

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局



(43) 国际公布日
2018年10月4日 (04.10.2018)

(10) 国际公布号
WO 2018/176668 A1

- (51) 国际专利分类号:
G05D 1/02 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/091368
- (22) 国际申请日: 2017年6月30日 (30.06.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710186581.6 2017年3月27日 (27.03.2017) CN
- (71) 申请人: 平安科技(深圳)有限公司(PING AN TECHNOLOGY (SHENZHEN) CO., LTD.) [CN/CN];
中国广东省深圳福田区八卦岭八卦三路平安大厦吴东勤, Guangdong 518000 (CN)。
- (72) 发明人: 周涛涛(ZHOU, Taotao); 中国广东省深圳福田区八卦岭八卦三路平安大厦吴东勤, Guangdong 518000 (CN)。 周宝(ZHOU, Bao); 中国广东省深圳福田区八卦岭八卦三路平安大厦吴东勤, Guangdong 518000 (CN)。 肖京(XIAO, Jing); 中国广东省深圳福田区八卦岭八卦三路平安大厦吴东勤, Guangdong 518000 (CN)。
- (74) 代理人: 深圳市沃德知识产权代理事务所(普通合伙)(SHENZHEN WORLD INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国广东省深圳福田区园岭街道八卦四路10号中浩大厦1528-1530室于志光, Guangdong 518000 (CN)。
- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,

(54) Title: ROBOT OBSTACLE AVOIDANCE CONTROL SYSTEM AND METHOD, ROBOT, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 机器人的避障控制系统、方法、机器人及存储介质

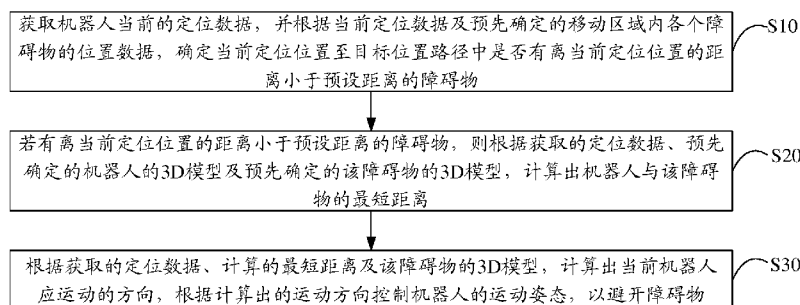


图 1

S10 Acquire current positioning data of a robot, and according to the current positioning data and predetermined position data of each obstacle in an area of movement, determine whether an obstacle exists in a path from a current positioning position to a target position, wherein the distance between the current positioning position and the obstacle is less than a preset distance
S20 If so, calculate the shortest distance between the robot and the obstacle according to the acquired positioning data, a predetermined 3D model of the robot, and a predetermined 3D model of the obstacle
S30 Calculate, according to the acquired positioning data, the calculated shortest distance, and the 3D model of the obstacle, a direction in which the robot should move, and control a motion posture of the robot according to the calculated moving direction, so as to avoid the obstacle

(57) Abstract: A robot obstacle avoidance control system (10) and method, a robot (1), and a storage medium. The method comprises: acquiring current positioning data of a robot (1), and according to the current positioning data and predetermined position data of each obstacle in an area of movement, determining whether an obstacle exists in a path from a current positioning position to a target position, wherein the distance between the current positioning position and the obstacle is less than a preset distance (S10); if yes, calculating the shortest distance between the robot (1) and the obstacle according to the acquired positioning data, a predetermined 3D model of the robot (1), and a predetermined 3D model of the obstacle (S20); calculating, according to the acquired positioning data, the calculated shortest distance, and the 3D model of the obstacle, a direction in which the robot (1) should move, and controlling a motion posture of the robot (1) according to the calculated moving direction, so as to avoid the obstacle (S30). The invention can effectively control

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

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

the robot (1) to avoid obstacles.

(57) 摘要: 一种机器人的避障控制系统 (10)、方法、机器人 (1) 及存储介质, 方法包括: 获取机器人 (1) 当前的定位数据, 并根据当前定位数据及预先确定的移动区域内各个障碍物的位置数据, 确定当前定位位置至目标位置路径中是否有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物 (S10); 若有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物, 则根据获取的定位数据、预先确定的机器人 (1) 的3D模型及预先确定的障碍物的3D模型, 计算出机器人 (1) 与障碍物的最短距离 (S20); 根据获取的定位数据、计算的最短距离及障碍物的3D模型, 计算出当前机器人 (1) 应运动的方向, 根据计算出的运动方向控制机器人 (1) 的运动姿态, 以避开障碍物 (S30)。能有效地控制机器人 (1) 避障。

机器人的避障控制系统、方法、机器人及存储介质

优先权申明

本申请基于巴黎公约申明享有2017年3月27日递交的申请号为CN201710186581.6、名称为“机器人的避障控制系统及方法”的中国专利申请的优先权，该中国专利申请的整体内容以参考的方式结合在本申请中。

技术领域

本发明涉及计算机技术领域，尤其涉及一种机器人的避障控制系统、方法、机器人及存储介质。

背景技术

目前，自主移动机器人能够广泛应用于许多场景，比如担任展览馆的导览工作，带领参观者从一个展区介绍到另一个展区；餐厅的服务工作，主动欢迎客人，并带领客人到空位上点餐；公共场所的引导、巡逻工作，沿着程序设定的路线移动，有人需要帮助停下回答提问等等。在这些场景下，如何避免机器人在运动中碰撞环境中的障碍物，是一个重要的技术问题。目前，自主移动机器人是依靠自身的传感器来定位及避障，业界通常的避障方案是：在机器人上安装接近传感器（例如，超声波、红外、激光等传感器），如果机器人检测到距障碍物一定距离（比如10cm），则进行避障。

现有的避障方案有以下缺点：第一、只能在传感器所在高度平面检测到障碍物，对于四腿桌子等情况，假设传感器所在高度为30厘米，而桌面高度为60厘米，那么传感器无法检测到障碍物，最终会导致机器人撞上面；第二、只能在安装有传感器的方向检测到障碍物，假如机器人后面没有传感器，则后退会导致撞上障碍物。

因此，如何在传感器无法全面侦测的情况下，有效控制机器人避障已经成为一个亟待解决的技术问题。

发明内容

本发明的主要目的在于提供一种机器人的避障控制系统、方法、机器人及存储介质，旨在有效控制机器人避障。

为实现上述目的，本申请第一方面提供一种机器人的避障控制系统，所述避障控制系统包括：

确定模块，用于实时或者定时获取机器人当前的定位数据，并根据当前定位数据及预先确定的移动区域内各个障碍物的位置数据，确定当前定位位置至目标位置路径中是否有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物；

计算模块，用于若有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物，则根据获取的定位数据、预先确定的机器人的3D模型及预先确定的该障碍物的3D模型，计算出机器人与该障碍物的最短距离；

控制模块，用于根据获取的定位数据、计算的最短距离及该障碍物的3D模型，计算出当前机器人应运动的方向，根据计算出的运动方向控制机器人的运动姿态，以避开障碍物。

本申请第二方面还提供一种机器人避障方法，所述方法包括以下步骤：

A1、实时或者定时获取机器人当前的定位数据，并根据当前定位数据及预先确定的移动区域内各个障碍物的位置数据，确定当前定位位置至目标位置路径中是否有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物；

A2、若有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物，则根据获取的定位数据、预先确定的机器人的3D模型及预先确定的该障碍物的3D模型，计算出机器人与该障碍物

的最短距离；

A3、根据获取的定位数据、计算的最短距离及该障碍物的3D模型，计算出当前机器人应运动的方向，根据计算出的运动方向控制机器人的运动姿态，以避免障碍物。

本申请第三方面提供一种机器人，包括处理器及存储器，该存储器上存储有机器人的避障控制系统，该机器人的避障控制系统可被该处理器执行，以实现以下步骤：

A1、实时或者定时获取机器人当前的定位数据，并根据当前定位数据及预先确定的移动区域内各个障碍物的位置数据，确定当前定位位置至目标位置路径中是否有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物；

A2、若有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物，则根据获取的定位数据、预先确定的机器人的3D模型及预先确定的该障碍物的3D模型，计算出机器人与该障碍物的最短距离；

A3、根据获取的定位数据、计算的最短距离及该障碍物的3D模型，计算出当前机器人应运动的方向，根据计算出的运动方向控制机器人的运动姿态，以避免障碍物。

本申请第四方面提供一种计算机可读存储介质，该计算机可读存储介质上存储有机器人的避障控制系统，该机器人的避障控制系统可被至少一处理器执行，以实现以下步骤：

A1、实时或者定时获取机器人当前的定位数据，并根据当前定位数据及预先确定的移动区域内各个障碍物的位置数据，确定当前定位位置至目标位置路径中是否有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物；

A2、若有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物，则根据获取的定位数据、预先确定的机器人的3D模型及预先确定的该障碍物的3D模型，计算出机器人与该障碍物的最短距离；

A3、根据获取的定位数据、计算的最短距离及该障碍物的3D模型，计算出当前机器人应运动的方向，根据计算出的运动方向控制机器人的运动姿态，以避免障碍物。

本发明提出的机器人的避障控制系统、方法、机器人及存储介质，通过机器人当前的定位数据检测到有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物时，根据机器人当前的定位数据、预先确定的机器人的3D模型及预先确定的该障碍物的3D模型，计算出机器人与该障碍物在三维空间的最短距离，并计算出当前机器人应运动的方向，以控制机器人的运动姿态。由于能通过机器人与障碍物在三维空间的最短距离来控制机器人的运动方向，从而实现检测并避开机器人在三维空间中各个方向的障碍物，有效地控制机器人避障。

附图说明

图1为本发明机器人避障方法一实施例的流程示意图；

图2a为本发明机器人避障方法一实施例中对障碍物3D模型扇形均分的示意图；

图2b为本发明机器人避障方法一实施例中标号为k的扇形模型部分的示意图；

图3a为本发明机器人避障方法一实施例中机器人与障碍物的3D模型示意图；

图3b为本发明机器人避障方法一实施例中对立方体障碍物模型进行扇形均分的示意图；

图3c为本发明机器人避障方法一实施例中对模型部分的筛选示意图；

图3d为本发明机器人避障方法一实施例中计算最短距离向量的示意图；

图4为本发明机器人避障方法一实施例中确定有效遮挡区域的示意图；

图5为本发明避障控制系统10较佳实施例的运行环境示意图；

图6为本发明避障控制系统10较佳实施例的功能模块图。

本发明目的的实现、功能特点及优点将结合实施例，参照附图做进一步说明。

具体实施方式

为了使本发明所要解决的技术问题、技术方案及有益效果更加清楚、明白，以下结合

附图和实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

本发明提供一种机器人避障方法。

参照图 1，图 1 为本发明机器人避障方法一实施例的流程示意图。

在一实施例中，该机器人避障方法包括：

步骤 S10、机器人的避障控制系统实时或者定时（例如，每隔 2 秒）获取机器人当前的定位数据（例如在室内的位置、姿态等），并根据当前定位数据及预先确定的移动区域内各个障碍物的位置数据，确定当前定位位置至目标位置路径中是否有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物。例如，可依靠机器人自身的传感器来定位并判断与预先确定的移动区域内各个障碍物的距离，如可在机器人上安装接近传感器（例如，超声波、红外、激光等传感器）来判断机器人当前定位位置至目标位置路径中是否有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物。

步骤 S20、若有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物，则根据获取的定位数据、预先确定的机器人的 3D 模型及预先确定的该障碍物的 3D 模型，计算出机器人与该障碍物的最短距离。

