

嵌入式开发系列

NITE 国家信息技术紧缺人才培养工程
National Information Technology Education Project
国家信息技术紧缺人才培养工程系列丛书

ARM嵌入式C编程 标准教程

侯殿有 才华 编著

华清远见嵌入式培训中心 审校

业界权威机构和专家强力推荐

全面讲解ARM嵌入式C编程的方方面面

实例丰富，步骤操作详细



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

嵌入式开发系列

NITE 国家信息技术紧缺人才培养工程
National Information Technology Education Project
国家信息技术紧缺人才培养工程系列丛书

ARM嵌入式C编程 标准教程

侯殿有 才华 编著

华清远见嵌入式培训中心 审校

人民邮电出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

ARM嵌入式C编程标准教程 / 侯殿有, 才华编著. —
北京: 人民邮电出版社, 2010.1
ISBN 978-7-115-21932-9

I. ①A… II. ①侯… ②才… III. ①微处理器,
ARM—教材②C语言—程序设计 IV. ①TP332②TP312

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第226044号

内 容 提 要

本书从 ARM 处理器技术和 ADS 1.2 开发环境讲起, 讲解 ARM 嵌入式 C 编程的方方面面, 包含 S3C2410 片上资源、中断系统、I/O 口、串口通信、触摸屏控制、实时时钟、LCD 显示、DMA 控制、PWM 控制、看门狗电路、I²C 控制、I²S 控制、SPI 接口、A/D (D/A) 转换控制等。

本书由浅入深、循序渐进、实例丰富、步骤详细, 适合嵌入式开发人员参考, 也可作为高校嵌入式相关专业教材使用。

ARM 嵌入式 C 编程标准教程

-
- ◆ 编 著 侯殿有 才 华
审 校 华清远见嵌入式培训中心
责任编辑 黄 焱
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 22.75
字数: 544 千字 2010 年 1 月第 1 版
印数: 1—4 000 册 2010 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-21932-9

定价: 39.00 元

读者服务热线: (010) 67132692 印装质量热线: (010) 67129223
反盗版热线: (010) 67171154

华清远见嵌入式培训中心简介

- ◆ 国内首家获得 ARM 公司授权的专业嵌入式培训机构
- ◆ 微软全球嵌入式合作伙伴
- ◆ 国内首家 Symbian 公司授权培训中心
- ◆ 国内首家 Altera 公司全球合作培训机构
- ◆ 国内首家获得“高新企业认定”的 IT 培训机构
- ◆ 荣获“2008 年度中国嵌入式系统十佳企业”称号
- ◆ 中国软件行业协会嵌入式分会会员单位

华清远见嵌入式培训中心 (<http://www.farsight.com.cn>) 是一家以为企业和个人提供高端嵌入式培训解决方案为核心业务的国家高新技术企业。目前培训内容涉及的领域主要有嵌入式 Linux、Windows CE、VxWorks、Symbian、ARM、DSP、FPGA、高速 PCB 设计等, 基本覆盖嵌入式领域的各个层面。

该中心在嵌入式高端培训领域享有盛誉, 每年为包括 Samsung、NEC、PHILIPS、Motorola 等世界 500 强企业提供嵌入式企业培训服务, 目前已为近百家国内外企业实施过技术培训与咨询。同时华清远见也致力于嵌入式技术的推广, 每年有数万技术人员受益于华清远见的技术研讨会、远程教学课程、专题培训等。

