

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.12.024

自适应履带机器人的研究与测试

彭宽栋, 张学良, 郑 龙, 罗晓晔, 曹周杰
(杭州科技职业技术学院 高端装备研究所, 浙江 杭州 311402)

摘要:针对目前我国快递及外卖等行业最后一公里投送困难及投送无电梯造成的送货慢、送货难、物品丢失损伤等问题,将新型自适应履带机器人技术应用到快递及外卖中,运用三维建模软件建立了机器人的参数化模型后,提出了以三段式履带机构+曲柄摆臂机构+同步带轮机构为基础的复合机器人本体结构设计的新研究方案,建立了机器人静态运动模型与本体机构运行关系,在此基础上采用基于单片机作为机器人控制系统开发设计的主控单元设计了机器人驱动控制系统、智能投递系统,最后对该机器人进行了运行测试评价。结果表明:所设计的机器人运行稳定,达到总体设计要求。

关键词:曲柄摆臂;机器人;智能投递;人工智能

中图分类号:TP242;TH122

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)12-1485-06

Research and implementation on adaptive crawler robot

PENG Kuan-dong, ZHANG Xue-liang, ZHENG Long, LUO Xiao-ye, CAO Zhou-jie
(Institute of high-end equipment, Hangzhou Polytechnic, Hangzhou 311402, China)

Abstract: Aiming at solving the last-mile problem that plagues the express and take-away industry in China, loss and damage of goods is always inevitable when the delivery efficiency is difficult to be improved due to the lack of elevator. The new-type adaptive crawler robot technology was applied in express and take-away industry. A new structural design of compound robot with the basis of three-phase track mechanism, crank-arm mechanism and synchronous belt pulley mechanism was constructed after the establishing of parametric model of the robot with three-dimensional modeling software. The relationship between the static motion model and the body mechanism was established. On this foundation, the robot control system and intelligent delivery system were designed with the adopting of MCU as the control unit of the robot control system. The results of operational test evaluation indicate that the robot is stable and satisfactory.

Key words: crank swing arm; robot; smart delivery; artificial intelligence

0 引言

目前,国内外对小型地面移动机器人行走机构的研究主要有腿式、轮式、履带式。腿式机器人易于适应地形变化,但控制复杂;轮式机器人能以高速行驶,但越障能力差;履带式机器人能够很好地适应地形的变化,但能量消耗大^[1-2]。

在研究分析以上多种可移动机器人的机械结构原理的基础上^[3-4],笔者将设计一款新型的可载物爬楼、越障、越沟的三段式履带机构+曲柄摆臂

机构+同步带轮机构的复合式自适应履带式投递机器人。

1 机器人本体结构设计

1.1 机器人模型设计

基于目前国内楼梯尺寸及部分坑洼道路数据,大量快递商品及外卖物品的形状、重量的基础上,研发设计出能实际解决最后一公里的机器人,性能参数指标如表1所示。

收稿日期:2017-04-10

作者简介:彭宽栋(1986-),男,浙江杭州人,硕士研究生,主要从事移动机器人方面的研究。E-mail: pkdky888@163.com

表 1 机器人性能参数

项目	性能指标
运载范围/kg	0 ~ 10
载货箱体尺寸/cm	40 × 30 × 32
跨越台阶高度范围/cm	0 ~ 50
机器人行驶速度/(m · s) ⁻¹	0 ~ 1
爬坡角度范围/(°)	0 ~ 40
下坡角度范/(°)	0 ~ 50

本研究运用 NX. UG8.0 设计出了机器人的机械本体模型,如图 1 所示。

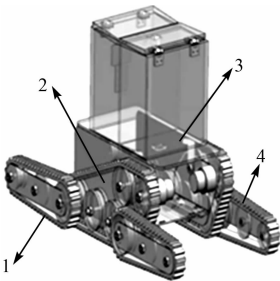


图 1 机器人机械本体模型示意图

1—带轮齿的履带;2—三段式履带机构;3—可拆卸箱体;4—摆臂机构

该款机器人由驱动机械部分和载运箱体部分构成,载运箱体部分采用模块化机械接口设计。在机械本体结构上具有以下特点:

