



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116395382 A

(43) 申请公布日 2023. 07. 07

(21) 申请号 202310334233.4

(22) 申请日 2023.03.30

(71) 申请人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街
29号

(72) 发明人 陈凯 黄煜杰 赵晓冬 唐敦兵
朱海华

(74) 专利代理机构 江苏圣典律师事务所 32237
专利代理师 苏一帆

(51) Int. Cl.

B65G 47/90 (2006.01)

B65G 43/08 (2006.01)

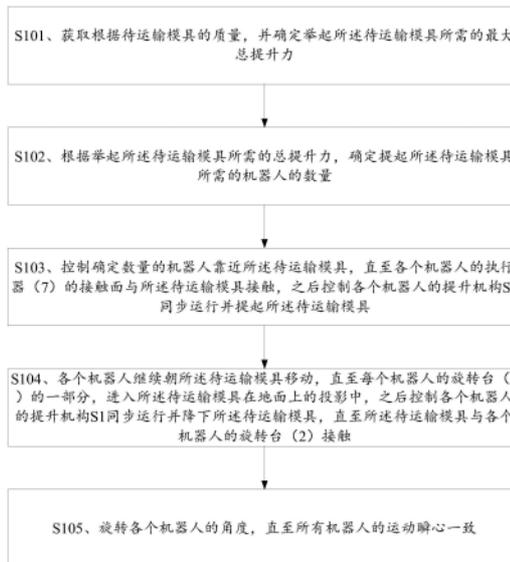
权利要求书3页 说明书8页 附图7页

(54) 发明名称

一种基于多机器人的协同移动运输方法及系统

(57) 摘要

本发明实施例公开了一种基于多机器人的协同移动运输方法及系统,涉及智能制造技术领域,能够通过多个机器人的协同工作关系实现对具有不同抓取运输要求、不同尺寸型号模具的自动搬运和装卸。本发明的系统由一组结构相同或相似的机器人组成,机器人操纵机构包括提升机构S1和旋转平台S2。通过多个机器人的协同工作关系实现对具有不同抓取运输要求、不同尺寸型号模具的自动搬运和装卸。本发明适用于具有不同抓取运输要求、不同尺寸型号模具的自动搬运和装卸。



1. 一种基于多机器人的协同移动运输系统,其特征在于,所述系统由至少2个机器人组成,在每个机器人上都安装有提升机构S1和旋转平台S2,提升机构S1安装在每个机器人的旋转平台S2上;

旋转平台S2包括:移动平台(1)和旋转台(2),移动平台(1)固定在机器人的上表面,旋转台(2)与移动平台(1)通过第一旋转轴连接;

提升机构S1包括:两个平行四边形机构、第一末端执行器支架(5)、第二端执行器支架(6)和执行器(7);

其中,在每个平行四边形机构中,包括:两个相互平行的连接杆(4)和一个底座(3),所述两个相互平行的连接杆(4)的底端通过第二旋转轴连接底座(3)从而形成底端转动关节,所述两个相互平行的连接杆(4)的顶端通过第三旋转轴连接第一末端执行器支架(5)从而形成顶端转动关节;

第一末端执行器支架(5)采用与所述两个平行四边形机构垂直的横梁结构;

第二端执行器支架(6)的一端固定在第一末端执行器支架(5)上,另一端与执行器(7)的一侧表面固定连接,执行器(7)的另一侧表面作为与模具接触的接触面。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,短杆(3-1)固定在所述两个平行四边形机构各自的底座(3)之间;

短杆(3-1)、所述第二旋转轴、所述第三旋转轴和第一末端执行器支架(5)相互平行。

3. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,第二端执行器支架(6)呈梯形,梯形的长边一端与执行器(7)的一侧表面固定连接,梯形的短边一端与第一末端执行器支架(5)固定连接。

4. 根据权利要求3所述的系统,其特征在于,执行器(7)的接触面上覆盖刚性接触板,所述刚性接触板的材料为橡胶或有机合成的高分子材料;并在所述刚性接触板的表面附着表面絮丝和耐磨填料。

5. 一种基于多机器人的协同移动运输方法,其特征在于,所述方法用于一种多机器人的协同移动运输系统,所述系统包括至少2个机器人,所述方法包括:

S101、获取根据待运输模具的质量,并确定举起所述待运输模具所需的最大总提升力;

S102、根据举起所述待运输模具所需的总提升力,确定提起所述待运输模具所需的机器人的数量;

S103、控制确定数量的机器人靠近所述待运输模具,直至各个机器人的执行器(7)的接触面与所述待运输模具接触,之后控制各个机器人的提升机构S1同步运行并提起所述待运输模具,提起的高度超过机器人的旋转台(2)的高度;

S104、各个机器人继续朝所述待运输模具移动,直至每个机器人的旋转台(2)的一部分,进入所述待运输模具在地面上的投影中,之后控制各个机器人的提升机构S1同步运行并降下所述待运输模具,直至所述待运输模具与各个机器人的旋转台(2)接触;

S105、旋转各个机器人的角度,直至所有机器人的运动瞬心一致。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,在S101中,确定举起所述待运输模具所需的总提升力,包括:

确定每个机器人在举起所述待运输模具的过程中提供的最大提升力: $f_{m,p,t} = \mu_p f_{m,p,n} = \mu_p f_{m,p,t} = \mu_p (= \mu_g f_{m,g,n}) = \mu_p (\mu_g Mg)$,其中, $f_{m,p,n}$ 表示质量为M的机器人在接触点 $C_{m,p}$ 处向所述

待运输模具施加的压力, μ_p 表示机器人的执行器(7)的接触面的摩擦系数, μ_g 表示机器人的车轮与地面在接触点 $C_{m,g}$ 的摩擦系数;

根据每个机器人在举起所述待运输模具的过程中提供的最大提升力, 计算举起所述待

运输模具所需的总提升力: $f_{p,t} = \sum_{m=1}^{m_{\max}} f_{m,p,t} = m_{\max} \mu_p (\mu_g Mg)$ m_{\max} 表示提起所述

待运输模具所需的机器人的数量。

7. 根据权利要求6所述的方法, 其特征在于, 在S103中, 机器人的执行器(7)的接触面与所述待运输模具接触后, 提升机构S1同步运行并提起所述待运输模具的过程中, 提升机构S1同步运行包括各个机器人的提升机构S1伸长;

针对每个机器人, 在提升机构S1伸长的过程中, 实时更新确定平行四边形机构的长杆的两个端点的位置关系;

平行四边形机构中的长杆长度与平行四边形机构的轨迹半径 r 相等, 表示为:

$$\begin{cases} r = l_{AB} = l_{CD} \\ l_{AD} = l_{BC} \end{cases} \quad (1)$$

其中 r 的计算方式为:

$$r^2 = (h + r \sin \alpha_0)^2 + (a+b)^2 \quad (2)$$

其中, h 表示机器人平台到地面的竖直距离, α_0 表示机器人在初始状态下平行四边形机构长边(AB边)与水平线的夹角; a 、 b 分别表示两种可利用三角形几何关系所确定的常数, A 、 B 、 C 、 D 分别表示平行四边形的四个角, l_{AB} 、 l_{CD} 、 l_{AD} 和 l_{BC} 分别表示平行四边形机构AB边、CD边、AD边和BC边的长度。

8. 根据权利要求7所述的方法, 其特征在于, 还包括:

通过直角三角形的几何关系来确定常数 a 和常数 b , 其中:

$$a = \frac{(l + \delta_1)^2 + (\delta_2)^2}{2(l + \delta_1)} \quad (3)$$

$$b = \frac{\delta_2(h + r \sin \alpha_0)}{(l + \delta_1)} \quad (4)$$

其中, P_1 和 P_2 表示平行四边形机构的长杆的两个端点, l 表示 P_2 点到机器人移动平台外侧的水平距离, δ_1 、 δ_2 分别表示 P_3 点到机器人移动平台外侧的水平和垂直距离, $\delta_1 > 0$, $\delta_2 > 0$; P_3 为平行四边形机构以 r 为半径的活动轨迹上的点; 在确定常数 a 和常数 b 后, 更新 r 的计算方式, 可重新表示为一个新的 r 的二阶式: $m'r^2 + n'r + p' = 0$ (5), 得到:

$$r = \frac{-m' + \sqrt{m'^2 - 4n'p'}}{2n'} \quad (9)$$

其中, m' 、 n' 和 p' 分别表示二次项、一次项系数和常数项。

9. 根据权利要求6所述的方法, 其特征在于, 还包括:

针对每个机器人, 在提升机构S1伸长的过程中, 实时计算所述平行四边形机构的奇异位置, 并保持所述平行四边形机构规避所述奇异位置;

在所述奇异位置中, 通过 γ 表示法向量 \vec{n} 与水平方向之间的夹角, 保持 γ 的取值范围

$$\text{为: } \gamma = \frac{\alpha_0 + \alpha_1}{2} \in [0, \pi - \alpha_1] \quad (15)$$

其中,其中 α_0 和 α_1 分别表示连杆AB在两处极限位置时的角度。

一种基于多机器人的协同移动运输方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及智能制造技术领域,尤其涉及一种基于多机器人的协同移动运输方法及系统。

背景技术

[0002] 近年来,我国物流行业飞速发展,得益于人工智能技术和机器人技术的物流机器人行业也迅速崛起,国家陆续出台多项政策以扶持机器人产业发展。随着物流市场的快速发展,物流机器人产业得到了难得的发展机遇,物流机器人的应用也正在快速普及,是引领现代物流业发展趋势的重要因素。在物流作业的不同岗位上有着不同的机器人,比如移动机器人技术在装卸搬运中起到了不可替代的作用。装卸搬运是物流系统中最基本的功能要素之一,存在于货物运输、储存、包装、流通加工和配送等过程中,贯穿于物流作业的始末。移动机器人在物流的装卸搬运作业的应用,直接提高了物流系统的效率和效益。

[0003] 不同的装卸搬运环境和运输物体对移动机器人有不同的要求,甚至有些物流运输方案需要额外的重型基础设施,比如地面地标、自动引导车辆(AGV)的导轨或特定的堆叠存储架。有些方案可能需要人工协助,如剪刀升降机运输物体时需要人工将物体放在运输平台上,叉车运输物体时需要人工提前将物体储存在托盘上。而机械手抓取系统则限制了被提升物体的形状和大小,装卸运输不同的物体就需要不同的机器人。

[0004] 在航空器的制造过程中,有许多零件的铸造需要用到模具,而制造不同规格的零件就需要不同规格的模具,在运输不同规格的模具时需要用到不同的运输机器,如小规格模具用自动引导车辆运输,而大型模具就需要用到叉车来运输。这就会导致运输工具的类型、尺寸较多,管理压力大。若是减少运输机器人的信号,则又会导致一些大型模具难以被有效运输。因此,如何利用同型号运输机器人协同运输大型零部件,成为了需要研究的问题。

发明内容

[0005] 本发明的实施例提供一种基于多机器人的协同移动运输方法及系统,能够通过多个机器人的协同工作关系实现对具有不同抓取运输要求、不同尺寸型号模具的自动搬运和装卸。

[0006] 为达到上述目的,本发明的实施例采用如下技术方案:

[0007] 第一方面,本发明的基于多机器人的协同移动运输系统,所述系统由至少2个机器人组成,在每个机器人上都安装有提升机构S1和旋转平台S2,提升机构S1安装在每个机器人的旋转平台S2上;

[0008] 旋转平台S2包括:移动平台(1)和旋转台(2),移动平台(1)固定在机器人的上表面,旋转台(2)与移动平台(1)通过第一旋转轴连接;

[0009] 提升机构S1包括:两个平行四边形机构、第一末端执行器支架(5)、第二端执行器支架(6)和执行器(7);

[0010] 其中,在每个平行四边形机构中,包括:两个相互平行的连接杆(4)和一个底座(3),所述两个相互平行的连接杆(4)的底端通过第二旋转轴连接底座(3)从而形成底端转动关节,所述两个相互平行的连接杆(4)的顶端通过第三旋转轴连接第一末端执行器支架(5)从而形成顶端转动关节;

[0011] 第一末端执行器支架(5)采用与所述两个平行四边形机构垂直的横梁结构;

[0012] 第二端执行器支架(6)的一端固定在第一末端执行器支架(5)上,另一端与执行器(7)的一侧表面固定连接,执行器(7)的另一侧表面作为与模具接触的接触面。

[0013] 第二方面,本发明的实施例提供的基于多机器人的协同移动运输方法,包括:

[0014] S101、获取根据待运输模具的质量,并确定举起所述待运输模具所需的最大总提升力;

[0015] S102、根据举起所述待运输模具所需的总提升力,确定提起所述待运输模具所需的机器人的数量;

[0016] S103、控制确定数量的机器人靠近所述待运输模具,直至各个机器人的执行器(7)的接触面与所述待运输模具接触,之后控制各个机器人的提升机构S1同步运行并提起所述待运输模具,提起的高度超过机器人的旋转台(2)的高度;

[0017] S104、各个机器人继续朝所述待运输模具移动,直至每个机器人的旋转台(2)的一部分,进入所述待运输模具在地面上的投影中,之后控制各个机器人的提升机构S1同步运行并降下所述待运输模具,直至所述待运输模具与各个机器人的旋转台(2)接触;

[0018] S105、旋转各个机器人的角度,直至所有机器人的运动瞬心一致。

[0019] 本发明实施例提供的基于多机器人的协同移动运输方法及系统,由一组结构相同或相似的机器人组成。通过控制确定数量的机器人靠近所述待运输模具,直至各个机器人的执行器(7)的接触面与所述待运输模具接触,之后控制各个机器人的提升机构S1同步运行并提起所述待运输模具,提起的高度超过机器人的旋转台(2)的高度。各个机器人继续朝所述待运输模具移动,直至每个机器人的旋转台(2)的一部分,进入所述待运输模具在地面上的投影中,之后控制各个机器人的提升机构S1同步运行并降下所述待运输模具,直至所述待运输模具与各个机器人的旋转台(2)接触。从而实现对模具的协同操作和运输。从而通过多个机器人的协同工作关系实现对具有不同抓取运输要求、不同尺寸型号模具的自动搬运和装卸。

附图说明

[0020] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,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。

[0021] 图1为本发明实施例提供的基本提升系统中基于平行四边形机构的方案;

[0022] 图2为本发明实施例提供的机器人尺寸综合分析;

[0023] 图3为本发明实施例提供的机器人轨迹中心确定实例;

[0024] 图4为本发明实施例提供的机器人平行四边形机构的奇异位置实例;

[0025] 图5为本发明实施例提供的两个机器人提升物体实例;

- [0026] 图6为本发明实施例提供的协同操作和运输方法；
[0027] 图7为本发明实施例提供的机器人提升机构约束简图；
[0028] 图8为本发明实施例提供的仿真机器人成功提升40kg物体实例；
[0029] 图9为本发明实施例提供的仿真使用螺旋弹簧提升物体实例；
[0030] 图10为本发明实施例提供的仿真使用互联机制提升物体实例；
[0031] 图11为本发明实施例提供的方法流程示意图。