在检测到机器人的当前定位位置与预先确定的移动区域内各个障碍物的距离之后，若判断没有障碍物离当前定位位置的距离小于预设距离，则继续沿目标位置路径移动并实时或者定时检测机器人与移动区域内各个障碍物的距离。若判断有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物，则根据获取的定位数据、预先确定的机器人的 3D 模型及预先确定的该障碍物的 3D 模型计算出机器人与该障碍物的最短距离，以利用该最短距离来判断在三维空间中机器人沿目标位置路径移动时是否会碰撞到该障碍物，从而实现不仅能在机器人的传感器所在高度平面检测到障碍物，还能检测到三维空间中潜在的障碍物，以在机器人安装有传感器的方向和机器人没有安装传感器的其他方向上均能检测到三维空间中各个方向潜在的障碍物。其中，所述预先确定的机器人的 3D 模型及移动区域内各个障碍物的 3D 模型可以预先存储于机器人的存储单元中，或者，可以由机器人通过无线通信单元访问物联网系统服务器获取，在此不做限定。

步骤 S30、根据获取的定位数据、计算的最短距离及该障碍物的 3D 模型，计算出当前机器人应运动的方向，根据计算出的运动方向控制机器人的运动姿态，以避免三维空间中各个方向潜在的障碍物，有效控制机器人在沿目标位置路径移动时的避障。

本实施例通过机器人当前的定位数据检测到有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物时，根据机器人当前的定位数据、预先确定的机器人的 3D 模型及预先确定的该障碍物的 3D 模型，计算出机器人与该障碍物在三维空间的最短距离，并计算出当前机器人应运动的方向，以控制机器人的运动姿态。由于能通过机器人与障碍物在三维空间的最短距离来控制机器人的运动方向，从而实现检测并避开机器人在三维空间中各个方向的障碍物，有效地控制机器人避障。

进一步地，所述步骤 S20 包括：

步骤 S201、对预先确定的机器人的 3D 模型及该障碍物的 3D 模型进行预处理。

步骤 S202、对获取的定位数据、预处理后的机器人 3D 模型数据及预处理后的障碍物 3D 模型数据，利用预先确定的距离计算规则计算出机器人与障碍物的最短距离。

例如，由于机器人和障碍物一般为非凸体，因此，可对机器人和障碍物的 3D 模型进行预处理如转换为凸体，以便后续更加准确和快速地计算出最短距离。

进一步地，所述步骤 S201 中的机器人 3D 模型预处理包括：针对机器人的每一个关节，直接利用预先确定的算法（例如，QuickHull 快速凸包算法）找出包围各个关节的最小凸多面体，以将机器人非凸模型转换为凸体模型。通过上述凸处理的机器人 3D 模型在后续计算最短距离向量时能有效提高计算速度和计算精度。

障碍物 3D 模型预处理的方式包括三种：第一种、构建非凸多面体的凸包围盒使之转

换为凸体进行碰撞检测；第二种、对非凸多面体进行凸分解，使非凸模型转换为多个凸体进行碰撞检测；第三种、对障碍物 3D 模型扇形均分（即扇形剖分），然后对均分后的单个扇形进行凸分解，这种先扇形均分再凸分解的方式相对于前两种不仅计算速度更快，而且计算精度更高。

进一步地，所述对障碍物 3D 模型扇形均分的步骤包括：

建立待扇形均分的障碍物 3D 模型的球形包围盒，找到球形包围盒的球心；

设定一经过所述球心的初始扇形均分平面，将所述初始扇形均分平面按预设的旋转角绕所述球心进行多次旋转，以将球形包围盒均分为 n 个扇形部分，该球形包围盒的 n 个扇形部分作为障碍物 3D 模型的 n 个模型部分。

例如，在一种具体实施方式中，可包括如下步骤：

X1、建立要扇形均分的障碍物 3D 模型 M 的球形包围盒 B ，找到球形包围盒 B 的球心 O ，然后在球心 O 处建立三维坐标系 $Oxyz$ ；

X2、过球心 O 做一条与三维坐标系 $Oxyz$ 中 z 轴重合的直线 L ，则 xoz 平面即为初始扇形均分平面，设 xoz 平面为 α_1 ， α_1 将障碍物 3D 模型分为 2 部分；

X3、将 α_1 绕直线 L 选择一定角度 β （ β 代表相邻扇形偏角）得到另外一个新平面 α_2 ，将新平面继续旋转 β 可以得到平面 α_3 ，旋转 $m-1$ 次可以得到第 m 个平面 α_m ；

X4、设 $\beta = 180^\circ/m$ ，则 m 个平面可以把球形包围盒 B 均分为 $2m$ 部分，障碍物 3D 模型即被分为 $2m$ 个模型部分。通过上述步骤可以完成对任意模型，包括非凸模型的简单剖分，并通过哈希表进行管理剖分好的模型部分。

进一步地，所述对均分后的单个扇形进行凸分解的步骤包括：

采用 Delaunay 三角剖分算法对障碍物 3D 模型进行表面三角剖分，产生三角面片（凸片）集合；并针对每一个三角面片构造与之对应的凸块。例如，将厚度为零的三角面片在其平面法向量方向进行预设厚度的拉伸，变为凸块。

进一步地，所述预先确定的距离计算规则包括：

根据机器人当前的定位数据（如室内位置、姿态等）及预先确定的筛选算法，对障碍物 3D 模型扇形均分后获得的各个模型部分进行筛选，筛选出待进行距离计算的模型部分；

对获取的定位数据、筛选出的模型部分，利用预先确定的距离计算算法（例如，GJK 算法）计算出机器人与筛选出的模型部分的最短距离，该最短距离即为机器人与障碍物 3D 模型的最短距离。

进一步地，如图 2a、2b 所示，图 2a 为本发明机器人避障方法一实施例中障碍物 3D 模型扇形均分的示意图。图 2b 为本发明机器人避障方法一实施例中标号为 k 的扇形模型部分的示意图。所述预先确定的筛选算法包括：

Y1、将障碍物 3D 模型扇形均分后获得的 n 个模型部分分别作为障碍物的 n 个节点，建立 key-value 键值分别是相对于初始扇形均分平面（即 xoz 平面）的旋转角即偏角和模型几何信息数据的哈希表，以进行模型节点管理；

Y2、对扇形均分获得的各个模型部分进行标号，从 1 开始进行标号；均分的 n 个扇形模型部分，相邻扇形偏角为 $360^\circ/n$ ，根据标号，建立于初始标号为 i 的扇形模型部分的偏角映射关系，代表所述偏角映射关系的哈希函数为：

$$\text{Hash}(i) = i * \left(\frac{360^\circ}{n} \right)$$

其中， i 为标号为 i 的扇形模型部分， $\text{Hash}(i)$ 代表标号为 i 的扇形模型部分与障碍物坐标系的 X 轴正轴的偏角；

Y3、建立机器人的运动学，根据建立的运动学计算出机器人各个关节的位姿，从建立的哈希表中查询出机器人附近的障碍物扇形区域。如下图 2 所示；当机器人在运动过程中，通过机器人运动学，运动学方程为：

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

其中, A_k ($k=1,2,\dots,i$) 为机器人关节坐标系之间的齐次变换矩阵(可以通过机器人各关节的 D-H 参数确定), A_0 表示机器人当前位置矩阵(与机器人当前定位数据对应), T_i 为第 i 个关节相对于机器人坐标系的位姿;

通过 T_i 计算出机器人运动过程中各个关节局部坐标系原点坐标的实时更新值 $Q_i(x, y, z)$, 进一步可以得到关节在障碍物坐标系下的偏角 α :

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

其中, $Q_i(x, y, z)$ 表示机器人关节在机器人坐标系下的坐标; T_r 表示机器人坐标系变换到障碍物坐标系的变换矩阵(为 4×4 的矩阵, 机器人坐标系和障碍物坐标系已确定, 该矩阵可以直接计算出来), 则机器人关节在障碍物坐标系下的坐标 $Q_i(x_t, y_t, z_t)$ 为:

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

假定障碍物坐标系 Z 轴正向朝上, 遵循右手坐标系, 设关节在障碍物坐标系下的偏角为 α , 则

$$\tan(\alpha) = \frac{y_t}{x_t}$$

向求解三角函数即可得到关节在障碍物坐标系下的偏角为 α , 获取到偏角 α 之后, 即可根据代表所述偏角映射关系的哈希函数 $Hash(i)$ 计算得到对应标号的扇形模型部分, 并基于对应标号的模型部分筛选出待进行距离计算的模型部分。例如, 计算得到的扇形模型部分的标号为 k , 则可选取标号在 $[k-M, k+N]$ 范围内的扇形模型部分进行最短距离计算。其中 M 、 N 为一预设数值, 以选取标号为 k 的扇形模型部分附近的多个扇形模型部分作为待进行最短距离计算的模型部分。

如图 3a 所示, 图 3a 为本发明机器人避障方法一实施例中机器人与障碍物的 3D 模型示意图。在一种具体实施方式中, 机器人采用只有底盘的运动、没有手臂等其他运动关节的机器人, 机器人 3D 模型采用高为 1500mm, 运动底盘半径为 320mm 的机器人 3D 模型, 障碍物 3D 模型采用一个简单立方体模型, 尺寸为 2200mm*2200mm*1000mm, 在障碍物模型坐标系下机器人当前的坐标为(1800,-100)。

图 3b 为本发明机器人避障方法一实施例中对立方体障碍物模型进行扇形均分的示意图。对障碍物模型进行预处理中, 预处理主要是对障碍物模型进行扇形均分, 如图 3b 所示, 障碍物模型被扇形均分为 32 份, 从 X 轴逆时针对扇形均分的模型部分进行编号, 1, 2, ..., 15, 16, ..., 31, 32; 每一个模型块的夹角为: $360/32=11.25$ 度, 可以看出, 编号 1 模型块与 X 轴正向偏角 11.25 度, 编号 2 模型块与 X 轴正向偏角 $11.25 \times 2=22.5$ 度, 编号为 i 的模型块与 X 轴正向偏角: $i \times (360/32)$ 。

图 3c 为本发明机器人避障方法一实施例中对模型部分的筛选示意图。在对模型部分的筛选过程中, 因本实施例采用的机器人只有底盘的运动, 没有手臂等其他运动关节, 所以底盘位姿代表机器人的整体位姿, 当前机器人的位置为(1800, -100) (相对于障碍物坐标系下坐标), 可以计算出机器人与障碍物坐标系的 X 轴正轴的偏角为 354 度; 进而计算机器人对应扇形模型部分的标号为 $354/11.25=31.5$, 向上取整得到 32, 所以待进行距离计算的对应扇形块编号 32, 也就是说机器人离编号为 32 的障碍物块最近。接下来选取 $K=32$ 附近的障碍物块, 采用 GJK 计算与机器人之间的最短距离及最短距离点; 选取 $M=1, N=2$, 则得到障碍物块范围是[31,34], 编号超过 32 的需要做简单转换, 33 转换为对应编号为 1 的障碍物块, 34 转换为对应编号为 2 的障碍物块; 如图 3c 所示, 最终选取编号是 31, 32, 1, 2 的障碍物块进行最短距离计算。

图 3d 为本发明机器人避障方法一实施例中计算最短距离向量的示意图。在计算最短距离时, 通过上述处理, 已缩小障碍物块的范围 (1, 2, 31, 32), 直接采用 GJK 算法计算出

机器人与障碍物间的最短距离点，如图 3d 所示，分别为障碍物上的点 $(x_1, y_1, z_1) = (1100, -100, -235)$ ，机器人上的点 $(x_2, y_2, z_2) = (1477, -100, -235)$ ；则机器人与障碍物之间的最短距离向量 $\vec{d} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) = (377, 0, 0)$ 。