(1)采用三段式履带越障机构,为增大传动摩擦力,所采用的履带内侧都胶粘轮齿,能够实现运行稳定不侧翻等功能;

(2)采用同步传动机构,2 组摆臂驱动轮与三段式履带机构中的驱动轮同步工作,能够顺利实现越障、爬楼及转向等功能;

(3)采用履带+4 曲柄摆臂式衍生复合机构,摆臂机构均由 3 个轮齿组成,主驱动运行的单侧三段式履带机构由 6 个轮齿组成,构成相对独立的三段式,均可作为驱动单元,因此具有较强的复杂地形自适应功能。

综上,机器人机械本体结构的设计增加了一段履带机构,并由 6 轮齿构成单侧驱动单元,实现了主驱动机构与摆臂机构同步。

1.2 爬楼过程分析

爬楼过程可分解为 4 个过程,爬楼过程模型如图 2 所示^[5]。

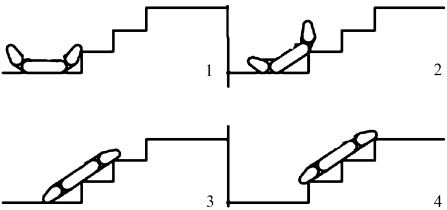


图 2 爬楼过程模型

分析爬楼的 4 过程:两前摆臂机构触碰到楼梯,支撑起机器人主履带单元机构开始攀爬,两后摆臂机构触碰楼梯并支撑起机器人,两前摆臂机构越过楼梯的第一台阶。提取过程运动轨迹中各瞬时位姿并实现相对平衡,可建立相对静稳定模型。该机器人采用了三段式履带构成,运动学模型如图 3 所示。

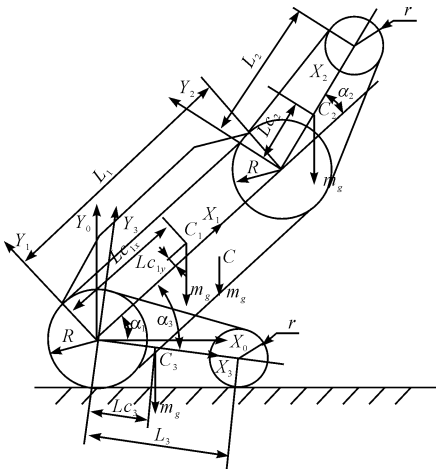


图 3 机器人运动参数模型

L_1, L_2, L_3 —机器人机身长度、前摆臂长度、后摆臂长度; m_1, m_2, m_3 —对应机构的质量; Lc_1, Lc_2, Lc_3 —对应的平衡质心; R, r —摆臂大轮和小轮的半径

本研究应用机器人学 D-H 坐标变换方法^[6],以机器人三处关节转轴为原点建立坐标系,机器人坐标模型如图 4 所示。

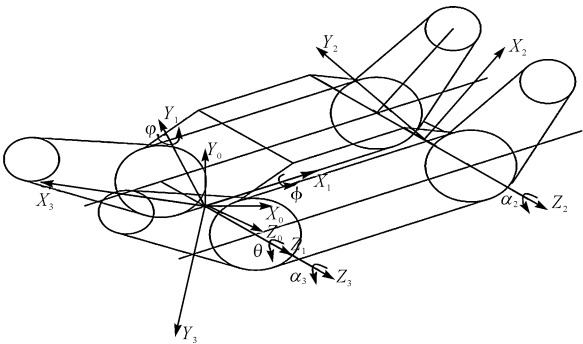


图 4 机器人坐标模型

则机器人履带长度 L 为:

$$L = L_{O_1O_2} + L_{O_1O_3} + L_{O_2O_3} + \sum_{i=1}^3 r_i \cdot \theta_i \quad (1)$$

