(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
2023 年 4 月 6 日 (06.04.2023)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2023/051108 A1

(51) 国际专利分类号:
G05B 19/19 (2006.01) *A61H 1/02* (2006.01)
B25J 9/16 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/114509

(22) 国际申请日: 2022 年 8 月 24 日 (24.08.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202111163733.3 2021年9月30日 (30.09.2021) CN

(71) 申请人: 上海傅利叶智能科技有限公司 (SHANGHAI FOURIER INTELLIGENCE CO., LTD) [CN/CN]; 中国上海市浦东新区康桥镇秀浦路2388号8幢203、204、205、206室, Shanghai 201203 (CN)。

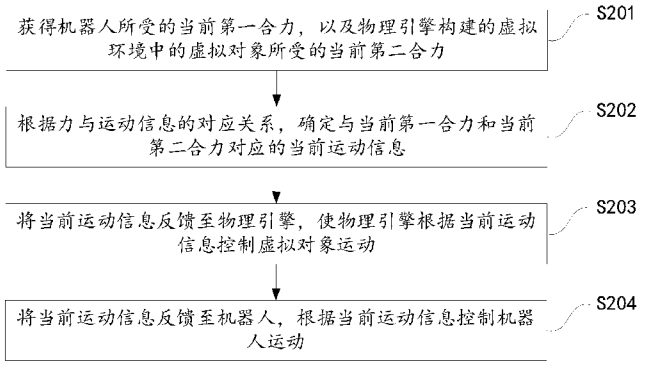
(72) 发明人: 陈鑫 (CHEN, Xin); 中国上海市浦东新区康桥镇秀浦路2388号8幢203、204、205、206室, Shanghai 201203 (CN)。 顾捷 (GU, Jie); 中国上海市浦东新区康桥镇秀浦路2388号8幢203、204、205、206室, Shanghai 201203 (CN)。 沈建忠 (SHEN, Jianzhong); 中国上海市浦东新区康桥镇秀浦路2388号8幢203、204、205、206室, Shanghai 201203 (CN)。 丁立 (DING, Li); 中国上海市浦东新区康桥镇秀浦路2388号8幢203、204、205、206室, Shanghai 201203 (CN)。

(74) 代理人: 上海领洋专利代理事务所 (普通合伙) (BELLWETHER PATENT LAW OFFICE); 中国上海市徐汇区田州路99号9号楼811室, Shanghai 200233 (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, 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,

(54) **Title:** ROBOT CONTROL METHOD AND DEVICE BASED ON PHYSICAL ENGINE AND REHABILITATION ROBOT

(54) **发明名称:** 基于物理引擎的机器人控制方法、装置和康复机器人



S201 Obtain current first resultant force on a robot, and current second resultant force on a virtual object in a virtual environment constructed by a physical engine

S202 Determine, according to a corresponding relationship between the force and motion information, current motion information corresponding to the current first resultant force and the current second resultant force

S203 Feed back the current motion information to the physical engine, such that the physical engine controls the virtual object to move according to the current motion information

S204 Feed back the current motion information to the robot, and control the robot to move according to the current motion information

图 2

(57) **Abstract:** A robot control method based on a physical engine, comprising: obtaining current first resultant force on a robot, and current second resultant force on a virtual object in a virtual environment constructed by a physical engine; determining, according to a corresponding relationship between the force and motion information, current motion information corresponding to the current first resultant force and the current second resultant force, wherein the current second resultant force is determined by the physical engine according to the previous motion information corresponding to the previous first resultant force of the robot and the previous second resultant force of the virtual object, and the current motion information makes the current first resultant force and the current second resultant force tend to be synchronized; and feeding back the current motion information to the robot, and controlling the robot to move according to the current motion information. By using the method, the impact of the robot on a user can be reduced, and the safety of the user can be improved. Further provided are a robot control apparatus based on the physical engine and a rehabilitation robot.

WO 2023/051108 A1

[见续页]

SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：一种基于物理引擎的机器人控制方法，包括：获得机器人所受的当前第一合力，以及物理引擎构建的虚拟环境中的虚拟对象所受的当前第二合力；根据力与运动信息的对应关系，确定与当前第一合力和当前第二合力对应的当前运动信息；其中，当前第二合力是物理引擎根据机器人的前一个第一合力和虚拟对象的前一个第二合力对应的前一个运动信息确定的，当前运动信息使当前第一合力和当前第二合力趋向于同步；将当前运动信息反馈至机器人，根据当前运动信息控制机器人运动。采用该方法可降低机器人对用户的冲击，有利于提高用户安全。还提供了一种基于物理引擎的机器人控制装置和康复机器人。

基于物理引擎的机器人控制方法、装置和康复机器人

技术领域

本申请涉及机器人技术领域，例如涉及一种基于物理引擎的机器人控制方法、装置和康复机器人。

背景技术

物理引擎通过为刚性物体赋予真实的物理属性来计算运动、旋转和碰撞反应。物理引擎可模拟虚拟对象在多种虚拟环境下的运动状态，在将物理引擎与机器人结合后，可将虚拟对象在虚拟环境中的受力状态、运动状态等通过机器人反馈给用户，使用户获得更加真实的触觉体验，该方案可应用于肢体训练、康复训练等场景。

为了将虚拟对象在虚拟环境中的受力状态、运动状态等通过机器人反馈给用户，可将机器人的运动信息发送至物理引擎，物理将机器人的运动信息映射为虚拟环境中虚拟对象的运动信息，并基于虚拟对象的运动信息以及虚拟环境的配置参数，确定虚拟对象的受力情况，再根据虚拟对象的受力情况控制机器人，或者，基于虚拟对象的受力情况，确定出虚拟对象在虚拟环境中的运动信息，再根据虚拟对象的运动信息控制机器人运动，这样，使用户获得虚拟环境中的触觉体验，提高用户的使用体验。

在实现本申请实施例的过程中，发现相关技术中至少存在如下问题：

在根据虚拟对象的受力情况控制机器人运动，或者，在根据虚拟对象的运动信息控制机器人运动的过程中，物理引擎模拟的虚拟环境具有一定的复杂性，如果虚拟对象在虚拟环境中的受力或运动状态发生骤变，会使机器人的受力或运动状态发生骤变，导致机器人对用户产生一定冲击，不利于用户安全。

发明内容

为了对披露的实施例的一些方面有基本的理解，下面给出了简单的概

括。所述概括不是泛泛评述，也不是要确定关键/重要组成元素或描绘这些实施例的保护范围，而是作为后面的详细说明的序言。

本申请实施例提供了一种基于物理引擎的机器人控制方法、装置和康复机器人，以解决现有技术中根据物理引擎模拟的虚拟对象控制机器人的方案不利于用户安全的技术问题。

在一些实施例中，基于物理引擎的机器人控制方法包括：

获得机器人所受的当前第一合力，以及物理引擎构建的虚拟环境中的虚拟对象所受的当前第二合力；

根据力与运动信息的对应关系，确定与所述当前第一合力和所述当前第二合力对应的当前运动信息；其中，所述当前第二合力是所述物理引擎根据所述机器人的前一个第一合力和所述虚拟对象的前一个第二合力对应的前一个运动信息确定的，所述当前运动信息使所述当前第一合力和所述当前第二合力趋向于同步；

将所述当前运动信息反馈至所述物理引擎，使所述物理引擎根据所述当前运动信息控制所述虚拟对象运动；

将所述当前运动信息反馈至所述机器人，根据所述当前运动信息控制机器人运动。

可选地，力与运动信息的对应关系包括：

$$F = M\ddot{x} + B\dot{x} + Kx$$

其中，F为第一合力与第二合力的差值，x为运动信息对应的位置；$\dot{x}$为运动信息对应的速度；$\ddot{x}$为运动信息对应的加速度，M与所述机器人的真实惯性参数与所述虚拟对象的虚拟惯性参数的惯性参数差值相对应，B与所述机器人的真实阻尼参数与所述虚拟对象的虚拟阻尼参数的阻尼参数差值相对应，K为使所述机器人与所述虚拟对象实现位置同步的补偿系数。

