

(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
2025 年 6 月 5 日 (05.06.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/112149 A1

- (51) 国际专利分类号:
B25J 9/16 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/142217
- (22) 国际申请日: 2023 年 12 月 27 日 (27.12.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202311624625.0 2023 年 11 月 28 日 (28.11.2023) 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桃源街道长源社区学苑大道 1001 号南山智园 C1 栋 2201 518000 (CN)。
- (72) 发明人: 罗璇(**LUO, Xuan**); 中国广东省深圳市南山区桃源街道长源社区学苑大道 1001 号南山智园 C1 栋 2201 518000 (CN)。陈春玉(**CHEN, Chunyu**); 中国广东省深圳市南山区桃源街道长源社区学苑大道 1001 号南山智园 C1 栋 2201 518000 (CN)。谭欢(**TAN, Huan**); 中国广东省深圳市南山区桃源街道长源社区学苑大道 1001 号南山智园 C1 栋 2201

518000 (CN)。熊友军(**XIONG, Youjun**); 中国广东省深圳市南山区桃源街道长源社区学苑大道 1001 号南山智园 C1 栋 2201 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莲花街道紫荆社区深南大道 6008 号深圳特区报业大厦 33 层 518034 (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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。

(54) **Title:** MECHANICAL ARM MOTION GENERATION METHOD AND APPARATUS, READABLE STORAGE MEDIUM AND MECHANICAL ARM

(54) 发明名称: 一种机械臂运动生成方法、装置、可读存储介质及机械臂

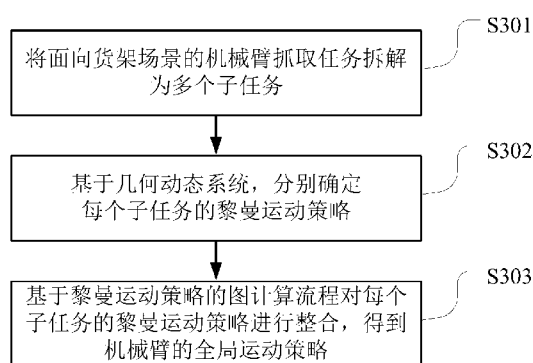


图 3

- S301 Decompose a mechanical arm grabbing task oriented to a goods shelf environment into a plurality of sub-tasks
- S302 On the basis of a geometric dynamical system, separately determine a Riemannian motion policy of each sub-task
- S303 On the basis of graph calculation processes of the Riemannian motion policies, integrate the Riemannian motion policy of each sub-task to obtain a global motion policy of a mechanical arm

(57) **Abstract:** A mechanical arm (5) motion generation method and apparatus, a computer-readable storage medium, and a mechanical arm (5). The mechanical arm (5) motion generation method comprises: decomposing a mechanical arm (5) grabbing task oriented to a goods shelf environment into a plurality of sub-tasks; on the basis of a geometric dynamical system, separately determining a Riemannian motion policy of each sub-task; and, on the basis of graph calculation processes of the Riemannian motion policies, integrating the Riemannian motion policy of each sub-task to obtain a global motion policy of a mechanical arm (5).

(57) 摘要: 一种机械臂 (5) 运动生成方法、装置、计算机可读存储介质及机械臂 (5)。机械臂 (5) 运动生成方法包括: 将面向货架场景的机械臂 (5) 抓取任务拆解为多个子任务; 基于几何动态系统, 分别确定每个子任务的黎曼运动策略; 基于黎曼运动策略的图计算流程对每个子任务的黎曼运动策略进行整合, 得到机械臂 (5) 的全局运动策略。



(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))。

一种机械臂运动生成方法、装置、可读存储介质及机械臂

本申请要求于 2023 年 11 月 28 日在中国专利局提交的、申请号为 202311624625.0、发明名称为“一种机械臂运动生成方法、装置、可读存储介质及机械臂”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。

5 技术领域

本申请属于机械臂技术领域，尤其涉及一种机械臂运动生成方法、装置、计算机可读存储介质及机械臂。

背景技术

在货架环境中进行抓取操作，是服务机器人的一个典型应用场景，且在工业背景下也具有重要的应用价值。目前，业界流行的解决方案，通常还是设计专用的货架机器人，然后遵循特定的运动模式，抓取指定品类的物体。这是因为，当下成熟的运动规划技术，包括采样法、优化法、随机过程法等，在当前的常规算力下，仍属于离线规划方法。这使得当采用通用机械臂运用上述技术开展货架抓取作业时，每更新一次抓取操作，机械臂就需要停止运动直至新的规划路径解算完毕。对于频繁的货架抓取任务，这将严重影响执行效率。而人工势场法作为当下成熟的在线规划方法，虽然可通过对朝向抓取点的吸引运动和远离障碍物的排斥运动的实时解算来避免上述问题，但由于相关运动的生成仅依靠机械臂与目标点或障碍物之间的相对位置信息，使得该运动策略灵巧性受限，导致机械臂容易出现运动超限或陷入局部最优卡死的状况，尤其是面对较为复杂的货架环境时更为严重。

技术问题

有鉴于此，本申请实施例提供了一种机械臂运动生成方法、装置、计算机可读存储介质及机械臂，以解决现有的机械臂运动生成方法无法适用于较为复杂的货架环境的问题。

25 技术方案

本申请实施例的第一方面提供了一种机械臂运动生成方法，可以包括：

将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为多个子任务；

基于几何动态系统，分别确定每个子任务的黎曼运动策略；

基于黎曼运动策略的图计算流程对每个子任务的黎曼运动策略进行整合，得到机械臂的全局运动策略。

在第一方面的一种具体实现方式中，所述将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为多个子任务，可以包括：

- 5 将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为位姿到达子任务、货架避障子任务和避关节极限子任务；

相应地，所述分别确定每个子任务的黎曼运动策略，包括：

确定所述位姿到达子任务的黎曼运动策略、确定所述货架避障子任务的黎曼运动策略和确定所述避关节极限子任务的黎曼运动策略。

- 10 在第一方面的一种具体实现方式中，所述确定所述位姿到达子任务的黎曼运动策略，可以包括：

在所述机械臂的操作末端确定不共线的三个控制点；

将所述三个控制点的位置到达黎曼运动策略确定为所述位姿到达子任务的黎曼运动策略。

- 15 在第一方面的一种具体实现方式中，所述确定所述货架避障子任务的黎曼运动策略，可以包括：

获取货架的形状特征；

根据所述货架的形状特征确定所述货架避障子任务的黎曼运动策略。

- 20 在第一方面的一种具体实现方式中，所述货架的形状特征可以包括组成所述货架的各个长方体障碍物的尺寸向量、位置向量和旋转矩阵。

在第一方面的一种具体实现方式中，所述确定所述避关节极限子任务的黎曼运动策略，可以包括：

将所述机械臂的有限的构型空间映射至无限的实数空间，以确定所述避关

节极限子任务的黎曼运动策略。

在第一方面的一种具体实现方式中,所述基于黎曼运动策略的图计算流程对每个子任务的黎曼运动策略进行整合,得到机械臂的全局运动策略,可以包括:

- 5 根据每个子任务的黎曼运动策略的自然形式确定所述全局运动策略的自然形式;

根据所述全局运动策略的自然形式确定所述全局运动策略的规范形式。

本申请实施例的第二方面提供了一种机械臂运动生成装置,可以包括:

- 子任务拆解模块,用于将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为多个子任
10 务;

子任务策略确定模块,用于基于几何动态系统,分别确定每个子任务的黎曼运动策略;

全局运动策略确定模块,用于基于黎曼运动策略的图计算流程对每个子任务的黎曼运动策略进行整合,得到机械臂的全局运动策略。

- 15 在第二方面的一种具体实现方式中,所述子任务拆解模块可以具体用于将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为位姿到达子任务、货架避障子任务和避关节极限子任务;

相应地,所述子任务策略确定模块可以包括:

- 位姿到达子任务策略确定单元,用于确定所述位姿到达子任务的黎曼运动
20 策略;

货架避障子任务策略确定单元,用于确定所述货架避障子任务的黎曼运动策略;

避关节极限子任务策略确定单元,用于确定所述避关节极限子任务的黎曼

运动策略。

在第二方面的一种具体实现方式中，所述位姿到达子任务策略确定单元可以具体用于：在所述机械臂的操作末端确定不共线的三个控制点；将所述三个控制点的位置到达黎曼运动策略确定为所述位姿到达子任务的黎曼运动策略。

5 在第二方面的一种具体实现方式中，所述货架避障子任务策略确定单元可以具体用于：获取货架的形状特征；根据所述货架的形状特征确定所述货架避障子任务的黎曼运动策略。

在第二方面的一种具体实现方式中，所述货架的形状特征包括组成所述货架的各个长方体障碍物的尺寸向量、位置向量和旋转矩阵。

10 在第二方面的一种具体实现方式中，所述避关节极限子任务策略确定单元可以具体用于：将所述机械臂的有限的构型空间映射至无限的实数空间，以确定所述避关节极限子任务的黎曼运动策略。

在第二方面的一种具体实现方式中，所述全局运动策略确定模块可以具体用于：根据每个子任务的黎曼运动策略的自然形式确定所述全局运动策略的自然形式；根据所述全局运动策略的自然形式确定所述全局运动策略的规范形式。

15

本申请实施例的第三方面提供了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现上述任一种机械臂运动生成方法的步骤。

本申请实施例的第四方面提供了一种机械臂，包括存储器、处理器以及存储
20 储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现上述任一种机械臂运动生成方法的步骤。

本申请实施例的第五方面提供了一种计算机程序产品，当计算机程序产品在机械臂上运行时，使得机械臂执行上述任一种机械臂运动生成方法的步骤。

有益效果

本申请实施例与现有技术相比存在的有益效果是：本申请实施例将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为多个子任务；基于几何动态系统，分别确定每个子任务的黎曼运动策略；基于黎曼运动策略的图计算流程对每个子任务的黎曼运动策略进行整合，得到机械臂的全局运动策略。通过本申请实施例，凭借黎曼运动策略的图计算流程的高效性和几何动态系统模型的丰富性与鲁棒性，能够实时且稳定地进行机械臂运动生成，即使在较为复杂的货架环境，也可有效保证机械臂抓取任务执行的效率和安全性。

附图说明

10 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，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它的附图。

图 1 为在货架环境中执行机械臂抓取任务的场景示意图；

15 图 2 为 RMPflow 实施流程的示意图；

图 3 为本申请实施例中一种机械臂运动生成方法的一个实施例流程图；

图 4 为本申请实施例中一种机械臂运动生成装置的一个实施例结构图；

图 5 为本申请实施例中一种机械臂的示意框图。

本发明的实施方式

20 为使得本申请的发明目的、特征、优点能够更加的明显和易懂，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，下面所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而非全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例，都属于本申请保护的范围。

25 应当理解，当在本说明书和所附权利要求书中使用时，术语“包括”指示所

描述特征、整体、步骤、操作、元素和/或组件的存在，但并不排除一个或多个其它特征、整体、步骤、操作、元素、组件和/或其集合的存在或添加。

还应当理解，在此本申请说明书中所使用的术语仅仅是出于描述特定实施例的目的而并不意在限制本申请。如在本申请说明书和所附权利要求书中所使用的5 用的那样，除非上下文清楚地指明其它情况，否则单数形式的“一”、“一个”及“该”意在包括复数形式。

还应当进一步理解，在本申请说明书和所附权利要求书中使用的术语“和/或”是指相关联列出的项中的一个或多个的任何组合以及所有可能组合，并且包括这些组合。

10 如在本说明书和所附权利要求书中所使用的那样，术语“如果”可以依据上下文被解释为“当...时”或“一旦”或“响应于确定”或“响应于检测到”。类似地，短语“如果确定”或“如果检测到[所描述条件或事件]”可以依据上下文被解释为意指“一旦确定”或“响应于确定”或“一旦检测到[所描述条件或事件]”或“响应于检测到[所描述条件或事件]”。

15 另外，在本申请的描述中，术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于区分描述，而不能理解为指示或暗示相对重要性。

本申请实施例主要针对在货架环境中执行机械臂抓取任务的场景，图 1 所示为该场景的示意图。其中，机械臂至少具有 6 个自由度，可执行六维位姿抓取；场景的全局坐标系 $\{O-XYZ\}$ 位于机械臂基座，夹爪的局部坐标系 $\{o-xyz\}$ 20 位于机械臂末端， Z 轴和 z 轴分别与机械臂第一个关节和最后一个关节的轴线重合；货架的主体结构由长方体搭建，以图示为例，包括 3 块层板和 4 根立柱，共 7 个长方体，每个长方体均可视作一个障碍物。

在本申请实施例中，以黎曼运动策略(Riemannian Motion Policies, RMP)

为基础, 将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解成多个不同局部空间下的子任务, 并分别为这些子任务设计基于几何动态系统(Geometric Dynamical System, GDS)模型的运动策略, 再根据条理化的黎曼运动策略的图计算流程(RMPflow)将这些局部运动策略整合为关节空间下的全局运动策略, 可实现机械臂在执行

