

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6594008号
(P6594008)

(45) 発行日 令和1年10月23日 (2019. 10. 23)

(24) 登録日 令和1年10月4日 (2019. 10. 4)

(51) Int. Cl.	F 1
G 0 5 D 1/02 (2006. 01)	G O 5 D 1/02 H
G O 1 C 15/00 (2006. 01)	G O 1 C 15/00 1 O 3 Z

請求項の数 6 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2015-59275 (P2015-59275)	(73) 特許権者	591128453
(22) 出願日	平成27年3月23日 (2015. 3. 23)		株式会社メガチップス
(65) 公開番号	特開2016-177742 (P2016-177742A)		大阪府大阪市淀川区宮原一丁目1番1号
(43) 公開日	平成28年10月6日 (2016. 10. 6)	(73) 特許権者	504174135
審査請求日	平成30年3月13日 (2018. 3. 13)		国立大学法人九州工業大学
			福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号
		(74) 代理人	100143498
			弁理士 中西 健
		(74) 代理人	100125704
			弁理士 坂根 剛
		(74) 代理人	100104444
			弁理士 上羽 秀敏
		(74) 代理人	100112715
			弁理士 松山 隆夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 移動体制御装置、ランドマーク、および、プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

2 個以上のランドマークを 1 組として含むランドマークの組であるランドマークセットが設置されている環境内を移動する移動体を制御するために、前記ランドマークの情報をを用いて表現される環境地図の作成処理と、前記移動体の自己の内部状態の推定処理とを実行する移動体制御装置であって、

観測可能な事象から得られる観測データを取得する観測取得部と、

前記観測取得部により取得された前記観測データに基づいて、(1) 前記移動体と前記ランドマークセットに含まれる 2 個以上のランドマークのそれぞれとの距離を、ランドマーク距離情報として取得し、(2) 前記移動体と前記ランドマークセットに含まれる 2 個以上のランドマークのそれぞれとを結ぶ直線と所定の軸とのなす角度をランドマーク角度情報として取得するランドマーク検出部と、

前記ランドマーク検出部により取得された前記ランドマーク距離情報に基づいて、前記移動体の自己位置の候補領域を決定し、決定した前記候補領域についての情報を候補領域情報として取得する候補領域取得部と、

前記観測取得部により取得された前記観測データと、前記ランドマーク検出部により生成された前記ランドマーク距離情報および前記ランドマーク角度情報と、前記候補領域取得部により取得された前記候補領域情報とに基づいて、前記移動体の内部状態を推定することで、自己内部状態推定データを取得するとともに、前記候補領域情報と、前記ランドマーク距離情報と、前記ランドマーク角度情報とに基づいて、前記環境地図を推定するこ

10

20

とで、環境地図データを取得する状態推定部と、
を備え、

前記候補領域取得部は、

前記ランドマーク検出部により時刻 t において取得された前記ランドマーク距離情報に基づいて、平面視において、前記 2 個以上のランドマークを中心とする、時刻 t における、円の交点を求め、求めた時刻 t の前記円の交点を含む領域を、前記移動体の自己位置の時刻 t の候補領域に決定し、決定した時刻 t の前記候補領域についての情報を時刻 t の候補領域情報として取得し、

時刻 t の前記候補領域は、前記 2 個以上のランドマークのそれぞれを中心とする円であって、それぞれ対応するランドマークと前記移動体との間の時刻 t での距離を半径とする前記円の時刻 t の複数の交点の情報を含み、

さらに、前記候補領域取得部は、時刻 $t + 1$ において、前記ランドマーク検出部により取得された前記ランドマーク距離情報に基づいて、前記 2 個以上のランドマークをそれぞれ中心とする円の、時刻 t の次の時刻である時刻 $t + 1$ の交点を求め、

時刻 $t + 1$ の交点を含む 1 個以上の領域を前記移動体の位置の候補領域に決定し、決定した当該候補領域を示す情報を時刻 $t + 1$ の候補領域情報として取得し、

時刻 $t + 1$ の前記候補領域情報は、2 個以上の前記ランドマークを中心とする円の時刻 $t + 1$ の複数の交点についての情報を含んでおり、前記時刻 $t + 1$ の 2 個以上の前記ランドマークを中心とする円は、それぞれ、前記移動体と各ランドマークとの間の時刻 $t + 1$ の距離を半径としており、

前記状態推定部は、(1) 時刻 t の前記候補領域情報と、(2) 時刻 $t + 1$ の前記候補領域情報と、(3) 時刻 t の制御入力データとに基づいて、前記移動体の内部状態および前記環境地図を推定することで、時刻 $t + 1$ の前記移動体の位置を予測するものであり、

時刻 t の前記制御入力データは、時刻 t の前記移動体の位置から前記移動体を所定の方
向に移動させるための制御入力データであり、前記時刻 $t + 1$ は、前記移動体が前記所定
の方向に移動が完了したときの時刻である、

移動体制御装置。

【請求項 2】

円柱状のランドマークであって、

前記ランドマークを設置した状態の平面視において、前記ランドマークの表面の一方の
半円に相当する円周上の表面である第 1 表面領域は、第 1 パターンを有し、

前記ランドマークを設置した状態の平面視において、前記ランドマークの表面の他方の
半円に相当する円周上の表面である第 2 表面領域は、前記第 1 パターンとは異なる第 2 パ
ターンを有している前記ランドマークが設置されている環境内を移動する移動体を制御す
るために、前記ランドマークの情報をを用いて表現される環境地図の作成処理と、前記移動
体の自己の内部状態の推定処理とを実行する移動体制御装置であって、

観測可能な事象から得られる観測データを取得する観測取得部であって、前記ランドマ
ークを撮像した画像をランドマーク撮像画像として、前記観測データに含めて取得する前
記観測取得部と、

前記観測取得部により取得された前記観測データに基づいて、(1) 前記移動体と前記
ランドマークとの距離を、ランドマーク距離情報として取得し、(2) 前記移動体と前記
ランドマークとを結ぶ直線と所定の軸とのなす角度をランドマーク角度情報として取得す
るランドマーク検出部と、

前記ランドマーク検出部により取得された前記ランドマーク距離情報と、前記ランドマ
ーク撮像画像上での前記ランドマークの前記第 1 パターンと前記第 2 パターンとの視認状
態とに基づいて、前記移動体の自己位置の候補領域を決定し、決定した前記候補領域につ
いての情報を候補領域情報として取得する候補領域取得部と、

前記観測取得部により取得された前記観測データと、前記ランドマーク検出部により生
成された前記ランドマーク距離情報および前記ランドマーク角度情報と、前記候補領域取
得部により取得された前記候補領域情報とに基づいて、前記移動体の内部状態を推定する

10

20

30

40

50

ことで、自己内部状態推定データを取得するとともに、前記候補領域情報と、前記ランドマーク距離情報と、前記ランドマーク角度情報とに基づいて、前記環境地図を推定することで、環境地図データを取得する状態推定部と、
を備え、

前記ランドマークの前記第 1 パターンと前記第 2 パターンとの境界線は、前記ランドマークの上面の中心点と底面の中心点とを結ぶ直線である前記ランドマークの中心軸と平行であり、

前記候補領域取得部は、

(1) 前記ランドマーク検出部により取得された前記ランドマーク距離情報と、(2) 前記ランドマーク撮像画像上の前記中心軸と直交する方向における、前記ランドマークの前記第 1 パターンと前記第 2 パターンの占有比率に基づいて、前記移動体の自己位置の候補領域を決定する、

移動体制御装置。

【請求項 3】

前記候補領域取得部は、

前記ランドマーク距離情報と、前記ランドマーク撮像画像上での前記ランドマークの前記第 1 パターンと前記第 2 パターンとの占有比率とに基づいて、前記移動体の自己位置の候補領域を決定し、決定した前記候補領域についての情報を候補領域情報として取得する、

請求項 2 に記載の移動体制御装置。

【請求項 4】

請求項 2 または 3 に記載の移動体制御装置とともに用いられる 3 次元形状を有するランドマークであって、

前記ランドマークの表面の一部の領域である第 1 表面領域は、第 1 パターンを有し、

前記ランドマークの表面の一部の領域であって、前記第 1 表面領域以外の領域である第 2 表面領域は、前記第 1 パターンとは異なる第 2 パターンを有している、
ランドマーク。

【請求項 5】

2 個以上のランドマークを 1 組として含むランドマークの組であるランドマークセットが設置されている環境内を移動する移動体を制御するために、前記ランドマークの情報を
用いて表現される環境地図の作成処理と、前記移動体の自己の内部状態の推定処理とを実行する移動体制御方法をコンピュータで実行させるためのプログラムであって、

観測可能な事象から得られる観測データを取得する観測取得ステップと、

前記観測取得ステップにより取得された前記観測データに基づいて、(1) 前記移動体と前記ランドマークセットに含まれる 2 個以上のランドマークのそれぞれとの距離を、ランドマーク距離情報として取得し、(2) 前記移動体と前記ランドマークセットに含まれる 2 個以上のランドマークのそれぞれとを結ぶ直線と所定の軸とのなす角度をランドマーク角度情報として取得するランドマーク検出ステップと、

前記ランドマーク検出ステップにより取得された前記ランドマーク距離情報に基づいて、前記移動体の自己位置の候補領域を決定し、決定した前記候補領域についての情報を候補領域情報として取得する候補領域取得ステップと、

前記観測取得ステップにより取得された前記観測データと、前記ランドマーク検出ステップにより生成された前記ランドマーク距離情報および前記ランドマーク角度情報と、前記候補領域取得ステップにより取得された前記候補領域情報とに基づいて、前記移動体の内部状態を推定することで、自己内部状態推定データを取得するとともに、前記候補領域情報と、前記ランドマーク距離情報と、前記ランドマーク角度情報とに基づいて、前記環境地図を推定することで、環境地図データを取得する状態推定ステップと、
を備え

前記候補領域取得ステップでは、

前記ランドマーク検出ステップにより時刻 t において取得された前記ランドマーク距離

10

20

30

40

50

情報に基づいて、平面視において、前記 2 個以上のランドマークを中心とする、時刻 t における、円の交点を求め、求めた時刻 t の前記円の交点を含む領域を、前記移動体の自己位置の時刻 t の候補領域に決定し、決定した時刻 t の前記候補領域についての情報を時刻 t の候補領域情報として取得し、

時刻 t の前記候補領域は、前記 2 個以上のランドマークのそれぞれを中心とする円であって、それぞれ対応するランドマークと前記移動体との間の時刻 t での距離を半径とする前記円の時刻 t の複数の交点の情報を含み、

さらに、前記候補領域取得ステップでは、時刻 $t + 1$ において、前記ランドマーク検出ステップにより取得された前記ランドマーク距離情報に基づいて、前記 2 個以上のランドマークをそれぞれ中心とする円の、時刻 t の次の時刻である時刻 $t + 1$ の交点を求め、

時刻 $t + 1$ の交点を含む 1 個以上の領域を前記移動体の位置の候補領域に決定し、決定した当該候補領域を示す情報を時刻 $t + 1$ の候補領域情報として取得し、

時刻 $t + 1$ の前記候補領域情報は、2 個以上の前記ランドマークを中心とする円の時刻 $t + 1$ の複数の交点についての情報を含んでおり、前記時刻 $t + 1$ の 2 個以上の前記ランドマークを中心とする円は、それぞれ、前記移動体と各ランドマークとの間の時刻 $t + 1$ の距離を半径としており、

前記状態推定ステップは、（１）時刻 t の前記候補領域情報と、（２）時刻 $t + 1$ の前記候補領域情報と、（３）時刻 t の制御入力データとに基づいて、前記移動体の内部状態および前記環境地図を推定することで、時刻 $t + 1$ の前記移動体の位置を予測するものであり、

時刻 t の前記制御入力データは、時刻 t の前記移動体の位置から前記移動体を所定の方向に移動させるための制御入力データであり、前記時刻 $t + 1$ は、前記移動体が前記所定の方向に移動が完了したときの時刻である、

移動体制御方法をコンピュータで実行させるためのプログラム。

【請求項 6】

円柱状のランドマークであって、

前記ランドマークを設置した状態の平面視において、前記ランドマークの表面の一方の
半円に相当する円周上の表面である第1表面領域は、第1パターンを有し、

前記ランドマークを設置した状態の平面視において、前記ランドマークの表面の他方の半円に相当する円周上の表面である第２表面領域は、前記第１パターンとは異なる第２パターンを有している前記ランドマークが設置されている環境内を移動する移動体を制御するために、前記ランドマークの情報を用いて表現される環境地図の作成処理と、前記移動体の自己の内部状態の推定処理とを実行する移動体制御方法をコンピュータで実行させるためのプログラムであって、

