

# 基于嵌入式技术的工业通信管理机的开发及应用

陈杰<sup>1</sup>, 杜伟春<sup>2</sup>, 王振岳<sup>1</sup>, 柳大海<sup>1</sup>

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 中国石油华北油田水电厂, 河北 任丘 062552)

**摘要:** 通过一款基于嵌入式技术的工业通信管理机的设计、开发, 介绍了研制过程中嵌入式硬件设备选型、嵌入式软件操作系统、应用软件设计等相关设计方法和策略。重点分析了嵌入式通信管理机的基本设计思想、应用功能设计、开发经验分享等内容。并结合大量的实际工程应用, 提出了今后工业通信管理机的多样化、网络化、集成化等发展方向。

**关键词:** 工业自动化; 通信管理机; 嵌入式硬件; 嵌入式操作系统

## Development and application of industrial communication management unit based on embedded technology

CHEN Jie<sup>1</sup>, DU Wei-chun<sup>2</sup>, WANG Zhen-yue<sup>1</sup>, LIU Da-hai<sup>1</sup>

(1. XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China;

2. Petrochina Huabei Oilfield Company Hydro Power Plant, Renqiu 062552, China)

**Abstract:** Based on by the the design, development of an embedded industrial communication management unit, this paper introduces the development process of equipment selection for the embedded hardware, embedded operating systems, application software design and other related design methods and strategies. It focuses on analyzing the basic design ideas, applications design, development experience sharing of the embedded communication management unit and so on. Combined with a large number of practical engineering applications, it proposes diversification, networking, integration and other development of the industrial communication management unit in future.

**Key words:** industrial automation; communication management unit; embedded hardware; embedded operating system

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)11-0113-04

## 0 引言

在工业用户的继电保护自动化领域、生产自动化领域, 由于没有统一的行业标准, 各配套厂家基本上按照自己的习惯设计了各种各样的通讯方式和通讯规约, 从而造成通讯方式多样、规约繁杂、相互之间不能兼容, 给系统集成带来了较大的问题。以工控机为基础, 以通讯规约转换模块为核心的工业通信管理机应运而生。

随着嵌入式计算机硬件及软件技术的迅猛发展, 尤其在通讯数据处理方面, 嵌入式计算机由于处理能力强大, 功能完备, 运行稳定可靠, 适合工业恶劣环境下使用等特点, 正渐渐取代传统的工控机模式。本文将有一款适用于工业领域的嵌入式工业通信管理机为例介绍其开发及应用的相关技术。

## 1 嵌入式系统简介

### 1.1 嵌入式系统通用特点

嵌入式计算机系统是以应用层开发为核心, 集系统的应用软件与硬件于一体, 硬件可配置, 软件可裁减的专用系统。适用于对可靠性、实时性、多任务性、成本、体积及功耗等综合指标严格要求的场合。嵌入式系统作为一类特殊的计算机系统, 一般由嵌入式硬件设备、嵌入式操作系统和应用软件等三部分构成, 如图 1 所示。

嵌入式硬件设备包括嵌入式处理器系统及其外围接口。嵌入式操作系统除具备一般操作系统的基本功能外, 更具备实时性、可靠性、专用性、多任务操作、可根据硬件资源和功能要求裁减定制、占用系统资源少等特点。应用软件则是针对特定应用领域, 基于某硬件平台, 用来实现用户应用层功能

所开发的软件。

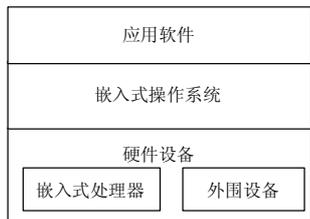


图 1 嵌入式系统结构

Fig.1 Structure of embedded system

嵌入式系统通常有以下特点：

1) 嵌入式硬件系统大多工作在为特定用户群设计的环境中，能够把通用计算机系统中由众多板卡所完成的任务集成在一块主板上。一般都具有低功耗、无风扇、电子存储、体积小、集成度高、抗干扰能力强、便于安装等特点。

