

注：山东省交通科技创新计划项目（NO.2012A-03）；

交通运输部应用基础研究项目（NO.2014329817130）

摘要：研究了一种应用于工业测控的基于 μCLinux 的嵌入式智能节点设计方案，该节点采用 32 位嵌入式 ARM 微处理器和嵌入式实时操作系统，能够实现对现场数据的检测、控制，具有通用的网络化接口。该方案在保证控制任务完成的可靠性前提下，每个节点可以实现多路数据采集与控制，具有网络化监控的功能，从而可以将检测和控制节点集成在局域网中，提高了设备的自动控制的安全性、及时性，满足集成化、先进化对信息控制的新需求，具有较好的应用前景。

关键词：嵌入式系统； μCLinux ；网络节点

中图分类号：TP29

文献标识码：A

文章编号：1006-883X(2016)03-0028-05

收稿日期：2016-01-25

基于 μCLinux 的嵌入式智能节点的设计与实现

胡冠山 肖海荣

山东交通学院，山东济南 250357

一、引言

传统的用于工业现场监测的智能节点多是基于现场总线技术。由于自身技术的局限性以及多种总线标准分割共存局面的存在，现场总线技术在工控领域的进一步应用受到了限制^[1]。

基于 μCLinux 操作系统的网络化节点由嵌入式处理器、外围硬件、嵌入式操作系统及应用软件系统等组成，具有多路模拟量和开关量的实时采集与显示、可以通过上位机实现远程控制、完成数据采集记录、检测故障记录、上下限报警、历史数据记录、网络数据传输等功能。采用带有以太网接口和控制器的嵌入式节点为船舶设备的网络化数据采集和远程智能监控提供了硬件支持。

二、 μCLinux 系统移植

嵌入式控制系统需要一个实时的操作系统对系统控制节点进行管理。对内可以管理控制节点上各设备的运作和协调；对外则可以连接到 Internet。 μCLinux

不仅集成了 TCP/IP 协议，还有很丰富的其它网络协议，如 DHCP Server，webserver 等^[2]。

μCLinux 是一个源码开放的操作系统，具有良好的移植性，可以移植到不同的微处理器的开发板上。在编译系统内核时可以对内核重新配置和裁减，选择嵌入式设备所需的功能支持模块以减小内核大小达到在嵌入式系统有限资源的基础上实现所需功能。 μCLinux 的移植工作主要是用源代码建立交叉编译环境，对内核配置编译，制作文件系统，下载调试和执行内核后添加应用程序。可按以下步骤进行：

(1) 首先下载 μCLinux 源码包和交叉编译器，这里分别用的是 `uClinux-dist-20040408.tar.gz` 版本和 `arm-elf-tools-20030314.sh`。

(2) 将 `uClinux-dist-20040408.tar.gz` 拷贝到 `/home/` 下进行解压缩，在 `/home/` 下生成 `uClinux-dist` 目录。解压缩命令：`tar xvzf uClinux-ARMSYS-20040801.tar.gz`

(3) 进行补丁文件的安装。

把补丁文件 `uClinux-20040408.patch` 文件拷贝到

uClinux-dist 目录下, 运行命令: patch-p0<uClinux-20040408.patch。分别在 uClinux-dist/linux-2.4.x 目录和在 uClinux-dist/config 下生成内核配置文件 kernel_44b0.cfg 和用户配置文件 user_44b0.cfg。

(4) 安装交叉编译器: 将 arm-elf-tools-20030314.sh 拷贝到根目录, 运行安装: sh arm-elf-tools-20030314.sh。它将会安装在 usr/local/ 目录下。

(5) 内核的配置: 在目录 uClinux-dist 下, 运行 make menuconfig 命令进行开发板、芯片、版本号和库文件设置, 这里我们依次选为 Samsung、4510B、linux-2.4.x 和 µClib。

进入内核定制界面, 选项“载入内核配置文件”, 选中该项并回车, 这时输入配置文件 kernel_44b0.cfg, 因为在打补丁时该文件已生成在默认目录下, 此处只需将文件名输入。

