

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年7月16日(16.07.2020)



(10) 国際公開番号

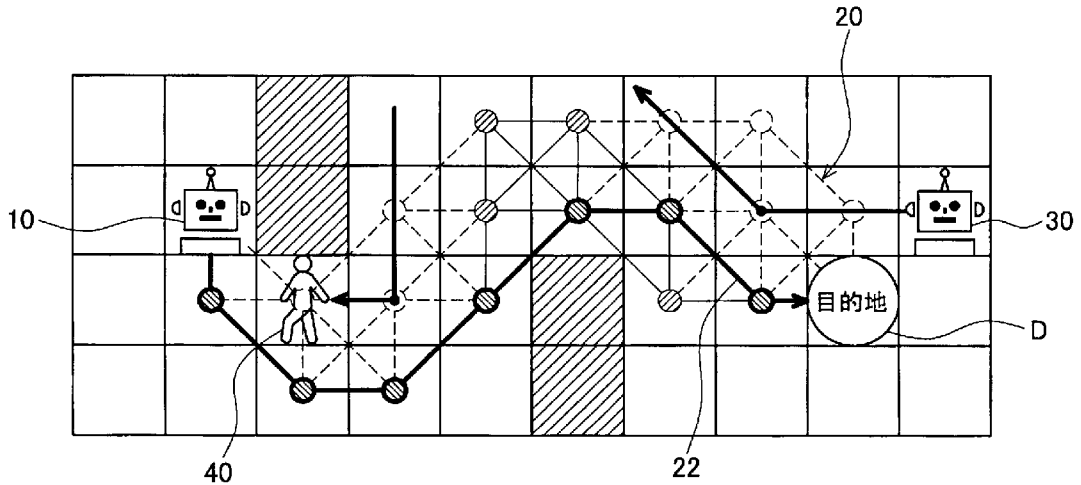
WO 2020/144970 A1

- (51) 国際特許分類:
G05D 1/02 (2020.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/046931
- (22) 国際出願日: 2019年12月2日(02.12.2019)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2019-003276 2019年1月11日(11.01.2019) JP
- (71) 出願人: ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 前田 啓輔 (MAEDA, Keisuke); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人酒井国際特許事務所 (SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎の門三井ビルディング Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(54) Title: ACTION PLANNING DEVICE, ACTION PLANNING METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 行動計画装置、行動計画方法、及びプログラム

[図1B]



(57) Abstract: In order to control the action of a robotic device, an action planning device is equipped with an action planning unit that, on the basis of a map of the outside world, creates a higher-level action plan which includes an optimal solution for achieving an action target and with which a suboptimal solution different from the optimal solution can be derived.

(57) 要約: ロボット装置の行動を制御するために、行動目標を達成する最適解を含み、かつ前記最適解と異なる準最適解を導出可能な上位行動計画を外界地図に基づいて作成する行動計画部を備える、行動計画装置。



WO 2020/144970 A1

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称： 行動計画装置、行動計画方法、及びプログラム

技術分野

[0001] 本開示は、行動計画装置、行動計画方法、及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] 一般的に、ロボット装置では、行動目標を達成するために、外界地図に基づいて行動計画を作成し、作成した行動計画に基づいて行動している。

[0003] 例えば、ロボット装置が目的地に移動しようとする場合、まず、ロボット装置は、センサ等で障害物を観測することで、障害物の存在確率をマッピングした外界地図を作成する。次に、ロボット装置は、グラフ探索アルゴリズム等を用いて、障害物の存在確率が高い障害物領域を避ける最適な移動経路を探索し、探索された最適な移動経路を移動する行動計画を作成する。これにより、ロボット装置は、作成した行動計画に基づいて行動することで、障害物を避けて目的地に移動することができる。

[0004] 例えば、下記の特許文献1には、観測した障害物の情報を環境情報地図に重ね合わせた統合マップを作成し、該統合マップ上で、障害物を回避しつつ予め定められた経路に沿ってロボット装置を移動させる最適パスを探索することが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2007-249632号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかし、外界地図の領域内に、位置が変動する動的な障害物（例えば、移動可能な他のロボット装置など）が存在する場合、時間経過に伴って障害物領域の位置が変動してしまうことがある。このような場合、行動計画の作成時には通行可能であった外界地図の領域がロボット装置の実際の移動時には

通行不可となってしまいます。これにより、ロボット装置は、行動計画を再度作成することになるため、ロボット装置の円滑な行動が困難となることがあった。

[0007] そこで、外界環境が変動した場合でも行動計画を再作成することなく、ロボット装置に円滑な行動を実行させることを可能にする技術が求められていた。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示によれば、ロボット装置の行動を制御するために、行動目標を達成する最適解を含み、かつ前記最適解と異なる準最適解を導出可能な上位行動計画を外界地図に基づいて作成する行動計画部を備える、行動計画装置が提供される。

[0009] また、本開示によれば、ロボット装置の行動を制御するために、演算装置を用いて、行動目標を達成する最適解を含み、かつ前記最適解と異なる準最適解を導出可能な上位行動計画を外界地図に基づいて作成する、行動計画方法が提供される。

[0010] さらに、本開示によれば、コンピュータを、ロボット装置の行動を制御するために、行動目標を達成する最適解を含み、かつ前記最適解と異なる準最適解を導出可能な上位行動計画を外界地図に基づいて作成する行動計画部として機能させる、プログラムが提供される。

図面の簡単な説明

[0011] [図1A]目的地への移動のためにロボット装置が作成した上位行動計画の一例を示す説明図である。

[図1B]目的地への移動の際に、ロボット装置の実際の制御に用いられた下位行動計画の一例を示す説明図である。

[図2]本開示の一実施形態に係る制御装置の機能構成を示すブロック図である。

[図3]複数の行動計画を含む上位行動計画を説明する説明図である。

[図4]複数の経路に基づいて作成された分布を有する上位行動計画を説明する

説明図である。

[図5A]最適経路に基づいて作成された分布を有する上位行動計画を説明する説明図である。

[図5B]最適経路に基づいて作成された分布を有する上位行動計画を説明する説明図である。

[図6A]上位行動計画部による行動計画の作成の流れの前半を示すフローチャート図である。

[図6B]上位行動計画部による行動計画の作成の流れの後半を示すフローチャート図である。

[図7]同実施形態の変形例に係る制御装置の機能構成を示すブロック図である。

[図8A]ロボット装置及び連携ロボット装置のそれぞれの上位行動計画を示す説明図である。

[図8B]ロボット装置及び連携ロボット装置のそれぞれの下位行動計画を示す説明図である。

[図9]本開示の一実施形態に係る制御装置のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下に添付図面を参照しながら、本開示の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

[0013] なお、説明は以下の順序で行うものとする。

1. 本開示に係る技術の概要
2. 制御装置の構成例
3. 制御装置の動作例
4. 変形例
5. ハードウェア構成例

6. まとめ

[0014] < 1. 本開示に係る技術の概要 >

まず、図 1 A 及び図 1 B を参照して、本開示に係る技術の概要について説明する。

[0015] なお、以下では、ロボット装置の行動として、ロボット装置の目的地への移動を例示するが、本開示に係る技術は、以下の例示に限定されない。本開示に係る技術は、目的地への移動以外のロボット装置の多様な行動に対しても適用することが可能である。また、ロボット装置は、移動可能な移動体、又はマニピュレータ装置であってもよく、他の様態のロボット装置であってもよい。

[0016] 本開示に係る技術は、ロボット装置の行動を制御するために、行動目標を達成する最適解を含み、かつ最適解と異なる準最適解を導出可能な上位行動計画を作成するものである。具体的には、上位行動計画は、一義的に定まっておらず、複数の選択肢又は分布を有する行動計画である。ロボット装置を実際に行動させる際には、このような上位行動計画に基づいて、ロボット装置の行動を一義的に定める下位行動計画が作成される。

[0017] 本開示に係る技術では、複数の選択肢又は分布を有する上位行動計画をあらかじめ作成しておくことにより、急激な外界環境の変化、又は障害物の位置の変化等が発生した場合でも、上位行動計画を再作成せずともロボット装置の行動を制御することができる。すなわち、上位行動計画から複数の行動計画を導出可能であるため、ロボット装置は、行動時の外界環境に応じて、上位行動計画の中から適切な行動計画を下位行動計画として導出することができる。

[0018] ここで、図 1 A 及び図 1 B を参照して、本開示に係る技術をより具体的に説明する。図 1 A は、目的地への移動のためにロボット装置が作成した上位行動計画の一例を示す説明図である。図 1 B は、目的地への移動の際に、ロボット装置の実際の制御に用いられた下位行動計画の一例を示す説明図である。

- [0019] 例えば、図1Aに示すように、ロボット装置10が目的地Dへ移動する場合、まず、ロボット装置10は、外界の環境情報に基づいて、2次元の行列データである外界地図を作成する。次に、ロボット装置10は、作成した外界地図に対して、ダイクストラ法又はA*アルゴリズム等のグラフ探索アルゴリズムを適用することで、目的地Dまでの最適解である最適経路21を探索する。
- [0020] このとき、本開示に係る技術では、ロボット装置10は、最適経路21に加えて、準最適解を含む複数の経路群20を探索し、最適経路21及び複数の経路群20を含む上位行動計画を作成する。
- [0021] 次に、ロボット装置10は、上位行動計画の中から、実際にロボット装置10の行動を制御する下位行動計画を導出し、下位行動計画に基づいて目的地Dへ移動する。
- [0022] ただし、図1Bに示すように、ロボット装置10が実際に行動する時には、上位行動計画を作成した時には存在しなかった他のロボット装置30及び人40等の動的な障害物が上位行動計画の範囲に入り込んでしまうことがあり得る。
- [0023] 本開示に係る技術では、ロボット装置10は、ロボット装置10が実際に行動する時の外界の環境情報に基づいて、上位行動計画の中から動的な障害物を回避する適切な移動経路22を導出することができる。これによれば、ロボット装置10は、外界環境が変動した場合であっても上位行動計画を再作成することなく、上位行動計画の中から適切な下位行動計画を導出し、下位行動計画に基づいて行動を制御することができる。
- [0024] なお、上位行動計画は、図1A及び図1Bに示すような、最適経路21及び複数の経路群20を含む行動計画でなくともよい。例えば、上位行動計画は、分布又は許容幅を有する行動計画であってもよい。具体的には、上位行動計画は、ロボット装置10の取り得る位置及び姿勢を重み付けによる分布で表した行動計画であってもよい。このような場合、下位行動計画は、上位行動計画にて定められた分布又は許容幅の範囲内で、重み付けを考慮して作

成されることになる。

[0025] 上述したように、本開示に係る技術では、ロボット装置10は、最適解以外の準最適解を含む一義的に定められていない上位行動計画を作成することで、外界環境に応じて、上位行動計画の中から適切な下位行動計画を導出することが可能である。

[0026] したがって、本開示に係る技術は、ロボット装置10の行動計画を外部環境に対して、より頑強にすることが可能である。また、本開示に係る技術は、外部環境の変動を検出してからロボット装置10が行動計画を再作成する場合よりも、行動計画の作成に掛かる計算量を低減することが可能である。さらに、行動計画を再作成する際にロボット装置は行動を一時停止することになるが、本開示に係る技術によれば、このようなロボット装置の行動の一時停止を防止することが可能である。したがって、本開示に係る技術は、ロボット装置10をより円滑に行動させることが可能である。

[0027] <2. 制御装置の構成例>

次に、図2を参照して、上記で概要を説明した本開示の一実施形態に係る制御装置100の構成例について説明する。図2は、本実施形態に係る制御装置100の機能構成を示すブロック図である。

[0028] 図2に示すように、制御装置100は、入力部230から入力された行動目標を達成するために、センサ部210にて取得された環境情報に基づいて駆動部220を制御する制御装置である。これにより、制御装置100は、ロボット装置10の行動を制御することができる。例えば、制御装置100は、認識部110と、地図作成部120と、計画用地図作成部130と、行動計画部140と、駆動制御部150と、を備える。

