

油井监控系统传输层设备 RTU 的设计与实现

王文星¹, 梁华庆¹, 曹旭东¹, 李凤民², 潘居臣²

(1. 中国石油大学(北京)地球物理与信息工程学院, 北京 102249;

2. 中国石油华北油田数据中心, 河北任丘 062552)

摘要: 油井监控系统可实现对油井数据的实时采集、传输、显示与控制; 文章首先提出了一种油井监控系统的分层结构方案; 然后, 重点介绍了传输层设备 RTU (remote terminal unit) 的硬件设计与软件开发; 运用嵌入式开发技术, RTU 采用 ARM 处理器作为核心控制器, 选用 Linux 作为内嵌的操作系统; 最后, 对 RTU 应用程序的设计进行了描述; 与其他监控系统相比, 文章所设计的系统具有兼容性好、容易移植、接口丰富、易拓展的特点; 并可支持 IPv4/IPv6 双栈协议, 以适应下一代互联网技术在智慧油田的应用。

关键词: 油井监控系统; RTU; ARM; Linux; IPv4/IPv6 协议

Design and Implementation of Transport Layer RTU of Oil Well Monitoring System

Wang Wenxing¹, Liang Huaqing¹, Cao Xudong¹, Li Fengmin², Pan Juchen²

(1. China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Data Center of PetroChina Huabei Oilfield, Renqiu 062552, China)

Abstract: Oil well monitoring system can realize the acquisition, transmission, display and management of oil well data. Firstly, the overall structure of oil well monitoring system is proposed in the paper. Then, the hardware design and software development of the transport layer device—RTU (Remote Terminal Unit) are introduced in detail. With the technology of embedded development, an ARM processor is used as core controller and Linux is adopted as embedded operating system. At last, the design of RTU's application is described. Compared with other monitoring system, the designed system features good compatibility, great transplantation, rich interface and easy expansion. What's more, it supports IPv4/IPv6 dual stack to accommodate the next generation of Internet technology in the intelligent oil fields.

Keywords: oil well monitoring system; RTU; ARM; Linux; IPv4 and IPv6 dual stack

0 引言

油井监控系统是测控技术在油田中的应用, 它实现了油田现场参数的实时采集、传输、显示与控制, 提高了生产管理效率, 对于保证油田的稳定和安全生产具有重要意义^[1-2]。随着数字油田的发展以及下一代互联网的推广应用, 传统的监控系统已经不能满足发展的要求。本文采用嵌入式技术, 提出了一种油井监控系统传输层设备 RTU 的设计方案。在硬件上, 选用高性能嵌入式处理器 ARM9 作为 RTU 的核心控制器, 速度快, 资源丰富, 易于拓展; 在软件上, RTU 内嵌 Linux 操作系统, 易移植, 协议标准, 并支持 IPv4/IPv6 双栈协议, 以满足下一代互联网技术在智慧油田应用的需求。

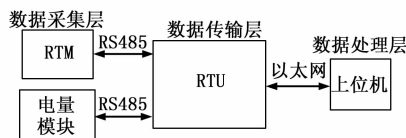


图1 油井监控系统结构

1 系统总体结构

如图1所示, 油井监控系统采用分层结构, 由数据采集层、数据传输层设备 RTU、数据处理层组成。数据采集层包含了油水井参数采集模块 RTM 和电量模块。RTM 模块完成油水井的温度、压力、流量、载荷、位移等现场参数的采集; 电量模块完成三相电流电压、功率、有功、无功、功率因数等参数的采集。数据传输层设备 RTU, 一方面向数据采集层发送命令获得数据, 另一方面通过以太网连接上位机, 并把数据上传给上位机。上位机位于数据处理层, 它管理和控制所有的 RTU, 实时地显示、存储数据, 以此来实现对油水井的实时监控。

采用分层结构, RTU 只负责数据采集层的控制以及数据传输, 并不直接采集数据, 避免了 RTU 直接连接种类和数量众多的油田现场传感器, 便于系统的更新、拓展和升级。

