

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-109650

(P2016-109650A)

(43) 公開日 平成28年6月20日 (2016. 6. 20)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 C 21/30 (2006.01)	GO 1 C 21/30	2 C 0 3 2
GO 1 S 17/89 (2006.01)	GO 1 S 17/89	2 F 1 2 9
GO 9 B 29/10 (2006.01)	GO 9 B 29/10	A 5 J 0 8 4

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2014-250182 (P2014-250182)	(71) 出願人	000004260
(22) 出願日	平成26年12月10日 (2014. 12. 10)		株式会社デンソー
		(71) 出願人	592032636
			学校法人トヨタ学園
			愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1
		(74) 代理人	100106149
			弁理士 矢作 和行
		(74) 代理人	100121991
			弁理士 野々部 泰平
		(74) 代理人	100145595
			弁理士 久保 貴則

最終頁に続く

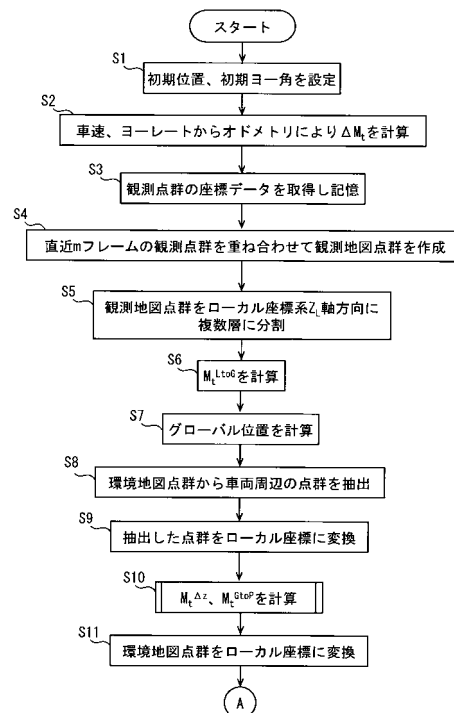
(54) 【発明の名称】 位置推定装置、位置推定方法、位置推定プログラム

(57) 【要約】

【課題】より精度よく現在位置を推定することができる位置推定装置を提供する。

【解決手段】周囲に存在する物体上の点を三次元的に測定する周辺監視センサ11から、測定結果である観測点群を取得し (S3)、点群により、道路およびその周囲に存在する物体の三次元位置を示している三次元地図データを取得する (S8)。取得した観測点群および三次元地図データを、それぞれ、高さに基づいて複数の層に分割し、層別に、観測点群を構成する点と、三次元地図データを構成する点との対応を決定するマッチング処理を行い、マッチング処理の結果に基づいて、現在位置を推定した高精度推定位置を計算する。

【選択図】図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

道路およびその周囲に存在する物体の三次元位置を示している三次元地図データを取得する地図データ取得部（S 8）と、

周囲に存在する物体の形状を三次元的に測定する測定部（11）から、測定結果である観測データを取得する測定結果取得部（S 3）と、

前記測定結果取得部が取得した観測データおよび前記地図データ取得部が取得した三次元地図データを、それぞれ、高さに基づいて複数の層に分割し、層別に、前記観測データと、前記三次元地図データとの対応を決定するマッチング処理を行うマッチング処理部（S 5、S 12）と、

10

前記マッチング処理の結果に基づいて、現在位置を推定した推定位置を計算する位置計算部（S 14）とを備えることを特徴とする位置推定装置（16）。

【請求項 2】

請求項 1 おいて、

前記位置推定装置は移動体に搭載され、

前記移動体の移動量を計算する移動量計算部（S 2）を備え、

前記マッチング処理は、前記観測データを前記三次元地図データにマッチングさせるための座標変換行列を決定する処理であり、

前記位置計算部は、前記マッチング処理部が決定した前記座標変換行列と、前記移動量計算部が計算した前記移動量とに基づいて、前記推定位置を逐次計算することを特徴とする位置推定装置。

20

【請求項 3】

請求項 1 または 2 において、

前記測定部の姿勢を決定して、前記地図データ取得部が取得した前記三次元地図データを、前記測定部の姿勢に基づいて補正する地図補正部（S 10）を備え、

前記マッチング処理部は、前記地図補正部が補正した後の三次元地図データを前記複数の層に分割することを特徴とする位置推定装置。

【請求項 4】

請求項 2 おいて、

前記マッチング処理部は、前記複数の層に対して前記マッチング処理を行い、

30

前記観測データを前記座標変換行列により座標変換した後のデータと、座標変換後のデータに対応する前記三次元地図データとの平均距離を、前記層別に算出する距離算出部（S 133）を備え、

前記位置計算部は、前記距離算出部が計算した前記平均距離が最も短い層の前記座標変換行列と、前記移動量計算部が計算した前記移動量とに基づいて、前記推定位置を逐次計算することを特徴とする位置推定装置。

【請求項 5】

請求項 2 において、

前記マッチング処理部は、前記複数の層に対して前記マッチング処理を行い、

40

前記位置計算部は、前記マッチング処理部が前記層別に算出した前記座標変換行列と前記移動量計算部が計算した前記移動量とに基づいて、前記層別に前記推定位置を算出し、層別に算出した推定位置を平均して、最終的な前記推定位置とすることを特徴とする位置推定装置。

【請求項 6】

請求項 5 において、

前記観測データを前記座標変換行列により座標変換した後のデータと、座標変換後のデータに対応する前記三次元地図データとの平均距離を、前記層別に算出する距離算出部（S 133）を備え、