5 抓取到达运动的同时对所识别环境进行动态避障。

RMP 是指一类在黎曼流形空间下的由二阶微分方程描述的带几何信息的运动策略, 其数学规范形式 (canonical form) 为 $(\mathbf{a}, \mathbf{M})^m$ 。其中, $\mathbf{M}$ 表示空间坐标属于 $\mathbf{P}^m$ 的 m 维黎曼流形, $\mathbf{a}: \mathbf{P}^m \times \mathbf{P}^m \rightarrow \mathbf{P}^m$ 表示一个二阶连续的运动策略, $\mathbf{M}: \mathbf{P}^m \times \mathbf{P}^m \rightarrow \mathbf{P}^{m \times m}$ 表示一个微分映射。依照机器人动力学的命名规则, $\mathbf{a}$ 也可以

10 看作是期望加速度, $\mathbf{M}$ 则可以看作是惯性矩阵。

除了规范形式之外, RMP 还有一种数学上的自然形式 (natural form) 为 $[\mathbf{f}, \mathbf{M}]^m$, 其中 $\mathbf{f} = \mathbf{M}\mathbf{a}$ 表示期望力映射, 这种数学表达形式更方便进行 RMP 相关的代数运算 (RMP-algebra)。

RMPflow 是一种面向流形空间的图计算流程, 其作用是可以快速地在

15 不同维度流形下针对特定任务设计的局部 RMP 整合成目标空间下的全局 RMP, 以达到输出可实现全部特定任务的运动策略的目的。RMPflow 流程主要依靠循环迭代 *pushforward*、*pullback* 和 *resolve* 三种信息流处理运算来实现。其中, *pushforward* 指状态信息流的前向传递运算, *pullback* 指 RMP 信息流的反向传递运算, *resolve* 指 RMP 信息流由自然形式回归规范形式的映射运算。

20 图 2 所示为 RMPflow 实施流程的示意图, 如图所示, 首先, 可以利用 *pushforward* 运算, 根据机械臂状态信息获取各个子任务的状态信息; 然后, 可以基于所设计的 GDS, 根据各个子任务的状态信息获取对应子任务 RMP 的自然形式; 接着, 可以利用 *pullback* 运算, 根据各个子任务 RMP 的自然形式

获取全局 RMP 的自然形式；最后，可以利用 *resolve* 运算，根据全局 RMP 的自然形式获取全局 RMP 的规范形式。

GDS 可以被看作是一种定义在流形空间上的虚拟机械系统，其系统惯性由机械体的构型和速度共同决定。一个 GDS 可以用由四个元素组成的数学元组表达 $(\mathbf{M}, \mathbf{G}, \mathbf{B}, \Phi)$ ，且满足以下微分方程：

$$(\mathbf{G}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) + \Xi_g(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}))\ddot{\mathbf{x}} + \xi_g(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) = -\nabla_x \Phi(\mathbf{x}) - \mathbf{B}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})\dot{\mathbf{x}}$$

其中， $\mathbf{G}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$ 为几何度量矩阵，可根据所期望的机械体基于其状态 $(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$ 所应做出的反应来设计； $\mathbf{B}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$ 和 $\Phi(\mathbf{x})$ 分别为阻尼矩阵和势能方程，可参考传统机械系统中的对应项来设计； $\Xi_g(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$ 和 $\xi_g(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$ 为系统的曲率项，可依据 $\mathbf{G}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$ 获得：

$$\Xi_g(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \dot{x}_i \partial_x \mathbf{g}_i(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$$

$$\xi_g(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) = \dot{\mathbf{G}}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})\dot{\mathbf{x}} - \frac{1}{2} \nabla_x (\dot{\mathbf{x}}^T \mathbf{G}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})\dot{\mathbf{x}})$$

其中， $\dot{\mathbf{G}}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) = [\partial_x \mathbf{g}_i(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})\dot{\mathbf{x}}]_{i=1}^m$ ， $\mathbf{g}_i(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$ 为矩阵 $\mathbf{G}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$ 的第 i 列。

当采用 GDS 模型来设计 RMP 时，则相应的 $[f, \mathbf{M}]^M$ 可由下式获得：

$$\mathbf{M}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) = \mathbf{G}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) + \Xi_g(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$$

$$f(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) = \mathbf{M}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})\ddot{\mathbf{x}} = -\nabla_x \Phi(\mathbf{x}) - \mathbf{B}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})\dot{\mathbf{x}} - \xi_g(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}})$$

图 3 所示为本申请实施例中的一种机械臂运动生成方法的一个实施例流程图，该方法的执行主体可以为机械臂，如图所示，该机械臂运动生成方法可以包括：

步骤 S301、将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为多个子任务。

在本申请实施例中，可以将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为位姿到达子任务、货架避障子任务和避关节极限子任务。

步骤 S302、基于几何动态系统，分别确定每个子任务的黎曼运动策略。

在本申请实施例中，可以分别确定位姿到达子任务 RMP、确定货架避障子任务 RMP 和确定避关节极限子任务 RMP。

对于位姿到达子任务 RMP，可以在机械臂的操作末端确定不共线的三个控制点，并将三个控制点的位置到达 RMP 确定为位姿到达子任务 RMP。

5 如图 1 所示，可以在机械臂的操作末端（即夹爪端）设置不共线的三个控制点，其中， p_0 与夹爪坐标系原点重合， p_1 位于 z 轴上， p_2 位于 y 轴上。当仅控制 p_0 运动到指定位置时，可完成机械臂抓取的夹爪位置到达任务；当控制 p_0 和 p_1 时，可限制夹爪姿态仅能绕机械臂最后一个关节轴转动；当同时控制 p_0 、 p_1 、 p_2 时，则可完全限制夹爪姿态，实现机械臂抓取的位姿到达任务。因此，
10 可以用多个控制点的位置到达 RMP 来取代位姿到达 RMP，而无需专门为姿态到达 RMP 调试一套参数。

以三个控制点中的 p_0 为例，在进行其位置到达 RMP 的 *pushforward* 设计时，可以令机械臂关节空间的状态参数为 $(q, \dot{q})$ ， p_0 在操作空间状态参数为 $(x_0, \dot{x}_0)$ ，则有：

$$15 \quad \begin{aligned} x_0 &= \psi_0(q) \\ \dot{x}_0 &= J_0^g(q)\dot{q} \end{aligned}$$