具体实施方式

[0032] 为使本领域技术人员更好地理解本发明的技术方案，下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细描述。下文中将详细描述本发明的实施方式，所述实施方式的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施方式是示例性的，仅用于解释本发明，而不能解释为对本发明的限制。本技术领域技术人员可以理解，除非特意声明，这里使用的单数形式“一”、“一个”、“所述”和“该”也可包括复数形式。应该进一步理解的是，本发明的说明书中使用的措辞“包括”是指存在所述特征、整数、步骤、操作、元件和/或组件，但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元件、组件和/或它们的组。应该理解，当我们称元件被“连接”或“耦接”到另一元件时，它可以直接连接或耦接到其他元件，或者也可以存在中间元件。此外，这里使用的“连接”或“耦接”可以包括无线连接或耦接。这里使用的措辞“和/或”包括一个或多个相关联的列出项的任一单元和全部组合。本技术领域技术人员可以理解，除非另外定义，这里使用的所有术语（包括技术术语和科学术语）具有与本发明所属领域中的普通技术人员的一般理解相同的意义。还应该理解的是，诸如通用字典中定义的那些术语应该被理解为具有与现有技术的上下文中的意义一致的意义，并且除非像这里一样定义，不会用理想化或过于正式的含义来解释。

[0033] 本实施例的主要设计目的，在于利用移动运输机器人可以协同工作的特点来完成对不同物体的运输，通过多个机器人的协同工作关系组成一个协同机器人系统，并且根据所需要运输的物体的形状和重量来调节所需机器人的数量。因此设计一种可以适应所有抓取运输要求的机器人有很大的意义，不仅可以节约制造或购买机器人的成本，也可以减少在运输不同物体时更换机器人的时间，提高物流运输效率。

[0034] 具体来说，本发明实施例提供一种基于多机器人的协同移动运输系统，如图6所示的，所述系统由至少2个机器人组成，再如图1、8、10所示的，在每个机器人上都安装有提升机构S1和旋转平台S2，提升机构S1安装在每个机器人的旋转平台S2上；

[0035] 具体如图7所示的，旋转平台S2包括：移动平台(1)和旋转台(2)，移动平台(1)固定在机器人的上表面，旋转台(2)与移动平台(1)通过第一旋转轴连接。提升机构S1包括：两个平行四边形机构、第一末端执行器支架(5)、第二末端执行器支架(6)和执行器(7)；其中，在每个平行四边形机构中，包括：两个相互平行的连接杆(4)和一个底座(3)，所述两个相互平行的连接杆(4)的底端通过第二旋转轴连接底座(3)从而形成底端转动关节，其中，转动关节的转动轴穿过底座(3)所述两个相互平行的连接杆(4)的顶端通过第三旋转轴连接第一末端执行器支架(5)从而形成顶端转动关节；

[0036] 第一末端执行器支架(5)采用与所述两个平行四边形机构垂直的横梁结构；第二

端执行器支架(6)的一端固定在第一末端执行器支架(5)上,另一端与执行器(7)的一侧表面固定连接,执行器(7)的另一侧表面作为与模具接触的接触面。

[0037] 本实施例中,短杆(3-1)固定在所述两个平行四边形机构各自的底座(3)之间;短杆(3-1)、所述第二旋转轴、所述第三旋转轴和第一末端执行器支架(5)相互平行。第二末端执行器支架(6)呈梯形,梯形的长边一端与执行器(7)的一侧表面固定连接,梯形的短边一端与第一末端执行器支架(5)固定连接。

[0038] 其中,执行器(7)对物体提供压力和摩擦力以确保物体提升,通过在其上使用附着材料(即刚性接触板),可以最大限度地提高摩擦系数,继而增大协同移动机器人的最大总提升力。连杆部分(8)的作用是连接和带动下方短杆(3-1)和上方末端执行器支架(5)联合运动,使整个平台上方的平行四边形机构能够带动末端执行器(7)进行夹取工作。具体的,执行器(7)的接触面上覆盖刚性接触板,所述刚性接触板的材料为橡胶或有机合成的高分子材料;并在所述刚性接触板的表面附着表面絮丝和耐磨填料,其中,耐磨性高的填料如玻璃纤维等,提高刚性接触板的耐磨性。

[0039] 本实施例中的协同移动运输机器人系统由几个机器人围绕物体组合而成,对任何尺寸的模具具有适应性;协同移动运输机器人在开始运输之前,根据待运输模具的尺寸、结构和质量确定所需机器人的数量;协同移动运输机器人系统计算所需机器人数量、待操纵物体位置等;各机器人独立驱动,依靠提升机构提升、放置待操纵物体;机器人旋转合适的角度,执行移动运输操作。在本实施例中,协同移动运输机器人系统中的机器人需根据机器人个数、接触性质、受力等因素确定该系统提升能力。通过数学推导和计算可得到结论,协同移动运输机器人系统的提升能力与机器人的总数 m 、它们的质量 M 和摩擦系数 μ_p 、 μ_g 有关,并且呈正相关。为增加协同移动机器人的提升能力 $f_{p,t}$,须增加机器人的总数 m_{max} 、它们的质量 M 或摩擦系数 μ_g 和 μ_p 。实际应用中,该协同移动运输机器人系统具有可重构性。所述可重构性,其表现在可以根据单机器人的参与数量,以及在一个或多个单机器人发生故障的情况下,自动修改多机器人的组成。所述可重构性包括:通过定位算法获得机器人配置集,用来确保整个系统(被提升物体和若干单机器人)在不同任务步骤中的稳定性。具体实现上,为了获得更好的稳定性,物体应该放置在机器人身体上运输,或者尽可能靠近机器人身体。使用这种方法,可以确保物体重心位于机器人上方,将重心保持在尽可能低的位置也可以确保在斜坡上移动时有更好的稳定性。

[0040] 本实施例还提供一种基于多机器人的协同移动运输方法,所述方法用于上述多机器人的协同移动运输系统,所述系统包括至少2个机器人,如图6、11所示的,所述方法包括:

[0041] S101、获取根据待运输模具的质量,并确定举起所述待运输模具所需的最大总提升力;

[0042] S102、根据举起所述待运输模具所需的总提升力,确定提起所述待运输模具所需的机器人的数量;

[0043] S103、控制确定数量的机器人靠近所述待运输模具,直至各个机器人的执行器(7)的接触面与所述待运输模具接触,之后控制各个机器人的提升机构S1同步运行并提起所述待运输模具,提起的高度超过机器人的旋转台(2)的高度;其中,各机器人确定待运输物体位置,利用距离传感器将其包围,各机器人正面朝向物体,保证末端执行器可以与物体接触;机器人的驱动力使末端执行器与物体相接触,并在接触面对物体产生集体压力。

[0044] S104、各个机器人继续朝所述待运输模具移动,直至每个机器人的旋转台(2)的一部分,进入所述待运输模具在地面上的投影中,之后控制各个机器人的提升机构S1同步运行并降下所述待运输模具,直至所述待运输模具与各个机器人的旋转台(2)接触;其中,在各机器人的驱动下,末端执行器与物体之间产生压力和摩擦力,由摩擦力作为提升力将物体提升并放置在机器人顶部平台上;

[0045] S105、旋转各个机器人的角度,直至所有机器人的运动瞬心一致。具体的,每个机器人旋转合适的角度,以确保协同移动运输机器人具有唯一的运动瞬心。

[0046] 本实施例中,以如图5所示的受力方式为例,在S101中,确定举起所述待运输模具所需的总提升力包括:

[0047] 确定每个机器人在举起所述待运输模具的过程中提供的最大提升力: $f_{m,p,t} = \mu_p f_{m,p,n} = \mu_p f_{m,p,t} = \mu_p p_p (= \mu_g f_{m,g,n}) = \mu_p (\mu_g Mg)$,其中,作为参数符号的右下角标时,j表示接触性质,其中包括:g表示地面,p表示被操纵物体;k表示力分量,其中包括:n表示法线,t表示切向。 $f_{m,p,n}$ 表示质量为M的机器人在接触点 $C_{m,p}$ 处向所述待运输模具施加的压力, μ_p 表示机器人的执行器(7)的接触面的摩擦系数, μ_g 表示机器人的车轮与地面在接触点 $C_{m,g}$ 的摩擦系数。从而在实际应用中,产生的提升力 $f_{m,p,t}$ 由车轮驱动力提供;

[0048] 根据每个机器人在举起所述待运输模具的过程中提供的最大提升力,计算举起所

述待运输模具所需的总提升力: $f_{p,t} = \sum_{m=1}^{m_{\max}} f_{m,p,t} = m_{\max} \mu_p (\mu_g Mg)$ m_{\max} 表示提起

所述待运输模具所需的机器人的数量。

[0049] 其中,施加在机器人上的力用三个指数 $f_{m,j,k}$ 表示,m为机器人个数,j为接触性质(g为地面,p为被操纵物体),k为力的分量(n为法线,t为切向)。质量为M的机器人可在接触点 $C_{m,p}$ 处向物体施加压力 $f_{m,p,n}$,摩擦系数为 μ_p ,产生的提升力 $f_{m,p,t}$ 由车轮驱动力提供。车轮与

地面在接触点 $C_{m,g}$ 的摩擦系数为 μ_g 。具体的,假设 $\mu_g = \mu_p = 0.5 \Rightarrow f_{p,t} = \frac{Mm_{\max}g}{4}$,那么可以得

出结论:协同移动机器人的提升能力与机器人的总数 m_{\max} 、m表示所需机器人的数量,它们的质量M和摩擦系数 μ_p 、 μ_g 有关,并且呈正相关。为了增加协同移动机器人的提升能力 $f_{p,t}$,必须增加机器人的总数 m_{\max} 、它们的质量M或摩擦系数 μ_g 和 μ_p 。由于运输环境多种多样并且物体可能由不同的材料构成,因此摩擦系数 μ_p 和 μ_g 并不精确,甚至可能是可变的。

[0050] 在本实施例中,通过数学推导和计算确定单机器人尺寸和结构,如图2所示的,包括:,在S103中,机器人的执行器(7)的接触面与所述待运输模具接触后,提升机构S1同步运行并提起所述待运输模具的过程中,提升机构S1同步运行包括各个机器人的提升机构S1伸长;

[0051] 针对每个机器人,在提升机构S1伸长的过程中,实时更新确定平行四边形机构的长杆的两个端点的位置关系;

[0052] 其中可以利用三角形几何关系,长杆的长度与轨迹半径r相等。平行四边形机构中的长杆长度与平行四边形机构的轨迹半径r相等,表示为:

$$[0053] \quad \begin{cases} r = l_{AB} = l_{CD} \\ l_{AD} = l_{BC} \end{cases} \quad (1)$$

[0054] 其中r的可由以下二阶方程解出：

$$[0055] \quad r^2 = (h + r \sin \alpha_0)^2 + (a + b)^2 \quad (2)$$

[0056] 其中,h表示机器人平台到地面的竖直距离, α_0 表示机器人在初始状态下平行四边形机构长边(AB边)与水平线的夹角;a、b分别表示两种可利用三角形几何关系所确定的常数,A、B、C、D分别表示平行四边形的四个角, l_{AB} 、 l_{CD} 、 l_{AD} 、 l_{BC} 分别表示平行四边形机构AB边、CD边、AD边和BC边的长度,其中AB边和CD边为长边,与轨迹半径r相等;短边AD与BC长度相等。

[0057] 具体的,定义平行四边形机构参数,包括:P1:机器人和仍在地面上的物体之间的初始接触点;P2:机器人平台上物体的最终到达位置(该位置要确保机器人平台稳定);P3:末端执行器在经过机器人平台时由间隙 δ_1 和 δ_2 定义的过渡位置,以避免机器人末端执行器和移动平台相碰撞。 G_p :待运输模具的重心; G_m :机器人重心; $C_{m,p}$ 、 $C_{m+1,p}$ 分别为第m号机器人和第m+1号机器人末端执行器的中心与待运输模具的接触处; $C_{m,g}$ 、 $C_{m+1,g}$ 分别为第m号机器人和第m+1号机器人下方车轮与地面的接触点;d为平行四边形结构到机器人平台的竖直距离; γ 为机器人在初始状态下平行四边形机构短边(BC边)与水平线的夹角;c为平行四边形机构最前端到末端执行器的垂直距离; L_1 为P2点到待运输模具的垂直距离。以第m号机器人为例,以车轮与地面的接触点 $C_{m,g}$ 为原点建立直角坐标系, x_m 、 z_m 分别为横、纵坐标,正方向如图2所示,对于机器人机械结构,P2点横坐标应小于原点横坐标,即 $x_{P_2} < x_{C_{m,g}}$ 。

[0058] 进一步的,可以采用如图3所示的方式确定机器人轨迹半径,其中对于公式(2),首先通过直角三角形的几何关系来确定常数a:

[0059] 通过直角三角形的几何关系来确定常数a和常数b,其中:

$$[0060] \quad a = \frac{(l + \delta_1)^2 + (\delta_2)^2}{2(l + \delta_1)} \quad (3)$$

$$[0061] \quad b = \frac{\delta_2(h + r \sin \alpha_0)}{(l + \delta_1)} \quad (4)$$

[0062] 其中, P_1 和 P_2 表示平行四边形机构的长杆的两个端点,l表示 P_2 点到机器人移动平台外侧的水平距离, δ_1 、 δ_2 分别表示P3点到机器人移动平台外侧的水平 and 垂直距离, $\delta_1 > 0$, $\delta_2 > 0$;P3为平行四边形机构以r为半径的活动轨迹上的点;在确定常数a和常数b后,公式(2)可重新表示为一个新的r的二阶式: $m'r^2 + n'r + p' = 0$ (5),并进一步更新r的计算方式,得到:

$$[0063] \quad r' = \frac{-m' + \sqrt{m'^2 - 4n'p'}}{2n'} \quad (9)$$

[0064] 其中, m' 、 n' 、 p' 分别表示公式(5)中r的二次项、一次项系数和常数项。

[0065] 具体的:

$$[0066] \quad m' = -\frac{[(l + \delta_1)^2 + (\delta_2)^2](\delta_2 + 2h) \sin \alpha_0}{(l + \delta_1)^2} \quad (6)$$

$$[0067] \quad n' = \frac{(l + \delta_1)^2 \cos^2 \alpha_0 - \delta_2^2 \sin^2 \alpha_0}{(l + \delta_1)^2} \quad (7)$$

$$[0068] \quad p' = \frac{[(l + \delta_1)^2 + (\delta_2)^2][(l + \delta_1)^2 + (\delta_2)^2 + 4h(\delta_2 + 2h)]}{4(l + \delta_1)^2} \quad (8)$$

[0069] 由公式(6)、(7)、(8)代入公式(5),可计算得到r(用m'、n'、p'表示):

$$[0070] \quad r' = \frac{-m' + \sqrt{m'^2 - 4n'p'}}{2n'} \quad (9)$$

[0071] 确定机器人平行四边形机构长杆两端点之间的位置关系,如图2:P1、P2之间的距离可以用含常数参数的公式表达出来:

$$[0072] \quad L_1 = A' + r \cos \alpha_0 \quad (10)$$

$$[0073] \quad A' = \frac{(l + \delta_1)^2 + (\delta_2)^2 + 2\delta_2(h + r \sin \alpha_0)}{2(l + \delta_1)} \quad (11)$$