式中: $L_{O_1O_2}$ —驱动轮 O_1 与从动轮 O_2 的中心距离; $L_{O_1O_3}$ —驱动轮 O_1 与行星轮 O_3 的中心距离; $L_{O_2O_3}$ —从动轮 O_2 与行星轮 O_3 的中心距离; r_i — O_1, O_2, O_3 的半径, θ_i — O_1, O_2, O_3 上的包角。

摆臂的长度 L_b 为:

$$L_b = \frac{L_{bmax} \cdot L_{bmin}}{\sqrt{L_{bmax}^2 \cdot \sin^2 \vartheta + L_{bmin}^2 \cdot \cos^2 \vartheta}} \quad (2)$$

式中: ϑ —摆臂 O_1O_3 与 O_1O_2 连线间的夹角。

爬楼时,其两前摆臂接触的最高楼梯沿时为机器人前摆臂最高位置,为保证能爬上及不侧翻,设前摆臂的下侧与楼梯接触时与竖直方向夹角大于 30° , 机器人摆臂爬楼接触高度分析图如图 5 所示。

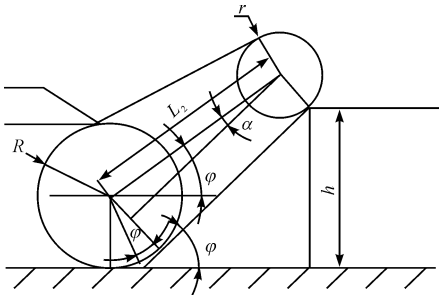


图 5 机器人摆臂接触高度分析图

则摆臂接触的高度 h_i 为:

$$h_i = h_l + \left(L_b \cos \alpha + R \tan \frac{\varphi}{2} \right) \sin \varphi \quad (3)$$

式中: h_l —履带厚度 φ 为摆臂与水平面夹角。

在爬楼梯过程中,需保证机器人整体质心在水平面的投影在机器人的后摆臂与楼梯面接触之前,即要求摆臂与楼梯接触的长度大于 2 倍的楼梯两凌之间的距离。

由公式(1~3)推出三段式履带+4 曲柄摆臂式复合衍生机构满足静稳定平衡关系的要求。根据静稳定平衡关系的要求及机器人性能指标的整体性能要求推导设定本机器人的外形尺寸为:120×65×65,驱动本体尺寸为 120×65×33,单位均为 cm,机器人尺寸还可以按照以上尺寸比例进行放大或缩小满足不同机器人的性能要求。

