

模特机器人 CAN 总线控制系统设计与实现

何 伟^{1,2}, 朱云龙¹, 苏卫星¹, 李 倩^{1,2}

(1.中国科学院沈阳自动化研究所 信息服务与智能控制技术研究室 辽宁 沈阳 110016 2.中国科学院大学 北京 100039)

摘 要 :针对 SIAHMR-I 模特机器人的机械结构特性和机器人控制系统对实时性和稳定性要求,设计和实现了具有三层结构的基于 can 总线的分布式控制系统,包括了机器人主控层,基于 CAN 总线系统通信层,以及底层节点执行层,并且给出了整个机器人系统的控制结构和节点控制器的软、硬件原理图以及增量式 PID 位置控制设计方案,并且完成搭建了机器人控制系统实验平台。实验结果表明,控制系统性能良好,能够实现真实的模拟人体的体型和姿态动作,并且可靠性和抗干扰能力强。

关键词 机器人 ;分布式控制系统 ;CAN 总线 ;增量式 PID 控制

中图分类号 :TH16 ;TP242.2 文献标识码 :A 文章编号 :1001-3997(2013)11-0183-03

Design and Research of a Model Robot CAN Bus Control System

HE Wei^{1,2}, ZHU Yun-long¹, SU Wei-xing¹, LI Qian^{1,2}

(1.Key Laboratory of Information Service and Intelligent Control, Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Liaoning Shenyang 110016, China 2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract Aiming at characteristics of robot mechanical structure and real-time and stability requirements of the SIAHMR-I model robot, it designs and realizes a three layers distributed control system based on can bus, including the master layer of the robot on PC, CAN bus protocol layer, and underlying implementation layer on node controller. And the node controller schematic about hardware and software, and PID control design are given, and a robot control system experimental platform has been to build. And the results show that the performance of the control system is fit for SIAHMR-I model Robot, strong anti-interference ability of motion simulation.

Key Words Robot ;Distributed Control ;CAN Bus ;PID Control

1 引言

随着机器人技术的不断发展,机器人的应用领域也越来越广泛。机器人在服装设计和网络购物中开始得到应用。模特机器人是应用于服装设计和网络购物的一类仿人机器人,它可以通过变化躯体部分的骨骼执行器来真实的模拟人的身形。顾客可以输入人体参数,将各种规格、尺寸的衣服穿在模特机器人身上的效果,然后选择订购。模特机器人是一类仿人机器人,但是它不同于传统仿人机器人着重于机器人的步态和姿态等运动控制目标^[1-5],这类传统仿人机器人更多地侧重于动力学和运动学研究,模特机器人的研究重点在于控制机器人真实地模拟人体体型的研究。SIAHMR-I 模特机器人由中国科学院沈阳自动化研究所信息服务与智能控制实验室研发的应用于服装设计和网络购物中。针对模特机器人 SIAHMR-I 的模块化特点和性能要求,采用模块化设计思想设计实现了一种基于 CAN 总线的分布式控制系统,构建了一个模特机器人开发控制平台机构。

2 模特机器人系统结构的设计

SIAHMR-I 模特机器人具有多个自由度,包括身体变形部分,以及姿态动作部分。模特机器人具有 30 个身体变形的骨骼执

行器构成躯体骨架,包括肩部 2 个,臀部 4 个,胸部 4 个,背部 6 个,腰部 4 分,腹部 4 个,以及 6 个手臂关节执行器。

从控制的角度看,整个系统是一个多输入多输出的,具有强耦合特性的系统,要实现逼真的模拟人体的体型姿态的效果,首先要保证控制系统能够实时的处理好各个子系统的任务。

针对该机器人的特点,构建了一种基于 CAN 总线的分布式控制系统,系统控制结构图,如图 1 所示。主要包括 3 层:基于 PC 的主控制层,中间通信层,以及底层节点控制层。(1)基于 PC 的主控制层,主要负责人体模型匹配计算,底层执行器规划,协同控制任务以及人机交互界面管理等任务。通过获取输入的人体尺寸参数,识别当前机器人骨骼执行器的位置传感器和关节传感器的光电编码传感器信息,经过模型计算处理规划底层执行器的动作数据,最后分发控制命令和数据到底层的各个智能控制节点。(2)通信层,在整个系统中起到桥梁连接作用,它负责接收主控制层并且分发给底层节点的命令和数据,然后转化成 CAN 总线数据帧发送到 CAN 总线去。由于底层控制节点数目比较多,因此对通信层可靠性和实时性有很高的要求。PC 与执行层的通信采用了周立功公司的 USBCAN 卡作为通信中间件。(3)执行层,它负责

