

微小型救援机械手控制系统设计

张邦成, 李 淼, 王华振, 张 昊, 柳红亮, 胡孔明

(长春工业大学 机电工程学院, 长春 130012)

摘要: 通过研究分析微小型救援机械手的工作原理和救援要求, 设计了微小型救援机械手的控制系统: 基于 PC 机为上位机、ATmega16 单片机为下位机, 设计了控制系统硬件电路, 利用无线传输模块进行指令传输、图像信息和关节角度反馈; 采用模糊 PID 控制算法对输出信号进行处理, 使关节运动平滑稳定, 同时提高了电机转角精度, 降低了系统误差, 提高救援效率; 基于 VC++ 语言, 开发了上位机机械手控制界面, 并能够通过上位机界面遥控操作机械手动作; 仿真实验表明, 该系统响应速度 $t < 1$ s、稳态误差 $\delta \leq 0.4^\circ$, 有良好的动态性能。

关键词: 机械手; ATmega16; 模糊 PID 算法; VC++

Design of Control System of Microminiature Rescue Manipulator

Zhang Bangcheng, Li Miao, Wang Huazhen, Zhang Hao, Liu Hongliang, Hu Kongming

(Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

Abstract: Via studied the microminiature rescue manipulator's working principle and requirements of rescue manipulator, the control system of microminiature rescue manipulator is designed. The hardware connection of the system is designed with PC computer as upper computer and ATmega16 SCU as lower computer. The information of instruction transmission, image and joint Angle feedback were transmitted using wireless transmission module; The output signal was processed for making the movement of joints steady using the fuzzy PID algorithm, the accuracy of the motor's rotation is improved, the error of the system is reduced and the rescue efficiency is also improved. The PC interface of manipulator which can control the manipulator is developed based on VC++. Experiments showed that the response speed $t < 1$ s and steady-state error $\delta \leq 0.4^\circ$ having good dynamic performance.

Key words: manipulator; ATmega16 SCM; fuzzy PID algorithm; VC++

0 引言

微小型救援机械手是近几十年发展起来的一种涉及机械学、电器学及自动化控制等技术的综合性高科技自动化救援设备。在实施救援任务中, 微小型救援机械手的控制系统对于保证救援机械手作业的准确性和在狭小空间下顺利完成救援任务起着至关重要的作用, 微小型救援机械手控制系统的优劣直接决定救援任务实施的成败^[1]。

现有的救援设备控制系统多采用 PC104、单片机等尺寸大、功耗高或处理能力有限的处理器, 为了能够使微小型救援机械手在救援过程中便于控制, 通过对救援机械手工作原理进行分析, 设计以 PC 机(上位机)遥控单片机(下位机)方式的控制系统硬件。考虑到救援的高效性、动作的精准度要求和模糊控制具有不必建立对象的数学模型、鲁棒性强, PID 控制具有稳态误差小响应速度快的特点, 应用模糊 PID 控制算法精确控制电机转角达到设计要求。为了提供良好的人机交互界面并且考虑到 VC++ 具有程序框架自动生成、代码编写、界面设计集成交互操作等特点, 机械手的人机交互界面采用 VC++ 语言进行编程, 应用无线通讯模块控制救援机器人完成规定动作, 设计了基于模糊 PID 控制算法、VC++ 语言编

程人机交互界面的微小型救援机械手的控制系统。

1 救援机械手工作原理分析

救援机械手的工作原理是控制系统的基础, 一个稳定的控制系统必然是和工作原理相吻合, 对救援机械手的工作原理分析是非常必要的。救援机械手包含 5 个部分: 旋转的底座、仰俯的大臂、仰俯的小臂、仰俯的腕部及旋转的机械手末端夹持器, 如图 1 所示。每个机构都安装了电机, 实现机构的运动, 通过控制不同电机的协调运转来控制机械手实现不同动作。

