

ARM Linux 入门与实践

【博客藏经阁丛书】

——基于TI AM335X处理器

程昌南 沈建华 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

ARM Linux 入门与实践

【博客藏经阁丛书】

——基于TI AM335X处理器

程昌南 沈建华 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书可以算是《ARM Linux 入门与实践——一个嵌入式爱好者的自学体验》的姊妹篇,但因将三星 ARM9 处理器 S3C2410 改成了 TI 的 Cortex-A8 处理器 AM335x,所以除保留了前一本书的思路及少部分章节外,大部分的内容都做了修改。

本书分为三篇:ARM 硬件、ARM 前后台系统、基于 Linux 系统的应用。第一篇 ARM 硬件,包括 TI 官方评估板 ARM335x Starter Kit 的硬件分析和评估板入门指南;第二篇 ARM 前后台系统,包括 TI 官方无操作系统平台下的应用库——StarterWare 开发环境搭建及应用分析、启动代码分析、Boot 源代码分析、LCD 和触摸屏源代码分析、前后台系统应用等;第三篇 Linux 系统的应用,包括基于 PC 的操作、应用编程和驱动、嵌入式 Linux 开发环境创建、嵌入式 Linux 驱动开发和网络编程等。

本书可作为有志于掌握 ARM、Linux 等嵌入式技术的高等学校学生和从事相关技术工作的工程师的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

ARM Linux 入门与实践:基于 TI AM335x 处理器 / 程昌南, 沈建华编著. — 北京:北京航空航天大学出版社, 2018.3

ISBN 978-7-5124-2646-7

I. ①A… II. ①程… ②沈… III. ①Linux 操作系统
IV. ①TP316.85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 020311 号

版权所有,侵权必究。

ARM Linux 入门与实践——基于 TI AM335x 处理器

程昌南 沈建华 编著

责任编辑 杨 昕

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@buaacm.com.cn 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装

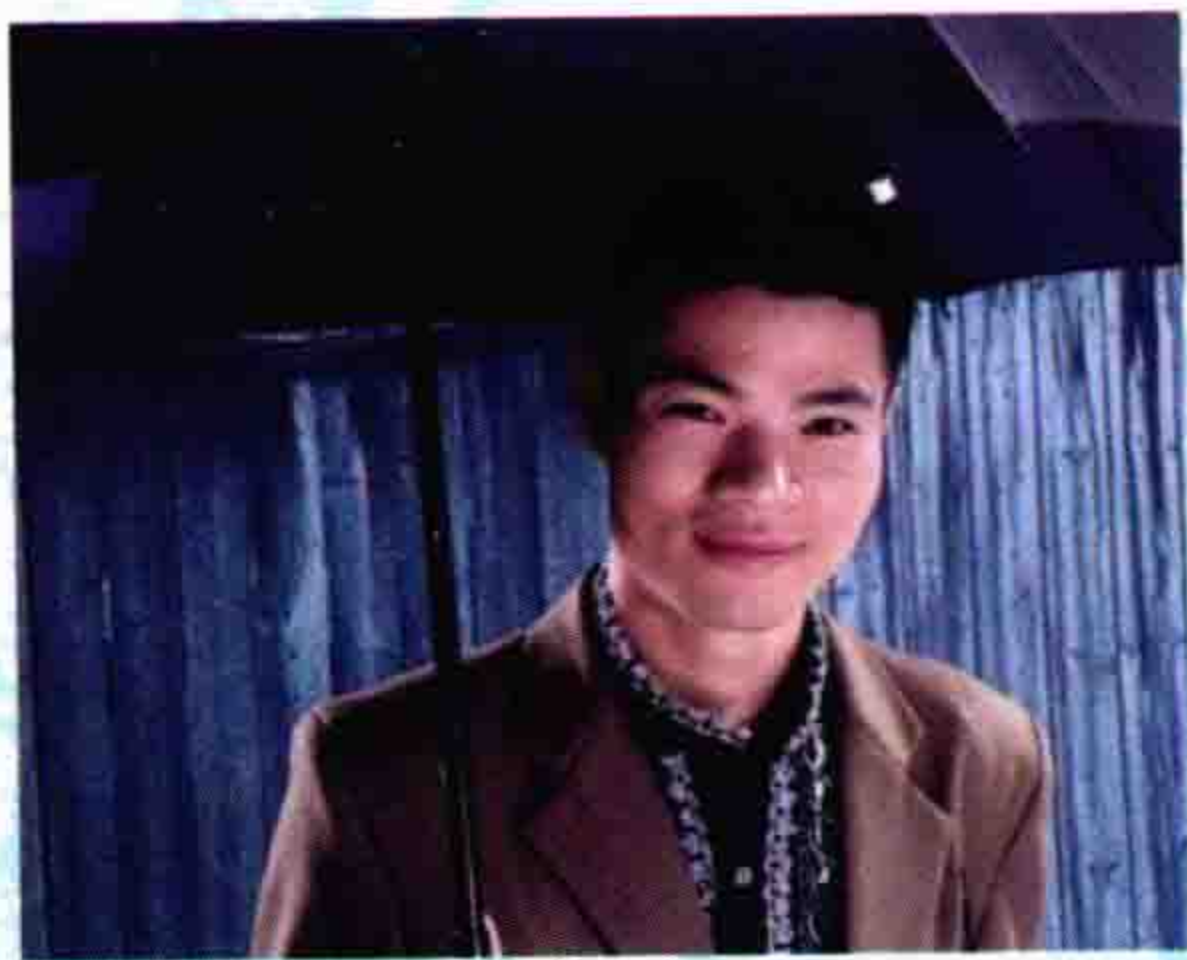
各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:26.25 字数:559 千字

2018 年 3 月第 1 版 2018 年 3 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-2646-7 定价:69.00 元



程昌南 [网名 阿南]

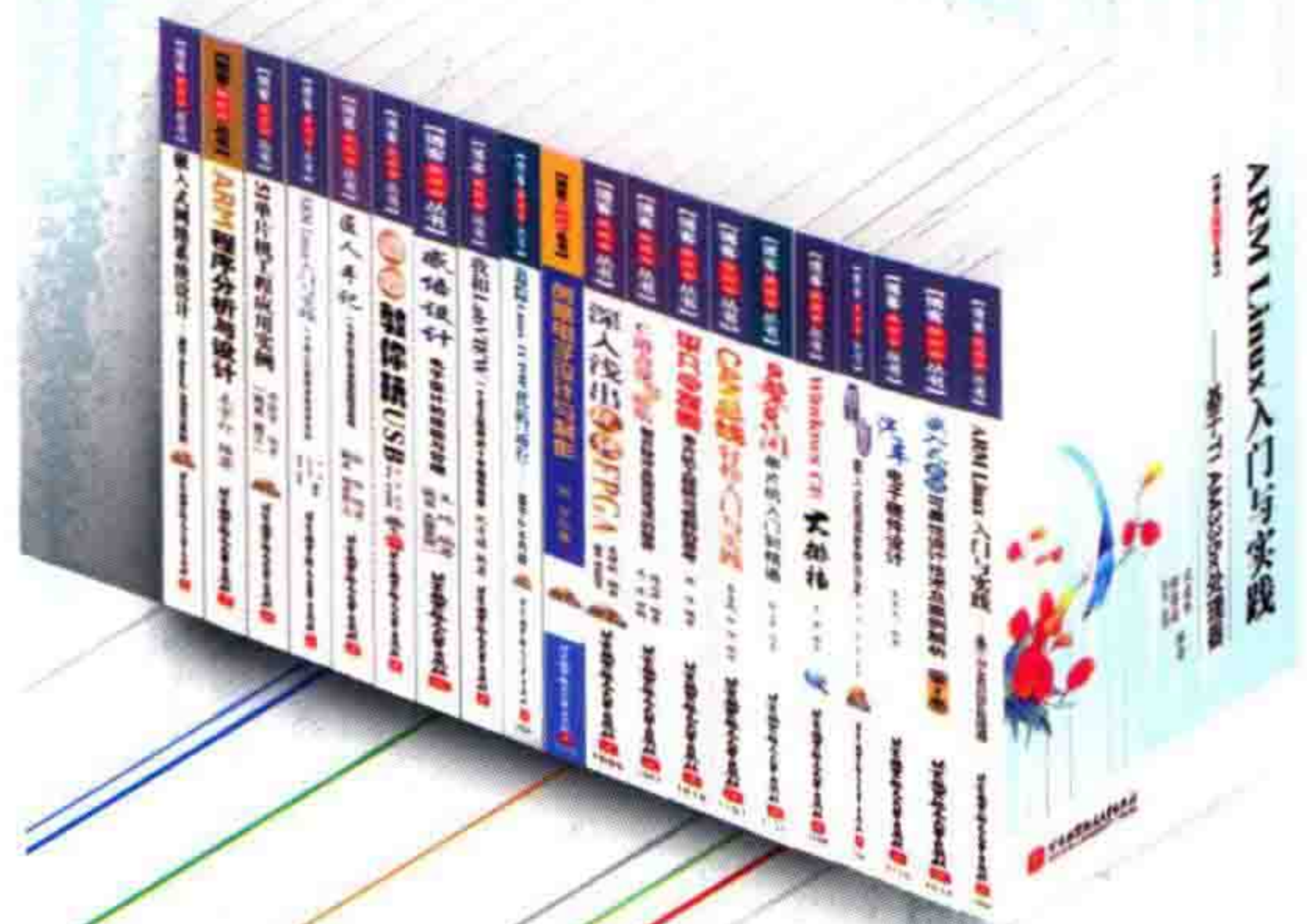
2000年开始自学单片机，2003年获得全国大学生电子竞赛全国一等奖，2004年大学毕业即开始从事基于ARM Linux等嵌入式软件、硬件技术的产品开发，熟悉51系列、STM32等单片机，三星、NXP和海思系列的ARM处理器，从事过音视频传输控制、车载GPS、无人机和机器人等多个行业，著有《ARM Linux入门与实践——一个嵌入式爱好者的自学体验》、《ARM Cortex-A8硬件设计DIY》。

博客藏经阁丛书

—— 技术博客也能集结成书

藏
经
阁

中国人气最旺的单片机与嵌入式系统博客
拥有忠诚的网络读者和亲密无间的合作伙伴
拥有每天上万次网页展示和上千个IP点击
.....



实践性
应用性
原创性.....

让读者耳目一新，在轻松的交流
过程中获得共鸣

丛书编辑热线：010-82317035

E-mail: hxbpress@gmail.com

前 言

1. ARM 和 Linux 的学习体会

如何才能学好并尽快上手 ARM 和 Linux? 这是很多初学者想问的,也是曾经在网上热烈讨论过的。其实学习没有捷径,不管您是否特别聪明,主要还是取决于您的态度和一定的方法,嵌入式 ARM 和 Linux 的学习也一样。在此笔者想根据自己在自学 ARM 与 Linux 过程中的体会并结合网上的讨论做一下总结。

对于 ARM 的学习,如果您已经有了单片机或计算机结构的基本知识,并且也有了 C 语言的基础,那么上手还是比较容易的。首先,应该了解一下 ARM 的体系结构,它有哪些版本,哪些模式,哪些寄存器、异常等,这方面的内容可以参考《ARM 体系结构与编程》一书。这本书介绍的内容还是比较全面的,可以先快速地浏览,特别是汇编指令不需要记住,以后应用时再查。其实很多内容笔者也早已经忘记,但并不妨碍正常理解和应用 ARM。其次,选定一种具体厂家型号的 ARM 处理器,学习该处理器相关开发工具的使用,如开发环境、仿真器及评估板等。然后,可以分析该处理器的外围扩展方法,如 SDRAM、NAND Flash、NOR Flash、SD 卡等,一般官方或第三方都会提供原理图,可以尝试分析原理图。接着,要理解该处理器的启动过程,尝试从一块裸板逐步运行自己的应用程序,也可以参考官方的启动代码及例程。最后,就可以调试、测试该处理器的各种外围部件,如定时器 PWM、串口、LCD 等,特别是中断及执行过程。

