

基于Scilab的 ARM-Linux 嵌入式计算及应用

马龙华 彭 哲 编著



科学出版社

www.sciencep.com

基于 Scilab 的 ARM-Linux 嵌入式计算及应用

马龙华 彭 哲 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书详细介绍了在 ARM-Linux 环境下的嵌入式 Scilab 计算平台构建实现与应用。本书主要分为四部分:嵌入式系统基础、嵌入式 Linux 环境搭建、嵌入式 Linux 应用程序开发和基于 Scilab 的嵌入式计算平台构建与应用。本书是国内外第一本介绍 Scilab 科学计算语言在复杂嵌入式系统中应用与实现的书籍。

本书适合科研人员、工程技术人员、教师 and 大学生阅读。本书配有光盘,可帮助读者建立自己的基于 Linux 的 Scilab 嵌入式计算平台。

图书在版编目(CIP)数据

基于 Scilab 的 ARM-Linux 嵌入式计算及应用/马龙华,彭哲编著. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-022652-5

I. 基… II. ①马…②彭… III. ①微处理器, ARM-系统设计②Linux 操作系统-程序设计 IV. TP332 TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 116442 号

责任编辑:吴凡洁/责任校对:陈丽珠

责任印制:刘士平/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏主印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 9 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008 年 9 月第一次印刷 印张:15 3/4

印数:1—3 000 字数:289 800

定价:35.00 元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

Preface

Scilab is a free software for numerical computation. Such software are of paramount importance in very strategic domains such as defence, energy, aerospace, automotive, communication, life sciences, etc. Since Scilab is free, it can be used at low cost by small to big companies in these domains. Since moreover Scilab is open source, users can make contributions easily. In addition it can be used without "black box" risk in critical applications.

Scilab is thus an opportunity for China. Born at INRIA in the 1990's, Scilab has now a history with China. This history starts in 2001 with the organization of a first workshop by the LIAMA Lab in Beijing. Since then, Scilab conferences have been organized yearly. Moreover, Scilab Contests were organized in parallel to develop the skills of new Scilab users. Each year several dozens university teams participate to the contest. Nowadays, Scilab is used in secondary schools, universities as well as research centres all around China.

From 2003 to 2007, the development of Scilab has been carried out by the Scilab Consortium, which counts 25 companies and research institutions, and is hosted by INRIA. A team completely dedicated to the development, the promotion and the maintenance of Scilab was created. Very large companies such as the car manufacturer PSA Peugeot Citroën, the French National Centre for Spatial Studies (CNES) involved in the Ariane rocket, as well as the French Company of Electricity (EDF) use Scilab. EADS, the European Consortium making Airbus planes, is also member of Scilab consorti-

um. Scilab 是一款自由和开放源代码数值计算软件。该软件在诸如国防、能源、航空航天、汽车、通信和生命科学等关键领域起着非常重要的作用。由于 Scilab 是免费的, 所以这些领域中的大小公司都能够以非常低的成本来使用它。而且 Scilab 还是开源的, 这就意味着用户可以方便地对其进行改进, 另外, 它还可以避免在关键应用场合中的“黑箱”风险。

因此, Scilab 的出现对于中国来说是一个非常好的机会。

Scilab 于 20 世纪 90 年代诞生于法国国家信息与自动化研究院 (INRIA), 在中国也已经有一段历史。这段历史可追溯到 2001 年, 中法信息自动化与应用数学联合实验室 (LIAMA) 第一次在北京组织了 Scilab 研讨会。从此就开始了一年一度的 Scilab 研讨会, 同时 Scilab 软件竞赛也一并组织和举办, 旨在发展和提高 Scilab 新用户的水平, 每年都有很多大学来参加这个竞赛。如今 Scilab 已经在全中国范围内的中学、大学及研究机构中得到广泛应用。

2003 ~ 2007 年, Scilab 是由 Scilab 协会负责维护与发展的。当时该协会是由 INRIA 所主持的 25 个公司和研究机构组成的组织, 主要负责 Scilab 的发展, 对 Scilab 所做的推进与维护工作具有相当的创造性。超级公司诸如汽车制造商标

um. This first phase of the Scilab Consortium was a success with more than 40,000 monthly downloads of the software from the Scilab web site [www. scilab. org](http://www.scilab.org).

