

(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



(10) 国际公布号

WO 2022/247170 A1

(43) 国际公布日

2022 年 12 月 1 日 (01.12.2022)

(51) 国际专利分类号:

B25J 9/16 (2006.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2021/131677

(22) 国际申请日:

2021 年 11 月 19 日 (19.11.2021)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(30) 优先权:

202110579167.8 2021 年 5 月 26 日 (26.05.2021) 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: 谢岩 (XIE, Yan); 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

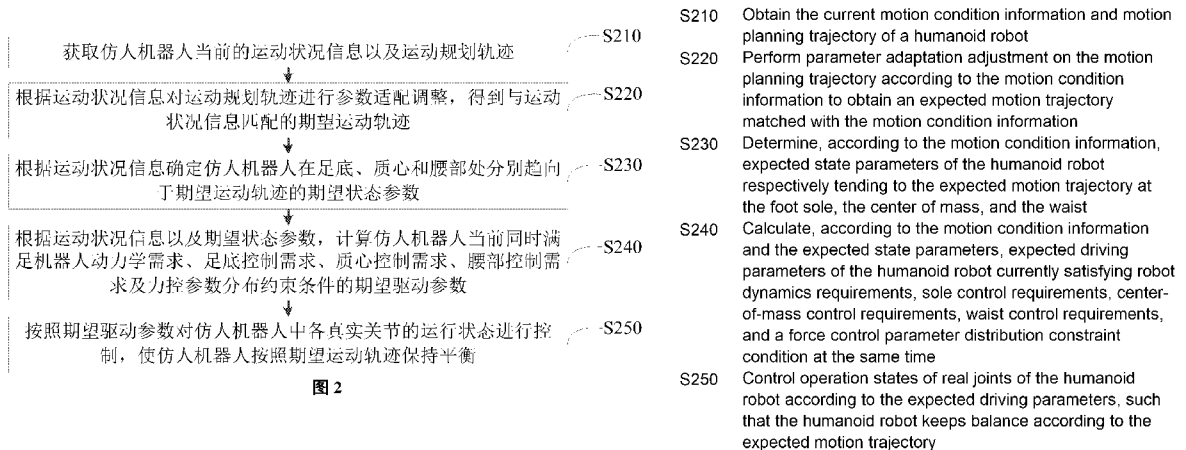
(XIONG, Youjun); 中国广东省深圳市南山区学苑大道 1001 号南山智园 C1 栋 16、22 楼, Guangdong 518000 (CN)。

(74) 代理人: 北京超凡宏宇专利代理事务所 (特殊普通合伙) (CHOFN INTELLECTUAL PROPERTY); 中国北京市海淀区北四环西路 68 号左岸工社 12 层 1215-1218 室, Beijing 100080 (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, 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,

(54) Title: ROBOT BALANCE CONTROL METHOD AND APPARATUS, AND ROBOT CONTROL DEVICE AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 机器人平衡控制方法、装置、机器人控制设备及存储介质



(57) Abstract: A robot balance control method, comprising obtaining the current motion condition information and motion planning trajectory of a humanoid robot; performing parameter adaptation adjustment on the motion planning trajectory according to the motion condition information to obtain an expected motion trajectory matched with the motion condition information; determining, according to the motion condition information, expected state parameters of the humanoid robot respectively tending to the expected motion trajectory at the foot sole, the center of mass, and the waist; calculating, according to the motion condition information and the expected state parameters, expected driving parameters of the humanoid robot currently satisfying robot dynamics requirements, sole control requirements, center-of-mass control requirements, waist control requirements, and a force control parameter distribution constraint condition at the same time; and controlling operation states of real joints of the humanoid robot according to the expected driving parameters, such that the humanoid robot keeps balance according to the expected motion trajectory. The method can implement real-time correction of the motion planning trajectory, reduce motion balance interference of an environment, achieve the expected motion balance effect, and improve the operation safety of the robot. In addition, a corresponding apparatus, a robot control device, and a storage medium are further comprised.

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: 一种机器人平衡控制方法, 包括获取仿人机器人当前的运动状况信息以及运动规划轨迹; 根据所述运动状况信息对所述运动规划轨迹进行参数适配调整, 得到与所述运动状况信息匹配的期望运动轨迹; 根据所述运动状况信息确定所述仿人机器人在足底、质心和腰部处分别趋向于所述期望运动轨迹的期望状态参数; 根据所述运动状况信息以及所述期望状态参数, 计算所述仿人机器人当前同时满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束条件的期望驱动参数; 按照所述期望驱动参数对所述仿人机器人中各真实关节的运行状态进行控制, 使所述仿人机器人按照所述期望运动轨迹保持平衡。该方法可以实现运动规划轨迹的实时修正, 降低环境的运动平衡干扰, 实现预期运动平衡效果, 提升机器人运行安全性。此外还包括相应的装置、机器人控制设备及存储介质。

机器人平衡控制方法、装置、机器人控制设备及存储介质

相关申请的交叉引用

本申请要求于 2021 年 5 月 26 日提交中国专利局的申请号为 202110579167.8、名称
5 为“机器人平衡控制方法、装置、机器人控制设备及存储介质”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

本申请涉及机器人控制技术领域，具体而言，涉及一种机器人平衡控制方法、装置、
10 机器人控制设备及存储介质。

背景技术

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得到了各行各业的广泛重视，其中仿人机器人便是现有机器人技术的一项重要研究分支。而对仿人机器人而言，仿人机器人实现自身的行走和操作能力的前提是自身能够在复杂环境中
15 保持平衡，仿人机器人的平衡控制能力是制约仿人机器人走向实用的关键问题。

申请内容

有鉴于此，本申请的目的包括提供一种机器人平衡控制方法、装置、机器人控制设备及存储介质，能够根据机器人真实运动状况对机器人运动规划轨迹进行实时修正，降低机器人所处环境对仿人机器人的运动平衡干扰，并使仿人机器人的机体动作在实现
20 预期运动平衡效果的同时符合机器人运动规律，提升机器人运行安全性。

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平衡控制方法，所述方法包括：

获取仿人机器人当前的运动状况信息以及运动规划轨迹；

根据所述运动状况信息对所述运动规划轨迹进行参数适配调整，得到与所述运动状况信息匹配的期望运动轨迹；
25

根据所述运动状况信息确定所述仿人机器人在足底、质心和腰部处分别趋向于所述期望运动轨迹的期望状态参数；

根据所述运动状况信息以及所述期望状态参数，计算所述仿人机器人当前同时满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束
30 条件的期望驱动参数；

按照所述期望驱动参数对所述仿人机器人中各真实关节的运行状态进行控制,使所述仿人机器人按照所述期望运动轨迹保持平衡。

在可选的实施方式中,所述根据所述运动状况信息对所述运动规划轨迹进行参数适配调整,得到与所述运动状况信息匹配的期望运动轨迹的步骤,包括:

5 根据所述运动状况信息中的双足足底受力数据计算所述仿人机器人双足当前各自的零力矩点位置;

判断所述仿人机器人双足各自的零力矩点位置是否处于对应足底支撑域范围内;

针对所述仿人机器人的零力矩点位置处于对应足底支撑域范围内的足部,采用所述运动状况信息中与该足部对应的足底位姿及足底速度,对该足部在所述运动规划轨迹中的足底规划位姿及足底规划速度进行匹配式替换,得到该足部在所述期望运动轨迹中的足底期望位姿及足底期望速度;

针对所述仿人机器人的零力矩点位置未处于对应足底支撑域范围内的足部,直接将该足部在所述运动规划轨迹中的足底规划位姿及足底规划速度,分别作为该足部在所述期望运动轨迹中的足底期望位姿及足底期望速度;

15 采用所述仿人机器人双足的足底期望位姿对所述运动规划轨迹中的质心规划位姿进行参数更新,得到所述期望运动轨迹中的质心期望位姿;

采用所述仿人机器人双足的足底期望速度对所述运动规划轨迹中的质心规划速度进行参数更新,得到所述期望运动轨迹中的质心期望速度;

20 将所述运动规划轨迹中的腰部规划位姿与腰部规划速度分别置为零,得到所述期望运动轨迹中的腰部期望位姿及腰部期望速度;

采用所述仿人机器人的重力对所述运动规划轨迹中的双足各自的规划足底力参数进行参数更新,得到所述期望运动轨迹中的双足各自的期望足底力参数。

25 在可选的实施方式中,所述期望状态参数包括足底的期望加速度、质心的期望线动力及腰部的期望加速度,所述运动规划轨迹包括足底、质心和腰部各自对应的规划状态参数,所述规划状态参数包括足底的规划加速度、质心的规划线动力及腰部的规划加速度,所述运动状况信息包括足底、质心和腰部各自的实际位姿及实际速度,所述根据所述运动状况信息确定所述仿人机器人在足底、质心和腰部处分别趋向于所述期望运动轨迹的期望状态参数的步骤,包括:

针对足底、质心和腰部中的每项平衡需求部位，将该平衡需求部位的期望位姿与实际位姿进行减法运算，并将该平衡需求部位的期望速度与实际速度进行减法运算，得到对应的位姿差异值及速度差异值；

5 在得到的位姿差异值与速度差异值中选取与该平衡需求部位的运动控制函数匹配的
差异参数值；

将该平衡需求部位所对应的规划状态参数及选取的差异参数值代入该平衡需求部位的运动控制函数中进行参数计算，得到该平衡需求部位的期望状态参数。

10 在可选的实施方式中，所述力控参数分布约束条件包括关节力矩分布约束条件及足底力参数分布约束条件，所述根据所述运动状况信息以及所述期望状态参数，计算所述仿人机器人当前同时满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束条件的期望驱动参数的步骤，包括：

在第一零空间内将所述运动状况信息代入到所述机器人动力学需求所对应的浮动基动力学方程以及所述关节力矩分布约束条件所对应的关节力矩不等式中针对待优化驱动参数进行凸二次规划问题求解，得到处于所述第一零空间下的第一优化驱动参数；

15 根据所述第一零空间的零空间投影矩阵、第二零空间的第一自由向量以及所述第一优化驱动参数，计算所述第二零空间的第一待递归驱动参数；

20 在所述第二零空间内将所述第一待递归驱动参数代入与所述足底控制需求对应的第一关联关系表达式、所述关节力矩不等式及所述足底力参数分布约束条件所对应的足底力参数不等式组中进行凸二次规划问题求解，得到处于所述第二零空间下的第二优化驱动参数，其中所述第一关联关系表达式用于表示待优化驱动参数与足底的期望状态参数之间的关联关系；

根据所述第二零空间的零空间投影矩阵、第三零空间的第二自由向量以及所述第二优化驱动参数，计算所述第三零空间的第二待递归驱动参数；

25 在所述第三零空间内将所述第二待递归驱动参数代入与所述质心控制需求对应的第二关联关系表达式、所述关节力矩不等式及所述足底力参数不等式组中进行凸二次规划问题求解，得到处于所述第三零空间下的第三优化驱动参数，其中所述第二关联关系表达式用于表示待优化驱动参数与质心的期望状态参数之间的关联关系；

根据所述第三零空间的零空间投影矩阵、第四零空间的第三自由向量以及所述第三优化驱动参数，计算所述第四零空间的第三待递归驱动参数；

在所述第四零空间内将所述第三待递归驱动参数代入与所述腰部控制需求对应的第三关联关系表达式、与所述足底控制需求对应的期望足底力参数趋向等式、所述关节力矩不等式及所述足底力参数不等式组中进行凸二次规划问题求解，得到处于所述第四零空间下的可作为所述期望驱动参数的待输出驱动参数，其中所述第二关联关系表达式

5 用于表示待优化驱动参数与腰部的期望状态参数之间的关联关系。

在可选的实施方式中，所述根据所述运动状况信息以及所述期望状态参数，计算所述仿人机器人当前同时满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束条件的期望驱动参数的步骤，还包括：

