



全国高等职业教育规划教材

嵌入式系统开发

主 编 韩光辉 曾世平
副主编 张 靖 王云鹏



电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

嵌入式系统开发

主 编	韩光辉	曾世平
副主编	张 靖	王云鹏
参 编	亓相涛	赵 翠

机 械 工 业 出 版 社

全书共7章。第1章介绍嵌入式系统的基本概念、主要特点和系统组成；第2章介绍嵌入式微处理器的基本概念、体系结构和指令系统；第3章介绍Linux的内核结构、常用命令和C语言编程环境，以及嵌入式Linux的内核移植和引导加载；第4、5、6章分别介绍设备驱动程序开发、接口开发和传感系统开发；第7章简要介绍嵌入式系统技术在智能家居、智能小区、智能交通、智能电网、智能医疗等物联网相关领域中的应用。

本书可作为职业院校嵌入式及其他计算机相关专业的教学用书，也可供从事嵌入式开发的企业人员参考。

本书配有授课电子课件，需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载，或联系编辑索取（QQ：1239258369，电话：010-88379739）。

图书在版编目（CIP）数据

嵌入式系统开发/韩光辉，曾世平主编. —北京：机械工业出版社，2014.12
全国高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-111-48954-2

I. ①嵌… II. ①韩… ②曾… III. ①微型计算机-系统开发-高等职业教育-教材 IV. ①TP360.21

中国版本图书馆CIP数据核字（2014）第298358号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

责任编辑：鹿 征 责任校对：张艳霞

责任印制：李 洋

北京瑞德印刷有限公司印刷（三河市胜利装订厂装订）

2015年1月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·10.75印张·265千字

0001-3000册

标准书号：ISBN 978-7-111-48954-2

定价：27.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：(010)88379833

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：(010)88379649

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

全国高等职业教育规划教材计算机专业

编委会成员名单

主 任 周智文

副 主 任 周岳山 林 东 王协瑞 张福强
陶书中 眭碧霞 龚小勇 王 泰
李宏达 赵佩华

委 员 (按姓氏笔画顺序)

马 伟	马林艺	万雅静	万 钢
卫振林	王兴宝	王德年	尹敬齐
史宝会	宁 蒙	安 进	刘本军
刘剑昀	刘新强	刘瑞新	乔芄喆
余先锋	张洪斌	张瑞英	李 强
何万里	杨 莉	杨 云	贺 平
赵国玲	赵增敏	赵海兰	钮文良
胡国胜	秦学礼	贾永江	徐立新
唐乾林	陶 洪	顾正刚	曹 毅
黄能耿	黄崇本	裴有柱	

秘 书 长 胡毓坚

出版说明

《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》指出：到2020年，形成适应发展需求、产教深度融合、中职高职衔接、职业教育与普通教育相互沟通，体现终身教育理念，具有中国特色、世界水平的现代职业教育体系，推进人才培养模式创新，坚持校企合作、工学结合，强化教学、学习、实训相融合的教育教学活动，推行项目教学、案例教学、工作过程导向教学等教学模式，引导社会力量参与教学过程，共同开发课程和教材等教育资源。机械工业出版社组织全国60余所职业院校（其中大部分是示范性院校和骨干院校）的骨干教师共同策划、编写并出版的“全国高等职业教育规划教材”系列丛书，已历经十余年的积淀和发展，今后将更加紧密结合国家职业教育文件精神，致力于建设符合现代职业教育教学需求的教材体系，打造充分适应现代职业教育教学模式的、体现工学结合特点的新型精品化教材。

“全国高等职业教育规划教材”涵盖计算机、电子和机电三个专业，目前在销教材300余种，其中“十五”“十一五”“十二五”累计获奖教材60余种，更有4种获得国家级精品教材。该系列教材依托于高职高专计算机、电子、机电三个专业编委会，充分体现职业院校教学改革和课程改革的需要，其内容和质量颇受授课教师的认可。

在系列教材策划和编写的过程中，主编院校通过编委会平台充分调研相关院校的专业课程体系，认真讨论课程教学大纲，积极听取相关专家意见，并融合教学中的实践经验，吸收职业教育改革成果，寻求企业合作，针对不同的课程性质采取差异化的编写策略。其中，核心基础课程的教材在保持扎实的理论基础的同时，增加实训和习题以及相关的多媒体配套资源；实践性较强的课程则强调理论与实训紧密结合，采用理实一体的编写模式；涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法，同时重视企业参与，吸纳来自企业的真实案例。此外，根据实际教学的需要对部分课程进行了整合和优化。

