

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6716178号
(P6716178)

(45) 発行日 令和2年7月1日(2020.7.1)

(24) 登録日 令和2年6月12日(2020.6.12)

(51) Int.Cl. F I
G05D 1/02 (2020.01) G05D 1/02 H
 G05D 1/02 S

請求項の数 13 (全 32 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2018-533757 (P2018-533757) (86) (22) 出願日 平成29年6月30日 (2017.6.30) (65) 公表番号 特表2019-516146 (P2019-516146A) (43) 公表日 令和1年6月13日 (2019.6.13) (86) 国際出願番号 PCT/CN2017/091368 (87) 国際公開番号 W02018/176668 (87) 国際公開日 平成30年10月4日 (2018.10.4) 審査請求日 平成30年6月26日 (2018.6.26) (31) 優先権主張番号 201710186581.6 (32) 優先日 平成29年3月27日 (2017.3.27) (33) 優先権主張国・地域又は機関 中国 (CN)</p>	<p>(73) 特許権者 517406065 平安科技 (深▲せん▼) 有限公司 PING AN TECHNOLOGY (SHENZHEN) CO., LTD. 中国広東省深▲せん▼市福田区福田街道福 安社区益田路5033号平安金融中心23 楼518000 23F, Ping'an Financial Center, No. 5033 Y itian Road, Fu'an Co mmunity of Futian S treet, Futian Distri ct Shenzhen, Guangdo ng 518000 China</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	---

(54) 【発明の名称】 ロボットの障害物回避制御システム、方法、ロボット及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ロボットの障害物回避制御システムであって、

ロボットの現在位置決めデータをリアルタイム又は定時的に取得し、かつ現在位置決めデータ及び予め確定された移動領域内における各障害物の位置データに基づき、現在位置決め位置から目標位置までの経路において現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在するか否かを確定することに用いられる確定モジュールと、

現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在する場合、予め確定されたロボットの3Dモデル及び予め確定された前記障害物の3Dモデルを凸体に変換させ、該凸体のモデルと、取得した位置決めデータに基づき、ロボットと前記障害物との最小距離を算出することに用いられる演算モジュールと、

取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物の3Dモデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出し、算出された移動方向に基づいてロボットの移動姿勢を制御することで、障害物を回避することに用いられる制御モジュールと、

を備え、

前記演算モジュールは、

予め確定されたロボットの3Dモデル及び前記障害物の3Dモデルを前処理し、ロボットの各関節について、予め確定されたアルゴリズムを用いて各関節を包囲する最小凸多面体を見つけ、ロボットの非凸モデルを凸体モデルに変換し、

前記障害物の3Dモデルを扇形に等分し、かつ等分後の単一扇形を凸分解し、

10

20

取得した位置決めデータ、前処理後のロボットの3Dモデルデータ及び前処理後の前記障害物の3Dモデルデータに対し、予め確定された距離算出ルールを用いてロボットと前記障害物との最小距離を算出する

ことにさらに用いられることを特徴とするロボットの障害物回避制御システム。

【請求項2】

前記演算モジュールは、

扇形等分対象障害物の3Dモデルの球形バウンディングボックスを構築し、球形バウンディングボックスの球心を見つけ、

前記球心を通る初期扇形等分平面を設け、前記初期扇形等分平面を予め設定された回転角に従って前記球心の回りに複数回回転させ、球形バウンディングボックスをn個の扇形部分に等分し、前記球形バウンディングボックスのn個の扇形部分を障害物の3Dモデルのn個のモデル部分とする

10

ことにさらに用いられることを特徴とする請求項1に記載のロボットの障害物回避制御システム。

【請求項3】

前記予め確定された距離算出ルールとして、

ロボットの現在位置決めデータ及び予め確定された選別アルゴリズムに基づき、障害物の3Dモデルを扇形に等分した後に取得した各モデル部分を選別することによって、距離算出対象のモデル部分を選別し、

取得した位置決めデータ、選別されたモデル部分に対し、予め確定された距離算出アルゴリズムを用いてロボットと選別されたモデル部分との最小距離を算出し、前記最小距離をロボットと障害物との最小距離とし、

20

前記予め確定された選別アルゴリズムとして、

障害物の3Dモデルのn個のモデル部分をそれぞれ障害物のn個のノードとして、キー値が初期扇形等分平面に対する偏角であるハッシュテーブルを構築することで、モデルノード管理を行い、

各モデル部分に番号をつけ、番号に基づき、番号がiであるモデル部分の偏角マッピング関係を構築し、前記偏角マッピング関係を表すハッシュ関数は、

$Hash(i) = i * (360^\circ / n)$ であり、

ただし、 $Hash(i)$ は番号がiである扇形モデル部分と障害物座標系のX軸正方向との偏角を表し、

30

ロボットの運動学方程式を構築し、構築された運動学方程式に基づいてロボットの各関節の位置姿勢を算出し、前記運動学方程式は、

$T_i = A_0 A_1 A_2 \cdots A_{i-1} A_i$ であり、

ただし、 A_k ($k = 1, 2, \dots, i$) はロボット関節座標系間の同次変換マトリックスであり、 A_0 はロボットの現在位置マトリックスであり、 T_i はロボット座標系に対する第i個の関節の位置姿勢であり、

T_i によってロボット運動過程においてロボット座標系での各関節の座標 $Q_i(x, y, z)$ を算出し、かつロボット座標系が障害物座標系へ変換される変換マトリックス T_r を算出することで、障害物座標系におけるロボットの関節の座標 $Q_i(x_t, y_t, z_t)$ は、 $Q_i(x_t, y_t, z_t) = T_r Q_i(x, y, z)$ であり、

40

下記公式によって得られる障害物座標系での関節の偏角は、

$\tan(\) = y_t / x_t$ であり、

偏角及びハッシュ関数 $Hash(i)$ に基づいて対応する番号のモデル部分を算出し、かつ対応する番号のモデル部分に基づいて距離算出対象のモデル部分を選別する

ことを特徴とする請求項1に記載のロボットの障害物回避制御システム。

【請求項4】

ロボットの障害物回避方法であって、

ロボットの現在位置決めデータをリアルタイム又は定時的に取得し、かつ現在位置決めデータ及び予め確定された移動領域内における各障害物の位置データに基づき、現在位置

50

決め位置から目標位置までの経路において現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在するか否かを確定するステップA1と、

現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在する場合、予め確定されたロボットの3Dモデル及び予め確定された前記障害物の3Dモデルを凸体に変換させ、該凸体のモデルと、取得した位置決めデータに基づき、ロボットと前記障害物との最小距離を算出するステップA2と、

取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物の3Dモデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出し、算出された移動方向に基づいてロボットの移動姿勢を制御することで、障害物を回避するステップA3と、

を備え、

前記ステップA2として、

予め確定されたロボットの3Dモデル及び前記障害物の3Dモデルを前処理し、ロボットの各関節について、予め確定されたアルゴリズムを用いて各関節を包囲する最小凸多面体を見つけ、ロボットの非凸モデルを凸体モデルに変換し、

前記障害物の3Dモデルを扇形に等分し、かつ等分後の単一扇形を凸分解し、

取得した位置決めデータ、前処理後のロボットの3Dモデルデータ及び前処理後の前記障害物の3Dモデルデータに対し、予め確定された距離算出ルールを用いてロボットと前記障害物との最小距離を算出する

ことを特徴とするロボットの障害物回避方法。

【請求項5】

前記ステップA2では、さらに、

扇形等分対象障害物の3Dモデルの球形バウンディングボックスを構築し、球形バウンディングボックスの球心を見つけ、

前記球心を通る初期扇形等分平面を設け、前記初期扇形等分平面を予め設定された回転角に従って前記球心の回りに複数回回転させ、球形バウンディングボックスをn個の扇形部分に等分し、前記球形バウンディングボックスのn個の扇形部分を障害物の3Dモデルのn個のモデル部分とする

ことを特徴とする請求項4に記載のロボットの障害物回避方法。

【請求項6】

前記予め確定された距離算出ルールとして、

ロボットの現在位置決めデータ及び予め確定された選別アルゴリズムに基づき、障害物の3Dモデルを扇形に等分した後に取得した各モデル部分を選別することによって、距離算出対象のモデル部分を選別し、

取得した位置決めデータ、選別されたモデル部分に対し、予め確定された距離算出アルゴリズムを用いてロボットと選別されたモデル部分との最小距離を算出し、前記最小距離をロボットと障害物との最小距離とし、

前記予め確定された選別アルゴリズムとして、

障害物の3Dモデルのn個のモデル部分をそれぞれ障害物のn個のノードとして、キー値が初期扇形等分平面に対する偏角であるハッシュテーブルを構築することで、モデルノード管理を行い、

各モデル部分に番号をつけ、番号に基づき、番号がiであるモデル部分の偏角マッピング関係を構築し、前記偏角マッピング関係を表すハッシュ関数は、

$Hash(i) = i * (360^\circ / n)$ であり、

ただし、 $Hash(i)$ は番号がiである扇形モデル部分と障害物座標系のX軸正方向との偏角を表し、

ロボットの運動学方程式を構築し、構築された運動学方程式に基づいてロボットの各関節の位置姿勢を算出し、前記運動学方程式は、

$T_i = A_0 A_1 A_2 \cdots A_{i-1} A_i$ であり、

ただし、 A_k ($k = 1, 2, \dots, i$) はロボット関節座標系間の同次変換マトリックスであり、 A_0 はロボットの現在位置マトリックスであり、 T_i はロボット座標系に対する

10

20

30

40

50

第 i 個の関節の位置姿勢であり、

T_i によってロボット運動過程においてロボット座標系での各関節の座標 $Q_i(x, y, z)$ を算出し、かつロボット座標系が障害物座標系へ変換される変換マトリックス T_r を算出することで、障害物座標系におけるロボットの関節の座標 $Q_i(x_t, y_t, z_t)$ は、

$Q_i(x_t, y_t, z_t) = T_r Q_i(x, y, z)$ であり、

下記公式によって得られる障害物座標系での関節の偏角 θ は、

$\tan(\theta) = y_t / x_t$ であり、

偏角 θ 及びハッシュ関数 $Hash(i)$ に基づいて対応する番号のモデル部分を算出し、かつ対応する番号のモデル部分に基づいて距離算出対象のモデル部分を選別することを特徴とする請求項 4 に記載のロボットの障害物回避方法。

10

【請求項 7】

ロボットの障害物回避方法であって、

ロボットの現在位置決めデータをリアルタイム又は定時的に取得し、かつ現在位置決めデータ及び予め確定された移動領域内における各障害物の位置データに基づき、現在位置決め位置から目標位置までの経路において現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在するか否かを確定するステップ A 1 と、

現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在する場合、予め確定されたロボットの 3D モデル及び予め確定された前記障害物の 3D モデルを凸体に変換させ、該凸体のモデルと、取得した位置決めデータに基づき、ロボットと前記障害物との最小距離を算出するステップ A 2 と、