本书编委会

指导单位

工业和信息化部软件与集成电路促进中心

编委

谢学军 刘龙庚 李 滨 谢吉华 于海春 郭广伟
胡旭东 刘 斌 白 旭 范洪均 付松广

顾问

工业和信息化部软件与集成电路促进中心副主任 邱善勤

Symbian 公司中国市场总监 卢竞

Altera 公司中国区总经理 徐平波

广州周立功单片机发展有限公司 周立功

《单片机与嵌入式系统应用》杂志社主编 何立民

北京麦克泰软件技术有限公司董事长 何小庆

中国软件行业协会嵌入式系统分会秘书长 郭淳学

序

嵌入式产业现已成为中国 IT 产业中的一个重要的新兴产业和增长点，主要表现在：产业持续快速增长；新产品、新技术更新速度加快；应用市场空间不断拓展，终端应用产品市场规模巨大；嵌入式技术不断进步；嵌入式产业发展环境不断改善。

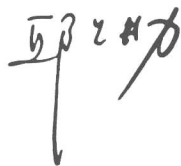
发展嵌入式技术可以全面提高“中国制造”核心竞争力，是实现“中国制造”向“中国创造”转变的良好契机。

工业和信息化部软件与集成电路促进中心（CSIP）作为国家软件与集成电路公共服务平台承载单位，秉承“促进产业发展，助力企业创新”的宗旨，以促进中国嵌入式产业的发展为己任，在嵌入式领域为国内广大企业提供政策保障、技术支持和培训服务，极大地促进了中国嵌入式相关产业的发展。

“国家信息技术紧缺人才培养工程系列丛书”由 CSIP 组织发起，在培养国家急需人才方面已经发挥了巨大作用，并将继续发挥巨大的作用。

嵌入式开发系列丛书是带领开发者进入嵌入式开发领域的最佳选择，希望能在嵌入式技术的普及、推广中发挥重大作用。

工业和信息化部软件与集成电路促进中心（CSIP）



工业和信息化部软件与集成电路 促进中心（CSIP）简介

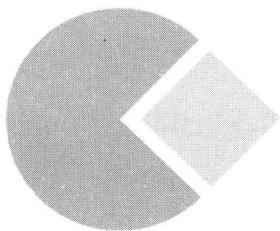
工业和信息化部软件与集成电路促进中心是工业和信息化部的直属事业单位，依据信部编[2004]10号文件，工业和信息化部软件与集成电路促进中心的主要职责是：负责国家软件与集成电路公共服务平台的建设，为我国软件与集成电路产业和企业的健康快速发展提供公共、中立、开放的服务。

国家软件与集成电路公共服务平台：是工业和信息化部领导建设的旨在引导产业发展，能对国家软件与集成电路产业和企业的发展起支撑和服务作用的公共、中立、开放的服务平台。解决单个企业想做而无法（无力）解决的问题，为企业创新和产业发展提供解决共性问题的环境，减少竞争前的企业技术基础投入，实现共性基础技术资源共享，降低企业在研发和质量保证方面的资金风险和技术门槛，促进遵从市场经济规律的软件与集成电路产业链的快速形成，让众多的软件和集成电路设计企业借其成长壮大，推动我国软件和集成电路产业做大做强。

嵌入式技术公共服务平台简介

嵌入式公共服务平台是国家软件与集成电路公共服务平台的重要组成部分，是国内嵌入式企业和开发者技术与知识的传播推广与服务平台，为微软、ARM、飞思卡尔、德州仪器、龙芯、东集、亿道电子、平望科技、英蓓特等嵌入式相关企业在国内联合开发与应用等开展合作，是嵌入式产品协作开发测试提供方。平台在嵌入式综合服务方面已具备以下服务业能力与特色。

- （1）面向行业应用的嵌入式设备设计与方案定制。
- （2）提供基于嵌入式操作系统及各类嵌入式处理器的软硬开发板。
- （3）电子设备软硬件开发和服务外包。
- （4）.Net Micro Framework、Windows CE、Linux、Windows Mobile、Symbian 等嵌入式操作系统的驱动开发和支持。
- （5）嵌入式综合测试业务。
- （6）基于嵌入式技术的高级技术培训。