归纳起来，本系列教材具有以下特点：

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度，强调专业技术应用能力的训练，适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述容易理解、清晰简洁，多用图表来表达信息；增加相关技术在生产中的应用实例，引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新，及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念，并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合，提高教学服务水平，为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快，加之我们的水平和经验有限，因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和疏漏。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息，以利于我们今后不断提高教材的出版质量，为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

20 世纪 70 年代,微处理器的出现使得计算机系统出现了历史性变化,以微处理器为核心的微型计算机,以其微型、价廉、智能化、可靠性高等特点,引发了将微型计算机嵌入到对象体系中,以实现对象体系的智能化控制。嵌入到对象体系中的微型计算机,失去了原有形态和通用计算功能,具有与通用计算机系统完全不同的技术要求和发展方向,成为人类社会进入全面智能化时代的有力工具,也形成了现代计算机技术的一大分支,即嵌入式系统技术。

嵌入式系统技术也是物联网的重要支撑技术之一。嵌入式系统是“物联”的源头、“物智”的基础,从一定意义上讲,物-物互联表现为嵌入式系统的互联。因此,物联网技术包含了嵌入式系统技术,物联网的发展依赖嵌入式系统技术的支撑。

正是在这样的背景下,不少高职院校开始逐步开设嵌入式系统课程。

然而,嵌入式系统技术毕竟门槛较高,难度较大。其计算机系统的内涵,决定了嵌入式系统课程必须涉及体系结构、软件技术、工程应用等方面的知识;其嵌入性、专用性的内涵,又决定了嵌入式系统课程必须涉及电子电路、设备接口、对象领域等方面的知识。所以,针对高职院校的培养定位和教育教学特色,适合高职院校嵌入式系统教学的教材甚少。

本书的最大特点是:①起点低,只需先修“C 语言程序设计”课程便可选用本书;②基于 ARM 和 Linux,适应主流应用;③突出物联网方面的应用,符合发展趋势。

全书共 7 章。第 1 章介绍嵌入式系统的基本概念、主要特点和系统组成;第 2 章介绍嵌入式微处理器的基本概念、体系结构和指令系统;第 3 章介绍 Linux 的内核结构、常用命令和 C 语言编程环境,以及嵌入式 Linux 的内核移植和引导加载;第 4、5、6 章分别介绍设备驱动程序开发、接口开发和传感系统开发;第 7 章简要介绍嵌入式系统技术在智能家居、智能小区、智能交通、智能电网、智能医疗等物联网相关领域中的应用。

本书由韩光辉、曾世平主编,张靖、王云鹏任副主编。其中,第 1 章、第 2 章由韩光辉、王云鹏共同编写;第 3 章由曾世平、韩光辉共同编写;第 4 章、第 6 章由韩光辉、亓相涛、赵翠共同编写;第 5 章、第 7 章由张靖、亓相涛共同编写。全书由韩光辉统稿。

囿于编者水平,书中不足之处在所难免,恳请广大读者和各位同仁批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 嵌入式系统导引	1
1.1 嵌入式系统概述	1
1.1.1 嵌入式系统的概念	1
1.1.2 嵌入式系统的分类	2
1.1.3 嵌入式系统的发展历程	3
1.1.4 嵌入式系统的应用领域	4
1.2 嵌入式系统组成	5
1.2.1 嵌入式系统的结构	6
1.2.2 硬件层	6
1.2.3 中间层	6
1.2.4 软件层	6
1.3 嵌入式处理器	7
1.3.1 嵌入式处理器的分类	7
1.3.2 典型嵌入式微处理器	7
1.4 嵌入式操作系统	8
1.4.1 嵌入式操作系统的特点	8
1.4.2 常用嵌入式操作系统	9
1.5 交叉开发环境	10
1.5.1 交叉开发	10
1.5.2 交叉编译与交叉调试	10
习题1	11
第2章 嵌入式微处理器	12
2.1 嵌入式微处理器简介	12
2.1.1 微处理器组成	12
2.1.2 复杂指令系统与精简指令系统	13
2.1.3 冯·诺依曼结构与哈佛结构	13
2.2 ARM 处理器简介	14