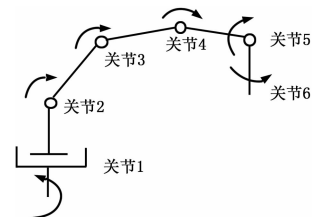


图 1 救援机械手框图

分析各个机构自由度的运行角度, 底座的旋转为 360° , 大臂的仰俯角度为 $-30 \sim 210^\circ$, 小臂的俯仰角度为 $-90 \sim 90^\circ$, 腕部的仰俯角度为 $-90 \sim 90^\circ$, 夹持器旋转角度 $0 \sim 180^\circ$, 夹持器的夹持角度为 $0 \sim 120^\circ$ 。基于各个自由度的运行状况, 得出各个电机旋转角度。

通过分析总结机械手工作原理和运行角度, 提供各部分的控制参数, 为救援机械手控制系统设计打下了坚实的基础。

收稿日期: 2013-08-21; 修回日期: 2013-10-20。

基金项目: 吉林省教育厅“十二五”项目(2013153)。

作者简介: 张邦成(1972-), 男, 教授, 主要从事机电检测与控制方向的研究。

2 救援机械手控制系统设计方案确定及硬件连接设计

2.1 控制系统设计方案确定

目前,机械手的控制方式主要有继电器控制、PLC 控制和微机控制,其中传统的继电器控制设计复杂,接线繁琐,抗干扰能力差,故障多,维修困难;PLC 控制方式运行可靠,编程简单,抗干扰强,但控制精度不高;微机控制方式响应速度快,精度高,但是体积庞大,不能应用于狭小空间^[2]。通过分析和研究以上三种控制方式,充分考虑每种控制方式的优缺点与救援机械手的控制要求,选择上位机远程控制单片机下位机,下位机控制电机的方式。

考虑救援机械手的工作环境狭小,障碍物复杂,选择远程遥控方式;考虑到对现场环境的适应性,选择图像传感器实时观测现场的环境。

2.2 控制系统硬件设计

救援机械手控制系统硬件包括上位机、下位机、图像采集、无线传输和电机驱动模块。上位机能够提供良好的人机交互界面,是控制核心,控制能力强,通过向下位机单片机发送指令控制救援机械手运动,并实现对机械手电机位置信号的采集。下位机控制继电器电机驱动模块控制车体运动、机械手底座的反转及天窗的开关等。运动过程中,下位机实时采集数据传输给上位机,上位机发送控制指令及时调整机械手运动轨迹并监测微小型救援机械手的运动状态,对反馈信号,包括关节电机的位置信号、图像采集等数据进行分析处理,同时发送操作者的控制命令根据现场环境控制机械手的运动。无线数据传输模块是中间环节,起着桥梁的作用。图像采集传感器一个置于机器人基座上,能够观测到机械手前方的环境变化;另一个置于机器人末端夹持器上,在机器人手臂伸出车体执行任务时可以更好地观测指定目标。其总体硬件示意图如图 2 所示。

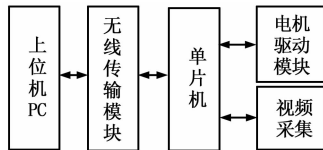


图 2 微小型救援机械手总体硬件示意图

2.3 总体控制模型的建立

总体控制模型如图 3 所示。设定角度值后经模糊 PID 控制器输出 U, 控制电机的运转, 直至达到理想位置。

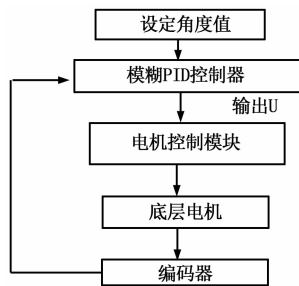


图 3 总体控制模型

3 模糊 PID 控制算法应用

常规的 PID 控制算法是将偏差 E 的比例、积分、微分通过一定的线性组合达到控制目的,其数学模型为: $U_k = \Delta U_k + K_p * [E(k) - E(k-1)] + K_i * E(k) + K_d * [E(k) - 2E(k-1) + E(k-2)]^{[3]}$ 。

其中: U_k 为 K 时刻输出值, $E(k)$ 为 K 时刻闭环系统反馈经计算得出的误差, ΔU_k 为 K 时刻和 $K-1$ 时刻输出值之差。PID 控制必须建立系统的数学模型,不适合时变的系统,为了在线调节 PID 的 3 个参数,采用模糊 PID 算法降低机械误差和信号传输过程中误差对系统的干扰,使机械手电机快速稳定准确地达到理想角度。输入量为理想角度,经过模糊控制器调节 PID 三个参数,控制输出电压从而控制电机角度。