前言

嵌入式行业背景

进入后 PC 时代后,嵌入式系统在我们的生活中无处不在,我们每天都会接触很多的嵌入式产品,嵌入式产品方便了人们的生活,同时也给厂家带来巨大的利润。

嵌入式开发是当今计算机应用最热门的领域之一,广泛应用于汽车电子、无线通信、智能手机、便携式产品、数码相机、数字电视、数字机顶盒等领域,一时间,嵌入式开发人才非常紧缺。

什么是嵌入式系统

嵌入式系统的概念有多种不同的说法,常见的一种说法是: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,对功能、可靠性、成本、体积和功耗有严格要求的专用计算机系统。还有一种说法:嵌入式系统就是一个具有特定功能或用途的计算机软硬件结合体。根据作者体会,第二种说法虽然简单,但更确切,更接近实际。

嵌入式系统的应用场合

每一个嵌入式控制系统都有其特定的应用场合和针对性,这就使得各个系统的设计都有一些特殊性。我们可把嵌入式控制系统分为以下 3 类。

- DOS 操作系统支持下,硬件采用 ISA 总线或其他总线工控机和功能模板,应用软件采用 80×86 汇编语言、C 语言或 C 语言与汇编语言混合编程。
- 在 Windows 支持下用面向对象的可视化编程语言 Visual C++、Visual Basic 或 Delphi 来编写应用程序,硬件采用 ISA 总线或 PCI 总线工控机和功能模板,采用不同的操作系统,嵌入式系统的应用软件会有很大不同。
- 无操作系统支持或有专门的嵌入式操作系统支持。常用的典型系统如 MCS-51,一般

不带操作系统；较先进的是 ARM 嵌入式系统，简单使用也可以不用操作系统，比较复杂的情况下要借助操作系统支持。

嵌入式系统的开发环境

在嵌入式控制系统开发上，无论是选较为基础的 MCS-51 系列单片机还是比较先进的 32 位 RISC ARM 处理器作为系统内核，产品开发过程都与 DOS 或 Windows 支持的嵌入式控制系统不同。

首先必需有一个集成开发环境，一般称为交叉开发环境。集成开发环境驻留在 PC 或工作站中，PC 或工作站称为“宿主机”，嵌入式设备称为“目标机”，在该开发环境中应用软件编辑、编译、连接和调试运行都可以完成，最后形成后缀为 exe 或 axf 的可执行文件，通过宿主机到目标机的调试通道下载到目标机进行调试和运行。

MCS-51 系列单片机的集成开发环境使用较多的是 Keil μ Vision2/3 和伟福系列（如 WAVE6000）。ARM 处理器的集成开发环境使用 ADS1.2 Code Warror IDE 或 IAR EWARM 等。本书将以三星公司的 S3C2410 ARM 9 微处理器为例来说明 ADS1.2 Code Warror IDE 的使用。

嵌入式系统设计方法

(1) 在目标机上安装某种嵌入式操作系统。

随着嵌入式系统的发展，应用程序变得越来越复杂，例如应用程序与 Internet 的结合、多线程、复杂的数据处理、高分辨率图形图案显示等，如果没有操作系统支持，应用程序的编写将变得非常困难。因此人们在目标机上嵌入某种功能较强且占用内存较少的操作系统，用户程序在该操作系统支持下运行。这种操作系统称为嵌入式操作系统，嵌入式操作系统有多种，如比较著名的 Linux、Windows CE、 μ C/OS-II 等。Linux 操作系统由于代码简练、功能强大、内核公开等优点，获得广泛应用。

采用 Linux 操作系统来开发嵌入式系统，首先在“宿主机”上建立 Linux 开发环境，有两种方法，一种是“宿主机”安装 Linux 操作系统，另一种是在 Windows 操作系统上安装一个虚拟机，在该虚拟机中安装 Linux 操作系统。

接着我们要根据应用程序的需要编写一个驱动程序，把该驱动程序和 Linux 操作系统一起编译，形成一个包含此驱动程序的 Linux 内核可执行文件 image，将此文件下载到“目标机”。今后，实现应用程序的功能，只需对内核中相应函数进行调用即可。

