



(21) 申请号 202011527349.2

(22) 申请日 2020.12.22

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112720475 A

(43) 申请公布日 2021.04.30

(73) 专利权人 深圳市优必选科技股份有限公司
地址 518000 广东省深圳市南山区学苑大
道1001号南山智园C1栋16、22楼

(72) 发明人 王鸿舸 葛利刚 刘益彰 白杰
陈春玉 麻星星 周江琛 熊友军

(74) 专利代理机构 深圳中一联合知识产权代理
有限公司 44414
专利代理师 刘永康

(51) Int. Cl.
B25J 9/16 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 105511465 A, 2016.04.20
CN 110480640 A, 2019.11.22
CN 105922265 A, 2016.09.07
WO 2017219639 A1, 2017.12.28
CN 112091962 A, 2020.12.18
CN 206561412 U, 2017.10.17
CN 106112951 A, 2016.11.16

审查员 石峰

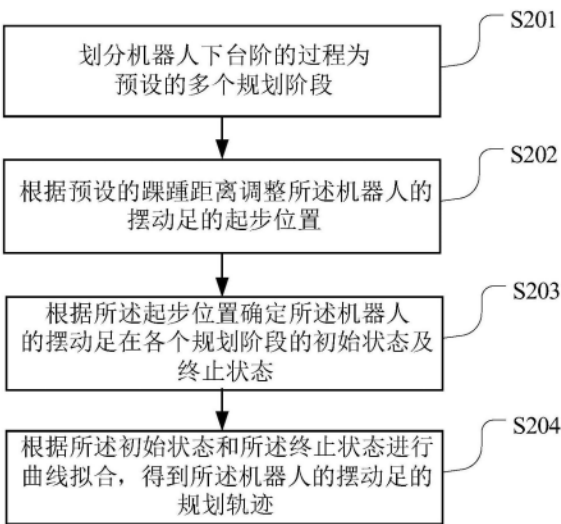
权利要求书3页 说明书12页 附图4页

(54) 发明名称

机器人下台阶的轨迹规划方法、装置及机器人

(57) 摘要

本申请属于机器人技术领域,尤其涉及一种机器人下台阶的轨迹规划方法、装置及机器人。所述方法包括:划分机器人下台阶的过程为预设的多个规划阶段;根据踝踵距离调整所述机器人的摆动足的起步位置,所述踝踵距离为所述机器人的踝关节与脚跟的水平距离;根据所述起步位置确定所述机器人的摆动足在各个规划阶段的初始状态及终止状态;根据所述初始状态和所述终止状态进行曲线拟合,得到所述机器人的摆动足的规划轨迹。通过本申请,即可对机器人下台阶的过程进行分阶段的轨迹规划,极大提高了机器人下台阶时的稳定性。



1. 一种机器人下台阶的轨迹规划方法,其特征在于,包括:

划分机器人下台阶的过程为预设的多个规划阶段;

根据踝踵距离调整所述机器人的摆动足的起步位置,使得所述摆动足的踝关节与竖直台阶面的水平距离等于所述踝踵距离,所述踝踵距离为所述机器人的踝关节与脚跟的水平距离;

根据所述起步位置确定所述机器人的摆动足在各个规划阶段的初始状态及终止状态;

根据所述初始状态和所述终止状态进行曲线拟合,得到所述机器人的摆动足的规划轨迹;

所述根据所述起步位置确定所述机器人的摆动足在各个规划阶段的初始状态及终止状态,包括:

以所述起步位置作为基点,在x方向的第一阶段,将初始位置设置为0,将初始速度设置为0,将终止位置设置为0,将终止速度设置为0;其中,所述x方向为所述机器人的前进方向;

在x方向的第二阶段,将初始位置设置为0,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $1x$,将终止速度设置为预设的第一速度;其中, $1x$ 为所述摆动足的脚跟与竖直台阶面的水平距离;

在x方向的第三阶段,将初始位置设置为 $1x$,将初始速度设置为所述第一速度,将终止位置设置为1,将终止速度设置为0;其中,1为所述机器人的步长;

在x方向的第四阶段,将初始位置设置为1,将初始速度设置为0,将终止位置设置为1,将终止速度设置为0;

在z方向的第一阶段,将初始位置设置为 h ,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $h+\Delta h_1$,将终止速度设置为0;其中,所述z方向为竖直向上的方向, h 为台阶的高度, Δh_1 为预设的第一高度,且 $\Delta h_1>0$;

在z方向的第二阶段,将初始位置设置为 $h+\Delta h_1$,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $h+\Delta h_2$,将终止速度设置为预设的第二速度;其中, Δh_2 为预设的第二高度,且 $\Delta h_2>0$;

在z方向的第三阶段,将初始位置设置为 $h+\Delta h_2$,将初始速度设置为所述第二速度,将终止位置设置为0,将终止速度设置为0。

2. 根据权利要求1所述的机器人下台阶的轨迹规划方法,其特征在于,所述根据所述起步位置确定所述机器人的摆动足在各个规划阶段的初始状态及终止状态,还包括:

以所述起步位置作为基点,在x方向的第一阶段,将初始位置设置为0,将初始速度设置为0,将终止位置设置为0,将终止速度设置为0;其中,所述x方向为所述机器人的前进方向;

在x方向的第二阶段,将初始位置设置为0,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $1x+\Delta x$,将终止速度设置为预设的第一速度;其中, $1x$ 为所述摆动足的脚跟与竖直台阶面的水平距离, Δx 为预设的水平距离;

在x方向的第三阶段,将初始位置设置为 $1x+\Delta x$,将初始速度设置为所述第一速度,将终止位置设置为1,将终止速度设置为0;其中,1为所述机器人的步长;

在x方向的第四阶段,将初始位置设置为1,将初始速度设置为0,将终止位置设置为1,将终止速度设置为0;

在z方向的第一阶段,将初始位置设置为 h ,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $h+\Delta h_1$,将终止速度设置为0;其中,所述z方向为竖直向上的方向, h 为台阶的高度, Δh_1 为预设

的第一高度,且 $\Delta h_1 > 0$;

在z方向的第二阶段,将初始位置设置为 $h + \Delta h_1$,将初始速度设置为0,将终止位置设置为0,将终止速度设置为0。

3. 根据权利要求1所述的机器人下台阶的轨迹规划方法,其特征在于,还包括:

确定所述机器人的质心在下台阶过程中的初始状态及终止状态;

根据所述初始状态和所述终止状态进行曲线拟合,得到所述机器人的质心的规划轨迹。

4. 根据权利要求3所述的机器人下台阶的轨迹规划方法,其特征在于,所述确定所述机器人的质心在下台阶过程中的初始状态及终止状态,包括:

在x方向上,将初始位置设置为0,将初始速度设置为0,将终止位置设置为0,将终止速度设置为0;其中,所述x方向为所述机器人的前进方向;

在z方向上,将初始位置设置为 $h + H$,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 H ,将终止速度设置为0;其中, h 为台阶的高度, H 为预设的质心高度,所述z方向为竖直向上的方向。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的机器人下台阶的轨迹规划方法,其特征在于,所述根据所述初始状态和所述终止状态进行曲线拟合,包括:

根据下式进行曲线拟合:

$$x(t) = f(x_b, x_f, v_b, v_f, t_b, t_f, t) = a_0 + a_1(t - t_b) + a_2(t - t_b)^2 + a_3(t - t_b)^3$$

其中, f 为曲线拟合函数, t_b 为初始时刻, x_b 为初始位置, v_b 为初始速度, t_f 为终止时刻, x_f 为终止位置, v_f 为终止速度, t 为时间变量, a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 分别为三次多项式的各个系数。

6. 根据权利要求5所述的机器人下台阶的轨迹规划方法,其特征在于,所述三次多项式的各个系数的设置过程包括:

根据下式分别计算所述三次多项式的各个系数:

$$a_0 = x_b$$

$$a_1 = v_f$$

$$a_2 = \frac{3}{(t_f - t_b)^2}(x_f - x_b) - \frac{1}{t_f - t_b}(2v_b + v_f)$$

$$a_3 = -\frac{2}{(t_f - t_b)^3}(x_f - x_b) + \frac{1}{(t_f - t_b)^2}(v_b + v_f)。$$

7. 一种机器人下台阶的轨迹规划装置,其特征在于,包括:

规划阶段划分模块,用于划分机器人下台阶的过程为预设的多个规划阶段;

起步位置调整模块,用于根据踝踵距离调整所述机器人的摆动足的起步位置,使得所述摆动足的踝关节与竖直台阶面的水平距离等于所述踝踵距离,所述踝踵距离为所述机器人的踝关节与脚跟的水平距离;

状态确定模块,用于根据所述起步位置确定所述机器人的摆动足在各个规划阶段的初始状态及终止状态;

曲线拟合模块,用于根据所述初始状态和所述终止状态进行曲线拟合,得到所述机器人的摆动足的规划轨迹;

所述状态确定模块包括：

第一状态确定单元，用于以所述起步位置作为基点，在x方向的第一阶段，将初始位置设置为0，将初始速度设置为0，将终止位置设置为0，将终止速度设置为0；其中，所述x方向为所述机器人的前进方向；

第二状态确定单元，用于在x方向的第二阶段，将初始位置设置为0，将初始速度设置为0，将终止位置设置为 $1x$ ，将终止速度设置为预设的第一速度；其中， $1x$ 为所述摆动足脚跟与竖直台阶面的水平距离；

第三状态确定单元，用于在x方向的第三阶段，将初始位置设置为 $1x$ ，将初始速度设置为所述第一速度，将终止位置设置为1，将终止速度设置为0；其中，1为所述机器人的步长；

第四状态确定单元，用于在x方向的第四阶段，将初始位置设置为1，将初始速度设置为0，将终止位置设置为1，将终止速度设置为0；

第五状态确定单元，用于在z方向的第一阶段，将初始位置设置为 h ，将初始速度设置为0，将终止位置设置为 $h+\Delta h_1$ ，将终止速度设置为0；其中，所述z方向为竖直向上的方向， h 为台阶的高度， Δh_1 为预设的第一高度，且 $\Delta h_1>0$ ；

第六状态确定单元，用于在z方向的第二阶段，将初始位置设置为 $h+\Delta h_1$ ，将初始速度设置为0，将终止位置设置为 $h+\Delta h_2$ ，将终止速度设置为预设的第二速度；其中， Δh_2 为预设的第二高度，且 $\Delta h_2>0$ ；

第七状态确定单元，用于在z方向的第三阶段，将初始位置设置为 $h+\Delta h_2$ ，将初始速度设置为所述第二速度，将终止位置设置为0，将终止速度设置为0。

8. 一种机器人，包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求1至6中任一项所述的机器人下台阶的轨迹规划方法的步骤。

机器人下台阶的轨迹规划方法、装置及机器人

技术领域

[0001] 本申请属于机器人技术领域,尤其涉及一种机器人下台阶的轨迹规划方法、装置及机器人。

背景技术

[0002] 相对于轮式和履带机器人,双足机器人的一个很大的优势就是能够完全适应人类的生活环境,比如在不平整的地面上行走,上下台阶等。但是,现有技术中的轨迹规划往往都是针对平地行走的场景,难以适应较复杂的机器人下台阶的场景,导致机器人下台阶时的稳定性较差。

发明内容

[0003] 有鉴于此,本申请实施例提供了一种机器人下台阶的轨迹规划方法、装置及机器人,以解决机器人下台阶时稳定性较差的问题。

[0004] 本申请实施例的第一方面提供了一种机器人下台阶的轨迹规划方法,可以包括:

[0005] 划分机器人下台阶的过程为预设的多个规划阶段;

[0006] 根据踝踵距离调整所述机器人的摆动足的起步位置,所述踝踵距离为所述机器人的踝关节与脚跟的水平距离;

[0007] 根据所述起步位置确定所述机器人的摆动足在各个规划阶段的初始状态及终止状态;

[0008] 根据所述初始状态和所述终止状态进行曲线拟合,得到所述机器人的摆动足的规划轨迹。

[0009] 进一步地,所述根据踝踵距离调整所述机器人的摆动足的起步位置,可以包括:

[0010] 调整所述起步位置,使得所述摆动足的踝关节与竖直台阶面的水平距离等于所述踝踵距离。

[0011] 进一步地,所述根据所述起步位置确定所述机器人的摆动足在各个规划阶段的初始状态及终止状态,可以包括:

[0012] 以所述起步位置作为基点,在x方向的第一阶段,将初始位置设置为0,将初始速度设置为0,将终止位置设置为0,将终止速度设置为0;其中,所述x方向为所述机器人的前进方向;

[0013] 在x方向的第二阶段,将初始位置设置为0,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $1x$,将终止速度设置为预设的第一速度;其中, $1x$ 为所述摆动足的脚跟与竖直台阶面的水平距离;

[0014] 在x方向的第三阶段,将初始位置设置为 $1x$,将初始速度设置为所述第一速度,将终止位置设置为1,将终止速度设置为0;其中,1为所述机器人的步长;

[0015] 在x方向的第四阶段,将初始位置设置为1,将初始速度设置为0,将终止位置设置为1,将终止速度设置为0。

[0016] 在z方向的第一阶段,将初始位置设置为h,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $h + \Delta h_1$,将终止速度设置为0;其中,所述z方向为竖直向上的方向,h为台阶的高度, Δh_1 为预设的第一高度,且 $\Delta h_1 > 0$;

[0017] 在z方向的第二阶段,将初始位置设置为 $h + \Delta h_1$,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $h + \Delta h_2$,将终止速度设置为预设的第二速度;其中, Δh_2 为预设的第二高度,且 $\Delta h_2 > 0$;

[0018] 在z方向的第三阶段,将初始位置设置为 $h + \Delta h_2$,将初始速度设置为所述第二速度,将终止位置设置为0,将终止速度设置为0。

[0019] 进一步地,所述根据所述初始状态和所述终止状态进行曲线拟合,可以包括:

[0020] 根据下式进行曲线拟合:

$$[0021] \quad x(t) = f(x_b, x_f, v_b, v_f, t_b, t_f, t) = a_0 + a_1(t - t_b) + a_2(t - t_b)^2 + a_3(t - t_b)^3$$