観測可能な事象から得られる観測データを取得する観測取得ステップであって、前記ランドマークを撮像した画像をランドマーク撮像画像として、前記観測データに含めて取得する前記観測取得ステップと、

前記観測取得ステップにより取得された前記観測データに基づいて、(1)前記移動体と前記ランドマークとの距離を、ランドマーク距離情報として取得し、(2)前記移動体と前記ランドマークとを結ぶ直線と所定の軸とのなす角度をランドマーク角度情報として取得するランドマーク検出ステップと、

前記ランドマーク検出ステップにより取得された前記ランドマーク距離情報と、前記ランドマーク撮像画像上での前記ランドマークの前記第1パターンと前記第2パターンとの視認状態とに基づいて、前記移動体の自己位置の候補領域を決定し、決定した前記候補領域についての情報を候補領域情報として取得する候補領域取得ステップと、

前記観測取得ステップにより取得された前記観測データと、前記ランドマーク検出ステップにより生成された前記ランドマーク距離情報および前記ランドマーク角度情報と、前記候補領域取得ステップにより取得された前記候補領域情報とに基づいて、前記移動体の内部状態を推定することで、自己内部状態推定データを取得するとともに、前記候補領域情報と、前記ランドマーク距離情報と、前記ランドマーク角度情報とに基づいて、前記環

10

20

30

40

50

境地図を推定することで、環境地図データを取得する状態推定ステップと、
を備え、

前記ランドマークの前記第 1 パターンと前記第 2 パターンとの境界線は、前記ランドマークの上面の中心点と底面の中心点とを結ぶ直線である前記ランドマークの中心軸と平行であり、

前記候補領域取得ステップでは、

(1) 前記ランドマーク検出部により取得された前記ランドマーク距離情報と、(2) 前記ランドマーク撮像画像上の前記中心軸と直交する方向における、前記ランドマークの前記第 1 パターンと前記第 2 パターンの占有比率に基づいて、前記移動体の自己位置の候補領域を決定する、

移動体制御方法をコンピュータで実行させるためのプログラム。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)技術を用いて移動体を制御する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

自律走行ロボット等の移動体が自律的に移動しながら、自己位置の推定と環境地図の作成とを同時に行うための技術として、SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)が知られている。

20

【0003】

SLAM技術により自律走行するロボット(移動体)では、ロボットに搭載されたセンサーから得られる観測、および、ロボットに対する制御入力のみを使用して、ロボットの周囲の環境地図を作成しながら、作成した環境地図中でのロボットの自己の位置および姿勢を推定する。言い換えれば、この推定処理は、ロボットがシステムモデル $x_t \sim g(x_{t-1} | x_{t-1}, U_t)$ (U_t :制御入力)に従い、観測が観測モデル $Z_t \sim h(Z_t | x_t, m)$ (m :環境地図)に従う状態空間モデルに対して、制御入力系列 $U_1:t = \{U_1, U_2, \dots, U_t\}$ 、および、観測系列 $Z_1:t = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_t\}$ が与えられたときに、ロボットの自己位置および姿勢 X_t (あるいは、 $X_1:t = \{X_1, X_2, \dots, X_t\}$)と、環境地図 m とを推定する処理である。

30

【0004】

この推定処理において、パーティクルフィルタを用いて、ロボットの姿勢を高精度で推定する技術が開発されている(例えば、特許文献1)。

【0005】

観測を取得するためのセンサーとしては、可視光用イメージセンサーを用いたRGBカメラや、赤外線やレーザーを使用して距離情報を取得するレンジファインダー等がよく使用される。また、観測を取得するために、2種類以上のセンサーを組み合わせる用いられることもある。

40

【0006】

SLAM技術により自律走行するロボット(移動体)において、取得される環境地図は、幾何学的な地図ではなく、トポロジカルな地図として、取得されることが多い。環境地図は、例えば、ランドマークに基づく情報により、取得される。この場合、環境地図は、ランドマークの情報の集合として表現される。それぞれのランドマークのパラメータは、例えば、(1)ランドマークの位置情報、および、(2)ランドマークの位置情報の不確実性を表す共分散行列である。

【0007】

SLAM技術により自律走行するロボットにおいて、RGBカメラをセンサーとして使

50

用する場合、例えば、何らかの特徴を持つ点や線等、あるいは、判別可能なマーカを貼付した物体等をランドマークとして設定し、RGBカメラにより撮像された画像中において、ランドマークに相当する画像領域を検出（特定）することで、ランドマークの情報を取得する。この場合、ロボットの実際の位置と、ランドマークの実際の位置との相対関係を、RGBカメラで取得した画像から特定し、特定した結果に基づいて、現時刻における観測が取得される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2008-126401号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、上記のように、RGBカメラで撮像した画像からランドマークの位置を取得する場合、ロボットの実際の位置と、ランドマークの実際の位置とを精度よく推定することが困難な場合がある。RGBカメラやレンジファインダーは指向性が高く観測できる範囲が制限されるため、ロボットの周囲に多くのランドマークが設置されている場合であっても、RGBカメラやレンジファインダーにより取得されたデータから、一度に発見することができるランドマークの数は少ない。そして、例えば、(1)ロボットから発見したランドマークまでの距離と、(2)ロボットが移動する環境を、例えば、上方から見たときのロボットから発見したランドマークまでの直線と所定の基準軸とのなす角度と、をランドマークの情報として取得する場合、取得したランドマークの情報からロボットの位置を精度良く推定することが困難である場合がある。これは、発見されたランドマークの位置を中心として、ロボットから発見したランドマークまでの距離を半径とする円周上の点の全てが、ロボットの位置の候補点となるためである。つまり、ロボットの位置の候補点が多いので、現時刻のロボットの位置を推定するための処理量が多くなり、ロボットの位置を精度良く推定することが難しい。このように、自律走行ロボットにおいて、ロボットの位置を精度良く推定できないと、実際のロボットの内部状態と推定結果との間の誤差が大きくなり、ロボット（移動体）の安定した自律走行が困難になる。

20

【0010】

30

そこで、本発明は、上記問題点に鑑み、ランドマークの情報から、移動体（ロボット）の位置を精度良く推定し、高精度な状態推定処理を高速かつ適切に実行することで、移動体の制御を適切に行う移動体制御装置、プログラム、および、それらに用いられるランドマークを実現することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記課題を解決するために、第1の発明は、2個以上のランドマークを1組として含むランドマークの組であるランドマークセットが設置されている環境内を移動する移動体を制御するために、ランドマークの情報をを用いて表現される環境地図の作成処理と、移動体の自己の内部状態の推定処理とを実行する移動体制御装置であって、観測取得部と、ランドマーク検出部と、候補領域取得部と、状態推定部と、を備える。

40

【0012】

観測取得部は、観測可能な事象から得られる観測データを取得する。

【0013】

ランドマーク検出部は、観測取得部により取得された観測データに基づいて、(1)移動体とランドマークセットに含まれる2個以上のランドマークのそれぞれとの距離を、ランドマーク距離情報として取得し、(2)移動体とランドマークセットに含まれる2個以上のランドマークのそれぞれとを結ぶ直線と所定の軸とのなす角度をランドマーク角度情報として取得する。

【0014】

50

候補領域取得部は、ランドマーク検出部により取得されたランドマーク距離情報に基づいて、移動体の自己位置の候補領域を決定し、決定した候補領域についての情報を候補領域情報として取得する。

【0015】

状態推定部は、観測取得部により取得された観測データと、ランドマーク検出部により生成されたランドマーク距離情報およびランドマーク角度情報と、候補領域取得部により取得された候補領域情報とに基づいて、移動体の内部状態を推定することで、自己内部状態推定データを取得するとともに、候補領域情報と、ランドマーク距離情報と、ランドマーク角度情報とに基づいて、環境地図を推定することで、環境地図データを取得する。

【0016】

この移動体制御装置では、2つ以上のランドマークを1組とするランドマークセットを用いて、移動体から2つ以上のランドマークまでの距離を測定することで、移動体の位置を少ない候補点に絞り、高速かつ高精度に、移動体の位置情報を含む内部状態データを推定することができる。つまり、この移動体制御装置では、ランドマークの情報から、移動体の位置を精度良く推定し、高精度な状態推定処理を高速かつ適切に実行することができる。その結果、この移動体制御装置では、移動体の制御を適切に行うことができる。

【0017】

さらに、この移動体制御装置では、上記の通り、1つのランドマークセットに含まれる2つ以上のランドマークと、移動体との距離を取得するだけで、移動体の位置を高速かつ高精度に推定することができる。このため、この移動体制御装置では、多くの内部状態変数を用いた複雑な処理をすることなく、少ない演算量で推定処理を実現することができる。

【0018】

第2の発明は、3次元形状を有するランドマークであって、ランドマークの表面の一部の領域である第1表面領域は、第1パターンを有し、ランドマークの表面の一部の領域であって、第1表面領域以外の領域である第2表面領域は、第1パターンとは異なる第2パターンを有しているランドマークが設置されている環境内を移動する移動体を制御するために、ランドマークの情報を用いて表現される環境地図の作成処理と、移動体の自己の内部状態の推定処理とを実行する移動体制御装置である。移動体制御装置は、観測取得部と、ランドマーク検出部と、候補領域取得部と、状態推定部と、を備える。

【0019】

観測取得部は、観測可能な事象から得られる観測データを取得し、ランドマークを撮像した画像をランドマーク撮像画像として、観測データに含めて取得する。

【0020】

ランドマーク検出部は、観測取得部により取得された観測データに基づいて、(1)移動体とランドマークとの距離を、ランドマーク距離情報として取得し、(2)移動体とランドマークとを結ぶ直線と所定の軸とのなす角度をランドマーク角度情報として取得する。

【0021】

候補領域取得部は、ランドマーク検出部により取得されたランドマーク距離情報と、ランドマーク撮像画像上でのランドマークの第1パターンと第2パターンとの視認状態とに基づいて、移動体の自己位置の候補領域を決定し、決定した候補領域についての情報を候補領域情報として取得する。

【0022】

状態推定部は、観測取得部により取得された観測データと、ランドマーク検出部により生成されたランドマーク距離情報およびランドマーク角度情報と、候補領域取得部により取得された候補領域情報とに基づいて、移動体の内部状態を推定することで、自己内部状態推定データを取得するとともに、候補領域情報と、ランドマーク距離情報と、ランドマーク角度情報とに基づいて、環境地図を推定することで、環境地図データを取得する。

【0023】

この移動体制御装置では、所定のパターンを有するランドマークを撮像した画像を実際の観測データとして取得し、撮像画像上のランドマークの見え方を解析することで、移動体の位置を精度良く推定し、高精度な状態推定処理を高速かつ適切に実行することができる。その結果、この移動体制御装置では、移動体の制御を適切に行うことができる。

【0024】

さらに、この移動体制御装置では、ランドマークと、移動体との距離を取得するだけで、移動体の位置を高速かつ高精度に推定することができる。このため、この移動体制御装置では、多くの内部状態変数を用いた複雑な処理をすることなく、少ない演算量で推定処理を実現することができる。

【0025】

なお、ランドマークの第1パターンと第2パターンとの「視認状態」とは、例えば、撮像画像上における、ランドマークの第1パターンに相当する画像領域、および、第2パターンに相当する画像領域の(1)位置、(2)形状、(3)面積等で特定される状態のことをいう。

【0026】

第3の発明は、第2の発明であって、候補領域取得部は、ランドマーク距離情報と、ランドマーク撮像画像上でのランドマークの第1パターンと第2パターンとの占有比率とに基づいて、移動体の自己位置の候補領域を決定し、決定した候補領域についての情報を候補領域情報として取得する。

【0027】

これにより、この移動体制御装置では、ランドマーク撮像画像上でのランドマークの第1パターンと第2パターンとの占有比率とに基づいて、移動体の自己位置の候補領域を決定することができる。

【0028】

第4の発明は、第2または第3の発明である移動体制御装置とともに用いられる3次元形状を有するランドマークである。ランドマークは、ランドマークの表面の一部の領域である第1表面領域は、第1パターンを有し、ランドマークの表面の一部の領域であって、第1表面領域以外の領域である第2表面領域は、第1パターンとは異なる第2パターンを有している。

【0029】

これにより、第2または第3の発明である移動体制御装置により効率良く移動体の内部状態データの推定処理、環境地図の取得処理を実現するためのランドマークを実現することができる。

【0030】

第5の発明は、2個以上のランドマークを1組として含むランドマークの組であるランドマークセットが設置されている環境内を移動する移動体を制御するために、ランドマークの情報をを用いて表現される環境地図の作成処理と、移動体の自己の内部状態の推定処理とを実行する移動体制御方法をコンピュータで実行させるためのプログラムである。移動体制御方法は、観測取得ステップと、ランドマーク検出ステップと、候補領域取得ステップと、状態推定ステップと、を備える。

