



# 嵌入式网络编程

—— 串口通信、工业总线、传感器网络应用开发

胡成华 刘传瑞 郭文生 编著



卓越工程师培养计划「十二五」规划教材

Engineering Innovation



電子工業出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

卓越工程师培养计划“十二五”规划教材

# 嵌入式网络编程

——串口通信、工业总线、传感器网络应用开发

胡成华 刘传瑞 郭文生 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书以工程应用为背景,以嵌入式系统工程设计为核心,主要讲述嵌入式系统的各种网络接口编程技术,内容涉及嵌入式系统通信模式及其程序设计。本书通过关键技术介绍、系统软硬件设计和应用举例,使学生深入理解嵌入式网络通信编程的内涵和实质,从而提高学生的实践技能。本书论述嵌入式系统的串行接口通信编程、总线网络编程、工业以太网编程、红外无线通信编程和 Zigbee 无线网络通信等,包含应用场景介绍、通信技术基础、软硬件体系设计和具体应用实例论述。

本书可作为计算机和软件相关专业的本专科学生的教材,也可供有关工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

嵌入式网络编程:串口通信、工业总线、传感器网络应用开发/胡成华,刘传瑞,郭文生编著.

北京:电子工业出版社,2012.1

卓越工程师培养计划“十二五”规划教材

ISBN 978-7-121-15338-9

I. ①嵌… II. ①胡…②刘…③郭… III. ①计算机通信网—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP393.09

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 246969 号

策划编辑:章海涛

责任编辑:陈晓莉

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:11.75 字数:300 千字

印 次:2012 年 1 月第 1 次印刷

印 数:3000 册 定价:28.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

# 丛书序

为贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010-2020年）》的精神，树立全面发展和多样化的人才观念，树立主动服务国家战略要求，主动服务行业企业需求的观念，教育部决定实施卓越工程师教育培养计划。该计划着力提高学生的工程意识、工程素质和工程实践能力，着力提高学生服务国家和人民的社会责任感，着力提高勇于探索的创新精神和善于解决问题的实践能力，是我国工程教育领域的重大改革与创新，有利于全面提高我国工程教育人才培养质量，适应社会主义现代化建设的人才培养需要。

电子科技大学信息与软件工程学院根据卓越工程师教育培养计划指导思想，从培养工程型软件人才的角度出发，围绕嵌入式系统产品研发所需知识体系进行策划，编写了这套系列图书，包括《嵌入式系统导论》、《计算机控制系统》、《现代嵌入式操作系统》、《嵌入式网络编程》和《嵌入式系统应用开发》，以及相关配套教材及实验指导书。旨在重点强化涉及嵌入式系统领域的知识体系以及应用实践，以嵌入式软件工程思想引导学生较为全面地掌握嵌入式产品研发所需要的理论、应用技术以及工程实践方法。编写基本原则如下：

- (1) 以培养嵌入式系统方向卓越工程师为目标；
- (2) 介绍嵌入式系统软硬件构成中的基础知识，重点突出与通用系统的差异性；
- (3) 以工程应用为牵引，重点介绍基础理论知识在不同应用领域、不同应用层次中的作用以及设计实现方法；
- (4) 每本教材可以单独教学；而整套教材体现一个较为完整的嵌入式系统教学体系；
- (5) 所有重要示例围绕几个重要的产业领域。

按上述原则，本系列教材包含11本教材和配套的实验指导书，各教材的编写重点如下：

## 《嵌入式系统导论》

引入无所不在的嵌入式系统概念，介绍嵌入式系统发展简史、学习嵌入式系统方向应该掌握的知识体系、相关的基本概念、嵌入式系统与产业链的关系、嵌入式系统开发的各个环节、以及典型的嵌入式方向问题及解决思路。

这是一本嵌入式系统综述教材，用于激发学生对嵌入式方向的兴趣，帮助学生勾画嵌入式方向的轮廓，初步定位自己今后的发展方向。

## 《计算机控制系统》

在工程实践中，控制系统是产品智能化的核心。因此，掌握计算机控制系统的分析与设计方法并应用于嵌入式产品的研制，是嵌入式系统专业学生必须具备的基本技能。

本教材系统地讲述计算机控制系统的基本原理与实现技术。内容可分为三部分：(1) 基础知识，包括自动控制的基本原理、基本概念、必要的数学知识和控制系统的数学描述；(2) 基础理论，包括计算机控制系统的经典分析、经典设计、状态空间分析和状态空间设计；(3) 实现技术，包括计算机控制系统的组建、工程上要考虑的实际问题、嵌入式控制系统和网络控制系统。

## 《微机原理及接口技术》

这是嵌入式方向的另一门重要基础课，主要讲解微型机软硬件系统知识和技术进行更深入和系统的学习。本课程在计算机专业学科中起着承上启下的作用。其任务是使学生能系统

深入地学习掌握微机硬件组成原理、汇编语言编程方法、I/O 接口技术、微机硬件及外设接口的控制编程技术等多方面的软硬件知识，并培养学生具备全面的微机系统分析能力与软硬件设计能力。

### 《ARM 处理器体系结构及应用》

ARM 处理器是目前 32 位以上嵌入式系统中最主流使用的处理器，号称嵌入式领域的“Intel”。因此，它是目前嵌入式方向必须掌握的基础硬件之一。

教材编写以课堂理论教学和实验操作相结合的方法，主要讲解 32 位嵌入式 ARM 处理器的原理及其应用方法。内容包含嵌入式系统体系架构，ARM 体系结构，使学生掌握嵌入式处理器 ARM 的内部资源、异常处理、存储处理、各种 I/O 接口；掌握嵌入式处理器 ARM 的工作原理、指令系统、C 语言在嵌入式处理器上的编程、嵌入式软硬件系统的设计方法，让学生能够具备基本的嵌入式系统硬件设计开发与实现能力。