In 2008, two important events happened to Scilab:

1. A renewed Scilab Consortium hosted now by the Digiteo Foundation in France in order to boost the collaboration between universities and companies has been created.

2. A major release of Scilab aimed to be in the future the best in particular for High Performance Computing and Embedded Systems has been released.

Wide spreading the use of Scilab in commercial applications, is a key to its long-term success. Increasing its efficiency on embedded systems is a particularly important objective for us. The present book of professor Ma Longhua is thus of the greatest importance. This book is not only a comprehensive textbook on embedded systems and ARM microprocessor architecture, but it is also a practical book describing a complete platform and its implementation on Linux systems using Scilab/Scicos.

The book contains a step-by-step, user friendly, guide to cross compile a complete Linux and a full Scilab/Scicos for a high performance ARM platform using only common GNU/Linux tools. The ARM architecture is optimal for industrial applications, where the standard X86 processors have many drawbacks, from power requirement to environmental limitations. The book covers also the details of additional tools like Web Server, required by the now interconnected world of supervision and distributed control applications.

This book is a perfect guide for industrial

致雪铁龙集团, 法国国家空间研究中心 (CNES) 的阿里安娜火箭项目, 以及法国电力公司 (EDF) 都使用 Scilab. 欧洲宇航防务集团 (EADS), 欧盟空中客车公司等也都是 Scilab 协会的成员. Scilab 第一个阶段的成就就是在 [http://www. scilab. org](http://www.scilab.org) 网站上的每月超过 4 万的软件下载量。

2008 年有两件与 Scilab 有关的重要事件:

1. Scilab 协会由法国的 Digiteo 基金会主持重建, 旨在促进高校与公司间的合作。

2. 一个旨在成为未来最适合于高性能计算与嵌入式系统的 Scilab 新版本发布。

Scilab 在商业界的广泛应用, 是其能长期立于不败之地的关键。提高 Scilab 在嵌入式系统中的性能对于我们来说是一个至关重要的目标, 因此马龙华教授所写的这本书起到了非常重要的作用。该书不仅是一本全面介绍嵌入式系统和 ARM 微处理器结构的教材, 更是一本非常实用的讲述如何实现在嵌入式 Linux 操作系统上运行 Scilab/Scicos 软件的教材。

该书可读性强, 详细指导读者如何一步步使用 GNU/Linux 编译工具针对高性能 ARM 平台来交叉编译 Linux 和完整的 Scilab/Scicos。比较 X86 处理器的能耗和环境限制等缺点, ARM 体系结构在工业应用中是最优的选择。考虑到当今全球一体化监控和分布式控制的应用要求, 该书还包括了 Web Server 等

applications and it will help all people, in universities as well as companies, to implement them at minimal cost. So to use Scilab/Scicos in your platform for embedded systems with ARM microprocessor architecture, you only need to read this book, which we hope will be translated in foreign languages soon to benefit the whole community of scilab developers worldwide.

一些相关工具的使用细节。

这是一本 Scilab 工业应用的优秀教程，它有助于大学和公司以最小的成本实现工业应用。所以，如果你想在 ARM-Linux 嵌入式系统中使用 Scilab/Scicos，那么只需要读这本书。同时，也希望这本书能尽快被翻译成多国语言，使全世界的 Scilab 开发及应用团体受益。



Director of Scilab Consortium



Director of LIAMA

序 为什么要学习开放源码软件？

我很高兴地阅读了浙江大学马龙华教授编著的《基于 Scilab 的 ARM-Linux 嵌入式计算及应用》一书初稿。该书的最大特色之一是全部选用了开放源码软件系统为教学平台。我借此机会就学习开放源码软件谈一些个人看法，以帮助读者领会该书内容的意义，启发在校学生对该书学习的兴趣。

