

(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
2022 年 6 月 2 日 (02.06.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/110452 A1

- (51) 国际专利分类号:
B25J 9/16 (2006.01) **G05D 1/02** (2020.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/139907
- (22) 国际申请日: 2020 年 12 月 28 日 (28.12.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202011383752.2 2020 年 11 月 30 日 (30.11.2020) CN
- (71) 申请人: 深圳市优必选科技股份有限公司
(**UBTECH ROBOTICS CORP LTD**) [CN/CN]; 中国
广东省深圳市南山区学苑大道 1001 号南山智园
C1 栋 16、22 楼, Guangdong 518000 (CN)。
- (72) 发明人: 张硕 (**ZHANG, Shuo**); 中国广东省深圳
市南山区学苑大道 1001 号南山智园 C1 栋 16、
22 楼, Guangdong 518000 (CN)。 郑大可 (**ZHENG,
Dake**); 中国广东省深圳市南山区学苑大道 1001
号南山智园 C1 栋 16、22 楼, Guangdong 518000

- (CN)。 刘益彰 (**LIU, Yizhang**); 中国广东省深圳
市南山区学苑大道 1001 号南山智园 C1 栋
16、22 楼, Guangdong 518000 (CN)。 谢铮 (**XIE,
Zheng**); 中国广东省深圳市南山区学苑大道 1001
号南山智园 C1 栋 16、22 楼, Guangdong 518000
(CN)。 熊友军 (**XIONG, Youjun**); 中国广东省深圳
市南山区学苑大道 1001 号南山智园 C1 栋
16、22 楼, Guangdong 518000 (CN)。
- (74) 代理人: 深圳中一联合知识产权代
理有限公司 (**SHENZHEN ZHONGYI UNION
INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO.,LTD.**);
中国广东省深圳市福田区园岭街道深
南中路 1014 号报春大厦 9 楼 (5 号信箱),
Guangdong 518028 (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,
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, IT,

(54) **Title:** ROBOT MOTION PLANNING METHOD AND APPARATUS, MOBILE ROBOT AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 机器人运动规划方法、装置、可移动机器人及存储介质

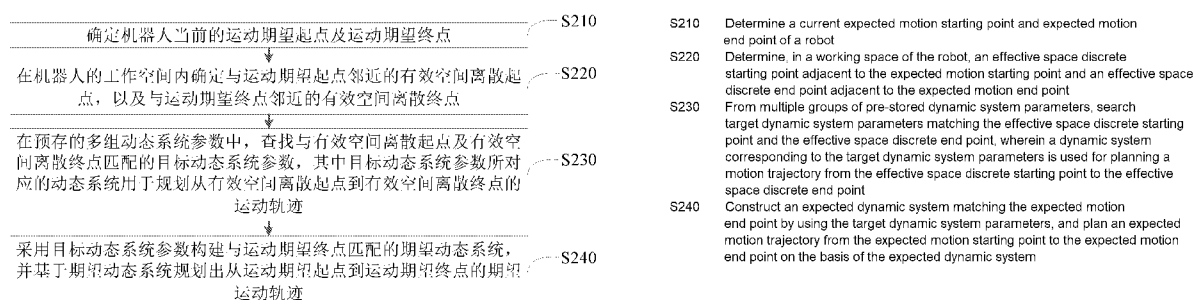


图 2

(57) **Abstract:** A robot motion planning method, comprising: determining a current expected motion starting point and expected motion end point of a robot, and determining, in a working space of the robot, an effective space discrete starting point adjacent to the expected motion starting point and an effective space discrete end point adjacent to the expected motion end point; then from multiple groups of pre-stored dynamic system parameters, searching target dynamic system parameters for planning a motion trajectory from the effective space discrete starting point to the effective space discrete end point; and next, constructing a dynamic system by using the target dynamic system parameters to plan an expected motion trajectory from the expected motion starting point to the expected motion end point. By using the characteristic that a dynamic system can predict a reasonable motion trajectory within a limited range, the method plans a motion trajectory that conforms to the motion law for the robot, so as to achieve the expected motion effect and improve the motion stability of the robot. Further provided are a robot motion planning apparatus, a mobile robot and a storage medium.

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,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, WS, 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))。

(57) 摘要: 一种机器人运动规划方法, 包括: 确定机器人当前的运动期望起点及运动期望终点, 并在机器人的工作空间内确定与该运动期望起点邻近的有效空间离散起点, 以及与该运动期望终点邻近的有效空间离散终点, 而后在预存的多组动态系统参数中, 查找用于规划从有效空间离散起点到有效空间离散终点的运动轨迹的目标动态系统参数, 接着采用目标动态系统参数构建动态系统来规划从运动期望起点到运动期望终点的期望运动轨迹。该方法通过利用动态系统可在有限范围内预测合理运动轨迹的特性, 为机器人规划出符合运动规律的运动轨迹, 以达到预想运动效果, 提升机器人运动稳定性。还提供一种机器人运动规划装置、可移动机器人及存储介质。

机器人运动规划方法、装置、可移动机器人及存储介质

本申请要求于 2020 年 11 月 30 日在中国专利局提交的、申请号为 202011383752.2 的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

- 5 本申请涉及机器人控制技术领域，具体而言，涉及一种机器人运动规划方法、装置、可移动机器人及存储介质。

背景技术

- 10 随着科学技术的不断发展，机器人技术因具有极大的研究价值及应用价值受到了各行各业的广泛重视，而在机器人技术的实际应用过程中，通常需要机器人通过控制至少一个关节从一个起点位置运动到另外一个终点位置的方式，来实现从一个起始状态到目标状态的转换，以完成对应分配的任务。在此基础上，如何规划好机器人从一个起点运动到另外一个起点的整体运动轨迹，使机器人的运动轨迹符合运动规律，避免因机器人运动动作变形出现机器人失稳情况，对本领域技术人员而言便是为达到预想运动效果所需解决的技术问题。

技术问题

15 有鉴于此，本申请的目的在于提供一种机器人运动规划方法、装置、可移动机器人及存储介质，能够为机器人规划出符合运动规律的运动轨迹，使机器人能够参照规划出的运动轨迹达到预想运动效果，改善机器人失稳问题。

技术方案

- 20 为了实现上述目的，本申请实施例采用的技术方案如下：

第一方面，本申请提供一种机器人运动规划方法，所述方法包括：

确定机器人当前的运动期望起点及运动期望终点；

在所述机器人的工作空间内确定与所述运动期望起点邻近的有效空间离散起点，以及与所述运动期望终点邻近的有效空间离散终点；

- 25 在预存的多组动态系统参数中，查找与所述有效空间离散起点及所述有效空间离散终点匹配的目标动态系统参数，其中所述目标动态系统参数所对应的动态系统用于规划从所述有效空间离散起点到所述有效空间离散终点的运动轨迹；

采用所述目标动态系统参数构建与所述运动期望终点匹配的期望动态系统，并基于所述期望动态系统规划出从所述运动期望起点到所述运动期望终点的期望运动轨迹。

- 30 在可选的实施方式中，所述在所述机器人的工作空间内确定与所述运动期望起点邻近的有效空间离散起点，以及与所述运动期望终点邻近的有效空间离散终点的步骤，包括：

针对所述工作空间内的每个有效空间离散点，计算该有效空间离散点与所述运动期望起点之间的第一欧氏距离，并计算该有效空间离散点与所述运动期望起点之间的第二欧氏距离；

- 35 将最小第一欧氏距离所对应的有效空间离散点作为所述有效空间离散起点，并将最小第二欧氏距离所对应的有效空间离散点作为所述有效空间离散终点。

在可选的实施方式中，所述采用所述目标动态系统参数构建与所述运动期望终点匹配的期望动态系统，并基于所述期望动态系统规划出从所述运动期望起点到所述运动期望终

点的期望运动轨迹的步骤，包括：

直接采用所述目标动态系统参数重构对应的动态系统；

采用所述运动期望终点对重构出的动态系统的轨迹收敛终点进行位置替换，得到所述期望动态系统；

- 5 将所述运动期望起点的位置信息输入到所述期望动态系统中进行运动轨迹规划，得到所述期望运动轨迹。

在可选的实施方式中，所述方法还包括：

在所述机器人的工作空间内确定机器人关节可达的有效空间离散点；

- 10 针对所述工作空间中的每个有效空间离散点，根据从该有效空间离散点到其他有效空间离散点的运动示教轨迹进行动态系统构建，并对构建出的动态系统所对应的动态系统参数进行存储。