2.2.1 主要特点	14
2.2.2 产品系列	14
2.2.3 应用领域及产品选型	15
2.2.4 S3C2440 处理器简介	16
2.3 ARM 体系结构	19
2.3.1 数据类型	19
2.3.2 工作状态	19
2.3.3 工作模式	20
2.3.4 寄存器组	20
2.3.5 存储器组织	21
2.3.6 堆栈	22
2.3.7 异常	23
2.4 ARM 指令系统	24
2.4.1 指令集	24
2.4.2 常用指令	26
2.4.3 ARM 伪指令	31
2.5 ARM 程序设计基础	31
2.5.1 汇编语言编程	31
2.5.2 C 语言与汇编语言混合编程	32
习题2	33
第3章 嵌入式操作系统 Linux	34
3.1 Linux 概述	34
3.1.1 计算机操作系统	34
3.1.2 Linux 操作系统	35
3.1.3 Linux 内核结构	35
3.1.4 Linux 目录结构	37
3.2 Linux 常用命令	37
3.2.1 登录、注销、重启与关机	

操作	38	习题 4	83
3.2.2 简单操作	39	第 5 章 接口开发	84
3.2.3 用户操作	40	5.1 接口概述	84
3.2.4 目录操作	41	5.1.1 接口的概念	84
3.2.5 文件操作	42	5.1.2 接口的功能	84
3.2.6 进程操作	46	5.1.3 接口传送的信息	85
3.2.7 磁盘操作	47	5.2 人机交互接口	85
3.2.8 网络操作	48	5.2.1 键盘接口	85
3.3 Linux C 语言编程环境	50	5.2.2 液晶显示器接口	86
3.3.1 文本编辑器 vi	50	5.2.3 触摸屏接口	87
3.3.2 编译器 GCC	52	5.3 通信接口	89
3.3.3 调试器 GDB	53	5.3.1 数据通信方式	89
3.3.4 项目管理器 Make	59	5.3.2 通用异步收发器	90
3.4 嵌入式 Linux	61	5.3.3 串行外围设备接口	90
3.4.1 嵌入式 Linux 内核	61	5.3.4 通用串行总线	90
3.4.2 Linux 内核移植	62	5.3.5 内部集成电路串行总线	91
3.4.3 嵌入式 Linux 引导加载	62	5.3.6 RS232	91
习题 3	64	5.3.7 RS485	91
第 4 章 设备驱动程序开发	65	5.4 接口开发案例 1: LCD 接口	
4.1 Linux 设备管理	65	开发	92
4.1.1 设备分类	65	5.4.1 硬件电路原理	92
4.1.2 设备识别	65	5.4.2 应用程序	95
4.1.3 设备文件	65	5.5 接口开发案例 2: 触摸屏	
4.2 设备驱动程序	66	接口开发	101
4.2.1 设备驱动程序概述	66	5.5.1 硬件电路原理	101
4.2.2 设备访问方式	67	5.5.2 应用程序	102
4.2.3 设备驱动程序组成	67	习题 5	104
4.3 字符设备驱动程序	68	第 6 章 传感系统开发	105
4.3.1 驱动程序与 Linux 内核的		6.1 传感器概述	105
接口	68	6.1.1 传感器组成	105
4.3.2 驱动程序的框架	69	6.1.2 传感器分类	105
4.3.3 驱动程序的一个简单示例	71	6.1.3 传感器特性	106
4.4 开发案例: 按键驱动	74	6.1.4 传感器简介	106
4.4.1 硬件电路	74	6.2 传感器网络	109
4.4.2 驱动程序	74	6.2.1 传感器网络组成	109

6.2.2 网络标准	110	7.3 智能小区	128
6.3 开发案例：温度传感系统	110	7.3.1 智能小区概述	128
6.3.1 DS18B20 温度传感器	111	7.3.2 系统方案	128
6.3.2 硬件电路	113	7.3.3 家庭中继电器	129
6.3.3 温度值的计算	114	7.4 智能交通	135
6.3.4 应用程序	114	7.4.1 智能交通概述	135
习题 6	118	7.4.2 车辆监控系统	136
第 7 章 嵌入式技术在物联网中的		7.4.3 汽车行驶记录仪	136
应用	120	7.5 智能电网	139
7.1 物联网概述	120	7.5.1 智能电网概述	139
7.1.1 物联网的概念	120	7.5.2 集中器	140
7.1.2 物联网的技术体系	121	7.6 智能医疗	142
7.1.3 物联网的相关产业体系	123	7.6.1 智能医疗系统概述	142
7.1.4 物联网的发展需求和机遇	124	7.6.2 便携式医用监测系统	142
7.2 智能家居	125	习题 7	145
7.2.1 智能家居概述	125	附录	146
7.2.2 系统方案	125	参考文献	164
7.2.3 系统设计	126		

