

基于 VxWorks 的通信服务器 实时多任务软件设计

杨晓静¹ 胡敏强¹ 吴在军¹ 李澄²

(东南大学 电气工程系 江苏 南京 210096)

江苏省电力试验研究院 江苏 南京 210036

摘要 为满足电力调度自动化系统对通信服务器高可靠性和强实时性的要求,提出基于嵌入式实时多任务操作系统 VxWorks 的通信服务器的软件方案。通信服务器的硬件基于嵌入式微处理器 AT91RM9200 芯片设计,软件主要实现通信规约转换和数据转发。软件系统结构采用双层客户机/服务器(C/S)结构,下行通道通信服务器是客户机,请求保护装置的数据,支持 1 规约;上行通道通信服务器是服务器,响应调度主站的数据请求,支持循环式数据传输规约(CDT、D1、D2、D3、D4)规约。其软件体系包括系统初始化、系统配置、下行通道数据请求处理、上行通道数据处理和数据库管理等模块。分析了数据流向及基于 H.323 原则的任务划分,确定了各任务的优先级,且任务可调用 task 函数改变优先级。系统采用信号量和消息队列为通信机制,保证了系统的实时性,并给出了通信服务器主程序流程图。

关键词 通信服务器 实时操作系统 多任务 任务间通信

中图分类号 : TM733 **文献标识码** : B **文章编号** : 1006-2060(2007)4-70-03

0 引言

电力调度自动化系统中,通信服务器负责收集变电站内部各继电保护、测量装置的运行信息,上传到远方调度中心,同时下发调度命令到保护测量装置^[1]。目前,鉴于电力系统通信规约不统一、通信介质复杂多样的现状,上述通信服务器的功能表现为规约转换、数据转发和子网划分^[4]。传统的通信方式是以 PC 机或工控机作为通信机,用 Windows 或 DOS 作为操作系统平台,但这种方式无法保证系统的实时性和可靠性^[5]。

VxWorks 操作系统是风河公司设计开发的一种嵌入式实时操作系统。VxWorks 具备一个高效的微内核,微内核支持实时系统的一系列特征,包括多任务、中断支持、任务抢占式调度和时间片轮转调度。这种设计使 VxWorks 缩减了系统开销,并加速了对外部事件的反应,内核运行速度快且可以事先确定^[9]。VxWorks 对外部事件响应小于 1 μs,实时性优于 Linux。同时,VxWorks 支持 RTIC 协议/配置,可缩减^[7]。

VxWorks 实时操作系统内核利用任务级别的不同分配 CPU 时间,而获得多任务的并发性。基于抢占调度和灵活的任务间通信与同步、任务与中断间通信等,确保了 VxWorks 可以满足通信服务器的高实时性和可靠性要求。

文中提出了基于 VxWorks 的通信服务器实时多任务软件设计,并详细分析了功能模块划分、数据流

向、多任务划分、任务优先级确定及任务间通信方式的确定等,合理的多任务设计有效地保证了系统的实时性。

1 通信服务器功能结构介绍

通信服务器硬件上基于嵌入式微处理器 ARM9 设计,选用 AT91RM9200 芯片,从硬件角度,通信服务器起通信接口转换作用:①在 C 语言下,下行通道与变电站自动化系统的保护装置相连;②二线串口 RS-485 和以太网口要求均为 10/100 Mbit/s,适应用作上行通道,通过网络集线器(HUB)或 Modem 与调度主站相连,实现网络的主、从传输模式和平衡传输模式。此外,通信服务器还提供调试接口、双机互联和监视接口、全球定位系统(GPS)校时脉冲输入接口,以及键盘、液晶显示等基本人机接口等辅助功能。

通信服务器硬件结构图如图 1 所示。

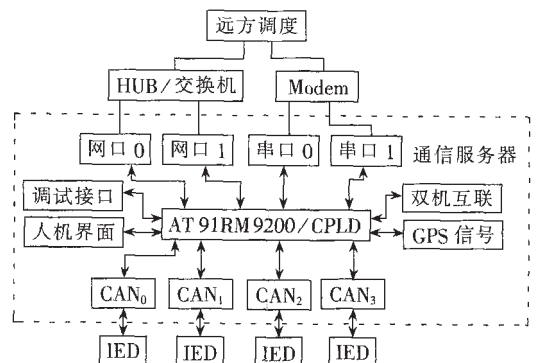


图 1 通信服务器硬件结构图

Fig.1 Hardware structure of communication server

从软件角度 通信服务器主要起通信规约转换和数据转发作用 将现场数据集中后转发给调度主站, 并构建装置内部的实时数据库 支持一定深度的数据回溯。同时 支持授权的远方操作、控制和整定。下行通道支持 IEC 60870- 5- 10规约 循环式数据传送规约 (CDT) IEC 60870- 5- 101 IEC 60870- 5- 10规约通信服务器支持现场配置功能 可配置变电站自动化系统保护装置与通信服务器的连接方式、地址、型号 配置串口和以太网端口的规约类型, 及规约的相关参数等。配置工具最后生成配置文件通过以太网下载到通信服务器中。

硬件和基于 VxWorks的上层应用软件之间是板级支持包 BSP (Board Support Package) (bit/s) BSP是个软件抽象层 为上层软件提供与特殊硬件无关的统一操作接口 支持硬件初始化、中断处理、硬件时钟和内存映射 完成最小系统和设备驱动。硬件设计完成后 加载其 BSP, VxWorks的大部分库就可以与使用的特殊硬件无关了 [11-12]。这种结构保证了上层代码的移植性 也使软件结构清晰。