来稿日期 2013-01-14

基金项目 国家自然科学基金(61174164 61003208 61105067)

作者简介 何 伟 (1987-) 男 湖北鄂州人 硕士研究生 主要研究方向 机器人控制技术

接收主控层的发送的控制命令和数据, 分析 CAN 总线数据报文, 根据主控层的要求完成实现机器人骨骼执行器和关节执行器的伺服控制。同时负责检验当前执行器运行情况, 反馈当前底层执行器的状态信息, 以及异常报警信息。

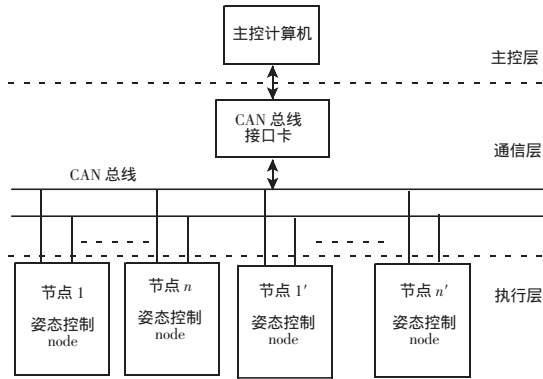


图 1 模特机器人系统结构图
Fig.1 Structure of Model Robot System

3 控制节点硬件电路设计

在设计的过程中, 发现各个节点在接口以及功能节点上具有相似性, 节点控制器可以设计成一块通用的控制卡来完成各项功能, 实现各个节点的模块化, 同时实现可扩展的要求。模特机器人的底层控制节点, 是由一个 MCU 控制器核心单元, CAN 总线接口电路, 电机驱动器, 电源管理电路, 以及相应的传感器调理电路组成的。一方面, 智能控制节点通过控制器 MCU 接受主控程序发送的骨骼运动序列和姿态关节的运动序列, 对骨骼和关节运动进行控制; 另一方面, 智能控制节点接收到传感器信息, 协同主控层直接处理机器人的一些异常, 并且返回给主控层当前状态信息。智能控制器的硬件结构, 如图 2 所示。基于智能控制节点的分层控制系统通过底层智能控制节点的自主性, 提高了整个机器人系统的稳定性和实时性。

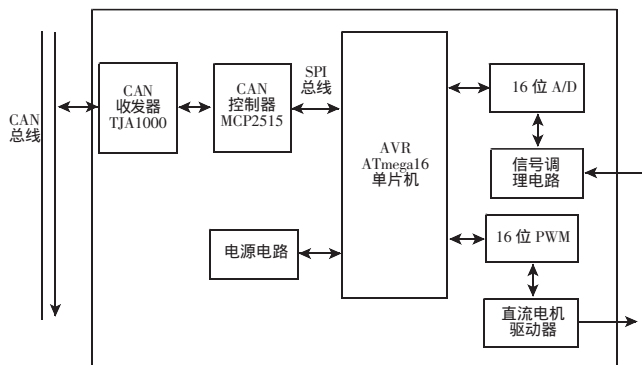


图 2 节点控制器硬件结构图
Fig.2 Hardware Structure of Node Controller

控制器接收到主控器的发送的位置命令, 通过节点电机的传感器信号反馈位置信号, 经过 PID 控制, 输出 PWM 控制信号经过电机驱动器驱动电机, 构成一个完整的闭合电路回路。

3.1 控制器单元

节点控制器 MCU 是底层控制的核心单元, 直接关系到底层控制的功能要求和性能要求。节点控制器 MCU 选择了 AVR 系列的 ATmega16 单片机, 负责底层控制器的伺服控制, 为主控制