可选地，根据所述当前运动信息控制所述虚拟对象运动，根据所述当前运动信息控制所述机器人运动，包括：

获得所述机器人的当前第一位置，以及所述虚拟对象在所述虚拟环境中的当前第二位置；将所述当前第一位置和所述当前运动信息对应的位置之和确定为所述机器人的第一期望位置，使所述当前第一位置跟随所述第一期望位置；将所述当前第二位置和所述当前运动信息对应的位置之差确

定为所述虚拟对象的第二期望位置，使所述当前第二位置跟随所述第二期望位置。

可选地，根据所述当前运动信息控制所述虚拟对象运动，根据所述当前运动信息控制所述机器人运动，包括：

获得所述机器人的当前第一位置，以及所述虚拟对象在虚拟环境中的当前第二位置；将所述当前第一位置和所述当前运动信息对应的位置之差确定为所述机器人的第一期望位置，使所述当前第一位置跟随所述第一期望位置；将所述当前第二位置和所述当前运动信息对应的位置之和确定为所述虚拟对象的第二期望位置，使所述当前第二位置跟随所述第二期望位置。

可选地，根据所述当前运动信息控制所述虚拟对象运动，根据所述当前运动信息控制所述机器人运动，包括：

获得所述机器人的当前第一速度，以及所述虚拟对象在所述虚拟环境中的当前第二速度；将所述当前运动信息对应的速度确定为所述机器人的第一期望速度，使所述当前第一速度跟随所述第一期望速度；将所述当前运动信息对应的速度确定为所述虚拟对象的第二期望速度，使所述当前第二速度跟随所述第二期望速度。

可选地，根据所述当前运动信息控制所述虚拟对象运动，根据所述当前运动信息控制所述机器人运动，包括：

获得所述机器人的当前第一速度，以及所述虚拟对象在所述虚拟环境中的当前第二速度；将所述当前运动信息对应的速度与所述当前第一速度的和/差，确定为所述机器人的第一期望速度，使所述当前第一速度跟随所述第一期望速度；将所述当前运动信息对应的速度与所述当前第二速度的差/和，确定为所述虚拟对象的第二期望速度，使所述当前第二速度跟随所述第二期望速度。

可选地，参数M是通过如下方式确定的：获得所述机器人的真实惯性参数与所述虚拟对象的虚拟惯性参数的惯性参数差值，将所述惯性参数差值确定为所述参数M，或者，获得与Kx项正相关的惯性调整参数，将所述惯性参数差值和所述惯性调整参数之和确定为所述参数M，或者将所述惯性参数差值与所述惯性调整参数的乘积确定为所述参数M。

可选地，参数B是通过如下方式确定的：获得所述机器人的真实阻尼参数与所述虚拟对象的虚拟阻尼参数的阻尼参数差值，将所述阻尼参数差值确定为所述参数B，或者，获得与Kx项正相关的阻尼调整参数，将所述阻尼参数差值和所述阻尼调整参数之和确定为所述参数B，或者将所述阻尼参数差值和所述阻尼调整参数的乘积确定为所述参数B。

可选地，参数 K 是通过如下方式确定的：获得与所述差值 F 正相关的参数 K。

可选地，所述物理引擎根据前一个第一合力和前一个第二合力对应的前一个运动信息确定所述当前第二合力，包括：根据所述前一个运动信息确定所述虚拟对象的前一个虚拟驱动力；获得所述虚拟环境的配置信息；根据所述虚拟对象在所述虚拟环境中的前一个第二运动信息和配置信息确定所述虚拟对象在所述虚拟环境中的前一个虚拟环境作用力；将所述前一个虚拟驱动力和所述前一个虚拟环境作用力的合力，确定为所述当前第二合力。

在一些实施例中，基于物理引擎的机器人控制装置包括获得模块、确定模块、第一控制模块和第二控制模块，其中，所述获得模块被配置为获得机器人所受的当前第一合力，以及物理引擎构建的虚拟环境中的虚拟对象所受的当前第二合力；所述确定模块被配置为根据力与运动信息的对应关系，确定与所述当前第一合力和所述当前第二合力对应的当前运动信息；其中，所述当前第二合力是所述物理引擎根据所述机器人的前一个第一合力和所述虚拟对象的前一个第二合力对应的前一个运动信息确定的，所述当前运动信息使所述当前第一合力和所述当前第二合力趋向于同步；所述第一控制模块被配置为将所述当前运动信息反馈至所述物理引擎，使所述物理引擎根据所述当前运动信息控制所述虚拟对象运动；所述第二控制模块被配置为将所述当前运动信息反馈至所述机器人，根据所述当前运动信息控制所述机器人运动。

在一些实施例中，基于物理引擎的机器人控制装置包括处理器和存储有程序指令的存储器，所述处理器被配置为在执行所述程序指令时，执行前述实施例提供的基于物理引擎的机器人控制方法。

在一些实施例中，康复机器人包括前述实施例提供的基于物理引擎的

机器人控制装置。

本申请实施例提供的基于物理引擎的机器人控制方法、装置和康复机器人，可以实现以下技术效果：

虚拟对象的当前第二合力是物理引擎根据机器人的前一个第一合力和虚拟对象的前一个第二合力对应的前一个运动信息确定的，再根据机器人的当前第一合力以及虚拟对象的当前第二合力确定当前运动信息，将当前运动信息反馈至机器人以及物理引擎，使机器人根据当前运动信息运动，虚拟对象根据当前运动信息运动，在上述控制过程中，力与运动信息的传输顺序构成一个闭环。按照这样的力与运动信息传输顺序，在虚拟对象的所受的虚拟环境作用力骤变后，当前第二合力骤变；根据当前第一合力和当前第二合力确定出的当前运动信息具有使机器人和虚拟对象同步受力的作用，这样，在当前第二合力骤变后，为了使机器人和虚拟对象受力同步，当前运动信息可以不骤变，这样，机器人的运动状态可以不骤变，减少了机器人对用户的冲击，有利于提高用户安全。

以上的总体描述和下文中的描述仅是示例性和解释性的，不用于限制本申请。

附图说明

一个或一个以上实施例通过与之对应的附图进行示例性说明，这些示例性说明和附图并不构成对实施例的限定，附图中具有相同参考数字标号的元件视为类似的元件，并且其中：

图 1 是本申请实施例提供的一种虚拟环境以及虚拟对象的示意图；

图 2 是本申请实施例提供的一种基于物理引擎的机器人控制方法的示意图；

图 3 是本申请实施例提供的一种基于物理引擎的机器人控制装置的示意图；

图 4 是本申请实施例提供的一种基于物理引擎的机器人控制装置的示意图。

具体实施方式

为了能够更加详尽地了解本申请实施例的特点与技术内容，下面结合附图对本申请实施例的实现进行详细阐述，所附附图仅供参考说明之用，并非用来限定本申请实施例。在以下的技术描述中，为方便解释起见，通过多个细节以提供对所披露实施例的充分理解。然而，在没有这些细节的情况下，一个或一个以上实施例仍然可以实施。在其它情况下，为简化附图，熟知的结构和装置可以简化展示。

本申请实施例的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便这里描述的本申请实施例的实施例。此外，术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形，意图在于覆盖不排他的包含。

除非另有说明，术语“多个”表示两个以上。

本申请实施例中，字符“/”表示前后对象是一种“或”的关系。例如，A/B 表示：A 或 B。

物理引擎可以看成是一系列运算规则的集合，各运算规则符合牛顿三大定律，通过为刚性物体赋予真实的物理属性来计算运动、旋转和碰撞反应，在物理引擎中可以模拟真实世界中各种物体运动以及相互作用的规律。预先在物理引擎中构建虚拟环境，并在虚拟环境中构建虚拟对象。物理引擎可以是 Havok、NovodeX、Bullet、ODE、TOKMAK、Newton、Simple Physics Engine 等，当然，上述列举仅对物理引擎进行示例性说明，除上述列举的之外的现有技术中的其他物理引擎，也适用于本申请。

