嵌入式Linux从入门到精通

陆桂来　梁　芳　张　波　编著

例程精挑细选，有很强的针对性
对于相应的理论有着全面的实践反映
书中的代码非常简洁和高效
便于学习和调试

中国工信出版集团
電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn

嵌入式开发直通车

嵌入式 Linux 从入门到精通

陆桂来　梁　芳　张　波　编著

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书的设计思路是让读者从了解基于 ARM 处理器的嵌入式系统的结构组成、硬件系统和软件操作系统入手，一步步地学习在嵌入式硬件系统中定制和移植 Linux 操作系统及在 Linux 操作系统下进行应用开发的过程。

本书共 12 章，分为 4 部分，分别是嵌入式系统基础、在 ARM 处理器系统上移植 Linux 操作系统、在 Linux 操作系统上进行软件开发及综合应用。

本书既有嵌入式系统硬件结构、ARM 处理器基础、操作系统基础等内容的介绍，也有一步步将 Linux 操作系统移植到 ARM 处理器上的过程，还有在嵌入式 Linux 上进行软件开发的过程，并且提供了大量应用实例，适合有一定计算机硬件基础、C 语言基础和 Linux 操作系统基础的工程师学习，亦适合高等院校计算机相关专业的学生和爱好者阅读，也可作为工程设计的参考手册。

图书在版编目（CIP）数据

嵌入式 Linux 从入门到精通 / 陆桂来，梁芳，张波编著. -- 北京：电子工业出版社，2015.4
（嵌入式开发直通车）
ISBN 978-7-121-25688-2

Ⅰ. ①嵌… Ⅱ. ①陆… ②梁… ③张… Ⅲ. ①Linux 操作系统－程序设计 Ⅳ. ①TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 048729 号

策划编辑：王敬栋（wangjd@phei.com.cn）
责任编辑：张　京
印　　刷：三河市华成印务有限公司
装　　订：三河市华成印务有限公司
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：23.5　字数：601.6 千字
版　　次：2015 年 4 月第 1 版
印　　次：2015 年 4 月第 1 次印刷
印　　数：3 000 册　　定价：59.80 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 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前　言

行业背景

嵌入式系统是以应用为中心，以计算机技术为基础，采用可裁剪软/硬件，适用于对功能、可靠性、成本、体积、功耗等要求严格的专用计算机系统。随着 ARM 处理器的出现，嵌入式系统应用技术得到了长足的发展。

Linux 是在 UNIX 基础上发展起来的一套可以免费使用和自由传播的操作系统，从 1991 年问世到现在走过了 20 多年的历程，已从一个简单架构的系统内核发展到了现在结构完整、功能丰富的多版本用户系统。Linux 已经成为现今世界上最流行的操作系统之一；不仅能在 PC 和服务器上运行，而且随着嵌入式系统的发展，Linux 操作系统已成为 ARM 处理器最好的搭配。

嵌入式 Linux+ARM 已经广泛应用于机顶盒、智能手机、平板电脑、MPC（多媒体个人计算机）、网络设备、工业控制等领域，并且具有良好的市场前景。

关于本书

本书的设计思路是基于 S3C2440 处理器及 Ubuntu 操作系统，让读者从了解基于 ARM 处理器的嵌入式系统的结构组成、硬件系统和软件操作系统入手，一步步地学习在嵌入式硬件系统中定制和移植 Linux 操作系统及在 Linux 操作系统下进行应用开发的过程。

本书共 12 章，分为 4 部分，分别是嵌入式系统基础、在 ARM 处理器系统上移植 Linux 操作系统、在 Linux 操作系统上进行软件开发及综合应用。

- 第一部分：包括第 1～3 章，分别介绍了嵌入式系统的组成，Linux 操作系统的基础结构和命令，包括 ARM 在内的嵌入式处理器和常用的外围硬件结构，还介绍了一个基于 S3C2440 处理器的硬件开发板。
- 第二部分：包括第 4～6 章，用“step by step”的方法介绍在嵌入式系统硬件上移植 Linux 操作系统的过程，包括系统引导软件（Bootloader）、交叉编译环境的使用方法及文件系统的结构和移植方法等。
- 第三部分：包括第 7～11 章，介绍了在移植好 Linux 操作系统的嵌入式系统上使用 C 语言进行开发的方法，包括 C 语言开发环境介绍、文件和流操作方法、进程和线程操作方法、网络编程方法。
- 第四部分：包括第 12 章，介绍了 5 个嵌入式系统下的应用实例，包括守护进程的设计、串口双机通信等。

