以上のものであってもよい。車両30としては任意の大きさの自動車を用いてよく、本明細書では、軽車両(L i g h t)、小型車両(S m a l l)及び中型車両(M i d d l e)を車両30として用いた場合について説明する。

[0030] 図2は、本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定装置10の機

能ブロック図である。路面プロファイル推定装置 10 は、取得部 11、第 1 算出部 12、予測部 13、第 2 算出部 14、更新部 15、平滑化部 16、推定部 17 及び記憶部 18 を備える。

[0031] 取得部 11 は、車両 30 が接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度を取得する。取得部 11 は、スマートフォン 20 と通信して、スマートフォン 20 に内蔵された加速度計 21 から加速度を取得し、角速度計 22 から角速度を取得してよい。

[0032] 第 1 算出部 12 は、加速度を積分して垂直方向の変位を算出し、角速度を積分してピッチ軸に関する角度変位を算出する。第 1 算出部 12 は、取得部 11 により取得された加速度を、時間に関して 2 階積分することで垂直方向の変位を算出する。また、第 1 算出部 12 は、取得部 11 により取得された角速度を、時間に関して 1 階積分することでピッチ軸に関する角度変位を算出する。

[0033] 予測部 13 は、シミュレーションモデル M1 に基づいて、車両 30 が走行する路面の凹凸を表す変数、車両 30 の上下運動を表す変数及び車両 30 のピッチ軸に関する回転運動を表す変数を含む状態変数の時間発展を予測する。ここで、シミュレーションモデル M1 は、記憶部 18 に記憶されている。本実施形態では、シミュレーションモデル M1 は、車両 30 のハーフカーモデルであり、状態変数は、ハーフカーモデルの状態を表す変数である。より具体的には、路面の凹凸を表す変数は、ハーフカーモデルのフロントタイヤの垂直方向の変位及び速度と、ハーフカーモデルのリアタイヤの垂直方向の変位及び速度とを含む。また、車両 30 の上下運動を表す変数は、ハーフカーモデルの重心の垂直方向の変位及び速度と、ハーフカーモデルのフロントサスペンションの垂直方向の変位及び速度と、ハーフカーモデルのリアサスペンションの垂直方向の変位及び速度とを含む。また、車両 30 のピッチ軸に関する回転運動を表す変数は、ハーフカーモデルの重心を通るピッチ軸に関する回転角及び角速度を含む。

[0034] 第 2 算出部 14 は、観測モデル M2 に基づいて、予測部 13 により予測さ

れた状態変数から、車両30の接地する路面に対して垂直方向の加速度、ピッチ軸に関する角速度、垂直方向の変位及びピッチ軸に関する角度変位を算出する。観測モデルM2は記憶部18に記憶されている。

[0035] 更新部15は、取得部11により取得された加速度及び角速度並びに第1算出部12により算出された変位及び角度変位と、第2算出部14により算出された加速度、角速度、変位及び角度変位とのデータ同化によって、状態変数を更新する。ここで、データ同化とは、シミュレーションモデルM1によって予測された状態変数を、実際の測定値に基づいて更新して、予測精度を高める処理をいう。データ同化の具体的な例については、後に詳細に説明する。

[0036] 平滑化部16は、予測部13により予測される時点よりも後に取得部11により取得された加速度及び角速度並びに第1算出部12により算出された変位及び角度変位に基づいて、状態変数を平滑化する。

[0037] 推定部17は、状態変数に含まれる路面の凹凸を表す変数に基づいて、路面のプロファイルを推定する。ここで、路面のプロファイルとは、路面の縦断形状をいう。

[0038] 記憶部18は、シミュレーションモデルM1及び観測モデルM2を記憶する。本実施形態に係る路面プロファイル推定装置10において、シミュレーションモデルM1は、状態変数の線形変換とガウシアンノイズによって状態変数の時間発展を表すモデルであり、観測モデルM2は、状態変数の線形変換とガウシアンノイズによって、車両30の接地する路面に対して垂直方向の加速度、車両30のピッチ軸に関する角速度、垂直方向の変位及びピッチ軸に関する角度変位を算出するモデルである。また、更新部15は、状態変数の2乗誤差を最小化するように、状態変数を更新する。後に詳細に説明するように、本実施形態に係る路面プロファイル推定装置10の予測部13、第2算出部14及び更新部15は、カルマンフィルタとして機能する。

[0039] 図3は、本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定装置10により用いられるシミュレーションモデルM1の概念図である。シミュレーショ

ンモデルM1は、ハーフカーモデルであり、12の状態変数と13のパラメータを含む。

[0040] 状態変数は、ハーフカーモデルのフロントタイヤの垂直方向の変位 h_f 及び速度 dh_f/dt と、ハーフカーモデルのリアタイヤの垂直方向の変位 h_r 及び速度 dh_r/dt と、ハーフカーモデルの重心の垂直方向の変位 u_b 及び速度 du_b/dt と、ハーフカーモデルのフロントサスペンションの垂直方向の変位 u_f 及び速度 du_f/dt と、ハーフカーモデルのリアサスペンションの垂直方向の変位 u_r 及び速度 du_r/dt と、ハーフカーモデルの重心を通るピッチ軸に関する回転角 θ 及び角速度 $d\theta/dt$ と、を含む。

[0041] パラメータは、ハーフカーモデルのフロントタイヤのばね係数 k_{tf} と、フロントタイヤの質量 m_f と、フロントサスペンションのばね係数 k_f 及び減衰係数 c_f と、ハーフカーモデルのリアタイヤのばね係数 k_{tr} と、リアタイヤの質量 m_r と、リアサスペンションのばね係数 k_r 及び減衰係数 c_r と、ハーフカーモデルの車体の質量 m_b 及びピッチ軸まわりの慣性モーメント I_y と、ハーフカーモデルの重心からフロントタイヤの接地点までの水平距離 L_f と、ハーフカーモデルの重心からリアタイヤの接地点までの水平距離 L_r と、フロントタイヤの接地点から加速度計21及び角速度計22の設置点までの水平距離 d と、を含む。

[0042] シミュレーションモデルM1としてハーフカーモデルを用いることで、クォーターカーモデルを用いる場合に比べて、車両30の運動状態をより正確に表すことができ、状態変数の時間発展をより精度良く予測することができる。

[0043] 図4は、本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定装置10により実行される第1処理のフローチャートである。第1処理は、路面プロファイル推定装置10によって、状態変数と測定値とのカルマンフィルタによるデータ同化を行う処理である。

[0044] 路面プロファイル推定装置10は、取得部11により、車両30の接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度を取得する（

S 1 0)。加速度計 2 1 による加速度の測定と、角速度計 2 2 による角速度の測定は、所定の時間間隔毎に行われてよい。取得部 1 1 は、加速度計 2 1 及び角速度計 2 2 によって測定が行われる度に加速度及び角速度を取得してもよいし、測定終了後に加速度及び角速度をまとめて取得してもよい。

[0045] 第 1 算出部 1 2 は、取得部 1 1 により取得した加速度を積分して垂直方向の変位を算出し、角速度を積分してピッチ軸に関する角度変位を算出する（S 1 1）。取得部 1 1 により取得した加速度及び角速度並びに第 1 算出部 1 2 により算出した変位及び角度変位をまとめて、ベクトル y で表すこととする。

[0046] 予測部 1 3 は、ハーフカーモデルに基づいて、状態変数の時間発展を予測する（S 1 2）。状態変数の時間発展は、以下の数式（1）で表される運動方程式に基づいて求められる。

[0047] [数1]

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{U}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{U}(t) = \mathbf{P}(t)$$

[0048] ここで、ベクトル $\mathbf{U}$ は、以下の数式（2）で表される。ベクトル $\mathbf{U}$ は、ハーフカーモデルの重心の垂直方向の変位 u_b 、重心を通るピッチ軸に関する角度変位 θ 、ハーフカーモデルのフロントサスペンションの垂直方向の変位 u_f 及びハーフカーモデルのリアサスペンションの垂直方向の変位 u_r を、ベクトルの成分として含む。

[0049] [数2]

$$\mathbf{U} = [u_b \quad \theta \quad u_f \quad u_r]^T$$

[0050] また、行列 $\mathbf{M}$ 、 $\mathbf{C}$ 及び $\mathbf{K}$ は、それぞれ以下の数式（3）～（5）で与えられ、パラメータに依存する量である。

[0051]

[数3]

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I_f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_f & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_r \end{bmatrix}$$

[0052] [数4]

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_f + c_r & L_r c_r - L_f c_f & -c_f & -c_r \\ L_r c_r - L_f c_f & L_f^2 c_f + L_r^2 c_r & L_f c_f & -L_r c_r \\ -c_f & L_f c_f & c_f & 0 \\ -c_r & -L_r c_r & 0 & c_r \end{bmatrix}$$

[0053] [数5]

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_f + k_r & L_r k_r - L_f k_f & -k_f & -k_r \\ L_r k_r - L_f k_f & L_f^2 k_f + L_r^2 k_r & L_f k_f & -L_r k_r \\ -k_f & L_f k_f & k_f + k_r & 0 \\ -k_r & -L_r k_r & 0 & k_r + k_{rr} \end{bmatrix}$$

[0054] また、数式（１）の右辺は、路面の凹凸を表す変数に依存するベクトル $\mathbf{P}$ で与えられる。ベクトル $\mathbf{P}$ は、以下の数式（６）で与えられる。

[0055] [数6]

$$\mathbf{P} = [0 \quad 0 \quad h_f k_{tf} \quad h_r k_{tr}]^T$$

[0056] 以下の説明では、数式（７）に示すように、１２の状態変数をベクトル $\mathbf{x}^a$ によって表す。

[0057] [数7]

$$\mathbf{x}^a = [u_b \quad \theta \quad u_f \quad u_r \quad \dot{u}_b \quad \dot{\theta} \quad \dot{u}_f \quad \dot{u}_r \quad h_f \quad h_r \quad \dot{h}_f \quad \dot{h}_r]^T$$

[0058] 予測部１３は、車両３０の挙動をハーフカーモデルによってモデル化したことで生じ得る誤差を、ノイズ項によって表す。予測部１３は、状態変数 $\mathbf{x}^a$

の時間発展を、以下の数式（８）によって求める。

[0059] [数8]

$$\mathbf{x}^a_{k+1} = \mathbf{A}_a \mathbf{x}^a_k + \boldsymbol{\zeta}_k$$

[0060] ここで、状態変数 $\mathbf{x}^a$ の下付き添え字「 k 」や「 $k+1$ 」は、時間ステップを表す。右辺の行列 $\mathbf{A}_a$ は、数式（１）で表される状態変数の時間発展を、単位時間ステップにおける線形変換として表したものである。 $\mathbf{A}_a = \exp(\mathbf{A} \Delta t)$ と表すとき、 $\mathbf{A}$ は以下の数式（９）で表される。ただし、 Δt は、単位時間ステップを表す。