[0029] なお、制御装置100は、センサ部210及び駆動部220と共にロボット装置10の内部に備えられてもよい。または、制御装置100は、ネットワーク等を介してロボット装置10と情報の送受信を行うことで、ロボット装置10の外部に備えられてもよい。

[0030] センサ部210は、ロボット装置10の外界の環境情報を取得するセンサ

と、ロボット装置10の自機情報を取得するセンサと、を含む。例えば、センサ部210は、ロボット装置10の外界の環境情報を取得するセンサとして、RGBカメラ、グレースケールカメラ、ステレオカメラ、デプスカメラ、赤外線カメラ、又はToF (Time of Flight) カメラ等の各種カメラを含んでもよい。また、センサ部210は、ロボット装置10の外界の環境情報を取得するセンサとして、LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) センサ、又はRADAR (Radio Detecting and Ranging) センサなどの各種測距センサを含んでもよい。さらに、センサ部210は、ロボット装置10の外界の環境情報を取得するセンサとして、マイクロフォン、照度計、温度計、又は湿度計などのセンサを含んでもよい。一方、センサ部210は、ロボット装置10の自機情報を取得するセンサとして、例えば、エンコーダ、電圧計、電流計、歪みゲージ、圧力計、又はIMU (Inertial Measurement Unit) 等を含んでもよい。

[0031] ただし、センサ部210は、ロボット装置10の周囲の環境情報、又はロボット装置10の自機情報を取得することができれば、上述したセンサ以外の公知のセンサを含んでもよいことは言うまでもない。

[0032] 認識部110は、センサ部210が取得した情報に基づいて、ロボット装置10の外界の環境状態、又はロボット装置10の自機状態を認識する。具体的には、認識部110は、センサ部210が取得した環境情報に基づいて、障害物認識、形状認識、物体認識、マーカ認識、文字認識、白線認識、車線認識、又は音声認識を行うことで、ロボット装置10の外界の環境状態を認識してもよい。また、認識部110は、センサ部210が取得した自機情報に基づいて、位置認識、運動状態（速度、加速度、ジャーク、角速度又は角加速度等）認識、又は機体状態（電源残量、温度又は関節角等）認識を行うことで、ロボット装置10の自機状態を認識してもよい。

[0033] 認識部110による上記の認識は、いずれも公知の認識技術を用いることで行うことができる。認識部110による認識は、例えば、所定のルールに

基づいて行われてもよく、機械学習アルゴリズムに基づいて行われてもよい。

[0034] 地図作成部120は、認識部110による認識結果である外界の環境状態に基づいて、外界の環境を示す地図を作成する。地図作成部120は、例えば、ロボット装置10が通過可能な領域を示す障害物地図若しくは移動領域地図、種々の物体の存在位置を示す物体地図、又は各領域の名称、関連性若しくは意味づけを示すトポロジー地図を作成してもよい。

[0035] より具体的には、地図作成部120は、移動可能領域及び障害物領域、並びに各領域の移動コストを表現した移動用地図を作成してもよく、物体又は場所の名称、位置、形状及び存在領域を表現した物体地図を作成してもよく、場所同士の接続及び通行方向を表現したトポロジー地図を作成してもよく、場所同士を接続する通路領域の位置、道幅、傾斜及び曲率等を表現した道路地図を作成してもよい。なお、地図作成部120は、用途、種類又は条件に応じて、複数の異なる種類の地図を作成してもよい。

[0036] 計画用地図作成部130は、地図作成部120が作成した外界の環境を示す地図と、ロボット装置10の自機情報とに基づいて、ロボット装置10の行動計画を作成するために必要な情報を該地図に埋め込んだ行動計画用地図を作成する。具体的には、計画用地図作成部130は、外界の環境を示す地図に含まれる領域及び物体の各々がロボット装置10に対してどのような意味を有するのかを判断し、判断した意味付けを該地図に埋め込むことで、行動計画用地図を作成する。

[0037] 例えば、計画用地図作成部130は、ロボット装置10の機体特性又は行動特性に応じた評価情報を外界の環境を示す地図に埋め込むことで、行動計画用地図を作成することができる。このような行動計画用地図を用いることによって、後段の行動計画部140は、ロボット装置10の機体特性又は行動特性に応じた行動計画を作成することができる。なお、計画用地図作成部130は、用途、種類又は条件に応じて、複数の異なる種類の行動計画用地図を作成してもよい。

- [0038] 例えば、ロボット装置10が車輪型のロボット装置である場合、計画用地図作成部130は、地表に水たまり又は穴が存在する地図領域を通行不可領域と設定することができる。例えば、ロボット装置10が防水仕様の脚式ロボット装置である場合、計画用地図作成部130は、地表に水たまり又は穴が存在する地図領域を通行可能領域と設定することができる。例えば、ロボット装置10がドローンなどの飛行体である場合、計画用地図作成部130は、ロボット装置10の飛行可能高度よりも低い位置に障害物が存在する地図領域を通行可能領域と設定することができる。
- [0039] 入力部230は、ユーザからの入力に基づいて、ロボット装置10の行動目標を出力する。具体的には、入力部230は、ユーザからロボット装置10の目的地が入力された場合、行動目標として、「目的地への移動」という行動目標を出力してもよい。入力部230は、例えば、タッチパネル、キーボード、マウス、ボタン、マイクロフォン、スイッチ又はレバーなどのユーザによって情報が入力される入力装置と、入力された情報に基づいて入力信号を生成する入力制御回路と、を含んで構成されてもよい。
- [0040] 入力部230から出力された行動目標は、行動計画部140に入力される。例えば、「目的地への移動」という行動目標は、目的地の場所、目的地におけるロボット装置10の運動状態、目的地に到達する時刻、及び目的地までの経路上の障害物との間の相対距離などを含んでもよい。
- [0041] なお、ロボット装置10は、画像又は文字によって、ユーザに対して情報を提供する表示部をさらに備えてもよい。表示部は、画像又は文字によって、実行可能な行動、行動目標を設定するための地図、又は行動目標を達成するための行動計画等をユーザに提示することができる。これによれば、ユーザは、ロボット装置10により適切な行動目標を与えることが可能となる。
- [0042] 行動計画部140は、計画用地図作成部130にて作成された行動計画用地図と、認識部110にて認識されたロボット装置10の自機状態とに基づいて、行動目標を達成する行動計画を作成する。具体的には、行動計画部140は、上位行動計画部141と、下位行動計画部142と、を含み、上位

行動計画部 141、及び下位行動計画部 142 の各々によって段階的に行動計画を作成する。

[0043] なお、行動目標は、ユーザによって入力部 230 に入力された行動目標であってもよく、あらかじめ制御装置 100 の記憶領域に保存された行動目標であってもよい。

[0044] 上位行動計画部 141 は、行動目標を達成するために、計画用地図作成部 130 にて作成された行動計画用地図と、認識部 110 にて認識されたロボット装置 10 の自機状態とに基づいて、大局的な行動計画である上位行動計画を作成する。具体的には、上位行動計画は、最適解を含み、複数の選択肢又は分布を有する行動計画である。上位行動計画部 141 は、一義的に定められておらず、変更可能な許容幅を持たせた上位行動計画を作成することで、外界環境の変動に対して、ロボット装置 10 の行動計画の頑強性を向上させることができる。例えば、上位行動計画部 141 は、行動目標が達成された状態にロボット装置 10 の自機状態を遷移させるための行動のリストを作成してもよい。

[0045] ここで、図 3～図 5 B を参照して、上位行動計画部 141 によって作成される上位行動計画の一例について説明する。

[0046] 例えば、図 3 は、複数の行動計画を含む上位行動計画を説明する説明図である。図 3 において、行動計画用地図は、2次元の障害物地図であり、行動目標は、ロボット装置 10 の目的地 D への到達である。

[0047] このような上位行動計画を作成する場合、上位行動計画部 141 は、障害物地図の各グリッドをノードとし、隣接グリッドをエッジで接続したグラフ構造を作成し、該グラフ構造に対してグラフ探索アルゴリズムを使用することによって、目的地 D への到達経路を探索する。すなわち、上位行動計画部 141 は、「どのグリッドを順に移動すれば目的地 D へ到達することができるのか」を探索することで、最適解である最適経路 21 を探索することができる。

[0048] また、本実施形態では、上位行動計画部 141 は、最適経路 21 に加えて

、複数の準最適解を探索することで、目的地Dへ到達する複数の経路を含む経路群20を探索する。これにより、上位行動計画部141は、目的地Dまでの最適経路21と、準最適解である複数の経路を含む経路群20とをまとめることで、複数の経路を含む上位行動計画を作成することができる。したがって、後述する下位行動計画部142は、予期しない動的な障害物が最適経路21に入り込んだ場合に、該障害物を回避するような経路を経路群20から導出することができる。

[0049] 経路群20に含まれる複数の経路の数は、ユーザによって設定されてもよいが、行動計画用地図に基づいて制御装置100によって設定されてもよい。例えば、動的な障害物が多数存在する外界環境、又は障害物が多く視界を確保しにくい外界環境では、導出される下位行動計画のフレキシビリティを高めるために、経路群20に含まれる複数の経路の数は、より多く設定されてもよい。

[0050] 例えば、図4は、複数の経路に基づいて作成された分布を有する上位行動計画を説明する説明図である。図4において、図3と同様に、行動計画用地図は、2次元の障害物地図であり、行動目標は、ロボット装置10の目的地Dへの到達である。

[0051] このような上位行動計画を作成する場合、まず、上位行動計画部141は、グラフ探索アルゴリズムを使用することによって、目的地Dに到達する経路群20を探索する。次に、上位行動計画部141は、経路群20の各経路上に一定間隔で配置した点を中心としたガウス分布を求め、該ガウス分布をコストの逆数で重み付けすることで（すなわち、低コストであるほど比重が大きくなるように重み付けすることで）加重平均分布を求める。これにより、上位行動計画部141は、分布を有する上位行動計画23を作成することができる。したがって、後述する下位行動計画部142は、行動を実行する際の外界環境に応じて、分布の範囲内で適切な経路を上位行動計画23から導出することができる。

[0052] 分布を有する上位行動計画23を導出する際に使用されるガウス分布の広

がりは、ユーザによって設定されてもよいが、行動計画用地図に基づいて制御装置100によって設定されてもよい。例えば、動的な障害物が多数存在する外界環境、又は障害物が多く視界を確保しにくい外界環境では、導出される下位行動計画のフレキシビリティを高めるために、ガウス分布の広がり、より大きくなるよう設定されてもよい。

[0053] 例えば、図5A及び図5Bは、最適経路に基づいて作成された分布を有する上位行動計画を説明する説明図である。図5A及び図5Bにおいて、図3と同様に、行動計画用地図は、2次元の障害物地図であり、行動目標は、ロボット装置10の目的地Dへの到達である。

[0054] このような上位行動計画を作成する場合、図5Aに示すように、まず、上位行動計画部141は、グラフ探索アルゴリズムを使用することによって、目的地Dに到達する単一の最適経路21を探索する。次に、図5Bに示すように、上位行動計画部141は、最適経路21から最適経路21の進行方向と垂直方向に広がるガウス分布を設定し、これらのガウス分布を重ね合わせる。これにより、上位行動計画部141は、分布を有する上位行動計画24を作成することができる。したがって、後述する下位行動計画部142は、行動を実行する際の外界環境に応じて、分布の範囲内で適切な経路を上位行動計画24から導出することができる。

[0055] 分布を有する上位行動計画24を導出する際に使用されるガウス分布の広がり、ユーザによって設定されてもよいが、行動計画用地図に基づいて制御装置100によって設定されてもよい。例えば、動的な障害物が多数存在する外界環境、又は障害物が多く視界を確保しにくい外界環境では、導出される下位行動計画のフレキシビリティを高めるために、ガウス分布の広がり、より大きくなるよう設定されてもよい。

[0056] また、ガウス分布の広がり、最適経路21の位置ごとに変化するよう設定されてもよい。例えば、動的な障害物の近傍の領域では、導出される下位行動計画のフレキシビリティを高めるために、ガウス分布の広がり、より大きくなるよう設定されてもよい。また、移動の開始点及び目的地D付

