基于 CANopen协议实现多电机系统实时控制

李　澄，赵　辉，聂保钱
（哈尔滨工业大学 控制与仿真中心，哈尔滨　150001）

摘　要：以混合动力试验台的研制为背景，结合车辆控制中 CAN 总线的普及应用，分析并采用 CAN 总线的高层 CANopen协议，实现了试验台中多电机系统的实时控制。提供的 CANopen主从站节点的构建与设置以及功能编程方法，在系统实际运行中得以充分验证。相关实现方案适用于多数工业自动化应用场合。

关键词：CAN 总线；CANopen协议；多电机系统控制；现场总线；电机控制

Implementation of Real-time Control of Multi-motor Systems Based on CANopen Protocol

LI Cheng, ZHAO Hui, NIE Bao-qian
(Control and Simulation Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Taking the development of a HEV (Hybrid Electric Vehicle) test bench as the background, taking the popular application of CAN bus in the vehicle industry into account, this paper presented a scheme to implement the real-time control of multi-motor systems in the test bench. One of CAN high layer protocol, CANopen had been analyzed and adopted to realize the real-time communication. The building and setting of the CANopen master and slave nodes, and relevant program flow charts were presented in detail. Verified by the teat and operation of the real system, the scheme that applied in this paper is applicable in most industrial automation applications.

Key Words: CAN bus; CANopen protocol; Multi-motor systems control; Fieldbus; Motor control

0 引　言

CAN总线是一种有效支持分布式控制和实时控制的串行通信网络[1]。它以硬件实现简单、数据通信稳定性高、灵活性高和可靠性高特点，在汽车、机械制造、传感测量等自动化领域得到广泛应用，已经成为应用广泛的国际标准现场总线之一。CANopen协议是一种流行于欧洲的 CAN 高层协议，该协议清晰、透明、精练，便于系统配置与功能重构，在许多先进的电机驱动器、运动控制器、传感测试设备中都提供了 CANopen协议应用接口。针对国内 CAN 总线的应用普遍停留在比较低的层次上，即简单地应用 CAN 控制器、收发器以及自己定义的简单协议，完成一些简单通信应用的现状，推广使用 CANopen协议即可以降低系统开发的难度和成本，并且可以丰富系统通信功能，便于与国际工业产品接口。本文结合混合动力试验平台的开发，基于 CANopen协议实现了多电机系统的实时控制；相应实现方案对于其它多节点的随动或过程自动化控制应用具有适用性。

1　混合动力试验台多电机系统控制

该试验平台系统结构如图 1所示。

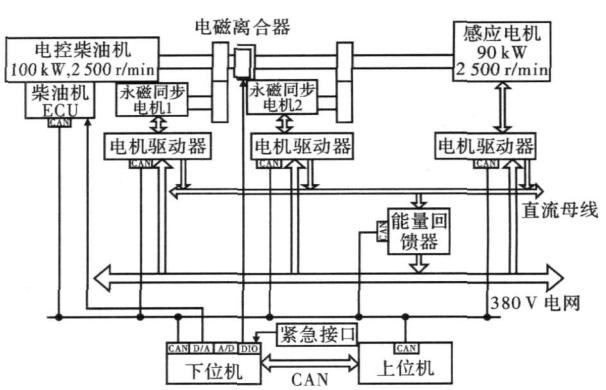

图 1　混合动力试验台系统结构图

试验平台系统中，两套额定功率 40 kW 的永磁同步电机，在混合动力运行中作为电动机或发电机运行，实现对柴油机输出功率的调节作用。90 kW感应电机起模拟行驶负载作用。如何实现多电机系统的实时控制，是平台系统研制的一个关键。为保证数据传输的可靠性和控制的实时性，同时确保子系统间通信的简便，以及符合今后的车辆应用要求，系统设计中确定在控制计算机、电机驱动器、能量回馈器以及柴油机 ECU 之间的通信采用 CAN 接口，对电机驱动器和能量回馈器确定采购支持 CANopen通信协议的产品。

系统运行中，三台电机驱动器以及两台能量回馈器作为 CANopen网络内的不同节点与下位控制计算机进行实时通信。以电机驱动器的控制为例，下位机作为主站给各个电机驱动器从站发送转矩或速度指令，同时各个驱动器从站将电机的实际速度、转矩回送下位机进行实时控制并数据保存。

本试验平台电机的指令和响应数据均取为 4字节 32位字长，相应转矩数据分辨率为 0.008 N·m，速度数据分辨率为 0.05 r/min，大大高于系统控制要求。如果对每个电机节点在每个采样周期内发送转矩指令同时采集电机的转速和转矩响应，通信数据量为 12字节，对于 3个节点的控制总数据传输量每周期为 36字节。考虑到试验台系统无需作长距离的数据传输，在选择 CAN 通信最大 1Mbps波特率的条件下，可得到多电机系统控制数据传输所需最短时间为：

$$\frac{36\text{bytes}\times 8}{1\text{Mbps}}=0.288\ \text{ms}$$

柴油机系统响应时间在百毫秒级，车辆控制一般采样周期在几十毫秒。考虑到其它子系统的控制和系统程序其它功能的消耗，对于本平台系统的多节点控制采用 10 ms的采样周期，可充分满足混合动力试验台的控制要求。

2 CANopen通信协议机理

CAN协议只包括物理层和数据链路层两个底层协议，而 CANopen协议在其基础上规定了应用层协议，其通信模型如图 2所示[2]。在 CANopen的应用层，设备间通过相互交换通信对象进行通信，良好的分层和面向对象的设计使得通讯模型较为清晰。

CANopen设备分为三部分，如图 3所示。通信接口提供总线上的数据收发服务，定义了四类标准的通信接口：SDO (服务数据对象)、PDO (过程数据对象)、NMT(系统管理命令)和特殊对象，来实现通信、网络管理和紧急情况处理等功能[3]。

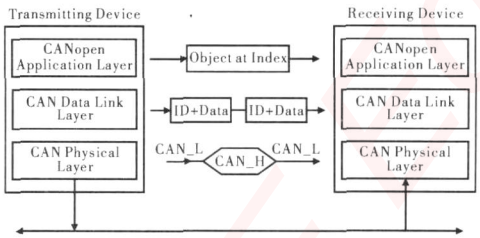

图 2 CANopen 通信模型

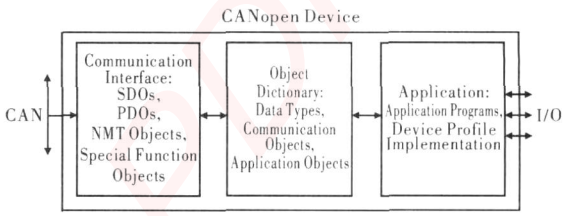

图 3 CANopen 设备模型

对象字典是 CANopen标准最核心的部分。以一个索引和子索引唯一确定对象字典的入口，通过对象字典的入口可以对设备的“应用对象”进行基本的网络访问。设备的“应用对象”可以是输入输出、设备参数、设备功能和网络变量等。

应用程序是连接 CANopen从站设备和主站的桥梁，以对对象字典的访问为手段。主站可利用 SDO 对 CANopen设备进行配置，或者利用 PDO 与 CANopen设备可进行高速的数据交换，实现实时控制。

3 多电机系统 CANopen通信实现

3.1 通信机制设计

多电机系统控制采用 CANopen协议的 SDO 和 PDO 两种数据传输机制。SDO 采用客户/服务器通信方式，通过索引和子索引向应用程序提供了访问对象字典的客户接口。SDO 是一种需要请求和应答的点对点通信方式，允许任意长度的数据通信。平台控制采用 SDO 方式对电机驱动器参数进行配置，完成驱动器控制参数的配置和控制方式的切换等。PDO 采用生产者/消费者通信方式，数据从一个生产者传到一个或多个消费者。数据长度必须限制在 8个字节之内。PDO 通信没有协议规定，PDO 报文的内容是预定义的或者在网络启动时配置的，因此多用于实时数据传输。一个 PDO 由两个对象字典中的对象所描述：通信参数规定了该 PDO 所使用的 COB-ID、传输类型、抑制时间和定时器周期等参数；映射参数规定映射到

该 PDO中的对象字典中对象。

下位机和 3台电机驱动器间的指令传输和运行数据的读取均以 PDO方式完成。下位机主站和驱动器从站的数据交换由如图 4所示的 PDO映射决定。其中 ①为主站传输给从站驱动器的指令的 PDO映射， ②为从站驱动器回送主站的运行数据的 PDO映射。每个 PDO映射都包含几个子索引，其中子索引 0表示提供的数据接口数目。子索引 1开始即为映射的数据对象，每个子索引包含 4个字节，前两个字节表示数据对象的索引值，第三个字节表示数据对象的子索引值。上述索引和子索引值对应了驱动器中的数据地址 (如转矩指令值、电机速度等)，最后一个字节表示数据对象的长度。以 ①中映射为例，索引 2F13h和子索引 01h确定了驱动器中转矩指令的地址， 20 h表示该转矩指令 4字节字长。