[0061] [数9]

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{O}_{4 \times 4} & \mathbf{I}_{4 \times 4} & \mathbf{O}_{4 \times 2} \\ -\mathbf{M}^{-1} \mathbf{K} & -\mathbf{M}^{-1} \mathbf{C} & \mathbf{Z}_{4 \times 4} \\ \mathbf{O}_{2 \times 2} & \mathbf{O}_{2 \times 2} & \mathbf{T}_{2 \times 2} \end{bmatrix}$$

[0062] ここで、行列 $\mathbf{M}$ 、 $\mathbf{C}$ 及び $\mathbf{K}$ は、数式（３）～（５）に示したものである。

$\mathbf{I}_{4 \times 4}$ は、 4×4 の単位行列であり、行列 $\mathbf{O}_{4 \times 4}$ 、 $\mathbf{O}_{4 \times 2}$ 、 $\mathbf{O}_{2 \times 2}$ は、それぞれ 4×4 、 4×2 、 2×2 の零行列である。また、行列 $\mathbf{Z}$ は、以下の数式（１０）で表される量であり、行列 $\mathbf{T}$ は、以下の数式（１１）で表される量である。

[0063] [数10]

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_g / m_f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_g / m_r & 0 \end{bmatrix}$$

[0064] [数11]

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[0065] また、数式（８）の右辺の ξ_k は、時間ステップ k におけるノイズ項である。ノイズ項 ξ_k は、以下の数式（１２）で表されるように、８次元ベクトル w_k と４次元ベクトル η_k を含む。

[0066] [数12]

$$\xi_k = \begin{bmatrix} w_k \\ \eta_k \end{bmatrix}$$

[0067] ノイズ項 ξ_k のうち、ハーフカーモデルの重心の垂直方向の変位 u_b 及び速度 du_b/dt と、ハーフカーモデルのフロントサスペンションの垂直方向の変位 u_f 及び速度 du_f/dt と、ハーフカーモデルのリアサスペンションの垂直方向の変位 u_r 及び速度 du_r/dt と、ハーフカーモデルの重心を通るピッチ軸に関する回転角 θ 及び角速度 $d\theta/dt$ と、に対するノイズ項 w_k は、平均が０、分散共分散行列が Q のガウシアンノイズである。なお、 $\delta_{k,l}$ は、クロネッカーのデルタである。

[0068] [数13]

$$E[w_k w_l^T] = Q \delta_{k,l}$$

[0069] また、ノイズ項 ξ_k のうち、ハーフカーモデルのフロントタイヤの垂直方向の変位 h_f 及び速度 dh_f/dt と、ハーフカーモデルのリアタイヤの垂直方向の変位 h_r 及び速度と dh_r/dt と、に対するノイズ項 η_k は、平均が０、分散共分散行列が S のガウシアンノイズである。

[0070] [数14]

$$E[\eta_k \eta_l^T] = S \delta_{k,l}$$

[0071] なお、状態変数の時間発展を表す数式（８）から明らかなように、ハーフカーモデルのフロントタイヤの垂直方向の変位 h_f 及び速度 dh_f/dt と、ハーフカーモデルのリアタイヤの垂直方向の変位 h_r 及び速度と dh_r/dt と、をまとめた４次元ベクトル u の時間発展は、以下の数式（１５）のよう

えられる。

[0072] [数15]

$$\mathbf{u}_{k+1} = \mathbf{u}_k + \mathbf{\eta}_k$$

[0073] 第2算出部14は、観測モデルM2に基づいて、予測部13により予測された状態変数から、加速度、角速度、変位及び角度変位を算出する（S13）。第2算出部14は、以下の数式（16）で表される観測モデルM2に基づいて、予測部13により予測された状態変数 $\mathbf{x}^a$ から、加速度、角速度、変位及び角度変位をまとめたベクトル $\mathbf{y}$ を算出する。第2算出部14は、状態変数の線形変換 $\mathbf{C}_a$ によって観測をモデル化し、観測誤差をノイズ項 $\mathbf{v}_k$ によってモデル化する。

[0074] [数16]

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{C}_a \mathbf{x}_k^a + \mathbf{v}_k$$

[0075] ここで、線形変換 $\mathbf{C}_a$ は、以下の数式（17）で与えられる。ここで、 $\mathbf{O}_4$ は、 4×4 の零行列である。

[0076] [数17]

$$\mathbf{C}_a = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_1 \\ \mathbf{O}_4 \end{bmatrix}^T$$

[0077] 行列 $\mathbf{C}_1$ は、以下の数式（18）で与えられる。

[0078]

[数18]

$$C_i = \begin{bmatrix} \frac{k_f + k_r}{m_B} + \frac{(L_f - d)(L_f k_r - L_r k_f)}{I_z} & 0 & 1 & 0 \\ \frac{L_f k_r - L_r k_f}{m_B} + \frac{(L_f - d)(L_f^2 k_f + L_r^2 k_r)}{I_z} & 0 & 0 & 1 \\ \frac{k_f}{m_B} + \frac{(L_f - d)L_f k_r}{I} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{k_r}{m_B} - \frac{(L_f - d)L_r k_f}{I_z} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{c_f + c_r}{m_B} + \frac{(L_f - d)(L_f c_r - L_r c_f)}{I_z} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{L_f c_r - L_r c_f}{m_B} + \frac{(L_f - d)(L_f^2 c_f - L_r^2 c_r)}{I_z} & 1 & 0 & 0 \\ \frac{c_f}{m_B} + \frac{(L_f - d)L_f c_r}{I_z} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{c_r}{m_B} - \frac{(L_f - d)L_r c_f}{I_z} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[0079] また、数式（14）の右辺のノイズ項 v_k は、平均が0、分散共分散行列が R のガウシアンノイズである。

[0080] [数19]

$$E[v_k v_l^T] = R \delta_{k,l}$$

[0081] 更新部15は、最適カルマンゲインにより、状態変数を更新する（S14）。ここで、最適カルマンゲインとは、状態変数の2乗誤差を最小化するように定められる更新の係数であり、以下の数式（20）で与えられる。

[0082] [数20]

$$G_{k+1} = P_{k+1}^- C_a^T [C_a P_{k+1}^- C_a^T + R_{k+1}]^{-1}$$

[0083] 数式（20）の右辺の P_{k+1}^- は、時間ステップ $k+1$ における更新前の状態変数の分散である。状態変数は、期待値の初期値が以下の数式（21）によって与えられ、分散の初期値が以下の数式（22）によって与えられる。な

お、ハット記号付きの状態変数 $\hat{x}^a$ は、推定値であることを表している。

[0084] [数21]

$$\hat{x}_0^a = E[x_0]$$

[0085] [数22]

$$P_0 = E[(x_0 - E[x_0])(x_0 - E[x_0])^T]$$

[0086] 前述のように、状態変数 x^a の期待値の時間発展は、以下の数式 (23) によって与えられる。

[0087] [数23]

$$\hat{x}_{k+1}^{a-} = A_a \hat{x}_k^a$$

[0088] ここで、上付き添え字「 $-$ 」は、更新前の量であることを表している。また、状態変数 x^a の分散の時間発展は、以下の数式 (24) によって与えられる。

[0089] [数24]

$$P_{k+1}^- = A_a P_k A_a^T + Q_k$$

[0090] 更新部 15 は、更新後の状態変数 x^a の期待値を以下の数式 (25) によって求める。

[0091] [数25]

$$\hat{x}_{k+1}^a = \hat{x}_{k+1}^{a-} + G_{k+1} (y_{k+1} - C_a \hat{x}_{k+1}^{a-})$$

[0092] ここで、右辺の「 y_{k+1} 」は、時間ステップ $k+1$ において、取得部 11 により取得された加速度及び角速度並びに第 1 算出部 12 によって算出された変位度及び角度変位であり、車両 30 について実際に測定された値である。右辺の第 2 項は、測定値 y_{k+1} と状態変数 x_{k+1}^a から算出される観測値との差に対して最適カルマンゲイン G_{k+1} を乗じた値によって状態変数を修正する項である。

[0093] 更新部 15 は、更新後の状態変数 x^a の分散を以下の数式 (26) によって

求める。

[0094] [数26]

$$\mathbf{P}_{k+1} = (\mathbf{I} - \mathbf{G}_{k+1} \mathbf{C}_k) \mathbf{P}_{k+1}$$

[0095] 以上のように、時間ステップ毎に、状態変数を予測して、測定値との差に応じて更新することで、精度良く状態変数を推定することができる。線形変換とガウシアンノイズを含むシミュレーションモデルM1によって状態変数の時間発展を表し、線形変換とガウシアンノイズを含む観測モデルM2によって観測を表すことで、比較的負荷の軽い演算によって路面プロファイルを推定することができる。

[0096] 図5は、本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定装置10により実行される第2処理のフローチャートである。第2処理は、路面プロファイル推定装置10によって状態変数の平滑化処理を行い、路面プロファイルの推定を行う処理である。

[0097] 平滑化部16は、はじめに平滑化を行う区間の指定を受け付ける(S20)。平滑化部16は、時間ステップが $k=0$ から $k=T$ まで存在する場合に、時間ステップ k の状態変数 x_k の平滑化のために、その後の全ての状態変数 x_{k+1} , x_{k+2} , $\dots$, x_T を用いてよい。もっとも、区間 L (L は任意の自然数)を指定し、 x_{k+1} , x_{k+2} , $\dots$, x_{k+L} を用いて状態変数の平滑化を行うこととしてもよい。

[0098] 平滑化部16は、以下の数式(27)によって平滑化後の状態変数の期待値の初期化を行い、以下の数式(28)によって平滑化後の状態変数の分散の初期化を行う。

[0099] [数27]

$$\hat{\mathbf{x}}_N = \hat{\mathbf{x}}_N^0$$

[0100] [数28]

$$\mathbf{P}_N^0 = \mathbf{P}_N$$

[0101] 次に、平滑化部 16 は、以下の数式 (29) によって、平滑化処理における逆伝播のゲイン Φ を算出する (S21)。

[0102] [数29]

$$\Phi_k = P_k A_k [P_{k+1}^-]^{-1}$$

[0103] 平滑化部 16 は、ゲイン Φ に基づいて、以下の数式 (30) によって、状態変数の期待値を時間ステップ $k = T$ から過去に向かって平滑化する。また、平滑化部 16 は、以下の数式 (31) によって、状態変数の分散を平滑化する (S22)。

