

嵌入式继电保护故障信息处理系统子站管理机的设计

陈泽青^{1,2}, 吴广宁², 李延¹, 马珩毅¹

(1. 成都府河电气集团有限公司, 四川 成都 610041; 2. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 根据工程现场实际应用的需求, 提出了一种基于嵌入式 Linux 系统和嵌入式硬件平台的高可靠性子站管理机。简要介绍了子站管理机的要求与设计原则, 详细描述了硬件和软件系统的设计实现, 设计中采用了合理的分层分布式软件的方法, 也实现了 IEC61850 标准的应用。按照该设计方法开发的新一代子站管理机具备可靠性高、通信能力强、可扩展性等特点, 现场运行稳定, 是继电保护故障信息处理子站系统发展的新方向。

关键词: 继电保护故障信息处理系统; 子站管理机; 嵌入式; Linux; IEC61850

Design of embedded sub-station manager for protection information processing system

CHEN Ze-qing^{1,2}, WU Guang-ning², LI Yan¹, MA Heng-yi¹

(1.Chengdu Fuhe Electric Group Inc, Chengdu 610041, China;

2. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: According to the requirement of practical project's application, this papers provides a new high-reliability sub-station manager based on embedded Linux and embedded hardware platform. It simply introduces the design principles and requirement of sub-station manager, describes detailedly the design and implementation of both hardware and software system. The design approach with the reasonable hierarchical and distributed software and the application of the standard IEC61850 are realized. The design discussed in this paper shows that embeded sub-station manager has the characteristics of high reliability, strong communication capability and extendability. The steady operation on site is a new direction of protection information processing slave system.

Key words: protection information processing system; sub-station manager; embedded; Linux; IEC61850

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)20-0179-04

0 引言

继电保护故障信息处理系统^[1]作为电网调度的重要技术支撑手段, 能够在电网故障时快速获得继电保护、安全自动装置和故障录波器的信息, 帮助调度和保护人员判断故障信息和保护的动作为, 在电网事故处理中发挥重要作用。继电保护故障信息处理系统是由主站系统和子站系统配合使用, 子站管理机是指子站系统中负责与装置通信、完成规约转换、数据转发等功能的硬件设备。子站系统在国内的应用已经有多年的历史, 但是在实用性方面还不尽人意, 主要体现在对智能电子设备访问的灵活性和安全性、信息组织的规范性和开放性、不同厂家系统之间的兼容性问题。目前大多数子站系统采用的方案是多功能合一的工控机平台+Windows 操作系统, 从实际运行情况来看, 由于该方式的结构限制, 存在系统复杂高、可靠性低等

缺陷, 同时大部分工控机的一些零部件如风扇、硬盘等的机械寿命很难满足电力现场长期连续运行的要求, 并且 Windows 操作系统充当工业操作平台也相当勉强。随着嵌入式技术的发展, 其在电力系统方面的应用也越来越广泛^[2-3], 为解决上述问题提供了一种可行方法。

本文研制的嵌入式子站管理机采用低功耗架构的 CPU 取代了风扇、采用源码开放的 Linux 嵌入式实时操作系统^[3-4]极大地提高了子站管理机的可靠性。具有较强的可靠性, 网络通信能力和可扩展性的嵌入式子站管理机已在继电保护故障信息处理系统中得到了广泛的工程应用。

1 子站管理机的要求与设计原则

子站管理机的要求是能收集站内各种智能电子设备 (IED) 的大量的信息 (如保护装置信息、故障录波器信息等), 对收集到的数据进行过滤、

分类、存储等，并能按照定制原则上送到各调度中心的主站系统。

1.1 强大的数据处理和存储能力

数据存储能力应能保证在主站通信短时中断时，不丢失任何数据；通信长时间中断时，重要事件不丢失。为了不使子站管理机成为瓶颈，硬件平台的设计极为重要。要求选用处理能力强的嵌入式处理器，有足够的缓冲能力和中断处理能力，以确保数据处理的实时性和完整性。

1.2 多种通信方式的接入能力

子站管理机设计应能适应各种保护装置和故障录波器的通信接口，通信接口主要有RS-232、RS-485串口和以太网等网络形式。同时从设备的安装、调试、维护角度出发，子站管理机与变电站中的IED应该能够方便地连接，并根据实际需要能灵活地组建不同的网络拓扑结构。