近些年来开放源码软件在全球 IT 产业中的应用价值不断提高。国际 IT 企业巨头，如 IBM、SUN、HP、INTEL 等公司十多年来一直在支持或投入开放源码软件的开发。IT 业的后起之秀谷歌则是完全采用了开放源码操作系统 Linux 为其应用平台。几年前，原来对 Linux 抱有敌意的微软首席执行官也不得不改变商业策略，将“互操作性”定为其新产品的重要功能，以便兼容开放源码软件。例如，2008 年 4 月 21 日微软宣布将向中国人民保险公司等部门提供包括应用 Linux 的技术支持服务。开放源码软件发展的最大驱动力来自用户的需求。在考虑到软件整体应用成本、安全性、灵活性、自主性等诸多因素后，不少企业选择移植或扩展到具有高性价比的开放源码软件。例如，开放源码数据库 MySQL 近年来的用户量发展迅猛，其中包括思科、西门子、法国空中客车、美国宇航局等大企业和研发机构。据称全球有超过 1 亿份的 MySQL 被安装在各种网站上运行并支持关键商业应用。目前 IT 业的发展态势是，任何软硬件的龙头企业都不敢在开放源码软件环节上脱钩。否则，边缘化并落伍出局似乎在所难免。业界专家认为全球的 Linux 产业链业已形成（参见 2008 年 4 月由国际权威 IT 业咨询公司 IDC 发布的白皮书）。

另一方面，市场上各种各样新型嵌入式系统装置在智能家电、电信与网络设备、汽车电子设备、医疗仪器、工业控制等产品中，数量上已经超过常规的电脑设备。伴随着的是嵌入式产品在市场拉动下超常规增长，软件附加值急速上升。目前嵌入式操作系统的主流平台有 Linux、Palm OS、VxWorks、WinCE 等。由于 Linux 在代码公开、软件实时性、资源耗费少、适用多种硬件架构（如 ARM、X86、MIPS、PowerPC、SH）等方面的优异综合指标，相关产品已经形成了相当规模的市场，如基于 Linux 的智能手机市场份额排名第二（23%），比微软 WinCE 市场份额（17%）要高（根据国际咨询公司 TDG 的 2006 年研究报告数据）。可以展望，嵌入式系统在其他产品的创新应用前景十分广阔，如带有健康状态监护器的手表或服装有可能在不远的将来进入我们的生活。

在计算机网络化无所不在、智能化、个性化等发展趋势的强劲推动下,业界对开源软件人才的需求不断提升。考虑到中国是家电、玩具、服装等日用品的第一生产大国,可以预期中国对嵌入式系统开发的人才需求是巨大的。由此可见,对于在校学生群体(如信息类或计算机类为背景的大学本科及研究生)而言:“学习并掌握一门开放源码软件平台已经成为计算机人才市场上具有独特竞争力的‘通行证’或‘入场券’。”强调“独特竞争力”是由于目前国内外 IT 劳力市场极缺具有开放源码软件开发能力的人才。如果将软件人才分布按照金字塔方式排列,那么占多数的而仅熟悉微软平台开发的人员将位于金字塔的底层部分,而掌握开放源码软件的人才可以被列入人才金字塔的中上部。由于开放源码软件日益得到诸多行业的认可,其业务发展蒸蒸日上,因此具有开放源码软件开发背景的人才在就业市场上更易脱颖而出。一般说来,掌握开源软件的人才易于进入嵌入式系统开发工作。这是由于开源软件更有利于软件人员掌握软硬件的内核架构。