第1章 嵌入式系统导引

随着微电子技术、网络通信技术和计算机技术的快速发展，嵌入式系统已经广泛应用于工业、商业、军事、能源、交通、通信、医疗、家电等各个领域。人们不一定意识到嵌入式系统的存在，但一定能感受到嵌入式系统所体现出的“无处不在的计算”和“无所不在的智能”。

本章介绍嵌入式系统的基本知识。通过本章的学习：

- 掌握嵌入式系统的基本概念、主要特点和系统组成；
- 了解常用的嵌入式处理器和嵌入式操作系统。

1.1 嵌入式系统概述

计算机按其应用特点可分为两大类：通用计算机和专用计算机。

通用计算机是适应多个应用领域的计算机，其基本特点是它的系统结构与软件系统面向多个应用领域、适应不同用户的通常需求。我们日常工作、学习、娱乐所使用的台式电脑和笔记本电脑就是最常见的通用计算机。

专用计算机则是面向特定应用领域而专门设计的计算机，其基本特点是它的系统结构与软件系统面向某一应用领域、适应特定应用对象的专门需求。

专用计算机是植入到应用系统中、作为应用系统的一部分而存在的，其自身的存在只是手段而并非目的。但这并不意味着我们可以将一台通用计算机的外壳拆掉再安装到应用系统中并运行专门程序，而是要为应用系统设计专用的、合适的计算机，再把它有机地嵌入到应用系统中。这种嵌入到应用系统中的专用计算机，称为嵌入式计算机。目前，世界上绝大多数计算机都是嵌入式计算机。

1.1.1 嵌入式系统的概念

嵌入式系统是以应用为中心，以计算机技术为基础，软硬件可裁剪，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。

简单地说，嵌入式系统就是嵌入到应用系统中的专用计算机系统，其基本属性是：嵌入性、专用性和计算机系统。

嵌入式系统是微电子技术、网络通信技术、计算机技术与各个领域的具体应用相结合的产物。与通用计算机系统相比，嵌入式系统具有以下特点：

1. 嵌入式系统是专用计算机系统

嵌入式系统的软硬件都是面向特定应用系统及其专门任务而设计的，具有用途专门性和任务多样性的特点；它的软硬件依据应用系统的不同而不同，一般只满足应用系统所要求的最小配置，具有软硬件可裁剪性；它所提供的功能由各个领域的具体应用所决定，是相对固定的，具有功能专业性。

2. 嵌入式系统能适应各种应用环境

由于嵌入式系统要嵌入到应用系统中，随应用系统一起工作，因此它必须满足应用系统的特定工作场合和特殊工作环境要求。例如，为了适应物理环境，要求嵌入式系统集成度高、体积小；为了适应电磁电气环境，要求嵌入式系统电磁兼容性好、抗干扰性强；为了适应自然环境，要求嵌入式系统在各种温度、湿度、压力、振动等条件下都能正常工作；为了适应移动便携，要求嵌入式系统功耗低、散热少。

3. 嵌入式系统能满足实时性要求

实时性是指在限定的时间内完成所规定的功能。嵌入式系统需要对控制对象的动作进行监测控制，而控制对象的动作往往具有十分严格的时序要求，所以嵌入式系统必须具有对来自外部的信号在一定时限内作出迅速响应的能力，以满足应用系统不同程度的实时性要求。

一般来说，应用系统对实时性的要求可以分为硬实时和软实时两类。硬实时是指对响应时限有极其严格的要求，例如各种通信设备、控制系统、汽车 ABS 系统等；软实时是指对响应时限的要求控制在人所能接受的范围内，例如 POS 机、ATM 机、手机等。

4. 嵌入式系统的软件采用固态存储

为了提高程序运行速度、系统可靠性和响应实时性，嵌入式系统的软件一般都固化在 ROM、Flash 等非易失性存储器中，而不是像通用计算机系统那样可以存储在磁盘等外部存储介质中。

5. 嵌入式系统需要专门开发环境和开发工具

嵌入式系统自身并不具备本地开发能力，必须在独特的开发模式和专门的开发环境下、使用相应的交叉开发工具和远程调试工具才能进行开发或修改。

1.1.2 嵌入式系统的分类

1. 按嵌入式处理器字长分类

按嵌入式处理器字长，嵌入式系统分为 4 位、8 位、16 位、32 位和 64 位。4 位、8 位、16 位嵌入式系统早已大量使用，32 位嵌入式系统是目前的应用主流，一些高度复杂或要求高速处理的嵌入式系统已经开始使用 64 位嵌入式处理器。