系统整体的功能结构图如图 所示。

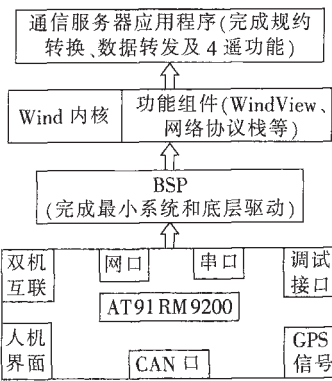


图2 通信服务器功能结构图

Fig.2 Functional diagram of communication server

2通信服务器实时多任务软件设计 [13]

通信服务器实时多任务软件开发设计步骤如图 所示。

对实时多任务软件而言 任务的合理分解以及任务间接口的合理确定是系统实时性的保证。

2.1软件功能模块划分

按“功能独立”的模块化设计基本原则 [14] 通信服务器软件体系包括 系统初始化、系统配置、下行通道数据请求和处理、上行通道数据处理、数据库管理等模块 如图 所示。其中 下行通道数据请求和处理模块与上行通道数据处理模块内封装了中断和中断驱动的任务。“功能独立”的模块可以降低开发、测试、维护等阶段的代价。但是“功能独立”并不意味着模块之间保持绝对的孤立。系统要完成某项任务 需要各个模块相互配合才能实现 此时模块之间就要进行信息交流。

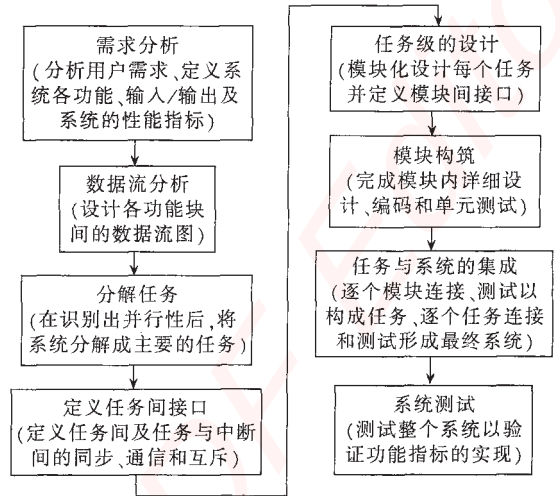


图3 通信服务器实时多任务软件开发步骤

Fig.3 Development steps of real-time multitask software of communication server

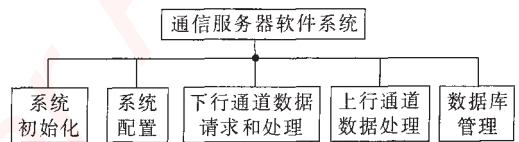


图4 通信服务器功能模块划分

Fig.4 Division of communication server functional modules

2.2数据流分析

根据上述对通信服务器软件系统的功能分析 给出其数据流图 如图 所示。

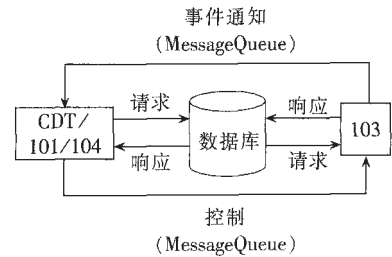


图5 通信服务器数据流分析

Fig.5 Data stream analysis of communication server

上行通道数据处理模块与下行通道数据请求和处理模块有直接的信息交换: CDT/101/104 传遥控、遥调、定值读写等命令到 103, 103 执行上述命令 并上传命令返校到 CDT/101/104 同时 上行通道数据处理模块和下行通道数据请求和处理模块共同维护着一个装置内部的实时数据库, 103 收集装置的遥信、遥测和顺序事件 (SOE) 信息 存入实时数据库 供 CDT/101/104 查询读取。软件体系结构采用双层客户机/服务器 (client/server) 结构 对下行通道 通信服务器扮演客户机角色 请求保护装置的数据。对上行通道 通信服务器扮演服务器角色, 响应调度主站的数据请求。

2.3任务划分

实时系统中任务的数量及划分是系统软件顶层

设计中需慎重考虑的问题之一。任务数量太少 势必造成系统实时性差 反之 任务过多 ,CP的调度开销也必然增加^[19]。本系统任务的划分正是基于 H.GEMM原则 (1/原则、异步事件原则、周期事件原则、功能耦合、偶然耦合等 和考虑通信服务器本身的特殊要求而设计的。

系统分 4个任务 ,4个下行 CAN分别对应 4个 103任务 ,4个上行通道对应 4个串口任务和 2个网口任务 串口任务对应 104或 CD任务 ,104规约是基于 TCP/协议的 因此对应网口任务。)通常情况下通信服务器只接收 一个调度主站的命令 ,上行通道中只有 一个端口在工作 其他 3个备用 因此系统中运行的任务为 4个 即 4个下行 103任务和 4个上行任务 这个上行任务可能是 104 104或 CDT任务 由调度端决定。103任务完成 103规约的各项功能 包括呼唤各种测量量、状态量 然后存入数据库 召唤特殊内容和控制命令 接收自上行任务 的下发。上行通道任务的功能包括读数据库数据 常规测量量和状态量、召唤定值、定值修改、遥控命令。

