

基于 FPGA 的小型足球机器人 无线通信子系统的设计

汪 明, 赵 晓, 李晓明 *

(浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:以小型组足球机器人为研究对象,采用现场可编程门阵列(FPGA)作为小型足球机器人的主控制器,代替了传统的用单片机或 DSP 作为足球机器人主控制器的设计方法。针对小型足球机器人在比赛中通信不理想,抗干扰能力较差等问题,提出了一种机器人小车上的无线通信系统设计方案,使用 FPGA 模块和 PTR4000 无线通信芯片来设计无线通信子系统的接收模块,包括通信系统发射和接收模块的硬件电路设计及软件实现。研究表明,该系统具有很高的可靠性和稳定性,且集成度高,抗干扰能力强,易于实现。
关键词:足球机器人;现场可编程门阵列;PTR4000;无线通信

中图分类号:TP242.6;TN92

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)11-1386-05

Wireless communication subsystem design of small scale soccer robot based on FPGA

WANG Ming, ZHAO Xiao, LI Xiao-ming

(Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract:The small group of soccer robot is the research target, field programmable gate array(FPGA) technology was selected as the core controller of the soccer robot, which took place of the traditional DSP and single-chip computer schemes. In order to solve the problems of poor communication state and the weak anti-jamming capability in the small scale soccer robot competition environment, a kind of wireless communication design scheme was proposed, in which the wireless communications subsystem receiving module was designed by PTR4000 wireless chips and FPGA module, and it included the hardware circuit design and software realization of the communication system emitting and receiving module. Results show that this system is highly integrated, it is easy to implement, has a good performance of reliability, stability and strong anti-jamming capability.

Key words: soccer robot; field programmable gate array(FPGA); PTR4000; wireless communications

0 引 言

足球机器人属于机器人的一个分支,通过制造和训练机器人来代替人类进行足球比赛。智能足球机器人大赛是将人们喜爱的足球运动和人工智能领域多智能系统结合的产物,是由实物机器人或仿真机器人参加的足球赛,比赛规则参照国际足联制定的人类足球赛规则,并就智能足球机器人的一些特点进行了相应

的修改^[1]。机器人足球赛从一个侧面反映了一个国家的信息与自动化领域的基础研究和高技术发展水平^[2]。

目前,国际上有影响力的机器人足球比赛分为两大系列—FIRA 和 Robocup。本研究所论述的系统所应用的 F-180 小型足球机器人是 RoboCup 活动的一部分。小型足球机器人系统包括视觉、决策、无线通信和机器人车体 4 个子系统。机器人子系统是整个系统的执行机构,其性能是比赛取胜的一个关键因素^[3]。建立

收稿日期:2011-05-13

作者简介:汪 明(1987-),男,湖北洪湖人,主要从事机电控制方面的研究。E-mail:wangmingdahai@163.com

通信联系人:李晓明,男,副教授,硕士生导师。E-mail:lxm_zju@yahoo.com.cn

一支好的球队需要精巧的设计,整合硬件及软件系统,使之具有强大的功能。目前小型组机器人正在向更高的技术发展,其趋势表现在使用更快的处理器,试图在材料技术上创新,人工智能和感知正在进一步发展^[4]。

目前国内有几十家单位参加了机器人足球比赛的研究。第 1、第 2 代小型足球机器人的运动控制子系统 CPU 采用 PIC,第 3 代以后采用 DSP。现阶段世界上足球机器人小车的控制系统主要基于传统的 SOC 系统,主控制器主要采用 DSP 控制,其运算速度快、成本较低。但是这些基于 SOC 的设计方案在整个电路的复杂度和设计等方面存在很多的缺点,在电路方面,需要增加很多的芯片和分立元件,增大了体积,功耗较大,也不利于系统的硬件升级。

本研究采用 FPGA 作为主控制器,以 SOPC 的设计方法进行设计,嵌入 NIOS II 处理器。SOPC 解决方案允许设计者在通用的 FPGA 里嵌入 MCU 软核以完成片上系统的集成,为现代电子产品设计带来了更大的灵活性^[5]。FPGA 不仅具有体积小、运算速度快的特点,而且内部有丰富的触发器和 I/O 引脚,支持可擦除式编程,能够反复使用,并且它是作为专用集成电路领域中的一种半定制电路而出现的,既解决了定制电路的不足,又克服了原有可编程器件门电路数有限的缺点。本研究利用 FPGA 的硬件可编程的特点,将各个功能模块在 FPGA 内部与机器人小车的 NIOS II 控制器进行连接,从而简化系统的设计,减小系统的体积,也便于对硬件进行修改、仿真以及系统的升级^[6]。