2. 按实时性分类

按是否具有实时性，嵌入式系统分为嵌入式实时系统和嵌入式非实时系统。大多数嵌入式系统都是事件驱动型的实时系统，必须对外部异步事件作出迅速响应，并在规定的时间范围内完成处理。

3. 按软件结构分类

按嵌入式软件结构，嵌入式系统分为循环轮询系统、前后台系统和多任务系统。

(1) 循环轮询系统

循环轮询系统采用轮流询问机制。主程序是一个无限循环，依次检查系统的各个事件，如果条件成立就执行相应的处理程序，如图 1-1 所示。

循环轮询系统容易实现，但效率较低，适合一些结构简单、实时性要求不高的应用

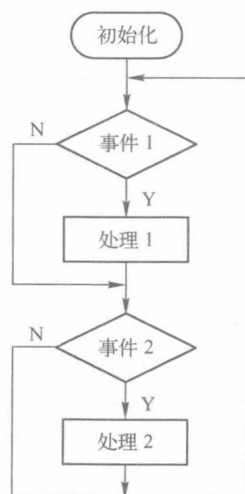


图 1-1 循环轮询

系统。

(2) 前后台系统

前后台系统采用中断驱动机制。前台程序是中断服务程序，用来处理异步事件；后台程序是一个无限循环，通过调用相关函数实现相应操作，如图 1-2 所示。设计前后台的目的主要是为了将实时性很强的关键操作通过中断服务来保证。通常情况下，中断服务只处理需要快速响应的事件，而那些不需要快速响应的事件（如存储、显示、打印等）则交由后台处理。

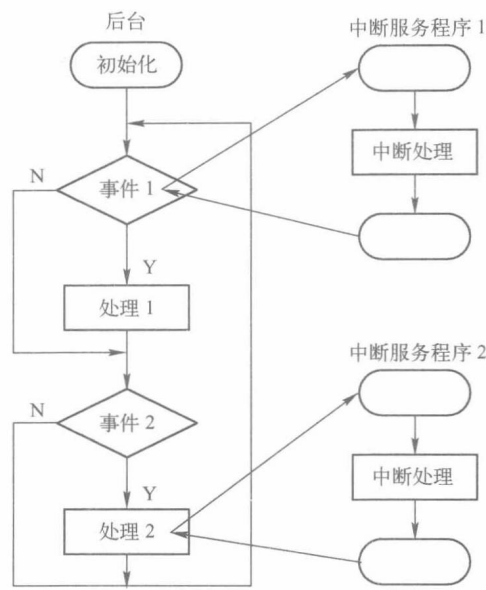


图 1-2 前后台

前后台系统适合一些不太复杂的小型应用系统。甚至在某些应用系统中，为了省电，平时都让物理设备处于停机状态，所有工作都依靠中断服务来完成。

(3) 多任务系统

多任务系统采用并发执行机制，同时处理多个互不相关的任务。每个任务是一个无限循环，等待特定的输入，完成特定的处理；所有任务共享硬件资源；操作系统负责任务的切换与调度、任务之间的通信与同步、共享资源的分配与管理等。

多任务系统适合一些大型的、复杂的、实时性要求较高的应用系统。

1.1.3 嵌入式系统的发展历程

1. 嵌入式系统的发展阶段

(1) 以单片机为核心的早期阶段

早期的嵌入式系统是以单片机为核心的可编程控制器，实现对象采集、监测、伺服、控制等功能，大多应用在工业自动化、航空航天、军事装备领域的过程控制系统中。早期阶段的特点是：系统结构简单，功能单一，存储容量小；没有操作系统的支持，软件采用汇编语言编程；系统组网利用 RS232、RS485、CAN 等总线方式，通信协议单一；大多只提供最简单的用户接口。

(2) 以嵌入式处理器为基础、嵌入式操作系统为核心的发展阶段

随着集成电路技术和计算机技术的发展,出现了各种高性能、低功耗的嵌入式处理器,在此基础上,开发了各种兼容性好、实时性高、内核小巧、可扩展性强、支持多任务的嵌入式操作系统,嵌入式系统开始广泛应用于环境监测、交通管理、信息家电、消费电子等领域。这一阶段的特点是:嵌入式操作系统能运行在各种不同嵌入式处理器上,兼容性好;内核小、效率高,可任意裁剪;具有文件和目录管理功能,多任务,支持网络;具有友好的图形用户界面;具有丰富的应用程序接口和大量的应用软件。