[0022] 其中, t_b 为初始时刻, x_b 为初始位置, v_b 为初始速度, t_f 为终止时刻, x_f 为终止位置, v_f 为终止速度,t为时间变量, a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 分别为三次多项式的各个系数。

[0023] 进一步地,所述三次多项式的各个系数的设置过程可以包括:

[0024] 根据下式分别计算所述三次多项式的各个系数:

$$[0025] \quad a_0 = x_b$$

$$[0026] \quad a_1 = v_f$$

$$[0027] \quad a_2 = \frac{3}{(t_f - t_b)^2}(x_f - x_b) - \frac{1}{t_f - t_b}(2v_b + v_f)$$

$$[0028] \quad a_3 = -\frac{2}{(t_f - t_b)^3}(x_f - x_b) + \frac{1}{(t_f - t_b)^2}(v_b + v_f)。$$

[0029] 本申请实施例的第二方面提供了一种机器人下台阶的轨迹规划装置,可以包括:

[0030] 规划阶段划分模块,用于将机器人下台阶的过程划分为预设的各个规划阶段;

[0031] 起步位置调整模块,用于根据踝踵距离调整所述机器人的摆动足的起步位置,所述踝踵距离为所述机器人的踝关节与脚跟的水平距离;

[0032] 状态确定模块,用于根据所述起步位置确定所述机器人的摆动足在各个规划阶段的初始状态及终止状态;

[0033] 曲线拟合模块,用于根据所述初始状态和所述终止状态进行曲线拟合,得到所述机器人的摆动足的规划轨迹。

[0034] 进一步地,所述起步位置调整模块具体用于调整所述起步位置,使得所述摆动足的踝关节与竖直台阶面的水平距离等于所述踝踵距离。

[0035] 进一步地,所述状态确定模块可以包括:

[0036] 第一状态确定单元,用于以所述起步位置作为基点,在x方向的第一阶段,将初始位置设置为0,将初始速度设置为0,将终止位置设置为0,将终止速度设置为0;其中,所述x方向为所述机器人的前进方向;

[0037] 第二状态确定单元,用于在x方向的第二阶段,将初始位置设置为0,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $1x$,将终止速度设置为预设的第一速度;其中, $1x$ 为所述摆动

足脚跟与竖直台阶面的水平距离；

[0038] 第三状态确定单元,用于在x方向的第三阶段,将初始位置设置为 $1x$,将初始速度设置为所述第一速度,将终止位置设置为1,将终止速度设置为0;其中,1为所述机器人的步长;

[0039] 第四状态确定单元,用于在x方向的第四阶段,将初始位置设置为1,将初始速度设置为0,将终止位置设置为1,将终止速度设置为0。

[0040] 进一步地,所述状态确定模块还可以包括:

[0041] 第五状态确定单元,用于在z方向的第一阶段,将初始位置设置为 h ,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $h + \Delta h_1$,将终止速度设置为0;其中,所述z方向为竖直向上的方向, h 为台阶的高度, Δh_1 为预设的第一高度,且 $\Delta h_1 > 0$;

[0042] 第六状态确定单元,用于在z方向的第二阶段,将初始位置设置为 $h + \Delta h_1$,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $h + \Delta h_2$,将终止速度设置为预设的第二速度;其中, Δh_2 为预设的第二高度,且 $\Delta h_2 > 0$;

[0043] 第七状态确定单元,用于在z方向的第三阶段,将初始位置设置为 $h + \Delta h_2$,将初始速度设置为所述第二速度,将终止位置设置为0,将终止速度设置为0。

[0044] 进一步地,所述曲线拟合模块可以包括:

[0045] 曲线拟合单元,用于根据下式进行曲线拟合:

$$[0046] \quad x(t) = f(x_b, x_f, v_b, v_f, t_b, t_f, t) = a_0 + a_1(t - t_b) + a_2(t - t_b)^2 + a_3(t - t_b)^3$$

[0047] 其中, t_b 为初始时刻, x_b 为初始位置, v_b 为初始速度, t_f 为终止时刻, x_f 为终止位置, v_f 为终止速度, t 为时间变量, a_0, a_1, a_2, a_3 分别为三次多项式的各个系数。

[0048] 进一步地,所述曲线拟合模块还可以包括:

[0049] 系数确定单元,用于根据下式分别计算所述三次多项式的各个系数:

$$[0050] \quad a_0 = x_b$$

$$[0051] \quad a_1 = v_f$$

$$[0052] \quad a_2 = \frac{3}{(t_f - t_b)^2}(x_f - x_b) - \frac{1}{t_f - t_b}(2v_b + v_f)$$

$$[0053] \quad a_3 = -\frac{2}{(t_f - t_b)^3}(x_f - x_b) + \frac{1}{(t_f - t_b)^2}(v_b + v_f)。$$

[0054] 本申请实施例的第三方面提供了一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现上述任一种机器人下台阶的轨迹规划方法的步骤。

[0055] 本申请实施例的第四方面提供了一种机器人,包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现上述任一种机器人下台阶的轨迹规划方法的步骤。

[0056] 本申请实施例的第五方面提供了一种计算机程序产品,当计算机程序产品在机器人上运行时,使得机器人执行上述任一种机器人下台阶的轨迹规划方法的步骤。

[0057] 本申请实施例与现有技术相比存在的有益效果是:本申请实施例划分机器人下

台阶的过程为预设的多个规划阶段；根据踝踵距离调整所述机器人的摆动 足的起步位置，所述踝踵距离为所述机器人的踝关节与脚跟的水平距离；根据 所述起步位置确定所述机器人的摆动足在各个规划阶段的初始状态及终止状态；根据所述初始状态和所述终止状态进行曲线拟合，得到所述机器人的摆动足的规划轨迹。通过本申请实施例，即可对机器人下台阶的过程进行分阶段的轨迹 规划，极大提高了机器人下台阶时的稳定性。

附图说明

[0058] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其它的附图。

[0059] 图1为机器人下台阶时的足端轨迹规划在矢状面上的投影示意图；

[0060] 图2为本申请实施例中一种机器人下台阶的轨迹规划方法的一个实施例流程图；

[0061] 图3为调整机器人的摆动足的起步位置的示意图；

[0062] 图4为预期的各个规划阶段的轨迹曲线示意图；

[0063] 图5为机器人的躯干质心的轨迹曲线示意图；

[0064] 图6为本申请实施例中一种机器人下台阶的轨迹规划装置的一个实施例结构图；

[0065] 图7为本申请实施例中一种机器人的示意框图。

具体实施方式

[0066] 为使得本申请的发明目的、特征、优点能够更加的明显和易懂，下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，下面所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而非全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例，都属于本申请保护的范围。

[0067] 应当理解，当在本说明书和所附权利要求书中使用时，术语“包括”指示所描述特征、整体、步骤、操作、元素和/或组件的存在，但并不排除一个或多个其它特征、整体、步骤、操作、元素、组件和/或其集合的存在或添加。

[0068] 还应当理解，在此本申请说明书中所使用的术语仅仅是出于描述特定实施例的目的而并不意在限制本申请。如在本申请说明书和所附权利要求书中所使用的那样，除非上下文清楚地指明其它情况，否则单数形式的“一”、“一个”及“该”意在包括复数形式。

