

嵌入式Linux

系统工程师标准培训教材① 基础篇

（嵌入式体验·ARM系统进阶·应用程序开发）

成都国嵌嵌入式培训中心 谢伟 编著

- 培训视频、培训教材、虚拟培训班，三位一体构建立体化嵌入式课堂！
- 现场培训视频结合现场培训班教材，享受VIP私教！
- 数十位外企嵌入式工程师倾力讲述，实战经验毫无保留！
- 全程采用3款主流开发板，所有课程均可在这3款开发板完成！
- 成都国嵌嵌入式培训中心提供专业嵌入式Linux论坛以及多达50个QQ群供大家学习交流！

不知道如何学习嵌入式？

现场培训班太贵？

经验只能靠时间来积累？

教材和视频不适用于自己的开发板？

没有同学老师一起学习和交流？

3DVD

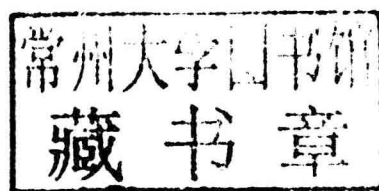
- 20余天现场培训班完整教学视频
- 本书实验手册和相关资源

【嵌入式Linux视频大讲堂】

清华大学出版社

嵌入式 Linux 系统工程师标准培训教材 1——基础篇
嵌入式体验*ARM 系统进阶*应用程序开发

谢伟 编著



清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以成都国嵌嵌入式培训中心课程体系中的三大课程：嵌入式体验入门班、ARM 系统进阶班、嵌入式 Linux 应用开发班为基础。严格按照培训班教学大纲安排章节，配合教学视频和必修实验手册，系统讲解 ARM 开发板使用、嵌入式开发工具使用、嵌入式 Linux 开发环境搭建、Linux 系统管理、ARM 系统架构、ARM 裸机程序开发、嵌入式 Linux 应用程序开发等知识。

本书共分 5 章，第 1 章是概述部分，介绍嵌入式 Linux 的学习方法和嵌入式工程师的角色分工，第 2 章简单介绍了配套光盘中三大培训班的课程大纲和所用到的硬件平台，第 3 章是嵌入式体验入门班的教学视频和必修实验手册，第 4 章是 ARM 系统进阶班的教学视频和必修实验手册，第 5 章是嵌入式 Linux 应用开发班的教学视频和必修实验手册。

本书面向嵌入式 Linux 的初学者或者有一定经验的读者，特别适合立志成为嵌入式 Linux 系统工程师的朋友作为入门及深入学习的参考用书。

本书配套光盘包含了超过 40 小时的嵌入式 Linux 内核驱动进阶班的视频，超过 600 页理论与实验手册电子书，以及本书相关资源与代码。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式 Linux 系统工程师标准培训教材. 1, 基础篇 : 嵌入式体验*ARM 系统进阶*应用程序开发 / 谢伟编著.
—北京: 清华大学出版社, 2011.10

ISBN 978-7-302- 25703-5

I. ①嵌… II. ①谢… III. ①微处理器—系统设计—技术培训—教材 IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 104982 号

责任编辑：栾大成

责任校对：徐俊伟

责任印制：李红英

出版发行：清华大学出版社

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编：100084

社 总 机：010-62770175

邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者：清华大学印刷厂

装 订 者：三河市新茂装订有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：188×260 印 张：26.25 字 数：572 千字

附 DVD3 张

版 次：2011 年 10 月第 1 版

印 次：2011 年 10 月第 1 次印刷

印 数：1~5000

定 价：69.00 元

序

嵌入式 Linux 是当今最炙手可热的 IT 技术之一。尤其在全球金融危机之后，越来越多的企业把关注的目光投向嵌入式 Linux，希望能够利用嵌入式 Linux 降低企业在嵌入式操作系统版权方面的成本，提高开发效率。毫不夸张地说，嵌入式 Linux 技术已成为 IT 技术中为数不多的既叫好又叫座的角色。