### 《FPGA 原理与应用》

基于 FPGA 的嵌入式系统设计技术已经成为信息产业最热门的技术之一，应用范围遍及航空航天、医疗、通信、网络通信、安防、广播、汽车电子、工业、消费类市场、测量测试等多个热门领域。FPGA 正以各种电子产品的形式进入了我们日常生活的各个角落。

教材在介绍 FPGA 基本原理的基础上，以 Quartus II 综合平台为基础，重点介绍基于 Altera FPGA 的 IP 设计方法和设计技巧，从系统工程的角度来详述完成一个设计需要开展的分析、仿真、实现等具体工作。配合相关实验和实训，帮助学生完全了解开发基于 FPGA 的实用电路的若干步骤，熟练掌握一个开发平台，达到基本胜任一项具体工作任务的目标。

### 《现代嵌入式操作系统》

嵌入式操作系统是现代嵌入式应用的核心之一，其地位等同于通用计算机系统中的通用操作系统，是学生必须掌握的知识内容。

由于嵌入式 OS 在基本结构上与通用 OS 大同小异：因此教材的编写在概略介绍嵌入式 OS 各组成成分的基础上，重点阐述其自身的特色性成分，如实时调度、低功耗、安全、可靠等，并强调培养学生基于嵌入式 OS 的应用开发能力。

由于多核处理器应用越来越广泛，因此面向多核的嵌入式 OS 也会适当介绍。

### 《嵌入式软件分析设计》

嵌入式软件开发与通用系统相比有较大差异，其核心是必须着重考虑并发问题、非功能性问题等。这也是嵌入式方向的核心知识之一。

教材概括嵌入式/实时软件的实时、并发特征，介绍设计过程中所使用的概念、模式和方法，讨论嵌入式软件分析设计在嵌入式系统设计开发过程中的地位，重点介绍常用的结构化实时系统设计方法和面向对象的嵌入式软件分析设计方法，培养学生掌握使用实时统一建模语言对嵌入式实时软件进行分析设计。配合相关的实验设计，帮助学生将所学的理论知识应用到具体实验中，学以致用，提高实际操作能力。

### 《嵌入式网络编程》

网络化已成为嵌入式产品发展的必然趋势。而嵌入式网络多种多样，如现场网、Internet、传感网等。

本教材主要讲述嵌入式系统的各种网络接口编程技术，内容涉及嵌入式系统数据传输模式及其程序设计。书中将通过大量的实例教学，使学生深入理解嵌入式网络编程的内涵和实质，从而提高学生的实践技能。

教材论述嵌入式系统的网络接口编程, SCI 串行接口、IIC 总线、CAN 接口编程模式等, 结合具体开发板接口通信的设计和实现, 论述嵌入式各种数据传输接口通信设计以及实现。

### 《多媒体应用基础》

数字媒体技术已成为高端嵌入式产品中不可或缺的部分, 其应用领域广泛, 如远程教育、视频会议、视频点播等。数字媒体技术综合处理文本、图形、图像、音频、视频等信息, 集成为一个具有交互性和实时性的系统, 给人们的工作、生活和娱乐带来深刻的变革。

教材主要介绍了多媒体技术的概念、技术与应用。全书在介绍多媒体基本概念的基础上, 重点对数字音频处理、视觉信息处理、多媒体数据压缩与编码技术、多媒体数据处理的技术标准、多媒体系统结构、超文本与超媒体技术、多媒体数据库技术、虚拟现实技术、流媒体技术、多媒体信息安全技术作了比较系统的阐述, 同时重点介绍多媒体应用开发环境及应用实例。

### 《人机界面的软件设计》

实用性和好用性是嵌入式产品追逐的目标之一, 因此如何提供友好的人机接口是产品开发者必须考虑的问题。

教材通过系统讲解人机交互理论和用户界面的设计原则, 结合 windows、Linux、Web 和嵌入式系统的典型软件用户界面设计, 帮助读者掌握嵌入式产品用户界面的设计、测试、评估方法, 培养产业化开发的基本思路。

### 《嵌入式系统应用开发》

在学生对嵌入式系统的基础知识有了初步学习后, 针对广泛应用的嵌入式软硬件系统知识和技术进行更深入和系统的学习, 达到系统级专业水平, 为后继的工程实践和走向社会打下坚实的基础, 是本教材的目标。

本教材的任务是通过实际应用开发实例教学, 帮助学生系统地学习掌握嵌入式应用开发的基本技能和技巧、基本的开发测试环境, 掌握典型的应用开发过程, 旨在培养学生嵌入式应用开发的实践能力, 初步具备全面的嵌入式应用系统分析能力与软硬件设计能力, 使得学生毕业后可以直接学以致用。

整个教材面向几个典型嵌入式应用领域的软件开发, 主要分为三大部分: Brew 开发技术、J2ME 开发技术和 Android 开发技术, 包括主要的嵌入式开发技术。每个部分各具特色又相互借鉴和统一, 便于对比学习。

本系列教材内容覆盖嵌入式系统方向的所有核心知识内容, 为读者提供嵌入式系统开发的完整体系结构和思路, 使读者能够较为容易地理解嵌入式系统及其开发的本质, 掌握基本开发技术, 了解并掌握典型的应用实例, 为今后走向社会奠定扎实基础。

丛书的出版是我院实施卓越工程师教育培养的一件喜事, 标志着我院实施卓越工程师教育培养计划已经走出坚实的一步, 也是我院与兄弟院校进行人才培育方案和技术交流的途径。