2 RTU 功能的实现

所设计的 RTU 具有如下 3 个特点:

1) 采用嵌入式技术开发, 使用 AT91SAM9263 作为核心控制器, 内嵌 Linux 操作系统。

2) 采用标准协议, RTU 与数据采集层, RTU 与上位机的通信协议均为标准的 MODBUS 协议, 与其他支持 MODBUS 协议的设备能良好兼容。

3) 支持 IPv4/IPv6 双栈协议, 以适应下一代互联网技术在智慧油田的应用。

收稿日期: 2014-08-21; 修回日期: 2014-10-10。

基金项目: 国家发改委下一代互联网技术在智慧油田的应用示范项目(CNGI-12-03-043)。

作者简介: 王文星(1988-), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事信号的检测与处理方向的研究。

2.1 RTU 硬件设计

RTU 硬件结构如图 2 所示。

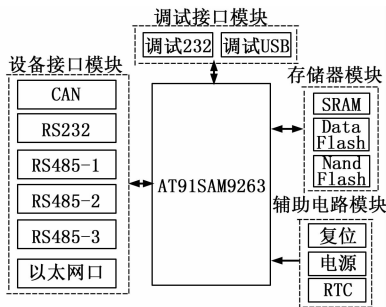


图 2 RTU 硬件结构图

2.1.1 主控芯片的选择

主控芯片为 ATMEL 公司的 AT91SAM9263，它属于 ARM9，其主频是 200 MHz，速度快，片内集成了 RS232、RS485、CAN、USB 等多种外设接口，并具有低价格、低功耗、高性能等特点。

2.1.2 存储器模块的设计

存储器模块由一个 64 M 的 SRAM、一个 128 M 的 Nand Flash、一个 2 M 的 Data Flash 构成。SRAM 是系统的内存，Nand Flash 是系统主要的存储器，Data Flash 容量较小，可以存储启动程序，一般用来辅助系统启动。

2.1.3 设备接口模块的设计

设备接口模块有一路 CAN 接口，一路 232 串口、三路 485 串口和一路以太网口。

以太网硬件连接原理图如图 3，利用 AT91SAM9263 集成的以太网控制器连接一个以太网物理层芯片 DM9161BI，同时为了抗干扰、增强信号并保护电路，使用了一个网络变压器 H1102。接线端子采用标准的 RJ-45 口。

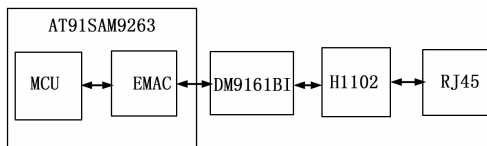


图 3 以太网口硬件连接原理图

RS485 串口硬件连接原理图如图 4，利用 AT91SAM9263 集成的 USART 端口连接 RS485 收发器 SP3485EN。

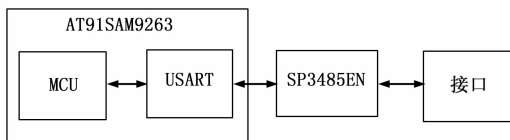


图 4 RS485 串口硬件连接原理图

2.2 RTU 操作系统的移植

2.2.1 内核的移植

系统内核选择 Linux，它是一种性能优良、源码公开且被广泛应用的操作系统，由于它拥有体积小、可裁剪、运行速度高和网络性能好等优点，在嵌入式领域得到了广泛的应用^[3]。