【0031】

観測取得ステップは、観測可能な事象から得られる観測データを取得する。

【0032】

ランドマーク検出ステップは、観測取得ステップにより取得された観測データに基づいて、(1)移動体とランドマークセットに含まれる2個以上のランドマークのそれぞれとの距離を、ランドマーク距離情報として取得し、(2)移動体とランドマークセットに含まれる2個以上のランドマークのそれぞれとを結ぶ直線と所定の軸とのなす角度をランドマーク角度情報として取得する。

【0033】

候補領域取得ステップは、ランドマーク検出ステップにより取得されたランドマーク距

10

20

30

40

50

離情報に基づいて、移動体の自己位置の候補領域を決定し、決定した候補領域についての情報を候補領域情報として取得する。

【 0 0 3 4 】

状態推定ステップは、観測取得ステップにより取得された観測データと、ランドマーク検出ステップにより生成されたランドマーク距離情報およびランドマーク角度情報と、候補領域取得ステップにより取得された候補領域情報とに基づいて、移動体の内部状態を推定することで、自己内部状態推定データを取得するとともに、候補領域情報と、ランドマーク距離情報と、ランドマーク角度情報とに基づいて、環境地図を推定することで、環境地図データを取得する。

【 0 0 3 5 】

これにより、第 1 の発明と同様の効果を奏する移動体制御方法をコンピュータで実行させるためのプログラムを実現することができる。

【 0 0 3 6 】

第 6 の発明は、3次元形状を有するランドマークであって、ランドマークの表面の一部の領域である第 1 表面領域は、第 1 パターンを有し、ランドマークの表面の一部の領域であって、第 1 表面領域以外の領域である第 2 表面領域は、第 1 パターンとは異なる第 2 パターンを有しているランドマークが設置されている環境内を移動する移動体を制御するために、ランドマークの情報をを用いて表現される環境地図の作成処理と、移動体の自己の内部状態の推定処理とを実行する移動体制御方法をコンピュータで実行させるためのプログラムである。

【 0 0 3 7 】

移動体制御方法は、観測取得ステップと、ランドマーク検出ステップと、候補領域取得ステップと、状態推定ステップと、を備える。

【 0 0 3 8 】

観測取得ステップは、観測可能な事象から得られる観測データを取得する観測取得ステップであって、ランドマークを撮像した画像をランドマーク撮像画像として、観測データに含めて取得する。

【 0 0 3 9 】

ランドマーク検出ステップは、観測取得ステップにより取得された観測データに基づいて、(1) 移動体とランドマークとの距離を、ランドマーク距離情報として取得し、(2) 移動体とランドマークとを結ぶ直線と所定の軸とのなす角度をランドマーク角度情報として取得する。

【 0 0 4 0 】

候補領域取得ステップは、ランドマーク検出ステップにより取得されたランドマーク距離情報と、ランドマーク撮像画像上でのランドマークの第 1 パターンと第 2 パターンとの視認状態とに基づいて、移動体の自己位置の候補領域を決定し、決定した候補領域についての情報を候補領域情報として取得する。

【 0 0 4 1 】

状態推定ステップは、観測取得ステップにより取得された観測データと、ランドマーク検出ステップにより生成されたランドマーク距離情報およびランドマーク角度情報と、候補領域取得ステップにより取得された候補領域情報とに基づいて、移動体の内部状態を推定することで、自己内部状態推定データを取得するとともに、候補領域情報と、ランドマーク距離情報と、ランドマーク角度情報とに基づいて、環境地図を推定することで、環境地図データを取得する。

【 0 0 4 2 】

これにより、第 2 の発明と同様の効果を奏する移動体制御方法をコンピュータで実行させるためのプログラムを実現することができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 4 3 】

本発明によれば、ランドマークの情報から、移動体（ロボット）の位置を精度良く推定

10

20

30

40

50

し、高精度な状態推定処理を高速かつ適切に実行することで、移動体の制御を適切に行う移動体制御装置、プログラム、および、それらに用いられるランドマークを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0044】

【図1】第1実施形態に係る移動体制御装置1000の概略構成図。

【図2】時刻 t におけるロボット $Rbt1$ の位置の候補となる点 $C1_t$ 、 $C2_t$ と、1組のランドマーク $LM1A$ およびランドマーク $LM1B$ との位置関係を示す図（上方から見た図）。

【図3】時刻 $t+1$ におけるロボット $Rbt1$ の位置の候補となる点 $C1_{t+1}$ 、 $C2_{t+1}$ と、1組のランドマーク $LM1A$ およびランドマーク $LM1B$ との位置関係を示す図（上方から見た図）。

10

【図4】第2実施形態に係る移動体制御装置2000の概略構成図。

【図5】時刻 t におけるロボット $Rbt1$ の位置の候補となる領域 AR_C1 と、第2実施形態のランドマーク $LM2$ との位置関係を示す図（上方から見た図）と、時刻 t において、ロボット $Rbt1$ に搭載された距離センサー付き撮像装置（不図示）により撮像された画像（画像データ） $D1_img1$ とを模式的に示した図。

【図6】時刻 t におけるロボット $Rbt1$ の位置の候補となる領域 AR_C2 と、第2実施形態のランドマーク $LM2$ との位置関係を示す図（上方から見た図）と、時刻 t において、ロボット $Rbt1$ に搭載された距離センサー付き撮像装置（不図示）により撮像された画像（画像データ） $D1_img2$ とを模式的に示した図。

20

【図7】時刻 t におけるロボット $Rbt1$ の位置の候補となる領域 AR_C3 と、第2実施形態のランドマーク $LM2$ との位置関係を示す図（上方から見た図）と、時刻 t において、ロボット $Rbt1$ に搭載された距離センサー付き撮像装置（不図示）により撮像された画像（画像データ） $D1_img3$ とを模式的に示した図。

【図8】時刻 t におけるロボット $Rbt1$ の位置の候補となる領域 AR_C4 と、第2実施形態のランドマーク $LM2$ との位置関係を示す図（上方から見た図）と、時刻 t において、ロボット $Rbt1$ に搭載された距離センサー付き撮像装置（不図示）により撮像された画像（画像データ） $D1_img4$ とを模式的に示した図。

【図9】は、時刻 t におけるロボット $Rbt1$ の位置の候補となる領域 AR_C5 と、第2実施形態のランドマーク $LM2$ との位置関係を示す図（上方から見た図）と、時刻 t において、ロボット $Rbt1$ に搭載された距離センサー付き撮像装置（不図示）により撮像された画像（画像データ） $D1_img5$ とを模式的に示した図。

30

【図10】ランドマーク $LM3$ を模式的に示す図（上方から見た図）。

【発明を実施するための形態】

【0045】

〔第1実施形態〕

第1実施形態について、図面を参照しながら、以下、説明する。

【0046】

< 1.1：移動体制御装置の構成 >

40

図1は、第1実施形態に係る移動体制御装置1000の概略構成図である。

【0047】

移動体制御装置1000は、移動体（例えば、自律走行ロボット $Rbt1$ ）（不図示）に搭載される装置である。

【0048】

移動体制御装置1000は、図1に示すように、観測取得部1と、ランドマーク検出部2と、候補領域取得部3と、状態推定部4と、記憶部5とを備える。

【0049】

なお、説明便宜のため、観測取得部1により取得される観測データ $D1$ は、移動体（ロボット $Rbt1$ ）に搭載された距離センサー付き撮像装置（不図示）により撮像された画

50

像（画像データ）と、距離センサー付き撮像装置により取得された距離画像（距離データ）であるものとして、以下、説明する。

【0050】

観測取得部1は、移動体（ロボットRbt1）に搭載された距離センサー付き撮像装置（不図示）により取得されたデータを入力データDinとして入力とする。観測取得部1は、入力データDinから観測データD1、すなわち、画像（画像データ）D1__imgと距離画像（距離データ）D1__dとを取得し、取得した観測データD1をランドマーク検出部2と、状態推定部4の状態更新部41とに出力する。

ランドマーク検出部2は、観測取得部1から出力される観測データD1を入力する。ランドマーク検出部2は、観測データD1（画像データD1__imgおよび距離画像D1__d）から、ロボットRbt1からランドマークまでの距離および方向（角度）に関する情報を取得し、その取得した情報を含む信号を、ランドマーク検出信号LM_tとして、候補領域取得部3と、状態推定部4の状態更新部41と、環境地図更新部42とに出力する。

10

【0051】

候補領域取得部3は、ランドマーク検出部2から出力されるランドマーク検出信号LM_tを入力する。候補領域取得部3は、ランドマーク検出信号LM_tに基づいて、ロボットRbt1の現時刻の位置の候補位置を推定するための情報である自己位置候補情報Cdt_tを取得する。そして、候補領域取得部3は、取得した自己位置候補情報Cdt_tを状態推定部4の状態更新部41に出力する。

【0052】

20

状態推定部4は、図1に示すように、状態更新部41と、環境地図更新部42とを備える。

【0053】

状態更新部41は、観測取得部1から出力される観測データD1と、ランドマーク検出部2から出力されるランドマーク検出信号LM_tと、候補領域取得部3から出力される自己位置候補情報Cdt_tと、移動体（ロボットRbt1）に対する制御入力データU_tと、記憶部5から読み出した移動体（ロボットRbt1）の時刻t-1の内部状態データX_{t-1}とを入力する。状態更新部41は、観測データD1、ランドマーク検出信号LM_t、自己位置候補情報Cdt_t、制御入力データU_t、および、ロボットRbt1の時刻t-1の内部状態データX_{t-1}に基づいて、ロボットRbt1の内部状態を推定し、推定結果を移動体の現時刻tの内部状態データX_tとして、取得する（内部状態データを更新する）。そして、状態更新部41は、取得した移動体の現時刻tの内部状態データX_tを、状態推定部4から外部に出力するとともに、記憶部5に出力する。なお、状態推定部4から外部に出力された内部状態データX_tは、移動体（自動走行ロボットRbt1）を制御するためのデータとして、例えば、移動体（自動走行ロボットRbt1）の全体を制御する機能部（全体制御部）（不図示）等により使用される。

30

【0054】

また、状態更新部41は、現時刻tのロボットRbt1の位置に関する内部状態データX_tを、環境地図更新部42に出力する。

【0055】

40

また、状態更新部41は、現時刻tのロボットRbt1に対する制御入力データU_tを記憶部5に出力する。

【0056】

環境地図更新部42は、ランドマーク検出部2から出力されるランドマーク検出信号LM_tと、記憶部5から読み出した時刻t-1の環境地図データm_{t-1}と、状態更新部41から出力される現時刻tのロボットRbt1の内部状態データX_tとを入力する。環境地図更新部42は、ランドマーク検出信号LM_tから、検出されたランドマークについての情報を取得し、取得したランドマークの情報と、時刻t-1の環境地図データm_{t-1}と、現時刻tのロボットRbt1の内部状態データX_tとに基づいて、環境地図データを更新し、現時刻tの環境地図データm_tを取得する。そして、環境地図更新部42は、更

50

新たな環境地図データ m_t を状態推定部4から外部に出力するとともに、記憶部5に出力する。なお、状態推定部4から外部に出力された環境地図データ m_t は、移動体（自動走行ロボットR b t 1）を制御するためのデータとして、例えば、移動体（自動走行ロボットR b t 1）の全体を制御する機能部（全体制御部）（不図示）等により使用される。

【0057】

記憶部5は、状態推定部4の状態更新部41から出力される移動体の現時刻 t の内部状態データ X_t と、環境地図データ m_t と、状態更新部41から出力される制御入力データ U_t とを入力し、記憶する。記憶部5に記憶されたデータは、状態推定部4により、所定のタイミングで読み出される。なお、記憶部5は、複数の時刻の内部状態データと、環境地図データとを記憶することができる。

10

【0058】

なお、現時刻 t のデータとは、移動体制御装置1000において、処理対象となっている観測データD1から取得されたデータ（移動体の内部状態データ X_t 、および、環境地図データ m_t ）のことをいい、現時刻 t の1つ前の時刻 $t-1$ のデータとは、現時刻 t のデータを取得する1つ前に、移動体制御装置1000において取得されたデータ（移動体の内部状態データ X_{t-1} 、および、環境地図データ m_{t-1} ）のことをいう。つまり、現時刻 t の k 個前の時刻 $t-k$ （ k ：自然数）のデータとは、現時刻 t のデータを取得する k 個前に、移動体制御装置1000において取得されたデータ（移動体の内部状態データ X_{t-k} 、および、環境地図データ m_{t-k} ）のことをいう。