物理引擎可模拟多种场景的虚拟环境，不同虚拟环境的配置参数不同，配置参数用于确定虚拟环境中各物体的性质，包括虚拟环境中各物体的：物理属性、材料属性、几何属性以及物体之间的连接关系。其中，物理属性表示虚拟环境中物体的质量、位置、旋转角度、速度和阻尼等性质；材料属性表示虚拟环境中物体的材质特性，例如，密度、摩擦系数、恢复系数等；几何属性表示虚拟环境中物体的几何形状；物体之间的连接关系则表示了虚拟环境中物体之间的关联关系。

物理引擎在模拟虚拟环境以及虚拟对象之后，能够计算出虚拟环境对虚拟对象的虚拟环境作用力，根据力的性质，虚拟环境作用力可包括：虚

拟重力、虚拟万有引力、虚拟弹力、虚拟摩擦力、虚拟分子力、虚拟电磁力和虚拟核力等；根据力的效果，虚拟环境作用力可包括：虚拟拉力、虚拟张力、虚拟压力、虚拟支持力、虚拟阻力、虚拟向心力和虚拟回复力等；根据力的效果，虚拟环境作用力可包括：虚拟接触力和虚拟非接触力；根据力的相互作用，虚拟环境作用力可包括：虚拟应力相互作用力、虚拟电磁相互作用力、虚拟强相互作用力和虚拟弱相互作用力。

根据具体的虚拟环境的不同，本申请中的虚拟环境作用力可以上述任意一种或多种力的合力。

虚拟对象在虚拟环境作用力的作用下被动运动，相对应地，虚拟对象在虚拟驱动力的作用下主动运动。在如图 1 所示的虚拟场景中，虚拟地面为水平地面,驱动虚拟对象 11 沿图示箭头方向 12 移动的力为虚拟驱动力，虚拟地面对虚拟对象 11 施加的摩擦力为虚拟环境作用力。（在虚拟对象 1 与障碍物 13 碰撞的场景中，障碍物 13 对虚拟对象 11 施加的力也为虚拟环境作用力，图中未示出碰撞场景）

图 2 是本申请实施例提供的一种基于物理引擎的机器人控制方法的示意图。

结合图 2 所示，基于物理引擎的机器人控制方法包括：

S201、获得机器人所受的当前第一合力，以及物理引擎构建的虚拟环境中的虚拟对象所受的当前第二合力。

这里的机器人所受的当前第一合力，指的是当前时刻机器人的末端所受的合力。在具体应用中，该当前第一合力可以是机器人的驱动力，可以是机器人的驱动力以及摩擦力的合力，可以是机器人的驱动力、摩擦力以及用户对机器人施加的作用力（可通过设置在机器人的力传感器获得）的合力。

在机器人的末端可在平面内运动的情况下，机器人的当前第一合力可以用平面坐标系内的坐标/向量来表示；在机器人的末端可在三维空间运动的情况下，机器人的当前第一合力可用三维坐标系的坐标/向量来表示。

虚拟对象在虚拟环境中所受的当前第二合力，指的是当前时刻虚拟对象在虚拟环境所受的合力。在具体应用中，该当前第二合力可以是虚拟环境作用力，可以是虚拟环境作用力和虚拟驱动力的合力。

在虚拟对象可在平面内运动的情况下，虚拟对象的当前第二合力可以用平面坐标系内的坐标/向量了表示；在虚拟对象可在三维控制键运动的情况下，虚拟对象的当前第二合力可以用三维坐标系的坐标/向量来表示。

机器人所在的坐标系和虚拟对象所在的坐标系具有映射关系，上述当前第一合力以及当前第二合力，指的是已经映射到同一个坐标系中的两个合力。另外，本申请中其他参数，例如：当前运动信息、前一个第一合力、前一个第二合力、虚拟环境作用力、用户施加的作用力、当前第一位置、当前第二位置、第一期望位置、第二期望位置、当前第一速度、当前第二速度、第一期望速度、第二期望速度、当前第一运动信息、当前第二运动信息等，均为已映射至同一坐标系中的参数。

S202、根据力与运动信息的对应关系，确定与当前第一合力和当前第二合力对应的当前运动信息；其中，当前第二合力是物理引擎根据机器人的前一个第一合力和虚拟对象的前一个第二合力对应的前一个运动信息确定的。

本申请中的运动信息可以是加速度、速度以及位置中一个或多个。本申请中的加速度泛指线加速度和角加速度，速度泛指线速度和角速度，位置泛指空间位置和角度。这里的运动信息包括两种情况：加速度为线加速度，速度为线速度，位置为空间位置；加速度为角加速度，速度为角速度，位置为角度。

力与运动信息的对应关系，可通过有限次试验的方式确定，例如机器人在受一个第一合力的情况下运动，虚拟对象在受一个第二合力的情况下运动，该一个第一合力和该一个第二合力存在差值，通过有限次试验，确定一个运动信息，该一个运动信息反馈至机器人和物理引擎，具有使该一个第一合力和该一个第二合力同步的趋势，即具有降低该一个第一合力和该一个第二合力的差值的作用，并且，该根据该一个运动信息控制机器人运动后，机器人对用户产生的冲击在用户承受范围之内，在该一个运动信息满足上述条件的情况下，确定该一个第一合力、该一个第二合力以及该一个运动信息之间具有对应关系。在确定力与运动信息的对应关系之后，可将力与运动信息的对应关系以对应数据表的形式存储在数据库中；在获得当前第一合力以及当前第二合力之后，通过查询数据库，即可获得与当

前第一合力和当前第二合力对应的当前运动信息。

或者，力与运动信息的对应关系，是以公式的形式体现的，例如，力与运动信息的对应关系包括：

$$F = M\ddot{x} + B\dot{x} + Kx$$

其中，F为第一合力与第二合力的差值，可通过第一合力减去第二合力获得，还可通过第二合力减去第一合力获得；x为运动信息对应的位置；$\dot{x}$为运动信息对应的速度；$\ddot{x}$为运动信息对应的加速度，M与机器人的真实惯性参数与虚拟对象的虚拟惯性参数的惯性参数差值相对应，B与机器人的真实阻尼参数与虚拟对象的虚拟阻尼参数的阻尼参数差值相对应，K为使机器人与虚拟对象实现位置同步的补偿系数。

可将上述以公式形式体现的力与运动信息的对应关系存储在存储介质中，在获得当前第一合力和当前第二合力之后，即可按照上述公式形式的对应关系计算出与当前第一合力和当前第二合力对应的当前运动信息。

另外，采用上述力与运动信息的对应关系，可对机器人的真实惯性参数与虚拟对象的虚拟惯性参数之间的惯性参数差值进行补偿，对机器人的真实阻尼参数和虚拟对象的虚拟阻尼参数之间的阻尼参数差值进行补偿，可在减少机器人对用户的冲击的基础上，使机器人与虚拟对象的运动状态和受力状态更加同步，有利于提高用户的使用体验。

可选地，参数M是通过如下方式确定的：获得机器人的真实惯性参数与虚拟对象的虚拟惯性参数的惯性参数差值，将惯性参数差值确定为参数M。

可基于机器人的结构参数，计算出机器人的真实惯性参数，或者，可通过试验的方式获得机器人的真实惯性参数。

在一些具体应用中，还可直接采用试验的方式确定上述参数 M。

再进一步地，参数M可通过如下方式确定：获得机器人的真实惯性参数与虚拟对象的虚拟惯性参数的惯性参数差值，获得与Kx项正相关的惯性调整参数，将惯性参数差值和惯性调整参数之和确定为参数M，或者将惯性参数差值与惯性调整参数的乘积确定为参数M。

在当前第一合力和当前第二合力存在差值的情况下，机器人的当前第一位置与虚拟对象的当前第二位置之间容易存在位置差值，在将当前运动信息对应的位置反馈至机器人和虚拟对象后，不仅具有使当前第一合力和