嵌入式 Linux 如此重要，软件开发人员自然要重点跟进。但是嵌入式 Linux 是一门非常复杂和系统的学科，因此入门很难，初学者在自学过程中通常会遇到两大难题：其一，缺乏系统、科学的学习方法和计划，不知如何下手；其二，在学习过程中产生的疑问和困难无法得到及时解决，导致学习效率低。因此不少人在自学失败后最终选择参加嵌入式 Linux 培训，但是仍然有绝大部分爱好者由于时间和经济方面的原因无法参加培训。而目前参考书市场上又缺乏能达到或者接近培训效果的嵌入式 Linux 图书，这使得很多嵌入式 Linux 爱好者只能徘徊在嵌入式 Linux 技术的边缘。

但是！从现在起，这种缺憾终于不复存在了！成都国嵌嵌入式培训中心组织编著的这套嵌入式 Linux 标准培训教材开启了一种全新的图书模式，它以嵌入式培训班教学大纲为主线，采用教学视频与实验手册相结合的方式，让嵌入式爱好者可以首先通过图书中配套的嵌入式 Linux 培训班教学视频形象地掌握理论知识，然后通过图书中的必修实验详解，独立完成培训班所要求的必修实验，实现对知识的深入掌握。

如果您是嵌入式 Linux 技术的爱好者，如果您希望在产品中采用嵌入式 Linux...那拥有这套书对您来说至关重要，因为它会给您带来和参加嵌入式 Linux 现场培训近乎一样的学习效果。

付 洪

中兴通讯嵌入式 Linux 研究所高级项目经理

前言

近年来，随着计算技术、通讯技术的飞速发展，微型化和专业化成为发展的新趋势，嵌入式产品成为信息产业的主流。Linux 从 1991 年问世到现在，短短的十几年时间已经发展成为功能强大、设计完善的操作系统之一，可运行在 x86、Alpha、MIPS、PPC、ARM 等多种硬件平台，而且开放源代码，可以定制，可与各种传统的商业操作系统分庭抗争。越来越多的企业和研发机构都转向嵌入式 Linux 的开发和研究上，新兴的嵌入式操作系统获得了飞速发展。

正因为上面的原因，越来越多的学生开始参加专业的嵌入式 Linux 培训。该培训主要分为理论讲解部分和实验练习部分，这也是学习嵌入式 Linux 的科学方法。但是目前市场上没有将理论和实践结合得很好的教材。

成都国嵌嵌入式培训中心组织编著的这套教材开启了一种全新的嵌入式教材模式，将精彩的现场培训班授课视频附带在教材光盘中，教材中则提供对实验部分的详细讲解，以此保证理论与实践的完美结合。

1. 本书内容

《嵌入式体验入门班培训课程》、《嵌入式 Linux 应用开发班培训课程》、《ARM 系统进阶班培训课程》是国嵌嵌入式 Linux 系列培训课程体系中的基石，本书严格按照此三大课程的课程大纲安排章节，光盘中的现场教学视频详细讲解了嵌入式 Linux 系统管理、应用程序开发、ARM 系统架构和裸机程序开发，书中的实验则是对课程大纲中要求的必修实验的详尽描述，确保让每位读者独立完成每个必修实验。

本书共分 5 章。第 1 章是概述部分，介绍了嵌入式 Linux 的学习方法和嵌入式工程师的角色分工，第 2 章简单介绍了配套光盘中三大培训班的课程大纲和所用到的硬件平台，第 3 章是嵌入式体验入门班的教学视频和必修实验手册，第 4 章是 ARM 系统进阶班的教学视频和必修实验手册，第 5 章是嵌入式 Linux 应用开发班的教学视频和必修实验手册。各章之间有机结合，让读者进行全面、系统的学习。

2. 本书特色

本书的特色主要可以归结为以下 4 点。

- 结合教学视频——本书严格按照国嵌嵌入式 Linux 培训班的课程大纲对章节进行安排，每个章节都包含了对应的国嵌嵌入式 Linux 培训班的现场教学视频，通过观看教学视频对知识有更形象、深入的理解。
- 图文结合、便于阅读——全书配有大量插图，对一些知识点进行文字阐述之后，利