由于“宿主机”和“目标机”之间文件的下载和上传是以文件形式进行的，所以在两个机器上都要有相应文件管理系统，在“宿主机”上，可以使用 TFTP Server for Windows，在“目标机”上则还要下载 Cramfs 文件管理系统。

为了实现上电时系统能自动按一定顺序起动，如系统硬件初始化，包括时钟的设置、存

储区的映射、设置堆栈指针、应用程序入口等，还必需有一个系统引导程序，即 Boot Loader，常用的 Boot Loader 是由韩国 Mizi 公司开发的 VIVI 软件，该软件特别适合 ARM 9 处理器，我们还要将 VIVI 下载到“目标机”上。

此外，我们还要对每一个项目的驱动程序和应用调试程序各编写一个工程管理文件 Makefile。

在 Linux 操作系统下，对应用程序和驱动程序的编辑和调试还需要一个交叉编译工具，要在 busybox 工具集中选择自己需要的部分进行编辑，形成可执行文件，下载到“目标机”上。

(2) 目标机上不安装操作系统。

在这种情况下，我们把 ARM 9 只当成是 32 位单片机。使用 ADS1.2 Code Warror IDE 对其进行开发，整个开发过程和开发 MCS-51 单片机一样，非常简单。

ADS 使用并口通过 JTAG 仿真器与“目标机”相连，实现在线调试和仿真。

(3) 两种设计方法的特点。

带操作系统的嵌入式系统，在编写较复杂和高端应用程序时，用户程序就会比较简单，但整个工程研制的时间开销不会少，因为我们要把很多时间放在对 Linux 操作系统的安装和熟悉上，虽说 Linux 操作系统是免费的，其内核可以根据用户需要进行剪裁，但要达到随意剪裁的水平，需要我们花费很多时间去熟悉和研究。此外，我们还要学会驱动程序和 Makefile 文件的编写，特别是驱动程序，每一个设备都要有一个，它要和内核结合到一起，形成操作系统的一部分。我们在开发嵌入式控制系统时，还要完成一部分操作系统内核工作，难度较大，会花费很多时间。

上述系统在调试程序时，占用“宿主机”较多资源，如使用并口连接 JTAG 仿真器、使用串口与“宿主机”通信、使用网口来传输文件。

如果我们在目标机上不安装操作系统，把 ARM 9 只当成是 32 位单片机来开发，那么，整个开发过程和开发 MCS-51 单片机一样，特别简单。这样我们就可以把主要精力放在对 ARM 9 单片机软件和硬件的熟悉上，充分发挥 32 位单片机本身资源优势；把主要精力放在控制系统的稳定性和可靠性上，在较短时间开发出高品质嵌入式产品。

嵌入式控制系统大多具有小、巧、轻、灵、薄的特点，需要与 Internet 的结合、多线程的系统等“高端应用”只占非常少的一部分，因此不采用嵌入式操作系统也可以满足绝大部分系统的需要。