在可选的实施方式中，所述在所述机器人的工作空间内确定机器人关节可达的有效空间离散点的步骤，包括：

对所述机器人的工作空间进行空间划分，得到所述工作空间的空间离散点；

- 15 在所述工作空间的空间离散点中剔除所述机器人各关节均不可达的目标离散点，得到所述工作空间的有效空间离散点。

第二方面，本申请提供一种机器人运动规划装置，所述装置包括：

运动期望确认模块，用于确定机器人当前的运动期望起点及运动期望终点；

- 20 离散邻近确认模块，用于在所述机器人的工作空间内确定与所述运动期望起点邻近的有效空间离散起点，以及与所述运动期望终点邻近的有效空间离散终点；

动态参数查找模块，用于在预存的多组动态系统参数中，查找与所述有效空间离散起点及所述有效空间离散终点匹配的目标动态系统参数，其中所述目标动态系统参数所对应的动态系统用于规划从所述有效空间离散起点到所述有效空间离散终点的运动轨迹；

- 25 期望轨迹规划模块，用于采用所述目标动态系统参数构建与所述运动期望终点匹配的期望动态系统，并基于所述期望动态系统规划出从所述运动期望起点到所述运动期望终点的期望运动轨迹。

在可选的实施方式中，所述离散邻近确认模块包括：

- 30 欧氏距离计算子模块，用于针对所述工作空间内的每个有效空间离散点，计算该有效空间离散点与所述运动期望起点之间的第一欧氏距离，并计算该有效空间离散点与所述运动期望起点之间的第二欧氏距离；

离散邻近确定子模块，用于将最小第一欧氏距离所对应的有效空间离散点作为所述有效空间离散起点，并将最小第二欧氏距离所对应的有效空间离散点作为所述有效空间离散终点。

在可选的实施方式中，所述期望轨迹规划模块包括：

- 35 动态系统重构子模块，用于直接采用所述目标动态系统参数重构对应的动态系统；

收敛终点替换子模块，用于采用所述运动期望终点对重构出的动态系统的轨迹收敛终

点进行位置替换，得到所述期望动态系统；

运动轨迹规划子模块，用于将所述运动期望起点的位置信息输入到所述期望动态系统中进行运动轨迹规划，得到所述期望运动轨迹。

在可选的实施方式中，所述装置还包括：

- 5 有效离散确认模块，用于在所述机器人的工作空间内确定机器人关节可达的有效空间离散点；

动态参数存储模块，用于针对所述工作空间中的每个有效空间离散点，根据从该有效空间离散点到其他有效空间离散点的运动示教轨迹进行动态系统构建，并对构建出的动态系统所对应的动态系统参数进行存储。

- 10 在可选的实施方式中，所述有效离散确认模块包括：

动作空间划分子模块，用于对所述机器人的工作空间进行空间划分，得到所述工作空间的空间离散点；

无效离散剔除子模块，用于在所述工作空间的空间离散点中剔除所述机器人各关节均不可达的目标离散点，得到所述工作空间的有效空间离散点。

- 15 第三方面，本申请提供一种可移动机器人，包括处理器和存储器，所述存储器存储有能够被所述处理器执行的计算机程序，所述处理器可执行所述计算机程序，以实现前述实施方式中任意一项所述的机器人运动规划方法。

第四方面，本申请提供一种存储介质，其上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时，实现前述实施方式中任意一项所述的机器人运动规划方法。

- 20 **有益效果**

本申请实施例的有益效果包括如下内容：

- 25 本申请通过确定机器人当前的运动期望起点及运动期望终点，并在机器人的工作空间内确定与该运动期望起点邻近的有效空间离散起点，以及与该运动期望终点邻近的有效空间离散终点，而后在预存的多组动态系统参数中，查找用于规划从有效空间离散起点到有效空间离散终点的运动轨迹的目标动态系统参数，接着采用目标动态系统参数构建与运动期望终点匹配的期望动态系统，并基于期望动态系统规划出从运动期望起点到运动期望终点的期望运动轨迹，从而通过利用动态系统能够在有限范围内预测合理运动轨迹的特性，为机器人规划出符合运动规律的运动轨迹，使机器人能够参照规划出的运动轨迹达到预想运动效果，提升机器人运动稳定性。

- 30 为使本申请的上述目的、特征和优点能更明显易懂，下文特举较佳实施例，并配合所附附图，作详细说明如下。

附图说明

- 35 为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案，下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍，应当理解，以下附图仅示出了本申请的某些实施例，因此不应被看作是对范围的限定，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他相关的附图。

图1为本申请实施例提供的可移动机器人的组成示意图；

图2为本申请实施例提供的机器人运动规划方法的流程示意图之一；

图3为本申请实施例提供的一种运动轨迹规划示意图；

图 4 为图 2 中的步骤 S220 包括的子步骤的流程示意图；

图 5 为图 2 中的步骤 S240 包括的子步骤的流程示意图；

图 6 为本申请实施例提供的机器人运动规划方法的流程示意图之二；

图 7 为图 6 中的步骤 S208 包括的子步骤的流程示意图；

5 图 8 为本申请实施例提供的机器人运动规划装置的组成示意图之一；

图 9 为图 8 中的离散邻近确认模块的组成示意图；

图 10 为图 8 中的期望轨迹规划模块的组成示意图；

图 11 为本申请实施例提供的机器人运动规划装置的组成示意图之二；

图 12 为图 11 中的有效离散确认模块的组成示意图。

10 图标：10-可移动机器人；11-存储器；12-处理器；13-通信单元；14-驱动机构；100-机器人运动规划装置；110-运动期望确认模块；120-离散邻近确认模块；130-动态参数查找模块；140-期望轨迹规划模块；121-欧氏距离计算子模块；122-离散邻近确定子模块；141-动态系统重构子模块；142-收敛终点替换子模块；143-运动轨迹规划子模块；150-有效离散确认模块；151-动作空间划分子模块；152-无效离散剔除子模块；160-动态参数存储模块。

15 本发明的实施方式

为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本申请实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。

20 因此，以下对在附图中提供的本申请的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本申请的范围，而是仅仅表示本申请的选定实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

应注意到：相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项，因此，一旦某一项在一个附图中被定义，则在随后的附图中不需要对其进行进一步定义和解释。

25 在本申请的描述中，需要理解的是，术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，或者是该申请产品使用时惯常摆放的方位或位置关系，或者是本领域技术人员惯常理解的方位或位置关系，仅是为了便于描述本申请和简化描述，而不是指示或暗示所指的设备或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本申请的限制。

30 在本申请的描述中，还需要理解的是，术语“第一”和“第二”等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者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、物品或者设备不仅包括那些要素，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、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。对于本领域的普通技术人员而言，可以具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

35

申请人通过辛苦调研发现，现有的机器人运动轨迹规划方案通常是基于人工示教的某个特定运动的运动轨迹进行动态系统构建，而后通过构建出的动态系统对不同运动起点和/或不同运动终点之间的运动轨迹进行预测规划。但需要注意的是，动态系统毕竟是以描述前述特定运动为目的构建出的，其存在有效轨迹的极限预测范围（包括有效起点变化范围及有效终点变化范围）。如果选定需要规划运动轨迹的运动起点超出有效起点变化范围和/或运动终点超出有效终点变化范围时，通过该动态系统规划出的运动轨迹将出现严重变形且不符合机器人运动规律，使机器人参照规划出的运动轨迹作出相应的运动操作时，容易出现因运动动作变形导致的机器人失稳现象，无法达到预期运动效果。

在此情况下，为确保给机器人规划出的运动轨迹始终符合运动规律，使机器人能够参照规划出的运动轨迹达到预想运动效果，并提升机器人运动稳定性，本申请实施例通过提供一种机器人运动规划方法、装置、可移动机器人及存储介质实现前述功能。

下面结合附图，对本申请的一些实施方式作详细说明。在不冲突的情况下，下述的实施例及实施例中的特征可以相互结合。

请参照图 1，图 1 是本申请实施例提供的可移动机器人 10 的组成示意图。在本申请实施例中，所述可移动机器人 10 能够在自身工作空间内规划出任一起点与任一终点之间的符合运动规律的运动轨迹，并在参照规划出的运动轨迹作出相应的运动操作时达到预想运动效果，提升自身的运动稳定性。其中，所述工作空间为该可移动机器人 10 的末端执行器运动描述参考点所能够到达的空间点的集合，其代表该可移动机器人 10 的最大可移动范围。所述可移动机器人 10 的工作空间的数目可以为多个，每个工作空间对应该可移动机器人 10 的一种运动机械结构组成（例如，工作机器人的工作臂，或者仿人机器人的左机械臂、右机械臂、左机械腿和右机械腿中的任意一项）。在本实施例中，所述可移动机器人 10 可以是，但不限于，仿人机器人、履带机器人、工业机器人等。