本书特色

- 基础内容丰富，涉及了嵌入式系统从软件到硬件各个方面的知识。
- 循序渐进，由浅入深，一步步地介绍了在嵌入式硬件系统上移植 Linux 操作系统的方法，并基于移植好的 Linux 操作系统介绍了使用 C 语言进行 Linux 编程开发的方法。
- 实例丰富，对于所介绍的相应知识，都基于 S3C2440 处理器的硬件系统和 Linux 操作系统给出了相当数量的实例。

作者介绍

本书由陆桂来、梁芳、张波编著，同时参与本书编写的还有严雨、刘艳伟、韩敏、徐慧超、刘洋洋、王闯、严安国、何世兰、汤嘉立、姚宗旭、葛祥磊、张玉梅等人。在此，对以上人员致以诚挚的谢意。由于时间仓促，程序较多，受学识水平所限，错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编　者

目　录

第一部分　嵌入式系统基础

第二部分 在 ARM 处理器系统上移植 Linux 操作系统

第三部分　在 Linux 操作系统上进行软件开发

第四部分　综 合 应 用

第一部分

嵌入式系统基础

第1章

嵌入式系统概述

嵌入式系统（Embedded System）是一种“完全嵌入受控器件内部，为特定应用而设计的专用计算机系统”，根据英国电气工程师协会（U. K. Institution of Electrical Engineer）的定义，嵌入式系统为控制、监视或辅助设备、机器或用于工厂运作的设备。与大型机、台式机、笔记本通用计算机系统不同，嵌入式系统通常执行的是带有特定要求的预先定义的任务。本章将对嵌入式系统进行一个基础介绍，涉及的内容如下：

- 嵌入式系统的发展；
- 嵌入式系统的构成；
- 嵌入式系统的处理器；
- 嵌入式系统的操作系统；
- 嵌入式系统的开发流程。

1.1 嵌入式系统的发展

嵌入式系统从 20 世纪 70 年代发展到如今已经迈过了 40 多个年头，随着电子和计算机技术的飞速发展，嵌入式系统也逐步得到了极大的成熟，总体来说其可以分为单片机时代、专用处理器时代和 ARM 时代三大阶段。

1.1.1 单片机时代（20 世纪 70 ~ 80 年代）

单片机时代起始于 1976 年，Intel 发布了世界上最早的单片机 8048；随后，Motorola 推出了 68HC05，Zilog 推出了 Z80 等一系列单片机。随着电子技术的发展，Intel 发布了著名的 MCS-51 单片机内核，ATMEL、NXP（前飞利浦）等公司在该内核的基础上生产了几百款不同的单片机产品，如图 1.1 所示是 Z80 和 51 系列单片机实物。

这些早期单片机系统的出现，使得汽车、家电、工业机器、通信装置及成千上万种产品可以通过内嵌电子装置来获得更佳的使用性能，而且更容易使用、处理速度更快、价格更便宜。正是由于电子装置是“内嵌式的”，因此也就使得“嵌入式系统”这个初级概念深入人心。今天看来，当时这些装置已经初步具备了嵌入式的应用特点，但是这时的应用

只是使用 8 位的芯片，硬件技术相对落后，如只能执行一些单线程的程序，还谈不上“多核”的概念。但是它标志着“嵌入式系统”出现了硬件雏形。在开创嵌入式系统独立发展的道路上。

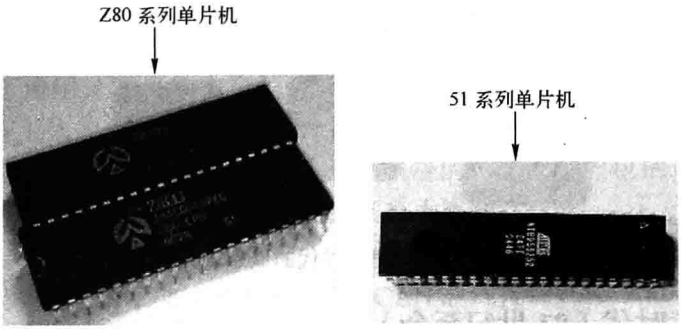

图 1.1　Z80 和 51 系列单片机实物

从 20 世纪 80 年代早期开始，嵌入式系统的程序员开始用商业级的“操作系统”编写嵌入式应用软件，这使得可以获得更短的开发周期、更少的开发资金和更高的开发效率，“嵌入式系统”真正出现了。确切地说，这个时候的操作系统是一个实时核，这个实时核包含了许多传统操作系统的特征，包括任务管理、任务间通信、同步与相互排斥、中断支持、内存管理等功能。其中比较著名的有 Integrated System Incorporation（ISI）的 PSOS、Ready System 公司的 VRTX、IMG 的 VxWorks 和 QNX 公司的 QNX 等。这些嵌入式操作系统都具有嵌入式的典型特征。

- 它们的系统内核很小，具有可裁剪、可扩充和可移植性，可以移植到各种各样的处理器芯片上。
- 它们均采用占先式的调度，响应时间很短，任务执行的时间可以确定。
- 较强的实时性和可靠性，适合嵌入式应用。
- 这些嵌入式实时多任务操作系统的出现，使得应用开发人员得以从小范围的开发中解放出来，同时也促使嵌入式有了更为广阔的应用空间。

但是从整体来说单片机时代的软件都具有“无操作系统”直接运行在处理器上，根据实际用途编写，相对简单，及硬件耦合性极大而不便于移植的特点。

1.1.2　专用处理器时代（20 世纪 90 年代～21 世纪）

进入 20 世纪 90 年代以后，随着计算机技术、微电子技术、IC 设计和 EDA 工具的发展，嵌入式处理器开始向片上系统（System-on-Chip，SoC）发展，出现了包括 51 单片机、AVR 单片机、MSP430 单片机、DSP、CPLD/FPGA 在内的一系列处理器，如图 1.2 所示，而 ARM 处理器也在此时初露头角。

此时出现了众多嵌入式操作系统，它们大多具有跨平台的移植技术，并且在同一个系统之下也可以通过选择开发工具来使用 Java、C 或汇编语言等开发者熟悉的语言来开发，该阶段比较常用的有 WinCE、Palm、WM、Linux、VxWorks、μC/OS-II，Symbian 等。

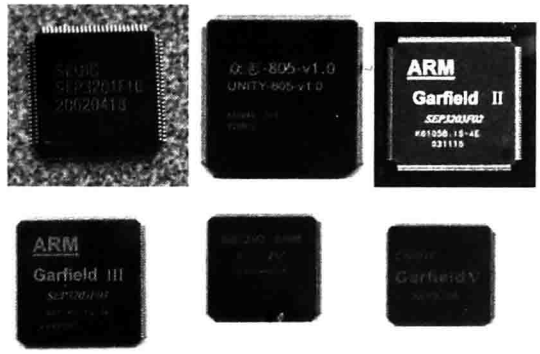

图 1.2　专用处理器时代的嵌入式处理器

1.1.3　ARM 时代（21 世纪至今）

进入 21 世纪之后，随着相关电子工业技术的发展，嵌入式处理器相关技术得到了突飞猛进的发展，出现了 64 位嵌入式处理器（如 Cortex-A50 系列），其处理器内核也已经实现了 8 核（目前正计划实现 16 核）。

到目前为止，嵌入式处理器可以分为三个大类：以 MTK、高通、三星为代表支持的 ARM 架构处理器、以 Intel 为代表支持的 x86 架构处理器及其他以 FPGA 为代表的特殊/专用处理器，如图 1.3 所示。

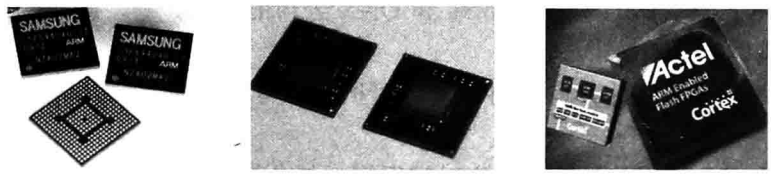

图 1.3　进入 21 世纪之后的嵌入式处理器

随着嵌入式处理器的发展，嵌入式系统的硬件性能得到了极大的提升，此时嵌入式操作系统也开始出现一些新的面孔，Android 和 IOS 则是其中的典型代表，它们从 2007 年出现开始（Android 于 2007 年 11 月正式发布，IOS 则在 2007 年 1 月正式发布）就风卷残云般地占领了绝大多数嵌入式消费电子产品（主要是平板电脑、手机和数字播放器）的市场；而微软公司（Microsoft Corporation）不甘落后，从 2010 年开始连续发布了 WP（Windows Phone）和 Windows RT（RunTime）操作系统，用于抢占消费电子产品市场。而在工业控制等领域上，嵌入式操作系统本着稳定可靠的原则，则依然是 winCE、VxWorks 和 Linux 当道。

1.2　嵌入式系统的构成

1.2.1　嵌入式系统的层次模型

嵌入式系统的层次模型如图 1.4 所示，由包括嵌入式处理器在内的硬件系统层、中间驱

动层、操作系统层和应用软件层组成。

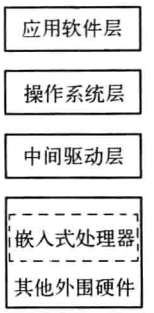

图 1.4　嵌入式系统的结构

1．硬件系统层

硬件系统层主要包含了嵌入式系统中必要的硬件设备：嵌入式处理器和协处理器、存储器、其他外围 I/O 设备。

- 处理器：是嵌入式系统硬件层的核心，主要负责对信息的运算处理，相当于通用计算机的中央处理器；协处理器则是协助处理器完成相应工作的部件辅助处理器。
- 存储器：其用来存储数据和代码，嵌入式系统的存储器一般包括嵌入式处理器内部和外部存储器，此外还有大容量存储器。
- 其他外围 I/O 设备：其用于提供嵌入式系统和其他系统的数据接口及一些特定的工作，如 RS-232 接口、CAN 总线接口、A/D 和 D/A 模块、电动机和继电器驱动等执行机构等，此外包括输入设备、显示设备等在内的人机交互部件也包含在内。

2．中间驱动层

中间驱动层为硬件层与系统软件层之间的部分，有时也称为硬件抽象层（Hardware Abstract Layer，HAL）或板级支持包（Board Support Package，BSP）。对于上层的操作系统，中间驱动层提供了操作和控制硬件的方法和规则。而对于底层硬件，中间驱动层主要负责相关硬件设备的驱动等。

中间驱动层将系统上层软件与底层硬件分离开来，使系统的底层驱动程序与硬件无关，上层软件开发人员无须关心底层硬件的具体情况，根据中间驱动层提供的接口即可进行开发。

中间驱动层主要包含以下几个功能。

- 底层硬件初始化操作按照自底而上、从硬件到软件的次序分为三个环节，依次是：片级初始化、板级初始化和系统级初始化。
- 硬件设备配置对相关系统的硬件参数进行合理的控制以正常工作。另一个主要功能是硬件相关的设备驱动。
- 硬件相关的设备驱动程序的初始化通常是一个从高到低的过程。尽管中间层中包含硬件相关的设备驱动程序，但是这些设备驱动程序通常不直接由中间层使用，而是在系统初始化过程中由中间层将它们与操作系统中通用的设备驱动程序关联起来，并在随后的应用中由通用的设备驱动程序调用，实现对硬件设备的操作。

3．操作系统层

操作系统层由实时多任务操作系统（Real-time Operation System，RTOS）及其实现辅助功能的文件系统、图形用户界面接口（Graphic User Interface，GUI）、网络系统及通用组件模块组成，其中实时多任务操作系统（RTOS）是整个嵌入式系统开发的软件基础和平台。

4．应用软件层

应用软件层是开发设计人员在系统软件层的基础之上，根据需要实现的功能，结合系统的硬件环境所开发的软件。