3.1 隶属函数的确定及模糊规则

考虑到计算机处理速度和响应的快速性,输入输出量的隶属函数均采用三角函数^[4],如图 4 所示。模糊规则采用经验法,最后经试验调整获得,输入变量的隶属函数如图 4(a)所示,输出变量的隶属函数如图 4(b)所示。

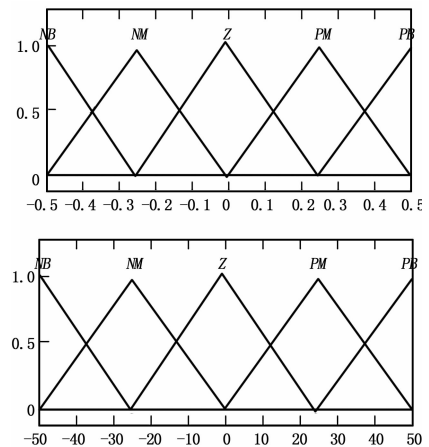


图 4 模糊变量的隶属函数

表 1 K_p, K_i, K_d 模糊规则表

| EC | E | | | | | | |
|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | NB | NM | NS | Z | PS | PM | PB |
| NB | PB/ PM/PS | PB/ PB/PS | PM/ PB/Z | PM/ PB/Z | PS/ PB/Z | Z/ PB/PS | Z/ PM/PS |
| NM | PB/ PB/NB | PS/NB | PS/NM | PS/NS | PS/NS | PS/NM | PS/NM |
| NS | PB/ Z/NB | PB/ Z/NB | PM/ Z/NM | Z/Z/NS | Z/ Z/NM | NS/ NS/NM | NS/ NS/NM |
| Z | PB/ NS/NS | PM/ NS/NS | PS/ NS/NS | NS/ NS/NS | NM/ NS/NS | NM/ NS/Z | NM/ Z/NM |
| PS | PM/ Z/NB | PS/ Z/NB | Z/ Z/NM | NM/ Z/NS | NM/ Z/NM | NM/ NS/Z | NM/ Z/NM |
| PM | Z/ PB/NB | Z/ PS/NB | NS/ PB/Z | NM/ PS/NS | NB/ PS/NM | NM/ Z/Z | NM/ PS/NB |
| PB | Z/ PM/PS | Z/ PM/PS | NS/ PB/Z | NM/ PB/Z | NM/ PB/Z | NM/ PS/PS | NM/ PS/NB |

输入量 α 和输出 U 的模糊子集在各自的论域中划分为 4 个集合“零 (Z)、正大 (PB)、正中 (PM)、负中 (NM)、负小 (NS)”^[6]; 通过实验得知论域为 $\alpha \{-180, 180\}$, K_p, K_i, K_d 的论域分别为 $[0, 1.5], [0, 0.5], [0, 3]$ 。

3.2 建立模糊规则

通过实验确定 PID 三个参数的模糊规则如表 1 所示。

4 软件设计

4.1 机械手总体控制流程图设计

总体控制流程^[6]如图 5 所示, 当系统上电后, 根据采集的图像, 控制机械手动作, 使机械手运动到指定的目标地点, 直至动作完成结束。

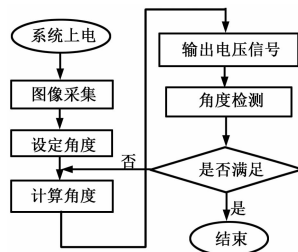


图 5 控制流程图

4.2 Matlab 仿真

利用 Matlab 中 Simulink 工具箱进行仿真, 连接电路仿真图, 假设控制对象为 $G(S) = 1/S+1$, 比较 PID 和模糊 PID 仿真曲线, 如图 6 所示, 容易得出模糊 PID 控制器响应速度较快, 超调量明显降低。

系统测试时, 从发出指令开始到电机开始动作响应时间经过反复试验得出响应时间 $t < 1$ s, 电机实际动作角度和控制设置角度误差 $\delta \leq 0.4^\circ$ 达到控制要求。