进一步地，所述步骤 S30 包括：

机器人的避障控制系统根据计算的最短距离分析是否需要避障；如若计算的最短距离大于预设距离阈值，则确定不需要避障，或者，若计算的最短距离小于或者等于预设距离阈值，则确定需要避障。若确定需要避障，则机器人的避障控制系统根据获取的定位数据、计算的最短距离及该障碍物的 3D 模型，计算出当前机器人应运动的方向，并根据计算出的运动方向控制机器人的运动姿态。

进一步地，所述根据获取的定位数据、计算的最短距离及该障碍物的 3D 模型，计算出当前机器人应运动的方向的步骤包括：

将机器人及该障碍物投影到同一坐标系平面中；

根据预先确定的投影分析规则及障碍物 3D 模型投影到所述坐标系平面的投影区域外轮廓各个点的坐标，计算出该障碍物的投影相对于机器人当前位置及目标位置有效遮挡区域的面积；

根据计算的最短距离及有效遮挡区域的面积确定出第一预设类型避障参数（例如，虚拟斥力），根据目标点位置与机器人当前定位位置的距离确定出第二预设类型避障参数（例如，虚拟引力），根据第一预设类型避障参数及第二预设类型避障参数确定出机器人当前应运动的方向。

进一步地，如图 4 所示，图 4 为本发明机器人避障方法一实施例中确定有效遮挡区域的示意图。所述预先确定的投影分析规则为：

设坐标系平面的 P_1 位置点表示机器人所在位置即当前定位位置， P_2 位置点表示目标点所在位置即目标位置，投影区域 P3 表示障碍物 3D 模型在坐标系平面中的投影，并在坐标系平面中连接 $P_1 P_2$ ，得到一条直线 J ；

若直线 J 与投影区域 P3 没有交点或者交点只有一个，则确定不存在有效遮挡区域；

若直线 J 与投影区域 P3 的交点个数大于 1，则直线 J 将投影分割为两部分（如图 4 所示的 S_1 区域和 S_2 区域），在投影区域 P3（例如 S_1 或 S_2 区域中）中任意找一点 P_s ，过 P_s 作直线 J 的垂线，垂线与直线 J 的交点为 P_j ，进而得到向量 $\overrightarrow{P_j P_s} = P_j - P_s$ ，计算最短距离的向量 \vec{d} 与向量 $\overrightarrow{P_j P_s}$ 的夹角 θ ，若 θ 是锐角，则确定 P_s 点所在区域为有效遮挡区域（例如，图 4 中有效遮挡投影区域 S_2 ），或者，若 θ 不是锐角，则确定 P_s 点所在区域不是有效遮挡区域。

进一步地，所述第一预设类型避障参数为虚拟斥力，所述第二预设类型避障参数为虚拟引力，所述根据计算的最短距离及有效遮挡区域的面积确定出第一预设类型避障参数，根据目标位置与机器人当前定位位置的距离确定出第二预设类型避障参数，根据所述第一预设类型避障参数及所述第二预设类型避障参数确定出机器人当前应运动的方向的步骤包括：

对计算的最短距离和有效遮挡投影区域的面积，利用第一计算规则计算出作用在机器人上的一个虚拟斥力；

对当前定位位置与目标点位置的距离，利用第二计算规则计算出作用在机器人上的一个虚拟引力；

计算出该虚拟引力和虚拟斥力的合力方向，所述合力方向即为机器人当前应运动的方向。

进一步地，所述第一计算规则为：

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

其中, \vec{d} 为机器人与障碍物的最短距离的向量, S 为有效遮挡区域的面积, \vec{F}_r 为障碍物对机器人的虚拟斥力, $f(\vec{d}, S)$ 表示最短距离向量和有效遮挡区域的面积转换为障碍物对机器人虚拟排斥力的关系式。该关系式的实现可以有多种方法, 在一种可选的实施例中, 该关系式为:

$$F_r = f(d, s) = \begin{cases} 0 & d > d_0 \\ \frac{k_r}{d} + b_r & d \leq d_0, s \leq s_0 \\ \frac{k_r}{d} * \frac{s}{s_0} + b_r & d \leq d_0, s > s_0 \end{cases}$$

其中, k_r , b_r 表示预设的虚拟斥力系数, s_0 表示预设的有效遮挡区域面积阈值, $s_0 > 0$; d_0 表示预设的距离阈值, $d_0 > 0$; 虚拟斥力方向 (即 \vec{F}_r 方向) 与最短距离方向相同。

依据上述关系式, 当机器人与障碍物距离较远, 超过设定的距离阈值 d_0 时不进行避障, \vec{F}_r 的大小为 0; 进入避障距离范围内 (最短距离小于 d_0), 当有效遮挡区域的面积 s 比较大, 超过设定的值 s_0 时, $\frac{s}{s_0} > 1$, 会使 \vec{F}_r 变大, 距离较远时就可以进行避障, 提前避障, 以绕开较大的障碍物。

进一步地, 所述第二计算规则为:

$$F_i = k_i * d_i$$

其中, \vec{F}_i 为目标位置对机器人的虚拟引力, k_i 表示预设的引力系数, d_i 表示目标位置与机器人当前定位位置的距离, 虚拟引力方向 (即 \vec{F}_i 方向) 朝向目标位置。

本发明进一步提供一种机器人的避障控制系统。

请参阅图 5, 是本发明避障控制系统 10 较佳实施例的运行环境示意图。

在本实施例中, 所述的避障控制系统 10 安装并运行于机器人 1 中。

该机器人 1 可包括, 但不限于, 存储器 11、处理器 12 及显示器 13。图 1 仅示出了具有组件 11-13 的机器人 1, 但是应理解的是, 并不要求实施所有示出的组件, 可以替代的实施更多或者更少的组件。

其中, 存储器 11 包括内存及至少一种类型的可读存储介质。内存为机器人 1 的运行提供缓存; 可读存储介质可为如闪存、硬盘、多媒体卡、卡型存储器等的非易失性存储介质。在一些实施例中, 所述可读存储介质可以是所述机器人 1 的内部存储单元, 例如该机器人 1 的硬盘或内存。在另一些实施例中, 所述可读存储介质也可以是所述机器人 1 的外部存储设备, 例如所述机器人 1 上配备的插接式硬盘, 智能存储卡 (Smart Media Card, SMC), 安全数字 (Secure Digital, SD) 卡, 闪存卡 (Flash Card) 等。本实施例中, 所述存储器 11 的可读存储介质通常用于存储安装于所述机器人 1 的应用软件及各类数据, 例如所述避障控制系统 10 的程序代码等。所述存储器 11 还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

所述处理器 12 在一些实施例中可以是一中央处理器 (Central Processing Unit, CPU), 微处理器或其他数据处理芯片, 用于运行所述存储器 11 中存储的程序代码或处理数据。该处理器 12 执行所述避障控制系统 10, 可实现上述机器人避障方法的任一步骤。

所述显示器 13 在一些实施例中可以是 LED 显示器、液晶显示器、触控式液晶显示器以及 OLED (Organic Light-Emitting Diode, 有机发光二极管) 触摸器等。所述显示器 13 用于显示在所述机器人 1 中处理的信息以及用于显示可视化的用户界面, 例如应用菜单界

面、应用图标界面等。所述机器人 1 的部件 11-13 通过系统总线相互通信。

请参阅图 6，是本发明避障控制系统 10 较佳实施例的功能模块图。在本实施例中，所述的避障控制系统 10 可以被分割成确定模块 01、计算模块 02、控制模块 03。本发明所称的模块是指能够完成特定功能的一系列计算机程序指令段，用于描述所述避障控制系统 10 在所述机器人 1 中的执行过程。当处理器 12 执行避障控制系统 10 各模块的计算机程序指令段时，基于各个计算机程序指令段所能实现的操作和功能，可实现上述机器人避障方法的任一步骤。以下描述将具体介绍所述确定模块 01、计算模块 02、控制模块 03 所实现的操作和功能。

所述确定模块 01，用于实时或者定时（例如，每隔 2 秒）获取机器人当前的定位数据（例如在室内的位置、姿态等），并根据当前定位数据及预先确定的移动区域内各个障碍物的位置数据，确定当前定位位置至目标位置路径中是否有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物。例如，可依靠机器人自身的传感器来定位并判断与预先确定的移动区域内各个障碍物的距离，如可在机器人上安装接近传感器（例如，超声波、红外、激光等传感器）来判断机器人当前定位位置至目标位置路径中是否有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物。

所述计算模块 02，用于若有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物，则根据获取的定位数据、预先确定的机器人的 3D 模型及预先确定的该障碍物的 3D 模型，计算出机器人与该障碍物的最短距离。

在检测到机器人的当前定位位置与预先确定的移动区域内各个障碍物的距离之后，若判断没有障碍物离当前定位位置的距离小于预设距离，则继续沿目标位置路径移动并实时或者定时检测机器人与移动区域内各个障碍物的距离。若判断有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物，则根据获取的定位数据、预先确定的机器人的 3D 模型及预先确定的该障碍物的 3D 模型计算出机器人与该障碍物的最短距离，以利用该最短距离来判断在三维空间中机器人沿目标位置路径移动时是否会碰撞到该障碍物，从而实现不仅能在机器人的传感器所在高度平面检测到障碍物，还能检测到三维空间中潜在的障碍物，以在机器人安装有传感器的方向和机器人没有安装传感器的其他方向上均能检测到三维空间中各个方向潜在的障碍物。其中，所述预先确定的机器人的 3D 模型及移动区域内各个障碍物的 3D 模型可以预先存储于机器人的存储单元中，或者，可以由机器人通过无线通信单元访问物联网系统服务器获取，在此不做限定。

所述控制模块 03，用于根据获取的定位数据、计算的最短距离及该障碍物的 3D 模型，计算出当前机器人应运动的方向，根据计算出的运动方向控制机器人的运动姿态，以避开三维空间中各个方向潜在的障碍物，有效控制机器人在沿目标位置路径移动时的避障。

本实施例通过机器人当前的定位数据检测到有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物时，根据机器人当前的定位数据、预先确定的机器人的 3D 模型及预先确定的该障碍物的 3D 模型，计算出机器人与该障碍物在三维空间的最短距离，并计算出当前机器人应运动的方向，以控制机器人的运动姿态。由于能通过机器人与障碍物在三维空间的最短距离来控制机器人的运动方向，从而实现检测并避开机器人在三维空间中各个方向的障碍物，有效地控制机器人避障。

进一步地，上述计算模块 02 还用于：

对预先确定的机器人的 3D 模型及该障碍物的 3D 模型进行预处理；对获取的定位数据、预处理后的机器人 3D 模型数据及预处理后的障碍物 3D 模型数据，利用预先确定的距离计算规则计算出机器人与障碍物的最短距离。

例如，由于机器人和障碍物一般为非凸体，因此，可对机器人和障碍物的 3D 模型进行预处理如转换为凸体，以便后续更加准确和快速地计算出最短距离。

进一步地，上述计算模块 02 还用于：针对机器人的每一个关节，直接利用预先确定的算法（例如，QuickHull 快速凸包算法）找出包围各个关节的最小凸多面体，以将机器人

非凸模型转换为凸体模型。通过上述凸处理的机器人 3D 模型在后续计算最短距离向量时能有效提高计算速度和计算精度。

障碍物 3D 模型预处理的方式包括三种：第一种、构建非凸多面体的凸包围盒使之转换为凸体进行碰撞检测；第二种、对非凸多面体进行凸分解，使非凸模型转换为多个凸体进行碰撞检测；第三种、对障碍物 3D 模型扇形均分（即扇形剖分），然后对均分后的单个扇形进行凸分解，这种先扇形均分再凸分解的方式相对于前两种不仅计算速度更快，而且计算精度更高。