随后是载入配置文件 user_44b0.cfg 后对用户应用程序的界面配置。为了使内核映像和根文件映像占用空间较小, 可以把不需要的一些应用程序去掉。配置完毕后退出并保存。

(6) 对内核进行编译, 烧入压缩格式的内核映像文件。

编译完成后将在 uClinux-dist/image 下生成 image.ram, image.rom, romfs.img 三个映像文件, 把它们改成后缀名为 .bin 格式的文件烧入 Flash 中。

(7) 应用程序的添加: 在 uClinux-dist/user 目录下新建目录, 编写自己的应用程序, 配置编译后即可下载到开发板 Flash 中。

三、嵌入式网络节点的硬件电路设计

1、节点构成

系统核心控制器件是 32 位 RISC 处理器 S3C44B0X。具有丰富的片上外设, 有可选择的 8KBCache, 内部 SRAM、LCD 控制器、2 通道

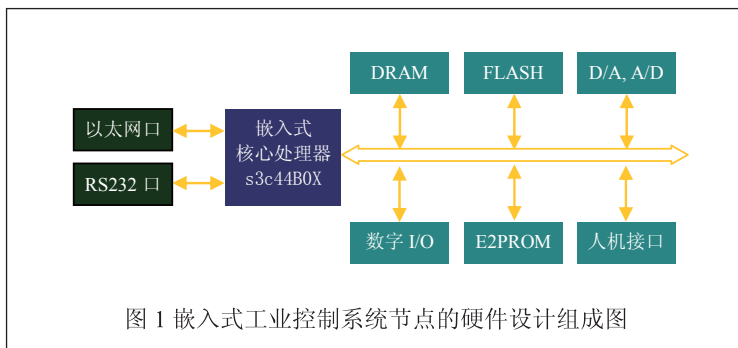


图 1 嵌入式工业控制系统节点的硬件设计组成图

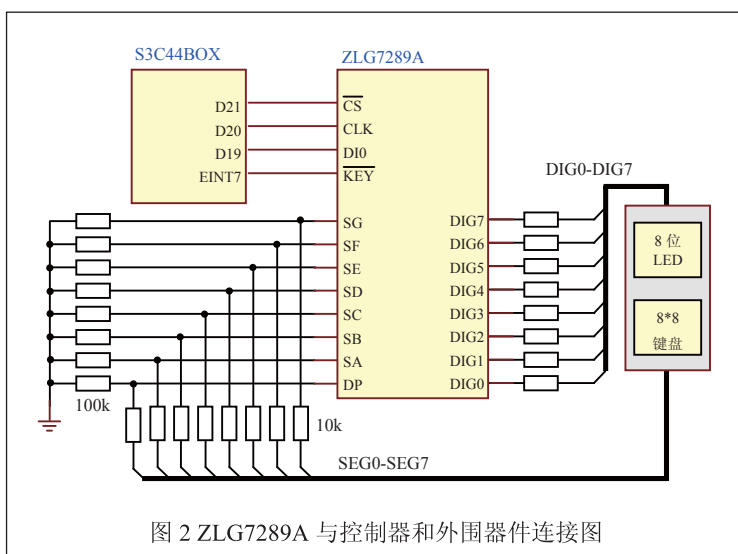


图 2 ZLG7289A 与控制器和外围器件连接图

UART、4 通道 DMA、系统管理器、5 通道带 PWM 的定时器、I/O 口、8 通道 10 位 ADC 和 PLL 倍频器。S3C44B0X 通过提供全面的、通用的片上外设, 大大减少了系统中除处理器以外的元器件配置, 从而最小化系统的成本, 并提高了系统的可靠性^[3]。嵌入式工业控制系统节点的硬件设计组成如图 1 所示。

