

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6849330号
(P6849330)

(45) 発行日 令和3年3月24日 (2021.3.24)

(24) 登録日 令和3年3月8日 (2021.3.8)

(51) Int. Cl. F I
G 0 5 D 1/02 (2020.01) G 0 5 D 1/02 H

請求項の数 11 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2016-134284 (P2016-134284)	(73) 特許権者	514136668
(22) 出願日	平成28年7月6日 (2016.7.6)		パナソニック インテレクチュアル プロ
(65) 公開番号	特開2017-45447 (P2017-45447A)		パティ コーポレーション オブ アメリ
(43) 公開日	平成29年3月2日 (2017.3.2)		カ
審査請求日	令和1年6月17日 (2019.6.17)		Panasonic Intellectual
(31) 優先権主張番号	特願2015-169412 (P2015-169412)		Property Corporation of America
(32) 優先日	平成27年8月28日 (2015.8.28)		アメリカ合衆国 90503 カリフォル
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		ニア州, トーランス, スイート 200,
			マリナー アベニュー 20000
		(74) 代理人	100081422
			弁理士 田中 光雄
		(74) 代理人	100100158
			弁理士 鯨島 睦
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 地図生成方法、自己位置推定方法、ロボットシステム、およびロボット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも1つ以上の環境センサノードを用いて地図生成を行う移動ロボットの地図生成方法であって、

前記移動ロボット周辺の情報を含む予め作成された第1の地図情報を取得し、

前記移動ロボットに搭載された外界センサによって前記移動ロボット周辺の情報を含む第2の地図情報を取得し、

前記環境センサノードから前記移動ロボット周辺の情報を含む第3の地図情報を受け取り、

(i) 前記第3の地図情報に第1のタイミングと第2のタイミングとの間の時間における物体の存在確率の変化量、又は物体の特徴ベクトルの変化量である時間的変化量が所定の閾値以上の場所の情報が存在する場合、

前記第3の地図情報における時間的変化量が前記所定の閾値以上の場所に対応する、前記第1の地図情報における場所の情報と前記第2の地図情報における場所の情報とを除去する除去処理を行う、または、

前記第3の地図情報における時間的変化量が前記所定閾値以上の場所に対応する、前記第1の地図情報における場所の情報と前記第2の地図情報における場所の情報それぞれの分散を増加する分散増加処理を行い、

(ii) 前記除去処理または前記分散増加処理が行われた後の第1の地図情報と第2の地図情報とをマッチングし、そのマッチング結果に基づいて地図情報を生成し、

10

20

(i i i) マッチング結果に基づいて生成された地図情報に、前記第 1 の地図情報を更新する、地図生成方法。

【請求項 2】

前記第 3 の地図情報に第 1 のタイミングと第 2 のタイミングとの間で前記時間的变化量が前記所定の閾値以上である場所の情報が存在する場合において、

前記第 1 のタイミングと前記第 2 のタイミングとの間の時間差が第 1 の時間と前記第 1 の時間に比べて長い第 2 の時間との間の範囲内である場合には、前記除去処理を行い、

前記第 1 のタイミングと前記第 2 のタイミングとの間の時間差が前記第 2 の時間以上である場合には、前記分散増加処理を行う、請求項 1 に記載の地図生成方法。

【請求項 3】

前記第 3 の地図情報に前記第 1 のタイミングと前記第 2 のタイミングとの間で前記時間的变化量が前記所定の閾値以上である場所の情報が存在する場合において、

前記第 1 のタイミングと前記第 2 のタイミングとの間の時間差が前記第 1 の時間以下である場合には、前記除去処理および前記分散増加処理を行わずに、前記第 1 の地図情報と前記第 2 の地図情報とをマッチングし、そのマッチング結果に基づいて地図情報を生成する、請求項 2 に記載の地図生成方法。

【請求項 4】

前記第 3 の地図情報に前記時間的变化量が前記所定の閾値以上である場所の情報がない場合、前記第 1 の地図情報と前記第 2 の地図情報とをマッチングし、そのマッチング結果に基づいて地図情報を生成する、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の地図生成方法。

【請求項 5】

前記分散増加処理が、前記第 1 の地図情報の対応場所と前記第 2 の地図情報の対応場所それぞれの情報の不確からしさを増加させる処理である、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の地図生成方法。

【請求項 6】

前記第 3 の地図情報が、前記環境センサノード周辺の物体の存在確率の情報を含み、

前記時間的变化量が、前記存在確率の変化量である、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の地図生成方法。

【請求項 7】

前記第 1 の地図情報、前記第 2 の地図情報、および前記第 3 の地図情報が、二次元座標系における座標情報または三次元座標系における座標情報であって、

前記マッチングを行う前に、前記第 1 の地図情報、前記第 2 の地図情報、および前記第 3 の地図情報それぞれの座標系を、共通の座標系に変換する座標変換処理を行う、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の地図生成方法。

【請求項 8】

少なくとも 1 つのセンサノードを用いて自己位置推定を行う移動ロボットの自己位置推定方法であって、

前記移動ロボット周辺の情報を含む予め作成された第 1 の地図情報を取得し、

前記移動ロボットに搭載された外界センサによって前記移動ロボット周辺の情報を含む第 2 の地図情報を取得し、

環境センサノードから前記移動ロボット周辺の情報を含む第 3 の地図情報を受け取り、

(i) 前記第 3 の地図情報に第 1 のタイミングと第 2 のタイミングとの間の時間における物体の存在確率の変化量、又は物体の特徴ベクトルの変化量である時間的变化量が所定の閾値以上の場所の情報が存在する場合、

前記第 3 の地図情報における時間的变化量が前記所定の閾値以上の場所に対応する、前記第 1 の地図情報における場所の情報と前記第 2 の地図情報における場所の情報とを除去する除去処理を行う、または、

前記第 3 の地図情報における時間的变化量が前記所定閾値以上の場所に対応する、前記第 1 の地図情報における場所の情報と前記第 2 の地図情報における場所の情報それぞれの

10

20

30

40

50

分散を増加する分散増加処理を行い、

(i i) 前記除去処理または前記分散増加処理が行われた後の第 1 の地図情報と第 2 の地図情報とをマッチングし、そのマッチング結果に基づいて地図情報を生成し、

(i i i) マッチング結果に基づいて生成された地図情報に、前記第 1 の地図情報を更新し、

(i v) 更新済みの第 1 の地図情報と、前記移動ロボットの位置および姿勢の少なくとも一方を検出する内界センサの検出結果とに基づいて、前記更新済みの第 1 の地図情報上での前記移動ロボットの自己位置を推定する、自己位置推定方法。

【請求項 9】

前記更新済みの第 1 の地図情報と推定された自己位置とに基づいて移動経路を算出し、
前記移動経路に沿って前記移動ロボットを移動させる、請求項 8 に記載の自己位置推定方法。

【請求項 10】

少なくとも 1 つの環境センサノードと移動ロボットとを含むロボットシステムであって、
前記環境センサノードが、前記移動ロボット周辺の情報を含む第 3 の地図情報を取得し、

前記移動ロボットが、
前記移動ロボット周辺の情報を含む予め作成された第 1 の地図情報を記録しているデータベースと、

前記移動ロボット周辺の情報を含む第 2 の地図情報を取得する外界センサと、
前記環境センサノードと通信して前記第 3 の地図情報を取得する通信部と、

(i) 前記第 3 の地図情報に第 1 のタイミングと第 2 のタイミングとの間の時間における物体の存在確率の変化量、又は物体の特徴ベクトルの変化量である時間的変化量が所定の閾値以上の場所の情報が存在する場合、

前記第 3 の地図情報における時間的変化量が前記所定の閾値以上の場所に対応する、前記第 1 の地図情報における場所の情報と前記第 2 の地図情報における場所の情報とを除去する除去処理を行う、または、

前記第 3 の地図情報における時間的変化量が前記所定閾値以上の場所に対応する、前記第 1 の地図情報における場所の情報と前記第 2 の地図情報における場所の情報それぞれの分散を増加する分散増加処理を行い、

(i i) 前記除去処理または前記分散増加処理が行われた後の第 1 の地図情報と第 2 の地図情報とをマッチングし、そのマッチング結果に基づいて地図情報を生成し、

(i i i) マッチング結果に基づいて生成された地図情報に、前記予め記録していた第 1 の地図情報を更新する情報処理部と、を備える、ロボットシステム。

【請求項 11】

移動ロボットであって、
前記移動ロボット周辺の情報を含む予め作成された第 1 の地図情報を記録しているデータベースと、

前記移動ロボット周辺の情報を含む第 2 の地図情報を取得する外界センサと、
前記移動ロボットの外部にあって且つ前記移動ロボット周辺の情報を含む第 3 の地図情報を取得する少なくとも 1 つの環境センサノードと通信して前記第 3 の地図情報を取得する通信部と、

(i) 前記第 3 の地図情報に第 1 のタイミングと第 2 のタイミングとの間の時間における物体の存在確率の変化量、又は物体の特徴ベクトルの変化量である時間的変化量が所定の閾値以上の場所の情報が存在する場合、

前記第 3 の地図情報における時間的変化量が前記所定の閾値以上の場所に対応する、前記第 1 の地図情報における場所の情報と前記第 2 の地図情報における場所の情報とを除去する除去処理を行う、または、

前記第 3 の地図情報における時間的変化量が前記所定閾値以上の場所に対応する、前記

10

20

30

40

50

第1の地図情報における場所の情報と前記第2の地図情報における場所の情報それぞれの分散を増加する分散増加処理を行い、

(i i) 前記除去処理または前記分散増加処理が行われた後の第1の地図情報と第2の地図情報とをマッチングし、そのマッチング結果に基づいて地図情報を生成し、

(i i i) マッチング結果に基づいて生成された地図情報に、前記予め記録していた第1の地図情報を更新する情報処理部と、を備える、移動ロボット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、移動ロボットの自己位置推定・環境地図作成を行う技術に関し、特に環境に設置された環境センサと該環境センサと連携する移動ロボットのシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

人間やその他の機械が存在する環境空間を移動ロボットが自律的に移動するために、移動ロボット自身が自己の位置・姿勢、周辺環境を正しく認識を行うことが必要となる。従来、このような認識を行うための手法として、環境の地図を作成しながら同時に自己位置の推定を行うSLAM (Simultaneous Localization And Mapping) 技術が知られている。