用插图进行更深入的说明。尤其在介绍设备原理、系统架构、数据流、软件配置、实验操作等内容时，插图的作用是显而易见的，这会有助于读者对相关内容的理解。

- 理论与实践有机结合——本书的内容以嵌入式 Linux 培训班要求的必修实验为主线，通过将视频和书中的实验紧密结合，详细阐述每个知识点的原理，并通过详尽的实验讲解辅助读者完成培训班要求的每个必修实验，使读者“知其然并知其所以然”，以达到最佳的学习效果。
- 紧密联系开发板——本书采用了嵌入式 Linux 学习中最主流的三款 2440 开发板：mini2440、GQ2440 和 TQ2440，使得该书的实用性达到了极致。

3. 关于作者

谢伟，四川人，男，1979 年生。2002 年毕业于电子科技大学计算机学院，嵌入式专业方向，Redhat 认证高级内核工程师，WindRiver 认证高级内核工程师，Certified Scrum Master，具有 9 年嵌入式系统开发经验。曾就职于中兴通讯嵌入式 Linux 研究所，诺基亚（中国）有限公司。

在中兴通讯嵌入式 Linux 研究所任职期间，先后参与了多个基于嵌入式 Linux 的产品开发，涵盖国家 863 项目——嵌入式 Linux 强实时改造、中国第一款自主研发的基于嵌入式 Linux 的智能手机、嵌入式家庭网关等。涉及到大量 Linux 驱动程序开发、Linux 内核开发和系统移植工作，如 USB 驱动程序、PCI 设备驱动程序、U-boot 和嵌入式 Linux 内核移植。

在诺基亚任职期间，参与了数个基于 Linux 的前沿产品开发，如 POC-手机对讲机，该项目深入涉及嵌入式 Linux 内核网络子系统、RTP 和 RTCP 等协议。

读者在阅读本书的过程中若遇到疑问或难题，或对本书有什么想法，可以登录国嵌官网 <http://www.enjoylinux.cn> 进行讨论或寻求支持。

4. 读者群

嵌入式 Linux 的初学者或者有一定自学经验的朋友，经常遇到的问题是知识点的不系统化及经验的不连续性，本书将有助于读者将嵌入式 Linux 知识与经验条理化、系统化、结构化，并能帮助读者解决以前曾经困惑过的一些问题。本书可以作为立志成为嵌入式 Linux 系统工程师的朋友的入门及深入学习的参考用书。

5. 鸣谢

到了说感谢的时候了，首先感谢以下所有的公司及个人。

- 感谢清华大学出版社的各位老师，从意向合作、签约、写作直到出版发行都给予大量的指导和帮助，让作者体验到了清华大学出版社的专业合作态度。
- 感谢中兴通讯嵌入式 Linux 研究所高级项目经理付洪，对本书项目部分提出的宝贵

意见。

- 感谢广州友善之臂有限公司，提供国嵌课程用 2440 开发板。
- 感谢诺基亚成都研发中心的余明，为本书 Linux 应用程序设计部分提供大量宝贵意见。

最后感谢成都国嵌嵌入式 Linux 培训中心，是你们的支持和协助让作者有决心和毅力去完成此作品，并专门为此书提供了技术论坛支持：<http://www.enjoylinux.cn>。