系统使用了 4MB 的 Flash 只读存储器, 8MB 的 DRAM。嵌入式操作系统、应用程序的代码和文件系统存储在 Flash 中, 用 RTL8019AS 以太网控制器为嵌入式控制器扩展了一个以太网端口。由于在系统运行时需要存储一些可配置信息, 如本地 IP 地址、服务器 IP 地址、数据采集计划和决策、运行方式等, 使用了串行 E2PROM 存储各种配置信息。S3C44B0X 自身具有 10 位 A/D 转换器、PWM 信号输出和多个 I/O 口, 故对工业现场的各种设备进行数据采集和监控时, 只要将相应的传感器信号接入控制器的端口即可。

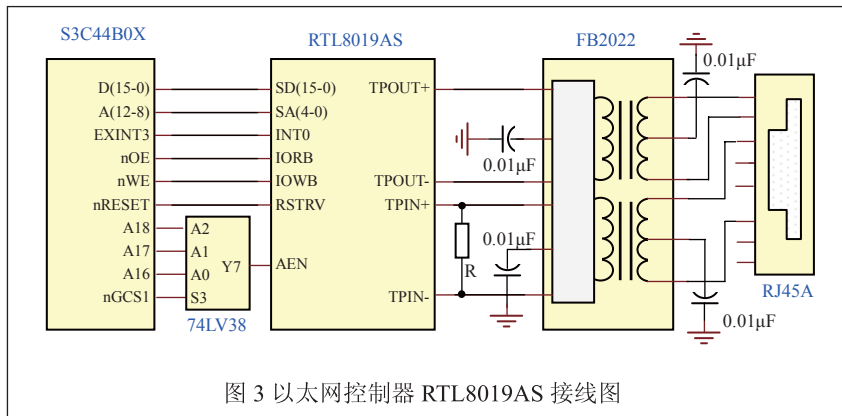


图 3 以太网控制器 RTL8019AS 接线图

读写，nRESET 控制网卡的复位，FB2022 起变压滤波的作用，TPIN+、TPIN- 为接收线，TPOUT+、TPOUT- 为发送线，通过隔离变压器与以太网接口 RJ45 连接，通过标准带 RJ45 插头的双绞线接入以太网，实现与主机进行接收和发送数据报等工作。

RTL8019AS 工作于中断方式下，当接收到数据时通过 INTO 输出低电平信号发出中断，处

理器输出片选信号和读信号，选中以太网控制器，从 RTL8019AS 内部 RAM 读取数据。

2、人机界面

系统配备了键盘和 LED 接口，具有良好的人机界面。采用 zlg7289A 芯片通过串行方式与微处理器 S3C44BOX 进行通讯实现键盘扫描和 LED 的显示，接线如图 2 所示^[4]。

ZLG7289A 具有 SPI 串行接口功能的可同时驱动 8 位共阴式数码管或 64 只独立 LED 的智能显示驱动芯片，该芯片同时还可连接多达 64 键的键盘矩阵，单片即可完成 LED 显示、键盘接口的全部功能。图中将 S3C44BOX 的 EINT7 与 ZLG7289A 的 KEY 链接，利用外部中断方式判断有无键按下；D19-D20 分别作为数据传输、时钟和片选输入与 ZLG7289A 连接；SEG0-SEG7 作为 LED 段控制，DIG0-DIG7 为位控制，同时还可以作为键盘矩阵。

S3C44BOX 内有两个串口控制器 (UART)，利用它在本系统中实现一个 RS-232 接口，既可作为系统开发时的串口调试之用，也可以作为产品的扩展通信接口。采用的电平转化芯片是 MAX232，把 3.3V 的逻辑电平转换为 RS232 逻辑电平，进行传输。

3、网络接口

RTL8019AS 是带有即插即用功能的全双工以太网控制器，在一块芯片上集成了 RTL8019 内核和一个 16KB 的 SDRAM 存储器。图 3 用 RTL8019AS、FB2022 设计的以太网接口电路。

图中 74LV138 是 3-8 译码器，FB2022 是隔离变压器。该电路使用外部中断 EXINT3，处理器的片选信号 nGCS1 和 A16、A17、A18 通过 74LV138 输出为网卡的使能控制端。nOE 和 nWE 控制网卡的