整体装配图示意图如图 6 所示。

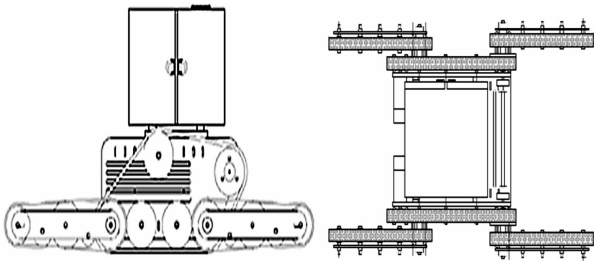


图 6 机器人整体装配图示意图

2 机器人控制系统设计

2.1 机器人控制系统概述

机器人的控制系统主要分为运动驱动部分和智能投递部分。其中,运动驱动部分是机器人的核心,智能

投递部分配有标准机械接口。
采用基于单片机的系统控制方案,其框图如图 7 所示。

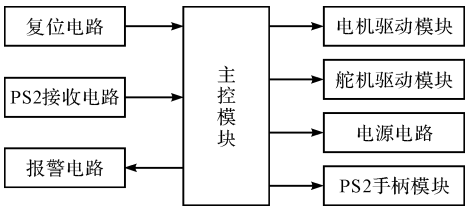


图 7 系统控制逻辑框图

2.2 机器人控制系统硬件分析

在综合考虑了驱动对象及价格等诸多因素后^[7-8],笔者采用由意法半导体公司设计的宏晶公司的 STC12C5A32S2—12 系列增强型功能的 1T 单片机。

智能投递系统部分的载货箱体的门锁采用电压为 24 V 的直流电磁锁,其智能控制核心选用 AVR-AT-MEGA16 单片机。控制原理是用单片机的弱电通过继电器来控制 24 V 电源电流的通断,该系统包括 12864 的显示屏幕和 4×4 的矩阵键盘构成人机交互系统,实现智能存物、取物的功能。能够实现通过键盘操作输入对应的密码来投递/取件及能够设置相应的密码。

机器人驱动系统由两个主动电机驱动两条三段式主履带机构实现移动等功能,4 个舵机驱动 4 摆臂机构控制角度实现爬坡、越障等功能。结合最大驱动负载重量指标,主动力部分选用了两个 60GP55B12-60ZYT2450,24 V 直流行星减速电机,参数如表 2 所示。

表 2 机器人主动电机参数

名称	参数
额定电压/V	24
额定电流/A	6
额定功率/W	144
额定转速/(r·min ⁻¹)	58
公称减速比	$i = 1: 55$
最大转矩/(kg·cm ⁻¹)	170
齿轮额定许用负载/(kg·cm ⁻¹)	500
齿轮许用顺时负载/(kg·cm ⁻¹)	600
堵塞电流/A	22

4 个关节部分采用了 4 个 ASMC-03B,12 V 舵机,参数如表 3 所示。

表 3 机器人舵机参数

名称	参数
额定电压/V	12
额定功率/W	60
角速度/(m·s ⁻¹)	0.5
扭力/(kg·cm ⁻¹)	190
扭转角度/(°)	300

机器人的操作控制目前通过无线 Sony PS2 手柄来完成^[9-11],对手柄的各个按键进行重新自定义编码后,PS2 手柄按键定义后则对机器人的接收器发射命令进而机器人运行。

2.3 机器人驱动控制系统原理分析

机器人的驱动主控系统是通过改变 PWM 的占空比,即改变他们的电流大小来控制电机和舵机的转速及方向。本文设计了 2 个电机驱动器和 4 个舵机各自的驱动器来对信号源进行放大。

具体控制逻辑流程图如图 8 所示。

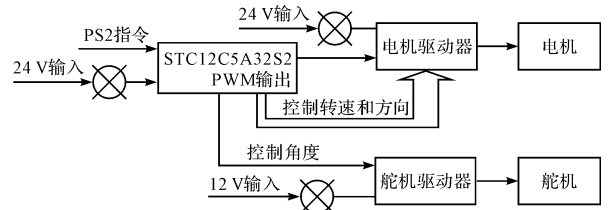


图 8 驱动系统控制逻辑流程图

图 8 中包括了 PS2 接收电路、电源电路、主控芯片、外部晶振电路、电机舵机信号电路、复位电路、警报电路,采用了单片机内部的 8 路 10 位 A/D 转换器和 2 路的 PWM。系统的总体设计电路原理图如图 9 所示。