[0104] [数30]

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_k^a + \Phi_k (\hat{\mathbf{x}}_{k+1} - \hat{\mathbf{x}}_{k+1}^a)$$

[0105] [数31]

$$P_k^b = P_k - \Phi_k (P_{k+1}^- - P_{k+1}^b) \Phi_k^T$$

[0106] 以上により、状態変数の平滑化が行われる。その後、推定部 17 は、状態変数に含まれる路面の凹凸を表す変数に基づいて、路面のプロファイルを推定する (S23)。具体的には、推定部 17 は、ハーフカーモデルのフロントタイヤの垂直方向の変位 h_f と、ハーフカーモデルのリアタイヤの垂直方向の変位 h_r とに基づいて、路面のプロファイルを推定する。

[0107] 本実施形態に係る路面プロファイル推定装置 10 によれば、車両 30 が接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度のみならず、垂直方向の変位及びピッチ軸に関する角度変位をデータ同化に用いることで、安定性の高い解析を実現することができ、一般道路を含む任意の路面のプロファイルを、汎用の車両を用いて精度良く推定することができる。また、垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度のみならず、垂直方向の変位及びピッチ軸に関する角度変位をデータの平滑化に用いることで、さらに精度良く路面のプロファイルを推定することができる。

[0108] 図 6 は、本発明の第 1 実施形態に係る路面プロファイル推定システム 1 に

より推定された、走行距離と路面プロファイルの関係を示す第1グラフである。同図では、横軸に走行距離（Distance）をメートル（m）の単位で示し、縦軸に路面プロファイルをメートル（m）の単位で示している。第1グラフには、軽車両（Light）を用いて本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1によって推定された路面プロファイルを実線で示し、専用車（Profiler）を用いて推定された路面プロファイルを破線で示している。第1グラフから、軽車両を用いて本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1によって推定された路面プロファイルと、専用車を用いて推定された路面プロファイルとがほとんど一致していることが読み取れる。本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1によれば、軽車両とスマートフォン20を用いることで、専用車と同程度の精度で路面プロファイルを推定できる。

[0109] 図7は、本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定システム1により推定された、走行距離と路面プロファイルの関係を示す第2グラフである。同図では、横軸に走行距離（Distance）をメートル（m）の単位で示し、縦軸に路面プロファイルをメートル（m）の単位で示している。第2グラフには、小型車両（Small size）を用いて本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1によって推定された路面プロファイルを一点鎖線で示し、専用車（Profiler）を用いて推定された路面プロファイルを破線で示している。第2グラフから、小型車両を用いて本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1によって推定された路面プロファイルと、専用車を用いて推定された路面プロファイルとがほとんど一致していることが読み取れる。本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1によれば、小型車両とスマートフォン20を用いることで、専用車と同程度の精度で路面プロファイルを推定できる。

[0110] 図8は、本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定システム1により推定された、走行距離と路面プロファイルの関係を示す第3グラフである。同図では、横軸に走行距離（Distance）をメートル（m）の単

位で示し、縦軸に路面プロファイルをメートル（m）の単位で示している。第3グラフには、中型車両（M i d d l e s i z e）を用いて本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1によって推定された路面プロファイルを二点鎖線で示し、専用車（P r o f i l e r）を用いて推定された路面プロファイルを破線で示している。第3グラフから、中型車両を用いて本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1によって推定された路面プロファイルと、専用車を用いて推定された路面プロファイルとがほとんど一致していることが読み取れる。本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1によれば、中型車両とスマートフォン20を用いることで、専用車と同程度の精度で路面プロファイルを推定できる。

[0111] 図9は、本発明の第1実施形態に係る路面プロファイル推定システム1により推定された路面プロファイルのパワースペクトルを示す第4グラフである。同図では、横軸に周波数（F r e q u e n c y）をサイクル／メートル（c y c l e / m）の単位で示し、縦軸に路面プロファイルのパワースペクトル密度（Power Spectrum Density, PSD）を $\text{m}^2 / (\text{c y c l e} / \text{m})$ の単位で示している。第4グラフには、軽車両（L i g h t）を用いて本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1によって推定された路面プロファイルのパワースペクトル密度を実線で示し、小型車両（S m a l l s i z e）を用いて本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1によって推定された路面プロファイルのパワースペクトル密度を一点鎖線で示し、中型車両（M i d d l e s i z e）を用いて本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1によって推定された路面プロファイルのパワースペクトル密度を二点鎖線で示し、専用車（P r o f i l e r）を用いて推定された路面プロファイルのパワースペクトル密度を破線で示している。第4グラフからは、軽車両、小型車両及び中型車両のいずれを用いた場合であっても、本実施形態に係る路面プロファイル推定システム1によって推定された路面プロファイルのパワースペクトル密度と、専用車を用いて推定された路面プロファイルのパワースペクトル密度とがほとんど一致していることが読み取れる。

。本実施形態に係る路面プロファイル推定システム１によれば、任意の車両とスマートフォン２０を用いることで、専用車と同程度の精度で路面プロファイルを推定できる。

[0112] 図１０は、本発明の第１実施形態に係る路面プロファイル推定システム１により路面プロファイルを推定した際の、車両３０の走行距離と速度を示す第５グラフである。同図では、横軸に走行距離（Distance）をメートル（m）の単位で示し、縦軸に車両３０の速度をキロメートル毎時（km/h）の単位で示している。第５グラフには、軽車両（Light）の速度を実線で示し、小型車両（Small size）の速度を一点鎖線で示し、中型車両（Middle size）の速度を二点鎖線で示している。第５グラフからは、軽車両、小型車両及び中型車両の速度がそれぞれ一定しておらず、速度の時間変化も異なっていることが読み取れる。このように、加速度及び角速度の計測に用いる車両３０の速度が異なっても、本実施形態に係る路面プロファイル推定システム１によれば、路面プロファイルが安定して推定される。本実施形態に係る路面プロファイル推定システム１によれば、加速度計２１及び角速度計２２が内蔵されたスマートフォン２０が設置される車両３０の大きさや走行速度に関わらず、精度良く路面プロファイルを推定することができる。なお、加速度計２１及び角速度計２２が内蔵されたスマートフォン２０を設置する箇所を変更した場合であっても、シミュレーションモデルＭ１のパラメータのうちフロントタイヤの接地点から加速度計２１及び角速度計２２の設置点までの水平距離 d を変更することで、精度良く路面プロファイルを推定することができる。

[0113] 図１１は、本発明の第１実施形態に係る路面プロファイル推定システム１により路面プロファイルを推定した際の、車両３０の走行距離と速度を示す第６グラフである。同図では、横軸に走行距離（Distance）をメートル（m）の単位で示し、縦軸に路面プロファイルの指数である $|R|$ をミリメートル／メートル（mm/m）の単位で示している。第６グラフには、軽車両（Light）を用いて本実施形態に係る路面プロファイル推定シス

テム 1 によって推定された $|R|$ を実線で示し、専用車を用いて推定された $|R|$ を破線で示している。また、第 6 グラフのうち、「R」は、専用車が赤信号により停車した箇所を示し、「B」は、専用車が青信号により直進した箇所を示している。第 6 グラフからは、専用車が青信号により直進した箇所において、本実施形態に係る路面プロファイル推定システム 1 によって推定された $|R|$ と、専用車を用いて推定された $|R|$ とがほとんど一致していることが読み取れるが、専用車が赤信号により停車した箇所において、本実施形態に係る路面プロファイル推定システム 1 によって推定された $|R|$ と、専用車を用いて推定された $|R|$ とが乖離していることが読み取れる。本実施形態に係る路面プロファイル推定システム 1 によって推定された $|R|$ と、専用車を用いて推定された $|R|$ との乖離が、専用車が停発車した箇所に集中していることと、専用車は高速走行中の測定を想定して設計されており、停発車の前後で路面の $|R|$ を精度良く推定できない場合があることと、を加味すると、専用車を用いて推定された $|R|$ が、停発車の前後で真の値からずれていると考えられる。本実施形態に係る路面プロファイル推定システム 1 によれば、車両 30 が停発車した場合であっても路面の $|R|$ を精度良く推定することができる。本実施形態に係る路面プロファイル推定システム 1 によれば、頻繁な停発車が避けられない一般道路においても、路面のプロファイルを精度良く推定することができる。

[0114] [第 2 実施形態]

第 2 実施形態に係る路面プロファイル推定システム 1 は、路面プロファイル推定装置 10 の記憶部 18 に記憶されるシミュレーションモデル M1 及び観測モデル M2 が、第 1 実施形態の場合と異なる。その他の構成について、第 2 実施形態に係る路面プロファイル推定システム 1 は、第 1 実施形態に係る路面プロファイル推定システムと同様の構成を備える。本実施形態に係る路面プロファイル推定装置 10 において、シミュレーションモデル M1 は、状態変数の線形変換又は非線形変換とガウシアンノイズ又は非ガウシアンノイズによって状態変数の時間発展を表すモデルであり、観測モデル M2 は、

状態変数の線形変換又は非線形変換とガウシアンノイズ又は非ガウシアンノイズによって、車両30の接地する路面に対して垂直方向の加速度、車両30のピッチ軸に関する角速度、垂直方向の変位及びピッチ軸に関する角度変位を算出するモデルである。以下に詳細に説明するように、本実施形態に係る路面プロファイル推定装置10の予測部13、第2算出部14及び更新部15は、パーティクルフィルタとして機能する。

[0115] 図12は、本発明の第2実施形態に係る路面プロファイル推定装置10により実行される第3処理のフローチャートである。第3処理は、路面プロファイル推定装置10によって、状態変数と測定値とのパーティクルフィルタによるデータ同化を行う処理である。

[0116] 路面プロファイル推定装置10は、取得部11により、車両30の接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度を取得する（S30）。加速度計21による加速度の測定と、角速度計22による角速度の測定は、所定の時間間隔毎に行われてよい。取得部11は、加速度計21及び角速度計22によって測定が行われる度に加速度及び角速度を取得してもよいし、測定終了後に加速度及び角速度をまとめて取得してもよい。

[0117] 第1算出部12は、取得部11により取得した加速度を積分して垂直方向の変位を算出し、角速度を積分してピッチ軸に関する角度変位を算出する（S31）。取得部11により取得した加速度及び角速度並びに第1算出部12により算出した変位及び角度変位をまとめて、ベクトル y で表すこととする。

