

基于 TD-LTE 的智慧油田测控系统的研究与实现

曹旭东, 薛大欢, 何得平

(中国石油大学(北京)地球物理与信息工程学院, 北京 102249)

摘要: 对基于 TD-LTE 的智能测控系统的设计进行了研究, 进行了软硬件系统架构及组网性能的分析, 提出了下一代 IPV6 协议的电子标签式设备管理模式; 该智能测控系统以 AT91SAM9263EK 为微处理器, 以 Linux 为操作系统平台, 为传感器连接、电量监测、示功仪测量等扩展了各种接口, 实时获取各个从站数据存储到 modbus 对应 4 个区地址内, 并动态映射到 sqlite3 数据库中, 实现了位移、载荷和电流数据的同步, 通过 4 G 网络以 MODBUS/TCP 协议发送到数字中心; 管理软件轮询采集各油井的各项参数, 存储到本地 Oracle 数据库, 为大数据挖掘分析作标准数据储备, 对设备的运行状态、意外突发远程启停井等做全生命周期管理, 实现了全油田油水井管理物联化、数字化、自动化的新型管理体系的目标。

关键词: TD-LTE 组网; 嵌入式 ARM; Linux; 标准 MODBUS 协议; sqlite3

Research and Implementation of Oil Field Measurement and Control System Based on TD-LTE

Cao Xudong, Xue Dahuan, He Deping

(Geophysics and Information Engineering College, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The design of the intelligent measurement and control system based on td-scdma LTE was studied, the hardware and software system architecture and network performance was analyzed, to put forward the next generation of IPV6 protocol electronic tag type equipment management mode. AT91SAM9263EK microprocessor is as the core of the intelligent measurement and control system, with Linux as the operating system platform, for the sensor connection, power monitoring, indicator instrument measuring expanded a variety of interfaces, in an attempt to real-time access to the data from the stations to storage the Modbus correspondence address within four area, and dynamic map to sqlite3 database, and dynamically mapped to sqlite3 database to achieve a synchronous displacement, load and current data, which is sent in Modbus / TCP protocol to the digital center through 4 G network. Management software polling to collect the various parameters of the well and stored into a local Oracle database, to prepare standard data for big data mining analysis of reserves, running status of equipment and unforeseen remote start-stop well do full life cycle management, which has realized the target of oil and water Wells in all the oil is instrumented digital and automation of the new management system.

Keywords: TD-LTE network; embedded ARM; Linux; standard Modbus protocol; sqlite3

0 引言

随着“互联网+”概念的提出, 传感技术、现代测量技术、云存储等技术在传统工业改造升级中不断发展和革新, 智能油田的研究是必然趋势, 而智能油田通信网络建设、组网、以及智能终端是重点研究的对象。结合我国油田勘探开采的现状 & 需求分析, 薄弱环节在于通信接入层部分的网络建设、网络协议的不标准和数据存储方式的不统一, 很难形成规模庞

大的系统体系, 进而对油田管理、开采、预判等形成不利条件。采用新一代无线通信技术 TD-LTE (time division long term evolution), 又称 OFDM 技术, 网络架构扁平化, 实现了全新的突破, 传输速率更快, 网络性能更优, 已经在商业中大范围的推广使用, 能适应业务承载量大的油田物联网建设, 克服了各种工业现场强烈干扰和不利因素, 通信质量和效率得到大大的提高。另外, 自助研发了一套远程测控系统, 硬件资源上具有网口、RS485 串行接口、USB 接口等资源, 软件上实现了局域网广播组网、唯一 IP 地址、多线程、标准 MODBUS

地址存储、即时数据和历史存储数据并存的功能, 可以有效地管理区分, 进行组网监测, 标准化存储, 并且可以根据采集到的数据分析采油机运行情况, 实现少人化、智能化、信息化的目的, 切实提高油田自动化管理水平。

1 TD-LTE 系统架构

1.1 TD-LTE 关键技术应用

TD-LTE 系统接入网络采用扁平化的网络结构, 采用上行同步技术即要求分配在同一时隙的来自不同距离、不同用户终端的上行信号能够同步地到达基站。通过合并时域、频域的动态信道分配技术, TD-LTE 能够自动将系统自身的干扰最小化, 从而取得最佳的频谱效率、业务质量。