[0069] 还应当进一步理解，在本申请说明书和所附权利要求书中使用的术语“和/或”是指相关联列出的项中的一个或多个的任何组合以及所有可能组合，并且包括这些组合。

[0070] 如在本说明书和所附权利要求书中所使用的那样，术语“如果”可以依据上下文被解释为“当...时”或“一旦”或“响应于确定”或“响应于检测到”。类似地，短语“如果确定”或“如果检测到[所描述条件或事件]”可以依据上下文被解释为意指“一旦确定”或“响应于确定”或“一旦检测到[所描述条件或事件]”或“响应于检测到[所描述条件或事件]”。

[0071] 另外，在本申请的描述中，术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于区分描述，而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0072] 在双足机器人实际下台阶的控制中,关于足端和躯干质心的轨迹规划是否合理至关重要。首先,抬脚过程中摆动足的规划不能与台阶的包络面有交叉,避免机器人抬脚过程中被台阶绊倒;其次,要合理分配摆动足的水平运动和竖直运动的时间,任何一个方向的运动加减速过快都会导致机器人的不稳定;最后,机器人质心规划的合理性会直接影响机器人下楼梯时的稳定性。

[0073] 由于在下台阶的过程中,主要影响机器人的是摆动足在竖直方向和前进方向的规划,侧向的规划可以设为固定值,所以在本申请实施例中仅说明竖直方向和前进方向的轨迹规划。机器人下台阶时的足端轨迹规划在矢状面上的投影如图1中的虚线所示,其中,x方向为机器人的前进方向,z方向为竖直向上的方向。足端轨迹规划要实现的过程如下:(a)刚开始抬脚时,摆动足竖直上升;(b)摆动足离开地面一定距离后开始前摆;(c)摆动足到一定高度后开始落脚,但在脚跟前摆到竖直台阶面之前,z方向的规划不能运动到水平台阶面;(d)落脚快到地面时,提前停止摆动足水平方向的运动,使摆动足竖直下落。

[0074] 请参阅图2,本申请实施例中一种机器人下台阶的轨迹规划方法的一个实施例可以包括:

[0075] 步骤S201、划分机器人下台阶的过程为预设的多个规划阶段。

[0076] 在本申请实施例中,分别在x方向和z方向对机器人的足端轨迹进行规划。图3所示即为预期的各个规划阶段的轨迹曲线示意图,图中的 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 、 t_5 分别为从轨迹曲线中选取的各个关键点所对应的时刻,其中, $t_5=T$,T为摆动足的摆动周期,这些关键点将整个下台阶的过程划分成了多个规划阶段。在0到 t_1 时x方向不动,z方向开始向上抬;在 t_1 时刻x方向开始往前摆;在 t_2 时刻,z轴方向到达最高点;在 $t_2\sim t_3$ 期间,z轴方向开始下降;在 t_3 时刻,z轴方向下降到台阶高度,x轴方向越过竖直台阶面;在 t_4 时刻,x方向停止运动;在 $t_4\sim t_5$ 期间,x方向保持水平位置不变,在z轴方向缓慢落到台阶高度。

[0077] 步骤S202、根据踝踵距离调整所述机器人的摆动足的起步位置。

[0078] 为了避免机器人脚跟碰到台阶,摆动足的脚跟必须越过台阶竖直面之后,其高度才能下降到水平台阶面之下。当摆动足脚跟距离台阶竖直面越近,其就能越早通过台阶竖直面,摆动足的高度就能越早下降到水平台阶面之下,留给摆动足竖直下降的时间也就越多,有利于减小竖直运动的最大速度和最大加速度,提高机器人的稳定性。

[0079] 因此,在本申请实施例中,如图3所示,可以预先调整摆动足的起步位置,使得脚跟离台阶竖直面近些,前脚掌露出竖直台阶面,以增强机器人下台阶的稳定性,但是为了保证足够的支撑区域,前脚掌不能露出过多。优选地,在本申请实施例的一种具体实现中,可以按照以下方式调整摆动足的起步位置,以取得最佳的平衡,即使得摆动足的踝关节与竖直台阶面的水平距离等于踝踵距离,其中,所述踝踵距离为所述机器人的踝关节与脚跟的水平距离。在其他实施例中,可根据脚掌是否平稳支撑来确定摆动足的踝关节与竖直台阶面的水平距离。

[0080] 步骤S203、根据所述起步位置确定所述机器人的摆动足在各个规划阶段的初始状态(包括初始位置和初始速度)及终止状态(包括终止位置和终止速度)。

[0081] 具体地,在x方向的第一阶段($0\leq t\leq t_1$),将初始位置设置为0,将初始速度设置为0,将终止位置设置为0,将终止速度设置为0,即: $x_0=x_1=0$, $vx_0=vx_1=0$ 。

[0082] 在x方向的第二阶段($t_1\leq t\leq t_3$),将初始位置设置为0,将初始速度设置为0,将终

止位置设置为 l_x ,将终止速度设置为预设的第一速度,即: $x_1=0, x_3=l_x, vx_1=0, vx_3=v_1$,其中, l_x 为所述摆动足脚跟与竖直台阶面的水平距离, v_1 为所述第一速度。在本申请实施例的一种具体实现中,可以根据下式计算所述第一速度: $v_1=1/(t_4-t_1)$,通过这样的方式,将所述第一速度设置为机器人前摆的平均速度,以减少摆动足摆动过程中的加减速,保证轨迹曲线的平滑。

[0083] 在x方向的第三阶段($t_3 \leq t \leq t_4$),将初始位置设置为 l_x ,将初始速度设置为所述第一速度,将终止位置设置为 l ,将终止速度设置为0,即: $x_3=l_x, x_4=l, vx_3=v_1, vx_0=0$,其中, l 为所述机器人的步长。

[0084] 在x方向的第四阶段($t_4 \leq t \leq t_5$),将初始位置设置为 l ,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 l ,将终止速度设置为0,即: $x_4=x_5=l, vx_4=vx_5=0$ 。

[0085] 则在x方向共有以下几个关键点: $(0, x_0, vx_0), (t_1, x_1, vx_1), (t_3, x_3, vx_3), (t_4, x_4, vx_4), (t_5, x_5, vx_5)$ 。

[0086] 在z方向的第一阶段($0 \leq t \leq t_2$),将初始位置设置为 h ,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $h+\Delta h_1$,将终止速度设置为0,即: $z_0=h, z_2=h+\Delta h_1, vz_0=vz_2=0$,其中, h 为台阶的高度, Δh_1 为预设的第一高度,且 $\Delta h_1>0$,以确保摆动足到台阶的竖直面之前其高度依然在台阶之上,优选地,可以设置 $\Delta h_1=0.02$ 米。

[0087] 在z方向的第二阶段($t_2 \leq t \leq t_3$),将初始位置设置为 $h+\Delta h_1$,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $h+\Delta h_2$,将终止速度设置为预设的第二速度,即: $z_2=h+\Delta h_1, z_3=h+\Delta h_2, vz_2=0, vz_3=v_2$,其中, Δh_2 为预设的第二高度,且 $\Delta h_2>0$,以确保摆动足到台阶的竖直面之前其高度依然在台阶之上,优选地,可以设置 $\Delta h_2=0.01$ 米。 v_2 为所述第二速度,在本申请实施例的一种具体实现中,可以根据下式计算所述第二速度: $v_2=(h+\Delta h_1)/(t_5-t_2)$,通过这样的方式,将所述第二速度设置为摆动足下降的平均速度,以减少摆动足摆动过程中的加减速,保证轨迹曲线的平滑。