2011年12月12日

# 前 言

随着嵌入式系统的广泛应用，信息在工业生产和人们生活中的作用越来越重要，网络化已成为嵌入式产品发展的必然趋势，通信部分在嵌入式系统中的地位越来越重要。通信系统，无论是有线还是无线网络通信，已经成了现代嵌入式应用系统设计的关键技术。然而，伴随通信技术的日益发展，各种新型通信技术层出不穷，嵌入式系统中可以选择的通信技术也相当繁多，在保持嵌入式系统高度稳定可靠和快速实时响应的基础上，选择或者构建高性价比的通信网络，即以最小的系统资源占有量，设计并开发出稳定高效的通信体系，实现简易方便、高性价比的网络互联，并展开及时可靠的数据信息交互，使嵌入式应用系统更好地满足生产和生活需要，变得十分迫切和重要。

因为通信网络种类繁多，初学者或在校学生在进行嵌入式系统设计过程中不可避免地要进行网络和通信模块的开发，但因为他们往往对各种通信技术的特征、应用场合和接口设计缺乏相应的了解，更别谈相应的工程应用经验，所以本书除了对通信相关技术进行必要的阐述外，还专门以工程案例的形式着重讨论目前最为常用的嵌入式网络编程技术。

本书以嵌入式系统工程设计为核心，以工程应用为背景，重点描述各种开发版通信接口的设计与实现，配合相关实验以提高软件工程相关专业学生的实践动手能力。每一章内容围绕其中一种技术展开，从工程应用出发，先简单介绍通信技术基础，然后讨论嵌入式系统的通信模块设计，最后用典型案例教会读者进行工程应用。每章后面还设计有相应的实验题目，从而让学员从实践中来，又回到实践中去。本书始终从工程应用出发，解决初学者或工程实践能力不强的在校学生设计嵌入式系统过程中的实际问题。

本书编写中，胡成华老师负责全书的规划设计、统稿和实验设计，郭文生老师负责全书修改定稿、电子课件制作并参与了部分章节的编写，软件学院硕士研究生刘传瑞参与了部分章节编写并对统稿工作进行了协助，硕士研究生范海亮收集了大量网上资料并编写了部分内容。

本书从规划到出版过程中，电子科技大学信息与软件工程学院（以下简称软件学院）秦志光、李雪梅、雷航、傅彦、蔡竞业、周世杰、侯孟书和何春等领导给予了大力支持，嵌入式系桑楠和余堃教授对全书章节和修改定稿方面提出过具体指导意见。编写过程中，陈波、张学、邢建川、吉家成、张翔、黄克军、董乐、张骏、管庆、王华等老师提供了诸多帮助，在此一并深表谢意。

以嵌入式网络编程的图书市场上较为少见，能够参考的图书较少，编写过程中笔者参阅了CSDN、Unix技术网、EDN中国、51CTO技术博客、程序员联合开发网和嵌入式开发联盟等大量的网络资源，因无法一一联系作者，在此一并致以谢意；编写中笔者本着求真求实的精神对文字和程序进行斟酌和校验，但仍难免存在疏误，敬请广大读者批评指正和谅解。

为配合本书作为教材使用和方便读者，本书提供电子课件和程序代码。需要者请登录华信教育资源网 <http://www.hxedu.com.cn>

编著者

于成都·电子科技大学

# 目 录

<b>第 1 章 嵌入式网络通信概述</b> .....	1
1.1 嵌入式网络通信基础.....	1
1.1.1 网络通信简介.....	1
1.1.2 网络通信的硬件设施.....	2
1.1.3 网络通信的软件体系.....	4
1.1.4 网络通信的网络环境.....	7
1.2 嵌入式网络通信技术.....	9
1.2.1 网络通信技术发展概览.....	9
1.2.2 嵌入式网络通信技术概况.....	10
1.2.3 嵌入式网络通信实现过程.....	13
课后习题 1.....	15
参考文献.....	15
<b>第 2 章 串行接口通信</b> .....	16
2.1 串行接口通信基础.....	16
2.1.1 计算机串行通信基础.....	16
2.1.2 RS-232C 串行通信接口.....	20
2.1.3 RS-485 串行通信接口.....	22
2.2 基本的软件/硬件体系设计.....	25
2.2.1 串行接口芯片及其选择.....	25
2.2.2 串行接口通信的软/硬件设计.....	28
2.2.3 串行接口主从式多机通信协议.....	30
2.3 串行接口网络通信应用开发实例.....	32
2.3.1 RS-232C 转 RS-485 通信电路的设计分析.....	32
2.3.2 基于 RS-485 主从通信协议的实现.....	35
课后习题 2.....	36
参考文献.....	36
<b>第 3 章 嵌入式总线网络通信</b> .....	37
3.1 总线网络通信基础.....	37
3.1.1 总线技术及其特征.....	37
3.1.2 CAN 总线网络通信协议.....	40
3.1.3 LonWorks 总线及其技术概述.....	43
3.2 基本的软件/硬件体系设计.....	44
3.2.1 CAN 总线接口芯片及其选型.....	44
3.2.2 CAN 总线接口电路设计.....	47



