

单向被动轮接触机构蛇形机器人的设计^①

卢振利^{②***} 刘超^{*} 孙凯翔^{*} 冯大宇^{*} 许仙珍^{*} 单长考^{*} 李斌^{**}

(^{*}常熟理工学院电气与自动化工程学院 常熟 215500)

(^{**}中国科学院沈阳自动化研究所 机器人学国家重点实验室 沈阳 110014)

(^{***}阿威罗大学,电子和信息通信工程研究所 阿威罗 3810-193,葡萄牙)

摘要 为了使蛇形机器人能有效地爬坡执行任务,为一个蛇形机器人样机设计了一种新型的单向被动轮(UPW)接触机构。通过大量试验证明,该单向被动轮接触机构可以实现蛇形机器人坡面静止及坡面摆头探测任务,避免采用双向被动轮作为地面接触机构的蛇形机器人在坡面上因下滑而无法完成探测任务的缺陷。本研究为蛇形机器人实用化提供了技术储备。

关键词 蛇形机器人, 单向被动轮(UPW), 坡面探查, 接触机构

0 引言

蛇形机器人具有超冗余自由度和细长体形,因而能够实现多种方式的运动和操作^[1]。例如可以在崎岖不平的地面上、在松软的沙地或沼泽地上运动,也可以爬树,如果加上密封皮,还可以在液体中运动^[2-4];可在战场上扫雷、爆破,在矿井和废墟中探测营救被困人员和维修管道,以及进行外行星地表探测等。蛇形机器人在条件恶劣且要求有高可靠性的领域有着广阔的应用前景^[5-8]。

通常陆地上采用双向被动轮作为地面接触机构,以改变纵横向摩擦比,使蛇形机器人能够实现蜿蜒运动。但实际应用中,遇到的典型地貌是坡面。当蛇形机器人位于坡面时,双向被动轮无法使其静止,无法通过摆动头部实现勘测任务。为了使蛇形机器人更有效地爬坡执行任务,本研究在已设计好的蛇形机器人样机的基础上,设计了一种新型的接触机构——单向被动轮(unidirectional passive wheel, UPW)接触机构。试验证实,UPW 接触机构是可行的。

1 单向被动轮机构蛇形机器人系统的设计

本文研究的蛇形机器人样机的设计运用了模块化的设计理念,每个模块由舵机(HDKJ S3150D)和被动轮等组成。这些模块通过正交串联组成蛇形机器人,如图 1 所示。

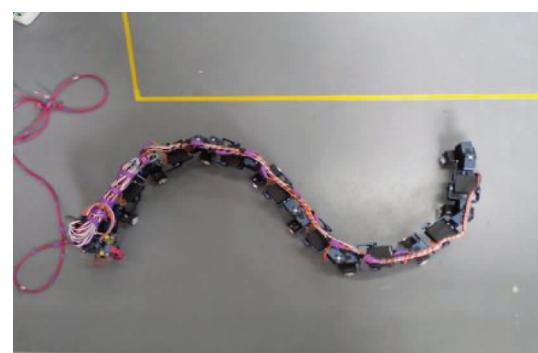


图 1 蛇形机器人总体设计

本设计中的单向被动轮(UPW)接触机构如图 2 所示。在正常运动时,单向被动轮接触机构的灵活

① 国家自然科学基金(61473283),机器人学国家重点实验室开放基金(2014-008),校新引进教师科研启动项目(XZ1306)和葡萄牙科技部基金(CIENCIA2007)资助项目。

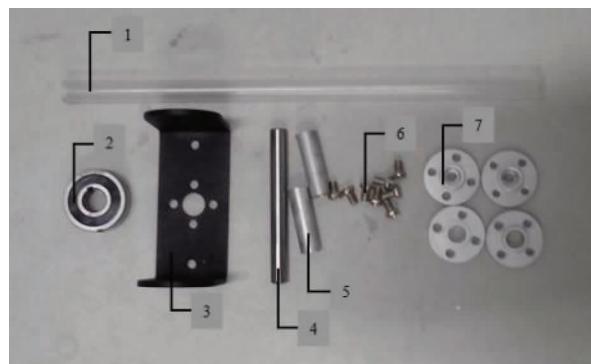
② 男,1974 年生,博士,硕士生导师;研究方向:机器人智能控制;联系人,E-mail: zhenlilu@cslg.cn
(收稿日期:2015-05-06)

