

基于 ARM 和 FPGA 的服务机器人 运动控制系统研究

王赛赛, 陈万米, 桂春胜

(上海大学 上海市电站自动化技术重点实验室, 上海 200072)

摘要:介绍了一种基于 ARM 和 FPGA 的嵌入式控制系统,该系统既能独立运行又能在计算机辅助下运行,是一种兼具柔性和开放性的系统。利用 ARM 的强大的数据流转换功能和 FPGA 的快速配置能力,实现硬件可重构。给出了系统的总体结构、ARM 和 FPGA 之间的通信设计,重点给出了基于 Nios II 的嵌入式可重构底层控制设计,PWM 功能模块在 FPGA 上的实现。设计的系统集成度高、灵活。实验表明系统具有高可靠性,能满足服务机器人外围器件多样性控制的要求。ARM 和 FPGA 不仅可以并行运行处理数据,其之间又可以互相通信,实现了系统的扩展应用。

关键词:服务机器人;运动控制系统;ARM;FPGA

中图分类号:TP273

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)11-0057-04

Research of Service Robot Motion Control System Based on ARM and FPGA

WANG Sai-sai, CHEN Wan-mi, GUI Chun-sheng

(Shanghai Key Laboratory of Power Station Automation Technology, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: It introduces a kind of embedded control system based on ARM and FPGA, the system is both flexible and open which can operate both in independent and in computer-aided ways. Hardware can be reconfigurable by taking advantage of the powerful data flow transformation function of ARM and the rapid configuration ability of FPGA. It presents system's overall structure, communication design between ARM and FPGA, and the embedded reconfigurable bottom control was emphasisly given, PWM function module was realized on FPGA. The general structure of the system is given, so is the communication design between ARM and FPGA. It emphasises on the embedded reconfigurable bottom control design based on the Nios II and the realization of PWM functional module on FPGA. The designed system is of high integration and flexibility. Experiments have shown that this system has high reliability and it can meet the requirements of peripheral devices diversity control for the service robot. The ARM and FPGA not only can operate simultaneously in processing data, but also they can communicate mutually, thus realizing the extended applications of the system.

Key words: service robot; motion control system; ARM; FPGA

0 引言

服务机器人是机器人研究领域最为重要的一项内容,是当前科技活动最为活跃的领域之一。服务机器人技术含量高,它集成自动控制、人工智能、机械工程、电力电子技术、传感器技术、包装工程以及计算机科学等多门学科的知识^[1]。服务机器人的研究多数是采用计算机连接微控制器的方式,采用这样的方式有其自

身的优点和缺点。这样的方式可以节约开发的周期,计算机能够处理大量数据,但是这样的方式集成度不高,浪费了大量的资源,而且计算机功耗大,对于独立运行的机器人来说是一项很大的限制。目前研究的趋势是采用嵌入式系统,文中设计一种既可以独立运行,又可以受计算机控制的兼具柔性和开放性的控制系统^[2,3]。

首先,文中所设计系统中的计算机在开发调试中应用,在应用系统时,可以脱离计算机,但可以通过远程设备使计算机作为监控系统。文中设计的系统采用 ARM+FPGA 的控制结构方式,这种结构控制器既具有 ARM 微控制器拥有的高速处理器内核、体积小、集成度高、资源丰富、高速数据处理能力、功耗低等特点,而且具有 FPGA 快速可重构的配置能力和强大的并行运

收稿日期:2011-03-17;修回日期:2011-06-21

基金项目:机器人技术与系统国家重点实验室开放基金(SKLS-2009-MS-10)

作者简介:王赛赛(1987-),男,河南鹿邑人,研究方向为控制科学与工程;陈万米,副教授,博士,研究生导师,研究方向为智能机器人、双目视觉为主的图像处理、人工智能、模式识别与智能系统。

算能力^[4]。在 ARM 嵌入式系统中实现决策,完成图像处理、语音识别、路径规划等任务,在 FPGA 中嵌入控制内核,基于 NiosII 实现运动电机的算法控制。并且基于 ARM 丰富的外围接口,可以设计友好的人机接口^[5]。