前記位置計算部は、前記距離算出部が前記層別に算出した前記平均距離に基づいて定まる重みを用いて前記層別に算出した前記推定位置を加重平均して、最終的な前記推定位置

50

を算出することを特徴とする位置推定装置。

【請求項 7】

請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項において、

前記三次元地図データは、点群により、道路およびその周囲に存在する物体の三次元位置を示しているデータであり、

前記観測データは、周囲に存在する物体上の点を三次元的に測定したデータであることを特徴とする位置推定装置。

【請求項 8】

道路およびその周囲に存在する物体の三次元位置を示している三次元地図データを取得する地図データ取得ステップ (S 8) と、

周囲に存在する物体の形状を三次元的に測定する測定部 (11) から、測定結果である観測データを取得する測定結果取得ステップ (S 3) と、

前記測定結果取得ステップで取得した観測データおよび前記地図データ取得ステップで取得した三次元地図データを、それぞれ、高さに基づいて複数の層に分割し、層別に、前記観測データと、前記三次元地図データとの対応を決定するマッチング処理を行うマッチング処理ステップ (S 5、S 12) と、

前記マッチング処理の結果に基づいて、現在位置を推定した推定位置を計算する位置計算ステップ (S 14) とを備えることを特徴とする位置推定方法。

【請求項 9】

コンピュータを、

道路およびその周囲に存在する物体の三次元位置を示している三次元地図データを取得する地図データ取得部 (S 8) と、

周囲に存在する物体の形状を三次元的に測定する測定部 (11) から、測定結果である観測データを取得する測定結果取得部 (S 3) と、

前記測定結果取得部が取得した観測データおよび前記地図データ取得部が取得した三次元地図データを、それぞれ、高さに基づいて複数の層に分割し、層別に、前記観測データと、前記三次元地図データとの対応を決定するマッチング処理を行うマッチング処理部 (S 5、S 12) と、

前記マッチング処理の結果に基づいて、現在位置を推定した推定位置を計算する位置計算部 (S 14)

として機能させるための位置推定プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、現在位置を推定する位置推定装置、位置推定方法、位置推定プログラムに関し、特に、高精度に現在位置を推定する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

道路上の白線やレーンマーク、電柱などの特徴物の位置データを有する地図を記憶しておき、車両に搭載したセンサで特徴物を検出し、検出した特徴物の位置を、地図が有する特徴物の位置データとマッチングさせて現在位置を推定する装置が知られている。

【0003】

しかしながら、市街地の道路、高速道路、地方の道路など、様々な道路において、これらの特徴量が必ずしも存在するとは言えない。そこで、非特許文献 1 には、高精細な三次元点群 (以下、三次元地図データ) を記憶しておき、三次元 L I D A R (Light Detection and Ranging) センサを用いて測定した点群とマッチングさせることで現在位置を推定する方法が提案されている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

10

20

30

40

50

【非特許文献 1】米陀佳祐 (K. Yoneda)、テヘラニ ホセイン (H. Tehrani)、小川高志 (T. Ogawa)、福山尚久 (N. Hukuyama)、三田誠一 (S. Mita)、“Lidar scan feature for localization with highly precise 3-D map”, Proceedings of 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, p.1345-1350 (2014).

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

三次元地図データは、測量車を走行させて作成する。測量車が走行したときと、現在位置を推定する車両が走行したときとで、物体の存否や物体の形状が変化していることもある。たとえば、測量車が走行したときには存在していた駐車車両が、現在位置を推定する車両が走行したときには、存在していない場合がその例である。また、測量車が走行したときと、現在位置を推定する車両が走行したときで、街路樹の形状が変化していることもある。そのため、非特許文献 1 の方法は、点群の誤対応が生じ、それにより現在位置の推定誤差が大きくなることがあった。

【0006】

また、三次元地図データおよび観測データが、点に加えて、あるいは点に代えて、線や面により物体の三次元位置を示すデータである場合も、点群の場合と同様に、誤対応が生じる恐れがある。

【0007】

本発明は、この事情に基づいて成されたものであり、その目的とするところは、より精度よく現在位置を推定することができる位置推定装置、位置推定方法、位置推定プログラムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的は独立請求項に記載の特徴の組み合わせにより達成され、また、下位請求項は、発明の更なる有利な具体例を規定する。特許請求の範囲に記載した括弧内の符号は、一つの態様として後述する実施形態に記載の具体的手段との対応関係を示すものであって、本発明の技術的範囲を限定するものではない。

【0009】

上記目的を達成するための位置推定装置に係る発明は、道路およびその周囲に存在する物体の三次元位置を示している三次元地図データを取得する地図データ取得部 (S 8) と、周囲に存在する物体上の点を三次元的に測定する測定部 (11) から、測定結果である観測データを取得する測定結果取得部 (S 3) と、測定結果取得部が取得した観測データおよび地図データ取得部が取得した三次元地図データを、それぞれ、高さに基づいて複数の層に分割し、層別に、観測データと、三次元地図データとの対応を決定するマッチング処理を行うマッチング処理部 (S 5、S 12) と、マッチング処理の結果に基づいて、現在位置を推定した推定位置を計算する位置計算部 (S 14) とを備えることを特徴とする位置推定装置である。

【0010】

また、上記目的を達成するための位置推定方法に係る発明は、道路およびその周囲に存在する物体の三次元位置を示している三次元地図データを取得する地図データ取得ステップ (S 8) と、周囲に存在する物体の形状を三次元的に測定する測定部 (11) から、測定結果である観測データを取得する測定結果取得ステップ (S 3) と、測定結果取得ステップで取得した観測データおよび地図データ取得ステップで取得した三次元地図データを、それぞれ、高さに基づいて複数の層に分割し、層別に、観測データと、三次元地図データとの対応を決定するマッチング処理を行うマッチング処理ステップ (S 5、S 12) と、マッチング処理の結果に基づいて、現在位置を推定した推定位置を計算する位置計算ステップ (S 14) とを備えることを特徴とする位置推定方法である。

【0011】

また、上記目的を達成するための位置推定プログラムに係る発明は、コンピュータを、

道路およびその周囲に存在する物体の三次元位置を示している三次元地図データを取得する地図データ取得部（Ｓ８）と、周囲に存在する物体の形状を三次元的に測定する測定部（１１）から、測定結果である観測データを取得する測定結果取得部（Ｓ３）と、測定結果取得部が取得した観測データおよび地図データ取得部が取得した三次元地図データを、それぞれ、高さに基づいて複数の層に分割し、層別に、観測データと、三次元地図データとの対応を決定するマッチング処理を行うマッチング処理部（Ｓ５、Ｓ１２）と、マッチング処理の結果に基づいて、現在位置を推定した推定位置を計算する位置計算部（Ｓ１４）として機能させるための位置推定プログラムである。