【0059】

20

また、上記データは、同期タイミングにより取得されるものであってもよいし、非同期タイミングにより取得されるものであってもよい。

【0060】

< 1.2：移動体制御装置の動作 >

以上のように構成された移動体制御装置1000の動作について、以下、説明する。

【0061】

なお、以下では、自律走行する移動体をロボットR b t 1とし、ロボットR b t 1に搭載された可視光用イメージセンサーと距離センサーとを備える撮像装置（不図示）により撮像された画像（撮像画像）と、距離画像（距離データ）とを入力データD i nとし、ランドマークの情報により環境地図が生成される場合について、説明する。

30

【0062】

また、移動体制御装置1000により環境地図を生成するために、2つのランドマークを1組のセットとして、ロボットR b t 1が移動する環境に設置されているものとする。また、1組のセットを構成するランドマークは、他の組のランドマークと識別できるように、例えば、カラーコードや特定の模様が付されている。これにより、発見されたランドマークがどの組（どのランドマーク・セット）に属するランドマークであるかを特定することができる。

【0063】

図2は、時刻 t におけるロボットR b t 1の位置の候補となる点 $C1_t$ 、 $C2_t$ と、1組のランドマークLM1AおよびランドマークLM1Bとの位置関係を示す図（上方から見た図）である。なお、図2において、図2に示すように x 軸、 y 軸をとるものとし、図2に「0」で示した位置を原点とする。なお、以下では、図2に示すように、説明便宜のため、2次元平面（ xy 平面）におけるロボットR b t 1、ランドマークLM1A、LM1Bの位置関係に基づいて、移動体制御装置の処理について説明するが、これに限定されることはなく、移動体制御装置の処理については、3次元空間におけるロボットR b t 1、ランドマークLM1A、LM1Bの位置関係に基づいて、実行されるものであってもよい。

40

【0064】

図3は、時刻 $t+1$ におけるロボットR b t 1の位置の候補となる点 $C1_{t+1}$ 、 $C2_{t+1}$ と、1組のランドマークLM1AおよびランドマークLM1Bとの位置関係を示す

50

図（上方から見た図）である。なお、図3においても、図2と同様に、図3に示すようにx軸、y軸をとるものとし、図3に「0」で示した位置を原点とする。

【0065】

以下では、時刻 t において、図2に点 $C1_t$ で示す位置に存在するロボット $Rbt1$ に対して、図3に示す矢印 $Dir1$ 方向に移動させるための制御データが入力され、時刻 $t+1$ において、図3に点 $C1_{t+1}$ で示す位置にロボット $Rbt1$ が移動する場合を一例として、説明する。

【0066】

ここで、移動体制御装置1000において使用される、(1)ロボット $Rbt1$ の内部状態を示すデータ、および、(2)環境地図に関するデータについて、説明する。

10

【0067】

(1.2.1:ロボット $Rbt1$ の内部状態データ)

移動体制御装置1000では、ロボット $Rbt1$ の内部状態を示すデータ X_t として、時刻 t におけるロボット $Rbt1$ の位置および角度に関する内部状態データ X_t が設定される。

【0068】

時刻 t におけるロボット $Rbt1$ の位置および角度に関する内部状態データ X_t は、3次元の状態ベクトルであり、

$$X_t = (x0_t, y0_t, \theta_t)$$

$x0_t$: 時刻 t におけるロボット $Rbt1$ のx座標値の期待値

20

$y0_t$: 時刻 t におけるロボット $Rbt1$ のy座標値の期待値

θ_t : 時刻 t におけるロボット $Rbt1$ のx軸正方向とのなす角度(ロボット $Rbt1$ の向き)の期待値として表現される。

【0069】

移動体制御装置1000では、ロボット $Rbt1$ の内部状態を推定するために、パーティクルフィルタ(モンテカルロ近似)を用いるものとする。

【0070】

つまり、パーティクルフィルタ処理では、時刻 $t-1$ の状態ベクトル X_{t-1} の事後確率分布を現時刻 t の状態ベクトル X_t の事前確率分布とし、現時刻 t の状態ベクトル X_t の事前確率分布から予測処理により現時刻 t の状態ベクトル X_t の予測確率分布を取得する。そして、取得した予測確率分布と実際の観測データ(現時刻 t の観測データ)とに基づいて、尤度を算出する。そして、算出した尤度に比例する割合で、粒子(パーティクル)を復元抽出する。このように処理することで、ロボット $Rbt1$ の内部状態を推定することができる。

30

【0071】

以上のように、移動体制御装置1000では、ロボット $Rbt1$ の内部状態を示すデータ X_t が設定される。

【0072】

(1.2.2:環境地図に関するデータ)

40

移動体制御装置1000では、環境地図に関するデータとして、時刻 t における環境地図データ m_t が設定される。

【0073】

環境地図データ m_t は、ランドマークの情報により構成される。ロボット $Rbt1$ によりランドマークが発見された場合、発見されたランドマークの情報は、環境地図データ m_t に追加される。

【0074】

時刻 t における環境地図データ m_t は、移動体制御装置1000において、以下のように、設定される。

$$m_t = [LM1AP_t, LM1BP_t, \dots, LMkAP_t, LMkBP_t]$$

50

k : 自然数

$LMkAP_t$ は、時刻 t における k 組目のランドマークセットを構成する一方のランドマークの位置に関する内部状態データであり、 $LMkB P_t$ は、時刻 t における k 組目のランドマークセットを構成する他方のランドマークの位置に関する内部状態データである。なお、1組のランドマークセットは、2つのランドマークから構成される。

【0075】

つまり、移動体制御装置 1000 では、 k 組のランドマークセットに含まれる $2 \times k$ 個のランドマークについての内部状態データの集合が、時刻 t における環境地図データ m_t として、設定される。

【0076】

図2の場合において、環境地図データ m_t は、1組のランドマークセットを構成する2つのランドマーク $LM1A$ 、 $LM1B$ の情報により構成される。図2の場合、環境地図データ m_t は、

$$m_t = [LM1AP_t, LM1BP_t]$$

である。

【0077】

なお、ランドマーク $LM1A$ 、 $LM1B$ の情報（位置に関する内部状態データ） $LM1AP_t$ 、 $LM1BP_t$ は、例えば、以下のように設定される。

ランドマーク $LM1A$:

$$LM1AP_t = (d1A_t, \theta1A_t)$$

$d1A_t$: ロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1A$ までの距離

$\theta1A_t$: 平面視において、ロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1A$ へ引いた直線と x 軸とのなす角度

ランドマーク $LM1B$:

$$LM1BP_t = (d1B_t, \theta1B_t)$$

$d1B_t$: ロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1B$ までの距離

$\theta1B_t$: 平面視において、ロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1B$ へ引いた直線と x 軸とのなす角度

なお、以下では、説明便宜のため、図2、図3に示すように、移動体制御装置 1000 を搭載したロボット $Rbt1$ が1つのランドマークセットに含まれる2つのランドマーク $LM A1$ 、 $LM B1$ により、ロボット $Rbt1$ の内部状態データ、および、環境地図データが取得される場合について、説明する。

【0078】

(1.2.3: 具体的処理)

次に、移動体制御装置 1000 の具体的処理について、説明する。

【0079】

(時刻 t の処理) :

時刻 t において、ロボット $Rbt1$ 、ランドマーク $LM1A$ 、 $LM1B$ の状態は、図2に示す状態である。なお、移動体制御装置 1000 に搭載された距離センサー付き撮像装置では、図2に示す領域 $ARcp$ の撮像画像（画像データ）と、距離画像（距離データ）とが取得される。

【0080】

観測取得部 1 は、移動体制御装置 1000 に搭載された距離センサー付き撮像装置からの入力データ Din から観測データ $D1$ 、すなわち、領域 $ARcp$ の画像（画像データ） $D1_img$ と距離画像（距離データ） $D1_d$ とを取得し、取得した観測データ $D1$ をランドマーク検出部 2 と、状態推定部 4 の状態更新部 41 とに出力する。

【0081】

ランドマーク検出部 2 では、観測データ $D1$ （画像データ $D1_img$ および距離画像 $D1_d$ ）から、ロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1A$ 、 $LM1B$ までの距離および方向（角度）に関する情報が取得される。具体的には、以下のデータ $LM1AP_t$ 、 L

10

20

30

40

50

$M1BP_t$ が、ランドマーク検出部 2 により取得される。

ランドマーク $LM1A$:

$$LM1AP_t = (d1A_t, \quad 1A_t)$$

$d1A_t$: ロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1A$ までの距離

$1A_t$: 平面視において、ロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1A$ へ引いた直線と x 軸とのなす角度

ランドマーク $LM1B$:

$$LM1BP_t = (d1B_t, \quad 1B_t)$$

$d1B_t$: ロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1B$ までの距離

$1B_t$: 平面視において、ロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1B$ へ引いた直線と x 軸とのなす角度

上記により取得されたランドマーク $LM1A$ 、 $LM1B$ についてのデータ $LM1AP_t$ 、 $LM1BP_t$ を含めた信号が、ランドマーク検出信号 LM_t として、ランドマーク検出部 2 から、候補領域取得部 3、状態推定部 4 の状態更新部 41、および、環境地図更新部 42 に出力される。

【0082】

候補領域取得部 3 では、ランドマーク検出信号 LM_t に基づいて、ロボット $Rbt1$ の現時刻 t の位置の候補位置を推定するための情報が取得される。

【0083】

具体的には、候補領域取得部 3 は、図 2 に示すように、(1) 点 $LM1A$ を中心とし、半径をロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1A$ までの距離 $d1A_t$ とする円と、(2) 点 $LM1B$ を中心とし、半径をロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1B$ までの距離 $d1B_t$ とする円との 2 つの交点 $C1_t$ 、 $C2_t$ とを求める。そして、候補領域取得部 3 は、求めた 2 つの交点 $C1_t$ 、 $C2_t$ に関する情報 (交点 $C1_t$ 、 $C2_t$ を特定するための情報) を自己位置候補情報 Cdt_t として、状態推定部 4 の状態更新部 41 に出力する。

【0084】

なお、候補領域取得部 3 での処理において、誤差やランドマーク位置の推定精度 (ランドマークについての内部状態データの精度) を考慮して、候補領域取得部 3 は、求めた 2 つの交点 $C1_t$ 、 $C2_t$ を含む所定の面積を有する領域に関する情報を、自己位置候補情報 Cdt_t として、状態推定部 4 の状態更新部 41 に出力するようにしてもよい。

【0085】

状態推定部 4 の状態更新部 41 は、観測データ $D1$ 、ランドマーク検出信号 LM_t 、自己位置候補情報 Cdt_t 、制御入力データ U_t 、および、ロボット $Rbt1$ の時刻 $t-1$ の内部状態データ X_{t-1} に基づいて、ロボット $Rbt1$ の内部状態を推定し、推定結果をロボット $Rbt1$ の現時刻 t の内部状態データ X_t として、取得する (内部状態データを更新する)。

【0086】

具体的には、自己位置候補情報 Cdt_t から、ロボット $Rbt1$ の自己位置の 2 つの候補点である点 $C1_t$ 、 $C2_t$ のうちのどちらか 1 つの点を、時刻 t のロボット $Rbt1$ の位置であると推定する。ここでは、状態更新部 41 により、点 $C1_t$ が、時刻 t のロボット $Rbt1$ の位置であると推定されたものとして、以下、説明する。

【0087】

状態更新部 41 により取得された時刻 t のロボット $Rbt1$ の内部状態データ X_t は、状態更新部 41 から記憶部 5 に出力され、記憶部 5 で記憶される。

【0088】

環境地図更新部 42 は、ランドマーク検出部 2 から出力されるランドマーク検出信号 LM_t から、検出されたランドマークについての情報を取得し、取得したランドマークの情報と、時刻 $t-1$ の環境地図データ m_{t-1} と、現時刻 t のロボット $Rbt1$ の内部状態データ X_t とに基づいて、環境地図データを更新し、現時刻 t の環境地図データ m_t を取