近の領域では、拘束条件が多いため、ガウス分布の広がりは、より小さくなるように設定されてもよい。

[0057] なお、上記では、分布を有する上位行動計画 23、24 の導出にガウス分布を用いたが、本実施形態は、かかる例示に限定されない。上位行動計画部 141 は、ガウス分布以外の分布を用いて上位行動計画 23、24 を作成してもよい。

[0058] 下位行動計画部 142 は、計画用地図作成部 130 にて作成された行動計画用地図と、認識部 110 にて認識されたロボット装置 10 の自機状態とに基づいて、上位行動計画からロボット装置 10 の制御に実際に用いられる下位行動計画を作成する。具体的には、下位行動計画は、一義的に定められた行動計画であり、複数の選択肢又は分布を有する上位行動計画の中から導出される。下位行動計画部 142 は、ロボット装置 10 が実際に行動する際の外界環境の情報に基づいて、上位行動計画の中からロボット装置 10 の制御に用いられる下位行動計画を作成する。これによれば、下位行動計画部 142 は、ロボット装置 10 が実際に行動する際の外界環境に応じて、適切な行動計画をフレキシブルに作成することができる。例えば、下位行動計画部 142 は、上位行動計画の途中状態にロボット装置 10 の自機状態を遷移させるための行動のリストを作成してもよい。

[0059] 例えば、図 3 を参照して説明したように、上位行動計画が複数の経路を含む行動計画である場合、下位行動計画部 142 は、複数の選択肢を有する上位行動計画の中から、評価関数を用いて最適な経路を選択し、該経路に追従するための下位行動計画を作成してもよい。

[0060] また、図 4 ~ 図 5 B を参照して説明したように、上位行動計画が分布を有する行動計画である場合、下位行動計画部 142 は、評価関数を用いて上位行動計画の分布の中で最適な経路を選択し、該経路に追従するための下位行動計画を作成してもよい。このような場合、下位行動計画部 142 は、上位行動計画の分布外の領域に極めて高いコストを設定してグラフ探索アルゴリズムを用いることで、適切な下位行動計画を作成することができる。

- [0061] 下位行動計画部142が上位行動計画から下位行動計画を作成する際の評価関数としては、例えば、ロボット装置10の自機状態の追従可能性、ロボット装置10と障害物との衝突可能性、又は過去に選択した行動履歴との近さなどを用いることが可能である。
- [0062] また、下位行動計画部142は、上位行動計画から下位行動計画を作成する際の評価関数として、最適解の行動計画からのずれの大きさをを用いることが可能である。このような場合、下位行動計画部142は、最適解の行動計画からのずれがより小さくなるように、上位行動計画から下位行動計画を作成することができる。
- [0063] ここで、下位行動計画部142は、上位行動計画部141と比較して、行動計画の作成周期、又は行動計画の作成範囲の少なくともいずれか1つ以上が異なってもよい。
- [0064] 例えば、下位行動計画部142は、上位行動計画部141よりも空間的又は時間的に局所の範囲の行動計画を作成してもよい。これによれば、下位行動計画部142は、上位行動計画の途中状態を目標として下位行動計画を作成することができるため、予測される外界環境ではなく、実際の外界環境により則した行動計画を作成することができる。
- [0065] また、下位行動計画部142は、上位行動計画部141よりも短い周期で行動計画を作成してもよい。これによれば、下位行動計画部142は、より短い周期で行動計画を作成することで、変動する自機状態及び外界環境により則した行動計画を作成することができる。また、下位行動計画部142は、より短い周期で行動計画を作成することで、動的な障害物を回避する下位行動計画をより容易に作成することができるようになる。
- [0066] さらに、下位行動計画部142は、静的な対象を考慮して作成された上位行動計画から、動的な対象を考慮して下位行動計画を作成してもよい。これによれば、上位行動計画部141及び下位行動計画部142の間で、考慮する対象を分担することができるため、上位行動計画部141及び下位行動計画部142の全体での計算量を削減することができる。

[0067] なお、上位行動計画部 141 及び下位行動計画部 142 の各々は、行動方針、長期的行動又は短期的行動などの階層構造を有する行動計画を作成してもよい。また、上位行動計画部 141 及び下位行動計画部 142 の各々は、並行して実行される複数の行動計画を生成してもよい。例えば、上位行動計画部 141 及び下位行動計画部 142 の各々は、広域のトポロジカル地図を用いたトポロジカル経路計画、観測範囲の障害物を用いた座標経路計画、又はロボット装置 10 が実行するダイナミクスを含む運動計画をそれぞれ並行して生成してもよい。

[0068] 駆動制御部 150 は、行動計画部 140 の下位行動計画部 142 が作成した下位行動計画と、ロボット装置 10 の自機状態とに基づいて、下位行動計画に沿った行動をロボット装置 10 に行わせる制御指令を駆動部 220 に出力する。具体的には、駆動制御部 150 は、下位行動計画にて計画されるロボット装置 10 の状態と、ロボット装置 10 の現在の自機状態との誤差を検出し、検出された誤差を縮小させる制御指令を駆動部 220 に出力してもよい。なお、駆動制御部 150 は、駆動部 220 に出力する制御指令を階層的に生成してもよい。

[0069] 駆動部 220 は、駆動制御部 150 からの制御指令に基づいて駆動し、ロボット装置 10 に下位行動計画に沿った行動を実行させる。具体的には、駆動部 220 は、実空間への出力を行うモジュールである。例えば、駆動部 220 は、エンジン、モータ、スピーカ、プロジェクタ、ディスプレイ、又は発光器（例えば、電球、LED 又はレーザ等）などであってもよい。

[0070] 以上の構成によれば、制御装置 100 は、複数の選択肢又は分布を有する上位行動計画、及び一義的に定められた下位行動計画の 2 段階に分けて、ロボット装置 10 の行動計画を作成することができる。これによれば、制御装置 100 は、外界環境が変動した場合に、上位行動計画を再作成することなく、空間的又は時間的に局所の下位行動計画を作成すればよいため、より円滑にロボット装置 10 の行動を制御することができる。

[0071] <3. 制御装置の動作例>

続いて、図6A及び図6Bを参照して、本実施形態に係る制御装置100の動作例について説明する。図6Aは、上位行動計画部141による行動計画の作成の流れの前半を示すフローチャート図であり、図6Bは、上位行動計画部141による行動計画の作成の流れの後半を示すフローチャート図である。

[0072] なお、認識部110、地図作成部120、計画用地図作成部130、及び駆動制御部150による動作については、一般的な動作の流れと実質的に同様であるため、ここでの説明は省略する。

[0073] 図6Aに示すように、まず、上位行動計画部141は、経路集合Pを空に変更する(S101)。次に、上位行動計画部141は、ノード集合Vに含まれるすべてのノードuの到達経路数 c_u を0に変更する(S103)。続いて、上位行動計画部141は、スタートノードsへの経路 $P_s = \{s\}$ を探索候補リストBにコスト0で追加する(S105)。その後、上位行動計画部141は、探索候補リストBの中で最小コストCの経路 P_u を選択し(S107)、探索候補リストBから経路 P_u を削除する(S109)。そして、上位行動計画部141は、経路 P_u の先端ノードtの到達経路数 c_t を1増加させる(S111)。

[0074] ここで、上位行動計画部141は、先端ノードtがゴールノードgと一致したか否かを判断する(S113)。先端ノードtがゴールノードgと一致した場合(S113/Yes)、上位行動計画部141は、経路集合Pに経路 P_u を追加する(S115)。一方、先端ノードtがゴールノードgと一致しない場合(S113/No)、上位行動計画部141は、経路集合Pに経路 P_u を追加しない。

[0075] 次に、図6Bに示すように、上位行動計画部141は、先端ノードtへの到達経路数は、閾値K以下であるか否かを判断する(S117)。先端ノードtへの到達経路数が閾値K以下である場合(S117/Yes)、上位行動計画部141は、先端ノードtの隣接ノードvが経路 P_u に含まれているか否かを判断する(S119)。

- [0076] 先端ノード t の隣接ノード v が経路 P_u に含まれていない場合 (S 1 1 9 / N o) 、上位行動計画部 1 4 1 は、先端ノード t から隣接ノード v までのエッジ (u, v) を経路 P_u に連結して経路 P_v とする (S 1 2 1) 。次に、上位行動計画部 1 4 1 は、コスト C にエッジ (u, v) の移動コスト $w(u, v)$ を加えたコストにて、経路 P_v を探索候補リスト B に追加する (S 1 2 3) 。その後、上位行動計画部 1 4 1 は、先端ノード t に未処理の隣接ノード v があるか否かを判断する (S 1 2 5) 。なお、先端ノード t の隣接ノード v が経路 P_u に含まれている場合 (S 1 1 9 / Y e s) 、上位行動計画部 1 4 1 は、ステップ S 1 2 1 及び S 1 2 3 を省略して、ステップ S 1 2 5 の判断を行う。
- [0077] 未処理の隣接ノード v が存在する場合 (S 1 2 5 / Y e s) 、上位行動計画部 1 4 1 は、ステップ S 1 1 9 に戻って、未処理の隣接ノード v についてステップ S 1 1 9 以降の処理を行う。未処理の隣接ノード v が存在しない場合 (S 1 2 5 / N o) 、又はステップ S 1 1 7 の判断において先端ノード t への到達経路数が閾値 K を超えている場合 (S 1 1 7 / N o) 、上位行動計画部 1 4 1 は、探索候補リスト B が空ではなく、かつゴールノード g への到達経路数 c_g が閾値 K 以下であるか否かを判断する (S 1 2 7) 。
- [0078] 探索候補リスト B が空ではなく、かつゴールノード g への到達経路数 c_g が閾値 K 以下である場合 (S 1 2 7 / Y e s) 、上位行動計画部 1 4 1 は、ステップ S 1 0 7 に戻って、探索候補リスト B の中で最小コスト C の経路 P_u について以降の処理を同様に行う。一方、探索候補リスト B が空である、又はゴールノード g への到達経路数 c_g が閾値 K を超える場合 (S 1 2 7 / N o) 、上位行動計画部 1 4 1 は、ゴールノード g の経路集合 P を上位行動計画として出力する (S 1 2 9) 。このような動作によって、上位行動計画部 1 4 1 は、上位行動計画を作成することができる。
- [0079] なお、上位行動計画部 1 4 1 は、さらに、経路集合 P の各々の経路のガウス分布をコストの逆数で重み付けした加重平均分布を求め、求めた加重平均分布を上位行動計画として出力してもよい。

[0080] 上述した上位行動計画部141の動作の流れは、A*アルゴリズム又はダイクストラアルゴリズムの流れと大まかには同じである。しかしながら、上位行動計画部141では、最適解となる経路を求めた後も計算を止めずに準最適解となる経路を閾値Kまで複数求めることがA*アルゴリズム又はダイクストラアルゴリズムと異なる。これにより、上位行動計画部141は、閾値Kの選択肢又は分布を有する上位行動計画を作成することができる。なお、閾値Kは、ユーザによって設定されてもよく、行動計画用地図にて示される外界環境に基づいて設定されてもよく、コスト又はロボット装置10の機構に基づいて設定されてもよい。

[0081] また、上位行動計画部141は、閾値Kではなく、上位行動計画の作成に掛かる計算時間又は計算量にて、上位行動計画が有する選択肢の数又は分布の大きさを決定してもよい。例えば、上位行動計画部141は、計算時間又は計算量に所定値に達した時点で算出された複数の経路を含む上位行動計画を作成してもよい。さらに、上位行動計画部141は、コスト又はロボット装置10の機構に基づいて、排除する経路の選択肢を設定し、該排除する経路の選択肢を上位行動計画から除外してもよい。これによれば、上位行動計画部141は、上位行動計画の中からロボット装置10の機構にて特異点となる位置及び姿勢を除外することができるようになる。