进一步地，上述计算模块 02 还用于：

建立待扇形均分的障碍物 3D 模型的球形包围盒，找到球形包围盒的球心；设定一经过所述球心的初始扇形均分平面，将所述初始扇形均分平面按预设的旋转角绕所述球心进行多次旋转，以将球形包围盒均分为 n 个扇形部分；该球形包围盒的 n 个扇形部分作为障碍物 3D 模型的 n 个模型部分。

例如，在一种具体实施方式中，可包括如下步骤：

X1、建立要扇形均分的障碍物 3D 模型 M 的球形包围盒 B ，找到球形包围盒 B 的球心 O ，然后在球心 O 处建立三维坐标系 $Oxyz$ ；

X2、过球心 O 做一条与三维坐标系 $Oxyz$ 中 z 轴重合的直线 L ，则 xoz 平面即为初始扇形均分平面，设 xoz 平面为 α_1 ， α_1 将障碍物 3D 模型分为 2 部分；

X3、将 α_1 绕直线 L 选择一定角度 β （ β 代表相邻扇形偏角）得到另外一个新平面 α_2 ，将新平面继续旋转 β 可以得到平面 α_3 ，旋转 $m-1$ 次可以得到第 m 个平面 α_m ；

X4、设 $\beta = \frac{180^\circ}{m}$ ，则 m 个平面可以把球形包围盒 B 均分为 $2m$ 部分，障碍物 3D 模型即被分为 $2m$ 个模型部分。通过上述步骤可以完成对任意模型，包括非凸模型的简单剖分，并通过哈希表进行管理剖分好的模型部分。

进一步地，上述计算模块 02 还用于：

采用 Delaunay 三角剖分算法对障碍物 3D 模型进行表面三角剖分，产生三角面片（凸片）集合；并针对每一个三角面片构造与之对应的凸块。例如，将厚度为零的三角面片在其平面法向量方向进行预设厚度的拉伸，变为凸块。

进一步地，所述预先确定的距离计算规则包括：

根据机器人当前的定位数据（如室内位置、姿态等）及预先确定的筛选算法，对障碍物 3D 模型扇形均分后获得的各个模型部分进行筛选，筛选出待进行距离计算的模型部分；

对获取的定位数据、筛选出的模型部分，利用预先确定的距离计算算法（例如，GJK 算法）计算出机器人与筛选出的模型部分的最短距离，该最短距离即为机器人与障碍物 3D 模型的最短距离。

进一步地，如图 2a、2b 所示，所述预先确定的筛选算法包括：

Y1、将障碍物 3D 模型扇形均分后获得的 n 个模型部分分别作为障碍物的 n 个节点，建立 key-value 键值分别是相对于初始扇形均分平面（即 xoz 平面）的旋转角即偏角和模型几何信息数据的哈希表，以进行模型节点管理；

Y2、对扇形均分获得的各个模型部分进行标号，从 1 开始进行标号；均分的 n 个扇形模型部分，相邻扇形偏角为 $\frac{360^\circ}{n}$ ，根据标号，建立于初始标号为 i 的扇形模型部分的偏角映射关系，代表所述偏角映射关系的哈希函数为：

$$\text{Hash}(i) = i * \left(\frac{360^\circ}{n} \right)$$

其中， i 为标号为 i 的扇形模型部分， $\text{Hash}(i)$ 代表标号为 i 的扇形模型部分与障碍物坐标系的 X 轴正轴的偏角；

Y3、建立机器人的运动学，根据建立的运动学计算出机器人各个关节的位姿，从建立的哈希表中查询出机器人附近的障碍物扇形区域。如下图 2 所示；当机器人在运动过程

中，通过机器人运动学，运动学方程为：

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

其中， A_k ($k=1,2,\dots,i$) 为机器人关节坐标系之间的齐次变换矩阵（可以通过机器人各关节的 D-H 参数确定）， A_0 表示机器人当前位置矩阵（与机器人当前定位数据对应）， T_i 为第 i 个关节相对于机器人坐标系的位姿；

通过 T_i 计算出机器人运动过程中各个关节局部坐标系原点坐标的实时更新值 $Q_i(x, y, z)$ ，进一步可以得到关节在障碍物坐标系下的偏角 α ：

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

其中， $Q_i(x, y, z)$ 表示机器人关节在机器人坐标系下的坐标； T_r 表示机器人坐标系变换到障碍物坐标系的变换矩阵（为 4×4 的矩阵，机器人坐标系和障碍物坐标系已确定，该矩阵可以直接计算出来），则机器人关节在障碍物坐标系下的坐标 $Q_i(x_i, y_i, z_i)$ 为：

$$Q_i(x_i, y_i, z_i) = T_r Q_i(x, y, z)$$

假定障碍物坐标系 Z 轴正向朝上，遵循右手坐标系，设关节在障碍物坐标系下的偏角为 α ，则

$$\tan(\alpha) = \frac{y_i}{x_i}$$

向求解三角函数即可得到关节在障碍物坐标系下的偏角为 α ，获取到偏角 α 之后，即可根据代表所述偏角映射关系的哈希函数 $Hash(i)$ 计算得到对应标号的扇形模型部分，并基于对应标号的模型部分筛选出待进行距离计算的模型部分。例如，计算得到的扇形模型部分的标号为 k ，则可选取标号在 $[k-M, k+N]$ 范围内的扇形模型部分进行最短距离计算。其中 M 、 N 为一预设数值，以选取标号为 k 的扇形模型部分附近的多个扇形模型部分作为待进行最短距离计算的模型部分。

如图 3a 所示，在一种具体实施方式中，机器人采用只有底盘的运动、没有手臂等其他运动关节的机器人，机器人 3D 模型采用高为 1500mm，运动底盘半径为 320mm 的机器人 3D 模型，障碍物 3D 模型采用一个简单立方体模型，尺寸为 2200mm*2200mm*1000mm，在障碍物模型坐标系下机器人当前的坐标为(1800,-100)。

对障碍物模型进行预处理中，预处理主要是对障碍物模型进行扇形均分，如图 3b 所示，障碍物模型被扇形均分为 32 份，从 X 轴逆时针对扇形均分的模型部分进行编号，1,2,...,15,16,...,31,32；每一个模型块的夹角为： $360/32=11.25$ 度，可以看出，编号 1 模型块与 X 轴正向偏角 11.25 度，编号 2 模型块与 X 轴正向偏角 $11.25 \times 2=22.5$ 度，编号为 i 的模型块与 X 轴正向偏角： $i \times (360/32)$ 。

在对模型部分的筛选过程中，因本实施例采用的机器人只有底盘的运动，没有手臂等其他运动关节，所以底盘位姿代表机器人的整体位姿，当前机器人的位置为(1800, -100)（相对于障碍物坐标系下坐标），可以计算出机器人与障碍物坐标系的 X 轴正轴的偏角为 354 度；进而计算机器人对应扇形模型部分的标号为 $354/11.25=31.5$ ，向上取整得到 32，所以待进行距离计算的对应扇形块编号 32，也就是说机器人离编号为 32 的障碍物块最近。

接下来选取 $K=32$ 附近的障碍物块，采用 GJK 计算与机器人之间的最短距离及最短距离点；选取 $M=1$ ， $N=2$ ，则得到障碍物块范围是[31,34]，编号超过 32 的需要做简单转换，33 转换为对应编号为 1 的障碍物块，34 转换为对应编号为 2 的障碍物块；如图 3c 所示，最终选取编号是 31,32,1,2 的障碍物块进行最短距离计算。

在计算最短距离时，通过上述处理，已缩小障碍物块的范围 (1,2,31,32)，直接采用 GJK 算法计算出机器人与障碍物间的最短距离点，如图 3d 所示，分别为障碍物上的点 $(x_1, y_1, z_1)=(1100, -100, -235)$ ，机器人上的点 $(x_2, y_2, z_2)=(1477, -100, -235)$ ；则机器人与障碍物之间的最短距离向量 $\vec{d} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) = (377, 0, 0)$ 。

进一步地, 上述控制模块 03 还用于:

根据计算的最短距离分析是否需要避障; 如若计算的最短距离大于预设距离阈值, 则确定不需要避障, 或者, 若计算的最短距离小于或者等于预设距离阈值, 则确定需要避障。若确定需要避障, 则根据获取的定位数据、计算的最短距离及该障碍物的 3D 模型, 计算出当前机器人应运动的方向, 并根据计算出的运动方向控制机器人的运动姿态。

进一步地, 上述控制模块 03 还用于:

将机器人及该障碍物投影到同一坐标系平面中;

根据预先确定的投影分析规则及障碍物 3D 模型投影到所述坐标系平面的投影区域外轮廓各个点的坐标, 计算出该障碍物的投影相对于机器人当前位置及目标位置有效遮挡区域的面积;

根据计算的最短距离及有效遮挡区域的面积确定出第一预设类型避障参数 (例如, 虚拟斥力), 根据目标点位置与机器人当前定位位置的距离确定出第二预设类型避障参数 (例如, 虚拟引力), 根据第一预设类型避障参数及第二预设类型避障参数确定出机器人当前应运动的方向。

进一步地, 如图 4 所示, 所述预先确定的投影分析规则为:

设坐标系平面的 P_1 位置点表示机器人所在位置即当前定位位置, P_2 位置点表示目标点所在位置即目标位置, 投影区域 P3 表示障碍物 3D 模型在坐标系平面中的投影, 并在坐标系平面中连接 $P_1 P_2$, 得到一条直线 J ;

若直线 J 与投影区域 P3 没有交点或者交点只有一个, 则确定不存在有效遮挡区域;

若直线 J 与投影区域 P3 的交点个数大于 1, 则直线 J 将投影分割为两部分 (如图 4 所示的 S_1 区域和 S_2 区域), 在投影区域 P3 (例如 S_1 或 S_2 区域中) 中任意找一点 P_S , 过 P_S 作直线 J 的垂线, 垂线与直线 J 的交点为 P_J , 进而得到向量 $\overrightarrow{P_J P_S} = P_J - P_S$, 计算最短距离的向量 \vec{d} 与向量 $\overrightarrow{P_J P_S}$ 的夹角 θ , 若 θ 是锐角, 则确定 P_S 点所在区域为有效遮挡区域 (例如, 图 4 中有效遮挡投影区域 S_2), 或者, 若 θ 不是锐角, 则确定 P_S 点所在区域不是有效遮挡区域。

进一步地, 所述第一预设类型避障参数为虚拟斥力, 所述第二预设类型避障参数为虚拟引力, 上述控制模块 03 还用于:

对计算的最短距离和有效遮挡投影区域的面积, 利用第一计算规则计算出作用在机器人上的一个虚拟斥力;

对当前定位位置与目标点位置的距离, 利用第二计算规则计算出作用在机器人上的一个虚拟引力;

计算出该虚拟引力和虚拟斥力的合力方向, 所述合力方向即为机器人当前应运动的方向。

进一步地, 所述第一计算规则为:

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

其中, \vec{d} 为机器人与障碍物的最短距离的向量, S 为有效遮挡区域的面积, \vec{F}_r 为障碍物对机器人的虚拟斥力, $f(\vec{d}, S)$ 表示最短距离向量和有效遮挡区域的面积转换为障碍物对机器人虚拟排斥力的关系式。该关系式的实现可以有多种方法, 在一种可选的实施例中, 该关系式为:

$$F_r = f(d, s) = \begin{cases} 0 & d > d_0 \\ \frac{k_r}{d} + b_r & d \leq d_0, s \leq s_0 \\ \frac{k_r}{d} * \frac{s}{s_0} + b_r & d \leq d_0, s > s_0 \end{cases}$$

其中, k_r 、 b_r 表示预设的虚拟斥力系数, s_0 表示预设的有效遮挡区域面积阈值, $s_0 > 0$; d_0 表示预设的距离阈值, $d_0 > 0$; 虚拟斥力方向(即 \vec{F}_r 方向)与最短距离方向相同。