[0088] 在z方向的第三阶段($t_3 \leq t \leq t_5$),将初始位置设置为 $h+\Delta h_2$,将初始速度设置为所述第二速度,将终止位置设置为0,将终止速度设置为0,即: $z_3=h+\Delta h_2, vz_3=v_2, z_5=0, vz_5=0$ 。

[0089] 则在z方向共有以下几个关键点: $(0, z_0, vz_0), (t_2, z_2, vz_2), (t_3, z_3, vz_3), (t_5, z_5, vz_5)$ 。

[0090] 需要注意的是,在以上过程中,在x方向的位置均以所述起步位置作为基点,即将所述起步位置的数值设置为0,其它位置的数值均为该位置与所述起步位置之间的水平距离值;在z方向的位置均以下一级台阶的水平台阶面作为基点,即将下一级台阶的水平台阶面的数值设置为0,其它位置的数值均为该位置与下一级台阶的水平台阶面之间的垂直距离值。

[0091] 步骤S204、根据所述初始状态和所述终止状态进行曲线拟合,得到所述机器人的摆动足的规划轨迹。

[0092] 在具体的规划过程中,针对各个规划阶段,可以通过曲线拟合确定一条从初始状态过渡到终止状态的光滑运动曲线,这一运动曲线包括但不限于三次多项式曲线、S型曲线、三次样条曲线、三次Hermite曲线以及贝塞尔曲线等。

[0093] 以下以三次多项式曲线为例,根据下式在x方向上进行曲线拟合:

$$[0094] \quad x(t) = f(x_b, x_f, v_b, v_f, t_b, t_f, t) = a_0 + a_1(t - t_b) + a_2(t - t_b)^2 + a_3(t - t_b)^3$$

[0095] 其中, t_b 为规划阶段的初始时刻, x_b 为初始位置, v_b 为初始速度, t_f 为规划阶段的终止时刻, x_f 为终止位置, v_f 为终止速度, t 为时间变量, f 为三次多项式函数, $x(t)$ 为在 x 方向上的规划轨迹曲线, a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 分别为三次多项式的各个系数, 且满足:

$$[0096] \quad a_0 = x_b$$

$$[0097] \quad a_1 = v_f$$

$$[0098] \quad a_2 = \frac{3}{(t_f - t_b)^2} (x_f - x_b) - \frac{1}{t_f - t_b} (2v_b + v_f)$$

$$[0099] \quad a_3 = -\frac{2}{(t_f - t_b)^3} (x_f - x_b) + \frac{1}{(t_f - t_b)^2} (v_b + v_f)$$

[0100] 最终得到的在 x 方向上的运动曲线 $x(t)$ 如图4中的上图所示:

[0101] 在 x 方向的第一阶段 ($0 \leq t \leq t_1$), $x(t) = 0$;

[0102] 在 x 方向的第二阶段 ($t_1 \leq t \leq t_3$), $x(t) = f(x_1, x_3, vx_1, vx_3, t_1, t_3, t)$;

[0103] 在 x 方向的第三阶段 ($t_3 \leq t \leq t_4$), $x(t) = f(x_3, x_4, vx_3, vx_4, t_3, t_4, t)$;

[0104] 在 x 方向的第四阶段 ($t_4 \leq t \leq t_5$), $x(t) = f(x_4, x_5, vx_4, vx_5, t_4, t_5, t)$ 。

[0105] 类似地, 最终得到的在 z 方向上的运动曲线 $z(t)$ 如图4中的下图所示:

[0106] 在 z 方向的第一阶段 ($0 \leq t \leq t_2$), $z(t) = f(z_0, z_2, vz_0, vz_2, 0, t_2, t)$;

[0107] 在 z 方向的第二阶段 ($t_2 \leq t \leq t_3$), $z(t) = f(z_2, z_3, vz_2, vz_3, t_2, t_3, t)$;

[0108] 在 z 方向的第三阶段 ($t_3 \leq t \leq t_5$), $z(t) = f(z_3, z_5, vz_3, vz_5, t_3, t_5, t)$ 。

[0109] 在摆动足的规划中要尽量减少关键点的数量, 因为指定的关键点越多越容易破坏轨迹的平滑性, 越容易导致摆动足的频繁加减速, 进而破坏机器人的稳定性。在本申请实施例的另一种具体实现中, 可以对前述选取的关键点进行进一步地精简。

[0110] 具体地, 可以在 z 方向则仅选取以下关键点: $(0, z_0, vz_0)$, (t_2, z_2, vz_2) , (t_5, z_5, vz_5) , 而删除关键点 (t_3, z_3, vz_3) , 这样 z 方向落脚的阶段的转折点只有刚落脚时的 (t_2, z_2, vz_2) 和落脚结束时的 (t_5, z_5, vz_5) 。在这种情况下, 在 z 方向将只有两个阶段, 其中, z 方向的第一阶段仍与前述内容一致, 而在 z 方向的第二阶段, 则将初始位置设置为 $h + \Delta h_1$, 将初始速度设置为 0, 将终止位置设置为 0, 将终止速度设置为 0。后续曲线拟合的过程与前述内容类似, 此处不再赘述。

[0111] 为了避免与台阶发生碰撞, 在对 z 方向减少关键点的同时, 还需要对 x 方向的关键点 (t_3, x_3, vx_3) 进行对应调整, 具体地, 可以设置 t_3 为 t_h , 并设置 $x_3 = 1x + \Delta x$, 其中, t_h 为摆动足下降到当前台阶的水平台面高度的时刻, Δx 为预设的水平距离, 且 $\Delta x > 0$, 以确保摆动足下降到水平台面之前, 其已经越过竖直台面, 从而保证摆动足不会碰到台阶, 优选地, 可以设置 $\Delta x = 0.01$ 米。在这种情况下, 需要将前述内容中 x 方向的第二阶段的终止位置和第二阶段初始位置均替换为 $1x + \Delta x$, 其余内容仍与前述内容一致, 此处不再赘述。

[0112] t_h 的具体取值可以通过连接 (t_2, z_2, vz_2) 和 (t_5, z_5, vz_5) 的拟合曲线来确定, 假设通过前述曲线拟合计算得到连接这两点的拟合曲线为:

$$[0113] \quad z(t) = at^3 + bt^2 + ct + d$$

[0114] 其中,a,b,c,d均为该拟合曲线的系数。

[0115] 则确定 t_h 的具体取值相当于求解方程:

$$[0116] \quad at^3+bt^2+ct+d=h$$

[0117] 或求解方程:

$$[0118] \quad at^3+bt^2+ct+d'=0$$

[0119] 其中, $d'=d-h$ 。

[0120] 使用盛金公式对方程进行求解,可以解出三个解,而摆动足下降到当前台阶的水平台面高度的时刻应在 t_2 和 t_5 之间,可以三个解中选出一个在 t_2 和 t_5 之间的解作为 t_h 的具体取值。