【００１２】

これらの発明によれば、観測データおよび三次元地図データを、それぞれ、高さに基づいて複数層に分割した上で、層別に、観測データと三次元地図データとの対応を決定する。これにより、観測データを、三次元地図データの他の層に含まれるデータと対応させてしまうことを抑制できる。よって、誤対応が減少するので、位置推定精度が向上する。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】実施形態の位置推定システム１０の構成を示すブロック図である。

【図２】環境地図点群の一例を示す図である。

【図３】図２に示した環境地図点群に対応する道路表面地図点群を示す図である。

【図４】図１の位置推定処理部１６が実行する処理を示すフローチャートである。

【図５】図４に続いて位置推定処理部１６が実行する処理を示すフローチャートである。

【図６】図４のステップＳ４で作成する観測地図点群の一例である。

【図７】図４のステップＳ５における分割例である。

【図８】図４のステップＳ１０の詳細処理を示すフローチャートである。

【図９】図８のステップＳ１０２の処理を説明する図である。

【図１０】図５のステップＳ１２の詳細処理を示すフローチャートである。

【図１１】本実施形態の位置推定システム１０の測位誤差を従来の車両位置推定システムと比較して示す図である。

【発明を実施するための形態】

【００１４】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。図１に示す位置推定システム１０は、車両１に搭載されており、周辺監視センサ１１、無線通信部１２、地図管理部１３、衛星測位部１４、車両状態センサ１５、位置推定処理部１６を備える。

【００１５】

周辺監視センサ１１は、車両１の周辺に存在する物体を検出するセンサであり、請求項の測定部に相当する。図１では、２つの周辺監視センサ１１が車両１に搭載されており、一方の周辺監視センサ１１が車両１の前方を向いており、他方の周辺監視センサ１１が車両１の後方を向いている。

【００１６】

これら２つの周辺監視センサ１１、１１による車両上下方向軸周りの物体検出範囲は車両１の周囲３６０度である。なお、１つのセンサでこの物体検出範囲に存在する物体を検出できる場合には周辺監視センサは１つでもよいし、また、３つ以上のセンサで、この物体検出範囲に存在する物体を検出するようにしてもよい。

【００１７】

周辺監視センサ１１は、以下では、三次元ＬＩＤＡＲセンサとする。ただし、周辺監視センサ１１として、マイクロ波、ミリ波など、光以外の送信波を放射するセンサを用いてもよい。周辺監視センサ１１は、物体検出範囲に存在する物体上の点の座標を逐次検出する。以下では、周辺監視センサ１１が座標を検出した点の集合を観測点群という。観測点群は観測データに相当する。

【００１８】

無線通信部１２は、図示しない基地局を介してサーバ２０との間で無線通信を行い、サ

10

20

30

40

50

サーバ20が備えている地図データベース21に格納されている地図データのうち、必要な部分をサーバ20から受信する。地図データは、具体的には、環境地図点群と、道路表面地図点群である。

【0019】

環境地図点群は、道路やその周辺の物体の位置を多数の点群により表した三次元地図データであり、道路表面地図点群は、環境地図点群のうち、道路表面部分のみを抽出した地図データである。図2に環境地図点群の一例を示し、図3に、図2に示した環境地図点群に対応する道路表面地図点群を示す。なお、これら環境地図点群、道路表面地図点群は、高精度GPSと複数のレーザスキャナを有する計測車両により予め測定された点群である。

10

【0020】

地図管理部13は、書き込み可能な記憶媒体を備えており、この記憶媒体に、無線通信部12を介してサーバ20から取得した環境地図点群と、道路表面地図点群を保存する。

【0021】

衛星測位部14は、測位用衛星30からの電波に基づいて自装置の位置を検出するGNSS(Global Navigation Satellite System)で用いられるGNSS受信機を備えている。このGNSS受信機が受信した信号に基づいて、現在位置を検出する。

【0022】

車両状態センサ15は、具体的には、車速センサとヨーレートセンサであり、車両状態として車速とヨーレートを逐次検出する。車両状態センサ15と位置推定処理部16とは、車内LAN18により接続されている。

20

【0023】

位置推定処理部16は、請求項の位置推定装置に相当しており、車両1の現在位置を逐次推定する。この位置推定処理部16が推定する現在位置は、衛星測位部14が検出する現在位置よりも高精度である。以下では、位置推定処理部16が推定した現在位置を、高精度推定位置という。位置推定処理部16は、本実施形態では、CPU、ROM、RAM等を備えたコンピュータと、このコンピュータが位置推定処理部16として機能するための位置推定プログラムとを備えた構成である。位置推定プログラムは、ROMに記憶されていてもよいし、ROMとは別に、記憶媒体を備え、この記憶媒体に記憶されていてもよい。なお、位置推定処理部16を、一つあるいは複数のIC等によりハードウェア的に構成してもよい。

30

【0024】

位置推定処理部16は、周辺監視センサ11が検出した観測点群を示すデータ、地図管理部13が記憶している地図データ、衛星測位部14が検出した現在位置、車両状態センサ15が検出した車速、ヨーレートを用いて、高精度推定位置を逐次決定する。

【0025】

次に、位置推定処理部16が実行する処理を詳しく説明する。位置推定処理部16は、図4に示す処理を周期的に実行する。この図4に示す処理は、位置推定方法に相当する。

【0026】

ステップS1では、初期位置および初期ヨー角 θ_0 を設定する。これら、初期位置および初期ヨー角 θ_0 は、衛星測位部14から取得する。初期ヨー角 θ_0 は、たとえば、衛星測位部14が逐次測位した位置の変化から決定される。なお、このステップS1は、後述するステップS13を実行して高精度推定位置 P_t を更新した後は実行しない。