20

取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物の 3D モデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出し、算出された移動方向に基づいてロボットの移動姿勢を制御することで、障害物を回避するステップ A 3 と、

を備え、

前記ステップ A 3 として、

ロボット及び前記障害物の 3D モデルを同一の座標系平面に投影し、

予め確定された投影分析ルール及び障害物の 3D モデルが前記座標系平面に投影される投影領域の外輪郭における各点の座標に基づき、ロボットの現在位置決め位置及び目標位置に対する前記障害物の 3D モデルの投影の有効遮断領域の面積を算出し、

30

算出された最小距離及び有効遮断領域の面積に基づいて第一プリセットタイプの障害物回避パラメータを確定し、目標位置とロボットの現在位置決め位置との距離に基づいて第二プリセットタイプの障害物回避パラメータを確定し、前記第一プリセットタイプの障害物回避パラメータ及び前記第二プリセットタイプの障害物回避パラメータに基づいて現在ロボットが移動すべき方向を確定する

ことを特徴とするロボットの障害物回避方法。

【請求項 8】

前記予め確定された投影分析ルールとして、

座標系平面の P_1 位置点をロボットの現在位置決め位置、 P_2 位置点を目標位置、投影領域 P_3 を前記座標系平面における障害物の 3D モデルの投影として設定し、また前記座標系平面において P_1 と P_2 を直線 J で繋ぎ、

40

直線 J と投影領域 P_3 との交点数がゼロであるか又は 1 つのみであれば、有効遮断領域が存在しないと確定し、

直線 J と投影領域 P_3 との交点数が 1 つを超えれば、直線 J は投影を 2 つの部分に分割し、投影領域 P_3 に任意の点 P_s を見つけ、 P_s を通過して直線 J の垂直線を作り、垂直線と直線 J との交点を P_j として設定し、ベクトル

$\overrightarrow{P_j P_s}$

を得て、最小距離のベクトル

\vec{d}

とベクトル

 $\overrightarrow{P_J P_S}$

との角 θ を算出し、角 θ が鋭角であると判断すれば、 P_S 点の存在する領域が有効遮断領域であると確定し、角 θ が鋭角でないと判断すれば、 P_S 点の存在する領域が有効遮断領域ではないと確定する

ことを特徴とする請求項 7 に記載のロボットの障害物回避方法。

【請求項 9】

10

前記第一プリセットタイプの障害物回避パラメーターが仮想斥力であり、前記第二プリセットタイプの障害物回避パラメーターが仮想引力であり、前記ステップ A 3 では、さらに

算出された最小距離及び有効遮断領域の面積に基づき、第一算出ルールでロボットに作用する仮想斥力を算出し、

現在位置決め位置と目標点位置との距離に基づき、第二算出ルールでロボットに作用する仮想引力を算出し、

前記仮想引力と仮想斥力の合力方向を算出して現在ロボットが移動すべき方向とする

ことを特徴とする請求項 7 に記載のロボットの障害物回避方法。

【請求項 10】

20

前記第一算出ルールとして、

ロボットと障害物との最小距離のベクトルを

 \vec{d}

、有効遮断領域の面積を S 、障害物のロボットに対する仮想斥力を

 \vec{F}_r

として設定すると、算出式は、

30

$$\vec{F}_r = f(\vec{d}, S) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & d > d_0 \\ \frac{k_r}{d} + b_r & d \leq d_0, s \leq s_0 \\ \frac{k_r}{d} * \frac{s}{s_0} + b_r & d \leq d_0, s > s_0 \end{array} \right.$$

40

であり、

ただし、

 \vec{d}

はロボットと障害物との最小距離のベクトルであり、 S は有効遮断領域の面積であり、

 \vec{F}_r

50

は障害物のロボットに対する仮想斥力であり、 k_r 、 b_r は予め設定された仮想斥力係数であり、 s_0 は予め設定された有効遮断領域の面積の閾値であり、 d_0 は予め設定された距離の閾値であり、仮想斥力の方向は最小距離の方向と同じである

ことを特徴とする請求項 9 に記載のロボットの障害物回避方法。

【請求項 11】

前記第二算出ルールとして、

$F_t = k_t * d_t$ であり、

ただし、

\vec{F}_r

10

は目標位置のロボットに対する仮想引力であり、 k_t は予め設定された引力係数であり、 d_t は目標位置とロボットの現在位置決め位置との距離であり、

\vec{F}_r

の方向は目標位置に向かう

ことを特徴とする請求項 9 に記載のロボットの障害物回避方法。

【請求項 12】

ロボットであって、

プロセッサと、メモリとを備え、前記メモリにはロボットの障害物回避制御システムが記憶されており、請求項 4 乃至 11 のいずれか一項に記載のロボットの障害物回避方法におけるいずれかのステップを実現するように、前記ロボットの障害物回避制御システムは前記プロセッサによって実行可能である

ことを特徴とするロボット。

【請求項 13】

請求項 4 乃至 11 のいずれか一項に記載のロボットの障害物回避方法をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

「関連出願の相互参照」

本願は、パリ条約に基づいて、2017年3月27日に出願された、出願番号がCN2017101865816の、「ロボットの障害物回避制御システム及び方法」と題する中国特許出願の優先権を主張し、当該出願の全体が参照により本願に援用される。

【0002】

本発明は、コンピュータの技術分野に関するものであり、特にロボットの障害物回避制御システム、方法、ロボット及び記憶媒体に関するものである。

【背景技術】

【0003】

現在、自律移動ロボットは、数多くのシーンに幅広く応用され、例えば観覧者を1つの展示エリアから他の展示エリアへ案内して紹介する展示場の案内仕事、お客様を能動的に迎えた後、空いた座席に案内して注文させるレストランのサービス仕事、プログラムが設定した経路に沿って移動し、手伝いが必要な時に止まって質問に答える等の公共场所の案内、パトロール仕事等々である。これらのシーンで、ロボットの移動中に周囲環境における障害物への衝突をどのようにして回避するかということは、重要な技術的課題となる。現在、自律移動ロボットは、自身のセンサーによって位置決め及び障害物回避を行い、業界において通常の障害物回避手段として、ロボットに接近センサー（例えば、超音波、赤外、レーザー等のセンサー）を装着し、ロボットが障害物からの一定の距離（例えば、10cm）を検出すると、障害物回避を行う。

50

【 0 0 0 4 】

従来の障害物回避手段において、1、センサーの設置高さの平面にしか障害物を検出できず、四脚卓等の状況について、センサーの設置高さが30センチメートルで、天板の高さが60センチメートルであれば、センサーは障害物を検出できず、最終的にロボットが天板に衝突してしまい、2、センサーが装着されている方向にしか障害物を検出できず、ロボットの後部にセンサーがなければ、後退すると障害物に衝突してしまう、という欠点が存在する。

【 0 0 0 5 】

したがって、センサーが全面的に探知できない場合、どのようにしてロボットの効果的な障害物回避制御を達成するかということは既に差し迫った技術的問題となっている。

10

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

本発明は、ロボットの効果的な障害物回避制御を達成すべく、ロボットの障害物回避制御システム、方法、ロボット及び記憶媒体を提供することを主な目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 7 】

上記の目的を達成すべく、本願の第一実施形態によれば、ロボットの障害物回避制御システムを提供し、前記ロボットの障害物回避制御システムは、

ロボットの現在位置決めデータをリアルタイム又は定時的に取得し、かつ現在位置決めデータ及び予め確定された移動領域内における各障害物の位置データに基づき、現在位置決め位置から目標位置までの経路において現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在するか否かを確定することに用いられる確定モジュールと、

20

現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在する場合、取得した位置決めデータ、予め確定されたロボットの3Dモデル及び予め確定された前記障害物の3Dモデルに基づき、ロボットと前記障害物との最小距離を算出することに用いられる演算モジュールと、

取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物の3Dモデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出し、算出された移動方向に基づいてロボットの移動姿勢を制御することで、障害物を回避することに用いられる制御モジュールと、を備える

30

【 0 0 0 8 】

本願の第二実施形態によれば、さらにロボットの障害物回避方法を提供し、前記方法は、

ロボットの現在位置決めデータをリアルタイム又は定時的に取得し、かつ現在位置決めデータ及び予め確定された移動領域内における各障害物の位置データに基づき、現在位置決め位置から目標位置までの経路において現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在するか否かを確定するステップA1と、

現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在する場合、取得した位置決めデータ、予め確定されたロボットの3Dモデル及び予め確定された前記障害物の3Dモデルに基づき、ロボットと前記障害物との最小距離を算出するステップA2と、

40

取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物の3Dモデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出し、算出された移動方向に基づいてロボットの移動姿勢を制御することで、障害物を回避するステップA3と、を備える。

【 0 0 0 9 】

本願の第三実施形態によれば、ロボットを提供し、プロセッサと、メモリとを備え、前記メモリにはロボットの障害物回避制御システムが記憶されており、前記ロボットの障害物回避制御システムは、前記プロセッサによって実行されることで、

ロボットの現在位置決めデータをリアルタイム又は定時的に取得し、かつ現在位置決め

50

データ及び予め確定された移動領域内における各障害物の位置データに基づき、現在位置決め位置から目標位置までの経路において現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在するか否かを確定するステップA1と、

現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在する場合、取得した位置決めデータ、予め確定されたロボットの3Dモデル及び予め確定された前記障害物の3Dモデルに基づき、ロボットと前記障害物との最小距離を算出するステップA2と、

取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物の3Dモデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出し、算出された移動方向に基づいてロボットの移動姿勢を制御することで、障害物を回避するステップA3と、を実現することができる。

10

【0010】

本願の第四実施形態によれば、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体を提供し、前記コンピュータ読み取り可能な記憶媒体にはロボットの障害物回避制御システムが記憶されており、前記ロボットの障害物回避制御システムは、少なくとも1つのプロセッサによって実行されることで、

ロボットの現在位置決めデータをリアルタイム又は定時的に取得し、かつ現在位置決めデータ及び予め確定された移動領域内における各障害物の位置データに基づき、現在位置決め位置から目標位置までの経路において現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在するか否かを確定するステップA1と、

現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在する場合、取得した位置決めデータ、予め確定されたロボットの3Dモデル及び予め確定された前記障害物の3Dモデルに基づき、ロボットと前記障害物との最小距離を算出するステップA2と、

20

取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物の3Dモデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出し、算出された移動方向に基づいてロボットの移動姿勢を制御することで、障害物を回避するステップA3と、を実現することができる。

【発明の効果】

【0011】

本発明の提供するロボットの障害物回避制御システム、方法、ロボット及び記憶媒体は、ロボットの現在位置決めデータによって現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在すると検出する場合、ロボットの現在位置決めデータ、予め確定されたロボットの3Dモデル及び予め確定された前記障害物の3Dモデルに基づき、三次元空間におけるロボットと前記障害物との最小距離を算出し、かつ現在ロボットが移動すべき方向を算出することで、ロボットの移動姿勢を制御し、三次元空間におけるロボットと前記障害物との最小距離によってロボットの移動方向を制御できるため、三次元空間におけるロボットの各方向の障害物への検出及び回避を実現し、ロボットの効果的な障害物回避制御を達成する。