其中， ψ_0 为机械臂上 p_0 的运动学正解， $J_0^g = \partial_q \psi_0$ 为位置到达 RMP 的雅可比矩阵。

在进行其 GDS 设计时，可以令 p_0 所在的流形空间为 Ξ_0 ，相应的位置到达 RMP 的自然形式为 $[f_0^g, M_0^g]^{\mathbb{E}_0}$ ，以 $(\Xi_0, G_g, B_g, \Phi_g)$ 表示为该 RMP 设计的 GDS，则
20 有：

$$\begin{aligned} G_g &= wI, \quad w = r_\sigma(w_u - w_l) + w_l, \quad r_\sigma = \exp(-\|e\|^2 / (2\sigma^2)) \\ B_g &= r_d w \end{aligned}$$

$$\nabla_e \Phi_g = r_p r_\alpha w \hat{e}, \quad r_\alpha = \frac{1 - \exp(-2\alpha\|e\|)}{1 + \exp(-2\alpha\|e\|)}$$

其中， I 为与机械臂关节空间维度相同的单位矩阵； w 为度量系数， w_u 和 w_l 分别为其上、下限； r_p 和 r_d 分别为比例增益和速度增益； $e = x_0 - x_0^g$ 为与其目标位置的向量差， $\hat{e} = e/\|e\|$ 为 e 的单位向量。所以可得：

5

$$M_0^g = G_g$$

$$\xi_{G_g} = -\frac{1}{2}(\|\dot{e}\|^2 \nabla_e w - 2\dot{e} \dot{e}^T \nabla_e w)$$

$$f_0^g = -\nabla_e \Phi_g - B_g \dot{e} - \xi_{G_g}$$

控制点 p_1 和 p_2 的情况与 p_0 类似，其位置到达RMP的*pushforward*和GDS均可参照 p_0 的上述内容，本申请实施例对此不再赘述。

10

对于架避障子任务RMP，可以获取货架的形状特征，并根据货架的形状特征确定货架避障子任务RMP。其中，货架的形状特征可以包括组成货架的各个长方体障碍物的尺寸向量、位置向量和旋转矩阵。

15

考虑到货架结构由 n_o 个长方体组成，此处以 p_0 和第 i 个长方体障碍物为例，在进行其避障RMP的*pushforward*设计时，已知第 i 个长方体障碍物的尺寸向量 l_i 、位置向量 t_i 和旋转矩阵 R_i 。其中， l_i 由长方体的长、宽、高组成， t_i 为长方体中心在全局坐标系下的坐标；在长方体中心处建立障碍物的局部坐标系，三条轴线分别沿长、宽、高方向， R_i 即为该局部坐标系相对于全局坐标系的旋转矩阵。令 $s_{0,i}$ 为 p_0 与第 i 个长方体之间的最短距离， θ_i 为最短距离函数，则有：

$$s_{0,i} = \theta_i(x_0) = (\psi_0 \circ \theta_i)(q)$$

20

$$\dot{s}_{0,i} = J_{0,i}^a \dot{q}$$

其中， $J_{0,i}^a = \partial_q(\psi_0 \circ \theta_i) = [\partial_{x_0} \theta_i] J_0^g$ 为长方体避障RMP的雅可比矩阵。而根据长方体的最短距离函数的推导，可知：

$$\mathbf{c}_{0,i} = \mathbf{R}_i^T(\mathbf{x}_0 - \mathbf{t}_i), \quad \mathbf{r}_{0,i} = [\text{diag}(\text{sgn}(\mathbf{c}_{0,i}))]\mathbf{c}_{0,i} - \frac{1}{2}\mathbf{I}_i, \quad \mathbf{d}_{0,i} = [\text{diag}(\max(\text{sgn}(\mathbf{r}_{0,i}), 0))]\mathbf{r}_{0,i}$$

$$s_{0,i} = \|\mathbf{d}_{0,i}\|, \quad \dot{s}_{0,i} = \frac{\mathbf{d}_{0,i}^T}{s_{0,i}} [\text{diag}(\max(\text{sgn}(\mathbf{r}_{0,i}), 0))][\text{diag}(\text{sgn}(\mathbf{c}_{0,i}))]\mathbf{R}_i^T \dot{\mathbf{x}}_0$$

其中， $\text{sgn}(\mathbf{v})$ 表示对向量 $\mathbf{v}$ 中各个元素取符号， $\max(\mathbf{v}, 0)$ 表示将向量 $\mathbf{v}$ 中各个元素与0做对比、取大值， $\text{diag}(\mathbf{v})$ 表示将向量 $\mathbf{v}$ 变换成维度相同且对角元素与 $\mathbf{v}$ 相对应的

的对角矩阵。

在进行其 GDS 设计时，可以令第 i 个长方体的最短距离流形空间为 Σ_i ，相应的避障 RMP 的自然形式为 $[f_{0,i}^a, m_{0,i}^a]^T$ ，以 $(\Sigma_i, g_a, b_a, \phi_a)$ 表示为该 RMP 设计的 GDS，则有：

$$g_a = w(s_{0,i})u(\dot{s}_{0,i}), \quad w(s_{0,i}) = \frac{\max(s_u - s_{0,i}, 0)}{\max(s_{0,i} - s_l, \varepsilon)}, \quad u(\dot{s}_{0,i}) = \begin{cases} 1 - \exp(-\dot{s}_{0,i}^2 / (2\sigma^2)) & \dot{s}_{0,i} < 0 \\ 0 & \dot{s}_{0,i} \geq 0 \end{cases}$$

$$b_a = r_d g_a$$

$$\nabla_{s_{0,i}} \phi_a = r_p w \nabla_{s_{0,i}} w$$

其中， s_u 和 s_l 分别为避障任务的启动距离和最短安全距离， ε 为一个很小的正值， r_p 和 r_d 分别为比例增益和速度增益。所以可得：

$$m_{0,i}^a = g_a + \frac{1}{2} \dot{s}_{0,i} w \nabla_{s_{0,i}} u$$

$$\xi_{g_a} = \frac{1}{2} \dot{s}_{0,i}^2 u \nabla_{s_{0,i}} w$$

$$f_{0,i}^a = -\nabla_{s_{0,i}} \phi_a - b_a \dot{s}_{0,i} - \xi_{g_a}$$

对于任意一个控制点和任意一个长方体障碍物而言，其避障 RMP 的 *pushforward* 和 GDS 均可参照 p_0 和第 i 个长方体障碍物之间的避障 RMP 的上述内容，本申请实施例对此不再赘述。

对于避关节极限子任务 RMP，可以将机械臂的有限的构型空间映射至无

限的实数空间，以确定避关节极限子任务 RMP。在这一过程中，可以先将机械臂状态量映射到无限的 $\mathbb{R}^m$ 实数空间进行动态系统设计，再将运动策略映射回有限的 m 维构型空间进行运动策略的解算。具体的实现方式有两种，第一种是先通过运算映射状态量，再基于 GDS 模型设计运动策略，第二种则是将状态量的映射直接在 GDS 的设计中体现。

