

多关节机械腿的控制系统设计

国 鑫¹, 张志宇², 陈志鸿¹

- (1. 北京交通大学 机械与电子控制工程学院, 北京 100044;
2. 兰州铁路局 科研技术监督所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:为解决机械腿的变速运动控制问题,将机电一体化技术应用到多关节机械腿的控制当中。开展了基于多关节机械腿的运动控制分析,建立了变速方式和机械腿运动速度之间的关系,提出了一种可选择的变速控制方法,并在此基础上对系统响应时间、运行误差等进行了评价。多次试验结果表明,本系统具有良好的控制稳定性。

关键词: LPC2368; 多关节机械腿; LabVIEW; 变速控制

中图分类号: TH39; TP242

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)07-0823-04

Design of multi-joint manipulator control system

GUO Xin¹, ZHANG Zhi-yu², CHEN Zhi-hong¹

- (1. School of Mechanical, Electronic and Control Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;
2. Institute of Technical Research Supervision, Lanzhou Railway Administration, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In order to solve the speed control problems of the manipulator, the mechatronics technique was applied in the control of multi-joint manipulator. After the analysis of movement control, the relationship between shift type and multi-joint manipulator was established. A method was presented that the optional speed control of the multi-joint manipulator. The system response time and the system error were evaluated. The experimental results show that the system has a good stability.

Key words: LPC2368; multi-joint manipulator; LabVIEW; speed control

0 引 言

随着机器人技术的发展,对于机械臂控制技术的研究也越来越广泛,空间机械臂^[1]、蛇形机器人^[2]、柔性机械臂^[3]、金刚机器人^[4-5]等机械臂的研究成果逐渐应用于航天机械人、农业自动化、工业自动化、家庭自动化等方面,各种机械臂控制的方法和技术也日趋成熟和完善,如建立机械臂的三维坐标模型^[6],进行实时控制^[7]等。

为了提高机械腿控制的可靠性和稳定性,本研究概述了一款以 ARM7 系列 LPC2368 为主控芯片,通过 LabVIEW 图形界面进行参数设置的多关节机械腿控

制系统。此外,本研究还提供了可选择的变速控制的机械腿的运动控制设计方法。

1 多关节机械腿的机械结构

多关节机械腿由足部组件、小腿组件、大腿组件和胯部组件共 4 部分组成,共有 5 处可活动关节,分别为足部关节、脚踝关节、膝关节、大腿关节和胯部关节。机械腿结构图如图 1 所示。

本研究为防止机械腿各关节因为运动角度过大使机械部件发生碰撞而造成的磨损,经过反复实验,对各关节运动角度进行限定。关节名称和可活动的角度如表 1 所示。

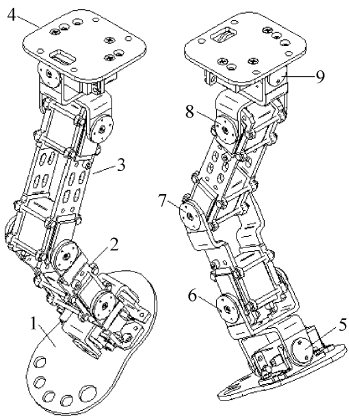


图 1 机械腿结构图

1—足部组件;2—小腿组件;3—大腿组件;4—胯部组件;5—足部关节;6—脚踝关节;7—膝关节;8—大腿关节;9—胯部关节

表 1 关节名称和可活动角度

关节名称	活动角度/(°)	活动方向
足部关节	-30 ~ 30	左右
脚踝关节	-60 ~ 60	前后
膝关节	0 ~ 150	前后
大腿关节	-80 ~ 50	前后
跨部关节	-20 ~ 20	左右

注:上电后机械腿如人体般直立状态设为初始位置,该角度为0°。左右活动的关节,向左活动为负,向右活动为正。前后活动的关节,向前活动为负,向后活动为正。

2 系统硬件电路设计

机械腿各关节通过安装舵机进行运动控制。舵机是一种位置伺服驱动器,适用于需要角度不断变化并可以保持的控制系统,因此,舵机在机电控制系统以及机器人控制中有着重要的应用。

舵机的工作原理是:当舵机工作时,利用外部输入的 PWM 信号获得一个直流偏置电压,加在电位器上。同时,内部 IC 会产生一个周期为 20 ms,宽度为 1.5 ms 的基准信号,这个基准信号也会产生一个直流电压,这两个电压相比较,获得电位差输出。最后,电压差的正负输出到电机驱动芯片决定电机的正反转。当电机转到一定位置时,通过级联减速齿轮带动电位器旋转,使得电压差为 0 V,电机停止转动^[8]。