1.3 灵活的规约选取和添加

尽管近年来IEC61850标准在变电站自动化系统中逐步被采用和推广^[5-6]，但国内目前变电站中的IED所使用到的通信规约种类繁多。据不完全统计，国内变电站中存在不同类型的通信规约有近百种，加上各个厂家在标准规约基础上进行修改和派生，种类就更多，这就要求设计的子站管理机支持不同规约设备的通信，如IEC61850、IEC60870-5-103、部颁CDT等，也支持个别厂家自定义的专用规约。

1.4 可靠的系统时钟

为了保证定时精度，要求可以外接独立GPS装置，支持的定时方式有：串口、脉冲和IRIG-B，并根据需要对所接保护装置和故障录波器等智能设备完成软件定时，使得站内所有装置运行在统一系统时间下。

1.5 功能强大的调试工具

子站管理机需要提供功能强大的调试工具，如：提供电力系统厂站主接线图显示设备实时状态、保护信息查询、召唤定值、信号复归、保护定时、报文的监视、运行状态监视等。

1.6 便捷的维护与升级

子站管理机应支持远程维护升级功能，维护人员可以方便地通过网络远程对子站管理机进行配置、调试、复位等，同时维护升级后原有数据仍然有效。

2 硬件设计

嵌入式子站管理机采用了模块化、分层分布式的结构，装置由多个智能模块组成，模块类型有主管理模块（CPU 模块）、交换机模块、装置接入模

块（网口装置接入模块或串口装置接入模块）、I/O模块（开关量输入/输出模块）、GPS 定时模块、电源模块等，各智能模块之间通过高速背板总线交换数据，不仅每个智能模块可以完全自主运行，同时各智能模块之间可以充分协调配合。嵌入式子站管理机硬件总体构成如图 1 所示。

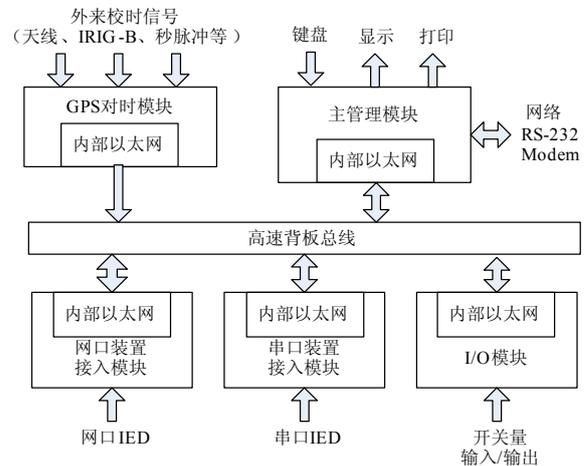


图 1 嵌入式子站管理机硬件总体构成

Fig.1 Overall structure of hardware for embedded sub-station manager

主管理模块是嵌入式子站管理机的核心模块，它具有对各智能装置接入模块所采集的信息进行处理、控制、存储并按要求向远方主站或当地工作站发送等功能，并具有对各智能装置接入模块进行管理配置和运行监视等图形化的人机界面。主管理模块采用了低功耗、无风扇、基于 Intel Pentium II 处理器（主频 1 GHz）的 ETX，其板上的 SDRAM 可达 512 M，运行嵌入式 Linux 操作系统。

智能接入模块负责与接入 IED（主要是继电保护装置和故障录波器等）通信，完成规约转换、信息收集。智能接入模块的 CPU 采用工业级 32 位 ARM9 嵌入式高速处理器，系统时钟使用外部 14.745 6 MHz，主频可达 200 MHz。ARM9 处理器内部集成的网口用于内部通信网络，自带的串口用作调试接口，通过调试接口可对系统进行软、硬件调试及编程等。128 MB 的 SDRAM 用作程序的运行空间、数据及堆栈区；32 MB 的 Flash 用来存放 BootLoader、嵌入式 Linux 操作系统以及应用程序；容量为 1 GB 的 Flash 用来存放数据。智能接入模块外扩了 4 路异步串行接口，通过跳线实现 RS-232C、RS-485、RS-422 三种工作方式或者用 4 片网络芯片扩展 4 路 10/100 Mbit/s 以太网接口用来接入一个或多个厂家的智能设备。复位电路中设有硬件 Watchdog，与内部软件 Watchdog 配合，提高了软