30

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例のフローチャートである。

40

【図2a】本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例における障害物の3Dモデルに対する扇形等分の概略図である。

【図2b】本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例における符号がkである扇形モデル部分の概略図である。

【図3a】本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例におけるロボットと障害物の3Dモデルの概略図である。

【図3b】本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例における立方体障害物モデルに対する扇形等分の概略図である。

【図3c】本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例におけるモデル部分に対する選別概略図である。

50

【図3d】本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例における最小距離ベクトル算出の概略図である。

【図4】本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例における有効遮断領域確定の概略図である。

【図5】本発明に係る障害物回避制御システム10の好適な実施例の実行環境の概略図である。

【図6】本発明に係る障害物回避制御システム10の好適な実施例の機能モジュール図である。

【0013】

以下、実施例及び図面を踏まえて、本発明の目的の達成、機能上の特徴及び利点を詳しく説明する。

【発明を実施するための形態】

【0014】

本発明が解決しようとする技術的問題、技術的解決手段及び有益な効果をより明確にするために、以下、図面と実施例を組み合わせる本発明について詳細に説明し、本明細書に記載の具体的な実施例は、単に本発明を説明するものであり、本発明を限定するものではないことが理解できる。

【0015】

本発明はロボットの障害物回避方法を提供する。

【0016】

図1に示すように、図1は本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例のフローチャートである。

【0017】

一実施例において、前記ロボットの障害物回避方法は、ステップS10と、ステップS20と、ステップS30とを備える。

【0018】

ステップS10：ロボットの障害物回避制御システムはロボットの現在位置決めデータ（例えば室内での位置、姿勢等）をリアルタイム又は定時的に（例えば、2秒ごとに）取得し、かつ現在位置決めデータ及び予め確定された移動領域内における各障害物の位置データに基づき、現在位置決め位置から目標位置までの経路において現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在するか否かを確定する。例えば、ロボット自身のセンサーによって位置決めを行いつつ予め確定された移動領域内における各障害物との距離を判断することができ、例えば、ロボットに接近センサー（例えば、超音波、赤外、レーザー等のセンサー）を装着することで、ロボットの現在位置決め位置から目標位置までの経路において現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在するか否かを判断することができる。

【0019】

ステップS20：現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在する場合、取得した位置決めデータ、予め確定されたロボットの3Dモデル及び予め確定された前記障害物の3Dモデルに基づき、ロボットと前記障害物との最小距離を算出する。

【0020】

ロボットの現在位置決め位置と予め確定された移動領域内における各障害物との距離を検出した後、現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在しないと判断する場合、目標位置の経路に沿って引き続き移動しかつロボットと移動領域内における各障害物との距離をリアルタイム又は定時的に検出する。現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在すると判断する場合、取得した位置決めデータ、予め確定されたロボットの3Dモデル及び予め確定された前記障害物の3Dモデルに基づいてロボットと前記障害物との最小距離を算出し、前記最小距離を用いて三次元空間においてロボットが目標位置の経路に沿って移動する時に前記障害物に衝突するか

10

20

30

40

50

否かを判断し、それによってロボットのセンサーの設置高さ平面に障害物を検出できるだけでなく、またロボットにセンサーが装着されている方向にもロボットにセンサーが装着されていない他の方向にもいずれも三次元空間における各方向の潜在障害物を検出することができる。ただし、前記予め確定されたロボットの3Dモデル及び移動領域内における各障害物の3Dモデルは、ロボットの記憶ユニットに予め記憶されてもよいし、またロボットにより無線通信ユニットを介してモノのインターネットシステムサーバにアクセスして取得されてもよく、ここで限定しない。

【0021】

ステップS30：取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物の3Dモデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出し、算出された移動方向に基づいてロボットの移動姿勢を制御することで、三次元空間における各方向の潜在障害物を回避し、ロボットが目標位置の経路に沿って移動する時に効果的な障害物回避制御を達成する。

10

【0022】

本実施例は、ロボットの現在位置決めデータによって現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在すると検出する場合、ロボットの現在位置決めデータ、予め確定されたロボットの3Dモデル及び予め確定された前記障害物の3Dモデルに基づき、三次元空間におけるロボットと前記障害物との最小距離を算出し、かつ現在ロボットが移動すべき方向を算出することで、ロボットの移動姿勢を制御し、三次元空間におけるロボットと前記障害物との最小距離によってロボットの移動方向を制御できるため、三次元空間におけるロボットの各方向の障害物への検出及び回避を実現し、ロボットの効果的な障害物回避制御を達成する。

20

【0023】

さらに、ステップS20は、ステップS201と、ステップS202とを備える。

【0024】

ステップS201：予め確定されたロボットの3Dモデル及び前記障害物の3Dモデルを前処理する。

【0025】

ステップS202：取得した位置決めデータ、前処理後のロボットの3Dモデルデータ及び前処理後の障害物の3Dモデルデータに対し、予め確定された距離算出ルールを用いてロボットと障害物との最小距離を算出する。

30

【0026】

例えば、ロボットと障害物が一般的には非凸体であるため、ロボットと障害物の3Dモデルに対して凸体に変換させるような前処理を行うことができ、それによって後続最小距離をより正確かつ急速に算出する。

【0027】

さらに、ステップS201におけるロボットの3Dモデルの前処理として、ロボットの各関節について、予め確定されたアルゴリズム（例えば、QuickHull高速凸包アルゴリズム）を直接用いて各関節を包囲する最小凸多面体を見つけ、それによってロボットの非凸モデルを凸体モデルに変換する。前記凸処理されたロボットの3Dモデルは後続最小距離ベクトルを算出する時に算出速度と算出精度を効果的に高めることができる。

40

【0028】

障害物の3Dモデルの前処理方式は、非凸多面体の凸バウンディングボックスを構築してそれを凸体に変換させて衝突検出を行う方式、非凸多面体を凸分解して非凸モデルを複数の凸体に変換させて衝突検出を行う方式、障害物の3Dモデルを扇形に等分（すなわち扇形分割）し、続いて等分後の単一扇形を凸分解する方式を含み、このように扇形に等分してから凸分解を行う方式は前の2種類の方式と比べて算出速度がより速いだけでなく、算出精度もより高い。

【0029】

障害物の3Dモデルを扇形に等分する前記ステップでは、さらに、

50

扇形等分対象障害物の3Dモデルの球形バウンディングボックスを構築し、球形バウンディングボックスの球心を見つけ、

前記球心を通る初期扇形等分平面を設け、前記初期扇形等分平面を予め設定された回転角に従って前記球心の回りに複数回回転させ、球形バウンディングボックスをn個の扇形部分に等分し、前記球形バウンディングボックスのn個の扇形部分を障害物の3Dモデルのn個のモデル部分とする。

【0030】

例えば、一つの実施形態において、ステップX1と、ステップX2と、ステップX3と、ステップX4とを備える。

【0031】

ステップX1：扇形等分対象障害物の3DモデルMの球形バウンディングボックスBを構築し、球形バウンディングボックスBの球心Oを見つけ、続いて球心Oに三次元座標系Oxyzを構築する。

【0032】

ステップX2：球心Oを通過して三次元座標系Oxyzのz軸と重なる直線Lを作り、xoz平面がすなわち初期扇形等分平面であり、xoz平面を π_1 とし、平面 π_1 が障害物の3Dモデルを2つの部分に分ける。

【0033】

ステップX3：直線Lの回りに平面 π_1 を一定の角度 θ （ θ は隣接する扇形偏角を表す）に回転させて新しい平面 π_2 を得て、新しい平面を角度 θ を引き続き回転して平面 π_3 を得て、 $m-1$ 回回転して第m個の平面 π_m を得ることができる。

【0034】

ステップX4： $\theta = 180/m$ とすれば、m個の平面は球形バウンディングボックスBを2mの部分に等分することができ、障害物の3Dモデルはすなわち2m個のモデル部分に分割され、前記ステップによって、非凸モデルも含まれる任意モデルに対する簡単な分割を完了し、かつハッシュテーブルによって分割されたモデル部分を管理することができる。

【0035】

等分後の単一扇形を凸分解する前記ステップでは、さらに、

DeLaunay三角形分割アルゴリズムを用いて障害物の3Dモデルに対して表面三角形分割を行うことで、三角形パッチ（凸状シート）集合を生成し、さらに各三角形パッチに対してそれに対応する凸ブロックを構築する。例えば、厚さがゼロである三角形パッチに対してその平面法線ベクトルの方向に所定厚さの引張を行うことで、凸ブロックを得る。

【0036】

さらに、前記予め確定された距離算出ルールとして、

ロボットの現在位置決めデータ（室内位置、姿勢等）及び予め確定された選別アルゴリズムに基づき、障害物の3Dモデルを扇形に等分した後に取得した各モデル部分を選別することによって、距離算出対象のモデル部分を選別し、

取得した位置決めデータ、選別されたモデル部分に対し、予め確定された距離算出アルゴリズム（例えば、GJKアルゴリズム）を用いてロボットと選別されたモデル部分との最小距離を算出し、前記最小距離をロボットと障害物の3Dモデルとの最小距離とする。

【0037】

さらに、図2a、2bに示すように、図2aは本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例における障害物の3Dモデルに対する扇形等分の概略図であり、図2bは本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例における符号がkである扇形モデル部分の概略図であり、前記予め確定された選別アルゴリズムは、ステップY1と、ステップY2と、ステップY3とを備える。

【0038】

ステップY1：障害物の3Dモデルを扇形に等分した後に取得したn個のモデル部分を

10

20

30

40

50

それぞれ障害物の n 個のノードとして、 $key - value$ (キー値) がそれぞれ初期扇形等分平面 (すなわち xoz 平面) に対する回転角 (すなわち偏角) 及びモデル幾何情報データであるハッシュテーブルを構築することで、モデルノード管理を行う。

【0039】

ステップ Y 2 : 扇形等分後に取得した各モデル部分に 1 からの番号をつけ、等分された n 個の扇形モデル部分は、隣接する扇形偏角が $360^\circ / n$ であり、番号に基づき、初期番号が i である扇形モデル部分の偏角マッピング関係を構築し、前記偏角マッピング関係を表すハッシュ関数は、 $Hash(i) = i * (360^\circ / n)$ である。