当前第二合力趋向于同步的作用，还会使机器人的当前第一位置和虚拟对象的当前第二位置趋向于同步。

具体地，*Kx* 项使机器人和虚拟对象之间产生回复力，促使机器人和虚拟对象的位置同步，具有消除该位置差值的作用，位置差值越大，*Kx* 项所表示的回复力越大，将会导致机器人和虚拟对象以较快的速度至相同位置，一方面会导致机器人对用户的冲击较大，另一方面导致机器人和虚拟对象均以较快的速度同步至相同位置，会导致二者在各自惯性的作用下或在碰撞作用下再次分离，最终导致机器人和虚拟对象产生抖动。

采用上述技术方案，在 *Kx* 项增大后，惯性参数也随之增大，这样，随着当前运动信息中位置的增大，*Kx* 项的增长速度变小，有利于降低机器人和虚拟对象同步至相同位置的同步速度，一方面减少机器人对用户的冲击，另一方面还可减少机器人的抖动。

可选地，参数*B*是通过如下方式确定的：获得机器人的真实阻尼参数与虚拟对象的虚拟阻尼参数的阻尼参数差值，将阻尼参数差值确定为参数*B*。可通过机器人的材料属性等计算出机器人的真实阻尼参数，或者，可通过试验的方式获得机器人的真实阻尼参数。

在一些具体应用中，还可直接采用试验的方式确定上述参数*B*。

再进一步地，获得机器人的真实阻尼参数与虚拟对象的虚拟阻尼参数的阻尼参数差值，获得与*Kx*项正相关的阻尼调整参数，将阻尼参数差值和阻尼调整参数之和确定为参数*B*，或者将阻尼参数差值和阻尼调整参数的乘积确定为参数*B*。

在当前第一合力和当前第二合力存在差值的情况下，机器人的当前第一位置与虚拟对象的当前第二位置之间容易存在位置差值，在将当前运动信息对应的位置反馈至机器人和虚拟对象后，不仅具有使当前第一合力和当前第二合力趋向于同步的作用，还会使机器人的当前第一位置和虚拟对象的当前第二位置趋向于同步。

具体地，*Kx* 项使机器人和虚拟对象之间产生回复力，促使机器人和虚拟对象的位置同步，具有消除该位置差值的作用，位置差值越大，*Kx* 项所表示的回复力越大，将会导致机器人和虚拟对象以较快的速度至相同位置，一方面会导致机器人对用户的冲击较大，另一方面导致机器人和虚拟对象

均以较快的速度同步至相同位置，会导致二者在各自惯性的作用下或在碰撞作用下再次分离，最终导致机器人和虚拟对象产生抖动。

采用上述技术方案，在 *Kx* 项增大后，阻尼参数也随之增大，这样，随着当前运动信息中位置的增大，*Kx* 项的增长速度变小，有利于降低机器人和虚拟对象同步至相同位置的同步速度，一方面减少机器人对用户的冲击，另一方面还可减少机器人的抖动。

可选地，参数 *K* 是通过如下方式确定的：获得与差值 *F* 正相关的参数 *K*。

上述参数 *K* 越小，机器人和虚拟对象越容易实现位置同步；上述参数 *K* 越大，机器人和虚拟对象越不容易实现位置同步。参数 *K* 越大，在当前第一合力和当前第二合力的差值不变的情况下，当前位置信息中的位置越小，对机器人以及虚拟对象的位置调整力度越小，越不容易使机器人和虚拟对象实现位置同步；参数 *K* 越小，当前位置信息中的位置越大，对机器人以及虚拟对象的位置调整力度越大，越容易使机器人和虚拟对象实现位置同步。在差值 *F* 较大的情况下，参数 *K* 较大，当前运动信息中对应的位置不会过大，对机器人以及虚拟对象的位置调整力度不会过大，不容易使机器人对用户产生较大的冲击；在差值 *F* 较小的情况下，参数 *K* 小，对机器人以及虚拟对象的位置调整力度不会过小，有利于使机器人以及虚拟对象实现位置同步。

可选地，物理引擎根据前一个第一合力和前一个第二合力对应的前一个运动信息确定当前第二合力，包括：获得虚拟环境的配置信息；根据前一个运动信息确定虚拟对象的前一个虚拟驱动力；根据虚拟对象在虚拟环境中的前一个第二运动信息和配置信息确定虚拟对象在虚拟环境中的前一个虚拟环境作用力；将前一个虚拟驱动力和前一个虚拟环境作用力的合力，确定为当前第二合力。

可通过前述力与运动信息的对应关系，确定前一个第一合力和前一个第二合力对应的前一个运动信息。通过上述方案，即可获得当前第二合力。

S203、将当前运动信息反馈至物理引擎，使物理引擎根据当前运动信息控制虚拟对象运动。

S204、将当前运动信息反馈至机器人，根据当前运动信息控制机器人

运动。

将当前运动信息反馈至机器人的步骤，与将当前运动信息反馈至物理引擎的步骤不区分先后。

虚拟对象的当前第二合力是物理引擎根据机器人的前一个第一合力和虚拟对象的前一个第二合力对应的前一个运动信息确定的，再根据机器人的当前第一合力以及虚拟对象的当前第二合力确定当前运动信息，将当前运动信息反馈至机器人以及物理引擎，使机器人根据当前运动信息运动，虚拟对象根据当前运动信息运动，在上述控制过程中，力与运动信息的传输顺序构成一个闭环。按照这样的力与运动信息传输顺序，在虚拟对象的所受的虚拟环境作用力骤变后，当前第二合力骤变；根据当前第一合力和当前第二合力确定出的当前运动信息具有使机器人和虚拟对象同步受力的作用，这样，在当前第二合力骤变后，为了使机器人和虚拟对象受力同步，当前运动信息可以不骤变，这样，机器人的运动状态可以不骤变，减少了机器人对用户的冲击，有利于提高用户安全。

可选地，根据当前运动信息控制虚拟对象运动，根据当前运动信息控制机器人运动，包括：

获得机器人的当前第一位置，以及虚拟对象在虚拟环境中的当前第二位置；将当前第一位置和当前运动信息对应的位置之和确定为机器人的第一期望位置，使当前第一位置跟随第一期望位置；将当前第二位置和当前运动信息对应的位置之差确定为虚拟对象的第二期望位置，使当前第二位置跟随第二期望位置。

其中，上述的获得虚拟对象在虚拟环境中的当前第二位置，将及以当前第二位置和当前运动信息对应的位置之差确定为虚拟对象的第二期望位置，使当前第二位置跟随第二期望位置，可在物理引擎中执行，也可在机器人的控制器中执行，这里不做具体限定。

在以虚拟对象的当前第二合力减去机器人的当前第一合力获得前述差值 F 的情况下，采用上述技术方案。

使当前第一位置跟随第一期望位置，以及使当前第二位置跟随第二期望位置，可采用现有的位置控制器实现，这里不再一一赘述。

或者，根据当前运动信息控制虚拟对象运动，根据当前运动信息控制

机器人运动，可包括：

获得机器人的当前第一位置，以及虚拟对象在虚拟环境中的当前第二位置；将当前第一位置和当前运动信息对应的位置之差确定为机器人的第一期望位置，使当前第一位置跟随第一期望位置；将当前第二位置和当前运动信息对应的位置之和确定为虚拟对象的第二期望位置，使当前第二位置跟随第二期望位置。

其中，上述的获得虚拟对象在虚拟环境中的当前第二位置，以及将当前第二位置和当前运动信息对应的位置之和确定为虚拟对象的第二期望位置，使当前第二位置跟随第二期望位置，可在物理引擎中执行，也可在机器人的控制器中执行，这里不做具体限定。

在以机器人的当前第一合力减去虚拟引擎的当前第二合力获得前述位置差值 F 的情况下，采用上述技术方案。

使当前第一位置跟随第一期望位置，以及使当前第二位置跟随第二期望位置，可采用现有的位置控制器实现，这里不再一一赘述。

可选地，根据当前运动信息控制虚拟对象运动，根据当前运动信息控制机器人运动，包括：获得机器人的当前第一速度，以及虚拟对象在虚拟环境中的当前第二速度；将当前运动信息对应的速度确定为机器人的第一期望速度，使当前第一速度跟随第一期望速度；将当前运动信息对应的速度确定为虚拟对象的第二期望速度，使当前第二速度跟随第二期望速度。