1 系统总体结构设计

文中设计的系统采用 Alter 公司的 FPGA 芯片 EP2C20Q2408 和三星公司的 ARM 芯片 S3C2440A 作为整个控制系统核心控制芯片。EP2C20Q2408 具有丰富的逻辑模块资源和 I/O 接口,S3C2440A 支持 32 位 ARM 指令和 16 位 Thumb 指令,带有 MMU(Memory Management Unit),具有丰富的外围接口能够实现多种方式的通信和互联。

如图 1 所示系统中 S3C2440A 主要实现系统决策及图像、语音等信号的采集和处理,在 ARM 中嵌入 linux 系统,可以最大限度地利用 linux 的开放资源实现系统更新。

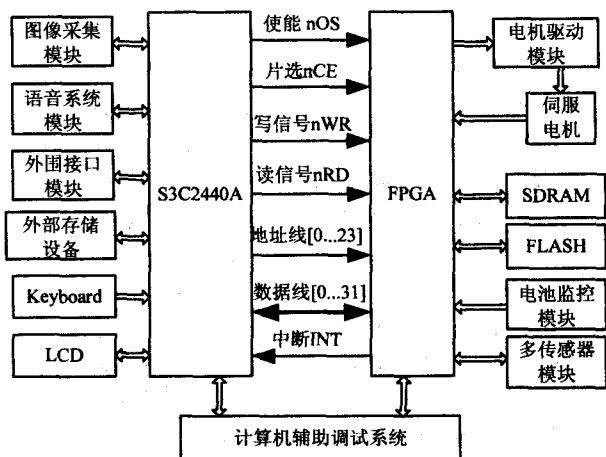


图 1 系统整体结构

FPGA 主要实现电机控制,包括速度检测、产生驱动信号、速度的闭环控制以及多传感器信号的读取和处理等;FPGA 可以进行快速配置,这为系统的扩张提供了广阔的空间。文中设计的系统综合 ARM 和 FPGA 的优点,系统设计功能分明、结构紧凑、控制时序容易。此外,设计了一个计算机辅助系统,不仅通过计算机实现对 ARM 和 FPGA 的快速调试,而且可以实现对系统的实时监测。

2 FPGA 和 ARM 接口电路实现

基于 FPGA 和 ARM 的嵌入式系统设计具有高可靠性、可扩展性等优点。FPGA 和 ARM 之间健康的通信是系统稳定运行的保证,是系统硬件设计的一个关键,为了实现系统的整体性能,必须为 ARM 和 FPGA 设计合适接口。

在图 1 中可以看到 ARM 和 FPGA 的连接形式,它们以读写总线的方式完成通信,该总线包括片选信号、使能信号、中断信号、读写信号、地址信号线和数据信号线^[6]。ARM 通过特定的地址访问 FPGA,并且通过复位信号,实现共同初始化。对于不同的事件通过设置中断优先级顺序,实现嵌入式系统对于特定事件的及时处理。

3 基于 FPGA 的可重构系统实现

服务机器人运动控制主要在 FPGA 中实现,其核心部分主要是实现电机的控制,同时对一些传感器信息检测与分析,辅助嵌入式决策系统进行信息的处理。图 2 所示为 FPGA 的内部控制结构图,主要包括:处理器单元、存储单元、通信接口数据处理单元、信息检测单元和电机驱动信号单元等。在可重构设计时采用了 Nios II 嵌入式软核,在 SOPC builder 中通过创建 PWM 信号 IP 核,以产生控制电机运行的 PWM 信号,通过改进型的 PID 算法实现电机的速度控制。