10

20

30

40

50

得する。

【 0 0 8 9 】

具体的には、時刻 t におけるランドマーク $LM1A$ の $x-y$ 平面上の位置座標を $(x1A_t, y1A_t)$ とし、時刻 t におけるランドマーク $LM1B$ の $x-y$ 平面上の位置座標を $(x1B_t, y1B_t)$ とすると、環境地図更新部 42 は、

$$x1A_t = x0_t + d1A_t \times \cos(\theta1A_t)$$

$$y1A_t = y0_t + d1A_t \times \sin(\theta1A_t)$$

$$x1B_t = x0_t + d1B_t \times \cos(\theta1B_t)$$

$$y1B_t = y0_t + d1B_t \times \sin(\theta1B_t)$$

により、時刻 t におけるランドマーク $LM1A$ 、 $LM1B$ の $x-y$ 平面上の位置座標（位置情報）を取得する。

10

【 0 0 9 0 】

そして、環境地図更新部 42 は、上記により取得したデータにより、環境地図データ m_t を更新する。

【 0 0 9 1 】

また、時刻 t において、ロボット $Rbt1$ には、制御入力 U_t が入力される。なお、制御入力 U_t は、図 3 に矢印 $Dir1$ で示す方向にロボット $Rbt1$ を移動させるための制御入力データであるとして、以下、説明する。

【 0 0 9 2 】

（時刻 $t+1$ の処理）：

20

時刻 $t+1$ において、ロボット $Rbt1$ は、時刻 t の制御入力データ U_t により、図 3 に点 $C1_{t+1}$ で示す位置、あるいは、図 3 に点 $C2_NG_{t+1}$ で示す位置に移動していると予測される。

【 0 0 9 3 】

観測取得部 1 は、移動体制御装置 1000 に搭載された距離センサー付き撮像装置からの入力データ Din から観測データ $D1$ 、すなわち、領域 $ARcp$ の画像（画像データ） $D1_img$ と距離画像（距離データ） $D1_d$ とを取得し、取得した観測データ $D1$ をランドマーク検出部 2 と、状態推定部 4 の状態更新部 41 とに出力する。

【 0 0 9 4 】

ランドマーク検出部 2 では、観測データ $D1$ （画像データ $D1_img$ および距離画像 $D1_d$ ）から、ロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1A$ 、 $LM1B$ までの距離および方向（角度）に関する情報が取得される。具体的には、以下のデータ $LM1AP_t$ 、 $LM1BP_t$ が、ランドマーク検出部 2 により取得される。

30

ランドマーク $LM1A$ ：

$$LM1AP_{t+1} = (d1A_{t+1}, \theta1A_{t+1})$$

$d1A_{t+1}$ ：ロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1A$ までの距離

$\theta1A_{t+1}$ ：平面視において、ロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1A$ へ引いた直線と x 軸とのなす角度

ランドマーク $LM1B$ ：

$$LM1BP_{t+1} = (d1B_{t+1}, \theta1B_{t+1})$$

$d1B_{t+1}$ ：ロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1B$ までの距離

$\theta1B_{t+1}$ ：平面視において、ロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1B$ へ引いた直線と x 軸とのなす角度

40

上記により取得されたランドマーク $LM1A$ 、 $LM1B$ についてのデータ $LM1AP_t$ 、 $LM1BP_t$ を含めた信号が、ランドマーク検出信号 LM_{t+1} として、ランドマーク検出部 2 から、候補領域取得部 3、状態推定部 4 の状態更新部 41、および、環境地図更新部 42 に出力される。

【 0 0 9 5 】

候補領域取得部 3 では、ランドマーク検出信号 LM_{t+1} に基づいて、ロボット $Rbt1$ の現時刻 t の位置の候補位置を推定するための情報が取得される。

50

【 0 0 9 6 】

具体的には、候補領域取得部 3 は、図 3 に示すように、(1) 点 $LM1A$ を中心とし、半径をロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1A$ までの距離 $d1A_{t+1}$ とする円と、(2) 点 $LM1B$ を中心とし、半径をロボット $Rbt1$ からランドマーク $LM1B$ までの距離 $d1B_{t+1}$ とする円との 2 つの交点 $C1_{t+1}$ 、 $C2_{t+1}$ とを求める。そして、候補領域取得部 3 は、求めた 2 つの交点 $C1_{t+1}$ 、 $C2_{t+1}$ に関する情報 (交点 $C1_{t+1}$ 、 $C2_{t+1}$ を特定するための情報) を自己位置候補情報 Cdt_{t+1} として、状態推定部 4 の状態更新部 4 1 に出力する。

【 0 0 9 7 】

なお、候補領域取得部 3 での処理において、誤差やランドマーク位置の推定精度 (ランドマークについての内部状態データの精度) を考慮して、候補領域取得部 3 は、求めた 2 つの交点 $C1_{t+1}$ 、 $C2_{t+1}$ を含む所定の面積を有する領域に関する情報を、自己位置候補情報 Cdt_{t+1} として、状態推定部 4 の状態更新部 4 1 に出力するようにしてもよい。

【 0 0 9 8 】

状態推定部 4 の状態更新部 4 1 は、観測データ $D1$ 、ランドマーク検出信号 LM_{t+1} 、自己位置候補情報 Cdt_{t+1} 、制御入力データ U_{t+1} 、および、ロボット $Rbt1$ の時刻 t の内部状態データ X_t に基づいて、ロボット $Rbt1$ の内部状態を推定し、推定結果をロボット $Rbt1$ の現時刻 $t+1$ の内部状態データ X_{t+1} として、取得する (内部状態データを更新する) 。

【 0 0 9 9 】

具体的には、自己位置候補情報 Cdt_{t+1} から、ロボット $Rbt1$ の自己位置の 2 つの候補点である点 $C1_{t+1}$ 、 $C2_{t+1}$ のうちのどちらか 1 つの点を、時刻 t のロボット $Rbt1$ の位置であると推定する。

【 0 1 0 0 】

移動体制御装置 1000 は、(1) 時刻 t のロボット $Rbt1$ の位置の 2 つの候補点として、点 $C1_t$ 、点 $C2_t$ を取得し、(2) 時刻 $t+1$ のロボット $Rbt1$ の位置の 2 つの候補点として、点 $C1_{t+1}$ 、点 $C2_{t+1}$ を取得している。そして、時刻 t のロボット $Rbt1$ への制御入力 U_t が、ロボット $Rbt1$ を図 3 の矢印 $Dir1$ へ方向への移動をするためのデータである。

【 0 1 0 1 】

状態更新部 4 1 は、時刻 t のロボット $Rbt1$ への制御入力 U_t と、移動体制御装置 1000 により推定された時刻 t のロボット $Rbt1$ の位置の 2 つの候補点 $C1_t$ 、 $C2_t$ とから、時刻 t において、ロボット $Rbt1$ が、図 3 の点 $C1_{t+1}$ 、あるいは、点 $C2_{t+1}$ のいずれかに存在すると予測する (予測処理 1) 。

【 0 1 0 2 】

また、状態更新部 4 1 は、時刻 $t+1$ の実際の観測より、時刻 $t+1$ において、ロボット $Rbt1$ と $LM1A$ との距離は、 $d1A_{t+1}$ であり、ロボット $Rbt1$ と $LM2A$ との距離は、 $d2A_{t+1}$ であるので、時刻 $t+1$ の実際の観測から求められる時刻 $t+1$ のロボット $Rbt1$ の位置は、候補点 $C1_{t+1}$ 、あるいは、候補点 $C2_{t+1}$ であると予測する (予測処理 2) 。

【 0 1 0 3 】

つまり、状態更新部 4 1 は、上記予測処理 1、および、予測処理 2 の両方において、時刻 $t+1$ のロボット $Rbt1$ の位置の候補点であると予測された点 $C1_{t+1}$ を、時刻 $t+1$ のロボット $Rbt1$ の位置であると推定する。そして、状態更新部 4 1 は、時刻 $t+1$ のロボット $Rbt1$ の位置についての内部状態データ (座標データ ($x0A_{t+1}$, $y0A_{t+1}$)) を、点 $C1_{t+1}$ の座標情報により更新する。

【 0 1 0 4 】

以上のようにして、状態更新部 4 1 により取得された時刻 $t+1$ のロボット $Rbt1$ の内部状態データ X_{t+1} は、状態更新部 4 1 から記憶部 5 に出力され、記憶部 5 で記憶さ

10

20

30

40

50

れる。

【 0 1 0 5 】

環境地図更新部 4 2 は、ランドマーク検出部 2 から出力されるランドマーク検出信号 $L M_t$ から、検出されたランドマークについての情報を取得し、取得したランドマークの情報と、時刻 t の環境地図データ m_t と、現時刻 $t + 1$ のロボット $R b t 1$ の内部状態データ X_{t+1} とに基づいて、環境地図データを更新し、現時刻 $t + 1$ の環境地図データ m_{t+1} を取得する。

【 0 1 0 6 】

具体的には、時刻 $t + 1$ におけるランドマーク $L M 1 A$ の $x y$ 平面上の位置座標を $(x 1 A_{t+1}, y 1 A_{t+1})$ とし、時刻 $t + 1$ におけるランドマーク $L M 1 B$ の $x y$ 平面 10
上の位置座標を $(x 1 B_{t+1}, y 1 B_{t+1})$ とすると、環境地図更新部 4 2 は、

$$x 1 A_{t+1} = x 0_{t+1} + d 1 A_{t+1} \times \cos(\theta 1 A_{t+1})$$

$$y 1 A_{t+1} = y 0_{t+1} + d 1 A_{t+1} \times \sin(\theta 1 A_{t+1})$$

$$x 1 B_{t+1} = x 0_{t+1} + d 1 B_{t+1} \times \cos(\theta 1 B_{t+1})$$

$$y 1 B_{t+1} = y 0_{t+1} + d 1 B_{t+1} \times \sin(\theta 1 B_{t+1})$$

により、時刻 t におけるランドマーク $L M 1 A$ 、 $L M 1 B$ の $x y$ 平面上の位置座標（位置情報）を取得する。

【 0 1 0 7 】

そして、環境地図更新部 4 2 は、上記により取得したデータにより、環境地図データ m_{t+1} を更新する。 20

【 0 1 0 8 】

（時刻 $t + 2$ 以降の処理）：

時刻 $t + 2$ 以降において、上記と同様の処理が繰り返し実行される。

【 0 1 0 9 】

このように、移動体制御装置 1 0 0 0 では、2つのランドマークを1組とするランドマークセットを用いて、ロボット $R b t 1$ から2つのランドマークまでの距離を測定することで、ロボット $R b t 1$ の位置を少ない候補点（上記では2点）に絞り、高速かつ高精度に、ロボット $R b t 1$ の位置情報を含む内部状態データを推定することができる。例えば、上記で示した例では、移動体制御装置 1 0 0 0 において、時刻 t 、時刻 $t + 1$ の2回の推定処理を実行することで、ロボット $R b t 1$ の位置を1点に絞り込むことができる。 30

【 0 1 1 0 】

以上のように処理することで、移動体制御装置 1 0 0 0 では、ランドマークの情報から、移動体（ロボット $R b t 1$ ）の位置を精度良く推定し、高精度な状態推定処理を高速かつ適切に実行することができる。その結果、移動体制御装置 1 0 0 0 では、移動体（ロボット $R b t 1$ ）の制御を適切に行うことができる。

【 0 1 1 1 】

さらに、移動体制御装置 1 0 0 0 では、上記の通り、1つのランドマークセットに含まれる2つのランドマークと、ロボット $R b t 1$ との距離を取得するだけで、ロボット $R b t 1$ の位置を高速かつ高精度に推定することができる。このため、移動体制御装置 1 0 0 0 では、多くの内部状態変数を用いた複雑な処理をすることなく、少ない演算量で推定処理を実現することができる。 40

【 0 1 1 2 】

〔第2実施形態〕

次に、第2実施形態について、説明する。

【 0 1 1 3 】

第2実施形態において、第1実施形態と同様の部分については、同一符号を付し、詳細な説明を省略する。

【 0 1 1 4 】

図4は、第2実施形態に係る移動体制御装置 2 0 0 0 の概略構成図である。

【 0 1 1 5 】

第2実施形態の移動体制御装置2000では、図4に示すように、第1実施形態の移動体制御装置1000において、ランドマーク検出部2をランドマーク検出部2Aに置換し、候補領域取得部3を候補領域取得部3Aに置換した構成を有している。

【0116】

ランドマーク検出部2Aは、ランドマーク検出部2の機能に加えて、時刻tにおいて、ロボットRbt1に搭載された距離センサー付き撮像装置（不図示）により撮像された画像（画像データ）からランドマークを含む画像領域を抽出し、抽出した画像を画像D1__imgとして、候補領域取得部3に出力する。また、ランドマーク検出部2Aは、ランドマーク検出信号LM_tを、候補領域取得部3A、状態更新部41、および、環境地図更新部42に出力する。