【0003】

SLAM技術における移動ロボットは、移動ロボットの内部の状態を知るためのセンサである内界センサと、外界の状態を知るためのセンサである外界センサを備えている。

【0004】

SLAM技術では、まず内界センサの情報から現在の位置・姿勢を推定する。次に、推定した位置・姿勢において既に保持している周辺環境の地図情報から、移動ロボットの (i) 位置 (i i) 姿勢 (i i i) 位置の不確実性 (i v) 姿勢の不確実性、の予測を行う。次に、外界センサによって得られた観測情報と、内界センサの情報から予測した情報を比較する。次に、比較によって算出された、それぞれの情報の尤もらしさから、内界センサと外界センサの情報の重みを決定する。そして、内界センサと外界センサのデータの重みの情報を用いて、現在の位置・姿勢と地図情報を更新する処理を行う。

【0005】

特許文献1には複数の異なるセンサの出力に基づいて自己位置推定を行う複数の推定器の信頼度を評価し、信頼度に応じて複数の推定器による自己位置推定情報を統合する、ロボットシステムが開示されている。

【0006】

特許文献2には環境センサと連携して、人の行動を邪魔することなく、人や障害物との衝突を回避しながら移動を行う移動ロボットが開示されている。環境センサは環境内に存在する全ての人の位置を検出するように複数配置される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2012-248032号公報

【特許文献2】特許5617562号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

特許文献1や特許文献2などの従来の方法では、環境変化が大きい空間においても、高精度かつロバストに、地図生成と自己位置推定とを行うことについては検討されていなかった。

【課題を解決するための手段】

【0009】

10

20

30

40

50

本開示の一態様によれば、
少なくとも1つ以上の環境センサノードを用いて地図生成を行う移動ロボットの地図生成方法であって、
前記移動ロボット周辺の情報を含む予め作成された第1の地図情報を取得し、
前記移動ロボットに搭載された外界センサによって前記移動ロボット周辺の情報を含む第2の地図情報を取得し、
前記環境センサノードから前記移動ロボット周辺の情報を含む第3の地図情報を受け取り、
(i) 前記第3の地図情報に時間的変化量が所定の閾値以上の場所の情報が存在する場合、
前記第3の地図情報における時間的変化量が前記所定の閾値以上の場所に対応する、前記第1の地図情報における場所の情報と前記第2の地図情報における場所の情報とを除去する除去処理を行う、または、
前記第3の地図情報における時間的変化量が前記所定閾値以上の場所に対応する、前記第1の地図情報における場所の情報と前記第2の地図情報における場所の情報それぞれの分散を増加する分散増加処理を行い、
(ii) 前記除去処理または前記分散増加処理が行われた後の第1の地図情報と第2の地図情報とをマッチングし、そのマッチング結果に基づいて地図情報を生成し、
(iii) マッチング結果に基づいて生成された地図情報に、前記第1の地図情報を更新する、地図生成方法が提供される。

10

20

【0010】

また、本開示の別態様によれば、
少なくとも1つのセンサノードを用いて自己位置推定を行う移動ロボットの自己位置推定方法であって、
前記移動ロボット周辺の情報を含む予め作成された第1の地図情報を取得し、
前記移動ロボットに搭載された外界センサによって前記移動ロボット周辺の情報を含む第2の地図情報を取得し、
環境センサノードから前記移動ロボット周辺の情報を含む第3の地図情報を受け取り、
(i) 前記第3の地図情報に時間的変化量が所定の閾値以上の場所の情報が存在する場合、
前記第3の地図情報における時間的変化量が前記所定の閾値以上の場所に対応する、前記第1の地図情報における場所の情報と前記第2の地図情報における場所の情報とを除去する除去処理を行う、または、
前記第3の地図情報における時間的変化量が前記所定閾値以上の場所に対応する、前記第1の地図情報における場所の情報と前記第2の地図情報における場所の情報それぞれの分散を増加する分散増加処理を行い、
(ii) 前記除去処理または前記分散増加処理が行われた後の第1の地図情報と第2の地図情報とをマッチングし、そのマッチング結果に基づいて地図情報を生成し、
(iii) マッチング結果に基づいて生成された地図情報に、前記第1の地図情報を更新し、
(iv) 更新済みの第1の地図情報と、前記移動ロボットの位置および姿勢の少なくとも一方を検出する内界センサの検出結果とに基づいて、前記更新済みの第1の地図情報上での前記ロボットの自己位置を推定する、自己位置推定方法が提供される。

30

40

【0011】

さらに、本開示の異なる態様によれば、
少なくとも1つの環境センサノードと移動ロボットとを含むロボットシステムであって、
前記環境センサノードが、前記移動ロボット周辺の情報を含む第3の地図情報を取得し、
前記移動ロボットが、

50

前記移動ロボット周辺の情報を含む予め作成された第1の地図情報を記録しているデータベースと、

前記移動ロボット周辺の情報を含む第2の地図情報を取得する外界センサと、

前記環境センサノードと通信して前記第3の地図情報を取得する通信部と、

(i) 前記第3の地図情報に時間的変化量が所定の閾値以上の場所の情報が存在する場合、

前記第3の地図情報における時間的変化量が前記所定の閾値以上の場所に対応する、前記第1の地図情報における場所の情報と前記第2の地図情報における場所の情報とを除去する除去処理を行う、または、

前記第3の地図情報における時間的変化量が前記所定閾値以上の場所に対応する、前記第1の地図情報における場所の情報と前記第2の地図情報における場所の情報それぞれの分散を増加する分散増加処理を行い、

(ii) 前記除去処理または前記分散増加処理が行われた後の第1の地図情報と第2の地図情報とをマッチングし、そのマッチング結果に基づいて地図情報を生成し、

(iii) マッチング結果に基づいて生成された地図情報に、前記予め記録していた第1の地図情報を更新する情報処理部と、を備える、ロボットシステムが提供される。

【0012】

さらにまた、本開示のさらに異なる態様によれば、

移動ロボットであって、

前記移動ロボット周辺の情報を含む予め作成された第1の地図情報を記録しているデータベースと、

前記移動ロボット周辺の情報を含む第2の地図情報を取得する外界センサと、

前記移動ロボットの外部にあって且つ前記移動ロボット周辺の情報を含む第3の地図情報を取得する少なくとも1つの環境センサノードと通信して前記第3の地図情報を取得する通信部と、

(i) 前記第3の地図情報に時間的変化量が所定の閾値以上の場所の情報が存在する場合、

前記第3の地図情報における時間的変化量が前記所定の閾値以上の場所に対応する、前記第1の地図情報における場所の情報と前記第2の地図情報における場所の情報とを除去する除去処理を行う、または、

前記第3の地図情報における時間的変化量が前記所定閾値以上の場所に対応する、前記第1の地図情報における場所の情報と前記第2の地図情報における場所の情報それぞれの分散を増加する分散増加処理を行い、

(ii) 前記除去処理または前記分散増加処理が行われた後の第1の地図情報と第2の地図情報とをマッチングし、そのマッチング結果に基づいて地図情報を生成し、

(iii) マッチング結果に基づいて生成された地図情報に、前記予め記録していた第1の地図情報を更新する情報処理部と、を備える、移動ロボットが提供される。

【発明の効果】

【0013】

本開示によれば、環境変化が大きい空間においても、高精度かつロバストに、地図生成と自己位置推定とを行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本開示の実施の形態1にかかるロボットシステムの全体構成ブロック図

【図2】環境センサノードおよびロボットが存在する一例の環境を示す概略図

【図3A】ロボットシステムの処理フロー図

【図3B】動体移動・環境変化情報統合部の処理フロー図

【図4A】時刻Tにおける移動ロボットを含む環境の一例を示す図解図

【図4B】時刻T+αにおける図4Aの環境を示す図解図

【図4C】時刻Tにおけるセンサデータの一例を示す図解図

10

20

30

40

50

- 【図４Ｄ】時刻 $T + \alpha$ におけるセンサデータの一例を示す図解図
- 【図５Ａ】地図生成・自己位置推定処理時のデータマッチングの一例を示す図解図
- 【図５Ｂ】マッチング結果例を示す図解図
- 【図５Ｃ】マッチング評価値例を示す図解図
- 【図６Ａ】データの除去処理の一例を示す図解図
- 【図６Ｂ】除去処理後のデータのマッチング結果例を示す図解図
- 【図６Ｃ】除去処理後のデータのマッチング評価値例を示す図解図
- 【図７Ａ】データの分散増加処理の一例を示す図解図
- 【図７Ｂ】分散増加処理後のデータのマッチング結果例を示す図解図
- 【図７Ｃ】分散増加処理後のデータのマッチング評価値例を示す図解図
- 【図８】分散増加処理を説明するための図解図
- 【図９】分散増加処理を説明するための別の図解図
- 【図１０】分散増加処理の結果を示す図解図
- 【図１１】実施の形態２に係るロボットシステムの処理フロー図
- 【発明を実施するための形態】
- 【００１５】

10

（本発明の基礎となった知見）

SLAM技術では、地図生成または自己位置推定の際に該移動ロボットの外界センサの検知範囲内の場所に環境変化があった場合、地図生成・自己位置推定に誤りが生じ、正しく推定を行うことができなくなるという課題がある。オフィスや家庭内などの人やその他の動体による環境変化が大きい空間や、駅やショッピングモールなどの多くの人が行き交う空間では大きな外乱すなわち大きな環境変化が頻繁に発生するためSLAM技術によって地図生成を行うことが困難であり、結果としてSLAM技術によって人や障害物を回避する経路を計画することが難しくなる。

20

【００１６】

さらに、上で述べたように環境変化が大きい空間では、地図生成・自己位置推定の処理において外界センサによって得られた情報と予測した情報とを比較する処理部分の最小二乗法による推定値の収束性が悪化し、計算量が増加する。

【００１７】

本開示では、環境変化が大きい空間においても、高精度かつロバストに、地図生成と自己位置推定とを行うことを目的とする。また、そのために必要な計算量の増加を抑制することも目的とする。

30

【００１８】

以下で説明する実施の形態は、いずれも本開示の一例を示すものである。以下の実施の形態で示される数値、形状、構成要素、ステップ、ステップの順序などは、一例であり、本開示を限定する主旨ではない。また、以下の実施の形態における構成要素のうち、最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。また全ての実施の形態において、各々の内容を組み合わせることもできる。

【００１９】

以下、実施の形態について図面を参照しながら説明する。

40

【００２０】

（実施の形態１）

図１には、本実施の形態１におけるロボットシステムの構成を示す。本ロボットシステムは、移動ロボット１００と、環境センサノード１２０とを含む。

【００２１】

移動ロボット１００は、外界センサ１０１と、内界センサ１０２と、情報処理部（動体・環境変化情報統合部１０３、地図生成・自己位置推定部１０４、地図情報データベース１０５、および経路計画部１０６）と、制御部１０７と、アクチュエータ１０８と、通信部１０９とを含む。