5 PC 机操作界面设计

基于 VC++ 特点, 编写了 PC 机上的操作界面, 根据操作界面的视频图像对下位机进行控制, 控制电机协调动作, 完成指定任务。

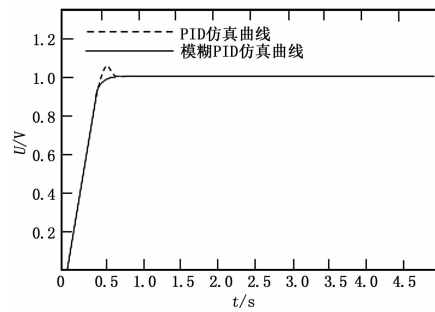


图 6 仿真结果

6 总结

通过分析救援机械手的工作环境, 研究微小型救援机械手的工作机理, 设计了微小型救援机械手控制系统。基于模糊 PID 控制算法, 降低了机械误差和信号传输过程中误差的影响, 提高了电机转角的精度。仿真实验表明, 设计的控制系统响应时间 $t < 1$ s, 控制精确高, 机械手转角稳态误差 $\delta \leq 0.4^\circ$ 满足救援的要求。

参考文献:

[1] 胡志强, 周焕银, 林 扬, 等. 基于在线自优化 PID 算法的 USV 系统航向控制 [J]. 机器人, 2013, 35 (3): 263-268.

[2] 高 健, 黄心汉, 彭 刚, 等. 移动机器人 PID 运动控制器参数的模糊自整定 [J]. 华中科技大学学报, 2004, 32: 48-51.

[3] 郭伟斌, 陈 勇. 基于模糊控制的除草机器人自主导航 [J]. 机器人, 2010, 32 (2): 204-208.

[4] Tarnita D, Marghitu D B. Analysis of a hand arm system [J]. Robotics and Computer - Integrated Manufacturing, 2013, 29: 493-501.

[5] 杨小峰, 陈劲杰, 易灵君. 四自由度机械臂运动控制系统的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (4): 959-961, 964.

[6] 王立新. 模糊系统与模糊控制教程 [M]. 王迎军译. 北京: 清华大学出版社, 2003.

[7] Shieh M Y, Chen C S, Chuang C H, et al. Gait detection based stable locomotion control system for biped robots [J]. Computers & Mathematics with Applications, 2012, 64 (5): 1431-1440.

[6] 李昌范, 王平军, 熊 宽, 等. 基于双模糊控制器的液压舵机伺服系统动态仿真 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (7): 1877-1879.

[7] 李昌范. 某型舵机的余度管理与性能优化研究 [D]. 西安: 空军工程大学, 2012.

[8] 刘金琨. 先进 PID 控制 Matlab 仿真 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2013: 298-230.

[9] 刘金琨. 智能控制 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 15-17.

[10] 王浩坤, 尚群立. 基于专家 PID 控制的永磁同步电机调速系统 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2007, 12: 43-44.

[11] 林 健, 汪木兰, 左健民, 等. 永磁直线伺服系统专家自适应 PID 控制的研究 [J]. 现代制造工程, 2008, 1: 48-50.

[12] 王改堂, 王孟效. 纸浆浓度专家 PID 控制 [J]. 微计算机信息, 2007, 10: 25-26.

[1] 王平军, 李昌范, 李彦波. 一种四余度电液伺服阀的伺服舵机系统的 Simulink 仿真 [J]. 计算机测量与控制, 2013, (21) 6: 1641-1643.

[2] 杨立秋, 宋立忠. 船用起重机消摆系统的专家 PID 控制 [J]. 计算机仿真, 2011, 28 (10): 161-164.

[3] 王平军, 熊 宽, 李昌范, 等. 四余度舵机伺服系统的 Simulink 仿真与分析 [J]. 合肥工业大学学报 (自然科学版), 2013, 36 (2): 138-142.

[4] 王占林, 李培滋. 飞机液压传动与伺服控制 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1980: 232-233, 142-143, 246-247.

[5] 胡寿松. 自动控制原理 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.

(上接第 1779 页)

参考文献: