

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

赖晓晨 王孝良 任志磊 方圆 编著

嵌入式软件设计

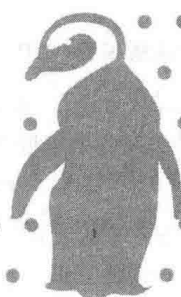


清华大学出版社

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

赖晓晨 王孝良 任志磊 方圆 编著

嵌入式软件设计



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以 ARM 处理器为硬件平台,以应用最广泛的嵌入式 Linux 操作系统为软件平台,全面介绍嵌入式 C 语言程序设计的概念、思想、方法和技巧。本书还介绍了嵌入式系统的仿真设计方法,以期降低读者进行嵌入式学习的难度。

本书内容丰富,紧贴最新技术;以实例为基础讲解知识点,由浅入深,通俗易懂;书中代码及配套课件完整、详尽、严谨、风格统一,读者可直接将代码应用在自己的工程项目中。

本书适合作为嵌入式专业方向的高年级本科生教材,也适用于希望转向嵌入式系统设计的 IT 从业人员;作为学习主流嵌入式系统软件设计的指导教材,本书尤其适合学习了嵌入式硬件基础知识及 C 语言,但是还没有形成嵌入式系统设计完整概念的人员。

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

嵌入式软件设计/赖晓晨等编著.--北京:清华大学出版社,2016

21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

ISBN 978-7-302-42985-2

I. ①嵌… II. ①赖… III. ①微处理器—系统设计—高等学校—教材 ②Linux 操作系统—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP332 ②TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 030477 号

责任编辑:梁 颖 薛 阳

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:24.5 彩 插:2 字 数:601 千字

版 次:2016 年 7 月第 1 版 印 次:2016 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00 元

