

基于 ARM+Linux 架构智能油气水井物联网系统设计

王 森, 曹旭东, 魏文龙, 吴晓珊

(中国石油大学(北京)地球物理与信息工程学院, 北京 102249)

摘要:及时、准确、直观地了解每口油井的工况,对于确保生产安全、提高生产效率、做出正确生产决策等都有重要的理论和现实意义;文章提出了一种智能油气水井物联网系统的设计方案,重点介绍了系统硬件结构以及嵌入式系统软件设计;智能油气水井物联网系统采用 ARM+Linux 架构设计,支持 IPV4/IPV6 双栈协议,集成了 Zigbee、WiFi、RS485、CAN 等感知层信息采集接口,支持与不同生产厂家、多种不同的通讯方式的各类井口传感器实现数据交互;与其他系统相比,文章所设计的系统具有更快的处理速度、更高的可靠性以及更好的兼容性,同时支持 IPV4/IPV6 双栈协议;最后,经过油田现场应用,实现了油气水井生产工况的实时采集、实时诊断、实时优化、实时控制、智能预测功能,油井的系统效率得到显著提高。

关键词:ARM+Linux 架构;IPV4/IPV6 双栈协议;ModBus

Design of Intelligent Internet of Things System of Oil, Gas and Water Wells Based on ARM+Linux Architecture

Wang Sen, Cao Xudong, Wei Wenlong, Wu Xiaoshan

(China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Knowing the working conditions of each well timely, accurately and intuitively is of important theoretical and practical significance for ensuring production safety, improving production efficiency and making correct production decisions; A design scheme of intelligent oil, gas and water wells Internet of Things system is proposed in this paper; The hardware structure of the system and the design of embedded system software are mainly introduced; The ARM+Linux architecture design of intelligent networking system of oil and gas wells, support IPV4/IPV6 dual stack, WiFi, integrated Zigbee, RS485, CAN etc. the perception layer information collecting interface, all kinds of sensors with different support wellhead manufacturers, a variety of communication methods to achieve data exchange; Compared with other systems, the system designed in this paper has faster processing speed, higher reliability and better compatibility, and supports IPV4/IPV6 double stack protocol. Finally, through field application, the real-time acquisition, real-time diagnosis, real-time optimization, real-time control and intelligent prediction function of oil and gas wells are realized, and the system efficiency of the oil well has been significantly improved.

Keywords: ARM+Linux architecture; IPv4 and IPv6 dual stack; ModBus

0 引言

及时、准确、直观地了解每口油井的工况,对于确保生产安全、提高生产效率、做出正确生产决策等都有重要的理论和现实意义。油田生产数字化控制与管理技术适应当前油田需求,是油田管理信息化、网络化、集成化和自动化的要求^[1],是安全、节能、高效的要求,是变革生产组织方式、油田管理方式和控制投资、降低管理成本的法宝。

智能油气水井物联网系统由感知层、传输层和应用层组成。感知层主要包括安装在生产系统上的各种传感器和控制设备,用于实现对生产运行状态的全面感知和各种生产设备的自动控制;传输层由无线传感网、专网等组成,支持 IPV4/IPV6 双栈通信协议,可实现数据的高速可靠传

输;应用层由各种用于油气水井生产分析与优化的油气田开发专业软件与专家知识库组成。

1 系统硬件结构

智能油气水井物联网系统由油井专用 RTU 模块、电量模块、数据采集 RTM 模块和一体化示功仪组成。RTU 为数据采集与传输核心,是连接数据中心和油田现场设备的桥梁。通过 RTU 统一管理同一油井上的所有设备或相邻区域的硬件设备,可有效提高数据传输的效率,减少数据传输通道,降低通信系统的传输负担,提高数据传输效率^[2]。RTU 通过现场总线 RS485 总线,与现场采集模块一体化示功仪、电量模块、RTM 模块相连,采集温度、压力、功图、电参量等信息;通过 IPV4/IPV6 协议,与数据中心实时数据库进行数据接口,将采集数据传输到监控中心实时数据库。