【００２２】

50

また、移動ロボット100は、移動ロボット100を移動させる手段として、例えば、2つもしくは4つの車輪、もしくは、2脚以上の脚を含んでいる。それら車輪または脚はアクチュエータ108からの動力により動作し、それにより移動ロボット100を移動させることが可能である。前述した移動ロボット100の脚は、1つ以上の関節を備えることが望ましい。さらに、移動ロボット100を移動させる手段として、センサもしくは任意の物体を装着または把持するための1つ以上の腕が含まれることが望ましい。前述した移動ロボット100の腕は、1つ以上の関節を備えることが望ましい。

【0023】

また、移動ロボット100は、1つ以上のCPU、1つ以上の主記憶、1つ以上の補助記憶を備える（図示せず）。

10

【0024】

前述した移動ロボット100のCPUは、以下に説明する、動体・環境変化情報統合部103、地図生成・自己位置推定部104、経路計画部106、制御部107などが行う、様々な演算処理を行う。

【0025】

前述した移動ロボット100の主記憶は、前述したCPUが直接アクセスすることのできる記憶装置であり、DRAM、SRAM、フラッシュメモリ、ReRAM、FeRAM、MRAM、STT-RAM、PCRAM、等のメモリによって構成され得る。

【0026】

前述した移動ロボット100の補助記憶は、前述した主記憶の内容を長期保存、コピーもしくはバックアップを行う記憶装置であり、HDD、フラッシュメモリ、光ディスク、磁気ディスク、等によって構成され得る。

20

【0027】

外界センサ101は、移動ロボット100の周辺環境についての情報を検出するセンサであり、周辺環境の2次元の形状もしくは3次元の形状および色・材質を検出する。外界センサ101は、例えばLRF(Laser Range Finder)、LIDAR(Laser Imaging Detection and Ranging)、カメラ、深度カメラ、ステレオカメラ、ソナー、RADARなどのセンサもしくはそれぞれの全ての組合せによって構成され得る。ここで、外界センサ101の取得する周辺環境の情報には、座標に関する情報（座標情報）が含まれる。

30

【0028】

内界センサ102は、移動ロボット100の位置・姿勢を検出するセンサである。内界センサ102は移動ロボット100の移動距離、速度、加速度、角速度、姿勢それぞれの3方向成分（例えば、X-Y-Z直交座標系のX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向成分）の絶対値の少なくとも1つを検出することが可能である。また、移動ロボット100の脚、腕の各関節について、速度、加速度、角速度、姿勢、トルクの絶対値を検出することが可能であってもよい。内界センサ102は、例えば加速度センサ、角速度センサ、エンコーダ、地磁気センサ、気圧・水圧センサ、トルクセンサなどのセンサもしくはそれぞれの組合せによって構成され得る。

【0029】

40

動体・環境変化情報統合部103は、移動ロボット100に搭載される外界センサ101が検出した情報（第2の地図情報）を取得する。また、環境センサノード120において抽出された動体移動・環境変化情報（第3の地図情報）を、通信部109を介して取得する。また、環境センサノード120によって抽出された動体移動・環境変化情報を用いて、外界センサ101が検出した情報における時系列で動的に変化する場所についての情報を除去する処理（除去処理）、あるいはその場所についての情報の信用度を下げる処理（分散増加処理）を行う。除去処理と分散増加処理の具体的な内容に関しては後述する。

【0030】

地図生成・自己位置推定部104は、内界センサ102より得られた移動ロボット100の移動距離、速度、加速度、角速度、姿勢のそれぞれの3方向成分の絶対値の少なくと

50

も1つを取得する。また、地図生成・自己位置推定部104は、動体・環境変化情報統合部103によって処理された（除去処理済みまたは分散増加処理済みの）外界センサ101による移動ロボット100の周辺環境についての情報を取得する。そして地図生成・自己位置推定部104は、取得した情報から移動ロボット100の自己位置の推定と地図情報の生成を、フィルタリング処理によって同時に行う。なお、自己位置の推定と地図情報の生成は同時に行わなくてもよい。フィルタリング処理は、カルマンフィルタ、拡張カルマンフィルタ、Unscentedカルマンフィルタ、パーティクルフィルタ、Raoblackwellizedパーティクルフィルタの各手法によって構成され得る。また、地図生成・自己位置推定部104は生成した地図を、地図情報データベース105へ保存する。既に該当する環境の地図が存在する場合は、地図情報データベース105に保存されている地図情報を合わせて用いて、地図情報の更新を行い、地図情報データベース105への保存を行う。

10

【0031】

地図情報データベース105は、地図生成・自己位置推定部104によって生成・更新された地図情報（第1の地図情報）を保存する。保存されている地図情報は地図生成・自己位置推定部104、経路計画部106によってそれぞれ使用される。地図情報データベース105は移動ロボット100の主記憶または二次記憶に配置される。

【0032】

経路計画部106は、地図情報データベース105に保存されている地図情報と、地図生成・自己位置推定部104によって推定された移動ロボット100の自己位置の情報を
用いて、現在の自己位置から地図上を移動する経路を計画する。計画する経路は、経路の
コストを最小化する経路である。経路のコストは、総移動時間、総移動距離、移動に使わ
れる総エネルギー、経路の混雑度の総和もしくはそれぞれの全ての組合せによって表現され
得る。

20

【0033】

制御部107は、実際に移動ロボットが動作する環境において、経路計画部106によって計画された経路について、移動ロボット100の移動動作を実行するための制御を行う。

【0034】

アクチュエータ108は、制御部107からの制御命令に基づいて、例えば車輪などを
駆動し、それにより実際に移動ロボット100を移動させる。

30

【0035】

通信部109は、有線もしくは無線によって、1対多型、多対多型の通信を行う機能を備える。通信部109は、環境センサノード120に対して、指定した場所の動体移動・環境変化情報が存在するか否かを問い合わせる。

【0036】

環境センサノード120は、環境センサ121と、動体移動・環境変化情報抽出部122と、環境センサ情報時系列データベース123と、動体移動・環境変化情報データベース124と、通信部125と、を含む。

【0037】

環境センサ121は、環境センサノード120の周辺環境についての情報を検出するセンサである。周辺環境の情報には、周辺環境の2次元の形状もしくは3次元の形状及び色・材質に関する情報が含まれる。

40

【0038】

図2は、環境センサノード120、環境センサノード120と同様の複数の環境センサノード312～319、および移動ロボット100が存在する環境の一例を概略的に示す図である。

【0039】

なお、図1と図2に示す構成で符号が異なるが名称が同一であれば同一の構成であるものとする。

50

【0040】

環境センサノード120、312～319はそれぞれ環境センサ121、322～329を備える。環境センサノード120、312の検出範囲はそれぞれ331、332である。環境センサノード313～319の検出範囲は図の簡略化のため図示しないが、各環境センサノードによって、移動ロボットの移動可能な空間を全て検出可能とするように環境センサノードおよび環境センサを設置している。

【0041】

また、環境センサノード120、312～319の環境センサ121、322～329は、例えばLRF (Laser Range Finder)、LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging)、カメラ、深度カメラ、ステレオカメラ、ソナー、RADAR、焦電型赤外線センサ、赤外線ToF (Time of Flight) センサなどのセンサもしくはそれぞれの全ての組合せによって構成され得る。

10

【0042】

図2に示すように、移動ロボット100は外界センサ101を備え、移動方向303に移動している。

【0043】

図2に示すタイミングにおいて、外界センサ101の検出範囲は304である。

【0044】

また、図2には、人／動体の現在の位置341、人／動体の過去の位置342、人／動体の現在の移動方向343を示している。人／動体が位置342から位置341へ移動したことによる時系列の環境変化は、環境センサノード120、312、313、314によって、詳細は後述するが、動体移動・環境変化情報として抽出される。

20

【0045】

この環境センサ121の取得する周辺環境の情報には、座標に関する情報（座標情報）が含まれる。

【0046】

動体移動・環境変化情報抽出部122は、環境センサ121が検出した時系列の周辺環境の情報を、検出情報と検出タイミングの組の形で環境センサ情報時系列データベース123へ保存する。例えば、検出タイミングは、時刻で表される。動体移動・環境変化情報抽出部122はまた、環境センサ情報時系列データベース123に保存されている時系列に沿った検出タイミングと検出情報の複数の組に基づいて、周辺環境の変化場所、変化形状、変化の大きさ及び変化にかかった時間を算出する。そして動体移動・環境変化情報抽出部122は、周辺環境の変化場所、その変化形状、その変化の大きさ、その変化にかかった時間を動体移動・環境変化情報として動体移動・環境変化情報データベース124に保存する。なお動体移動・環境変化情報は、周辺環境の変化場所、変化形状、変化の大きさ、変化にかかった時間、を全て含まなくてもよい。これらの情報のうち一部の情報のみを含んでいてもよいし、他の情報を含んでもよい。

30

【0047】

環境センサ情報時系列データベース123は、動体移動・環境変化情報抽出部122によって取得した、環境センサ121が検出した時系列の周辺環境の情報を、検出情報と検出タイミングの組で保存している。保存された情報は、動体移動・環境変化情報抽出部122によって、動体移動・環境変化情報を抽出するために使用される。

40

【0048】

動体移動・環境変化情報データベース124は、動体移動・環境変化情報抽出部122が算出した動体移動・環境変化情報を保存する。保存されている動体移動・環境変化情報は、移動ロボット100の通信部109からの問い合わせを受けた通信部125によって、移動ロボット100に対して送信される。

【0049】

通信部125は、移動ロボット100の通信部109からの動体移動・環境変化情報が

50

存在するか否かの問い合わせを受けて、動体移動・環境変化情報データベース124内の検索を行い、動体移動・環境変化情報の移動ロボット100への送信を無線または有線通信によって行う。

【0050】

次に、図2、図3A、および図3Bを参照しながら、本ロボットシステムの処理の流れについて説明する。T201は移動ロボット100の処理フロー、T221A、T221Bは環境センサノード120の処理フローを表す。

【0051】

まず、図3AにおけるステップS201において、内界センサ102は、情報を取得する。ここで、取得する情報は移動ロボット100の移動距離、速度、加速度、角速度、姿勢それぞれの3方向成分の絶対値である。

10

【0052】

次に、ステップS202において、外界センサ101は移動ロボット100の周辺環境についての情報を取得する。図2に示すタイミングにおける周辺環境の情報は検出範囲304について外界センサ101によって検出される情報である。ここで、取得する情報には、周辺環境の、2次元もしくは3次元の形状および色・材質に関する情報が含まれる。