如果系统需要网络连接（基本是局域网），可以采用串行通信代替。点对点且距离不长，可采用 232 标准；多点通信或距离较长，可采用 485 标准。

如遇到多线程问题，可以采用多微处理机分级分布控制。

本书主要内容

第 1 章主要讲解 ARM 技术的发展以及各种类型 ARM 处理器芯片的特点。

第 2 章详细讲解基于 ARM 处理器的集成开发环境 ADS 1.2 的创建和使用。

第 3 章主要讲解 S3C2410 的片上资源和编程参考程序 2410TEST。

第 4 章主要讲解 S3C2410 的中断系统及编程。

第 5 章主要讲解 S3C2410 的 I/O 口和 I/O 口操作。

第 6 章主要讲解 S3C2410 的串口 UART 及编程。

第 7 章主要讲解 ADC 和触摸屏控制。

第 8 章主要讲解 S3C2410 的实时时钟 (RTC) 及编程。

第 9 章主要讲解 S3C2410 的 LCD 显示控制。

第 10 章主要讲解直接存储器存取 (DMA) 工作原理及 S3C2410 的 DMA 控制器。

第 11 章主要讲解脉宽调制 (PWM) 工作原理及 S3C2410 的 PWM 控制器。

第 12 章主要讲解看门狗 (Watchdog) 电路的工作原理及 S3C2410 的 Watchdog 控制。

第 13 章主要讲解双向二线制同步串行总线 (I²C) 介绍及 S3C2410 的 I²C 控制电路。

第 14 章主要讲解数字音频信号 (I²S) 介绍和 S3C2410 的 I²S 控制。

第 15 章主要讲解串行外设接口 (SPI)。

第 16 章主要讲解 S3C2410 的 A/D 和 D/A 转换控制。

本书通过深入浅出的讲解,使读者掌握基于 ARM 9 的嵌入式系统设计方法,快速入门。

关于本书

本书参考资料主要来自以下 3 个方面。

- 三星电子的 USER'S MANUAL S3C2410 32-Bit RISC Microprocessor Revision 1.2 和该公司提供的参考资料 test2410 软件包。

- 作者为某公司研制嵌入式产品“多参数监护仪”时编写的程序以及指导学生参加全国大学生嵌入式大赛时的作品,如 I/O 操作、中断、UART 通信、LCD 显示驱动、通用字模提取程序等。

- 一些公司的嵌入式教学实验系统使用说明书和部分嵌入式教材。

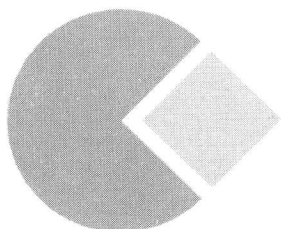
本书教学课件实验程序的下载地址为:

<http://download.farsight.com.cn/download/index.htm>。

由于时间仓促,加之水平有限,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。本书责任编辑的联系方式是 huangyan@ptpress.com.cn, 作者的联系方式是 houdianyou456@sina.com, 欢迎来信交流。

编者

2010 年 1 月



目 录

第 1 章 ARM 技术简介	1
1.1 ARM 处理器简介	1
1.1.1 ARM7 系列微处理器	1
1.1.2 ARM9 系列微处理器	2
1.1.3 ARM9E 系列微处理器	2
1.1.4 ARM10E 系列微处理器	3
1.1.5 ARM920T 简介	3
1.1.6 SecurCore (可靠内核技术) 系列微处理器	4
1.1.7 StrongARM (超强性能 ARM 技术) 系列微处理器	5
1.2 ARM 体系结构的发展	5
1.2.1 ARM 体系结构的发展	5
1.2.2 ARM11 处理器的内核特点	6
1.2.3 DSP 功能	6
1.3 ARM 体系结构的存储器格式	6
1.4 习题与练习	8
第 2 章 ADS 1.2 开发环境创建与简介	9
2.1 ADS 1.2 开发环境创建	9
2.1.1 ADS 1.2 概述	9
2.1.2 ADS 1.2 的安装	11
2.2 ADS 集成开发环境的使用	13