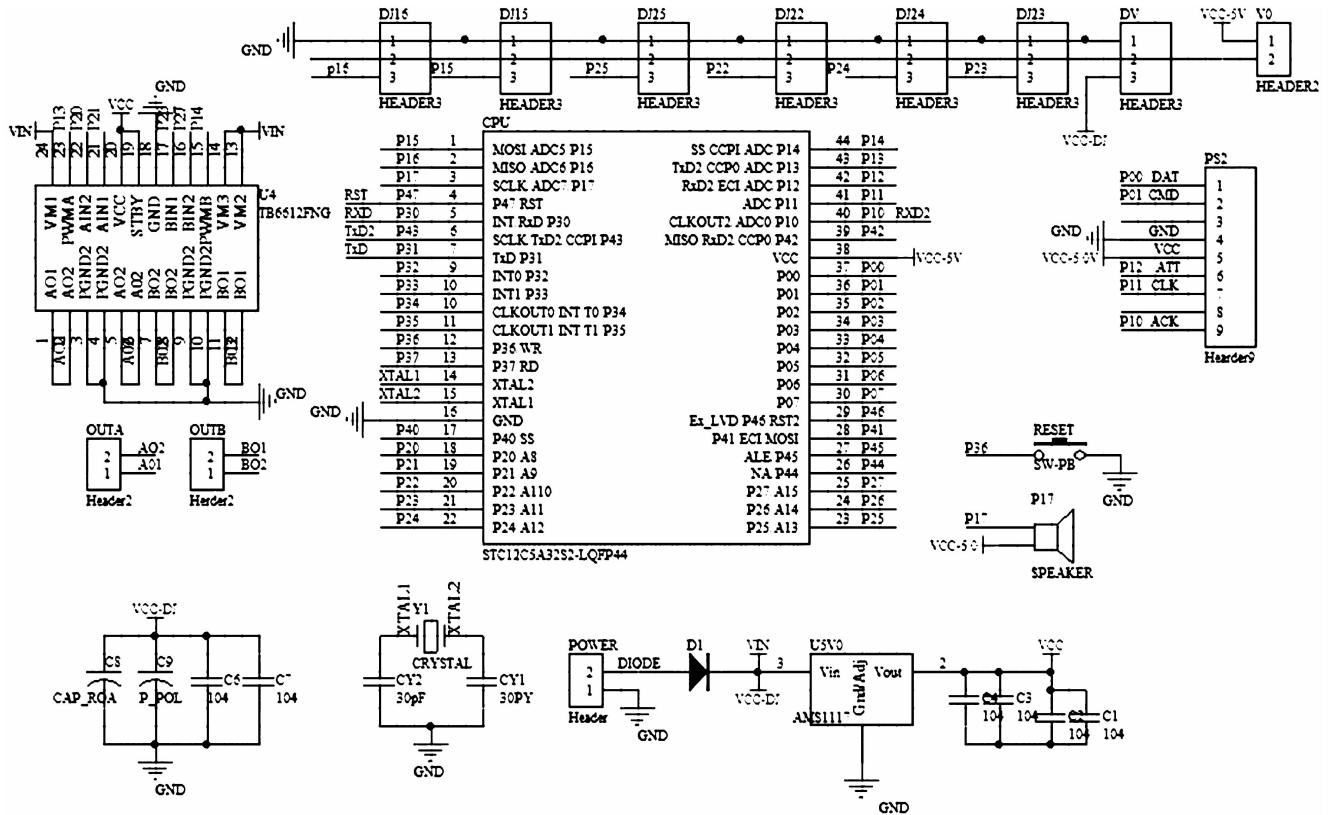


图 9 驱动系统总体设计的原理图

2.4 机器人驱动控制系统软件分析

本研究利用了 STC12C5A32S2 中的两路 PWM,并用 PCA 功能产生 PWM 脉冲,在 PCA 模块中 PWM 的模式下,输出频率决定于 PCA 的源。由于只有一对 CH 和 CL 寄存器,所有模块共享 PCA 定时器和频率。输出的占空比由 PCA 模块中 CCAPnH 值决定。8 位 PWM 的占空比 = 脉宽时间/PWM 周期 = $(1 - CCAPnH/256) \times 100\%$,驱动系统的主要软件部分如下:

```
#include "pwm. h"
/* PWM0 -> P1^3  PWM1 -> P1^4 */
void pwm_init(void) {
```

```
CCON = 0; //PCA 初始化
```

```
CL = 0; //PCA 的 16 位计数器低八位
```

```
CH = 0; //PCA 的 16 位计数器高八位
```

```
CMOD = 0xe0; //SYSCLK/12,系统时钟
```

```
//PCA_PWM0 = 0;
```

```
CCAP0L = 0;
```

```
CCAP0H = 0; //占空比
```

```
//为了使程序稳定在这里用到了空指令,下面也是如此
```

```
//PCA_PWM1 = 0; => CCAP1H, CCAP1L
```

```
CCAP1L = 0;
```

```
CCAP1H = 0;
```

```
return;
```

```
}
```

```

void pwm_open( void ) {
    CCAPM0 = 0x42; //允许 P1.3 为 PWM 的输出口(模块 0
    设置为 8 位 PWM 输出模式)
    CCAPM1 = 0x42;
    CR = 1; //启动 PCA 计数器
    return;
}

void pwm_close( void ) {
    CCAPM0 = 0; //关闭 PCA 模块
    CCAPM1 = 0;
    CR = 0; //关闭 PCA 计数器
    return;
}

void set_pwm_duty( char num, unsigned char duty ) {
    if( 0 == num ) {
        CCAP0H = 0xff - duty;
        CCAP0L = 0xff - duty;
        return;
    }

    if( 1 == num ) {
        CCAP1H = 0xff - duty; //PWM1 port output 0% duty cy-