[0074] 其中,P1、P2点之间的位置关系为:

$$[0075] \quad \begin{cases} x_{P1} = x_{P2} + L_1 \\ z_{P1} = 0 \\ z_{P2} = h \end{cases} \quad (12)$$

[0076] x_{P1} 表示P₁点横坐标, x_{P2} 表示P₂点横坐标, z_{P1} 表示P₁点纵坐标, z_{P2} 表示P₂点纵坐标。

[0077] 那么A、B点之间的位置关系为:

$$[0078] \quad \begin{cases} x_A = x_{P1} - r \cos \alpha_0 - c \\ z_A = h + d \\ x_B = x_A + r \cos \alpha_0 \\ z_B = z_A + r \sin \alpha_0 \end{cases} \quad (13)$$

[0079] 本实施例中,针对每个机器人,在提升机构S1伸长的过程中,实时计算所述平行四边形机构的奇异位置,并保持所述平行四边形机构规避所述奇异位置;

[0080] 例如图4所示的,为避免平行四边形机构的奇异位置, $\hat{B}AD$ 必须满足角度要求:

$$[0081] \quad \hat{B}AD \in [0, \pi] \quad (14)$$

[0082] 当机构从初始位置运动到最终位置的过程中一直满足上述角度要求时,平行四边形机构就不会出现图4(a)所示的扁平结构。那么就要 γ 选择一个合适的角度来满足公式(14)的要求。

[0083] 在所述奇异位置中,通过 γ 表示法向量 \bar{n} 与水平方向之间的夹角,保持 γ 的取值范围为: $\gamma = \frac{\alpha_0 + \alpha_1}{2} \in [0, \pi - \alpha_1]$ (15),其中,其中 α_0 和 α_1 分别表示连杆AB在两处极限位置时的角度。

例如图4(b)所示, γ 是法向量 \bar{n} 与AB的水平方向 \bar{x} 之间的夹角。为了避免平行四边形结构变平, γ 必须小于 $\pi - \alpha_1$,同时考虑到 $\alpha_0 > 0$,那么可以得出 γ 的取值范围 $\gamma = \frac{\alpha_0 + \alpha_1}{2} \in [0, \pi - \alpha_1]$ 。

[0084] 实际应用中,如图9所示的,在平行四边形机构的A点和B点之间加入刚度适宜的螺旋弹簧进行模拟,初始状态时弹簧处于被压缩状态,螺旋弹簧给末端执行器提供额外的压

力,使其能够稳定夹持物体;当末端执行器将物体提升,螺旋弹簧由于被拉伸而给末端执行器施加拉力,可以用于维持协同移动机器人稳定。使用的螺旋弹簧由于变形而产生法向力,对物体施加了额外的压力,从而保持物体一直被夹持并且保证整体系统稳定性。图9中, α 、 β 分别为平行四边形机构的长边与短边分别与水平线的夹角; ψ 为对角连接的弹簧与竖直方向的夹角; F_{spr} 为弹簧连接后平行四边形机构对弹簧施加的力; $F_{spr,t}$ 为 F_{spr} 在竖直方向上的分量;

[0085] 本实施例可以通过实验来验证可实施性,例如可以使用多体动力学仿真软件ADAMS进行动力学仿真,展示协同移动运输机器人系统提升物体的过程,验证和说明不同参数对协同移动机器人提升能力的影响。

[0086] 仿真中参数的设置均与实际物理参数相等或接近,参数设置如下:末端执行器与物体(橡胶/钢)的静摩擦系数 $\mu_p=0.65$;车轮与地面(橡胶/沥青)的静摩擦系数 $\mu_g=0.8$;单机器人质量 $M\geq 80\text{kg}$;

[0087] 在单机器人车轮上施加恒定扭矩,驱动移动机器人向前移动,并确保机器人末端执行器与有效载荷之间的接触,提供对物体的压力和提升力。对使用被动提升机构的协同移动运输机器人进行动力学仿真,模拟协同移动运输机器人提升物体并将其放置在单机器人顶部平台的运动过程,图8展示了在物体和末端执行器之间具有高摩擦接触的情况下,机器人成功提升质量为40kg的物体的运动过程。对使用对角螺旋弹簧机构的协同移动机器人进行动力学仿真。图9介绍了在平行四边形机构的A点和B点之间加入螺旋弹簧进行模拟的原理:初始状态时弹簧处于被压缩状态,螺旋弹簧给末端执行器提供额外的压力,使其能够稳定夹持物体;当末端执行器将物体提升,螺旋弹簧由于被拉伸而给末端执行器施加拉力,可以用于维持协同移动运输机器人稳定。将弹簧尖端连接到平行四边形的对角上,是为了不给杆施加额外的压力而导致连接杆弯曲。

[0088] 对使用互连机制的协同移动运输机器人仿真,互连机制就是让单机器人末端执行器通过虚拟系统相互连接。如图10,单机器人之间使用互连系统连接可以确保物体在不同阶段都能够被夹紧,而且不用考虑物体会发生滑动的风险。与此同时,使用互连机制,单机器人完全有能力提升有效载荷并将其放在其顶部平台上,并且有较好的稳定性。该情况下,协同移动机器人提升物体的能力仅受限于操纵机构未启动时单机器人施加的驱动力。在给平行四边形机构施加驱动力的情况下,单机器人能够提升物体的质量可以达到所用单机器人的总重量。

[0089] 本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其,对于设备实施例而言,由于其基本相似于方法实施例,所以描述得比较简单,相关之处参见方法实施例的部分说明即可。以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明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发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