对于 Linux 的学习,尽管我们最终应用的是嵌入式 Linux,但还是要先在 PC 下学习,原因是,无论基于 PC 还是嵌入式处理器,其 Linux 开发、编程、调试等都是相近的,而 PC 的性能、资源等都更加丰富,嵌入式 Linux 的开发环境通常也都建立在 PC 的 Linux 环境下,同时有大量 Linux 的相关专著、编程书籍等都是针对 PC 编写的。至于学习的顺序,笔者觉得应该先在 PC 上安装一种常用的 Linux 发行版系统(以前是 RedHat,现在常用 Ubuntu),再买一两本相应的入门书籍,熟悉一下 Linux 环境,学习常用的命令和操作(不一定多,基本、常用的就可以,以后在使用过程中再慢慢积累),理解 Linux 下的目录结构与作用等。其次,学习在 Linux 环境下编程,《GNU/Linux 编程指南》或《UNIX 环境高级编程》都可以,它们都是非常经典的专著,对文件描述符的概念,打开、读、写等操作的系列基础知识都有介绍,如果没有这

些基础而直接看《Linux 设备驱动程序》会觉得困难。再次,拿本内核的书翻翻,了解一下 Linux 内核源代码树的目录结构、编译等。最后,学习《Linux 设备驱动程序》,理解驱动程序的结构框架等。根据实际需要,读者也可学习网络编程和图形用户界面 GUI 编程,比较权威的书是《UNIX 网络编程》和《C++ GUI QT4 编程》;另外由于 QT GUI 是基于 C++ 的,所以需要学习 C++ 的知识,可参考《C++ 程序设计教程》一书。如果不想学 C++,也可以选择其他如 MicroWindows、MiniGUI 等。有了 PC 的 Linux 基础及编程知识后,就可以直接应用于嵌入式系统了!此时需要一个硬件平台(如开发板或直接的产品等目标系统)和该平台的开发环境。开发环境,一般的处理器原厂或第三方都会提供,所以不需要移植。它包括建立在 PC 宿主机上的编译等工具和嵌入式 Linux 内核(包括硬件 BSP 等驱动)源码。此时只需学习开发环境的建立和使用,并将 PC 所学的知识应用于具体的嵌入式平台。如果涉及硬件及驱动,那么应该具备一定的硬件调试和解决问题的能力,此时单片机、ARM 基础知识及外围设备接口的调试能力将起到很重要的作用。很多朋友(包括非电子、自动化专业的朋友)都希望自己将来能从事 Linux 驱动方面的工作,认为学习了 Linux 驱动方面的知识就行了,而往往忽略硬件本身的调试和解决问题的能力,我觉得这是不正确的。因为 Linux 驱动与前后台控制硬件外设的区别只在于它与应用程序的接口,它要按照一定的结构和规则去驱动,这种规则涉及的也就是通常讲的 Linux 的驱动知识和技术。它是固定的,容易掌握的,只要去遵循就不会出问题。而硬件及外设是千变万化的,所涉及的技术是多方面的,除处理器本身外,还有各种接口及协议,数字、模拟技术等,在设计、调试时是很容易出现问题的。此时就要求我们有一定的调试、测试手段和方法。所以笔者认为要想成为一名优秀的 ARM Linux 驱动工程师,首先必须是一名优秀的、具有丰富调试经验的单片机或 ARM 处理器应用工程师,所以希望那些想从事 ARM Linux 底层驱动相关工作的朋友在还没有机会接触 ARM 和 Linux 时,不要对目前的单片机工作产生抵触情绪,因为如果没有一个扎实的单片机基础和调试能力,即使有一个 ARM 和 Linux 的工作机会,您也很难成为这方面最优秀的工程师。