此处以将状态量的映射直接在 GDS 的设计中体现为例进行说明，在进行其避关节极限 RMP 的 *pushforward* 设计时，无需进行状态信息的映射处理，即在避关节极限 RMP 中沿用了机械臂的状态参数 $(q, \dot{q})$ ，因此相应的雅可比矩阵 $J' = I_m$ 为 m 维的单位矩阵。

在进行其 GDS 设计时，可以令 $q = [q_i]_{i=1}^m$ ，机械臂的构型空间为 X ，避关节极限 RMP 的自然形式为 $[f', M']^K$ ，以 (X, G_l, B_l, Φ_l) 表示为该 RMP 设计的 GDS，则有：

$$G_l = \text{diag}([g_i]_{i=1}^m), \quad g_i = d_i^{-2}, \quad d_i = s_i(\alpha_{u,i}u_i + (1 - \alpha_{u,i})) + (1 - s_i)(\alpha_{l,i}u_i + (1 - \alpha_{l,i}))$$

$$s_i = \frac{q_i - q_{l,i}}{q_{u,i} - q_{l,i}}, \quad u_i = 4s_i(1 - s_i), \quad \alpha_{u,i} = 1 - \exp\left(-\frac{(\max(\dot{q}_i, 0))^2}{2\sigma^2}\right), \quad \alpha_{l,i} = 1 - \exp\left(-\frac{(\min(\dot{q}_i, 0))^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$B_l = \text{diag}([b_i]_{i=1}^m), \quad b_i = r_d d_i$$

$$\nabla_q \Phi_l = [\nabla_{q_i} \Phi_l]_{i=1}^m, \quad \nabla_{q_i} \Phi_l = r_p d_i (q_i - q_{0,i})$$

其中， $q_{u,i}$ 、 $q_{l,i}$ 和 $q_{0,i}$ 分别为关节位置 q_i 的上、下限和中值， r_p 和 r_d 分别为比例增益和速度增益。所以可得：

$$M' = G_l$$

$$\xi_{G_l} = [\xi_{g_i}]_{i=1}^m, \quad \xi_{g_i} = \frac{1}{2} \dot{q}_i^2 \nabla_{q_i} g_i = -\frac{1}{d_i^3} \nabla_{q_i} d_i$$

$$\nabla_{q_i} d_i = (\alpha_{u,i}u_i + (1 - \alpha_{u,i}))\nabla_{q_i} s_i + s_i \alpha_{u,i} \nabla_{q_i} u_i - (\alpha_{l,i}u_i + (1 - \alpha_{l,i}))\nabla_{q_i} s_i + (1 - s_i) \alpha_{l,i} \nabla_{q_i} u_i$$

$$\nabla_{q_i} s_i = \frac{1}{q_{u,i} - q_{l,i}}, \quad \nabla_{q_i} u_i = 4(1-s_i)\nabla_{q_i} s_i - 4s_i\nabla_{q_i} s_i$$

$$\mathbf{f}^l = -\nabla_{\mathbf{q}} \Phi_l - \mathbf{B}_l \dot{\mathbf{q}} - \xi_{G_l}$$

通过上述过程，分别确定出位姿到达子任务 RMP、确定货架避障子任务 RMP 和确定避关节极限子任务 RMP。

5 步骤 S303、基于黎曼运动策略的图计算流程对每个子任务的黎曼运动策略进行整合，得到机械臂的全局运动策略。

面向货架场景的机械臂抓取任务至少采用了 $N = n_l + n_g + n_p \times n_o$ 个子任务 RMP。其中，避关节极限 RMP 有 $n_l = 1$ 个，位置到达 RMP 有 $n_g = 3$ 个； n_p 个机械臂防撞点组合 n_o 个长方体障碍物，则避障 RMP 有 $n_p \times n_o$ 个。

10 在本申请实施例中，可以根据每个子任务 RMP 的自然形式确定全局运动策略的自然形式，并根据全局运动策略的自然形式确定全局运动策略的规范形式。

在确定每个子任务 RMP 之后，基于 *pullback* 运算，可以根据每个子任务 RMP 的自然形式确定全局运动策略的自然形式 $[\mathbf{f}, \mathbf{M}]^x$ ：

$$15 \quad \mathbf{f} = \sum_{i=1}^N \mathbf{J}_i^T (\mathbf{f}_i - \mathbf{M}_i \mathbf{J}_i \dot{\mathbf{q}})$$

$$\mathbf{M} = \sum_{i=1}^N \mathbf{J}_i^T \mathbf{M}_i \mathbf{J}_i$$

其中， $\{\mathbf{f}_i\}_{i=1}^N$ 、 $\{\mathbf{M}_i\}_{i=1}^N$ 、 $\{\mathbf{J}_i\}_{i=1}^N$ 分别表示所有子任务 RMP 的期望力、惯性矩阵、雅可比矩阵经过组合重排形成的队列。

20 通过 *resolve* 运算将全局运动策略由自然形式映射回规范形式，便可获得全局运动策略的关节加速度控制量：

$$\mathbf{a} = \mathbf{M}^+ \mathbf{f}$$

其中, $M^+ = (M^T M)^{-1} M^T$, 表示 M 的伪逆。

在得到关节加速度控制量之后, 即可按照该控制量对机械臂进行运动控制, 以使机械臂完成从货架中抓取物体的任务。

综上所述, 本申请实施例将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为多个子任务; 基于几何动态系统, 分别确定每个子任务的黎曼运动策略; 基于黎曼运动策略的图计算流程对每个子任务的黎曼运动策略进行整合, 得到机械臂的全局运动策略。通过本申请实施例, 凭借黎曼运动策略的图计算流程的高效性和几何动态系统模型的丰富性与鲁棒性, 能够实时且稳定地进行机械臂运动生成, 即使在较为复杂的货架环境, 也可有效保证机械臂抓取任务执行的效率和安全性。

应理解, 上述实施例中各步骤的序号的大小并不意味着执行顺序的先后, 各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定, 而不应对本申请实施例的实施过程构成任何限定。

对应于上文实施例所述的一种机械臂运动生成方法, 图 4 示出了本申请实施例提供的一种机械臂运动生成装置的一个实施例结构图。

本实施例中, 一种机械臂运动生成装置可以包括:

子任务拆解模块 401, 用于将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为多个子任务;

子任务策略确定模块 402, 用于基于几何动态系统, 分别确定每个子任务的黎曼运动策略;

全局运动策略确定模块 403, 用于基于黎曼运动策略的图计算流程对每个子任务的黎曼运动策略进行整合, 得到机械臂的全局运动策略。

在本申请实施例的一种具体实现方式中,所述子任务拆解模块可以具体用于将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为位姿到达子任务、货架避障子任务和避关节极限子任务;