【0040】

ただし、 i は番号が i である扇形モデル部分であり、 $Hash(i)$ は番号が i である扇形モデル部分と障害物座標系の X 軸正方向との偏角を表す。

10

【0041】

ステップ Y 3 : 図 2 に示すように、ロボットの運動学方程式を構築し、構築された運動学方程式に基づいてロボットの各関節の位置姿勢を算出し、構築されたハッシュテーブルからロボット近傍の障害物扇形領域を検索する。ロボットの運動中に、ロボットの運動学方程式は、

$$T_i = A_0 A_1 A_2 \cdots A_{i-1} A_i \text{ である。}$$

【0042】

ただし、 A_k ($k = 1, 2, \dots, i$) はロボット関節座標系間の同次変換マトリックス (ロボットの各関節の D-H パラメーターによって確定できる) であり、 A_0 はロボットの現在位置マトリックス (ロボットの現在位置決めデータに対応する) であり、 T_i はロボット座標系に対する第 i 個の関節の位置姿勢である。

20

【0043】

T_i によってロボット運動過程において各関節の局所的な座標系原点座標のリアルタイム更新値 $Q_i(x, y, z)$ を算出し、さらに障害物座標系での関節の偏角 を得る。

【0044】

$$\alpha = f(Q_i(x, y, z))$$

30

【0045】

ただし、 $Q_i(x, y, z)$ はロボット座標系におけるロボットの関節の座標を表し、 T_r はロボット座標系から障害物座標系へ変換される変換マトリックス (4×4 のマトリックスであり、ロボット座標系及び障害物座標系は既に確定され、前記マトリックスは直接算出される) であれば、障害物座標系におけるロボットの関節の座標 $Q_i(x_t, y_t, z_t)$ は、 $Q_i(x_t, y_t, z_t) = T_r Q_i(x, y, z)$ である。

【0046】

障害物座標系の Z 軸の正方向を上向きとし、右手座標系に準じ、障害物座標系での関節の偏角を とすれば、 $\tan(\quad) = y_t / x_t$ である。

【0047】

三角関数の解を求めて障害物座標系での関節の偏角 を取得し、続いて前記偏角マッピング関係を表すハッシュ関数 $Hash(i)$ に基づいて対応する番号の扇形モデル部分を算出することができ、かつ対応する番号のモデル部分に基づいて距離算出対象のモデル部分を選別する。例えば、算出された扇形モデル部分の番号が k であれば、番号が $[k - M, k + N]$ 範囲内の扇形モデル部分を選択して最小距離を算出することができる。ただし、 M 、 N はプリセット値であり、番号が k である扇形モデル部分近傍の複数の扇形モデル部分を最小距離算出対象のモデル部分として選択する。

40

【0048】

図 3 a に示すように、図 3 a は本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例におけるロボットと障害物の 3D モデルの概略図であり、一つの実施形態において、ロボット

50

はシャーシのみが運動し、アーム等の他の運動関節がないロボットを採用し、ロボットの3Dモデルとして、高さ1500mm、運動シャーシの半径320mmのロボットの3Dモデルを採用し、障害物の3Dモデルは簡単な立方体モデルを採用し、寸法が2200mm×2200mm×1000mmであり、障害物モデル座標系でロボットの現在座標が(1800, -100)である。

【0049】

図3bは本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例における立方体障害物モデルに対する扇形等分の概略図であり、障害物モデルに対する前処理とは、主に障害物モデルを扇形に等分することであり、図3bに示すように、障害物モデルは32個の部分に扇形等分され、X軸から反時計回りに扇形等分のモデル部分に1, 2, ..., 15, 16, ..., 31, 32の順に番号をつける。各モデルブロックの角は $360/32 = 11.25$ 度であり、以上から分かるように、番号1のモデルブロックとX軸との正方向偏角は 11.25 度であり、番号2のモデルブロックとX軸との正方向偏角は $11.25 \times 2 = 22.5$ 度であり、番号*i*のモデルブロックとX軸との正方向偏角は $i \times (360/32)$ である。

10

【0050】

図3cは本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例におけるモデル部分に対する選別概略図であり、モデル部分を選別する過程において、本実施例の採用するロボットはシャーシのみが運動し、アーム等の他の運動関節がないため、シャーシの位置姿勢はロボットの全体の位置姿勢を表し、現在ロボットの位置は(1800, -100)(障害物座標系に対応する座標)であり、ロボットと障害物座標系のX軸の正軸との偏角が 354 度であると算出することができる。さらにロボットが対応する扇形モデル部分の番号が $354/11.25 = 31.5$ であると算出し、四捨五入して32を得て、そのため距離算出対象の対応する扇形ブロックの番号が32であり、すなわちロボットが番号32の障害物ブロックに最も近い。次に $K = 32$ 近傍の障害物ブロックを選択し、GJKを採用してロボットとの最小距離及び最小距離点を算出する。 $M = 1$ 、 $N = 2$ を取ると、障害物ブロックの範囲は[31, 34]であり、番号が32を超えると簡単に転換する必要があり、33を対応する番号が1の障害物ブロックに転換し、34を対応する番号が2の障害物ブロックに転換する。図3cに示すように、最後には番号31、32、1、2の障害物ブロックを選択して最小距離算出を行う。

20

30

【0051】

図3dは本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例における最小距離ベクトル算出の概略図であり、最小距離を算出する際、前記処理を経て、障害物ブロックの範囲(1, 2, 31, 32)を既に小さくし、GJKアルゴリズムを直接採用してロボットと障害物との間の最小距離点を算出し、図3dに示すように、それぞれ障害物上の点 $(x_1, y_1, z_1) = (1100, -100, -235)$ 、ロボット上の点 $(x_2, y_2, z_2) = (1477, -100, -235)$ であり、そうすればロボットと障害物との間の最小距離ベクトルは

$$\vec{d} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) = (377, 0, 0)$$

40

である。

【0052】

ステップS30では、さらに、

ロボットの障害物回避制御システムは、算出された最小距離に基づいて障害物回避を行う必要があるか否かを分析し、算出された最小距離が予め設定された距離閾値より大きければ、障害物回避を行う必要がないと確定し、又は、算出された最小距離が予め設定された距離閾値以下である場合、障害物回避を行う必要があると確定する。障害物回避を行う

50

必要があると確定すると、ロボットの障害物回避制御システムは、取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物の3Dモデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出し、かつ算出された移動方向に基づいてロボットの移動姿勢を制御する。

【0053】

取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物の3Dモデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出する前記ステップでは、さらに、

ロボット及び前記障害物を同一座標系平面に投影し、

予め確定された投影分析ルール及び障害物の3Dモデルが前記座標系平面に投影される投影領域の外輪郭における各点の座標に基づき、ロボットの現在位置決め位置及び目標位置に対する前記障害物の投影の有効遮断領域の面積を算出し、

算出された最小距離及び有効遮断領域の面積に基づいて第一プリセットタイプの障害物回避パラメーター（例えば、仮想斥力）を確定し、目標点位置とロボットの現在位置決め位置との距離に基づいて第二プリセットタイプの障害物回避パラメーター（例えば、仮想斥力）を確定し、第一プリセットタイプの障害物回避パラメーター及び第二プリセットタイプの障害物回避パラメーターに基づいて現在ロボットが移動すべき方向を確定する。

【0054】

さらに、図4に示すように、図4は本発明に係るロボットの障害物回避方法の一実施例における有効遮断領域確定の概略図であり、前記予め確定された投影分析ルールとして、

座標系平面の P_1 位置点をロボットの位置（現在位置決め位置）、 P_2 位置点を目標点の位置（目標位置）、投影領域 P_3 を座標系平面における障害物の3Dモデルの投影として設定し、また座標系平面において P_1 と P_2 を直線 J で繋ぎ、

直線 J と投影領域 P_3 との交点数がゼロであるか又は1つのみであれば、有効遮断領域が存在しないと確定し、

直線 J と投影領域 P_3 との交点数が1つを超えれば、直線 J は投影を2つの部分（図4に示す S_1 領域と S_2 領域）に分割し、投影領域 P_3 （例えば S_1 又は S_2 領域）に任意の点 P_S を見つけ、 P_S を通過して直線 J の垂直線を作り、垂直線と直線 J との交点を P_J として設定し、さらにベクトル

$$\overrightarrow{P_J P_S} = P_J - P_S$$

を得て、最小距離のベクトル

$$\vec{d}$$

とベクトル

$$\overrightarrow{P_J P_S}$$

との角 θ を算出し、角 θ が鋭角であれば、 P_S 点の存在する領域が有効遮断領域（例えば、図4における有効遮断投影領域 S_2 ）であると確定し、又は、角 θ が鋭角でなければ、 P_S 点の存在する領域が有効遮断領域ではないと確定する。

【0055】

さらに、前記第一プリセットタイプの障害物回避パラメーターが仮想斥力であり、前記第二プリセットタイプの障害物回避パラメーターが仮想引力であり、算出された最小距離及び有効遮断領域の面積に基づいて第一プリセットタイプの障害物回避パラメーターを確定し、目標位置とロボットの現在位置決め位置との距離に基づいて第二プリセットタイプ

の障害物回避パラメーターを確定し、前記第一プリセットタイプの障害物回避パラメーター及び前記第二プリセットタイプの障害物回避パラメーターに基づいて現在ロボットが移動すべき方向を確定する前記ステップでは、

算出された最小距離及び有効遮断領域の面積に基づき、第一算出ルールでロボットに作用する仮想斥力を算出し、

現在位置決め位置と目標点位置との距離に基づき、第二算出ルールでロボットに作用する仮想引力を算出し、

前記仮想引力と仮想斥力の合力方向を算出して、前記合力方向はすなわち現在ロボットが移動すべき方向である。

【 0 0 5 6 】

さらに、前記第一算出ルールとして、

$$\vec{F}_r = f(d^p, S)$$

である。

【 0 0 5 7 】

ただし、

$$\vec{d}$$

はロボットと障害物との最小距離のベクトルであり、 S は有効遮断領域の面積であり、

$$\vec{F}_r$$

は障害物のロボットに対する仮想斥力であり、

$$f(d^p, S)$$

は最小距離ベクトルと有効遮断領域の面積が障害物のロボットに対する仮想斥力へ変換される関係式であり、前記関係式の実現には複数種類の方法があり、選択可能な実施例において、前記関係式は、

10

20

30

$$\vec{F}_r = f^r(d, S) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & d > d_0 \\ \frac{k_r}{d} + b_r & d \leq d_0, s \leq s_0 \\ \frac{k_r}{d} * \frac{s}{s_0} + b_r & d \leq d_0, s > s_0 \end{array} \right\} \quad 10$$

である。

【0058】

ただし、 k_r 、 b_r は予め設定された仮想斥力係数を表し、 s_0 は予め設定された有効遮断領域の面積閾値を表し、 $s_0 > 0$ であり、 d_0 は予め設定された距離閾値を表し、 $d_0 > 0$ であり、仮想斥力方向（すなわち

20

\vec{F}_r

方向) は最小距離の方向と同じである。

【0059】

前記関係式に基づき、ロボットと障害物との距離が遠い際、設定された距離閾値 d_0 を超える場合に障害物回避を行わず、

\vec{F}_r

30

の大きさは0であり、障害物回避の距離範囲内（最小距離は d_0 より小さい）に入ると、有効遮断領域の面積 s が大きく、設定された値 s_0 を超える場合、 $s / s_0 > 1$ であり、