3.2.3	CAN 总线接口硬件及软件设计	48
3.2.4	LonWorks 总线网络构造	52
3.2.5	LonWorks 通信硬件及软件设计	54
3.3	接口驱动及网络通信开发实例	60
3.3.1	智能接口卡设计	60
3.3.2	分布式监控系统 CAN 智能节点设计	62
3.3.3	LonWorks 网络节点/适配器设计实例	66
	课后习题 3	77
	参考文献	78
<b>第 4 章</b>	<b>工业以太网通信</b>	<b>79</b>
4.1	通信技术基础	79
4.1.1	以太网历史及其关键技术	79
4.1.2	网络传输协议体系	80
4.1.3	以太网传输介质	83
4.1.4	工业以太网	84
4.2	基本软/硬件体系设计	86
4.2.1	以太网接口器件	86
4.2.2	嵌入式以太网通信硬件实现	89
4.3	开发实例	91
4.3.1	单片机加以太网控制器实现直接以太网通信	91
4.3.2	嵌入式操作系统下的以太网通信设计与实现	98
	课后习题 4	115
	参考文献	115
<b>第 5 章</b>	<b>嵌入式红外无线通信</b>	<b>117</b>
5.1	IrDA 红外无线通信基础	117
5.1.1	红外无线通信技术及其特点	117
5.1.2	红外与蓝牙无线技术的比较	118
5.2	IrDA 基本的软/硬件体系设计	118
5.2.1	红外无线器件及其使用	118
5.2.2	常见红外无线电路设计	121
5.2.3	红外无线编/解码原理	124
5.2.4	红外无线的软件编程	125
5.3	IrDA 红外无线通信应用实例	127
5.3.1	单片机串口之间的数据传输	127
5.3.2	物料传输系统的身份识别	130
5.3.3	红外通信在导航仪中的应用	133
	课后习题 5	136
	参考文献	136

<b>第 6 章 嵌入式 ZigBee 无线网络通信</b> .....	137
<b>6.1 ZigBee 无线网络通信基础</b> .....	137
6.1.1 ZigBee 技术的由来与发展.....	137
6.1.2 ZigBee 的技术特征及优势.....	138
6.1.3 ZigBee 通信协议体系及其实现.....	138
6.1.4 ZigBee 组网与帧格式.....	140
<b>6.2 基本软硬件体系设计</b> .....	144
6.2.1 含 ZigBee 技术的通信部件.....	144
6.2.2 ZigBee 通信的软硬件设计.....	146
<b>6.3 ZigBee 网络编程应用实例</b> .....	149
6.3.1 火灾报警系统设计.....	149
6.3.2 无线片上系统设计.....	153
课后习题 6.....	164
参考文献.....	165
<b>附录 A 实验指导</b> .....	166
实验一 RS-485 网络通信编程.....	166
实验二 嵌入式 CAN 总线网络通信编程.....	166
实验三 嵌入式 LonWorks 网络通信编程.....	167
实验四 嵌入式 ZigBee 无线网络通信.....	171

# 第 1 章 嵌入式网络通信概述

通信体系，尤其是有线/无线网络通信，是现代嵌入式应用系统设计的关键技术之一。如何在保持嵌入式系统高度稳定可靠和快速实时响应的基础上，以最小的系统资源占有量，迅速开发出稳定、高效的通信体系，实现简易方便、高性价比的网络互联，使嵌入式应用系统更好地融入有线/无线网络环境之中？本章将对这些问题展开综合性的阐述。

## 1.1 嵌入式网络通信基础

### 1.1.1 网络通信简介

嵌入式网络通信技术是以嵌入式系统为核心的网络通信技术，涉及嵌入式通信设备、信息处理设备、通信软件、应用软件等方面，是计算机网络通信技术的一个发展方向。嵌入式系统是以应用为中心，以计算机技术为基础，软件和硬件可裁剪，满足应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统，可以很好地满足计算机网络通信系统对实时性、可靠性和功耗等指标的要求。特别是在计算机通信网络接入设备中引入实时操作系统，更可以极大地提高系统的灵活性、规范性和扩展能力，并大大减小程序编写的工作量，而且减少了出错的可能，保证最终程序具有高可靠性。

目前，Internet 是覆盖面极广、联网设备众多、协议完善、功能强大的一种通信网络，已经成为信息社会重要的信息基础设施，是重要的信息流通渠道。具备互联网的接入功能，已经成为嵌入式系统的发展方向之一。而在通信设备中引入这一功能，更可以将处于不同地域的多个设备组成一个统一的整体，实现数据共享和统一管理，大大提高了通信网络系统的功能。

随着计算机技术和网络技术的发展，利用嵌入式计算机系统和网络技术，组成嵌入式网络化通信设备，可以很好地解决分散设备的接入问题。

嵌入式网络通信设备由控制部分和网络部分组成。控制部分实际上是一个小型的、简单的数据采集控制系统，实现通信设备的控制和数据的采集。网络部分用于实现网络通信功能。这两者都属于“嵌入式系统”的范畴，它们通过双口 RAM (Random Access Memory) 交换数据。整个通信设备有两块 CPU，分别控制通信设备的控制部分和网络部分，以利于系统的升级。

在通信设备内部集成一个嵌入式网络服务器，授权用户就可以在任何有电话的地方，通过 Internet/Intranet 控制或管理设备；系统设计者也可以通过网络对通信设备进行动态的配置，对通信设备软件进行升级，对通信设备进行必要的维护工作。

设计嵌入式网络通信设备，可以采用 32 位微处理器（如 ARM），外加 RTOS；也可以由低档的 8 位机组成嵌入式通信设备，采用专用的网络（如 RS-485、CAN BUS 等）把若干个嵌入式通信设备连接在一起，再与 PC 相连；还可以利用 8 位单片机组成直接接入 Internet 的嵌入式网络通信设备。