2. 本书的结构与内容

本书共分为三篇,14 章。第 1 章,主要介绍单片机、ARM、Linux 等嵌入式概念, TI AM335x 处理器和开发资源,以及开发调试方法等。第 2 章,主要分析 AM335x 官方开发板的硬件原理及相关的基础知识,如果读者对原理都能认识和理解,那么就拥有了非常扎实的硬件基础。第 3 章,主要介绍官方开发板 AM335x Starter Kit 的入门,包括开发板的使用和仿真调试等。第 4 章,介绍 AM335x 在无操作系统平台下的应用库——StarterWare 的开发方法,这也是官方针对“裸跑”用户提供的,是非常好用的源代码库。第 5 章,启动代码分析,这是 ARM“裸跑”系统非常重要的一部分代码,有助于读者理解 ARM 处理器的工作原理、中断向量表等,也是 ARM 处理器

能否稳定运行的关键。第6章,Boot 源代码分析,该部分代码基于启动代码之上,是具有比较完整功能的引导代码,初学者往往会混淆 Boot 源代码与启动代码两者的概念。第7、8章,分别介绍 LCD 和触摸屏的源代码,LCD 和触摸屏也是常见的两种硬件外设。第9章,主要针对 BeagleBone Black 用户,介绍 StarterWare 在 BeagleBone Black 板上运行时容易出现的问题。第10章,基于前后台系统的应用,主要介绍文件系统和图形界面的开发。第11章,介绍 PC 的 Linux 学习,PC 的 Linux 的各方面技术都是嵌入式 Linux 的基础,非常重要,涉及的知识内容也很多。第12章,介绍嵌入式 Linux 开发环境,也是嵌入式 Linux 产品开发的工具和基础。第13章,嵌入式 Linux 驱动开发,介绍驱动设备树和常见的几种外设驱动。第14章,网络编程,介绍常用的 TCP 客服机/服务器的实现,以及网络的调试方法。

3. 致 谢

感谢德州仪器(TI)大学计划的支持。

感谢华东师范大学沈建华教授的帮助和对本书的审阅。

感谢我亲爱的妻子和可爱的大姐、二姐,没有你们的支持和体谅,就不会有本书的出版,谢谢你们!

由于作者水平有限,书中的错误和不妥之处在所难免,恳请广大读者朋友们批评指正。

程昌南

2017年8月15日

目 录

第一篇 ARM 硬件

第 1 章 概 述	2
1.1 嵌入式系统、单片机、ARM 及 Linux	2
1.2 ARM 处理器的选择	3
1.3 AM335x 简介和公版资源	4
1.4 AM335x 官方开发资源	7
1.4.1 硬件开发板	7
1.4.2 软件开发包	9
1.5 ARM 开发工具及调试方法	12
1.5.1 集成开发环境	12
1.5.2 硬件仿真器	12
1.5.3 前后台系统的调试方法	18
1.5.4 嵌入式 Linux 的开发调试方法	19
1.6 “实践再实践”在 ARM 学习中的意义	20
第 2 章 AM335x Starter Kit 实验平台硬件分析	22
2.1 AM335x Starter Kit 实验平台概述及功能组成	22
2.2 地址空间分配	25
2.2.1 AM335x 处理器内存映射	25
2.2.2 AM335x Starter Kit 平台地址空间分配	31
2.3 常用元件概述	34
2.3.1 电阻标称值	34
2.3.2 肖特基二极管	36