2.2.1	建立一个新工程	13
2.2.2	开发环境设置	14
2.2.3	在 ADS 1.2 下进行仿真、调试	18
2.2.4	其他开发环境介绍	19
2.3	用 AXD 进行代码仿真、调试	19
2.3.1	AXD 简介	19
2.3.2	JTAG 概述	22
2.3.3	Nor Flash 和 Nand Flash 的区别和使用	23
2.3.4	烧写 Flash	24
2.3.5	程序的运行	30
2.4	ARM C 语言程序的基本规则和系统初始化程序	31
2.4.1	ARM 使用 C 语言编程基本规则	31
2.4.2	初始化程序和开发环境设置	33
2.5	习题与练习	34
第 3 章	ARM9 芯片 S3C2410 的片上资源	35
3.1	S3C2410 处理器介绍	35
3.1.1	AMBA、AHB、APB 总线特点	36
3.1.2	S3C2410 处理器体系结构	37
3.1.3	S3C2410 处理器管理系统	37
3.1.4	S3C2410 处理器存储器映射	37
3.1.5	S3C2410 处理器时钟和电源管理	38
3.2	S3C2410 处理器片上资源的定义和使用	40
3.3	编程参考软件包 2410TEST	42
3.4	习题与练习	47
第 4 章	S3C2410 的中断系统	49
4.1	S3C2410 的处理器中断	49
4.2	中断控制	50
4.2.1	程序状态寄存器的 F 位和 I 位	50
4.2.2	中断模式 (INTMOD)	50
4.2.3	中断挂起寄存器 (INTPND) 和中断源挂起寄存器 (SRCPND)	51
4.2.4	中断屏蔽寄存器 (INTMSK)	51
4.2.5	中断优先寄存器 (PRIORITY)	51

4.3	S3C2410 中断源	53
4.4	中断控制专用寄存器	53
4.4.1	IRQ 偏移寄存器 (INTOFFSET)	55
4.4.2	外部中断控制寄存器 (EXTINTn)	55
4.4.3	外部中断屏蔽寄存器 (EINTMASK)	55
4.5	中断控制程序编写步骤	55
4.5.1	主程序工作	55
4.5.2	中断服务程序工作	57
4.5.3	中断服务程序示例	57
4.6	本章实验例程	60
4.6.1	实验步骤	60
4.6.2	中断程序、中断初始化	62
4.6.3	中断服务程序	63
4.6.4	系统初始化程序	64
4.6.5	主程序	65
4.7	习题与练习	66
第 5 章	S3C2410 的 I/O 口和 I/O 口操作	67
5.1	S3C2410 I/O 口描述	67
5.2	I/O 端口控制寄存器	68
5.2.1	端口 A 控制寄存器 (GPACON、GPADAT) 和功能配置	68
5.2.2	端口 B 控制寄存器 (GPBCON、GPBDAT 和 GPBUP) 和功能配置	69
5.2.3	端口 C 控制寄存器 (GPCCON、GPCDAT 和 GPCUP) 和功能配置	70
5.2.4	端口 D 控制寄存器 (GPDCON、GPDDAT 和 GPDUP) 和功能配置	72
5.2.5	端口 E 控制寄存器 (GPECON、GPEDAT 和 GPEUP) 和功能配置	73
5.2.6	端口 F 控制寄存器 (GPFCON、GPFDAT 和 GPFUP) 和功能配置	74
5.2.7	端口 G 控制寄存器 (GPGCON、GPGDAT 和 GPGUP) 和功能配置	75
5.2.8	端口 H 控制寄存器 (GPHCON、GPHDAT 和 GPHUP) 和功能配置	77
5.3	I/O 口操作步骤	78
5.3.1	上拉寄存器和控制寄存器设置	78
5.3.2	I/O 口编程示例	78
5.4	本章实验例程	79
5.4.1	实验目的和步骤	79
5.4.2	参考程序	81