【0053】

次に、ステップS203において、移動ロボット100は通信部109を介して環境センサノード120、312～319に対して、指定した2次元もしくは3次元の任意の大きさを持つ場所内に、指定した時間帯に動体移動・環境変化情報が存在するか否かの問い合わせを行い、その問い合わせに対する返答を所定の時間待つ。ここで、場所や時間は、予め移動ロボット100を管理するユーザによって任意の（固定の）大きさの場所や、任意の長さの時間に指定されていてもよい。また移動ロボットが状態に応じて、場所の大きさや時間の長さを変更し、指定してもよい。

20

【0054】

また、移動ロボット100からの問い合わせは、通信可能な他の移動ロボット、他の環境センサノード全てに対して行われてもよい。移動ロボット100は全ての移動ロボット、環境センサノードからの、返答および動体移動・環境変化情報を受信することができる。また、移動ロボット100からの問い合わせは、複数の環境センサノード（複数の他の移動ロボット）に対して、同時に行ってもよいし、順番に行ってもよい。

30

【0055】

次に、ステップS204において、通信部109は、ステップS203での問い合わせに対して、環境センサノード120、312～319からの返答があるか否かを判定する。一つ以上の返答があった場合はステップS205へ進む、返答がなかった場合はステップS208へ進む。

【0056】

次に、ステップS205において、通信部109は環境センサノード120、312～319および、その他の全ての環境センサノードと、その他の全ての移動ロボット、から動体移動・環境変化情報を受信する。なお、環境センサノード120、312～319の中、ある特定の環境センサノードのみから動体移動・環境変化情報を受信してもよい。ステップS203で指定した場所に関して、環境変化情報を有する環境センサノードのみから情報を取得してもよい。

40

【0057】

ステップS206において、動体・環境変化情報統合部103は、次のステップS207にて用いる、ステップS205で受信した動体移動・環境変化情報が存在する場所に対応する場所の情報を含む地図情報（第1の地図情報）を地図情報データベース105から取得する。

【0058】

ここで、図3Bを参照しながら、ステップS207の具体的な内容、すなわちその詳細であるステップS20701からステップS20706について説明する。

50

【0059】

ステップS207において、動体・環境変化情報統合部103は、ステップS202で外界センサ101が取得した情報と、ステップS206で取得した地図情報に対して、環境センサノード120、312～319において抽出された一つ以上の動体移動・環境変化情報を統合する処理を行う。

【0060】

まず、ステップS20701において、動体・環境変化情報統合部103は、ステップS202で外界センサ101が取得した周辺環境の情報の座標系と、環境センサノード120、312～319から送信された動体移動・環境変化情報の座標系を、ステップS206で取得した地図情報の座標系に変換する座標変換を行う。それぞれの座標系を、共通の座標系にする。

10

【0061】

次に、ステップS20702において、動体・環境変化情報統合部103は、動体移動・環境変化情報の形状に関する異なるタイミング間での時間的変化量の大きさが、閾値 Th_ch より大きい場所が存在するか否かの判定を行う。

【0062】

本実施の形態の場合、「時間的変化量」は、例えば、2次元空間上もしくは3次元空間上における各点に物体が存在する確率である各点の存在確率(Existence Probability)に関する。具体的には、各点について第1のタイミングでの存在確率と第1のタイミングより時間的に後である第2のタイミングでの存在確率との間の差分の絶対値を求め、その各点それぞれの差分の絶対値を合計した値(Sum of Absolute Difference)である。すなわち、第1のタイミングと第2のタイミングとの間の時間に変化した存在確率の変化量である。また、第1のタイミングおよび第2のタイミングは時刻であってもよいし、ロボットシステムが稼動し始めてからの経過時間であってもよい。

20

【0063】

また、形状に関する時間的変化量は、例えば、各点に対するSSD(Sum of Squared Difference)、SATD(Sum of Absolute Transformed Difference)、MAD(Mean Absolute Difference)、MSD(Mean Squared Difference)、もしくは画像特徴量であるSIFT、SURF、HoG等の特徴ベクトルの差分であってもよい。また形状に関する時間的変化量は例えば、それらの特徴ベクトルを用いて生成したBoF(Bag of Feature)特徴ベクトルの差分であってもよい。

30

【0064】

閾値 Th_ch の具体的な値の設定は、用いる変化量の基準や状況によって異なる。一例としては、 $10m \times 10m \times 10m$ の空間において、 $100mm \times 100mm \times 100mm$ の物体が $20mm$ 移動した際の変化量を閾値 Th_ch 、として設定することが考えられる。ただし、閾値 Th_ch の具体値の設定は上記例に限定されるものではない。

【0065】

異なるタイミング間の時間的変化量の大きさが閾値 Th_ch より大きい場所が存在する場合はステップS20703に進む。そうでない場合はステップS20707へ進む。

40

【0066】

次に、ステップS20703において、動体・環境変化情報統合部103は、動体移動・環境変化情報の形状に関する時間的変化量が閾値 Th_ch より大きいタイミング間の時間差が閾値 Th_tu (第1の時間)より大きいのか否かの判定を行う。閾値 Th_tu より大きい場合は、ステップS20707へ進む。これは、時間差が所定の閾値 Th_tu より大きい場合は、当該の動体移動・環境変化情報は外乱による一時的な環境変化ではなく、静物体の移動等による半永続的又は永続的な環境の変化であるとみなし、環境の変化した部分を新たな地図として扱うことを意味する。例えば、室内で家具などを動かした際のレイアウト変更がそれに該当し、レイアウト変更のような時間差の大きい変化は新た

50

な地図として扱う。時間差が閾値 T_{h_tu} より小さいもしくは等しい場合は、ステップ S_{20704} に進む。

【0067】

次に、ステップ S_{20704} において、動体・環境変化情報統合部 103 は、動体移動・環境変化情報の形状に関する時間的変化量が閾値 T_{h_ch} より大きいタイミング間の時間差が閾値 T_{h_tb} (第2の時間) より小さいか否かの判定を行う。

【0068】

閾値 T_{h_tb} より小さい場合、ステップ S_{20705} において、動体・環境変化情報統合部 103 は、動体移動・環境変化情報(第3の地図情報)における時間的変化量が閾値 T_{h_ch} より大きい場所に対応する、移動ロボット 100 の外界センサ 101 が取得した周辺環境の情報(第2の地図情報)における場所の情報とステップ S_{20706} で取得した地図情報(第1の地図情報)における場所の情報を除去する除去処理を実行する。その情報の除去処理についての詳細は後述する。

10

【0069】

一方、閾値 T_{h_tb} より大きいもしくは等しい場合、ステップ S_{20706} において、動体・環境変化情報統合部 103 は、動体移動・環境変化情報(第3の地図情報)における時間的変化量が閾値 T_{h_ch} より大きい場所に対応する、移動ロボット 100 の外界センサ 101 が取得した周辺環境の情報(第2の地図情報)における場所の情報とステップ S_{20706} で取得した地図情報(第1の地図情報)における場所の情報それぞれの分散を増加変更する分散増加処理を実行する。なお、閾値 T_{h_tb} は、閾値 T_{h_tu} よりも大きい値である。例えば、分散の増加変更は分散 V に対して、1 より大きい定数 a を乗じる形 ($a \times V$) で計算される。

20

【0070】

ここで言う「情報の分散」とは情報のばらつき・不確からしさを表す指標を言う。周辺環境の情報に関して言えば、分散が小さい場合には周辺環境の空間上において期待値周辺に検出対象が存在する確率が高いことを意味する。一方、分散が大きい場合には期待値周辺に検出対象が存在する確率が低いことを意味し、検出対象の存在しうる確率の分布が空間上に大きく広がる。

【0071】

また、情報の「分散増加処理」は、情報のばらつき・不確からしさを増加させることを言い、すなわち情報の信用度を下げることが言う。この情報の分散増加処理についての詳細は後述する。

30

【0072】

なお、ステップ S_{20704} で、動体移動・環境変化情報の形状に関する時間的変化量が閾値 T_{h_ch} より大きいタイミング間の時間差が閾値 T_{h_tb} より小さいか否かを判定したがこれに限られない。例えば、動体移動・環境変化情報の形状に関する時間的変化量の大きさが、閾値 T_{h_ch} とは異なる新たな閾値より大きいか否かを判定してもよい。すなわち動体移動・環境変化情報の形状に関する時間的変化量の大きさが、新たな閾値より大きい場合 (Yes) ステップ S_{20705} に進み、そうでない場合 (No) ステップ S_{20706} に進む。ここで新たな閾値は閾値 T_{h_ch} より高い値である。すなわちステップ S_{20704} で Yes の場合はそうでない場合 (No) よりも変化量が多い場合なので、動体移動・環境変化情報を外界センサ情報・地図情報から除去する処理が有効となる。

40

【0073】

次に、ステップ S_{20707} において、動体・環境変化情報統合部 103 は、受信した一つ以上の場所に関する動体移動・環境変化情報について、動体・環境変化情報統合部が処理していない、すなわち未処理の動体移動・環境変化情報が存在するか否かを判定する。未処理の動体移動・環境変化情報が存在する場合はステップ S_{20701} に戻り、未処理の動体移動・環境変化情報がなくなるまで、処理を継続する。未処理の動体移動・環境変化情報が存在しない場合は、ステップ S_{208} に進む。

50

【0074】

図3Aに戻り、ステップS208において、地図情報の生成と移動ロボット100の自己位置の推定（マッチング処理を含む）を行う。ステップS204で環境センサノード120からの返答があった場合は、ステップS207で動体移動・環境変化情報が統合された外界センサ101が取得した情報と、内界センサ102がステップS201で取得した情報とを用いて、地図生成・自己位置推定部104が、地図情報の生成と移動ロボット100の自己位置の推定を行う。ここで、自己位置の推定の際には、地図情報と、外界センサが取得したセンサデータとを照らし合わせて（マッチング処理）、類似度の高い変換を探索し、最も類似度の高い変換をもって移動ロボット100の移動距離および移動方向、すなわち現在の自己位置を推定する。ステップS204において環境センサノード120からの返答がなかった場合は、外界センサ101がステップS202にて取得した情報と、内界センサ102がステップS201にて取得した情報とを用いて、地図生成・自己位置推定部104は、地図情報の生成と移動ロボット100の自己位置の推定を行う。地図情報の生成と自己位置の推定は地図生成・自己位置推定部104におけるフィルタリング処理によって同時に行われる。

10

【0075】

次に、ステップS209において、経路計画部106は、地図情報データベース105に保存されている、ステップS208で生成された地図情報を用いて、現在の自己位置から移動する経路を計画する。経路計画の方法については上述の通りである。