2.3.3	功率电感.....	37
2.3.4	铁氧体磁珠.....	37
2.3.5	自恢复保险丝 PPTC	38
2.3.6	有源和无源蜂鸣器.....	38
2.4	AM335x Starter Kit(TMDSSK3358)原理图分析.....	39
2.4.1	MPU AM3358	39
2.4.2	时钟电路.....	48
2.4.3	上电引导模式配置.....	49
2.4.4	JTAG 接口电路	50
2.4.5	μSD 卡接口	50
2.4.6	DDR3 SDRAM 存储器	51
2.4.7	调试串口.....	53
2.4.8	以太网接口.....	55
2.4.9	按键 GPIO	57
2.4.10	LED 显示	58
2.4.11	IIC 总线的 EEROM 存储器	58
2.4.12	复位电路	59
2.4.13	按键中断输入	60
2.4.14	电源输入及 PMIC 电源管理芯片	60
2.4.15	Wi-Fi 和蓝牙模块	64
2.4.16	USB Host/Device	64
2.4.17	IIS 音频电路	64
2.4.18	LCD 显示	69
第 3 章	AM335x Starter Kit 入门	72
3.1	AM335x Starter Kit 快速入门指南.....	72
3.2	硬件调试概述.....	76
3.3	XDS100v2 仿真器和 CCS 软件的使用	78
3.3.1	集成开发环境 CCS 的下载与安装	78
3.3.2	仿真器与目标板的硬件安装.....	82
3.3.3	XDS100v2 USB 仿真器在 CCSv6 集成开发环境中的配置	83

第二篇 ARM 前后台系统

第 4 章 无操作系统平台下的应用库——StarterWare 92

4.1 StarterWare 下载安装 92

4.2 StarterWare 快速入门指南 94

4.2.1 StarterWare 概述 94

4.2.2 在 AM335x Starter Kit 开发板上运行 StarterWare 应用..... 96

4.2.3 Windows 下开发环境的搭建 98

4.3 AM335x 内存映射和启动过程 105

4.3.1 AM335x 处理器内存映射 105

4.3.2 AM335x 处理器启动过程 106

第 5 章 启动代码分析..... 109

5.1 启动代码和 Bootloader 的区别 110

5.2 汇编基础 110

5.2.1 伪操作 110

5.2.2 CCS 支持的伪操作 115

5.2.3 汇编指令及伪指令 118

5.2.4 ARM 程序状态寄存器和段 122

5.3 启动代码 bl_init.asm 及功能模块分解..... 123

5.3.1 全局变量、内部符号等的定义..... 123

5.3.2 程序入口及各种模式的堆栈初始化 124

5.3.3 BBS 段初始化 125

5.3.4 进入 C 语言程序 126

5.3.5 bl_init.asm 汇编结束 126

5.3.6 bl_init.asm 总结 126

第 6 章 Boot 源代码分析 128

6.1 Boot 源代码目录结构 128

6.2 启动代码 bl_init.asm 分析..... 128

6.3 bl_main.c 主函数分析 129

6.4 bl_platform.c 平台配置及硬件初始化分析 130

6.5 bl_copy.c 映像复制分析..... 132

6.6	跳转到 app 运行	135
第 7 章	LCD 例程源代码分析	136
7.1	LCD 例程源代码目录结构	136
7.2	rasterDisplay.c 文件分析	137
7.2.1	内存管理和高速缓存的配置	137
7.2.2	中断相关的配置分析	137
7.2.3	LCD 背光设置	145
7.2.4	LCD 显示模块配置	151
7.2.5	LCD 控制器 Raster 及中断使能	154
7.3	LCD 显示修改实验	156
7.3.1	demo 工程中关于 LCD 显示代码的对比分析	156
7.3.2	LCD 显示实验调试曾出现的问题及解决方法	161
第 8 章	触摸屏例程源代码分析	171
8.1	触摸屏例程源代码目录结构	171
8.2	tscCalibrate.c 文件分析	172
8.2.1	内存管理和高速缓存的配置	172
8.2.2	中断使能和注册	172
8.2.3	调试串口初始化设置	173
8.2.4	定时器初始化	173
8.2.5	触摸屏函数分析	173
第 9 章	StarterWare 对 BeagleBone Black 的支持	177
9.1	补丁包 StarterWare_BBB_support.gz	177
9.2	demo 在 BeagleBone Black 上死机现象的分析及追踪	178
9.3	StarterWare 在 BeagleBone Black 上死机现象的解决	182
第 10 章	基于前后台系统的应用	184
10.1	前后台系统概述	184
10.2	Bootloader 的设计	185
10.3	简易文件系统设计	185
10.3.1	文件系统结构	186
10.3.2	文件系统功能函数	187