1 小型足球机器人通信子系统的通信协议

无线通信子系统是机器人控制系统的一个重要组成部分,其通信性能的好坏将严重影响到机器人的运动和比赛的顺利进行^[7]。为了提高通信质量和通信效率应精心设计通信系统,重点是无线收发器电路的设计和通信协议的制定。小型足球机器人无线通信子系统结构图如图 1 所示。

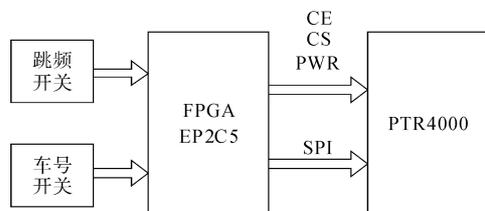


图 1 小型组足球机器人无线通讯子系统结构

智能小型足球机器人的通信是固定在赛场边的决策主机和场上移动智能小型足球机器人之间的双

向无线通信,由主机发射,智能小型足球机器人接收。因此通信系统采用广播方式实现一对多的通信,所有机器人采用统一的通信频率,而发给不同机器人的命令则根据各自的地址码加以区分。只有当小车上 PTR4000 无线通信模块接收到与本机设定的相同的地址码时,才会认为本次数据包是发送给本机的,并开始接收后面的数据。当 PTR4000 接收完数据包并经硬件 CRC 校验正确后,输出高电平,FPGA 就可以读取数据了。

2 新型无线通信子系统的硬件设计与实现

2.1 发射模块的硬件设计

发射器采用 AT89S52 单片机实现编码和对通信模块的控制。AT89S52 具有 8 KB 在系统可编程 Flash 存储器,片上 Flash 允许程序存储器在系统可编程,亦适用于常规编程器^[8]。

无线通信模块选用 PTR4000,PTR4000 基于挪威 Nordic 公司推出的单片无线收发一体芯片 nRF2401 开发,采用全球开放的 2.4 GHz 频道,可满足多频及跳频需要;内置硬件 CRC 检错;支持多点间通信,可满足 GMSK 调制,最高传输速率达到 1 Mbit/s,抗干扰能力强;低功耗 1.9 V ~ 3.6 V 工作;内置 2.4 GHz 天线^[9];可通过软件设计地址,只有收到本机地址时才会输出数据,编程也很方便。

单片机需要与计算机串口通信,选用芯片 RS232 收发器 MAX3232 进行电平转换。单片机的工作电压是 5 V,其他芯片的工作电压是 3.3 V,因此在单片机与 PTR4000 之间需要进行电平转换,选用稳压芯片 AMS1117 - 3.3 进行分压。

发射模块硬件电路设计图如图 2 所示。

2.2 接收模块的设计

接收器在每个机器人小车上,设计中采用 FPGA 器件作为机器人小车的主控制器,开发板选用 Altera 公司生产的 Cyclone II 系列芯片 EP2C5Q208C8N,其硬件资源包含有 4 608 个逻辑单元 LE,26 个 M4K RAM 块,119 808 个 RAM 位,13 个嵌入式 18×18 乘法器,2 个锁相环,最大可用 I/O 管脚 142 个^[10]。配置芯片选用 EPCS1,具有 1 MB 的存储容量,可以满足大部分程序的容量需求。

FPGA 与 PTR4000 连接结构图如图 3 所示。

本研究利用 Quartus II 的 SOPC Builder 能够方便地构建一个基于 FPGA 的 SOPC 系统,SOPC Builder 的系统库中包含了一些常用的 Nios II 外围设备等构