1.1 嵌入式 RTU 模块

RTU 是前端设备与后台系统数据传输沟通的中转站,也是硬件系统的核心所在,通过 RTU 统一管理同一油气水井上的所有设备或相邻区域的硬件设备,可有效提高数据

收稿日期:2018-01-14; 修回日期:2018-02-03。

作者简介:王 森(1993-),男,天津市人,硕士研究生,主要从事嵌入式微处理器的应用技术、计算机软件系统设计方向的研究。

传输的效率, 减少数据传输通道, 降低通信系统的传输负担, 提高数据传输效率。

兼容 IPV4/ IPV6 双栈协议油气生产物联网网关系统模块, 可以满足油井、注水井实时数据的采集、传输与控制。

考虑到嵌入式 RTU 的复杂功能和对硬件平台处理速度需求, 硬件平台的核心处理器选用 AT91SAM9263 的 32 位嵌入式处理器。嵌入式 RTU 系统根据功能进行模块划分, 由核心处理器模块、传感器网络接入模块、TCP/IP 网络模块、存储器模块和电源模块构成。

1) 核心处理器模块负责调控整个系统资源, 对 RTU 的上下行命令以及数据分别进行判断解析处理并对应用层协议进行解析转换^[3]。采用基于 ARM9 的 AT91SAM9263 处理器, 核心处理器上运行嵌入式 Linux 系统和基于此系统的应用服务程序, 完成系统各项服务功能, 包括数据接收、数据解析、命令发送、协议转换等功能。

2) 传感器接入模块在设备前端与各种类型的传感器实现数据的传输与通信, 兼容多种传感器设备, 可接入模块类型, 如 ZIGBEE 模块、RS485 模块和 CAN 设备等^[4]。

3) TCP/IP 网络模块将 RTU 连入公共网络进行通信。是支持 IPv4/IPv6 双协议栈的关键, RTU 通过网络模块将传感器子网数据通过 Ethernet 发送到井场中心控制室的客户端, 监控人员可通过客户端及时查看各油井的运行情况以及油井周围环境。

4) 存储模块主要由 DATAFLASH、NANDFLASH 和 SDRAM 存储设备组成。DATAFLASH 和 NANDFLASH 均为非易失性设备, 具有掉电不丢失信息的特性, 利用此特性, 分别用来存储系统开机引导程序以及 Linux 内核和根文件系统。SDRAM 即同步动态随机存取存储器, 特点是读写速率高, 用来提供 RTU 嵌入式 Linux 操作系统以及 RTU 应用程序正常运行所需的内存空间^[5]。

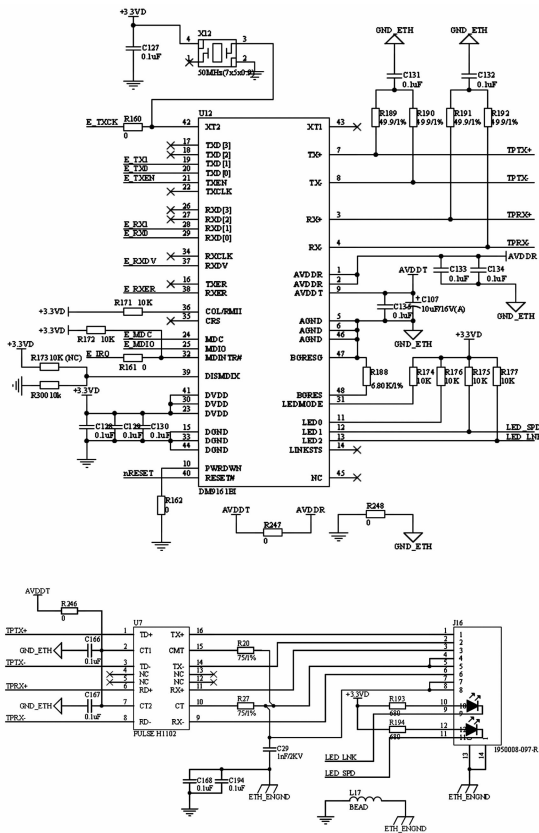
1.2 以太网接口电路设计

结合 McWill 无线模块和华为公司的 LTE 无线模块的设计特点, 系统以太网接口为标准的 RJ45 接口, 可以为远程无线通信模块提供 100 Mbps 的通信接口, 实现数据的快速传输和控制的实时进行。采用低功耗工业级的 DM9161BI 芯片, 保证网络通信的准确性, 同时采用网络隔离变压器 H1102 芯片, 为以太网通信提供隔离保护^[6]。如图 1 所示, 上方为 DM9161BI 芯片的原理图, 下方为隔离变压器 H1102 芯片的原理图, 通过电路的连接共同组成以太网接口电路设计原理图。