性要比双向被动轮接触机构的灵活性差,但在爬坡运动时,双向被动轮接触机构就会使蛇形机器人出现滑坡现象,无法正常运动,而单向被动轮接触机构就可以很好地避免这种现象发生,能够使蛇形机器人顺利地爬越斜坡,更有效率地执行任务。这是本研究设计的蛇形机器人单向被动轮接触机构的一大优点。



图 2 单向被动轮接触机构

组成单向被动轮接触机构的所有零件如图 3 所示,其中单向被动轴承参数见表 1。



1 和 5 为轴承固定管; 2 单向被动轴承;
3 短 U 型舵机架; 4 圆柱销; 6 螺丝钉; 7 舵盘

图 3 单向被动轮接触机构零件

表 1 单向被动轴承参数表

型号	CSK8
内径(mm)	8
外径(mm)	22
厚度(mm)	9

2 应用蛇形曲线控制蛇形机器人运动

本研究选用的可编程控制器为 Arduino UNO 单片机开发板,通过蓝牙向 16 路舵机控制板发送数据,舵机控制板接收到数据驱动对应的舵机转动,实现蛇形机器人典型运动步态。

2.1 蛇形曲线

采用蛇形曲线方程

$$\beta_i(s) = -2\alpha(\sin(kn \times pi/N))(\sin(2kn \times pi \times s/L + 2kn \times pi \times i/N)) \quad (1)$$

控制机器人实现蜿蜒运动。其中 $\beta_i(s)$ 为第 i 个关节电机转动角度, $i = 1, \dots, 8$, 为蛇的关节; S 为蛇形曲线的长度,其变化率为 ΔS , 即 $S(t+1) = S(t) + \Delta S$; $pi = 3.1416$; α 为起始弯角; kn 为 S 波个数; L 为机器人总长度; N 为机器人总节数。改变 S 的变化率 ΔS 可以改变蛇形机器人的前行速率。

2.2 蓝牙通讯

“Serial.begin(int sky);”子函数实现单片机和蓝牙之间的配对。该函数为初始化串口比特率函数,其中 int sky 可以使用的值也不是随便设的,一般为 4800、9600、14400 等。本文选用的波特率为 9600。

2.3 无线数据传输

子函数“Serial.println(sum);”实现单片机通过蓝牙向舵机控制板发送数据功能,其中 sum 为要发送的数据。

2.4 数据格式

舵机控制板接收的数据(sum)格式为#2P1200#3P1200T1000\r\nn;舵机控制板接收到此串代码会驱动 2 号端口和 3 号端口舵机动作。其 2 号和 3 号端口舵机旋转脉冲数均为 1200,所需时间均为 1000ms。

3 单/双向被动轮型蛇形机器人运动比较

式(1)中蛇形曲线方程参数取值见表 2,其蜿蜒运动程序执行框架如图 4 所示。

表2 蛇形曲线参数表

距离(cm)(试验运动距离)	190
kn (蜿蜒运动S波个数)	1.0
N (蛇形机器人关节数)	8
L (cm)(蛇形机器人总长度)	114
ΔS (cm)(变化率)	3