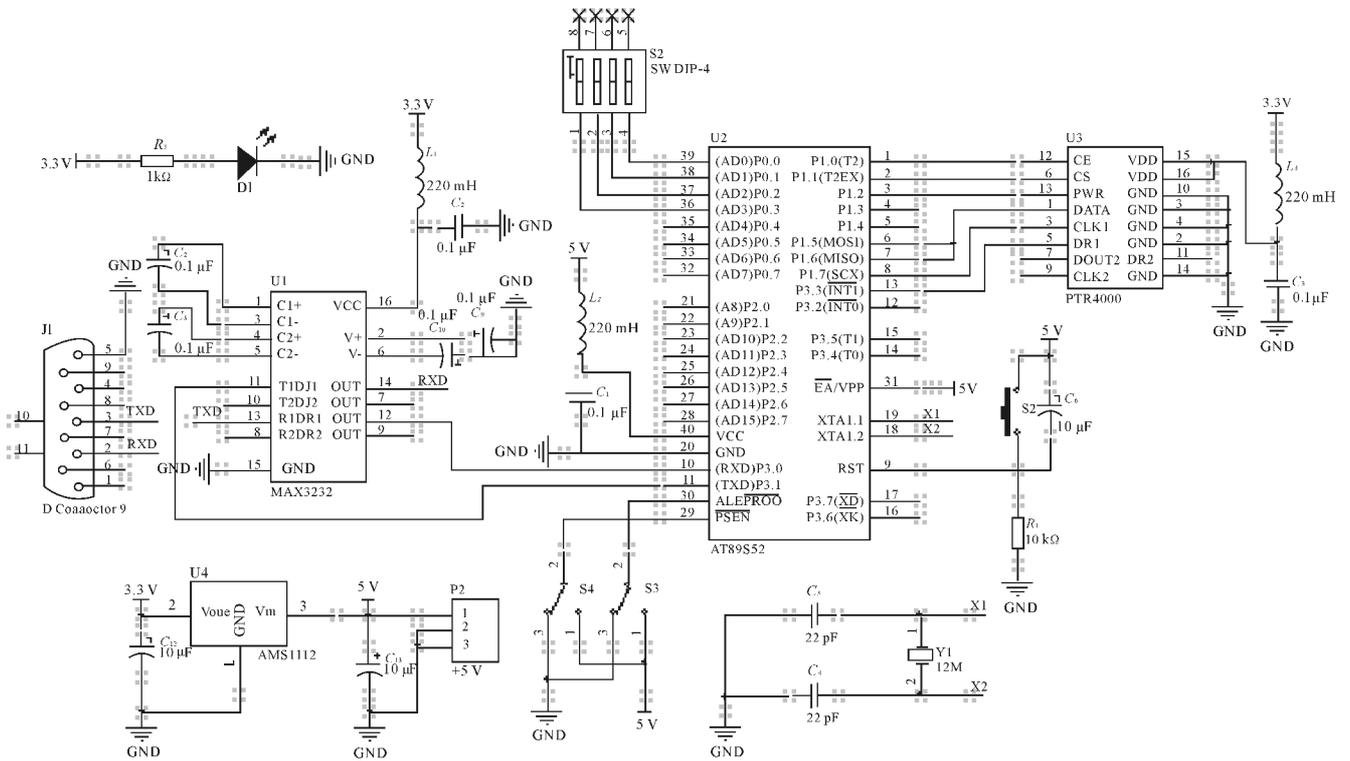


图 2 发射器电路结构图

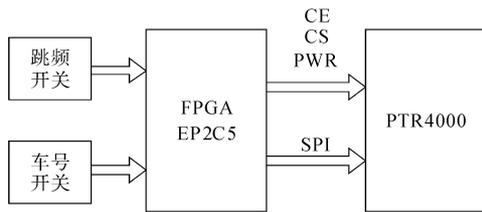


图 3 接收器结构图

成 SOPC 系统^[11]。本研究的硬件开发采用 Verilog HDL 语言设计, FPGA 与 PTR4000 的接口电路除了 SPI 接口之外, 还要增加一个 DR 输入中断; 另外还包括配置

接口 CE、CS、PWR 用来配置 PTR4000 的工作模式; 以及用来跳频的 4 位拨码开关和设定机器人编号的 4 位拨码开关, 其接口电路如图 4 所示。

图 4 中: CLK, RESET_N 是 NIOS II 处理器的时钟和复位脚; DR、MISO、MOSI、SCK 4 个管脚是 FPGA 与 PTR4000 的 SPI 接口; CE、CS、PWR 是 PTR4000 的配置接口; FRE[3..0] 是 4 位拨码开关, 用来选择比赛中我方队伍的通信频率; NUM[3..0] 是 4 位拨码开关, 用来设定机器人队员的车号。