目 录

第 1 章 嵌入式系统	1
1.1 嵌入式系统概述	2
1.1.1 什么是嵌入式系统	2
1.1.2 嵌入式系统的特点	3
1.2 嵌入式 Linux 的学习方法	3
1.2.1 学习人群	4
1.2.2 待学知识点	4
1.2.3 学习顺序	6
1.2.4 理论与实践	7
1.2.5 学习误区	7
1.2.6 学习方法总结	7
1.3 嵌入式系统工程师角色描述	8
1.3.1 嵌入式应用工程师的工作内容与所需知识点	8
1.3.2 嵌入式系统工程师的工作内容与必要知识	9
第 2 章 配套培训班视频与硬件平台	11
2.1 培训班视频介绍	12
2.1.1 <<嵌入式体验入门班>>视频大纲	12
2.1.2 <<ARM 系统基础班>>视频大纲	12
2.1.3 <<Linux 应用程序开发班>>视频大纲	13
2.2 培训班专用硬件平台介绍	14
2.2.1 S3C2440 处理器	14
2.2.2 GQ2440 开发板	18
2.2.3 mini2440 开发板	20
2.2.4 TQ2440 开发板	22
第 3 章 嵌入式体验入门	25
3.1 第 1 天——嵌入式系统概述	26
3.1.1 培训视频	26
3.1.2 必修实验 1——2440 开发板 H-JTAG 设置	26
3.1.3 必修实验 2——2440 开发板 J-Link 设置	32



3.2 第 2 天——开发板快乐体验	38
3.2.1 培训视频	38
3.2.2 必修实验 1——2440 开发板裸机程序体验	38
3.2.3 必修实验 2——2440 开发板 Linux+QT 系统安装与体验	45
3.2.4 必修实验 3——2440 开发板 WinCE 系统安装与体验	50
3.2.5 必修实验 4——2440 开发板 Android 系统安装与体验	53
3.3 第 3 天——Linux 系统体验	57
3.3.1 培训视频	57
3.3.2 必修实验 1——Linux 专业级定制安装	57
3.3.3 必修实验 2——Linux 命令详解	73
3.3.4 必修实验 3——vi 的使用	96
3.3.5 必修实验 4——TFTP 服务器的使用	103
3.3.6 必修实验 5——NFS 服务器的使用	107
3.3.7 必修实验 6——samba 服务器的使用	110
3.3.8 必修实验 7——setup 系统配置	114
3.3.9 必修实验 8——wireshark 网络分析	117
3.3.10 必修实验 9——脚本设计-参数比较	123
3.3.11 必修实验 10——脚本设计-统计文件	128
3.3.12 必修实验 11——脚本设计-倒序输出	132
3.3.13 必修实验 12——脚本设计-监视文件	133
3.3.14 综合实验——qcd 脚本程序设计	136
第 4 章 ARM 系统基础班	151
4.1 第 1 天——ARM 程序设计基础	152
4.1.1 培训视频	152
4.1.2 必修实验 1——ADS 编译汇编程序	152
4.1.3 必修实验 2——AXD 调试汇编程序	158
4.1.4 必修实验 3——存储器访问类汇编指令	163
4.1.5 必修实验 4——算术逻辑运算类汇编指令	165
4.2 第 2 天——ARM 程序设计基础	170
4.2.1 培训视频	170
4.2.2 必修实验 1——汇编程序寻址方式	170
4.2.3 必修实验 2——汇编程序逻辑控制	174