相应地,所述子任务策略确定模块可以包括:

5 位姿到达子任务策略确定单元,用于确定所述位姿到达子任务的黎曼运动策略;

货架避障子任务策略确定单元,用于确定所述货架避障子任务的黎曼运动策略;

10 避关节极限子任务策略确定单元,用于确定所述避关节极限子任务的黎曼运动策略。

在本申请实施例的一种具体实现方式中,所述位姿到达子任务策略确定单元可以具体用于:在所述机械臂的操作末端确定不共线的三个控制点;将所述三个控制点的位置到达黎曼运动策略确定为所述位姿到达子任务的黎曼运动策略。

15 在本申请实施例的一种具体实现方式中,所述货架避障子任务策略确定单元可以具体用于:获取货架的形状特征;根据所述货架的形状特征确定所述货架避障子任务的黎曼运动策略。

在本申请实施例的一种具体实现方式中,所述货架的形状特征包括组成所述货架的各个长方体障碍物的尺寸向量、位置向量和旋转矩阵。

20 在本申请实施例的一种具体实现方式中,所述避关节极限子任务策略确定单元可以具体用于:将所述机械臂的有限的构型空间映射至无限的实数空间,以确定所述避关节极限子任务的黎曼运动策略。

在本申请实施例的一种具体实现方式中,所述全局运动策略确定模块可以

具体用于：根据每个子任务的黎曼运动策略的自然形式确定所述全局运动策略的自然形式；根据所述全局运动策略的自然形式确定所述全局运动策略的规范形式。

所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为描述的方便和简洁，上述描述
5 的装置，模块和单元的具体工作过程，可以参考前述方法实施例中的对应过程，在此不再赘述。

在上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中沒有详述或记载的部分，可以参见其它实施例的相关描述。

10 图 5 示出了本申请实施例提供的一种机械臂的示意框图，为了便于说明，仅示出了与本申请实施例相关的部分。

如图 5 所示，该实施例的机械臂 5 包括：处理器 50、存储器 51 以及存储在所述存储器 51 中并可在所述处理器 50 上运行的计算机程序 52。所述处理器 50 执行所述计算机程序 52 时实现上述各个机械臂运动生成方法实施例中的
15 步骤，例如图 3 所示的步骤 S301 至步骤 S303。或者，所述处理器 50 执行所述计算机程序 52 时实现上述各装置实施例中各模块/单元的功能，例如图 4 所示模块 401 至模块 403 的功能。

示例性的，所述计算机程序 52 可以被分割成一个或多个模块/单元，所述一个或者多个模块/单元被存储在所述存储器 51 中，并由所述处理器 50 执行，
20 以完成本申请。所述一个或多个模块/单元可以是能够完成特定功能的一系列计算机程序指令段，该指令段用于描述所述计算机程序 52 在所述机械臂 5 中的执行过程。

本领域技术人员可以理解，图 5 仅仅是机械臂 5 的示例，并不构成对机械

臂 5 的限定，可以包括比图示更多或更少的部件，或者组合某些部件，或者不同的部件，例如所述机械臂 5 还可以包括输入输出设备、网络接入设备、总线等。

所述处理器 50 可以是中央处理单元（Central Processing Unit, CPU），还可以是其它通用处理器、数字信号处理器（Digital Signal Processor, DSP）、专用集成电路（Application Specific Integrated Circuit, ASIC）、现场可编程门阵列（Field-Programmable Gate Array, FPGA）或者其它可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。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。

所述存储器 51 可以是所述机械臂 5 的内部存储单元，例如机械臂 5 的硬盘或内存。所述存储器 51 也可以是所述机械臂 5 的外部存储设备，例如所述机械臂 5 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。进一步地，所述存储器 51 还可以既包括所述机械臂 5 的内部存储单元也包括外部存储设备。

所述存储器 51 用于存储所述计算机程序以及所述机械臂 5 所需的其它程序和数据。所述存储器 51 还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为了描述的方便和简洁，仅以上述各功能单元、模块的划分进行举例说明，实际应用中，可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能单元、模块完成，即将所述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块，以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中，上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能单元的形式实现。另外，各功能单元、模

块的具体名称也只是为了便于相互区分，并不用于限制本申请的保护范围。上述系统中单元、模块的具体工作过程，可以参考前述方法实施例中的对应过程，在此不再赘述。

在上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中沒有详述或记载的部分，可以参见其它实施例的相关描述。

本领域普通技术人员可以意识到，结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤，能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行，取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

在本申请所提供的实施例中，应该理解到，所揭露的装置/机械臂和方法，可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置/机械臂实施例仅仅是示意性的，例如，所述模块或单元的划分，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通讯连接可以是通过一些接口，装置或单元的间接耦合或通讯连接，可以是电性，机械或其它的形式。

所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

另外，在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元

中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能单元的形式实现。

所述集成的模块/单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用时，可以存储在一个计算机可读存储介质中。基于这样的理解，本
5 申请实现上述实施例方法中的全部或部分流程，也可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成，所述的计算机程序可存储于一计算机可读存储介质中，该计算机程序在被处理器执行时，可实现上述各个方法实施例的步骤。其中，所述计算机程序包括计算机程序代码，所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读存储介质可以
10 包括：能够携带所述计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质、U 盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机存储器、只读存储器（ROM, Read-Only Memory）、随机存取存储器（RAM, Random Access Memory）、电载波信号、电信信号以及软件分发介质等。需要说明的是，所述计算机可读存储介质包含的内容可以根据司法管辖区内立法和专利实践的要求进行适当的增减，例如在某些司法
15 管辖区，根据立法和专利实践，计算机可读存储介质不包括电载波信号和电信信号。

以上所述实施例仅用以说明本申请的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本申请进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特
20 征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的精神和范围，均应包含在本申请的保护范围之内。

权利要求书

1. 一种机械臂运动生成方法，其特征在于，包括：

将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为多个子任务；

基于几何动态系统，分别确定每个子任务的黎曼运动策略；

5 基于黎曼运动策略的图计算流程对每个子任务的黎曼运动策略进行整合，
得到机械臂的全局运动策略。

2. 根据权利要求 1 所述的机械臂运动生成方法，其特征在于，所述将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为多个子任务，包括：

将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为位姿到达子任务、货架避障子任
10 务和避关节极限子任务；