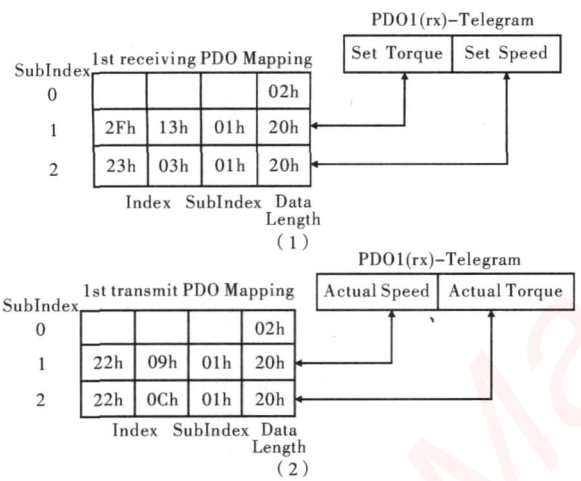

图 4 主从站的 PDO映射设置

在 CANopen通信过程中需注意从站节点的状态，在不同状态下被允许的数据传输方式也不同，其节点状态切换如图 5的 Boot-Up流程所示。

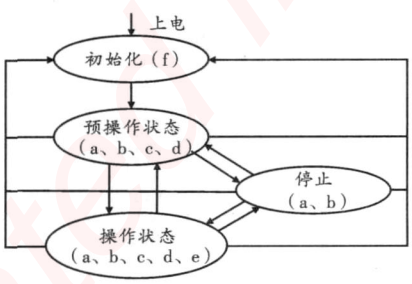

图 5 CANopen节点 Boot - Up流程图

不同状态框下的字母表示该状态下所允许的网络操作，其中 a为 NMT， b为 Node Guard， c为 SDO， d为 Emergency， e为 PDO， f为 Boot-up。系统运行过程中， CANopen网络将在不同的状态下进行切换以满足不同的控制要求，如系统处于暂停时可将 CANopen网络调整到停止状态，此时 SDO和 PDO操作都是不被允许的，进入实时控制时一定要将 CANopen网络调整到操作状态。

3.2 实时通信程序设计

电机控制的通信程序设计流程如图 5所示。首先进行主站 CANopen接口配置，选择波特率，完成 CANopen板卡的初始化，将 3台电机驱动器和 2台能量回馈器添加为网络的节点。其后，通过 SDO报文读写对象字典对从站设备进行参数修改，检验主从站设备是否运行正常。接收到 NMT报文后，系统进入操作状态，开始实时控制，主从站采用 PDO报文的同步周期方式，实现指令和运行信息的双向读取，同时通过数据保存功能可将电机和能量回馈器的运行数据保存到文本中，用于系统分析。 CANopen主站程序流程如图 6所示。

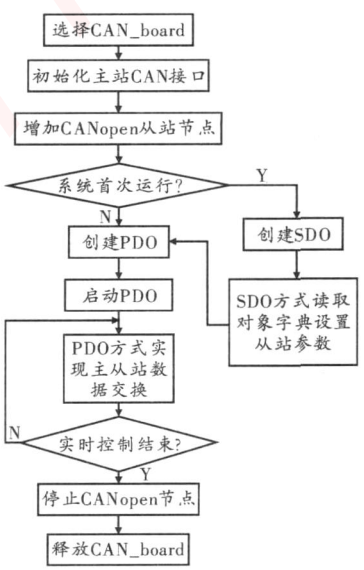

图 6 CANopen主站程序流程图

4 多电机系统基于 CANopen通信的控制试验

结合本试验台系统，多电机系统基于 CANopen协议的通信和控制试验举例。进行柴油机与两台电机 (电机 2、电机 3) 5分钟的拖动试验。平台中的电机 3为柴油机提供加载转矩，电机 2在柴油机低速状况下提供助力。具体的电机转矩指令规划以函数表达，控制采样周期为 10 ms。

电机 2转矩指令 $T_2(t)$ (N·m)：

$$T_2(t)=\begin{cases}0.075\times(1200-\Omega_2) & (0<t\le 300)\\ 5 & (t>300)\end{cases}$$

式中，Ω_2为电机 2的实测转速 (单位 r/min)； t的单位为 s。

电机 3转矩指令 $T_3(t)$ (N·m):

$$T_3(t)=\begin{cases}-\Omega_3^2/2\ 500 & (0<t\leq 300)\\ 0 & (t>300)\end{cases}$$

其中，Ω_3 为电机 3实测转速 (单位 r/min)，单位为 s。

同时，柴油机油门指令在前 60 s内线性增加，在 60 s～240 s内，于恒定电压基础上叠加一个两周期的正弦信号，在 240 s～300 s内，油门线性减小到怠速状态。电机驱动器通过 CANopen通信接收到的实际转矩指令如图 7所示。