TD-LTE 传输技术采用 OFDM 调制技术, 将信道分成若干正交子信道, 将高速数据信号转换成并行的低速子数据流, 调制到每个子信道上进行传输, 并通过层二调度器对无线资源进行动态调度, 特别适用于小数据包、高频次、常在线业务的物联网网络通信。另外, TD-LTE 覆盖目标业务为一定速率的分组数据业务, 用户占用的 RB (resource block) 数将影响覆盖, 多样的调制编码方式对覆盖的影响更复杂, 系统帧结构设计支持更大更灵活的覆盖。

1.2 TD-LTE 组网方案设计

在油田开采作业中, 安全稳定生产始终摆在第一位。地

收稿日期: 2015-11-17; 修回日期: 2015-12-24。

作者简介: 曹旭东(1968-)男, 辽宁省黑山县人, 硕士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事 DSP、FPGA、ARM 等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。

质勘探发现的油井，其分布往往没有规律可循，对于自动化生产管理带来了巨大挑战。采用有线光纤互联各个油井设备的方案既不科学又不经济，随着无线通信技术的日益发展和成熟，在油田现场布署应用显得十分重要，基于 4 GHz 的 TD-LTE 机制的无线通信网络技术已经达到油田使用能力，搭建以 TD-LTE 技术为核心的区域集群网络，信号完全可以覆盖到各个油水井，使得井场设备互联互通，有效的解决油井分布不平衡的现状。在油田现场，采用 D 频段布署无线通信网络，原则上采用 20 MHz 同频组网方式，预留一定的频率隔离带，以符合国家安全使用频率要求，保证和其它频段的系统共存。

考虑到油田油水井的数量很大，对于组网同时在线访问连续调度能力提出了更高的要求。由于数据业务的突发性，以及采用轮询的方式采集各个油井的数据，因此不存在长时间通道阻塞的情况，在极端恶劣的情况下每 10 ms 可以调度 54 次，时间上完全满足设备的反应时间和轮询时间。从控制信道和业务信道的承载能力使用来看，若 5 ms 上下行 2:2 配置下，20 M 带宽最多支持 500 个以上 VoIP 用户。另外在油田生产现场，为每口油气井配置的智能测控机柜内安装 TD-LTE 4 G 射频模块，每个井站点处于信号覆盖区域，这样数据中心 PC 客户端、基站信号塔与前端智能采集控制系统可以组网，实现数据传输、局域网内管理各油气井的生产运行，保障油田高效的服务质量。

2 测控系统总体设计方案

整个测控系统分为数字中心建设、通信网络搭建、智能设备研制三部分^[1]。数字中心建设包含数据库服务器、测控服务器和 WEB 服务器，由油田专用信息网互联，测控服务器、WEB 服务器都与数据库服务器连接，而数据的来源都是数据库服务器通过 4 G 通信网络获取井场智能测控设备采集的数据。

以 4 G 频段的 TD-LTE 机制建设通信网络，在油田实现信号的全覆盖，传输速率更快。智能设备集成网络接口和串行总线，支持大容量标准化数据掉电不丢失存储，可以挂载油井常用可编程传感器设备、电量监测设备、示功仪测量设备等模块，系统统一分配设备的 Modbus 站号，其中各个井场的油气井配置一套智能测控设备作为主站，将油气井的若干传感器、监测设备连接作为从站，采取主站呼叫、从站应答机制采集子站的数据，然后远程测控设备分析处理后作为从站通过 4 G 模块经基站网络上传给数字中心，总体设计方案如图 1 所示。