【0076】

20

次に、ステップS210において、制御部107は、ステップS209において計画された経路について、移動ロボット100の移動動作を行うための制御命令を生成する。

【0077】

次に、ステップS211において、アクチュエータ108は、ステップS210にて生成された制御命令を受けて実際に移動ロボット100を動かす。

【0078】

ここからは、環境センサノード120における処理である、ステップS221からS227について説明する。

【0079】

処理フローT221AのステップS221において、環境センサノード120の通信部125は移動ロボット100からの問合せを受け付ける。

30

【0080】

ステップS223において、移動ロボット100からの問合せ内容である、指定した場所、指定した時間帯という条件に当てはまる動体移動・環境変化情報が存在するか否か、動体移動・環境変化情報データベース124を用いて確認する。確認の結果、条件に当てはまる動体移動・環境変化情報が存在した場合は、ステップS225の処理に進む。条件に当てはまる動体移動・環境変化情報が存在しない場合は、ステップS221に戻る。

【0081】

次に、ステップS225において、通信部125は移動ロボット100に対して、ステップS203での指定した場所、時間帯に動体移動・環境変化情報が存在するか否かの問合せに対する返答（指定した場所の動体移動・環境変化情報が存在するか否かの情報）を送信する。

40

【0082】

次に、ステップS226において、通信部125は、ステップS221で受け付けた問合せを行った移動ロボット100に対して、動体移動・環境変化情報を送信する。送信を行った後はステップS221に戻る。

【0083】

処理フロー221BのステップS222において、動体移動・環境変化情報抽出部122は、環境センサ121が検出した環境センサノード120の周辺の情報を取得し、環境センサ情報時系列データベース123に、検出時間と検出情報の組の形で時系列順に保存

50

する。

【0084】

ステップS 2 2 4において、動体移動・環境変化情報抽出部1 2 2は、環境センサ情報時系列データベース1 2 3に保存されている、環境センサノード1 2 0の周辺に関する検出時間と検出情報の複数の組を時系列に沿って参照し、環境センサノード1 2 0の周辺の環境が変化しているか否かを判定する。

【0085】

ステップS 2 2 7にて、動体移動・環境変化情報抽出部1 2 2は、動体移動・環境変化情報抽出部1 2 2は、環境センサ情報時系列データベース1 2 3に保存されている検出時間と検出情報の時系列に沿った複数の組に基づいて、周辺環境の変化場所、変化形状、変化の大きさ及び変化にかかった時間を算出する。前記の変化場所、変化の大きさ、変化にかかった時間を動体移動・環境変化情報として動体移動・環境変化情報データベース1 2 4に保存する。

10

【0086】

抽出された動体移動・環境変化情報は、図2に示すように、環境センサノードに搭載される通信手段3 5 1と移動ロボット1 0 0に搭載される通信手段3 5 2によって通信経路3 5 3を通して環境センサノードから移動ロボットに送られる。移動ロボットに送られた動体移動・環境変化情報は、動体移動・環境変化情報統合部によって、人／動体による環境変化情報が存在する場所に対応する、移動ロボット1 0 0の外界センサ1 0 1が検出した情報（第2の地図情報）における場所の情報を除去するために使用される。これにより、外乱である動的な環境変化を移動ロボット1 0 0の外界センサ1 0 1が検出した情報から除去することが可能となる。

20

【0087】

図4 Aは、例えば、任意の時刻Tにおいて移動ロボット1 0 0が環境4 0 0に存在していることを示す。図4 Cに、時刻Tにおいて移動ロボット1 0 0の外界センサ1 0 1が取得した情報（センサデータ）4 3 0を示す。図4 Bに、時刻Tから任意の時間間隔 α が経過した時刻T + α において移動ロボット1 0 0が環境4 0 0に存在していることを示す。図4 Dに、時刻Tから任意の時間間隔 α が経過した時刻T + α における移動ロボット1 0 0の外界センサ1 0 1が取得した情報（センサデータ）4 3 1を示す。

【0088】

図4 Aに示すように、環境4 0 0には、移動ロボット1 0 0と、位置4 0 1に存在する静物体Aと、位置4 0 2に存在する動体Hと、環境センサノード1 2 0が存在している。移動ロボット1 0 0は、進行方向4 0 5に向かって移動している。動体Hは、進行方向4 0 4に向かって位置4 0 2から移動している。

30

【0089】

図4 Bに示すように、環境4 0 0には、移動ロボット1 0 0と、位置4 0 1に存在する静物体Aと、位置4 0 3に存在する動体Hと、環境センサノード1 2 0が存在している。

【0090】

図4 Aと図4 Bを比較すると、移動ロボット1 0 0の位置が変化している。また、動体Hの位置も、位置4 0 2から位置4 0 3に変化している。

40

【0091】

移動ロボット1 0 0に搭載される外界センサ1 0 1は、環境4 0 0における移動ロボット1 0 0の周辺の情報を取得する。

【0092】

時刻Tにおいて、環境4 0 0に対して、外界センサ1 0 1が取得したセンサデータ4 3 0（太実線）を、図4 Cは示している。センサデータ4 3 0には、環境4 0 0における、位置4 0 1に存在する静物体Aと、位置4 0 2に存在する動体Hと、壁Wそれぞれの形状および外界センサ1 0 1からの距離が含まれている。

【0093】

時刻Tから任意の時間間隔 α が経過した時刻T + α において、環境4 0 0に対して、外

50

界センサ101が取得したセンサデータ431（太破線）を、図4Dは示している。センサデータ431には、環境400における、位置401に存在する静物体Aと、位置403に存在する動体Hと、壁Wそれぞれの形状および外界センサ101からの距離が含まれている。

【0094】

センサデータ430とセンサデータ431は、2次元の距離データ、3次元の距離データ、2次元の形状データ、3次元の形状データ、画像特徴点、などのデータ形式もしくはそれぞれの全ての組合せを含み得る。すなわち、外界センサ101が取得する情報には座標情報が含まれる。環境センサノード120は、環境センサ121によって、動体Hが時刻Tから時刻T+ α の間に、位置402から位置403に移動したことによる環境変化を動体移動・環境変化情報として抽出する。図5A～図5Cに、時刻Tにおける地図データと時刻T+ α におけるセンサデータとのマッチング処理と、その結果例を示す。

10

【0095】

センサデータのマッチング処理は、上述したステップS208にて、地図生成・自己位置推定部104によって実行される。マッチング処理は、地図情報（データ）と、外界センサが取得したセンサデータとを照らし合わせて、類似度の高い変換を探索し、最も類似度の高い変換をもって、移動ロボット100の、移動距離および移動方向、すなわち現在の自己位置を推定する。

【0096】

一例として、センサデータ430をもとに作られた時刻Tにおける地図データ501（すなわち地図情報データベース105内の地図情報）と、時刻T+ α において移動ロボット100の外界センサ101によって取得されたセンサデータ431とのマッチング処理について説明する。

20

【0097】

マッチング処理は、複数のデータを照らし合わせて、相違度が低い、すなわち類似度が高い複数のデータ間の変換を探索する処理である。マッチング処理は、相違度の勾配を計算し、相違度が極小となる変換を探索する。

【0098】

しかし、探索する対象の形状が変形している場合または、データに外乱によるノイズが入っている場合に、あらかじめ定められた相違度の閾値を下回らず、探索が収束しないという問題が発生する。さらに、そのような場合に、本来の正解であるデータ間の対応とは違う誤った対応を最適な対応と判定し、変換の探索の精度が低下する問題が発生する。

30

【0099】

マッチング処理による、地図データ501とセンサデータ431のマッチング結果は、図5Bに示す結果例503、結果例504のようになり得る。

【0100】

結果例504は、地図データ501とセンサデータ431の対応としての正解（Ground truth）に非常に近い例を示している。

【0101】

結果例504は、位置401から移動しない静物体Aと壁の形状によるデータの部分（左側部分）が高い精度で対応しており、正解と高い精度で対応している。一方、動体Hが位置402から位置403へ移動したことによるセンサデータの形状が変化した部分（右側部分）の対応がうまくとれておらず、その結果として、センサデータ全体の類似度が低下している。

40

【0102】

そのため、探索方法や閾値によっては、正解である結果例504へ収束するまでに、マッチング演算の繰り返し回数が増加するという問題が発生する。

【0103】

図5Cに、マッチングにおける評価値例505を示す。評価値例505として、横軸にマッチングを行う2つのデータ501、431間のX軸方向の距離、縦軸に評価値をとり

50

プロットした例を示す。評価値は、データ間の相違度を表し、データの形状が一致しているほど低い値となる。

【0104】

ここで、理解を容易にするために、評価値例505は、地図データ501に対してセンサデータ431をX軸方向のみに並進させた場合の例を示している。なお、実際には、変換を探索するために、各軸に対するデータの並進、回転が行われる。並進とは、一方向に平行移動する運動を示す。

【0105】

図5Cに示すように、マッチングにおける評価値例505には、結果例504に対するマッチング演算の評価値507が示されている。評価値507の付近では、評価値の変化がなだらかであり、勾配法等の手法を用いて結果を求める場合、結果へ収束するまでにマッチング演算の繰り返し回数が多数必要となる。

10

【0106】

また、図5Bに示す結果例503は、地図データ501とセンサデータ431の対応としての正解（Ground truth）との対応度が低い例を示している。図5Cに示すように、マッチングにおける評価値例505には、結果例503に対するマッチング演算の評価値506が示されている。評価値506は、評価値例505において、極小値となっている。そのため、勾配法等の手法を用いて結果を求める場合、評価値506に結果が収束し、正解との対応度が低い対応である結果例503を誤って最適な結果と判定する。このように結果例503に収束し、正解との対応度が低い対応を最適と誤って判定する問題も発生し得る。

20

【0107】

それにより、データ間の変換の探索精度が低下し、結果として、地図の生成精度とその地図に基づく移動ロボット100の自己位置の推定精度とが低下する。

【0108】

このように、動体の移動によるセンサデータの形状の変化が生じると、マッチング演算の繰り返し回数が増加し、正解との対応度が低い対応を最適と誤判断することによって地図の生成精度と移動ロボット100の自己位置の推定精度が低下する問題が発生する。以下、この問題に対処する2つの処理について、図6A－図6C、図7A－図7Cを参照しながら説明する。

30

【0109】

図6Aには、1つ目の処理によって、すなわち動体Hの移動を原因として動体・環境変化情報が存在する場所（領域C）のデータを除去する処理によって、対象の場所のデータを除去する処理が行われた後の時刻Tの地図データ601と時刻 $T + \alpha$ のセンサデータ602とが示されている。