[0082] <4. 変形例>

次に、図7～図8Bを参照して、本実施形態に係る制御装置100の変形例について説明する。図7は、本変形例に係る制御装置101の機能構成を示すブロック図である。

[0083] 本変形例に係る制御装置101は、ロボット装置10と、外部の連携ロボット装置31との間で上位行動計画をそれぞれ共有することによって、ロボット装置10及び連携ロボット装置31を円滑に協調動作させるものである。

[0084] 具体的には、図7に示すように、本変形例に係る制御装置101は、図2を参照して説明した制御装置100に対して、連携ロボット装置31に上位

行動計画を送信する送信部161と、連携ロボット装置31から上位行動計画を送信する受信部162と、をさらに備える点異なる。なお、以下では、制御装置101の構成のうち、制御装置100と、制御装置101との差分について説明し、制御装置100と実質的に同様の構成については、説明を省略する。

[0085] 送信部161は、上位行動計画部141が作成した上位行動計画を連携ロボット装置31に送信する。送信部161は、例えば、直接又はネットワークを介した連携ロボット装置31との通信が可能な公知の通信方式の無線通信モジュールであってもよい。

[0086] 受信部162は、連携ロボット装置31の上位行動計画を連携ロボット装置31から受信する。受信部162は、送信部161と同様に、例えば、直接又はネットワークを介した連携ロボット装置31との通信が可能な公知の通信方式の無線通信モジュールであってもよい。

[0087] なお、送信部161及び受信部162は、連携ロボット装置31との間で情報の送受信を行う通信部として構成されてもよい。

[0088] 下位行動計画部142は、行動計画用地図と、ロボット装置10の自機状態と、連携ロボット装置31の上位行動計画と、に基づいて、ロボット装置10の上位行動計画からロボット装置10の制御に実際に用いられる下位行動計画を作成する。下位行動計画部142は、図2で示した制御装置100と異なり、連携ロボット装置31の上位行動計画にさらに基づいて、下位行動計画を作成する。これにより、下位行動計画部142は、連携ロボット装置31の行動と干渉しないような下位行動計画を導出することが可能である。

[0089] 連携ロボット装置31は、ロボット装置10と同様に、上位行動計画及び下位行動計画に分けて段階的に行動計画を作成するロボット装置である。具体的には、連携ロボット装置31は、行動目標と、行動計画用地図と、連携ロボット装置31の自機状態とに基づいて、複数の選択肢又は分布を有する大局的な行動計画である上位行動計画を作成する。また、連携ロボット装置

31は、行動計画用地図と、連携ロボット装置31の自機状態とに基づいて、上位行動計画からロボット装置10の制御に実際に用いられる下位行動計画を作成する。

[0090] 連携ロボット装置31は、例えば、行動対象又は行動範囲がロボット装置10と重なっているロボット装置であるため、ロボット装置10と行動計画が競合しないように協調して行動することが重要となる。ここで、図8A及び図8Bを参照して、ロボット装置10及び連携ロボット装置31の協調行動について説明する。図8Aは、ロボット装置10及び連携ロボット装置31のそれぞれの上位行動計画を示す説明図であり、図8Bは、ロボット装置10及び連携ロボット装置31のそれぞれの下位行動計画を示す説明図である。

[0091] 図8A及び図8Bに示すように、ロボット装置10は、目的地DAに移動しようとしており、連携ロボット装置31は、目的地DBに移動しようとしているとする。ただし、ロボット装置10及び連携ロボット装置31は、計画された移動経路が重なっているため、同時刻に同位置に存在した場合、衝突する可能性がある。

[0092] このような場合、一般的には、ロボット装置10及び連携ロボット装置31は、互いに行動計画を共有した後、条件を変更して行動計画を再作成し、再作成した行動計画を再度共有する。ロボット装置10及び連携ロボット装置31は、衝突の可能性がなくなるまで、行動計画の共有及び再作成を繰り返すことで、衝突の可能性がない協調行動を実現することができる。

[0093] 一方、本変形例では、ロボット装置10及び連携ロボット装置31にてそれぞれ作成される上位行動計画は、複数の選択肢又は分布を有している。例えば、図8Aでは、ロボット装置10の上位行動計画は、目的地DAまでの移動経路A1、A2、A3を含んでおり、連携ロボット装置31の上位行動計画は、目的地DBまでの移動経路B1、B2、B3を含んでいる。そのため、ロボット装置10及び連携ロボット装置31は、共通の評価関数に基づいて、共有した上位行動計画から衝突が発生しない行動計画の組み合わせを

選択することで、行動計画の再作成及び再共有を行うことなく、協調行動を実現することができる。

[0094] 例えば、図8Aに示す上位行動計画では、ロボット装置10の上位行動計画に含まれる移動経路A1、A2、A3、及び連携ロボット装置31の上位行動計画に含まれる移動経路B1、B2、B3に以下の表1で示すコストcが設定されているとする。ロボット装置10及び連携ロボット装置31は、移動経路の組み合わせによる衝突の有無、及び合計コストを考慮することで、協調行動を実現する移動経路の組み合わせを選択することができる。

[0095] [表1]

(表1)

	B1 c = 11	B2 c = 19	B3 c = 21
A1 c = 8	衝突	衝突	衝突
A2 c = 10	衝突	衝突	31
A3 c = 13	24	32	衝突

[0096] すなわち、ロボット装置10及び連携ロボット装置31は、図8Bに示すように、衝突が発生しない移動経路の組み合わせのうち、合計コストが最小となる移動経路A3及びB1の組み合わせを選択することで、互いに衝突しない移動経路を選択することができる。

[0097] また、ロボット装置10及び連携ロボット装置31は、移動経路の合計コストに替えて、移動経路の優先度に基づいて、衝突が発生しない移動経路の組み合わせを選択してもよい。例えば、ロボット装置10及び連携ロボット装置31は、衝突が発生しない移動経路の組み合わせのうち、それぞれの移動経路の優先度が最も高くなるような組み合わせを選択してもよい。さらに、ロボット装置10及び連携ロボット装置31は、他の評価関数に基づいて、衝突が発生しない移動経路の組み合わせを選択してもよい。衝突が発生しない移動経路の組み合わせを選択するための評価関数は、ロボット装置10及び連携ロボット装置31で共有されていれば、どのような評価関数も用いることが可能である。

[0098] 本変形例によれば、ロボット装置10及び連携ロボット装置31の間で、複数の選択肢又は分布を有する上位行動計画を共有することで、上位行動計

画の範囲の中から互いに協調行動が可能な下位行動計画を導出することが可能である。したがって、本変形例によれば、ロボット装置10及び連携ロボット装置31は、行動計画の再作成又は再共有を行うことなく、1回の通信によって円滑な協調行動を行うことが可能となる。

[0099] <5. ハードウェア構成例>

続いて、図9を参照して、本実施形態に係る制御装置100のハードウェア構成の一例について説明する。図9は、本実施形態に係る制御装置100のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

[0100] 図9に示すように、制御装置100は、CPU (Central Processing Unit) 901、ROM (Read Only Memory) 902、RAM (Random Access Memory) 903、ホストバス905、ブリッジ907、外部バス906、インタフェース908、入力装置911、出力装置912、ストレージ装置913、ドライブ914、接続ポート915、及び通信装置916を備える。制御装置100は、CPU901に替えて、又はこれと共に、電気回路、DSP若しくはASIC等の処理回路を備えてもよい。

[0101] CPU901は、演算処理装置、及び制御装置として機能し、各種プログラムに従って制御装置100内の動作全般を制御する。また、CPU901は、マイクロプロセッサであってもよい。ROM902は、CPU901が使用するプログラム及び演算パラメータ等を記憶する。RAM903は、CPU901の実行において使用するプログラム、及びその実行において適宜変化するパラメータ等を一時記憶する。CPU901は、例えば、認識部110、地図作成部120、計画用地図作成部130、行動計画部140、及び駆動制御部150の機能を実行してもよい。

[0102] CPU901、ROM902及びRAM903は、CPUバスなどを含むホストバス905により相互に接続されている。ホストバス905は、ブリッジ907を介して、PCI (Peripheral Component Interconnect / Interface) バスなどの外部バス9

06に接続されている。なお、ホストバス905、ブリッジ907、及び外部バス906は、必ずしも分離構成されなくともよく、1つのバスにこれらの機能が実装されてもよい。

[0103] 入力装置911は、例えば、マウス、キーボード、タッチパネル、ボタン、マイクロフォン、スイッチ又はレバー等のユーザによって情報が入力される装置である。または、入力装置911は、赤外線又はその他の電波を利用したリモートコントロール装置であってもよく、制御装置100の操作に対応した携帯電話又はPDA等の外部接続機器であってもよい。さらに、入力装置911は、例えば、上記の入力手段を用いてユーザにより入力された情報に基づいて入力信号を生成する入力制御回路などを含んでもよい。

[0104] 出力装置912は、情報をユーザに対して視覚的又は聴覚的に通知することが可能な装置である。出力装置912は、例えば、CRT (Cathode Ray Tube) ディスプレイ装置、液晶ディスプレイ装置、プラズマディスプレイ装置、EL (ElectroLuminescence) ディスプレイ装置、レーザープロジェクタ、LED (Light Emitting Diode) プロジェクタ又はランプ等の表示装置であってもよく、スピーカ又はヘッドホン等の音声出力装置等であってもよい。

[0105] 出力装置912は、例えば、制御装置100による各種処理にて得られた結果を出力してもよい。具体的には、出力装置912は、制御装置100による各種処理にて得られた結果を、テキスト、イメージ、表、又はグラフ等の様々な形式で視覚的に表示してもよい。または、出力装置912は、音声データ又は音響データ等のオーディオ信号をアナログ信号に変換して聴覚的に出力してもよい。

[0106] ストレージ装置913は、制御装置100の記憶部の一例として形成されたデータ格納用の装置である。ストレージ装置913は、例えば、HDD (Hard Disk Drive) 等の磁気記憶デバイス、半導体記憶デバイス、光記憶デバイス又は光磁気記憶デバイス等により実現されてもよい。例えば、ストレージ装置913は、記憶媒体、記憶媒体にデータを記録する

記録装置、記憶媒体からデータを読み出す読出装置、及び記憶媒体に記録されたデータを削除する削除装置などを含んでもよい。ストレージ装置913は、CPU901が実行するプログラム、各種データ及び外部から取得した各種のデータ等を格納してもよい。

[0107] ドライブ914は、記憶媒体用リーダライタであり、制御装置100に内蔵又は外付けされる。ドライブ914は、装着されている磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、又は半導体メモリ等のリムーバブル記憶媒体に記録されている情報を読み出して、RAM903に出力する。また、ドライブ914は、リムーバブル記憶媒体に情報を書き込むことも可能である。

[0108] 接続ポート915は、外部機器と接続されるインタフェースである。接続ポート915は、外部機器とのデータ伝送可能な接続口であり、例えばUSB (Universal Serial Bus) であってもよい。

[0109] 通信装置916は、例えば、ネットワーク920に接続するための通信デバイス等で形成されたインタフェースである。通信装置916は、例えば、有線若しくは無線LAN (Local Area Network)、LTE (Long Term Evolution)、Bluetooth (登録商標) 又はWUSB (Wireless USB) 用の通信カード等であってもよい。また、通信装置916は、光通信用のルータ、ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) 用のルータ又は各種通信用のモデム等であってもよい。通信装置916は、例えば、インターネット又は他の通信機器との間で、例えばTCP/IP等の所定のプロトコルに則して信号等を送受信することができる。通信装置916は、例えば、送信部161及び受信部162の機能を実行してもよい。

[0110] なお、ネットワーク920は、情報の有線又は無線の伝送路である。例えば、ネットワーク920は、インターネット、電話回線網若しくは衛星通信網などの公衆回線網、Ethernet (登録商標) を含む各種のLAN (Local Area Network)、又はWAN (Wide Area Network) などを含んでもよい。また、ネットワーク920は、

I P - V P N (I n t e r n e t P r o t o c o l - V i r t u a l P r i v a t e N e t w o r k) などの専用回線網を含んでもよい。