在本实施例中，所述可移动机器人 10 可以包括存储器 11、处理器 12、通信单元 13、驱动机构 14 及机器人运动规划装置 100。其中，所述存储器 11、所述处理器 12、所述通信单元 13 及所述驱动机构 14 各个元件相互之间直接或间接地电性连接，以实现数据的传输或交互。例如，所述存储器 11、所述处理器 12、所述通信单元 13 及所述驱动机构 14 这些元件相互之间可通过一条或多条通讯总线或信号线实现电性连接。

在本实施例中，所述存储器 11 可以是，但不限于，随机存取存储器（Random Access Memory, RAM），只读存储器（Read Only Memory, ROM），可编程只读存储器（Programmable Read-Only Memory, PROM），可擦除只读存储器（Erasable Programmable Read-Only Memory, EPROM），电可擦除只读存储器（Electric Erasable Programmable Read-Only Memory, EEPROM）等。其中，所述存储器 11 用于存储计算机程序，所述处理器 12 在接收到执行指令后，可相应地执行所述计算机程序。所述存储器 11 还可用于存储不同工作空间所对应的用于构建不同起点位置到不同终点位置之间的动态系统所需的动态系统参数，其中一组动态系统参数对应一项起点位置及一项终点位置。

在本实施例中，所述处理器 12 可以是一种具有信号的处理能力的集成电路芯片。所述处理器 12 可以是通用处理器，包括中央处理器（Central Processing Unit, CPU）、图形处理器（Graphics Processing Unit, GPU）及网络处理器（Network Processor, NP）、数字信号处理器（DSP）、专用集成电路（ASIC）、现成可编程门阵列（FPGA）或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件中的至少一种。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等，可以实现或者执行本申请实施例中的公开的各方法、步骤及逻辑框图。

在本实施例中，所述通信单元 13 用于通过网络建立所述可移动机器人 10 与其他电子设备之间的通信连接，并通过所述网络收发数据，其中所述网络包括有线通信网络及无线通信网络。例如，所述可移动机器人 10 能够通过所述通信单元 13 从其他电子设备处获取操作人员针对该可移动机器人 10 的某项运动机械结构组成（例如，左机械臂或右机械臂）
5 发出的运动指令，其中该运动指令包括配置的运动起点及运动终点，使该可移动机器人 10 在配置的运动起点与运动终点之间规划出符合运动规律的运动轨迹，并参照规划出的运动轨迹控制该运动机械结构组成运动达到预想运动效果，确保自身的运动稳定性。

在本实施例中，所述驱动机构 14 用于实现所述可移动机器人 10 的可移动功能，所述驱动机构 14 可以包括该可移动机器人 10 的至少一种运动机械结构组成，以及驱动所述运
10 动机械结构组成改变自身运动状态的驱动模块。所述可移动机器人 10 可通过所述驱动机构 14 参照规划出的运动轨迹执行对应的运动操作。

在本实施例中，所述机器人运动规划装置 100 包括至少一个能够以软件或固件的形式存储于所述存储器 11 中或固化在所述可移动机器人 10 的操作系统中的软件功能模块。所述处理器 12 可用于执行所述存储器 11 存储的可执行模块，例如所述机器人运动规划装置
15 100 所包括的软件功能模块及计算机程序等。所述可移动机器人 10 通过所述机器人运动规划装置 100 利用动态系统可在有限范围内预测合理运动轨迹的特性，针对工作空间内任一起点及任一终点规划出符合运动规律的运动轨迹，使可移动机器人 10 能够参照规划出的运动轨迹达到预想运动效果，确保机器人运动稳定性。

可以理解的是，图 1 所示的框图仅为所述可移动机器人 10 的一种组成示意图，所述可
20 移动机器人 10 还可包括比图 1 中所示更多或者更少的组件，或者具有与图 1 所示不同的配置。图 1 中所示的各组件可以采用硬件、软件或其组合实现。

在本申请中，为确保所述可移动机器人 10 始终能够有效地规划出符合运动规律的运动轨迹，以达到确保机器人运动稳定性的预想运动效果，本申请通过提供机器人运动规划方法实现前述目的，其中所述机器人运动规划方法的执行主体可以是上述可移动机器人 10，
25 也可以是与上述可移动机器人 10 通信连接的电子设备。下面对本申请提供的机器人运动规划方法进行详细描述。

可选地，请参照图 2，图 2 是本申请实施例提供的机器人运动规划方法的流程示意图之一。在本申请实施例中，图 2 所示的机器人运动规划方法的具体流程和步骤如下文所示。

步骤 S210，确定机器人当前的运动期望起点及运动期望终点。

在本实施例中，所述运动期望起点与所述运动期望终点可由所述可移动机器人 10 的操作人员通过网络远程配置，或直接在所述可移动机器人 10 提供的操控显示界面上进行配置。
30

步骤 S220，在机器人的工作空间内确定与运动期望起点邻近的有效空间离散起点，以及与运动期望终点邻近的有效空间离散终点。

在本实施例中，所述可移动机器人 10 的每个工作空间均可进行空间细分，将该工作空间划分为若干个空间小块，并针对每个空间小块的空间顶点确认该空间顶点是否为对应运动机械结构组成所包括的各关节能够到达的可达点，而后将该工作空间内确定出的至少一个关节能够到达的空间顶点，作为该工作空间的用于表征机器人运动可达的有效空间离散点。
35

当确定出所述可移动机器人 10 当前的运动期望起点及运动期望终点后，可相应地根据所述运动期望起点与所述运动期望终点各自的位置，确定所述运动期望起点与所述运动期
40

望终点位于哪个工作空间内，并在该工作空间的有效空间离散点中确定出对应的有效空间离散起点及有效空间离散终点。

以图 3 为例进行说明：若存在一个被抽象为长宽高分别是 l, w, h 的立方体的工作空间时，可在该工作空间的中心位置处建立一个空间直角（XYZ）坐标系，以通过该空间直角坐标系对该工作空间各位置进行描述。此时如果确定出当前需要规划运动轨迹的运动期望起点 A 及运动期望终点 B，且运动期望起点 A 与运动期望终点 B 处于该工作空间内，则会在该工作空间内的各有效空间离散点中分别针对运动期望起点 A 及运动期望终点 B 查找邻近的有效空间离散点，得到对应的有效空间离散起点及有效空间离散终点。

可选地，请参照图 4，图 4 是图 2 中的步骤 S220 包括的子步骤的流程示意图。在本实施例中，所述步骤 S220 可以包括子步骤 S221~子步骤 S222。

子步骤 S221，针对工作空间内的每个有效空间离散点，计算该有效空间离散点与运动期望起点之间的第一欧氏距离，并计算该有效空间离散点与运动期望起点之间的第二欧氏距离。

子步骤 S222，将最小第一欧氏距离所对应的有效空间离散点作为有效空间离散起点，并将最小第二欧氏距离所对应的有效空间离散点作为有效空间离散终点。

由此，当确定出所述运动期望起点与所述运动期望终点所处的工作空间后，可通过在该工作空间内执行上述子步骤 S221 及子步骤 S222 的方式，得到所述有效空间离散起点及所述有效空间离散终点。

步骤 S230，在预存的多组动态系统参数中，查找与有效空间离散起点及有效空间离散终点匹配的目标动态系统参数，其中目标动态系统参数所对应的动态系统用于规划从有效空间离散起点到有效空间离散终点的运动轨迹。

在本实施例中，针对所述可移动机器人 10 的每个工作空间，会预先地遍历该工作空间中的每个有效空间离散点，并在遍历过程中以访问的有效空间离散点为起点而其他有效空间离散点为终点进行动态系统构建，使构建出的动态系统能够有效地规划出从所述访问的有效空间离散点到所述其他有效空间离散点的合理运动轨迹，接着对该动态系统的动态系统参数进行存储。

以一个例子对上述动态系统构建过程进行说明：若所述可移动机器人 10 存在工作空间 a 和工作空间 b，且工作空间 a 中存在有效空间离散点 a_1 、 a_2 、 a_3 ，工作空间 b 中存在有效空间离散点 b_1 、 b_2 、 b_3 ，则针对工作空间 a，需构建从 a_1 到 a_2 的动态系统，从 a_1 到 a_3 的动态系统，从 a_2 到 a_1 的动态系统，从 a_2 到 a_3 的动态系统，从 a_3 到 a_1 的动态系统，从 a_3 到 a_2 的动态系统；针对工作空间 b，需构建从 b_1 到 b_2 的动态系统，从 b_1 到 b_3 的动态系统，从 b_2 到 b_1 的动态系统，从 b_2 到 b_3 的动态系统，从 b_3 到 b_1 的动态系统，从 b_3 到 b_2 的动态系统。