2) 嵌入式系统是一个技术密集、起点高、不断创新的知识集成系统。它的升级换代也和具体产品同步进行，因此具有较长的生命周期。

3) 嵌入式系统的硬件和软件都必须高效率地设计，量体裁衣、去除冗余，力争在同样的资源上实现更高的性能。

4) 嵌入式系统本身不具备自举开发能力，即开发设计必须有一套开发工具和环境才能完成。

### 1.2 嵌入式硬件系统

嵌入式硬件设备一般包括嵌入式处理器和外围接口。其中嵌入式处理器（CPU）是嵌入式系统的核心。它与通用处理器最大的区别在于嵌入式处理器大多工作在为特定用户群所专门设计的系统中，它将通用处理器中许多由板卡完成的任务集成到芯片内部，从而有利于整个系统在设计时趋于小型化，同时还具有很高的效率和可靠性。外围设备是嵌入式系统中用于完成存储、通信、调试、显示等辅助功能的其他部件。目前常用的嵌入式外围设备按功能可以分为存储设备（如 RAM、Flash 等）、通信设备（如 RS-232 接口、以太网接口等）和显示设备三大类。

本文所介绍的嵌入式通信管理机的处理器采用的是 MIPS 体系结构的高效能核心处理器 IDT-266，主频 266 MHz。MIPS(Microprocessor without interlocked piped stages, MIPS)即“无内部互锁流水级的微处理器”。其机制是尽量利用软件办法避免流水线中的数据相关问题。MIPS 是世界上很流行的一种 RISC 处理器。由于 RISC 处理器指令简单、采用硬布线控制逻辑、处理能力强、速度快，世界上绝大部分 UNIX 工作站和服务器厂商均采用 RISC

芯片作为 CPU。

该硬件系统提供 128M DDR RAM，可满足大部分应用需要。同时提供 8 M Flash 存储空间，其中 4 M 用于存储操作系统，其余用于存放用户程序和配置文件。另外提供 2 个 10/100 Mbps 以太网全双工自适应以太网口，可满足一般工业系统的需要。硬件系统还提供 8~16 个可软件配置的 RS232/422/485 串口，串口速率最高 115.2 kbps，基本可满足各种串口通信的需要；每个串口均具备 15 kV ESD 串口突波保护，内有光电隔离保护，可保证在复杂工业环境中稳定运行。

该系统还具备硬件时钟和硬件看门狗，能够提供精度为 1s 的硬件时钟。并提供精度为 10 ms 的软件时钟，用于记录事件时间。同时硬件可以提供两路继电器输出，用于一些特殊应用。

### 1.3 嵌入式软件系统

嵌入式操作系统不仅具有通用操作系统的一般功能，如向上提供对用户的接口，向下提供与硬件设备交互的接口。同时它还在系统实时性、硬件依赖性、软件固化性以及应用专用性等方面，具有更加鲜明的特点。由于嵌入式系统自身的特点，决定了嵌入式应用软件不仅要求做到准确性、安全性和稳定性等需要，而且还要尽可能地进行代码优化，以减少对系统资源的消耗，降低成本。

本文中所采用的嵌入式操作系统是嵌入式 (Embedded Linux, Linux) 操作系统。嵌入式 Linux (Embedded Linux) 是指对标准 Linux 经过小型化裁剪处理之后，能够固化在容量只有几十 kB 或者几 MB 字节的存储器芯片中的，适合于特定嵌入式应用场合的专用 Linux 操作系统。在目前已经开发成功的嵌入式系统中，大约有一半使用的是 Linux。嵌入式 Linux 主要有以下特点：

1) 低成本的开发系统：嵌入式 Linux 的源码开放性允许任何人可以获取并修改源码。这样一方面大大降低了开发的成本；另一方面又可以提高开发产品的效率。并且还可以在 Linux 社区中获得支持。

2) 可应用于多种硬件平台：嵌入式 Linux 可支持 X86、PowerPC、ARM、XSCALE、MIPS、SH、68K、Alpha、SPARC 等多种体系结构和多种硬件平台。这对于经费、时间受限制的开发项目是很有吸引力的。Linux 采用一个统一的框架对硬件进行管理，同时从一个硬件平台到另一个硬件平台的改动与上层应用无关。

3) 可定制的内核：内核本身只提供最基本的操作系统功能，如任务调度、内存管理、中断处

理等。而类似于文件系统和网络协议等附加功能则运行在用户空间中，并且可以根据实际需要进行取舍。这样就大大减小了内核的体积，便于维护和移植。它可以根据用户的需要，实时地将某些模块插入到内核中或者从内核中移走，并能根据嵌入式设备的个性需求量体裁衣。

4) 性能优异: Linux 系统内核精简、高效和稳定，能够充分发挥硬件的功能，因此比其他操作系统的运行效率更高。相比其他操作系统，它占用的资源更少，运行更稳定，速度更快。