在嵌入式系统中，实现嵌入式网络服务器（Embedded Web Server）是嵌入式 TCP/IP 协议栈的典型应用，也是嵌入式系统智能化、网络化发展的趋势。嵌入式网络服务器可以让用户通过浏览器（如 IE 等）对系统进行监控、管理。在 Internet 已经深入影响人们生活、工作各方面的今天，这种方式更符合人们的使用习惯。

嵌入式网络服务器的实现关键在于使通信设备支持 HTTP 协议，它基于服务请求和服务应答模式，客户端连接到服务器的 80 号 TCP 端口，发送一个请求，并等待服务器的应答。客户端发送的请求由一个请求方法、URI（统一资源标识符）、协议版本和可能的实体内容组成；服务器发送的响应由一个状态行（包括协议版本和表示成功或者失败的 3 位数字代码）、实体信息和可能的实体内容组成。

目前，通信设备的嵌入式网络服务器功能比较简单，向客户端发送的响应消息中 Entity-Header 只包含了其中必要的两个信息：Content-type 和 Content-length。

## 1.1.2 网络通信的硬件设施

嵌入式系统的开发涉及两方面：硬件部分和软件部分。嵌入式系统硬件基础部分提供整个嵌入式系统开发可见的或可触摸的“实体”，而软件部分相当于这个“实体”内部的功能逻辑。这两个部分缺一不可。嵌入式系统开发对硬件要求非常高，这与其他类型系统的开发有所不同。许多嵌入式的开发都针对具体的应用，针对项目中特定硬件资源，如微处理器、Flash、外围接口等。这样，程序员就需要熟悉系统中的硬件资源，如涉及一些底层编程，就需要知道系统处理器提供的指令集；要对 Flash 编程，就需要知道 Flash 编程的指令系列和流程等。

嵌入式系统的核心部件是各种类型的嵌入式微处理器。嵌入式微处理器就像系统的控制神经中枢，通过数据线、地址线和控制信号线等神经网络与各种神经末梢，如 RS-232 接口、USB 接口、LCD 接口等相连。新一代嵌入式设备还需要具备 IEEE 1394、USB、CAN、Bluetooth 或 IrDA 通信接口，同时也需要提供相应的通信组网协议软件和物理层驱动软件。为了支持应用程序的特定编程模式，如 Web 或无线 Web 编程模式，还需要相应的浏览器，如 HTML，XML 等。

根据现状，嵌入式处理器可以分为以下几类：

### （1）嵌入式微处理器（Embedded Micro Processor Unit, EMPU）

嵌入式微处理器一般指通用计算机中的 CPU。它与标准微处理器基本相同，但在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面都做了增强。与工业控制计算机相比，它具有体积小，重量轻，成本低，可靠性高等优点；但在电路板上必须包括 ROM、RAM、Flash、总线接口、各种外设等器件，从而降低了系统的可靠性，技术保密性也较差。在应用中，将微处理器装配在专门设计的电路板上，然后在电路板上配上必要的扩展外围电路，如存储器的扩展电路、I/O 的扩展电路和一些专用的接口电路等，这样就可基本完成嵌入式系统的一些功能，其主要特点：

- ① 内部具有精确的晶振电路，对实时多任务具有很强的支持能力。
- ② 嵌入式系统的软件结构已模块化，具有功能很强的存储区保护功能。
- ③ 采用可扩展的处理器结构，留有很多扩展接口。

④ 提供丰富的调试功能。在嵌入式系统开发中，基本的开发模型就是宿主机对目标机的开发。一方面要求宿主主机上有相应的开发工具，另一方面要求目标机上的微处理器应提供必要的调试接口以方便用户开发。一般调试方式有硬件仿真调试、软件调试、模拟调试等。常见的调试接口有 JTAG，BDM 方式等。

⑤ 许多嵌入式微处理器提供几种工作模式,如正常工作模式、备用模式、省电模式(power down)等,嵌入式微处理器在设计中考虑到低功耗。信息社会是以网络以及移动计算和通信设备为基础的,这样就需要嵌入式微处理器消耗非常低的能量。现在便携式和无线应用中靠电池操作的嵌入式微处理器设计中最重要的是功耗而不是性能,现在已不用主频率 MHz 评价处理器,而是用功耗 mW 或 W 评价处理器了。同时,功率的传送和能量的消耗已成为性能和集成度的主要限制。

#### (2) 嵌入式微控制器 (Embedded Micro Controller Unit, EMCU)

嵌入式微控制器一般又称为单片机,就是将整个计算机系统集成到一块芯片中的控制器。它一般以某一种微处理器内核为核心,芯片内部集成 ROM/EPROM、RAM、Flash、总线、总线逻辑、定时/计数器、WatchDog、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D, D/A 等各种必要功能模块和外设。为适应不同需要,一般一个系列的单片机具有很多的衍生产品,但是每种衍生产品的处理器内核是相同的,不同的是存储器和外设的配置及封装。

与嵌入式微处理器相比,微控制器的最大特点是单片化、体积小,从而使功耗和成本下降,可靠性提高。微控制器是目前嵌入式系统工业中的主流产品。微控制器的片上外设资源一般比较丰富,适合于控制,因此称为微控制器。

#### (3) 嵌入式 DSP 处理器 (Embedded Digital Signal Processor, EDSP)

普通 DSP 处理器对系统结构和指令进行了特殊设计,使其适合执行 DSP 算法,编译效率和指令执行速度都较高。在数字滤波、FFT、谱分析等方面,DSP 算法正在大量引入嵌入式领域;DSP 应用正从通用单片机中以普通指令实现 DSP 功能,过渡到采用嵌入式 DSP 处理器。嵌入式 DSP 处理器有两个发展来源:一是 DSP 处理器经过单片化,EMC 改造,增加片上外设成为嵌入式 DSP 处理器,如 TI 公司的 TMS320C2000/C5000 等;二是在通用单片机或 SoC 中增加 DSP 协处理器,如 Intel 公司的 MCS-296 等。