40

【0027】

ステップS2では、車速 v_t 、ヨーレートを車両状態センサ15から取得し、これら車速、ヨーレートを用いてオドメトリを行い、座標変換行列 ΔM_t を計算する。このステップS2の処理は、請求項の移動量計算部に相当する処理である。

【0028】

座標変換行列 ΔM_t は同次座標変換行列であり、式(1)より計算する。式(1)にお

50

いて、 R_z は z 軸周りの回転行列、 T_x は x 軸方向の並進ベクトルであり、 t は観測時刻、 Δt は観測周期、 I は単位行列である。 I_3 の場合、 3 行 $\times$ 3 列の単位行列を意味する。また、 x 軸は車両 1 の前後方向、 y 軸は車両 1 の左右方向、 z 軸は車両 1 の上下方向である。

【0029】

式 (1) の右辺で定義される座標変換行列 ΔM_t は、時刻 $t-1$ から時刻 t の間における車両 1 のオドメトリ移動量だけ、座標系を移動させることを意味する。換言すれば、座標変換行列 ΔM_t は、時刻 $t-1$ から時刻 t の間における車両 1 のオドメトリ移動量を意味するとも言える。

【数 1】

10

$$\Delta M_t = \begin{bmatrix} R_z(r_t \Delta t) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_3 & T_x(v_t \Delta t) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdots (1)$$

【0030】

ステップ S3 では、周辺監視センサ 11 から観測点群の座標データを取得し、取得した座標データを RAM などの所定の記憶部に記憶する。このステップ S3 の処理は、請求項の測定結果取得部、測定結果取得ステップに相当する処理である。

【0031】

ステップ S4 では、直近 m フレームの観測点群を重ね合わせてローカル地図を作成する。ここでは、 m を 10 とする。各フレームで取得した観測点群を重ね合わせる際には、ステップ S2 で逐次計算している ΔM_t 、 ΔM_{t-1} 、 $\cdots$ 、 ΔM_{t-m} を用いて、過去に検出した観測点群の座標データを、時刻 t における車両中心座標系（以下、ローカル座標系）に変換する。そして、時刻 t におけるローカル座標系に変換後の各フレームの観測点群を重ね合わせる。観測点群を重ねあわせて作成した点群を、以下、観測地図点群という。なお、ローカル座標系の原点は、たとえば、衛星測位部 14 が備えるアンテナの位置である。図 6 は、このステップ S4 で作成した観測地図点群の一例である。

20

【0032】

ステップ S5 では、ステップ S4 で作成した観測地図点群を、ローカル座標系の Z 軸（以下、 Z_L 軸）方向に複数層に分割する。ここでは複数層は、図 7 に示すように 3 層とし、最下層は $0.0 \leq Z_L < 1.0$ 、中間層は $1.0 \leq Z_L < 2.0$ 、最上層は $2.0 \leq Z_L < 3.0$ とする。

30

【0033】

ステップ S6 では、ローカル座標をグローバル座標に変換する座標変換行列 $M_t^{L \rightarrow G}$ を計算する。なお、グローバル座標とは、緯度経度を意味しており、また Z 軸の 0 点は路面である。また、後に用いるピッチ座標は、グローバル座標を Z_L 軸方向および Y_L 軸周りに補正した座標であり、アース座標は、ピッチ座標をさらにマッチング処理した後の座標である。本明細書において、添字 L はローカル座標であることを表し、添字 G はグローバル座標であることを表し、添字 P はピッチ座標であることを表し、添字 E はアース座標であることを表す。

40

【0034】

座標変換行列 $M_t^{L \rightarrow G}$ は式 (2) より計算する。式 (2) において、 $M_{t-1}^{P \rightarrow E}$ はピッチ座標をアース座標へ変換する変換行列である。また、 $M_{t-1}^{G \rightarrow P}$ は、グローバル座標を、ピッチ座標、すなわち、 Z_L 軸方向およびピッチ角補正した座標へ変換する座標変換行列である。

【0035】

座標変換行列 $M_t^{G \rightarrow P}$ の前回値 $M_{t-1}^{G \rightarrow P}$ は、後述するステップ S10 で計算している。また、座標変換行列 $M_t^{P \rightarrow E}$ の前回値 $M_{t-1}^{P \rightarrow E}$ は、後述するステップ S12 で計算している。なお、座標変換行列 $M_t^{L \rightarrow G}$ の初期値 $M_0^{L \rightarrow G}$ は式 (3) で表される。そして、詳しくは後述するが、座標変換行列 $M_t^{G \rightarrow P}$ は座標変

50

換行列 $M_t^{L t \circ G}$ から計算でき、座標変換行列 $M_t^{P t \circ E}$ は座標変換行列 $M_t^{G t \circ P}$ から計算できる。したがって、これら座標変換行列 $M_t^{G t \circ P}$ 、 $M_t^{P t \circ E}$ の初期値は、座標変換行列 $M_t^{L t \circ G}$ の初期値から計算できる。

【数 2】

$$M_t^{LtoG} = M_{t-1}^{PtoE} M_{t-1}^{GtoP} M_{t-1}^{LtoG} \Delta M_{t-1} \cdots (2)$$

【数 3】

$$M_0^{LtoG} = \begin{bmatrix} & x_0 \\ Rz(\theta_0) & y_0 \\ & z_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdots (3)$$

10

【0036】

式(2)の意味を説明する。 ΔM_{t-1} は、時刻 $t-1$ における車両 1 の移動量をローカル座標系で表している。この ΔM_{t-1} に $M_{t-1}^{L t \circ G}$ を乗じると、時刻 $t-1$ における車両 1 の移動量が、グローバル座標で表される。さらに、 $M_{t-1}^{G t \circ P}$ を乗じると、グローバル座標からピッチ座標系に変換され、さらに、 $M_{t-1}^{P t \circ E}$ を乗じると、ピッチ座標からアース座標に変換される。すなわち、(2)式は、 t 時刻において、その 1 フレーム前の時刻 $t-1$ における車両 1 のローカル座標系での移動量をアース座標で表していることになる。