【0110】

なお、図6Aに示す処理は、ステップS20705と同一の処理である。すなわち、図6Aに示す領域Cは、時間的変化量が閾値 Th_ch より大きい場所に対応する。

【0111】

図6Bと図6Cは、地図データ601とセンサデータ602のマッチング結果例とマッチング評価値例を示す。ここでは、理解を容易にするために、マッチング評価値例は、地図データ601に対してセンサデータ602をX軸方向のみに並進させた場合の例を示している。すなわち図6Cのグラフにおいて、横軸は2つのデータ601、602間のX軸方向の距離を示し、縦軸は評価値（2つのデータ601、602の相違度）を示している。

40

【0112】

図6Cに示されるように、図6Aに示す除去処理によれば、動体の移動を原因とするセンサデータの形状の変化による影響が除去されているので、評価値の変化が陰しくなる。よって勾配法等の手法を用いて結果を求める場合、図5Cに示す評価値例505と比較して、図6Cに示す評価値例では、評価値506の点に対応する極小値が存在しない。すな

50

わち、図 6 C に示す評価値例では、評価値 6 0 7 の点に対応する最小値のみが極小値と存在する。この評価値例によれば、誤判断を回避し、正解への高精度な対応が可能である。さらに、評価値 6 0 7 の周辺の評価値の変化が、図 5 C に示す評価値 5 0 7 と比較して急峻となっており、それによりマッチング演算の繰り返し回数が図 5 C に示す評価値例 5 0 5 を用いる場合に比べて削減される。

【0113】

以上により、地図生成・自己位置推定におけるデータ間のマッチング処理において、マッチング対象の 2 つのデータそれぞれにおける動体が存在する領域（図 6 A に示す領域 C）の情報をマッチング処理実行前に除去することにより、マッチング処理の高精度化・演算量の低減が図れる。

10

【0114】

次に、2 つ目の処理について説明する。図 7 A には、動体 H の移動を原因として動体・環境変化情報が存在する場所（領域 C）のデータの分散を増加させる処理によって、対象の場所のデータの分散を増加させる処理が行われた後の時刻 T の地図データ 6 0 3 と、時刻 $T + \alpha$ のセンサデータ 6 0 4 とが示されている。

【0115】

ここで、情報の分散の増加について、図 8 - 図 1 0 を参照しながら補足する。

【0116】

図 8 は、時刻 T における地図データ 5 0 1 を示している。図 8 に示すように、地図データ 5 0 1 には、移動ロボット 1 0 0 の外界センサ 1 0 1 によって実測された実測点（実測座標）が含まれている。

20

【0117】

その地図データ 5 0 1 の情報の分散は、実測点の分散とみなすことができ、その実測点の不確からしさ（その座標情報の信用度）を表している。図 9 に示すように、実測点の分散は、具体的には実測点をピークとする存在確率の分布の幅で定義することができる。したがって、情報の分散の増加は、実測点をピークとする存在確率の分布の幅の増加を意味する。

【0118】

一例として、図 1 0 には、地図データ 5 0 1 の一部分（右側部分）において、情報の分散の増加が実行された、すなわち実測点の存在確率の分布の幅が増加した様子が示されている。

30

【0119】

なお、図 7 A に示す処理は、ステップ S 2 0 7 0 6 と同一の処理である。すなわち、図 7 A に示す領域 C は、時間的変化量が閾値 $T h_c h$ より大きい場所に対応する。

【0120】

図 7 B と図 7 C に、地図データ 6 0 3 とセンサデータ 6 0 4 のマッチング結果例とマッチング評価値例を示す。ここでは、理解を容易にするために、マッチング評価値例は、地図データ 6 0 3 に対してセンサデータ 6 0 4 を X 軸方向のみに並進させた場合の例を示している。

【0121】

40

図 7 C に示されるように、図 7 A に示す分散増加処理によれば、動体の移動を原因とするセンサデータの形状の変化による影響を緩和しているので評価値の変化が陰しくなる。よって勾配法等の手法を用いて結果を求める場合、図 5 C に示す評価値例 5 0 5 の評価値 5 0 6 の点に対応する極小値が評価値 6 0 8 の点に比べて十分に大きい値であるため、図 5 C の評価値例 5 0 5 と比較して、評価値 6 0 8 へ収束しやすい。この評価例によれば、誤判断を回避しやすくなり、正解への高精度な対応が可能である。さらに、評価値 6 0 8 の周辺の評価値の変化が、図 5 C に示す評価値 5 0 7 と比較して急峻となっており、それによりマッチング演算の繰り返し回数が図 5 C に示す評価値例 5 0 5 を用いる場合に比べて削減される。

【0122】

50

以上により、地図生成・自己位置推定におけるデータ間のマッチング処理において、マッチング対象の２つのデータそれぞれにおける動体が存在する領域（例えば図７Ａに示す領域Ｃ）の情報をマッチング処理実行前に分散増加することにより、マッチング処理の高精度化・演算量の低減が図れる。

【０１２３】

図６Ａに示す情報の除去処理と図７Ａに示す情報の分散増加処理は、図３Ｂに示すように、条件に応じて使い分けられる。具体的には、第１のタイミングと第２のタイミングとの間の時間的変化量が閾値 T_{h_ch} より大きい場所が存在する場合（そのような動体移動・環境変化情報が存在する場所がある場合）、且つ、その第１のタイミングと第２のタイミングとの間の時間差が閾値 T_{h_tb} （第２の時間）より小さい場合、すなわち動体の移動・環境の変化による影響が相対的に大きいと判断される場合に、ステップＳ２０７０５にて除去処理が実行される。一方、第１のタイミングと第２のタイミングとの間の時間差が閾値 T_{h_tb} より大きい場合、すなわち動体の移動・環境の変化による影響が相対的に小さいと判断される場合に、ステップＳ２０７０６にて分散増加処理が実行される。

10

【０１２４】

除去処理は、分散増加処理に比べて、動体の移動・環境の変化による影響をより小さくするように抑制する処理である。このように、本実施の形態では、動体の移動・環境の変化による影響の程度によって除去処理と分散増加処理とを使い分け、それにより最適な手法を用いたデータ間のマッチング処理を実現している。

20

【０１２５】

本実施の形態１によれば、環境変化が大きい空間においても、高精度かつロバストに、地図生成とその地図を用いて移動する移動ロボットの自己位置推定とを行うことができる。

【０１２６】

（実施の形態２）

上述の実施の形態１に係るロボットシステムは、１つの移動ロボットと、少なくとも１つの環境センサノードとを含んでいる。これに対して、本実施の形態２に係るロボットシステムは、複数の移動ロボットと、少なくとも１つの環境センサノードとを含んでいる。そして、その複数の移動ロボットそれぞれが、上述の実施の形態１における環境センサノードと同様の機能を備える。すなわち、地図生成や自己位置推定を行う１つの移動ロボットに対して、残りの移動ロボットが環境センサノードとして機能することができる。

30

【０１２７】

具体的には、本実施の形態２の移動ロボットそれぞれは、環境センサを用いて最終的に動体移動・環境変化情報を取得する上述の実施の形態１の環境センサノードと同様に、外界センサを用いて最終的に動体移動・環境変化情報を取得するように構成されている。また、移動ロボットは、図１に示す環境センサノードの動体移動・環境変化情報抽出部、環境センサ情報時系列データベース、および動体移動・環境変化情報データベースと実質的に同一の構成要素を含んでいる。

【０１２８】

図１１に、本実施の形態２に係るロボットシステムにおける、複数の移動ロボットの処理フローを示す。

40

【０１２９】

図１１に示すように、本実施の形態２に係る移動ロボットは、メイン処理フローＴ７０１と、サブ処理フローＴ７０２Ａ、Ｔ７０２Ｂとにしたがって動作するように構成されている。また、図１１は、メイン処理フローを実行するロボット（上述の実施の形態１の移動ロボット１００に対応）とサブ処理フローＴ７０２Ａ、Ｔ７０２Ｂを実行する少なくとも１つの別の移動ロボット（上述の実施の形態１の環境センサノード１２０として機能するロボット）との情報のやりとりが示されている。

【０１３０】

50

図 1 1 に示す処理フローを行う本実施の形態 2 に係るロボットシステムと図 3 A、図 3 B に示す上述の実施の形態 1 に係るロボットシステムとの違いは、動体移動・環境変化情報が、処理フロー T 7 0 2 A、T 7 0 2 B を実行して環境センサノードの役割をする移動ロボットによって抽出され、そのロボットから、メイン処理フローを実行して地図生成および自己位置推定を行う移動ロボットに対して送信されること、環境センサノードの役割をする移動ロボットが外界センサを用いてその周辺の情報を取得すること、である。

【0 1 3 1】

本実施の形態 2 によれば、上述の実施の形態 1 と同様に、環境変化が大きい空間においても、高精度かつロバストに、地図生成とその地図を用いて移動する移動ロボットの自己位置推定とを行うことができる。また、移動可能な移動ロボットが環境センサノードの役割をすることで、動体移動・環境変化を検出することができるエリアが拡大し、それにとまって動体移動・環境変化情報の情報量が増加する（固定の環境センサノードのロボットシステムに比べて）。その結果として、地図生成・自己位置推定の処理における推定値の精度劣化の抑制と、外乱による計算量の増加の抑制とがより図られる。

【0 1 3 2】

なお、本実施の形態 2 の場合、複数の移動ロボットのいずれかが環境センサノードの役割を果たすので、少なくとも 1 つの環境センサノード自体をロボットシステムから除外することも可能である。すなわち、この場合、ロボットシステムは、環境センサノードを含まず、環境センサノードの役割を果たすことができる少なくとも 2 つの移動ロボットを含んでいる。

【0 1 3 3】

なお、上記態様において説明された技術は、例えば、以下のロボットシステムの類型において実現されうる。しかし、上記態様において説明された技術が実現されるロボットシステムの類型はこれらに限られるものでない。

【0 1 3 4】

以上、実施の形態にて本開示の処理について説明したが、各処理が実施される主体や装置に関しては特に限定しない。ローカルに配置された特定の装置内に組み込まれたプロセッサなど（以下に説明）によって処理されてもよい。またローカルの装置と異なる場所に配置されているクラウドサーバなどによって処理されてもよい。また、ローカルの装置とクラウドサーバ間で情報の連携を行うことで、本開示にて説明した各処理を分担してもよい。以下本開示の実施態様を説明する。

