

# 基于 VxWorks 的某型弹用发动机控制系统研制\*

陈玉春,刘炳锋,李江红,赵艾奇

(西北工业大学,西安 710072)

**摘要:**针对系统要求的高可靠性、高机动性及较强的实时响应能力,以 ARM 微处理器为基础,结合实时操作系统 VxWorks,研制了基于 AT91R40807 的弹用嵌入式发动机控制系统。文中详细给出了系统的软硬件设计方案及调试工具和检测方法。经实验测试表明,系统具有较好的可靠性和抗干扰能力,完全满足设计要求。

**关键词:**发动机;控制系统;VxWorks;ARM 处理器

**中图分类号:**TJ760.33 **文献标志码:**A

## Design of Missile-engine Controller System Based on VxWorks

CHEN Yuchun, LIU Bingfeng, LI Jianghong, ZHAO Aiqi

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** Focused on high reliability, high maneuverability and strong real-time response capability required by system, based on ARM microprocessor, combined with real-time operating system VxWorks, missile-borne embedded engine control system based on AT91R40807 was developed. In this article, system software and hardware design scheme and debugging tool as well as test method were given. The experimental result shows the system is featured with good reliability and anti-jamming capability, it meets technical requirements.

**Keywords:** engine; control system; VxWorks; ARM processor

### 0 引言

现代弹用推进系统的高指标导致弹用发动机控制技术的复杂化,为保证弹用发动机安全、高效的工作,满足复杂控制理论应用的需要,同时也方便软件的调试、升级,采用嵌入式技术研究弹用发动机控制系统的实现方法已成为弹用推进系统控制发展的一个主要研究领域。我国现有的弹用发动机控制系统主要是构建在 C51 单片机上,或者采用模拟电路。传统的单片机由于其结构的局限性,在应用中有着较多的局限性,难以应用在复杂系统中<sup>[1-2]</sup>。

发动机综合电子控制器(以下简称控制器)是弹用发动机最为重要的控制设备,其性能和状态直接关系到发动机的工作是否正常,最终导致导弹能否准确的命中目标。电子控制器不仅要满足在恶劣环境下的各项动态指标要求,还应该满足其实时性的要求,这就对控制系统所采用的

操作系统提出了特殊的要求。

由于导弹的主要用途是迅速攻击目标,突破敌人的防区。因此,导弹的飞行包线复杂,发动机的工作状态多,这就要求弹用发动机控制系统具备起动、加速快,可靠性高,低成本等特性以满足系统设计要求。

### 1 ARM 处理器

ARM 嵌入式微处理器是一种高性能、低功耗的 RISC 芯片,由英国 ARM 公司设计。世界上几乎所有的主要半导体厂商都生产基于 ARM 体系结构的通用芯片,或在其专用芯片中嵌入 ARM 的相关技术。ARM 具有业界领先的 RISC 体系结构,有多种版本可供选择,各类产品间互相兼容,方便系统升级<sup>[3]</sup>。Atmel 公司的 AT91R40807 是一款 16/32 位 RISC 结构的低成本高性能的微处理器,这款芯片采用 ARM 公司设计的 ARM7TDMI 内核,它包含 Thumb 处理

\* 收稿日期:2008-09-21

作者简介:陈玉春(1967-),男,贵州惠水人,副教授,博士,研究方向:航空(特种)发动机总体性能设计。

模式,支持嵌入式片内断点仿真调试并且内置 32 位硬件乘法器。

## 2 VxWorks 软件平台

VxWorks 操作系统是美国 WindRiver 公司于 1983 年设计开发的一种嵌入式 RTOS,它以良好的持续发展能力、高性能的内核以及友好的用户开发环境,在嵌入式实时操作系统领域占据一席之地。良好的可靠性和卓越的实时性使其被广泛地应用在通信、军事、航空、航天等高尖技术及实时性要求极高的领域中,如卫星通讯、军事演习、弹道制导、飞机导航等<sup>[4]</sup>。