10.3.3	文件系统的测试.....	196
10.4	简易图形用户界面(GUI)的设计.....	199
10.4.1	字符和汉字的显示.....	199
10.4.2	基本图形和控件的绘制.....	205
10.4.3	触摸屏事件处理.....	217

第三篇 基于 Linux 系统的应用

第 11 章	基于 PC 的 Linux 学习	222
11.1	RedHat Linux 系统下的常用操作	222
11.1.1	RedHat Linux 9 下的常用操作问答	222
11.1.2	超级终端 Minicom 的使用	225
11.1.3	NFS 的使用	226
11.2	Ubuntu 系统的安装与常用操作	227
11.2.1	Ubuntu 14.04 的安装	227
11.2.2	Ubuntu 14.04 的基本设置和常用操作	228
11.2.3	Ubuntu 常用命令	232
11.2.4	Ubuntu Linux 与 Windows 系统下的文件共享	234
11.2.5	Ubuntu Linux 与 Linux 系统下的文件共享	236
11.2.6	超级终端 Minicom 的使用	236
11.3	Linux 下的应用编程	237
11.3.1	进程间隔定时器.....	238
11.3.2	关于进程的体会.....	241
11.4	Linux 下的驱动程序设计	244
11.4.1	模块编程实验.....	244
11.4.2	简单的字符设备驱动实验.....	245
第 12 章	嵌入式 Linux 开发环境	249
12.1	概 述.....	249
12.1.1	Linux 开发环境概述	249
12.1.2	TI 官方 AM335x Linux SDK 资源及参考文档	249
12.1.3	PROCESSOR-SDK-LINUX-AM335x 概述	250
12.2	PC 宿主机环境的创建	250
12.2.1	安装基本的软件开发工具.....	250

目 录

12.2.2	下载安装 Sitara Linux SDK for AM335x	251
12.2.3	Sitara Linux SDK for AM335x 目录结构和软件架构	259
12.2.4	Sitara Linux SDK for AM335x 环境配置	261
12.2.5	交叉编译工具链的安装与配置	266
12.3	嵌入式 Linux 系统的配置和编译	269
12.3.1	SDK 根目录下编译 U-boot 和 Linux 内核	269
12.3.2	Bootloader 的配置和编译	269
12.3.3	Linux 内核的配置和编译	274
12.3.4	文件系统	276
12.4	目标板 Linux 系统的创建	277
12.4.1	Windows 系统下 AM335x Linux SDK SD 卡的创建	277
12.4.2	Ubuntu 系统下 AM335x Linux SDK SD 卡的创建	287
12.5	嵌入式 Linux 平台测试	296
12.5.1	串口调试终端 Minicom 和以太网测试	296
12.5.2	TFTP 网络文件下载	300
12.5.3	Hello 测试程序	302
第 13 章	嵌入式 Linux 驱动开发	304
13.1	设备树	304
13.1.1	Linux 内核对硬件的描述	304
13.1.2	设备树概述	305
13.1.3	AM335x Starter Kit 设备树分析	307
13.2	LED 显示驱动	322
13.2.1	AM335x 的 LED 控制	322
13.2.2	Linux 内核中的 leds 子系统概述	322
13.2.3	leds 子系统驱动代码分析	323
13.2.4	leds 驱动与 DTS 中的联系	340
13.2.5	leds 驱动的测试	341
13.3	按键输入驱动	344
13.3.1	AM335x 的按键测试	344
13.3.2	Linux 内核中的 input 子系统概述	345
13.3.3	输入子系统中按键驱动代码分析	346
13.3.4	按键驱动与 DTS 中的联系	352
13.3.5	按键驱动的测试	353

