

基于 PowerPC 的嵌入式 SMP 系统设计

Embedded SMP System Design Based on PowerPC

(1.中国科学院声学研究所;2.中国科学院研究生院) 李相国^{1,2} 杨树元¹

LI Xiang-guo YANG Shu-yuan

摘要: 本文提出了一个基于 PowerPC 的高性能嵌入式 SMP 系统设计方案,该系统使用高性能的处理器 MPC7448,具备优秀的计算性能。文章介绍了 SMP 系统的特点,对该系统各个功能模块进行了分析与设计,并详细介绍了系统启动程序和 Linux 系统的移植过程。

关键词: PowerPC; 嵌入式系统; 对称多处理
中图分类号: TP27 文献标识码: A

Abstract: This paper introduces a high-performance embedded SMP system based on PowerPC, which uses high performance processor MPC7448, and has excellent computational performance. In the paper, characteristics of SMP system are described; each module in the system is analyzed and designed; porting process of both bootloader and Linux is also explained in detail.

Key words: PowerPC; Embedded System; SMP

1 前言

对称多处理(SMP)是一种基本的并行处理结构,它的基本特点是所有处理器对系统公共资源的访问权限完全相同,即处理器之间完全对称。SMP 系统在软件方面具有容易编程的特点。伴随着并行计算及多核处理器的流行,SMP 系统得到越来越广泛的应用。

MPC7448 是 Freescale 公司推出的一款高性能 PowerPC 处理器芯片,该芯片采用超标量 e600 内核。该处理器具备高性能、低功耗的特点,非常适合于尖端计算、嵌入式网络通信、信号处理等应用场合。Tsi109 是 Tundra 公司专为 PowerPC 处理器设计的主桥芯片,它支持 Freescale 的 MPC74xx 和 IBM 的 PPC750xx 系列芯片。Tsi148 是 Tundra 公司推出的 PCI/X-VME 桥接芯片。

本文的嵌入式 SMP 系统基于 MPC7448 芯片,结合主桥芯片 Tsi109 和桥接芯片 Tsi148 设计的一个 VME 单板机。该系统具备优秀的计算性能,具有良好的通信能力。文章介绍了该嵌入式系统的硬件系统设计和系统软件开发过程。

2 系统硬件设计

2.1 系统整体简介

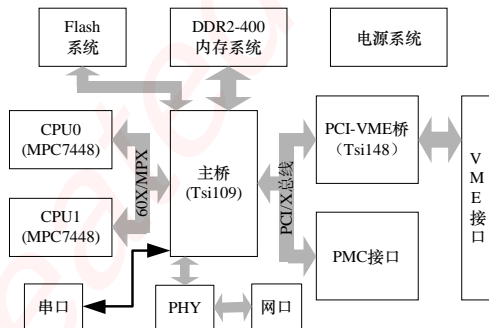


图 1 系统整体结构图

构建 SMP 系统需要处理器和主桥芯片的硬件支持, MPC7448 和 Tsi109 支持 SMP 系统, Tsi109 支持两个处理器。

Tsi109 提供如下接口功能:处理器接口,DDR2 内存系统接口,HLP 接口,PCI/X 总线接口;还集成了千兆以太网口和 UART 口。Tsi109 提供了接口控制和接口间的高速互连功能,因此,本文以 Tsi109 为中心进行系统构建。系统整体结构如图(1)所示,系统充分利用了 Tsi109 提供的接口功能,并通过 PCI/X 总线扩展了 VME 总线和 PMC 接口。

2.2 处理器接口设计

可以把该接口信号分为三类:时钟信号、单向点对点信号和普通信号。说明如下:(1)Tsi109 提供三个完全相同的时钟信号,可以为 2 个处理器及反馈使用。(2)单向点对点信号主要是仲裁信号和中断信号。分为两组分别接两个处理器。(3)普通信号为两个处理器共用。由于对两个处理器共用,在布线时需要选择合适的拓扑结构,推荐使用 Y 型结构。

为了区分系统中的两个处理器,把它们标识为 CPU0 和 CPU1。系统可以通过两种方式进行识别:(1)读取自己的寄存器位 MSSCR0[ID]。(2)读取 Tsi109 的寄存器位 PB_BUS_MS_SELECT[WAMI]。连接到 PB_BGn[0]的处理器总读取到 0,连接到 PB_BGn[1]的处理器总读取到 1。我们把连接 PB_BGn[0]的处理器设置为 CPU0,把另一个设置为 CPU1。