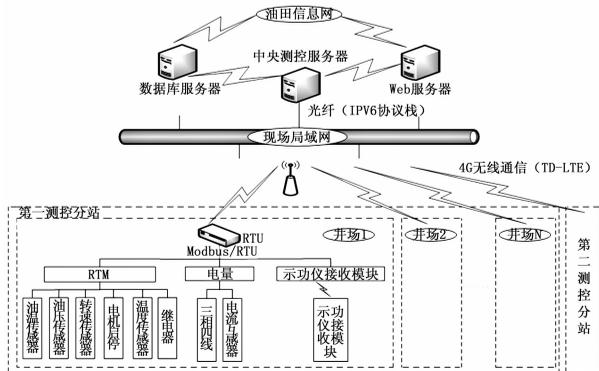


图 1 油气井测控系统总体框图

3 数据采集与传输硬件设计

油气井智能测控系统设备采用 AT91SAM9263EK^[5] 作为

主控芯片，外扩网口和串口等接口，负责向下经 RS485 总线与各个采集监测设备连接通信，向上经 4 G 无线射频模块同数字中心通信，相当于服务器中转的作用。

为了实现与基站网络通信，采用 DM9161EB 驱动芯片，与 TD-LTE 射频模块对接，实现以太网连接，与数字中心的服务器 PC 机通信；考虑到油井现场大多安装无线传感器，故添加 ZigBee 无线通信模块，和有线可编程模块相结合实现传感器的采集传输任务，这样可以简单、方便地实现井场实时数据采集。

动力系统 380 V 电量监测与示功仪收发模块采用 RS485 总线与智能测控系统通信；系统机箱温度由温度传感器 TMP100 获得，并且采用继电器控制温度调节子系统来调节设备环境温度，保持低温极寒天气下设备能够正常运行；测控系统的初始配置信息采用脚本存储到文件系统。另外，核心主板还包括电源隔离电路、RS485 通信隔离电路、防雷击电路、控制电路等几个部分，其硬件电路资源如图 2 所示。

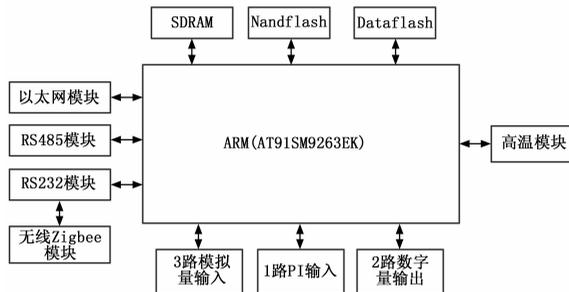


图 2 远程测控系统硬件设计

4 系统软件架构设计

软件架构的设计好坏直接影响整个系统的运行状况，根据挂载从设备个数任务的需求，创建了多个子线程，测控主系统对每个从设备并行的通信处理各自的任务，并将数据按照标准 MODBUS 格式处理存储。系统对申请的内存缓冲区利用完后及时的释放掉，防止系统长期运行出现“内存泄露”现象而导致系统崩溃性死亡。对于工业现场各种强电磁干扰因数的影响，尤其是光纤通信、串行通信因噪声、干扰因素的存在，往往会使有效信号失调，影响数据的传输和命令的传达，因此在系统设计中增加了各种干扰因素算法的预处理。对于标准 MODBUS 通信做了多种判断，对于不完整的数据帧采取丢包的方式，排除因干扰而破坏数据的完整性和真实性。

4.1 测控系统主程序设计

系统上电后，首先进行初始化操作，主要包括读取 RPC 文件配置 RPC 通信参数、设置 3 路 RS485 串口参数、从站模块环形内存缓冲区申请、创建 POSIX 定时器、配置仪表参数等内容。初始化成功后，系统创建基于网络总线的 Modbus/TCP^[6] 类通信子线程和基于串口总线的 Modbus/RTU 类通信子线程，当客户端请求连接时，测控终端设备作为服务端，按照基于 TCP/IP 协议将数据打包，并上传到数字中心，实现了局域网内设备的组网、远程网络基本信息的配置以及通信功能。

另外，不管客户端是否有连接，只要上电系统自启动后就开始基于 RS485 接口的串行通信，将采集到的油温、油压等传感器数据、电量监测子系统的动力线参数、示功仪检测子系统的冲程、冲次、载荷、位移等参数存储到标准 MODBUS 对应的 4 个区地址内，并映射到 Sqlite3 数据库内，同时位移、载荷、

电流每隔 10 min 采集一次, 实现了三图合一的功能。智能测控设备不论是主站还是从站, 都可以远程配置设备的基本信息, 并具有掉电不丢失数据的功能, 主程序设计如图 3 所示。