VxWorks有就绪态 (ready)阻塞态 (pend)延迟态 (delay)挂起态 (suspend) 种任务状态 任务创建后处于其中的一种或者几种状态的变换组合^[5]。面对如此众多的任务和任务状态 需要利用一种有效的调度机制 即不同优先级的任务进行优先级抢占和同等优先级的任务进行时间片轮转调度 来对系统中的任务进行有效的调度 最大限度的利用 CPU资源 从而满足系统的实时性要求。

2.4任务优先级的确定

VxWorks每个任务都有优先级。一共有 256个优先级 编号从 0 255,为最高优先级^[19]。任务在创建时就必须指定优先级 但是在系统运行过程中 任务可以调用 taskPrioritySet函数改变自己的优先级。应用程序中还可以使用中断 基于硬件中断的中断服务程序 (ISR高于一切优先级的任务。

系统中任务优先级的确定主要取决于任务本身的紧急程度。在通信服务器中 来自调度的命令往往是需要立即执行的 因此 上行通道任务优先级最高 设为 50) 4个下行的 103任务 由于其下连着相同性质的终端 其行为特性是相同的 优先级相同 且一般情况下优先级较低 设为 100)以 103任务创建及优先级设定为例 说明任务优先级的定义。

```
int taskSpawn
(
char* tTask_103, 任务名
int Priority_103, 任务优先级 ,100
int VX_FP_TASK, 任务选择字
int StackSize, 任务栈大小
FUNCPTR entryPt, 任务入口
int arg1, 第一个传递参数
```

```
.....
int arg10
)
```

但是 如果某个 103任务接收了调度命令 为了及时处理这些命令其优先级必须升高 于是调用 taskPrioritySet函数动态提升优先级 :

```
STATUS taskPrioritySet
(
int Task_ID, 任务 ID
int NewPriority 新的优先级
)
```

调度命令完成之后 ,103任务恢复本身的优先级。

2.5任务间通信方式确定

VxWorks提供丰富灵活的任务间通信机制 用于协调任务间及任务和中断间的行为 包括共享内存、信号量、消息队列、管道、套接字、远程过程调用等^[17]。共享内存方式方便快捷 但与多任务的概念是冲突的 会使任务间的耦合过紧而增加系统的复杂程度 使用较少。后面 种通信机制类似于消息队列 但包含了更高层的抽象而造成操作系统内核扩大、开销增大、使用也不多。 VxWorks常用的通信机制是信号量和消息队列。信号量机制用于实现资源互斥和任务同步 而消息队列中可以缓冲多个消息单元 实现大容量任务间信息交换^[11]。

103 104 104和 CD任务分别接收各自对应端口的数据 任务和端口之间依靠信号量通信。以 103任务为例 ,103任务执行以后 首先处理调度命令 然后读取 CAN对应的接收缓冲区 若缓冲区为空 ,程序等待 CAN的二进制信号量而发生阻塞 让出 CPU如果在规定的等待时间内 CAN产生数据 ,则触发硬件中断而释放信号量 程序获得信号量进入就绪状态。如果超过等待时间程序还没有获得信号量 表明数据接收失败 转入执行相应的处理程序。

103任务和上行通道任务间采用消息队列实现大容量的信息交换。以调度端采用 103规约的情况为例。103任务下传的调度命令写入发送消息队列 ,103任务接收以后 执行相应命令 并将命令返校写入接收消息队列上传到 103任务。当有多个调度端同时工作时 ,103任务应判断命令来自哪个端口 保证命令返校能被正确接收。

任务间通信方式的简图如图 所示。

其中 ,msgQSend[]为 103任务下传内容消息队列 内容为遥控 遥调 定值读写等命令。

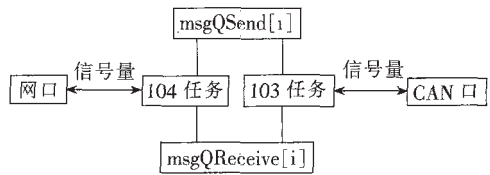


图 6 通信服务器任务间通信机制
Fig.6 Communication mode between tasks of communication server

msgQReceive[中为 10任务上传内容消息队列 内容为命令校返等。

2.6代码编写与调试

通过代码编写和调试 将落实顶层设计的各种思想 并及时发现原设计的不足和错误。 VxWorks支持 C++, C+面向对象的思想可以方便地实现通信服务器的模块化设计。程序中设置 CDB数据库类、) CTerm终端类、) CComm端口类、) CProtocol规约类、) CPro103(10规约类、) CPro104(10规约类、) CPro101(10规约类、) CProCDT(CD规约类)等一系列类封装模块内部行为。 VxWorks强大的网络功能支持 Socket套接字编程^[18]可以方便地实现基于 10规约的网络编程。同时, VxWorks提供了功能强大的交叉编译环境 通过调试有效避免了任务间可能发生的阻塞和死锁等现象。主程序流程如图 所示。

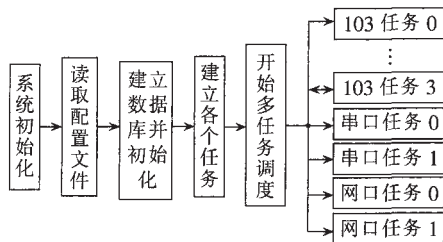


图 7 通信服务器主程序流程

Fig.7 Main program flow of communication server

3结论

调度自动化系统对通信服务器有很高的实时性和可靠性要求。本系统设计基于 AT 91RM9200处理器和嵌入式实时操作系统 VxWorks较好地满足了上述要求。目前 系统的硬件调试已经完成 软件部分也已经基本完成。从实际调试情况 系统运行良好 能够胜任电力系统的要求。在目前变电站规约不统一、通信介质复杂多样、且 IEC61850标准还未成熟应用的情况下 高实时性和可靠性的通信服务器是好的解决方案。

参考文献 :

[1] 柳建勇 吴在军 胡敏强 等 一种能实现异种网络互联的通信控制器 [J]电力系统自动化, 2003, 27(12): 55-58.
ZHENG Jian-yong WU Zai-jun HU Min-qiang et al. A communication controller for heterogeneous network interconnection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(12): 55-58.