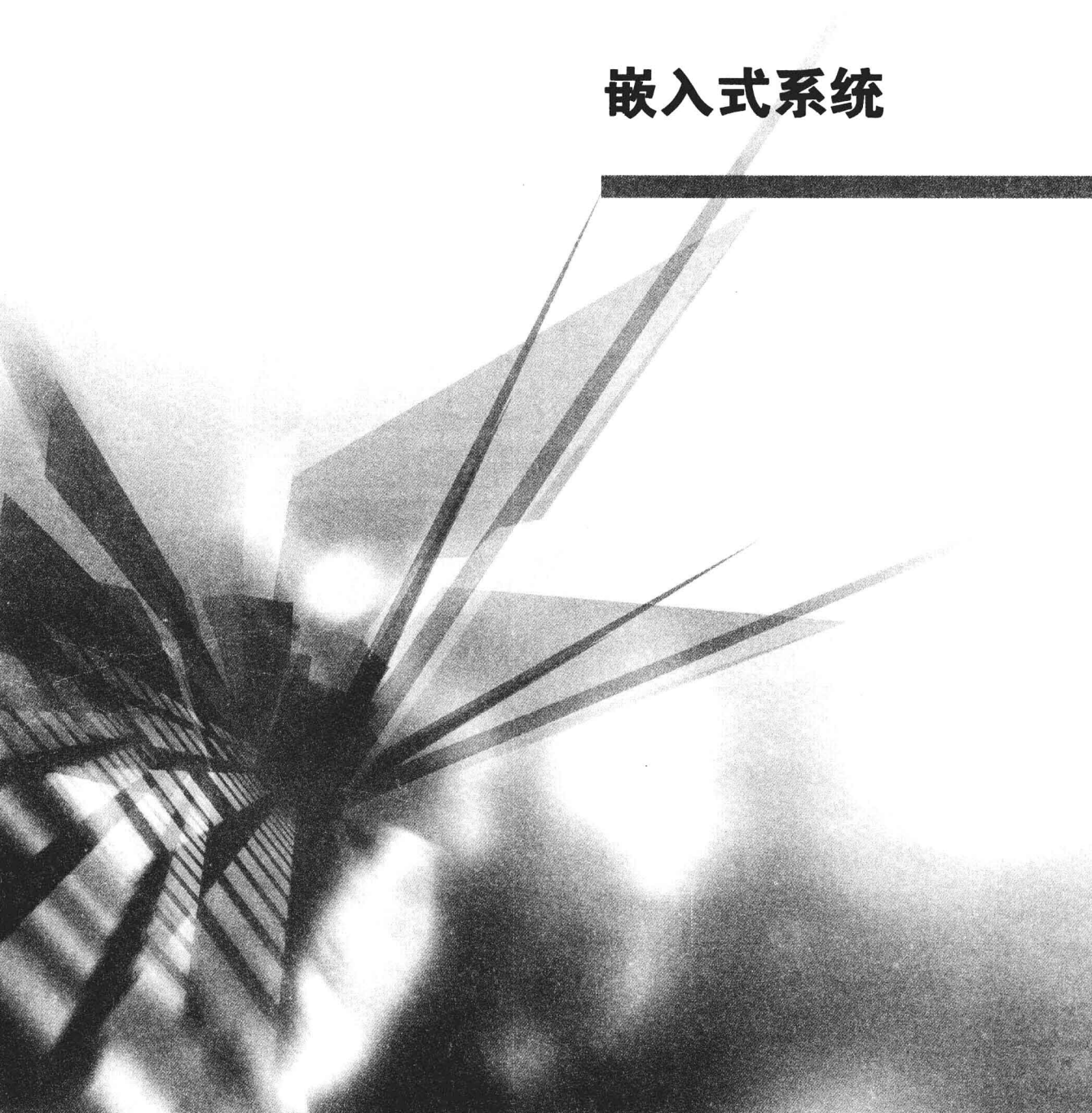
4.2.4	必修实验 3——汇编程序模式切换	178
4.2.5	必修实验 4——汇编语言与 C 语言混合编程	183
4.3	第 3 天——LED 驱动程序设计	188
4.3.1	培训视频	188
4.3.2	必修实验 1——LED 驱动程序设计-跑马灯	188
4.3.3	必修实验 2——LED 驱动程序设计—二进制显示	194
4.4	第 4 天——按键驱动程序设计	198
4.4.1	培训视频	198
4.4.2	必修实验 1——中断型按键驱动程序设计	198
4.5	第 5 天——时钟与定时器驱动程序设计	204
4.5.1	培训视频	204
4.5.2	必修实验 1——轮询型定时器驱动程序设计	205
4.5.3	必修实验 2——中断型定时器驱动程序设计	210
第 5 章	Linux 应用程序开发班	215
5.1	第 1 天——Linux 应用程序设计基础	216
5.1.1	培训视频	216
5.1.2	必修实验 1——GCC 编译程序	216
5.1.3	必修实验 2——GDB 调试程序	223
5.1.4	必修实验 3——Makefile 工程管理	231
5.2	第 2 天——文件与时间编程	237
5.2.1	培训视频	237
5.2.2	必修实验 1——系统调用实现文件复制	237
5.2.3	必修实验 2——库函数实现文件复制	244
5.2.4	必修实验 3——时间编程	252
5.3	第 3 天——多进程程序设计	257
5.3.1	培训视频	257
5.3.2	必修实验 1——fork 创建子进程	258
5.3.3	必修实验 2——vfork 创建子进程	261
5.3.4	必修实验 3——exec 函数族	265
5.3.5	必修实验 4——进程等待	271
5.4	第 4 天——进程间通信	276
5.4.1	培训视频	276