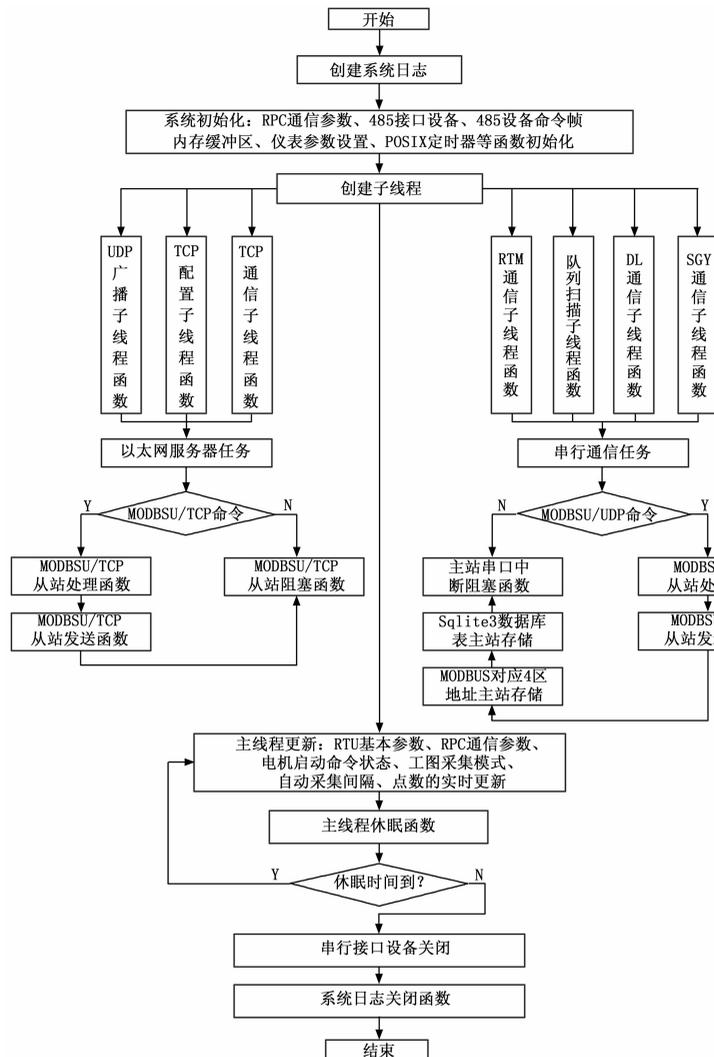


图 3 测控系统主程序流程图

4.2 管理软件组网平台设计

对各油井的组网监测是测控系统的重点, 管理软件通过设备侦测扫描的方式, 采取 UDP 协议广播的形式向局域网发放广播包, 各智能测控系统终端接收广播包响应, 将唯一的设备编号、IP 地址、MAC 等基本信息上传到管理软件界面, 实现不同区域内的组网管理。

该软件具有自动侦测各个油气井的网络拓扑结构, 持续监视、报告网络的运行情况。通过监测网络系统的各项运行参数, 全面掌控网络的异常和性能情况, 发现异常及时告警。内置设备合法性监测引擎, 自动监测网内终端设备的基本属性, 自动比对资源表, 告警非法终端设备。另外, 管理软件将数据处理汇总制作成统计报表, 提供了性能、告警、状态、资源多个角度的统计和分析报表, 给后台设备管理软件和生产量化软件提供标准化报表。

5 测试数据分析

5.1 数据标准格式存储

在工业生产中, 运行着各个厂商的设备, 导致数据的格式

极不统一, 传统设备的升级改造实现通信是一大难题。数据的标准化传输与存储, 解决了日益增多的设备互联互通的难题, 为数据的统一管理提供了标准的数据源头。测控设备^[7]将从各个子站读取的数据存储到标准 Modbus 4 个地址存储区, 实现了数据的标准化, 从而可以组网构建云平台, 管理小区域乃至大区域的统一平台的建设, 为大数据挖掘处理分析提供标准数据保障, 为合理高效安全的生产做数据支持。