## 3 系统总体设计

弹用嵌入式发动机控制系统是整个导弹系统中的一个子系统,其工作环境是一个与弹上计算机系统和地面控制系统信息交换、通讯,并且受到时间约束的环境。系统要求在没有人工干预的情况下进行实时控制,其中软件实现对硬件的操作及提供应用接口函数,并使其系统具有适应性和灵活性,硬件部分用以满足性能和安全的需要。

弹用发动机控制系统主要完成系统控制任务的计算以及信号和控制指令的输入输出,同时具有中断处理、开关量输入输出、通讯、遥测等功能,与其交互的对象有 4 个,其关系如图 1 所示。

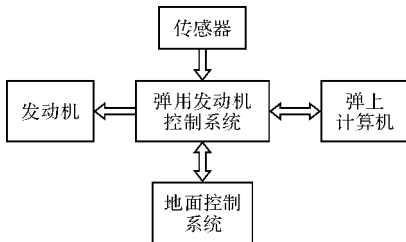


图 1 系统交互框图

系统控制平台采用嵌入式实时操作系统 VxWorks,所有的调试开发工作在开发环境 Tornado 中进行,最后利用 CodeTEST 在线分析与测试。

### 3.1 系统硬件设计

系统选用 AT91R40807 处理器,集成控制电路、输入输出接口设备和存储器等嵌入式硬件,构建了一个基于 ARM 处理器的高性能计算平

台。系统能够实现如下功能:

- 具有上电自动复位、掉电保护功能,较高的工作可靠性,同时具有复位自检功能,并输出自检结果信号。
- 两路串行通讯接口,实现与弹上计算机通讯的功能。一路为 422A 标准接口,一路为 485 接口,其中 485 接口采用半双工、同步方式,满足 HDLC 硬件电路协议。
- 8 路 A/D 通道,输入信号幅值范围为单极性 0~10V。
- 6 路带隔离开关量输出,用以实现控制系统高低空喷油环转换、加速电磁活门控制等功能。
- 4 路带隔离开关量输入,用以实现系统控制信号输入。
- 具有 2 路相互独立带锁存的 12 位 D/A 转换器,用以增加系统的控制信号输出通路,单极性输出范围为 0~10V。
- 中断控制器采用 3 级中断方式。

系统控制原理简图如图 2 所示。

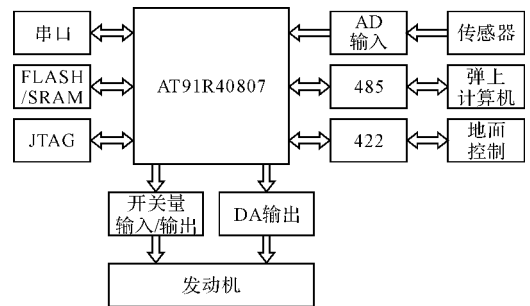


图 2 系统控制原理简图

### 3.2 系统软件设计

嵌入式软件设计思想把软件系统分为底层任务和应用层任务:

- 1) 底层任务。其目标是在组成弹用发动机控制系统的硬件与在弹用发动机控制系统中运行的应用软件之间提供一个固定的接口。该接口可用来在未知系统硬件和运行状态的情况下对应用软件进行开发。大多数硬件可以在对应用软件无任何影响的情况下变更,底层软件的存在保证了系统应用软件的高效运行。该底层任务包括对处理器内应用软件的控制、调度和对 I/O 过程的局部参与的控制。通过底层任务,应用软件在逻辑上与硬件隔离。
- 2) 应用层任务。其主要目标是实现对弹用

发动机的控制,通过调用底层软件完成相应的功能。应用层任务与硬件在逻辑上是隔离的,因此当整个软件完成以后,如果硬件方面设计不理想而需要改动时,只需改动执行软件即可。由此极大地方便了软件的维护以及系统的升级。