[0121] 机器人下台阶的时候,其躯干质心的规划也是关键一环,如果质心的规划不合理的话,会导致脚的运动超出工作空间,直接影响机器人的稳定性。为了保证机器人摆动足不会超出工作空间,摆动足下降的时候,质心也要跟着下降。但是摆动足下降的时候有时候速度比较快,质心下降过快的话会直接影响机器人的稳定。

[0122] 如图5所示,在本申请实施例的一种具体实现中,可以首先确定所述机器人的质心在下台阶过程中的初始状态及终止状态。

[0123] 具体地,在x方向上,将初始位置设置为0,将初始速度设置为0,将终止位置设置为0,将终止速度设置为0。

[0124] 在z方向上,将初始位置设置为 $h+H$,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 H ,将终止速度设置为0。其中, H 为预设的质心高度,一般可将其设为机器人正常站立时质心到地面的高度。

[0125] 然后,可以根据所述初始状态和所述终止状态进行曲线拟合,从而得到所述机器人的质心的规划轨迹。具体的曲线拟合过程可以参见前述内容,此处不再赘述。

[0126] 综上所述,本申请实施例划分机器人下台阶的过程为预设的多个规划阶段;根据踝踵距离调整所述机器人的摆动足的起步位置,所述踝踵距离为所述机器人的踝关节与脚跟的水平距离;根据所述起步位置确定所述机器人的摆动足在各个规划阶段的初始状态及终止状态;根据所述初始状态和所述终止状态进行曲线拟合,得到所述机器人的摆动足的规划轨迹。通过本申请实施例,即可对机器人下台阶的过程进行分阶段的轨迹规划,极大提高了机器人下台阶时的稳定性。

[0127] 应理解,上述实施例中各步骤的序号的大小并不意味着执行顺序的先后,各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定,而不对本申请实施例的实施过程构成任何限定。

[0128] 对应于上文实施例所述的一种机器人下台阶的轨迹规划方法,图6示出了本申请实施例提供的一种机器人下台阶的轨迹规划装置的一个实施例结构图。

[0129] 本实施例中,一种机器人下台阶的轨迹规划装置可以包括:

[0130] 规划阶段划分模块601,用于划分机器人下台阶的过程为预设的多个规划阶段;

[0131] 起步位置调整模块602,用于根据踝踵距离调整所述机器人的摆动足的起步位置,所述踝踵距离为所述机器人的踝关节与脚跟的水平距离;

[0132] 状态确定模块603,用于根据所述起步位置确定所述机器人的摆动足在各个规划阶段的初始状态及终止状态;

[0133] 曲线拟合模块604,用于根据所述初始状态和所述终止状态进行曲线拟合,得到所述机器人的摆动足的规划轨迹。

[0134] 进一步地,所述起步位置调整模块具体用于调整所述起步位置,使得所述摆动足的踝关节与竖直台阶面的水平距离等于所述踝踵距离。

[0135] 进一步地,所述状态确定模块可以包括:

[0136] 第一状态确定单元,用于以所述起步位置作为基点,在x方向的第一阶段,将初始位置设置为0,将初始速度设置为0,将终止位置设置为0,将终止速度设置为0;其中,所述x方向为所述机器人的前进方向;

[0137] 第二状态确定单元,用于在x方向的第二阶段,将初始位置设置为0,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $1x$,将终止速度设置为预设的第一速度;其中, $1x$ 为所述摆动足的脚跟与竖直台阶面的水平距离;

[0138] 第三状态确定单元,用于在x方向的第三阶段,将初始位置设置为 $1x$,将初始速度设置为所述第一速度,将终止位置设置为1,将终止速度设置为0;其中,1为所述机器人的步长;

[0139] 第四状态确定单元,用于在x方向的第四阶段,将初始位置设置为1,将初始速度设置为0,将终止位置设置为1,将终止速度设置为0。

[0140] 进一步地,所述状态确定模块还可以包括:

[0141] 第五状态确定单元,用于在z方向的第一阶段,将初始位置设置为 h ,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $h + \Delta h_1$,将终止速度设置为0;其中,所述z方向为竖直向上的方向, h 为台阶的高度, Δh_1 为预设的第一高度,且 $\Delta h_1 > 0$;

[0142] 第六状态确定单元,用于在z方向的第二阶段,将初始位置设置为 $h + \Delta h_1$,将初始速度设置为0,将终止位置设置为 $h + \Delta h_2$,将终止速度设置为预设的第二速度;其中, Δh_2 为预设的第二高度,且 $\Delta h_2 > 0$;

[0143] 第七状态确定单元,用于在z方向的第三阶段,将初始位置设置为 $h + \Delta h_2$,将初始速度设置为所述第二速度,将终止位置设置为0,将终止速度设置为0。

[0144] 进一步地,所述曲线拟合模块可以包括:

[0145] 曲线拟合单元,用于根据下式进行曲线拟合:

$$[0146] \quad x(t) = f(x_b, x_f, v_b, v_f, t_b, t_f, t) = a_0 + a_1(t - t_b) + a_2(t - t_b)^2 + a_3(t - t_b)^3$$

[0147] 其中, t_b 为初始时刻, x_b 为初始位置, v_b 为初始速度, t_f 为终止时刻, x_f 为终止位置, v_f 为终止速度, t 为时间变量, a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 分别为三次多项式的各个系数。

[0148] 进一步地,所述曲线拟合模块还可以包括:

[0149] 系数确定单元,用于根据下式分别计算所述三次多项式的各个系数:

$$[0150] \quad a_0 = x_b$$

$$[0151] \quad a_1 = v_f$$

$$[0152] \quad a_2 = \frac{3}{(t_f - t_b)^2} (x_f - x_b) - \frac{1}{t_f - t_b} (2v_b + v_f)$$

$$[0153] \quad a_3 = -\frac{2}{(t_f - t_b)^3}(x_f - x_b) + \frac{1}{(t_f - t_b)^2}(v_b + v_f)。$$

[0154] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为描述的方便和简洁,上述描述的装置,模块和单元的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0155] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述或记载的部分,可以参见其它实施例的相关描述。

[0156] 图7示出了本申请实施例提供的一种机器人的示意框图,为了便于说明,仅示出了与本申请实施例相关的部分。

[0157] 如图7所示,该实施例的机器人7包括:处理器70、存储器71以及存储在所述存储器71中并可在所述处理器70上运行的计算机程序72。所述处理器70执行所述计算机程序72时实现上述各个机器人下台阶的轨迹规划方法实施例中的步骤,例如图2所示的步骤S201至步骤S204。或者,所述处理器70执行所述计算机程序72时实现上述各装置实施例中各模块/单元的功能,例如图6所示模块601至模块604的功能。

[0158] 示例性的,所述计算机程序72可以被分割成一个或多个模块/单元,所述一个或多个模块/单元被存储在所述存储器71中,并由所述处理器70执行,以完成本申请。所述一个或多个模块/单元可以是能够完成特定功能的一系列计算机程序指令段,该指令段用于描述所述计算机程序72在所述机器人7中的执行过程。

[0159] 本领域技术人员可以理解,图7仅仅是机器人7的示例,并不构成对机器人7的限定,可以包括比图示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者不同的部件,例如所述机器人7还可以包括输入输出设备、网络接入设备、总线等。