若所述第一零空间、所述第二零空间、所述第三零空间及所述第四零空间各自对应的凸二次规划问题均求解成功，并且凸二次规划问题的求解总耗时小于当前控制周期所对应的周期时长，则直接将求解出的处于所述第四零空间下的待输出驱动参数作为所述期望驱动参数；

10

若所述第一零空间、所述第二零空间、所述第三零空间及所述第四零空间中任一零空间的凸二次规划问题求解失败，或者所述第一零空间、所述第二零空间、所述第三零空间及所述第四零空间所对应的凸二次规划问题的求解总耗时大于当前控制周期所对应的周期时长，则将所述仿人机器人在当前控制周期的上一控制周期下对应的已使用驱动参数作为所述期望驱动参数。

15

在可选的实施方式中，所述关节力矩不等式的表达式如下所示：

$$\left[\boldsymbol{\tau}_{\min} - \boldsymbol{S}_a (\boldsymbol{C} + \boldsymbol{G}) \right] \leq \boldsymbol{S}_a \boldsymbol{M} \ddot{\boldsymbol{q}} - \boldsymbol{S}_a \boldsymbol{J}^T \boldsymbol{F} \leq \left[\boldsymbol{\tau}_{\max} - \boldsymbol{S}_a (\boldsymbol{C} + \boldsymbol{G}) \right]$$

其中， $\boldsymbol{\tau}_{\min}$ 用于表示仿人机器人的关节力矩下限边界， $\boldsymbol{\tau}_{\max}$ 用于表示仿人机器人的关节力矩上限边界， $\boldsymbol{S}_a$ 用于表示仿人机器人的可驱动关节选择矩阵， $\boldsymbol{M}$ 用于表示仿人机器人当前的惯量矩阵， $\boldsymbol{G}$ 用于表示仿人机器人当前的重力矩阵， $\boldsymbol{C}$ 用于表示仿人机器人当前的由离心力和科里奥利力产生的非线性矩阵， $\boldsymbol{J}$ 用于表示仿人机器人当前足底力作用点的雅可比矩阵， $\ddot{\boldsymbol{q}}$ 用于表示所述待优化驱动参数所包括的各关节角加速度， $\boldsymbol{F}$

20

25 用于表示所述待优化驱动参数所包括的足底力参数。

在可选的实施方式中，所述足底力参数不等式组的表达式如下所示：

$$\left\{ \begin{array}{l} |F_x| \leq \frac{\sqrt{2}}{2} \mu F_z \\ |F_y| \leq \frac{\sqrt{2}}{2} \mu F_z \\ F_z \geq 0 \\ d_{x,\min} \leq \frac{-\tau_y}{F_z} \leq d_{x,\max} \\ d_{y,\min} \leq \frac{\tau_x}{F_z} \leq d_{y,\max} \end{array} \right.$$

其中， F_z 用于表示待优化驱动参数所包括的足底力参数中的足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 Z 轴方向上的分量， F_x 用于表示待优化驱动参数所包括的足底力参数中的足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 X 轴方向上的分量， F_y 用于表示待优化驱动参数所包括的足底力参数中的足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 Y 轴方向上的分量， τ_y 用于表示待优化驱动参数所包括的足底力参数中的足底力矩矢量在笛卡尔坐标系下的 Y 轴方向上的分量， τ_x 用于表示待优化驱动参数所包括的足底力参数中的足底力矩矢量在笛卡尔坐标系下的 X 轴方向上的分量， $d_{x,\min}$ 用于表示足底支撑域在笛卡尔坐标系下的 X 轴方向上的下限边界， $d_{x,\max}$ 用于表示足底支撑域在笛卡尔坐标系下的 X 轴方向上的上限边界， $d_{y,\min}$ 用于表示足底支撑域在笛卡尔坐标系下的 Y 轴方向上的下限边界， $d_{y,\max}$ 用于表示足底支撑域在笛卡尔坐标系下的 Y 轴方向上的上限边界， μ 用于表示仿人机器人足底与足底支撑面之间的摩擦力系数。

第二方面，本申请提供一种机器人平衡控制装置，所述装置包括：

运动数据获取模块，用于获取仿人机器人当前的运动状况信息以及运动规划轨迹；

15 轨迹修正适配模块，用于根据所述运动状况信息对所述运动规划轨迹进行参数适配调整，得到与所述运动状况信息匹配的期望运动轨迹；

期望状态确定模块，用于根据所述运动状况信息确定所述仿人机器人在足底、质心和腰部处分别趋向于所述期望运动轨迹的期望状态参数；

期望驱动计算模块，用于根据所述运动状况信息以及所述期望状态参数，计算所述
20 仿人机器人当前同时满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制

需求及力控参数分布约束条件的期望驱动参数；

关节平衡控制模块，用于按照所述期望驱动参数对所述仿人机器人中各真实关节的运行状态进行控制，使所述仿人机器人按照所述期望运动轨迹保持平衡。

第三方面，本申请提供一种机器人控制设备，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，实现前述实施方式中任意一项所述的机器人平衡控制方法。

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平衡控制方法。

在此情况下，本申请实施例的有益效果包括以下内容：

本申请在获取到仿人机器人当前的运动状况信息以及运动规划轨迹后，会对运动规划轨迹进行参数适配调整，得到与运动状况信息匹配的期望运动轨迹，而后根据运动状况信息确定仿人机器人在足底、质心和腰部处分别趋向于所述期望运动轨迹的期望状态参数，并根据运动状况信息以及期望状态参数，计算仿人机器人当前同时满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束条件的期望驱动参数，接着按照得到的期望驱动参数对仿人机器人中各真实关节的运行状态进行控制，从而在根据机器人真实运动状况对机器人运动规划轨迹进行实时修正，降低机器人所处环境对仿人机器人的运动平衡干扰的基础上，确保仿人机器人的机体动作在实现预期运动平衡效果的同时符合机器人运动规律，提升机器人运行安全性。

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

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机器人控制设备的组成示意图；

图 2 为本申请实施例提供的机器人平衡控制方法的流程示意图；

图 3 为图 2 中的步骤 S220 包括的子步骤的流程示意图；

图 4 为图 2 中的步骤 S230 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之一；

图 6 为图 2 中的步骤 S240 包括的子步骤的流程示意图之二；

5 图 7 为本申请实施例提供的机器人平衡控制装置的组成示意图。

图标：10-机器人控制设备；11-存储器；12-处理器；13-通信单元；14-传感单元；
100-机器人平衡控制装置；110-运动数据获取模块；120-轨迹修正适配模块；130-期望
状态确定模块；140-期望驱动计算模块；150-关节平衡控制模块。

具体实施方式

10 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。

15 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。

20 在本申请的描述中，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
25 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。

申请人通过辛苦调研发现，现有的机器人平衡控制方案是将整体的平衡控制任务按系统组成划分为多个控制子任务（例如，地面作用力控制、动量控制、全身动力学控制等），而后使用零空间投影的方法对各控制子任务进行解耦，使低优先级控制子任务处于高优先级控制子任务的零空间内，从而确保低优先级控制子任务不影响高优先级控制子任务的执行，从而避免多个控制子任务之间的控制干扰。但这种机器人平衡控制方案并未考虑机器人所处环境（例如，晃动或颠簸的足底支撑面）对各控制子任务的干扰影响，同时也并未考虑机器人本身的运行安全限制，导致最终输出的控制结果往往并不能达到预期运动平衡效果。

在此情况下，为确保仿人机器人能够结合真实运动状况对机器人运动规划轨迹进行实时修正，降低机器人所处环境对仿人机器人的运动平衡干扰，并确保仿人机器人的机体动作在实现预期运动平衡效果的同时符合机器人运动规律，提升机器人运行安全性。本申请实施例通过提供一种机器人平衡控制方法、装置、机器人控制设备及存储介质实现前述目的。

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机器人控制设备 10 的组成示意图。在本申请实施例中，所述机器人控制设备 10 用于对仿人机器人的运动状况进行调控，以通过对仿人机器人的运动规划轨迹进行实时修正，使修正后的规划轨迹与仿人机器人的真实运动状况相匹配，降低机器人所处环境对仿人机器人的运动平衡干扰，并通过调节关节运行状态确保仿人机器人的机体动作在实现预期运动平衡效果的同时符合机器人运动规律，提升机器人运行安全性。其中，所述机器人控制设备 10 可以与仿人机器人远程通信连接，也可以与所述仿人机器人集成在一起。

在本申请实施例中，所述仿人机器人可以包括机器人上身、髋关节驱动结构及两个机械腿结构，两个机械腿结构分别位于所述髋关节驱动结构两侧，并与该髋关节驱动结构连接，所述机器人上身与所述髋关节驱动结构连接，且所述髋关节驱动结构与所述机器人上身连接的位置处于两个机械腿结构之间。所述髋关节驱动结构的与每个机械腿结构连接的位置处可均设置有两个相互正交的可旋转驱动结构，用以实现两个机械腿结构

之间的位置交替变换，而每个机械腿结构的膝关节处设置有一个可旋转驱动结构，用于实现对应机械腿结构的屈膝操作。

在本实施例中，所述机器人控制设备 10 可以包括机器人平衡控制装置 100、存储器 11、处理器 12、通信单元 13 及传感单元 14。所述存储器 11、所述处理器 12、所述通信单元 13 及所述传感单元 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 及所述传感单元 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。

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机器人控制设备 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，所述机器人控制设备 10 可以通过所述通信单元 13 从作业规划设备处获取针对所述仿人机器人的运动规划轨迹，并通过所述通信单元 13 向所述仿人机器人发送运动控制指令，使所述仿人机器人按照所述运动控制指令进行运动。其中，所述运动规划轨迹为与所述仿人机器人对应的预先规划好的运动轨迹。

在本实施例中，所述传感单元 14 用于对仿人机器人的运动状况信息进行感知，比如对仿人机器人在各个关节（包括机器人的各真实关节以及用于描述机器人腰部空间位

姿的各虚拟关节)处的实际角速度进行监测,对仿人机器人的双足足底处的用于表示真实足底力参数数值的足底受力数据进行监测,并对仿人机器人的各个形体部位(例如,腰部、足底及质心)的实际位姿及实际速度进行监测。

在本实施例中,所述机器人平衡控制装置 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 中或者在所述机器人控制设备 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,例如所述机器人平衡控制装置 100 所包括的软件功能模块及计算机程序等。所述机器人平衡控制装置 100 能够根据机器人真实运动状况对机器人运动规划轨迹进行实时修正,降低机器人所处环境对仿人机器人的运动平衡干扰,并确保仿人机器人的机体动作在实现预期运动平衡效果的同时符合机器人运动规律,提升机器人运行安全性。

可以理解的是,图 1 所示的框图仅为所述机器人控制设备 10 的一种组成示意图,所述机器人控制设备 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,为确保所述机器人控制设备 10 能够根据机器人真实运动状况对机器人运动规划轨迹进行实时修正,并确保仿人机器人的机体动作在实现预期运动平衡效果的同时符合机器人运动规律,提升机器人运行安全性,本申请通过提供应用于上述机器人控制设备 10 的机器人平衡控制方法实现前述功能。下面对本申请实施例提供的机器人平衡控制方法进行相应描述。

请参照图 2,图 2 是本申请实施例提供的机器人平衡控制方法的流程示意图。在本实施例中,图 2 所示的机器人平衡控制方法的如下文所示。

步骤 S210,获取仿人机器人当前的运动状况信息以及运动规划轨迹。

在本实施例中,当所述机器人控制设备 10 控制所述仿人机器人进行运动时,会确定所述仿人机器人当前与足底支撑面接触的用于支撑所述仿人机器人保持站立状态的支撑腿,而后将与该支撑腿接触的支撑面作用点作为世界坐标系的原点,建立笛卡尔坐标系来对该仿人机器人的运动情况进行描述。其中,建立出的笛卡尔坐标系下的 X 轴正方向通常表示所述仿人机器人的前进方向,笛卡尔坐标系下的 Z 轴正方向垂直于足底支撑面向上。由此,所述机器人控制设备 10 可通过所述传感单元 14 对所述仿人机器人当前在笛卡尔坐标系下对应的运动状况信息进行探测。