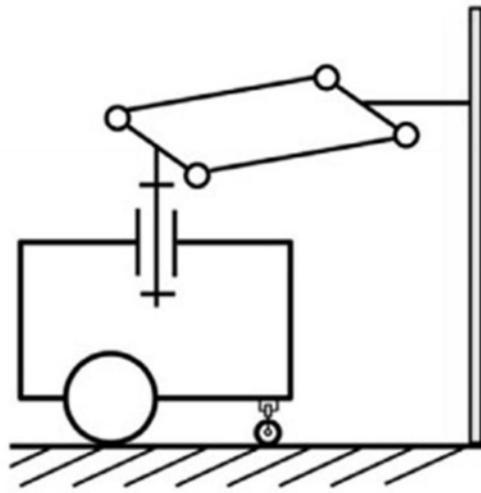


图1

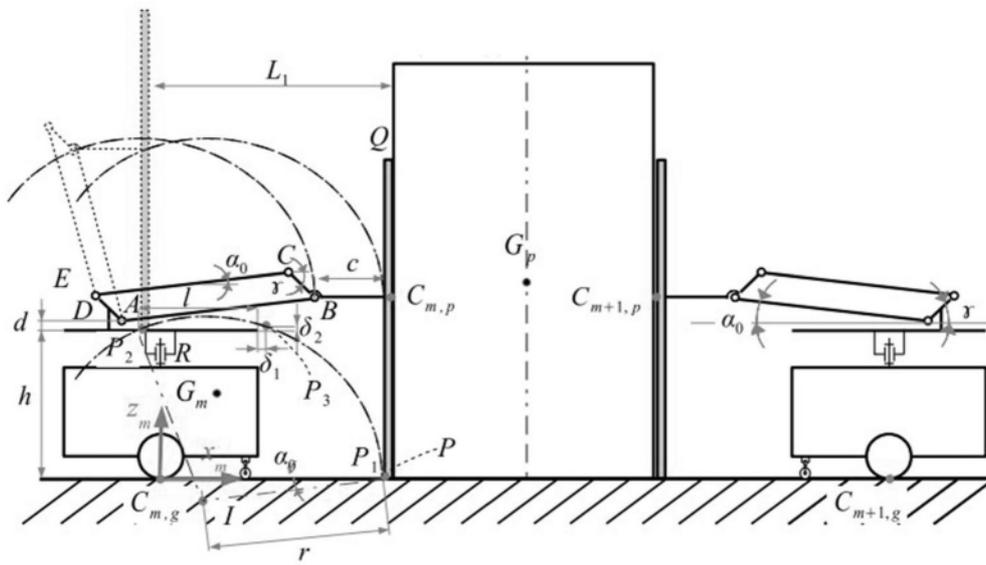


图2

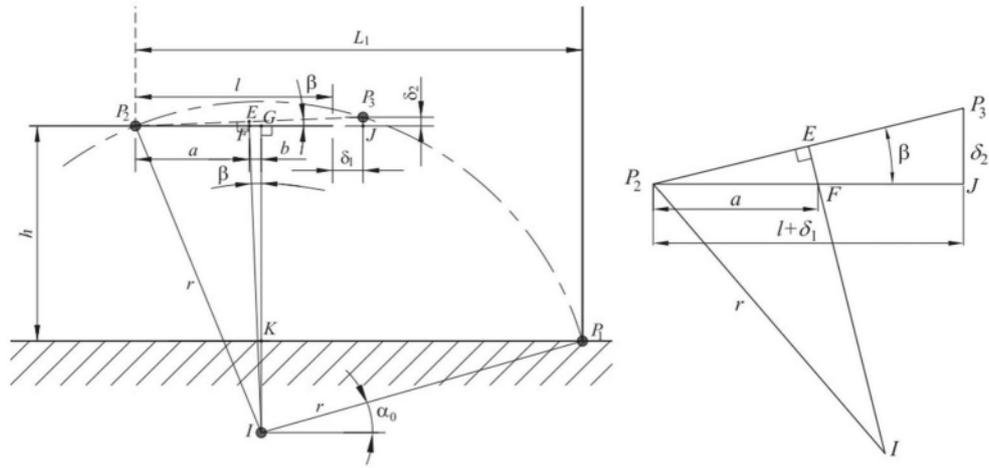


图3

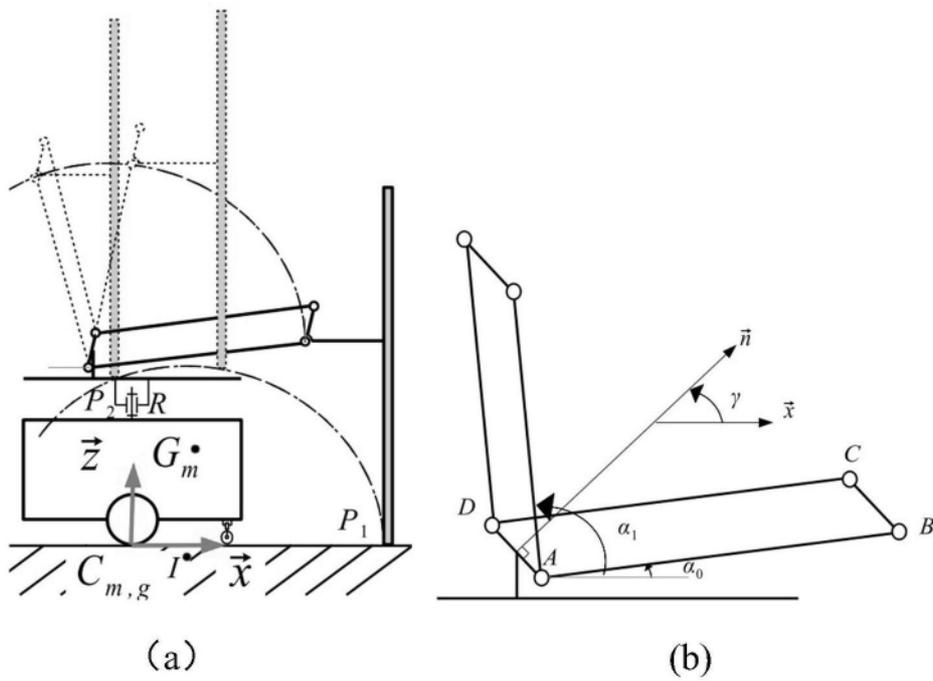