[0160] 所述处理器70可以是中央处理单元(Central Processing Unit,CPU),还可以是其它通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor,DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)或者其它可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

[0161] 所述存储器71可以是所述机器人7的内部存储单元,例如机器人7的硬盘或内存。所述存储器71也可以是所述机器人7的外部存储设备,例如所述机器人7上配备的插接式硬盘,智能存储卡(Smart Media Card,SMC),安全数字(Secure Digital,SD)卡,闪存卡(Flash Card)等。进一步地,所述存储器71还可以既包括所述机器人7的内部存储单元也包括外部存储设备。所述存储器71用于存储所述计算机程序以及所述机器人7所需的其它程序和数据。所述存储器71还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

[0162] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为了描述的方便和简洁,仅以上述各功能单元、模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能单元、模块完成,即将所述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中,上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。另外,各

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

[0163] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述或记载的部分,可以参见其它实施例的相关描述。

[0164] 本领域普通技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

[0165] 在本申请所提供的实施例中,应该理解到,所揭露的装置/机器人和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的装置/机器人实施例仅仅是示意性的,例如,所述模块或单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通讯连接可以通过一些接口,装置或单元的间接耦合或通讯连接,可以是电性,机械或其它的形式。

[0166] 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0167] 另外,在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。

[0168] 所述集成的模块/单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用时,可以存储在一个计算机可读存储介质中。基于这样的理解,本申请实现上述实施例方法中的全部或部分流程,也可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一计算机可读存储介质中,该计算机程序在被处理器执行时,可实现上述各个方法实施例的步骤。其中,所述计算机程序包括计算机程序代码,所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读存储介质可以包括:能够携带所述计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质、U盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机存储器、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、电载波信号、电信信号以及软件分发介质等。需要说明的是,所述计算机可读存储介质包含的内容可以根据司法管辖区内立法和专利实践的要求进行适当的增减,例如在某些司法管辖区,根据立法和专利实践,计算机可读存储介质不包括电载波信号和电信信号。

[0169] 以上所述实施例仅用以说明本申请的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本申请进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的精神和范围,均应