产品编号:059866-01

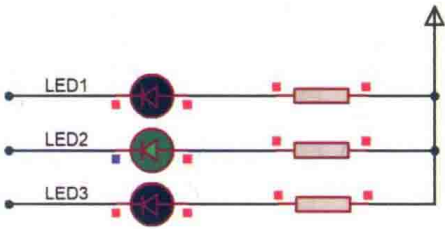


图 9-3 LED 流水灯仿真结果图

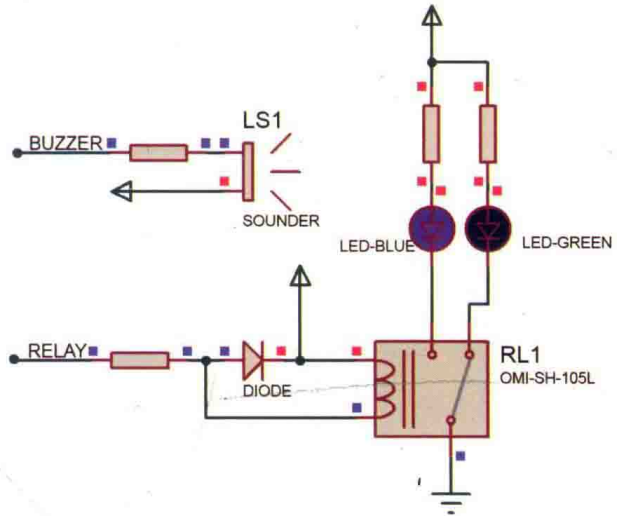


图 9-6 蜂鸣器与继电器电路仿真结果

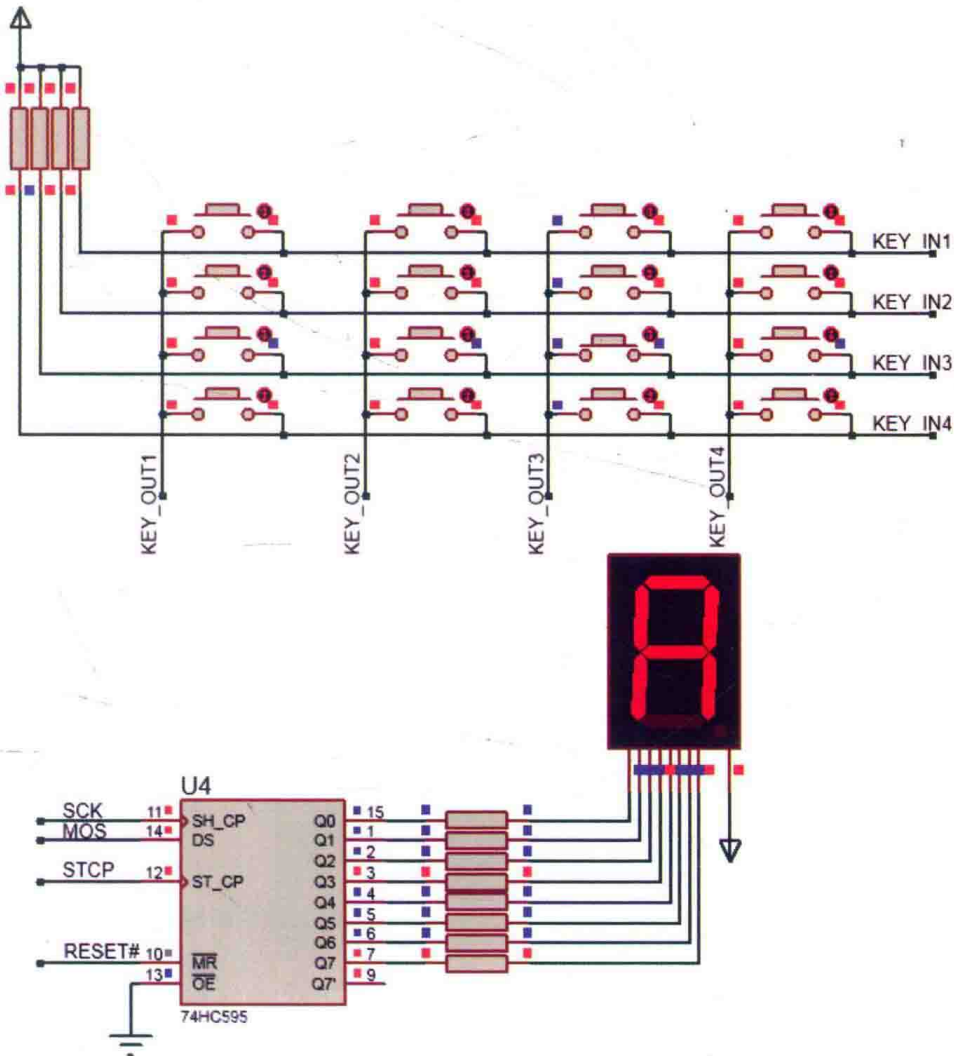


图 9-11 键盘仿真结果图

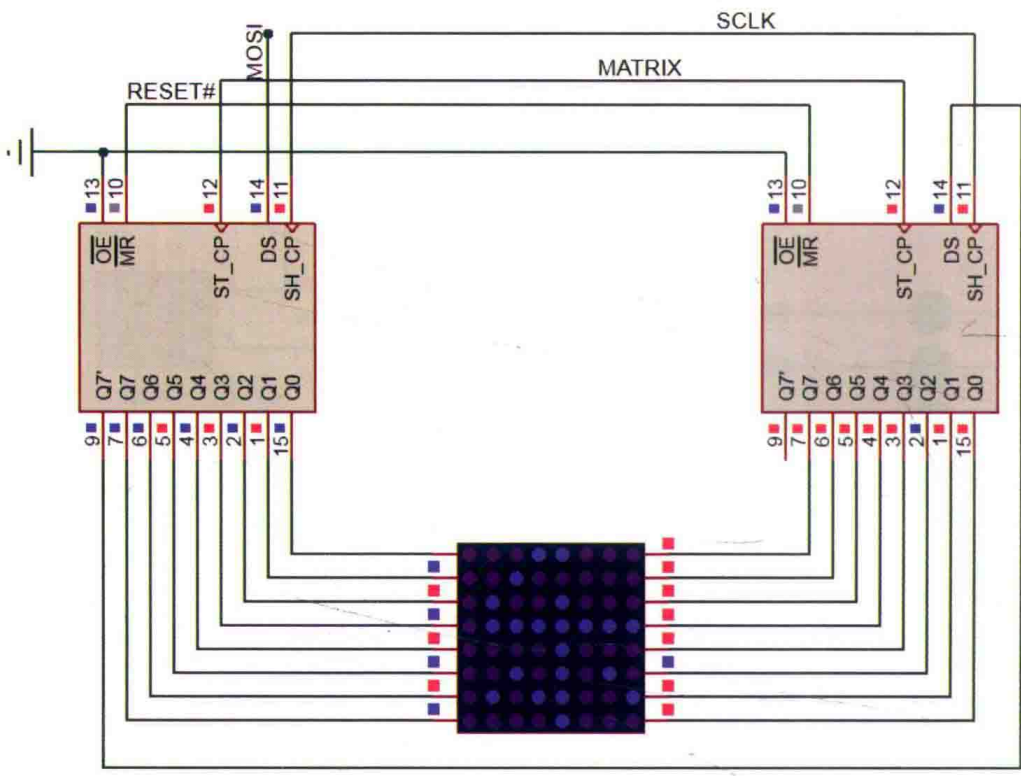


图 9-14 LED 点阵仿真结果图