其中，上述的获得虚拟对象在虚拟环境中的当前第二速度，将当前运动信息对应的速度确定为虚拟对象的第二期望速度，并使虚拟当前第二速度跟随第二期望速度，可在物理引擎中执行，也可在机器人的控制器中执行，这里不做具体限定。

使当前第一速度跟随第一期望速度，以及使当前第二速度跟随第二期望速度，可采用现有技术中的速度控制器实现，这里不再一一赘述。

在机器人和虚拟对象的速度较低，且对机器人和虚拟对象的速度同步的要求较低的情况下，可采用上述技术方案，例如图 1 所示的虚拟场景，对机器人和虚拟对象的位置同步要求较高，对机器人和虚拟对象的速度同步要求较低。

或者，根据当前运动信息控制虚拟对象运动，根据当前运动信息控制

机器人运动，可包括：

获得机器人的当前第一速度，以及虚拟对象在虚拟环境中的当前第二速度；将当前第一速度与当前运动信息对应的速度的和/差，确定为机器人的第一期望速度，使当前第一速度跟随第一期望速度；将当前第二速度与当前运动信息对应的速度的差/和，确定为虚拟对象的第二期望速度，使当前第二速度跟随第二期望速度。

其中，上述的获得虚拟对象在虚拟环境中的当前第二速度，以及将当前运动信息对应的速度与当前第二速度的差/和，确定为虚拟对象的第二期望速度，并使当前第二速度跟随第二期望速度，可在物理引擎中执行，也可在机器人的控制器中执行，这里不做具体限定。

使当前第一速度跟随第一期望速度，以及使当前第二速度跟随第二期望速度，可采用现有技术中的速度控制器实现，这里不再一一赘述。

在机器人和虚拟对象的速度较高，且对机器人和虚拟对象的速度同步的要求较高的情况下，可采用上述技术方案。

另外，在以机器人的当前第一合力减去虚拟对象的当前第二合力获得前述差值 F 的情况下，将当前第一速度与当前运动信息对应的速度的差确定为第一期望速度，并使当前第一速度跟随第一期望速度；将当前第二速度与当前运动信息对应的速度的和确定为第二期望速度，并使当前第二速度跟随第二期望速度。

在以虚拟对象的当前第二合力减去机器人的当前第一合力获得前述差值 F 的情况下，将当前第一速度与当前运动信息对应的速度的和确定为第一期望速度，并使当前第一速度跟随第一期望速度；将当前第二速度与当前运动信息对应的速度的差确定为第二期望速度，并使当前第二速度跟随第二期望速度。

在一些应用场景中，可根据运动信息对应的位置对机器人以及虚拟对象进行控制，还可根据运动信息对应的速度对机器人以及虚拟对象进行控制，或者，还可根据运动信息对应的位置和速度，对机器人以及虚拟对象进行控制，例如采用位置控制器和速度控制器对机器人进行控制，并采用位置控制器和速度控制器对虚拟对象进行控制。

当然，还可以根据当前运动信息对应的加速度对机器人和虚拟对象进

行控制，例如：获得机器人的当前第一加速度，以及虚拟对象在虚拟环境中的当前第二加速度；将当前运动信息对应的加速度确定为机器人的第一期望加速度，使当前第一加速度跟随第一期望加速度；将当前运动信息对应的加速度确定为虚拟对象的第二期望加速度，使当前第二加速度跟随第二期望加速度。

或者，获得机器人的当前第一加速度，以及虚拟对象在虚拟环境中的当前第二加速度；将当前第一加速度与当前运动信息对应的加速度的和/差，确定为机器人的第一期望加速度，使当前第一加速度跟随第一期望加速度；将当前第二加速度与当前运动信息对应的加速度的差/和，确定为虚拟对象的第二期望加速度，使当前第二加速度跟随第二期望加速度。

加速度的应用场景以及应用条件，可参照速度的应用场景以及应用条件，这里不再一一赘述。

图 3 是本申请实施例提供的一种基于物理引擎的机器人控制装置的示意图。

结合图 3 所示，基于物理引擎的机器人控制装置包括：获得模块 31、确定模块 32、第一控制模块 33 和第二控制模块 34，其中，

获得模块 31 被配置为获得机器人所受的当前第一合力，以及物理引擎构建的虚拟环境中的虚拟对象所受的当前第二合力；

确定模块 32 被配置为根据力与运动信息的对应关系，确定与当前第一合力和当前第二合力对应的当前运动信息；其中，当前第二合力是物理引擎根据机器人的前一个第一合力和虚拟对象的前一个第二合力对应的前一个运动信息确定的，当前运动信息使当前第一合力和当前第二合力趋向于同步；

第一控制模块 33 被配置为将当前运动信息反馈至物理引擎，使物理引擎根据当前运动信息控制虚拟对象运动；

第二控制模块 34 被配置为将当前运动信息反馈至机器人，根据当前运动信息控制机器人运动。

可选地，力与运动信息的对应关系包括：

$$F = M\ddot{x} + B\dot{x} + Kx$$

其中，F为第一合力与第二合力的差值，x为运动信息对应的位置；$\dot{x}$为

运动信息对应的速度；$\ddot{x}$为运动信息对应的加速度，M与机器人的真实惯性参数与虚拟对象的虚拟惯性参数的惯性参数差值相对应，B与机器人的真实阻尼参数与虚拟对象的虚拟阻尼参数的阻尼参数差值相对应，K为使机器人与虚拟对象实现位置同步的补偿系数。

可选地，物理引擎根据当前运动信息控制虚拟对象运动，包括：获得虚拟对象在虚拟环境中的当前第二位置；将当前第二位置和当前运动信息对应的位置之差确定为虚拟对象的第二期望位置，使当前第二位置跟随第二期望位置。

可选地，第二控制模块包括第一获得单元和第一控制单元，第一获得单元被配置为获得机器人的当前第一位置；第一控制单元被配置为将当前第一位置和当前运动信息对应的位置之和确定为机器人的第一期望位置，使当前第一位置跟随第一期望位置。

可选地，物理引擎根据当前运动信息控制虚拟对象运动，包括：获得虚拟对象在虚拟环境中的当前第二位置；将当前第二位置和当前运动信息对应的位置之和确定为虚拟对象的第二期望位置，使当前第二位置跟随第二期望位置。

可选地，第二控制模块包括第一获得单元和第二控制单元，第一获得单元被配置为获得机器人的当前第一位置；第二控制单元被配置为将当前第一位置和当前运动信息对应的位置之差确定为机器人的第一期望位置，使当前第一位置跟随第一期望位置。

可选地，物理引擎根据当前运动信息控制虚拟对象运动，包括：获得虚拟对象在虚拟环境中的当前第二速度，将当前运动信息对应的速度确定为虚拟对象的第二期望速度，使当前第二速度跟随第二期望速度。

可选地，第二控制模块包括第二获得单元和第三控制单元，其中，第二获得单元被配置为获得机器人的当前第一速度；第三控制单元被配置为将当前运动信息对应的速度确定为机器人的第一期望速度，使当前第一速度跟随第一期望速度。

可选地，物理引擎根据当前运动信息控制虚拟对象运动，包括：获得虚拟对象在虚拟环境中的当前第二速度；将当前运动信息对应的速度与当前第二速度的差/和，确定为虚拟对象的第二期望速度，使当前第二速度跟

随第二期望速度。

可选地，第二控制模块包括第二获得单元和第四控制单元，其中，第二获得单元被配置为获得机器人的当前第一速度；第四控制单元被配置为将当前运动信息对应的速度与当前第一速度的和/差，确定为机器人的第一期望速度，使当前第一速度跟随第一期望速度。

可选地，参数M是通过如下方式确定的：获得机器人的真实惯性参数与虚拟对象的虚拟惯性参数的惯性参数差值，将惯性参数差值确定为参数M，或者，获得与Kx项正相关的惯性调整参数，将惯性参数差值和惯性调整参数之和确定为参数M，或者将惯性参数差值与惯性调整参数的乘积确定为参数M。

可选地，参数B是通过如下方式确定的：获得机器人的真实阻尼参数与虚拟对象的虚拟阻尼参数的阻尼参数差值，将阻尼参数差值确定为参数B，或者，获得与Kx项正相关的阻尼调整参数，将阻尼参数差值和阻尼调整参数之和确定为参数B，或者将阻尼参数差值和阻尼调整参数的乘积确定为参数B。

可选地，参数 K 是通过如下方式确定的：获得与差值 F 正相关的参数 K。

可选地，物理引擎根据前一个第一合力和前一个第二合力对应的前一个运动信息确定当前第二合力，包括：根据前一个运动信息确定虚拟对象的前一个虚拟驱动力；获得虚拟环境的配置信息；根据虚拟对象在虚拟环境中的前一个第二运动信息和配置信息确定虚拟对象在虚拟环境中的前一个虚拟环境作用力；将前一个虚拟驱动力和前一个虚拟环境作用力的合力，确定为当前第二合力。

在一些实施例中，基于物理引擎的机器人控制装置包括处理器和存储有程序指令的存储器，处理器被配置为在执行程序指令时，执行前述实施例提供的基于物理引擎的机器人控制方法。

图 4 是本申请实施例提供的一种基于物理引擎的机器人控制装置的示意图。结合图 4 所示，基于物理引擎的机器人控制装置包括：

处理器（processor）41 和存储器（memory）42，还可以包括通信接口（Communication Interface）43 和总线 44。其中，处理器 41、通信接口 43、

存储器 42 可以通过总线 44 完成相互间的通信。通信接口 43 可以用于信息传输。处理器 41 可以调用存储器 42 中的逻辑指令，以执行前述实施例提供的基于物理引擎的机器人控制方法。

此外，上述的存储器 42 中的逻辑指令可以通过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取存储介质中。

存储器 42 作为一种计算机可读存储介质，可用于存储软件程序、计算机可执行程序，如本申请实施例中的方法对应的程序指令/模块。处理器 41 通过运行存储在存储器 42 中的软件程序、指令以及模块，从而执行功能应用以及数据处理，即实现上述方法实施例中的方法。

存储器 42 可包括存储程序区和存储数据区，其中，存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需的应用程序；存储数据区可存储根据终端设备的使用所创建的数据等。此外，存储器 42 可以包括高速随机存取存储器，还可以包括非易失性存储器。

在一些实施例中，康复机器人包括前述实施例提供的基于物理引擎的机器人控制装置。

本申请实施例提供了一种计算机可读存储介质，存储有计算机可执行指令，计算机可执行指令设置为执行前述实施例提供的基于物理引擎的机器人控制方法。

本申请实施例提供了一种计算机程序产品，计算机程序产品包括存储在计算机可读存储介质上的计算机程序，计算机程序包括程序指令，当程序指令被计算机执行时，使计算机执行前述实施例提供的基于物理引擎的机器人控制方法。

上述的计算机可读存储介质可以是暂态计算机可读存储介质，也可以是非暂态计算机可读存储介质。

本申请实施例的技术方案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，包括一个或一个以上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）执行本申请实施例中方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质可以是非暂态存储介质，包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器（Read-Only Memory，ROM）、随

机读取存储器（Random Access Memory，RAM）、磁碟或者光盘等多种可以存储程序代码的介质，也可以是暂态存储介质。

以上描述和附图充分地示出了本申请的实施例，以使本领域的技术人员能够实践它们。其他实施例可以包括结构的、逻辑的、电气的、过程的以及其他的改变。实施例仅代表可能的变化。除非明确要求，否则单独的部件和功能是可选的，并且操作的顺序可以变化。一些实施例的部分和特征可以被包括在或替换其他实施例的部分和特征。而且，本申请中使用的用词仅用于描述实施例并且不用于限制权利要求。如在实施例以及权利要求的描述中使用的，除非上下文清楚地表明，否则单数形式的“一个”（a）、“一个”（an）和“所述”（the）旨在同样包括复数形式。另外，当用于本申请中时，术语“包括”（comprise）及其变型“包括”（comprises）和/或包括（comprising）等指陈述的特征、整体、步骤、操作、元素，和/或组件的存在，但不排除一个或一个以上其它特征、整体、步骤、操作、元素、组件和/或这些的分组的存在或添加。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括要素的过程、方法或者设备中还存在另外的相同要素。本文中，每个实施例重点说明的可以是与其他实施例的不同之处，各个实施例之间相同相似部分可以互相参见。对于实施例公开的方法、产品等而言，如果其与实施例公开的方法部分相对应，那么相关之处可以参见方法部分的描述。

本领域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，可以取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法以实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本申请实施例的范围。技术人员可以清楚地了解到，为描述的方便和简洁，上述描述的系统、装置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。

本文所披露的实施例中，所揭露的方法、产品（包括但不限于装置、设备等），可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，例如，单元的划分，可以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。另外，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，装置或单元的间接耦合或通信连接，可以是电性，机械或其它的形式。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。另外，在本申请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。

附图中的流程图和框图显示了根据本申请实施例的系统、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，模块、程序段或代码的一部分包含一个或一个以上用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。在有些作为替换的实现中，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，这可以依所涉及的功能而定。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。

权 利 要 求 书

1、一种基于物理引擎的机器人控制方法，其特征在于，包括：

获得机器人所受的当前第一合力，以及物理引擎构建的虚拟环境中的虚拟对象所受的当前第二合力；

根据力与运动信息的对应关系，确定与所述当前第一合力和所述当前第二合力对应的当前运动信息；其中，所述当前第二合力是所述物理引擎根据所述机器人的前一个第一合力和所述虚拟对象的前一个第二合力对应的前一个运动信息确定的，所述当前运动信息使所述当前第一合力和所述当前第二合力趋向于同步；

将所述当前运动信息反馈至所述物理引擎，使所述物理引擎根据所述当前运动信息控制所述虚拟对象运动；

将所述当前运动信息反馈至所述机器人，根据所述当前运动信息控制机器人运动。

2、根据权利要求 1 所述的机器人控制方法，其特征在于，力与运动信息的对应关系包括：

$$F = M\ddot{x} + B\dot{x} + Kx$$

其中，F为第一合力与第二合力的差值，x为运动信息对应的位置；$\dot{x}$为运动信息对应的速度；$\ddot{x}$为运动信息对应的加速度，M与所述机器人的真实惯性参数与所述虚拟对象的虚拟惯性参数的惯性参数差值相对应，B与所述机器人的真实阻尼参数与所述虚拟对象的虚拟阻尼参数的阻尼参数差值相对应，K为使所述机器人与所述虚拟对象实现位置同步的补偿系数。

3、根据权利要求 2 所述的机器人控制方法，其特征在于，根据所述当前运动信息控制所述虚拟对象运动，根据所述当前运动信息控制所述机器人运动，包括：

获得所述机器人的当前第一位置，以及所述虚拟对象在所述虚拟环境中的当前第二位置；将所述当前第一位置和所述当前运动信息对应的位置之和确定为所述机器人的第一期望位置，使所述当前第一位置跟随所述第一期望位置；将所述当前第二位置和所述当前运动信息对应的位置之差确定为所述虚拟对象的第二期望位置，使所述当前第二位置跟随所述第二期望位置；

或者，

获得所述机器人的当前第一位置，以及所述虚拟对象在虚拟环境中的当前第二位置；将所述当前第一位置和所述当前运动信息对应的位置之差确定为所述机器人的第一期望位置，使所述当前第一位置跟随所述第一期望位置；将所述当前第二位置和所述当前运动信息对应的位置之和确定为所述虚拟对象的第二期望位置，使所述当前第二位置跟随所述第二期望位置。

4、根据权利要求 2 所述的机器人控制方法，其特征在于，根据所述当前运动信息控制所述虚拟对象运动，根据所述当前运动信息控制所述机器人运动，包括：

获得所述机器人的当前第一速度，以及所述虚拟对象在所述虚拟环境中的当前第二速度；将所述当前运动信息对应的速度确定为所述机器人的第一期望速度，使所述当前第一速度跟随所述第一期望速度；将所述当前运动信息对应的速度确定为所述虚拟对象的第二期望速度，使所述当前第二速度跟随所述第二期望速度；