其中，所述运动状况信息可以包括仿人机器人双足足底受力数据（包括真实足底力矢量及真实足底力矩矢量）、仿人机器人当前在足底、质心和腰部处的实际位姿及实际速度、仿人机器人在各个关节（包括机器人的各真实关节以及用于描述机器人腰部空间位姿的各虚拟关节）处的实际角速度和实际角速度等。

5 步骤 S220，根据运动状况信息对运动规划轨迹进行参数适配调整，得到与运动状况信息匹配的期望运动轨迹。

在本实施例中，当所述机器人控制设备 10 获取到所述仿人机器人当前对应的运动状况信息以及当前需要实现的运动规划轨迹后，会根据当前运动状况信息对该运动规划轨迹进行相关参数的适配调整操作，并将调整后的运动规划轨迹作为与当前运动状况信息匹配的期望运动轨迹，使仿人机器人在按照所述期望运动轨迹进行运动的情况下，降低机器人所处环境对仿人机器人的运动平衡干扰。

可选地，请参照图 3，图 3 是图 2 中的步骤 S220 包括的子步骤的流程示意图。在本申请实施例中，所述机器人控制设备 10 可通过对仿人机器人当前的运动状况信息进行分析，以确定仿人机器人双足在当前环境下各自与足底支撑面的接触状况，进而基于机器人双足的支撑面接触状况对当前的运动规划轨迹进行参数调整，得到与所述运动状况信息适配的期望运动轨迹。为此，所述机器人控制设备 10 可通过执行图 3 所示的所述步骤 S220 的子步骤 S221~子步骤 S228 实现前述功能。

子步骤 S221，根据运动状况信息中的双足足底受力数据计算仿人机器人双足当前各自的零力矩点位置。

20 在本实施例中，所述双足足底受力数据包括仿人机器人左足和右足各自的实际足底力数据，其中所述实际足底力数据包括对应足部的实际足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 X 轴、Y 轴及 Z 轴方向上的分量，和对应足部的实际足底力矩矢量在笛卡尔坐标系下的 X 轴、Y 轴及 Z 轴方向上的分量。所述机器人控制设备 10 可采用如下公式针对左足和右足分别计算当前的零力矩点位置：

$$\begin{cases} x_{ZMP} = (-T_y - F'_x d) / F'_z \\ y_{ZMP} = -(T_x - F'_y d) / F'_z \end{cases}$$

其中， x_{ZMP} 用于表示对应足部的零力矩点在笛卡尔坐标系的 X 轴方向上的坐标值，

y_{ZMP} 用于表示对应足部的零力矩点在笛卡尔坐标系的 Y 轴方向上的坐标值, F'_x 用于表示对应足部的实际足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 X 轴方向上的分量, F'_y 用于表示对应足部的实际足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 Y 轴方向上的分量, F'_z 用于表示对应足部的实际足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 Z 轴方向上的分量, T_y 用于表示对应足部的实际足底力矩矢量在笛卡尔坐标系下的 Y 轴方向上的分量, T_x 用于表示对应足部的实际足底力矩矢量在笛卡尔坐标系下的 X 轴方向上的分量, d 用于表示所述传感单元 14 的中心位置与对应足部的足底之间的垂直距离。

子步骤 S222, 判断仿人机器人双足各自的零力矩点位置是否处于对应足底支撑域范围内。

10 在本实施例中, 所述足底支撑域用于表示所述仿人机器人的对应足部的足底面与足底支撑面接触点构成的最小多边形区域。所述机器人控制设备 10 在确定出仿人机器人的左足和右足各自在当前对应的零力矩点位置后, 会相应地根据所述仿人机器人的左足和右足各自在当前对应的足底位置, 确定左足和右足各自对应的足底支撑域范围, 而后分别针对左足和右足, 判断对应足部的零力矩点位置是否处于该足部当前的足底支撑域
15 范围内。

子步骤 S223, 针对仿人机器人的零力矩点位置处于对应足底支撑域范围内的足部, 采用运动状况信息中与该足部对应的足底位姿及足底速度, 对该足部在运动规划轨迹中的足底规划位姿及足底规划速度进行匹配式替换, 得到该足部在期望运动轨迹中的足底期望位姿及足底期望速度。

20 在本实施例中, 若所述仿人机器人的左足和右足中的某个足部的零力矩点位置处于对应足底支撑域范围内, 则可直接采用当前运动状况信息中与该足部对应的实际足底位姿, 对该足部在所述运动规划轨迹中的足底规划位姿进行替换, 得到该足部在期望运动轨迹中的足底期望位姿, 并且直接采用当前运动状况信息中与该足部对应的实际足底速度, 对该足部在所述运动规划轨迹中的足底规划速度进行替换, 得到该足部在期望运动
25 轨迹中的足底期望位姿。

子步骤 S224, 针对仿人机器人的零力矩点位置未处于对应足底支撑域范围内的足部, 直接将该足部在运动规划轨迹中的足底规划位姿及足底规划速度, 分别作为该足部在期望运动轨迹中的足底期望位姿及足底期望速度。

在本实施例中,若所述仿人机器人的左足和右足中的某个足部的零力矩点位置未处于对应足底支撑域范围内,则可直接采用该足部在当前的所述运动规划轨迹中的足底规划位姿,作为该足部在期望运动轨迹中的足底期望位姿,并且直接采用该足部在当前的所述运动规划轨迹中的足底规划速度,作为该足部在期望运动轨迹中的足底期望位姿。

- 5 子步骤 S225,采用仿人机器人双足的足底期望位姿对运动规划轨迹中的质心规划位姿进行参数更新,得到期望运动轨迹中的质心期望位姿。

在本实施例中,所述期望运动轨迹中的质心期望位姿与所述仿人机器人双足的足底期望位姿之间的关联关系可采用如下式子进行表达:

$$\begin{cases} \mathbf{r}_{\text{COM},ref}(x, y) = (\mathbf{r}_{\text{LF},ref}(x, y) + \mathbf{r}_{\text{RF},ref}(x, y)) / 2 \\ \mathbf{r}_{\text{COM},ref}(z) = (\mathbf{r}_{\text{LF},ref}(z) + \mathbf{r}_{\text{RF},ref}(z)) / 2 + \text{Constant} \end{cases}$$

- 10 其中, $\mathbf{r}_{\text{COM},ref}(x, y)$ 用于表示所述质心期望位姿在笛卡尔坐标系的 X 轴及 Y 轴方向上的位置坐标值, $\mathbf{r}_{\text{LF},ref}(x, y)$ 用于表示仿人机器人左足的足底期望位姿在笛卡尔坐标系的 X 轴及 Y 轴方向上的位置坐标值, $\mathbf{r}_{\text{RF},ref}(x, y)$ 用于表示仿人机器人右足的足底期望位姿在笛卡尔坐标系的 X 轴及 Y 轴方向上的位置坐标值, $\mathbf{r}_{\text{COM},ref}(z)$ 用于表示所述质心期望位姿在笛卡尔坐标系的 Z 轴方向上的位置坐标值, $\mathbf{r}_{\text{LF},ref}(z)$ 用于表示仿人机器人左足的足底期望位姿在笛卡尔坐标系的 Z 轴方向上的位置坐标值, $\mathbf{r}_{\text{RF},ref}(z)$ 用于表示仿人机器人右足的足底期望位姿在笛卡尔坐标系的 Z 轴方向上的位置坐标值, Constant 用于表示固定位置偏置。
- 15

由此,所述机器人控制设备 10 可采用上述式子对所述运动规划轨迹中的质心规划位姿进行参数更新,得到对应期望运动轨迹中匹配的质心期望位姿。

- 20 子步骤 S226,采用仿人机器人双足的足底期望速度对运动规划轨迹中的质心规划速度进行参数更新,得到期望运动轨迹中的质心期望速度。

在本实施例中,所述期望运动轨迹中的质心期望速度与所述仿人机器人双足的足底期望速度之间的关联关系可采用如下式子进行表达:

$$\mathbf{v}_{\text{COM},ref} = (\mathbf{v}_{\text{LF},ref} + \mathbf{v}_{\text{RF},ref}) / 2$$

- 25 其中, $\mathbf{v}_{\text{COM},ref}$ 用于表示所述质心期望速度, $\mathbf{v}_{\text{LF},ref}$ 用于表示仿人机器人左足的足

底期望速度， $v_{RF,ref}$ 用于表示仿人机器人右足的足底期望速度。

由此，所述机器人控制设备 10 可采用上述式子对所述运动规划轨迹中的质心规划速度进行参数更新，得到对应期望运动轨迹中匹配的质心期望速度。

子步骤 S227，将运动规划轨迹中的腰部规划位姿与腰部规划速度分别置为零，得到期望运动轨迹中的腰部期望位姿及腰部期望速度。

子步骤 S228，采用仿人机器人的重力对运动规划轨迹中的双足各自的规划足底力参数进行参数更新，得到期望运动轨迹中的双足各自的期望足底力参数。

在本实施例中，可通过将所述运动规划轨迹中的左足的规划足底力参数所包括的规划足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 Z 轴方向上的分量置为仿人机器人的一半重力大小，并将所述运动规划轨迹中的右足的规划足底力参数所包括的规划足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 Z 轴方向上的分量置为仿人机器人的一半重力大小，而后保留所述运动规划轨迹中剩余的左足和右足各自的规划足底力参数，得到期望运动轨迹中的双足各自的期望足底力参数。

由此，本申请可通过执行上述子步骤 S221~子步骤 S228，确定仿人机器人双足在当前环境下各自与足底支撑面的接触状况，并基于机器人双足的支撑面接触状况对当前的运动规划轨迹进行参数调整，得到与所述运动状况信息适配的期望运动轨迹，以完成对机器人运动规划轨迹的实时修正，降低机器人所处环境对仿人机器人的运动平衡干扰。

步骤 S230，根据运动状况信息确定仿人机器人在足底、质心和腰部处分别趋向于期望运动轨迹的期望状态参数。

在本实施例中，当所述机器人控制设备 10 确定出当前与所述运动状况信息匹配的期望运动轨迹后，会相应地确定出所述仿人机器人在足底、质心和腰部处分别对应的运动状况信息各自在与所述期望运动轨迹对比时的运动状况差异，进而确定出足底、质心和腰部各自要达到与当前期望运动轨迹匹配的运动平衡效果所需的期望状态参数。

其中，所述期望状态参数包括双足足底的期望加速度、质心的期望线动力及腰部的期望加速度，而所述足底的期望加速度需利用所述运动规划轨迹所包括的足底的规划状态参数（即足底的规划加速度）进行计算，所述质心的期望线动力需利用所述运动规划轨迹所包括的质心的规划状态参数（即质心的规划线动力），所述腰部的期望加速度需

利用所述运动规划轨迹所包括的腰部的规划状态参数(即腰部的规划加速度)进行计算。

可选地,请参照图4,图4是图2中的步骤S230包括的子步骤的流程示意图。在本申请实施例中,所述步骤S230可以包括子步骤S231~子步骤S233,确定出符合机器人控制规律的针对期望运动轨迹的所述仿人机器人的足底、质心和腰部各自对应的期望状态参数。

子步骤S231,针对足底、质心和腰部中的每项平衡需求部位,将该平衡需求部位的期望位姿与实际位姿进行减法运算,并将该平衡需求部位的期望速度与实际速度进行减法运算,得到对应的位姿差异值及速度差异值。

在本实施例中,所述机器人控制设备10在面对足底、质心和腰部三项平衡需求部位时,会针对每项平衡需求部位计算该平衡需求部位在当前时刻下对应的期望位姿与获取到的实际位姿之间的差异状况,以及该平衡需求部位在当前时刻下对应的期望速度与获取到的实际速度之间的差异状况。即将该平衡需求部位的期望位姿与实际位姿进行减法运算,得到对应的位姿差异值;将该平衡需求部位的期望速度与实际速度进行减法运算,得到对应的速度差异值。