层反馈当前状态, 以及故障检测与处理等。该单片机是一款高性能、低功耗的 8 位微处理器, 拥有 16K 字节的可编程 Flash, 并且其内部集成了 SPI 总线以及 ADC 以及 32 个可编程的 I/O 口等接口资源。

3.2 CAN 总线通信单元

为了实现系统的分布式控制方案, 在设计中采用了现场总线技术, CAN 总线在机器人控制运用十分广泛的一种, 尤其在模块化的系统设计中。

CAN(Contoller Area Net, 控制局域网)总线^[6-7]具有以下特点: (1)废除传统总线的占地址编码, 可以多主工作方式; (2)采用非破坏性仲裁技术, 当两个节点同时向网络上发送数据时, 优先级低的节点主动停止发送数据, 而优先级高的节点可以不受影响继续传输数据, 有效避免了总线冲突; (3)每帧数据都有 CRC 校验以及其他检错措施, 保证数据传输的可靠性, 总线通讯速率高; (4)总线报文采用了短帧结构, 可靠性高。基于以上这些特点, CAN 总线非常适合于模特机器人这样多节点的分布式控制系统中。

由于单片机 ATmega16 没有内置 CAN 总线通信单元, 采用了扩展外接 CAN 通信接口电路的方法。在设计硬件电路时, CAN 总线控制器选用了 Microchip 的 MCP2515 控制器。MCP2515 具有 SPI 接口的独立 CAN 控制器, 可以通过 SPI 总线与单片机 ATmega16 进行通信, 它集成了 CAN 协议的物理层和数据链路层功能, 可完成对通信数据的成帧处理, 它完全支持 CAN2.0A/B 技术规范, 通信速率可以达到 1Mbps, 内含 3 个发送缓冲器, 2 个接收缓冲器, 6 个 29 位的验收滤波存储器和 2 个 29 位的验收屏蔽寄存器。CAN 总线的接口芯片采用了 TJA1050, 这是一款高速的通用 CAN 收发器, 节点控制器的 CAN 总线接口通信单元电路, 如图 3 所示。

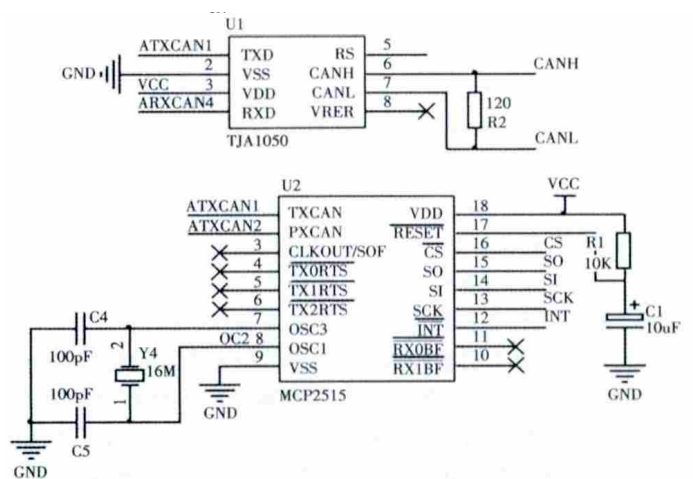


图 3 CAN 总线通信单元电路原理图
Fig.3 Circuit Schematic of CAN Bus

3.3 电机驱动器电路

该模特机器人执行机构里的电机是微型直流电机, 基于微型直流电机的特点, 驱动电路采用了 L298 作为电机的伺服放大器。L298 芯片是一种高压、大电流双桥式驱动器芯片, 它的驱动峰值电流可以达到 2A, 其设计是为了接受标准的 TTL 逻辑电平和驱动直流电机负载。