或者，

获得所述机器人的当前第一速度，以及所述虚拟对象在所述虚拟环境中的当前第二速度；将所述当前运动信息对应的速度与所述当前第一速度的和/差，确定为所述机器人的第一期望速度，使所述当前第一速度跟随所述第一期望速度；将所述当前运动信息对应的速度与所述当前第二速度的差/和，确定为所述虚拟对象的第二期望速度，使所述当前第二速度跟随所述第二期望速度。

5、根据权利要求 2 所述的机器人控制方法，其特征在于，

参数M是通过如下方式确定的：获得所述机器人的真实惯性参数与所述虚拟对象的虚拟惯性参数的惯性参数差值，将所述惯性参数差值确定为所述参数M，或者，获得与Kx项正相关的惯性调整参数，将所述惯性参数差值和所述惯性调整参数之和确定为所述参数M，或者将所述惯性参数差值与所述惯性调整参数的乘积确定为所述参数M；

和/或，

参数B是通过如下方式确定的：获得所述机器人的真实阻尼参数与所述

虚拟对象的虚拟阻尼参数的阻尼参数差值，将所述阻尼参数差值确定为所述参数B，或者，获得与Kx项正相关的阻尼调整参数，将所述阻尼参数差值和所述阻尼调整参数之和确定为所述参数B，或者将所述阻尼参数差值和所述阻尼调整参数的乘积确定为所述参数B。

6、根据权利要求 2 所述的机器人控制方法，其特征在于，参数 K 是通过如下方式确定的：

获得与所述差值 F 正相关的参数 K。

7、根据权利要求 1 至 6 任一项所述的机器人控制方法，其特征在于，所述物理引擎根据前一个第一合力和前一个第二合力对应的前一个运动信息确定所述当前第二合力，包括：

根据所述前一个运动信息确定所述虚拟对象的前一个虚拟驱动力；

获得所述虚拟环境的配置信息；

根据所述虚拟对象在所述虚拟环境中的前一个第二运动信息和配置信息确定所述虚拟对象在所述虚拟环境中的前一个虚拟环境作用力；

将所述前一个虚拟驱动力和所述前一个虚拟环境作用力的合力，确定为所述当前第二合力。

8、一种基于物理引擎的机器人控制装置，其特征在于，包括：

获得模块，被配置为获得机器人所受的当前第一合力，以及物理引擎构建的虚拟环境中的虚拟对象所受的当前第二合力；

确定模块，被配置为根据力与运动信息的对应关系，确定与所述当前第一合力和所述当前第二合力对应的当前运动信息；其中，所述当前第二合力是所述物理引擎根据所述机器人的前一个第一合力和所述虚拟对象的前一个第二合力对应的前一个运动信息确定的，所述当前运动信息使所述当前第一合力和所述当前第二合力趋向于同步；

