

智能变电站冗余网络中 IEEE 1588 协议的应用

李 颖¹, 刘婵娟², 王珮璐³

1(上海市电力公司 ,上海 200122 2; 上海久隆电力科技有限公司 ,上海 200070 ;
3. 华东电力试验研究院有限公司 ,上海 200437)

摘 要 IEEE 1588 标准为网络度量和控制系统定义了精确时钟同步协议 PTP ,PTP 协议可以为分布式网络实现亚 μs 级精度的同步。智能变电站中网络通信的可靠性对整个智能变电站系统的稳定有重要作用。针对智能变电站的网络冗余问题 ,分析了 IEC 62439-3 中的并行冗余协议 (PRP) 和高可用无缝环 (HSR) 研究了在变电站冗余网络中实现 PTP 同步的方法和相关问题。

关键词 智能变电站 网络冗余 IEEE 1588 协议 时钟同步协议

作者简介 李 颖 1978- 女, 硕士, 工程师, 从事输变电工程建设工作。

中图分类号 TM63 TM73 **文献标志码** B: **文章编号** 1001-9529 2011 12-2084-03

IEEE 1588 Application to Redundant Network in Intelligent Substation

LI Ying¹, LIU Chan-juan², WANG Pei-lu³

1(Shanghai Municipal Electric Power Company, Shanghai 200122, China ;
2. Shanghai Jiulong Electric Power Technology Co., Ltd., Shanghai 200070, China ;
3. East China Electric Power Test & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200437, China)

Abstract IEEE 1588 defines Precision Time Protocol (PTP) for network measurement and control system, which can achieve synchronization within sub-microsecond precision range for distributed network. Network communication reliability plays a very important role in intelligent substation stability. For the problem of network redundancy in intelligent substation, this paper analyzes the Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High Availability Seamless Ring (HSR) adopted in IEC 62439-3, and proposes the method to implement PTP in redundant network of intelligent substation.

Key words intelligent substation network redundancy IEEE 1588 Precision Time Protocol (PTP)

网络通信在智能变电站自动化系统中起着重要的作用。为避免网络故障对系统通信安全造成

不良影响,需要进行网络冗余设计。为解决这一问题,IEC 制订了 IEC 62439 高可用自动化网络

Highly Available Automation Networks)。该标准对网络冗余作出了专门的规定。其中与 IEC 61850 紧密相关的是 IEC 62439-3 部分,即并行冗余协议 Parallel Redundancy Protocol,PRP 和高可用无缝环 High Availability Seamless Ring,HSR)。

IEEE 1588 标准为网络度和控制系统定义了一个精确时钟同步协议,即 PTP 协议。PTP 协议为分布式网络中实现多节点之间的高精度同步提供了一种机制。而 IEEE PC37.238 制定了 IEEE 1588 协议标准第二版在电力系统应用的配置集,在该配置集中明确定义了 IEEE 1588-2008 在 IEC 62439-3 中使用,支持两个冗余协议 并行冗余协议 PRP 和高可用无缝冗余 HSR。

1 IEEE 1588 在变电站冗余网络中的应用

由 IEEE 起草的 IEEE PC37.238 标准定义了 IEEE1588 标准在电力系统应用规范配置集。配置集详细说明 PTP 参数及选项的公共子集,使得基于 IEEE 1588-2008 协议时间同步在电力系统至关重要的保护、控制、自动化及数据通信应用得到使用。IEEE PC37.238 标准附录中对 1588 协议与变电站冗余网络系统 PRP 和 HSR 的有机组合作了阐述。

1.1 在 PRP 网络中实现 PTP 同步

对于和 PRP 网络的结合,配置集定义只有 1 个接口状态机 2 个接口永远具有相同的状态 当 PRP 网络运行时,最高主时钟应连接到冗余箱上或通过复制所有其 IEEE C37.238 在 2 个路径上发送的报文来支持 PRP 协议 一步或两步时钟可以在 PRP 上实施,但是推荐使用纯 PRP 网络,两者不能混合。