[2] 曹建权 严登俊 韩敬东 电力系统通信技术的发展 [J]江苏电机工程, 2004, 23(3): 68-71.
CAO Jian-quan, YAN Deng-jun, HAN Jing-dong. Development of communication technology in the electric power system[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2004, 23(3): 68-71.

[3] 沈宏涛 姜奇鹤 王韧 等 基于 RTP的变电站自动化网络通信系统研究 [J]电力自动化设备, 2005, 25(2): 25-29.
SHEN Hong-tao, LOU Qi-he, WANG REN, et al. Research on

substation automation network communication system based on RTP[S]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(2): 25-29.

[4] 吴在军 胡敏强 基于 IEC61850标准的变电站自动化系统研究 [J]电网技术, 2003, 27(10): 61-65.
WU Zai-jun, HU Min-qiang. Research on a substation automation system based on IEC61850[J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 61-65.

[5] 张明锐 大型变电站计算机监控系统的开发与应用 [J]电力系统及其自动化学报, 2003, 15(6): 91-93.
ZHANG Ming-rui. Development and application of distribution SCADA system on Shanghai Zhengda square plant[J]. Proceedings of the EPSA, 2003, 15(6): 91-93.

[6] 钱治强 孙新亚 基于 Linux的电力自动化系统通信网关的总体设计 [J]电力自动化设备, 2003, 23(7): 51-53.
QIAN Zhi-qiang SUN Xin-ya. Design of communication protocol gateway based on Linux for power automation system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(7): 51-53.

[7] 王韬 杨士中 谭晓衡 基于 MPC860和 VxWorks的嵌入式中断处理设计 [J]电讯技术, 2005(1): 45-50.
WANG Tao, YANG Shi-zhong TAN Xiao-heng. Interrupt process design based on MPC860 and VxWorks[J]. Foundation Supported Project, 2005(1): 45-50.

[8] 卮林 梁军 白树忠 基于实时多任务操作系统的通信管理机的总体方案设计及实施 [J]继电器, 2004, 32(22): 35-38.
NIU Lin, LIANG Jun, BAI Shu-zhong. Design and implementation of communication manager based on real time multitask operating system[J]. Relay, 2004, 32(22): 35-38.

[9] 薛成效 裴正定 简述几种实时多任务操作系统 [J]单片机及嵌入式系统应用, 2001(10): 21-25.
XUE Cheng-xiao, QIU Zheng-ding. Description of some kinds of multitask RTOS[J]. Chip Microcomputer and Application of Embedded System, 2001(10): 21-25.

[10] ATMEL. AT91RM9200_DataSheet[EB/OL]. [2006-01-20]. <http://www.atmel.com>.

[11] 陈荷燕 王惠南 基于实时操作系统的嵌入式软件设计 [J]嵌入式系统, 2005(10): 95-98.
CHEN He-yan, WANG Hui-nan. Programming embedded software design based on OS[J]. Embedded System, 2005(10): 95-98.

[12] WIND River. VxWorks programmer's guide[EB/OL]. [2006-01-20]. <http://www.windriver.com>.

[13] 方彦军 牛兴林 数传电台与 MCGS控制组态软件通信研究 [J]. 电力自动化设备, 2005, 25(6): 38-40.
FANG Yan-jun, NIU Xing-lin. Research communication between data radion transceiver and MCGS[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(6): 38-40.

[14] 高峰 崔琪 杨常府 分层模块化软件设计在变电站通信管理机中的应用 [J]电力自动化设备, 2004, 24(6): 95-97.
GAO Feng CUI Qi, YANG Chang-fu. Application of layered modularized software design in substation communication manager[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(6): 95-97.

[15] 罗国庆. VxWorks嵌入式软件开发 [M]北京 机械工业出版社, 2003.

[16] 陈智育 温彦军 陈琪. VxWorks程序开发实践 [M]北京 人民邮电出版社, 2004.

[17] 李方敏. VxWorks高级程序设计 [M]北京 清华大学出版社, 2004.