5.4.2	必修实验 1——无名管道程序设计	276
5.4.3	必修实验 2——有名管道程序设计	281
5.4.4	必修实验 3——信号处理程序设计	288
5.4.5	必修实验 4——共享内存程序设计	296
5.5	第 5 天——进程间通信	307
5.5.1	培训视频	307
5.5.2	必修实验 1——信号灯程序设计	307
5.5.3	必修实验 2——消息队列程序设计	314
5.6	第 6 天——多线程程序设计	322
5.6.1	培训视频	322
5.6.2	必修实验 1——线程创建程序设计	323
5.6.3	必修实验 2——线程等待程序设计	327
5.6.4	必修实验 3——线程清除程序设计	331
5.7	第 7 天——Linux 网络编程	337
5.7.1	培训视频	337
5.7.2	必修实验 1——TCP 客户服务器程序设计	338
5.7.3	必修实验 2——UDP 客户服务器程序设计	351
5.7.4	必修实验 3——并发服务器程序设计	360
5.8	综合项目——NTP 网络协议实现	369

第 1 章

嵌入式系统



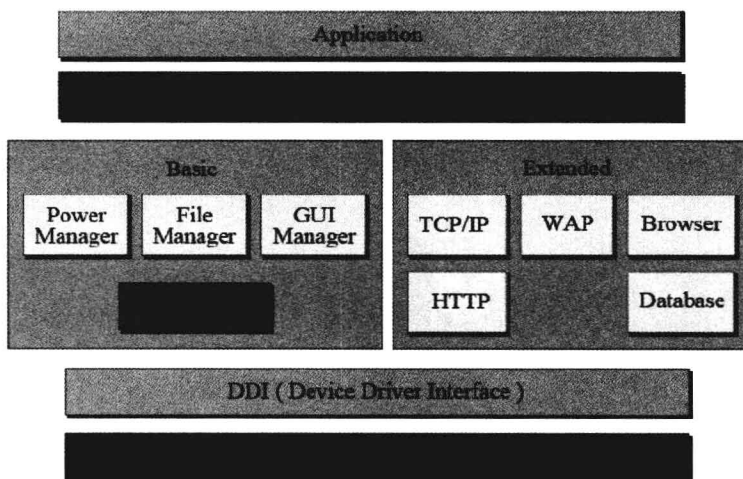
1.1 嵌入式系统概述

1.1.1 什么是嵌入式系统

嵌入式系统是以应用为中心，以计算机技术为基础，软硬件可裁剪的，对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。

嵌入式系统一般由以下几部分组成，如图 1-1 所示。

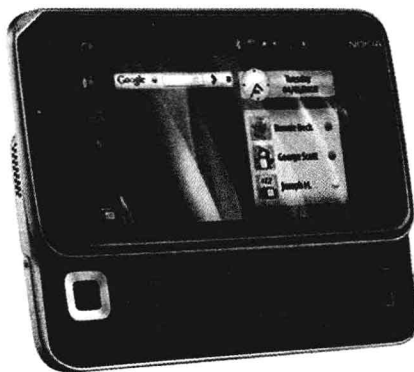
- 嵌入式微处理器；
- 外围硬件设备；
- 嵌入式操作系统；
- 特定的应用程序。



▲ 图 1-1 嵌入式系统的构成

以 NOKIA N810 手持智能终端为例，以上 4 个部分分别对应如下，如图 1-2 所示。

- 嵌入式微处理器：Omap 双核 ARM 处理器；
- 外围硬件设备：LCD、键盘、WiFi 无线网卡等；
- 嵌入式操作系统：嵌入式 Linux 系统；
- 特定的应用程序：Google Earth 等。



▲ 图 1-2 NOKIA N810

1.1.2 嵌入式系统的特点

嵌入式系统与通用 PC 系统相比，具有如下特点。

- 专用性强。由于嵌入式系统通常是面向某个特定应用的，所以嵌入式系统的硬件和软件，尤其是软件，都是针对特定用户群而设计的，具有专用性的特点。
- 实时性好。目前，嵌入式系统广泛应用于生产过程控制、数据采集、传输通信等场合，其主要用于对宿主对象进行控制，因此对嵌入式系统有或多或少的实时性要求。例如，嵌入在武器装备中的嵌入式系统、在火箭中的嵌入式系统、一些工业控制设置中的控制系统等，其在应用中的实时性要求就极高。也正因为这种要求，嵌入式系统在硬件上极少使用存取速度较慢的磁盘等存储器，在软件上更是精心设计，使嵌入式系统可快速地响应外部事件。当然，随着嵌入式系统应用的扩展，有些系统对实时性的要求却不是很高。例如，近年来发展速度比较快的手持式计算机、掌上电脑等。总体来说，实时性是对嵌入式系统的基本要求，是设计者和用户考虑的一个重要指标。
- 可裁剪性好。从嵌入式系统专用性的特点看，作为嵌入式系统的供应者，理应提供各式各样的硬件和软件以备选用。但是，这势必会增加产品的成本。为了既不增加成本，又能满足专用性的需要，嵌入式系统的供应者必须采取相应措施使产品在通用和专用之间进行某种平衡。目前的做法是，将嵌入式系统的硬件和操作系统设计成可裁剪的，以便使嵌入式系统开发人员根据实际应用需求来量体裁衣，去除冗余，从而使系统在满足应用要求的前提下达到最精简的配置。
- 可靠性高。由于有些嵌入式系统所承担的计算任务涉及到产品质量、人身设备安全、国家机密等重要问题，还有些嵌入式系统的宿主对象要工作在无人值守的场合，例如危险性高的工业环境、内嵌有嵌入式系统的仪器仪表、人迹罕至的气象检测系统以及为侦察敌方行动的小型智能装置等，所以，与普通系统相比较，嵌入式系统对可靠性的要求更高。
- 功耗低。有很多嵌入式系统的宿主对象是一些小型应用系统，例如移动电话、PDA、MP3、数码相机等，这些设备不可能配备容量较大的电源，因此低功耗一直是嵌入式系统追求的目标。另外，为了降低系统的功耗，嵌入式系统的软件一般不存储在磁盘等载体中，而是固化在存储器芯片或单片机系统的存储器之中。

1.2 嵌入式 Linux 的学习方法

嵌入式系统无疑是当前最热门、最有发展前途的 IT 应用领域之一，但同时也是最难以

掌握的技术之一，很多踌躇满志的同学最终没能成为一名合格的嵌入式工程师，很大的问题是没有掌握科学、有效的学习方法，所以本章将主要从学习人群、待学知识点、学习顺序等几个方面来阐述一套科学的嵌入式系统学习方法。