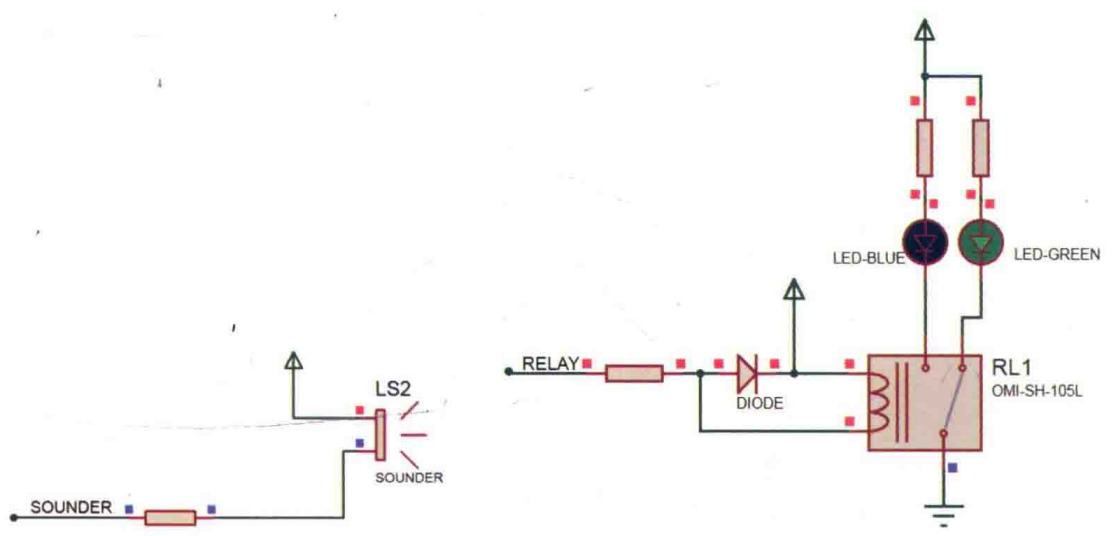


图 9-16 PWM 音乐播放仿真电路图

图 9-26 未触发中断时继电器状态

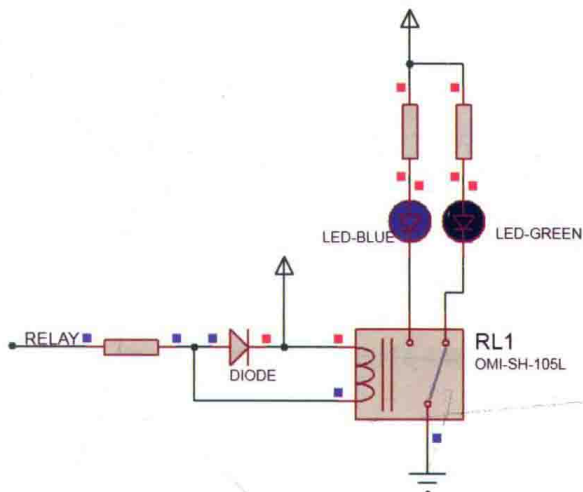


图 9-27 触发中断时继电器状态

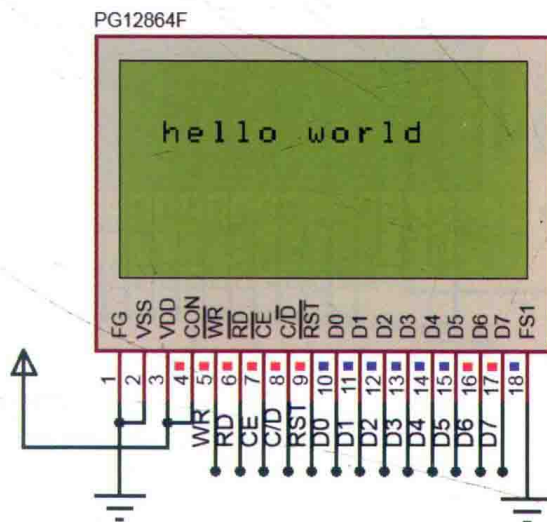


图 9-29 PG12864F 仿真字符串显示结果

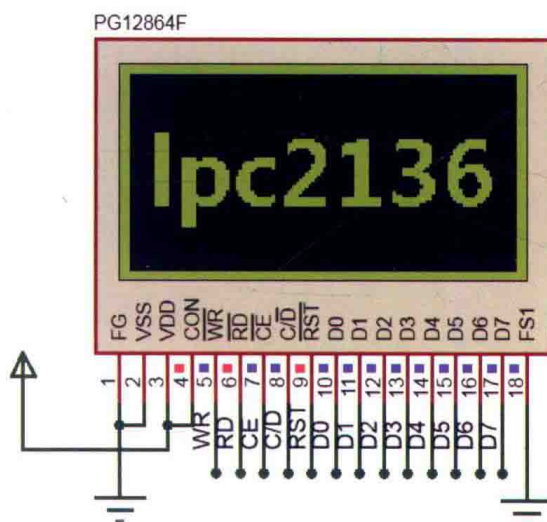


图 9-30 PG12864F 仿真图片显示结果

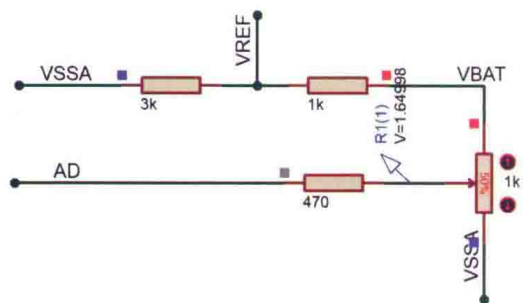


图 9-32 A/D 转换仿真结果图

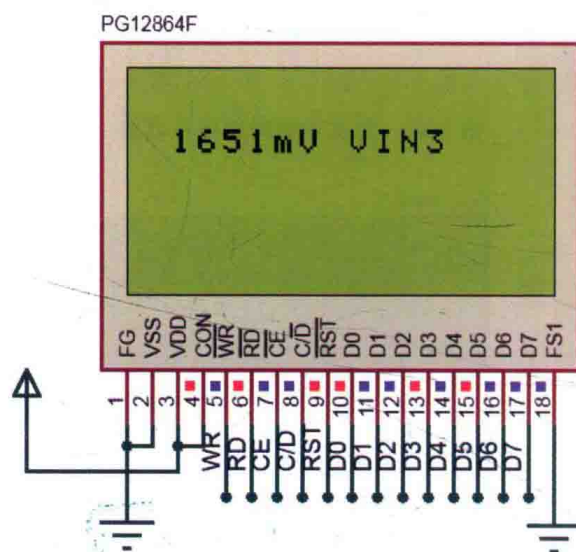


图 9-33 A/D 转换仿真 LCD 结果显示图

出版说明

嵌入式计算机技术是 21 世纪计算机技术两个重要发展方向之一,其应用领域相当广泛,包括工业控制、消费电子、网络通信、科学研究、军事国防、医疗卫生和航空航天等方方面面。我们今天所熟悉的电子产品几乎都可以找到嵌入式系统的影子,它从各个方面影响着我们的生活。

技术的发展和生产力的提高,离不开人才的培养。目前国内外各高等院校、职业学校和培训机构都涉足了嵌入式技术人才的培养工作,高校及其软件学院和专业的培训机构更是嵌入式领域高端人才培养的前沿阵地。国家有关部门针对专业人才需求大增的现状,也着手开发“国家级”嵌入式技术培训项目。2006 年 6 月底,国家信息技术紧缺人才培养工程(NITE)在北京正式启动,首批设定的 10 个紧缺专业中,嵌入式系统设计与软件开发和软件测试等 IT 课程一同名列其中。嵌入式开发因其广泛的应用领域和巨大的人才缺口,其培训也被列入国家商务部门实施服务外包人才培训“千百十工程”,并对符合条件的人才培训项目予以支持。

为了进一步提高国内嵌入式系统课程的教学水平和质量,培养适应社会经济发展需要的、兼具研究能力和工程能力的高质量专业技术人才。在教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议下,清华大学出版社与国内多所重点大学共同对我国嵌入式系统软硬件开发人才培养的课程框架和知识体系,以及实践教学内容进行了深入的研究,并在该基础上形成了“嵌入式系统教学现状分析及核心课程体系研究”、“微型计算机原理与应用技术课程群的研究”、“嵌入式 Linux 课程群建设报告”等多项课程体系的研究报告。

本系列教材是在课程体系的研究基础上总结、完善而成,力求充分体现科学性、先进性、工程性,突出专业核心课程的教材,兼顾具有专业教学特点的相关基础课程教材,探索具有发展潜力的选修课程教材,满足高校多层次教学的需要。

本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本组织原则和特点。

(1) 反映嵌入式系统学科的发展和专业教育的改革,适应社会对嵌入式人才的培养需求。教材内容坚持基本理论的扎实和清晰,反映基本理论和原理的综合应用,在其基础上强调工程实践环节,并及时反映教学体系的调整 and 教学内容的更新。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点。规划教材建设把重点放在专业核心(基础)课程的教材建设上;特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现工程型和应用型的专业教学内容和课程体系改革成果的教材。

(4) 支持一纲多本,合理配套。专业核心课和相关基础课的教材要配套,同一门课程可以有多个具有各自内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化,基本教材与辅助教材、教

学参考书,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源的配套。

(5) 依靠专家,择优落实。在制定教材规划时依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主编。书稿完成后认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业、提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的、以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

联系人: 魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

人与计算机的关系经历了3个阶段,分别为多人共用一台计算机阶段、个人计算机阶段以及普适计算阶段。当前,人类社会正在从第二阶段步入第三阶段,每个人实际都拥有多台计算机,其中绝大部分为嵌入式计算机,例如手机、智能家电和电子玩具等。旺盛的社会需求对嵌入式人才培养提出了更高的要求,需要教育工作者培养出更多具有创新精神的嵌入式设计人才。

本书作者自2005年以来,一直在大连理工大学软件学院讲授“嵌入式系统程序设计”课程,教学内容为介绍基于ARM处理器/嵌入式Linux操作系统的C语言程序设计方法。2009年,本书作者于清华大学出版社出版了《嵌入式系统程序设计》一书,作为课程教材使用,摆脱了没有授课教材的窘境。嵌入式方向作为计算机领域的一个分支,发展速度非常快。在硬件方面,处理器不断更新;在软件方面,新的技术和设计工具不断涌现。在近几年的教学过程中,作者迫切感觉到教材需要实时更新,以反映当前的主流技术发展方向,因此,从2014年开始撰写本书。