\vec{F}_r

40

が大きくなり、距離が遠い場合に障害物回避を行うことができ、事前に障害物回避を行い、それによって大きい障害物を回避する。

【0060】

さらに、前記第二算出ルールとして、 $F_t = k_t * d_t$ である。

【0061】

ただし、

$$\vec{F}_r$$

は目標位置のロボットに対する仮想引力であり、 k_t は予め設定された引力係数であり、 d_t は目標位置とロボットの現在位置決め位置との距離を表し、仮想引力方向（すなわち

$$\vec{F}_r$$

10

方向)は目標位置に向かう。

【0062】

本発明はさらに、ロボットの障害物回避制御システムを提供する。

【0063】

図5に示すように、本発明に係る障害物回避制御システム10の好適な実施例の実行環境の概略図である。

【0064】

本実施例において、障害物回避制御システム10は、ロボット1にインストールされて

20

ロボット1において実行される。

【0065】

ロボット1は、メモリ11と、プロセッサ12と、ディスプレイ13とを備えるが、それらだけに限定されるものではない。図1はモジュール11-13を備えるロボット1のみを示すが、理解されるように、示される全てのモジュールを実施する必要はなく、また、より多くの又はより少ないモジュールを実施することも可能である。

【0066】

ただし、メモリ11は、内部メモリと、少なくとも一種類の読み取り可能な記憶媒体とを備える。前記内部メモリは、ロボット1の実行にキャッシュを提供する。前記読み取り可能な記憶媒体は、フラッシュメモリ、ハードディスク、マルチメディアカード、カード型メモリ等の不揮発性記憶媒体であってもよい。いくつかの実施例において、前記読み取り可能な記憶媒体は、ロボット1の内部記憶ユニットであってもよく、例えばロボット1のハードディスク又は内部メモリである。別の実施例において、前記読み取り可能な記憶媒体は、ロボット1の外部記憶装置であってもよく、例えばロボット1に配置されている挿入式ハードディスク、スマートメディアカード(Smart Media(登録商標) Card、SMC)、セキュアデジタル(Secure Digital、SD)カード、フラッシュカード(Flash Card)等であってもよい。本実施例において、メモリ11の読み取り可能な記憶媒体は、通常ロボット1にインストールされている障害物回避制御システム10のプログラムコード等のアプリケーションソフトウェア及び各種のデータを記憶することに使用される。また、メモリ11は、出力されたあるいは

30

40

【0067】

プロセッサ12は、いくつかの実施例において、中央処理装置(Central Processing Unit、CPU)、マイクロプロセッサ又は他のデータ処理チップであってもよく、メモリ11に記憶されているプログラムコード又は処理データを実行することに用いられる。プロセッサ12は、障害物回避制御システム10を実行することで、前記ロボットの障害物回避方法のいずれかのステップを実現することができる。

【0068】

ディスプレイ13は、いくつかの実施例において、LEDディスプレイ、液晶ディスプレイ、タッチ型液晶ディスプレイ、及びOLED(Organic Light-Emitting Diode)ディスプレイ

50

t t i n g D i o d e、有機発光ダイオード) タッチ装置等であってもよい。ディスプレイ 13 は、ロボット 1 に処理された情報の表示及びアプリケーションメニューインタフェース、アプリケーションアイコンインタフェース等のような可視化のユーザインタフェースの表示に用いられる。ロボット 1 のモジュール 11 - 13 は、システムバスを介して相互に通信する。

【0069】

図 6 に示すように、本発明に係る障害物回避制御システム 10 の好適な実施例の機能モジュール図であり、本実施例において、障害物回避制御システム 10 は、確定モジュール 01、演算モジュール 02、制御モジュール 03 に分割されてもよい。本発明のいわゆるモジュールとは、特定機能を備える一連のコンピュータプログラムコマンドセグメントであり、ロボット 1 における障害物回避制御システム 10 の実行過程を説明することに用いられる。プロセッサ 12 が障害物回避制御システム 10 の各モジュールのコンピュータプログラムコマンドセグメントを実行する場合、各コンピュータプログラムコマンドセグメントによって実現される操作及び機能に基づき、前記ロボットの障害物回避方法のいずれかのステップを実現することができる。以下、確定モジュール 01、演算モジュール 02、制御モジュール 03 により実現される操作及び機能について、詳細に説明する。

10

【0070】

確定モジュール 01 は、ロボットの現在位置決めデータ(例えば室内での位置、姿勢等)をリアルタイム又は定時的に(例えば、2 秒ごとに)取得し、かつ現在位置決めデータ及び予め確定された移動領域内における各障害物の位置データに基づき、現在位置決め位置から目標位置までの経路において現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在するか否かを確定することに用いられる。例えば、ロボット自身のセンサーによって位置決めを行いかつ予め確定された移動領域内における各障害物との距離を判断することができ、例えば、ロボットに接近センサー(例えば、超音波、赤外、レーザー等のセンサー)を装着することで、ロボットの現在位置決め位置から目標位置までの経路において現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在するか否かを判断することができる。

20

【0071】

演算モジュール 02 は、現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在する場合、取得した位置決めデータ、予め確定されたロボットの 3D モデル及び予め確定された前記障害物の 3D モデルに基づき、ロボットと前記障害物との最小距離を算出することに用いられる。

30

【0072】

ロボットの現在位置決め位置と予め確定された移動領域内における各障害物との距離を検出した後、現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在しないと判断する場合、目標位置の経路に沿って引き続き移動しかつロボットと移動領域内における各障害物との距離をリアルタイム又は定時的に検出する。現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在すると判断する場合、取得した位置決めデータ、予め確定されたロボットの 3D モデル及び予め確定された前記障害物の 3D モデルに基づいてロボットと前記障害物との最小距離を算出し、前記最小距離を用いて三次元空間においてロボットが目標位置の経路に沿って移動する時に前記障害物に衝突するか否かを判断し、それによってロボットのセンサーの設置高さ平面に障害物を検出できるだけでなく、またロボットにセンサーが装着されている方向にもロボットにセンサーが装着されていない他の方向にもいずれも三次元空間における各方向の潜在障害物を検出することができる。ただし、前記予め確定されたロボットの 3D モデル及び移動領域内における各障害物の 3D モデルは、ロボットの記憶ユニットに予め記憶されてもよいし、またロボットにより無線通信ユニットを介してモノのインターネットシステムサーバにアクセスして取得されてもよく、ここで限定しない。

40

【0073】

制御モジュール 03 は、取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物

50

の3Dモデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出し、算出された移動方向に基づいてロボットの移動姿勢を制御することで、三次元空間における各方向の潜在障害物を回避し、ロボットが目標位置の経路に沿って移動する時に効果的な障害物回避制御を達成することに用いられる。

【0074】

本実施例は、ロボットの現在位置決めデータによって現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在すると検出する場合、ロボットの現在位置決めデータ、予め確定されたロボットの3Dモデル及び予め確定された前記障害物の3Dモデルに基づき、三次元空間におけるロボットと前記障害物との最小距離を算出し、かつ現在ロボットが移動すべき方向を算出することで、ロボットの移動姿勢を制御し、三次元空間におけるロボットと前記障害物との最小距離によってロボットの移動方向を制御できるため、三次元空間におけるロボットの各方向の障害物への検出及び回避を実現し、ロボットの効果的な障害物回避制御を達成する。

10

【0075】

さらに、演算モジュール02は、

予め確定されたロボットの3Dモデル及び前記障害物の3Dモデルを前処理し、さらに取得した位置決めデータ、前処理後のロボットの3Dモデルデータ及び前処理後の障害物の3Dモデルデータに対し、予め確定された距離算出ルールを用いてロボットと障害物との最小距離を算出することに用いられる。

20

【0076】

例えば、ロボットと障害物が一般的には非凸体であるため、ロボットと障害物の3Dモデルに対して凸体に変換させるような前処理を行うことができ、それによって後続最小距離をより正確かつ急速に算出する。

【0077】

さらに、演算モジュール02は、ロボットの各関節について、予め確定されたアルゴリズム（例えば、QuickHull高速凸包アルゴリズム）を直接用いて各関節を包囲する最小凸多面体を見つけ、それによってロボットの非凸モデルを凸体モデルに変換することに用いられる。前記凸処理されたロボットの3Dモデルは後続最小距離ベクトルを算出する時に算出速度と算出精度を効果的に高めることができる。

30

【0078】

障害物の3Dモデルの前処理方式は、非凸多面体の凸バウンディングボックスを構築してそれを凸体に変換させて衝突検出を行う方式、非凸多面体を凸分解して非凸モデルを複数の凸体に変換させて衝突検出を行う方式、障害物の3Dモデルを扇形に等分（すなわち扇形分割）し、続いて等分後の単一扇形を凸分解する方式を含み、このように扇形に等分してから凸分解を行う方式は前の2種類の方式と比べて算出速度がより速いだけでなく、算出精度もより高い。

【0079】

さらに、演算モジュール02は、扇形等分対象障害物の3Dモデルの球形バウンディングボックスを構築し、球形バウンディングボックスの球心を見つけ、そして前記球心を通過する初期扇形等分平面を設け、前記初期扇形等分平面を予め設定された回転角に従って前記球心の回りに複数回回転させ、球形バウンディングボックスをn個の扇形部分に等分し、さらに前記球形バウンディングボックスのn個の扇形部分を障害物の3Dモデルのn個のモデル部分とすることに用いられる。

40

【0080】

例えば、一つの実施形態において、ステップX1と、ステップX2と、ステップX3と、ステップX4とを備える。

【0081】

ステップX1：扇形等分対象障害物の3DモデルMの球形バウンディングボックスBを構築し、球形バウンディングボックスBの球心Oを見つけ、続いて球心Oに三次元座標系Oxyzを構築する。

50

【 0 0 8 2 】

ステップ X 2 : 球心 O を通過して三次元座標系 $O x y z$ の z 軸と重なる直線 L を作り、 $x o z$ 平面がすなわち初期扇形等分平面であり、 $x o z$ 平面を π_1 とし、平面 π_1 が障害物の 3 D モデルを 2 つの部分に分ける。

【 0 0 8 3 】

ステップ X 3 : 直線 L の回りに平面 π_1 を一定の角度 θ (θ は隣接する扇形偏角を表す) に回転させて新しい平面 π_2 を得て、新しい平面を角度 θ 引き続き回転して平面 π_3 を得て、 $m - 1$ 回回転して第 m 個の平面 π_m を得ることができる。

【 0 0 8 4 】

ステップ X 4 : $\theta = 180 / m$ とすれば、 m 個の平面は球形バウンディングボックス B を $2m$ の部分に等分することができ、障害物の 3 D モデルはすなわち $2m$ 個のモデル部分に分割され、前記ステップによって、非凸モデルも含まれる任意モデルに対する簡単な分割を完了し、かつハッシュテーブルによって分割されたモデル部分を管理することができる。