        cle square wave( 占空比为 0% )
        CCAP1L = 0xff - duty;
        return;
    }

    return;
}

void pwm_set( unsigned char P13, unsigned char P14 ) {
    CCAP0H = 0xff - P13; //打开模块 0 的高端,输出为 P13
    CCAP0L = 0xff - P13;
    CCAP1H = 0xff - P14;
    CCAP1L = 0xff - P14;
}

void PCA_interrupt ( void ) interrupt 7
{
    if( 1 == CCF0 ) {
        CCF0 = 0;
    }

    if( 1 == CCF1 ) {
        CCF1 = 0; //软件清零
    }

    if( 1 == CF ) {
        CF = 0; // 软件清零
    }

    return;
}

```

2.5 机器人智能投递系统分析

因此,智能投递系统控制设计主要是通过单片机

的信号输出控制电磁锁的通断以达到根据命令打开箱门的功能。故该系统选用了 SDR-05VDC-SL-C 型继电器。

系统中主要的人机互动界面是由选用的 12864 液晶屏和矩阵键盘构成。在屏幕与单片机通讯方面采用了 SPI 通讯同时充分地利用了 AVR 单片机集成了串口总线的特点,具有接线方便又传输稳定的优点。智能投递系统完成后的最终屏幕显示效果如图 10 所示。



图 10 智能投递系统人机交互界面

3 运行测试

机器人整个系统包括驱动系统与智能投递系统。

机器人运动时,2 个主履带单元用于提供机器人主驱动力,4 个曲柄摆臂单元可以绕各自回转中心轴转动,为机器人提供额外辅助运动驱动力,从而提高机器人地形适应能力。机器人通过箱体内的两台主驱动电机,减速后通过履带驱动轮,直接驱动 6 个履带进行卷绕运动,实现机器人前进和后退。机器人上的箱体设有键盘和屏幕,可以输入验证码,是载物机器人的货物存放装置。验证码成功时箱体上对应的 LED 会亮,这样用户就可以通过门把手打开箱门,进而取得投递发物品。

3.1 机器人驱动系统功能运行测试

机器人越障功能主要体现在过障碍和过沟渠。其越障功能是通过使用前、后 4 个摆臂机构来实现。控制系统控制前面两个摆臂机构向下压将机器人整体撑起,使机器人的主履带机构可以接触到阶梯上面,再通过后摆臂机构将机器人撑起,从而达到过障碍的目的。机器人前进过程中遇到沟渠时,机器人的控制系统将控制前面两摆臂放下并缓慢通行,当前摆臂越过沟渠的时候再继续将臂放下,达到支撑的作用;接着机器人继续向前,当机器人通过半个机身时后摆臂机构降下,达到支撑作用,机器人继续向前通过沟渠。