为保证通信的准确性, 以太网通信接口的接收和发送都是由差分对组成, TD+ 和 TD- 为发送数据差分对, RD+ 和 RD- 为接收数据差分对。在数据接收时, RD+ 和 RD- 组成模式接收器, 将以太网的电压转换成差分信号, 发送时的特性类似。对测控终端电路板的测试表明, 以太网接口电路的设计完全符合设计的要求。

2 嵌入式系统软件设计

由于整个智能物联网系统需要较快的处理速度以满足



依照模块化设计,为了功能模块化,linux 内核的网络协议栈也遵循了此思想。应用层函数会调用传输层的函数来实现传输层的协议,在本设计中用到的是 TCP 协议,之后传输层通过网络层提供的接口函数来完成网络层的 IP 协议。

2.1.1 IPv4 协议的实现数据发送的流程

当发送网络数据的时候,应用层协议会利用传输层的服务,传输层协议层模块最终会调用网络层的 `ip_queue_xmit()` 函数,此函数原型为 `int ip_queue_xmit(struct sk_buff *skb, int ipfragok)`,此函数中的参数会由传输层传递到此函数中。`sk_buff` 接口参数 `skb` 是构造此连接用于存储数据,参数 `ipfragok` 用于判断是否是分片了。

首先此函数会检测 `skb` 中是否已经含有了路由表,一般传输层的 STCP 协议会设置这个路由表,本设计用到的传输层协议为 TCP,所以会调用 `_sk_dst_check()` 函数,此函数用来检查路由表,如果没有建立路由表。之后会调用 `ip_route_output_flow()` 函数,此函数用于得到路由信息,继续向下会调用 `skb_push()`, `skb_reset_network_header()`, `ip_hdr()` 函数,也正是构造 IPv4 协议的关键之处,在此过程中会初始化 IPv4 数据报头,决定是否设置分片域,设置 TTL,协议类型,IPv4 源地址,数据地址字段。

完成以上步骤后调用 `ip_local_out()` 函数,此函数又会调用 `dst_output()` 函数,这个函数会将打包成 IPv4 协议的数据传给下一层,最后下一层协议会把我们的构造的 IPv4 协议的数据包发送到网络中去。

2.1.2 IPv6 协议的实现数据发送的流程

传输层会调用网络层的 `ip6_xmit()` 函数,此函数参数传输层会提供给它,此函数原型为 `int ip6_xmit(struct sock *sk, struct sk_buff *skb, struct flowi *fl, struct ipv6_txoptions *opt, int ipfragok)`,之后回调用函数 `skb_headroom()`,此函数用于检查报头空间,如果空间不够会调用 `skb_realloc_headroom()` 函数开辟空间。继续向下会调用 `skb_push()`, `skb_reset_network_header()`, `ip6_hdr()`, `ipv6_addr_copy()` 函数,也正是构造 IPv6 协议的关键之处,完成舒适化 IPv6 协议报头,决定是否分片,设置跳数,源和目的地址的任务,代码片段如下:

```
hdr = ipv6_hdr(skb);
/* Allow local fragmentation. */
if (ipfragok)
    skb->local_df = 1;
hlimit = -1; //填充 IPv6 报文头
if (np)
    hlimit = np->hop_limit;
if (hlimit < 0)
    hlimit = ip6_dst_hoplimit(dst);
tclass = -1;
if (np)
    tclass = np->tclass;
if (tclass < 0)
    tclass = 0;
```

```
* (__be32 *)hdr = htonl(0x60000000 | (tclass << 20)) | fl
->fl6_flowlabel;
hdr->payload_len = htons(seg_len);
hdr->nexthdr = proto; //设置下一头部协议
hdr->hop_limit = hlimit; //设置跳数
ipv6_addr_copy(&hdr->saddr, &fl->fl6_src); //设置
IPv6 地址
```

```
ipv6_addr_copy(&hdr->daddr, first_hop);
```

最后调用 `dst_output()` 函数,这个函数会将我们的构造的 IPv6 协议的数据包发送出去。

2.2 ModBus 协议的软件实现

RTU 处于传输层,一方面要控制底层采集模块,另一方面要和上位机进行通信^[9],所以本系统采用多线程同时执行多个任务。线程 1 实现了 MODBUS-RTU 协议,其中包含了发送命令任务和数据接收处理任务,而线程 2 实现了 MODBUS-TCP 协议,它包含了 TCP 连接管理任务和 MODBUS-TCP 数据通信任务。