4 智能控制节点位置 PID 控制

节点控制器采用增量式数字 PID 控制算法实现骨骼执行器的位置闭环伺服控制,通过增量式数字 PID 控制调节 PWM 输出实现位置的精确控制。

增量式 PID 算法只与最近 3 次的误差有关,不需要进行累加,不易引起积分饱和,因此能获得比较好的控制效果^[8-9]。节点的控制框图如图 4 所示。

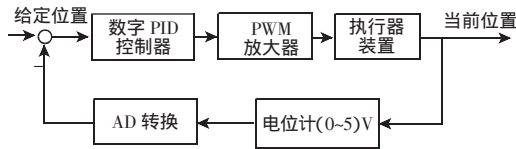


图 4 PID 控制框图

Fig.4 PID Control Structure

根据 PID 控制原理有:

$$u(k-1) = k_p \times (e(k-1) + k_i \times \sum_{j=0}^{k-1} e(j) + k_d \times (e(k) - 2 \times e(k-1) + e(k-2)))$$

可以推得增量式 PID 控制算法:

$$\Delta u(k-1) = k_p \times (e(k) - e(k-1)) + k_i \times e(k) + k_d \times (e(k) - 2 \times e(k-1) + e(k-2))$$

式中 k_p —比例系数 k_d —微分系数 k_i —积分系数。

系统根据响应曲线调节 k_p, k_d, k_i 参数。实验结果表明在 5ms 的采样周期条件下可以实现模特机器人的变形要求。

5 智能控制节点软件设计

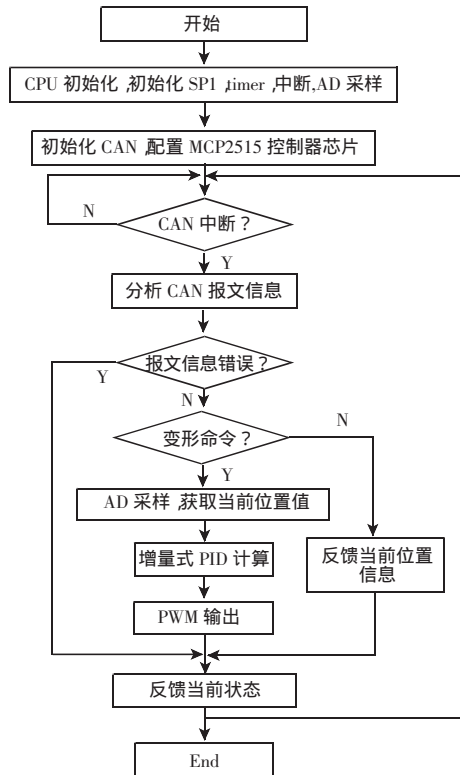


图 5 节点控制器软件流程图

Fig.5 Node Controller Software Flow Pattern

智能控制节点的软件设计包括,数据采集处理子程序, PID 计算子程序,以及 CAN 总线通信子程序。在节点控制器程序里,首先,对 CPU 初始化,主要初始化 SPI 总线,设置时钟中断为

5ms,用于 AD 采样周期, MCP2515 初始化。其中本系统采用了 CAN 总线扩展帧,扩展帧有 29 位的帧标识符,方便系统的功能扩展。然后,初始化 CAN 总线程序,负责通过读写 SPI 总线在 MCP2515 CAN 总线控制器配置模式下向控制段中的寄存器写入控制字,设置通信波特率为 125Kbps。节点控制器通过 MCU 的外部中断 0 中断信号接受主机发送过来的 CAN 报文,在中断程序里分析 CAN 报文信息并设置相应的状态标志,主程序根据在中断程序里设置的状态标志,处理并响应主控制器发送的命令,如果是变形命令,调用 AD 采样当前位置,AD 采用是通过 Timer0 设置的间隔 5ms 周期采样,然后将采样值送入到增量式的 PID 控制程序中计算输出 PWM 给电机驱动器,当 PWM 输出结束,反馈当前的传感器状态信息给主控制器,如果是反馈命令,节点控制器反馈当前传感器位置信息给主控制器。节点控制器的程序流程图如图 5 所示。

6 试验测试结果

为了测试系统运行和调节 PID 参数,利用 MCF 编写了上位机的数据采集和相应曲线图,连接中间层 CAN 总线设备后,实现与底层节点的通信,底层节点返回实时采样数据数据给上位机,采样周期设置为 5ms,根据响应曲线调节 PID 参数,最终设定 $k_i=20, k_p=0.1, k_d=2.0$ 从图中可以看到阶跃响应的实时曲线,控制精度在 2mm 以内,满足设计要求。图中 3 次给定设定位置值,测得响应曲线,如图 6 所示。