5.5 习题与练习	83
第 6 章 S3C2410 的串口 UART 及编程	84
6.1 S3C2410 的串口 UART 概述	84
6.1.1 S3C2410 异步串行通信 (UART) 单元	84
6.1.2 波特率的产生	84
6.1.3 UART 通信操作	85
6.2 UART 的控制寄存器	85
6.2.1 UART 行控制寄存器 ULCON _n	85
6.2.2 UART 控制寄存器 UCON _n	85
6.2.3 UART FIFO 控制寄存器 UFCON _n	86
6.2.4 UART MODEM 控制寄存器 UMCON _n	86
6.2.5 发送寄存器 UTXH 和接收寄存器 URXH	87
6.2.6 发送和接收状态寄存器 UTRSTAT _n	87
6.2.7 波特率分频寄存器 UBRDIV	87
6.2.8 UART 单元各寄存器的定义	87
6.3 UART 通信程序编写	90
6.3.1 通信程序编写步骤	90
6.3.2 通信程序编写示例	90
6.4 本章实验例程	104
6.4.1 实验目的和原理	104
6.4.2 实验操作	105
6.5 实验参考程序	106
6.6 红外数据通信简介	107
6.6.1 红外数据通信	107
6.6.2 红外线模式数据通信程序	109
6.7 习题与练习	117
第 7 章 ADC 和触摸屏控制	118
7.1 触摸屏结构和工作原理	118
7.2 S3C2410 的触摸屏控制	119
7.3 触摸屏控制程序编写	123
7.4 本章实验例程	126
7.4.1 实验目的和原理	126

7.4.2 实验操作	127
7.4.3 实验程序	127
7.5 习题与练习	131
第 8 章 S3C2410 的实时时钟 (RTC)	132
8.1 实时时钟结构和工作原理	132
8.1.1 S3C2410 的实时时钟单元	132
8.1.2 S3C2410 的实时时钟寄存器	133
8.2 实时时钟的编程	135
8.2.1 程序编写步骤	135
8.2.2 程序示例	135
8.3 本章实验例程	138
8.3.1 实验目的和原理	138
8.3.2 实验操作	138
8.3.3 实验程序	139
8.4 习题与练习	146
第 9 章 S3C2410 的 LCD 显示	147
9.1 汉字显示原理	147
9.1.1 汉字和字符显示原理	147
9.1.2 汉字字符集概述	149
9.1.3 汉字的内码	149
9.1.4 内码转换为区位码	149
9.2 字模提取与小字库建立	150
9.2.1 用 C 语言提取字模和建立小字库	150
9.2.2 用 Delphi 提取字模和建立小字库	154
9.2.3 通用字模提取程序 MinFonBase 使用说明	166
9.3 S3C2410 显示控制特点	167
9.3.1 STN LCD 显示器	167
9.3.2 TFT LCD 显示器	167
9.3.3 LCD 控制器特点	168
9.4 S3C2410 的 LCD 控制信号和外部引脚	168
9.4.1 S3C2410 STN 的视频操作	169
9.4.2 S3C2410 TFT LCD 的视频操作	174

9.4.3 LCD 专用控制寄存器	176
9.5 S3C2410 的 LCD 驱动程序	182
9.5.1 S3C2410 的系统资源	182
9.5.2 LCD 驱动程序	184
9.5.3 S3C2410 的汉字和图形显示	191
9.6 LCD 驱动编程例程	212
9.6.1 LCD 驱动编程简单做法	212
9.6.2 LCD 显示程序编写示例	213
9.7 本章实验例程	230
9.7.1 实验目的和原理	230
9.7.2 实验操作	231
9.7.3 实验结果	231
9.7.4 实验程序	232
9.8 习题与练习	251
第 10 章 直接存储器存取 (DMA) 控制	253
10.1 DMA 基本知识	253
10.2 S3C2410 的 DMA 控制器	255
10.3 DMA 编程示例	256
10.3.1 头文件定义和函数声明	256
10.3.2 DMA 内存传送程序	256
10.4 本章实验例程	262
10.4.1 实验目的和原理	262
10.4.2 实验操作	263
10.4.3 DMA 实验程序	264
10.5 习题与练习	269
第 11 章 脉宽调制 (PWM) 及 S3C2410 的 PWM 控制	270
11.1 PWM 定时器概述	270
11.1.1 S3C2410 定时器特性	272
11.1.2 定时器操作示例	273
11.1.3 死区生成器	274
11.2 PWM 定时器控制寄存器	274
11.2.1 定时器配置寄存器 0	274