10

【0117】

候補領域取得部3Aは、図4に示すように、ランドマーク検出部2Aから出力されるランドマーク検出信号LM_tおよび画像D1__imgと、ランドマークパターン情報LM__ptnとを入力する。ランドマークパターン情報LM__ptnは、予め設定されている情報であり、ロボットRbt1が移動する環境に設置されているランドマークの表面に付されているパターン（色、模様等）についての情報である。候補領域取得部3は、ランドマークパターン情報LM__ptnと、画像D1__imgとに基づいて、ロボットRbt1の現時刻の位置の候補位置を推定するための情報である自己位置候補情報Cdt_tを取得する。そして、候補領域取得部3Aは、取得した自己位置候補情報Cdt_tを状態推定部4の状態更新部41に出力する。

20

【0118】

本実施形態において使用されるランドマーク（一例）は、細長い円筒形状であり、ランドマークの表面が、（1）第1パターンを付された第1パターン領域と、（2）第2パターンを付された第2パターン領域と、の2つの領域からなる。そして、ランドマークを設置した状態の平面視において、一方の半円に相当する円周上の表面が第1パターン領域であり、他方の半円に相当する円周上の表面が第2パターン領域であるものとする。

【0119】

なお、ランドマークの形状および表面のパターンは、上記に限定されることはない。移動体制御装置2000によりランドマークを発見したときに、当該ランドマークの形状、および/または、パターンを認識（特定）することで、移動体（ロボットRbt1）と、ランドマークとの位置関係（ランドマークがどの方向から観測されたかを知る手掛かりになる情報）を取得できるものであれば、ランドマークの形状および/またはパターンは、他のものであってもよい。

30

【0120】

図5の場合

図5は、時刻tにおけるロボットRbt1の位置の候補となる領域AR__C1と、本実施形態のランドマークLM2との位置関係を示す図（上方から見た図）と、時刻tにおいて、ロボットRbt1に搭載された距離センサー付き撮像装置（不図示）により撮像された画像（画像データ）D1__img1とを模式的に示した図である。なお、画像D1__img1は、ランドマーク検出部2Aから候補領域取得部3Aに出力される画像（画像データ）である。

40

【0121】

候補領域取得部3Aは、ランドマークLM2のランドマークパターン情報LM__ptnに基づいて、図5に示す画像D1__img1を解析する。具体的には、候補領域取得部3Aは、ランドマークLM2のランドマークパターン情報LM__ptnから、ランドマークLM2の平面視において一方の半円に相当する円周上の表面が第1パターン領域（黒色一色のパターン）（図5において、ptn1（LM2）と表記している領域）であり、ランドマークLM2の平面視において他方の半円に相当する円周上の表面が第2パターン領域（白色一色のパターン）（図5において、ptn2（LM2）と表記している領域）であることを認識する。

50

【 0 1 2 2 】

そして、候補領域取得部 3 A は、画像 $D1_img1$ 上において、ランドマークの中央付近に、第 1 パターン領域（黒色一色のパターン）と第 2 パターン領域（白色一色のパターン）が存在し、かつ、左側に第 1 パターン領域（黒色一色のパターン）が存在し、右側に第 2 パターン領域（白色一色のパターン）が存在することを認識する。そして、候補領域取得部 3 A は、上記画像解析結果に基づいて、画像 $D1_img1$ が撮像された位置の候補領域 AR_C1 を求める。つまり、図 5 に示すように、平面視において、ランドマーク $LM2$ の位置（中心点）から、ランドマーク $LM2$ の第 1 パターン領域 $ptn1(LM2)$ と第 2 パターン領域 $ptn2(LM2)$ との境界点を通る直線の y 軸負方向に、距離 $d2$ だけ離れた領域が、時刻 t のロボット $Rbt1$ の位置の候補領域 AR_C1 であると判定する。なお、候補領域取得部 3 A は、ランドマーク検出信号 LM_t から、ランドマーク $LM2$ とロボット $Rbt1$ との距離 $d2$ を取得する。

10

【 0 1 2 3 】

候補領域取得部 3 A は、上記のようにして取得した時刻 t のロボット $Rbt1$ の位置の候補領域 AR_C1 についての情報を、自己位置候補情報 Cdt_t に含めて、状態更新部 4 1 に出力する。

【 0 1 2 4 】

状態更新部 4 1 は、自己位置候補情報 Cdt_t から、時刻 t のロボット $Rbt1$ の位置が、候補領域 AR_C1 である可能性が高いと判定し、ロボット $Rbt1$ の位置に関する内部状態データを更新する。

20

【 0 1 2 5 】

図 6 の場合

図 6 は、時刻 t におけるロボット $Rbt1$ の位置の候補となる領域 AR_C2 と、本実施形態のランドマーク $LM2$ との位置関係を示す図（上方から見た図）と、時刻 t において、ロボット $Rbt1$ に搭載された距離センサー付き撮像装置（不図示）により撮像された画像（画像データ） $D1_img2$ とを模式的に示した図である。なお、画像 $D1_img2$ は、ランドマーク検出部 2 A から候補領域取得部 3 A に出力される画像（画像データ）である。

【 0 1 2 6 】

候補領域取得部 3 A は、ランドマーク $LM2$ のランドマークパターン情報 LM_ptn に基づいて、図 6 に示す画像 $D1_img1$ を解析する。具体的には、候補領域取得部 3 A は、ランドマーク $LM2$ のランドマークパターン情報 LM_ptn から、ランドマーク $LM2$ の平面視において一方の半円に相当する円周上の表面が第 1 パターン領域（黒色一色のパターン）（図 6 において、 $ptn1(LM2)$ と表記している領域）であり、ランドマーク $LM2$ の平面視において他方の半円に相当する円周上の表面が第 2 パターン領域（白色一色のパターン）（図 6 において、 $ptn2(LM2)$ と表記している領域）であることを認識する。

30

【 0 1 2 7 】

そして、候補領域取得部 3 A は、画像 $D1_img2$ 上において、ランドマークの中央付近に、第 1 パターン領域（黒色一色のパターン）と第 2 パターン領域（白色一色のパターン）が存在し、かつ、右側に第 1 パターン領域（黒色一色のパターン）が存在し、左側に第 2 パターン領域（白色一色のパターン）が存在することを認識する。そして、候補領域取得部 3 A は、上記画像解析結果に基づいて、画像 $D1_img2$ が撮像された位置の候補領域 AR_C2 を求める。つまり、図 6 に示すように、平面視において、ランドマーク $LM2$ の位置（中心点）から、ランドマーク $LM2$ の第 1 パターン領域 $ptn1(LM2)$ と第 2 パターン領域 $ptn2(LM2)$ との境界点を通る直線の y 軸正方向に、距離 $d2$ だけ離れた領域が、時刻 t のロボット $Rbt1$ の位置の候補領域 AR_C2 であると判定する。なお、候補領域取得部 3 A は、ランドマーク検出信号 LM_t から、ランドマーク $LM2$ とロボット $Rbt1$ との距離 $d2$ を取得する。

40

【 0 1 2 8 】

50

候補領域取得部 3 A は、上記のようにして取得した時刻 t のロボット $R b t 1$ の位置の候補領域 $A R _ C 2$ についての情報を、自己位置候補情報 $C d t_t$ に含めて、状態更新部 4 1 に出力する。

【 0 1 2 9 】

状態更新部 4 1 は、自己位置候補情報 $C d t_t$ から、時刻 t のロボット $R b t 1$ の位置が、候補領域 $A R _ C 2$ である可能性が高いと判定し、ロボット $R b t 1$ の位置に関する内部状態データを更新する。

【 0 1 3 0 】

図 7 の場合

図 7 は、時刻 t におけるロボット $R b t 1$ の位置の候補となる領域 $A R _ C 3$ と、本実施形態のランドマーク $L M 2$ との位置関係を示す図（上方から見た図）と、時刻 t において、ロボット $R b t 1$ に搭載された距離センサー付き撮像装置（不図示）により撮像された画像（画像データ） $D 1 _ i m g 3$ とを模式的に示した図である。なお、画像 $D 1 _ i m g 3$ は、ランドマーク検出部 2 A から候補領域取得部 3 A に出力される画像（画像データ）である。

10

【 0 1 3 1 】

候補領域取得部 3 A は、ランドマーク $L M 2$ のランドマークパターン情報 $L M _ p t n$ に基づいて、図 7 に示す画像 $D 1 _ i m g 3$ を解析する。具体的には、候補領域取得部 3 A は、ランドマーク $L M 2$ のランドマークパターン情報 $L M _ p t n$ から、ランドマーク $L M 2$ の平面視において一方の半円に相当する円周上の表面が第 1 パターン領域（黒色一色のパターン）（図 7 において、 $p t n 1 (L M 2)$ と表記している領域）であり、ランドマーク $L M 2$ の平面視において他方の半円に相当する円周上の表面が第 2 パターン領域（白色一色のパターン）（図 7 において、 $p t n 2 (L M 2)$ と表記している領域）であることを認識する。

20

【 0 1 3 2 】

そして、候補領域取得部 3 A は、画像 $D 1 _ i m g 3$ 上において、ランドマーク $L M 2$ の第 2 パターン領域（白色一色のパターン）のみが存在することを認識する。そして、候補領域取得部 3 A は、上記画像解析結果に基づいて、画像 $D 1 _ i m g 3$ が撮像された位置の候補領域 $A R _ C 3$ を求める。つまり、図 7 に示すように、平面視において、ランドマーク $L M 2$ の位置（中心点）から、ランドマーク $L M 2$ の第 2 パターン領域 $p t n 2 (L M 2)$ の中央付近の点を通る直線の x 軸正方向に、距離 $d 2$ だけ離れた領域が、時刻 t のロボット $R b t 1$ の位置の候補領域 $A R _ C 3$ であると判定する。なお、候補領域取得部 3 A は、ランドマーク検出信号 $L M_t$ から、ランドマーク $L M 2$ とロボット $R b t 1$ との距離 $d 2$ を取得する。

30

【 0 1 3 3 】

候補領域取得部 3 A は、上記のようにして取得した時刻 t のロボット $R b t 1$ の位置の候補領域 $A R _ C 3$ についての情報を、自己位置候補情報 $C d t_t$ に含めて、状態更新部 4 1 に出力する。

【 0 1 3 4 】

状態更新部 4 1 は、自己位置候補情報 $C d t_t$ から、時刻 t のロボット $R b t 1$ の位置が、候補領域 $A R _ C 3$ である可能性が高いと判定し、ロボット $R b t 1$ の位置に関する内部状態データを更新する。

40

【 0 1 3 5 】

図 8 の場合

図 8 は、時刻 t におけるロボット $R b t 1$ の位置の候補となる領域 $A R _ C 4$ と、本実施形態のランドマーク $L M 2$ との位置関係を示す図（上方から見た図）と、時刻 t において、ロボット $R b t 1$ に搭載された距離センサー付き撮像装置（不図示）により撮像された画像（画像データ） $D 1 _ i m g 4$ とを模式的に示した図である。なお、画像 $D 1 _ i m g 4$ は、ランドマーク検出部 2 A から候補領域取得部 3 A に出力される画像（画像データ）である。

50

【 0 1 3 6 】

候補領域取得部 3 A は、ランドマーク L M 2 のランドマークパターン情報 L M _ p t n に基づいて、図 8 に示す画像 D 1 _ i m g 4 を解析する。具体的には、候補領域取得部 3 A は、ランドマーク L M 2 のランドマークパターン情報 L M _ p t n から、ランドマーク L M 2 の平面視において一方の半円に相当する円周上の表面が第 1 パターン領域（黒色一色のパターン）（図 8 において、p t n 1（L M 2）と表記している領域）であり、ランドマーク L M 2 の平面視において他方の半円に相当する円周上の表面が第 2 パターン領域（白色一色のパターン）（図 8 において、p t n 2（L M 2）と表記している領域）であることを認識する。

【 0 1 3 7 】

10

そして、候補領域取得部 3 A は、画像 D 1 _ i m g 4 上において、ランドマークの中央付近に、第 1 パターン領域（黒色一色のパターン）のみが存在することを認識する。そして、候補領域取得部 3 A は、上記画像解析結果に基づいて、画像 D 1 _ i m g 4 が撮像された位置の候補領域 A R _ C 4 を求める。つまり、図 8 に示すように、平面視において、ランドマーク L M 2 の位置（中心点）から、ランドマーク L M 2 の第 2 パターン領域 p t n 2（L M 2）の中央付近の点を通る直線の x 軸負方向に、距離 d 2 だけ離れた領域が、時刻 t のロボット R b t 1 の位置の候補領域 A R _ C 4 であると判定する。なお、候補領域取得部 3 A は、ランドマーク検出信号 L M _ t から、ランドマーク L M 2 とロボット R b t 1 との距離 d 2 を取得する。