5) 良好的网络支持能力: Linux 是首先实现 TCP/IP 协议栈的操作系统。它的内核结构在网络方面是非常完整的，并提供了对包括十兆位、百兆位及千兆位的以太网，还有无线网络、Token ring (令牌环) 和光纤甚至卫星的支持，这对现在依赖于网络的嵌入式设备来说无疑是很好的选择。

## 2 嵌入式通信管理机设计

### 2.1 基本设计思想

依据选用的硬件设备和操作系统的特点，在应用软件的开发上可以有两种方式实现通讯管理机的功能。

一种是将所有接口程序做成一个大集合，采用多线程的方式将每个接口作为一个独立的线程调用，每个项目均采用同一个程序下载。其优点是方便今后的软件管理和升级。一旦软件安装成功，就意味着该装置的所有接口程序均已安装完成，所有功能均可以实现，只是根据配置决定通道的类型；另外设计简单清晰，只需要采用共享内存的方式就可以完成线程间的通讯。其缺点是每增加一个接口程序都需要将所有程序重新编译一次，而且接口的修改和调整非常不便，不利于软件内核的稳定。同时由于将所有接口程序都放置于一个程序中，也使文件变得较大，不利于网络传递和现场升级；还有就是占用系统资源，不能控制每个通道的启停。

另一种方式是采用每个接口程序单独一个文件的方式进行，由专用管理程序根据工程的具体配置信息启停每个通道进程。进程间通讯采用 IPC (进程间通信) 方式进行。其优点是每一个接口程序均以单独执行文件的形式存在，方便管理；单个接口程序调用的公用通讯函数均可封装起来，只提供必要的接口即可，便于保证系统内核的稳定。另外内核的升级和管理相对简单，接口程序的编制保持相对的独立性，修改一个接口程序，不会也不可能导致其他接口程序出现问题。可以控制每个通道的启停，不会因一个通道改变而重启整个系统。其

缺点是程序架构复杂，前期投入的精力较大。内核版本控制较难，需要有一个较好的方式保证工程中内核管理的一致性。另外由于具备管理功能，需要设计专门的配置工具，这同样需要花费大量开发精力。

通过以上分析对比，再结合我们这几年的工程经验。如果将所有工程接口程序都放置于一个大的程序集合中，则带来的软件的编制及管理问题非常大，不利于实施。同时作为通讯服务器，我们也不希望只完成简单通讯转换功能，也希望其具备一些诊断功能。所以最终确定每一个通讯接口采用一个执行程序的方式进行开发，同时开发相应的配置工具，实现对通信管理机的配置和管理功能。

通信管理机应用软件的体系架构见图 2。

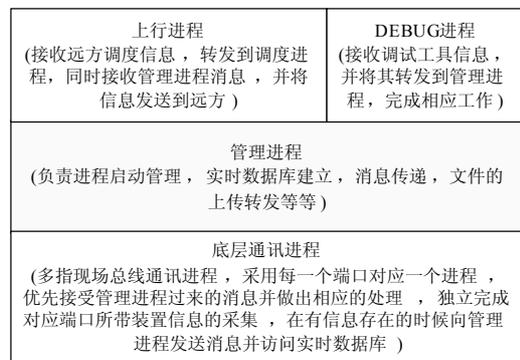


图 2 应用软件体系架构

Fig.2 System frame of applications software

应用软件的进程间消息架构如图 3 所示。

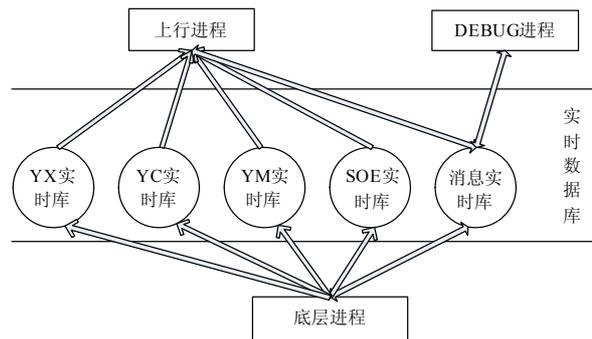


图 3 应用软件的进程间消息架构

Fig.3 Interprocess message communications of applications software

### 2.2 应用功能设计

1) 装置通信: 由于系统采用进程方式通讯，各个进程相互独立，通讯进程与管理进程之间按统一的接口方式进行通讯，所以使每个通讯接口只关注通讯规约的解析，而不再关注通道的类型，减少工