[18] 程敬原 束礼宝 安琪. VxWorks基于多任务的网络通讯 [J]计算机工程与应用, 2003(28): 143-199.
CHENG Jing-yuan, SHU Li-bao, AN Qi. Network communication based on multitask of VxWorks[J]. Computer Engineering and Application, 2003

作者简介 :

杨晓静 (1981-女 回族 山东德州人 硕士研究生 研究方向为变电站自动化系统 (E-mail: yangxiaojing0319@163.com) ;
胡敏强 (1961-男 江苏丹阳人 教授 博士研究生导师 主要从事工程电磁场计算、电机及其控制技术、电气主设

备状态监测与故障诊断等方面的研究工作 ;

吴在军 (1975-男 江苏南京人 副教授 博士 研究方向为变电站自动化系统 ;

李澄 (1973-男 江苏南京人 高级工程师 从事变电站自动化系统研究。

Real-time multitask software design of communication server based on VxWorks

YANG Xiao-jing, HU Min-qiang, WU Zai-jun, LI Cheng

(1. Department of Electric Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Jiangsu Provincial Electric Power Research Institute, Nanjing 210036, China)

Abstract: A software design of communication server based on embedded RTOS(Real-Time Operating System) VxWorks is proposed to satisfy requirements of electric power dispatch automation system for high reliability and real-time performance. The hardware is designed based on embedded microprocessor AT91RM9200, and the software realizes protocol conversion and data transfer. The software system adopts double-layer client/server structure. To downstream channels, the communication server acts as a client, requesting data of protection units and supporting protocol IEC-60870-103. To upstream channel, the communication server acts as a server, responding the data request of dispatch master station and supporting protocol CDT(Cyclic Digital Transmission), IEC-60870-101 and IEC-60870-104. The software architecture consists of models of system initialization, system configuration, data request and processing of downstream channels, data processing of upstream channel and database management. The data stream and the multitask division of communication server based on H.GEMMA rule are analyzed. Task priority is determined and it can be changed by calling taskPrioritySet function. The communication server uses semaphore and message queue as communication modes to guarantee the real-time performance of system. The main program flow of communication server is given.

Key words: communication server; RTOS; multitask; communication between tasks

上接第 80 页 continued from page 80)

[16]汪阳 黄天戌 孙涛 等 一种新型的基于现场总线的水轮机组状态监测系统 [J]电子应用技术, 2004, 30(9): 24-26.

WANG Yang HUANG Tian - shu, SUN Tao, et al. A novel condition monitoring system for hydro-generators based on field bus [J]. Application of Electronic Technique, 2004, 30(9): 24-26.

责任编辑 柏英武)

作者简介 :

汪阳 (1977-男 湖北武汉人 讲师 博士 研究方向为工业控制网络 (E-mail: powerflow@126.com) ;

黄天戌 (1946-男 江苏常州人 教授 博士研究生导师, IEE会员 研究方向为计算机测控技术。

Design and implementation of embedded Web server for LonWorks

WANG Yang, HUANG Tian-shu

(1. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: With the designed embedded Web server for LonWorks, user can access the equipment and data in LonWorks network from management information network through Web. The system scheme is introduced. The interface between server and information network is implemented by SX 52 and RTL8019AS, while the interface between server and LonWorks by Neuron 3150, in which data exchange between them is through parallel port in slave-master mode. According to the feature of embedded system, the TCP/IP protocol stack is simplified in the solution, and an accessing method combining B/S mode and Socket programming is proposed, which reduces the load of Web server. As for the data exchange, the virtual token exchange protocol is proposed for software realization. Its application in practice shows that it works stably and reliably.

Key words: LonWorks; Internet; embedded system; embedded system

嵌入式资源免费下载

总线协议:

1. [基于 PCIe 驱动程序的数据传输卡 DMA 传输](#)
2. [基于 PCIe 总线协议的设备驱动开发](#)
3. [CANopen 协议介绍](#)
4. [基于 PXI 总线 RS422 数据通信卡 WDM 驱动程序设计](#)
5. [FPGA 实现 PCIe 总线 DMA 设计](#)
6. [PCI Express 协议实现与验证](#)
7. [VPX 总线技术及其实现](#)
8. [基于 Xilinx FPGA 的 PCIE 接口实现](#)
9. [基于 PCI 总线的 GPS 授时卡设计](#)
10. [基于 CPCI 标准的 6U 信号处理平台的设计](#)
11. [USB30 电路保护](#)
12. [USB30 协议分析与框架设计](#)
13. [USB 30 中的 CRC 校验原理及实现](#)
14. [基于 CPLD 的 UART 设计](#)
15. [IPMI 在 VPX 系统中的应用与设计](#)
16. [基于 CPCI 总线的 PMC 载板设计](#)
17. [基于 VPX 总线的工件台运动控制系统研究与开发](#)
18. [PCI Express 流控机制的研究与实现](#)
19. [UART16C554 的设计](#)
20. [基于 VPX 的高性能计算机设计](#)
21. [基于 CAN 总线技术的嵌入式网关设计](#)
22. [Visual C 串行通讯控件使用方法与技巧的研究](#)
23. [IEEE1588 精密时钟同步关键技术研究](#)
24. [GPS 信号发生器射频模块的一种实现方案](#)
25. [基于 CPCI 接口的视频采集卡的设计](#)
26. [基于 VPX 的 3U 信号处理平台的设计](#)
27. [基于 PCI Express 总线 1394b 网络传输系统 WDM 驱动设计](#)
28. [AT89C52 单片机与 ARINC429 航空总线接口设计](#)
29. [基于 CPCI 总线多 DSP 系统的高速主机接口设计](#)
30. [总线协议中的 CRC 及其在 SATA 通信技术中的应用](#)
31. [基于 FPGA 的 SATA 硬盘加解密控制器设计](#)
32. [Modbus 协议在串口通讯中的研究及应用](#)
33. [高可用的磁盘阵列 Cache 的设计和实现](#)
34. [RAID 阵列中高速 Cache 管理的优化](#)