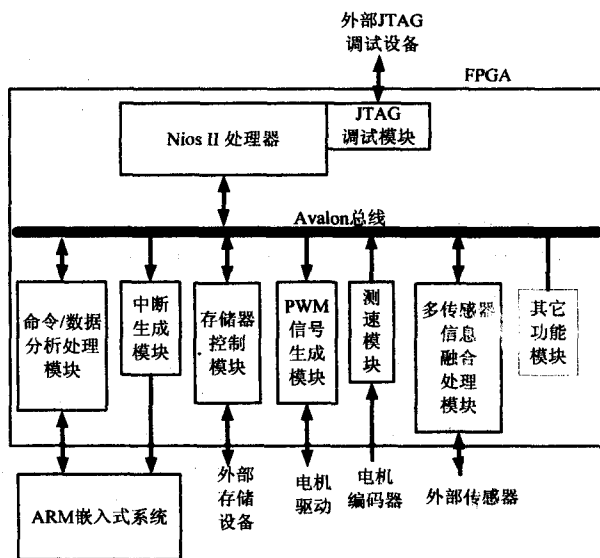


图 2 FPGA 内部可重构框图

3.1 电机运行控制在 FPGA 上的实现

电机的控制主要是对电机进行测速,然后反馈给嵌入式决策系统,决策系统根据外界要求完成速度的给定,然后通过 PWM 信号完成调速控制,考虑到机器人运行过程会出现误差,采用 PID 算法对电机速度进行整定,又考虑到机器人启动、急停等波动较大的情况,对普通 PID 算法进行改进,采用积分分离的 PID 控制算法。

电机运行控制流程如图 3 所示。采用 FPGA 对电机控制节省外界资源,设计时采用常用的伺服电机,这样电机的测速可以直接在 FPGA 中通过硬件描述语言写出测速逻辑,实现速度测定。国内外的服务机器人多以两轮差动方式运行,虽然控制方便但是转弯时要

求较大的空间,而文中设计的服务机器人采用全向三轮式的设计,运行更为灵活。三轮式要求三路 PWM 信号,在设计中直接在 FPGA 中嵌入 PWM 信号选择器,实现三路信号的控制。

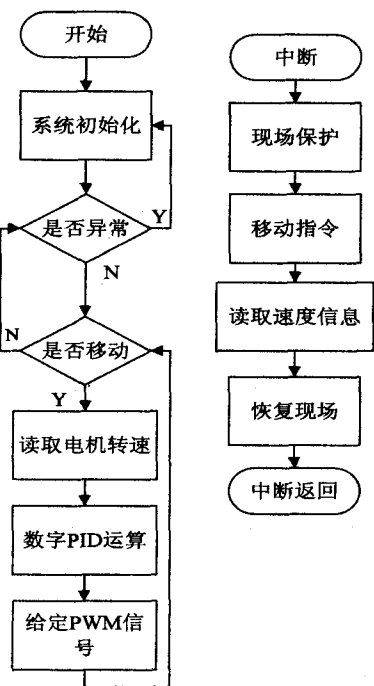


图3 电机运行控制流程图

3.2 PWM 信号产生模块的设计

服务机器人的运行环境复杂,要求机器人能灵活的移动,而灵活移动主要是实现对底层伺服电机的精确、快速调控。Nios II 软核不提供 PWM 输出信号,这里应用硬件描述语言(HDL)设计 PWM 模块,设计好的模块可以通过 SOPC 封装为 PWM_IP 核,通过 Avalon 总线实现 PWM_IP 核与处理器的互联,从而完成 PWM 信号源的设计^[7]。

(1) PWM 逻辑硬件设计。

PWM 的硬件设计主要由三功能部分组成:

1) 任务逻辑。描述 PWM 功能模块逻辑,任务逻辑是最基本、最关键的部分。

2) 寄存器文件定义。寄存器是内部任务逻辑和外部信息交换的途径,对 Avalon 总线接口的外设控制可以通过访问寄存器的值来实现。

3) Avalon 总线接口。

(2) PWM 逻辑结构的实现。

如图4所示,是 PWM 任务逻辑结构图,由 Avalon 从接口控制信号,时钟源(Master clock),PWM 信号输出,32 位计数器和 32 位比较电路以及相关寄存器组成。时钟源(Master clock)为 32 位计数器提供一个同步时钟信号,给定系统占空比后,比较计数器当前值和占空比设定值,计数器当前值小于等于占空比设置值时 PWM 给出低电平信号,否则输出高电平信号。周

期设定寄存器用来设定 PWM 信号输出周期,当计数器的计数值等于周期设定寄存器的设定值,产生一个复位信号。周期和占空比设定是根据决策系统实时决策信息设定。PWM 信号输出可以通过使能寄存器控制,需要时可以禁止。