4、模数转换

对于需要进行模拟量控制输出的场合，采用外部 D/A 转换器实现对执行器的控制信号，设计中选用 10 位 TLV5617A 数模转换器实现，连接原理如图 4 所示。

TLV5617A 是带有灵活 3 线串行接口的双 10 位电压输出数 / 模转换器 DAC 串行接口，它可用含有 4 个控制位和 10 个数据位的串行 16 位字符串编程。通过 S3C44BOX 的 I/O 线对 DAC7512 写转换数据。 \overline{CS} 引脚的下降沿开始将数据一位接一位 (从最高有效位开始) 转移到在 SCLK 引脚的下降沿上的内部寄存器中，在 16 位数据传送完或 \overline{CS} 上升时，转移寄存器的内容被移入目标锁存 DACA 或 DACB 缓冲器中，这取决于数据字中的控制位。

四、系统软件设计

1、软件功能

嵌入式网络节点的软件模块主要分为：网络通信模块、数据发送模块、任务模块、数据处理模块、数

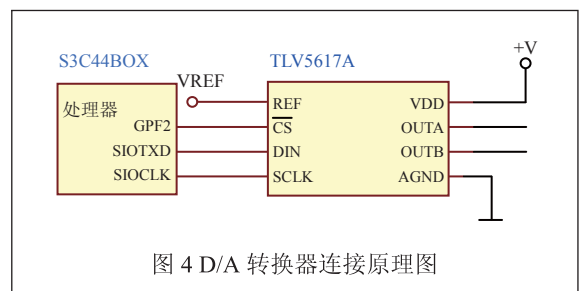


图 4 D/A 转换器连接原理图

据接收模块和辅助功能模块。

网络通信模块主要担负与远程计算机或上位机的通信功能,进行网卡芯片初始化,网络协议栈的移植,完成数据上传与接受。当有数据过来,通过本地 DMA 将数据从网线拷贝到网卡接收缓冲区,当缓冲区满时,再通过远程 DMA 将数据拷贝到内存供处理器处理。

数据处理模块包括模拟节点数据采集算法,完成数据的预处理和分析功能。

数据接收模块解析接受到的远程主机的数据帧,调用各个模块完成不同的功能。

任务模块主要接受上位机来的监测任务,根据任务要求,对现场的各个通道的数据进行切换、监测和控制。由此,智能节点根据任务自主地完成对现场数据的监控。

辅助功能模块完成智能节点的设置、历史数据记录、设置看门狗等辅助性功能。

2、网络节点的工作模式

嵌入式智能节点流程如图 5。

采用被动模式和主动模式完成和上位机的通信及

监控功能,两种方式是交互进行的。系统上电后节点首先是处于被动工作模式下,处于查询状态,在与远程主机完成确认之后,程序等待远程计算机的指令。接收到指令后,判断指令类型,转入相应的子程序。

嵌入式智能节点主动工作模式下自主地实现本地节点任务中规定工作,例如接收人机接口输入设定,采集现场数据,根据要求进行 PID 运算,通过与嵌入式控制器相连接的执行机构完成现场参数控制,数据记录报警等。

五、总结

本文设计的嵌入式网络节点已经在船舶柴油机气缸冷却水温度控制中得到应用测试,完成了对冷却水的温度检测、控制和远程监控,具有良好性能和效果。所设计智能节点的控制器数据处理能力和速度得到较大提高,试验测试冷却水温度的就地控制精度达到 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$,精度较之原单片机系统提高一倍;采用 TLV5617A 数模转换器能够使控制参数输出精度达到 0.1%,调节阀机构动作更准确;所设计以太网口的数据吞吐能力较大,远程传送速度大大提升,远程主机及时准确的接收到现场数据。由此可见采用网络化的智能节点便于在大范围内共享资源,形成丰富的数据库,实现对各数据点的网络化。嵌入式的应用增强了系统性稳定性、开放性、灵活性及便于软件移植和升级等特点,在工业测控领域具有很好的发展潜力和应用前景。