在保证系统实时性和可靠性的前提下,采用多任务调度及时间片轮转的方法,软件系统设计流程如图3所示。

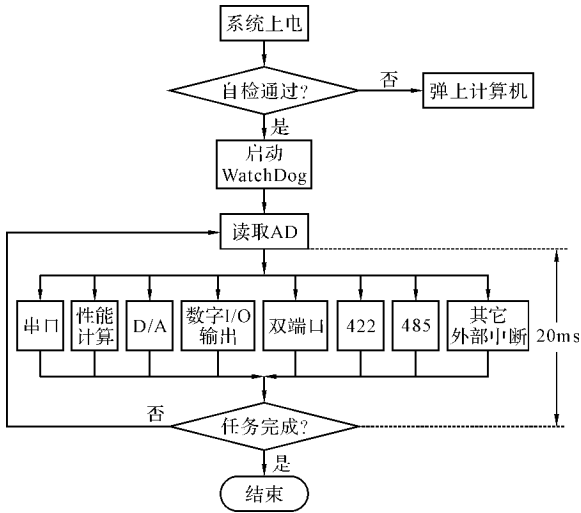


图3 软件系统总体流程图

## 4 系统的集成测试与调试

JTAG 是 IEEE 的一个标准,即 IEEE1149.1。通过这个标准,可以对具有 JTAG 接口芯片的硬件电路进行边界扫描和故障检测。JTAG 仿真器连接比较方便,不占用片上的资源,仿真非常接近于目标硬件系统。使用主机调试器配合 JTAG 仿真器进行开发是目前使用最多的一种 ARM 调试方式。

由于硬件系统提供了 JTAG 接口,因此本系统通过仿真器使用 AXD 和 JTAG 对系统进行集成调试。

### 4.1 AXD(ARM eXtended Debugger)

AXD 是 ARM 系统调试方案的核心部分,该调试器可以为不同用户提供最为合适的调试功效。AXD 包含调试器的所有功能,例如汇编语言和 C、C++ 的原代码单步调试、全速运行;包括简单和复杂断点设置、观察点和跟踪点设置、寄存器、内存和堆栈察看、命令行接口等,使开发者可以迅速方便地实现软件的调试。

## 4.2 系统采用的调试方法

系统使用 C 语言和汇编语言开发,进行调试的步骤如图4所示。

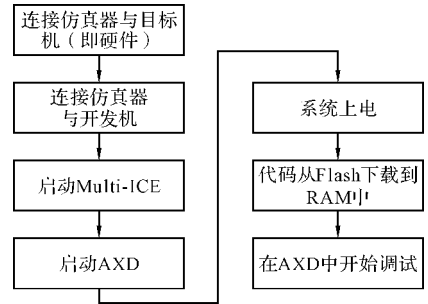


图4 系统的集成调试过程

## 5 小结

控制平台通过采用实时性嵌入式操作系统 VxWorks 实现和管理系统,构建了一个基于 AT91R40807 处理器的高性能计算平台,以满足系统的高速响应和实时特性。系统加入了 D/A 及 A/D 模块,在增强了系统数据处理能力的同时,使导弹具有较强的机动能力。整个电路采用模块化设计,可多单元连接。通过对处理单元进行软件编程就可满足各种系统功能,具有很强的扩展能力和通用性,同时也有较好的可靠性和抗干扰能力,为将来实现复杂的控制提供了高性能的计算平台。经实验测试表明,系统在复杂环境条件下,具有较高的实时性和可靠性,完全满足设计要求。

参考文献:

- [1] 赵育善,吴斌. 导弹引论[M]. 西安:西北工业大学出版社,2000.
- [2] 李清盛. 弹用小型燃气轮机控制综述[J]. 燃气涡轮试验与研究,1994(2):14-18.
- [3] 杜春雷. ARM 体系结构与编程[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [4] 李放敏. VxWorks 高级程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [5] 王金刚,宫宵霖,杨锡勋,等. 基于 VxWorks 嵌入式实时系统设计[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [6] 王学龙. 嵌入式 VxWorks 系统开发与应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.