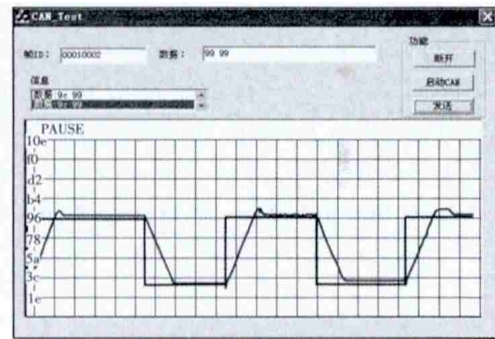


图 6 实验过程阶跃响应曲线

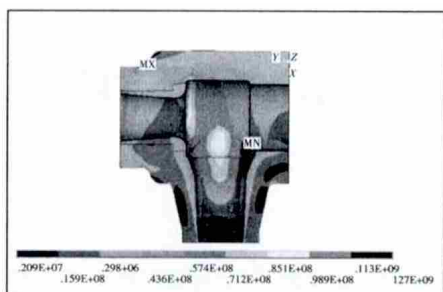
Fig.6 Step Response Curve

7 结论

根据模特机器人结构特点和性能要求,设计了机器人的底层控制器的软件和硬件并予以实现,构建了基于 CAN 总线的控制系统。与主控层上位机软件的联合调试成功,上位机的控制周期为 20ms,底层节点控制器的控制周期为 5ms,控制精度为 0.2cm,能够满足模特机器人的要求,并且整个运行阶段稳定可靠。下一步为了进一步提高提高实时性能,稳定性,减小硬件空间,考虑采用带有内部集成 CAN 总线模块的 DSP 来代替单片机,并且改善控制方法,完善通信协议,加强系统的处理异常的能力。

参考文献

[1] 李治养,郭威,葛新.模块化水下机器人控制系统设计[J].机械设计与制造,2012(1):36-37.
(Li Zhi-yang, Guo Wei, Ge Xin. Control system design for ROV based on modularization[J]. Machinery Design & Manufacture, 2012(1): 36-37.)
[2] 陈健,雷旭升.基于智能体的仿人机器人分层控制系统[J].高技术通讯,2007(6):586-589. (下转第 189 页)



(d)十分钟时综合应力场
图 5 分析结果
Fig.5 Analysis Results

5 结论

通过对 660MW 超临界汽轮机在冷态启动过程中主蒸汽阀的阀壳和阀座的温度场和应力场的仿真分析,得出以下结论:

(1)在汽轮机冷态启动过程中,汽轮机冲转达到十分钟时,应力达到最大值 127MPa。小于材料的屈服极限,阀门处于较安全状态。

(2)整个过程中,主蒸汽阀的出口处的阀座温升最快,而出口和腔室相贯处温度梯度最大,应力也最大,因此在设计加工时,应给出合适的工艺,加强这些部位的强度,并且在大修期间应仔细检查这些部位是否因应力集中而出现裂纹。

(3)阀座处应力虽然不是最大,但是比一般部位高出许多,因此应力应变比较大,加上阀杆碰撞的影响,容易造成损坏和脱落。因此在设计制造过程中阀壳和阀座尽量选择物理性能相近的材料,这样不易产生更大的应力,而且不易造成阀座脱落。

(4)因为主蒸汽阀工作环境极其恶劣,因此应选择较好的热处理工艺,延长主蒸汽阀的使用寿命。

参考文献

[1] 盛伟,肖增弘,夏永军.汽轮机设备及系统[M].北京:中国电力出版社,2008.
(Sheng Wei, Xiao Zeng-hong, Xia Yong-jun. Device and System of