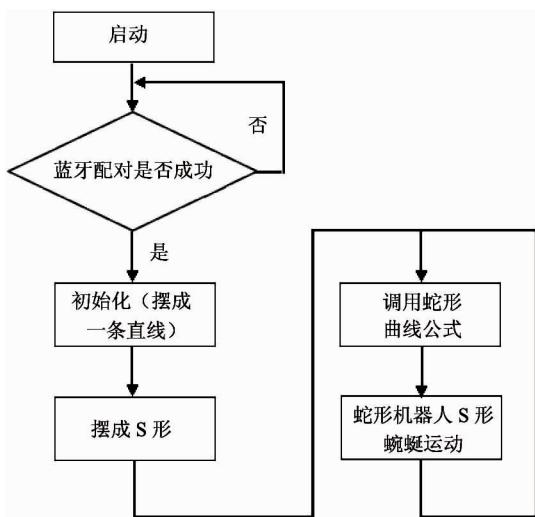


图4 程序流程

3.1 平地蜿蜒运动试验

蛇形机器人平地蜿蜒运动轨迹示意图如图5所示。

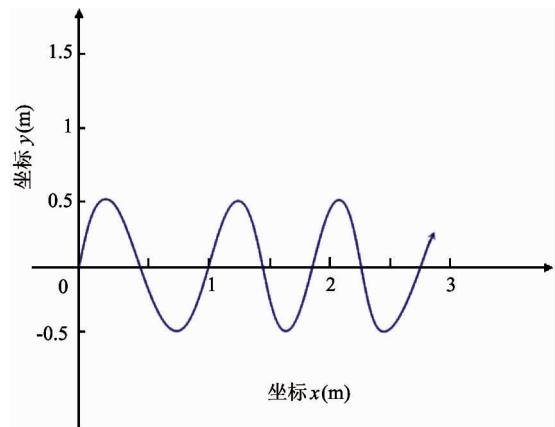
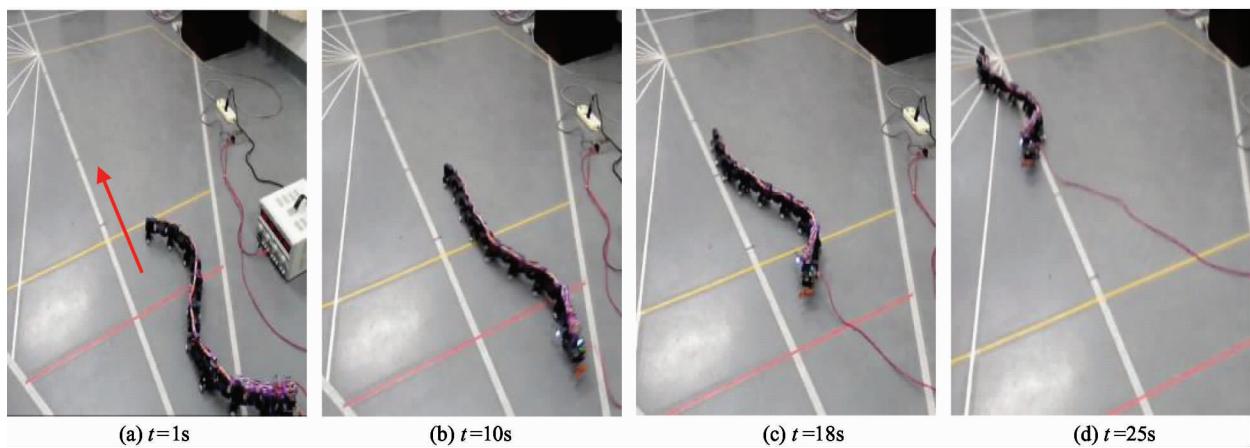


图5 运动轨迹示意图

示。根据同样的控制规则,选择单向被动轮蛇形机器人与双向被动轮蛇形机器人为对象进行对比试验。以此说明单向被动轮蛇形机器人接触机构的性能。

3.1.1 基于单向被动轮接触机构的水平蜿蜒运动

选择式(1)所示的蛇形曲线为规划轨迹,控制机器人进行蜿蜒运动。当 $\alpha = 0.8$ 时,蜿蜒运动速率为 0.076m/s ,结果如图6所示。 $\alpha = 1.0$ 时,机器人运动过程如图7所示其蜿蜒运动速率为 0.136m/s 。