图4

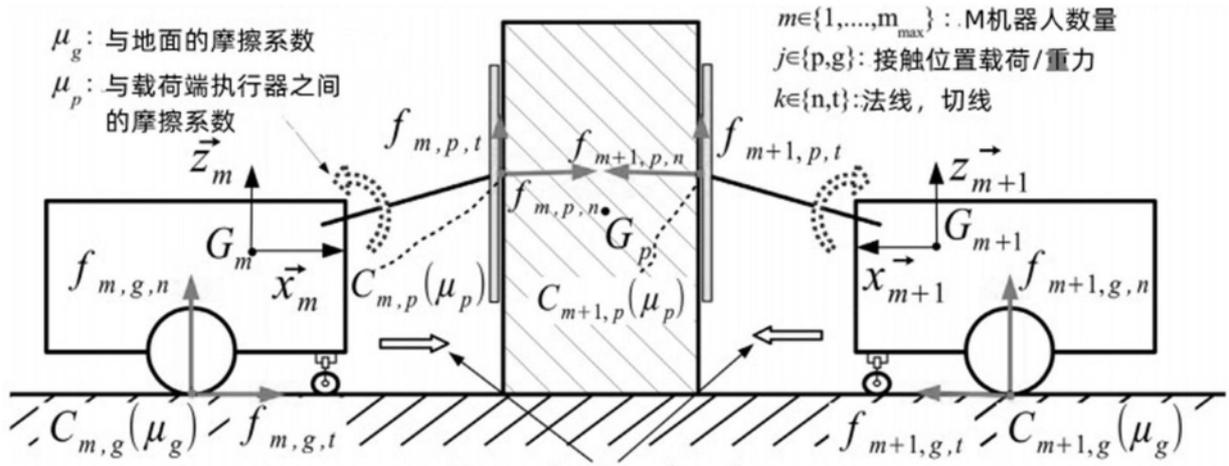


图5

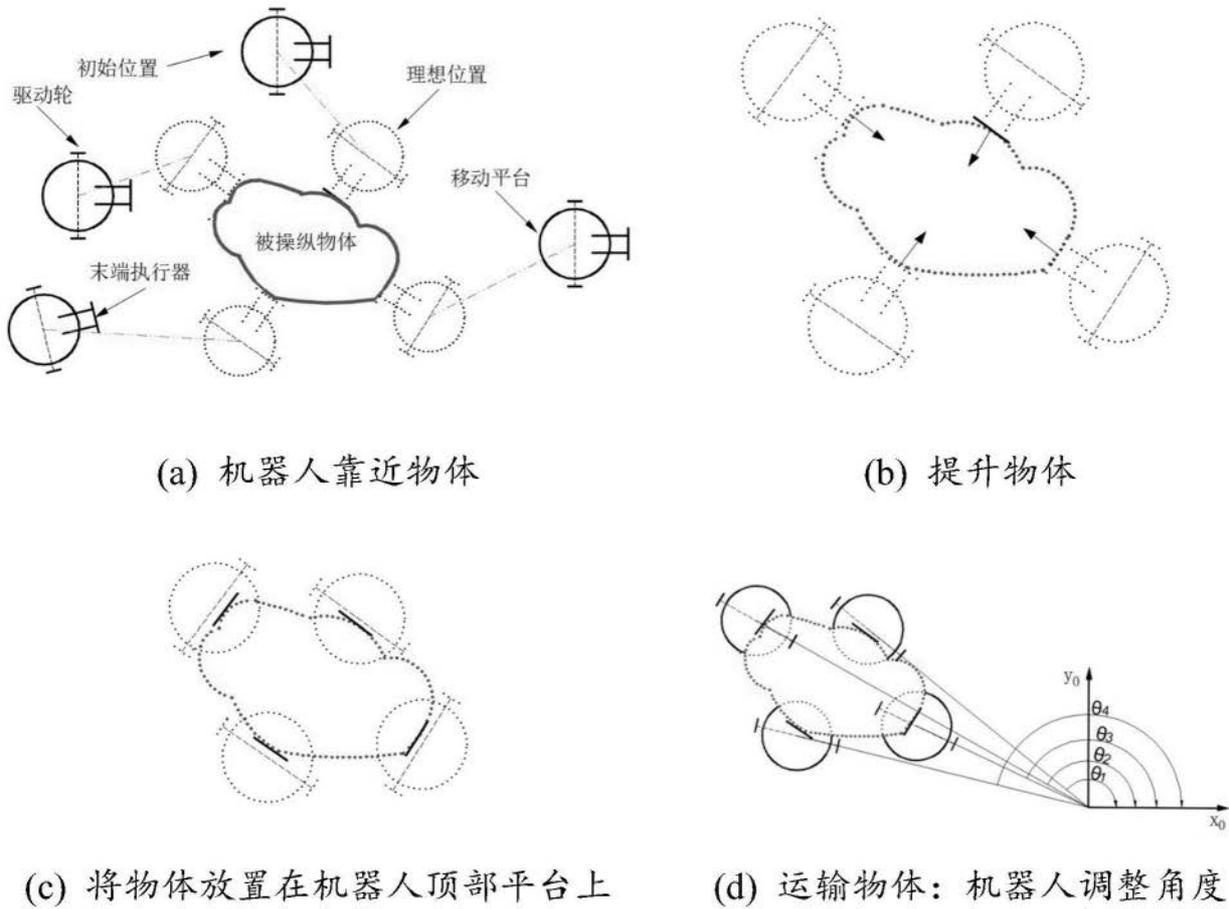


图6

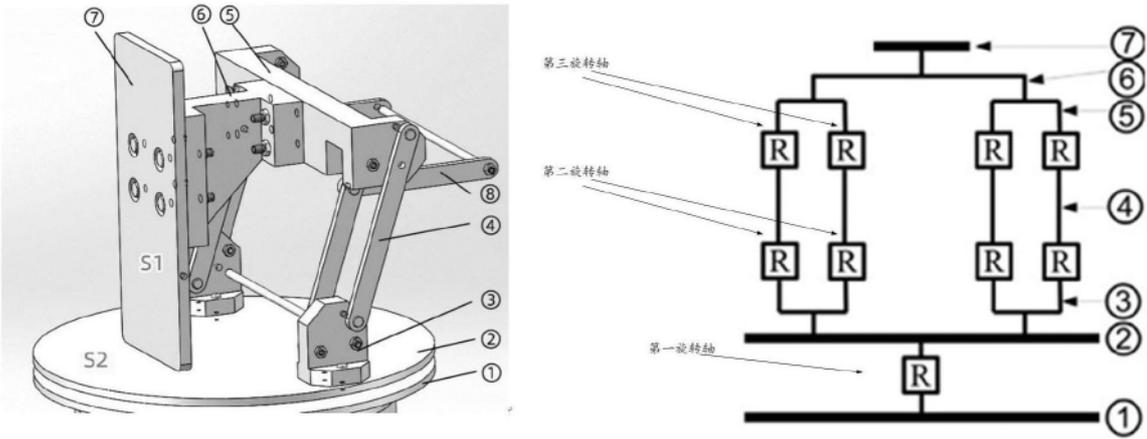


图7