2.3 存储系统设计

Tsi109 支持 DDR2-400 内存系统。内存接口包括数据信号、时钟信号、地址/命令信号和控制信号。其中,数据信号包括 64 位数据位、8 位校验位和 18 对源同步差分时钟信号,时钟信号包括 6 对差分时钟信号,分为两组分别由寄存器位 SD_D {0,1}_CTRL[CLK_DISABLE]控制,控制信号分两组,包括 2 个时钟使能、4 个 ODT 使能和 4 个片选,因此, Tsi109 支持 2 个 DIMM 内存插槽,可以使用 1-Bank 或 2-Bank 内存条。

本文使用内存颗粒 K4T51083QC 通过位扩展方式构建内存系统,使用第一组控制信号。把数据位和校验位依次分为 9

个字节,源同步信号和字节号依次对应,每个字节对应一个芯片,控制信号、地址/命令信号为所有芯片共用;为了布线方便,两个芯片使用一个时钟信号,为此,在内存初始化时不但要设置 DIMM0 寄存器组,还要正确设置 SD_D {1}_CTRL [CLK_DISABLE]。上述信号中,数据信号是点对点连接,DDR2 内存系统对这些信号提供了片上终端(ODT),因此,拓扑结构简单,信号完整性也容易得到保证,为方便布线还可以进行片内交换,其余信号都是一对多连接,必须选择合适的拓扑结构和布线约束,并且要对这些信号添加终端匹配电阻。通过仿真选择使用对称二叉树结构进行布局、布线,校验芯片挂在第一个节点上。

HLP 接口是 Tsi109 提供的一种低速存储器接口,可以挂载 ROM、EEPROM、FLASH、SRAM、NVRAM 等多种存储设备。该接口有 4 个片选信号,可以挂载 4 个独立外设。本系统充分使用了这 4 个片选信号,在 HLP_CS0 上挂载 AM29LV040B 作为启动 FLASH。该接口有两种工作模式:锁存模式和非锁存模式。锁存模式下地址信号更加稳定,而且,由于独立使用 32 位 HLP_AD 用于地址信号和数据信号,可以使用大容量 Flash 芯片,还可以使用 32 位器件。本系统全部使用锁存模式。

HLP 是系统中重要接口。在系统加电及完成内部寄存器初始化后,MPC7448 开始向 0x0_FFF0_0100 位置读取第一条外部指令,这一读取指令被 Tsi109 自动引导到 HLP 接口与 HLP_CS0 连接设备上。因此,这里要保存系统的启动程序,操作系统和应用程序也保存在该接口的存储设备上。

2.4 通信系统设计

本系统使用 PCI/X-VME 桥接芯片 Tsi148 进行 VME 总线设计。Tsi148 的信号可以分为 PCI/X 接口信号和 VME 接口信号。PCI/X 接口信号连接系统 PCI/X 总线,占用 PCI 总线的 PCL_REQ1/PCL_GNT1,VME 接口信号通过 TI 公司 VME 收发芯片 SN74VMEH22501 和 VME 连接器相连。Tsi148 支持 2eSST 协议。

Tsi109 集成以太网控制接口,可以连接两个物理连接设备(PHY)。本文使用 Broadcom 公司的以太网收发芯片 BCM5461 进行网口设计。BCM5461 与 Tsi109 的连接使用千兆比特介质无关接口(GMII)协议,与 RJ45 接口的连接通过隔离变压器。

串口是系统调试中一个方便接口。Tundra 公司把串口集成到 Tsi109 中,简化了系统串口设计。串口的电路设计较为简单,使用一个电平转换芯片 MAX3222 连接 RS232 连接器。

2.5 系统时钟和电源设计

系统使用一个 33MHz 的晶振作为基准时钟源,接入 Tsi109 的输入管脚 CG_REF,经过内部倍频、缓冲,生成处理器接口、DDR2 内存接口、PCI/X 接口及 Tsi109 内部所需的时钟信号。处理器接口和 DDR2 内存接口的倍频因子可以通过 CG_PB_SELECT[0..2]和 CG_SD_SELECT[0..2]进行配置。

电源设计是系统设计中非常重要的组成部分,电源的稳定性将影响到系统的可靠性和稳定性。系统中电压值较多,多电压器件对加电时序也有一定要求。本文通过两个相互联系的步骤进行电源设计:(1)分析系统所需电压值,进行电压值的最大功耗统计,然后进行电源芯片的选型和电路设计;(2)分析多电压芯片的时序要求,设计系统的加电时序,然后对分立电源添加控制,组成完整的电源系统。系统为 MPC7448 内核选用 TI 公司的电源模块 PTH03030,其余电压使用电源芯片构建;使用