Steam Turbine[M]. Beijing:China Electric Power Press,2008).
[2] 孙奉仲.大型汽轮机运行[M].北京:中国电力出版社,2008.
(Sun Feng-zhong. Operation of Large-Scale Steam Turbine[M]. Beijing: China Electric Power Press,2008).
[3] 罗彩霞,梅瑛.基于 ANSYS 的球壳开孔接管区应力分析[J].机械设计与制造,2012(4):282-284.
(Luo Cai-xia, Mei Ying. Stress analysis for spherical shell with opening nozzle based on ANSYS[J]. Machine Design and Manufacture,2012(4):282-284).
[4] 张淑萍,黄荣国.300MW 汽机旁路系统高压蒸汽变换阀阀体应力计算[J].电站系统工程,2000(5):294-313.
(Zhang Shu-ping, Huang Guo-rong. Finite element analysis in the body of bypass steam valve used in 300MW turbine[J]. Power System Engineering,2000(5):294-313).
[5] 谢龙汉,李翔,张海.ANSYS FLOTRAN 流体及热分析[M].北京:电子工业出版社,2012.
(Xie Long-han, Li Xiang, Zhang Hai. ANSYS FLOTRAN Fluid and Thermal Analysis[M]. Beijing: Electronic Industry Press,2012).
[6] 宋贵良.锅炉计算手册[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1995.
(Song Gui-liang. Handbook of Boiler Calculation[M]. Shenyang Liaoning science and Technology Press,1995).
[7] 《火力发电厂金属材料手册》编委会.火力发电厂金属材料手册[M].北京:水利电力出版社,2001.
(The editorial committee of Handbook of Thermal Power Plant of Metal Materials. Handbook of Thermal Power Plant of Metal Materials [M]. Beijing: Water Power Press,2001).
[8] 彭震中,丁祝顺,王璋奇.汽轮机调节阀阀体三维瞬态温度场及应变场分析[J].热能动力工程,2002(97):81-84.
(Peng Zhen-zhong, Ding Zhu-shun, Wang Zhang-qi. numerical simulation of temperature field and stress field of the valve box of a steam turbine[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power,2002(97):81-84).

(上接第 185 页)

(Chen Jian, Lei Xu-sheng. Agents based on hierarchical control system for humanoid robots[J]. High Technology Letters,2007,6(17-6):586-589)
[3] 钟华,吴镇炜,卜春光.仿人机器人控制系统的研究与实现[J].机器人,2005,27(5):455-459.
(Zhong Hua, Wu Zhen-wei, Bu Chun-guang. Research and implementation of a humanoid robot control system [J]. Robot,2005,27(5):455-459).
[4] 钟秋波,朴松昊.仿人机器人实时步态控制系统设计[J].华中科技大学学报·自然科学版,2011,39(9):123-126.
(Zhong Qiu-bo, Bu Song-hao. Real-time gait control systems design for humanoid robots [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology,2011,39(9):123-126.)
[5] 张怡,刘成刚.小型仿人机器人电机控制系统的设计与实现[J].计算机工程,2009,35(24):247-249.
(Zhang Yi, Liu Cheng-gang. Design and implementation of motor control system for small humanoid robot [J]. Computer Engineering,2009,35(24):247-249).
[6] 邹宽明.CAN 总线原理和应用系统设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
(Wu Kuan-ming. CAN Bus Principle and Application Design [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics or Beihang University Press,2005.)
[7] Abels A; Kruusmaa, M. Design of a shape-changing anthropomorphic mannequin for tailoring applications[C//]. In International Conference on Advanced Robotics,2009:1-6.
[8] 刘金琨.先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M].北京:电子工业出版社,2007:15-30.
(Liu Jin-kun. Advanced Matlab Control Simulation PID [M]. Electronic Industry Press,2007:15-30.)
[9] 郭威,王明明.水下机器人推进系统 CAN 应用层协议设计[J].机械设计与制造,2011(7):216-218.
(Guo Wei, Wang Ming-ming. Design of a CAN application-layer protocol for propulsion system of underwater vehicle [J]. Machinery Design & Manufacture,2011(7):216-218.)
[10] 邓遵义,宁伟,刘保国.基于 CAN 总线的分布式机器人控制系统[J].微计算机信息,2006,22(2-6):255-257.
(Liu Zun-yi, Ning Wei, Liu Bao-guo. The design of distributed robot control system based on CAN bus[J],2006,22(2-6):255-257.)