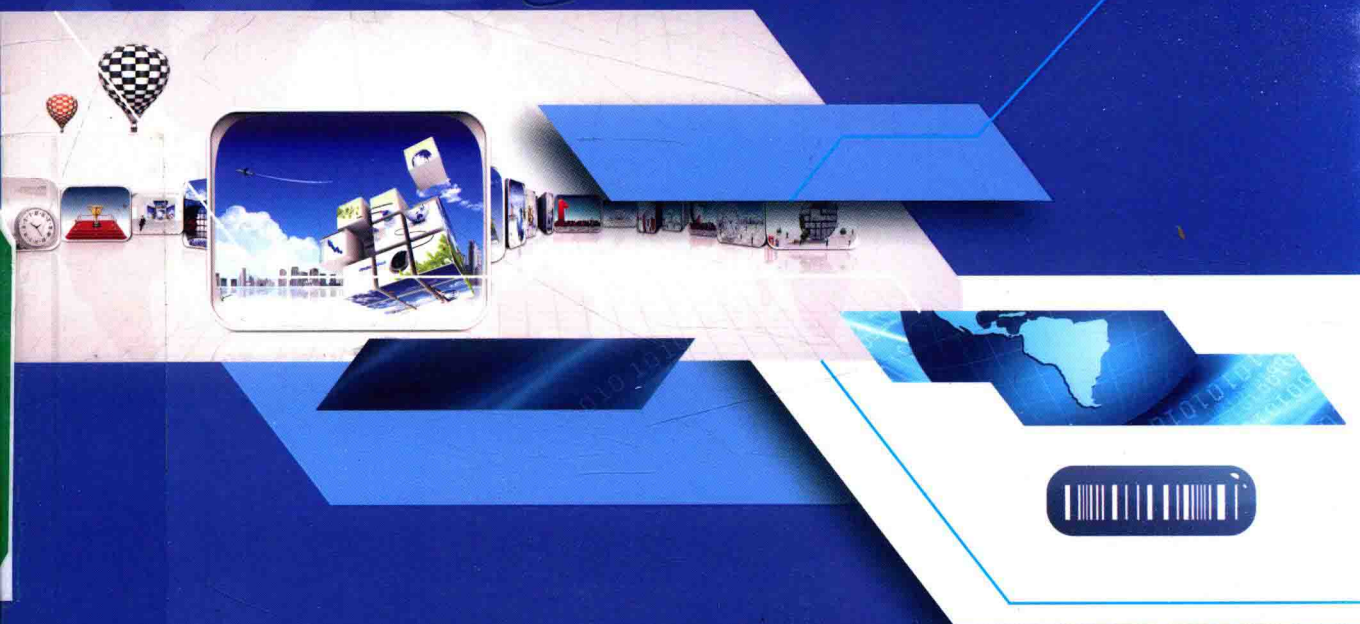


高等学校通信工程专业“十二五”规划教材

嵌入式通信系统

QIANRUSHI TONGXIN XITONG

张晓勇 彭 军 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等学校通信工程专业“十二五”规划教材

嵌入式通信系统

张晓勇 彭 军 主 编

刘伟荣 副主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书主要介绍了嵌入式通信系统的基本原理、主流硬件架构与操作系统,以及嵌入式通信系统的开发方法和开发实例等方面的内容。全书共分3篇(19章),第1~6章为原理篇,主要讲述嵌入式通信系统相关的基础原理以及设计开发方面的基础知识;第7~13章为系统篇,主要讲述嵌入式通信系统的各种硬件架构和操作系统;第14~19章为开发篇,结合具体嵌入式通信系统给出了若干开发方法和开发实例。

本书结合作者多年嵌入式通信系统方面的项目科研经验编写而成,既有完整的原理介绍,也有具有代表性的应用案例,适合作为高等院校电气信息类专业的教材,也可供相关科技人员参考、学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式通信系统 / 张晓勇, 彭军主编. —北京:
中国铁道出版社, 2017.3
高等学校通信工程专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-113-22814-9

I. ①嵌… II. ①张… ②彭… III. ①微处理器—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP332

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第012379号

书 名: 嵌入式通信系统
作 者: 张晓勇 彭 军 主编

策 划: 曹莉群 周海燕
责任编辑: 周海燕 彭立辉
封面设计: 一克米工作室
封面制作: 白 雪
责任校对: 张玉华
责任印制: 郭向伟

读者热线: (010) 63550836

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.51eds.com>

印 刷: 北京海淀五色花印刷厂

版 次: 2017年3月第1版

2017年3月第1次印刷

开 本: 787 mm × 1 092 mm 1/16 印张: 21.75 字数: 506 千

书 号: ISBN 978-7-113-22814-9

定 价: 49.80元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社教材图书营销部联系调换。电话: (010) 63550836

打击盗版举报电话: (010) 51873659

高等学校通信工程专业“十二五”规划教材

主任：施荣华 李 宏

副主任：王国才 彭 军

主 审：邹逢兴

成 员：（按姓氏笔画排序）

王 玮 王 浩 石金晶 李 尹

李曦柯 杨政宇 张晓勇 赵亚湘

郭丽梅 康松林 梁建武 彭春华

董 健 蒋 富 雷文太

在社会信息化的进程中,信息已成为社会发展的重要资源,现代通信技术作为信息社会的支柱之一,在社会发展、经济建设方面,起着核心作用。信息的传输与交换技术即通信技术得到了快速发展。通信技术是信息科学技术发展迅速并极具活力的一个领域,尤其是数字移动通信、光纤通信、射频通信、网络通信使人们在传递信息和获得信息方面达到了前所未有的便捷程度。通信技术在国民经济各部门、国防工业及日常生活中得到了广泛的应用,通信产业正在蓬勃发展。随着通信产业的快速发展和通信技术的广泛应用,社会对通信人才的需求在不断增加。通信工程(也作电信工程,旧称远距离通信工程、弱电工程)是电子工程的一个重要分支,电子信息类子专业,同时也是其中一个基础学科。该学科关注的是通信过程中的信息传输和信号处理的原理和应用。本专业学习通信技术、通信系统和通信网等方面的知识,能在通信领域从事研究、设计、制造、运营及在国民经济各部门和国防工业从事开发、应用通信技术与设备。

社会经济发展不仅对通信工程专业人才有十分强大的需求,同样通信工程专业的建设与发展也对社会经济发展产生重要影响。通信技术发展的国际化,将推动通信技术人才培养的国际化。目前,世界上有 3 项关于工程教育学历互认的国际性协议,签署时间最早、缔约方最多的是《华盛顿协议》,也是世界范围知名度最高的工程教育国际认证协议。2013 年 6 月 19 日,在韩国首尔召开的国际工程联盟大会上,《华盛顿协议》全会一致通过接纳中国为该协议签约成员,中国成为该协议组织第 21 个成员,标志着中国的工程教育与国际接轨。通信工程专业积极采用国际化的标准,吸收先进的理念和质量保障文化,对通信工程教育改革发展、专业建设,进一步提高通信工程教育的国际化水平,持续提升通信工程教育人才培养质量具有重要意义。

为此,中南大学信息科学与工程学院启动了通信工程专业的教学改革和课程建设,以及 2016 版通信工程专业培养方案,与中国铁道出版社在近期联合组织了一系列通信工程专业的教材研讨活动。他们以严谨负责的态度,认真组织教学一线的教师、专家、学者和编辑,共同研讨通信工程专业的教育方法和课程体系,并在总结长期的通信工程专业教学工作的基础上,启动了“高等院校通信工程专业系列教材”的编写工作,成立了高等院校通信工程专业系列教材编委会,由中南大学信息科学与工程学院主管教学的副院长施荣华教授、中南大学信息科学与工程学院电子与通信工程系李宏教授担任主任,邀请国家教学名师、国防科技大学邹逢兴教授担任主审。力图编写

一套通信工程专业的知识结构简明完整的、符合工程认证教育的教材,相信可以对全国的高等院校通信工程专业的建设起到很好的促进作用。

本系列教材拟分为三期,覆盖通信工程专业的专业基础课程和专业核心课程。教材内容覆盖和知识点的取舍本着全面系统、科学合理、注重基础、注重实用、知识宽泛、关注发展的原则,比较完整地构建通信工程专业的课程教材体系。第一期包括以下教材:

《信号与系统》《信息论与编码》《网络测量》《现代通信网络》《通信工程导论》《计算机通信网络安全技术及应用》《北斗卫星通信》《射频通信系统》《数字图像处理》《嵌入式通信系统》《通信原理》《通信工程应用数学》《电磁场与微波技术》《电磁场与电磁波》《现代通信网络管理》《微机原理与接口技术》《微机原理与接口技术实验指导》《信号与系统分析》。

本套教材如有不足之处,请各位专家、老师和广大读者不吝指正。希望通过本套教材的不断完善和出版,为我国计算机教育事业的发展和人才培养做出更大贡献。

高等学校通信工程专业“十二五”规划教材编委会

2015年7月

前言

近几十年来,与数字技术相结合的各种通信系统在工业领域和民用领域获得了广泛应用和飞速发展。当今,人类对信息的获取已经成为人们工作和日常生活不可缺少的组成部分,人与人之间可通过网络 and 手机进行便捷的语音通话和数据交换,工业领域和家用电子设备也离不开信息的交互以实现相应的控制。各个行业对通信业务要求越来越多样化,产生了各种类型的嵌入式通信系统,包括工业控制中的网络化集成系统和人们日常生活中的各种电子设备,如空调、电表、汽车、热水器、微波炉、洗衣机和手机等,它们在内部都有单片机或者采用微处理器进行控制,同时通过各种总线或无线网络与其他设备互联。嵌入式系统和通信技术相结合能大幅提高设备的通信性能,可以通过远程通信从异地获得这些设备的相关信息并进行相应的控制,从而给工业生产和人们的生活带来极大的方便。总之,随着嵌入式系统和无线通信技术的发展,嵌入式通信系统的应用会越来越广泛。

通信领域对嵌入式通信系统方面的人才要求越来越高,国内外一些高校和培训机构也相继开设了嵌入式通信系统方面的课程。本书结合通信技术的最新发展,参照国内外最新的教材和文献资料,以作者多年从事嵌入式操作系统的实际工程项目开发经历和教学经验为基础编写而成。

目前,市面上有很多嵌入式系统方面的教材,大都是纯粹讲解操作系统的原理,对于通信专业学生而言较为枯燥。这类教材对没有操作系统基础知识的通信专业的学生来说难度偏大,且针对性不强,聚焦不明确。本书针对通信工程和电子信息专业的特点和专业培养要求,将重点放在嵌入式通信系统的应用开发上,以此为中心介绍相关的知识和技术。

本书结合作者多年从事嵌入式通信系统开发的教学以及工程项目开发实践,立足当前嵌入式技术的发展趋势、核心技术及其主要作用域,将技术原理和实践应用紧密结合,从嵌入式通信系统的原理、嵌入式通信系统的硬件架构、软件系统、设计开发和嵌入式通信系统的各种开发实例等方面向读者介绍嵌入式通信系统,由浅入深,循序渐进地讲解嵌入式通信系统的基本原理和开发技术,帮助读者掌握嵌入式通信系统的基本概念,深入理解嵌入式操作系统内核,达到掌握嵌入式通信操作系统开发技术的目的。

全书共分3篇(19章),第1章~第6章为原理篇,主要介绍嵌入式通信系统的概念、组成结构和操作系统的基础知识与基本开发调试技术。其中,第1章讲述嵌入

式通信系统的定义、发展、种类、特点及其组成结构、开发相关技术与应用。第2章讲述嵌入式通信系统设计技术、开发工具以及基于 Angel 和 JTAG 的调试方法；第3章介绍嵌入式通信系统的硬件平台，包括处理器、存储器，以太网、CAN、LON 等通信模块以及 I/O 设备；第4章介绍嵌入式通信系统的实时操作系统，首先讲述操作系统的功能、特点、发展和构成等内容，然后介绍嵌入式实时操作系统中 RTOS 的概念、功能、内核等内容，并且讲述了 Linux、Nucleus Plus 等常用的嵌入式实时操作系统；第5章介绍了嵌入式系统的联网、Internet 技术等方面的内容；第6章讲述了嵌入式通信系统中电磁兼容的标准、电磁兼容测试、电磁干扰控制方法、嵌入式通信系统中 PCB 的电磁兼容设计及其静电防护。

第7章~第13章为系统篇，主要介绍可用于嵌入式通信系统的多种硬件架构和嵌入式操作系统。其中，第7章讲述嵌入式通信系统中硬件系统的单片机，包括单片机的概念、发展、分类等内容以及单片机的体系结构、中断与定时、单片机通信接口；第8章讲述嵌入式通信硬件系统中基于 PC/104 架构的处理器，介绍了 PC/104 标准、通信接口以及 PC/104 的开发环境与编程技术；第9章讲述基于 ARM 的嵌入式通信系统，介绍了 ARM 微处理器系列、ARM 的体系结构、ARM 的指令系统、ARM 的通信接口、ARM 的开发环境和编程以及基于 ARM 架构的嵌入式网关的开发；第10章讲述嵌入式通信系统中操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ ，包括 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 概述、任务管理、内存管理、中断和时间管理以及 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 任务之间的通信与同步、 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统移植和 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的通信开发；第11章介绍了嵌入式操作系统 Windows CE 的系统结构、Windows CE 的进程和线程、Windows CE 存储系统、网络通信开发；第12章介绍嵌入式操作系统 Linux 体系结构、系统功能、驱动开发以及 Linux 的网络通信开发；第13章讲述嵌入式移动手机操作系统 Android 的开发工具、应用程序、Android 程序的用户界面开发、Android 的网络通信开发。

第14章~第19章为开发篇，其中，第14章介绍了工业以太网的关键技术以及嵌入式工业以太网应用实例；第15章介绍了 CAN 总线网络通信、CAN 总线通信技术、基于 STM32 的 CAN 通信的软/硬件设计和基于 CAN 总线网络监控系统的软/硬件设计；第16章讲述了嵌入式 Bluetooth 无线网络通信；第17章讲述了 Linux 的 ZigBee 网关设计；第18章讲述了 Windows CE 网络服务器开发，包括系统硬件结构及平台的搭建、Windows CE 操作系统的移植于软件平台的开发；第19章讲述了实例 Android 系统 LBS 定位应用开发。

本书内容丰富，可供对嵌入式通信系统有不同层次要求的专业使用，各章节内容可依据不同课时要求选讲。前言后附图为各个部分的建议授课时间，任课教师可根据实际授课情况做出相应调整。

全书由张晓勇、彭军任主编，刘伟荣任副主编并负责统筹、安排、协调、统稿、审核等，张倩倩、赵叶茹、张瑞、陈远君、秦高荣和贺健等完成文字编写、绘图、校

对等工作。本书在编写过程中还得到了中南大学轨道交通网络通信与控制研究所的大力支持，在此表示感谢。同时还要感谢对本书编写给予支持的老师和同学们。

由于时间仓促，编者水平有限，书中难免存在疏漏和不当之处，恳请读者批评指正。

编 者
2016 年 12 月



建议授课学时



目 录

CONTENTS

原 理 篇

第1章 嵌入式通信系统概述	1
1.1 嵌入式通信系统的定义	1
1.2 嵌入式通信系统的发展	2
1.2.1 嵌入式系统的产生和历史	2
1.2.2 嵌入式通信系统的发展现状	3
1.2.3 嵌入式通信系统的发展趋势	4
1.3 嵌入式系统的种类	5
1.3.1 按所嵌入的处理器分类	5
1.3.2 按实时性分类	6
1.3.3 按应用领域分类	7
1.3.4 按嵌入式系统软件复杂程度分类	8
1.4 嵌入式通信系统的特点	8
1.4.1 嵌入式系统的特点	8
1.4.2 嵌入式通信系统的技术特点	10
1.5 嵌入式通信系统的组成结构	11
1.5.1 硬件层	12
1.5.2 中间层	13
1.5.3 系统软件层	13
1.5.4 应用层	14
1.6 嵌入式通信系统的开发与应用	14
1.6.1 嵌入式通信系统开发相关技术	14
1.6.2 嵌入式通信系统的广泛应用	15
小 结	16
习题	16

第2章 嵌入式通信系统的设计与开发	17
2.1 概述	17
2.2 系统设计技术	17
2.2.1 嵌入式通信系统的开发过程	17
2.2.2 系统设计的形式化方法	22
2.2.3 嵌入式通信软件设计	24
2.3 嵌入式通信系统的开发工具	28
2.3.1 开发嵌入式通信系统的高级语言	28
2.3.2 嵌入式操作系统	30
2.3.3 ADS 简介	30
2.3.4 指令集模拟器	30
2.4 嵌入式通信系统的调试方法	31
2.4.1 嵌入式调试系统简介	31
2.4.2 基于 Angel 的调试方法	31
2.4.3 基于 JTAG 的调试方法	34
小结	34
习题	35
第3章 嵌入式通信系统的硬件平台	36
3.1 概述	36
3.2 嵌入式通信系统的硬件结构	37
3.3 嵌入式处理器	37
3.3.1 嵌入式处理器的分类	38
3.3.2 嵌入式处理器的特点	39
3.3.3 嵌入式处理器的选择原则	40
3.3.4 嵌入式处理器的发展历程	40
3.4 嵌入式通信系统的存储器	41
3.4.1 存储器系统的层次结构	41
3.4.2 随机存储器	41
3.4.3 只读存储器	43
3.5 嵌入式通信系统的通信模块	45
3.5.1 以太网	45
3.5.2 CAN	46
3.5.3 LON (LonWorks 协议)	48
3.5.4 无线通信	48
3.6 嵌入式通信系统的 I/O 设备	50
3.6.1 输入设备	50
3.6.2 输出设备	51

小结	52
习题	52
第4章 嵌入式通信系统的实时操作系统	53
4.1 概述	53
4.2 操作系统	53
4.2.1 操作系统的概念和功能	54
4.2.2 进程	54
4.2.3 操作系统的分类	56
4.3 嵌入式操作系统	57
4.3.1 嵌入式操作系统的概念和特点	57
4.3.2 嵌入式操作系统的发展	58
4.3.3 嵌入式操作系统的构成	58
4.4 嵌入式实时操作系统	59
4.4.1 RTOS 的概念和功能	59
4.4.2 RTOS 的重要评价指标	60
4.5 常用嵌入式实时操作系统	62
4.5.1 嵌入式 Linux	62
4.5.2 Nucleus Plus	62
4.5.3 μ C/OS-II	62
4.5.4 Windows CE	63
4.5.5 VxWorks	63
4.6 嵌入式操作系统的选择	64
小结	64
习题	64
第5章 嵌入式通信系统的网络及协议栈	65
5.1 概述	65
5.2 嵌入式通信系统的联网	65
5.2.1 选择协议栈	65
5.2.2 选择网络技术	66
5.2.3 选择成熟的实现方案	66
5.2.4 使用标准的应用协议	67
5.2.5 流行的网络体系结构	67
5.3 嵌入式 Internet 技术	68
5.3.1 网络体系结构	68
5.3.2 嵌入式 Internet 基础	70
5.3.3 嵌入式 Internet 的实现方式	70
小结	72

习题.....	72
第6章 嵌入式通信系统的电磁兼容	73
6.1 概述.....	73
6.2 嵌入式通信系统中电磁兼容的标准	73
6.2.1 电磁兼容的基本概念	73
6.2.2 电磁兼容标准	75
6.3 嵌入式通信系统的电磁兼容测试	77
6.3.1 电磁兼容的测试标准	77
6.3.2 电磁兼容的测试仪器	77
6.3.3 电磁兼容的测试场地	77
6.4 嵌入式通信系统的电磁干扰控制方法	78
6.4.1 常见的 EMI 问题	78
6.4.2 EMI 控制技术	79
6.4.3 接地	79
6.4.4 其他方法	83
6.5 嵌入式通信系统中印制电路板的电磁兼容设计	84
6.5.1 常用元器件的选择	84
6.5.2 PCB 的走线	86
6.6 嵌入式通信系统的静电防护	87
6.6.1 静电的产生和危害	87
6.6.2 ESD 的模型	88
6.6.3 静电的消除	88
6.6.4 PCB 的静电防护	89
小结	90
习题	90

系 统 篇

第7章 基于单片机的嵌入式通信系统	91
7.1 概述.....	91
7.1.1 单片机的概念	91
7.1.2 单片机的发展史	91
7.1.3 单片机的分类	92
7.2 单片机的体系结构	92
7.2.1 MCS-51 单片机的硬件结构	93
7.2.2 MCS-51 单片机的引脚	94
7.2.3 MCS-51 单片机存储器结构	95

7.2.4	MCS-51 单片机最小系统电路	99
7.3	单片机中断系统	100
7.4	单片机定时器/计数器	105
7.5	单片机的串行通信接口	108
	小结	111
	习题	111
第 8 章	基于 PC/104 架构的嵌入式通信系统	112
8.1	概述	112
8.2	PC/104 标准	113
8.2.1	模块标准	113
8.2.2	引脚信号	114
8.3	PC/104 结构体系	116
8.4	PC/104 通信接口	117
8.4.1	外部连接器	117
8.4.2	多用接口	119
8.4.3	串行端口	120
8.4.4	并行端口	120
8.4.5	软盘接口	121
8.4.6	CRT 接口	121
8.4.7	平板显示接口	122
8.4.8	IDE 端口	123
8.4.9	ETH/USB1 端口	123
8.4.10	USB2 端口	124
8.4.11	AUDIO 端口	124
8.5	PC/104 的开发环境与编程	124
8.5.1	QNX 概述	124
8.5.2	QNX 系统命令	125
8.5.3	QNX 应用程序开发	128
	小结	130
	习题	130
第 9 章	基于 ARM 架构的嵌入式通信系统	131
9.1	概述	131
9.1.1	ARM 微处理器系列	131
9.1.2	ARM 微处理器结构	133
9.2	ARM 的结构体系	134
9.2.1	ARM 体系结构的特点	134
9.2.2	ARM 体系结构的存储器格式	135

9.2.3	ARM 微处理器模式	136
9.3	ARM 的指令系统	136
9.3.1	ARM 微处理器的指令集概述	136
9.3.2	ARM 指令的寻址方式	138
9.3.3	ARM 指令集	139
9.4	ARM 的通信接口	142
9.4.1	S3C4510B 概述	142
9.4.2	串行通信接口	144
9.4.3	以太网通信接口	144
9.5	基于 ARM 架构的嵌入式网关	145
9.5.1	硬件平台设计	145
9.5.2	软件平台设计	147
小结		149
习题		149
第 10 章	嵌入式操作系统 μC/OS-II	150
10.1	概述	150
10.2	μ C/OS-II 任务管理	151
10.3	μ C/OS-II 内存管理	152
10.4	μ C/OS-II 中断和时间管理	154
10.4.1	μ C/OS-II 的中断服务子程序	154
10.4.2	μ C/OS-II 的时间管理	156
10.5	μ C/OS-II 任务之间的通信与同步	158
10.5.1	事件控制块	158
10.5.2	消息邮箱	159
10.5.3	消息队列	160
10.6	μ C/OS-II 系统移植	160
10.6.1	μ C/OS-II 移植条件	161
10.6.2	移植过程	161
10.6.3	移植测试	162
10.7	μ C/OS-II 的通信开发	163
10.7.1	μ C/OS-II 系统 CAN 总线开发	163
10.7.2	μ C/OS-II 系统以太网开发	165
小结		168
习题		168
第 11 章	嵌入式操作系统 Windows CE	169
11.1	嵌入式操作系统 Windows CE 概述	169
11.2	Windows CE 体系结构	170

11.3	Windows CE 进程和线程	174
11.3.1	Windows CE 进程	174
11.3.2	Windows CE 线程	175
11.3.3	线程调度	176
11.3.4	线程同步	177
11.3.5	进程间通信	179
11.4	Windows CE 存储系统	180
11.4.1	内存管理	180
11.4.2	文件管理与注册表	183
11.5	Windows CE 的网络通信开发	184
11.5.1	Windows CE 通信简介	185
11.5.2	WinSock 和 IRSock	185
11.5.3	UDP 编程	186
11.5.4	TCP 编程	186
11.5.5	FTP 编程	187
小结		188
习题		188

第 12 章 嵌入式操作系统 Linux..... 190

12.1	概述	190
12.2	Linux 体系结构	192
12.2.1	嵌入式操作系统的体系结构	192
12.2.2	Linux 体系结构	194
12.3	Linux 系统功能	195
12.3.1	内存管理	195
12.3.2	进程管理	198
12.3.3	文件系统	200
12.3.4	设备管理	201
12.4	Linux 的驱动开发	202
12.4.1	Linux 的驱动概述	202
12.4.2	Linux 设备驱动程序的基本结构	203
12.4.3	Linux 设备驱动分类	203
12.4.4	Linux 设备的控制方式	204
12.4.5	Linux 设备驱动开发流程	205
12.5	Linux 的网络通信开发	205
12.5.1	网络协议参考模型	206
12.5.2	TCP 和 UDP	206
12.5.3	TCP 通信编程	207
12.5.4	UDP 通信编程	210