依据上述关系式,当机器人与障碍物距离较远,超过设定的距离阈值 d_0 时不进行避障, \vec{F}_r 的大小为0;进入避障距离范围内(最短距离小于 d_0),当有效遮挡区域的面积 s 比较大,超过设定的值 s_0 时, $\frac{s}{s_0} > 1$,会使 \vec{F}_r 变大,距离较远时就可以进行避障,提前避障,以绕开较大的障碍物。

进一步地,所述第二计算规则为:

$$F_i = k_i * d_i$$

其中, \vec{F}_i 为目标位置对机器人的虚拟引力,其中 k_i 表示预设的引力系数, d_i 表示目标位置与机器人当前定位位置的距离,虚拟斥力方向(即 \vec{F}_i 方向)朝向目标位置。

进一步地,本发明还提供了一种计算机可读存储介质。

在本实施例中,该计算机可读存储介质上存储有机器人的避障控制系统,该机器人的避障控制系统可被至少一处理器执行,以实现以下操作:

步骤 S10、实时或者定时获取机器人当前的定位数据,并根据当前定位数据及预先确定的移动区域内各个障碍物的位置数据,确定当前定位位置至目标位置路径中是否有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物;

步骤 S20、若有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物,则根据获取的定位数据、预先确定的机器人的3D模型及预先确定的该障碍物的3D模型,计算出机器人与该障碍物的最短距离;

步骤 S30、根据获取的定位数据、计算的最短距离及该障碍物的3D模型,计算出当前机器人应运动的方向,根据计算出的运动方向控制机器人的运动姿态,以避免障碍物。

进一步地,所述步骤 S20 包括:

步骤 S201、对预先确定的机器人的3D模型及该障碍物的3D模型进行预处理。

步骤 S202、对获取的定位数据、预处理后的机器人3D模型数据及预处理后的障碍物3D模型数据,利用预先确定的距离计算规则计算出机器人与障碍物的最短距离。

进一步地,所述步骤 S201 中的机器人3D模型预处理包括:针对机器人的每一个关节,直接利用预先确定的算法(例如,QuickHull快速凸包算法)找出包围各个关节的最小凸多面体,以将机器人非凸模型转换为凸体模型。通过上述凸处理的机器人3D模型在后续计算最短距离向量时能有效提高计算速度和计算精度。

障碍物3D模型预处理的方式包括三种:第一种、构建非凸多面体的凸包围盒使之转换为凸体进行碰撞检测;第二种、对非凸多面体进行凸分解,使非凸模型转换为多个凸体进行碰撞检测;第三种、对障碍物3D模型扇形均分(即扇形剖分),然后对均分后的单个扇形进行凸分解,这种先扇形均分再凸分解的方式相对于前两种不仅计算速度更快,而且计算精度更高。

进一步地,所述对障碍物3D模型扇形均分的步骤包括:

建立待扇形均分的障碍物3D模型的球形包围盒,找到球形包围盒的球心;

设定一经过所述球心的初始扇形均分平面,将所述初始扇形均分平面按预设的旋转角绕所述球心进行多次旋转,以将球形包围盒均分为 n 个扇形部分,该球形包围盒的 n 个扇形部分作为障碍物 3D 模型的 n 个模型部分。

进一步地,所述对均分后的单个扇形进行凸分解的步骤包括:

采用 Delaunay 三角剖分算法对障碍物 3D 模型进行表面三角剖分,产生三角面片(凸片)集合;并针对每一个三角面片构造与之对应的凸块。例如,将厚度为零的三角面片在其平面法向量方向进行预设厚度的拉伸,变为凸块。

进一步地,所述预先确定的距离计算规则包括:

根据机器人当前的定位数据(如室内位置、姿态等)及预先确定的筛选算法,对障碍物 3D 模型扇形均分后获得的各个模型部分进行筛选,筛选出待进行距离计算的模型部分;

对获取的定位数据、筛选出的模型部分,利用预先确定的距离计算算法(例如,GJK 算法)计算出机器人与筛选出的模型部分的最短距离,该最短距离即为机器人与障碍物 3D 模型的最短距离。

进一步地,所述步骤 S30 包括:

机器人的避障控制系统根据计算的最短距离分析是否需要避障;如若计算的最短距离大于预设距离阈值,则确定不需要避障,或者,若计算的最短距离小于或者等于预设距离阈值,则确定需要避障。若确定需要避障,则机器人的避障控制系统根据获取的定位数据、计算的最短距离及该障碍物的 3D 模型,计算出当前机器人应运动的方向,并根据计算出的运动方向控制机器人的运动姿态。

进一步地,所述根据获取的定位数据、计算的最短距离及该障碍物的 3D 模型,计算出当前机器人应运动的方向的步骤包括:

将机器人及该障碍物投影到同一坐标系平面中;

根据预先确定的投影分析规则及障碍物 3D 模型投影到所述坐标系平面的投影区域外轮廓各个点的坐标,计算出该障碍物的投影相对于机器人当前位置及目标位置有效遮挡区域的面积;

根据计算的最短距离及有效遮挡区域的面积确定出第一预设类型避障参数(例如,虚拟斥力),根据目标点位置与机器人当前定位位置的距离确定出第二预设类型避障参数(例如,虚拟引力),根据第一预设类型避障参数及第二预设类型避障参数确定出机器人当前应运动的方向。

进一步地,所述预先确定的投影分析规则为:

设坐标系平面的 P_1 位置点表示机器人所在位置即当前定位位置, P_2 位置点表示目标点所在位置即目标位置,投影区域 P3 表示障碍物 3D 模型在坐标系平面中的投影,并在坐标系平面中连接 P_1P_2 , 得到一条直线 J ;

若直线 J 与投影区域 P3 没有交点或者交点只有一个,则确定不存在有效遮挡区域;

若直线 J 与投影区域 P3 的交点个数大于 1,则直线 J 将投影分割为两部分(如图 4 所示的 S_1 区域和 S_2 区域),在投影区域 P3(例如 S_1 或 S_2 区域中)中任意找一点 P_s ,过 P_s 作直线 J 的垂线,垂线与直线 J 的交点为 P_j ,进而得到向量 $\overrightarrow{P_jP_s} = P_j - P_s$,计算最短距离的向量 \vec{d} 与向量 $\overrightarrow{P_jP_s}$ 的夹角 θ ,若 θ 是锐角,则确定 P_s 点所在区域为有效遮挡区域(例如,图 4 中有效遮挡投影区域 S_2),或者,若 θ 不是锐角,则确定 P_s 点所在区域不是有效遮挡区域。

进一步地,所述第一预设类型避障参数为虚拟斥力,所述第二预设类型避障参数为虚拟引力,所述根据计算的最短距离及有效遮挡区域的面积确定出第一预设类型避障参数,根据目标位置与机器人当前定位位置的距离确定出第二预设类型避障参数,根据所述第一预设类型避障参数及所述第二预设类型避障参数确定出机器人当前应运动的方向的步骤包括:

对计算的最短距离和有效遮挡投影区域的面积,利用第一计算规则计算出作用在机器人上的一个虚拟斥力;

对当前定位位置与目标点位置的距离,利用第二计算规则计算出作用在机器人上的一个虚拟引力;

计算出该虚拟引力和虚拟斥力的合力方向,所述合力方向即为机器人当前应运动的方向。

进一步地,进一步地,所述第一计算规则为:

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

其中, \vec{d} 为机器人与障碍物的最短距离的向量, S 为有效遮挡区域的面积, \vec{F}_r 为障碍物对机器人的虚拟斥力, $f(\vec{d}, S)$ 表示最短距离向量和有效遮挡区域的面积转换为障碍物对机器人虚拟排斥力的关系式。该关系式的实现可以有多种方法,在一种可选的实施例中,该关系式为:

$$F_r = f(d, s) = \begin{cases} 0 & d > d_0 \\ \frac{k_r}{d} + b_r & d \leq d_0, s \leq s_0 \\ \frac{k_r * s}{d * s_0} + b_r & d \leq d_0, s > s_0 \end{cases}$$

其中, k_r 、 b_r 表示预设的虚拟斥力系数, s_0 表示预设的有效遮挡区域面积阈值, $s_0 > 0$; d_0 表示预设的距离阈值, $d_0 > 0$; 虚拟斥力方向 (即 \vec{F}_r 方向) 与最短距离方向相同。

依据上述关系式,当机器人与障碍物距离较远,超过设定的距离阈值 d_0 时不进行避障, \vec{F}_r 的大小为 0; 进入避障距离范围内 (最短距离小于 d_0), 当有效遮挡区域的面积 s 比较大, 超过设定的值 s_0 时, $\frac{s}{s_0} > 1$, 会使 \vec{F}_r 变大, 距离较远时就可以进行避障, 提前避障, 以绕开较大的障碍物。

进一步地,所述第二计算规则为:

$$F_i = k_i * d_i$$

其中, \vec{F}_i 为目标位置对机器人的虚拟引力, 其中 k_i 表示预设的引力系数, d_i 表示目标位置与机器人当前定位位置的距离, 虚拟斥力方向 (即 \vec{F}_i 方向) 朝向目标位置。

本发明之计算机可读存储介质的具体实施方式与上述机器人避障方法的 实施例大致相同,故不再赘述。

需要说明的是,在本文中,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者装置不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者装置所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括该要素的过程、方法、物品或者装置中还存在另外的相同要素。

通过以上的实施方式的描述,本领域的技术人员可以清楚地了解到上述实施例方法可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现,当然也可以通过硬件来实现,但很多情况下前者是更佳的实施方式。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质 (如 ROM/RAM、磁碟、光盘) 中,包括若干指令用以使得一台终端设备 (可以是手机,计算机,服务器,空调器,或者网络设备等) 执行本发明各个实施例所述的方法。

以上参照附图说明了本发明的优选实施例，并非因此局限本发明的权利范围。上述本发明实施例序号仅仅为了描述，不代表实施例的优劣。另外，虽然在流程图中示出了逻辑顺序，但是在某些情况下，可以以不同于此处的顺序执行所示出或描述的步骤。

本领域技术人员不脱离本发明的范围和实质，可以有多种变型方案实现本发明，比如作为一个实施例的特征可用于另一实施例而得到又一实施例。凡在运用本发明的技术构思之内所作的任何修改、等同替换和改进，均应在本发明的权利范围之内。

1、一种机器人的避障控制系统，其特征在于，所述避障控制系统包括：

确定模块，用于实时或者定时获取机器人当前的定位数据，并根据当前定位数据及预先确定的移动区域内各个障碍物的位置数据，确定当前定位位置至目标位置路径中是否有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物；

计算模块，用于若有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物，则根据获取的定位数据、预先确定的机器人的 3D 模型及预先确定的该障碍物的 3D 模型，计算出机器人与该障碍物的最短距离；

控制模块，用于根据获取的定位数据、计算的最短距离及该障碍物的 3D 模型，计算出当前机器人应运动的方向，根据计算出的运动方向控制机器人的运动姿态，以避开障碍物。

2、如权利要求 1 所述的机器人的避障控制系统，其特征在于，所述计算模块还用于：

对预先确定的机器人的 3D 模型及该障碍物的 3D 模型进行预处理，针对机器人的每一个关节，利用预先确定的算法找出包围各个关节的最小凸多面体，以将机器人的非凸模型转换为凸体模型；