子步骤S232,在得到的位姿差异值与速度差异值中选取与该平衡需求部位的运动控制函数匹配的差异参数值。

在本实施例中,所述运动控制函数用于将对应平衡需求部位的运动状况调整到预期状况。不同平衡需求部位所对应的运动控制函数所采用的控制算法原理可以相同,也可以不同。比如,针对足底的运动控制函数可采用PID控制算法、PI控制算法、PD控制算法及P控制算法中的任意一种,针对质心的运动控制函数可采用PID控制算法、PI控制算法、PD控制算法及P控制算法中的任意一种,针对腰部的运动控制函数也可采用PID控制算法、PI控制算法、PD控制算法及P控制算法中的任意一种。

其中,针对同一平衡需求部位的不同运动控制函数各自也因涉及到的算法原理不同而可能采用不同的计算参数进行期望状态参数的相关运算。因此,所述机器人控制设备10在确定出足底、质心或腰部在当前时刻对应的位姿差异值及速度差异值后,会按照当前选定的运动控制函数从确定出的位姿差异值及速度差异值中,选取该运动控制函数所涉及的差异参数值。

在本实施例的一种实施方式中,若足底的运动控制函数基于PD控制算法实现时,

则该运动控制函数所涉及的差异参数值包括位姿差异值及速度差异值,此时该运动控制函数可表示为:

$$\mathbf{a}_{F,d} = \mathbf{a}_{F,ref}' + \mathbf{K}_{p,F}(\mathbf{r}_{F,\Delta}) + \mathbf{K}_{d,F}(\mathbf{v}_{F,\Delta});$$

若足底的运动控制函数基于 PID 控制算法实现时,则该运动控制函数所涉及的差异参数值包括位姿差异值及速度差异值,此时该运动控制函数可表示为:

$$\mathbf{a}_{F,d} = \mathbf{a}_{F,ref}' + \mathbf{K}_{p,F}(\mathbf{r}_{F,\Delta}) + \mathbf{K}_{d,F}(\mathbf{v}_{F,\Delta}) + \mathbf{K}_{i,F} \sum \mathbf{r}_{F,\Delta};$$

若足底的运动控制函数基于 PI 控制算法实现时,则该运动控制函数所涉及的差异参数值包括位姿差异值,此时该运动控制函数可表示为:

$$\mathbf{a}_{F,d} = \mathbf{a}_{F,ref}' + \mathbf{K}_{p,F}(\mathbf{r}_{F,\Delta}) + \mathbf{K}_{i,F} \sum \mathbf{r}_{F,\Delta};$$

若足底的运动控制函数基于 P 控制算法实现时,则该运动控制函数所涉及的差异参数值包括位姿差异值,此时该运动控制函数可表示为:

$$\mathbf{a}_{F,d} = \mathbf{a}_{F,ref}' + \mathbf{K}_{p,F}(\mathbf{r}_{F,\Delta}).$$

其中, $\mathbf{a}_{F,d}$ 用于表示足底的期望加速度, $\mathbf{a}_{F,ref}'$ 用于表示所述运动规划轨迹中的足底的规划加速度, $\mathbf{K}_{p,F}$ 用于表示足底比例控制环节的控制系数, $\mathbf{K}_{i,F}$ 用于表示足底积分控制环节的控制系数, $\mathbf{K}_{d,F}$ 用于表示足底微分控制环节的控制系数, $\mathbf{r}_{F,\Delta}$ 用于表示足底的位姿差异值, $\mathbf{v}_{F,\Delta}$ 用于表示足底的速度差异值。

在本实施例的一种实施方式中,若质心的运动控制函数基于 PD 控制算法实现时,则该运动控制函数所涉及的差异参数值包括位姿差异值及速度差异值,此时该运动控制函数可表示为:

$$\dot{\mathbf{h}}_{l,d} = \dot{\mathbf{h}}_{l,ref}' + \mathbf{K}_{p,C}(\mathbf{r}_{C,\Delta}) + \mathbf{K}_{d,C}(\mathbf{v}_{C,\Delta});$$

若质心的运动控制函数基于 PID 控制算法实现时,则该运动控制函数所涉及的差异参数值包括位姿差异值及速度差异值,此时该运动控制函数可表示为:

$$\dot{\mathbf{h}}_{l,d} = \dot{\mathbf{h}}_{l,ref}' + \mathbf{K}_{p,C}(\mathbf{r}_{C,\Delta}) + \mathbf{K}_{d,C}(\mathbf{v}_{C,\Delta}) + \mathbf{K}_{i,C} \sum \mathbf{r}_{C,\Delta};$$

若质心的运动控制函数基于 PI 控制算法实现时,则该运动控制函数所涉及的差异参数值包括位姿差异值,此时该运动控制函数可表示为:

$$\dot{h}_{l,d} = \dot{h}_{l,ref} + K_{p,C}(r_{C,\Delta}) + K_{i,C} \sum r_{C,\Delta} ;$$

若质心的运动控制函数基于 P 控制算法实现时,则该运动控制函数所涉及的差异参数数值包括位姿差异值,此时该运动控制函数可表示为:

$$\dot{h}_{l,d} = \dot{h}_{l,ref} + K_{p,C}(r_{C,\Delta})。$$

5 其中, $\dot{h}_{l,d}$ 用于表示质心的期望线动力, $\dot{h}_{l,ref}$ 用于表示所述运动规划轨迹中的质心的规划线动力(其数值为 $\dot{h}_{l,ref} = m \dot{a}_{c,ref}$, $\dot{a}_{c,ref}$ 用于表示所述运动规划轨迹中的质心的规划加速度, m 用于表示所述仿人机器人的质量), $K_{p,C}$ 用于表示质心比例控制环节的控制系数, $K_{i,C}$ 用于表示质心积分控制环节的控制系数, $K_{d,C}$ 用于表示质心微分控制环节的控制系数, $r_{C,\Delta}$ 用于表示质心的位姿差异值, $v_{C,\Delta}$ 用于表示质心的速度差异值。

10 在本实施例的一种实施方式中,若腰部的运动控制函数基于 PD 控制算法实现时,则该运动控制函数所涉及的差异参数数值包括位姿差异值及速度差异值,此时该运动控制函数可表示为:

$$a_{T,d} = \dot{a}_{T,ref} + K_{p,T}(r_{T,\Delta}) + K_{d,T}(v_{T,\Delta}) ;$$

15 若腰部的运动控制函数基于 PID 控制算法实现时,则该运动控制函数所涉及的差异参数数值包括位姿差异值及速度差异值,此时该运动控制函数可表示为:

$$a_{T,d} = \dot{a}_{T,ref} + K_{p,T}(r_{T,\Delta}) + K_{d,T}(v_{T,\Delta}) + K_{i,T} \sum r_{T,\Delta} ;$$

若腰部的运动控制函数基于 PI 控制算法实现时,则该运动控制函数所涉及的差异参数数值包括位姿差异值,此时该运动控制函数可表示为:

$$a_{T,d} = \dot{a}_{T,ref} + K_{p,T}(r_{T,\Delta}) + K_{i,T} \sum r_{T,\Delta} ;$$

20 若腰部的运动控制函数基于 P 控制算法实现时,则该运动控制函数所涉及的差异参数数值包括位姿差异值,此时该运动控制函数可表示为:

$$a_{T,d} = \dot{a}_{T,ref} + K_{p,T}(r_{T,\Delta})。$$

25 其中, $a_{T,d}$ 用于表示腰部的期望加速度, $\dot{a}_{T,ref}$ 用于表示所述运动规划轨迹中的腰部的规划加速度, $K_{p,T}$ 用于表示腰部比例控制环节的控制系数, $K_{i,T}$ 用于表示腰部积分控制环节的控制系数, $K_{d,T}$ 用于表示腰部微分控制环节的控制系数, $r_{T,\Delta}$ 用于表示腰部的位姿差异值, $v_{T,\Delta}$ 用于表示腰部的速度差异值。

子步骤 S233, 将该平衡需求部位所对应的规划状态参数及选取的差异参数值代入该平衡需求部位的运动控制函数中进行参数计算, 得到该平衡需求部位的期望状态参数。

在本实施例中, 当机器人控制设备 10 在确定出上述足底、质心和腰部三项平衡需求部位各自在当前时刻对应的涉及运动控制函数匹配的差异参数值后, 会将对应平衡需求部位的规划状态参数与选取的差异参数值代入对应的运动控制函数进行参数计算, 得到该平衡需求部位的期望状态参数。其中具体的运动控制函数可参照上述关于足底、质心和腰部三项平衡需求部位的实施方式进行具体设计。

由此, 本申请可通过执行上述子步骤 S231~子步骤 S233, 确定出符合机器人控制规律的针对期望运动轨迹的所述仿人机器人的足底、质心和腰部各自对应的期望状态参数。

10 请再次参照图 2, 步骤 S240, 根据运动状况信息以及期望状态参数, 计算仿人机器人当前同时满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束条件的期望驱动参数。

在本实施例中, 所述机器人控制设备 10 在确定出所述仿人机器人当前在足底、质心和腰部处分别对应的期望状态参数后, 会从同时满足机器人运动学规律、足底控制效果、质心控制效果、腰部控制效果以及与机器人安全运行相关的力控参数分布限制效果的器件控制角度, 确定出对应匹配的期望驱动参数来对该仿人机器人的各真实关节的运行状况进行控制, 以通过调整后的各真实关节的具体状态同时满足机器人运动平衡效果所涉及的机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束条件, 从而确保仿人机器人的机体动作在实现预期运动效果的同时符合机器人运动规律, 提升机器人运行安全性, 实现机器人运动平衡。

下面对本申请通过引入零空间投影与凸二次规划问题优化的概念, 来求得符合当前期望运动轨迹的满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束条件的期望驱动参数的实例进行详细描述。其中, 所述机器人动力学需求可表示为确保仿人机器人的运动机体动作符合机器人运动学, 所述足底控制需求可表示为确保仿人机器人的至少一个足部的足底不离开足底支撑面, 所述质心控制需求可表示为确保仿人机器人不发生倾倒, 所述腰部控制需求可表示为确保仿人机器人能够真正恢复平衡, 所述力控参数分布约束条件用于表示实现机器人安全运行所需的力控参数的具体数值分布, 所述力控参数分布约束条件可以包括关节力矩分布约束条件及足底

力参数分布约束条件。

可选地,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之一。在本实施例中,所述步骤 S240 可以包括子步骤 S241~子步骤 S247,以通过所述子步骤 S241~子步骤 S247 计算出能够确保仿人机器人的机体动作实现预期运动平衡效果且符合机器人运动规律的期望驱动参数。其中,所述期望驱动参数可由所述仿人机器人各关节的期望角加速度和所述仿人机器人双足的期望足底力参数组成。所述期望足底力参数包括对应足部的期望足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 X 轴、Y 轴及 Z 轴方向上的分量,和对应足部的期望足底力矩矢量在笛卡尔坐标系下的 X 轴、Y 轴及 Z 轴方向上的分量。

子步骤 S241,在第一零空间内将运动状况信息代入到机器人动力学需求所对应的浮动基动力学方程以及关节力矩分布约束条件所对应的关节力矩不等式中针对待优化驱动参数进行凸二次规划问题求解,得到处于第一零空间下的第一优化驱动参数。

在本实施例中,所述待优化驱动参数为与所述期望驱动参数对应的具体驱动参数类型,所述待优化驱动参数可由机器人各关节的角加速度和机器人双足的足底力参数组成。所述机器人动力学需求所对应的浮动基动力学方程可采用如下式子进行表达:

$$S_f M \ddot{q} + S_f C + S_f G = S_f J^T F$$

其中, S_f 用于表示仿人机器人当前的浮动基选择矩阵, M 用于表示仿人机器人当前的惯量矩阵, G 用于表示仿人机器人当前的重力矩阵, C 用于表示仿人机器人当前的由离心力和科里奥利力产生的非线性矩阵, J 用于表示仿人机器人当前足底力作用点的雅可比矩阵, $\ddot{q}$ 用于表示所述待优化驱动参数所包括的各关节角加速度, F 用于表示所述待优化驱动参数所包括的足底力参数。其中, M 、 G 、 C 可由所述机器人控制设备 10 根据当前的运动状况信息计算得到。