在本实施例中，需要注意的是，动态系统是一种常规的机器人运动规划算法，其基本思想是将机器人的 n 次示教活动建模为一个一阶动态系统的 n 个实例。其中，这样的一阶动态系统可描述如下：

$$\dot{\xi} = f(\xi) + \epsilon$$

其中， $\dot{\xi}$ 用于表示对应轨迹上某位置处的轨迹速度， ξ 用于表示对应轨迹上某位置处的轨迹位姿， $f: \mathbb{R}^d \rightarrow \mathbb{R}^d$ 是一个连续非线性函数，函数的导数连续并且有唯一的平衡点

即 $\dot{\xi}^* = f(\xi^*) = 0$, ϵ 代表零均值的高斯噪声。一阶动态系统可以用参数集 θ 进行描述。参数集可以利用概率方法从示教轨迹数据中进行学习。

针对函数 f , 可利用概率方法将其建模为有限个高斯函数的混合模型, 此时动态系统的参数集即可表示为不同高斯函数的先验概率密度、均值及协方差矩阵的集合。其中, 第 k 个高斯函数的先验概率密度即可表达为 π^k , 第 k 个高斯函数的均值即可表达为 μ^k , 第 k 个高斯函数的协方差矩阵即可表达为 Σ^k , 其中 $k = 1..K$ 为高斯函数的序号, K 为高斯函数的个数。

当给定 N 条示教轨迹 $\{\xi^{t,n}, \dot{\xi}^{t,n}\}_{t=0, n=1}^{T^n, N}$, 其中 $\xi^{t,n}$ 用于表示第 n 条示教轨迹上的第 t 时刻处的轨迹点的轨迹位姿, $\dot{\xi}^{t,n}$ 用于表示第 n 条示教轨迹上的第 t 时刻处的轨迹点的轨迹速度, 那么对每一个轨迹点来说, 都将对应存在以下的概率密度函数:

$$P(\xi^{t,n}, \dot{\xi}^{t,n}; \theta) = \sum_{k=1}^K P(k) P(\xi^{t,n}, \dot{\xi}^{t,n} | k) \quad \begin{cases} \forall n \in 1..N \\ t \in 0..T^n \end{cases};$$

其中, $P(k) = \pi^k$ 为先验概率, $P(\xi^{t,n}, \dot{\xi}^{t,n} | k)$ 是条件概率密度函数, 其可表达为:

$$P(\xi^{t,n}, \dot{\xi}^{t,n} | k) = \mathcal{N}(\xi^{t,n}, \dot{\xi}^{t,n}; \mu^k, \Sigma^k) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^{2d} |\Sigma^k|}} e^{-\frac{1}{2}([\xi^{t,n}, \dot{\xi}^{t,n}] - \mu^k)^T (\Sigma^k)^{-1} ([\xi^{t,n}, \dot{\xi}^{t,n}] - \mu^k)};$$

而后, 针对上式取后验估计可得:

$$\dot{\xi} = \sum_{k=1}^K \frac{P(k) P(\xi | k)}{\sum_{i=1}^K P(i) P(i | k)} (\mu_{\xi}^k + \Sigma_{\xi\xi}^k (\Sigma_{\xi}^k)^{-1} (\xi - \mu_{\xi}^k))$$

若令:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_k = \sum_{\xi\xi}^k \left(\sum_{\xi}^k \right)^{-1} \\ b_k = \mu_{\xi}^k - A_k \mu_{\xi}^k \\ \gamma_k(\xi) = \frac{P(k) P(\xi | k)}{\sum_{i=1}^K P(i) P(i | k)} \end{array} \right.;$$

则：

$$\dot{\xi} = f(\xi) = \sum_{k=1}^K \gamma_k(\xi)(A_k \xi + b_k) ;$$

此时，可以确认在上述动态系统构建过程中，需首先利用示教轨迹数据学习高斯混合模型的各项参数，而后通过最小化估计速度和示教轨迹速度对学习到的高斯混合模型的各项参数进行处理，进而得到用于表征动态系统的具体构成的动态系统参数 $\theta_f = \{A_k, b_k\}_{k=1}^K$ 。

因此，当确定出与机器人当前的运动期望起点邻近的有效空间离散起点，以及与机器人当前的运动期望终点邻近的有效空间离散终点后，会在预存的多组动态系统参数中，查找与从所述有效空间离散起点到所述有效空间离散终点的动态系统相对应的动态系统参数，作为所述目标动态系统参数。

步骤 S240，采用目标动态系统参数构建与运动期望终点匹配的期望动态系统，并基于期望动态系统规划出从运动期望起点到运动期望终点的期望运动轨迹。

在本实施例中，当查找到与所述有效空间离散起点及所述有效空间离散终点匹配的目标动态系统参数后，因所述运动期望起点与所述有效空间离散起点邻近，且所述运动期望终点与所述有效空间离散终点邻近，而动态系统具有能够在有限起/终点变化范围内预测合理运动轨迹的特性，那么可以直接将该目标动态系统参数挪用到针对从所述运动期望起点到所述运动期望终点的运动轨迹规划过程中，以直接利用该目标动态系统参数针对所述运动期望起点及所述运动期望终点规划出符合运动规律的期望运动轨迹，使所述可移动机器人 10 能够参照规划出的期望运动轨迹达到预想运动效果，以确保机器人运动稳定性。

其中，请参照图 5，图 5 是图 2 中的步骤 S240 包括的子步骤的流程示意图。在本实施例中，所述步骤 S240 可以包括子步骤 S241~子步骤 S243。

子步骤 S241，直接采用目标动态系统参数重构对应的动态系统。

子步骤 S242，采用运动期望终点对重构出的动态系统的轨迹收敛终点进行位置替换，得到期望动态系统。

子步骤 S243，将运动期望起点的位置信息输入到期望动态系统中进行运动轨迹规划，得到期望运动轨迹。

在本实施例中，直接采用所述目标动态系统参数重构出的动态系统能够规划从所述有效空间离散起点周边一定范围内的空间位置到所述有效空间离散终点的符合运动规律的运动轨迹，此时该动态系统的轨迹收敛终点即为所述有效空间离散终点。而当采用所述运动期望终点对重构出的动态系统的轨迹收敛终点进行位置替换后，对应得到的期望动态系统则可用于规划从所述有效空间离散起点周边一定范围内的空间位置到所述运动期望终点的符合运动规律的运动轨迹。此时，将所述运动期望起点的位置信息输入到所述期望动态系统中，即可通过该期望动态系统直接规划出符合运动规律的从所述运动期望起点到所述运动期望终点的期望运动轨迹。

由此，本申请可通过执行上述步骤 S210~步骤 S240，为所述可移动机器人 10 的工作空间内的任一起点及任一终点规划出符合运动规律的运动轨迹，使所述可移动机器人 10 在参照规划出的运动轨迹作出相应的运动操作时达到预想运动效果，确保机器人运动稳定性。

可选地，请参照图 6，图 6 是本申请实施例提供的机器人运动规划方法的流程示意图之二。在本申请实施例中，图 6 所示的机器人运动规划方法与图 2 所示的机器人运动规划方法相比，图 6 所示的机器人运动规划方法还可以包括步骤 S208 及步骤 S209，以通过所述步骤 S208 及步骤 S209 确保图 2 所示的机器人运动规划方法能够正常实施。

5 步骤 S208，在机器人的工作空间内确定机器人关节可达的有效空间离散点。

在本实施例中，所述可移动机器人 10 的每个工作空间均可进行空间细分。针对每个工作空间，将该工作空间划分为若干个空间小块，并确认每个空间小块的空间顶点是否为机器人关节能够到达的可达点，而后将该工作空间内确定出的至少一个关节能够到达的空间顶点，作为该工作空间的用于表征机器人运动可达的有效空间离散点。

10 其中，请参照图 7，图 7 是图 6 中的步骤 S208 包括的子步骤的流程示意图。在本实施例中，所述步骤 S208 可以包括子步骤 S2081 及子步骤 S2082。

子步骤 S2081，对机器人的工作空间进行空间划分，得到工作空间的空间离散点。

15 在本实施例中，针对所述可移动机器人 10 的每个工作空间，可采用预设三维尺寸对该工作空间进行空间等分，并将得到的每个空间小块的各空间顶点作为该工作空间的空间离散点。以图 3 为例，若图 3 中的工作空间的尺寸为 $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$ ，那么当将这个工作空间按照 10cm 等距离划分，则对应划分出的空间小块的尺寸为 $10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 10\text{cm}$ ，此时该工作空间的空间离散点数目为 $11 \times 11 \times 11 = 1331$ 个。