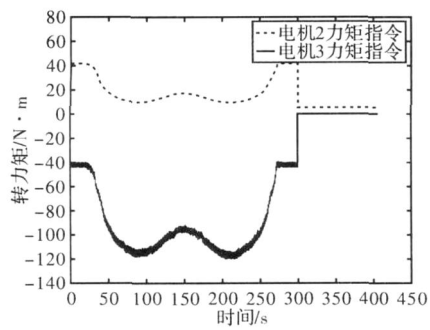

图 7 电机驱动器接收的力矩指令序

试验运行中，下位机得到的实际转矩和速度响应如图 8所示。电机 2与传动轴的变速比为 1∶1，电机 3与传动轴的变速比为 1∶2。在每个采样周期内，CANopen通信的指令传送和响应接收数据正确，没有突跳野值的出现。

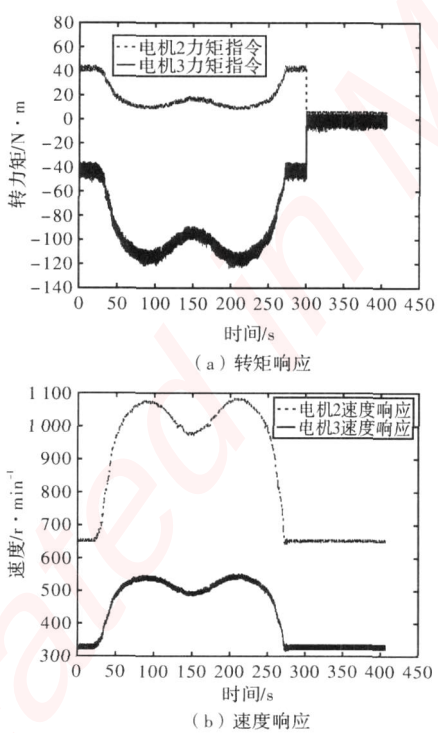

图 8 电机系统力矩和速度响应

为验证系统长时间通信的稳定性，在 1 h时段内，向节点 1和 2以 10 ms为间隔发送编程值为 0x5555、0xAAAA的指令，两个节点收到指令后回送下位机。在验证试验中，数据通信传输无错误出现。

同时经系统调试的验证，多电机系统控制在 10 ms采样周期下，数据传输正确，控制效果良好；基于 CANopen协议的多电机系统控制方案的可行性和可靠性得以实际验证。

5 结 论

CANopen协议采用面向对象的思想设计，具有很好的模块化特性和很高的适应性；通过扩展可以适用于大量的应用领域。同时，CANopen协议精炼、透明、便于理解，降低了驱动程序的开发难度。本文以实际的混合动力试验平台中的多电机系统为例，设计实现了基于 CANopen协议的多电机控制系统的控制方案。具体试验和系统调试验证了 CANopen协议在多电机控制上的可行性和可靠性。相关实现方案适用于多数工业自动化应用场合，具有工程指导意义。

参考文献

[1] 邬宽明. CAN总线原理和应用系统设计 [M]. 北京：北京航空航天大学出版社，1996.

[2] H. Boterenbrood. CANopen high-level protocol for CAN-bus[C]. NIKHFF Internal Documentation, 2000, (9).

[3] 吕京建，张宏韬. CAN总线的浅析 - CANopen协议 [J]. 嵌入式系统，2002，(9).

[4] 何光宇，胡正. 针对工业控制的 CANopen系统 [J]. 微计算机信息，2003，(12).

[5] 任玮蒙，陶维青. 基于 CAN总线的高层协议 CANopen[J]. 自动化技术与应用，2007.

作者简介：李 澄 (1983 -)，硕士生，从事混合动力汽车半实物仿真技术研究。

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. 基于磁盘异或引擎的 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
69. 智能变电站冗余网络中 IEEE1588 协议的应用

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
47. 基于 VxWorks 的数据采集与重演软件的图形界面的设计与实现
48. 基于嵌入式的 Tilcon 用户图形界面设计与开发
49. 基于 Tilcon 的交互式多页面的设计
50. 基于 Tilcon 的嵌入式系统人机界面开发技术
51. 基于 Tilcon 的指控系统多任务人机交互软件设计
52. 基于 Tilcon 航海标绘台界面设计
53. 基于 Tornado 和 Tilcon 的嵌入式 GIS 图形编辑软件的开发

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 CC++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
30. 基于 PowerPC 的嵌入式 SMP 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μC-OSⅡ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 NiosⅡ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
37. 基于 OpenCL 的图像积分图算法优化研究
38. 基于 OpenCL 的均值平移算法在多个众核平台的性能优化研究
39. 基于 OpenCL 的异构系统并行编程
40. 嵌入式系统中热备份双机切换技术研究

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
10. 基于小波变换与偏微分方程的图像分解及边缘检测
11. 基于图像能量的布匹瑕疵检测方法
12. 基于 OpenCL 的拉普拉斯图像增强算法优化研究
13. 异构平台上基于 OpenCL 的 FFT 实现与优化

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.