ADM1085 进行时序控制。

3 系统软件开发

SMP 系统需要操作系统的支持才能使用。在嵌入式领域,目前支持 PowerPC 且支持 SMP 的操作系统有 Linux、QNX、eCos 等,另一个重要操作系统 VxWorks 在新版本 6.6 中加入了 SMP 支持。本文使用 Linux 操作系统。

进行嵌入式开发,首先要建立交叉开发环境。可以下载最新内核源码包及工具链包,自行构建、配置开发环境。本文选择使用 ELDK 开发套件。

3.1 U-Boot 的移植

U-Boot 是一个开放源代码的固件程序。它起源于 PPCBoot,基于 PowerPC 处理器编写。目前能够支持 PowerPC、ARM、x86、MIPS 等多种处理器,支持上百种系统平台,能够引导 Linux、NetBSD、VxWorks 等多种操作系统。本文使用 U-Boot 构建系统的启动程序。

PowerPC 体系结构的 I/O 寻址采用内存映射方式,即内存地址和 I/O 地址统一编码。在进行代码移植前,需要首先确定系统的地址映射关系,本系统地址映射见表(1)。U-Boot 的移植可以通过以下步骤进行:(1)搜索 U-Boot 源码,找到一个和目标板最为接近的参考平台 mpc7448hpc2;在 board 目录下创建目标板目录 smp7448,复制参考平台文件到该目录,修改文件名为 smp7448.c,在 include/configs 目录下找到参考板头文件,复制并创建目标板头文件 smp7448.h;在顶层目录 Makefile 文件内添加目标板定义。(2)根据地址映射表修改目标板头文件中宏定义,这需要参考 MPC7448 和 Tsi109 相关寄存器格式,阅读目标板源代码,根据系统参数进行必要的修改和调整。(3)编译、下载和调试,直至顺利启动,能够进入命令状态。

表 1 系统地址映射表

地址范围	大小	说明
0x0_0000_0000~0x0_1FFF_FFFF	512MB	系统内存空间
0x0_8000_0000~0x0_BFFF_FFFF	1GB	PCI 内存空间
0x0_C000_0000~0x0_C000_FFFF	64KB	Tsi109 寄存器空间
0x0_FA00_0000~0x0_FAFF_FFFF	16MB	PCI I/O 空间
0x0_FB00_0000~0x0_FBFF_FFFF	16MB	PCI 配置空间
0x0_FC00_0000~0x0_FDFE_FFFF	32MB	Flash (CS1)
0x0_FE00_0000~0x0_FE07_FFFF	512KB	SRAM (CS2)
0x0_FE80_0000~0x0_FE80_7FFF	32KB	NVRAM (CS3)
0x0_FFF0_0000~0x0_FFF7_FFFF	512KB	Flash (CS0)

上述是单处理器的 U-Boot 移植,在 SMP 系统下稍有不同。大多数 SMP 系统的启动过程都由一个处理器来完成,其它处理器处于待命状态。在 PowerPC 平台规范中,负责启动的处理器称作主处理器,其余为从处理器。对 SMP 系统的 U-Boot 移植,需要在单处理器初始化代码的开始部分添加一个基于处理器识别的分支处理代码,让主处理器正常执行,从处理器直接跳转某地址(linux 下为 __secondary_hold)。需要说明的是,这里的“主”、“从”概念只在系统初始化阶段有意义,操作系统初始化完毕后处理器之间完全对称。

3.2 Linux 的移植

Linux 操作系统是一个基于 GPL 版权的自由软件。目前,Linux 已经支持 x86、ARM、PowerPC、MIPS 等多种处理器平台,另一方面,Linux 已经在嵌入式系统、PC 系统、服务器等场合得到广泛应用。自 2.0 版本开始提供对 SMP 支持,2.2 版本添加 PowerPC 平台上 SMP 支持,直至在 2.6 版本中做了重大改进,包