[0111] なお、制御装置100に内蔵されるCPU、ROM及びRAMなどのハードウェアに対して、上述した本実施形態に係る制御装置の各構成と同等の機能を発揮させるためのコンピュータプログラムも作成可能である。また、該コンピュータプログラムを記憶させた記憶媒体も提供することが可能である。

[0112] <6. まとめ>

以上にて説明したように、本実施形態に係る制御装置100は、外界環境の変化によって計画した行動計画が最適解ではなくなった場合でも、準最適解の行動計画を選択することで、行動を続行することが可能である。これによれば、制御装置100は、外界環境の変化に応じて行動計画を再作成する場合と比較して、全体での計算量を低減することが可能である。これは、準最適解を求めるための情報は、最適解を求める過程で取得することができるため、複数の選択肢又は分布を有する行動計画を導出することは、制御装置100にとって負荷が少ないためである。

[0113] また、制御装置100は、行動の実行中に最適解の行動計画が使用できなくなった場合でも、行動計画を再作成することなく、準最適解の行動計画に切り替えて行動を続行することができる。これによれば、制御装置100は、行動計画を再作成するために、行動中に一時停止してしまうことを防止することができる。

[0114] さらに、変形例に係る制御装置101によれば、複数のロボット装置10にて連携動作する際にあらかじめ複数の選択肢又は分布を有する行動計画を共有しておくことで、追加の通信等を行うことなく、複数のロボット装置10の間の行動の衝突を解消することが可能である。

[0115] 以上、添付図面を参照しながら本開示の好適な実施形態について詳細に説明したが、本開示の技術的範囲はかかる例に限定されない。本開示の技術分野における通常の知識を有する者であれば、請求の範囲に記載された技術的

思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。

[0116] また、本明細書に記載された効果は、あくまで説明的または例示的なものであって限定的ではない。つまり、本開示に係る技術は、上記の効果とともに、または上記の効果に代えて、本明細書の記載から当業者には明らかな他の効果を奏しうる。

[0117] なお、以下のような構成も本開示の技術的範囲に属する。

(1)

ロボット装置の行動を制御するために、行動目標を達成する最適解を含み、かつ前記最適解と異なる準最適解を導出可能な上位行動計画を外界地図に基づいて作成する行動計画部を備える、行動計画装置。

(2)

前記上位行動計画は、複数の行動計画を含み、前記最適解である行動計画、及び前記準最適解である行動計画を少なくとも含む、前記(1)に記載の行動計画装置。

(3)

前記上位行動計画は、分布を有する行動計画である、前記(1)に記載の行動計画装置。

(4)

前記上位行動計画は、前記最適解である行動計画に分布を持たせることで作成される、前記(3)に記載の行動計画装置。

(5)

前記上位行動計画は、複数の行動計画の重ね合わせを分布に変換することで作成される、前記(3)に記載の行動計画装置。

(6)

前記上位行動計画に含まれる行動計画の数は、前記外界地図に基づいて制御される、前記(2)に記載の行動計画装置。

(7)

前記上位行動計画が有する分布の大きさは、前記外界地図に基づいて制御される、前記(3)～(5)のいずれか一項に記載の行動計画装置。

(8)

前記行動計画部は、前記上位行動計画を作成する上位行動計画部と、前記上位行動計画に基づいて、前記ロボット装置の実際の制御に用いられる下位行動計画を作成する下位行動計画部と、を含む、前記(1)～(7)のいずれか一項に記載の行動計画装置。

(9)

前記下位行動計画部は、行動計画の作成周期、又は行動計画の作成範囲の少なくともいずれか1つ以上が前記上位行動計画部と異なる、前記(8)に記載の行動計画装置。

(10)

前記下位行動計画部は、前記上位行動計画部よりも空間的又は時間的に局所の範囲の行動計画を作成する、前記(9)に記載の行動計画装置。

(11)

前記上位行動計画部は、静的な対象を考慮して前記上位行動計画を作成し、前記下位行動計画部は、動的な対象を考慮して前記下位行動計画を作成する、前記(9)又は(10)に記載の行動計画装置。

(12)

前記下位行動計画部は、前記ロボット装置の自機状態の追従可能性、障害物との衝突可能性、又は過去の行動履歴の少なくともいずれか1つ以上に基づいて、前記下位行動計画を作成する、前記(8)～(11)のいずれか一項に記載の行動計画装置。

(13)

前記下位行動計画部は、前記最適解である行動計画からのずれが小さくなるように、前記下位行動計画を作成する、前記(8)～(12)のいずれか一項に記載の行動計画装置。

(14)

前記下位行動計画部は、前記上位行動計画における中間行動目標までの行動計画を作成する、前記(8)～(13)のいずれか一項に記載の行動計画装置。

(15)

前記ロボット装置と連携して行動する連携ロボット装置と通信可能な通信部をさらに備え、

前記ロボット装置、及び前記連携ロボット装置では、前記通信部を介して、互いに前記上位行動計画を共有し、

前記下位行動計画部は、前記上位行動計画の各々に基づいて、前記下位行動計画を作成する、前記(8)～(14)のいずれか一項に記載の行動計画装置。

(16)

前記下位行動計画部は、前記ロボット装置、及び前記連携ロボット装置にて共通の評価関数を用いて前記下位行動計画を作成する、前記(15)に記載の行動計画装置。

(17)

ロボット装置の行動を制御するために、演算装置を用いて、行動目標を達成する最適解を含み、かつ前記最適解と異なる準最適解を導出可能な上位行動計画を外界地図に基づいて作成する、行動計画方法。

(18)

コンピュータを、

ロボット装置の行動を制御するために、行動目標を達成する最適解を含み、かつ前記最適解と異なる準最適解を導出可能な上位行動計画を外界地図に基づいて作成する行動計画部として機能させる、プログラム。

符号の説明

[0118]	10	ロボット装置
	20	経路群

- 2 1 最適経路
- 2 2 移動経路
- 2 3、2 4 上位行動計画
- 3 1 連携ロボット装置
- 1 0 0、1 0 1 制御装置
- 1 1 0 認識部
- 1 2 0 地図作成部
- 1 3 0 計画用地図作成部
- 1 4 0 行動計画部
- 1 4 1 上位行動計画部
- 1 4 2 下位行動計画部
- 1 5 0 駆動制御部
- 1 6 1 送信部
- 1 6 2 受信部
- 2 1 0 センサ部
- 2 2 0 駆動部
- 2 3 0 入力部

請求の範囲

- [請求項1] ロボット装置の行動を制御するために、行動目標を達成する最適解を含み、かつ前記最適解と異なる準最適解を導出可能な上位行動計画を外界地図に基づいて作成する行動計画部を備える、行動計画装置。
- [請求項2] 前記上位行動計画は、複数の行動計画を含み、前記最適解である行動計画、及び前記準最適解である行動計画を少なくとも含む、請求項1に記載の行動計画装置。
- [請求項3] 前記上位行動計画は、分布を有する行動計画である、請求項1に記載の行動計画装置。
- [請求項4] 前記上位行動計画は、前記最適解である行動計画に分布を持たせることで作成される、請求項3に記載の行動計画装置。
- [請求項5] 前記上位行動計画は、複数の行動計画の重ね合わせを分布に変換することで作成される、請求項3に記載の行動計画装置。
- [請求項6] 前記上位行動計画に含まれる行動計画の数は、前記外界地図に基づいて制御される、請求項2に記載の行動計画装置。
- [請求項7] 前記上位行動計画が有する分布の大きさは、前記外界地図に基づいて制御される、請求項3に記載の行動計画装置。
- [請求項8] 前記行動計画部は、前記上位行動計画を作成する上位行動計画部と、前記上位行動計画に基づいて、前記ロボット装置の実際の制御に用いられる下位行動計画を作成する下位行動計画部と、を含む、請求項1に記載の行動計画装置。
- [請求項9] 前記下位行動計画部は、行動計画の作成周期、又は行動計画の作成範囲の少なくともいずれか1つ以上が前記上位行動計画部と異なる、請求項8に記載の行動計画装置。
- [請求項10] 前記下位行動計画部は、前記上位行動計画部よりも空間的又は時間的に局所の範囲の行動計画を作成する、請求項9に記載の行動計画装置。
- [請求項11] 前記上位行動計画部は、静的な対象を考慮して前記上位行動計画を

作成し、前記下位行動計画部は、動的な対象を考慮して前記下位行動計画を作成する、請求項 9 に記載の行動計画装置。

[請求項12] 前記下位行動計画部は、前記ロボット装置の自機状態の追従可能性、障害物との衝突可能性、又は過去の行動履歴の少なくともいずれか 1 つ以上に基づいて、前記下位行動計画を作成する、請求項 8 に記載の行動計画装置。

[請求項13] 前記下位行動計画部は、前記最適解である行動計画からのずれが小さくなるように、前記下位行動計画を作成する、請求項 8 に記載の行動計画装置。

[請求項14] 前記下位行動計画部は、前記上位行動計画における中間行動目標までの行動計画を作成する、請求項 8 に記載の行動計画装置。

[請求項15] 前記ロボット装置と連携して行動する連携ロボット装置と通信可能な通信部をさらに備え、

前記ロボット装置、及び前記連携ロボット装置では、前記通信部を介して、互いに前記上位行動計画を共有し、

前記下位行動計画部は、前記上位行動計画の各々に基づいて、前記下位行動計画を作成する、請求項 8 に記載の行動計画装置。

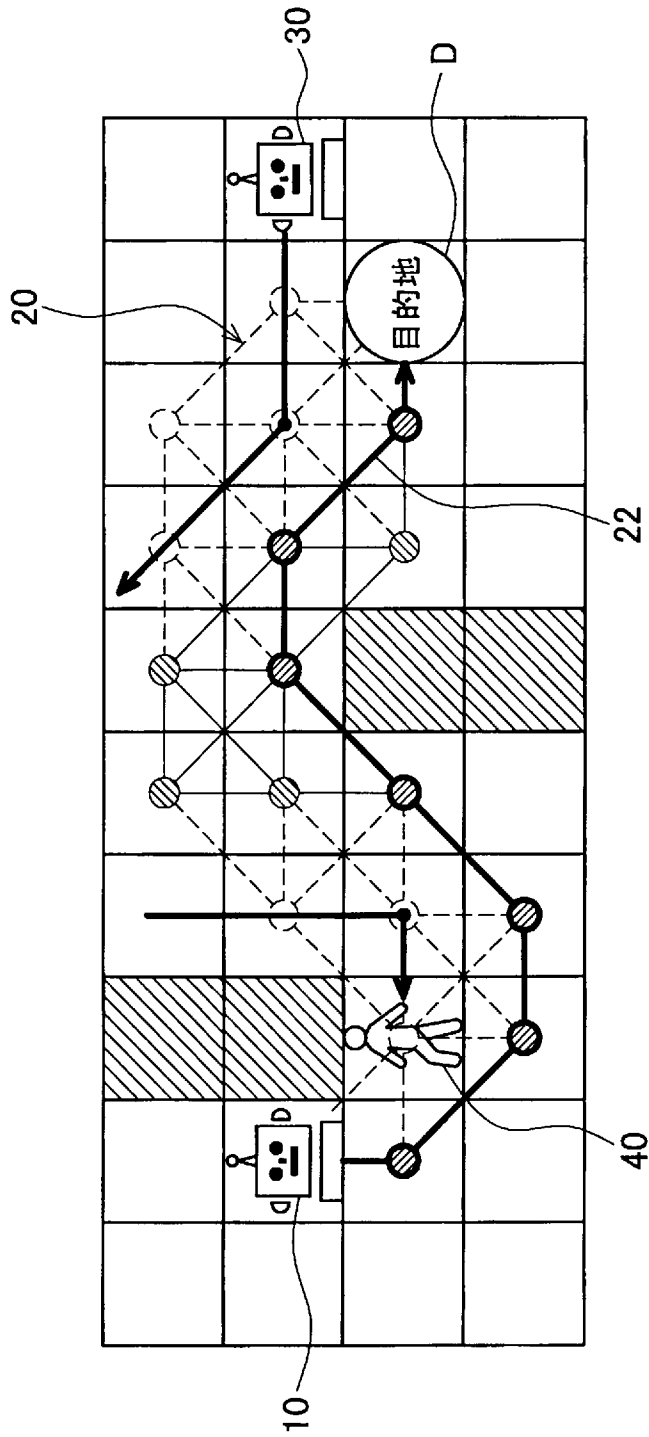
[請求項16] 前記下位行動計画部は、前記ロボット装置、及び前記連携ロボット装置にて共通の評価関数を用いて前記下位行動計画を作成する、請求項 15 に記載の行動計画装置。