现在,嵌入式 DSP 处理器已得到快速的发展和應用,特别在嵌入式系统的智能化系统中,例如,各种带智能的消费类产品、生物信息识别终端、带加解密算法的键盘、ADSL 接入、实时语音接入系统、虚拟现实显示等。这类智能化算法一般运算量较大,特别是向量运算、指针线性寻址等较多,而这些正是 DSP 处理器的优势所在。德州仪器公司(TI)推出 TMS320C64x DSP 系列中的最新产品,作为最高性能数字信号处理器(DSP),使高效能嵌入式应用大大受益。与同类竞争产品相比,该新型芯片提供了性价比更高、功耗更小的百万级乘法累加器(MMACS),并支持各种创新应用项目。凭借该器件,TI 公司拓展了 C64xTM DSP 系列产品的应用空间,满足了更低功耗和成本的高效能应用需求,包括小区媒体服务器、安全/监视系统、电信/数据通信系统及硬拷贝设备应用。

#### (4) 嵌入式片上系统 (Embedded System on Chip, ESoC)

随着 EDI 的推广和 VLSI 设计的普及,以及半导体工艺技术的迅速发展,在一个硅片上实现一个更为复杂的系统的时代已来临,这就是 System on Chip (SoC)。各种通用处理器内核将作为 SoC 设计公司的标准库,与许多其他嵌入式系统外设一样,成为 VLSI 设计中一种标准的器件。SoC 用标准的 VHDL 等语言描述,存储在器件库中。用户只需定义出其整个应用系统,仿真通过后就可以将设计图交给半导体工厂制作样品。这样,除个别无法集成的器件以外,整个嵌入式系统大部分均可集成到一块或几块芯片中。应用系统电路板将变得很简洁,对于减小体积和功耗,提高可靠性非常有利。

SoC 可以分为通用和专用两类,通用系列包括 Infineon (Siemens) 的 TriCore, Motorola

的 M-Core, 某些 ARM 系列器件, Echelon 和 Motorola 联合研制的 Neuron 芯片等。专用 SoC 一般用于某个或某类系统中, 不为一般用户所知。一个有代表性的产品是 PHILIPS 的 Smart XA, 它将 XA 单片机内核和支持超过 2048 位复杂 RSA 算法的 CCU 单元制作在一块硅片上, 形成一个可加载 Java 或 C 语言的专用 SoC, 用于公众互联网如 Internet 安全网。

嵌入式系统实现的最高形式是单一芯片系统, SoC 的核技术是 IP 核 (Intellectual Property Kernels, 知识产权核) 构件。IP 核分为硬件核、软件核和固件核。硬件核主要指 8/16/32/64 位 MPU 核或 DSP 核。硬件提供商以数据软件库的形式, 将其久经验证的处理器逻辑和芯片版图数据供 EDA 工具调用, 在芯片上直接配置 MPU/DSP 功能单元。软件核是指软件提供商将 SoC 所需的 RTOS 内核软件或其他功能软件, 如通信协议软件、FAX 功能软件等构成标准 API 方式和 IP 核形式的构件。此构件供 IDE 和 EDA 工具调用制成 Flash 或 ROM 可执行代码单元, 加速 SoC 嵌入式系统定制和开发。目前, 一些嵌入式软件供应商纷纷把成熟的 RTOS 内核和功能扩展件以软件 IP 核构件形式出售, Microtec 的 VRTXoc for ARM 就是典型例子。

由上可见, 嵌入式片上系统的设计的关键是 IP 核的设计。IP 核技术是嵌入式的重要支持技术。在设计嵌入式系统时, 可以通过使用 IP 核技术完成系统硬件的设计。

IP 设计技术是一种集成电路设计技术, 是以电路模块知识产权使用为核心的电子系统设计技术。在 IP 技术中把不同功能的电路模块称为 IP, 这些 IP 都是经过实际制作并证明是正确的。在 EDA 实际工具中把这些 IP 组织在一个 IP 元件库中, 供用户使用。设计电子系统时, 用户需要知道 IP 模块的功能和技术性能。通过把不同的 IP 模块镶嵌在一个硅片上, 形成完整的应用系统。IP 技术极大地简化了 SoC 的设计过程, 缩短了设计时间, 因此已经成为目前电子系统设计的重要基本技术。

### 1.1.3 网络通信的软件体系

#### 1. 嵌入式操作系统

在完成通信设备功能的基础上, 为了进一步提高通信设备性能, 在软件设计中引入了嵌入式操作系统, 也叫做实时操作系统 (Real Time Operating System, RTOS)。实时操作系统具有适应于嵌入式实时应用系统的管理功能, 包括任务管理、时间管理、任务之间的通信与同步、内存管理等功能, 同时具有可移植、可固化、可裁减、抢占式多任务、函数和服务的执行时间可确定等优点, 并能够提供系统服务和中断管理, 具有极高的稳定性和可靠性。

嵌入式操作系统是一个前后台系统, 其应用程序是一个无限循环, 循环中调用相应的函数完成相应的操作, 这部分可以看成后台行为; 中断服务程序处理异步事件, 这部分可以看成前台行为。时间相关性很强的关键操作一定是靠中断服务来保证的。因为中断服务提供的信息一直要等到后台程序走到应该处理该信息的时间段才能得到处理, 这种系统在处理信息的及时性上, 比实际可以做到的要差。这个指标称做任务级响应时间。最坏情况下的任务级响应时间取决于整个循环的执行时间。因为循环的执行时间不是常数, 所以程序经过某一特定部分的准确时间也是不能确定的。进而, 如果程序修改了, 循环的时序也会受到影响。因此, 前后台系统的各个函数是按照一定的顺序轮换执行的, 不能保证对中断信息的实时响应。