而所述关节力矩分布约束条件所对应的关节力矩不等式可代入仿人机器人的全动力学方程进行表达,其中所述仿人机器人的全动力学方程可采用如下式子进行表示:

$$M \ddot{q} + C + G = S_a^T \tau + J^T F$$

此时,所述关节力矩不等式的表达式如下所示:

$$\left[\tau_{\min} - S_a (C + G) \right] \leq S_a M \ddot{q} - S_a J^T F \leq \left[\tau_{\max} - S_a (C + G) \right]$$

其中, $\tau_{\min}$ 用于表示仿人机器人的关节力矩下限边界, $\tau_{\max}$ 用于表示仿人机器人的

关节力矩上限边界, S_a 用于表示仿人机器人的可驱动关节选择矩阵, M 用于表示仿人机器人当前的惯量矩阵, G 用于表示仿人机器人当前的重力矩阵, C 用于表示仿人机器人当前的由离心力和科里奥利力产生的非线性矩阵, J 用于表示仿人机器人当前足底力作用点的雅可比矩阵, $\ddot{q}$ 用于表示所述待优化驱动参数所包括的各关节角加速度, F 用于表示所述待优化驱动参数所包括的足底力参数。

因此, 所述机器人控制设备 10 可在代表最高优先级的机器人动力学需求的第一零空间内将当前的运动状况信息代入到所述浮动基动力学方程以及所述关节力矩不等式中, 而后对这两个表达式参照凸二次规划问题的标准形式构建对应的 QP (Quadratic Programming, 凸二次规划) 问题, 接着使用开源 QP 求解器对转换得到的 QP 问题进行求解, 完成对所述待优化驱动参数的初步优化处理, 得到满足所述机器人动力学需求以及部分力控参数分布约束条件的第一零空间下的第一优化驱动参数。

在此过程中, 所述第一零空间下构建出的 QP 问题可表示为:

$$\begin{aligned} \min_{x_1, v_1} \quad & \|A_1 x_1 - b_1\|^2 + \|v_1\|^2 \\ \text{s.t.} \quad & D_1 x_1 - f_1 \leq v_1 \end{aligned}$$

其中, x_1 用于表示所述第一零空间下的与待优化驱动参数对应的需优化参数, v_1 用于表示所述第一零空间下的松弛变量, A_1 用于表示所述第一零空间所对应的控制任务的第一任务系数矩阵, b_1 用于表示所述第一零空间所对应的控制任务的第二任务系数矩阵, D_1 用于表示所述关节力矩不等式在 QP 问题中的第一偏置影响系数, f_1 用于表示所述关节力矩不等式在 QP 问题中的第二偏置影响系数, $\|\cdot\|^2$ 用于表示向量二范数。

子步骤 S242, 根据第一零空间的零空间投影矩阵、第二零空间的第一自由向量以及第一优化驱动参数, 计算第二零空间的第一待递归驱动参数。

在本实施例中, 所述第二零空间的第一待递归驱动参数与所述第一零空间的零空间投影矩阵、所述第二零空间的第一自由向量以及所述第一优化驱动参数之间的参数关联关系可采用如下式子进行表达:

$$x_2 = x_1^* + N_1 u_2$$

其中, x_2 用于表示所述第二零空间下的第一待递归驱动参数, N_1 用于表示所述第一零空间的零空间投影矩阵, x_1^* 用于表示所述第一优化驱动参数, u_2 用于表示所述第

二零空间的第一自由向量。

子步骤 S243，在第二零空间内将第一待递归驱动参数代入与足底控制需求对应的第一关联关系表达式、关节力矩不等式及足底力参数分布约束条件所对应的足底力参数不等式组中进行凸二次规划问题求解，得到处于第二零空间下的第二优化驱动参数。

- 5 在本实施例中，所述第一关联关系表达式用于表示待优化驱动参数与足底的期望状态参数（期望加速度）之间的关联关系，所述第一关联关系表达式可采用如下式子进行表达：

$$\mathbf{J}_F \ddot{\mathbf{q}} + \dot{\mathbf{J}}_F \dot{\mathbf{q}} = \mathbf{a}_{F,d}$$

- 10 其中， $\mathbf{J}_F$ 用于表示仿人机器人足底的雅可比矩阵， $\dot{\mathbf{J}}_F$ 用于表示所述仿人机器人足底的雅可比矩阵导数， $\dot{\mathbf{q}}$ 用于表示所述仿人机器人当前的运动状况信息中的各关节角速度， $\ddot{\mathbf{q}}$ 用于表示所述待优化驱动参数所包括的各关节角加速度， $\mathbf{a}_{F,d}$ 用于表示足底的期望加速度。

- 15 而所述足底力参数分布约束条件所对应的足底力参数不等式组用于描述所述仿人机器人在不发生滑动时的足底力矢量分布状况以及所述仿人机器人在不发生转动时的足底力矩矢量分布状况，此时所述足底力参数不等式组的表达式如下所示：

$$\left\{ \begin{array}{l} |F_x| \leq \frac{\sqrt{2}}{2} \mu F_z \\ |F_y| \leq \frac{\sqrt{2}}{2} \mu F_z \\ F_z \geq 0 \\ d_{x,\min} \leq \frac{-\tau_y}{F_z} \leq d_{x,\max} \\ d_{y,\min} \leq \frac{\tau_x}{F_z} \leq d_{y,\max} \end{array} \right.$$

其中， F_z 用于表示待优化驱动参数所包括的足底力参数中的足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 Z 轴方向上的分量， F_x 用于表示待优化驱动参数所包括的足底力参数中的足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 X 轴方向上的分量， F_y 用于表示待优化驱动参数所包

括的足底力参数中的足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 Y 轴方向上的分量, τ_y 用于表示待优化驱动参数所包括的足底力参数中的足底力矩矢量在笛卡尔坐标系下的 Y 轴方向上的分量, τ_x 用于表示待优化驱动参数所包括的足底力参数中的足底力矩矢量在笛卡尔坐标系下的 X 轴方向上的分量, $d_{x,\min}$ 用于表示足底支撑域在笛卡尔坐标系下的 X 轴方向上的下限边界, $d_{x,\max}$ 用于表示足底支撑域在笛卡尔坐标系下的 X 轴方向上的上限边界, $d_{y,\min}$ 用于表示足底支撑域在笛卡尔坐标系下的 Y 轴方向上的下限边界, $d_{y,\max}$ 用于表示足底支撑域在笛卡尔坐标系下的 Y 轴方向上的上限边界, μ 用于表示仿人机器人足底与足底支撑面之间的摩擦力系数。

此时, 所述机器人控制设备 10 可在代表次优先级的足底控制需求的第二零空间内将当前运动状况信息以及第一待递归驱动参数代入到所述第一关联关系表达式、所述关节力矩不等式及所述足底力参数不等式组中, 而后对这三个表达式参照凸二次规划问题的标准形式构建对应的 QP 问题, 接着对第二零空间的 QP 问题进行求解, 从而在不破坏第一零空间所对应的控制任务的基础上, 完成对所述待优化驱动参数的二次优化处理, 得到满足所述机器人动力学需求、全部力控参数分布约束条件及部分足底控制需求的第二零空间下的第二优化驱动参数。

在此过程中, 所述第二零空间下构建出的 QP 问题可表示为:

$$\begin{aligned} \min_{x_2, v_2} \quad & \|A_2 x_2 - b_2\|^2 + \|v_2\|^2 \\ \text{s.t.} \quad & D_2 x_2 - f_2 \leq v_2 \\ & D_1 x_2 - f_1 \leq v_1^* \end{aligned}$$

其中, v_1^* 用于表示针对第一零空间所对应的 QP 问题求解出的优化松弛变量, x_2 用于表示所述第二零空间下的与待优化驱动参数对应的第一待递归驱动参数, v_2 用于表示所述第二零空间下的松弛变量, A_2 用于表示所述第二零空间所对应的控制任务的第一任务系数矩阵, b_2 用于表示所述第二零空间所对应的控制任务的第二任务系数矩阵, D_2 用于表示所述足底力参数不等式组在 QP 问题中的第一偏置影响系数, f_2 用于表示所述足底力参数不等式组在 QP 问题中的第二偏置影响系数。

子步骤 S244, 根据第二零空间的零空间投影矩阵、第三零空间的第二自由向量以及第二优化驱动参数, 计算第三零空间的第二待递归驱动参数。

在本实施例中, 所述第三零空间的第二待递归驱动参数与所述第二零空间的零空间

投影矩阵、第三零空间的第二自由向量以及第二优化驱动参数之间的参数关联关系可采用如下式子进行表达：

$$\mathbf{x}_3 = \mathbf{x}_2^* + \mathbf{N}_2 \mathbf{u}_3$$

其中， $\mathbf{x}_3$ 用于表示所述第三零空间下的第二待递归驱动参数， $\mathbf{N}_2$ 用于表示所述第二零空间的零空间投影矩阵， $\mathbf{x}_2^*$ 用于表示所述第二优化驱动参数， $\mathbf{u}_3$ 用于表示所述第三零空间的第二自由向量。

子步骤 S245，在第三零空间内将第二待递归驱动参数代入与质心控制需求对应的第二关联关系表达式、关节力矩不等式及足底力参数不等式组中进行凸二次规划问题求解，得到处于第三零空间下的第三优化驱动参数。

在本实施例中，所述第二关联关系表达式用于表示待优化驱动参数与质心的期望状态参数（期望线动力）之间的关联关系，所述第二关联关系表达式可采用如下式子进行表达：

$$\dot{\mathbf{h}}_{l,d} = \mathbf{A}_{G,l} \ddot{\mathbf{q}} + \dot{\mathbf{A}}_{G,l} \dot{\mathbf{q}}$$

其中， $\mathbf{A}_{G,l}$ 用于表示所述仿人机器人质心所对应的动量矩阵， $\dot{\mathbf{A}}_{G,l}$ 用于表示所述仿人机器人质心所对应的动量矩阵导数， $\dot{\mathbf{q}}$ 用于表示所述仿人机器人当前的运动状况信息中的各关节角速度， $\ddot{\mathbf{q}}$ 用于表示所述待优化驱动参数所包括的各关节角加速度， $\dot{\mathbf{h}}_{l,d}$ 用于表示质心的期望线动力。

此时，所述机器人控制设备 10 可在代表更次优先级的质心控制需求的第三零空间内将当前运动状况信息以及第二待递归驱动参数代入到所述第二关联关系表达式、所述关节力矩不等式及所述足底力参数不等式组中，而后对这三个表达式参照凸二次规划问题的标准形式构建对应的 QP 问题，接着对第三零空间的 QP 问题进行求解，从而在不破坏第一零空间及第二零空间各自对应的控制任务的基础上，完成对所述待优化驱动参数的三次优化处理，得到满足所述机器人动力学需求、质心控制需求、全部力控参数分布约束条件及部分足底控制需求的第三零空间下的第三优化驱动参数。

在此过程中，所述第三零空间下构建出的 QP 问题可表示为：

$$\begin{aligned} \min_{x_3, v_3} \quad & \|A_3 x_3 - b_3\|^2 + \|v_3\|^2 \\ \text{s.t.} \quad & D_2 x_3 - f_2 \leq v_2^* \\ & D_1 x_3 - f_1 \leq v_1^* \end{aligned}$$

其中, v_2^* 用于表示针对第一零空间所对应的 QP 问题求解出的优化松弛变量, x_3 用于表示所述第三零空间下的与待优化驱动参数对应的第二待递归驱动参数, v_3 用于表示所述第三零空间下的松弛变量, A_3 用于表示所述第三零空间所对应的控制任务的第一任务系数矩阵, b_3 用于表示所述第三零空间所对应的控制任务的第二任务系数矩阵。