在软件后台设计中, 提供了数据库的连接信息和需要访问的数据表结构^[8]。当用户输入合法的用户名和密码后, 获取权限后方可允许其访问并共享数据库。所以物联网在互联网时通过访问定义的数据库接口即可。定义数据访问接口时, 将异构分布式数据库看成普通的分布式数据库, 在数据访问层引入数据库互联规范 (ODBC)^[2], 实现系统间的透明访问。

5.2 设备全生命周期闭环管理

对于设备运行稳态的管理是至关重要的, 可以实时查询设备的运行是否良好, 若出现故障则可以及时抢修。软件界面标识了各个智能测控设备的状态, 即设备的通信状态以及设备供电的电源状态, 后台实时将监控设备数据导入设备管理软件, 经数据分析处理后人机界面显示各种设备的状态, 能够实现全天候实时监控。当设备的状态出现异常时, 界面会弹出报警窗口, 并记录此次异常信息, 等待修复, 当现场设备维修好正常运行后, 那么会自动显示设备运行正常, 使其大大增强了灵活性可靠性, 从而形成设备全生命周期闭环管理模式。

6 结束语

本文采用最新的 4 GHz 频段 TD-LTE 网络通信技术, 搭建设备通信基站, 达到了全油区油气井信号全覆盖的目标。从软硬件进行分析设计, 采用可编程 ARM9 微控制器, 扩展网口、串口等接口设备, 攻克了油气井远程测控系统与基于 IPV6 协议栈的 TD-LTE 机制的通信网互联互通的难题。支持远程配置设备的唯一 IP 地址等基本网络信息, 实现了远程油气井电子标签式的管理。另外, 智能测控系统设备与各个从站设备接口兼容协议保持一致的 Modbus 协议通信, 在软件处理中做了各种因油田现场电磁干扰等因素的算法处理, 使得油气井的各种有线无线传感器、动力线 380 V 供电的电量监测、以及示功仪的同步数据的获取能及时上传给测控设备, 还支持远程启停井, 达到快速响应的目的。经过长时间的低温环境下的测试, 对软件架构的不断优化、内存泄露的修复, 解决了长时间运行系统内存溢出的问题, 并已经在二连高寒地区智慧油田示范区部署与实施, 达到了油气井生产高效、实时的数据采集与分析, 生产问题全面快捷的诊断与处理的监控管理一体化系统设计的目标。

参考文献:

[1] 彭越. 基于物联网技术的油田数字化建设 [J]. 油气田地面工程, 2014, 33 (4): 2-4.
 [2] 蓝永乾, 迟磊. 油田生产物联网多源数据整合 [J]. 通信管理与技术, 2013, 4 (02): 1-5.

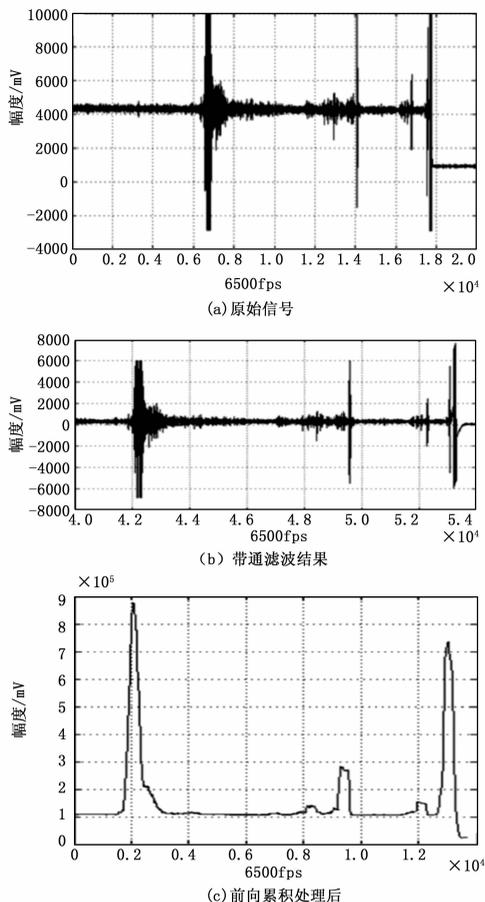


图 6 弹丸炸点声信号处理

试验表明, 采用包围结构布站、增加测量分站数量、采用抗差最小二乘处理数据可以获得较高的测量精度。另外, 因为风速风向测量的不确定度, 所以即使修正风对声波传播的影响, 也没有无风条件下测量精度高。