作中出现问题的可能。

2) 数据转发: 根据装置层设备上送的信息, 按照约定的通讯方式和通讯协议, 将信息过滤之后上送到监控中心, 完成信息汇总、筛选工作。

3) 数据合并: 依据需要将一些具有共性或工程需要的告警信息进行合并后上送到监控中心。

4) 数据整定: 依据需要将遥测类型信息按照特定的系数及格式整理后上传监控中心。

5) 系统校时: 利用通讯管理机本身的功能, 实现对整个连接的装置系统的周期性恢复及对时工作。当装置通讯恢复后, 主动向装置发送校时命令。系统正常运行过程中周期性进行装置校时, 保证系统时钟同步。

6) 通道管理: 对通道的信息进行统计, 包括发送报文帧数、接收报文帧数、错误帧数等信息, 实现通道信息管理。当通道出现异常时, 及时告警。同时利用系统管理工具, 自动复位通道。并可控制单一通道的启停。

7) 报文监视: 利用配置工具, 实现对整个通讯管理机的通道信息监视。包括发送报文, 接收到的正确报文和通道中存在的原始报文。同时可以监视运行通道的工况是否存在干扰。

8) 版本管理: 通过通讯管理机程序编制和配置工具的附加功能, 实现对整个系统运行程序的版本管理。

9) 配置文件上传下载: 利用配置工具实现对配置文件和运行程序的上传下载功能, 防止出现采用 Ftp 方式进行文件上传出现的缺漏文件情况。

10) 系统信息监视: 通过配置工具, 对实时库信息和转发库信息进行监视。

11) 告警机制: 通过配置文件, 实现对现场运行工况的告警输出, 可提供电铃电笛告警。

### 2.3 经验分享

由于采用的是嵌入式 Linux 系统, 所以可以有两个时钟源进行选择。一种是直接从装置的硬件时钟芯片上读取时间; 另外一种方式是采用 Linux 系统时标计算出实际的时钟。硬件时钟只能精确到秒级, 不能满足系统对事件记录的要求。所以一开始采用系统软件时标, 但发现软件时标方式误差非常大, 不能满足需要。后采用软件校时的方式, 即每个一分钟通过系统的硬件时钟对系统软时标进行校时, 虽然基本满足需要, 但会导致整个系统中利用时标进行延时的程序瘫痪。后经与硬件开发人员沟通, 重新设计了一个专门的时钟, 经过测试每天最大误差不超过 8 s, 提供的系统时标能达到 10 ms 的分辨率, 基本满足系统需要。

### 3 嵌入式通信管理机在工业系统中的应用

通信管理机是用来将分散于工厂的各个变电所中、各个生产车间中的各种不同类型、不同规约的智能设备通过通信总线接入通信管理机, 然后将信息通过特定的检索模式汇总并上送至工矿企业监控中心, 实现对现场运行参数的采集和管理, 同时实现对现场设备的控制。其实现的主要功能有: 接口转换、规约解析、信息过滤、通道管理、系统校时、系统报警、数据存储等功能。典型应用如图 4 所示。



图 4 通信管理机的典型应用

Fig.4 Typical application of communication management unit

### 4 工业通信管理机的发展方向

随着工业信息化的推进, 工矿企业中的智能设备会越来越多, 都会给工业通信管理机的应用带来更多的机遇。根据技术及行业发展趋势, 我们认为工业通信管理机今后会向以下几个方面发展:

1) 接口多样性: 由于工业环境设备的复杂性, 以及各种现场通信标准的多样性, 今后在现场通信方面, 需要能兼容支持多种不同的模式, 如 CAN\_BUS、Profibus、ControlNet 等各种现场总线模式。目前, 由于国内智能设备生产厂家自身的原因, 现场通信多采用串行总线方式。但随着技术提升, 兼容和支持多种接口模式必然成为发展趋势。

2) 网络化: 工业以太网作为以后工矿企业信息化发展的一个重要技术支撑, 正在迅猛发展。充分利用以太网的技术开放性、可扩充性、技术成熟性等特点, 将成为嵌入式通信管理机未来发展的一个重要方向。

3) 集成化: 嵌入式通讯服务器的最大优点就是功能专一、系统稳定、功耗低。但随着计算机技术的进一步发展, 很有可能在嵌入式服务器上实现更多的功能, 如现场运行工况监视、海量信息存储等应用, 以便于完善整个系统的构成。

(下转第 125 页 continued on page 125)