10

【 0 0 8 5 】

さらに、演算モジュール 0 2 は、D e l a u n a y 三角形分割アルゴリズムを用いて障害物の 3 D モデルに対して表面三角形分割を行うことで、三角形パッチ (凸状シート) 集合を生成し、さらに各三角形パッチに対してそれに対応する凸ブロックを構築することに用いられる。例えば、厚さがゼロである三角形パッチに対してその平面法線ベクトルの方向に所定厚さの引張を行うことで、凸ブロックを得る。

20

【 0 0 8 6 】

さらに、前記予め確定された距離算出ルールとして、

ロボットの現在位置決めデータ (室内位置、姿勢等) 及び予め確定された選別アルゴリズムに基づき、障害物の 3 D モデルを扇形に等分した後に取得した各モデル部分を選別することによって、距離算出対象のモデル部分を選別し、

取得した位置決めデータ、選別されたモデル部分に対し、予め確定された距離算出アルゴリズム (例えば、G J K アルゴリズム) を用いてロボットと選別されたモデル部分との最小距離を算出し、前記最小距離をロボットと障害物の 3 D モデルとの最小距離とする。

【 0 0 8 7 】

さらに、図 2 a、2 b に示すように、前記予め確定された選別アルゴリズムは、ステップ Y 1 と、ステップ Y 2 と、ステップ Y 3 とを備える。

30

【 0 0 8 8 】

ステップ Y 1 : 障害物の 3 D モデルを扇形に等分した後に取得した n 個のモデル部分をそれぞれ障害物の n 個のノードとして、 $key - value$ (キー値) がそれぞれ初期扇形等分平面 (すなわち $x o z$ 平面) に対する回転角 (すなわち偏角) 及びモデル幾何情報データであるハッシュテーブルを構築することで、モデルノード管理を行う。

【 0 0 8 9 】

ステップ Y 2 : 扇形等分後に取得した各モデル部分に 1 からの番号をつけ、等分された n 個の扇形モデル部分は、隣接する扇形偏角が $360^\circ / n$ であり、番号に基づき、初期番号が i である扇形モデル部分の偏角マッピング関係を構築し、前記偏角マッピング関係を表すハッシュ関数は、 $Hash(i) = i * (360^\circ / n)$ である。

40

【 0 0 9 0 】

ただし、 i は番号が i である扇形モデル部分であり、 $Hash(i)$ は番号が i である扇形モデル部分と障害物座標系の X 軸正方向との偏角を表す。

【 0 0 9 1 】

ステップ Y 3 : 図 2 に示すように、ロボットの運動学方程式を構築し、構築された運動学方程式に基づいてロボットの各関節の位置姿勢を算出し、構築されたハッシュテーブルからロボット近傍の障害物扇形領域を検索する。ロボットの運動中に、ロボットの運動学方程式は、

$$T_i = A_0 A_1 A_2 \cdots A_{i-1} A_i \text{ である。}$$

50

【0092】

ただし、 A_k ($k = 1, 2, \dots, i$) はロボット関節座標系間の同次変換マトリックス (ロボットの各関節の D - H パラメータによって確定できる) であり、 A_0 はロボットの現在位置マトリックス (ロボットの現在位置決めデータに対応する) であり、 T_i はロボット座標系に対する第 i 個の関節の位置姿勢である。

【0093】

T_i によってロボット運動過程において各関節の局所的な座標系原点座標のリアルタイム更新値 $Q_i(x, y, z)$ を算出し、さらに障害物座標系での関節の偏角 α を得る。

【0094】

$$\alpha = f(Q_i(x, y, z))$$

10

【0095】

ただし、 $Q_i(x, y, z)$ はロボット座標系におけるロボットの関節の座標を表し、 T_r はロボット座標系から障害物座標系へ変換される変換マトリックス (4×4 のマトリックスであり、ロボット座標系及び障害物座標系は既に確定され、前記マトリックスは直接算出される) であれば、障害物座標系におけるロボットの関節の座標 $Q_i(x_t, y_t, z_t)$ は、 $Q_i(x_t, y_t, z_t) = T_r Q_i(x, y, z)$ である。

【0096】

障害物座標系の Z 軸の正方向を上向きとし、右手座標系に準じ、障害物座標系での関節の偏角 α とすれば、 $\tan(\alpha) = y_t / x_t$ である。

20

【0097】

三角関数の解を求めて障害物座標系での関節の偏角 α を取得し、続いて前記偏角マッピング関係を表すハッシュ関数 $Hash(i)$ に基づいて対応する番号の扇形モデル部分を算出することができ、かつ対応する番号のモデル部分に基づいて距離算出対象のモデル部分を選別する。例えば、算出された扇形モデル部分の番号が k であれば、番号が $[k - M, k + N]$ 範囲内の扇形モデル部分を選択して最小距離を算出することができる。ただし、 M 、 N はプリセット値であり、番号が k である扇形モデル部分近傍の複数の扇形モデル部分を最小距離算出対象のモデル部分として選択する。

30

【0098】

図 3 a に示すように、一つの実施形態において、ロボットはシャーシのみが運動し、アーム等の他の運動関節がないロボットを採用し、ロボットの 3D モデルとして、高さ 1500 mm、運動シャーシの半径 320 mm のロボットの 3D モデルを採用し、障害物の 3D モデルは簡単な立方体モデルを採用し、寸法が 2200 mm \times 2200 mm \times 1000 mm であり、障害物モデル座標系でロボットの現在座標が (1800, -100) である。

【0099】

障害物モデルに対する前処理とは、主に障害物モデルを扇形に等分することであり、図 3 b に示すように、障害物モデルは 32 個の部分に扇形等分され、X 軸から反時計回りに扇形等分のモデル部分に 1, 2, ..., 15, 16, ..., 31, 32 の順に番号をつける。各モデルブロックの角は $360 / 32 = 11.25$ 度であり、以上から分かるように、番号 1 のモデルブロックと X 軸との正方向偏角は 11.25 度であり、番号 2 のモデルブロックと X 軸との正方向偏角は $11.25 \times 2 = 22.5$ 度であり、番号 i のモデルブロックと X 軸との正方向偏角は $i \times (360 / 32)$ である。

40

【0100】

モデル部分を選別する過程において、本実施例の採用するロボットはシャーシのみが運動し、アーム等の他の運動関節がないため、シャーシの位置姿勢はロボットの全体の位置姿勢を表し、現在ロボットの位置は (1800, -100) (障害物座標系に対応する座標) であり、ロボットと障害物座標系の X 軸の正軸との偏角が 354 度であると算出する

50

ことができる。さらにロボットが対応する扇形モデル部分の番号が 3 5 4 / 1 1 . 2 5 = 3 1 . 5 であると算出し、四捨五入して 3 2 を得て、そのため距離算出対象の対応する扇形ブロックの番号が 3 2 であり、すなわちロボットが番号 3 2 の障害物ブロックに最も近い。

【 0 1 0 1 】

次に K = 3 2 近傍の障害物ブロックを選択し、G J K を採用してロボットとの最小距離及び最小距離点を算出する。M = 1、N = 2 を取ると、障害物ブロックの範囲は [3 1 , 3 4] であり、番号が 3 2 を超えると簡単に転換する必要があり、3 3 を対応する番号が 1 の障害物ブロックに転換し、3 4 を対応する番号が 2 の障害物ブロックに転換する。図 3 c に示すように、最後には番号 3 1、3 2、1、2 の障害物ブロックを選択して最小距離算出を行う。

10

【 0 1 0 2 】

最小距離を算出する際、前記処理を経て、障害物ブロックの範囲 (1 , 2 , 3 1 , 3 2) を既に小さくし、G J K アルゴリズムを直接採用してロボットと障害物との間の最小距離点を算出し、図 3 d に示すように、それぞれ障害物上の点 (x 1 , y 1 , z 1) = (1 1 0 0 , - 1 0 0 , - 2 3 5)、ロボット上の点 (x 2 , y 2 , z 2) = (1 4 7 7 , - 1 0 0 , - 2 3 5) であり、そうすればロボットと障害物との間の最小距離ベクトルは

$$\vec{d} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) = (377, 0, 0)$$

20

である。

【 0 1 0 3 】

さらに、制御モジュール 0 3 は、算出された最小距離に基づいて障害物回避を行う必要があるか否かを分析し、算出された最小距離が予め設定された距離閾値より大きければ、障害物回避を行う必要がないと確定し、又は、算出された最小距離が予め設定された距離閾値以下である場合、障害物回避を行う必要があると確定し、さらに障害物回避を行う必要があると確定すると、取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物の 3 D モデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出し、かつ算出された移動方向に基づいてロボットの移動姿勢を制御することに用いられる。

30

【 0 1 0 4 】

さらに、制御モジュール 0 3 は、

ロボット及び前記障害物を同一座標系平面に投影し、

予め確定された投影分析ルール及び障害物の 3 D モデルが前記座標系平面に投影される投影領域の外輪郭における各点の座標に基づき、ロボットの現在位置決め位置及び目標位置に対する前記障害物の投影の有効遮断領域の面積を算出し、

算出された最小距離及び有効遮断領域の面積に基づいて第一プリセットタイプの障害物回避パラメーター (例えば、仮想斥力) を確定し、目標点位置とロボットの現在位置決め位置との距離に基づいて第二プリセットタイプの障害物回避パラメーター (例えば、仮想斥力) を確定し、第一プリセットタイプの障害物回避パラメーター及び第二プリセットタイプの障害物回避パラメーターに基づいて現在ロボットが移動すべき方向を確定することに用いられる。

40

【 0 1 0 5 】

さらに、図 4 に示すように、前記予め確定された投影分析ルールとして、

座標系平面の P₁ 位置点をロボットの位置 (現在位置決め位置)、P₂ 位置点を目標点の位置 (目標位置)、投影領域 P₃ を座標系平面における障害物の 3 D モデルの投影として設定し、また座標系平面において P₁ と P₂ を直線 J で繋ぎ、

直線 J と投影領域 P₃ との交点数がゼロであるか又は 1 つのみであれば、有効遮断領域が存在しないと確定し、

50

直線Jと投影領域P 3との交点数が1つを超えれば、直線Jは投影を2つの部分(図4に示すS₁領域とS₂領域)に分割し、投影領域P 3(例えばS₁又はS₂領域)に任意の点P_Sを見つけ、P_Sを通過して直線Jの垂直線を作り、垂直線と直線Jとの交点をP_Jとして設定し、さらにベクトル

$$\overrightarrow{P_J P_S} = P_J - P_S$$

を得て、最小距離のベクトル

10

$$\vec{d}$$

とベクトル

$$\overrightarrow{P_J P_S}$$

との角 θ を算出し、角 θ が鋭角であれば、P_S点の存在する領域が有効遮断領域(例えば、図4における有効遮断投影領域S₂)であると確定し、又は、角 θ が鋭角でなければ、P_S点の存在する領域が有効遮断領域ではないと確定する。