本系统所用内核版本为 linux-2.6.30，内核的移植一般要经过配置、编译和下载 3 个步骤。具体操作过程如下。

1) 修改内核 Makefile 文件：

修改内核 Makefile 文件中的硬件平台为 ARM，交叉编译器为 arm-none-linux-gnueabi-gcc。

2) 重新设置晶振频率和 MTD 分区：

在内核源代码 linux-2.6.26/arch/arm/mach-at91/board-sam9263ek.c 文件中设置新的晶振频率和 MTD 分区。

3) make menuconfig 配置内核：

内核配置的主菜单包括内核特点、启动选项、网络、设备驱动等，下面列出其中比较重要的几项，其他选项根据实际需要进行配置。

```
System type->
ARM system type (Atmel AT91)->
[X] Atmel AT91
system type->Atmel AT91 System-on-chip->
Atmel AT91 Process->
AT91SAM9263
File systems->
Miscellaneous filesystems->
< * > JFFS2 support
[*] JFFS2 write-buffering support
[*] JFFS2 summary support
Device Drivers->
< * > Network device support->
PHY Device support and infrastructure->
< * > Drivers for Davicom PHYs
Networking support->
Networking option->
< * > The Ipv6 protocol //添加 Ipv6 协议支持
```

4) 编译内核，下载到 RTU 中，完成内核的移植。

2.2.2 根文件系统的移植

本系统根文件系统的类型为 jffs2，它是一种闪存型日志文件系统，可读可写，广泛应用于 NandFlash 中。

移植根文件系统的操作步骤如下。

1) 建立根文件系统目录：

建立的系统目录有：bin、dev、etc、lib、proc、sbin、sys、usr、mnt、tmp、var。

2) 建立动态链接库：

拷贝根文件系统要用的动态链接库到新建的根文件目录 lib 内。

3) 在 dev 目录下，创建 console 和 null 设备节点：

内核在启动时需要 console 和 null 这两个设备节点，所以先在根文件系统中手动创建。

4) 配置 etc 目录文件：

etc 目录包含了系统启动用到的所有配置文件。本系统 etc 目录下用到的配置文件及功能如下：

inittab 是系统启动的第一个配置文件，定义了系统的启动级别。

rcS 是一个启动配置的脚本文件，用 shell 语言编写，它的作用包括定义环境变量，挂载各种文件系统，创建设备节点，启动一系列服务，配置网络等等，配置网络又包括配置 Ipv6 和 Ipv4 地址。

5) 配置 busybox，编译安装后拷贝命令工具到 bin，sbin

目录下。

本系统所用 busybox 的版本为 busybox-1.17.2, busybox 的配置过程与内核类似, 可以通过配置菜单添加或删除各种功能。本系统用到的几个重要的选项如下:

- Build options->
- Build BusyBox as a static binary (no shared libs)
- Init Utilities->
- Init
- Supporting reading an inittab file
- Linux System Utilities
- Sysv system
- Mount
- Umount
- Support mounting nfs file systems
- Support /etc/fstaband -a
- Support lookback mount
- Shell->
- Ash
- Networking utilities
- Enable Ipv6 support //添加 Ipv6 协议支持

6) 制作成 jffs2 文件系统镜像, 下载到 RTU 中, 完成文件系统的移植。

2.3 应用程序的开发

RTU 的应用程序是用 C 语言开发的, 用到了大量的 Linux 下的 API 函数。RTU 处于传输层, 与下位机 (即数据采集层) 的通信协议是 MODBUS/RTU, 与上位机 (即数据处理层) 的通信协议是 MODBUS/TCP, 开发应用程序的关键即是实现这两个协议。

程序流程如图 5 所示, 系统上电后初始化, 包括打开定时器, 打开串口, 配置串口等。之后, 主线程开辟两个子线程, 子线程 1 实现了 MODBUS/RTU 协议, 子线程 2 实现了 MODBUS/TCP 协议。

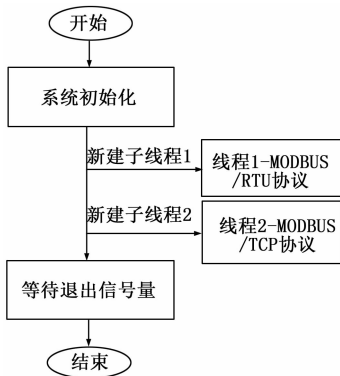


图 5 应用程序结构

2.3.1 MODBUS/RTU 协议的实现

MODBUS/RTU 协议是 RTU 与下位机之间的通信协议, 物理接口为 RS485。

1) MODBUS/RTU 数据格式:

MODBUS/RTU 协议帧由地址域、功能码、数据和 CRC 校验组成, 其中 CRC 校验码采用 CRC16 校验。

本系统用到的功能码有: 0x01 (读多路线圈状态)、0x0f (写多路线圈状态)、0x03 (读多路保持寄存器)、0x10 (写多

路保持寄存器)。线圈地址表主要定义了四个线圈地址, 对应了 RTM 的四个继电器, 保持寄存器表主要定义了五个寄存器地址, 对应了 RTM 板的五路 AD 采集数据, 分别代表油温、油压、流量、载荷和位移, 此外保持寄存器表中还有一些辅助功能, 包括串口参数和 AD 采集参数等等^[4]。

2) 程序实现:

MODBUS/RTU 是一种主从应答协议, RTU 为主站, 下位机为从站。如图 6 所示, RTU 主动向从站发送请求, 然后等待接收应答, 若接收应答未超时, 则检查接收的数据格式是否合法, 若合法, 则处理数据, 一次正常的通信过程结束。

假如由于某些原因, 在等待接收应答过程中, RTU 在一段时间内未能接收到从站的响应, 那么判断为超时, 进入异常处理; 或者, 接收到数据后, 数据格式非法, 同样进入异常处理, 最终系统调用异常处理函数处理异常。

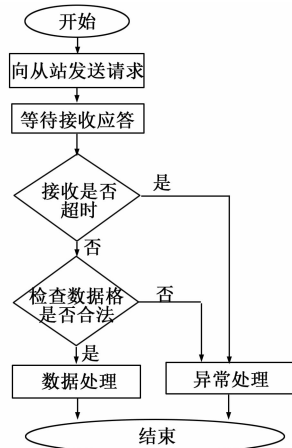


图 6 MODBUS/RTU 流程图

2.3.2 MODBUS/TCP 协议的实现

MODBUS/TCP 协议是 RTU 与上位机进行通信的协议, 它建立在 TCP/IP 协议基础上, 与 MODBUS/RTU 相比, 在数据格式和通信机制方面都有所不同, 物理接口为以太网口。

1) MODBUS/TCP 数据格式:

与 MODBUS/RTU 相比, MODBUS/TCP 的 MBAP 报文头代替了 MODBUS/RTU 的地址域, 另一方面, 因为 TCP/IP 协议已经保证了数据的可靠性传输, 所以 MODBUS/TCP 协议不需要 CRC 校验。

2) 程序实现:

RTU 与上位机的通信模型为 C/S 模型, RTU 为服务器, 上位机为客户端, 整个程序由 TCP 连接管理和数据通信任务两部分组成。

如图 7 所示, 在 TCP 连接管理任务中, 分别建立 IPv4 和 IPv6 的 socket, 绑定本地的 IPv4 和 IPv6 地址后由 accept 函数等待 IPv4 和 IPv6 的连接。

RTU 与上位机建立连接后进入数据通信任务中, 数据通信任务流程如图 8 所示。RTU 首先等待接收上位机的请求, 收到请求后检查数据格式是否合法, 若合法则处理上位机的请求, 处理正常后生成正常应答包并发送给上位机, 一次正常的通信过程结束。若数据格式非法或处理异常, 则生成异常应答包并发送给上位机。