35. [一种新的基于 RAID 的 CACHE 技术研究与实现](#)
36. [基于 PCIE-104 总线的高速数据接口设计](#)
37. [基于 VPX 标准的 RapidIO 交换和 Flash 存储模块设计](#)
38. [北斗卫星系统在海洋工程中的应用](#)
39. [北斗卫星系统在远洋船舶上应用的研究](#)
40. [基于 CPCI 总线的红外实时信号处理系统](#)
41. [硬件实现 RAID 与软件实现 RAID 的比较](#)
42. [基于 PCI Express 总线系统的热插拔设计](#)
43. [基于 RAID5 的磁盘阵列 Cache 的研究与实现](#)
44. [基于 PCI 总线的 MPEG2 码流播放卡驱动程序开发](#)
45. [基于磁盘阵列引擎的 RAID5 小写性能优化](#)
46. [基于 IEEE1588 的时钟同步技术研究](#)
47. [基于 Davinci 平台的 SD 卡读写优化](#)
48. [基于 PCI 总线的图像处理及传输系统的设计](#)
49. [串口和以太网通信技术在油液在线监测系统中的应用](#)
50. [USB30 数据传输协议分析及实现](#)
51. [IEEE 1588 协议在工业以太网中的实现](#)
52. [基于 USB30 的设备自定义请求实现方法](#)
53. [IEEE1588 协议在网络测控系统中的应用](#)
54. [USB30 物理层中弹性缓冲的设计与实现](#)
55. [USB30 的高速信息传输瓶颈研究](#)
56. [基于 IPv6 的 UDP 通信的实现](#)
57. [一种基于 IPv6 的流媒体传送方案研究与实现](#)
58. [基于 IPv4-IPv6 双栈的 MODBUS-TCP 协议实现](#)

VxWorks:

1. [基于 VxWorks 的多任务程序设计](#)
2. [基于 VxWorks 的数据采集存储装置设计](#)
3. [Flash 文件系统分析及其在 VxWorks 中的实现](#)
4. [VxWorks 多任务编程中的异常研究](#)
5. [VxWorks 应用技巧两例](#)
6. [一种基于 VxWorks 的飞行仿真实时管理系统](#)
7. [在 VxWorks 系统中使用 TrueType 字库](#)
8. [基于 FreeType 的 VxWorks 中文显示方案](#)
9. [基于 Tilcon 的 VxWorks 简单动画开发](#)
10. [基于 Tilcon 的某武器显控系统界面设计](#)
11. [基于 Tilcon 的综合导航信息处理装置界面设计](#)
12. [VxWorks 的内存配置和管理](#)

13. [基于 VxWorks 系统的 PCI 配置与应用](#)
14. [基于 MPC8270 的 VxWorks BSP 的移植](#)
15. [Bootrom 功能改进经验谈](#)
16. [基于 VxWorks 嵌入式系统的中文平台研究与实现](#)
17. [VxBus 的 A429 接口驱动](#)
18. [基于 VxBus 和 MPC8569E 千兆网驱动开发和实现](#)
19. [一种基于 vxBus 的 PPC 与 FPGA 高速互联的驱动设计方法](#)
20. [基于 VxBus 的设备驱动开发](#)
21. [基于 VxBus 的驱动程序架构分析](#)
22. [基于 VxBus 的高速数据采集卡驱动程序开发](#)
23. [Vxworks 下的冗余 CAN 通讯模块设计](#)
24. [WindML 工业平台下开发 S1d13506 驱动及显示功能的实现](#)
25. [WindML 中 Mesa 的应用](#)
26. [VxWorks 下图形用户界面开发中双缓冲技术应用](#)
27. [VxWorks 上的一种 GUI 系统的设计与实现](#)
28. [VxWorks 环境下 socket 的实现](#)
29. [VxWorks 的 WindML 图形界面程序的框架分析](#)
30. [VxWorks 实时操作系统及其在 PC104 下以太网编程的应用](#)
31. [实时操作系统任务调度策略的研究与设计](#)
32. [军事指挥系统中 VxWorks 下汉字显示技术](#)
33. [基于 VxWorks 实时控制系统中文交互界面开发平台](#)
34. [基于 VxWorks 操作系统的 WindML 图形操控界面实现方法](#)
35. [基于 GPU FPGA 芯片原型的 VxWorks 下驱动软件开发](#)
36. [VxWorks 下的多串口卡设计](#)
37. [VxWorks 内存管理机制的研究](#)
38. [T9 输入法在 Tilcon 下的实现](#)
39. [基于 VxWorks 的 WindML 图形界面开发方法](#)
40. [基于 Tilcon 的 IO 控制板可视化测试软件的设计和实现](#)

Linux:

1. [Linux 程序设计第三版及源代码](#)
2. [NAND FLASH 文件系统的设计与实现](#)
3. [多通道串行通信设备的 Linux 驱动程序实现](#)
4. [Zsh 开发指南-数组](#)
5. [常用 GDB 命令中文速览](#)
6. [嵌入式 C 进阶之道](#)
7. [Linux 串口编程实例](#)
8. [基于 Yocto Project 的嵌入式应用设计](#)