子步骤 S2082，在工作空间的空间离散点中剔除机器人各关节均不可达的目标离散点，得到工作空间的有效空间离散点。

20 在本实施例中，当确定出工作空间的所有空间离散点后，会针对该工作空间的每个空间离散点，利用机器人运动学验证该空间离散点是否为所述可移动机器人 10 的各关节可达，以确定出该工作空间中的机器人各关节均不可达的目标离散点，而后在该工作空间中剔除掉所述目标离散点，从而将该工作空间内剩余的空间离散点作为对应的有效空间离散点。

25 由此，本申请可通过执行上述子步骤 S2081 及子步骤 S2082，确定出工作空间内能被机器人关节真正够得到的有效空间离散点。

步骤 S209，针对工作空间中的每个有效空间离散点，根据从该有效空间离散点到其他有效空间离散点的运动示教轨迹进行动态系统构建，并对构建出的动态系统所对应的动态系统参数进行存储。

30 在本实施例中，当确定出所述可移动机器人 10 的每个工作空间所包括的有效空间离散点后，会遍历同一工作空间中的每个有效空间离散点，并在遍历过程中以访问的有效空间离散点为起点而其他有效空间离散点为终点进行动态系统构建，使构建出的动态系统可有效地规划出从所述访问的有效空间离散点到所述其他有效空间离散点的合理运动轨迹，接着对该动态系统的动态系统参数进行存储。其中，动态系统构建时需要获取对应起点到终点的多条运动轨迹数据，所述运动轨迹数据可以是由示教人员所穿戴的动捕设备采集到的同一肢体部位从一个有效空间离散点运动到另外一个有效空间离散点的曲线运动轨迹，也可以是直线运动轨迹。此外，动态系统构建时所涉及的具体运算过程，可参照上文中对步骤 S230 的动态系统的相关描述，在此就不再一一赘述了。

40 由此，本申请可通过执行上述步骤 S208 及步骤 S209，将动态系统可在有限范围内预测合理运动轨迹的特性应用到机器人运动规划过程中，以确保为机器人规划出的运动轨迹

始终符合运动规律，使机器人能够参照规划出的运动轨迹达到预想运动效果。

在本申请中，为确保所述可移动机器人 10 能够通过所述机器人运动规划装置 100 执行上述机器人运动规划方法，本申请通过对所述机器人运动规划装置 100 进行功能模块划分的方式实现前述功能。下面对本申请提供的机器人运动规划装置 100 的具体组成进行相应描述。

可选地，请参照图 8，图 8 是本申请实施例提供的机器人运动规划装置 100 的组成示意图之一。在本申请实施例中，所述机器人运动规划装置 100 可以包括运动期望确认模块 110、离散邻近确认模块 120、动态参数查找模块 130 及期望轨迹规划模块 140。

运动期望确认模块 110，用于确定机器人当前的运动期望起点及运动期望终点。

离散邻近确认模块 120，用于在机器人的工作空间内确定与运动期望起点邻近的有效空间离散起点，以及与运动期望终点邻近的有效空间离散终点。

动态参数查找模块 130，用于在预存的多组动态系统参数中，查找与有效空间离散起点及有效空间离散终点匹配的目标动态系统参数，其中目标动态系统参数所对应的动态系统用于规划从有效空间离散起点到有效空间离散终点的运动轨迹。

期望轨迹规划模块 140，用于采用目标动态系统参数构建与运动期望终点匹配的期望动态系统，并基于期望动态系统规划出从运动期望起点到运动期望终点的期望运动轨迹。

可选地，请参照图 9，图 9 是图 8 中的离散邻近确认模块 120 的组成示意图。在本实施例中，所述离散邻近确认模块 120 包括欧氏距离计算子模块 121 及离散邻近确定子模块 122。

欧氏距离计算子模块 121，用于针对工作空间内的每个有效空间离散点，计算该有效空间离散点与运动期望起点之间的第一欧氏距离，并计算该有效空间离散点与运动期望起点之间的第二欧氏距离。

离散邻近确定子模块 122，用于将最小第一欧氏距离所对应的有效空间离散点作为有效空间离散起点，并将最小第二欧氏距离所对应的有效空间离散点作为有效空间离散终点。

可选地，请参照图 10，图 10 是图 8 中的期望轨迹规划模块 140 的组成示意图。在本实施例中，所述期望轨迹规划模块 140 包括动态系统重构子模块 141、收敛终点替换子模块 142 及运动轨迹规划子模块 143。

动态系统重构子模块 141，用于直接采用目标动态系统参数重构对应的动态系统。

收敛终点替换子模块 142，用于采用运动期望终点对重构出的动态系统的轨迹收敛终点进行位置替换，得到期望动态系统。

运动轨迹规划子模块 143，用于将运动期望起点的位置信息输入到期望动态系统中进行运动轨迹规划，得到期望运动轨迹。

可选地，请参照图 11，图 11 是本申请实施例提供的机器人运动规划装置 100 的组成示意图之二。在本申请实施例中，所述机器人运动规划装置 100 还可以包括有效离散确认模块 150 及动态参数存储模块 160。

有效离散确认模块 150，用于在机器人的工作空间内确定机器人关节可达的有效空间离散点。

动态参数存储模块 160，用于针对工作空间中的每个有效空间离散点，根据从该有效

空间离散点到其他有效空间离散点的运动示教轨迹进行动态系统构建，并对构建出的动态系统所对应的动态系统参数进行存储。

可选地，请参照图 12，图 12 是图 11 中的有效离散确认模块 150 的组成示意图。在本实施例中，所述有效离散确认模块 150 包括动作空间划分子模块 151 及无效离散剔除子模块 152。

动作空间划分子模块 151，用于对机器人的工作空间进行空间划分，得到工作空间的空间离散点。

无效离散剔除子模块 152，用于在工作空间的空间离散点中剔除机器人各关节均不可达的目标离散点，得到工作空间的有效空间离散点。

需要说明的是，本申请实施例所提供的机器人运动规划装置 100，其基本原理及产生的技术效果与前述的机器人运动规划方法相同，为简要描述，本实施例部分未提及之处，可参考上述的针对机器人运动规划方法的描述内容。

在本申请所提供的实施例中，应该理解到，所揭露的装置和方法，也可以通过其它的方式实现。以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，例如，附图中的流程图和框图显示了根据本申请的实施例的装置、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上，流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段或代码的一部分，所述模块、程序段或代码的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。也应当注意，在有些作为替换的实现方式中，方框中所标注的功能也可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如，两个连续的方框实际上可以基本并行地执行，它们有时也可以按相反的顺序执行，这依所涉及的功能而定。也要注意的，框图和/或流程图中的每个方框、以及框图和/或流程图中的方框的组合，可以用执行规定的功能或动作的专用的基于硬件的系统来实现，或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。

另外，在本申请各个实施例中的各功能模块可以集成在一起形成一个独立的部分，也可以是各个模块单独存在，也可以两个或两个以上模块集成形成一个独立的部分。

所述功能如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用，可以存储在一个可读存储介质中。基于这样的理解，本申请的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案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可读存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备等）执行本申请各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的可读存储介质包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器（ROM，Read-Only Memory）、随机存取存储器（RAM，Random Access Memory）、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

综上所述，在本申请提供的一种机器人运动规划方法、装置、可移动机器人及存储介质中，本申请通过确定机器人当前的运动期望起点及运动期望终点，并在机器人的工作空间内确定与该运动期望起点邻近的有效空间离散起点，以及与该运动期望终点邻近的有效空间离散终点，而后在预存的多组动态系统参数中，查找用于规划从有效空间离散起点到有效空间离散终点的运动轨迹的目标动态系统参数，接着采用目标动态系统参数构建与运动期望终点匹配的期望动态系统，并基于期望动态系统规划出从运动期望起点到运动期望终点的期望运动轨迹，从而通过利用动态系统能够在有限范围内预测合理运动轨迹的特性，为机器人规划出符合运动规律的运动轨迹，使机器人能够参照规划出的运动轨迹达到预想运动效果，提升机器人运动稳定性。

以上所述，仅为本申请的各种实施方式，但本申请的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内，可轻易想到变化或替换，都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此，本申请的保护范围应当以权利要求的保护范围为准。