[請求項17] ロボット装置の行動を制御するために、演算装置を用いて、行動目標を達成する最適解を含み、かつ前記最適解と異なる準最適解を導出可能な上位行動計画を外界地図に基づいて作成する、行動計画方法。

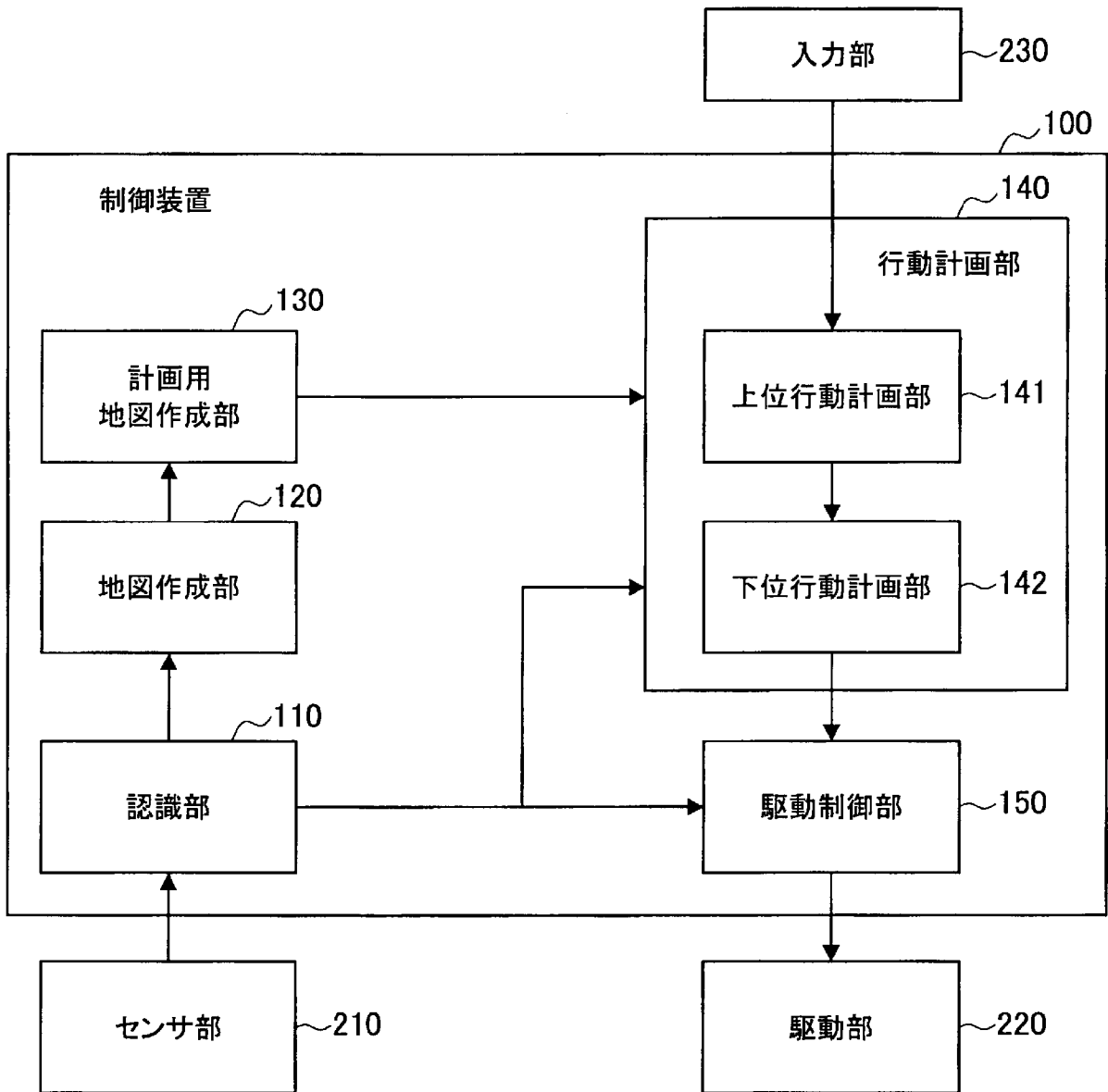
[請求項18] コンピュータを、

ロボット装置の行動を制御するために、行動目標を達成する最適解を含み、かつ前記最適解と異なる準最適解を導出可能な上位行動計画を外界地図に基づいて作成する行動計画部として機能させる、プログラム。

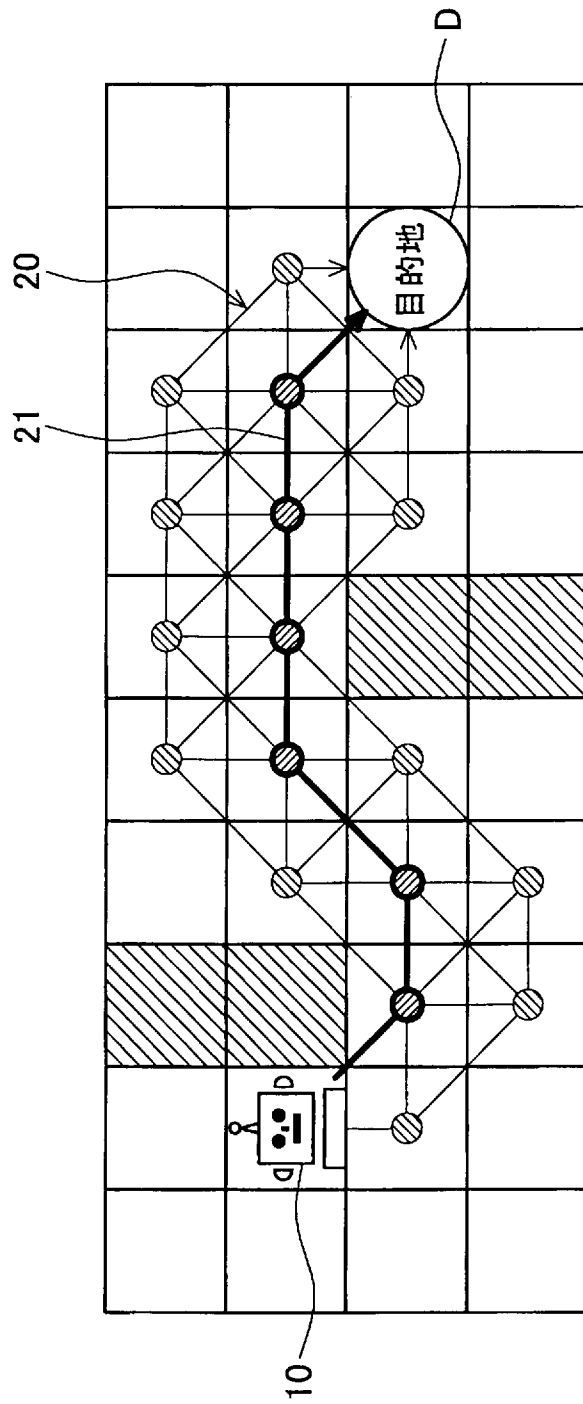
[図1B]



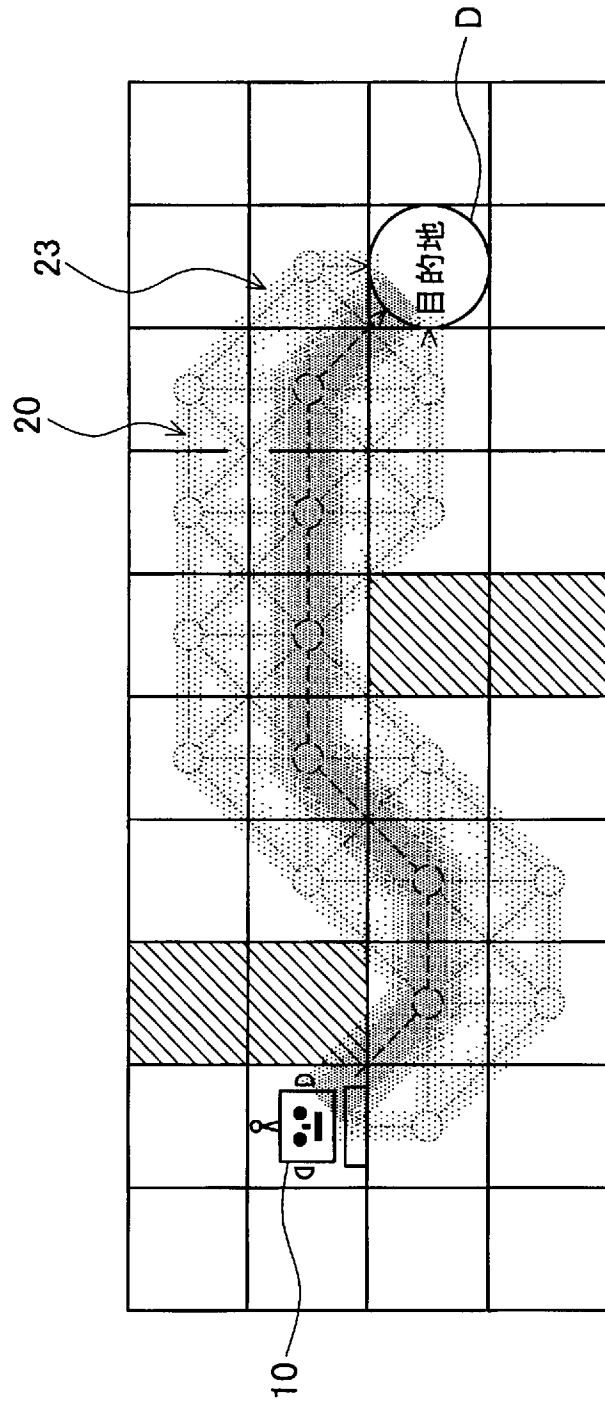
[図2]



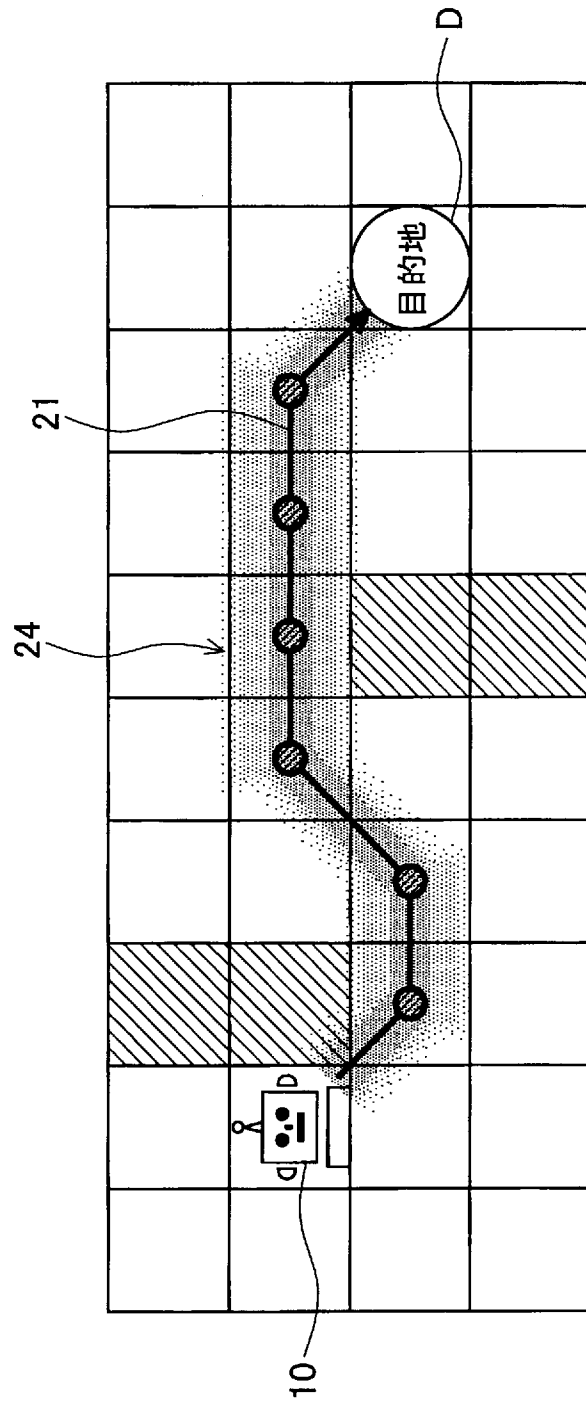
[図3]