[0118] 予測部13は、ハーフカーモデルに基づいて、状態変数の時間発展を予測し、予測された状態変数の確率分布に基づいて複数のパーティクルを生成する（S32）。状態変数の時間発展は、以下の数式（32）で表されるシミュレーションモデルM1によって求められる。

[0119] [数32]

$$x_{k+1} = f_k(x_k) + w(k)$$

[0120] ここで、 f_k は、時間ステップ k における、状態変数 x_k の線形変換又は非線

形変換である。また、 $w(k)$ は、時間ステップ k のノイズ項であり、平均が 0 のガウシアンノイズ又は非ガウシアンノイズである。予測部 13 は、確率分布 $p(x_{k-1} | y_{1:k-1})$ に基づいて N 個のパーティクル $x_{k-1}(i)$ を生成し、数式 (32) によって時間発展を予測して $x_k(i)$ を求め、時間ステップ k における状態変数の予測確率分布 $p(x_k | y_{1:k-1})$ を、以下の数式 (33) によって近似的に求める。

[0121] [数33]

$$p(x_k | y_{1:k-1}) = \sum_{i=1}^N p(x_{k-1} | y_{1:k-1}) \delta(x_k - x_k(i))$$

[0122] ここで、 $y_{1:k-1}$ は、時間ステップ $k = 1$ から $k - 1$ までに測定された加速度、角速度、変位及び角度変位を表す。また、 δ はデルタ関数を表す。また、 $i = 1, 2, \dots, N$ である。なお、初期条件となる $p(x_1 | y_{1:1})$ については、例えば一様分布であると仮定してもよく、 $p(x_2 | y_{1:1}) = \sum_{i=1}^N \delta(x_2 - x_2(i)) / N$ としてもよい。もっとも、初期条件は一様分布以外であってもよく、任意の分布を仮定することができる。

[0123] 第 2 算出部 14 は、観測モデル $M2$ に基づいて、予測部 13 により予測された状態変数から、加速度、角速度、変位及び角度変位を算出し、更新の際の重みを算出する (S33)。第 2 算出部 14 は、以下の数式 (33) で表される観測モデル $M2$ に基づいて、予測部 13 により予測された状態変数 x_k から、加速度、角速度、変位及び角度変位 y_k を算出する。

[0124] [数34]

$$y_k = h_k(x_k) + v(k)$$

[0125] ここで、 h_k は、時間ステップ k における、状態変数 x_k の線形変換又は非線形変換である。また、 $v(k)$ は、時間ステップ k のノイズ項であり、平均が 0 のガウシアンノイズ又は非ガウシアンノイズである。第 2 算出部 14 は、数式 (33) で表される観測モデル $M2$ に基づいて、時間ステップ k においてパーティクル $x_k(i)$ が得られた場合の測定値の確率分布 $p(y_k | x_k(i))$

i)) を求めて、以下の数式 (34) によって重み q_i を算出する。

[0126] [数35]

$$q_i = p(y_k | x_k(i)) / \sum_{i=1}^N p(y_k | x_k(i))$$

[0127] 更新部 15 は、算出した重み q_i によって、パーティクルのリサンプリングを行い、状態変数の確率分布を更新する (S34)。更新部 15 は、測定値 y_k を得た後における時間ステップ k における状態変数の確率分布 $p(x_k | y_{1:k})$ を、 $p(x_k | y_{1:k}) = \sum_{i=1}^N q_i \delta(x_k - x_k(i)) / N$ によって近似的に求める。

[0128] 推定部 17 は、状態変数の確率分布 $p(x_k | y_{1:k})$ に基づいて、路面プロファイルを推定する (S35)。推定部 17 は、状態変数に含まれる路面の凹凸を表す変数の期待値を求めて、路面プロファイルを推定してよい。

[0129] 本実施形態に係る路面プロファイル推定装置 10 によれば、非線形変換と非ガウシアンノイズを含むシミュレーションモデル M1 によって状態変数の時間発展を表し、非線形変換と非ガウシアンノイズを含む観測モデル M2 によって観測を表すことで、非線形の挙動や非ガウシアンノイズの揺動を正確に記述することができ、路面プロファイルをより精度良く推定することができる。

[0130] 以上説明した実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。実施形態が備える各要素並びにその配置、材料、条件、形状及びサイズ等は、例示したものに限定されるわけではなく適宜変更することができる。また、異なる実施形態で示した構成同士を部分的に置換し又は組み合わせることが可能である。

請求の範囲

- [請求項1] 車両が接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度を取得する取得部と、
- 前記加速度を積分して前記垂直方向の変位を算出し、前記角速度を積分して前記ピッチ軸に関する角度変位を算出する第1算出部と、
- シミュレーションモデルに基づいて、前記車両が走行する路面の凹凸を表す変数、前記車両の上下運動を表す変数及び前記車両のピッチ軸に関する回転運動を表す変数を含む状態変数の時間発展を予測する予測部と、
- 観測モデルに基づいて、前記予測部により予測された前記状態変数から、前記加速度、前記角速度、前記変位及び前記角度変位を算出する第2算出部と、
- 前記取得部により取得された前記加速度及び前記角速度並びに前記第1算出部により算出された前記変位及び前記角度変位と、前記第2算出部により算出された前記加速度、前記角速度、前記変位及び前記角度変位とのデータ同化によって、前記状態変数を更新する更新部と、
- 前記状態変数に含まれる前記路面の凹凸を表す変数に基づいて、前記路面のプロファイルを推定する推定部と、
- を備える路面プロファイル推定装置。
- [請求項2] 前記予測部により予測される時点よりも後に前記取得部により取得された前記加速度及び前記角速度並びに前記第1算出部により算出された前記変位及び前記角度変位に基づいて、前記状態変数を平滑化する平滑部をさらに備える、
- 請求項1に記載の路面プロファイル推定装置。
- [請求項3] 前記シミュレーションモデルは、前記車両のハーフカーモデルであり、
- 前記状態変数は、前記ハーフカーモデルの状態を表す変数である、

請求項 1 又は 2 に記載の路面プロファイル推定装置。

[請求項4]

前記路面の凹凸を表す変数は、前記ハーフカーモデルのフロントタイヤの垂直方向の変位及び速度と、前記ハーフカーモデルのリアタイヤの垂直方向の変位及び速度とを含み、

前記車両の上下運動を表す変数は、前記ハーフカーモデルの重心の垂直方向の変位及び速度と、前記ハーフカーモデルのフロントサスペンションの垂直方向の変位及び速度と、前記ハーフカーモデルのリアサスペンションの垂直方向の変位及び速度とを含み、

前記車両のピッチ軸に関する回転運動を表す変数は、前記ハーフカーモデルの重心を通るピッチ軸に関する回転角及び角速度を含む、

請求項 3 に記載の路面プロファイル推定装置。

[請求項5]

前記シミュレーションモデルは、前記状態変数の線形変換又は非線形変換とガウシアンノイズ又は非ガウシアンノイズによって前記状態変数の時間発展を表すモデルであり、

前記観測モデルは、前記状態変数の線形変換又は非線形変換とガウシアンノイズ又は非ガウシアンノイズによって、前記加速度、前記角速度、前記変位及び前記角度変位を算出するモデルである、

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の路面プロファイル推定装置。

[請求項6]

前記シミュレーションモデルは、前記状態変数の線形変換とガウシアンノイズによって前記状態変数の時間発展を表すモデルであり、

前記観測モデルは、前記状態変数の線形変換とガウシアンノイズによって、前記加速度、前記角速度、前記変位及び前記角度変位を算出するモデルであり、

前記更新部は、前記状態変数の 2 乗誤差を最小化するように、前記状態変数を更新する、

請求項 5 に記載の路面プロファイル推定装置。

[請求項7]

車両に設置され、前記車両が接地する路面に対して垂直方向の加速

度を測定する加速度計と、

前記車両に設置され、前記車両のピッチ軸に関する角速度を測定する角速度計と、

前記車両が走行する路面のプロファイルを推定する路面プロファイル推定装置と、を含み、

前記路面プロファイル推定装置は、

前記加速度計から前記加速度を取得し、前記角速度計から前記角速度を取得する取得部と、

前記加速度を積分して前記垂直方向の変位を算出し、前記角速度を積分して前記ピッチ軸に関する角度変位を算出する第1算出部と、

シミュレーションモデルに基づいて、前記車両が走行する路面の凹凸を表す変数、前記車両の上下運動を表す変数及び前記車両のピッチ軸に関する回転運動を表す変数を含む状態変数の時間発展を予測する予測部と、

観測モデルに基づいて、前記予測部により予測された前記状態変数から、前記加速度、前記角速度、前記変位及び前記角度変位を算出する第2算出部と、

前記取得部により取得された前記加速度及び前記角速度並びに前記第1算出部により算出された前記変位及び前記角度変位と、前記第2算出部により算出された前記加速度、前記角速度、前記変位及び前記角度変位とのデータ同化によって、前記状態変数を更新する更新部と、

前記状態変数に含まれる前記路面の凹凸を表す変数に基づいて、前記路面のプロファイルを推定する推定部と、

を備える、

路面プロファイル推定システム。

[請求項8]

車両が接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度を取得する第1ステップと、

前記加速度を積分して前記垂直方向の変位を算出し、前記角速度を積分して前記ピッチ軸に関する角度変位を算出する第2ステップと、

シミュレーションモデルに基づいて、前記車両が走行する路面の凹凸を表す変数、前記車両の上下運動を表す変数及び前記車両のピッチ軸に関する回転運動を表す変数を含む状態変数の時間発展を予測する第3ステップと、

観測モデルに基づいて、前記第3ステップにおいて予測された前記状態変数から、前記加速度、前記角速度、前記変位及び前記角度変位を算出する第4ステップと、

前記第1ステップにおいて取得された前記加速度及び前記角速度並びに前記第2ステップにおいて算出された前記変位及び前記角度変位と、前記第4ステップにおいて算出された前記加速度、前記角速度、前記変位及び前記角度変位とのデータ同化によって、前記状態変数を更新する第5ステップと、

前記状態変数に含まれる前記路面の凹凸を表す変数に基づいて、前記路面のプロファイルを推定する第6ステップと、

を含む路面プロファイル推定方法。

[請求項9]

路面プロファイル推定装置に備えられたコンピュータを、

車両が接地する路面に対して垂直方向の加速度及びピッチ軸に関する角速度を取得する取得部、

前記加速度を積分して前記垂直方向の変位を算出し、前記角速度を積分して前記ピッチ軸に関する角度変位を算出する第1算出部、

シミュレーションモデルに基づいて、前記車両が走行する路面の凹凸を表す変数、前記車両の上下運動を表す変数及び前記車両のピッチ軸に関する回転運動を表す変数を含む状態変数の時間発展を予測する予測部、