件故障的恢复能力。

3 软件系统设计

子站管理机采用嵌入式Linux操作系统, 该系统内核功能强大, 性能高效、稳定、多任务, 提供了完善的网络通信功能, 便于远程管理; 也采用稳定、高效与开放的内置标准数据库管理系统, 为子站系统的处理、管理与使用提供了有力保障。软件系统设计充分利用Linux系统是全面的多任务和真正的32位操作系统的特点, 根据系统功能的要求对软件进行分层分任务设计^[7], 基本目标是层次清晰、任务分布简单明晰、调试方便和不易出错。软件任务分层示意图如图2, 其中每层根据实际情况安排了几个任务。

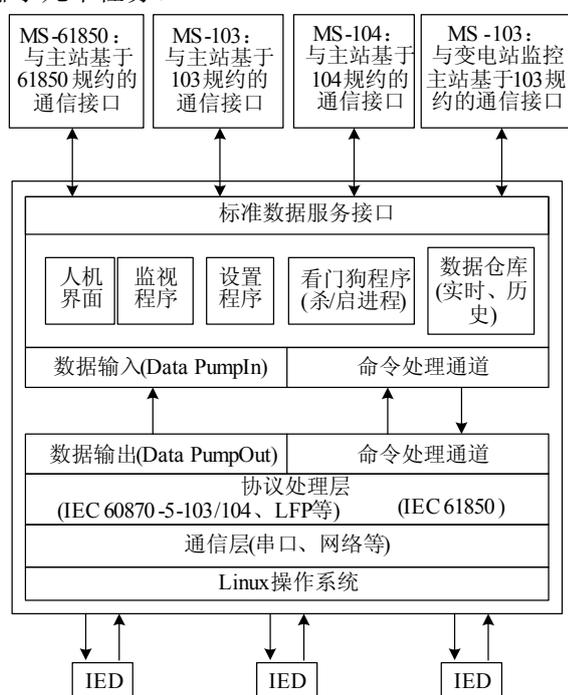


图2 软件结构框图

Fig.2 Block diagram of software structure

3.1 通信层

通信层支持常见的通信口, 如RS-232、RS-485、以太网等, 完成常见接口的通信收发任务。本层要能够屏蔽具体的底层通信方式, 为上层提供统一的函数接口。Linux操作系统已经给出了对不同接口的操作函数。如采用串口等方式, 程序包括接收数据和发送数据两个部分, 可做成两个独立的任务。发送部分查询串口的状态, 有数据时读出, 写入相应的数据缓冲区, 并通知相应的协议。发送部分查到协议层有数据需要发送时, 就把相关数据发往串口。如果通信层基于以太网方式, 则采用TCP/UDP协

议, 较为复杂。

3.2 协议层

协议层主要实现对IED的数据采集、协议转换与转发, 同时对经过命令处理通道下发的直接IED命令进行操作, 在软件中处于极为重要的地位。协议是否能够正确、及时地分析组织, 将会影响整个软件的效率。常用的协议类型很多, 包括与IED通信的IEC60870-5-103, IEC61850, 南瑞保护规约, 南自保护规约, 录波器规约等, 以及与主站系统和监控系统通信的IEC60870-5-103, IEC60870-5-104, IEC61850等。协议转换就是将非IEC60870-5-103协议的IED装置转换为IEC60870-5-103协议, 或者是将非IEC61850协议的IED转换为IEC61850协议。协议转发必须完成报文分析和报文发送两个基本功能。接收到数据后, 要根据报文的长度判断是否完整, 如果完整, 还要判断校验是否正确。如果接收到完整、正确的报文, 则根据协议进行分析、填库、设置标志等操作。发送时要根据不同的标志, 组织不同类型的报文发送。由于协议的不同, 会有不同的组织结构。

3.3 数据库管理

由于电网故障时会产生大量的故障信息, 必须具备突发性的大容量数据处理能力, 同时具备历史存档功能, 确保各类信息的完备性。该数据库必须提供标准的SQL访问接口和安全的访问机制, 以便信息的进一步处理与共享。经过多方面比较, 选择了MySQL数据库管理系统^[8]。本文利用MySQL自带的C API函数进行数据库访问操作。

3.4 软件看门狗程序

软件看门狗程序负责对所有用户生成的任务进行监控。为防止多任务中个别任务出现异常而设计了本任务, 它的优先级较高, 通过实时查询其他任务的状态而判断其是否在正确运行。如果某个任务运行状态不正常, 则要根据不同的状态采取相应的措施; 如果某个任务出现阻塞或者停止, 可以用命令让其运行; 如果出现了一些严重错误, 就要采取措施杀掉此任务, 然后重新生成并启动它。由于各个任务相对独立, 这种操作一般不会影响其他任务的运行。如果错误非常严重, 甚至可以重新启动整个系统, 保证短时间后系统能够重新正常运行。