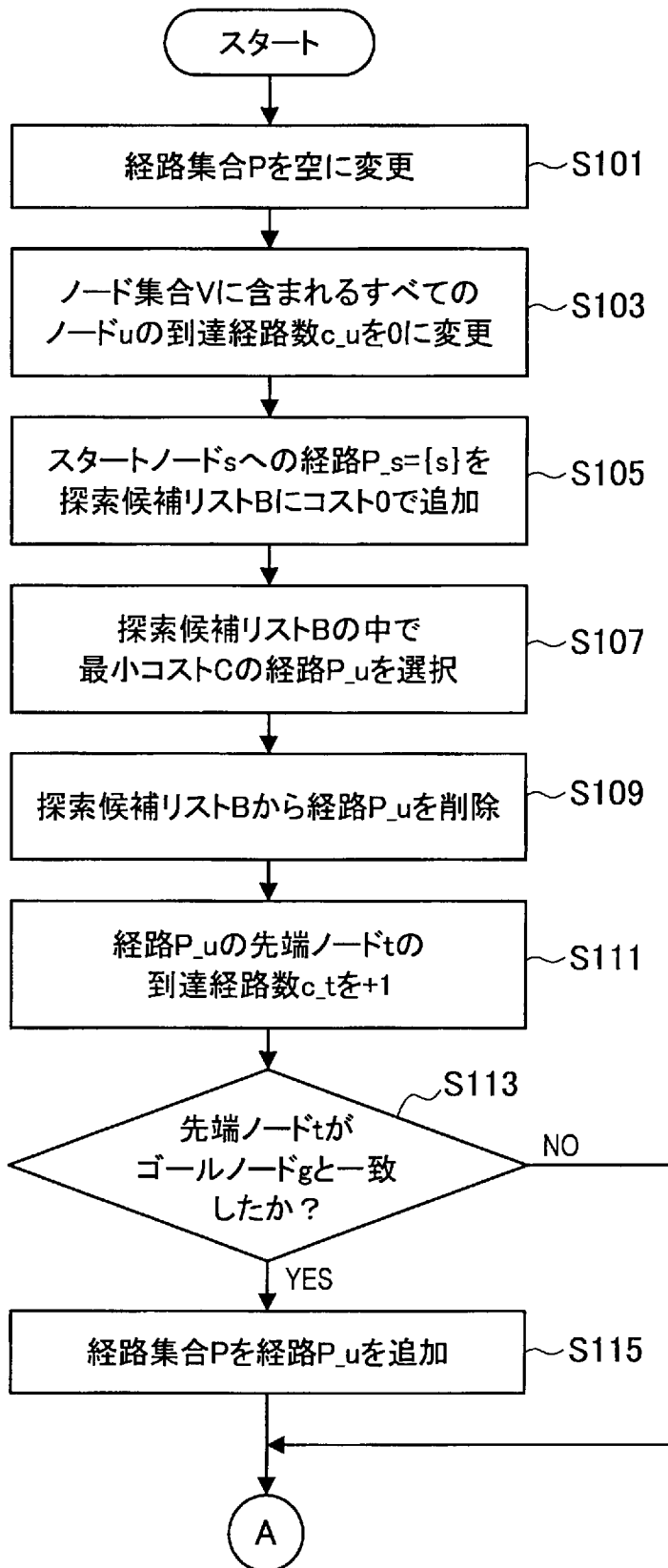
[図4]



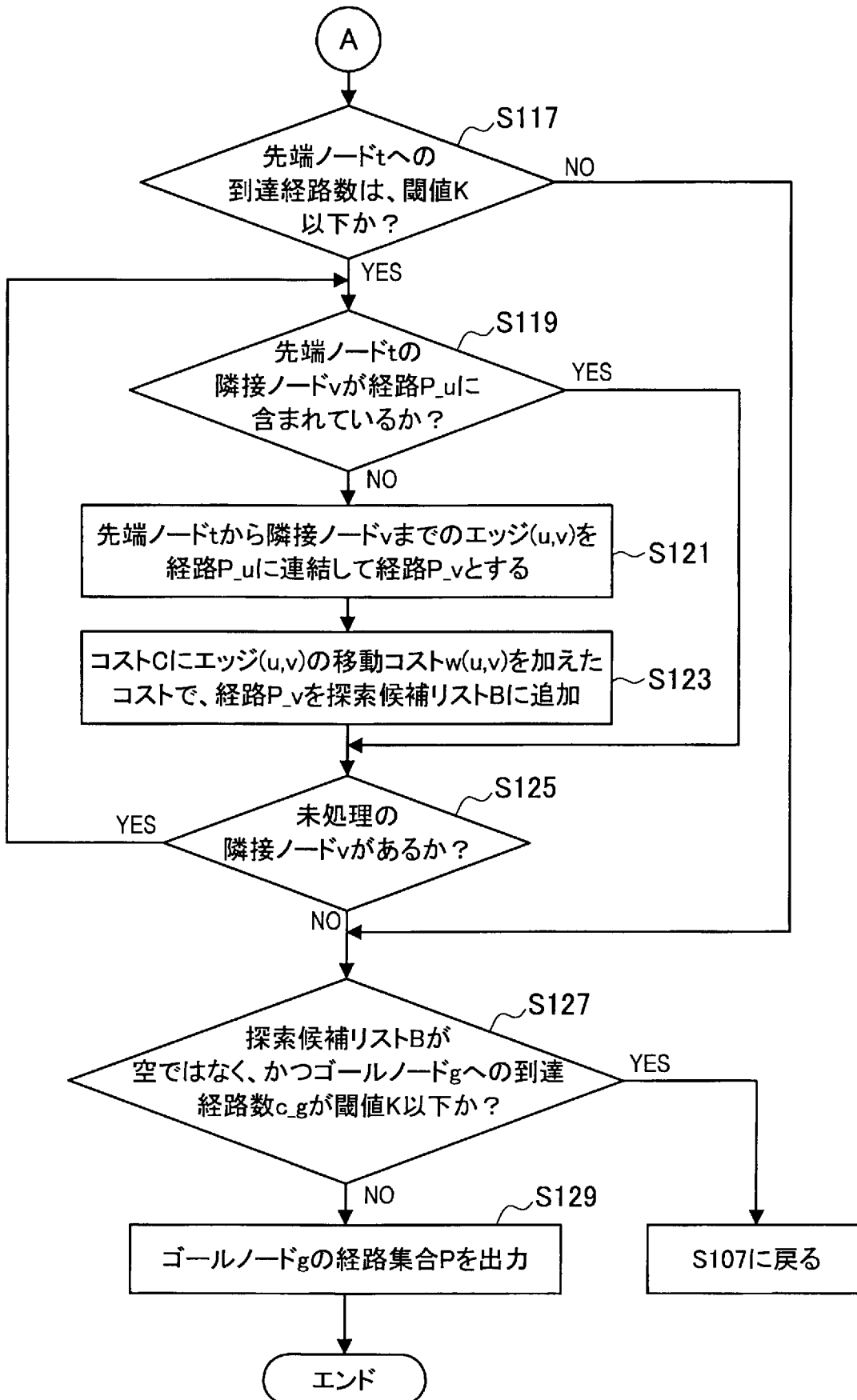
[図5B]



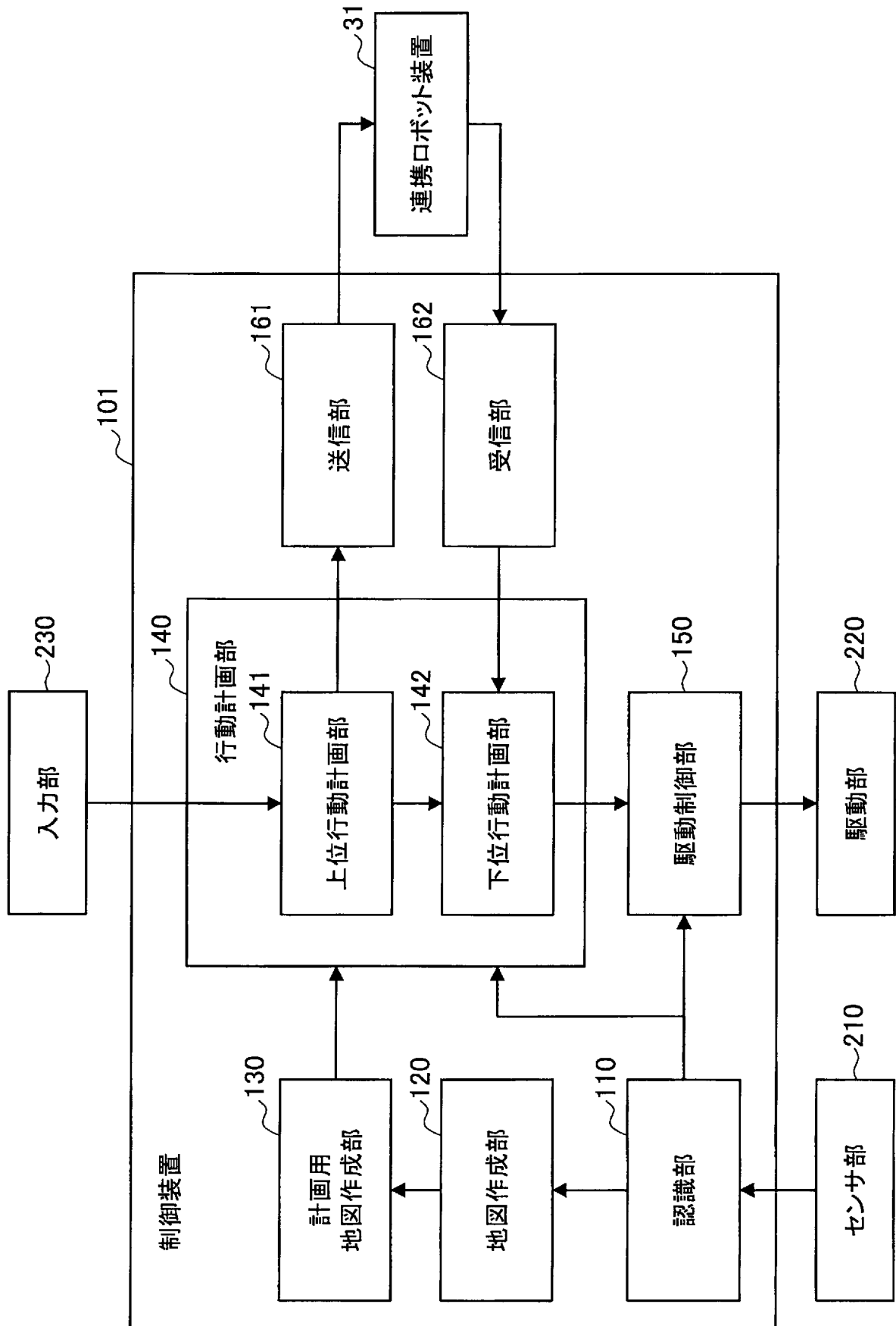
[図6A]