観測モデルに基づいて、前記予測部により予測された前記状態変数から、前記加速度、前記角速度、前記変位及び前記角度変位を算出す

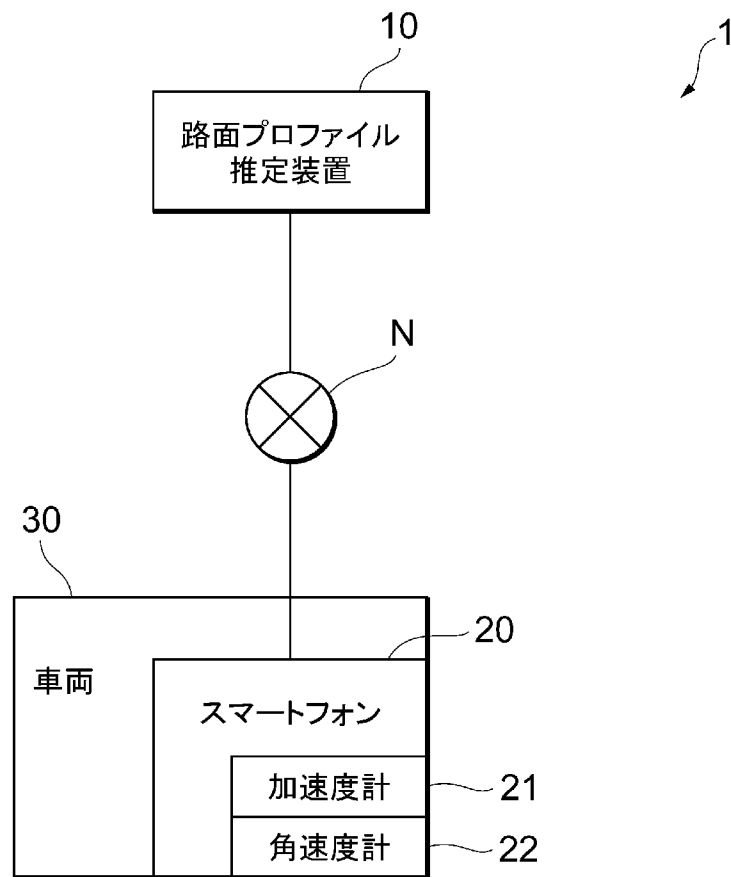
る第2算出部、

前記取得部により取得された前記加速度及び前記角速度並びに前記第1算出部により算出された前記変位及び前記角度変位と、前記第2算出部により算出された前記加速度、前記角速度、前記変位及び前記角度変位とのデータ同化によって、前記状態変数を更新する更新部、及び

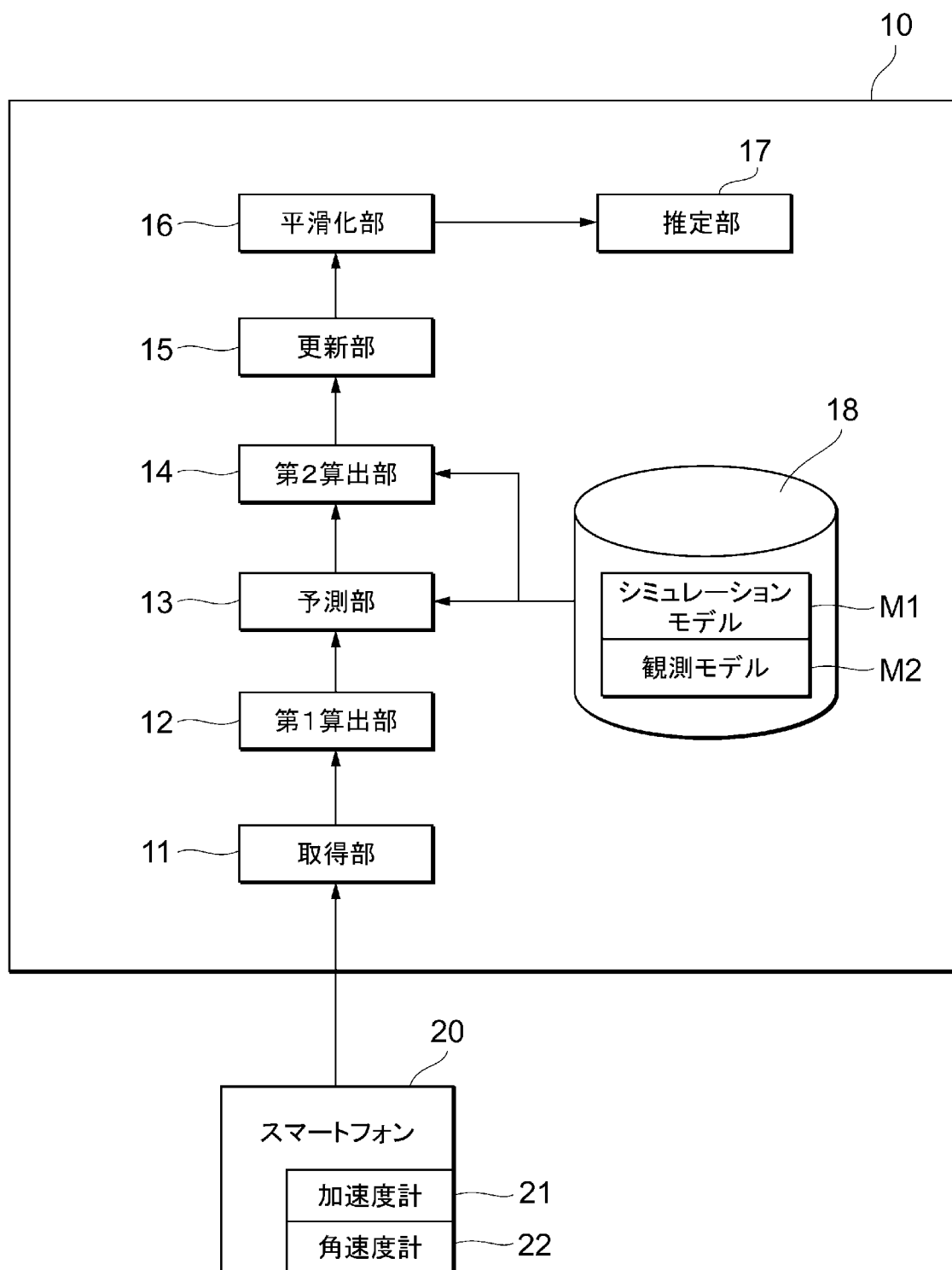
前記状態変数に含まれる前記路面の凹凸を表す変数に基づいて、前記路面のプロファイルを推定する推定部、

として機能させる路面プロファイル推定プログラム。

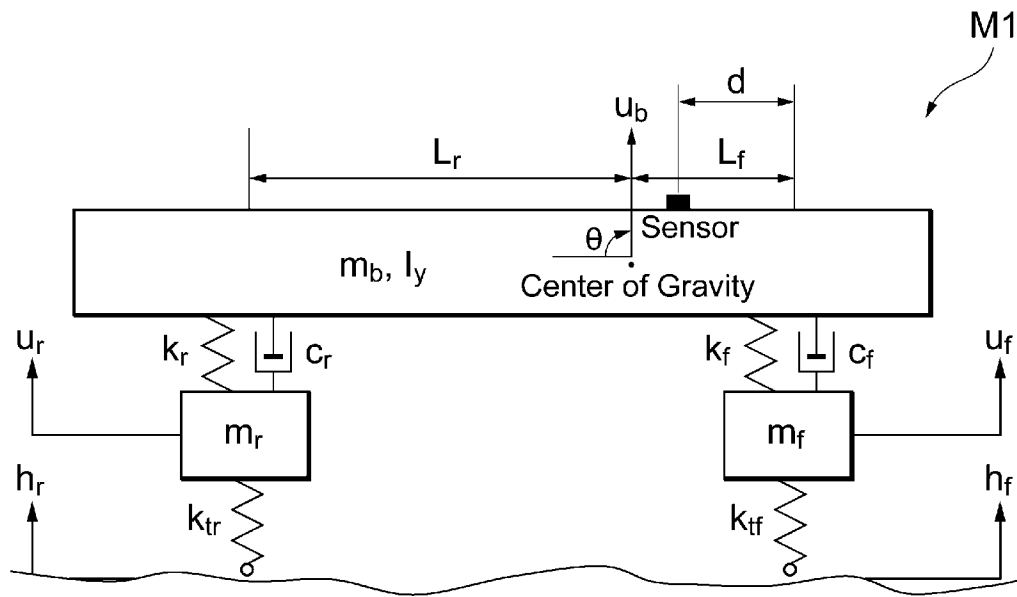
[図1]



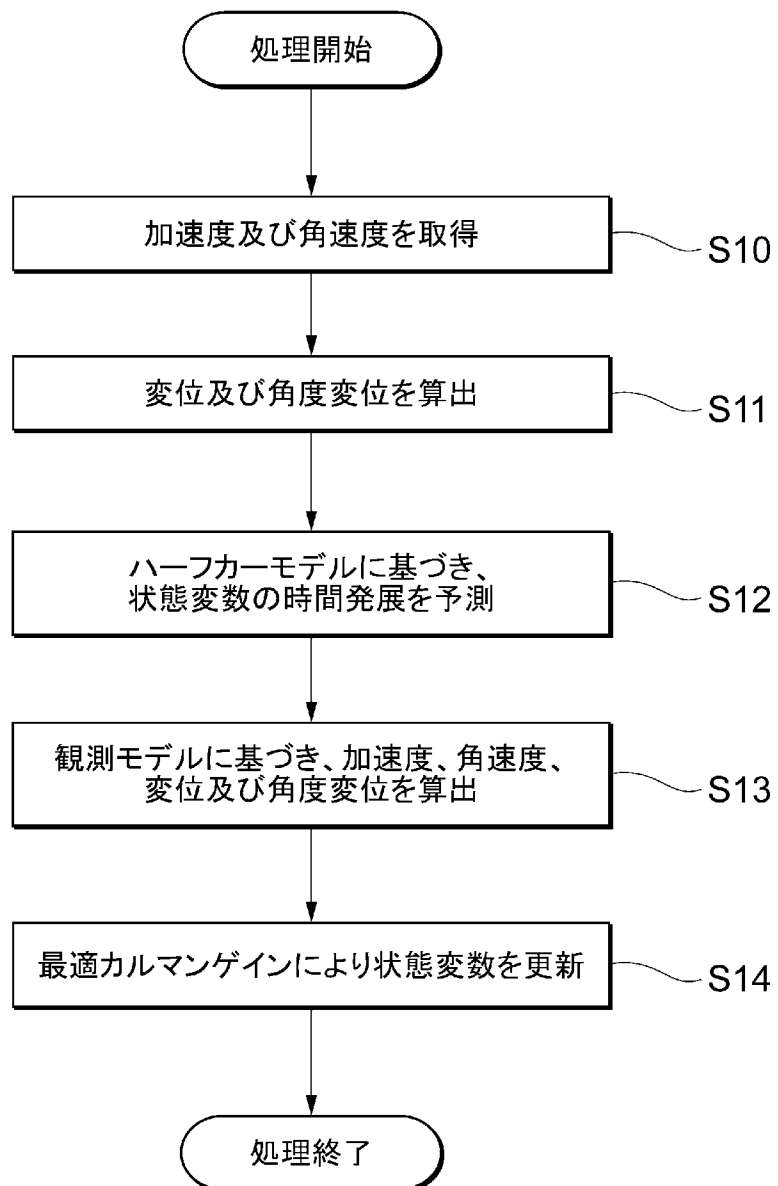
[図2]