对该障碍物 3D 模型扇形均分，并对均分后的单个扇形进行凸分解；

对获取的定位数据、预处理后的机器人 3D 模型数据及预处理后的该障碍物 3D 模型数据，利用预先确定的距离计算规则计算出机器人与该障碍物的最短距离。

3、如权利要求 2 所述的机器人的避障控制系统，其特征在于，所述计算模块还用于：

建立待扇形均分的障碍物 3D 模型的球形包围盒，找到球形包围盒的球心；

设定一经过所述球心的初始扇形均分平面，将所述初始扇形均分平面按预设的旋转角绕所述球心进行多次旋转，以将球形包围盒均分为 n 个扇形部分，该球形包围盒的 n 个扇形部分作为障碍物 3D 模型的 n 个模型部分。

4、如权利要求 2 所述的机器人的避障控制系统，其特征在于，所述预先确定的距离计算规则包括：

根据机器人当前的定位数据及预先确定的筛选算法，对障碍物 3D 模型扇形均分后获得的各个模型部分进行筛选，筛选出待进行距离计算的模型部分；

对获取的定位数据、筛选出的模型部分，利用预先确定的距离计算算法计算出机器人与筛选出的模型部分的最短距离，该最短距离为机器人与障碍物的最短距离；

所述预先确定的筛选算法包括：

将障碍物 3D 模型的 n 个模型部分分别作为障碍物的 n 个节点，建立键值为相对于初始扇形均分平面的偏角的哈希表，以进行模型节点管理；

对各个模型部分进行标号，根据标号，建立标号为 i 的模型部分的偏角映射关系，定义所述偏角映射关系的哈希函数为：

$$Hash(i) = i * \left(\frac{360^\circ}{n} \right)$$

其中， $Hash(i)$ 代表标号为 i 的扇形模型部分与障碍物坐标系的 X 轴正轴的偏角；

建立机器人的运动学方程，根据建立的运动学方程计算出机器人各个关节的位姿，该运动学方程为：

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

其中， A_k ($k=1,2,\dots,i$) 为机器人关节坐标系之间的齐次变换矩阵， A_0 为机器人当前位置矩阵， T_i 为第 i 个关节相对于机器人坐标系的位姿；

通过 T_i 计算出机器人运动过程中各个关节在机器人坐标系下的坐标 $Q_i(x, y, z)$ ，并计算出机器人坐标系变换到障碍物坐标系的变换矩阵 T_r ，则机器人关节在障碍物坐标系下的坐

标 $Q_i(x_t, y_t, z_t)$ 为:

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

通过如下公式得到关节在障碍物坐标系下的偏角 α :

$$\tan(\alpha) = \frac{y_t}{x_t}$$

根据偏角 α 及哈希函数 $Hash(i)$ 计算得到对应标号的模型部分, 并基于对应标号的模型部分筛选出待进行距离计算的模型部分。

5、如权利要求 1 所述的机器人的避障控制系统, 其特征在于, 所述控制模块还用于: 将机器人及该障碍物 3D 模型投影到同一坐标系平面中;

根据预先确定的投影分析规则及障碍物 3D 模型投影到所述坐标系平面的投影区域外轮廓各个点的坐标, 计算出该障碍物 3D 模型的投影相对于机器人的当前定位位置及目标位置有效遮挡区域的面积;

根据计算的最短距离及有效遮挡区域的面积确定出第一预设类型避障参数, 根据目标位置与机器人当前定位位置的距离确定出第二预设类型避障参数, 根据所述第一预设类型避障参数及所述第二预设类型避障参数确定出机器人当前应运动的方向。

6、如权利要求 5 所述的机器人的避障控制系统, 其特征在于, 所述预先确定的投影分析规则为:

设定坐标系平面的 P_1 位置点为机器人的当前定位位置, P_2 位置点为目标位置, 投影区域 P3 为障碍物 3D 模型在所述坐标系平面中的投影, 并在所述坐标系平面中连接 $P_1 P_2$, 得到直线 J ;

若直线 J 与投影区域 P3 没有交点或者交点只有一个, 则确定不存在有效遮挡区域;

若直线 J 与投影区域 P3 的交点个数大于 1, 则直线 J 将投影分割为两部分; 在投影区域 P3 中任意找一点 P_s , 过 P_s 作直线 J 的垂线, 设定垂线与直线 J 的交点为 P_j , 得到向量 $\overrightarrow{P_j P_s}$, 计算最短距离的向量 \vec{d} 与向量 $\overrightarrow{P_j P_s}$ 的夹角 θ ; 若判断夹角 θ 是锐角, 则确定 P_s 点所在区域是有效遮挡区域; 若判断夹角 θ 不是锐角, 则确定 P_s 点所在区域不是有效遮挡区域。

7、如权利要求 5 所述的机器人的避障控制系统, 其特征在于, 所述第一预设类型避障参数为虚拟斥力, 所述第二预设类型避障参数为虚拟引力, 所述控制模块还用于:

根据计算的最短距离和有效遮挡区域的面积, 利用第一计算规则计算出作用在机器人上的虚拟斥力;

根据当前定位位置与目标点位置的距离, 利用第二计算规则计算出作用在机器人上的虚拟引力;

计算出该虚拟引力和虚拟斥力的合力方向作为机器人当前应运动的方向。

8、如权利要求 7 所述的机器人的避障控制系统, 其特征在于, 所述第一计算规则为:

设定机器人与障碍物的最短距离的向量为 \vec{d} , 有效遮挡区域的面积为 S , 障碍物对机器人的虚拟斥力为 \vec{F}_r , 则计算公式如下:

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

其中, \vec{d} 为机器人与障碍物的最短距离的向量, S 为有效遮挡区域的面积, \vec{F}_r 为障碍物对机器人的虚拟斥力, k_r , b_r 为预设的虚拟斥力系数, s_0 为预设的有效遮挡区域面积阈值, d_0 为预设的距离阈值, \vec{F}_r 方向与最短距离方向相同。

9、如权利要求 7 所述的机器人的避障控制系统, 其特征在于, 所述第二计算规则为:

$$F_i = k_i * d_i$$

其中, \vec{F}_i 为目标位置对机器人的虚拟引力, k_i 为预设的引力系数, d_i 为目标位置与机器人当前定位位置的距离, \vec{F}_i 方向朝向目标位置。

10、一种机器人避障方法, 其特征在于, 所述方法包括以下步骤:

A1、实时或者定时获取机器人当前的定位数据, 并根据当前定位数据及预先确定的移动区域内各个障碍物的位置数据, 确定当前定位位置至目标位置路径中是否有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物;

A2、若有离当前定位位置的距离小于预设距离的障碍物, 则根据获取的定位数据、预先确定的机器人的 3D 模型及预先确定的该障碍物的 3D 模型, 计算出机器人与该障碍物的最短距离;

A3、根据获取的定位数据、计算的最短距离及该障碍物的 3D 模型, 计算出当前机器人应运动的方向, 根据计算出的运动方向控制机器人的运动姿态, 以避开障碍物。

11、如权利要求 10 所述的机器人避障方法, 其特征在于, 所述 A2 步骤包括:

对预先确定的机器人的 3D 模型及该障碍物的 3D 模型进行预处理, 针对机器人的每一个关节, 利用预先确定的算法找出包围各个关节的最小凸多面体, 以将机器人的非凸模型转换为凸体模型;

对该障碍物 3D 模型扇形均分, 并对均分后的单个扇形进行凸分解;

对获取的定位数据、预处理后的机器人 3D 模型数据及预处理后的该障碍物 3D 模型数据, 利用预先确定的距离计算规则计算出机器人与该障碍物的最短距离。

12、如权利要求 11 所述的机器人避障方法, 其特征在于, 所述 A2 步骤还包括:

建立待扇形均分的障碍物 3D 模型的球形包围盒, 找到球形包围盒的球心;

设定一经过所述球心的初始扇形均分平面, 将所述初始扇形均分平面按预设的旋转角绕所述球心进行多次旋转, 以将球形包围盒均分为 n 个扇形部分, 该球形包围盒的 n 个扇形部分作为障碍物 3D 模型的 n 个模型部分。

13、如权利要求 11 所述的机器人避障方法, 其特征在于, 所述预先确定的距离计算规则包括:

根据机器人当前的定位数据及预先确定的筛选算法, 对障碍物 3D 模型扇形均分后获得的各个模型部分进行筛选, 筛选出待进行距离计算的模型部分;

对获取的定位数据、筛选出的模型部分, 利用预先确定的距离计算算法计算出机器人与筛选出的模型部分的最短距离, 该最短距离为机器人与障碍物的最短距离;

所述预先确定的筛选算法包括:

将障碍物 3D 模型的 n 个模型部分分别作为障碍物的 n 个节点, 建立键值为相对于初始扇形均分平面的偏角的哈希表, 以进行模型节点管理;

对各个模型部分进行标号, 根据标号, 建立标号为 i 的模型部分的偏角映射关系, 定义所述偏角映射关系的哈希函数为:

$$Hash(i) = i * \left(\frac{360^\circ}{n} \right)$$

其中, $Hash(i)$ 代表标号为 i 的扇形模型部分与障碍物坐标系的 X 轴正轴的偏角;

建立机器人的运动学方程, 根据建立的运动学方程计算出机器人各个关节的位姿, 该

运动学方程为:

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

其中, A_k ($k=1,2,\dots,i$) 为机器人关节坐标系之间的齐次变换矩阵, A_0 为机器人当前位置矩阵, T_i 为第 i 个关节相对于机器人坐标系的位姿;

通过 T_i 计算出机器人运动过程中各个关节在机器人坐标系下的坐标 $Q_i(x, y, z)$, 并计算出机器人坐标系变换到障碍物坐标系的变换矩阵 T_r , 则机器人关节在障碍物坐标系下的坐标 $Q_i(x_t, y_t, z_t)$ 为:

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

通过如下公式得到关节在障碍物坐标系下的偏角 α :

$$\tan(\alpha) = \frac{y_t}{x_t}$$

根据偏角 α 及哈希函数 $Hash(i)$ 计算得到对应标号的模型部分, 并基于对应标号的模型部分筛选出待进行距离计算的模型部分。

14、如权利要求 10 所述的机器人避障方法, 其特征在于, 所述 A3 步骤包括:

将机器人及该障碍物 3D 模型投影到同一坐标系平面中;

根据预先确定的投影分析规则及障碍物 3D 模型投影到所述坐标系平面的投影区域外轮廓各个点的坐标, 计算出该障碍物 3D 模型的投影相对于机器人的当前定位位置及目标位置有效遮挡区域的面积;

根据计算的最短距离及有效遮挡区域的面积确定出第一预设类型避障参数, 根据目标位置与机器人当前定位位置的距离确定出第二预设类型避障参数, 根据所述第一预设类型避障参数及所述第二预设类型避障参数确定出机器人当前应运动的方向。

15、如权利要求 14 所述的机器人避障方法, 其特征在于, 所述预先确定的投影分析规则为:

设定坐标系平面的 P_1 位置点为机器人的当前定位位置, P_2 位置点为目标位置, 投影区域 P_3 为障碍物 3D 模型在所述坐标系平面中的投影, 并在所述坐标系平面中连接 $P_1 P_2$, 得到直线 J ;

若直线 J 与投影区域 P_3 没有交点或者交点只有一个, 则确定不存在有效遮挡区域;

若直线 J 与投影区域 P_3 的交点个数大于 1, 则直线 J 将投影分割为两部分; 在投影区域 P_3 中任意找一点 P_s , 过 P_s 作直线 J 的垂线, 设定垂线与直线 J 的交点为 P_j , 得到向量 $\overrightarrow{P_j P_s}$, 计算最短距离的向量 \vec{d} 与向量 $\overrightarrow{P_j P_s}$ 的夹角 θ ; 若判断夹角 θ 是锐角, 则确定 P_s 点所在区域是有效遮挡区域; 若判断夹角 θ 不是锐角, 则确定 P_s 点所在区域不是有效遮挡区域。