ModBus 协议是一种应用层协议,设计的 RTU 等待客户端的连接,当客户端连接到 RTU 后,RTU 会进入循环程序等待客户端以 Modbus-TCP 方式下发的命令,并解析命令,并将 Modbus-TCP 命令转化成 Modbus-RTU 格式后通过 RS485 发送给传感器从而控制传感器的数据采集,之后接收来自传感器的 Modbus-RTU 格式数据,并完成 Modbus-RTU 协议到 Modbus-TCP 协议的转换工作,最后通过网口发送给客户端。

PC 客户端是通过网口与 RTU 进行通讯的,用到的应用层协议是 Modbus-TCP 协议,通过 SOCKET 编程接口来完成 Modbus-TCP 的数据发送和接收工作的。

RTU 是通过 RS485 串口与物理层进行通讯的,用到的应用层协议是 Modbus-RTU 协议,通过对 RS485 设备的控制来完成 Modbus-RTU 的数据发送和接收工作。

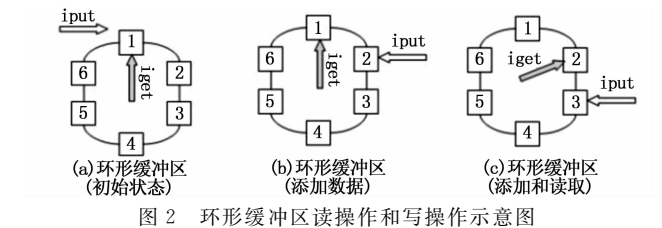
在程序中,我们还设置定时器以防 RTM 或电量模块等传感器因为上传问题而引起 RTU 程序阻塞。在每次 RTU 接收传感器数据到来前记录当前时间并设置一个超时时间,在每次 while 循环中来判断是否超时,比如传感器突然由于某种原因不工作了就会发生超时,程序就会跳出 while 循环并向客户端发送超时错误码。

2.3 环形缓冲区设计

系统设计中环形缓冲区,可理解为内存中的一段圆环形的数据存储空间,能够持续在此空间进行数据的读写操作。在使用过程中,首先会将外部输送的数据保存到缓冲区,再按照 MODBUS 协议将数据从其中读出,并对数据进行相应的计算操作。

由于系统底层有较多的传感器,所以在读取传感器数据的程序设计中有效地利用了环形缓冲区的优势,从而缩短了对传感器数据读取的时间,提高了软件系统整体的运行效率。

如图 2 所示为环形缓冲区读操作和写操作的流程示意图。在对环形缓冲区进行读写操作之前(初始状态),读、



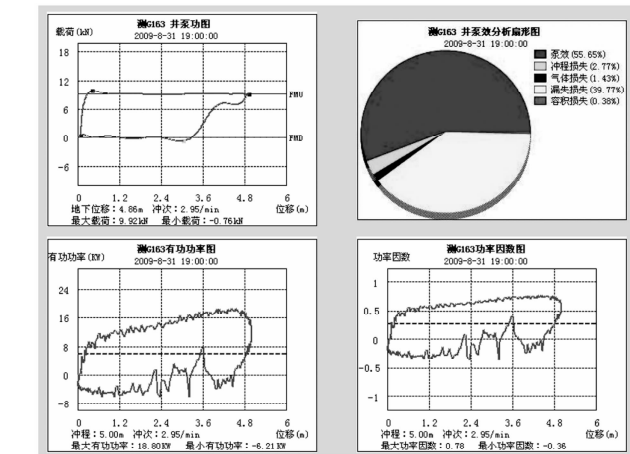
写指针同时处在申请的缓冲区的起始位置,也就是在图 2 (a) 所示“位置 1”处;当有数据写操作时,写指针也就是图中的 input 顺时针到了“位置 2”,而读指针仍然在“位置 1”保持不变,如图 2 (b) 所示;如果读和写同时发生时,则环形缓冲区的读和写指针分别顺时针移动,如图 2 (c) 所示。在环形缓冲区中,对数据的读和写就是按照这样的规律持续进行,互不干扰,节省了读写时间,极大地提高了系统的运行效率。