(3) 以嵌入式片上系统和 Internet 为标志的网络化阶段

随着微电子技术的迅速发展,片上系统使得嵌入式系统体积越来越小,功能却越来越强。同时,随着联网需求的不断增加,要求嵌入式系统能接入局域网,并通过互联网远程访问和监控。嵌入式网络阶段的特点是:普遍配备 USB、CAN、ZigBee、IEEE 1394、Bluetooth、IrDA、Ethernet 等通信接口,提供相应的通信协议和物理层驱动软件;支持 TCP/IP,提供嵌入式 Web 浏览器、嵌入式 Web 服务器和嵌入式移动数据库等系统软件。

2. 嵌入式系统的发展趋势

(1) 嵌入式片上系统将成为应用主流

随着电子设计自动化技术的推广、超大规模集成电路设计的普及和半导体工艺的发展,在一块芯片上集成一个复杂系统成为可能。集成电路厂家可以根据应用需要,开发以 32 位嵌入式微处理器为核心、面向专业应用领域、高集成度的嵌入式片上系统。

各种 32 位 RISC 通用处理器内核将成为片上系统设计的标准,并且成为 VLSI 设计的标准器件,可以用硬件描述语言描述。开发人员只需要定义整个应用系统,仿真通过后就可以将设计图交给集成电路厂家制作样品。片上系统使得嵌入式系统开发更加方便、系统电路板更加简洁,非常有利于减小系统体积、降低系统功耗、提高系统可靠性。

(2) 嵌入式操作系统及其支撑开发环境的功能将越来越强大

嵌入式系统开发需要采用多任务编程技术和交叉开发工具,以简化应用程序设计,降低开发复杂程度,保障软件质量,缩短开发周期,这些都需要嵌入式操作系统的支持,提供功能强大的支撑开发环境。

因此,嵌入式操作系统将在现有技术基础上,不断向适应不同硬件平台、构件组装化、易剪裁、易配置、高可靠性、高可用性、高实时性方向发展;支撑开发环境逐渐向支持模型驱动设计方向发展,并提供完备的工具集和组件库。

(3) 嵌入式系统将向新的嵌入式计算模型方向发展

通过嵌入式系统之间的互联或嵌入式系统与通用计算机系统的互联,构成分布式计算环境,支持分布式计算;通过采用动态加载技术,支持软件的二次开发和动态升级;通过提供完善的图形设备驱动程序和丰富的 GUI (Graphical Users Interface, 图形用户界面) 库,支持多媒体人机交互界面。

1.1.4 嵌入式系统的应用领域

嵌入式系统具有非常广阔的应用领域,具有广泛的适应性和多样性,可以说嵌入式系统的应用无处不在。

在航空航天领域，飞机的自动操作系统、电传系统、飞行记录仪（黑匣子）中有嵌入式系统。在军事领域，导弹的制导系统、武器的火控系统、战场电子对抗系统中有嵌入式系统。在商业领域，电子秤、POS机、条码识别器中也有嵌入式系统。在工业自动化领域，各种测控装置、传感网络、数控设备等的核心是嵌入式系统。在网络通信领域，各种交换机、路由器、网关等网络设备其本身就是嵌入式设备。

随着人们生活水平的日益提高，各种各样的数字化、智能化、网络化消费电子产品和信息家电产品，如全自动洗衣机、智能电冰箱、智能电饭煲、智能手机、高清电视机、机顶盒、数码相机、数码摄像机、可视电话机、DVD、PDA、MP4等，开始随着人们的需求不断涌现，引领人们逐渐进入一个全新的智慧生活空间。这些消费电子产品和信息家电产品中都大量应用了嵌入式系统，已经成为嵌入式系统最热门的应用领域。

嵌入式系统是物联网的重要基础，嵌入式系统技术是物联网的重要支撑技术之一。可以说，嵌入式系统从诞生之日起便以“物联”为己任，具体表现为：嵌入到物理对象中，实现物理对象的智能化和网络化。嵌入式系统在物联网中的关键作用和重要地位体现在：①嵌入式系统使得传感器/控制器由器件而成为传感网中可寻址的、具有计算能力的、智能化的节点。②各种传感网关、无线网关和各种智能移动终端等物联网关键设备的本身就是基于嵌入式系统的设备。③从物联网信息处理的角度看，各个物理对象的物理特性、电气特性是透明的，感、传、知、控的对象是各个嵌入式系统，从一定意义上讲，物-物互联表现为嵌入式系统之间的互联，如图1-3所示。本书第7章将系统介绍嵌入式系统技术在物联网中的应用。