16、如权利要求 14 所述的机器人避障方法, 其特征在于, 所述第一预设类型避障参数为虚拟斥力, 所述第二预设类型避障参数为虚拟引力, 所述 A3 步骤还包括:

根据计算的最短距离和有效遮挡区域的面积, 利用第一计算规则计算出作用在机器人上的虚拟斥力;

根据当前定位位置与目标点位置的距离, 利用第二计算规则计算出作用在机器人上的虚拟引力;

计算出该虚拟引力和虚拟斥力的合力方向作为机器人当前应运动的方向。

17、如权利要求 16 所述的机器人避障方法, 其特征在于, 所述第一计算规则为:

设定机器人与障碍物的最短距离的向量为 \vec{d} , 有效遮挡区域的面积为 S , 障碍物对机器人的虚拟斥力为 \vec{F}_r , 则计算公式如下:

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

其中， \vec{d} 为机器人与障碍物的最短距离的向量， S 为有效遮挡区域的面积， \vec{F}_r 为障碍物对机器人的虚拟斥力， k_r 、 b_r 为预设的虚拟斥力系数， s_0 为预设的有效遮挡区域面积阈值， d_0 为预设的距离阈值，虚拟斥力的方向与最短距离方向相同。

18、如权利要求 16 所述的机器人避障方法，其特征在于，所述第二计算规则为：

$$F_i = k_i * d_i$$

其中， \vec{F}_i 为目标位置对机器人的虚拟引力， k_i 为预设的引力系数， d_i 为目标位置与机器人当前定位位置的距离， \vec{F}_i 方向朝向目标位置。

19、一种机器人，其特征在于，该机器人包括处理器及存储器，该存储器上存储有机器人的避障控制系统，该机器人的避障控制系统可被该处理器执行，以实现如权利要求 10 至 18 中所述机器人避障方法中的任一步骤。

20、一种计算机可读存储介质，其特征在于，该计算机可读存储介质上存储有机器人的避障控制系统，该机器人的避障控制系统可被至少一处理器执行，以实现以下操作以实现如权利要求 10 至 18 中所述机器人避障方法中的任一步骤。