括复杂度为调度算法、独立的运行队列、基于优先级的任务抢占、SMP 负载均衡等，Linux 才更好地支持了 SMP 系统。

Linux 源码分为体系无关和体系相关两部分，后者又可以具体分为处理器相关和平台相关。移植工作主要在平台相关代码部分。Linux 移植可以通过以下步骤进行：(1) 查找和目标平台相似的参考平台，在 arch/powerpc/platforms 目录下创建目标板目录（本文目标板使用原有的 platforms/embedded6xx 目录），添加目标板配置源文件和头文件，在该目录 Makefile 文件和内核配置文件 Kconfig 里添加目标板信息；在顶层 Makefile 文件内设置目标板编译参数 ARCH = powerpc 及 CROSS_COMPILE = ppc_74xx-；(2) 进行目标板平台代码的修改，添加必要的驱动程序；(3) 配置目标板 make menuconfig；编译生成内核镜像；make 制作根文件系统；(4) 在 U-Boot 启动完毕后，使用 tftp 下载 Linux 内核镜像和根文件系统，运行 Linux。

U-Boot 及 Linux 移植成功后，即可进行应用软件的开发。

4 结束语

本文介绍了一个基于 PowerPC 的嵌入式 SMP 系统设计。本文的创新点在于，分析和设计了一个基于 PowerPC 的 SMP 系统，并介绍了相应的系统软件开发。本文可为嵌入式系统设计提供一定参考价值。

参考文献

- [1]Tundra. Tsi108/Tsi109 Host Bridge for PowerPC Hardware Manual [EB/OL]. <http://www.tundra.com> 2007
- [2]Tundra. Tsi108/Tsi109 User Manual [EB/OL]. <http://www.tundra.com> 2006
- [3]黄荐渠 秦东兴 赵曦 贾曦. U-Boot 的启动及移植分析. 微计算机信息 2008,4-2, P76-78
- [4]Power.org. Power.org? Standard for Power Architecture? Platform Requirements [EB/OL]. <http://www.power.org> 2006

作者简介：李相国，男，博士研究生，主要研究方向为嵌入式系统和信号处理；杨树元，男，研究员，博士生导师。研究方向为模式识别、数字图像处理、大规模并行处理及 VLSI 信号处理。

Biography: LI Xiang-guo, male, doctor candidate, His research interests include embedded system and signal processing.

(100190 北京 中国科学院声学研究所) 李相国 杨树元

(100039 北京 中国科学院研究生院) 李相国

(Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190) LI Xiang-guo YANG Shu-yuan

(Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039) LI Xiang-guo

通讯地址：(100190 北京市海淀区北四环西路 21 号中科院声学所数字系统集成部) 李相国

(收稿日期:2009.04.03)(修稿日期:2009.05.05)

(上接第 21 页)

基于 ucOS-II 操作系统，应用程序的编写以任务为单元，实现了数据采集等多任务的管理与调度。另外本系统对具体的不同环境下的应用可通过适当增减任务来实现，从而可以广泛应用于各种数据采集场合。

本文作者创新点：本文利用开源的 ucOS-II 操作系统，在 arm7 处理器 LPC2138 上实现插件式的多点数据采集，可通过多任务的管理和调度来实现工业污水排放量、TOC/COD、PH 等数据的采集，并实时将采集到的数据传送到环保监控部门的上

位机，同时可实现数据存储及查询等功能。

参考文献

- [1]张宇 陈明等. 基于 ARM7 的嵌入式数据采集系统设计. 电子测量技术 30,1,2007,1.
- [2]广州周立功单片机发展有限公司.LPC2131/2132/2138 使用指南(中文). 2004.
- [3]孙育河, 梁岚珍. 嵌入式实时操作系统在 ARM 上移植的分析与应用研. 计算机系统应用 2007,5.
- [4]刘承广 常宇健 杨卫东 施博学.uCOS- 在车载 GPS 移动终端中的应用[J]. 微计算机信息 2005 21(2) :103-104.
- [5]周立功. ARM 嵌入式系统基础教程. 北京:北京航空航天大学出版社.2005

作者简介：蒋梁中(1943-)，男(汉族)，重庆人，华南理工大学，机械与汽车工程学院教授；1984 年到日本早稻田大学访学，1997 年被日本早稻田大学工学部聘为顾问教授，2001 年 2 月调入华南理工大学机械工程学院任教，2002 年 3 月被评聘为研究员；主要研究方向是：机器人设计、环境在线监测等；许勇(1982-)，男(汉族)，华南理工大学机械与汽车工程学院，在读硕士二年级；主要研究方向：机器人设计、环境在线监测等；卞青青(1983-)，女(汉族)，华南理工大学机械与汽车工程学院；在读硕士二年级；主要研究方向：机器人设计、环境在线监测等。

Biography: JIANG Liang-zhong, male; South China University of Technology, Mechanical and automotive engineering Institute, professor; In 1984, to the visit of Japan Waseda University; In 1997, appointed a counselor professor by the science-engineering course part of the Japan Waseda University; In 2001, transferred to South China University of Technology Mechanical Engineering College to teach, In 2002, appointed researcher; main research direction: robot design, environments on-line monitoring and so on.