图6 单向被动轮型蛇形机器人实验结果($\alpha=0.8$)

3.1.2 基于双向被动轮接触机构的蜿蜒运动

选择式(1)中,当 $\alpha = 0.8$ 时,机器人运动过程如图8所示,其蜿蜒运动速率为 0.173m/s 。 $\alpha = 1.0$

时,机器人运动过程如图9所示,其蜿蜒运动速率为 0.211m/s 。实验结果如表3所示。

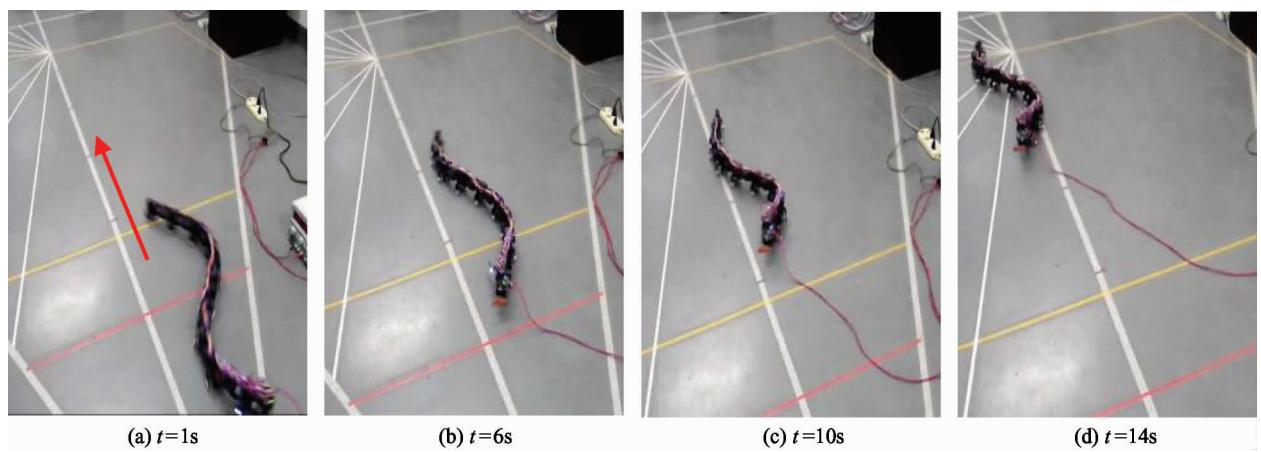