3 现场应用

设计的智能油气水井物联网系统,油田现场通过 RS485 总线,与现场采集模块一体化示功仪、电量模块、RTM 模块相连,采集温度、压力、功图、电参量信息;通过 IPV4/IPV6 协议,与数据中心实时数据库进行数据接口,将采集数据传输到监控中心实时数据库。

在华北、大港、青海等油田应用测试,现场系统工作正常,运行稳定,采集油井的温度、压力、功图、电量参数准确,数据可成功上传至监控中心实时数据库,完全满足油田需求。

监控中心数据分析发布平台调用实时数据库,能够及时有效地查询全部油井或指定油井数据信息,并通过数据进行实时诊断分析,计算产量^[10],同时可选择查询产量的历史信息,分析油井的产量波动情况。客户端实时分析诊断界面如图 3 所示。



提供功图的图形模式查询,直观形象的同时查看诊断多井功图信息。应用于结合功图算产数据,为油田工况分析诊断提供了依据^[11]。客户端图形查询功图界面如图 4 所示。

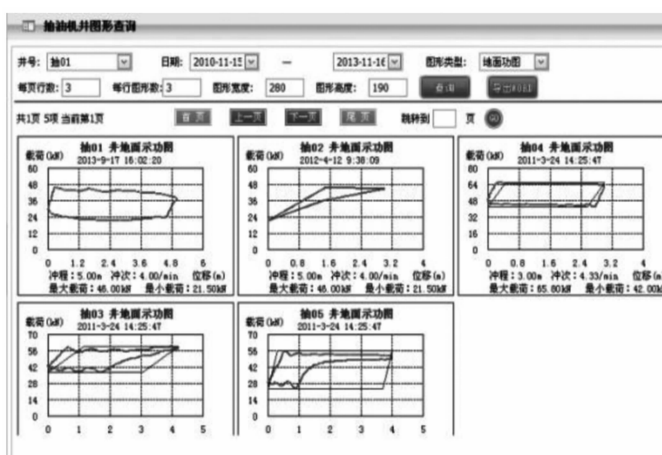


图 4 实时分析诊断

4 结束语

结合物联网技术理念与最新成果研发的智能油气水井生产物联网系统,采用 ARM+Linux 系统架构设计,系统支持 IPV4/IPV6 双栈协议,系统集成了 Zigbee、WiFi、RS485、CAN 等感知层信息采集接口,支持与不同生产厂家、多种不同的通讯方式的各类井口传感器实现数据交互。系统在华北、大港、青海等油田应用,实现了油气水井生产工况的实时采集、实时诊断、实时优化、实时控制、智能预测功能,油井的系统效率得到提高,同时对于提升油田整体开发水平具有积极的意义。

参考文献:

- [1] 刘润华, 钱占军, 汤清明. 杆抽油泵充满度的测量 [J]. 工业仪表与自动化装置, 1999 (4): 41.
- [2] 朱青青. 游梁式抽油机井下工况监测方法研究 [D]. 山东: 中国石油大学, 2009.
- [3] 姜民政, 王 慧, 高 源, 等. 变速驱动抽油机井运行参数变化规律研究 [J]. 石油矿场机械, 2010, 39 (1): 4-7.
- [4] 丁宝东, 张加胜. 基于 DSP 的游梁式抽油机变频控制系统研究 [J]. 控制工程, 2007, 14 (A1): 17-19.
- [5] 丁建林, 姜建胜, 刘 魁, 等. 抽油机变频调速智能控制技术研究 [J]. 石油机械, 2003, 31 (A): 18-20.
- [6] 董世民, 马德坤, 李学丰. 游梁式抽油系统动态参数仿真的综合数学模型 [J]. 石油机械, 2001, 29 (6): 46-49.
- [7] 刘 新. 游梁式抽油机自动控制技术 (冲次自动控制) [D]. 西安: 西安石油大学, 2013.
- [8] 侯 琛, 赵千川, 李海涛, 等. 物联网中的嵌入式终端 [J]. 电子测量技术, 2014, 37 (10): 113-118.
- [9] 王文星, 梁华庆, 曹旭东, 等. 油井监控系统传输层设备 RTU 的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (05): 1515-1518.
- [10] 曹旭东, 孙云龙, 孔 阳. 基于 ARM9 支持 IPV4/IPV6 协议的物联网网关设计及实现 [J]. 北华大学学报 (自然科学版), 2015, 16 (04): 542-547.
- [11] 王 政. 基于 ARM9 和 Linux 的一体化 RTU 的设计 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.