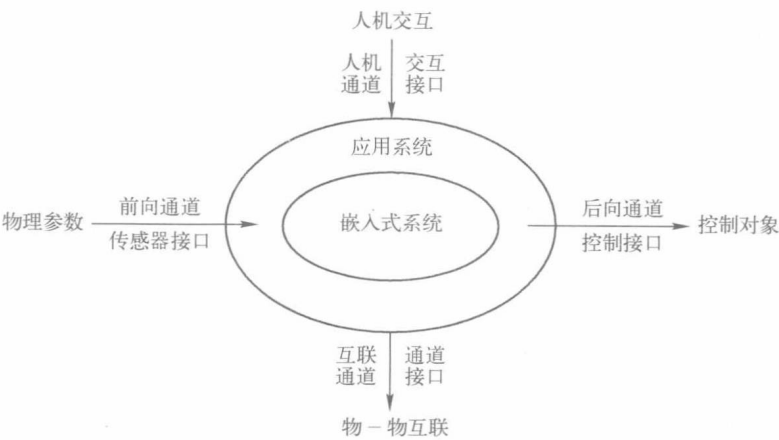


图 1-3 作为物联基础的嵌入式系统

1.2 嵌入式系统组成

嵌入式系统一般由嵌入式处理器、外围物理设备、嵌入式操作系统和应用软件四部分组成。根据应用方式的不同，嵌入式系统分为知识产权核级、芯片级和模块级三种体系结构，均采用“量体裁衣”的方式，将所需的功能或模块嵌入到各种应用系统中。

1.2.1 嵌入式系统的结构

嵌入式系统的结构一般可划分为硬件层、中间层和软件层，如图 1-4 所示。



图 1-4 嵌入式系统的结构

1.2.2 硬件层

硬件层以嵌入式处理器为核心，由嵌入式处理器、电源模块、时钟电路、内存（ROM、RAM）、I/O 接口、通信接口、总线等组成，软件固化在 ROM 中。

在信息处理能力要求较高的场合，可采用嵌入式 DSP（Digital Signal Process，数字信号处理器），以完成高性能信号处理。有些应用场合要求具有 USB 接口、IIC 接口、SPI 接口、CAN 接口、以太网接口以及 A - D 转换、D - A 转换、PWM（Pulse Width Modulation，脉冲宽度调制，也称脉宽调制）等接口。总之，嵌入式系统的硬件要根据实际应用选择或裁剪，以最少成本满足应用系统的要求。

1.2.3 中间层

中间层处在硬件层和软件层之间，作用是隔离系统软件与底层硬件，使得软件与硬件无关。中间层程序包括硬件抽象层和板级支持包。

1. 硬件抽象层

硬件抽象层是嵌入式操作系统内核与硬件之间的接口，其目的是将硬件虚拟化，从而可以通过程序来控制嵌入式处理器、I/O 接口、存储器等硬件的操作，大大提高了系统的可移植性。硬件抽象层主要实现硬件初始化、数据 I/O、设备配置等功能。

2. 板级支持包

板级支持包是嵌入式操作系统设备驱动程序与硬件之间的接口，其目的是为上层的驱动程序提供访问物理设备寄存器的函数包，使之能够更好地运行于硬件。板级支持包实现以下两方面的功能：一是系统启动时对硬件初始化，二是为设备驱动程序提供访问硬件的手段。

1.2.4 软件层

软件层包括操作系统和应用程序。

操作系统由一个小内核以及一些可以根据需要剪裁或定制的系统模块如设备驱动程序、文件系统、用户接口和应用程序接口等组成。对于简单的嵌入式系统，可以没有嵌入式操作系统，仅有设备驱动程序和应用程序。而对于大部分嵌入式系统来说，由于性能要求越来越高，通常需要嵌入式操作系统。

嵌入式操作系统在复杂的嵌入式系统中发挥着非常重要的作用，可以方便地实现进程管理、进程间的通信、内存管理、文件管理、设备驱动、网络协议等。

应用程序运行在操作系统上。应用程序利用操作系统所提供的资源管理、消息管理、任务调度、异常处理等功能，来实现所需要的各种应用功能；同时，操作系统根据各个任务的优先级，动态地切换各个任务，保证应用系统的实时性。当应用程序需要与用户交互时，往往需要提供一个友好的用户界面。