包含在本申请的保护范围之内。

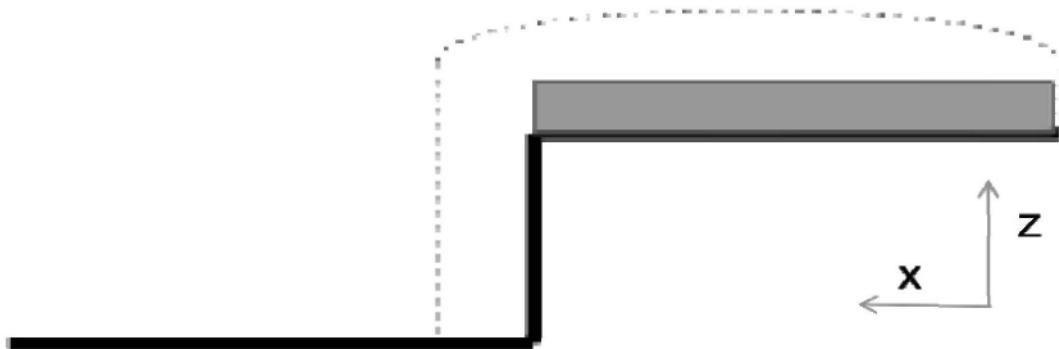


图1

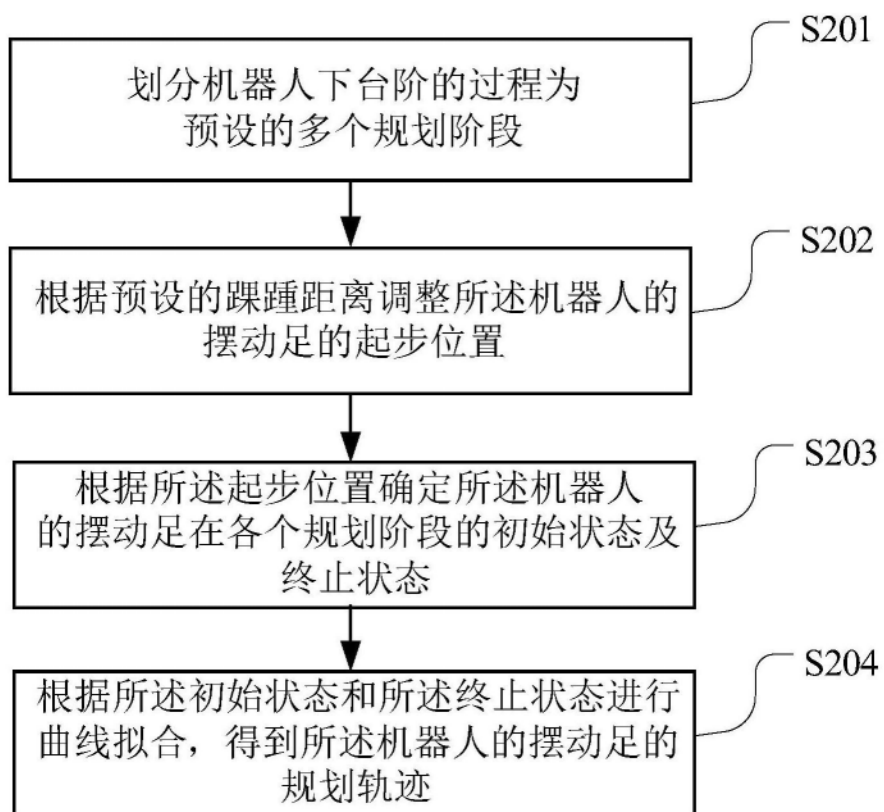


图2

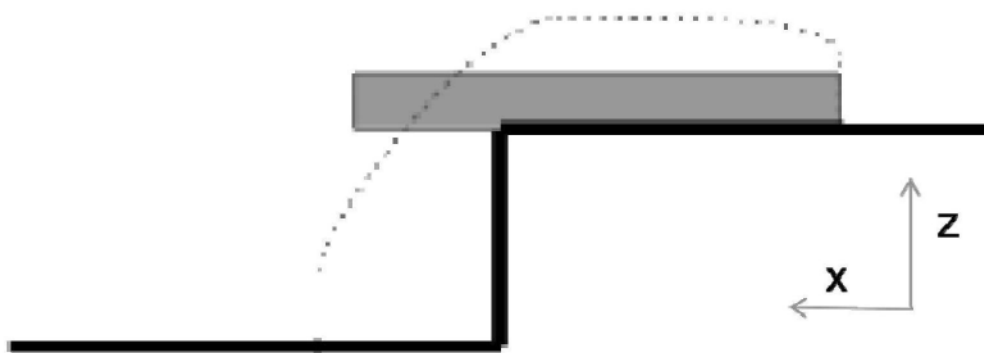


图3

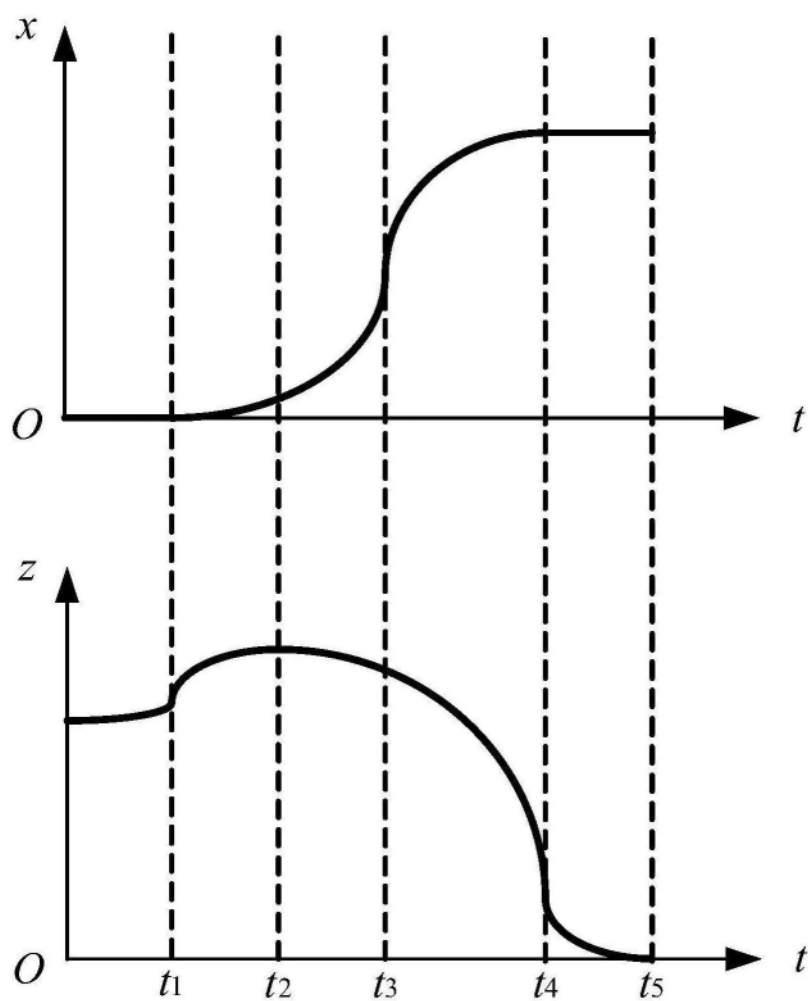


图4

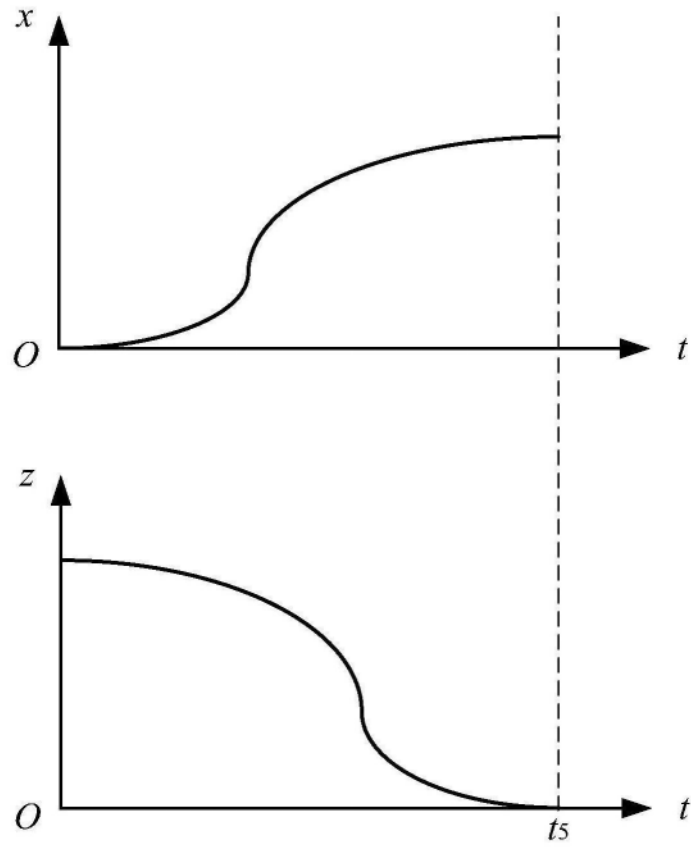


图5

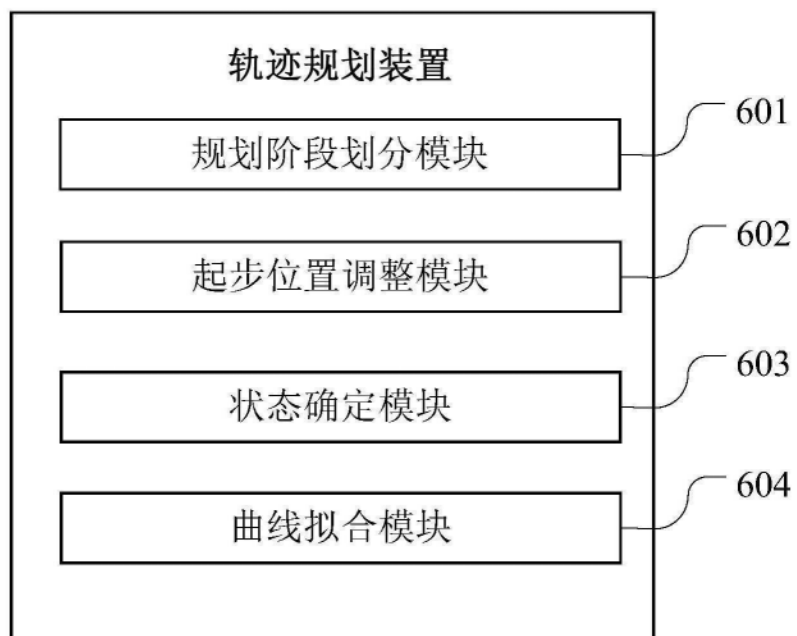


图6

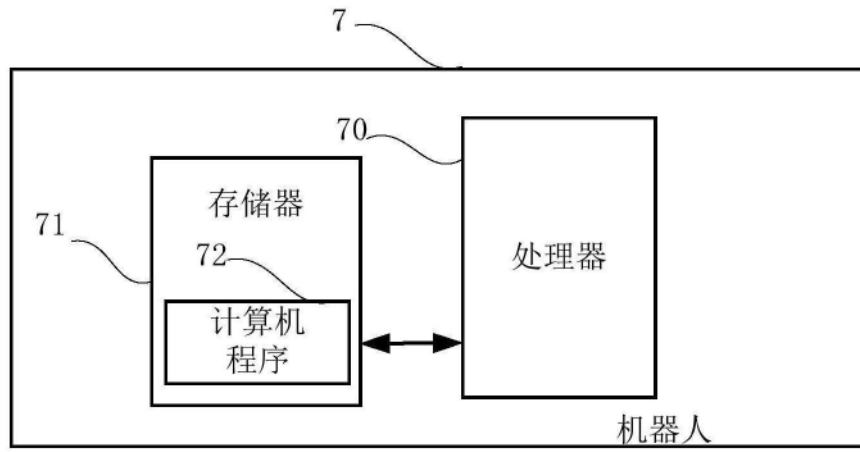


图7