PRP 对网络拓扑没有限制,而 PTP 对网络拓扑有一定的限制,因此,配置集提出了在 PRP 网络中实现 PTP 的网络结构。根据最高主时钟的数量和连接方式共有 3 种网络拓扑 主备份网络各自有 1 个连接到 GPS 的主时钟、主备份网络共享 1 个连接到 GPS 的主时钟和主备份网络通过冗余箱共享 GPS 主时钟。

其中,第三种拓扑中 2 个网络通过冗余箱共享 GPS 主时钟,如图 1 所示。GPS 主时钟通过冗余箱连接到网内。当冗余箱和主时钟之间的链路故障时,PRP 节点的 BMC 算法检测到主时钟丢

失,BMC 算法启动确定新的主时钟。如果是其他链路故障,PRP 节点的 BMC 算法检测到当前网络失败,然后切换到另一个网络中。在该网络结构下链路发生了变化,而主时钟保持不变。

这三种拓扑都能完成网络故障时的切换,但只有第一种拓扑可以处理主时钟故障时的切换。将 2 个独立的同步的主时钟分别连接到每个网络中就可以实现主时钟冗余。

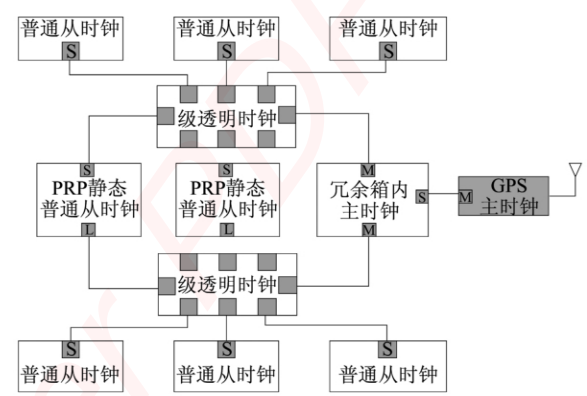


图 1 通过冗余箱共享 GPS 主时钟的网络拓扑

1.2 在 HSR 网络中实现 PTP 同步

对于和 HSR 网络的结合,配置集定义全部 HSR 装置是由透明时钟和普通时钟组成的混合时钟。全部 HSR 装置不需要被时间同步 对 HSR 网络中全部装置,一步时钟模式是首选模式 1;个装置的 2 个接口处于同一状态。在 HSR 网络中的全部装置,甚至包括单一从钟都参与级一级延迟 Delay 报文交互,级一级报文只在 2 个直接相连的装置间交互,同时为了满足 HSR 标准,级一级报文不包含任何 HSR 标签。

和 PRP 相同,HSR 在数据包传输时隐藏传输路径,这对于 PTP 的实现是不利的,且 IEEE 1588 中定义了一步时钟和两步时钟^[1],其中两步时钟除了需要 Sync 报文,Delay_Req 报文和 Delay_Resp 报文,还需要 Follow_Up 报文和 Pdelay_Resp_Follow_Up 报文才能完成同步过程。HSR 网络上的数据包在环网的两个方向上都传输,因此在 HSR 上传输两步时钟的报文量是在常规网络上传输一步时钟报文的 4 倍。

HSR 的环网特性对 PTP 同步的建立也有一定影响。在 HSR 中数据包在环网的两个方向上传输(顺时针和逆时针)而为了正确计算路径延迟和时钟偏移,PTP 要求用于计算的 Sync 报文,Delay_Req 报文和相关的跟随报文传输方向相

同。这就需要对 Sync 报文, Delay_Req 报文和相关的跟随报文要进行特殊处理, 以确认报文的传输路径。

在 HSR 网络中,每个节点都是透明时钟。对于端一端透明时钟,保证 Sync 报文、Delay_Req 报文和 Delay_Resp 报文沿一条路径传输是正确计算路径延迟的关键。对于级一级透明时钟,到达从时钟的 Sync 报文直接说明了 Sync 报文的方向,因此节点不需要辨别 Sync 报文的传输方向,但级一级透明时钟的相关报文用于测量特定链路的延迟,它们只能在这条特定链路上传输。