5 结论

本文设计实现了一套实用的炸点测量系统, 系统硬件部分基于市场成熟产品改造完成; 中心站软件基于数据采集卡软件进行开发, 通过嵌入带通滤波、能量前向累积、时延计算等数据处理模块获得爆炸声波到达时间差数据, 求解出炸点坐标。炮竹模拟实验和实弹射击试验结果表明, 该系统可以实现爆炸点的声学定位。系统开发周期短、可靠性高、适应性强, 具有一定实用性和推广价值。

表 2 某型榴弹炸点测量结果对比

炸点坐标		x/m	y/m
第一发	真值	18286.20	341.51
	测试值	18287.12	341.93
第二发	真值	18311.41	219.32
	测试值	18312.35	219.76
第三发	真值	18152.50	239.33
	测试值	18153.61	240.24
第四发	真值	18428.42	255.61
	测试值	18429.38	255.89
第五发	真值	18367.61	258.90
	测试值	18368.82	258.17
第六发	真值	18495.41	219.91
	测试值	18494.51	220.32
标准差/m		距离:0.80	方向:0.55

参考文献:

[1] 陈东明, 常桂然, 朱志良. 基于声学法弹着点精确定位方法研究 [J]. 兵工学报, 2006, 27 (3): 566-570.

[2] 董明荣, 许学忠, 张 彤, 等. 空中炸点三基阵声学定位技术研究 [J]. 兵工学报, 2010, 31 (3): 343-349.

[3] 叶建森. 基于声延时测量技术的弹落点定位系统的设计与实现 [D]. 太原: 中北大学, 2007.

[4] 肖 峰, 李惠昌. 声, 武器与测量 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.

[5] Li X F, Liu H. Sound source localization for HRI using FOC-based time difference feature and spatial grid matching [J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2013, 43 (4): 1199-1212.

[6] 毕延文. 基于时差法的飞行器声被动定位技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2005.

[7] 王志峰, 冯 杰, 高 鹏, 等. 基于无线声阵列的目标定位系统设计 [J]. 电声技术, 2015, 3: 44-47.

[8] 刘玉鹏. 爆炸炸点传感器特测系统的研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2004.

[9] 王 飞, 贾维敏. 常规弹头爆炸产生声波机理研究 [J]. 核电子学与探测技术, 2001 (6): 471-473.

[10] Wu B F, Wang K C. Robust endpoint detection algorithm based on the adaptive band-partitioning spectral entropy in adverse environments [J]. IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, 2005, 13 (5): 762-775.

[11] 陆燕芳, 何 巧, 罗小松, 等. 火炮声探测技术研究报告 [J]. 电声技术, 1993, 3: 2-6.

(上接第 119 页)

[3] Gesbert D, Shafi M, Smith P, et al. From Theory to Practice: An Overview of MIMO Space-time Coded Wireless Systems [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Special Issue on MIMO systems, guest edited by the authors, 2004, 21 (3): 281-302.

[4] 白 鹭, 揭 摄. 面向 TD-LTE 的城域传送网承载策略研究 [J]. 电信工程技术与标准化, 2013 (11): 21-37.

[5] 林继民, 吴 怡, 林 萧. 基于 Linux 嵌入式系统开发平台的构建及应用 [J]. 现代电子技术, 2010 (18): 2-5.

[6] 翁建年, 张 浩, 彭道刚, 等. 基于嵌入式 ARM 的 Modbus/TCP 协议的研究与实现 [J]. 计算机应用与软件, 2009 (10): 35-42.

[7] 王书根, 王振松, 刘晓云. Modbus 协议的 RS485 总线通讯机的设计及应用 [J]. 自动化与仪表, 2011 (5): 2-4.

[8] 王小平, 曹立明. 遗传算法: 理论、应用与软件实现 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.