【0 1 3 5】

(1) 上記の装置は、具体的には、マイクロプロセッサ、ROM、RAM、ハードディスクユニット、ディスプレイユニット、キーボード、マウスなどから構成されるコンピュータシステムである。前記 RAM またはハードディスクユニットには、コンピュータプログラムが記憶されている。前記マイクロプロセッサが、前記コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、各装置は、その機能を達成する。ここでコンピュータプログラムは、所定の機能を達成するために、コンピュータに対する指令を示す命令コードが複数個組み合わされて構成されたものである。

【0 1 3 6】

(2) 上記の装置を構成する構成要素の一部または全部は、1 個のシステム L S I (Large Scale Integration: 大規模集積回路) から構成されているとしてもよい。システム L S I は、複数の構成部を 1 個のチップ上に集積して製造された超多機能 L S I であり、具体的には、マイクロプロセッサ、ROM、RAM などを含んで構成されるコンピュータシステムである。前記 RAM には、コンピュータプログラムが記憶されている。前記マイクロプロセッサが、前記コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、システム L S I は、その機能を達成する。

【0 1 3 7】

(3) 上記の装置を構成する構成要素の一部または全部は、各装置に脱着可能な I C カードまたは単体のモジュールから構成されているとしてもよい。前記 I C カードまたは前

10

20

30

40

50

記モジュールは、マイクロプロセッサ、ROM、RAMなどから構成されるコンピュータシステムである。前記ICカードまたは前記モジュールは、上記の超多機能LSIを含むとしてもよい。マイクロプロセッサが、コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、前記ICカードまたは前記モジュールは、その機能を達成する。このICカードまたはこのモジュールは、耐タンパ性を有するとしてもよい。

【0138】

(4) 本開示は、上記に示す方法であるとしてもよい。また、これらの方法をコンピュータにより実現するコンピュータプログラムであるとしてもよいし、前記コンピュータプログラムからなるデジタル信号であるとしてもよい。

【0139】

(5) また、本開示は、前記コンピュータプログラムまたは前記デジタル信号をコンピュータで読み取り可能な記録媒体、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、BD (Blu-ray (登録商標) Disc)、半導体メモリなどに記録したものとしてもよい。また、これらの記録媒体に記録されている前記デジタル信号であるとしてもよい。

【0140】

また、本開示は、前記コンピュータプログラムまたは前記デジタル信号を、電気通信回線、無線または有線通信回線、インターネットを代表とするネットワーク、データ放送等を経由して伝送するものとしてもよい。

【0141】

また、本開示は、マイクロプロセッサとメモリを備えたコンピュータシステムであって、前記メモリは、上記コンピュータプログラムを記憶しており、前記マイクロプロセッサは、前記コンピュータプログラムにしたがって動作するとしてもよい。

【0142】

また、前記プログラムまたは前記デジタル信号を前記記録媒体に記録して移送することにより、または前記プログラムまたは前記デジタル信号を、前記ネットワーク等を経由して移送することにより、独立した他のコンピュータシステムにより実施するとしてもよい。

【0143】

(6) 上記実施の形態及びその変形例をそれぞれ組み合わせるとしてもよい。

【0144】

最後に、移動ロボットおよび環境センサノードは、様々な形態が可能である。例えば、図2に示す移動ロボット100や環境センサノード120 (312-319) は屋内で使用されるが、これに限らない。例えば、移動ロボットが屋外の道路などを自動走行する車両の形態であってもよい。この場合、環境センサノードは、道路標識のように道路に沿って配置される、または、道路近傍の建物に設けられる。

【符号の説明】

【0145】

- 100 移動ロボット
- 101 外界センサ
- 102 内界センサ
- 103 動体・環境変化情報統合部
- 104 地図生成・自己位置推定部
- 105 地図情報データベース
- 106 経路計画部
- 107 制御部
- 108 アクチュエータ
- 109 通信部
- 120 環境センサノード
- 121 環境センサ

10

20

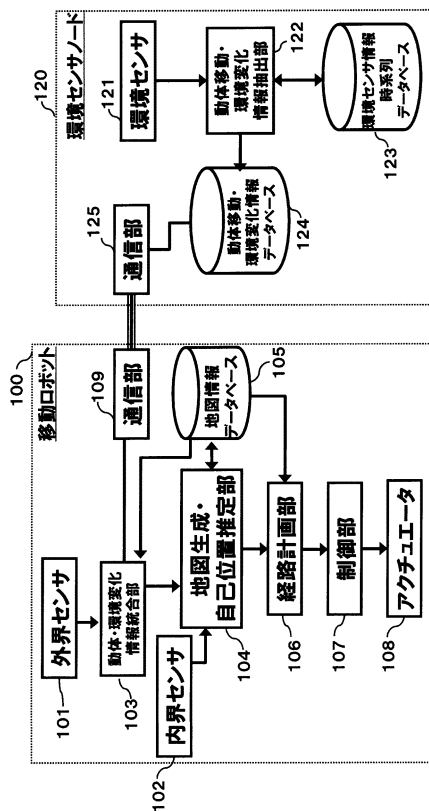
30

40

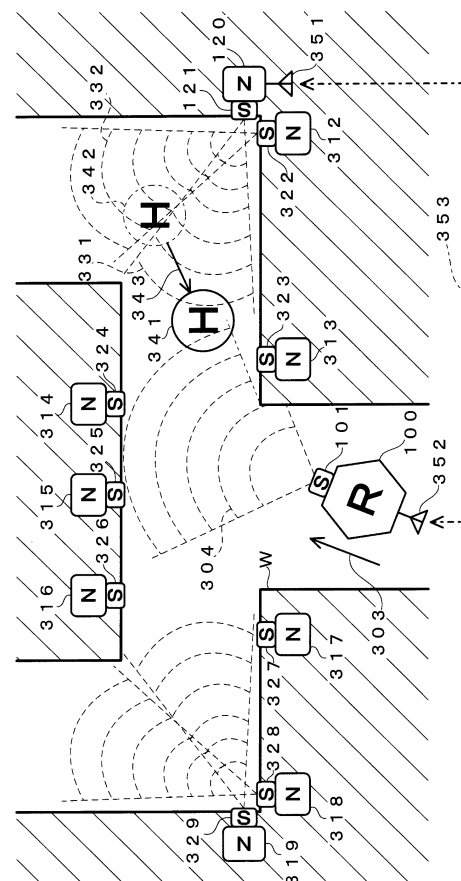
50

- 1 2 2 動体移動・環境変化情報抽出部
- 1 2 3 環境センサ情報時系列データベース
- 1 2 4 動体移動・環境変化情報データベース
- 1 2 5 通信部