本书撰写基于以下思路。首先,没有任何一个设备能涵盖所有嵌入式系统的典型应用。由于受条件限制,具体设备也容易成为读者的学习障碍,所以本书注重于讲清基本原理,弱化具体设备。其次,为了简化嵌入式系统设计流程,本书介绍了使用嵌入式仿真软件进行系统设计的方法及典型案例,读者只要有一台个人计算机,即可通过编程对嵌入式硬件直接控制。最后,本书用到的所有工具软件和提及的所有技术,都选用了当前最新版本,力争为读者呈现出这些软件与技术的最新状态。

《嵌入式系统程序设计》可视作本书的第一版,与其相比,本书做了大幅更新,主要有以下几个方面。第一,删去了涉及具体设备的原书第7章及2.4节,尽量弱化设备因素,降低读者学习门槛;第二,增加了对不同型号处理器的介绍,例如LPC2136、S3C2440等处理器,给读者提供更广阔的学习空间;第三,鉴于嵌入式操作系统在底层起到的重要作用,本书专门用一章来描述各种版本嵌入式Linux系统的构建方法;第四,对嵌入式Linux编程技术进行了更全面的介绍,专门用一章介绍IPC编程机制;第五,设备驱动程序是嵌入式系统编程的特色内容,将其单独列为一章介绍;第六,介绍了基于Proteus的嵌入式系统仿真设计;第七,本书的附录部分也做了大幅修改和补充。读者可通过网络下载。基于以上变动,本书相比第一版,增加了100余页内容,并对每一节都做了不同程度的更新。

本书大部分内容来自于作者的教学实践,另有部分内容参考了其他相关书籍以及网络上的资料,作者已尽量在参考文献中列出来源。由于本书编写过程漫长,且初期资料整理缺乏条理,因此有部分资料,现已无法找到准确的出处,在此向各位作者致歉,并请相关作者和本人联系以便再版时致谢。

为了保持正文叙述的流畅性,在编写过程中,作者刻意把一些背景和细节内容安排到附录中,供没有基础的读者查询。为简便起见,对于书中涉及的函数,除对函数原形进行说明的部分之外,在叙述时省略了参数;书中的代码,除用以说明程序结构的框架代码之外,都

可以通过编译,能够正常运行,并采用 GPL 许可证;所有操作步骤,都有详细解释;重要步骤有截图供参考;如果读者采用相同的开发环境,可以顺利完成书中介绍的每一项操作。

本书详细描述了嵌入式软件领域的主要概念、程序设计思想、编程流程和方法以及仿真设计,并对大量相关工具软件做了介绍。本书可以作为大学本科嵌入式方向 3 年级、4 年级学生或研究生的教材使用,也可以作为嵌入式行业工程师的参考手册使用。

本书的编写,历时将近两年,在这个过程中,得到了很多人的帮助,在此向大家致以衷心的感谢!首先感谢清华大学出版社梁颖主任对我工作的长期支持,以及对本书内容和结构设计方面提出的宝贵意见;感谢任延飞、孟伟、陈超凡等同学在本书撰写过程中做的具体而重要的工作;感谢大连理工大学的同事们给我工作上和生活上的关心与支持,尤其是教务处领导和同事们的支持;感谢我的爱人对我的理解及在生活中的照顾;最后,也是最重要的,感谢我曾经的和将来的学生们,是你们带给了我工作的乐趣和动力!

由于作者经验有限,加之时间仓促,书中不可避免会有很多不足之处,请读者不吝批评指正。所有关于本书的意见,请发送电子邮件到 laixiaochen@dlut.edu.cn 信箱,希望在和读者交流的过程中能有所裨益。

编 者

2016 年 4 月于大连

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 嵌入式系统概述	1
1.1.1 计算机的发展和分类	1
1.1.2 嵌入式系统概览	1
1.1.3 嵌入式系统的组成	2
1.1.4 嵌入式系统的发展	6
1.2 嵌入式系统开发流程	7
1.3 嵌入式软件设计	8
1.3.1 嵌入式系统开发语言	8
1.3.2 嵌入式系统的开发工具	10
1.4 本书内容简介	12
第 2 章 预备知识	14
2.1 ARM 体系结构	14
2.1.1 ARM 体系结构简介	14
2.1.2 ARM 指令集	21
2.1.3 S3C44B0X 嵌入式处理器	29
2.1.4 LPC2136 嵌入式处理器	31
2.1.5 S3C2410X 嵌入式处理器	32
2.2 Linux 操作系统	33
2.2.1 Linux 操作系统的历史	33
2.2.2 Linux 操作系统的特点	35
2.2.3 Linux 版本	36
2.2.4 Linux 的安装	39
2.3 Linux 操作系统基础操作	39
2.3.1 shell	39
2.3.2 常用 shell 命令	41
第 3 章 嵌入式 Linux 开发环境	45
3.1 交叉开发环境	45
3.2 Linux 开发工具链	46
3.2.1 Linux 开发工具链简介	46
3.2.2 GNU 交叉开发环境的建立	48

3.3	编辑器	50
3.4	编译器	53
3.4.1	gcc 简介	53
3.4.2	gcc 的基本用法	54
3.5	链接器	57
3.6	调试器	60
3.7	自动化编译配置文件	68
3.7.1	自动化编译配置文件简介	68
3.7.2	Makefile 规则	71
3.7.3	Makefile 的变量	80
3.7.4	Makefile 的执行	89
3.7.5	make 内嵌函数	93
3.7.6	make 的常见错误信息	102
第 4 章	嵌入式操作系统平台构建	104
4.1	嵌入式操作系统的构建	104
4.2	BootLoader	105
4.2.1	BootLoader 概述	105
4.2.2	BootLoader 框架	107
4.2.3	BootLoader 代码分析	109
4.2.4	vivi	111
4.3	内核编译	114
4.3.1	μ CLinux 操作系统简介	114
4.3.2	μ CLinux 操作系统内核编译	117
4.3.3	嵌入式 Linux 操作系统 2.4 版本内核编译	119
4.3.4	嵌入式 Linux 操作系统 2.6 版本内核编译	122
4.4	BusyBox	123
4.5	文件系统	127
4.5.1	Linux 系统中常见的文件系统	128
4.5.2	构建 YAFFS2 文件系统	131
4.6	应用程序设计流程	131
4.6.1	交叉编译	131
4.6.2	执行程序	132
第 5 章	嵌入式 C 语言基础	137
5.1	嵌入式 C 语言概述	137
5.1.1	C 语言的历史和特点	137
5.1.2	预处理指令	139
5.1.3	位运算	147

5.1.4	函数指针	148
5.1.5	C 程序的移植	150
5.2	GNU C 扩展	153
5.3	嵌入式 C 程序架构	157
5.3.1	嵌入式 C 程序	157
5.3.2	人机界面	160
5.3.3	指针的使用方法	161
5.4	ARM C 程序设计优化	162
5.4.1	编译器的特性	163
5.4.2	数据类型对程序效率的影响	163
5.4.3	循环方式对程序效率的影响	164
5.4.4	指针对程序效率的影响	165
5.4.5	边界对齐对程序效率的影响	166
5.5	硬件编程	167
5.6*	C 语言编程规范	169
5.6.1	排版	170
5.6.2	注释	173
5.6.3	命名规则	176
5.6.4	可读性	177
5.6.5	变量和结构	178
5.6.6	函数	178
5.6.7	程序效率	179
第 6 章	嵌入式 Linux 程序设计基础	181
6.1	错误处理机制	181
6.1.1	C 语言的错误处理机制	181
6.1.2	系统日志文件	188
6.2	文件和内存操作	191
6.2.1	文件操作	191
6.2.2	目录操作	196
6.2.3	内存操作	200
6.3	进程控制	202
6.3.1	创建进程	202
6.3.2	exec 系统调用	204
6.3.3	等待进程结束	205
6.3.4	杀死进程	209
6.4	线程控制	209
6.4.1	线程概述	209
6.4.2	多线程程序设计方法	210