(510640 广东广州 华南理工大学) 蒋梁中 许勇 卞青青

通讯地址：(510640 广州市天河区五山路 381 号华南理工大学西区西六 827 宿舍) 许勇

(收稿日期:2009.04.03)(修稿日期:2009.05.05)

(上接第 23 页)

[6]毛琼 李小民. 基于 PDA 的无人机野战信息支援系统研究[J]. 微计算机信息 2008,24(2-2) 57-59.

作者简介：邓春健(1980-)，男(汉族)，广东乐昌人，博士，电子科技大学中山学院教师，研究方向为信息显示技术、嵌入式系统应用。

Biography: DENG Chun-jian (1980-), Male, Lechang County Guangdong Province, Doctor, Teacher of Zhongshan Institute, University of electronic Science and Technology of China, major in embedded system.

(528402 中山 电子科技大学中山学院) 邓春健 雷航 李文生 吕焱 罗仁泽

(University of electronic Science and Technology of China, Zhongshan Institute, Zhongshan 528402, China) DENG Chun-jian LEI Hang LI Wen-sheng LV Yi LUO Ren-zhe
通讯地址：(528402 广东省中山市电子科技大学中山学院计算机工程系) 邓春健

收稿日期

修稿日期

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](#)
59. [RS485CAN 网关设计与实现](#)
60. [MVB 周期信息的实时调度](#)
61. [RS485 和 PROFINET 网关设计](#)
62. [基于 IPv6 的 Socket 通信的实现](#)
63. [MVB 网络重复器的设计](#)
64. [一种新型 MVB 通信板的探究](#)
65. [具有 MVB 接口的输入输出设备的分析](#)
66. [基于 STM32 的 GSM 模块综合应用](#)
67. [基于 ARM7 的 MVB CAN 网关设计](#)
68. [机车车辆的 MVB CAN 总线网关设计](#)

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](#)
41. [基于 VxWorks 的通信服务器实时多任务软件设计](#)
42. [基于 VXWORKS 的 RS485MVB 网关的设计与实现](#)
43. [实时操作系统 VxWorks 在微机保护中的应用](#)
44. [基于 VxWorks 的多任务程序设计及通信管理](#)

45. [基于 Tilcon 的 VxWorks 图形界面开发技术](#)
46. [嵌入式图形系统 Tilcon 及应用研究](#)

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](#)
49. [基于 Android 移动设备的加速度传感器技术研究](#)
50. [基于 Android 系统振动测试仪研究](#)
51. [基于缓存竞争优化的 Linux 进程调度策略](#)

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](#)
26. [基于 EVC 的嵌入式导航电子地图设计](#)
27. [基于 XPEmbedded 的警务区 SMS 指挥平台的设计与实现](#)
28. [基于 XPE 的数字残币兑换工具开发](#)

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](#)
24. [基于双 PowerPC 7447A 处理器的嵌入式系统硬件设计](#)
25. [基于 PowerPC603e 通用处理模块的设计与实现](#)
26. [嵌入式微机 MPC555 驻留片内监控器的开发与实现](#)

27. [基于 PowerPC 和 DSP 的电能质量在线监测装置的研制](#)
28. [基于 PowerPC 架构多核处理器嵌入式系统硬件设计](#)
29. [基于 PowerPC 的多屏系统设计](#)

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](#)

33. [基于 ARM11 的电源完整性分析](#)
34. [基于 ARM S3C6410 的 uboot 分析与移植](#)
35. [基于 S5PC100 移动视频监控终端的设计与实现](#)

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 CPUGPU 异构计算的混合编程模型](#)
32. [面向 OpenCL 模型的 GPU 性能优化](#)
33. [基于 GPU 的 FDTD 算法](#)

34. [基于 GPU 的瑕疵检测](#)
35. [基于 GPU 通用计算的分析与研究](#)
36. [面向 OpenCL 架构的 GPGPU 量化性能模型](#)

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](#)

FPGA / CPLD:

1. [一种基于并行处理器的快速车道线检测系统及 FPGA 实现](#)
- 2.