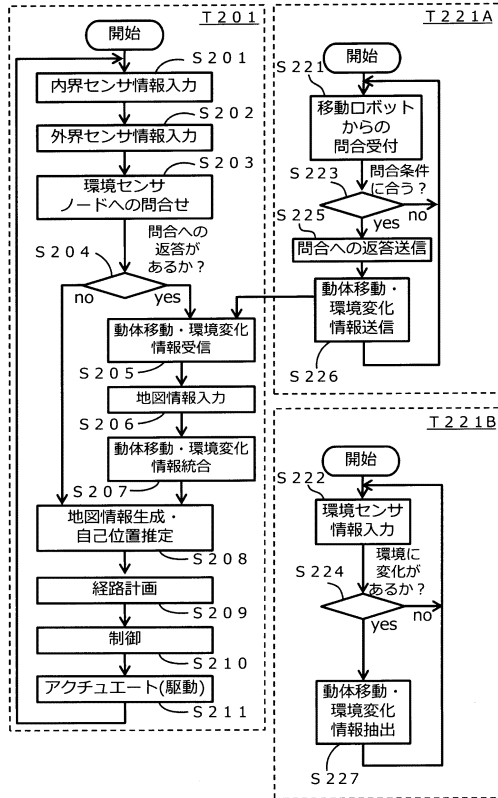
【図 1】



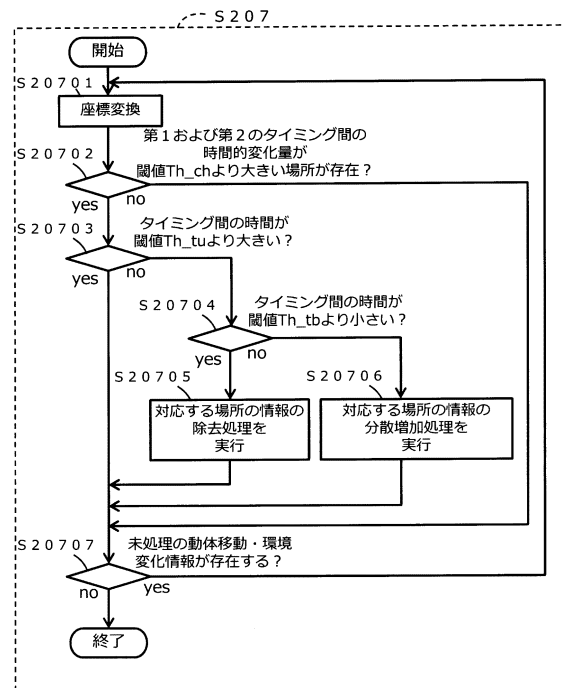
【図 2】



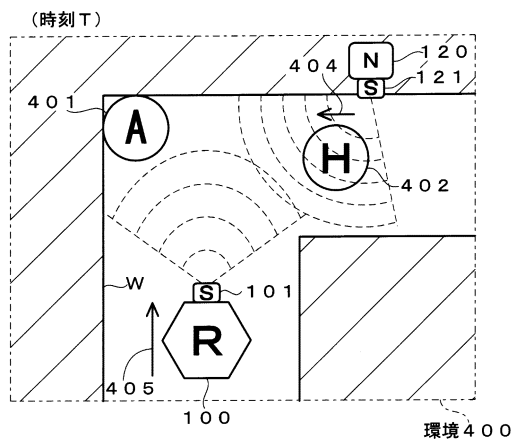
【図 3 A】



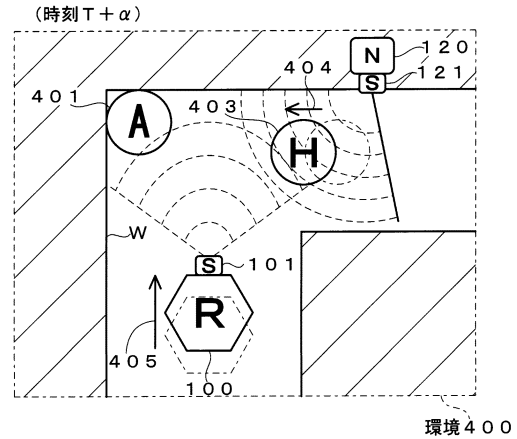
【図 3 B】



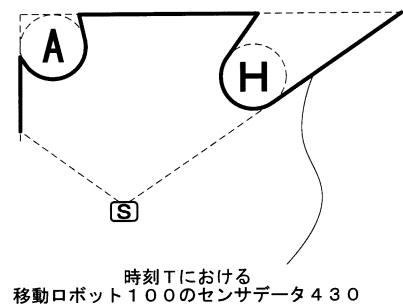
【図 4 A】



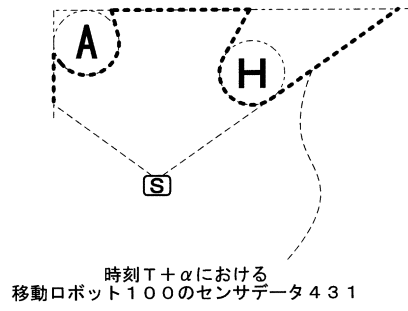
【図 4 B】



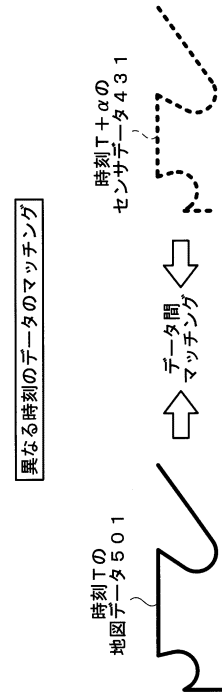
【図 4 C】



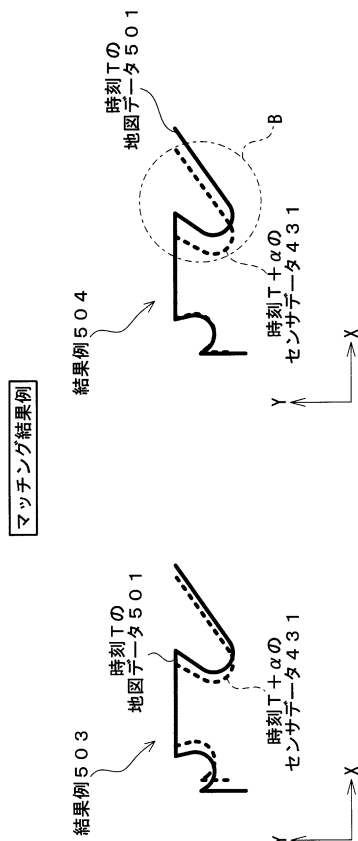
【図 4 D】



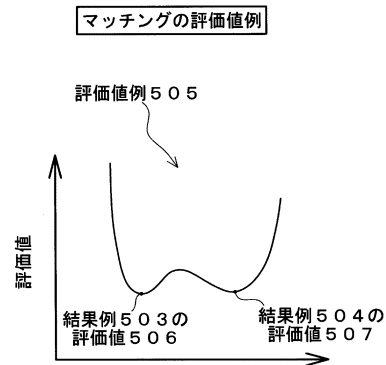
【図 5 A】



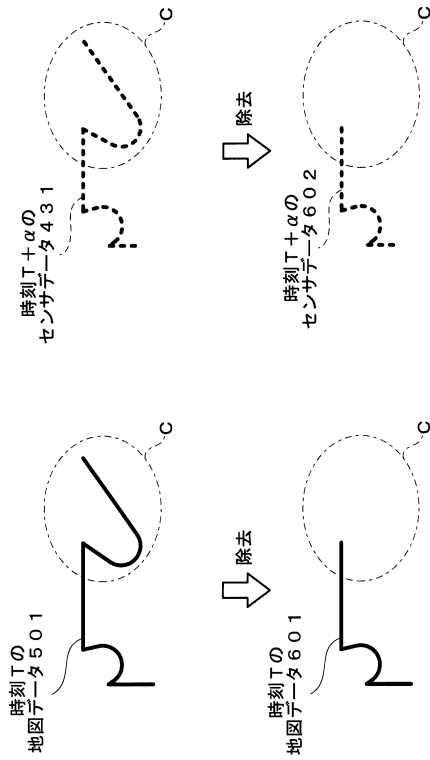
【図 5 B】



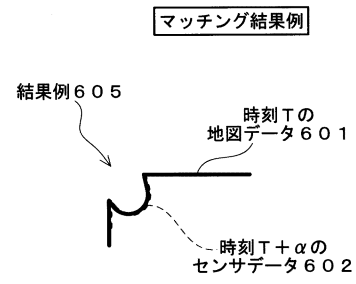
【図 5 C】



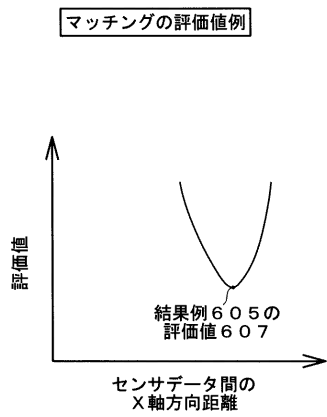
【図 6 A】



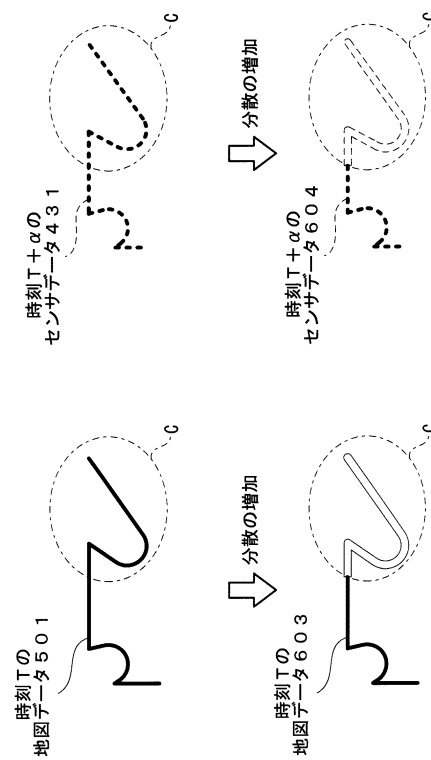
【図 6 B】



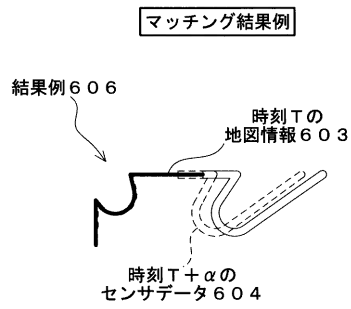
【図 6 C】



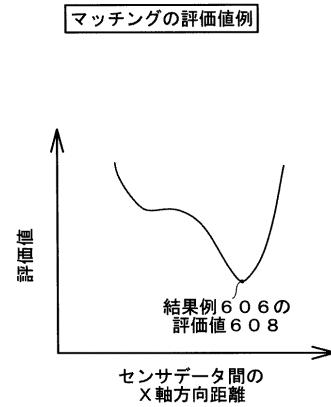
【図 7 A】



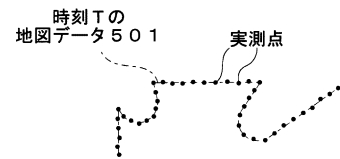
【図 7 B】



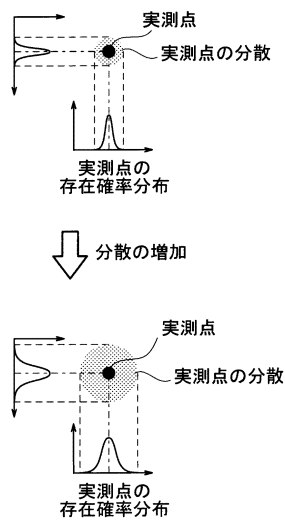
【図 7 C】



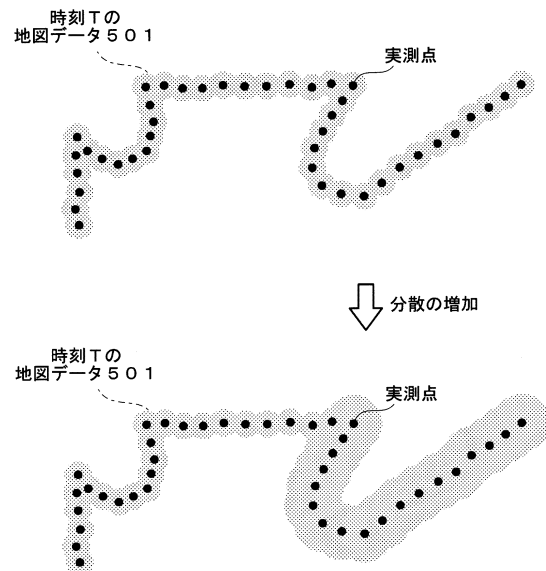
【図 8】



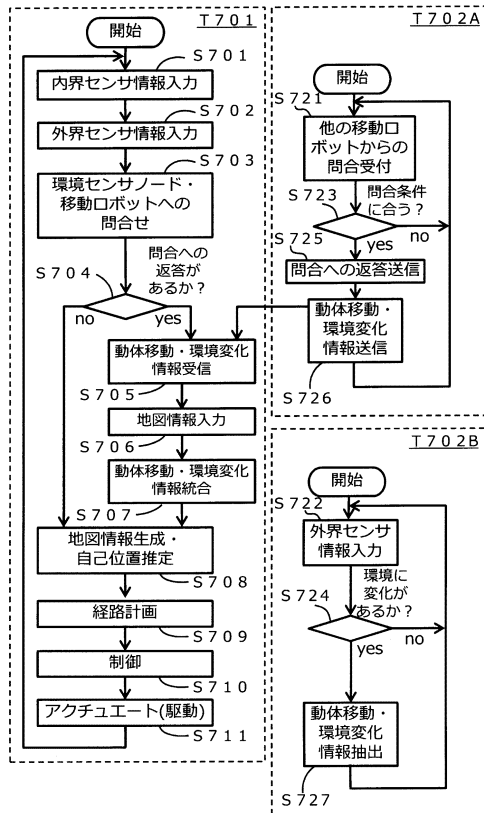
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

- (74)代理人 100132241
弁理士 岡部 博史
- (72)発明者 中田 洋平
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 竹内 一真
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 齊藤 雅彦
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 原田 尚幸
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 松井 修平
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 若杉 健介
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 堀内 亮吾

- (56)参考文献 特表2010-511957 (JP, A)
国際公開第2013/002067 (WO, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G05D 1/00- 1/12