该系统中采用的舵机型号为 HiTEC 5645MG 数码舵机,其基本参数为:在供电电压为 4.8 V 时扭力为 10.3 kg · cm,转速为 0.23 s/60°;在供电电压为 6.0 V 时,扭力为 12.1 kg · cm,转速为 0.18 s/60°。舵机外接 3 个端子,其中两个为电源端,另一个为控制端,电

压供电选用 +5 V,控制端接主控芯片的 PWM 引脚,由于舵机内部有 IC 驱动,所以无需外加驱动电路。

舵机的控制通过 PWM 信号完成,PWM 信号利用占空比改变舵机的位置。控制信号的脉冲周期为 20 ms,当高电平持续时间为 1 ms 时,舵机转向右极限位置;当高电平持续时间为 2 ms 时,舵机转向左极限位置;当高电平持续时间为 1.5 ms 时,舵机转到中间位置。当舵机转到相应位置后,只要占空比不改变,舵机将保持不动。

该系统采用 ARM7 系列的 LPC2368 单片机作为主控芯片,因为 ARM7 单片机运算速度快,处理器内部集成了 6 个 PWM 通道,PWM 功能基本由硬件完成,因此控制误差非常小,从而达到对舵机转角高精度控制的目的^[9]。

系统的部分硬件原理如图 2 所示,LPC2368 的 PWM 引脚与双电源供电的双向收发器 74LVC245 连接,74LVC245 起到转换电平和驱动的作用。X1、X2 分别表示提供给舵机 1 和舵机 2 的接口插座。电路中的 PRTR5V0U2X 起到保护作用。其他 3 个舵机的电路构成和此电路一致。

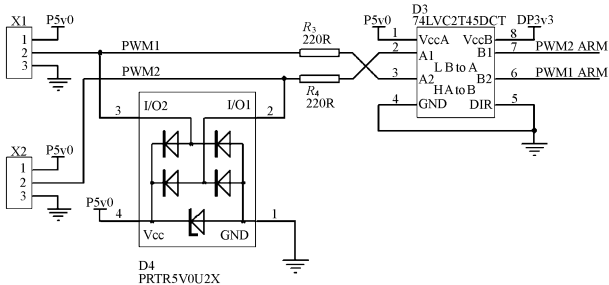


图 2 部分电路原理图

本研究将控制各个关节运动的 5 个舵机按顺序连接到 X1 ~ X5 接口,通过 PWM1 ~ PWM5 控制舵机进行运动。

3 多关节机械腿的控制系统设计

多关节机械腿运动控制系统分为 PC 机、主控电路和机械本体共 3 个部分。其中,PC 机提供 LabVIEW 人机界面,方便用户设置系统参数,并将数据发送给主控电路。主控电路采用 LPC2368 作为主控芯片,LPC2368 接收和处理 PC 机传输的串口信息,通过进一步控制 PWM1 ~ PWM5 的输出对各个关节运动进行控制,从而使机械腿按照 PC 机指定的运行方式进行运动。

3.1 LabVIEW 界面设计

LabVIEW 是由美国国家仪器(NI)公司研制开发

的一种程序开发环境,使用图形化编辑语言“G”语言编写程序,LabVIEW 本身具备读取和发送串口数据的模块,可使本系统的程序处理更加方便,也使操作更加便携、人性化。

人机界面上需要设置的参数为:变速方式选择框、舵机 1 运动角度、舵机 2 运动角度、舵机 3 运动角度、舵机 4 运动角度和舵机 5 运动角度,这些角度均为舵机相对于当前位置的角度。此外,界面上还有确认发送按钮、上电指示灯、从机应答正确指示灯、从机应答错误指示灯和角度超限指示灯等部件。

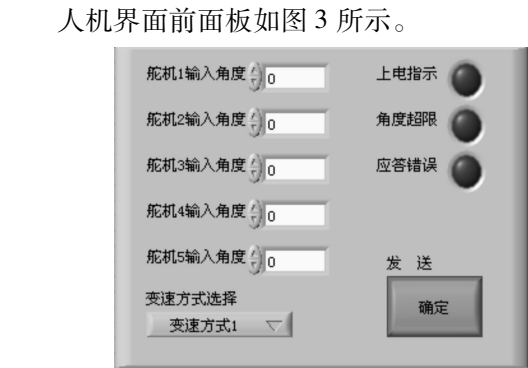


图 3 人机界面

3.2 串口通讯协议

PC 机和主控电路板之间通过 RS-232 串口进行数据通信,串口通信方式采用主从通信方式,其中,PC 机为通信的主机、RS-232 串口为通信的从机。波特率为 9 600 bps。