子步骤 S246, 根据第三零空间的零空间投影矩阵、第四零空间的第三自由向量以及第三优化驱动参数, 计算第四零空间的第三待递归驱动参数。

在本实施例中, 所述第四零空间的第三待递归驱动参数与所述第三零空间的零空间投影矩阵、所述第四零空间的第三自由向量以及所述第三优化驱动参数之间的参数关联关系可采用如下式子进行表达:

$$x_4 = x_3^* + N_3 u_4$$

其中, x_4 用于表示所述第四零空间下的第三待递归驱动参数, N_3 用于表示所述第三零空间的零空间投影矩阵, x_3^* 用于表示所述第三优化驱动参数, u_4 用于表示所述第四零空间的第三自由向量。

子步骤 S247, 在第四零空间内将第三待递归驱动参数代入与腰部控制需求对应的第三关联关系表达式、与足底控制需求对应的期望足底力参数趋向等式、关节力矩不等式及足底力参数不等式组中进行凸二次规划问题求解, 得到处于第四零空间下的可作为期望驱动参数的待输出驱动参数。

在本实施例中, 所述第三关联关系表达式用于表示待优化驱动参数与腰部的期望状态参数 (期望加速度) 之间的关联关系, 所述第三关联关系表达式可采用如下式子进行表达:

$$J_T \ddot{q} + \dot{J}_T \dot{q} = a_{T,d}$$

其中, J_T 用于表示所述仿人机器人腰部的雅可比矩阵, $\dot{J}_T$ 用于表示所述仿人机器人腰部的雅可比矩阵导数, $\dot{q}$ 用于表示所述仿人机器人当前的运动状况信息中的各关节角速度, $\ddot{q}$ 用于表示所述待优化驱动参数所包括的各关节角加速度, $a_{T,d}$ 用于表示腰部

的期望加速度。

而与足底控制需求对应的期望足底力参数趋向等式用于使所述待优化驱动参数所包括的足底力参数达到期望足底力参数，此时所述期望足底力参数趋向等式可表达为：

$$\begin{cases} \mathbf{F}_L = \mathbf{F}_{L,ref} \\ \mathbf{F}_R = \mathbf{F}_{R,ref} \end{cases}$$

5 其中， $\mathbf{F}_L$ 用于表示待优化驱动参数所包括的仿人机器人左足的足底力参数， $\mathbf{F}_{L,ref}$ 用于表示仿人机器人左足的期望足底力参数， $\mathbf{F}_R$ 用于表示待优化驱动参数所包括的仿人机器人右足的足底力参数， $\mathbf{F}_{R,ref}$ 用于表示仿人机器人右足的期望足底力参数。

10 此时，所述机器人控制设备 10 可在代表最低优先级的腰部控制需求的第四零空间内将当前运动状况信息以及第三待递归驱动参数代入到所述第三关联关系表达式、所述期望足底力参数趋向等式、所述关节力矩不等式及所述足底力参数不等式组中，而后对这四个表达式参照凸二次规划问题的标准形式构建对应的 QP 问题，接着对第四零空间的 QP 问题进行求解，从而在不破坏第一零空间、第二零空间及第三零空间各自对应的控制任务的基础上，完成对所述待优化驱动参数的四次优化处理，得到满足所述机器人动力学需求、质心控制需求、全部力控参数分布约束条件、腰部控制需求及全部足底控制需求的第四零空间下的待输出驱动参数。

在此过程中，所述第四零空间下构建出的 QP 问题可表示为：

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{x}_4, \mathbf{v}_4} \quad & \|\mathbf{A}_4 \mathbf{x}_4 - \mathbf{b}_4\|^2 + \|\mathbf{v}_4\|^2 \\ \text{s.t.} \quad & \mathbf{D}_2 \mathbf{x}_4 - \mathbf{f}_2 \leq \mathbf{v}_2^* \\ & \mathbf{D}_1 \mathbf{x}_4 - \mathbf{f}_1 \leq \mathbf{v}_1^* \end{aligned}$$

20 其中， $\mathbf{x}_4$ 用于表示所述第四零空间下的与待优化驱动参数对应的第三待递归驱动参数， $\mathbf{v}_4$ 用于表示所述第四零空间下的松弛变量， $\mathbf{A}_4$ 用于表示所述第四零空间所对应的控制任务的第一任务系数矩阵， $\mathbf{b}_4$ 用于表示所述第四零空间所对应的控制任务的第二任务系数矩阵。

由此，本申请可通过执行上述子步骤 S241~子步骤 S247，计算出能够确保仿人机器人的机体动作实现预期运动平衡效果且符合机器人运动规律的期望驱动参数。

可选地，请参照图 6，图 6 是图 2 中的步骤 S240 包括的子步骤的流程示意图之一。

在本实施例中，所述步骤 S240 在执行完上述子步骤 S241~子步骤 S247 之后，还可以包括子步骤 S248 及子步骤 S249，以通过所述子步骤 S248~子步骤 S249 进一步提升所述仿机器人的运行安全性。

子步骤 S248，若第一零空间、第二零空间、第三零空间及第四零空间各自对应的凸二次规划问题均求解成功，并且凸二次规划问题的求解总耗时小于当前控制周期所对应的周期时长，则直接将求解出的处于第四零空间下的待输出驱动参数作为期望驱动参数。

子步骤 S249，若第一零空间、第二零空间、第三零空间及第四零空间中任一零空间的凸二次规划问题求解失败，或者第一零空间、第二零空间、第三零空间及第四零空间所对应的凸二次规划问题的求解总耗时大于当前控制周期所对应的周期时长，则将仿机器人在当前控制周期的上一控制周期下对应的已使用驱动参数作为期望驱动参数。

由此，本申请可通过执行上述子步骤 S248~子步骤 S249 进一步提升所述仿机器人的运行安全性。

请再次参照图 2，步骤 S250，按照期望驱动参数对仿机器人中各真实关节的运行状态进行控制，使仿机器人按照期望运动轨迹保持平衡。

在本实施例中，当所述机器人控制设备 10 确定出当前满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束条件的期望驱动参数后，可通过从所述期望驱动参数提取出所述仿机器人各关节的期望角加速度和所述仿机器人双足的期望足底力参数，而后将所述仿机器人各关节的期望角加速度和所述仿机器人双足的期望足底力参数代入到期望关节力矩计算表达式中，求解出所述仿机器人当前的期望关节力矩，而后将所述期望关节力矩传输到所述仿机器人各真实关节的力控电机处，从而控制所述仿机器人按照期望运动轨迹保持平衡，达到期望运动平衡效果。其中，所述期望关节力矩计算表达式可采用如下式子进行表达：

$$\tau_d = S_a M \ddot{q}_d + S_a (C + G) - S_a J^T F_d$$

其中， $\ddot{q}_d$ 用于表示所述期望驱动参数中所述仿机器人各关节的期望角加速度， F_d 用于表示所述期望驱动参数中所述仿机器人双足的期望足底力参数， τ_d 用于表示仿机器人当前的期望关节力矩。

由此，本申请可通过执行上述步骤 S210~步骤 S250，根据机器人真实运动状况对机器人运动规划轨迹进行实时修正，并确保仿人机器人的机体动作在实现预期运动平衡效果的同时符合机器人运动规律，提升机器人运行安全性。

在本申请中，为确保所述机器人控制设备 10 能够通过所述机器人平衡控制装置 100 5 执行上述机器人平衡控制方法，本申请通过对所述机器人平衡控制装置 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平衡控制装置 100 的具体组成进行相应描述。

请参照图 7，图 7 是本申请实施例提供的机器人平衡控制装置 100 的组成示意图。在本申请实施例中，所述机器人平衡控制装置 100 可以包括运动数据获取模块 110、轨 10 迹修正适配模块 120、期望状态确定模块 130、期望驱动计算模块 140 及关节平衡控制模块 150。

运动数据获取模块 110，用于获取仿人机器人当前的运动状况信息以及运动规划轨迹。其中，所述运动数据获取模块 110 可相应执行上述步骤 S210。

轨迹修正适配模块 120，用于根据运动状况信息对运动规划轨迹进行参数适配调整， 15 得到与运动状况信息匹配的期望运动轨迹。其中，所述轨迹修正适配模块 120 可相应执行上述步骤 S220 以及子步骤 S221~子步骤 S228。

期望状态确定模块 130，用于根据运动状况信息确定仿人机器人在足底、质心和腰部处分别趋向于期望运动轨迹的期望状态参数。其中，所述期望状态确定模块 130 可相应执行上述步骤 S230 以及子步骤 S231~子步骤 S233。

期望驱动计算模块 140，用于根据运动状况信息以及期望状态参数，计算仿人机器人 20 当前同时满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束条件的期望驱动参数。其中，所述期望驱动计算模块 140 可相应执行上述步骤 S240 以及子步骤 S241~子步骤 S249。

关节平衡控制模块 150，用于按照期望驱动参数对仿人机器人中各真实关节的运行 25 状态进行控制，使仿人机器人按照期望运动轨迹保持平衡。其中，所述关节平衡控制模块 150 可相应执行上述步骤 S250。

需要说明的是，本申请实施例所提供的机器人平衡控制装置 100，其基本原理及产

生的技术效果与前述的机器人平衡控制方法相同。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平衡控制方法的描述内容。

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，在本申请提供的机器人平衡控制方法、装置、机器人控制设备及存储介质中，本申请在获取到仿人机器人当前的运动状况信息以及运动规划轨迹后，会对运动规划轨迹进行参数适配调整，得到与运动状况信息匹配的期望运动轨迹，而后根据运动状况信息确定仿人机器人在足底、质心和腰部处分别趋向于所述期望运动轨迹的期望状态参数，并根据运动状况信息以及期望状态参数，计算仿人机器人当前同时满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束条件的期望驱动参数，接着按照得到的期望驱动参数对仿人机器人中各真实关节的运行状态进

行控制，从而在根据机器人真实运动状况对机器人运动规划轨迹进行实时修正，降低机器人所处环境对仿人机器人的运动平衡干扰的基础上，确保仿人机器人的机体动作在实现预期运动平衡效果的同时符合机器人运动规律，提升机器人运行安全性。

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
5 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。

10

15

20

25

权利要求

1.一种机器人平衡控制方法，其特征在于，所述方法包括：

获取仿人机器人当前的运动状况信息以及运动规划轨迹；

5 根据所述运动状况信息对所述运动规划轨迹进行参数适配调整，得到与所述运动状况信息匹配的期望运动轨迹；

根据所述运动状况信息确定所述仿人机器人在足底、质心和腰部处分别趋向于所述期望运动轨迹的期望状态参数；

10 根据所述运动状况信息以及所述期望状态参数，计算所述仿人机器人当前同时满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束条件的期望驱动参数；

按照所述期望驱动参数对所述仿人机器人中各真实关节的运行状态进行控制，使所述仿人机器人按照所述期望运动轨迹保持平衡。

2.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述根据所述运动状况信息对所述运动规划轨迹进行参数适配调整，得到与所述运动状况信息匹配的期望运动轨迹的步骤，
15 包括：

根据所述运动状况信息中的双足足底受力数据计算所述仿人机器人双足当前各自的零力矩点位置；

判断所述仿人机器人双足各自的零力矩点位置是否处于对应足底支撑域范围内；

20 针对所述仿人机器人的零力矩点位置处于对应足底支撑域范围内的足部，采用所述运动状况信息中与该足部对应的足底位姿及足底速度，对该足部在所述运动规划轨迹中的足底规划位姿及足底规划速度进行匹配式替换，得到该足部在所述期望运动轨迹中的足底期望位姿及足底期望速度；

25 针对所述仿人机器人的零力矩点位置未处于对应足底支撑域范围内的足部，直接将该足部在所述运动规划轨迹中的足底规划位姿及足底规划速度，分别作为该足部在所述期望运动轨迹中的足底期望位姿及足底期望速度；