9. [Android 应用的反编译](#)
10. [基于 Android 行为的加密应用系统研究](#)
11. [嵌入式 Linux 系统移植步步通](#)
12. [嵌入式 C++ 语言精华文章集锦](#)
13. [基于 Linux 的高性能服务器端的设计与研究](#)
14. [S3C6410 移植 Android 内核](#)
15. [Android 开发指南中文版](#)
16. [图解 Linux 操作系统架构设计与实现原理（第二版）](#)
17. [如何在 Ubuntu 和 Linux Mint 下轻松升级 Linux 内核](#)
18. [Android 简单 mp3 播放器源码](#)
19. [嵌入式 Linux 系统实时性的研究](#)
20. [Android 嵌入式系统架构及内核浅析](#)
21. [基于嵌入式 Linux 操作系统内核实时性的改进方法研究](#)
22. [Linux TCP IP 协议详解](#)
23. [Linux 桌面环境下内存去重技术的研究与实现](#)
24. [掌握 Android 7.0 新增特性 Quick Settings](#)
25. [Android 应用逆向分析方法研究](#)
26. [Android 操作系统的课程教学](#)
27. [Android 智能手机操作系统的研究](#)
28. [Android 英文朗读功能的实现](#)
29. [基于 Yocto 订制嵌入式 Linux 发行版](#)
30. [基于嵌入式 Linux 的网络设备驱动设计与实现](#)
31. [如何高效学习嵌入式](#)
32. [基于 Android 平台的 GPS 定位系统的设计与实现](#)
33. [LINUX ARM 下的 USB 驱动开发](#)
34. [Linux 下基于 I2C 协议的 RTC 驱动开发](#)
35. [嵌入式下 Linux 系统设备驱动程序的开发](#)
36. [基于嵌入式 Linux 的 SD 卡驱动程序的设计与实现](#)
37. [Linux 系统中进程调度策略](#)
38. [嵌入式 Linux 实时性方法](#)
39. [基于实时 Linux 计算机联锁系统实时性分析与改进](#)
40. [基于嵌入式 Linux 下的 USB30 驱动程序开发方法研究](#)
41. [Android 手机应用开发之音乐资源播放器](#)
42. [Linux 下以太网的 IPv6 隧道技术的实现](#)
43. [Research and design of mobile learning platform based on Android](#)
44. [基于 linux 和 Qt 的串口通信调试器调的设计及应用](#)
45. [在 Linux 平台上基于 QT 的动态图像采集系统的设计](#)
46. [基于 Android 平台的医护查房系统的研究与设计](#)
47. [基于 Android 平台的软件自动化监控工具的设计开发](#)
48. [基于 Android 的视频软硬解码及渲染的对比研究与实现](#)

Windows CE:

1. [Windows CE.NET 下 YAFFS 文件系统 NAND Flash 驱动程序设计](#)
2. [Windows CE 的 CAN 总线驱动程序设计](#)
3. [基于 Windows CE.NET 的 ADC 驱动程序实现与应用的研究](#)
4. [基于 Windows CE.NET 平台的串行通信实现](#)
5. [基于 Windows CE.NET 下的 GPRS 模块的研究与开发](#)
6. [win2k 下 NTFS 分区用 ntldr 加载进 dos 源代码](#)
7. [Windows 下的 USB 设备驱动程序开发](#)
8. [WinCE 的大容量程控数据传输解决方案设计](#)
9. [WinCE6.0 安装开发详解](#)
10. [DOS 下仿 Windows 的自带计算器程序 C 源码](#)
11. [G726 局域网语音通话程序和源代码](#)
12. [WinCE 主板加载第三方驱动程序的方法](#)
13. [WinCE 下的注册表编辑程序和源代码](#)
14. [WinCE 串口通信源代码](#)
15. [WINCE 的 SD 卡程序\[可实现读写的源码\]](#)
16. [基于 WinCE 的 BootLoader 研究](#)
17. [Windows CE 环境下无线网卡的自动安装](#)
18. [基于 Windows CE 的可视电话的研究与实现](#)
19. [基于 WinCE 的嵌入式图像采集系统设计](#)
20. [基于 ARM 与 WinCE 的掌纹鉴别系统](#)
21. [DCOM 协议在网络冗余环境下的应用](#)
22. [Windows XP Embedded 在变电站通信管理机中的应用](#)
23. [XPE 在多功能显控台上的开发与应用](#)
24. [基于 Windows XP Embedded 的 LKJ2000 仿真系统设计与实现](#)
25. [虚拟仪器的 Windows XP Embedded 操作系统开发](#)

PowerPC:

1. [Freescale MPC8536 开发板原理图](#)
2. [基于 MPC8548E 的固件设计](#)
3. [基于 MPC8548E 的嵌入式数据处理系统设计](#)
4. [基于 PowerPC 嵌入式网络通信平台的实现](#)
5. [PowerPC 在车辆显控系统中的应用](#)
6. [基于 PowerPC 的单板计算机的设计](#)
7. [用 PowerPC860 实现 FPGA 配置](#)

8. [基于 MPC8247 嵌入式电力交换系统的设计与实现](#)
9. [基于设备树的 MPC8247 嵌入式 Linux 系统开发](#)
10. [基于 MPC8313E 嵌入式系统 UBoot 的移植](#)
11. [基于 PowerPC 处理器 SMP 系统的 UBoot 移植](#)
12. [基于 PowerPC 双核处理器嵌入式系统 UBoot 移植](#)
13. [基于 PowerPC 的雷达通用处理机设计](#)
14. [PowerPC 平台引导加载程序的移植](#)
15. [基于 PowerPC 嵌入式内核的多串口通信扩展设计](#)
16. [基于 PowerPC 的多网口系统抗干扰设计](#)
17. [基于 MPC860T 与 VxWorks 的图形界面设计](#)
18. [基于 MPC8260 处理器的 PPMC 系统](#)
19. [基于 PowerPC 的控制器研究与设计](#)
20. [基于 PowerPC 的模拟量输入接口扩展](#)
21. [基于 PowerPC 的车载通信系统设计](#)
22. [基于 PowerPC 的嵌入式系统中通用 IO 口的扩展方法](#)
23. [基于 PowerPC440GP 型微控制器的嵌入式系统设计与研究](#)