数据吞吐能力较大,远程传送速度大大提升,远程主机及时准确的接收到现场数据。由此可见采用网络化的智能节点便于在大范围内共享资源,形成丰富的数据库,实现对各数据点的网络化。嵌入式的应用增强了系统性稳定性、开放性、灵活性及便于软件移植和升级等特点,在工业测控领域具有很好的发展潜力和应用前景。

参考文献

- [1] 高红玉,徐建城,曾成奇.基于 ARM 的 CAN 总线智能节点的设计[J].电子技术应用,2005(4):77-78.
- [2] 何永琪.嵌入式 Linux 系统实用开发[M].北京:电子工业出版社,2010.
- [3] 刘凯.ARM 嵌入式应用技术基础[M].北京:清华大学出版社,2009.
- [4] 广州周立功单片机发展有限公司.ZLG7289 操作说明手册[Z]

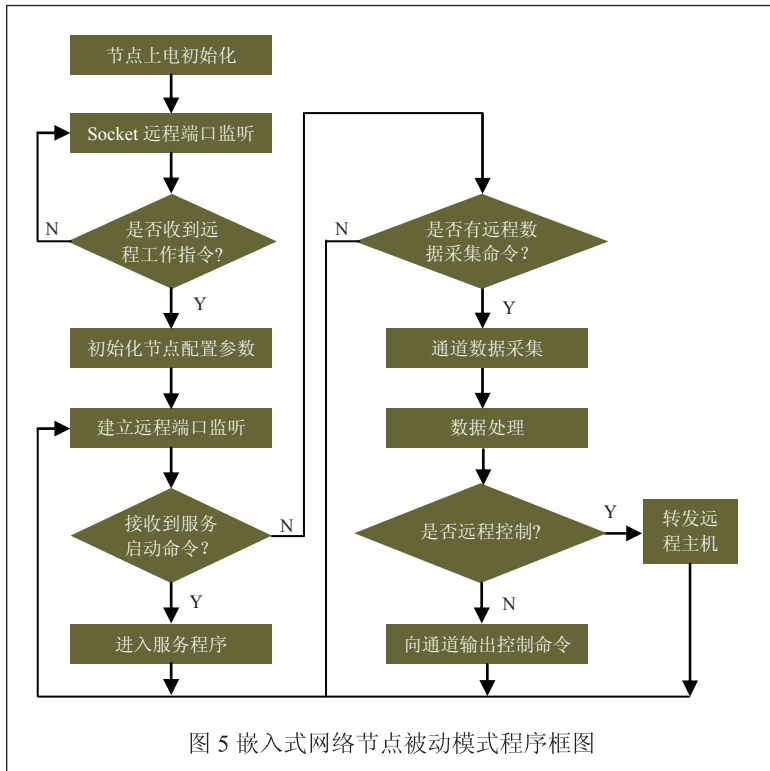


图 5 嵌入式网络节点被动模式程序框图

Design and implement of intelligent embedded nodes based on μ CLinux

HU Guan-shan, XIAO Hai-rong

(Department of Information Technology, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China)

Abstract: A design scheme of intelligent embedded nodes based on μ CLinux is given aiming at the on-site network requirements of current automation and control systems in this paper, which adopts 32-bit embedded ARM microprocessor and embedded real-time operating system to realize the detection and control of field data. The system has general Ethernet interface to improve the remote data transmission speed. Under the premise that guarantees the reliability of the control tasks to be completed, every node in system realizes multi-channel data acquisition and control and has the function of network monitoring to

keep node test and control integrated in LAN, thereby the security and timeliness of automatic control of equipments are increased and the requirements of integration and advanced for information control are meet. The system has good application prospects in application.

Keywords: embedded System; μ CLinux ; Ethernet node

作者简介

胡冠山, 山东交通学院, 副教授, 研究方向: 船舶自动化、传感器及先进测控技术

通信地址: 山东省济南市长清大学科技园山东交通学院信电学院

邮编: 250357

邮箱: hugshan@126.com。

肖海荣, 山东交通学院, 教授, 研究方向: 船舶自动化、传感器及先进测控技术