采用所述仿人机器人双足的足底期望位姿对所述运动规划轨迹中的质心规划位姿

进行参数更新，得到所述期望运动轨迹中的质心期望位姿；

采用所述仿人机器人双足的足底期望速度对所述运动规划轨迹中的质心规划速度进行参数更新，得到所述期望运动轨迹中的质心期望速度；

5 将所述运动规划轨迹中的腰部规划位姿与腰部规划速度分别置为零，得到所述期望运动轨迹中的腰部期望位姿及腰部期望速度；

采用所述仿人机器人的重力对所述运动规划轨迹中的双足各自的规划足底力参数进行参数更新，得到所述期望运动轨迹中的双足各自的期望足底力参数。

3.根据权利要求2所述的方法，其特征在于，所述期望状态参数包括足底的期望加速度、质心的期望线动力及腰部的期望加速度，所述运动规划轨迹包括足底、质心和腰部各自对应的规划状态参数，所述规划状态参数包括足底的规划加速度、质心的规划线动力及腰部的规划加速度，所述运动状况信息包括足底、质心和腰部各自的实际位姿及实际速度，所述根据所述运动状况信息确定所述仿人机器人在足底、质心和腰部处分别趋向于所述期望运动轨迹的期望状态参数的步骤，包括：

10

针对足底、质心和腰部中的每项平衡需求部位，将该平衡需求部位的期望位姿与实际位姿进行减法运算，并将该平衡需求部位的期望速度与实际速度进行减法运算，得到对应的位姿差异值及速度差异值；

15

在得到的位姿差异值与速度差异值中选取与该平衡需求部位的运动控制函数匹配的差异参数值；

将该平衡需求部位所对应的规划状态参数及选取的差异参数值代入该平衡需求部位的运动控制函数中进行参数计算，得到该平衡需求部位的期望状态参数。

20

4.根据权利要求1-3中任意一项所述的方法，其特征在于，所述力控参数分布约束条件包括关节力矩分布约束条件及足底力参数分布约束条件，所述根据所述运动状况信息以及所述期望状态参数，计算所述仿人机器人当前同时满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束条件的期望驱动参数的步骤，包括：

25

在第一零空间内将所述运动状况信息代入到所述机器人动力学需求所对应的浮动基动力学方程以及所述关节力矩分布约束条件所对应的关节力矩不等式中针对待优化

驱动参数进行凸二次规划问题求解，得到处于所述第一零空间下的第一优化驱动参数；

根据所述第一零空间的零空间投影矩阵、第二零空间的第一自由向量以及所述第一优化驱动参数，计算所述第二零空间的第一待递归驱动参数；

5 在所述第二零空间内将所述第一待递归驱动参数代入与所述足底控制需求对应的第一关联关系表达式、所述关节力矩不等式及所述足底力参数分布约束条件所对应的足底力参数不等式组中进行凸二次规划问题求解，得到处于所述第二零空间下的第二优化驱动参数，其中所述第一关联关系表达式用于表示待优化驱动参数与足底的期望状态参数之间的关联关系；

10 根据所述第二零空间的零空间投影矩阵、第三零空间的第二自由向量以及所述第二优化驱动参数，计算所述第三零空间的第二待递归驱动参数；

在所述第三零空间内将所述第二待递归驱动参数代入与所述质心控制需求对应的第二关联关系表达式、所述关节力矩不等式及所述足底力参数不等式组中进行凸二次规划问题求解，得到处于所述第三零空间下的第三优化驱动参数，其中所述第二关联关系表达式用于表示待优化驱动参数与质心的期望状态参数之间的关联关系；

15 根据所述第三零空间的零空间投影矩阵、第四零空间的第三自由向量以及所述第三优化驱动参数，计算所述第四零空间的第三待递归驱动参数；

20 在所述第四零空间内将所述第三待递归驱动参数代入与所述腰部控制需求对应的第三关联关系表达式、与所述足底控制需求对应的期望足底力参数趋向等式、所述关节力矩不等式及所述足底力参数不等式组中进行凸二次规划问题求解，得到处于所述第四零空间下的可作为所述期望驱动参数的待输出驱动参数，其中所述第二关联关系表达式用于表示待优化驱动参数与腰部的期望状态参数之间的关联关系。

5.根据权利要求4所述的方法，其特征在于，所述根据所述运动状况信息以及所述期望状态参数，计算所述仿人机器人当前同时满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束条件的期望驱动参数的步骤，还包括：

25 若所述第一零空间、所述第二零空间、所述第三零空间及所述第四零空间各自对应的凸二次规划问题均求解成功，并且凸二次规划问题的求解总耗时小于当前控制周期所对应的周期时长，则直接将求解出的处于所述第四零空间下的待输出驱动参数作为所述

期望驱动参数；

若所述第一零空间、所述第二零空间、所述第三零空间及所述第四零空间中任一零空间的凸二次规划问题求解失败，或者所述第一零空间、所述第二零空间、所述第三零空间及所述第四零空间所对应的凸二次规划问题的求解总耗时大于当前控制周期所对应的周期时长，则将所述仿人机器人在当前控制周期的上一控制周期下对应的已使用驱动参数作为所述期望驱动参数。

6.根据权利要求4所述的方法，其特征在于，所述关节力矩不等式的表达式如下所示：

$$\left[\tau_{\min} - S_a (C + G) \right] \leq S_a M \ddot{q} - S_a J^T F \leq \left[\tau_{\max} - S_a (C + G) \right]$$

10 其中， $\tau_{\min}$ 用于表示仿人机器人的关节力矩下限边界， $\tau_{\max}$ 用于表示仿人机器人的关节力矩上限边界， S_a 用于表示仿人机器人的可驱动关节选择矩阵， M 用于表示仿人机器人当前的惯量矩阵， G 用于表示仿人机器人当前的重力矩阵， C 用于表示仿人机器人当前的由离心力和科里奥利力产生的非线性矩阵， J 用于表示仿人机器人当前足底力作用点的雅可比矩阵， $\ddot{q}$ 用于表示所述待优化驱动参数所包括的各关节角加速度， F 15 用于表示所述待优化驱动参数所包括的足底力参数。

7.根据权利要求4所述的方法，其特征在于，所述足底力参数不等式组的表达式如下所示：

$$\left\{ \begin{array}{l} |F_x| \leq \frac{\sqrt{2}}{2} \mu F_z \\ |F_y| \leq \frac{\sqrt{2}}{2} \mu F_z \\ F_z \geq 0 \\ d_{x,\min} \leq \frac{-\tau_y}{F_z} \leq d_{x,\max} \\ d_{y,\min} \leq \frac{\tau_x}{F_z} \leq d_{y,\max} \end{array} \right.$$

其中， F_z 用于表示待优化驱动参数所包括的足底力参数中的足底力矢量在笛卡尔

坐标系下的 Z 轴方向上的分量, F_x 用于表示待优化驱动参数所包括的足底力参数中的足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 X 轴方向上的分量, F_y 用于表示待优化驱动参数所包括的足底力参数中的足底力矢量在笛卡尔坐标系下的 Y 轴方向上的分量, τ_y 用于表示待优化驱动参数所包括的足底力参数中的足底力矩矢量在笛卡尔坐标系下的 Y 轴方向上的分量, τ_x 用于表示待优化驱动参数所包括的足底力参数中的足底力矩矢量在笛卡尔坐标系下的 X 轴方向上的分量, $d_{x,\min}$ 用于表示足底支撑域在笛卡尔坐标系下的 X 轴方向上的下限边界, $d_{x,\max}$ 用于表示足底支撑域在笛卡尔坐标系下的 X 轴方向上的上限边界, $d_{y,\min}$ 用于表示足底支撑域在笛卡尔坐标系下的 Y 轴方向上的下限边界, $d_{y,\max}$ 用于表示足底支撑域在笛卡尔坐标系下的 Y 轴方向上的上限边界, μ 用于表示仿人机器人足底与足底支撑面之间的摩擦力系数。

8.一种机器人平衡控制装置,其特征在于,所述装置包括:

运动数据获取模块,用于获取仿人机器人当前的运动状况信息以及运动规划轨迹;

轨迹修正适配模块,用于根据所述运动状况信息对所述运动规划轨迹进行参数适配调整,得到与所述运动状况信息匹配的期望运动轨迹;

期望状态确定模块,用于根据所述运动状况信息确定所述仿人机器人在足底、质心和腰部处分别趋向于所述期望运动轨迹的期望状态参数;

期望驱动计算模块,用于根据所述运动状况信息以及所述期望状态参数,计算所述仿人机器人当前同时满足机器人动力学需求、足底控制需求、质心控制需求、腰部控制需求及力控参数分布约束条件的期望驱动参数;

关节平衡控制模块,用于按照所述期望驱动参数对所述仿人机器人中各真实关节的运行状态进行控制,使所述仿人机器人按照所述期望运动轨迹保持平衡。

9.一种机器人控制设备,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,实现权利要求 1-7 中任意一项所述的机器人平衡控制方法。

10.一种存储介质,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 1-7 中任意一项所述的机器人平衡控制方法。