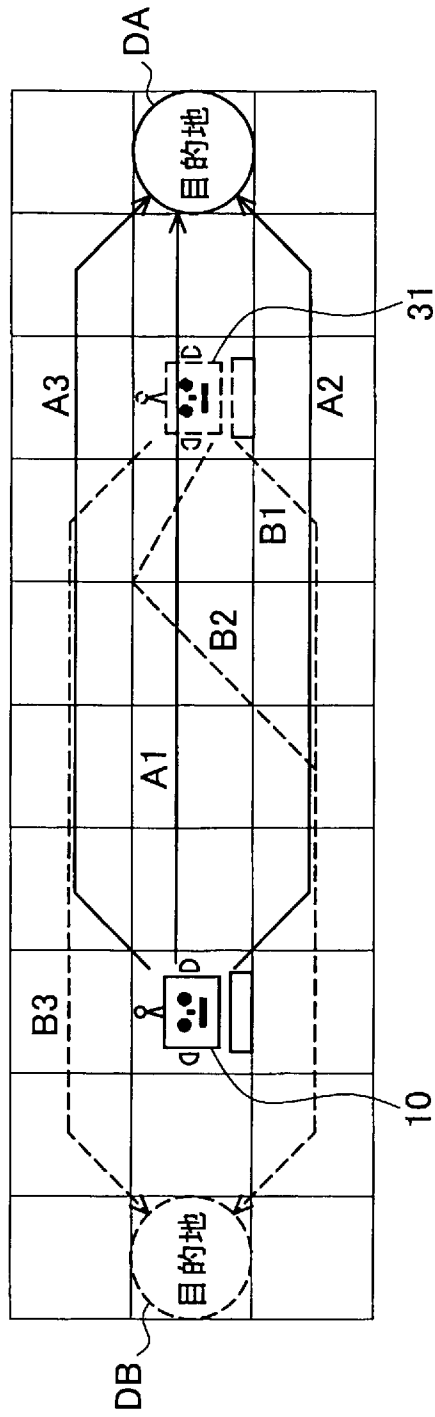
[図6B]



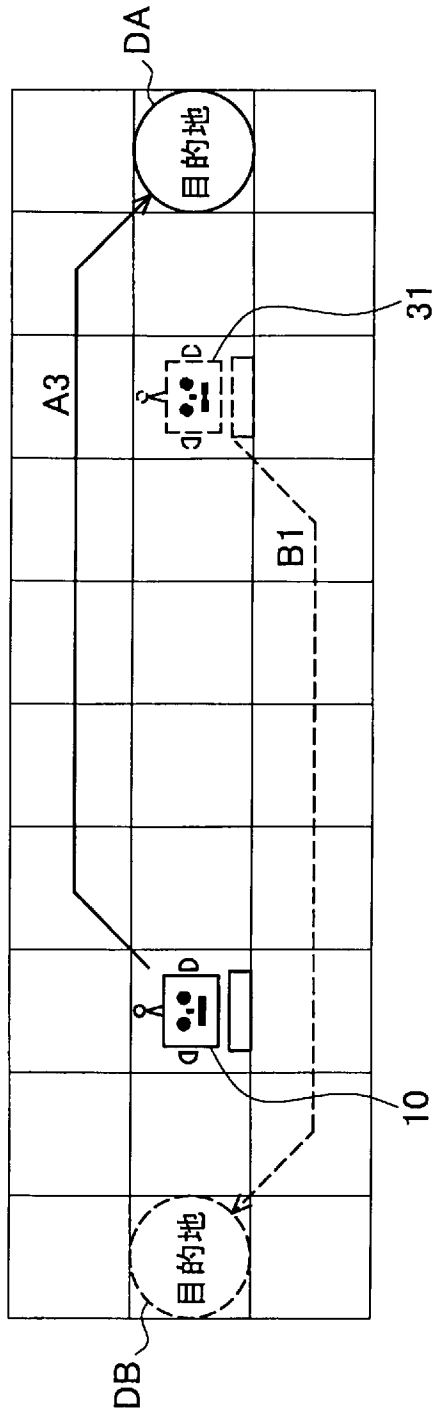
[図7]



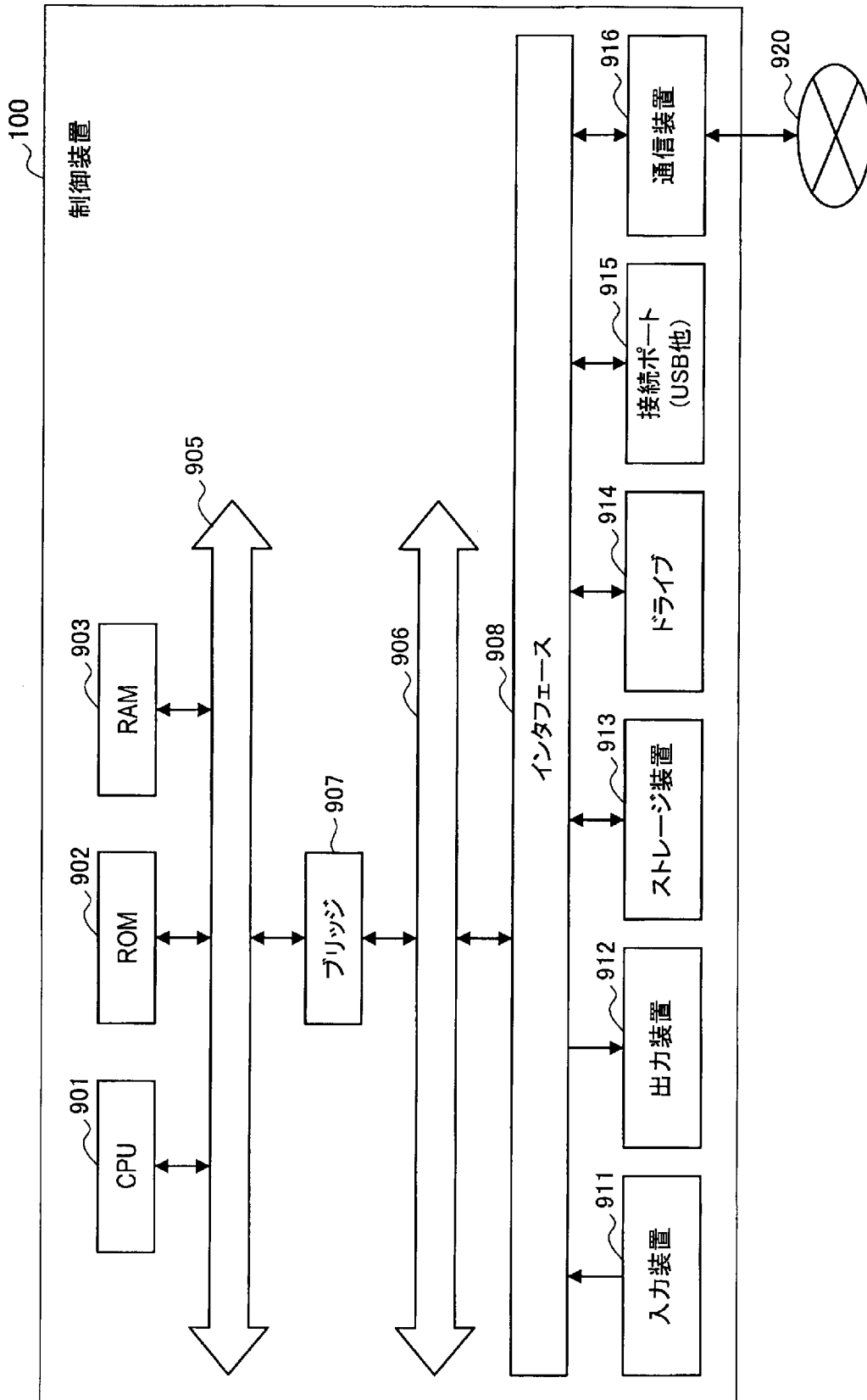
[図8A]



[図8B]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/046931

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G05D1/02 (2020.01) i
FI: G05D1/02 H

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int. Cl. G05D1/02

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020
Registered utility model specifications of Japan 1996-2020
Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-257274 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 04 October 2007, claims, fig. 1-7	1-18
Y	JP 2017-37468 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 16 February 2017, claims, fig. 1-7	1-18
Y	CN 104850011 A (SHANGHAI UNIVERSITY OF ELECTRIC POWER) 19 August 2015, claims, fig. 1-5	1-18
Y	US 6148259 A (AEROSPATIALE SOCIETE NATIONALS INDUSTRIELLE) 14 November 2000, column 4, line 39 to column 6, line 39, fig. 2	1-18

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
- “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
03.02.2020

Date of mailing of the international search report
10.02.2020

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/JP2019/046931

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 4812990 A (MERIT TECHNOLOGY INCORPORATED) 14 March 1989, column 5, line 58 to column 7, line 47, fig. 2	1-18
Y	CN 106041931 A (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 26 October 2016, abstract, claims, fig. 1-3	15-16
A	JP 2011-59043 A (NARA INSTITUTE OF SCIENCE & TECHNOLOGY) 24 March 2011, abstract, paragraphs [0075]-[0080], fig. 1-11	1-18
A	JP 2009-25974 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 05 February 2009, entire text, all drawings	1-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2019/046931

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2007-257274 A	04.10.2007	(Family: none)	
JP 2017-37468 A	16.02.2017	(Family: none)	
CN 104850011 A	19.08.2015	(Family: none)	
US 6148259 A	14.11.2000	EP 866393 A1 FR 2761176 A	
US 4812990 A	14.03.1989	(Family: none)	
CN 106041931 A	26.10.2016	(Family: none)	
JP 2011-59043 A	24.03.2011	(Family: none)	
JP 2009-25974 A	05.02.2009	US 2010/0082194 A1 entire text, all drawings WO 2009/011295 A1 EP 2172825 A1 CN 101755247 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G05D 1/02(2020.01)i FI: G05D1/02 H		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G05D1/02 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2007-257274 A (トヨタ自動車株式会社) 04.10.2007 (2007-10-04) [特許請求の範囲], 図1-7	1-18
Y	JP 2017-37468 A (トヨタ自動車株式会社) 16.02.2017 (2017-02-16) [特許請求の範囲], 図1-7	1-18
Y	CN 104850011 A (SHANGHAI UNIVERSITY OF ELECTRIC POWER) 19.08.2015 (2015-08-19) [特許請求の範囲], 図1-5	1-18
Y	US 6148259 A (AEROSPATIALE SOCIETE NATIONALE INDUSTRIELLE) 14.11.2000 (2000-11-14) 第4欄第39行-第6欄第39行, 図2	1-18
Y	US 4812990 A (MERIT TECHNOLOGY INCORPORATED) 14.03.1989 (1989-03-14) 第5欄第58行-第7欄第47行, 図2	1-18
Y	CN 106041931 A (GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 26.10.2016 (2016-10-26) [要約], [特許請求の範囲], 図1-3	15-16
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 03.02.2020	国際調査報告の発送日 10.02.2020	
名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 山村 秀政 3U 3744 電話番号 03-3581-1101 内線 3364	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2011-59043 A (国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学) 24.03.2011 (2011 - 03 - 24) [要約], 段落[0075]-[0080], 図1-11	1-18
A	JP 2009-25974 A (トヨタ自動車株式会社) 05.02.2009 (2009 - 02 - 05) 全文, 全図	1-18

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2019/046931

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2007-257274 A	04.10.2007	(ファミリーなし)	
JP 2017-37468 A	16.02.2017	(ファミリーなし)	
CN 104850011 A	19.08.2015	(ファミリーなし)	
US 6148259 A	14.11.2000	EP 866393 A1	
		FR 2761176 A	
US 4812990 A	14.03.1989	(ファミリーなし)	
CN 106041931 A	26.10.2016	(ファミリーなし)	
JP 2011-59043 A	24.03.2011	(ファミリーなし)	
JP 2009-25974 A	05.02.2009	US 2010/0082194 A1	
		全文, 全図	
		WO 2009/011295 A1	
		EP 2172825 A1	
		CN 101755247 A	