此外, 该系统设计了多种存储器, 以避免可能出

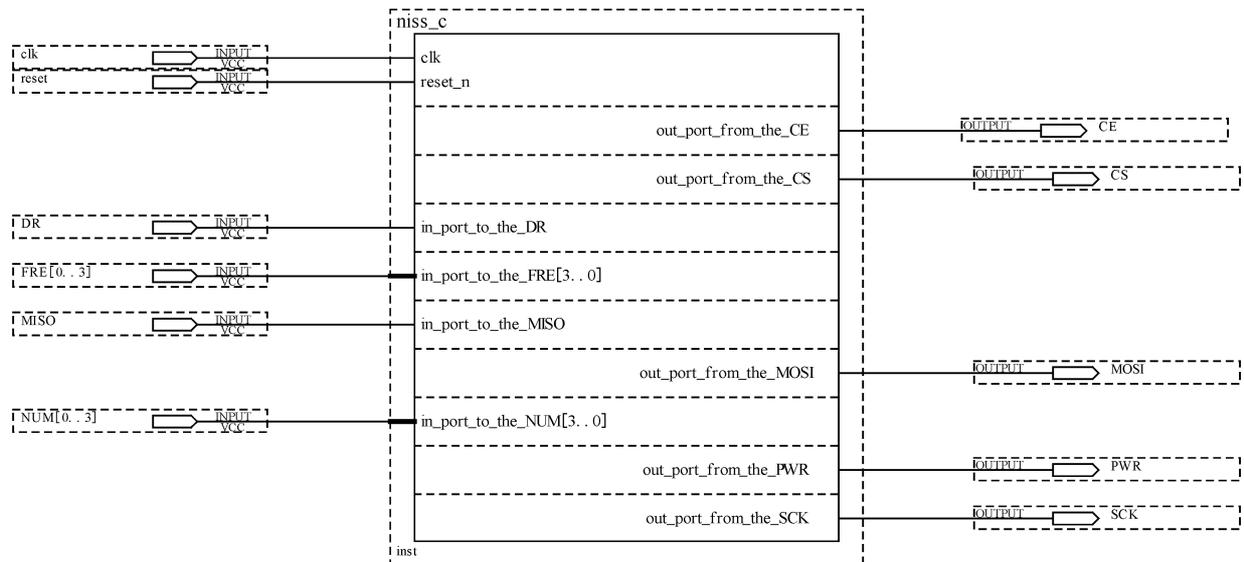


图 4 FPGA 与 PTR4000 接口电路图

现的空间不够情况,也便于后续升级对存储空间的需求。包括:增加 SDRAM,如果软件程序超过了 FPGA 所能定制的最大 RAM 容量,可以把程序放在 SDRAM 中运行;增加 Flash,如果程序超过了配置芯片 EPCS1 的容量,则程序可以保存在 Flash 中。SDRAM 芯片选用 HY57V641620,容量为 8 MB;Flash 芯片选用 AM29LV160,容量为 2 MB。

FPGA 外围电路结构图如图 5 所示。

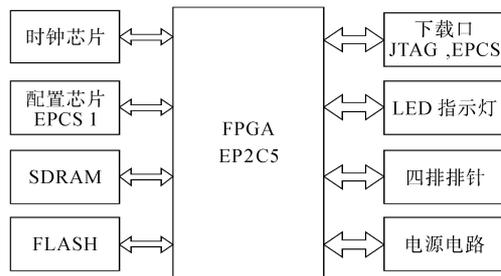


图 5 FPGA 外围电路结构图

3 系统软件设计

无线通信程序主要是指与 PC 串口相连的无线发射器和连接在足球机器人上的无线接收器。PTR4000 配置接口由 CS、CE、PWR 组成,控制 PTR4000 的 4 种工作模式:配置模式,发射/接收模式,待机模式,掉电模式。发送或接收数据由 DATA、CLK1、DR1 3 个接口作为通道,其中 DR1 仅在接收模式下使用,输出中断信号。