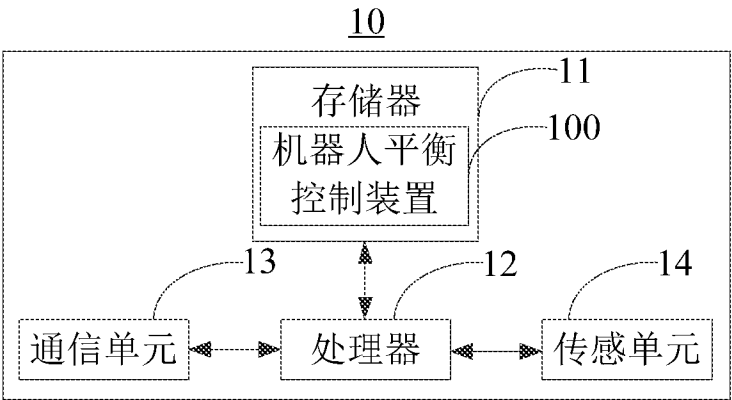


图 1

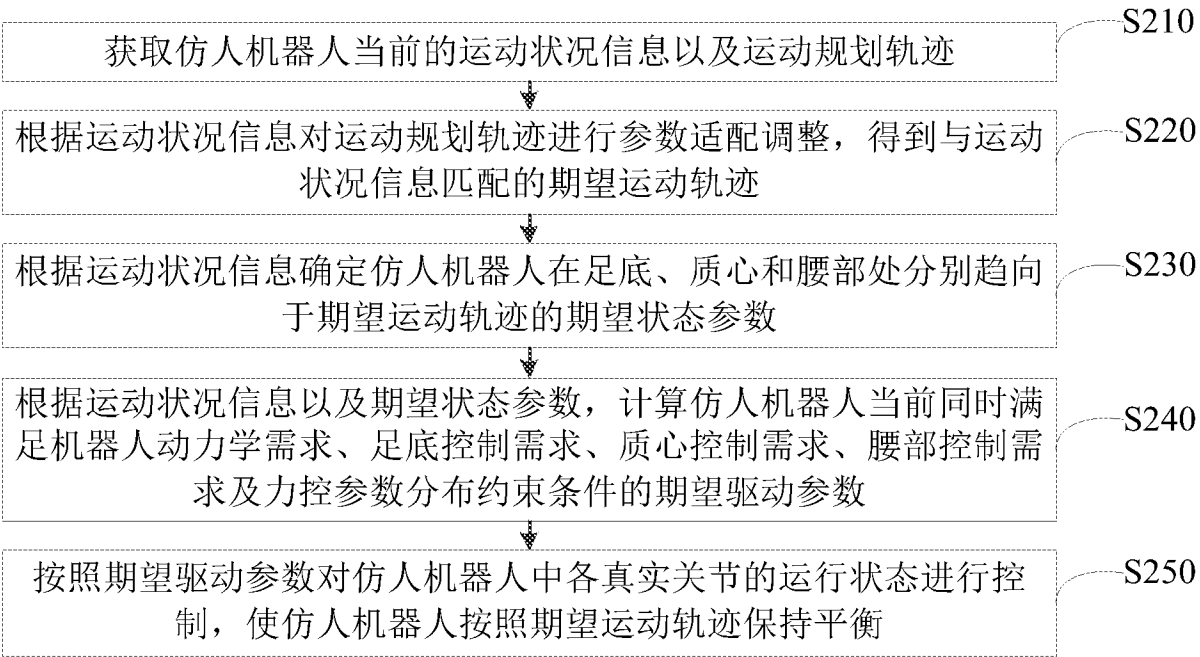


图 2



图 3

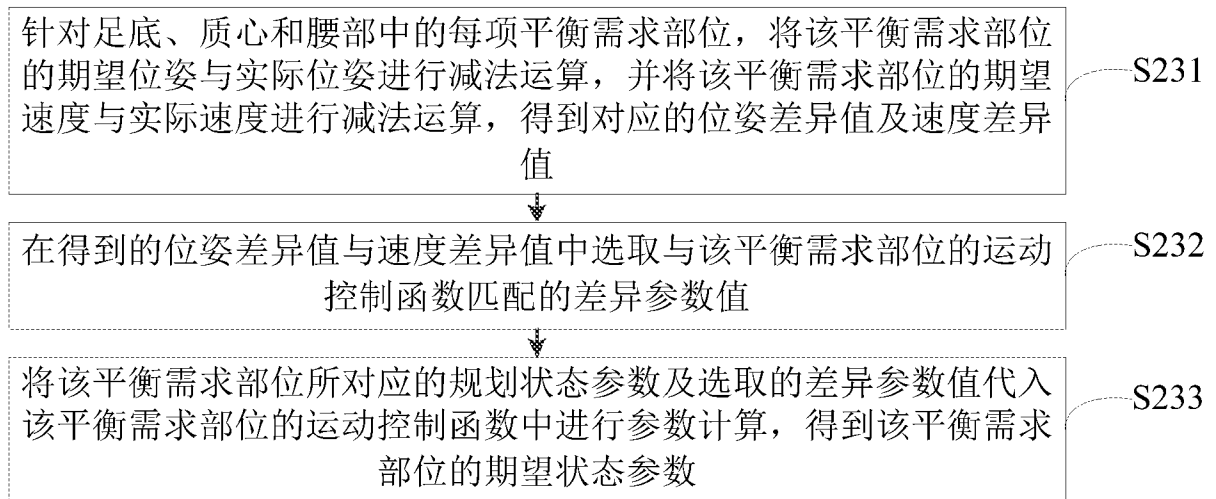


图 4



图 5

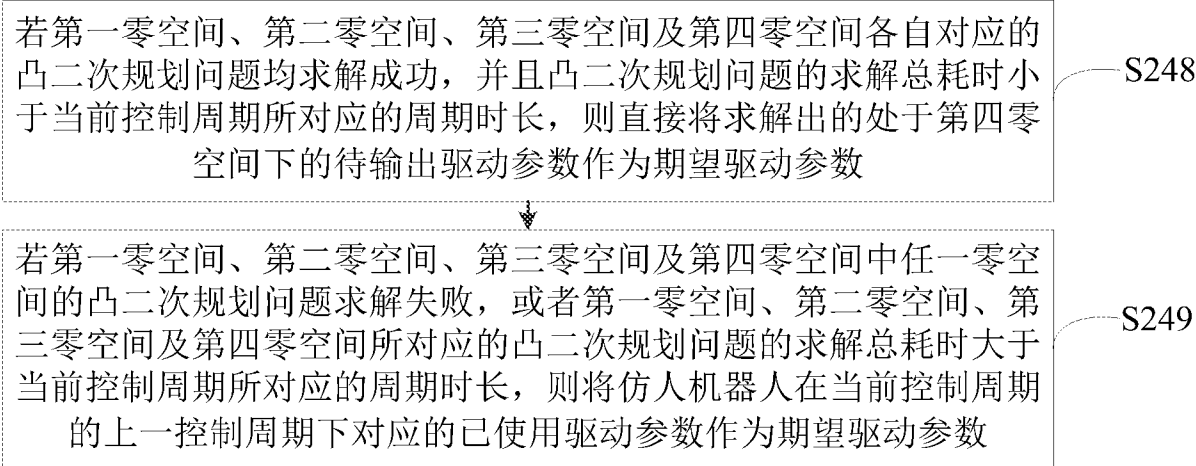


图 6

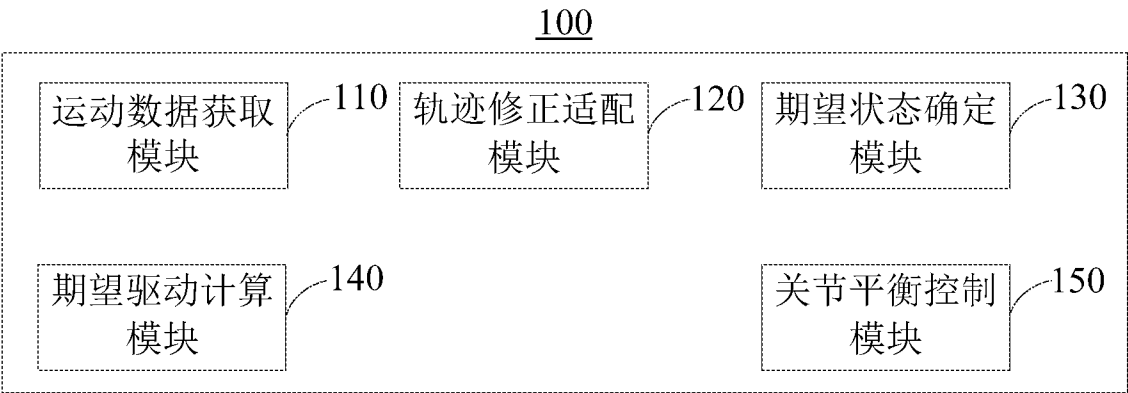


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/131677

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J 9/16(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)

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, DWPI, VEN, VCN, CNKI: 轨迹, 平衡, 机器人, 路线, 状态, 足底, 质心, 腰部, 动力学, balanc+, track, path, robot

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 112775976 A (UBTECH ROBOTICS CORP.) 11 May 2021 (2021-05-11) description, paragraph 0003 to paragraph 0056, and figures 1-7	1, 8-10
Y	CN 111872941 A (UBTECH ROBOTICS CORP.) 03 November 2020 (2020-11-03) description, paragraph 0003 to paragraph 0018, and figures 1-9	1, 8-10
PX	CN 113290559 A (UBTECH ROBOTICS CORP.) 24 August 2021 (2021-08-24) claims 1-10	1-10
A	CN 108115669 A (SHENYANG SIASUN ROBOT & AUTOMATION CO., LTD.) 05 June 2018 (2018-06-05) entire document	1-10
A	US 9586316 B1 (GOOGLE INC.) 07 March 2017 (2017-03-07) entire document	1-10
A	EP 2343161 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 13 July 2011 (2011-07-13) entire document	1-10
A	CN 108858208 A (LUDONG UNIVERSITY) 23 November 2018 (2018-11-23) 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

“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

15 February 2022

Date of mailing of the international search report

09 March 2022

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

International application No.

PCT/CN2021/131677

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 112792808 A (ROKAE (SHANDONG) INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 14 May 2021 (2021-05-14) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/131677

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	112775976	A	11 May 2021	None	
CN	111872941	A	03 November 2020	None	
CN	113290559	A	24 August 2021	None	
CN	108115669	A	05 June 2018	None	
US	9586316	B1	07 March 2017	US 10081104 B1	25 September 2018
				US 2019176329 A1	13 June 2019
				US 10456916 B2	29 October 2019
				US 10239208 B1	26 March 2019
				US 2020016750 A1	16 January 2020
EP	2343161	A1	13 July 2011	KR 20110082394 A	19 July 2011
				US 2011172824 A1	14 July 2011
CN	108858208	A	23 November 2018	None	
CN	112792808	A	14 May 2021	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/131677

A. 主题的分类 B25J 9/16 (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) 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, DWPI, VEN, VCN. CNKI: 轨迹, 平衡, 机器人, 路线, 状态, 足底, 质心, 腰部, 动力学, balanc+, track, path, robot																										
C. 相关文件 <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>Y</td> <td>CN 112775976 A (深圳市优必选科技股份有限公司) 2021年5月11日 (2021 - 05 - 11) 说明书第0003段至第0056段, 附图1-7</td> <td>1、8-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 111872941 A (深圳市优必选科技股份有限公司) 2020年11月3日 (2020 - 11 - 03) 说明书第0003段至第0018段, 附图1-9</td> <td>1、8-10</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 113290559 A (深圳市优必选科技股份有限公司) 2021年8月24日 (2021 - 08 - 24) 权利要求1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108115669 A (沈阳新松机器人自动化股份有限公司) 2018年6月5日 (2018 - 06 - 05) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 9586316 B1 (GOOGLE INC) 2017年3月7日 (2017 - 03 - 07) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>EP 2343161 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD) 2011年7月13日 (2011 - 07 - 13) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108858208 A (鲁东大学) 2018年11月23日 (2018 - 11 - 23) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 112775976 A (深圳市优必选科技股份有限公司) 2021年5月11日 (2021 - 05 - 11) 说明书第0003段至第0056段, 附图1-7	1、8-10	Y	CN 111872941 A (深圳市优必选科技股份有限公司) 2020年11月3日 (2020 - 11 - 03) 说明书第0003段至第0018段, 附图1-9	1、8-10	PX	CN 113290559 A (深圳市优必选科技股份有限公司) 2021年8月24日 (2021 - 08 - 24) 权利要求1-10	1-10	A	CN 108115669 A (沈阳新松机器人自动化股份有限公司) 2018年6月5日 (2018 - 06 - 05) 全文	1-10	A	US 9586316 B1 (GOOGLE INC) 2017年3月7日 (2017 - 03 - 07) 全文	1-10	A	EP 2343161 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD) 2011年7月13日 (2011 - 07 - 13) 全文	1-10	A	CN 108858208 A (鲁东大学) 2018年11月23日 (2018 - 11 - 23) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
Y	CN 112775976 A (深圳市优必选科技股份有限公司) 2021年5月11日 (2021 - 05 - 11) 说明书第0003段至第0056段, 附图1-7	1、8-10																								
Y	CN 111872941 A (深圳市优必选科技股份有限公司) 2020年11月3日 (2020 - 11 - 03) 说明书第0003段至第0018段, 附图1-9	1、8-10																								
PX	CN 113290559 A (深圳市优必选科技股份有限公司) 2021年8月24日 (2021 - 08 - 24) 权利要求1-10	1-10																								
A	CN 108115669 A (沈阳新松机器人自动化股份有限公司) 2018年6月5日 (2018 - 06 - 05) 全文	1-10																								
A	US 9586316 B1 (GOOGLE INC) 2017年3月7日 (2017 - 03 - 07) 全文	1-10																								
A	EP 2343161 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD) 2011年7月13日 (2011 - 07 - 13) 全文	1-10																								
A	CN 108858208 A (鲁东大学) 2018年11月23日 (2018 - 11 - 23) 全文	1-10																								
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
<table border="0"> <tr> <td> * 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 </td> <td> “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 </td> </tr> </table>			* 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																						
* 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		国际检索报告邮寄日期																								
2022年2月15日		2022年3月9日																								
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员																								
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		卫红 电话号码 86-010-62089633																								

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
A	CN 112792808 A (珞石山东智能科技有限公司) 2021年5月14日 (2021 - 05 - 14) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/131677

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	112775976	A	2021年5月11日	无	
CN	111872941	A	2020年11月3日	无	
CN	113290559	A	2021年8月24日	无	
CN	108115669	A	2018年6月5日	无	
US	9586316	B1	2017年3月7日	US 10081104 B1	2018年9月25日
				US 2019176329 A1	2019年6月13日
				US 10456916 B2	2019年10月29日
				US 10239208 B1	2019年3月26日
				US 2020016750 A1	2020年1月16日
EP	2343161	A1	2011年7月13日	KR 20110082394 A	2011年7月19日
				US 2011172824 A1	2011年7月14日
CN	108858208	A	2018年11月23日	无	
CN	112792808	A	2021年5月14日	无	