中国在这样潜在巨大的软件人才市场需求下,大学生就业却处于矛盾的局面:一方面,大学生为就业机会年年下滑而苦恼。“在我国失业人口中,大学生的比例不断上涨,现在已经超过了 15%”(引自黄孟复政协副主席 2008 年 4 月 19 日讲话)。另一方面,我们的教学课程设置与内容又与企业需求和发展在许多方面不接轨。针对就业与创业人才培养开展教育,尚未成为多元化高等教育战略发展目标之一。我们的大学应该为促进学生的就业与创业能力提供什么样的知识内容?这值得教育工作者的思考。

读了马龙华教授编著的这本教材后备感欣慰。在国际上这是第一本关于将科学计算软件与嵌入式系统相结合的教材。这种在教材编写方面上的原始创新是极有意义的。这本教材将科学计算软件引入嵌入式系统,为在复杂嵌入式系统的智能化功能开发方面提供了更为便捷的平台。可以设想这种平台将会加快诸如带视听功能的智能玩具或盲人阅读器式手机等高附加值类产品的开发。此外,面对我们教育部门无形中成为微软产品免费培训机构的局面,马龙华教授全部选择了开放源码软件(Scilab 与 Linux)和开放标准(ARM)为教学平台。在这样的平台中学习,我们的教学不再会发生所谓“侵权”问题。更为重要的是,同学们学习中的创造成果可以被转化为既具“自主性”而又“本土化”的商业软件产品。嵌入式系统本身“小而专”的特点将会大大增加这种成功几率。毋庸置疑,中国学生是优秀的。当摆脱了盗版应用的枷锁,他们的创新潜能将被充分地激发。在这样背景下,马龙华教授结合国情发展编写教材,值得尊重。

最后,在未来腾飞的中国软件业发展中,希望看到更多年轻人成为开放源码软件或嵌入式系统中的高手。虽然在学习开源软件中可能会遇到各种各样的问

题，但是当跨越这个门槛后，在他们面前开拓的将是一个极利于提高创造力的广阔空间。

是为序。

胡包钢

中国科学院自动化研究所

2008年5月4日于北京

前 言

嵌入式系统在众多工业领域扮演着越来越重要的角色,但是因嵌入式系统的资源受限,导致在嵌入式系统上很难实现复杂计算算法。此外,当前嵌入式系统设计阶段和实现阶段的分离现状,致使嵌入式系统开发耗时且昂贵。为解决这些问题,本书提出了一种低成本、可重复使用且可重构的嵌入式系统设计与实现集成开发环境。为了减少成本,该集成环境全部是采用自由和开放源代码软件,如 Linux 操作系统和 Scilab 计算平台等。本书研究将 Scilab 科学计算软件移植到嵌入式 ARM-Linux 系统中,并且集成开发了 Scilab-DAQ 数据采集工具包,支持串行接口、以太网和 Modbus 现场总线等协议,使复杂嵌入式系统的快速低成本开发成为可能。

本书主要分为四部分:嵌入式系统基础、嵌入式 Linux 环境搭建、嵌入式 Linux 应用程序开发和嵌入式计算平台构建。

第一部分:嵌入式系统基础。该部分对嵌入式系统作了概述,介绍了嵌入式硬件平台、嵌入式软件平台及 ARM 体系结构,对 ARM 微处理器的分类作了描述,同时从实用的角度对 ARM 处理器的选型进行了总结。对 Linux 的常用命令、系统结构、系统内核、文件系统和实时性进行了详细的描述,最后以 EP9315 芯片为核心的开发板为例,进行 Linux 操作系统的裁剪和移植。

第二部分:嵌入式 Linux 环境搭建。该部分对 Buildroot 和 Scratchbox 两种工具包制作交叉编译器及 Minicom、TFTP 和 NFS 等嵌入式开发工具进行介绍,然后详细地分析了如何移植嵌入式图形用户界面 TinyX 及嵌入式窗口管理器 JWM,并给出了移植该软件到 ARM-Linux 平台的流程。

第三部分:嵌入式 Linux 应用程序开发。介绍了嵌入式应用程序开发流程、GCC 编译器、Make 管理工具和 GDB 调试器。介绍了如何开发嵌入式图形界面,给出了 Xlib 库、GTK+ 和 TCL/TK 三种嵌入式图形界面开发工具的应用实例。最后给出嵌入式 Linux 系统的串口和以太网通信编程范例,对现场总线 Modbus 协议进行了介绍,并给出了一个完整的 Modbus 实例。

第四部分:嵌入式计算平台构建。首先介绍了数值计算软件 Scilab,包括 Scilab 基本运算、Scilab 程序设计、Scilab 求解方程、Scicos 建模仿真和扩展 Scilab 等。然后分析了如何移植 Scilab 到 ARM 平台,并给出了使用 Buildroot 交叉编译器移植 Scilab 到 ARM-Linux 平台的详细步骤,实现了嵌入式计算平台,同时给出了制作 Scilab 数据采集工具包的具体步骤。实现了嵌入式 Scilab 计

算平台在 PID 控制系统、模糊控制系统、遗传算法、神经网络、信号处理和语音处理等领域的应用实例。

本书的其他相关信息请关注 <http://www.zjufrontech.com/Scilab>。

本书注重创新性和通用性结合,可以覆盖不同程度的读者,既可以作为嵌入式系统和 Scilab 语言初学者的教材,又可以作为复杂嵌入式系统的高级开发人员的参考书,特别适合在工业控制系统、在线优化系统、图像处理系统、便携式信号分析仪、先进仪器仪表、便携式教学仪器等领域开发具有自主知识产权产品的科研人员。

在本书的写作过程中,得到了北京航空航天大学秦世引教授,中国科学院自动化研究所胡包钢研究员,法国信息与自动化研究院 Claude Gomez 博士、Simone Mannori 博士,中法信息、自动化与应用数学联合实验室法方主任 Stéphane Grumbach 教授、李实博士,浙江大学吴铁军教授等的鼓励与支持。

同时本书中作者的相关研究得到国家自然科学基金“一类具有模糊不确定的鲁棒优化和智能优化方法研究”(60474064),国家 863 计划项目“基于多源光谱融合的便携式水质分析技术研究”(2006AA06Z412)和浙江省自然科学基金(Y107476)的资助,在此一并表示感谢。

由于作者才疏学浅,难免有不少疏漏,还希望读者批评指正。

马龙华 彭 哲

2008 年 3 月于浙江大学求是园

目 录

Preface

序 为什么要学习开放源码软件

前言

第 1 章 嵌入式系统概论	1
1.1 嵌入式系统定义	1
1.2 嵌入式系统硬件平台	2
1.2.1 嵌入式系统硬件平台概述	2
1.2.2 常见的嵌入式系统硬件平台	3
1.3 嵌入式系统软件平台	4
1.3.1 典型的嵌入式操作系统	4
1.3.2 嵌入式 Linux 操作系统优势	6
1.4 嵌入式 ARM 系统的应用	7
第 2 章 嵌入式微处理器 ARM 体系架构	9
2.1 ARM 体系架构	9
2.1.1 ARM 概述	9
2.1.2 ARM 体系架构	9
2.2 ARM 微处理器系列	11
2.2.1 ARM 微处理器分类概述	11
2.2.2 ARM 微处理器分类介绍	11
2.3 常见的 ARM 处理器介绍及选型	14
2.3.1 常见的 ARM 处理器介绍	14
2.3.2 ARM 处理器选型	15
2.4 本书的硬件环境	16
第 3 章 嵌入式 Linux 操作系统	18
3.1 Linux 基础	18
3.1.1 Linux 起源	18
3.1.2 Linux 常用命令	19
3.1.3 Linux 系统结构	19
3.2 Linux 内核	20
3.2.1 Linux 内核的作用	20

3.2.2	Linux 内核的抽象结构	21
3.2.3	Linux 内核源代码的结构	22
3.2.4	Linux 内核的裁剪与编译	24
3.3	Linux 文件系统	24
3.3.1	Linux 文件系统概述	24
3.3.2	Romfs 文件系统	25
3.3.3	JFFS2 文件系统	25
3.3.4	YAFFS 文件系统	26
3.4	Linux 操作系统的实时性提高	26
3.4.1	实时操作系统概述	26
3.4.2	RTLinux 实时操作系统	27
3.4.3	实时应用程序接口	28
3.4.4	实时操作系统小结	29
3.5	Linux 操作系统的 ARM 平台移植	29
3.5.1	嵌入式操作系统移植概述	29
3.5.2	创建 zImage 及 redboot	30
3.5.3	创建嵌入式 Linux 文件系统	31
第 4 章	构建嵌入式系统开发环境	32
4.1	嵌入式系统开发环境概述	32
4.2	使用 Buildroot 制作交叉编译器	33
4.2.1	Buildroot 介绍	33
4.2.2	创建 ARM 目标的交叉编译器	33
4.3	使用 Scratchbox 制作交叉编译器	36
4.3.1	Scratchbox 介绍	36
4.3.2	安装 Scratchbox	37
4.3.3	创建 ARM 目标的交叉编译器	38
4.3.4	使用 Scratchbox	38
4.4	其他相关工具	39
4.4.1	串口通信工具	39
4.4.2	简单文件传输协议	39
4.4.3	网络文件系统	40
第 5 章	移植图形用户界面及窗口管理器	41
5.1	嵌入式系统图形用户界面概述	41
5.2	嵌入式系统图形用户界面举例	41
5.2.1	XFree86 用户界面	41

5.2.2	Microwindows 用户界面	42
5.2.3	Qt/Embedded 用户界面	43
5.2.4	MiniGUI 用户界面	43
5.3	移植图形化用户界面 TinyX	44
5.3.1	TinyX 概述	44
5.3.2	移植 TinyX 到 ARM-Linux 平台	44
5.3.3	在 ARM 平台上运行 TinyX	52
5.4	窗口管理器	54
5.4.1	窗口管理器概述	54
5.4.2	窗口管理器举例	54
5.5	移植窗口管理器 JWM 到 ARM-Linux 平台	59
第 6 章	嵌入式应用程序开发	60
6.1	嵌入式应用程序开发流程	60
6.2	使用 GCC 编译器	61
6.2.1	GCC 介绍	61
6.2.2	GCC 文件后缀约定	61
6.2.3	GCC 执行过程	62
6.2.4	GCC 使用方法及选项	62
6.2.5	GCC 编译常见错误	63
6.3	使用 make 管理工具	64
6.3.1	make 介绍	64
6.3.2	Makefile 规则	65
6.3.3	Makefile 的书写	66
6.3.4	一个简单的 Makefile 例子	67
6.4	使用 GDB 调试器	69
6.4.1	GDB 调试器介绍	69
6.4.2	GDB 调试器使用	70
第 7 章	嵌入式图形界面应用程序开发	73
7.1	基于 Xlib 库开发图形界面应用程序	73
7.1.1	Xlib 库介绍	73
7.1.2	Xlib 库基本 API	73
7.1.3	基于 Xlib 库开发图形界面应用程序实例	77
7.2	使用 GTK+ 开发嵌入式图形界面应用程序	82
7.2.1	GTK+ 及 Glade 介绍	82
7.2.2	使用 GTK+ 编程	83