20

【0037】

ここで、ローカル座標系での移動量は、移動後のローカル座標を意味する。したがって、ローカル座標系での移動量をアース座標に変換することは、移動後の座標をアース座標に変換することを意味する。そして、アース座標は、車両位置を高い精度で表したグローバル座標を意味する。そこで、式 2 の右辺の計算を、時刻 t において、ローカル座標をグローバル座標に変換する座標変換行列 $M_t^{L t \circ G}$ とするのである。

【0038】

ステップ S 7 では、時刻 t における車両 1 のグローバル位置、すなわち、車両 1 の位置を表すグローバル座標を計算する。この計算は、ステップ S 6 で計算した座標変換行列 $M_t^{L t \circ G}$ と、ステップ S 2 で計算した ΔM_t を用い、下記式(4)より計算する。

30

【数 4】

$$M_t^{LtoG} \Delta M_t [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T \cdots (4)$$

【0039】

前述したように、 ΔM_t は時刻 t における車両のローカル座標を表しているので、式(4)より、時刻 t における車両 1 のグローバル位置が計算できる。

【0040】

ステップ S 8 では、地図管理部 13 に記憶されている環境地図点群から、ステップ S 7 で計算したグローバル位置を基準として用いて、車両 1 の周辺の点群を抽出する。なお、環境地図点群は、グローバル座標で表されている。ステップ S 8 の処理は、請求項の地図データ取得部、地図データ取得ステップに相当する処理である。

40

【0041】

ステップ S 9 では、ステップ S 8 で抽出した点群を、 $M_t^{L t \circ G}$ の逆行列を用いてローカル座標に変換する。

【0042】

ステップ S 10 では、道路表面に対する車両 1 の高度偏差 Δz およびピッチ角偏差 $\Delta \varphi$ を補正する補正行列 $M_t^{\Delta z}$ と、グローバル座標をピッチ座標に変換する座標変換行列 $M_t^{G t \circ P}$ を計算する。ステップ S 10 の処理は、請求項の地図補正部に相当する処理である。ステップ S 10 の詳細は、図 8 に示す。

50

【 0 0 4 3 】

まず、ステップ S 1 0 1 では、地図管理部 1 3 に記憶している道路表面地図点群から、ステップ S 7 で計算したグローバル位置を基準として用いて、車両 1 の周辺の半径 r (m) の点群を抽出する。 r (m) はたとえば 1 0 (m) である。環境地図点群と同様、道路表面地図点群もグローバル座標で表されている。

【 0 0 4 4 】

ステップ S 1 0 2 では、ステップ S 1 0 1 で抽出した点群を、 $M_{t^{LtoG}}$ の逆行列 ($M_{t^{LtoG}})^{-1}$ を用いてローカル座標に変換した後、 $X_L - Z_L$ 平面上に投影する。これにより、図 9 に示すように、車両 1 の真横から道路表面地図点群を見た状態となる。なお、ステップ S 1 0 2 において、ステップ S 9 でローカル座標に変換した環境地図点群から、道路表面部分を抽出し、この抽出した道路表面部分を $X_L - Z_L$ 平面上に投影してもよい。

10

【 0 0 4 5 】

ステップ S 1 0 3 では、ロバスト推定において広く用いられている R A N S A C (R A N d o m S A m p l e C o n s e n s u s) により、ステップ S 1 0 2 で $X_L - Z_L$ 平面上に投影した道路表面地図点群に相当する直線を算出する。これにより、図 9 に示す、現在位置を基準とした地面との高度偏差 Δz 、および、この地面と車両 1 のピッチ角偏差 $\Delta \phi$ が得られる。周辺監視センサ 1 1 は車両 1 に搭載されているので、ピッチ角偏差 $\Delta \phi$ は周辺監視センサ 1 1 の姿勢の一要素を表しているとも言える。

【 0 0 4 6 】

ステップ S 1 0 4 では、これら高度偏差 Δz 、ピッチ角偏差 $\Delta \phi$ を補正する、式 (5) に示す補正行列 $M_{t^{\Delta Z}}$ を作成する。この式 (5) において、 $Ry ()$ は Y 軸周りの回転行列、 $Tz ()$ は Z 軸方向の並進ベクトルである。

20

【 数 5 】

$$M_{t^{\Delta Z}} = \begin{bmatrix} Ry(\Delta\phi) & Tz(\Delta z) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdots (5)$$

【 0 0 4 7 】

ステップ S 1 0 5 では、ステップ S 1 0 4 で作成した補正行列 $M_{t^{\Delta Z}}$ を用い、グローバル座標をピッチ座標に変換する変換行列 $M_{t^{GtoP}}$ を計算する。この変換行列 $M_{t^{GtoP}}$ は式 (6) により計算する。

30

【 数 6 】

$$M_{t^{GtoP}} = M_{t^{LtoG}} M_{t^{\Delta Z}} (M_{t^{LtoG}})^{-1} \cdots (6)$$

【 0 0 4 8 】

式 6 は、グローバル座標を一旦、ローカル座標に変換し、補正行列 $M_{t^{\Delta Z}}$ により、高度偏差 Δz 、ピッチ角偏差 $\Delta \phi$ を補正した後に、グローバル座標に変換することを意味する。

【 0 0 4 9 】

ステップ S 1 0 5 を終了したら、ステップ S 1 0 を終了したことになる。ステップ S 1 0 を終了したら、図 5 に示すステップ S 1 1 を実行する。

40

【 0 0 5 0 】

ステップ S 1 1 では、ステップ S 8 で抽出した環境地図点群を、ローカル座標系に変換する。この変換は、環境地図点群を構成する各点に、式 (6) の右辺の左 2 項の逆行列、すなわち、 $(M_{t^{LtoG}} M_{t^{\Delta Z}})^{-1}$ を乗じることで行う。この変換を行うことにより、ステップ S 8 で抽出した環境地図点群を、車両 1 の高度偏差 Δz 、ピッチ角偏差 $\Delta \phi$ を補正した座標系にするのである。