相应地，所述分别确定每个子任务的黎曼运动策略，包括：

确定所述位姿到达子任务的黎曼运动策略、确定所述货架避障子任务的黎曼运动策略和确定所述避关节极限子任务的黎曼运动策略。

3. 根据权利要求 2 所述的机械臂运动生成方法，其特征在于，所述确定
15 所述位姿到达子任务的黎曼运动策略，包括：

在所述机械臂的操作末端确定不共线的三个控制点；

将所述三个控制点的位置到达黎曼运动策略确定为所述位姿到达子任务的黎曼运动策略。

4. 根据权利要求 2 所述的机械臂运动生成方法，其特征在于，所述确定
20 所述货架避障子任务的黎曼运动策略，包括：

获取货架的形状特征；

根据所述货架的形状特征确定所述货架避障子任务的黎曼运动策略。

5. 根据权利要求 4 所述的机械臂运动生成方法，其特征在于，所述货架

的形状特征包括组成所述货架的各个长方体障碍物的尺寸向量、位置向量和旋转矩阵。

6. 根据权利要求 2 所述的机械臂运动生成方法，其特征在于，所述确定所述避关节极限子任务的黎曼运动策略，包括：

5 将所述机械臂的有限的构型空间映射至无限的实数空间，以确定所述避关节极限子任务的黎曼运动策略。

7. 根据权利要求 1 至 6 中任一项所述的机械臂运动生成方法，其特征在于，所述基于黎曼运动策略的图计算流程对每个子任务的黎曼运动策略进行整合，得到机械臂的全局运动策略，包括：

10 根据每个子任务的黎曼运动策略的自然形式确定所述全局运动策略的自然形式；

根据所述全局运动策略的自然形式确定所述全局运动策略的规范形式。

8. 一种机械臂运动生成装置，其特征在于，包括：

15 子任务拆解模块，用于将面向货架场景的机械臂抓取任务拆解为多个子任务；

子任务策略确定模块，用于基于几何动态系统，分别确定每个子任务的黎曼运动策略；

全局运动策略确定模块，用于基于黎曼运动策略的图计算流程对每个子任务的黎曼运动策略进行整合，得到机械臂的全局运动策略。

20 9. 一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，其特征在于，所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求 1 至 7 中任一项所述的机械臂运动生成方法的步骤。

10. 一种机械臂，包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所

述处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求 1 至 7 中任一项所述的机械臂运动生成方法的步骤。