ARM:

1. [基于 DiskOnChip 2000 的驱动程序设计及应用](#)
2. [基于 ARM 体系的 PC-104 总线设计](#)
3. [基于 ARM 的嵌入式系统中断处理机制研究](#)
4. [设计 ARM 的中断处理](#)
5. [基于 ARM 的数据采集系统并行总线的驱动设计](#)
6. [S3C2410 下的 TFT LCD 驱动源码](#)
7. [STM32 SD 卡移植 FATFS 文件系统源码](#)
8. [STM32 ADC 多通道源码](#)
9. [ARM Linux 在 EP7312 上的移植](#)
10. [ARM 经典 300 问](#)
11. [基于 S5PV210 的频谱监测设备嵌入式系统设计与实现](#)
12. [Uboot 中 start.S 源码的指令级的详尽解析](#)
13. [基于 ARM9 的嵌入式 Zigbee 网关设计与实现](#)
14. [基于 S3C6410 处理器的嵌入式 Linux 系统移植](#)
15. [CortexA8 平台的 \$\mu\$ C-OS II 及 LwIP 协议栈的移植与实现](#)
16. [基于 ARM 的嵌入式 Linux 无线网卡设备驱动设计](#)
17. [ARM S3C2440 Linux ADC 驱动](#)
18. [ARM S3C2440 Linux 触摸屏驱动](#)
19. [Linux 和 Cortex-A8 的视频处理及数字微波传输系统设计](#)

20. [Nand Flash 启动模式下的 Uboot 移植](#)
21. [基于 ARM 处理器的 UART 设计](#)
22. [ARM CortexM3 处理器故障的分析与处理](#)
23. [ARM 微处理器启动和调试浅析](#)
24. [基于 ARM 系统下映像文件的执行与中断运行机制的实现](#)
25. [中断调用方式的 ARM 二次开发接口设计](#)
26. [ARM11 嵌入式系统 Linux 下 LCD 的驱动设计](#)
27. [Uboot 在 S3C2440 上的移植](#)
28. [基于 ARM11 的嵌入式无线视频终端的设计](#)
29. [基于 S3C6410 的 Uboot 分析与移植](#)
30. [基于 ARM 嵌入式系统的高保真无损音乐播放器设计](#)
31. [UBoot 在 Mini6410 上的移植](#)
32. [基于 ARM11 的嵌入式 Linux NAND FLASH 模拟 U 盘挂载分析与实现](#)

Hardware:

1. [DSP 电源的典型设计](#)
2. [高频脉冲电源设计](#)
3. [电源的综合保护设计](#)
4. [任意波形电源的设计](#)
5. [高速 PCB 信号完整性分析及应用](#)
6. [DM642 高速图像采集系统的电磁干扰设计](#)
7. [使用 COMExpress Nano 工控板实现 IP 调度设备](#)
8. [基于 COM Express 架构的数据记录仪的设计与实现](#)
9. [基于 COM Express 的信号系统逻辑运算单元设计](#)
10. [基于 COM Express 的回波预处理模块设计](#)
11. [基于 X86 平台的简单多任务内核的分析与实现](#)
12. [基于 UEFI Shell 的 PreOS Application 的开发与研究](#)
13. [基于 UEFI 固件的恶意代码防范技术研究](#)
14. [MIPS 架构计算机平台的支持固件研究](#)
15. [基于 UEFI 固件的攻击验证技术研究](#)
16. [基于 UEFI 的 Application 和 Driver 的分析与开发](#)
17. [基于 UEFI 的可信 BIOS 研究与实现](#)
18. [基于 UEFI 的国产计算机平台 BIOS 研究](#)
19. [基于 UEFI 的安全模块设计分析](#)
20. [基于 FPGA Nios II 的等精度频率计设计](#)
21. [基于 FPGA 的 SOPC 设计](#)
22. [基于 SOPC 基本信号产生器的设计与实现](#)
23. [基于龙芯平台的 PMON 研究与开发](#)

24. [基于 X86 平台的嵌入式 BIOS 可配置设计](#)
25. [基于龙芯 2F 架构的 PMON 分析与优化](#)
26. [CPU 与 GPU 之间接口电路的设计与实现](#)
27. [基于龙芯 1A 平台的 PMON 源码编译和启动分析](#)
28. [基于 PC104 工控机的嵌入式直流监控装置的设计](#)
29. [GPGPU 技术研究与发展](#)
30. [GPU 实现的高速 FIR 数字滤波算法](#)
31. [一种基于 CPU/GPU 异构计算的混合编程模型](#)
32. [面向 OpenCL 模型的 GPU 性能优化](#)

Programming:

1. [计算机软件基础数据结构 - 算法](#)
2. [高级数据结构对算法的优化](#)
3. [零基础学算法](#)
4. [Linux 环境下基于 TCP 的 Socket 编程浅析](#)
5. [Linux 环境下基于 UDP 的 socket 编程浅析](#)
6. [基于 Socket 的网络编程技术及其实现](#)
7. [数据结构考题 - 第 1 章 绪论](#)
8. [数据结构考题 - 第 2 章 线性表](#)
9. [数据结构考题 - 第 2 章 线性表 - 答案](#)