1/4

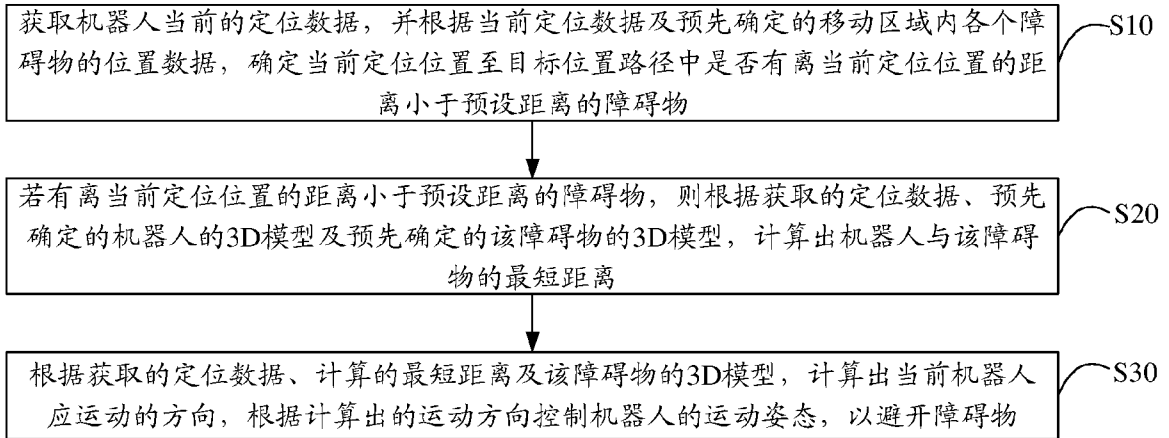


图 1

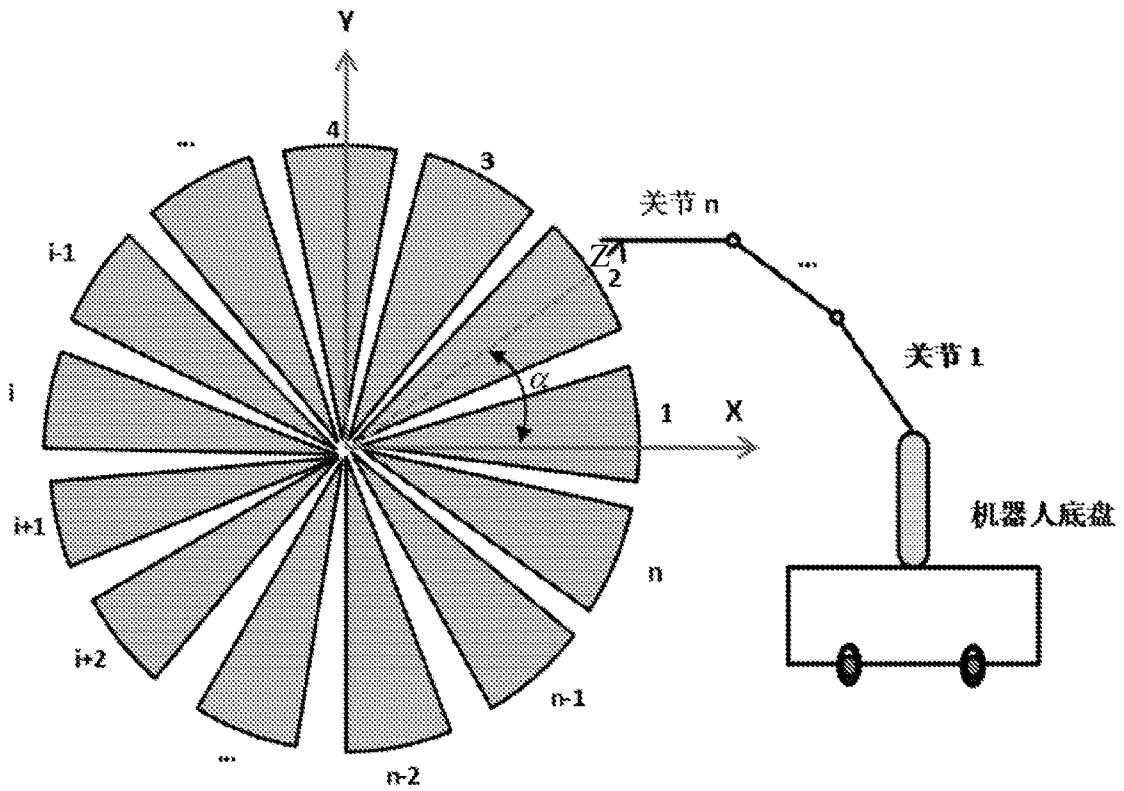


图 2a

2/4

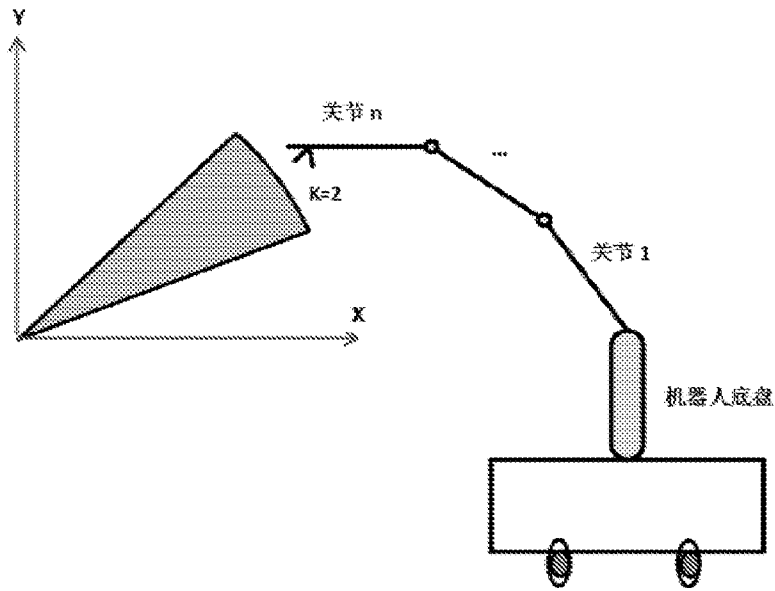


图 2b

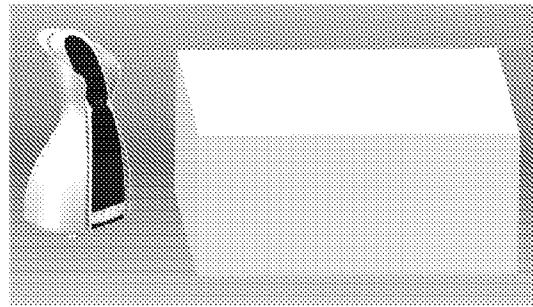


图 3a

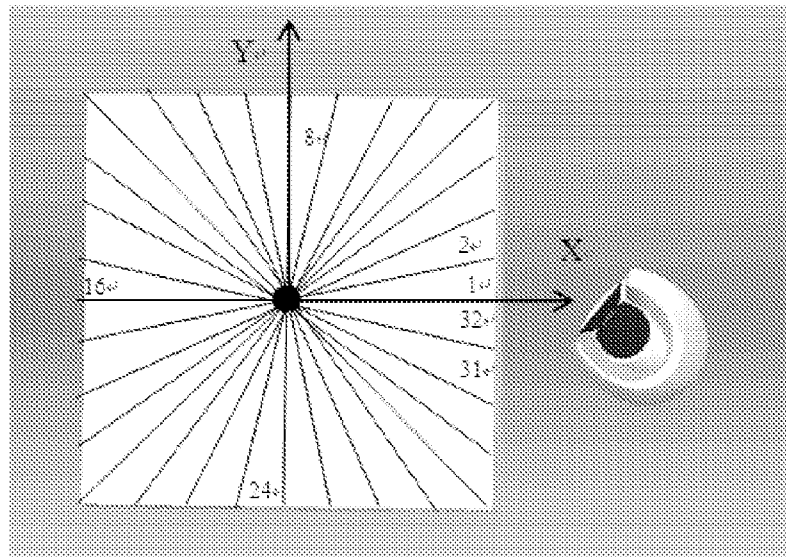


图 3b

3/4

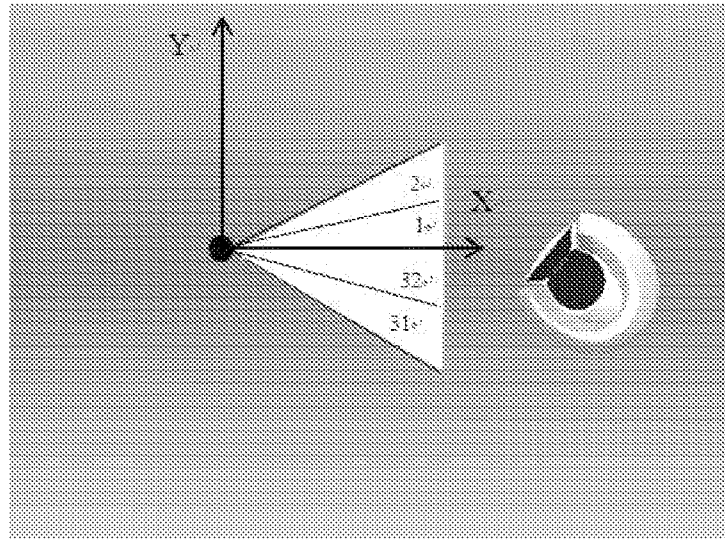


图 3c

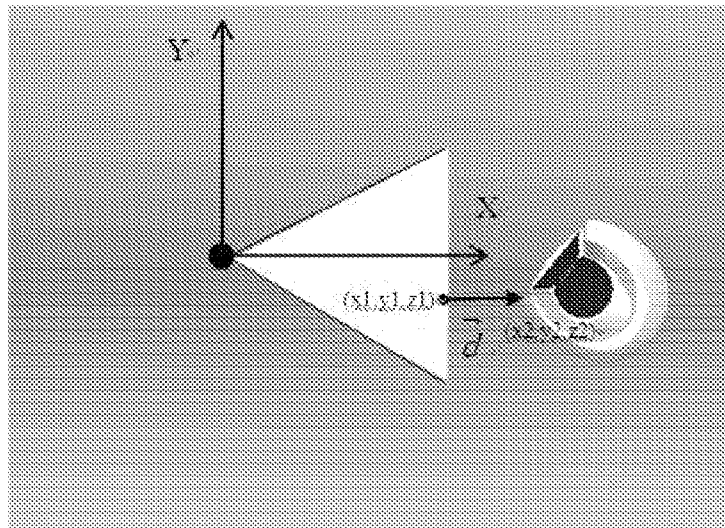


图 3d

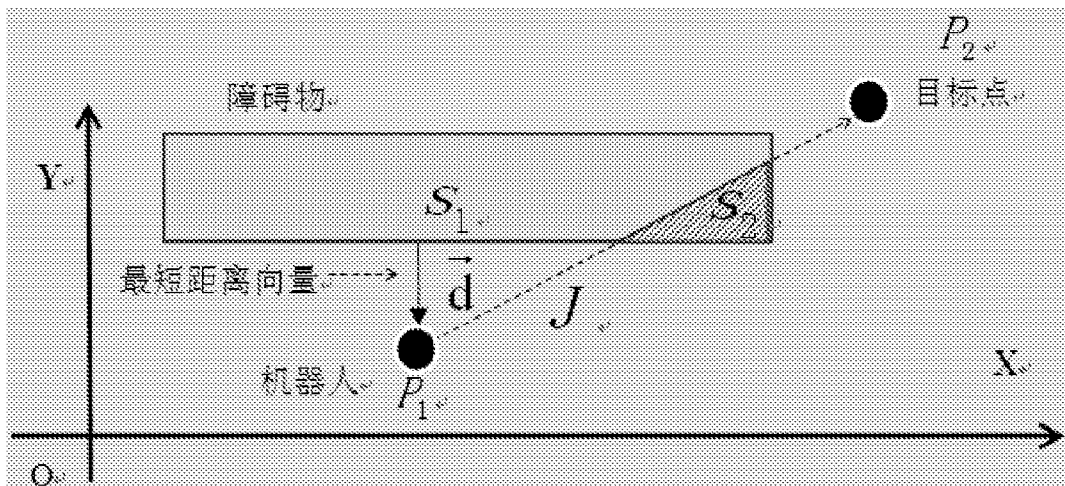


图 4

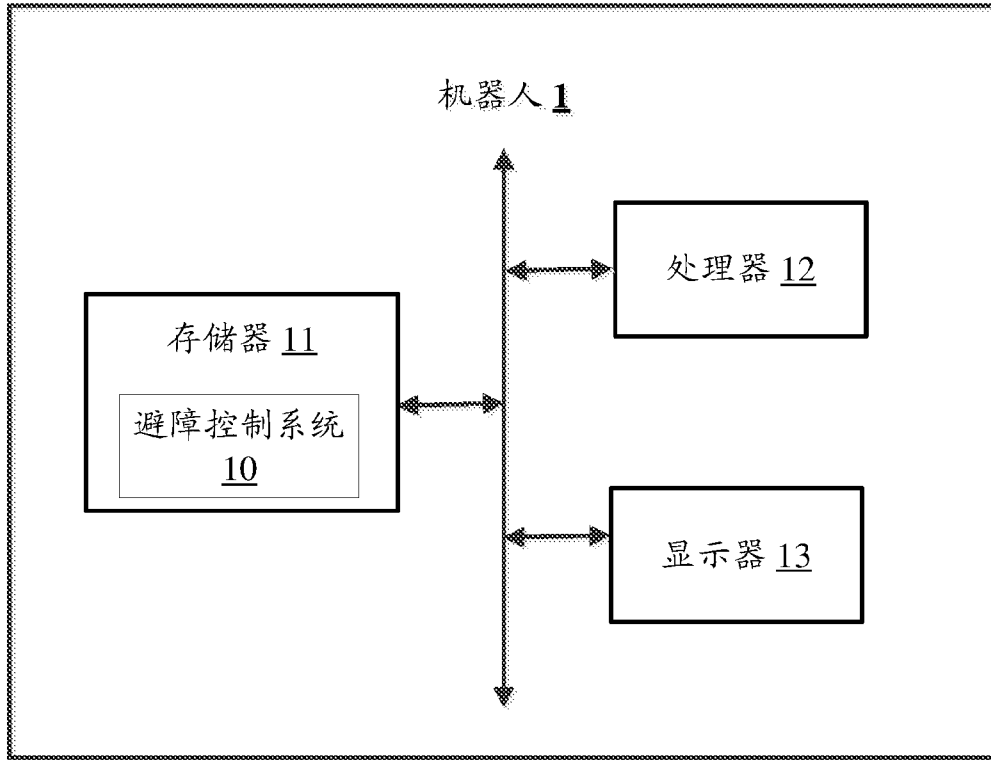


图 5

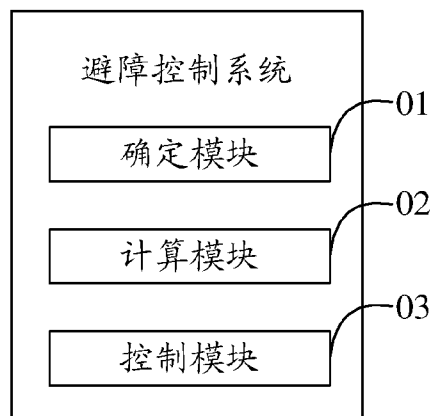


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/091368

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05D 1/02 (2006.01) i

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)

G05D 1/-

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

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

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 平安科技, 周涛涛, 周宝, 肖京, 机器人, 避障, 控制, 定位, 位置, 距离, 3D, 三维, 哈希, robot, obstacle, control, position, location, distance, three, hash, dimension

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 101512453 A (ABB CORPORATE RESEARCH LTD.), 19 August 2009 (19.08.2009), description, page 11, line 7 to page 13, line 29, and figures 1-4	1, 10, 19-20
A	CN 106406312 A (PING AN TECH SHENZHEN CO., LTD.), 15 February 2017 (15.02.2017), entire document	1-20
A	CN 106227218 A (SHENZHEN INMOTION TECHNOLOGIES CO., LTD.), 14 December 2016 (14.12.2016), entire document	1-20
A	US 7734387 B1 (ROCKWELL COLLINS INC.), 08 June 2010 (08.06.2010), entire document	1-20
A	US 2016111006 A1 (VERIZON PATENT AND LICENSING INC.), 21 April 2016 (21.04.2016), entire document	1-20

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search
04 December 2017

Date of mailing of the international search report
29 December 2017

Name and mailing address of the ISA
State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao
Haidian District, Beijing 100088, China
Facsimile No. (86-10) 62019451

Authorized officer
CUI, Zhaoli
Telephone No. (86-10) 61648168

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
 Information on patent family members

International application No.
 PCT/CN2017/091368

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 101512453 A	19 August 2009	EP 1901150 B1	29 October 2008
		WO 2008031664 A1	20 March 2008
		DE 602006003435 D1	11 December 2008
		AT 412929 T	15 November 2008
		EP 1901150 A1	19 March 2008
		CN 101512453 B	02 November 2011
CN 106406312 A	15 February 2017	None	
CN 106227218 A	14 December 2016	CN 106227218	14 December 2016
US 7734387 B1	08 June 2010	None	
US 2016111006 A1	21 April 2016	US 9454151 B2	27 September 2016

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/091368

<p>A. 主题的分类 G05D 1/02(2006.01)i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																								
<p>B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G05D 1/-</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 平安科技, 周涛涛, 周宝, 肖京, 机器人, 避障, 控制, 定位, 位置, 距离, 3D, 三维, 哈希, robot, obstacle, control, position, location, distance, three, hash, dimension</p>																								
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 101512453 A (ABB研究有限公司) 2009年 8月 19日 (2009 - 08 - 19) 说明书第11页第7行-第13页第29行、附图1-4</td> <td>1, 10, 19-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106406312 A (平安科技深圳有限公司) 2017年 2月 15日 (2017 - 02 - 15) 全文</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106227218 A (深圳乐行天下科技有限公司) 2016年 12月 14日 (2016 - 12 - 14) 全文</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 7734387 B1 (ROCKWELL COLLINS INC.) 2010年 6月 8日 (2010 - 06 - 08) 全文</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2016111006 A1 (VERIZON PATENT AND LICENSING INC.) 2016年 4月 21日 (2016 - 04 - 21) 全文</td> <td>1-20</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件</p> <table border="1"> <tr> <td>国际检索实际完成的日期 2017年 12月 4日</td> <td>国际检索报告邮寄日期 2017年 12月 29日</td> </tr> <tr> <td>ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451</td> <td>受权官员 崔朝利 电话号码 (86-10)61648168</td> </tr> </table>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 101512453 A (ABB研究有限公司) 2009年 8月 19日 (2009 - 08 - 19) 说明书第11页第7行-第13页第29行、附图1-4	1, 10, 19-20	A	CN 106406312 A (平安科技深圳有限公司) 2017年 2月 15日 (2017 - 02 - 15) 全文	1-20	A	CN 106227218 A (深圳乐行天下科技有限公司) 2016年 12月 14日 (2016 - 12 - 14) 全文	1-20	A	US 7734387 B1 (ROCKWELL COLLINS INC.) 2010年 6月 8日 (2010 - 06 - 08) 全文	1-20	A	US 2016111006 A1 (VERIZON PATENT AND LICENSING INC.) 2016年 4月 21日 (2016 - 04 - 21) 全文	1-20	国际检索实际完成的日期 2017年 12月 4日	国际检索报告邮寄日期 2017年 12月 29日	ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 崔朝利 电话号码 (86-10)61648168
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																						
X	CN 101512453 A (ABB研究有限公司) 2009年 8月 19日 (2009 - 08 - 19) 说明书第11页第7行-第13页第29行、附图1-4	1, 10, 19-20																						
A	CN 106406312 A (平安科技深圳有限公司) 2017年 2月 15日 (2017 - 02 - 15) 全文	1-20																						
A	CN 106227218 A (深圳乐行天下科技有限公司) 2016年 12月 14日 (2016 - 12 - 14) 全文	1-20																						
A	US 7734387 B1 (ROCKWELL COLLINS INC.) 2010年 6月 8日 (2010 - 06 - 08) 全文	1-20																						
A	US 2016111006 A1 (VERIZON PATENT AND LICENSING INC.) 2016年 4月 21日 (2016 - 04 - 21) 全文	1-20																						
国际检索实际完成的日期 2017年 12月 4日	国际检索报告邮寄日期 2017年 12月 29日																							
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 崔朝利 电话号码 (86-10)61648168																							

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/091368

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	101512453	A	2009年 8月 19日	EP	1901150	B1	2008年 10月 29日
				WO	2008031664	A1	2008年 3月 20日
				DE	602006003435	D1	2008年 12月 11日
				AT	412929	T	2008年 11月 15日
				EP	1901150	A1	2008年 3月 19日
				CN	101512453	B	2011年 11月 2日
CN	106406312	A	2017年 2月 15日	无			
CN	106227218	A	2016年 12月 14日	CN	106227218		2016年 12月 14日
US	7734387	B1	2010年 6月 8日	无			
US	2016111006	A1	2016年 4月 21日	US	9454151	B2	2016年 9月 27日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)