权利要求书

1.一种机器人运动规划方法，其特征在于，所述方法包括：

确定机器人当前的运动期望起点及运动期望终点；

5 在所述机器人的工作空间内确定与所述运动期望起点邻近的有效空间离散起点，以及与所述运动期望终点邻近的有效空间离散终点；

在预存的多组动态系统参数中，查找与所述有效空间离散起点及所述有效空间离散终点匹配的目标动态系统参数，其中所述目标动态系统参数所对应的动态系统用于规划从所述有效空间离散起点到所述有效空间离散终点的运动轨迹；

10 采用所述目标动态系统参数构建与所述运动期望终点匹配的期望动态系统，并基于所述期望动态系统规划出从所述运动期望起点到所述运动期望终点的期望运动轨迹。

2.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述在所述机器人的工作空间内确定与所述运动期望起点邻近的有效空间离散起点，以及与所述运动期望终点邻近的有效空间离散终点的步骤，包括：

15 针对所述工作空间内的每个有效空间离散点，计算该有效空间离散点与所述运动期望起点之间的第一欧氏距离，并计算该有效空间离散点与所述运动期望起点之间的第二欧氏距离；

将最小第一欧氏距离所对应的有效空间离散点作为所述有效空间离散起点，并将最小第二欧氏距离所对应的有效空间离散点作为所述有效空间离散终点。

20 3.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述采用所述目标动态系统参数构建与所述运动期望终点匹配的期望动态系统，并基于所述期望动态系统规划出从所述运动期望起点到所述运动期望终点的期望运动轨迹的步骤，包括：

直接采用所述目标动态系统参数重构对应的动态系统；

采用所述运动期望终点对重构出的动态系统的轨迹收敛终点进行位置替换，得到所述期望动态系统；

25 将所述运动期望起点的位置信息输入到所述期望动态系统中进行运动轨迹规划，得到所述期望运动轨迹。

4.根据权利要求 1-3 中任意一项所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

在所述机器人的工作空间内确定机器人关节可达的有效空间离散点；

30 针对所述工作空间中的每个有效空间离散点，根据从该有效空间离散点到其他有效空间离散点的运动示教轨迹进行动态系统构建，并对构建出的动态系统所对应的动态系统参数进行存储。

5.根据权利要求 4 所述的方法，其特征在于，所述在所述机器人的工作空间内确定机器人关节可达的有效空间离散点的步骤，包括：

对所述机器人的工作空间进行空间划分，得到所述工作空间的空间离散点；

35 在所述工作空间的空间离散点中剔除所述机器人各关节均不可达的目标离散点，得到所述工作空间的有效空间离散点。

6.一种机器人运动规划装置，其特征在于，所述装置包括：

运动期望确认模块，用于确定机器人当前的运动期望起点及运动期望终点；

离散邻近确认模块，用于在所述机器人的工作空间内确定与所述运动期望起点邻近的有效空间离散起点，以及与所述运动期望终点邻近的有效空间离散终点；

5 动态参数查找模块，用于在预存的多组动态系统参数中，查找与所述有效空间离散起点及所述有效空间离散终点匹配的目标动态系统参数，其中所述目标动态系统参数所对应的动态系统用于规划从所述有效空间离散起点到所述有效空间离散终点的运动轨迹；

期望轨迹规划模块，用于采用所述目标动态系统参数构建与所述运动期望终点匹配的期望动态系统，并基于所述期望动态系统规划出从所述运动期望起点到所述运动期望终点的期望运动轨迹。

10 7.根据权利要求6所述的装置，其特征在于，所述离散邻近确认模块包括：

欧氏距离计算子模块，用于针对所述工作空间内的每个有效空间离散点，计算该有效空间离散点与所述运动期望起点之间的第一欧氏距离，并计算该有效空间离散点与所述运动期望起点之间的第二欧氏距离；

15 离散邻近确定子模块，用于将最小第一欧氏距离所对应的有效空间离散点作为所述有效空间离散起点，并将最小第二欧氏距离所对应的有效空间离散点作为所述有效空间离散终点。

8.根据权利要求6所述的装置，其特征在于，所述期望轨迹规划模块包括：

动态系统重构子模块，用于直接采用所述目标动态系统参数重构对应的动态系统；

20 收敛终点替换子模块，用于采用所述运动期望终点对重构出的动态系统的轨迹收敛终点进行位置替换，得到所述期望动态系统；

运动轨迹规划子模块，用于将所述运动期望起点的位置信息输入到所述期望动态系统中进行运动轨迹规划，得到所述期望运动轨迹。

9.根据权利要求6-8中任意一项所述的装置，其特征在于，所述装置还包括：

25 有效离散确认模块，用于在所述机器人的工作空间内确定机器人关节可达的有效空间离散点；

动态参数存储模块，用于针对所述工作空间中的每个有效空间离散点，根据从该有效空间离散点到其他有效空间离散点的运动示教轨迹进行动态系统构建，并对构建出的动态系统所对应的动态系统参数进行存储。

10.根据权利要求9所述的装置，其特征在于，所述有效离散确认模块包括：

30 动作空间划分子模块，用于对所述机器人的工作空间进行空间划分，得到所述工作空间的离散点；

无效离散剔除子模块，用于在所述工作空间的离散点中剔除所述机器人各关节均不可达的目标离散点，得到所述工作空间的有效离散点。

35 11.一种可移动机器人，其特征在于，包括处理器和存储器，所述存储器存储有能够被所述处理器执行的计算机程序，所述处理器可执行所述计算机程序，以实现权利要求1-5中任意一项所述的机器人运动规划方法。