7.2.3	使用 Glade 设计界面	84
7.2.4	移植 GTK+ 到 ARM-Linux 系统	87
7.2.5	GTK+ 开发图形界面应用程序实例	93
7.3	使用 TCL/TK 开发嵌入式图形界面应用程序	94
7.3.1	TCL/TK 及 Visual TCL 介绍	94
7.3.2	使用 TCL/TK 进行编程	95
7.3.3	移植 TCL/TK 到 ARM-Linux 系统	102
7.3.4	TCL/TK 开发图形界面应用程序实例	104
第 8 章	以太网及串口通信应用程序开发	105
8.1	串口通信应用程序开发	105
8.1.1	串口通信介绍	105
8.1.2	串口操作	107
8.1.3	串口应用程序实例	113
8.2	以太网通信应用程序开发	115
8.2.1	以太网通信介绍	115
8.2.2	以太网操作	115
8.2.3	以太网应用程序实例	118
8.3	Modbus 现场总线应用程序开发	120
8.3.1	Modbus 介绍	120
8.3.2	Modbus 帧的组成	121
8.3.3	Modbus 应用程序实例	126
第 9 章	数值计算软件 Scilab	129
9.1	Scilab 介绍	129
9.2	Scilab 基本运算	130
9.2.1	数据类型	130
9.2.2	基本数值运算函数	135
9.2.3	矩阵相关函数	137
9.2.4	字符串相关函数	139
9.2.5	其他常用函数	141
9.3	Scilab 程序设计	151
9.3.1	循环结构	151
9.3.2	选择结构	152
9.3.3	脚本函数	153
9.3.4	Scilab 绘制图形	154
9.4	使用 Scilab 求解方程	157

9.4.1 求解线性方程组	157
9.4.2 求解非线性方程	158
9.5 使用 Scicos 建模	158
9.5.1 Scicos 介绍	158
9.5.2 使用 Scicos 建模	158
9.6 扩展 Scilab	160
9.6.1 使用 TCL/TK 创建图形界面	160
9.6.2 使用 C 语言扩展接口	160
第 10 章 嵌入式 Scilab 计算平台构建	163
10.1 移植 Scilab 到 ARM 平台	163
10.1.1 移植 Scilab 到 ARM 平台分析	163
10.1.2 移植 Scilab 到 ARM 平台步骤	163
10.2 嵌入式 ARM 系统上运行 Scilab	164
10.2.1 在 ARM 上生成 Scilab Macros	164
10.2.2 在 ARM 上运行 Scilab	165
10.3 创建 Scilab 的数据采集工具箱	166
10.3.1 Scilab 工具箱组成介绍	166
10.3.2 Scilab 数据采集工具包制作	167
第 11 章 嵌入式 Scilab 的复杂计算应用	171
11.1 PID 控制系统	171
11.1.1 PID 控制原理	171
11.1.2 数字 PID 控制算法	172
11.1.3 使用 Scilab 设计 PID 控制系统	174
11.1.4 基于 Scilab 的数字 PID 控制系统举例	178
11.2 模糊控制系统	179
11.2.1 模糊控制介绍	179
11.2.2 模糊理论基础	180
11.2.3 模糊控制系统设计	182
11.2.4 Scilab 模糊控制工具包	185
11.3 遗传算法	194
11.3.1 遗传算法概述	194
11.3.2 遗传算法基本操作	195
11.3.3 遗传算法步骤	202
11.3.4 Scilab 遗传算法工具包	203
11.3.5 遗传算法的应用	206

11.4 神经网络	207
11.4.1 神经网络概述	207
11.4.2 BP 模型网络结构	208
11.4.3 BP 网络学习算法	208
11.4.4 Scilab 神经网络工具包	211
11.5 信号处理与语音处理	213
11.5.1 信号处理	213
11.5.2 语音处理	215
11.6 嵌入式 Scilab 的应用	217
第 12 章 嵌入式其他应用程序开发举例	218
12.1 嵌入式 Web Server 的实现	218
12.1.1 嵌入式 Web Server 概述	218
12.1.2 嵌入式 Web Server Boa 概述	219
12.1.3 嵌入式 Web Server Boa 移植	221
12.1.4 配置嵌入式 Web Server Boa	222
12.1.5 嵌入式 Web Server 的应用	223
12.2 嵌入式数据库应用程序开发	224
12.2.1 嵌入式数据库 Sqlite 概述	224
12.2.2 嵌入式数据库 Sqlite 的移植	226
12.2.3 使用 Sqlite 嵌入式数据库	226
参考文献	228
附录 本书配套光盘说明	229
结束语	230