6.4.3	线程同步	216
6.4.4	线程属性	224
6.4.5	线程取消	226
6.5	Linux 库	228
6.5.1	Linux 库概述	228
6.5.2	库操作工具	229
6.5.3	静态库	231
6.5.4	共享库	232
6.5.5	动态链接库	233
第 7 章	嵌入式 Linux 程序设计进阶	237
7.1	信号	237
7.1.1	信号概述	237
7.1.2	信号相关函数	237
7.1.3	信号集相关函数	244
7.1.4	其他信号相关函数	246
7.2	管道	249
7.2.1	无名管道	249
7.2.2	有名管道	251
7.3	信号量	252
7.3.1	信号量概述	252
7.3.2	信号量相关函数	252
7.3.3	信号量处理函数程序示例	254
7.4	共享内存	257
7.4.1	共享内存简介	257
7.4.2	共享内存操作函数	257
7.4.3	共享内存程序示例	258
7.5	消息队列	262
7.5.1	消息队列简介	262
7.5.2	消息队列操作函数	262
7.5.3	消息队列程序示例	264
第 8 章	嵌入式 Linux 内核驱动程序设计	267
8.1	Linux 内核模块	267
8.1.1	Linux 内核模块概述	267
8.1.2	Linux 内核模块实例	268
8.1.3	Linux 内核模块实现机制	273
8.2	Linux 驱动程序工作原理	275
8.2.1	设备驱动程序概述	275

8.2.2 设备驱动程序接口	278
8.3 Linux 内核虚拟驱动程序设计实例	282
8.3.1 Linux 2.4 内核虚拟驱动程序	282
8.3.2 Linux 2.6 内核虚拟驱动程序	285
8.4 ARM7/ μ CLinux 驱动程序设计实例	288
8.5 ARM9/Linux 2.4 内核驱动程序设计实例	295
8.5.1 蜂鸣器驱动程序设计实例	295
8.5.2 ADC 驱动程序设计实例	300
8.5.3 中断驱动程序设计实例	306
8.6 ARM9/Linux 2.6 内核驱动程序设计实例	312
8.6.1 按键驱动程序设计实例	312
8.6.2 PWM 驱动程序设计实例	321
第 9 章 基于 Proteus 的硬件仿真	329
9.1 LED 流水灯	329
9.1.1 工作原理	329
9.1.2 电路介绍	329
9.1.3 软件设计	330
9.1.4 Proteus 仿真	331
9.2 蜂鸣器与继电器	332
9.2.1 工作原理	332
9.2.2 电路介绍	333
9.2.3 软件设计	333
9.2.4 Proteus 仿真	334
9.3 键盘与数码管	335
9.3.1 工作原理	335
9.3.2 电路介绍	338
9.3.3 软件设计	339
9.3.4 Proteus 仿真	341
9.4 LED 点阵	342
9.4.1 工作原理	343
9.4.2 电路介绍	343
9.4.3 软件设计	344
9.4.4 Proteus 仿真	347
9.5 PWM 音乐播放	347
9.5.1 工作原理	348
9.5.2 电路介绍	348
9.5.3 软件设计	348
9.5.4 Proteus 仿真	351

9.6	UART	351
9.6.1	工作原理.....	351
9.6.2	电路介绍.....	352
9.6.3	软件设计.....	354
9.6.4	Proteus 仿真	355
9.7	中断	357
9.7.1	工作原理.....	358
9.7.2	电路介绍.....	358
9.7.3	软件设计.....	358
9.7.4	Proteus 仿真	359
9.8	点阵型 LCD	360
9.8.1	工作原理.....	360
9.8.2	电路设计.....	367
9.8.3	软件设计.....	367
9.8.4	Proteus 仿真	372
9.9	A/D 转换器	373
9.9.1	工作原理.....	373
9.9.2	电路设计.....	374
9.9.3	软件设计.....	374
9.9.4	Proteus 仿真	375
参考文献.....		377