主机命令帧格式和从机应答格式如下所示:
主机命令帧格式:

STX(0x02)	CMD	DU1	DU2	DU3	DU4	DU5	BCC
-----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

从机响应帧格式:

ACK(0x06)
NAK(0x15)

其中,STX(Start of Text)为帧开始定界符,CMD(Command)为命令码,DU1-DU5(Data Unit)分别代表舵机 1~5 的控制码,BCC(Block Check Character)为校验码,ACK(Acknowledge)为应答正确命令,NAK(Negative ACK)为应答错误命令。

3.3 舵机的转速控制

为了满足机械腿不同速率的运行方式,本研究需要对各舵机的转速进行运动控制^[10],如图 4 所示,设在任意某个时刻舵机所在的状态对应的转角为 α ,下一时刻舵机所在的状态对应的转角为 β ,从状态 α 过渡到状态 β 所用的时间为 t ,将 α 到 β 分成 t 份,设第 k 次舵机所在的状态对应的角度为 x ,则如表 2 所示,设

计封装函数,对于读入的 5 路舵机的 α 状态、 β 状态、过渡时间 t ,调用相应的过渡函数,计算每步舵机的输出,即可实现舵机的变速控制。

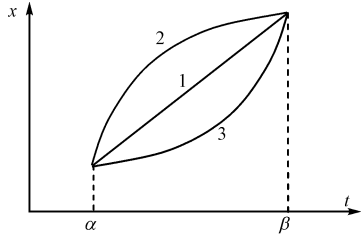


图 4 舵机的 3 种变速曲线

舵机调速方式的选择有 3 种,在速度变化上分别表现为线性、先快后慢和先慢后快。这 3 种变速方式可以在人机界面上由用户进行选择,方便用于对机械腿的运动速度控制,3 种变速方式的曲线方程如表 2 所示。

表 2 舵机的 3 种变速方式

编号	多项式类型	曲线方程	过渡方式
1	1 次	$x = [\alpha + (\beta - \alpha) \times k/t]$	线性
2	2 次	$x = [(\alpha - \beta) \times (k - t)/t \times (k - t)/t + \beta]$	快 - 慢
3	3 次	$x = [\alpha + (\beta - \alpha) \times k/t \times k/t]$	慢 - 快

3.4 系统软件流程

多关节机械腿的变步长运动控制系统软件流程为:上电后,机械腿运动到初始位置,主控电路等待接收 PC 机发送来的串口信息。此时,用户可以通过 LabVIEW 的主控界面进行命令和参数的设置,然后点击发送按钮进行发送,此时,若 LabVIEW 软件程序校验舵机转角参数设置超限,则数据不能发送,界面前板的角度超限指示灯点亮,提醒用户重新设置。主控芯片接收到串口信息后首先进行检验,并将检验结果反馈给主机。若检验无误,则主控芯片首先按照接收到的舵机转角和接收到的转速控制方式,调用封装在程序中的算法计算 PWM 的每步输出值,控制舵机使机械腿按选择的变速要求进行运动。主控芯片的程序软件流程如图 5 所示。

4 系统性能分析

鉴于机械腿控制系统对实时性和准确性的要求,该系统对系统响应时间、系统运行误差和系统运行出错次数进行了测试,其结果如表 3 所示。其中系统平均响应时间为人机界面上点击发送按钮到机械腿开始运动的时间,系统运行误差为系统输出角度和实际角度的差值。