嵌入式操作系统是一个多任务系统, 每个任务均有一个优先级, RTOS 根据各任务的优

优先级，动态地切换各任务，保证对实时性的要求。在编写程序时，可以分别编写各任务，不必同时将所有任务运行的各种可能情况记在心中，从而大大减小了程序编写的工作量，而且减少了出错的可能，保证最终程序具有高可靠性。

总之，嵌入式网络通信设备直接接入 Internet，可以充分利用现有电话网络，大大降低了信息的采集成本，用户可以随时掌握各类通信情况，发现问题，及时解决，可以实现交通不便地域的通信设备的远程通信控制。

## 2. 嵌入式调试

整个嵌入式系统的开发离不开嵌入式系统的调试工具和优秀的开发平台；嵌入式调试包括硬件调试、软件调试、模拟调试。嵌入式开发平台包括嵌入式操作系统和嵌入式开发工具。在嵌入式开发工具有编程器、调试器和跟踪器等。

① 实时在线仿真系统 ICE (In-Circuit Emulator)，它不仅是软件、硬件排错工具，同时也是提高和优化系统性能指标的工具。调试功能强大，但其硬件的费用较高，在一般的嵌入式调试中很少用到。

② Monitor 调试。实际上是一段监控程序，主要完成接收宿主机传送过来的控制命令，然后对其解析，并在目标机上执行，然后把目标机的一些结果和状态反馈给宿主机。在 EPSON 提供的调试开发中，Monitor 调试提供了两种形式：硬 Monitor 调试（用硬件来完成监控功能），软 Monitor 调试（用一段监控程序来完成监控功能）。使用硬件完成监控功能的这种调试尽管成本较高，但调试起来比较可靠和稳定。如果用一段监控程序来监控，首先就需要将这段监控程序下载在目标系统中，并对监控程序所在的存储区进行保护，方便但在调试过程有时表现不稳定。

③ 模拟模式 (Simulator)。模拟模式不需要目标机，在宿主机上可以仿真目标机的环境，运行本应在目标机上执行的程序，仅是逻辑功能上的验证。一般情况下，在嵌入式系统的调试中首先进行模拟调试，对用户程序进行逻辑验证，然后再进行在线仿真调试，对实际环境进行仿真验证。经过这两极的调试，最后用户的程序就可在目标系统中正常工作了。

## 3. 嵌入式 Flash 编程

### (1) 编程器编程

编程器编程是最原始的编程方法。在编程芯片焊装到电路板之前使用专门的编程器对芯片进行代码或数据的写入，然后将编程的芯片安装到电路板上。使用编程器特别适用于 DIP 封装的芯片，如果是其他类型的封装（如 TSOP56, PLCC, DFP, PSOP, SOIC, SSOP, SDIP 等）则需要相应的适配器。

常用的编程器有 SUPERPRO/V, LABTOOL-48 等。

### (2) 普通接口编程

普通接口编程不需要系统板长的处理器提供特殊的编程接口，如 JTAG, BDM 接口。它直接通过串口或者网口就从主机把程序写到 Flash 中，从而实现对 Flash 的编程。如 EPSON 提供的调试方式中的 MON 调试方式，就是利用串口对 Flash 编程的。这种编程方式直接简单，并不需要对处理器有特殊的要求。

### (3) JTAG 编程

① JTAG 接口：它是直接利用电路板上带 JTAG 接口的器件（如 CPU, CPLD, FPGA 等），再通过同样接口的 JTAG 仿真器将目标板与宿主机连接起来，对目标机上 Flash 进行编程的。

一般高档的微处理器都带 JTAG 接口。通过 JTAG 接口既可对目标系统进行测试，也可对目标系统的存储单元，如 Flash 进行编程。目标机上存储器的数据总线、地址总线、控制总线接口直接连在微处理器上；通过执行宿主机相关程序，将编程数据和控制信号送到 JTAG 接口芯片上；利用相应的指令按照 Flash 芯片的编程时序从微处理器引脚输出到 Flash 存储器中。

② JTAG 介绍：面对复杂电路设计，整板测试的难度及表面贴装技术带来的有限测试引脚等问题，不得不找一个标准加以解决，于是提出了 JTAG (Joint Test Action Group)。

JTAG 技术是一种嵌入式调试技术。JTAG 的接口标准是 IEEE 1149.1，此标准是用来测试端口和边界扫描的。边界扫描接口技术起始于 1980 年，用于解决物理存取问题。这个技术在芯片中封装了测试，电路，形成一种板级测试协议 JTAG 接口标准，将极其复杂的电路板测试转换成具有良好结构性的测试，可以通过软件简单而灵活地处理。这个标准定义了可用于完成功能和互联测试，以及内建自测过程的各种指令。

③ JTAG 接口的内部结构：在硬件结构上，JTAG 接口包括两部分：JTAG 接口控制器和与 JTAG 接口兼容的器件，可以是微处理机控制器 (MCU)，PLD，CPL，FPGA，ASIC 或其他符合 IEEE 1149.1 规范的芯片。IEEE 1149.1 标准规定对应数字集成电路的每个引脚都设有一个移动寄存器单元，这些单元称为边界扫描单元 BSC。它将 JTAG 电路与内核逻辑电路联系起来，同时隔离内核电路和芯片引脚。有集成电路的所有边界扫描构成单元扫描寄存器 BSR，边界扫描寄存器仅在 JTAG 测试时有效，在继承电路正常工作时无效，但不影响集成电路的工作。

用 JTAG 接口测试的逻辑电路由 3 部分组成，一是测试端口 TAP 控制器。TAP 控制器提供对嵌在 JTAG 兼容器件内部的用于测试功能电路的访问控制。TAP 控制器是一个同步状态机，每一个 JTAG 兼容器件都有自己的 TAP 控制器。通过测试模式选择 TMS 和 TCK 控制状态的转移，实现由 IEEE 1149.1 标准确定的测试逻辑电路时序。二是指令寄存器。它是基于电路的移动寄存器，通过它可以串行输入执行各种操作指令。三是数据寄存器。它是一组基于电路的移位寄存器，操作指令被串行装入由当前指令所选择的数据寄存器，随着操作的执行，测试结构被移出。

④ JTAG 引脚定义：JTAG 接口主要包括 5 个引脚，即 TMS，TCK，TDI，TDO 及一个可选配的引脚 TRST，这些引脚用于驱动电路模块和控制执行规定的操作。

TCK (Test Clock) —— 测试时钟。为 TAP 控制器和寄存器提供测试参考。在 TCK 的同步作用下，通过 TDI 和 TDO 引脚串行出入或移出数据及指令。

TMS (Test Mode Selector) —— TAP 控制器模式选择器。通过 TCK 上升沿时刻的 TMS 状态来确定 TAP 控制器的状态。

TDI (Test Data Input) —— JTAG 指令和数据寄存器的串行数据输入端。通过 TAP 控制器和当前状态以及保持在指令寄存器中的具体指令，来指定一个特定的操作由 TDI 装入哪个寄存器。并在 TCK 的上升沿时刻被采样，结果送到 JTAG 寄存器组。

TDO (Test Data Output) —— JTAG 指令和数据寄存器的串行数据输出端。通过 TAP 控制器和当前状态以及保持在指令寄存器中的具体指令，来决定在一个特定的操作中哪个寄存器的内容送到 TDO 输出。对于任何操作，在 TDI 和 TDO 之间只能有一个寄存器处于有效连接状态。

TRST (Test Reset) —— 测试复位输入信号，低电平有效，为 TAP 控制器提供异步初始化信号。



⑤ TAP 控制器转换：TAP 实际上是一个 16 种状态的同步状态机，每种状态的转换是由 TMS 和 TCK 来触发的。测试访问状态机的主要目的是选择指令寄存器或者数据寄存器，使其连接到 TDI 和 TDO 之间。

TAP 复位状态很重要。在进入 TAP 复位状态时，一般要保持 TMS 为高电平。当由其他状态转换到测试逻辑复位状态时，将对 JTAG 口和测试逻辑复位，但并不对 CPU 和外设复位。

⑥ JTAG 的寄存器扫描：Flash 操作分为字节读，字节写，页擦除，全擦除几种。

### 1.1.4 网络通信的网络环境

通常，嵌入式网络就覆盖范围而言属于局域网。按照 ISO/OSI 的观点，TCP/IP 协议簇位于网络层以上。显然，TCP/IP 协议簇已经超出了嵌入式网络系统的范畴。嵌入式网络包括 ISO/OSI 7 层模型中的物理层和数据链路层。数据链路层在具体实现上可划分成两个子层：介质访问控制子层（MAC 子层）和逻辑链路控制子层（LLC 子层）。MAC 子层包括物理层接口硬件和实现介质访问协议的通信控制器；通常 LLC 子层由软件实现（用户自主开发）。因此，嵌入式系统设计中网络通信协议选择的核心是介质访问协议的选择。下面简单介绍几种常用的介质访问协议，并就它们的特性进行比较。

#### 1. 面向链接的协议

面向链接的协议主要用在网络发展初期的主机—终端式网络中，如 X.25 和 IBM 的 SNA 网络。其主要缺点是：① 节点之间采用串行连接方式，每个物理连接只支持两个节点，速度较低；② 物理上没有连接的节点之间的通信，需要经过多个中间节点的多次传输；③ 直接相连的节点间的通信是可确定的，而间接相连的节点间的通信则无法确定延时。因此，在局域网技术已非常成熟的今天，这类协议已很少应用。

#### 2. 轮询法

轮询法因其简单和实时性能可确定等特点而成为嵌入式网络常用协议之一。采用轮询法的协议，需指定一个主节点作为中央主机来定期轮询各个从节点，以便显式分配从节点访问共享介质的权力。这类协议的缺点是：① 轮询过程占用了宝贵的网络带宽，增加了网络负担；② 风险完全集中在主节点上，为避免因主节点失效而导致整个网络瘫痪，有时需设置多个主节点来提高系统的健壮性（如 Profibus）。

#### 3. CSMA/CD（带冲突检测的载波监听多路访问）

CSMA/CD 有许多不同的实现版本，其核心思想是：一个节点只有确认网络空闲之后才能发送信息。如果多个节点几乎同时检测到网络空闲并发送信息，则产生冲突。检测到冲突的发送信息的节点必须采用某种算法（如回溯算法）来确定延时长短，延时结束后重复上述过程再试图发送。

CSMA/CD 的优点是理论上能支持任意多的节点，且不需要预先分配节点位置，因此在办公环境中几乎占有绝对优势。但在 CSMA/CD 中冲突产生具有很大的随机性，在最坏情况下的响应延时不可确定，无法满足嵌入式网络最基本的实时性要求。

#### 4. TDMA（时分多路访问）

TDMA 已大量应用于移动通信领域（如 GSM, DAMPS），但也可用于局域网。TDMA