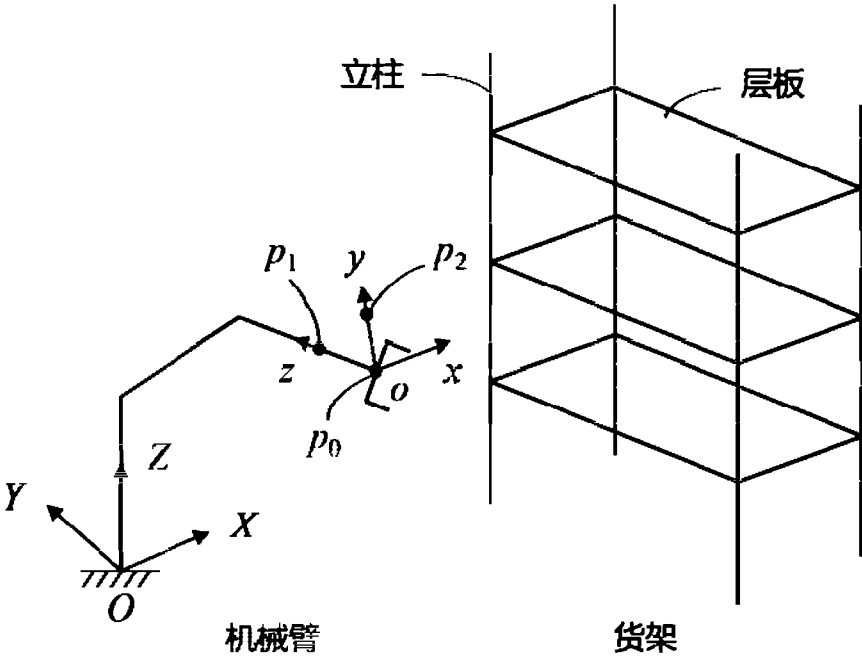


图 1

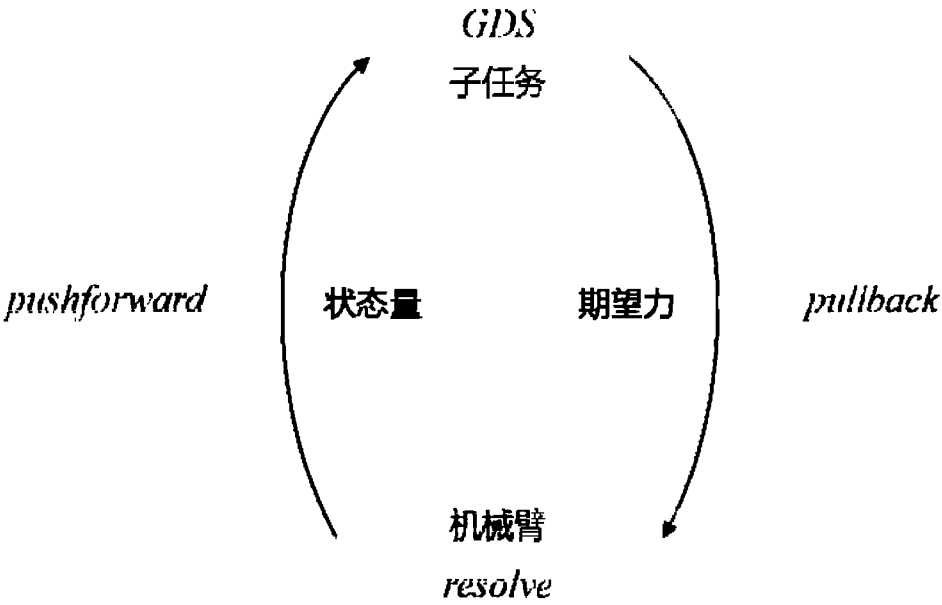


图 2

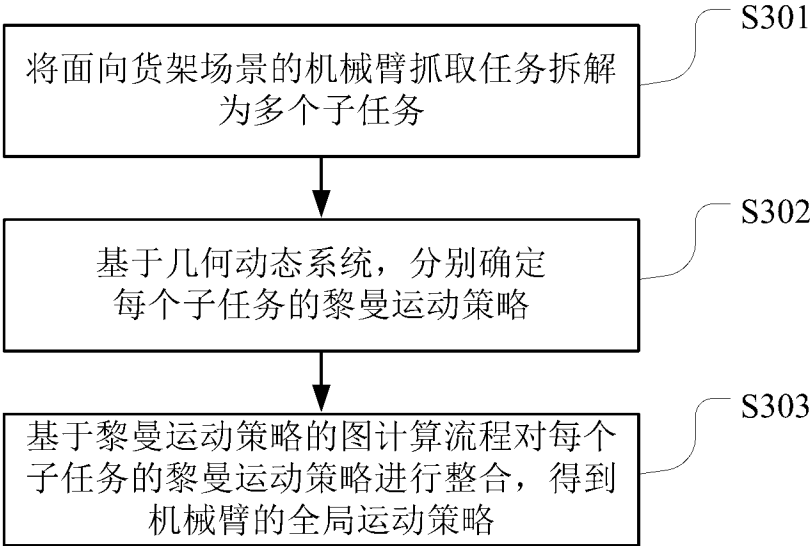


图 3

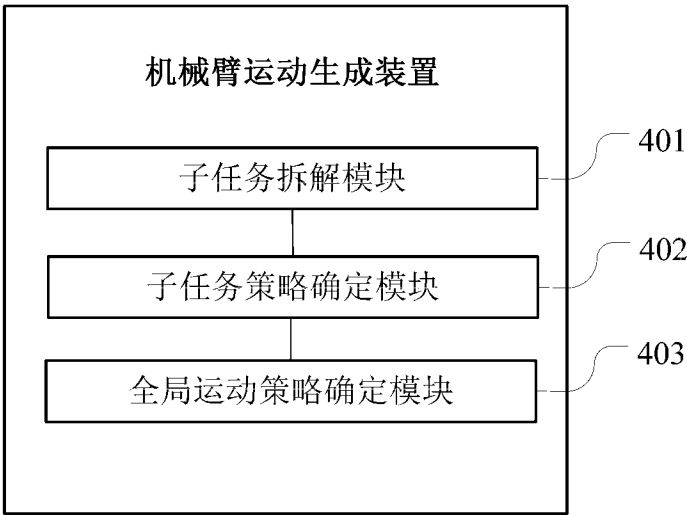


图 4

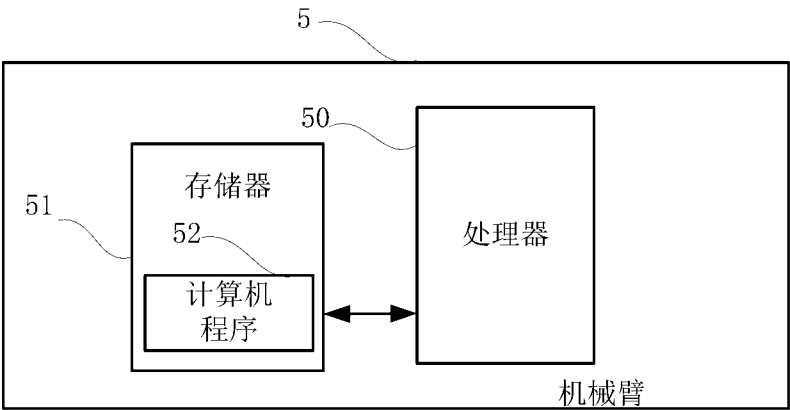


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/142217

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J9/16(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)

IPC: B25J

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; CNTXT; CNKI; VEN; WOTXT; EPTXT; USTXT: 优必选, 机械臂, 机械手, 机器人, 任务, 黎曼, 运动, 策略, 货架, 障碍, 避障, 关节, 限位, 极限, 构型空间, 实数空间, RMP, RMPflow, Riemannian, GDS, robot?, manipulator?, task, obstacle, joint

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 115972196 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 18 April 2023 (2023-04-18) description, paragraphs [0031]-[0079], and figures 1-3	1, 2, 6-10
Y	CN 115972196 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 18 April 2023 (2023-04-18) description, paragraphs [0031]-[0079], and figures 1-3	3-5, 7, 9, 10
Y	CN 113119110 A (SHANGHAI WOZHU INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 16 July 2021 (2021-07-16) description, paragraphs [0029]-[0031], and figures 1-4	3, 7, 9, 10
Y	CN 113282105 A (BEIHANG UAS TECHNOLOGY CO., LTD.) 20 August 2021 (2021-08-20) description, paragraphs [0067]-[0155], and figures 1-4	4, 5, 7, 9, 10
A	CN 115723129 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 03 March 2023 (2023-03-03) entire document	1-10
A	WO 2022232186 A1 (NVIDIA CORP.) 03 November 2022 (2022-11-03) entire document	1-10



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

“D” document cited by the applicant in the international application

“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

12 March 2024

Date of mailing of the international search report

22 May 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/142217

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	115972196	A	18 April 2023	None			
CN	113119110	A	16 July 2021	None			
CN	113282105	A	20 August 2021	None			
CN	115723129	A	03 March 2023	None			
WO	2022232186	A1	03 November 2022	DE	112022001174	T5	18 January 2024
				US	2022371184	A1	24 November 2022

A. 主题的分类 B25J9/16(2006.01)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) IPC: B25J 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;CNTXT;CNKI;VEN;WOTXT;EPTXT;USTXT: 优必选, 机械臂, 机械手, 机器人, 任务, 黎曼, 运动, 策略, 货架, 障碍, 避障, 关节, 限位, 极限, 构型空间, 实数空间, RMP, RMPflow, Riemannian, GDS, robot?, manipulator?, task, obstacle, joint		
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
X	CN 115972196 A (浙江大学) 2023年4月18日 (2023 - 04 - 18) 说明书第[0031]-[0079]段, 附图1-3	1、2、6-10
Y	CN 115972196 A (浙江大学) 2023年4月18日 (2023 - 04 - 18) 说明书第[0031]-[0079]段, 附图1-3	3-5、7、9、10
Y	CN 113119110 A (上海握珠智能科技有限公司) 2021年7月16日 (2021 - 07 - 16) 说明书第[0029]-[0031]段, 附图1-4	3、7、9、10
Y	CN 113282105 A (北京北航天宇长鹰无人机科技有限公司) 2021年8月20日 (2021 - 08 - 20) 说明书第[0067]-[0155]段, 附图1-4	4、5、7、9、10
A	CN 115723129 A (北京工业大学) 2023年3月3日 (2023 - 03 - 03) 全文	1-10
A	WO 2022232186 A1 (NVIDIA CORP) 2022年11月3日 (2022 - 11 - 03) 全文	1-10
☐ 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 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “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 2024年3月12日		国际检索报告邮寄日期 2024年5月22日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		授权官员 徐河杭 电话号码 (+86) 0512-88995588

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/142217

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	115972196	A	2023年4月18日	无			
CN	113119110	A	2021年7月16日	无			
CN	113282105	A	2021年8月20日	无			
CN	115723129	A	2023年3月3日	无			
WO	2022232186	A1	2022年11月3日	DE	112022001174	T5	2024年1月18日
				US	2022371184	A1	2022年11月24日