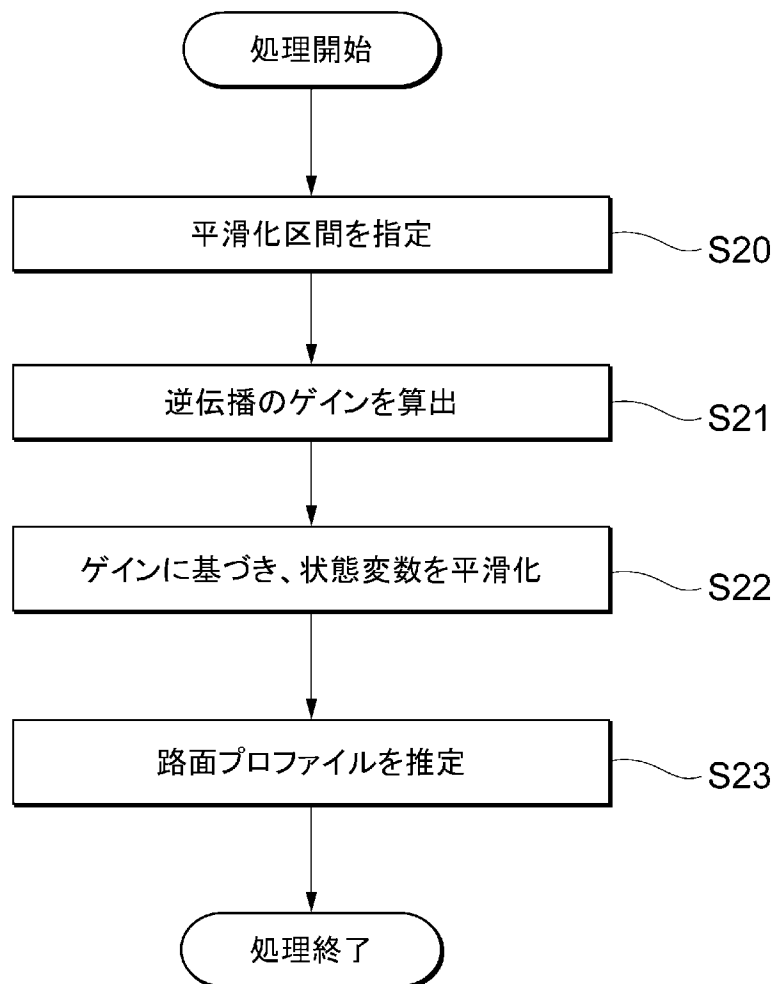
[図3]



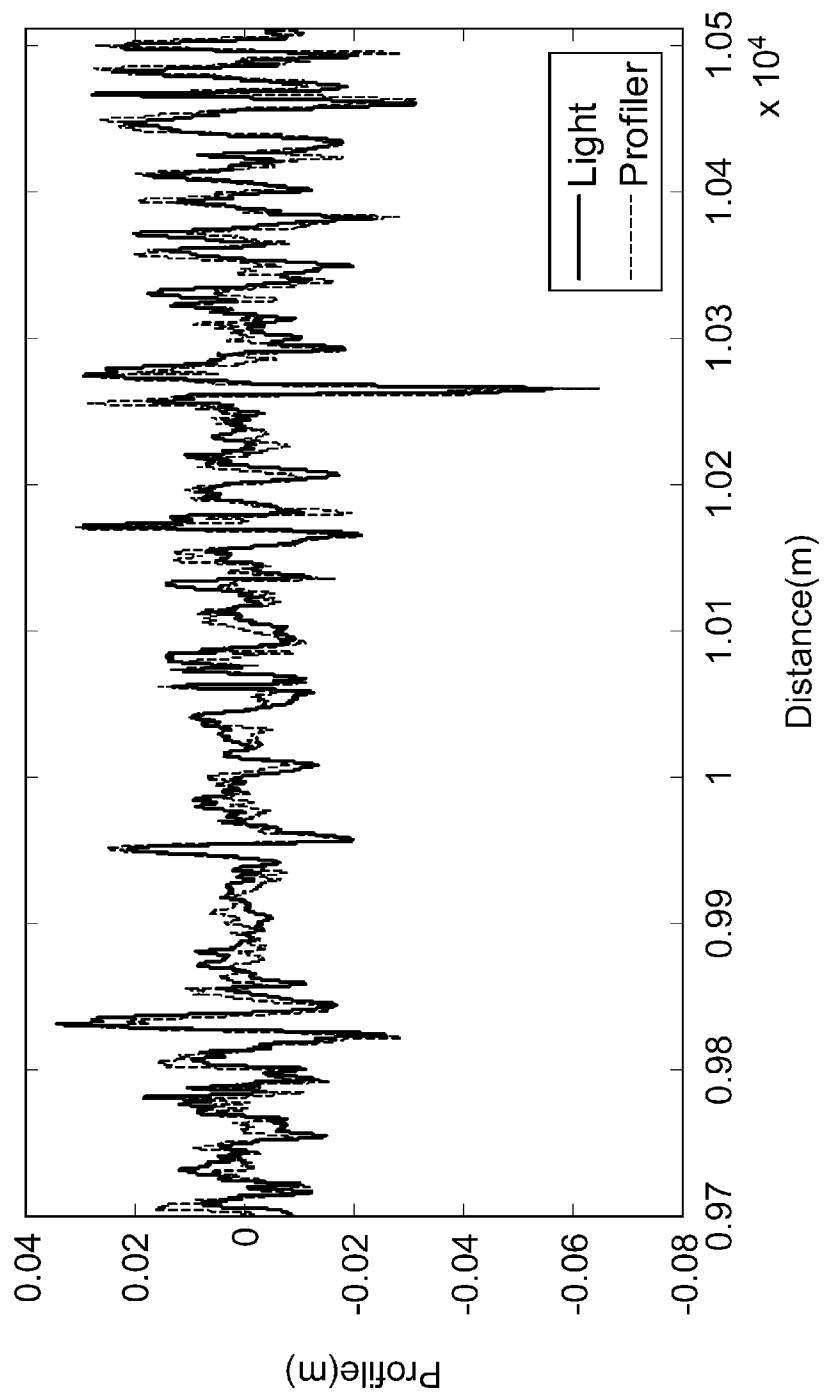
[図4]



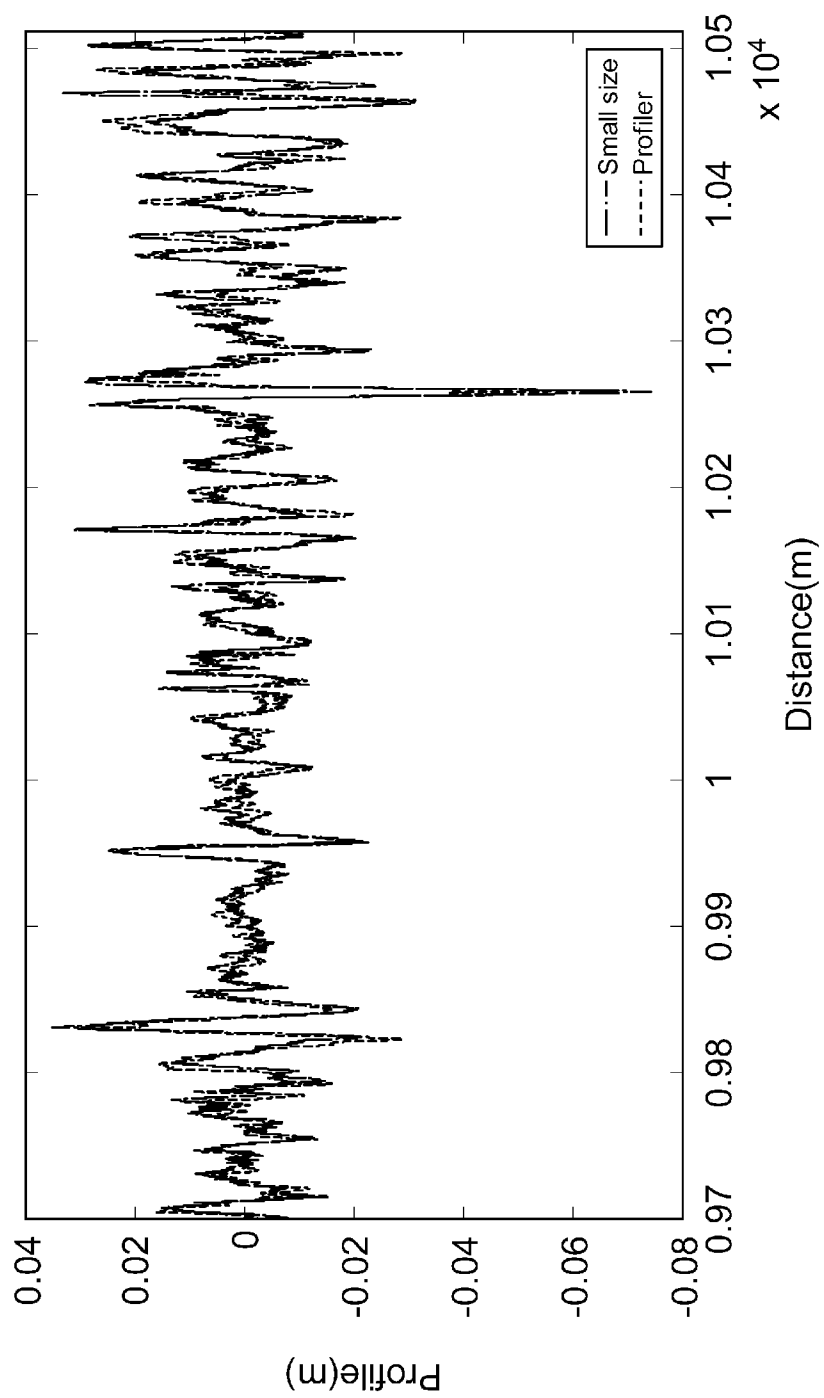
[図5]



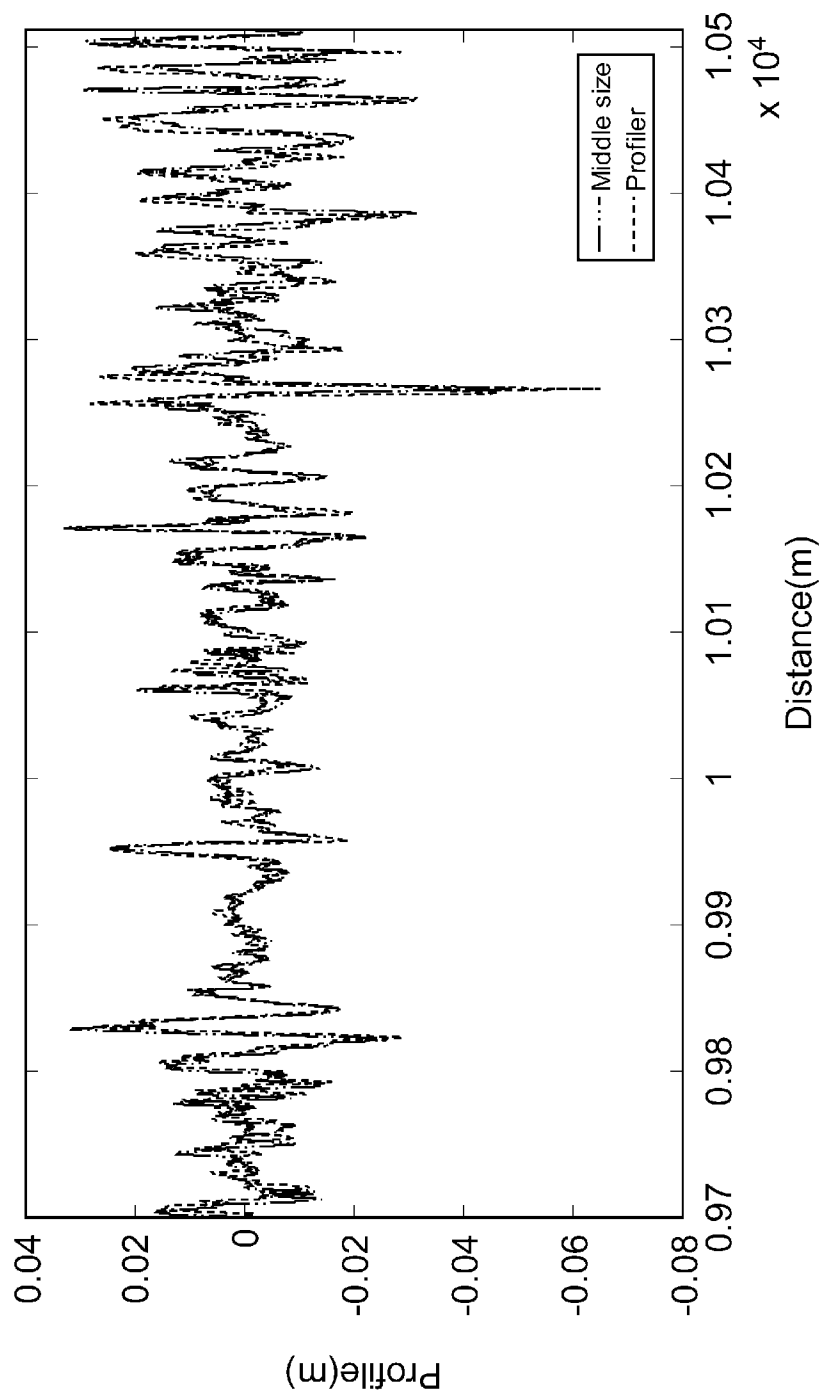
[図6]



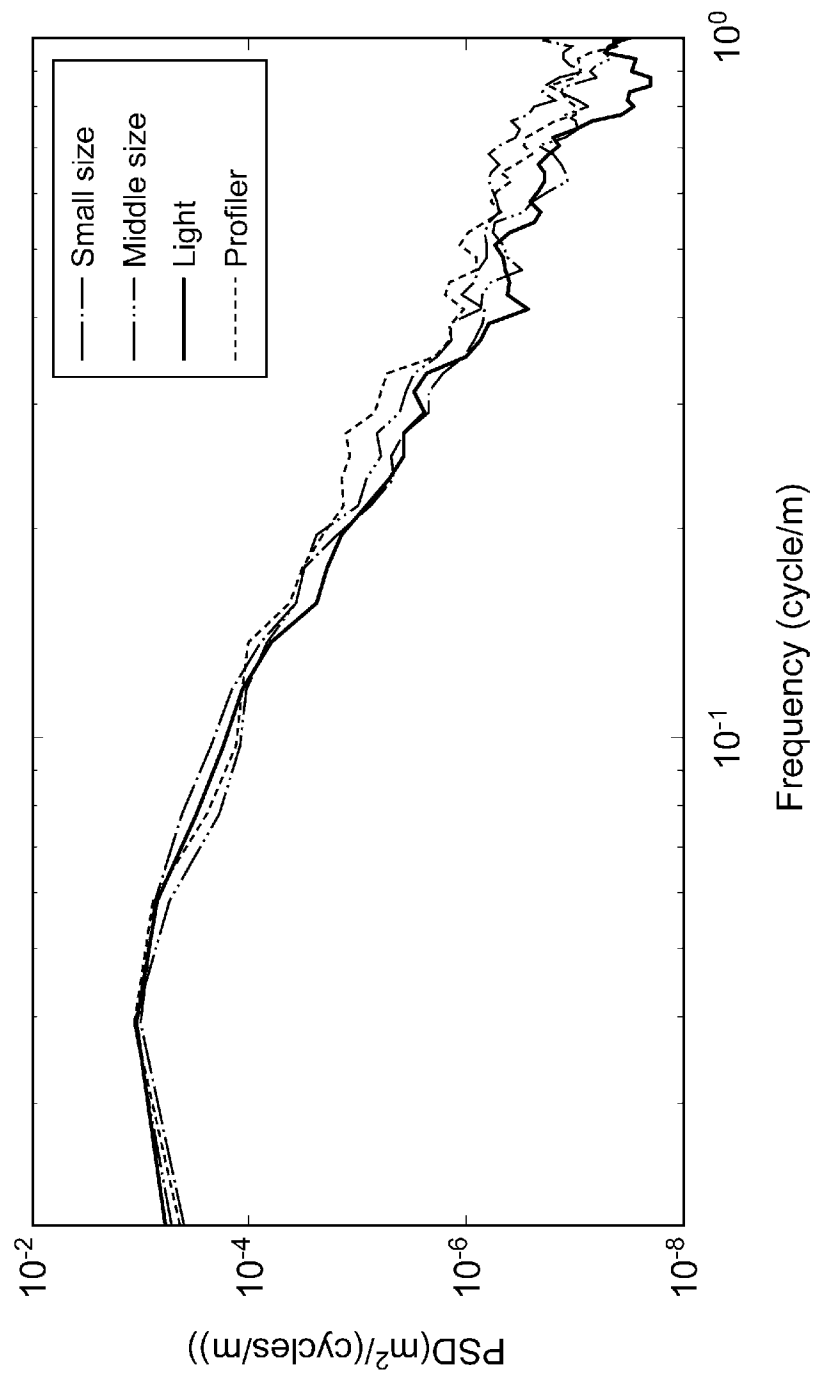
[図7]



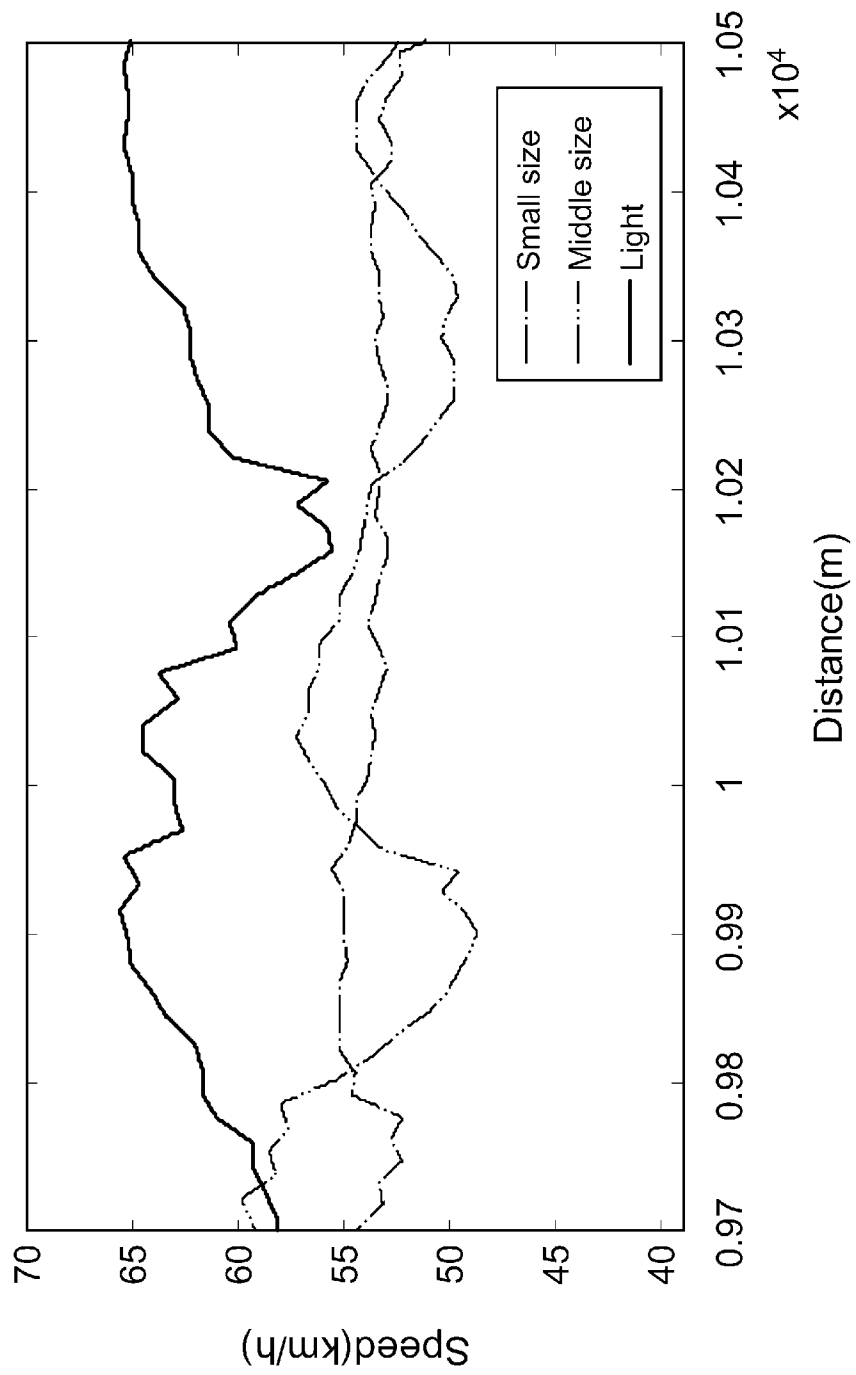
[図8]



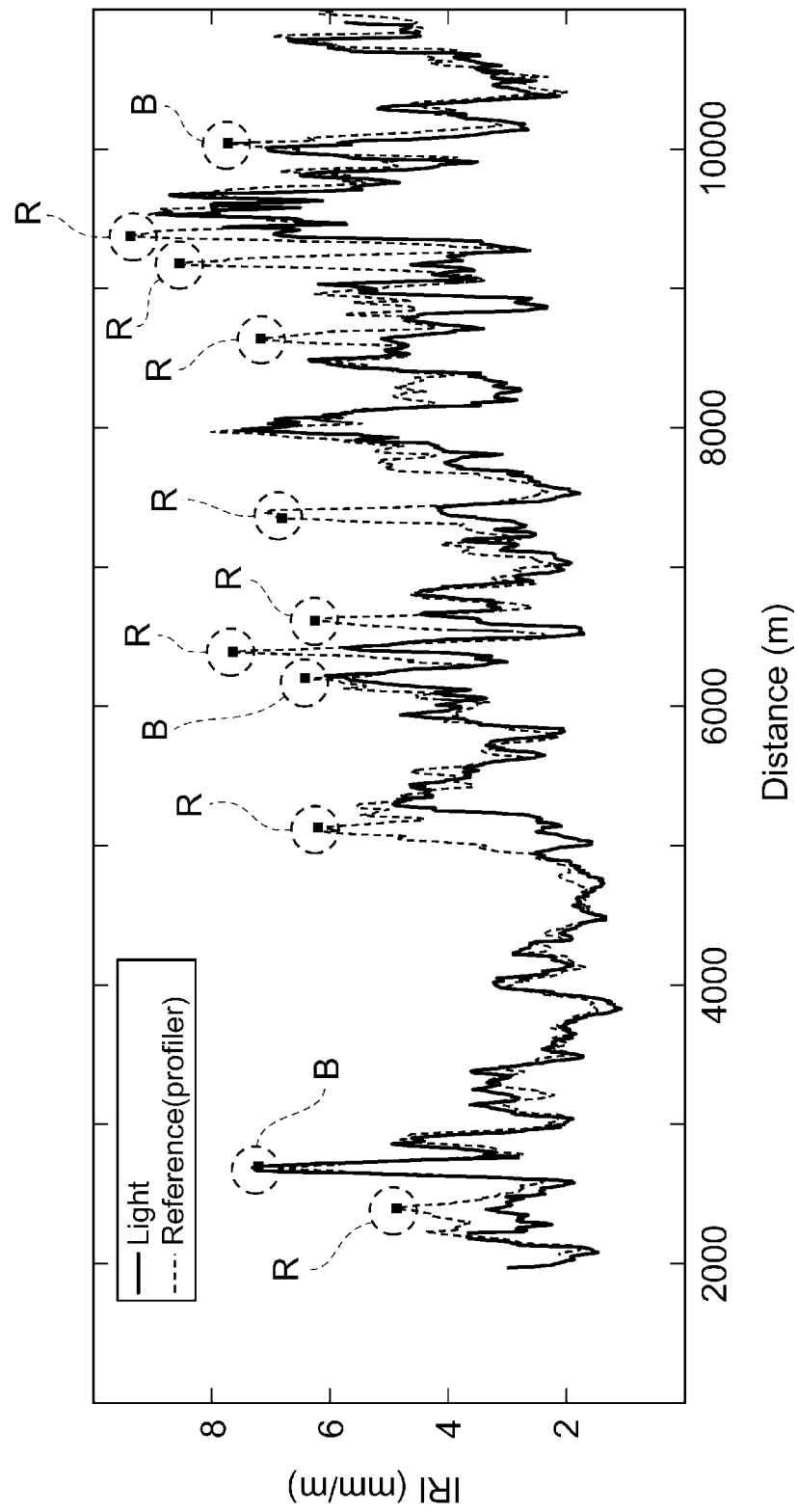
[図9]



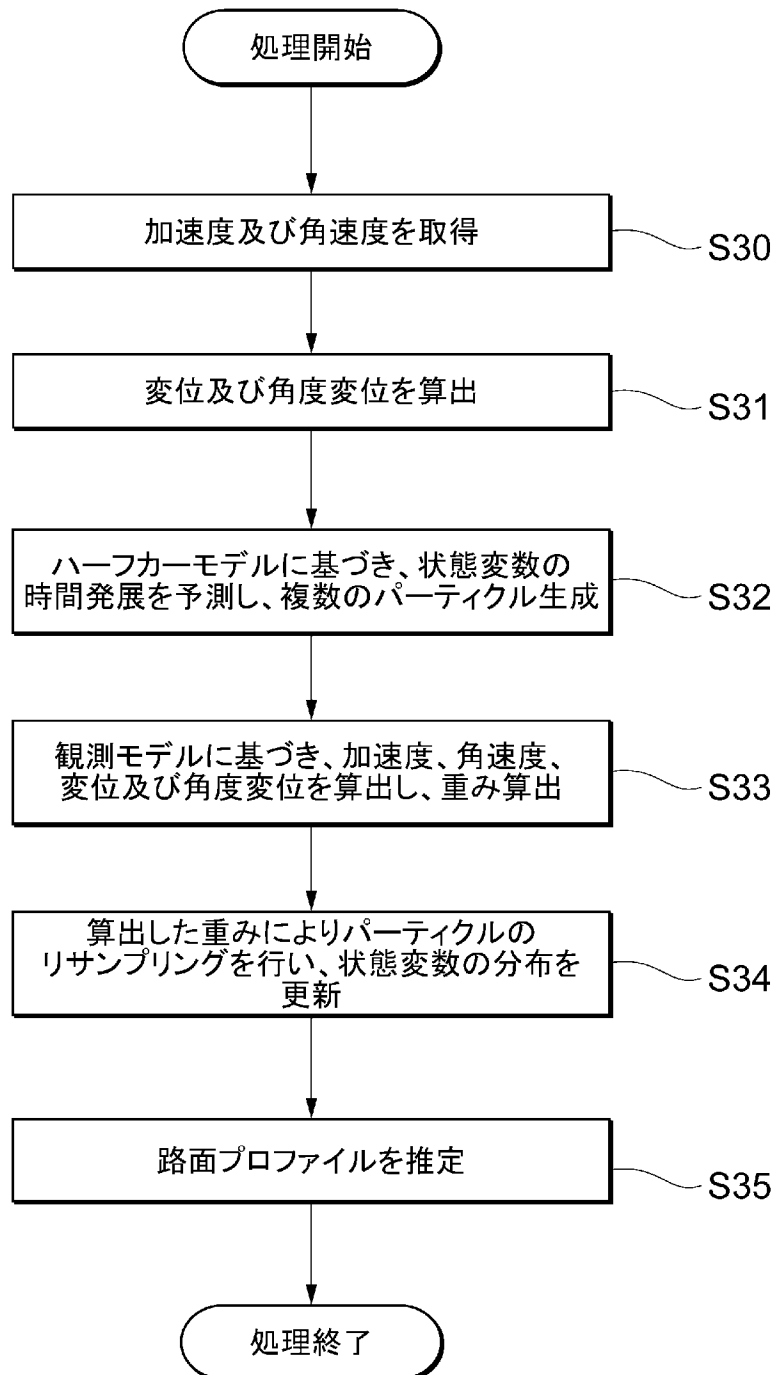
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/017182

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01C7/04 (2006.01) i, G01B21/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G01C7/04, G01B21/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII), Scopus

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	鄭 義峰 ほか 3 名, カルマンフィルタによる路面と車両の状態推定, 日本機械学会論文集(C 編), 1989, vol. 55, no. 515, 1672-1679, (JEONG, Weuibong et al., "State estimation of a road surface and vehicle system using a Kalman filter", Transactions of the Japan society of mechanical engineers. C)	1-9
A	DOUANGPHACHANH, Viengnam and ONEYAMA, Hiroyuki, "Exploring the Use of Smartphone Accelerometer and Gyroscope to Study on the Estimation of Road Surface Roughness Condition", 2014 11th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, 2014	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" 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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

08 June 2018 (08.06.2018)

Date of mailing of the international search report

26 June 2018 (26.06.2018)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/017182

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2014-77257 A (YAGI, Koichi) 01 May 2014, entire text, all drawings (Family: none)	1-9
A	US 2012/0197588 A1 (LEE, Hou-sen) 02 August 2012, whole document & TW 201231762 A	1-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01C7/04(2006.01)i, G01B21/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01C7/04, G01B21/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII), Scopus

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	鄭 義峰 ほか3名, カルマンフィルタによる路面と車両の状態推定, 日本機械学会論文集 (C編), 1989, 55巻515号, 1672-1679	1-9
A	DOUANGPHACHANH, Viengnam and ONEYAMA, Hiroyuki, Exploring the Use of Smartphone Accelerometer and Gyroscope to Study on the Estimation of Road Surface Roughness Condition, 2014 11th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, 2014	1-9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

08.06.2018

国際調査報告の発送日

26.06.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

河内 悠

2 S

3 4 0 3

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2014-77257 A (八木 浩一) 2014.05.01, 全文全図 (ファミリーなし)	1-9
A	US 2012/0197588 A1 (LEE, Hou-sen) 2012.08.02, Whole document & TW 201231762 A	1-9