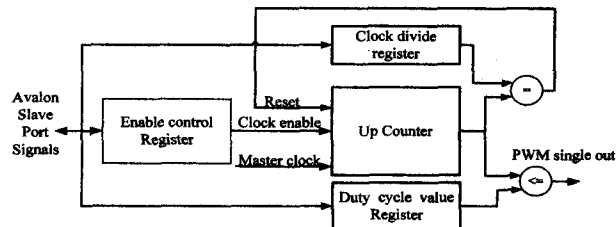


图4 PWM 任务逻辑结构图

定义了寄存器逻辑后,在 SOPC Builder 配置时会自动给出一个相应逻辑地址,通过 Avalon 总线实现对寄存器的访问。Avalon 总线可以进行读写操作,并且没有建立时间和保持时间限制,读写为零等待且不需要延迟,应用本地地址对齐原则。

(3) PWM 功能模块软件实现。

PWM 功能模块软件的实现主要是对 PWM 相关寄存器的读写,从而控制 PWM 信号的输出。PWM 控制软件程序主要包括:PWM 硬件初始化程序、PWM 参数设定函数、PWM 输出控制函数等。PWM 信号驱动电机运行时会产生死区,这是由于采用的全桥电路在换向时会出现上下桥臂同时导通,造成短路,避免出现死区所采用的方法是在 PWM 信号输出之前调用延时函数,这就很好地避免了死区现象的发生,起到了死区保护。

3.3 基于 Nios II 嵌入式软核的底层配置实现

Nios II 嵌入式软核处理器是 Altera 公司的第二代 32 位 RISC 嵌入式处理器,是基于 FPGA 架构的 CPU 软核,其性能可达到 200DMIPS,在 5ns 的周期中可以完成大部分指令,最大特点在于它是一种软核,是可配置的系统。软核表示的是处理器的目标器件要在下载配置好的设计文件之后才具有处理器功能;而可配置是说系统的性能和组成可以根据需要调整为最合适的状态。配置针对服务机器人特殊要求,在 SOPC Builder 中完成软核配置^[8,9]。

配置时,可以直接使用 Nios II 软核处理器自带的标准外围设备,也可以使用自己设计的外围设备。如机器人底层控制中用到的通用 I/O 接口、SDRAM 控制器、时钟等都属于标准外围设备;在该系统中自己设计的外围设备主要是指 PWM 信号产生处理软核。Nios II 软核处理器使用 Avalon 总线实现对外围设备的访问。Avalon 总线由一组预定义的信号组成,是一种参数化的接口总线,在通过 SOPC Builder 开发工具配置软核时可以自动生成 Avalon 交换结构总线逻辑^[10]。

4 实验研究

为了验证该基于 FPGA 和 ARM 的服务机器人运动控制系统,将其应用于参加比赛用机器人上。ARM 嵌入式系统负责处理图像语音信息,进行行为决策^[11],基于 Nios II 软核的嵌入式 FPGA 可重构系统实现对电机的控制,包括测速、调速等^[12]。ARM 和 FPGA 之间以总线的方式实现系统互联,FPGA 反馈机器人速度信息,ARM 嵌入式系统根据服务环境做出决策,给定三个轮速信息,实现了机器人正常运转。通过计算机辅助 ARM 和 FPGA 的调试,加快系统研究的进程。

图 5 所示为通过计算机监控的机器人运行图,在计算机中模拟好机器人运行场景,初始化机器人的起始位置后,机器人从 A 点走到 B 点的路线图可以通过计算机显示出来,根据上位机决策机器人实现了通过两条路径走到目标点,从图中可以看出机器人运行路线平稳、准确,这也说明了系统良好的稳定性。

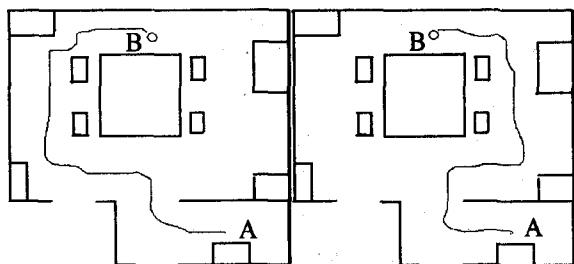


图 5 计算机监控机器人运行路线图

5 结束语

文中介绍了一种基于 ARM 和 FPGA 的机器人运动可重构控制方案实现,充分利用 ARM 快速运算处理能力,功耗低等特点,以及 FPGA 的动态可重构性和并行运算能力,实现了机器人复杂的运动控制,增加了机