【 0 1 3 8 】

20

候補領域取得部 3 A は、上記のようにして取得した時刻 t のロボット R b t 1 の位置の候補領域 A R _ C 4 についての情報を、自己位置候補情報 C d t _ t に含めて、状態更新部 4 1 に出力する。

【 0 1 3 9 】

状態更新部 4 1 は、自己位置候補情報 C d t _ t から、時刻 t のロボット R b t 1 の位置が、候補領域 A R _ C 4 である可能性が高いと判定し、ロボット R b t 1 の位置に関する内部状態データを更新する。

【 0 1 4 0 】

図 9 の場合

図 9 は、は、時刻 t におけるロボット R b t 1 の位置の候補となる領域 A R _ C 5 と、本実施形態のランドマーク L M 2 との位置関係を示す図（上方から見た図）と、時刻 t において、ロボット R b t 1 に搭載された距離センサー付き撮像装置（不図示）により撮像された画像（画像データ）D 1 _ i m g 5 とを模式的に示した図である。なお、画像 D 1 _ i m g 5 は、ランドマーク検出部 2 A から候補領域取得部 3 A に出力される画像（画像データ）である。

30

【 0 1 4 1 】

候補領域取得部 3 A は、ランドマーク L M 2 のランドマークパターン情報 L M _ p t n に基づいて、図 9 に示す画像 D 1 _ i m g 5 を解析する。具体的には、候補領域取得部 3 A は、ランドマーク L M 2 のランドマークパターン情報 L M _ p t n から、ランドマーク L M 2 の平面視において一方の半円に相当する円周上の表面が第 1 パターン領域（黒色一色のパターン）（図 9 において、p t n 1（L M 2）と表記している領域）であり、ランドマーク L M 2 の平面視において他方の半円に相当する円周上の表面が第 2 パターン領域（白色一色のパターン）（図 9 において、p t n 2（L M 2）と表記している領域）であることを認識する。

40

【 0 1 4 2 】

そして、候補領域取得部 3 A は、画像 D 1 _ i m g 5 上において、ランドマークの左寄りの領域に、第 1 パターン領域（黒色一色のパターン）と第 2 パターン領域（白色一色のパターン）が存在し、かつ、左側に第 1 パターン領域（黒色一色のパターン）が存在し、右側に第 2 パターン領域（白色一色のパターン）が存在することを認識する。また、候補領域取得部 3 A は、画像上の水平方向において、第 1 パターン領域が占める割合と、第 2

50

パターン領域が占める割合とを求める。そして、候補領域取得部 3 A は、上記画像解析結果に基づいて、画像 D 1 _ i m g 5 が撮像された位置の候補領域 A R _ C 5 を求める。つまり、図 9 に示すように、平面視において、ランドマーク L M 2 の位置（中心点）から、距離 d 2 だけ離れた点からランドマークを見たときに、画像 D 1 _ i m g 5 のランドマークの見え方と一致する点を求める。図 9 では、平面視において、ランドマーク L M 2 の中心点と、点 A 1 とを通る直線の図 9 の斜め下方向に距離 d 2 だけ離れた領域が、時刻 t のロボット R b t 1 の位置の候補領域 A R _ C 5 であると判定する。なお、候補領域取得部 3 A は、ランドマーク検出信号 L M _ t から、ランドマーク L M 2 とロボット R b t 1 との距離 d 2 を取得する。

【 0 1 4 3 】

10

候補領域取得部 3 A は、上記のようにして取得した時刻 t のロボット R b t 1 の位置の候補領域 A R _ C 5 についての情報を、自己位置候補情報 C d t _ t に含めて、状態更新部 4 1 に出力する。

【 0 1 4 4 】

状態更新部 4 1 は、自己位置候補情報 C d t _ t から、時刻 t のロボット R b t 1 の位置が、候補領域 A R _ C 5 である可能性が高いと判定し、ロボット R b t 1 の位置に関する内部状態データを更新する。

【 0 1 4 5 】

以上のように、移動体制御装置 2 0 0 0 では、所定のパターンを有するランドマークを撮像した画像を実際の観測データとして取得し、撮像画像上のランドマークの見え方を解析することで、移動体（ロボット R b t 1）の位置を精度良く推定し、高精度な状態推定処理を高速かつ適切に実行することができる。その結果、移動体制御装置 2 0 0 0 では、移動体（ロボット R b t 1）の制御を適切に行うことができる。

20

【 0 1 4 6 】

さらに、移動体制御装置 2 0 0 0 では、上記の通り、ランドマークと、ロボット R b t 1 との距離を取得するだけで、ロボット R b t 1 の位置を高速かつ高精度に推定することができる。このため、移動体制御装置 2 0 0 0 では、多くの内部状態変数を用いた複雑な処理をすることなく、少ない演算量で推定処理を実現することができる。

【 0 1 4 7 】

なお、本実施形態において、ランドマークは、第 1 パターン領域（黒色一色のパターン）と第 2 パターン領域（白色一色のパターン）とを有するものとして、説明したが、これに限定されることはなく、例えば、ランドマークは、図 1 0 に示すランドマーク L M 3 のように、平面視において、第 1 パターン領域（図 1 0 のパターン p t n 1（L M 3））、第 2 パターン領域（図 1 0 のパターン p t n 2（L M 3））、および、（図 1 0 のパターン p t n 3（L M 3））の 3 つのパターンを有するものであってもよい。さらに、ランドマークは、4 パターン以上のパターンを有するものであってもよい。

30

【 0 1 4 8 】

〔他の実施形態〕

上記実施形態では、距離センサー付き撮像装置をロボット R b t 1 に搭載し、カラーの撮像画像と、距離画像を取得する場合について、説明したが、これに限定されることはない。例えば、3次元計測用のカメラをロボット R b t 1 に搭載し、3次元計測用のカメラから取得した 2 つの画像から、距離画像を取得するようにしてもよい。また、レンジファインダー等の距離センサーをロボット R b t 1 に搭載し、ランドマークまでの距離を測定するようにしてもよい。

40

【 0 1 4 9 】

さらに、複数のセンサーをロボット R b t 1 に搭載し、複数のセンサーから取得される信号から、実際の観測データを取得するようにしてもよい。

【 0 1 5 0 】

上記実施形態において、環境地図データを作成するために設定した座標は、図 2、図 3、および、図 5 ~ 図 9 に示すように x y 座標であったが、これに限定されることはなく、

50

例えば、極座標等を用いてもよい。また、上記実施形態では、絶対座標を前提として説明したが、これに限定されることはなく、上記実施形態の処理を実行するために、例えば、ロボット R b t 1 の位置を原点とする相対座標を用いてもよい。

【 0 1 5 1 】

また、上記実施形態では、移動体（ロボット R b t 1）の位置、ランドマークの位置が、2次元データ（x座標値、y座標値）により特定される場合について説明したが、これに限定あれることはなく、移動体（ロボット R b t 1）の位置、ランドマークの位置を、3次元データ（例えば、x座標値、y座標値、z座標値）により特定するようにしてもよい。移動体（ロボット R b t 1）の位置、ランドマークの位置を、3次元データにより特定する場合であって、例えば、ランドマーク L M 1 A が3次元空間内の1点に配置され、ランドマーク L M 1 B が3次元空間内の他の1点に配置されている場合、ランドマーク L M 1 A を中心とする半径 $d 1 A_t$ の球と、ランドマーク L M 1 B を中心とする半径 $d 1 B_t$ の球とが交差してできる円上が、時刻 t におけるロボット R b t 1 の位置の候補となる。

10

【 0 1 5 2 】

上記実施形態の一部または全部を組み合わせて移動体制御装置を構成するようにしてもよい。

【 0 1 5 3 】

また、上記実施形態で説明した移動体制御装置において、各ブロックは、LSIなどの半導体装置により個別に1チップ化されても良いし、一部又は全部を含むように1チップ化されても良い。

20

【 0 1 5 4 】

なお、ここでは、LSIとしたが、集積度の違いにより、IC、システムLSI、スーパーLSI、ウルトラLSIと呼称されることもある。

【 0 1 5 5 】

また、集積回路化の手法はLSIに限るものではなく、専用回路又は汎用プロセサで実現してもよい。LSI製造後に、プログラムすることが可能なFPGA（Field Programmable Gate Array）や、LSI内部の回路セルの接続や設定を再構成可能なりコンフィギュラブル・プロセッサを利用しても良い。

【 0 1 5 6 】

30

また、上記各実施形態の各機能ブロックの処理の一部または全部は、プログラムにより実現されるものであってもよい。そして、上記各実施形態の各機能ブロックの処理の一部または全部は、コンピュータにおいて、中央演算装置（CPU）、マイクロプロセッサ、プロセッサ等により行われる。また、それぞれの処理を行うためのプログラムは、ハードディスク、ROMなどの記憶装置に格納されており、ROMにおいて、あるいはRAMに読み出されて実行される。

【 0 1 5 7 】

また、上記実施形態の各処理をハードウェアにより実現してもよいし、ソフトウェア（OS（オペレーティングシステム）、ミドルウェア、あるいは、所定のライブラリとともに実現される場合を含む。）により実現してもよい。さらに、ソフトウェアおよびハードウェアの混在処理により実現しても良い。

40

【 0 1 5 8 】

また、上記実施形態における処理方法の実行順序は、必ずしも、上記実施形態の記載に制限されるものではなく、発明の要旨を逸脱しない範囲で、実行順序を入れ替えることができるものである。

【 0 1 5 9 】

前述した方法をコンピュータに実行させるコンピュータプログラム及びそのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体は、本発明の範囲に含まれる。ここで、コンピュータ読み取り可能な記録媒体としては、例えば、フレキシブルディスク、ハードディスク、CD-ROM、MO、DVD、DVD-ROM、DVD-RAM、大容量DV

50

D、次世代DVD、半導体メモリを挙げることができる。

【0160】

上記コンピュータプログラムは、上記記録媒体に記録されたものに限られず、電気通信回線、無線又は有線通信回線、インターネットを代表とするネットワーク等を経由して伝送されるものであってもよい。

【0161】

なお、本発明の具体的な構成は、前述の実施形態に限られるものではなく、発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の変更および修正が可能である。

【符号の説明】

【0162】

1000、2000 移動体制御装置

1 観測取得部

2、2A ランドマーク検出部

3、3A 候補領域取得部

4 状態推定部

5 記憶部

10

【図1】

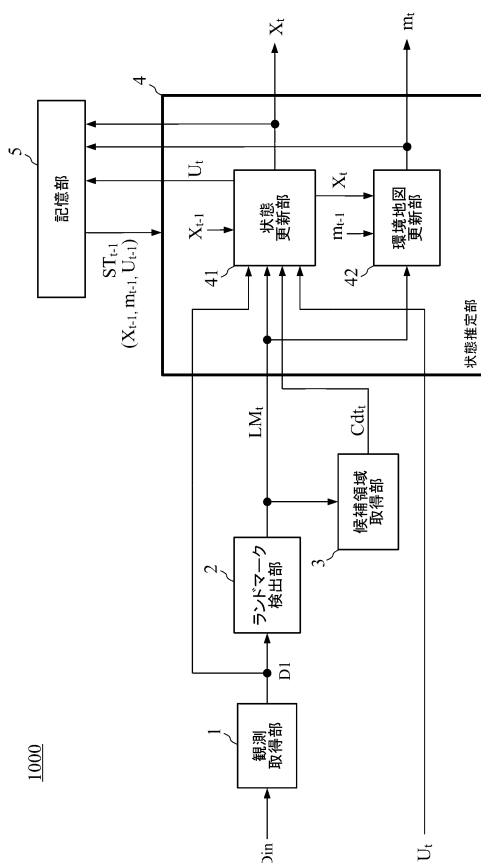


FIG. 1

【図2】

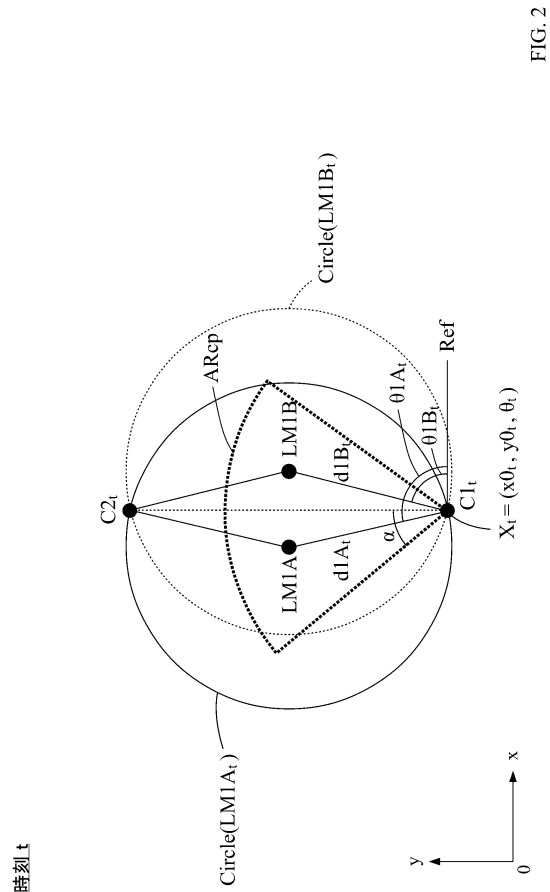


FIG. 2

【図 3】

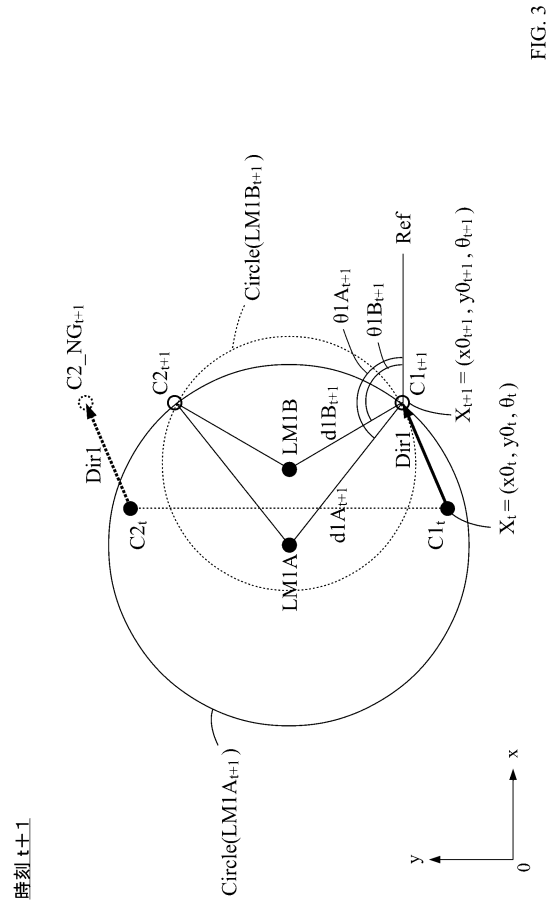


FIG. 3

【図 4】

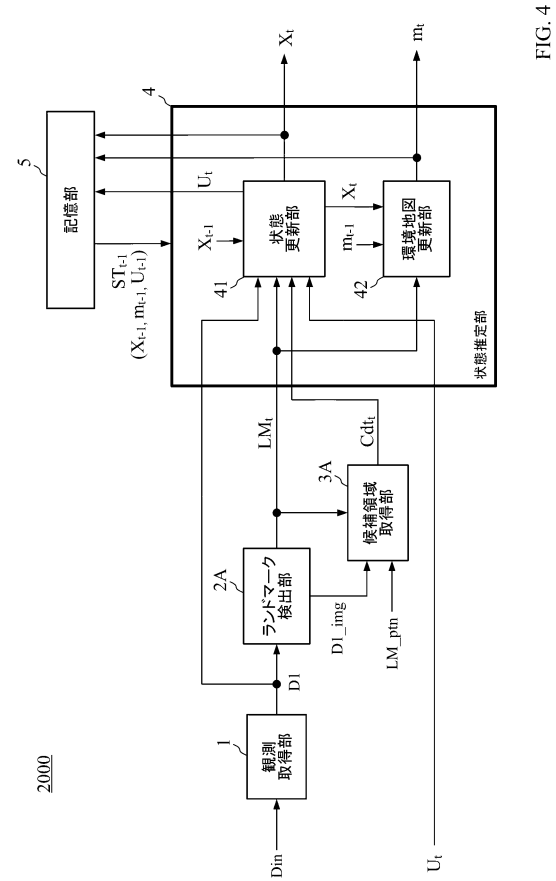


FIG. 4

【図 5】

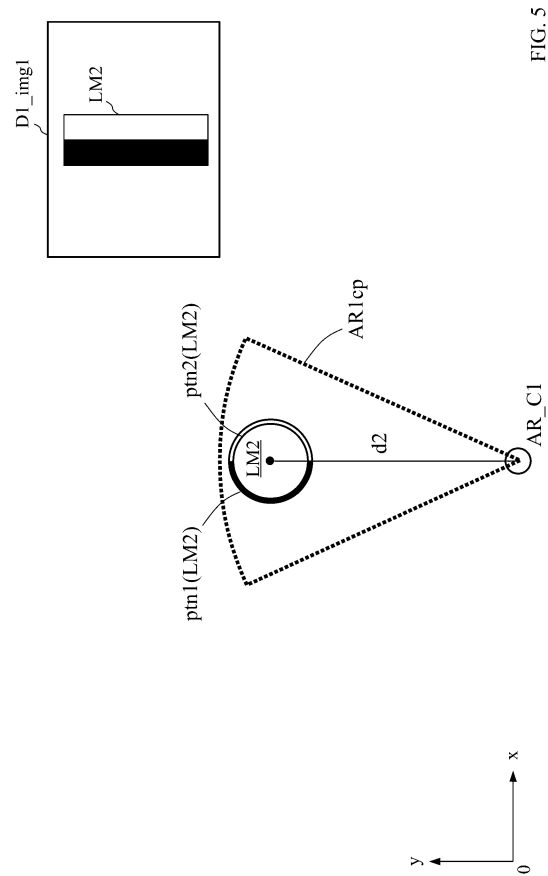


FIG. 5

【図 6】

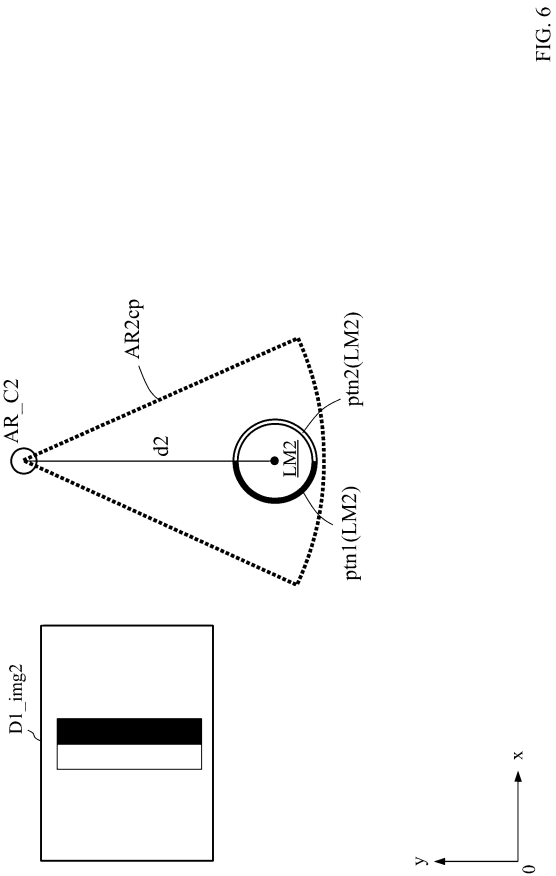


FIG. 6

【図 7】

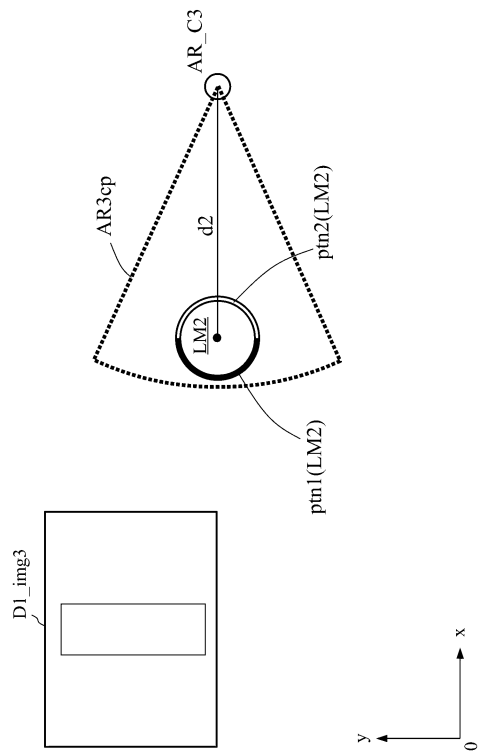


FIG. 7

【図 8】

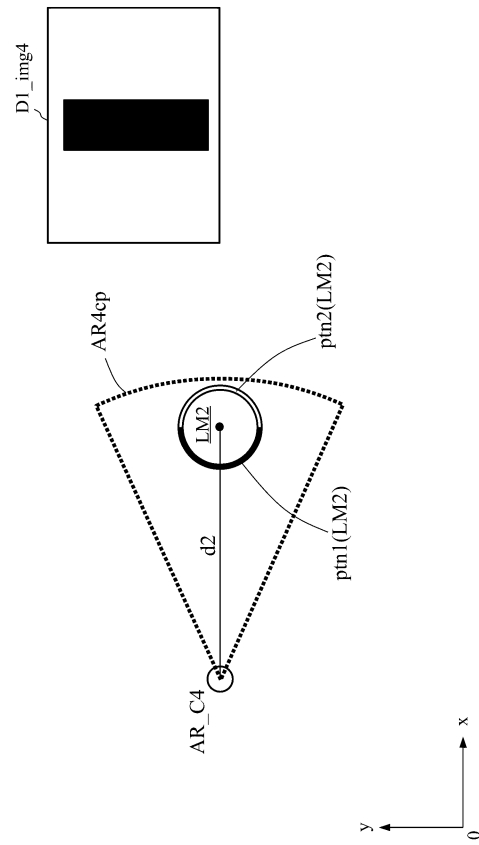


FIG. 8

【図 9】

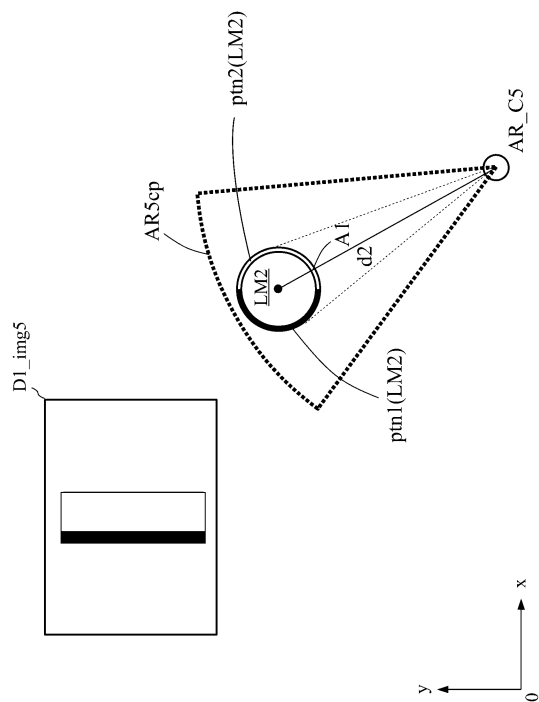


FIG. 9

【図 10】

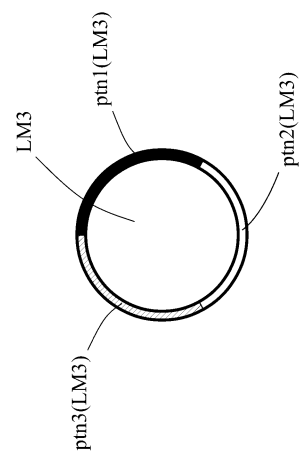


FIG. 10

フロントページの続き

- (74)代理人 100120662
弁理士 川上 桂子
- (72)発明者 永峰 健太
大阪府大阪市淀川区宮原一丁目1番1号 株式会社メガチップス内
- (72)発明者 生駒 哲一
福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号 国立大学法人九州工業大学内
- (72)発明者 新宮 史也
大阪府大阪市淀川区宮原一丁目1番1号 株式会社メガチップス内
- (72)発明者 長谷川 弘
大阪府大阪市淀川区宮原一丁目1番1号 株式会社メガチップス内

審査官 松井 裕典

- (56)参考文献 米国特許第05491670(US,A)
特開2009-217456(JP,A)
特開平10-109290(JP,A)
米国特許出願公開第2005/0182518(US,A1)
米国特許出願公開第2014/0350839(US,A1)
米国特許出願公開第2010/0215216(US,A1)
特開2008-032478(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05D	1/00	-	1/12
G01C	1/00	-	1/14
G01C	5/00	-	15/14
G06K	7/00	-	7/14
G06T	1/00		
G06T	11/60	-	13/80
G06T	17/05		
G06T	19/00	-	19/20
B25J	1/00	-	21/02