12.一种存储介质，其上存储有计算机程序，其特征在于，所述计算机程序被处理器执

行时，实现权利要求 1-5 中任意一项所述的机器人运动规划方法。

5

10

15

20

25

30

35

40

45

附图

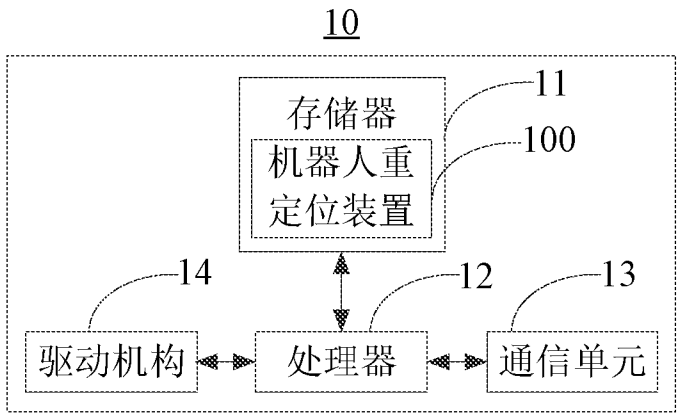


图 1

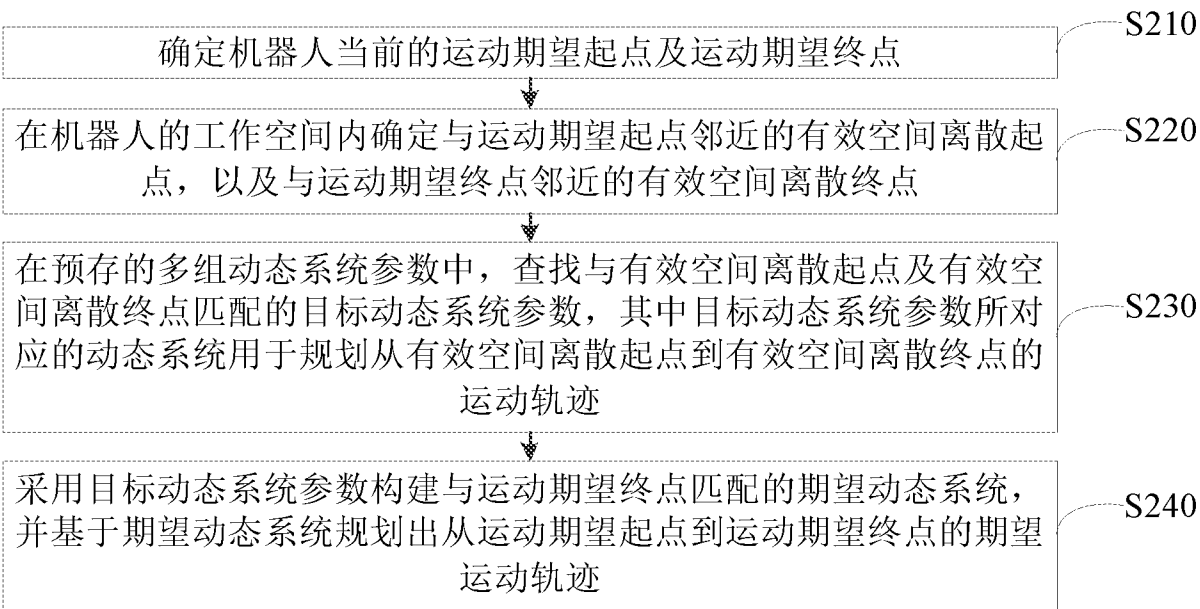


图 2

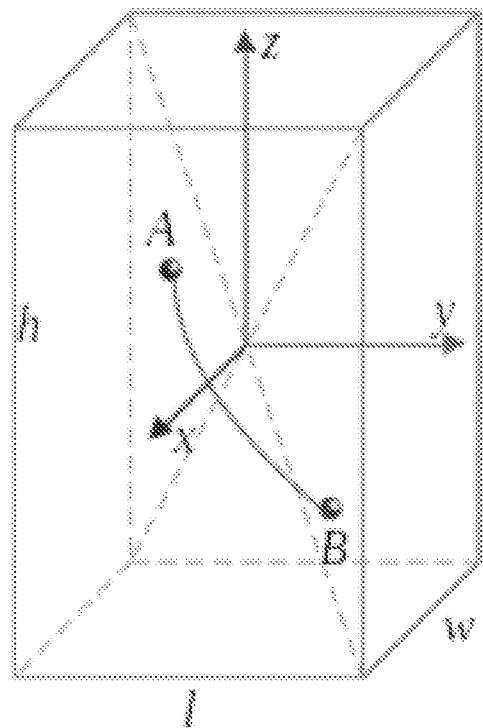


图 3

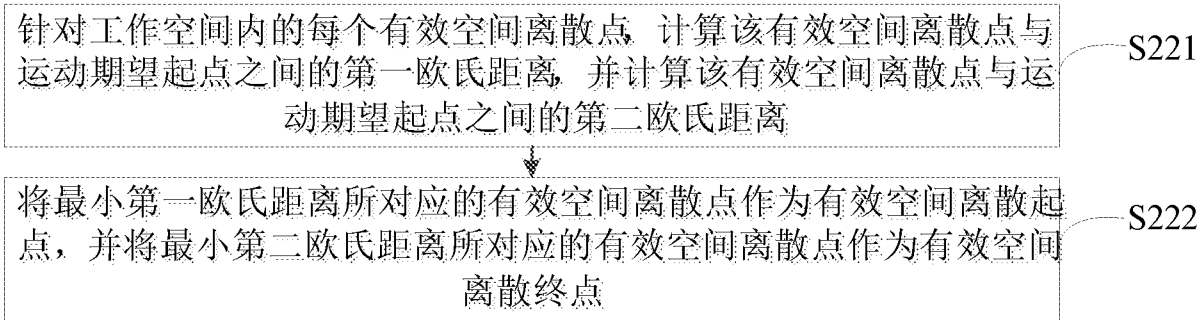


图 4

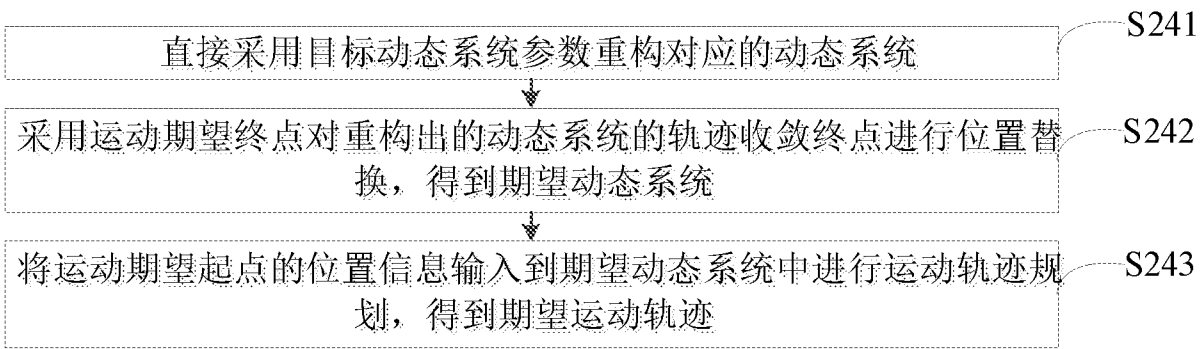


图 5

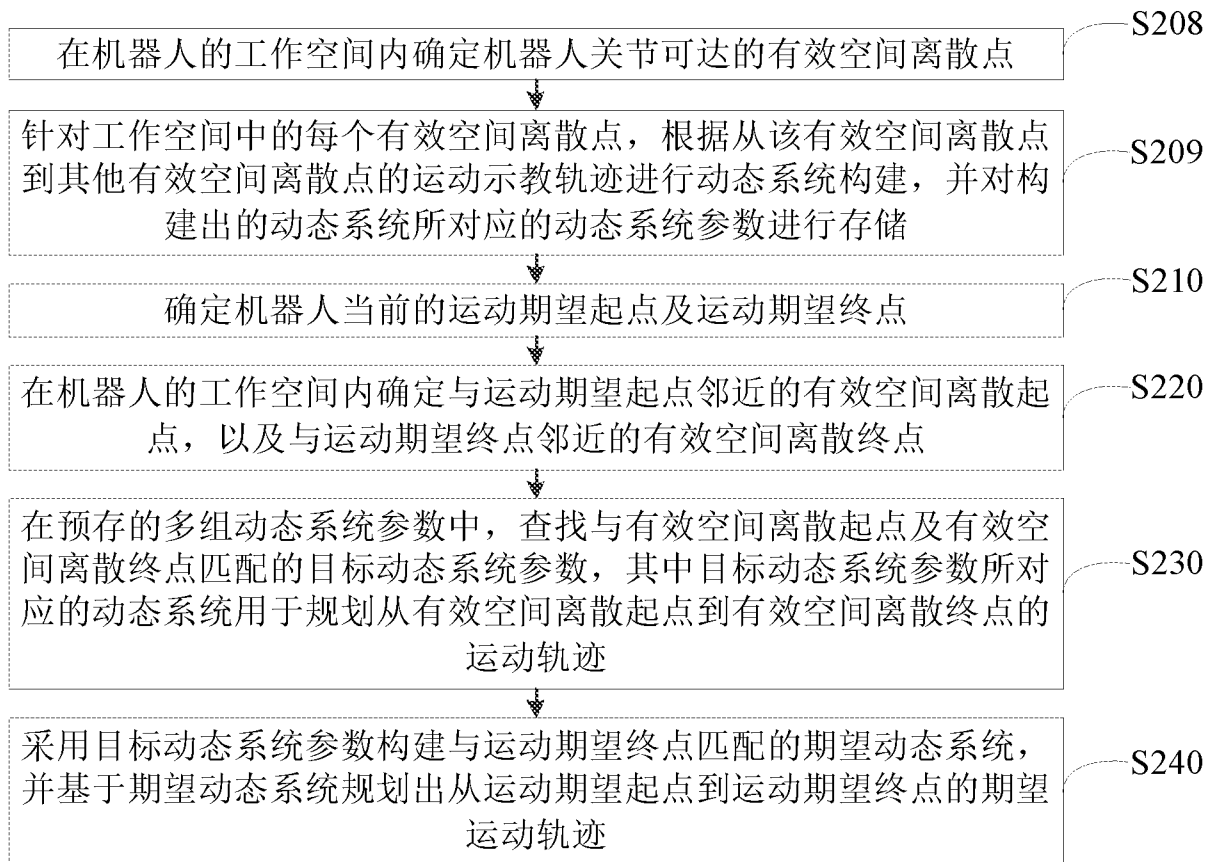


图 6

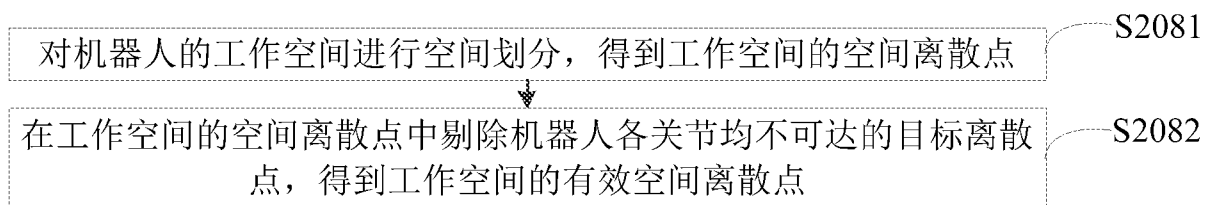


图 7

100

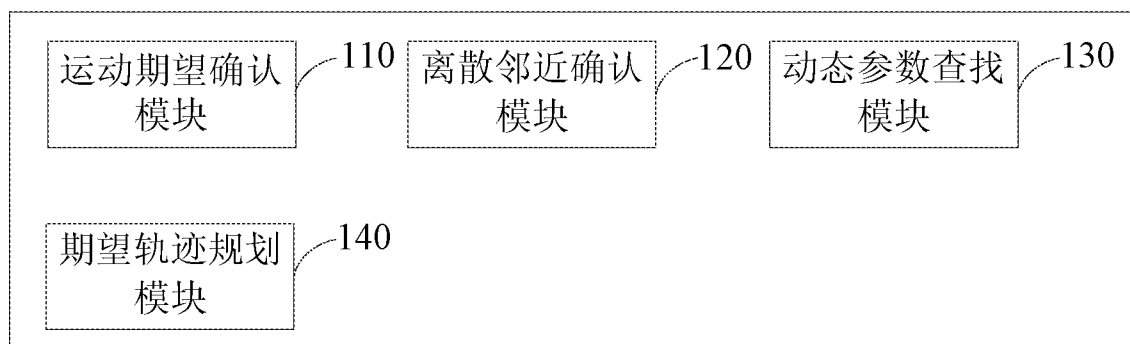


图 8

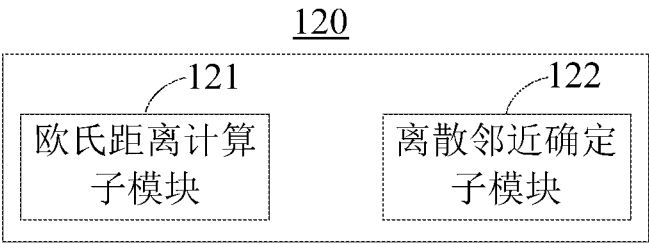


图 9

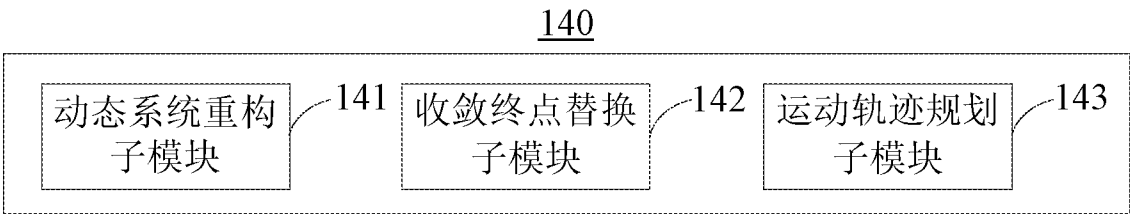


图 10

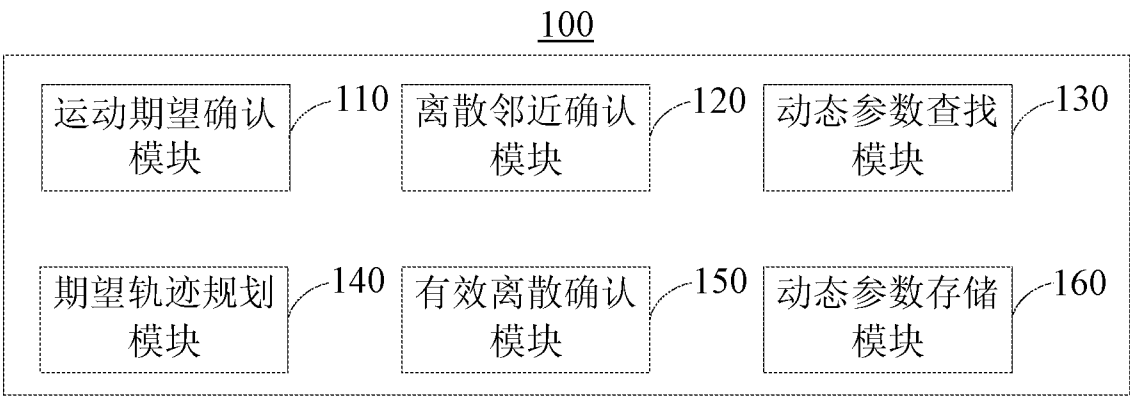


图 11

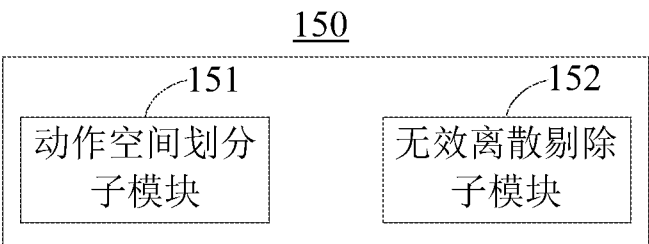


图 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/139907

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER B25J 9/16(2006.01)i; G05D 1/02(2020.01)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) B25J; G05D 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) CNABS, SIPOABS, DWPI, CNKI: 机器人, 机械手, 运动, 路径, 起点, 终点, 动态, 目标, 距离, 关节, 空间, robot, manipulator or, movement, path, start, terminal, dynamic, point, target, distance, joint, space		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 109931942 A (ZHEJIANG DAHUA TECHNOLOGY CO., LTD.) 25 June 2019 (2019-06-25) description, paragraphs 49-152, figures 1-5	1-12
Y	CN 109940619 A (CLOUDMINDS (SHENZHEN) ROBOTICS SYSTEMS CO., LTD.) 28 June 2019 (2019-06-28) description, paragraphs 24-104, figures 1-4	1-12
A	CN 108972554 A (CATARC AUTOMOTIVE INSPECTION CENTER (WUHAN) CO., LTD.) 11 December 2018 (2018-12-11) entire document	1-12
A	CN 110645991 A (SHENZHEN SILVER STAR INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 03 January 2020 (2020-01-03) entire document	1-12
A	US 2016354930 A1 (X DEV LLC et al.) 08 December 2016 (2016-12-08) entire document	1-12
☐ 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 June 2021		Date of mailing of the international search report 15 July 2021
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/139907

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109931942	A	25 June 2019	CN	109931942	B	19 February 2021
CN	109940619	A	28 June 2019	None			