器人连续运行的能力。文中设计的方案提高了设计集成度,功能层次化明确,可重构的特性简化了设计的步骤,提高了系统开放性,为后续的优化工作提供了便利,最后的实验研究表明了系统的可靠性。

参考文献:

- [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] 李攀,田泽,蔡叶芳,等.基于 SOPC 的 PCI 通信接口设计与实现[J].计算机技术与发展,2009,19(9):211-214.
- [3] 张宝利,龚龙庆,方超,等.基于 ARM+FPGA 的可重构控制器设计[J].现代电子技术,2010(1):195-197.
- [4] 廖义奎. ARM 与 FPGA 综合设计及应用[M].北京:中国电力出版社,2008.
- [5] 李莉,吴明星,陈伟海.基于 ARM 和 FPGA 的机器人运动控制器的实现[J].计算机测量与控制,2007,15(9):1172-1173.
- [6] 沈海嘉,杨全胜.基于 FPGA 的 ARM9 与 PC/104 总线接口的设计[J].计算机技术与发展,2009,19(3):182-184.
- [7] 余景画,杨冠鲁,郭享群.基于 FPGA 的无刷直流电机控制系统设计[J].微计算机信息,2008,24(32):220-221.
- [8] 范海艇,项宗杰.用 NiosII 嵌入式软核实现 RoboCup 中型组足球机器人的底层控制[J].仪表技术,2009(5):33-36.
- [9] 张赵良.基于 NIOSII 软核的移动机器人控制器的研究与实现[D].兰州:兰州理工大学,2009.
- [10] 李英兰. Nios II 嵌入式软核 SOPC 设计原理及应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [11] 陈素华,方旭,司洪昌.基于 ARM 和 FPGA 的智能小车监控系统[J].现代电子技术,2010(16):59-62.
- [12] Hui Xiaowei, Shen Qinglei, Miao Changyun. Acquisition Board Design of High-speed Image Data Based on ARM and FPGA [C]//ICCD. [s.l.]:[s.n.],2010:374-376.
- [13] Siwamogsatham S. Achieving Uplink/Downlink Fairness in WLANs via Multiple Backoff Timers [C]//In: Proc. of 10th International Conference on Advanced Communication Technology. Gangwon-Do, South Korea:[s.n.],2008.
- [14] Lin Xiaoyang, Chang Xiaolin, Muppala J K. VQ-RED: An Efficient Virtual Queue Management Approach to Improve Fairness in Infrastructure WLAN [C]//In: Proc. of IEEE Conference on Local Computer Networks. Sydney, NSW, Australia:[s.n.],2005.
- [15] Blefari-Melazzi N, Detti A, Habib I, et al. TCP Fairness Issues in IEEE 802.11 Networks: Problem Analysis and Solutions Based on Rate Control [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications,2007,6(4):1346-1355.
- [10] Wang Chiapin, Liang Kueihsiang. A Cognitive Approach to Achieve Fair Uplink and Downlink Utilities in Wireless Networks [C]//In: Proc. of International Conference on Computational Science and Engineering. Vancouver, BC, Canada:[s.n.],2009:22-28.
- [11] Yoo J, Luo Haiyun, Kim Chong-Kwon. Joint uplink/downlink opportunistic scheduling for Wi-Fi WLANs [J]. Computer Communications,2008,31(14):3372-3383.
- [12] Wu Yi, Niu Zhisheng, Zheng Junli. Upstream/Downstream Unfairness Issue of TCP over Wireless LANs with Per-flow Queueing [C]//In: Proc. of IEEE International Conference on Communications. Seoul, South Korea:[s.n.],2005.

(上接第 56 页)

Based WLANs [C]//In: Proc. of Second International Conference on Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks. Lake Vista, FL, USA:[s.n.],2005:10-22.