四大功能测试如图 11 所示。

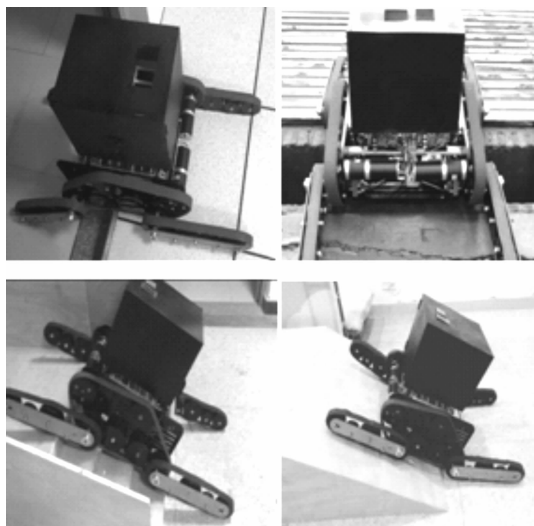


图 11 机器人越障、过沟渠、爬楼、爬坡功能展示

3.2 机器人智能投递系统功能运行测试

机器人在投递员设置投放物品的指令后,分自动或手动模式送达到目的地,前进过程中如遇到台阶、楼梯、沟渠等障碍物时,机器人有很好的自适应性,能越过这些障碍,当将物品送达到取件人面前时,取件人只需输入取件密码就可取件,取完件后机器人进去下一个投放点,实际试用测试,结果表明机器人运行稳定。

4 结束语

在分析市面上的移动机器人基础上,本研究提出了三段式六履带机构+曲柄摆臂机构的复合机械机构,作为机器人本体结构设计的新方法,并对所设计的机器人进行了测试。测试结果表明:机器人运行稳定、不侧翻、平衡性好,且能自适应复杂地形。

在下一阶段,将进一步研究完善机器人的图像采集检测系统。

参考文献 (References):

- [1] 李智卿,马书根,李 斌,等. 具有自适应能力轮-履复合变形移动机器人的开发[J]. 机械工程学报,2011,47(5):1-6.
- [2] LIM S K, PARK D I, KWAK Y K, et al. Variable geometry single-tracked mechanism for a rescueRobot[C]. IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, Kobe: IEEE,2005.
- [3] 何 峰. 六轮腿移动机器人的运动分析及控制系统研究[D]. 南京:南京理工大学机械工程学院,2015.
- [4] 朱 岩,王明辉,李 斌,等. 基于目标规划的履带可变形机器人结构参数设计及验证[J]. 农业工程学报,2016,14(7):39-42.
- [5] 胡庆龙. 关节履带式移动机器人控制系统设计及爬楼梯分析[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学机电工程学院,2010.
- [6] 饶 伟,施家栋,王建中. 关节式履带机器人爬楼梯动态稳定性分析[J]. 机械工程学报,2014,50(15):60-64.
- [7] 欧长劲,彭宽栋,洪尉尉. 数控旋压机专用数控系统的研究[J]. 机电工程,2012,22(11):1240-1241.
- [8] 李翠明,龚 俊,杨 萍,等. 阶梯攀爬服务机器人设计研究[J]. 现代制造工程,2014(3):30-33.
- [9] 李智慧. 自适应管道清洁机器人控制系统研究[D]. 武汉:武汉理工大学机电工程学院,2010.
- [10] 章 兵,许 勇. 阀门喷涂机器人的轨迹规划与优化求解[J]. 轻工机械,2016,34(6):51-56.
- [11] 黄志凌,冯勇建. 一种装载机的无线遥控系统设计[J]. 机电工程,2011,28(2):1001-1006.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

彭宽栋,张学良,郑 龙,等. 自适应履带机器人的研究与测试[J]. 机电工程,2017,34(12):1485-1490.

PENG Kuan-dong, ZHANG Xue-liang, ZHENG Long, et al. Research and implementation on adaptive crawler robot[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(12):1485-1490.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>