CN	108972554	A	11 December 2018	CN	108972554	B	04 September 2020
CN	110645991	A	03 January 2020	CN	110645991	B	22 September 2020
US	2016354930	A1	08 December 2016	US	2019168390	A1	06 June 2019
				US	9056396	B1	16 June 2015
				US	2015246443	A1	03 September 2015
				US	9925669	B2	27 March 2018
				US	10245731	B2	02 April 2019
				US	9446523	B2	20 September 2016
				US	2018161987	A1	14 June 2018

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/139907

A. 主题的分类 B25J 9/16(2006.01)i; G05D 1/02(2020.01)i 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		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) B25J; G05D 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 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)) CNABS, SIPOABS, DWPI, CNKI: 机器人, 机械手, 运动, 路径, 起点, 终点, 动态, 目标, 距离, 关节, 空间, robot, manipulator, movement, path, start, terminal, dynamic, point, target, distance, joint, space		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	CN 109931942 A (浙江大华技术股份有限公司) 2019年 6月 25日 (2019 - 06 - 25) 说明书第49-152段、附图1-5	1-12
Y	CN 109940619 A (深圳前海达闼云端智能科技有限公司) 2019年 6月 28日 (2019 - 06 - 28) 说明书第24-104段、附图1-4	1-12
A	CN 108972554 A (中汽研汽车检验中心武汉有限公司) 2018年 12月 11日 (2018 - 12 - 11) 全文	1-12
A	CN 110645991 A (深圳市银星智能科技股份有限公司) 2020年 1月 3日 (2020 - 01 - 03) 全文	1-12
A	US 2016354930 A1 (X DEV LLC 等) 2016年 12月 8日 (2016 - 12 - 08) 全文	1-12
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 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		
国际检索实际完成的日期 2021年 6月 3日		国际检索报告邮寄日期 2021年 7月 15日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(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 陈琛 电话号码 86-10-62085455

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/139907

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	109931942	A	2019年 6月 25日	CN 109931942 B	2021年 2月 19日
CN	109940619	A	2019年 6月 28日	无	
CN	108972554	A	2018年 12月 11日	CN 108972554 B	2020年 9月 4日
CN	110645991	A	2020年 1月 3日	CN 110645991 B	2020年 9月 22日
US	2016354930	A1	2016年 12月 8日	US 2019168390 A1	2019年 6月 6日
				US 9056396 B1	2015年 6月 16日
				US 2015246443 A1	2015年 9月 3日
				US 9925669 B2	2018年 3月 27日
				US 10245731 B2	2019年 4月 2日
				US 9446523 B2	2016年 9月 20日
				US 2018161987 A1	2018年 6月 14日