1.3 嵌入式处理器

嵌入式系统的硬件核心是嵌入式处理器，目前，嵌入式处理器的体系结构有 30 多种，产品已达 1000 多种。

1.3.1 嵌入式处理器的分类

根据功能特点，嵌入式处理器可分为 4 类：嵌入式微控制器、嵌入式微处理器、嵌入式数字信号处理器和嵌入式片上系统。

1. 嵌入式微控制器

嵌入式微控制器又称单片机，它将 CPU、ROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、I/O 接口、ADC、DAC 等功能部件封装在一块芯片上，片上外设资源比较丰富，尤其适合控制领域的应用。嵌入式微控制器因其优良的价格比，目前仍然是嵌入式处理器的主流产品之一。

2. 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器是由通用计算机中的 CPU 发展而来的。与 CPU 不同的是，嵌入式微处理器仅保留了与嵌入式应用紧密相关的功能部件，以满足体积小、功耗低、可靠性高的特殊要求。

3. 嵌入式数字信号处理器

嵌入式数字信号处理器是专门用于数字信号处理的微处理器，其内部采用程序和数据分开的哈佛结构，具有专门的硬件乘法器，采用流水线操作，提供特殊的 DSP 指令，特别适合执行各种数字信号处理算法。

4. 嵌入式片上系统

嵌入式片上系统是一种新型的嵌入式集成器件，体现了嵌入式系统设计从“集成电路”级设计提升到“集成系统”级设计。嵌入式片上系统从整个系统的性能要求出发，将微处理器、模型算法、芯片结构、外围器件等各层次的电路器件紧密结合，通过软硬件协同设计，直接在芯片内部嵌入了操作系统，从而在单个芯片上实现了整个系统的功能。

1.3.2 典型嵌入式微处理器

1. ARM

采用英国 ARM 公司内核技术的微处理器统称 ARM 处理器，是目前使用最广泛的一种

嵌入式微处理器。ARM 处理器采用 32 位 RISC 体系结构, 同时提供 16 位指令集, 既保持了 32 位系统的全部特性, 又允许更精简短小的程序代码, 同时能很好地兼容 8 位/16 位器件。ARM 处理器大量使用寄存器, 指令执行速度快, 大多数数据操作可以在寄存器中完成。

2. MIPS

MIPS 嵌入式微处理器是美国 MIPS 技术公司的产品。MIPS 的意思是“无内部互锁流水级的微处理器”, 其系统结构比较先进, 多核集成, 强调软硬件协同性能, 可以简化硬件设计。

3. PowerPC

PowerPC 是美国 IBM 公司、Apple 公司和 Motorola 公司联合设计的微处理器。PowerPC 的种类很多, 既有通用微处理器, 又有嵌入式微处理器。其中, PowerPC 405、PowerPC 440 是集以太网控制器、串/并行端口、内存控制器以及其他外设的高性能嵌入式微处理器, 可以应用于各种集成的系统芯片设备。

1.4 嵌入式操作系统

早期的嵌入式系统中没有操作系统, 其软件就是一个控制循环。随着嵌入式系统越来越复杂, 操作系统被逐渐引入到嵌入式系统。但是, 由于嵌入式处理器的处理能力不强, 系统资源极为有限, 一般的计算机操作系统根本不适应嵌入式系统, 于是就有了嵌入式操作系统。

嵌入式操作系统是一个软件系统, 具有计算机系统的基本特征, 即负责嵌入式系统全部软硬件资源的分配和调度, 控制和协调并发活动, 实现信息的存取和保护, 提供用户接口。但是, 嵌入式操作系统不是简单嵌入的计算机操作系统, 还具有可剪裁、紧缩型、专用性、固态化等嵌入式特征。

嵌入式操作系统分为两类, 一类是面向控制、通信等领域的实时操作系统, 另一类是主要面向消费电子领域的非实时操作系统。

1.4.1 嵌入式操作系统的特点

嵌入式操作系统具有以下特点:

1. 小巧简捷

嵌入式系统所能提供的硬件资源是极为有限的, 因此, 嵌入式操作系统必须足够小巧简捷, 以适应硬件资源的限制。

2. 可剪裁

对于任何一个具体的嵌入式系统来说, 它的功能基本上是固定的, 所以嵌入式操作系统必须能够根据应用需求进行剪裁, 去掉不必要的部分, 保留或定制必需的功能模块。

3. 易移植

为了适应嵌入式处理器不同的体系结构、管理多样化的外设, 嵌入式操作系统必须能够十分方便地移植到各种硬件平台上。嵌入式操作系统的易移植性是通过板级支持包或硬件抽象层来实现的。

4. 稳定可靠

嵌入式系统一旦开始运行就不需要人过多的干预, 这就要求负责整个系统管理的嵌入式操作系统具有较高的稳定性和可靠性。