



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104503234 A

(43) 申请公布日 2015. 04. 08

(21) 申请号 201410721484. 9

(22) 申请日 2014. 12. 03

(71) 申请人 宁夏大学

地址 750021 宁夏回族自治区银川市西夏区  
贺兰山西路 489 号

(72) 发明人 胡钢墩 潘欢 李学丰

(74) 专利代理机构 宁夏专利服务中心 64100

代理人 赵明辉

(51) Int. Cl.

G05B 13/04(2006. 01)

G05D 1/02(2006. 01)

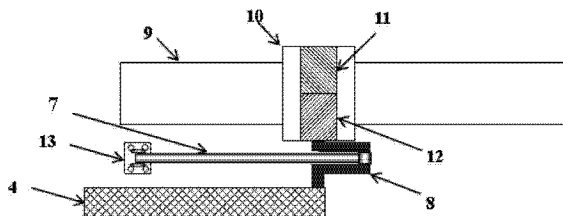
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

## (54) 发明名称

二维运动 C 形腿和仿生沙基机器人及其运动控制方法

## (57) 摘要

本发明涉及仿生沙基机器人(利用仿生学原理设计的在流动颗粒介质地面上用轮足行走的机器人)C形腿,尤其是一种仿生沙基机器人及其二维运动C形腿及其运动控制方法。包括C形腿本体(4),其特点是:该C形腿本体(4)与一曲拐(8)的输出轴连接,而该曲拐(8)的输入轴通过减速器(12)与电机(11)连接,还包括一连杆(7),该连杆(7)的一端通过轴承套装在前述曲拐(8)的曲柄销上,而其另一端铰接在仿生沙基机器人的身体上;另外前述的电机(11)固定在一滑轨(9)的滑块(10)上,该滑轨(9)则固定在仿生沙基机器人的身体上。本发明的仿生沙基机器人C形腿克服了仿生机器人C形腿在松软沙基中滑转率过大的缺点。



1. 一种仿生沙基机器人二维运动 C 形腿, 包括 C 形腿本体 (4), 其特征在于: 该 C 形腿本体 (4) 与一曲拐 (8) 的输出轴连接, 而该曲拐 (8) 的输入轴通过减速器 (12) 与电机 (11) 连接, 还包括一连杆 (7), 该连杆 (7) 的一端通过轴承套装在前述曲拐 (8) 的曲柄销上, 而其另一端铰接在仿生沙基机器人的身体上; 另外前述的电机 (11) 固定在一滑轨 (9) 的滑块 (10) 上, 该滑轨 (9) 则固定在仿生沙基机器人的身体上。

2. 如权利要求 1 所述的仿生沙基机器人二维运动 C 形腿, 其特征在于: 其中曲柄销两端分别通过曲柄臂与曲拐 (8) 的输入轴和输出轴连接。

3. 如权利要求 1 所述的仿生沙基机器人二维运动 C 形腿, 其特征在于: 其中电机 (11) 和减速器 (12) 均安装在滑块 (10) 上。

4. 如权利要求 1 所述的仿生沙基机器人二维运动 C 形腿, 其特征在于: 其中 C 形腿本体 (4) 与一曲拐 (8) 的输出轴通过紧固件连接。

5. 如权利要求 1 所述的仿生沙基机器人二维运动 C 形腿, 其特征在于: 其中在连杆 (7) 的一端固定有圆环, 该圆环通过轴承套装在曲拐 (8) 的曲柄销上。

6. 如权利要求 1 所述的仿生沙基机器人二维运动 C 形腿, 其特征在于: 所述 C 形腿本体 (4) 的形状基本为英文字母 C 的弧形。

7. 一种仿生沙基机器人, 包括 C 形腿本体 (4), 其特征在于: 所述 C 形腿本体 (4) 采用权利要求 1 至 6 中任意一项记载的二维运动 C 形腿。

8. 一种仿生沙基机器人二维运动 C 形腿的运动控制方法, 其特征在于: 二维运动 C 形腿的 C 形腿本体 (4) 在随其转轴进行旋转运动的同时还随其转轴进行往复平动。

9. 如权利要求 8 所述的仿生沙基机器人二维运动 C 形腿的运动控制方法, 其特点在于: 其中 C 形腿本体 (4) 在随其转轴的往复平动中, 当 C 形腿本体 (4) 与沙基地面接触时其转轴向后平动, 而当 C 形腿本体 (4) 离开沙基地面后其转轴向前平动。

10. 如权利要求 8 所述的仿生沙基机器人二维运动 C 形腿的运动控制方法, 其特点在于: 其中 C 形腿本体 (4) 在随其转轴的旋转运动外, 还随其转轴进行往复平动, 当 C 形腿本体 (4) 与沙基地面接触时在随其转轴向后转动的同时, 也随其转轴向后平动。

11. 如权利要求 8 所述的仿生沙基机器人二维运动 C 形腿的运动控制方法, 其特点在于: 其中 C 形腿本体 (4) 在随其转轴的旋转运动外, 还随其转轴进行往复平动, 当 C 形腿本体 (4) 离开沙基地面时在随其转轴向前转动的同时, 也随其转轴向前平动。

## 二维运动 C 形腿和仿生沙基机器人及其运动控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及仿生沙基机器人（利用仿生学原理设计的在流动颗粒介质地面上用轮足行走的机器人）C形腿，尤其是一种仿生沙基机器人及其二维运动 C 形腿及其运动控制方法。

### 背景技术

[0002] 2001 年美国宾夕法尼亚大学教授 Daniel E. Koditschek<sup>1</sup>与 Martin Buehler<sup>2</sup>（当时任加拿大麦吉尔大学教授，后在波士顿动力研究所带领团队负责机器人的 BigDog 研究计划，现任 Covidien 公司的高级总监）、Uluc Saranli<sup>3</sup>（当时为美国密歇根大学博士生，现任土耳其比尔肯大学副教授）发明了机器人 RHex（仿生六足机器人），在 2002 年申请到了美国专利（专利号：6481513）。2001 至 2006 年期间 Daniel E. Koditschek 教授的团队对 RHex 进行了改进，最后将仿生六足机器人的腿定形为 C 形腿。2007 年至 2009 年 Daniel E. Koditschek 教授与美国佐治亚理工学院教授 Daniel Goldman 教授的 CRAB Lab（Complex Rheology And Biomechanics Lab，复杂的流变学和生物力学实验室）合作研制出 SandBot，并测试了其在流动颗粒介质地面上的通过特性。2009 年后至今，Daniel Goldman 教授的团队一直在研究行走与流动沙基上的机器人。2013 年 3 月该团队在科学杂志上发表了论文“A Terradynamics of Legged Locomotion on Granular Media”，文中作者证明了在各种异构的沙基机器人腿中，C 形腿在松软沙基中的抓地能力最好，并首次提出了地面动力学（Terradynamics）理论，为沙基机器人的研究在方法上指明了方向。

[0003] C 形腿仿生六足机器人每条腿只有一个自由度，由一个电机控制，克服了一般仿生机器人自由度多、控制复杂的缺点。其基本步法是模仿沙漠甲虫的三脚架步法，其步态具有沙漠蜥蜴在沙漠快速奔跑时的特点。C 形腿仿生六足机器人虽然是目前在松软沙子上行走性能最好的机器人，但它在松软沙基的滑转率仍然过大。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的之一是提供一种仿生沙基机器人二维运动 C 形腿，能够克服现有仿生机器人 C 形腿在松软沙基中滑转率过大的缺点，在不增加驱动电机和控制难度情况下提高机器人在松软沙基上的通过能力；

[0005] 本发明的目的之二是提供一种采用上述二维运动 C 形腿的仿生沙基机器人；

[0006] 本发明的目的之三是提供一种上述仿生沙基机器人二维运动 C 形腿的运动控制方法。

[0007] 一种仿生沙基机器人二维运动 C 形腿，包括 C 形腿本体，其特别之处在于：该 C 形腿本体与一曲拐的输出轴连接，而该曲拐的输入轴通过减速器与电机连接，还包括一连杆，该连杆的一端通过轴承套装在前述曲拐的曲柄销上，而其另一端铰接在仿生沙基机器人的身体上；另外前述的电机固定在一滑轨的滑块上，该滑轨则固定在仿生沙基机器人的身体上。

- [0008] 其中曲柄销两端分别通过曲柄臂与曲拐的输出轴和输出轴连接。
- [0009] 其中电机和减速器均安装在滑块上。
- [0010] 其中 C 形腿本体与一曲拐的输出轴通过紧固件连接。
- [0011] 其中在连杆的一端固定有圆环,该圆环通过轴承套装在曲拐的曲柄销上。
- [0012] 所述 C 形腿本体的形状基本为英文字母 C 的弧形。
- [0013] 所述 C 形腿本体采用上述记载的二维运动 C 形腿。
- [0014] 二维运动 C 形腿的 C 形腿本体在随其转轴进行旋转运动的同时还随其转轴进行往复平动。
- [0015] 其中 C 形腿本体在随其转轴的往复平动中,当 C 形腿本体与沙基地面接触时其转轴向后平动,而当 C 形腿本体离开沙基地面后其转轴向前平动。
- [0016] 其中 C 形腿本体在随其转轴的旋转运动外,还随其转轴进行往复平动,当 C 形腿本体与沙基地面接触时在随其转轴向后转动的同时,也随其转轴向后平动。
- [0017] 其中 C 形腿本体在随其转轴的旋转运动外,还随其转轴进行往复平动,当 C 形腿本体离开沙基地面时在随其转轴向前转动的同时,也随其转轴向前平动。
- [0018] 本发明的仿生沙基机器人 C 形腿是应用地面动力学的研究成果和仿生学原理,设计出了一种全新的仿生沙基机器人二维运动 C 形腿及其运动控制方法,它在松软沙基行走时的动作状态要比一维运动 C 形腿更接近蜥蜴后肢在沙上奔跑时的状态,进而可克服了仿生机器人 C 形腿在松软沙基中滑转率过大的缺点。使用该 C 形腿的轻巧灵便的沙基机器人不但可以完成沙漠、草原、山脉等复杂地形的探险、营救和军事侦察工作,而且可用于月球表面和火星表面的探测。

#### 附图说明

- [0019] 附图 1 为本发明中采用二维运动 C 形腿的仿生六足机器人示意图；
- [0020] 附图 2 为本发明中二维运动 C 形腿的运动原理图；
- [0021] 附图 3 为本发明中二维运动 C 形腿的结构示意图；
- [0022] 附图 4 为一维运动 C 形腿轴的运动轨迹；
- [0023] 附图 5 为二维运动 C 形腿安装时与曲拐曲柄臂的相对位置关系示意图；
- [0024] 附图 6 为  $\varphi=2\pi/3$  的一维运动 C 形三脚架步法切换示意图；
- [0025] 附图 7 为  $\varphi=2\pi/3$  时二维运动 C 形腿三脚架步法切换示意图；
- [0026] 附图 8 为  $\varphi=2\pi/3$  时一维运动 C 形腿在无滑硬路面运行轨迹；
- [0027] 附图 9 为  $\varphi=2\pi/3$  时二维运动 C 形腿在无滑硬路面运行轨迹。

#### 具体实施方式

[0028] 如图 1、2、3 所示,本发明提供了一种仿生沙基机器人二维运动 C 形腿,包括 C 形腿本体 4,该 C 形腿本体 4 与一曲拐 8 的输出轴连接,而该曲拐 8 的输入轴通过减速器 12 与电机 11 连接,还包括一连杆 7,该连杆 7 的一端通过轴承套装在前述曲拐 8 的曲柄销上,而其另一端铰接在仿生沙基机器人的身体上;另外前述的电机 11 固定在一滑轨 9 的滑块 10 上,该滑轨 9 则固定在仿生沙基机器人的身体上。

[0029] 其中曲柄销两端分别通过曲柄臂与曲拐 8 的输入轴和输出轴连接。电机 11 和减速器 12 均安装在滑块 10 上。C 形腿本体 4 与一曲拐 8 的输出轴通过紧固件连接。另外在连杆 7 的一端固定有圆环,该圆环通过轴承套装在曲拐 8 的曲柄销上。C 形腿本体 4 的形状基本为英文字母 C 的弧形。

[0030] 一种仿生沙基机器人,包括 C 形腿本体 4,所述 C 形腿本体 4 采用上述记载的二维运动 C 形腿。

[0031] 一种仿生沙基机器人二维运动 C 形腿的运动控制方法,二维运动 C 形腿的 C 形腿本体 4 在随其转轴进行旋转运动的同时还随其转轴进行往复平动。其中 C 形腿本体 4 在随其转轴的往复平动中,当 C 形腿本体 4 与沙基地面接触时其转轴向后平动,而当 C 形腿本体 4 离开沙基地面后其转轴向前平动。其中 C 形腿本体 4 在随其转轴的旋转运动外,还随其转轴进行往复平动,当 C 形腿本体 4 与沙基地面接触时在随其转轴向后转动的同时,也随其转轴向后平动。其中 C 形腿本体 4 在随其转轴的旋转运动外,还随其转轴进行往复平动,当 C 形腿本体 4 离开沙基地面时在随其转轴向前转动的同时,也随其转轴向前平动。

[0032] 二维运动 C 形腿仿生六足机器人如图 1 所示,六足机器人的基本步法是三脚架步法。其中 1 足(或称 1 腿或 1 脚,其它足也可以此类推,下同)、4 足、5 足可构成一个三脚架,2 足、3 足、6 足可构成另外一个三脚架。图 2、图 3 是以足 4 为例的二维运动 C 形腿的运动原理图和结构示意图。

[0033] 为克服仿生机器人 C 形腿在松软沙基中滑转率过大的缺点,提高机器人在松软沙基上的通过能力,申请人利用滑轨 9 和反装曲柄连杆 7 机构,在不增加驱动电机的情况下,将原来的只有一维运动的 C 形腿变为既有平动又有转动的二维运动 C 形腿,如图 2、3 所示:图中包括曲拐 8,其半径为  $r$ ,连杆 7,其长度为  $l$ 。C 形腿本体 4 通过曲拐 8 连于减速器 12 上,减速器 12 与(驱动)电机 11 相连接,电机 11 和减速器 12 安装在滑轨 9 的滑块 10 之上,连杆 7 一端与机器人身体相连,另一端与曲拐 8 相连。

[0034] 如图 2、3 所示。当驱动电机 11 通过减速器 12 和曲拐 8 带动 C 形腿本体 4 旋转时,会带动 C 形腿本体 4 产生一个前后方向的往复运动,使 C 形腿本体 4 在与沙基地面接触时,除了有旋转运动外,还有水平向后的平动(其余各腿结构均与图 2、3 相同),其在松软沙基奔跑时的步态将比一维运动 C 形腿更接近于蜥蜴后肢在沙上奔跑时的状态,进而可克服仿生机器人 C 形腿在松软沙基中滑转率过大的缺点。

[0035] 本发明的工作原理是:

[0036] 一维运动 C 形腿仿生六足机器人的基本步法是三脚架步法,当一维运动 C 形腿在地面做纯滚动时,一维运动 C 形腿轴的运动轨迹为摆线,如图 4 所示。摆线的参数方程为(1)式。

$$[0037] \quad x = R(\omega t - \sin \omega t)$$

$$[0038] \quad (1)$$

$$[0039] \quad y = R(1 - \cos \omega t)$$

[0040] 式中  $\omega$  为 C 形腿的旋转角速度。

[0041] 在 C 形腿仿生六足机器人运动控制中,为使两套三脚架平稳切换,需控制两套 C 形腿的旋转角速度满足一定的关系。当 C 形腿  $\varphi$  角(图 4 中的  $\varphi$  角)不同时,角速度关系不同,设触地的 C 形腿角速度为  $\omega_1$ ,不触地的 C 形腿的角速度为  $\omega_2$ 。由几何关系可知,  $\omega_1$ 、

$\omega_2$ 需满足 (2) 式。

[0042]

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\pi - \varphi}{\varphi} \quad (2)$$

[0043] 图 6 为  $\varphi = 2\pi/3$  的一维运动 C 形腿三脚架步法切换情况 (为使图面简洁, 图中只画了部分 C 形腿)。由 (2) 式可得  $\omega_1 = \omega_2/2$ 。图 6 从上至下分别是, 1、4、5 (足) 三脚架, 向 2、3、6 (足) 三脚架过度的情况; 2、3、6 腿以角速度  $\omega_1$  旋转  $\pi/3$ , 1、4、5 腿以角速度  $\omega_2 = 2\omega_1$  旋转  $2\pi/3$  时的情况; 2、3、6 腿旋转  $2\pi/3$ , 1、4、5 腿旋转  $4\pi/3$ , 由 2、3、6 (足) 三脚架, 向 1、4、5 (足) 三脚架过度的情况。

[0044] 图 7 为  $\varphi = 2\pi/3$  的二维运动 C 形腿三脚架步法切换图 (为使图面简洁, 图中只画了部分 C 形腿)。图 7 从上至下分别是, 1、4、5 (足) 三脚架, 向 2、3、6 (足) 三脚架过度的情况; 2、3、6 腿以角速度  $\omega_1$  旋转  $\pi/3$ , 1、4、5 腿以角速度  $\omega_2 = 2\omega_1$  旋转  $2\pi/3$  时的情况; 2、3、6 腿旋转  $2\pi/3$ , 1、4、5 腿旋转  $4\pi/3$ , 由 2、3、6 (足) 三脚架, 向 1、4、5 (足) 三脚架过度的情况。

[0045] 图 8 为  $\varphi = 2\pi/3$  的一维运动 C 形腿, C 形腿半径  $R = 0.2\text{m}$  时, 机器人在无滑硬路面行走, 其重心运动的轨迹。重心运动的轨迹方程为 (3) 式

[0046]  $x = R(\omega t - \sin \omega t)$

[0047] 当  $2\pi/3 \leq \omega t \leq 4\pi/3$  (3)

[0048]  $y = R(1 - \cos \omega t)$

[0049] 图 9 为  $\varphi = 2\pi/3$  的二维运动 C 形腿, C 形腿半径  $R = 0.2\text{m}$ ,  $r = 0.07\text{m}$ ,  $\lambda = r/l = 0.226$  时, 机器人在无滑硬路面行走, 其重心运动的轨迹。重心运动的轨迹方程为 (4) 式

[0050] 
$$\begin{aligned} x &= R(\omega t - \sin \omega t) \\ &+ r \left\{ [1 - \cos(\omega t + \alpha - \pi/2)] + \lambda/4 [1 - \cos 2(\omega t + \alpha - \pi/2)] \right\} \\ y &= R(1 - \cos \omega t) \end{aligned}$$

(4)

当  $2\pi/3 \leq \omega t \leq 4\pi/3$

[0051] 式中  $\alpha$  如图 5 所示, 是 C 形腿轴 A 和 C 形腿圆心 O 的连线 OA 与曲拐柄臂的夹角, 以 OA 为参考原点, 顺时针为  $\alpha$  正, 逆时针  $\alpha$  为负。图 9 中  $\alpha$  为零。

[0052] 比较图 8 和图 9, 可以看到, 在无滑硬路面上行走, C 形腿旋转同样角度时, 二维运动 C 形腿仿生六足机器人要比一维运动 C 形腿仿生六足机器人行走的距离更长。用地面动力学分析可知, 当机器人在沙中行走时, 本发明的二维运动 C 形腿要比一维运动 C 形腿的“划沙”能力更强。

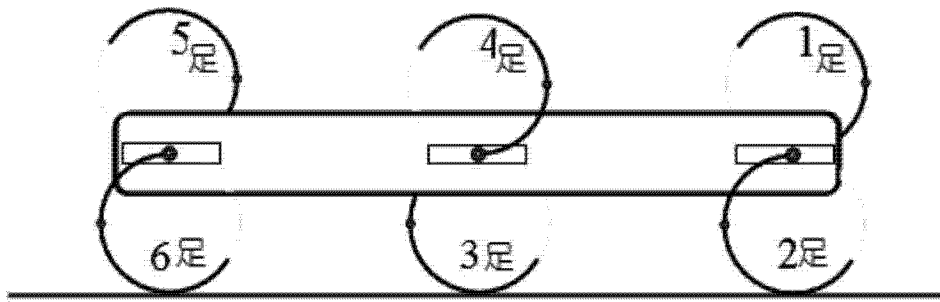


图 1

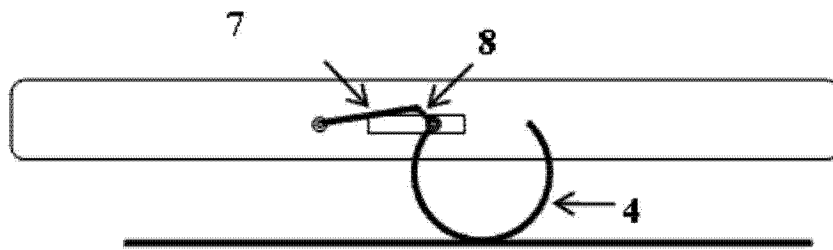


图 2

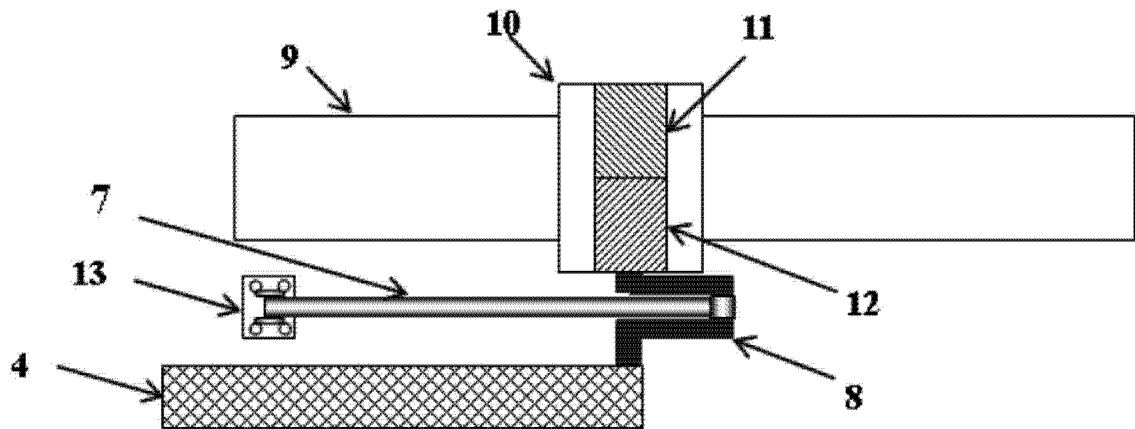


图 3

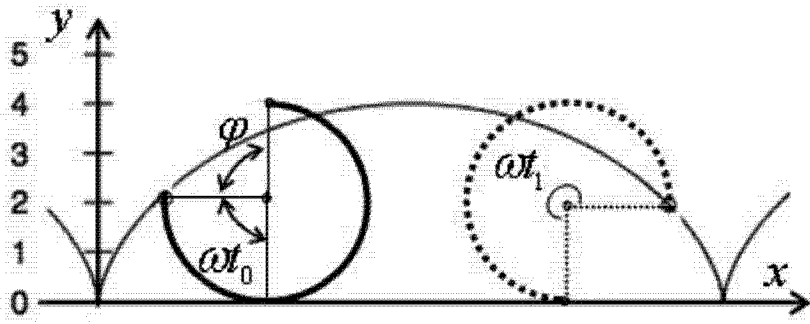


图 4

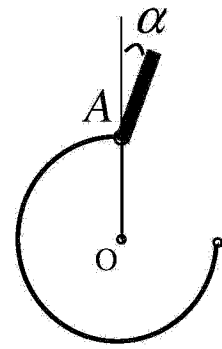


图 5

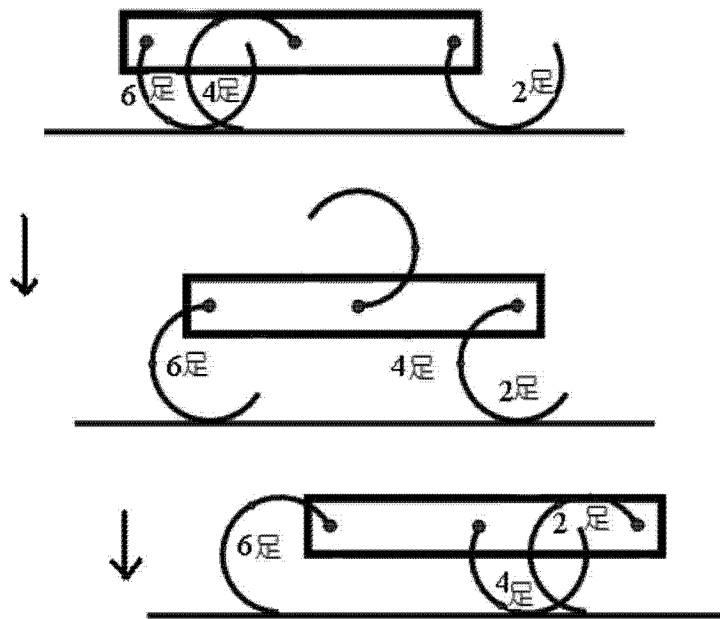


图 6



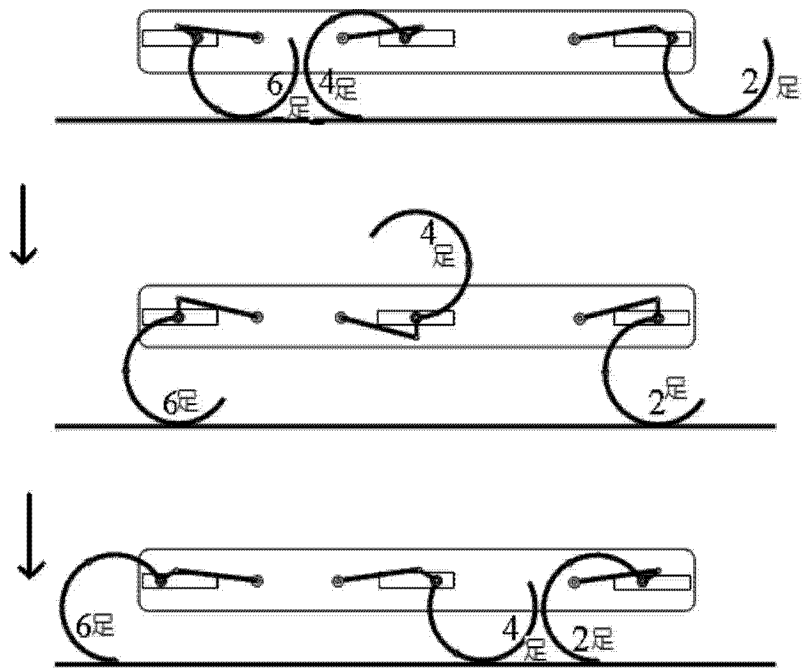


图 7

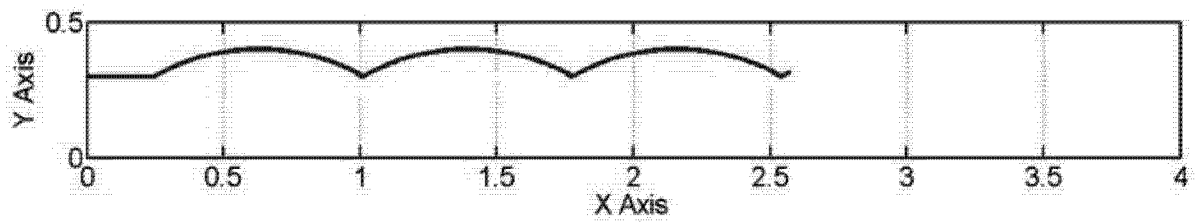


图 8

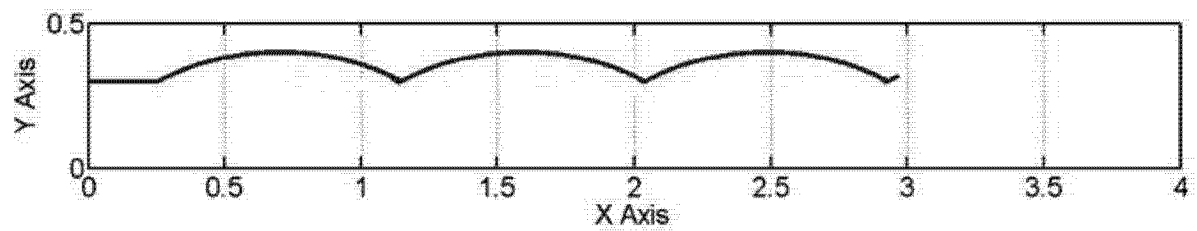


图 9