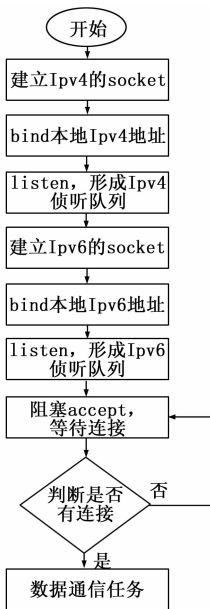


图 7 TCP 连接管理流程图

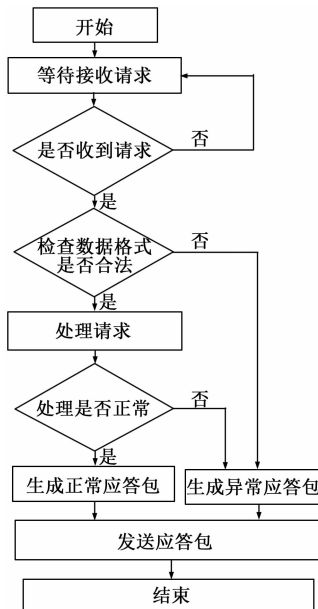


图 8 数据通信任务流程图

2.4 IPv4/IPv6 双栈协议的实现

为适应下一代互联网技术在油田的应用，需要所设计的 RTU 支持 IPv4/IPv6 双栈协议。

IPv4 和 IPv6 双栈协议的实现已在前文中做了介绍，在此将主要步骤总结如下：

- 1) 在内核中添加 IPv4 和 IPv6 协议。
- 2) 在 busybox 中添加 IPv4 和 IPv6 协议，在文件系统的配置文件中配置 IPv4 和 IPv6 地址。
- 3) 在应用程序中分别建立 IPv4 和 IPv6 的 socket。

3 结束语

所设计的系统经过联调与测试，操作系统启动正常，RTU 应用程序运行良好。相对于原有的 RTU，本系统的突出优势是：1) 采用 ARM 处理器为核心控制器，内嵌 Linux 操作系统，增强了系统整体性能；2) 支持 Ipv4/Ipv6 双栈协议，

使得系统既可用于油田目前的基于 Ipv4 的网络，又可适应基于 Ipv6 的下一代互联网。

参考文献：

- [1] 何翠兰, 王清华. 油井监控系统在油田领域的应用 [J]. 内蒙古石油化工, 2005 (7): 96 - 97.
- [2] 李 永. 嵌入式智能油井监控系统的设计与开发 [J]. 科学技术与工程, 2012 (9): 42 - 43.
- [3] 向 铸, 吴光敏. 基于 S3C2410 的嵌入式 Linux 操作系统移植 [J]. 微处理机, 2010 (6): 41 - 44.
- [4] 张 桂, 金国强, 李辉基. 基于 ARM 平台 MODBUS/RTU 协议的研究与实现 [J]. 电力科学与技术, 2011 (1): 23 - 27.
- [5] 陈梓馥, 孙万蓉, 董明明, 等. 基于 ARM9 的 RTU 设计 [J]. 物联网技术, 2012 (3): 54 - 58.
- [6] 董明明. 基于 RTU 油井远程测控系统的数据采集与传输层设计 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.

(上接第 1511 页)

插入图表，柱状图，就可以很清楚直观的看到不同灰阶之间切换的响应时间。柱子越高代表响应时间越慢，越低代表响应时间越快。至此就得到了我们需要的灰阶响应时间数据和图表了。

5 结论

用综合测试仪 (DMS) 与 FPGA 系统结合，用上位机软件对于 DMS 和 FPGA 进行同步。采用这个方案可以自动完成灰阶响应时间的测量，可以在无需额外购买测试设备的情况下快速准确的测试灰阶响应时间，测试一组灰阶响应时间仅需几分钟。该方案自动测试速度快，准确性高。对于 LCD 灰阶响应时间的测量和研究具有很强的实用价值。

参考文献：

- [1] 赵 丽, 邢 潇, 刘泽华. 基于 DSP 和 ARM 的便携式脑电信号处理系统的实现 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (9): 2981 - 2982.
- [2] 李维颢, 郭 强. 液晶显示应用技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [3] 王 鹏, 吕志刚, 杜卫东. 基于 FPGA 与 ARM 的多路时序控制系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2012 (6): 1540 - 1543.
- [4] 高 策. 光度测量图像智能阈值降噪方法 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (9): 3028 - 3030.
- [5] 唐惠玲, 徐 虎, 翁文威, 等. 测试参数可视化设置的 TFT LCD 电性能检测系统设计 [J]. 液晶与显示, 2012 (6): 856 - 860.
- [6] 姚 军, 吕颖琦. 液晶显示器响应时间光电自动测量仪 [P]. 中国专利: 200510049606.5, 2005 - 9 - 28.