3.5 管理配置和运行监视程序

由于采用了嵌入式操作平台, 为了能够方便地配置工程和监视系统的运行情况, 设计了管理配置和运行工况监视程序。它可以用来进行工程配置, 包括装置类型、装置型号、通信规约、通信方式等。另外, 它可以对子站管理机的实际运行情况进行监

视, 包括通信状态、各个通信口的报文、运行状态等监视。

4 子站管理机的功能实现

按照上述设计原则, 设计的新一代嵌入式继电保护故障信息处理系统子站管理机, 与传统子站系统相比, 嵌入式子站管理机具有如下功能特点。

IEC61850的应用: 具有接入采用IEC61850规约的保护装置的能力, 同时实现IEC61850和MMS与主站的通信。IEC61850核心模块的实现方式是以动态链接库(或静态库)方式。

数据采用多级存储方式: 各智能接入模块上具有的大容量 FLASH 为第一级数据存储器; 主管理模块上的大容量 CF 卡为第二级数据存储器; 硬盘(可选的)为长时间、大容量保存数据的第三级数据存储器。

接口丰富, 容易扩展: 采用总线式结构, 可以实现即插即用, 模块数量可根据现场的需要自由进行扩展。

软件采用分层分布式模块化设计: 通信规约设计成驱动程序方式, 满足“即选即用”或“在线组态”的要求, 可以很方便地实现通信规约的更换和升级。

灵活的人机交互: 人机界面功能作到实用、操作方便; 并在面板上设计有多个指示灯用于系统运行状态、通信状态指示、故障告警指示等。

嵌入式子站管理机能够广泛适用于66~750 kV各电压等级的发电厂和变电站子站系统。在子站系统应用中的网络结构可以根据变电站的布置方式或建设情况的不同, 分为集中式和分布式两种。例如在分布式布置的变电站中, 对于保护、录波等装置较为分散的场合, 有多个保护小室, 保护小室和主控室间的距离较远, 干扰信号强, 为了提高系统

的抗干扰能力和数据传输效率, 在保护小室和主控室之间一般以光纤通道连接。在这样的变电站, 采用如图3所示的分布式子站系统结构。嵌入式子站接入装置与嵌入式子站管理机基本相同, 主要差异是嵌入式子站接入装置没有配置主管理模块(CPU模块), 主要负责装置接入、规约转换、信息收集功能。

5 结束语

基于嵌入式技术的子站管理机投入运行以来, 表现出了其特有的优势, 整体运行可靠稳定, 达到了预期的设计目标, 为加快嵌入式继电保护故障信息系统子站系统推广应用提供了技术保证, 能适应未来电力系统自动化的发展。

参考文献

- [1] 陈剑锋, 郑敏, 黄华林. 电网继电保护及故障信息处理系统关键技术的探讨[J]. 电工技术, 2003(5): 44-46. CHEN Jian-feng, ZHENG Min, HUANG Hua-lin. Consideration of key technology in automatic management information system for protective relaying and fault recorder[J]. Electrotechnical Application, 2003 (5): 44-46.
- [2] 张建周, 柏嵩, 陈伟琦. 嵌入式高可靠性通信管理机的设计[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(16): 94-98. ZHANG Jian-zhou, BAI Song, CHEN Wei-qi. Design of highly reliable communication controller based on embedded operating system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(16): 94-98.
- [3] 黄捷. 基于Linux操作系统的嵌入式继电保护故障信息系统子站介绍[J]. 华东电力, 2007, 35(12): 95-98. HUANG Jie. Embedded substations of relay fault information systems based on Linux operation systems[J]. East China Electric Power, 2007, 35(12): 95-98.
- [4] 刘航, 刘全, 凌俊银. 一种基于嵌入式Linux操作系统通信管理机的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(1): 76-78, 90. LIU Hang, LIU Quan, LING Jun-yin. Design and implementation of one kind of communication management unit based on embedded linux operation system[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(1): 76-78, 90.
- [5] 汪可友, 张沛超, 郁惟镛, 等. 应用 IEC 61850 通信协议的新一代故障信息处理系统[J]. 电网技术, 2004, 28(10): 55-58. WANG Ke-you, ZHANG Pei-chao, YU Wei-yong, et al. Research on a new fault information processing system using IEC61850 communication protocol[J]. Power System Technology, 2004, 28(10): 55-58.