13.4	PWM 的 LCD 背光调节驱动	355
13.4.1	AM335x 的背光调节测试	355
13.4.2	Linux 内核中的 Backlight 背光子系统概述	356
13.4.3	Backlight 背光子系统驱动代码分析	356
13.4.4	背光驱动与 DTS 的联系	362
13.4.5	背光驱动的测试	363
13.5	LCD 显示驱动及配置	365
13.5.1	LCD DTS 配置	365
13.5.2	LCD 测试程序	368
13.6	ADC 及触摸屏驱动	368
13.6.1	AM335x 的触摸屏测试	369
13.6.2	触摸屏驱动代码分析	371
13.6.3	触摸屏驱动与 DTS 的联系	379
13.6.4	触摸屏驱动的测试	380
第 14 章	网络编程	383
14.1	常用函数	383
14.2	服务器实例	394
14.3	客户端测试	399
14.4	利用 I/O 复用替代多进程的并发服务器	401
参考文献		405

第一篇

ARM 硬件

第 1 章

概 述

1.1 嵌入式系统、单片机、ARM 及 Linux

嵌入式系统的概念、范围很广,大部分相关的书籍都会有介绍,虽然有些不同,但总体的意思是相近的,是指具有计算能力的非 PC 系统,即具有通常使用的个人电脑的全部或部分特质的专用计算机系统,如生活中的 PDA、手机、电视机顶盒、数字电视、数码相机以及工业自动化仪表、医疗仪器等。它分硬件和软件两部分,硬件以嵌入式处理器(相当于 PC 的 CPU)为核心,外扩 ROM、RAM(相当于 PC 的硬盘、内存条)、输入/输出设备(PC 的键盘/显示器)、各种通信接口(串口、USB、网络)等。软件由引导程序(PC 的 BIOS)、嵌入式操作系统(相当于 PC 的 Windows 系统)和应用程序(相当于在 Windows 上运行的程序,如金山词霸、Word 等)三部分组成,或只有其中的某部分。

人们通常所指的某种系列单片机和 ARM 处理器都是嵌入式处理器的一种。通常将主要用于控制功能的 8 位和 16 位低端处理器称为单片机,也称微控制器。ARM 处理器是 32 位的,主频、性能相对于单片机更高,不仅能完成单片机的控制功能,而且对运算速度要求较高的场合(如 MP3、PDA、GPS、电子书阅读器、智能手机等)也能适用,还能运行如 Linux、WinCE、Android 等复杂的操作系统。另外,ARM 也是一个公司的名字,成立于英国剑桥,主要出售 ARM 核的芯片设计技术授权。采用 ARM 技术知识产权(IP)核的微处理器都被称为 ARM 处理器,如三星公司的 S3C44B0X、S3C2410A, TI 公司的 AM335x, NXP 公司的 LPC 系列,还有 Atmel、ST、Freescale、高通等公司的各种处理器。

Linux 是一个功能强大、稳定的操作系统,因源代码开放而被广泛移植运行在各种处理器上,不仅可以作为 PC 的桌面系统,而且也是嵌入式系统中最为常用的操作系统之一。这里指的就是嵌入式 Linux,是运行在 TI Cortex-A8 处理器 AM335x 上的嵌入式 Linux,有别于 PC 上的桌面 Linux 系统 Ubuntu。

记得最初学习单片机时也没有很特意地找这些名词解释,只知道用单片机可以做什么,将来能用它开发些什么样的产品等,如课程设计中的温度控制器、各种仪器仪表等,再联想到生活中的遥控器、剃须刀、电动玩具及电冰箱等各种家电。只要能想到