第一控制模块，被配置为将所述当前运动信息反馈至所述物理引擎，使所述物理引擎根据所述当前运动信息控制所述虚拟对象运动；

第二控制模块，被配置为将所述当前运动信息反馈至所述机器人，根据所述当前运动信息控制所述机器人运动。

9、一种基于物理引擎的机器人控制装置，包括处理器和存储有程序指令的存储器，其特征在于，所述处理器被配置为在执行所述程序指令时，

执行如权利要求 1 至 7 任一项所述的基于物理引擎的机器人控制方法。

10、一种康复机器人，其特征在于，包括如权利要求 8 或 9 所述的基于物理引擎的机器人控制装置。

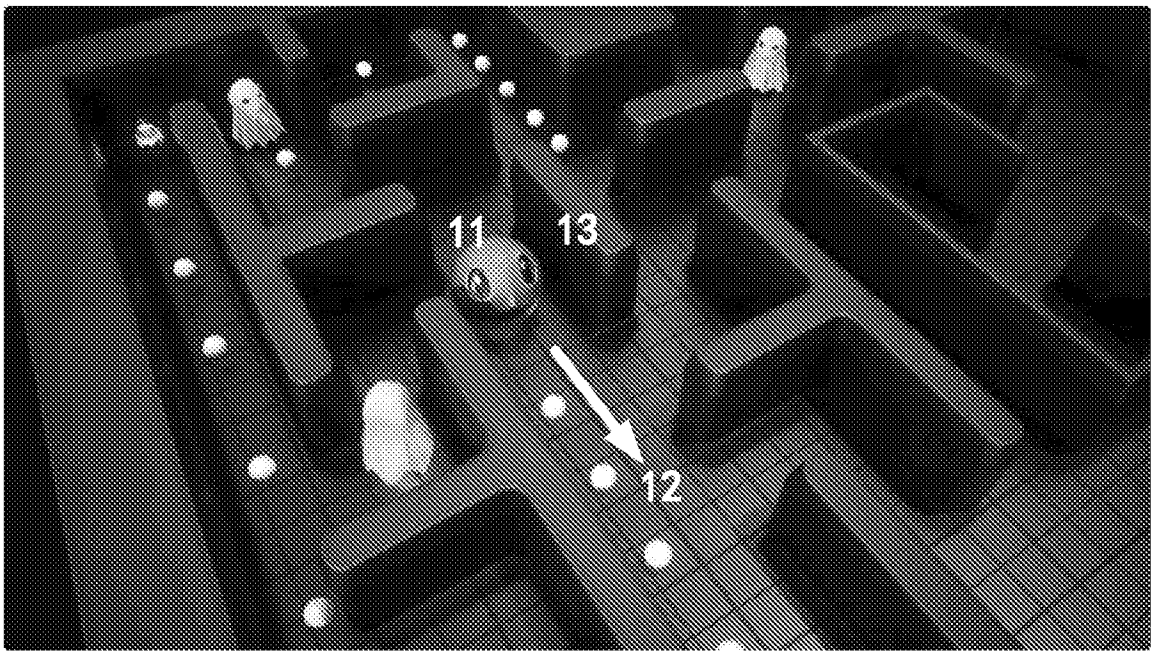

11
13
12

图 1

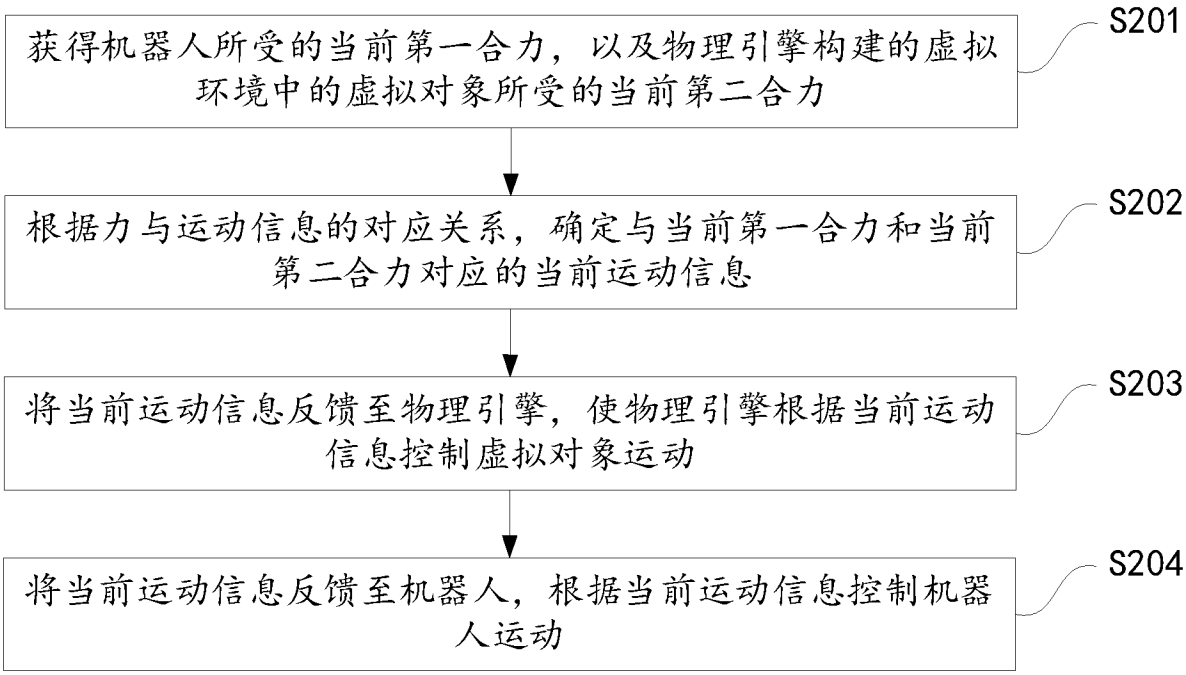

获得机器人所受的当前第一合力，以及物理引擎构建的虚拟环境中的虚拟对象所受的当前第二合力
S201
根据力与运动信息的对应关系，确定与当前第一合力和当前第二合力对应的当前运动信息
S202
将当前运动信息反馈至物理引擎，使物理引擎根据当前运动信息控制虚拟对象运动
S203
将当前运动信息反馈至机器人，根据当前运动信息控制机器人运动
S204

图 2

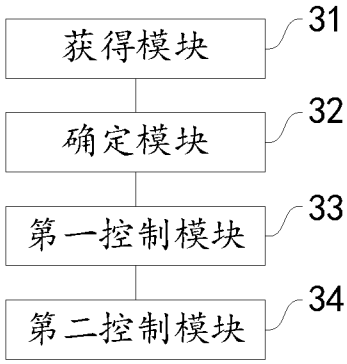


图 3

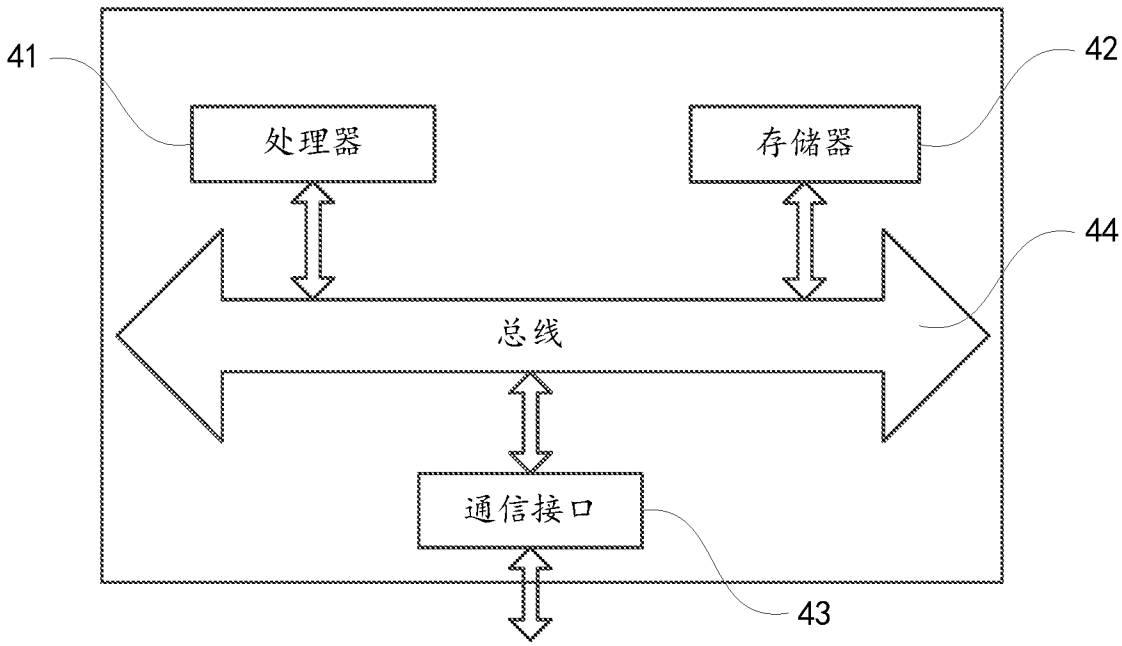


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2022/114509

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B 19/19(2006.01)i; B25J 9/16(2006.01)i; A61H 1/02(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G05B B25J A61H

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)

CNTXT, ENTXT, CNKI: 机器人, 触觉, 肢体, 下肢, 训练, 康复, 游戏, 物理引擎, 虚拟, 环境, 场景, 现实, 力, 运动, 动作, 交互, 反馈, robot, limb, rehabilitation, training, recovering, physical engine, virtual, reality, VR, environment, force, feedback, motion, movement, interactive

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 113829347 A (SHANGHAI FOURIER INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 24 December 2021 (2021-12-24) claims 1-10	1-10
A	CN 111338287 A (SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 26 June 2020 (2020-06-26) description, paragraphs 0036-0100, and figures 1-5	1-10
A	CN 107049702 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 18 August 2017 (2017-08-18) entire document	1-10
A	CN 112932897 A (SHANGHAI ELECTRIC GROUP CO., LTD.) 11 June 2021 (2021-06-11) entire document	1-10
A	CN 108873875 A (SHENZHEN KUANG-CHI HEZHONG TECHNOLOGY CO., LTD. et al.) 23 November 2018 (2018-11-23) entire document	1-10
A	US 2018339223 A1 (BLAST MOTION INC.) 29 November 2018 (2018-11-29) 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	Date of mailing of the international search report
10 October 2022	**03 November 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.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 10556336 B1 (X DEVELOPMENT LLC) 11 February 2020 (2020-02-11) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2022/114509

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 113829347 A	24 December 2021	None	
CN 111338287 A	26 June 2020	None	
CN 107049702 A	18 August 2017	None	
CN 112932897 A	11 June 2021	None	
CN 108873875 A	23 November 2018	WO 2018205751 A1	15 November 2018
US 2018339223 A1	29 November 2018	WO 2018217674 A1	29 November 2018
		US 2021146235 A1	20 May 2021
US 10556336 B1	11 February 2020	US 10967505 B1	06 April 2021

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2022/114509

A. 主题的分类

G05B 19/19(2006.01)i; B25J 9/16(2006.01)i; A61H 1/02(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)

G05B B25J A61H

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）)

CNTXT,ENTXT,CNKI:机器人，触觉，肢体，下肢，训练，康复，游戏，物理引擎，虚拟，环境，场景，现实，力，运动，动作，交互， 反馈， robot， limb， rehabilitation， training， recovering， physical engine， virtual， reality， VR， environment， force， feedback， motion， movement， interactive

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
PX	CN 113829347 A (上海傅利叶智能科技有限公司) 2021年12月24日 (2021-12-24) 权利要求1-10	1-10
A	CN 111338287 A (南方科技大学) 2020年6月26日 (2020-06-26) 说明书第0036-0100段，附图1-5	1-10
A	CN 107049702 A (东南大学) 2017年8月18日 (2017-08-18) 全文	1-10
A	CN 112932897 A (上海电气集团股份有限公司) 2021年6月11日 (2021-06-11) 全文	1-10
A	CN 108873875 A (深圳光启合众科技有限公司 等) 2018年11月23日 (2018-11-23) 全文	1-10
A	US 2018339223 A1 (BLAST MOTION INC) 2018年11月29日 (2018-11-29) 全文	1-10
A	US 10556336 B1 (X DEV LLC) 2020年2月11日 (2020-02-11) 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

“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10月10日	2022年11月3日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 何菡 电话号码 01062085224

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2022/114509

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	113829347	A	2021年12月24日	无			
CN	111338287	A	2020年6月26日	无			
CN	107049702	A	2017年8月18日	无			
CN	112932897	A	2021年6月11日	无			
CN	108873875	A	2018年11月23日	WO	2018205751	A1	2018年11月15日
US	2018339223	A1	2018年11月29日	WO	2018217674	A1	2018年11月29日
				US	2021146235	A1	2021年5月20日
US	10556336	B1	2020年2月11日	US	10967505	B1	2021年4月6日