针对上述问题,文献[2]提出了在 HSR 网络中实现 PTP 同步的网络结构。以主时钟是两步时钟为例,如图 2 所示。两步主时钟通过冗余箱 HSR Switch 1 号的内部链接端口连接到 HSR 网络,从时钟通过另一个冗余箱 HSR Switch 3 号连接到 HSR 网络。当冗余箱 HSR Switch 3 号接收到同步报文时,假设 HSR 1 号接收到报文,先检查本节点是否是报文的目的节点。若不是目的节点,则从另一端口 HSR 2 号转发给下一个节点。如果本节点是报文的目的节点,检查另一个方向上的同步报文来自 HSR 2 号是否已经先到,先到则丢弃当前收到的同步报文,否则将同步报文通过内部链接端口发送给从时钟,这样从时钟

可以获得主时钟的同步时间信息。由于报文在环路中沿着不同的方向传送,任何 1 个单点断线,只影响一个方向的传送,另一个方向不受影响,因此无需网络恢复时间,而且这种机制对上层协议也是完全透明的。

1.3 相关冗余技术分析与研究

IEEE 1588 定义了主时钟之间可以相互通信,因此最高主时钟之间会相互影响。来自一个最高主时钟的错误的或无效的 IEEE 1588 报文可能导致另一个最高主时钟的错误,因此同步系统应尽量限制最高主时钟之间的通信。针对这个问题,文献[3]提出了利用 IEEE 802.1Q VLAN 隔离最高主时钟的网络结构。网络中所有的最高主时钟都处于热备用。从时钟同时同步于这些最高主时钟,并且可以在最高主时钟之间无差错的切换。该网络架构可以有效的减小最高主时钟发生错误时对从时钟同步产生的影响。

2 结语

变电站时钟同步系统网络化的趋势和高精度的要求,使得 IEEE 1588 协议成为智能变电站的必然选择,而可靠性是智能变电站通信稳定的关键。本文研究了在 PRP 冗余网络和 HSR 冗余网络下实现 PTP 的可行性,并探讨了实现过程中的若干问题并提出了解决方案。

参考文献：

- [1] 桂 强 ,陈建民 ,邱智勇. IEEE 1588 在数字化变电站中的应用探讨[J]. 华东电力 ,2010 ,38 (6) :816-820.
- GUI Qiang ,CHEN Jian-min ,QIU Zhi-yong. Study on application of IEEE 1588 in digital substation[J]. East China Electric Power ,2010 ,38 (6) :816-820.
- [2] ABDUL A , NG G , LUPAS P. Integration of HSR and IEEE1588 over Ethernet networks[J]. ISPCS , Portsmouth , NH , Sept. 27 -Oct. 1 , 2010 , pp 77-82.
- [3] KOZAKAI Y , KANDA M. Keeping Clock Accuracy on a Master Clock Failure in Substation Network [J]. ISPCS , Portsmouth , NH , Sept. 27-Oct. 1 , 2010 , pp 25-29.

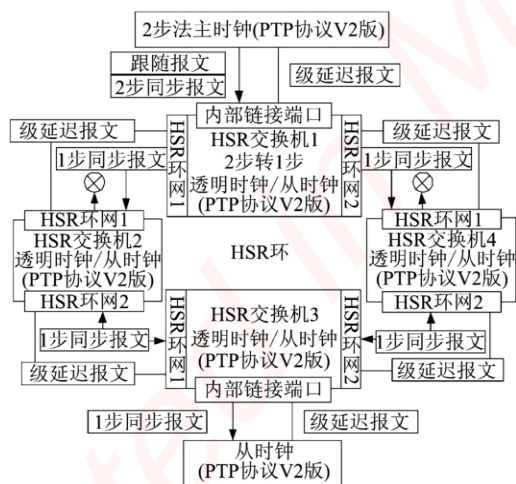


图 2 带两步主时钟的 HSR 环

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.