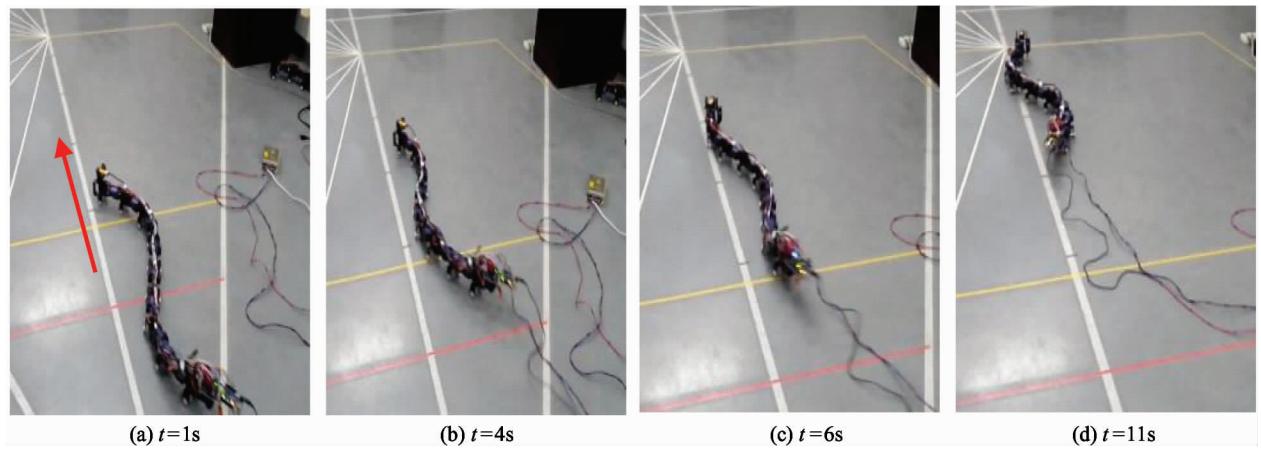
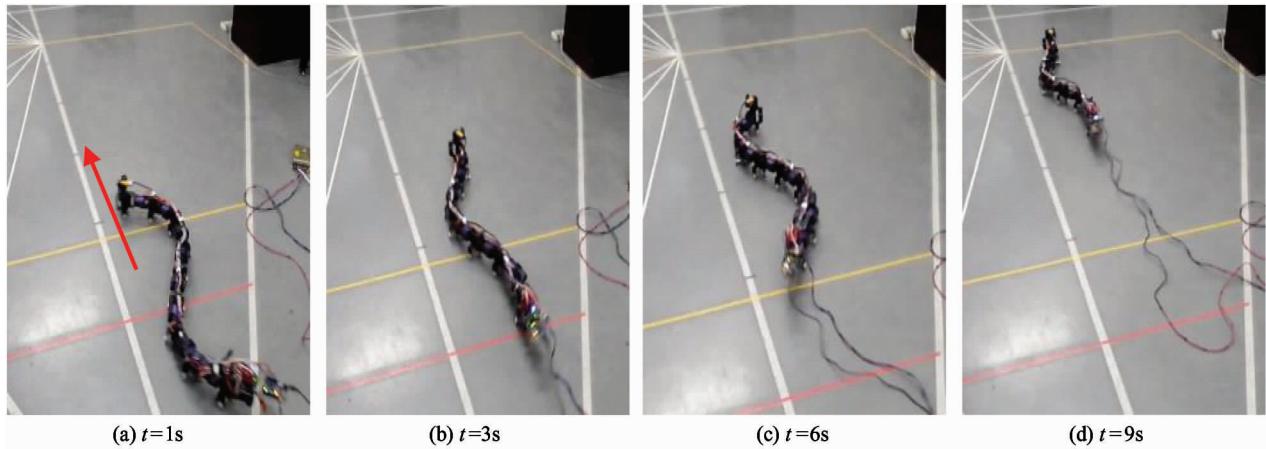
图 7 单向被动轮型蛇形机器人试验结果 ($\alpha = 1.0$)图 8 双向被动轮型蛇形机器人试验结果 ($\alpha = 0.8$)图 9 双向被动轮型蛇形机器人实验结果 ($\alpha = 1.0$)