20

【0106】

さらに、前記第一プリセットタイプの障害物回避パラメーターが仮想斥力であり、前記第二プリセットタイプの障害物回避パラメーターが仮想引力であり、制御モジュール03は、

算出された最小距離及び有効遮断領域の面積に基づき、第一算出ルールでロボットに作用する仮想斥力を算出し、

現在位置決め位置と目標点位置との距離に基づき、第二算出ルールでロボットに作用する仮想引力を算出し、

30

前記仮想引力と仮想斥力の合力方向を算出することにさらに用いられ、前記合力方向はすなわち現在ロボットが移動すべき方向である。

【0107】

さらに、前記第一算出ルールとして、

$$\vec{F}_r = f(d, S)$$

である。

40

【0108】

ただし、

$$\vec{d}$$

はロボットと障害物との最小距離のベクトルであり、Sは有効遮断領域の面積であり、

$$\vec{F}_r$$

は障害物のロボットに対する仮想斥力であり、

$$f(d, S)$$

は最小距離ベクトルと有効遮断領域の面積が障害物のロボットに対する仮想斥力へ変換される関係式であり、前記関係式の実現には複数種類の方法があり、選択可能な実施例において、前記関係式は、

$$\vec{F}_r = f(d, S) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & d > d_0 \\ \frac{k_r}{d} + b_r & d \leq d_0, s \leq s_0 \\ \frac{k_r}{d} * \frac{s}{s_0} + b_r & d \leq d_0, s > s_0 \end{array} \right\} \quad 20$$

である。

【0109】

ただし、 k_r 、 b_r は予め設定された仮想斥力係数を表し、 s_0 は予め設定された有効遮断領域の面積閾値を表し、 $s_0 > 0$ であり、 d_0 は予め設定された距離閾値を表し、 $d_0 > 0$ であり、仮想斥力方向（すなわち

$$\vec{F}_r$$

方向）は最小距離の方向と同じである。

【0110】

前記関係式に基づき、ロボットと障害物との距離が遠い際、設定された距離閾値 d_0 を超える場合に障害物回避を行わず、

$$\vec{F}_r$$

の大きさは0であり、障害物回避の距離範囲内（最小距離は d_0 より小さい）に入ると、有効遮断領域の面積 s が大きく、設定された値 s_0 を超える場合、 $s / s_0 > 1$ であり、

$$\vec{F}_r$$

が大きくなり、距離が遠い場合に障害物回避を行うことができ、事前に障害物回避を行い、それによって大きい障害物を回避する。

【0111】

さらに、前記第二算出ルールとして、 $F_t = k_t * d_t$ である。

【0112】

ただし、

10

$$\vec{F}_r$$

は目標位置のロボットに対する仮想引力であり、 k_t は予め設定された引力係数であり、 d_t は目標位置とロボットの現在位置決め位置との距離を表し、仮想引力方向(すなわち

$$\vec{F}_r$$

20

方向)は目標位置に向かう。

【0113】

本発明はさらに、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体を提供する。

【0114】

本実施例において、前記コンピュータ読み取り可能な記憶媒体にはロボットの障害物回避制御システムが記憶されており、前記ロボットの障害物回避制御システムは、少なくとも1つのプロセッサによって実行されることで、ステップS10、ステップS20とステップS30を実現することができる。

30

【0115】

ステップS10：ロボットの現在位置決めデータをリアルタイム又は定時的に取得し、かつ現在位置決めデータ及び予め確定された移動領域内における各障害物の位置データに基づき、現在位置決め位置から目標位置までの経路において現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在するか否かを確定する。

【0116】

ステップS20：現在位置決め位置からの距離が予め設定された距離より短い障害物が存在する場合、取得した位置決めデータ、予め確定されたロボットの3Dモデル及び予め確定された前記障害物の3Dモデルに基づき、ロボットと前記障害物との最小距離を算出する。

40

【0117】

ステップS30：取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物の3Dモデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出し、算出された移動方向に基づいてロボットの移動姿勢を制御することで、障害物を回避する。

【0118】

ステップS20では、さらにステップS201と、ステップS202とを備える。

【0119】

ステップS201：予め確定されたロボットの3Dモデル及び前記障害物の3Dモデルを前処理する。

50

【0120】

ステップS202：取得した位置決めデータ、前処理後のロボットの3Dモデルデータ及び前処理後の障害物の3Dモデルデータに対し、予め確定された距離算出ルールを用いてロボットと障害物との最小距離を算出する。

【0121】

さらに、ステップS201におけるロボットの3Dモデルの前処理として、ロボットの各関節について、予め確定されたアルゴリズム（例えば、QuickHull高速凸包アルゴリズム）を直接用いて各関節を包囲する最小凸多面体を見つけ、それによってロボットの非凸モデルを凸体モデルに変換する。前記凸処理されたロボットの3Dモデルは後続最小距離ベクトルを算出する時に算出速度と算出精度を効果的に高めることができる。

10

【0122】

障害物の3Dモデルの前処理方式は、非凸多面体の凸バウンディングボックスを構築してそれを凸体に変換させて衝突検出を行う方式、非凸多面体を凸分解して非凸モデルを複数の凸体に変換させて衝突検出を行う方式、障害物の3Dモデルを扇形に等分（すなわち扇形分割）し、続いて等分後の単一扇形を凸分解する方式を含み、このように扇形に等分してから凸分解を行う方式は前の2種類の方式と比べて算出速度がより速いだけでなく、算出精度もより高い。

【0123】

障害物の3Dモデルを扇形に等分する前記ステップでは、さらに、

扇形等分対象障害物の3Dモデルの球形バウンディングボックスを構築し、球形バウンディングボックスの球心を見つけ、

20

前記球心を通る初期扇形等分平面を設け、前記初期扇形等分平面を予め設定された回転角に従って前記球心の回りに複数回回転させ、球形バウンディングボックスをn個の扇形部分に等分し、前記球形バウンディングボックスのn個の扇形部分を障害物の3Dモデルのn個のモデル部分とする。

【0124】

等分後の単一扇形を凸分解する前記ステップでは、さらに、

DeLunay三角形分割アルゴリズムを用いて障害物の3Dモデルに対して表面三角形分割を行うことで、三角形パッチ（凸状シート）集合を生成し、さらに各三角形パッチに対してそれに対応する凸ブロックを構築する。例えば、厚さがゼロである三角形パッチに対してその平面法線ベクトルの方向に所定厚さの引張を行うことで、凸ブロックを得る。

30

【0125】

さらに、前記予め確定された距離算出ルールとして、

ロボットの現在位置決めデータ（室内位置、姿勢等）及び予め確定された選別アルゴリズムに基づき、障害物の3Dモデルを扇形に等分した後に取得した各モデル部分を選別することによって、距離算出対象のモデル部分を選別し、

取得した位置決めデータ、選別されたモデル部分に対し、予め確定された距離算出アルゴリズム（例えば、GJKアルゴリズム）を用いてロボットと選別されたモデル部分との最小距離を算出し、前記最小距離をロボットと障害物の3Dモデルとの最小距離とする。

40

【0126】

ステップS30では、さらに、

ロボットの障害物回避制御システムは、算出された最小距離に基づいて障害物回避を行う必要があるか否かを分析し、算出された最小距離が予め設定された距離閾値より大きければ、障害物回避を行う必要がないと確定し、又は、算出された最小距離が予め設定された距離閾値以下である場合、障害物回避を行う必要があると確定する。障害物回避を行う必要があると確定すると、ロボットの障害物回避制御システムは、取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物の3Dモデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出し、かつ算出された移動方向に基づいてロボットの移動姿勢を制御する。

【0127】

50

取得した位置決めデータ、算出された最小距離及び前記障害物の3Dモデルに基づき、現在ロボットが移動すべき方向を算出する前記ステップでは、さらに、

ロボット及び前記障害物を同一座標系平面に投影し、

予め確定された投影分析ルール及び障害物の3Dモデルが前記座標系平面に投影される投影領域の外輪郭における各点の座標に基づき、ロボットの現在位置決め位置及び目標位置に対する前記障害物の投影の有効遮断領域の面積を算出し、

算出された最小距離及び有効遮断領域の面積に基づいて第一プリセットタイプの障害物回避パラメーター（例えば、仮想斥力）を確定し、目標点位置とロボットの現在位置決め位置との距離に基づいて第二プリセットタイプの障害物回避パラメーター（例えば、仮想斥力）を確定し、第一プリセットタイプの障害物回避パラメーター及び第二プリセットタイプの障害物回避パラメーターに基づいて現在ロボットが移動すべき方向を確定する。

10

【0128】

さらに、前記予め確定された投影分析ルールとして、

座標系平面の P_1 位置点をロボットの位置（現在位置決め位置）、 P_2 位置点を目標点の位置（目標位置）、投影領域 P_3 を座標系平面における障害物の3Dモデルの投影として設定し、また座標系平面において P_1 と P_2 を直線 J で繋ぎ、

直線 J と投影領域 P_3 との交点数がゼロであるか又は1つのみであれば、有効遮断領域が存在しないと確定し、

直線 J と投影領域 P_3 との交点数が1つを超えれば、直線 J は投影を2つの部分（図4に示す S_1 領域と S_2 領域）に分割し、投影領域 P_3 （例えば S_1 又は S_2 領域）に任意の点 P_S を見つけ、 P_S を通過して直線 J の垂直線を作り、垂直線と直線 J との交点を P_J として設定し、さらにベクトル

20

$$\overrightarrow{P_J P_S} = P_J - P_S$$

を得て、最小距離のベクトル

\vec{d}

30

とベクトル

$\overrightarrow{P_J P_S}$

との角 θ を算出し、角 θ が鋭角であれば、 P_S 点の存在する領域が有効遮断領域（例えば、図4における有効遮断投影領域 S_2 ）であると確定し、又は、角 θ が鋭角でなければ、 P_S 点の存在する領域が有効遮断領域ではないと確定する。

40

【0129】

さらに、前記第一プリセットタイプの障害物回避パラメーターが仮想斥力であり、前記第二プリセットタイプの障害物回避パラメーターが仮想引力であり、算出された最小距離及び有効遮断領域の面積に基づいて第一プリセットタイプの障害物回避パラメーターを確定し、目標位置とロボットの現在位置決め位置との距離に基づいて第二プリセットタイプの障害物回避パラメーターを確定し、前記第一プリセットタイプの障害物回避パラメーター及び前記第二プリセットタイプの障害物回避パラメーターに基づいて現在ロボットが移動すべき方向を確定する前記ステップでは、