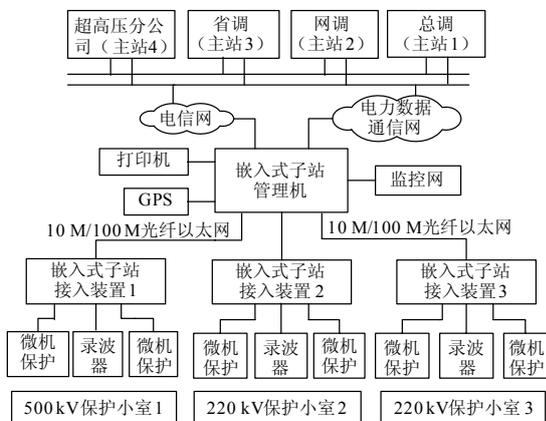


图3 子站系统分布式结构示意图

Fig.3 Distributed architecture of the slave system

(下转第 188 页 continued on page 188)

[5] 贺益康, 等. 交流励磁变速恒频风电系统运行研究[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (7): 55-59, 68.
HE Yi-kang, et al. Investigation on an AC excited variable-speed constant-frequency wind-power generation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (7): 55-59, 68.

[6] 廖勇, 杨顺昌. 交流励磁发电机励磁控制[J]. 中国电机工程学报, 1998, 18 (12): 87-90.
LIAO Yong, YANG Shun-chang. The excitation control of alternation current excited generator[J]. Proceedings of the CSEE, 1998, 18 (2): 87-90.

[7] 辜承林, 韦忠朝, 等. 对转子交流励磁电流实行矢量控制的变速恒频发电机[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21 (12): 119-124.
GU Cheng-lin, WEI Zhong-zhao, et al. VSCF generator with vector control for rotor AC exciting current[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21 (12): 119-124.

[8] 卞松江, 吕晓美, 等. 交流励磁变速恒频风力发电系统控制策略的仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (16): 57-62.
BIAN Song-jiang, Lü Xiao-mei, et al. Modeling and simulation of Ac excited VSCF in wind power systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 (16): 57-62.

[9] 刘其辉, 贺益康, 卞松江. 变速恒频风力发电机空载并网控制[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24 (3): 7-12.
LIU Qi-hui, HE Yi-kang, BIAN Song-jiang. Study on the no-load cutting in control of the variable-speed constant-frequency (VSCF) in power generator[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24 (3): 7-12.

[10] 刘和平. DSP 原理及电机控制应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.

[11] 陈栋, 等. 一种基于 DSP 的交流电机矢量控制系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003 (6): 19-21, 36.
CHEN Dong, et al. A vector control system of AC induction motor based on DSP[J]. Proceedings of the EPSA, 2003 (6): 19-21, 36.

收稿日期: 2009-10-31; 修回日期: 2009-12-27

作者简介:

刘伟 (1964-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向为电力系统自动化; E-mail: liuwei@cqut.edu.cn

贺晓蓉 (1973-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向为电机及其自动控制;

贺娟 (1980-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向为控制理论与控制工程。

(上接第 182 页 continued from page 182)

[6] 王松, 宣晓华, 周华. 基于 IEC61850 变电站自动化系统的系统组态研究[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (3): 48-50, 104.
WANG Song, XUAN Xiao-hua, ZHOU Hua. Research of system configuration process based on IEC61850 substation automation system[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (3): 48-50, 104.

[7] 王文龙, 张兆广, 季友军, 等. 嵌入式继电保护信息系统子站[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (13): 29-31.
WANG Wen-long, ZHANG Zhao-guang, LI You-jun, et al. Reserach on some important matters of sub station in relay information management system[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (13): 29-31.

[8] 文永亮, 孟文, 王艳秋, 等. 基于 MySQL 5 的 SCADA 海量数据的存储方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (12): 76-78, 105.
WEN Yong-liang, MENG Wen, WANG Yan-qiu, et al. A study of the method to store the SCADA's data of great number based on MySQL5[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (12): 76-78, 105.

收稿日期: 2009-11-04; 修回日期: 2010-04-08

作者简介:

陈泽青 (1978-), 女, 本科, 工程师, 主要研究方向为继电保护故障信息系统; E-mail: zeqing2000@tom.com

吴广宁 (1969-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为局部放电检测, 大型电力设备在线检测及故障诊断;

李延 (1965-), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向为变电站自动化系统、继电保护故障信息系统。