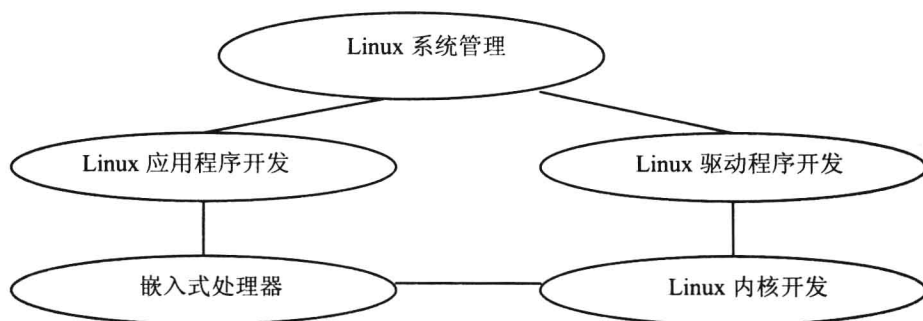
1.2.1 学习人群

从事嵌入式开发的工程师主要有两类。

- 电子工程、通信工程等偏硬件专业出身的人，他们主要从事硬件设计，同时也开发一些与硬件关系密切的底层软件，如 BootLoader、Board Support Package（像 PC 的 BIOS 一样，向下驱动硬件，向上支持操作系统）、硬件驱动程序等。他们的优势是对硬件原理非常清楚，不足的是他们更擅长定义各种硬件接口，但对复杂的软件系统往往力不从心（例如嵌入式操作系统原理和复杂的应用软件等）。
- 学软件开发、计算机专业出身的人，他们主要从事嵌入式操作系统和应用软件的开发。如果这部分人较好地掌握了硬件原理，他们也可以从事 BSP 和硬件驱动程序的开发工作。

1.2.2 待学知识点

嵌入式系统具有知识点多、涉及范围广等特点，因此在开始学习之前，首先应该明确学习什么知识点。本小节将以嵌入式 Linux 为例，阐述其知识点。嵌入式 Linux 的知识可以分为 5 大版块，如图 1-3 所示。



▲ 图 1-3 嵌入式 Linux 的知识版块

嵌入式 Linux 的以上 5 大知识版块的内容又可以具体细化为下面的 5 个部分。

1. 嵌入式处理器（以 ARM 为例）

- ARM 处理器工作模式。

- ARM 系统寄存器。
- ARM 寻址方式。
- ARM 汇编指令集。
- ARM 环境 C 语言编程。
- ARM 中断与异常。
- ADS 集成开发环境。
- 裸机程序开发（串口、LCD、时钟、LED、按键等）。

2. Linux 系统管理

- Linux 定制安装。
- Linux 基本命令。
- samba、NFS、TFTP、wireshark 等工具的应用。
- Shell 编程。

3. Linux 应用程序开发

- GCC、GDB、Makefile。
- 文件、时间编程。
- 多进程、多线程程序设计。
- 进程间通信。
- 网络编程。
- QT 图形化应用程序开发。
- Android 图形化应用程序开发。

4. Linux 内核开发

- Linux 内核配置与裁剪。
- Linux 内核模块开发。
- 根文件系统制作。
- 进程子系统。
- 内存子系统。
- proc 文件系统。
- 系统调用。

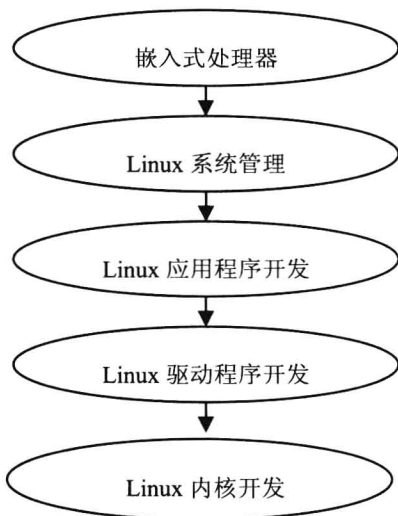
- 内核定时器。
- 内核异常分析。

5. Linux 驱动程序开发

- 字符设备驱动程序。
- 总线、设备、驱动模型。
- 硬件访问技术。
- 中断处理。
- Input 设备驱动。
- Platform 驱动程序。
- PCI、USB 驱动程序。
- 网卡驱动程序。
- 触摸屏驱动程序。
- 串口驱动程序。

1.2.3 学习顺序

面对上一节所列出的众多知识点，采用什么样的顺序来学习至关重要。学习顺序得当，事半功倍；学习顺序不当，则有可能导致学习者半途放弃。正确的学习顺序如图 1-4 所示。



▲图 1-4 嵌入式 Linux 的学习顺序