算出された最小距離及び有効遮断領域の面積に基づき、第一算出ルールでロボットに作用する仮想斥力を算出し、

50

現在位置決め位置と目標点位置との距離に基づき、第二算出ルールでロボットに作用する仮想引力を算出し、

前記仮想引力と仮想斥力の合力方向を算出して、前記合力方向はすなわち現在ロボットが移動すべき方向である。

【0130】

さらに、前記第一算出ルールとして、

$$\vec{F}_r = f(d, S)$$

10

である。

【0131】

ただし、

$$\vec{d}$$

はロボットと障害物との最小距離のベクトルであり、 S は有効遮断領域の面積であり、

20

$$\vec{F}_r$$

は障害物のロボットに対する仮想斥力であり、

$$f(\vec{d}, S)$$

は最小距離ベクトルと有効遮断領域の面積が障害物のロボットに対する仮想斥力へ変換される関係式であり、前記関係式の実現には複数種類の方法があり、選択可能な実施例において、前記関係式は、

30

$$\vec{F}_r = f(\vec{d}, S) = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & d > d_0 \\ \frac{k_r}{d} + b_r & d \leq d_0, s \leq s_0 \\ \frac{k_r}{d} * \frac{s}{s_0} + b_r & d \leq d_0, s > s_0 \end{array} \right\}$$

40

である。

【0132】

ただし、 k_r 、 b_r は予め設定された仮想斥力係数を表し、 s_0 は予め設定された有効

50

遮断領域の面積閾値を表し、 $s_0 > 0$ であり、 d_0 は予め設定された距離閾値を表し、 $d_0 > 0$ であり、仮想斥力方向（すなわち

$$\vec{F}_r$$

方向）は最小距離の方向と同じである。

【0133】

前記関係式に基づき、ロボットと障害物との距離が遠い際、設定された距離閾値 d_0 を超える場合に障害物回避を行わず、

$$\vec{F}_r$$

の大きさは0であり、障害物回避の距離範囲内（最小距離は d_0 より小さい）に入ると、有効遮断領域の面積 s が大きく、設定された値 s_0 を超える場合、 $s / s_0 > 1$ であり、

20

$$\vec{F}_r$$

が大きくなり、距離が遠い場合に障害物回避を行うことができ、事前に障害物回避を行い、それによって大きい障害物を回避する。

【0134】

さらに、前記第二算出ルールとして、 $F_t = k_t * d_t$ である。

【0135】

ただし、

30

$$\vec{F}_r$$

は目標位置のロボットに対する仮想引力であり、 k_t は予め設定された引力係数であり、 d_t は目標位置とロボットの現在位置決め位置との距離を表し、仮想引力方向（すなわち

$$\vec{F}_r$$

40

方向）は目標位置に向かう。

【0136】

本発明に係るコンピュータ読み取り可能な記憶媒体の実施形態は、前記ロボットの障害物回避方法の実施例とほぼ同じであるため、ここで説明を省略する。

【0137】

なお、本明細書において、用語“含む”、“含有する”又はそれらの任意の他の変型は、非排他的に含むことを意図し、それにより一連の要素を含むプロセス、方法、品物や装

50

置はそれらの要素を含むだけでなく、かつ明確に列挙された他の要素を含み、又はこのようなプロセス、方法、品物や装置に固有の要素をさらに含む。より多くの制限がない場合に、語句“一つの...を含む”に限定される要素は、前記要素を含むプロセス、方法、品物や装置の中に他の同じ要素がさらに存在する場合は除外されない。

【0138】

以上の実施形態の説明から、当業者は、前記実施例の方法が、ソフトウェアに、必要な汎用ハードウェアプラットフォームを加える方式によって実現され、また、ハードウェアによって実現されることも当然であるが、多くの場合、前者のほうがより好ましい実施形態である、ということをはっきりと分かっている。このような理解に基づいて、本発明の技術的解決手段は、本質的にあるいは従来技術に寄与する部分が、ソフトウェア製品の形態で表すことができ、前記コンピュータソフトウェア製品を1つの記憶媒体(例えばROM/RAM、磁気ディスク、光ディスク)に記憶し、複数の指令を備え、1台の端末装置(携帯電話、コンピュータ、サーバ、エアコン、又はネットワーク機器等であってもよい)に本発明に係る各実施例に記載の方法を実行させることに用いられるものである。

10

【0139】

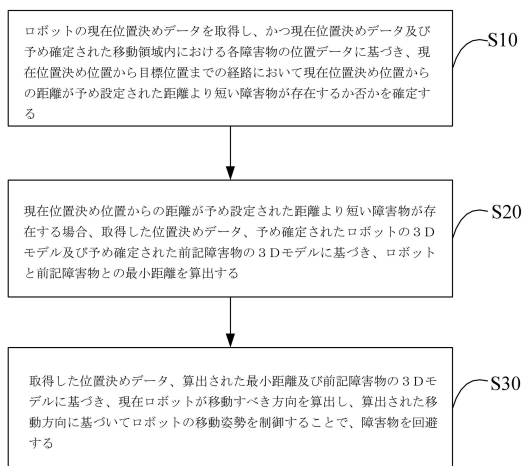
以上に図面を参照して本発明の好適な実施例を説明したが、これをもって本発明の特許請求の範囲を限定するものではなく、前記本発明の実施例の番号は説明するためのものだけであり、実施例の優劣を示さず、また、関連する図面では論理的順序が示されるが、いくつかの場合に、ここと異なる順序で示され又は説明されたステップを実行することができる。

20

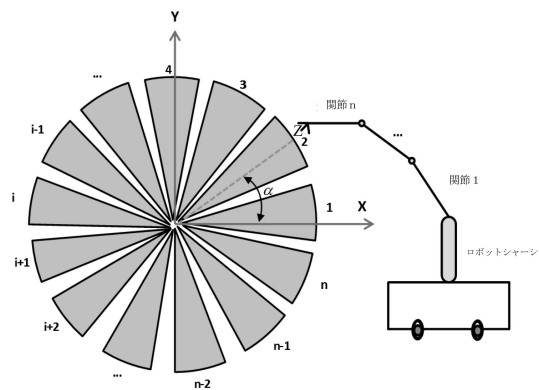
【0140】

当業者は本発明の範囲及び実質を逸脱せず、種々の変形手段で本発明を実現することができ、例えば、一実施例の特徴は他の実施例に用いて別の実施例を得ることができ、本発明の精神及び原則内において行われたあらゆる修正、同等置換及び改良は、いずれも本発明の保護範囲内に含まれるべきである。

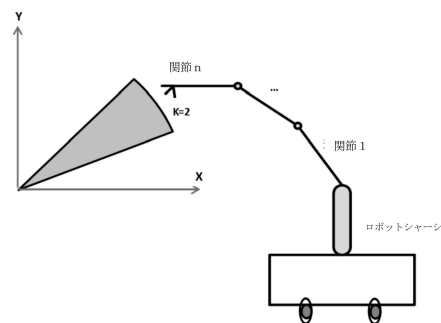
【図1】



【図2a】



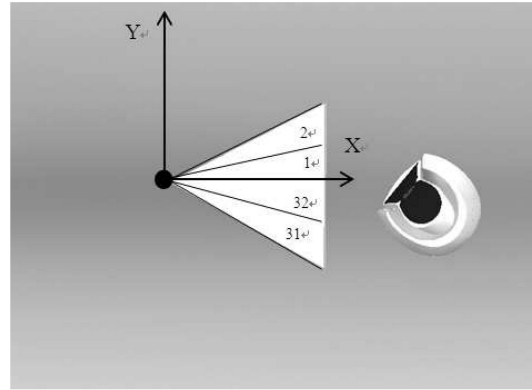
【図2b】



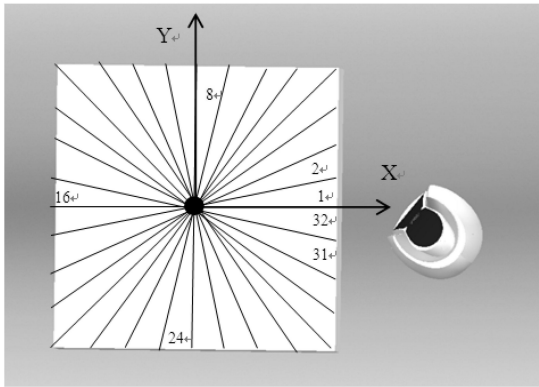
【図3a】



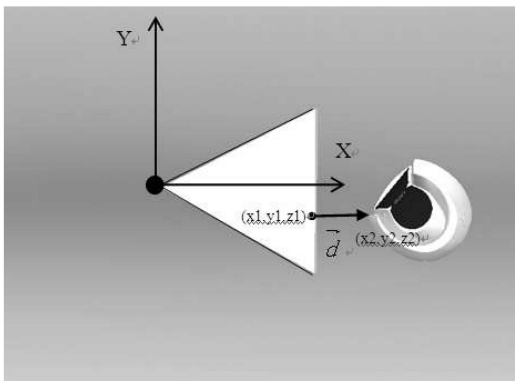
【図3c】



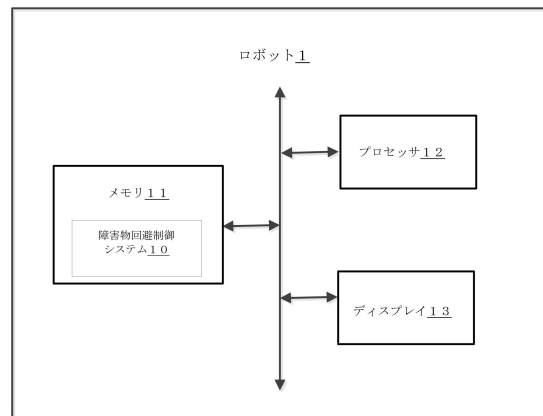
【図3b】



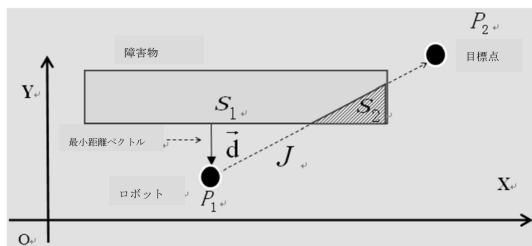
【図3d】



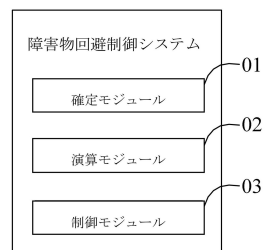
【図5】



【図4】



【図6】



フロントページの続き

(74)代理人 110002262

T R Y 国際特許業務法人

(72)発明者 周 涛涛

中国広東省深 せん 市福田区八卦嶺八卦三路平安大厦

(72)発明者 周 宝

中国広東省深 せん 市福田区八卦嶺八卦三路平安大厦

(72)発明者 肖 京

中国広東省深 せん 市福田区八卦嶺八卦三路平安大厦

審査官 大古 健一

(56)参考文献 特開2014-56506(JP, A)

特開平11-250122(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05D 1/02