现进行研究分析,查明真正原因。

2) 低励限制模块防止发电机失磁、失步具有关键作用,建议对励磁调节器低励限制的动态品质和稳定性、与发变组失磁保护定值整定配合<sup>[6-8]</sup>、与PSS功能之间的协调进行整体检验、核算。

### 参考文献

- [1] 袁训奎,赵红光,等.电力系统稳定器(PSS)试验若干问题研究[J].中国电力,2005,38(3):23-25.  
YUAN Xun-kui, ZHAO Hong-guang, et al. Research on some problems about the test of power system stabilizer[J]. Electric Power, 2005, 38(3):23-25.
- [2] 国家电网公司. Q/GDW 143-2006 电力系统稳定器整定试验导则[M].北京:中国电力出版社,2006.  
National Grid Company. Q/GDW 143-2006 guide for setting test of power system stabilizer[M]. Beijing:China Electric Power Press, 2006.
- [3] 肖莹,王述仲.实测法电力系统稳定器参数整定应用[J].山西电力,2005,28(5):29-31.  
XIAO Ying, WANG Shu-zhong. Application of power system stabilizer parameter setting based on real measurement[J]. Shanxi Electric Power, 2005, 28(5):29-31.
- [4] 樊茜,杨立强,等.小浪底电厂电力系统稳定器的参数选择和试验[J].现代电力,2004,21:40-44.  
FAN Qian, YANG Li-qiang, et al. Parameters ascertaining and experiment on PSS in Xiaolangdi power plant[J]. Modern Electric Power, 2004, 21:40-44.
- [5] 雷传友,冯喆,等.二滩水电站励磁系统数学模型参数测试及PSS参数整定[J].电网技术,2005,29(6):49-52.  
LEI Chuan-you, FENG Zhe, et al. Parameter testing of mathematical model for excitation system of Ertan

hydro power station and parameter setting of its PSS[J]. Power System Technology, 2005, 29(6):49-52.

- [6] 张军政.华润电厂300MW发电机组的电力系统稳定器参数整定试验[J].电网技术,2005,29(11):73-76.  
ZHANG Jun-zheng. Parameter setting test of power system stabilizer for 300 MW generator in Huarun power plant[J]. Power System Technology, 2005, 29(11):73-76.
- [7] 李基成.现代同步发电励磁系统设计及运用[M].北京:中国电力出版社,2002.  
LI Ji-cheng. The design and application study on modern synchronous generator excitation system[M]. Beijing:China Electric Power Press, 2002.
- [8] 竺士章.发电励磁系统试验[M].北京:中国电力出版社,2005.  
ZHU Shi-zhang. Test of generator excitation system[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [9] 刘取.电力系统稳定性及发电机励磁控制[M].北京:中国电力出版社,2007.  
LIU Qu. Power system stability and generator excitation control[M]. Beijing:China Electric Power Press, 2007.

收稿日期:2009-03-04; 修回日期:2009-03-27

作者简介:

向保录(1974-),男,工程硕士,工程师,技师,从事发电厂电气设备检修管理;E-mail:nosaxiang@yahoo.com

刘冠环(1964-),男,大专,助理工程师,技师,从事发电厂电气设备检修管理。

(上接第116页 continued from page 116)

## 5 结论

本文所介绍的嵌入式通信管理机自2008年完成整个系统的功能开发及测试后,至今已有近百套投入现场运行。该嵌入式通信管理机以其功能强、性能稳定、运行可靠,赢得了良好的声誉。同时,随着技术的发展,嵌入式通信管理机在工业系统信息化中也将发挥更大的作用。

### 参考文献

- [1] (美)史蒂文斯,(美)拉戈. UNIX环境高级编程[M]. 尤晋元,张亚英,戚正伟,译.北京:人民邮电出版社,2006.
- [2] Rusling D A,等. Linux编程白皮书[M]. 朱珂,译.北

京:机械工业出版社,2000.

- [3] 徐千洋. Linux C函数库参考手册[M].北京:中国青年出版社,2002.
- [4] 孙琼. 嵌入式Linux应用程序开发详解[M].北京:人民邮电出版社,2006.

收稿日期:2009-09-18; 修回日期:2009-10-21

作者简介:

陈杰(1967-),男,本科,高级工程师,从事电力系统继电保护及自动化的研发及工程工作;E-mail:Jiech@xjgc.com

杜伟春(1974-),男,本科,工程师,从事电力系统的运行维护工作;

王振岳(1979-),男,本科,工程师,从事电力系统继电保护及自动化的研发及工程工作。