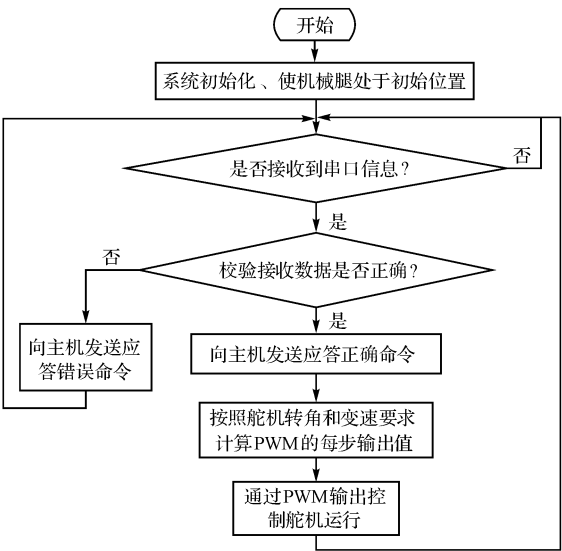


图 5 主控电路软件流程图

表 3 系统性能分析统计表

测试项目	测试次数	测试结果
系统平均响应时间	100	0.50 s
系统运行误差	100	1.80°
系统运行出错次数	100	0

通过表 3 可以看出,当测试次数为 100 次时,系统的平均响应时间为 0.50 s,系统平均运行误差为 1.80°,系统运行出错次数为 0 次。

5 结束语

多关节机械腿的运动控制系统具有机械结构简单、体积小、控制方便等特点,其人性化的界面设计使操作更加便捷。本研究从硬件系统和软件系统两个方

面介绍了此多关节机械腿,对其中的关键技术进行了研究,给出了设计方案和设计结果,证明了此系统具有性能稳定、运行精确等特点,可用于教学演示、学生实验等场合。

参考文献 (References):

[1] 李世其,刘 洋. 多关节轻型机械臂的设计研究[J]. 航天器工程,2009,18(3):48-52.

[2] 汪 洋,李 斌. 蛇形机器人控制系统的设计与实现[J]. 机器人,2003,25(6):491-494,500.

[3] 谭景伟. 柔性机械臂逆动力学问题的分析和求解[J]. 机电产品开发与创新,2010(3):35-36,31.

[4] ZHU Hai-hong, XIE Ming, LIM M K. Modular Robot Manipulator Apparatus[P]. PCT/SG00/OO02,2000.

[5] LI Ming-jian. Toward Single Motor Driven Biped Robot [D]. Singapore:School of Mechanical and Aerospace Engineering Nanyang Technological University,2005.

[6] 邹 璇,李德华. 多关节机械臂的坐标模型和参数标定[J]. 光学精密工程,2001,9(3):252-256.

[7] OKAZAKI A, SENOO T, IMAE J, et al. Real-time optimization for cleaner-robot with multi-joint arm[C]// Networking, Sensing and Control, 2009. ICNSC 09. International Conference on, 2009:26-29.

[8] 朱小娟,江兴盟. 利用 LPC213X/214X 系列单片机的 PWM 功能实现对舵机的控制[J]. 济源职业技术学院学报,2007,9(6):17-20.

[9] 周立功. 深入浅出 ARM7—LPC2300[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004.

[10] 叶 重,孔凡让. 基于 AVR 的蛇形机器人舵机控制[J]. 机械与电子,2009(12):68-70.

[编辑:张 翔]

(上接第 783 页)

[3] 孟爱华,吕福在,程耀东. 基于超磁致伸缩致动器的脉冲喷射开关阀建模与仿真[J]. 机械工程学报,2009,45(8):303-307.

[4] 辰巳義和,大嶽和之,高橋良太,等. 超磁歪アクチュエータの熱膨張補償の検討[J]. 日本応用磁気学会誌,2009,33(5):421-424.

[5] 贾振元,杨 兴,郭东明,等. 超磁致伸缩材料微位移执行器的设计理论及方法[J]. 机械工程学报,2001,37(11):46-49.

[6] 唐志峰. 超磁致伸缩执行器的基础理论与实验研究[D]. 杭州:浙江大学机械与能源工程学院,2005.

[7] 郭义杰,徐 杰. 超磁致伸缩执行器热误差补偿及抑制方法研究[J]. 工程设计学报,2005,12(4):213-218.

[8] 赵 兵,郭义杰,赵章荣,等. 弯曲型超磁致伸缩执行器温控系统设计[J]. 组合机床与自动化加工技术,2008(8):12-14.

[9] YUNG K C, LIEM H, CHOY H S, et al. Thermal performance of high brightness LED array package on PCB[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer,2010,37(9):1266-1272.

[10] JANOSHA H. Unkonventionelle Aktoren: Eine Einführung [M]. München: Oldenbourg,2008.

[11] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T1094-2008 电力变压器用绝缘油选用指南[S]. 北京:中国电力出版社,2008.

[编辑:张 翔]