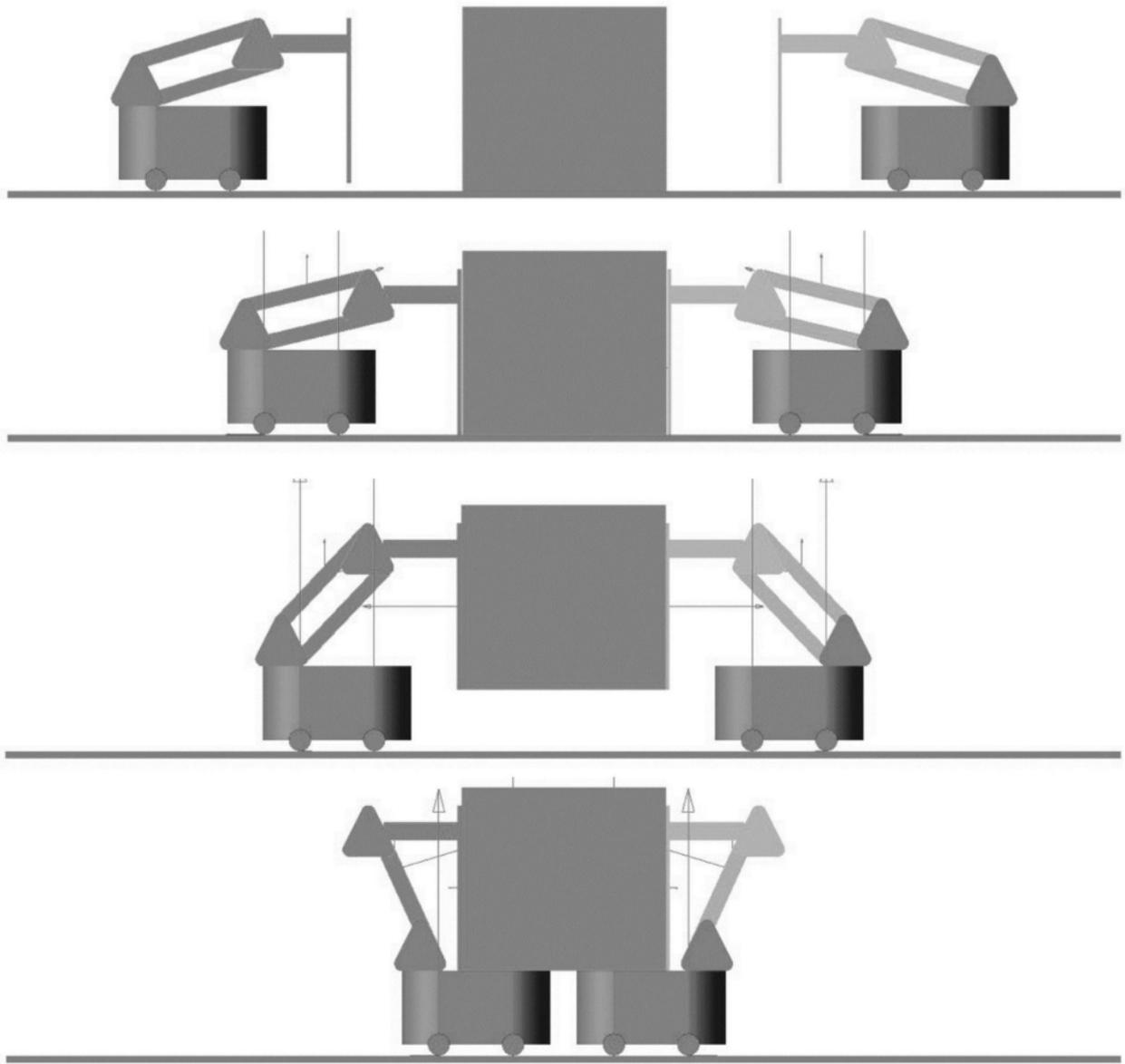


图8

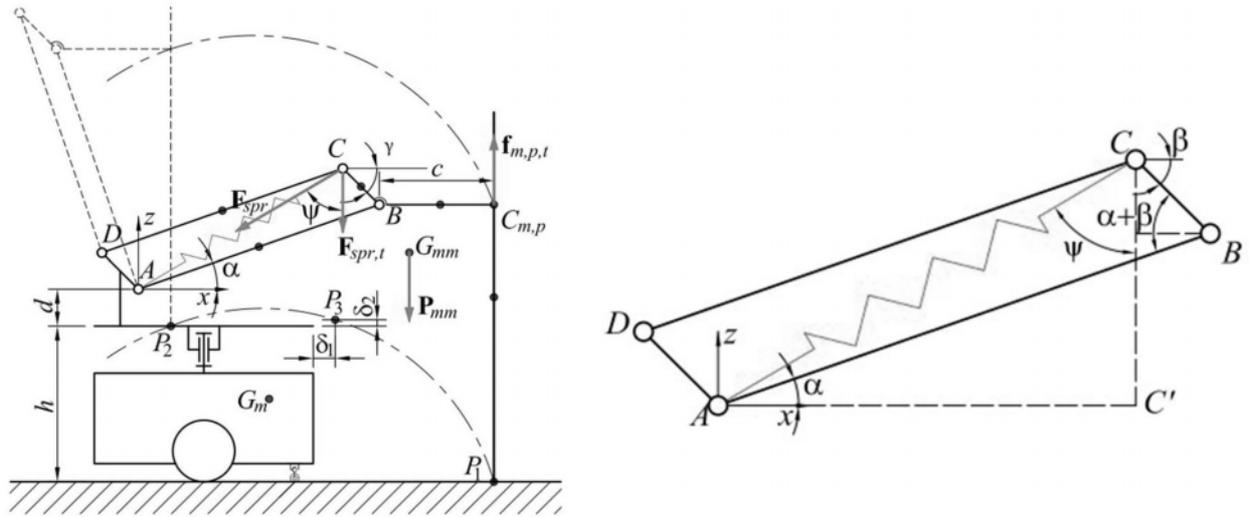


图9

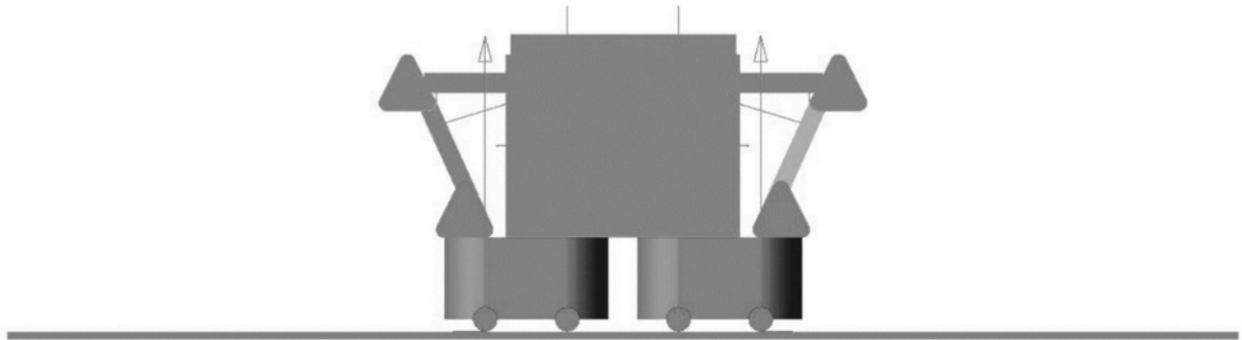


图10

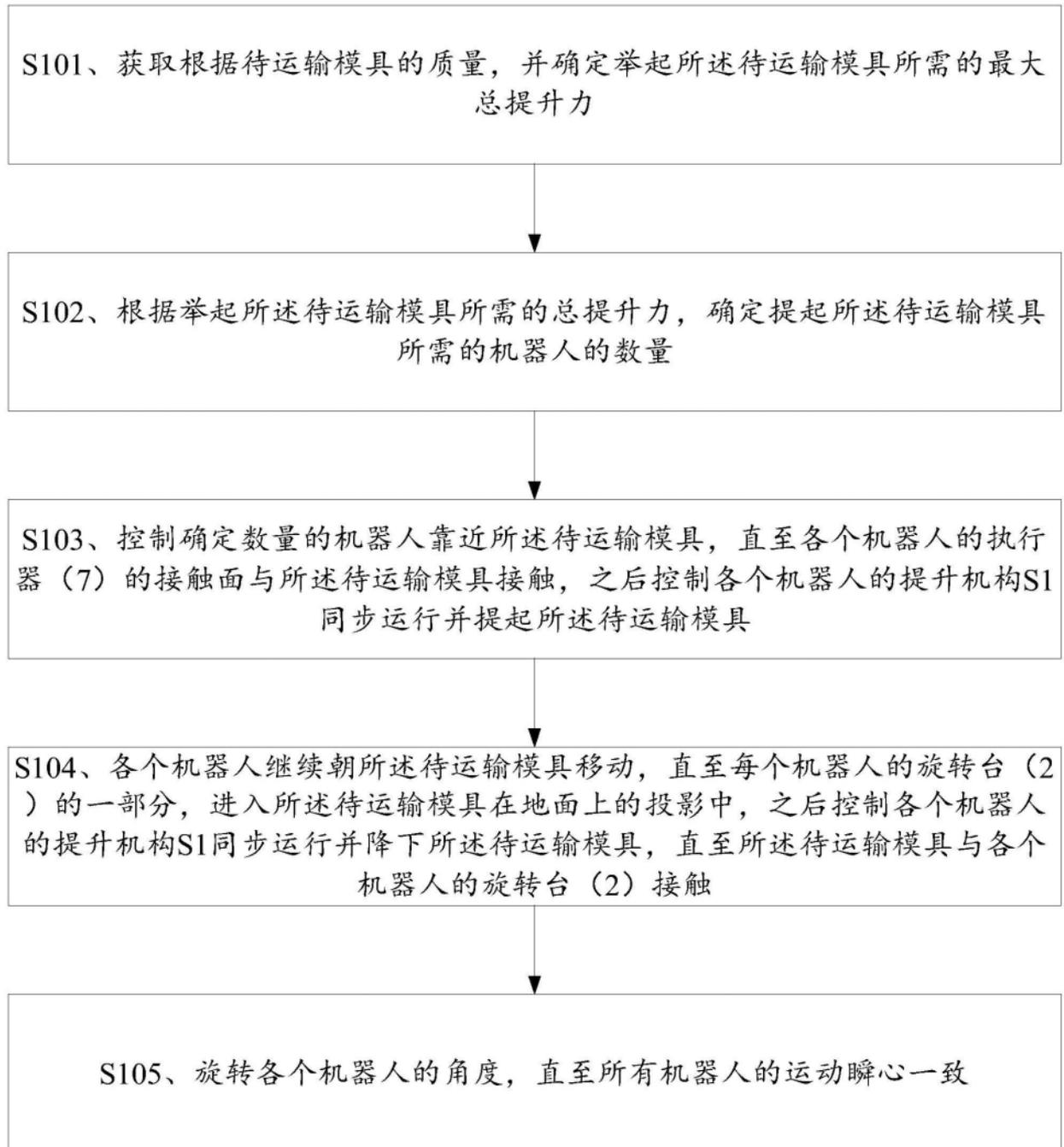


图11