3.1 发射器流程

系统上电后,MCU 首先对系统进行初始化配置。配置过程主要有:对寄存器变量初始化,设置波特率、开启中断,对 SPI 接口进行初始化;MCU 开始配置 PTR4000 模块,通过对 CS、CE、PWR 的设置把 PTR4000 模块设为配置模式,然后通过通道 1 的 DATA、CLK1 将配置数据输入 PTR4000。配置完成后,MCU 通过配置模式将 PTR4000 设为接收模式,设定 CE = 1, PTR4000 进入工作模式。

当上位 PC 机通过串口发送数据包时,系统进入中断服务子程序。首先 MCU 通过串口通信接收上位机的数据包,保存在 MCU 存储空间;如果没有全部接收完,继续接收数据;全部接收后,对数据进行编码、封装,并把接收的数据标志位置为高电平。

在主程序中,系统处于中断等待状态,每次循环都检测接收数据标志位。若检测到高电平,本研究设定 CE=0, PTR4000 启动内部处理并通过发射天线将数据发送出去。全部数据发送完成后,本研究将接收数据标志位设为低电平。

3.2 接收器流程

接收器在每个机器人小车上,机器人小车内核芯片采用 FPGA 控制,通过 PTR4000 接收的数据直接进入 FPGA,由 FPGA 解码,从而做出决策和控制信号。接收器流程图如图 6 所示。

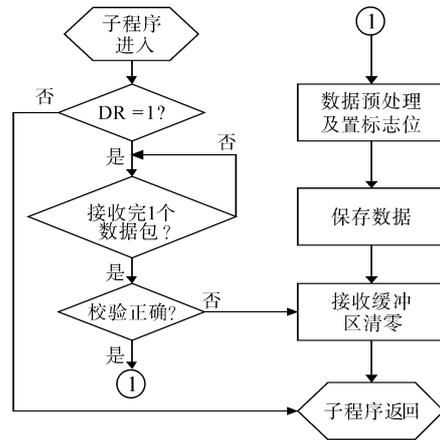


图 6 接收器流程图

机器人小车通过无线通信系统接收上位机发送的指令,当收到的标识与本机标识一致,则开始接收后面的数据。当 PTR4000 接收完数据包并经硬件 CRC 校验正确后,会在其 DR1 引脚输出中断指示,并通过 DATA、CLK1 引脚送出相应的数据及同步时钟,触发 FPGA 中断读取数据,小车执行该命令。

4 无线通信系统的测试

为了调试该系统无线通信模块硬件设计方案是否正常运行,测试的方法是用主机控制 FPGA 主控板上的两个 LED 灯交替闪烁。

实验原理:添加软核 NISO II,构建一个简单的 SOPC 系统,在 CPU 里面运行控制程序,使两个 LED 灯交替闪烁。主机通过发射器发送数据 10 或 01,接收器将接收到的数据保存,并驱动 LED。发送数据 10 时,LED0 亮;发送数据 01 时,LED1 亮。

实验过程:在 Quartus II 里对工程进行编译,下载线 USB-Blaster 连接到 Flash 下载口下载,如图 7

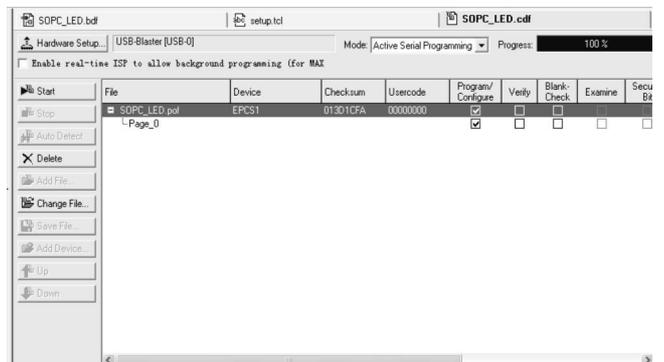


图 7 程序下载

所示。

下载线用 USB-Blaster 下载, 下载模式为 AS 模式, 下载进度是 100%, 说明下载成功。下载信息如图 8 所示, 表明下载成功。

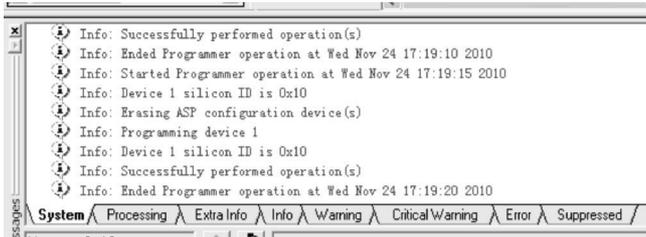


图 8 下载成功的信息

实验结果表明: 无线通信功能是正常的。

本研究采用新型无线通信系统, 不仅能满足机器人比赛中无线通信的要求, 且能增加比赛系统的稳定性, 有利于机器人小车在足球比赛中发挥更好的性能。

5 结束语

本研究主要介绍用 FPGA 设计小型足球机器人无线通信部分架构, 以及 FPGA 外围部分电路结构。目前小型足球机器人运动控制系统已经升级到第五代, 即采用 FPGA 作为运动控制子系统的 CPU。但是对于足球机器人整个底层电路部分, 想要实现基于 FPGA 的 SOPC 系统设计, 还需要作更进一步的研究与探讨。

参考文献(References):

- [1] 陈万米, 张冰, 朱明, 等. 智能足球机器人系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [2] 徐璟业. F-180 小型足球机器人的无线通信系统设计[J]. 电子技术应用, 2004(5): 60-63.
- [3] 李策. 基于 DSP 和 FPGA 的小型足球机器人控制系统的研究[D]. 大连: 大连理工大学电子与信息工程学院, 2006.
- [4] DORIGO M, CARO G D. Ant Colony Optimization: a New Metaheuristic[C] //Proceeding of the 1999 Congress on Evolutionary Computation. Piscataway: [s.n.], 1999: 1470-1477.
- [5] 刘新云. 基于 EP2C5Q208 的最小 Nios II 开发板设计[J]. 荆楚理工学院学报, 2010, 25(5): 16-19.
- [6] GALANIS M D, DIMITROULAKOS G, GOUTIS C E. Performance improvements from partitioning applications to FPGA hardware in embedded socs [J]. *The Journal of Supercomputing*, 2006(2): 185-190.
- [7] 张丛荣. 足球机器人运动控制系统的研究与完善[D]. 沈阳: 东北大学信息学院, 2006.
- [8] 孙育才. 新型 AT89S52 系列单片机及其应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [9] 张崇, 于晓琳, 刘建平. 单片 2.4 GHz 无线收发一体芯片 nRF2401A 及其应用[J]. 国外电子元器件, 2004(6): 34-38.
- [10] Altera Company. Cyclone II Device Handbook[Z]. Altera Company, 2008.
- [11] 吕游, 陈文艺. 基于 NIOS II 的 SOPC 中存储器型外设接口的设计[J]. 电子元器件应用, 2010, 12(2): 59-62.

[编辑: 李辉]

(上接第 1344 页)

用, 利用成熟的控制策略与稳定的电气系统相结合, 在提高炉窑安全性、生产效率及能源利用率上发挥了重要作用, 增强了蓄热式熔铝炉整体的自动化水平。该自控系统经过局部调整后, 在相关熔炼设备及连续加热工业炉中可推广应用。

参考文献(References):

- [1] 李佳峰, 张姝羽, 王悦, 等. 蓄热式燃烧技术在熔铝炉上的应用[J]. 冶金能源, 2010, 29(3): 38-40.
- [2] 中国工控网. 冶金自动化系统浅析[EB/OL]. [2008-01-01]. http://a.gongkong.com/customer/gktx/imgpdf/200801_yjzdhqx.pdf.

- [3] 马翠红, 张涌涛, 纪玉荣. 基于组态软件的加热炉生产过程的实时监控[J]. 自动化仪表, 2004, 25(11): 60-62.
- [4] 刘日新. 蓄热燃烧技术及其在冶金工业炉中的应用[C]// 高效蓄热式工业炉应用学术会议论文集, 2006: 45-50.
- [5] 胡祖宝. 偏差比例双交叉限幅控制在生产中应用[J]. 控制工程, 2004, 9(5): 392-393.
- [6] 郝建强, 顾强, 李世中. 基于蚁群算法的数控进给伺服系统 PID 参数优化[J]. 机械, 2010, 35(3): 61-63.
- [7] 王本术, 龚宪生. 电液伺服扭振试验机模糊 PID 控制仿真研究[J]. 机械, 2010, 35(10): 15-19.
- [8] 何顶新, 王维, 徐金榜, 等. 温控系统中改进的 PID 算法[J]. 电气传动, 2007, 37(8): 36-39.

[编辑: 张翔]