【 0 0 5 1 】

ステップ S 1 2 では、ステップ S 1 1 でローカル座標系に変換した環境地図点群を、図 7 と同様の 3 層に分割する。そして、分割した環境地図点群およびステップ S 5 で分割し

50

た観測地図点群を、高さが同じ層同士、層ごとにマッチング処理を行う。このマッチング処理は、Iterative Closest Pointアルゴリズム（以下、ICPアルゴリズム）を用いて行う。このステップS 1 2およびステップS 5が請求項のマッチング処理部に相当する。

【0052】

ステップS 1 2の詳細処理は図10に示す。なお、図10の説明において、観測地図点群を構成する点群のうちi層を構成する点群を $A = \{a_j\}$ （ $|A| = N_A$ ）、ステップS 1 1で分割した環境地図点群のうち観測地図点群のi層と同じ高さの層の点群を $B = \{b_j\}$ （ $|B| = N_B$ ）とする。

【0053】

まず、ステップS 1 2 1において、座標変換行列MをIとする。なお、座標変換行列Mは4行4列であるので、Iは具体的には I_4 である。ステップS 1 2 2では、 $j = 1$ とする。ステップS 1 2 3では、 M_j にMを代入する。ステップS 1 2 4では、 j が N_A になったか否かを判断する。ステップS 1 2 4の判断がNOであればステップS 1 2 5に進む。

10

【0054】

ステップS 1 2 5では、環境地図点群Bから $M_j a_j$ に対応する対応点 m_j を決定する。この対応点の決定には、ユークリッド距離に基づく最近傍探索を行う。

【0055】

ステップS 1 2 6では、対応点 m_j と入力点 $M_j a_j$ との距離が、 d_{max} 以下であるか否かを判断する。この判断がYESであればステップS 1 2 7に進み、 w_j を1とし、NOであればステップS 1 2 8に進み、 w_j を0とする。

20

【0056】

ステップS 1 2 9ではjに1を加える。ステップS 1 2 9を実行後はステップS 1 2 4に戻る。ステップS 1 2 4の判断がYESになった場合にはステップS 1 3 0に進む。ステップS 1 3 0では、 $w_j = 1$ の対応点と入力点 $M_j a_j$ との距離を最小化する変換行列を、最小二乗法を用いて計算する。

【0057】

続くステップS 1 3 1では、終了条件を満たすか否かを判断する。終了条件は、最大繰り返し回数に到達したこと、あるいは、この処理を繰り返し実行したことによる入力点 $M_j a_j$ が収束したことのいずれかが成立したことである。終了条件を満たしていない場合には、ステップS 1 2 2に戻る。ステップS 1 2 2に戻ると、直近のステップS 1 3 0で決定した座標変換行列Mで、入力点 $M_j a_j$ に対応する対応点 m_j の探索が行われる。

30

【0058】

ステップS 1 3 1の判断がYESであればステップS 1 3 2に進む。ステップS 1 3 2では、最新のMを M_t^i とする。

【0059】

続くステップS 1 3 3では、観測地図点群を構成する点群1点あたりの対応点への平均距離 e_t^i を式(7)から算出する。このステップS 1 3 3の処理は、請求項の距離算出部に相当する処理である。

【数7】

40

$$e_t^i = \frac{\sum_j^{N_A} \omega_j \|m_j - M_t^i a_j\|}{\sum_j^{N_A} \omega_j} \quad \dots (7)$$

【0060】

この図10に示す処理を観測地図点群を構成する各層について行う。したがって、各層iに対して、グローバル座標系において、観測地図点群を構成する点群を環境地図点群にマッチングさせる座標変換行列 M_t^i と、観測地図点群を構成する点群1点あたりの対応点への平均距離 e_t^i が得られる。

【0061】

50

次に、ステップ S 1 3 へ進む。ステップ S 1 3 では、時刻 t においてピッチ座標をアース座標に変換する座標変換行列 $M_t^{P \rightarrow E}$ を計算する。この座標変換行列 $M_t^{P \rightarrow E}$ は、ステップ S 1 2 で得た座標変換行列 M_t^i に基づいて計算する。本実施形態では、3 層それぞれについて計算した座標変換行列 M_t^i のうち、平均距離 e_t^i が最も小さい座標変換行列 M_t^i を $M_t^{i \rightarrow P}$ とし、下記式 (8) により、 $M_t^{P \rightarrow E}$ を算出する。

【数 8】

$$M_t^{P \rightarrow E} = M_t^{G \rightarrow P} M_t^{i \rightarrow P} (M_t^{G \rightarrow P})^{-1} \cdots (8)$$

【0062】

この式 (8) は、ピッチ座標を、一旦、グローバル座標に変換し、ICP アルゴリズムによるマッチング処理をした後に、ピッチ座標に戻すことを意味する。アース座標は、ピッチ座標を ICP アルゴリズムによるマッチング処理した座標であるが、ICP 処理はグローバル座標で行うので、ピッチ座標を、一旦、グローバル座標に変換するのである。

10

【0063】

ステップ S 1 4 3 では、式 (9) により、高精度推定位置 P_t を更新する。このステップ S 1 4 の処理は、請求項の位置計算部に相当する処理である。

【数 9】

$$P_t = [xv \ yv \ zv \ 1]^T \\ = M_t^{P \rightarrow E} M_t^{G \rightarrow P} M_t^{L \rightarrow G} \Delta M_t [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T \cdots (9)$$

20

【0064】

式 (9) において、 ΔM_t はステップ S 2 で計算しており、 $M_t^{L \rightarrow G}$ はステップ S 6 で計算しており、 $M_t^{G \rightarrow P}$ はステップ S 1 0 で計算しており、 $M_t^{P \rightarrow E}$ はステップ S 1 3 で計算している。この式 (9) は、ローカル移動量を表す座標変換行列 ΔM_t を、 $M_t^{L \rightarrow G}$ によりローカル座標からグローバル座標に変換し、 $M_t^{G \rightarrow P}$ によりグローバル座標からピッチ座標に変換し、 $M_t^{P \rightarrow E}$ によりピッチ座標からアース座標に変換することを意味する。また、ローカル移動量は、ローカル座標系における移動後の車両位置を示している。よって、式 (9) は、ローカル座標系における車両座標を、アース座標に変換することを意味している。

30

【0065】

(測位結果)

図 1 1 は、本実施形態の位置推定システム 1 0 が決定した高精度推定位置の誤差を、従来の車両位置推定システムによる推定位置の誤差と比較して示す図である。誤差を算出するための正解位置には、RTK-GPS により測位を行う高精度 GPS の測位値を用いた。また、ユークリッド距離は、正解位置と高精度推定位置、あるいは、従来システムによる推定位置との距離を意味する。

【0066】

図 1 1 から分かるように、本実施形態の位置推定システム 1 0 が決定した高精度推定位置は、従来の推定位置よりも高い精度で位置を推定できていることが分かる。

40

【0067】

(実施形態の効果)

以上、説明したように、本実施形態の位置推定システム 1 0 は、この位置推定システム 1 0 を搭載した車両 1 の周辺の点群を観測し、観測点群から作成した観測地図点群と、車両 1 の周辺の環境地図点群とをマッチングさせるマッチング処理を行う。

【0068】

このマッチング処理は、観測地図点群を高さ方向に複数層に分割して、層ごとに行う。これにより、観測地図点群を構成する点が、環境地図点群を構成する点群のうち、層が異なる点群に含まれる点と対応してしまうことを抑制できる。したがって、観測地図点群を構成する点と、環境地図点群を構成する点との誤対応が減少するので、図 1 1 に示したよ

50

うに、高精度推定位置は、真の現在位置を高い精度で推定できる。

【 0 0 6 9 】

以上、本発明の実施形態を説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されるものではなく、次の変形例も本発明の技術的範囲に含まれ、さらに、下記以外にも要旨を逸脱しない範囲内で種々変更して実施できる。

【 0 0 7 0 】

< 変形例 1、2 >

たとえば、前述の実施形態では、3層それぞれについて計算した座標変換行列 M_t^i のうち、平均距離 e_t^i が最も小さい座標変換行列 M_t^i を $M_t^{i \text{ c p}}$ として、高精度推定位置 P_t を計算していた (S 13、S 14)。

10

【 0 0 7 1 】

しかしこれに限られず、3層それぞれについて計算した座標変換行列 M_t^i を、それぞれ $M_t^{i \text{ c p}}$ として用いて式 (8)、式 (9) を計算し、3つの推定位置を算出し、その3つの推定位置に基づいて、最終的な高精度推定位置 P_t を算出してもよい。

【 0 0 7 2 】

これら3つの推定位置から最終的な高精度推定位置 P_t を算出する方法は、たとえば、それら3つの推定位置の単純平均である (変形例 1)。また、加重平均でもよい (変形例 2)。加重平均の際の重みは、たとえば、平均距離 e_t^i の逆数とする。

【 0 0 7 3 】

< 変形例 3 >

前述の実施形態では、道路表面地図点群をローカル座標系の $X_L - Z_L$ 平面に投影することで、ピッチ角偏差 $\Delta \varphi$ 、高度偏差 Δz を算出していた。しかし、これらピッチ角偏差 $\Delta \varphi$ 、高度偏差 Δz を、ピッチ角、高度を検出するセンサの検出値に基づいて計算してもよい。

20

【 0 0 7 4 】

< 変形例 4 >

前述の実施形態では、地図管理部 13 に道路表面地図点群を記憶していた。しかし、道路表面地図点群は環境地図点群から高さ方向の点群を除去したものであるもので、道路表面地図点群を記憶せず、環境地図点群から、都度、道路表面地図点群を作成してもよい。

【 0 0 7 5 】

< 変形例 5 - 8 >

周辺監視センサ 11 として、カメラを用いてもよい (変形例 5)。位置推定システムを車両以外の移動体で搭載してもよい (変形例 6)。観測地図点群を分割する層数は3以外の複数でもよい (変形例 7)。観測地図点群を分割した各層の高さ方向長さが、互いに異なってもよい (変形例 8)。

30

【 0 0 7 6 】

< 変形例 9 >

前述の実施形態では、三次元地図データは、道路およびその周囲に存在する物体の三次元位置を、点群により示しているデータであった。また、観測データとして観測点群を取得していた。

40

【 0 0 7 7 】

しかし、三次元地図データ、観測データが点群でなくても、本発明は実施できる。したがって、三次元地図データとして、点に加えて、あるいは点に代えて、線や面により物体の三次元位置を示すデータを取得し、観測点群に代えて、周囲に存在する物体の形状を、点に加えて、あるいは点に代えて、線や面により物体の三次元位置を示す観測データを取得してもよい。

【 符号の説明 】

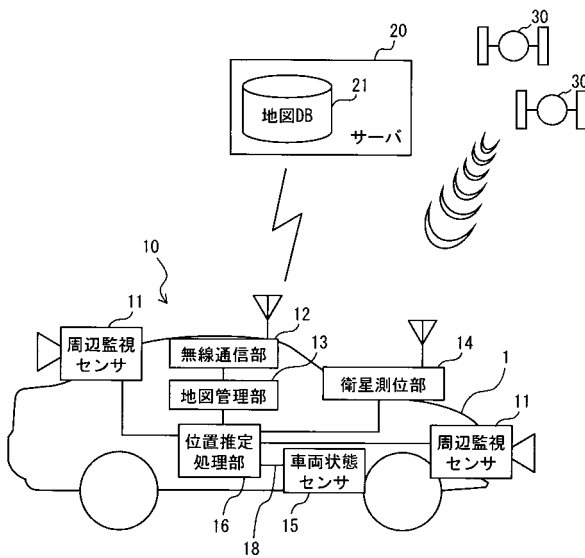
【 0 0 7 8 】

1 : 車両、 10 : 位置推定システム、 11 : 周辺監視センサ、 12 :
無線通信部、 13 : 地図管理部、 14 : 衛星測位部、 15 : 車両状態

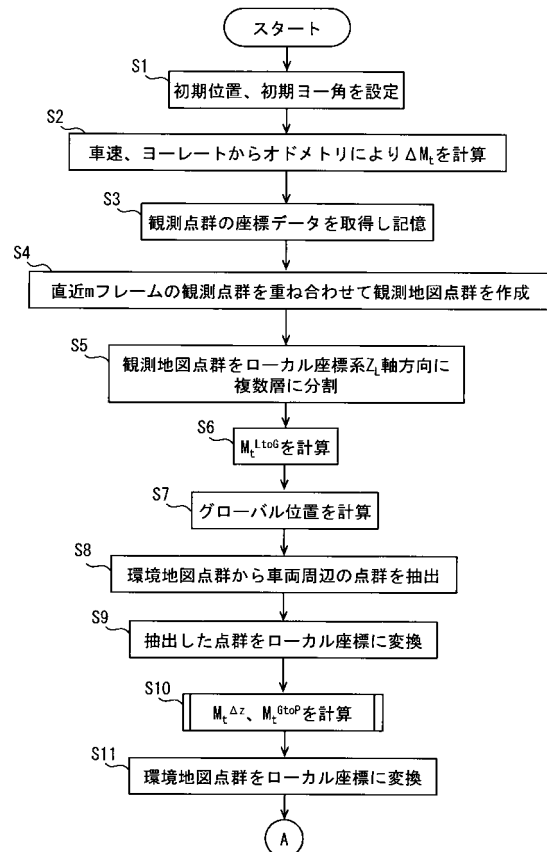
50

センサ、 16 : 位置推定処理部、 18 : 車内LAN、 20 : サーバ、
21 : 地図データベース、 30 : 測位用衛星

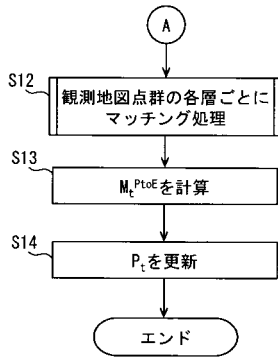
【図1】



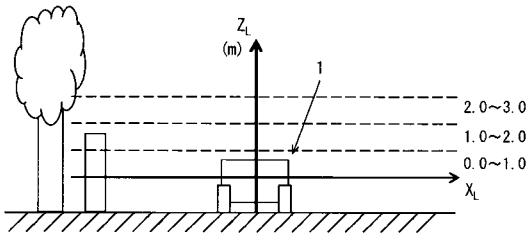
【図4】



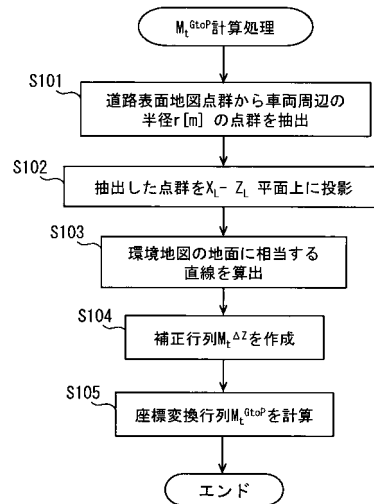
【図 5】



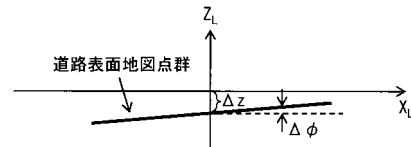
【図 7】



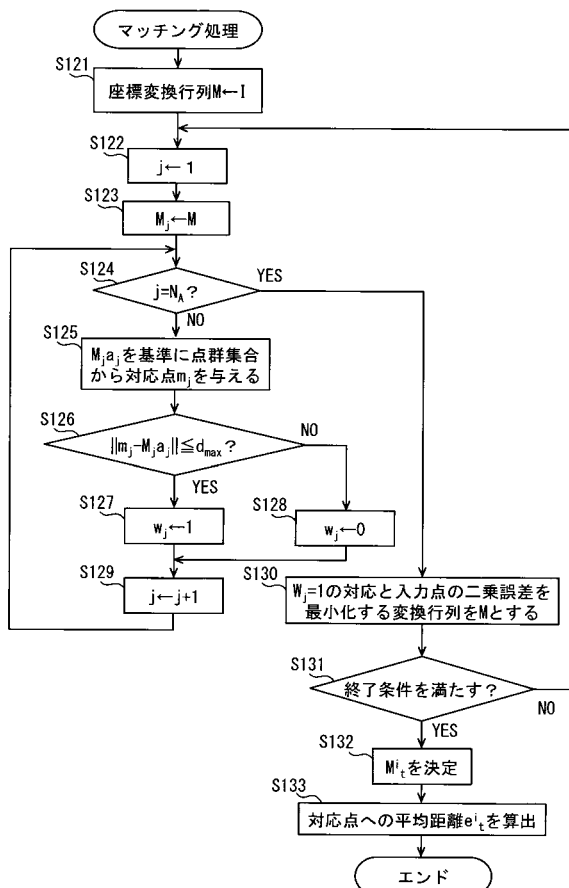
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【図 11】

	実施形態	従来
平均誤差 (m)		
ユークリッド距離	0.171	0.759
横方向誤差	0.119	0.267
前後方向誤差	0.100	0.648
最大誤差 (m)		
ユークリッド距離	0.581	4.495
横方向誤差	0.580	2.577
前後方向誤差	0.466	4.415

【図 2】



【図 3】



【図 6】



フロントページの続き

- (72)発明者 武藤 健二
愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 奥谷 翼
愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 三田 誠一
愛知県名古屋市天白区久方 2 丁目 1 2 番地 1 学校法人トヨタ学園内
- (72)発明者 米陀 佳祐
愛知県名古屋市天白区久方 2 丁目 1 2 番地 1 学校法人トヨタ学園内

F ターム(参考) 2C032 HB22 HB25 HC08 HD30
2F129 AA03 BB03 BB14 BB15 BB20 BB23 BB49 FF02 FF11 FF20
FF37 GG18 GG28 HH17 HH24
5J084 AA04 AC02 AD05 EA04