表 3 蛇形机器人水平蜿蜒运动实验数据

接触机构	单向被动轮		双向被动被动轮	
α	0.8	1.0	0.8	1.0
时间(s)	25	14	11	9
速度(m/s)	0.076	0.136	0.173	0.211

通过表 3 给出的蛇形机器人水平蜿蜒运动试验数据可知, 水平蜿蜒运动时, 蛇形机器人采用单向被动轮接触机构运动起来比较慢, 没有采用双向被动被动轮接触机构运动起来灵活。

3.2 斜坡探查试验

为了验证单/双向轮接触机构的应用,设计了蛇形机器人斜坡探查轨迹示意图如图 10 所示。其中坡面坡度 $\theta = 15^\circ$ 。

其中 S 形曲线为蛇形机器人初始阶段;之后摆成一条直线,头部关节角 β 左右各摆动 45° 实现侦查任务示意图。

3.2.1 单向被动轮接触机构的斜坡侦查试验

首先选取蛇形曲线参数 $\alpha = 1.0$, 应用单向被动轮接触机构的蛇形机器人完成试验, 试验结果如图 11 所示。

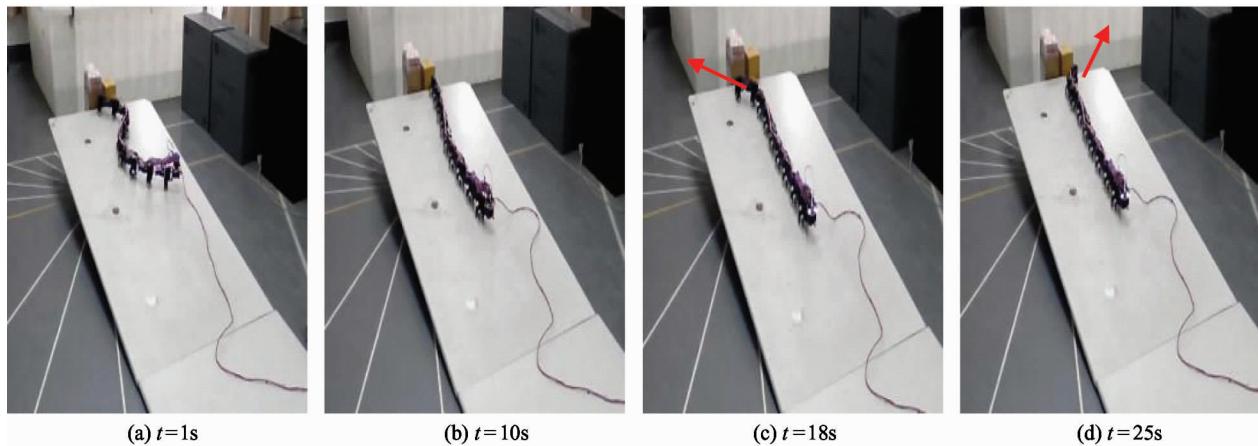


图 11 单向被动轮型蛇形机器人试验结果

3.2.2 双向被动轮接触机构的斜坡侦查试验

$\alpha = 1.0$, 坡度 $\theta = 15^\circ$, 试验结果如图 12 所示。由试验可知, 蛇形机器人采用双向被动轮接触

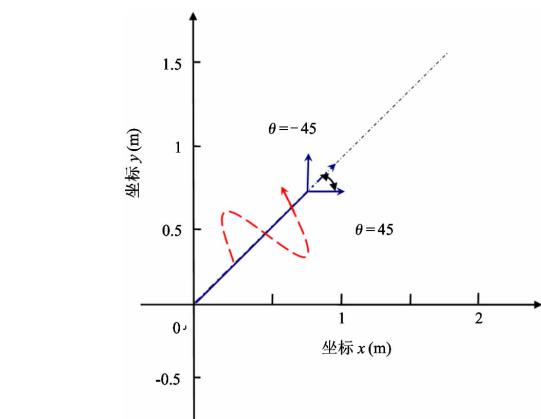


图 10 斜坡探查轨迹示意图

机构无法在斜坡上完成侦查任务, 而采用单向被动轮接触机构的蛇形机器人则可以稳定地在斜坡上, 不会滑下来, 能够顺利地完成斜坡侦查任务。

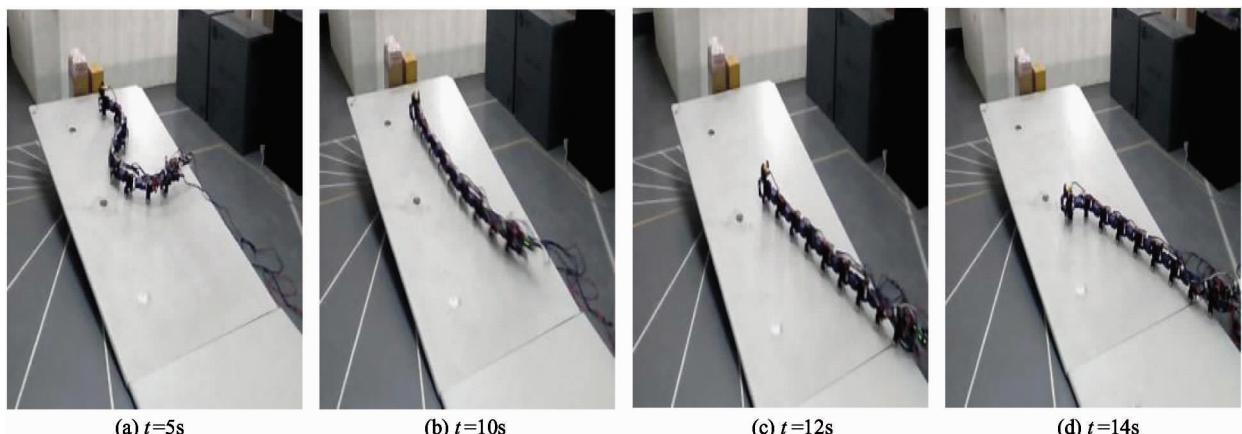


图 12 双向被动轮型蛇形机器人实验结果

4 结 论

本研究首次创新性地设计了具有单向被动轮接触机构的蛇形机器人。通过试验分析可知:(1)在平面上蜿蜒运动时,同样的控制程序下具有单向被动轮接触机构的蛇形机器人的运动速度略低于具有双向被动轮接触机构的蛇形机器人;(2)在坡面上进行探测作业时,采用单向被动轮接触机构的蛇形机器人能在身体拉成直线后不会下滑,从而能有效地完成任务,而具有双向被动轮接触机构的蛇形机器人在坡面上身体拉成直线后会滑落下来,无法完成在坡面上的探测任务。

参考文献

[1] 湘宇,李青松,施明銮. 十字轴万向节式蛇形机器人机

构设计. 实验室研究与探索, 2013 年,32(5):8-11

- [2] 李斌,叶长龙. 蛇形机器人平面运动控制方法的研究. 高技术通讯, 2005,15(2):29-33
- [3] 陈丽,王越超,李斌等. 蛇形机器人的翻滚运动及其越障研究. 高技术通讯, 2003,13(7):54-57
- [4] 张玲玲,曲泽超. 蛇形机器人的机构设计及运动分析. 机电工程,2012,29(5):512-515
- [5] 杨文璟,巩宇鹏,王杨森等. 蛇形机器人运动机构设计. 企业技术开发, 2011 年,30(3):1-3
- [6] 薛瑞彬,苏中,张夏丽等. 蛇形机器人直线运动的研究. 北京信息科技大学学报,2011,26(5):65-69
- [7] 郭旭红,芮延年,王翔等. 一种周期性运动蛇形机器人的运动规划及实验研究. 机械科学与技术,2005,24(7):785-787
- [8] 卢亚平,宋天麟. 仿生蛇形机器人的设计及研究. 微型机与应用, 2013 年,32(18):70-76

Design of a snake-like robot with UPW contacting mechanism

Lu Zhenli * *** ***, Liu Chao *, Sun Kaixiang *, Feng Dayu *, Xu Xianzhen *, Shan Changkao *, Li Bin **

(* School of Electrical Engineering and Automation, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500)

(** State Key Laboratory of Robotics, Shenyang Institute of Automation, CAS, Shenyang 110014)

(*** Institute of Electronics and Telematics Engineering of Aveiro, University of Aveiro, Aveiro 3810-193, Portugal)

Abstract

To enable a snake-like robot to have the exploring capacity when it is on sloping fields, a novel unidirectional passive wheel (UPW) contacting mechanism was developed for a prototypical snake-like robot. The experimental results proved that this UPW contacting mechanism can make the snake-like robot rest on a slope and swing its head for performing exploration tasks, thus the shortage of ordinary snake-like robots adopting dual-direction passive wheels as the ground contacting mechanism that they can not perform exploration tasks on slope fields due to their sliding down on a slope can be avoided. This work provides the technical reserve for the application of snake-like robots.

Key words: snake-like robot, unidirectional passive wheel (UPW), slope exploration, contacting mechanism