

符意德 编著

嵌入式系统原理 实践教程



学出版社

21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

符意德 编著

嵌入式系统原理 实践教程

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

《嵌入式系统原理实践教程》是教材《嵌入式系统原理及接口技术(第2版)》的配套实验教程,是针对基于 ARM9 微处理器为核心的嵌入式系统实践教学用书。书中介绍了相关的开发环境及工具软件(如 ADS 1.2 开发套件)的使用。书中结合 S3C2440 芯片的特点,介绍了其多种 I/O 接口的驱动程序编写方法,并从具体的示例中归纳出了具有普遍指导意义的嵌入式系统开发方法,给出了一个基于 S3C2440 芯片的嵌入式系统整体设计示例。全书共分 10 章,分别是第 1 章嵌入式系统开发环境构建;第 2 章汇编指令基础实验;第 3 章 GPIO 的用途实验;第 4 章 RS-232 通信接口实验;第 5 章 RTC 部件实验;第 6 章 Timer 部件实验;第 7 章启动引导程序实验;第 8 章中断机制实验;第 9 章人机接口实验;第 10 章数字电子钟设计。

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

嵌入式系统原理实践教程/符意德编著. —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 978-7-302-42917-3

I. ①嵌… II. ①符… III. ①微型计算机—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 030891 号

责任编辑:付弘宇 李 晔

封面设计:常雪影

责任校对:梁 毅

责任印制:李红英

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:10.75 字 数:267 千字

版 次:2016 年 4 月第 1 版 印 次:2016 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:25.00 元

产品编号:052384-01

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、航空航天等方面。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、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养“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本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

嵌入式系统是计算平台的一种体现形式,被广泛地应用到了工业控制、信息家电、通信设备、医疗仪器、军事装备等众多领域。基于 32 位的 ARM 微处理器来开发的嵌入式系统,在国内有广泛的市场。要掌握基于 ARM 的嵌入式系统设计技术,除了要掌握必要的原理及理论知识外,还必须掌握相关的开发环境及工具,掌握底层程序编写技术。本实践教程是《嵌入式系统原理及接口技术(第 2 版)》的配套实验教程。重点介绍了以 S3C2440 芯片为核心的嵌入式系统的底层程序编写技术。

嵌入式系统涉及的知识点非常多,因此,对于初学者来说,如何结合自己的目标,找准学习嵌入式系统设计知识的切入点,是非常必要的。从狭义上说,学习嵌入式系统设计知识可以从两个不同的层面进行切入。第一层面,针对于将来只是应用嵌入式系统硬件、软件平台来进行二次开发的学生而言,应侧重学习基于某个嵌入式系统平台上(包括硬件平台和软件平台)进行应用系统设计和开发的能力,即主要是学习在某个嵌入式操作系统(如嵌入式 Linux)环境下的应用程序的编写、调试,学习其 API 函数的使用,学习 I/O 接口部件的驱动程序编写等。第二层面,针对于将来从事嵌入式系统平台设计,或者,需要结合应用环境设计专用硬件平台的学生而言,需重点学习嵌入式系统体系结构及接口设计原理。即主要学习某个具有代表性的嵌入式微处理器(如 ARM 系列)内部寄存器结构、汇编指令系统、中断(异常)管理机制及常用的外围接口,同时要学习无操作系统下的编程技术。在此基础上,还需要学习启动程序的编写和操作系统移植等方面的知识。

本书是从第二个层面的角度来组织编写的,希望培养学生能够具备从事嵌入式系统平台构建的基础能力。书中首先介绍了一些开发环境及工具软件,然后结合 S3C2440 芯片的结构特征,介绍了一些基本的 I/O 接口底层驱动程序编写示例,更进一步地介绍了启动引导程序、中断编程的示例,最后给出了一个完整的示例程序。

本书由符意德主笔,另外王丽芳参加了第 1 章的编写,年瑞参加了第 3 章的编写,葛二灵参加了第 6 章的编写,周昆参加了第 7 章的编写,钱俊参加了第 10 章的编写。在本书的编写过程中,参考了许多专家学者的成果,在此向他们表示感谢!

感谢本书责任编辑的支持!

感谢家人的关心和支持!

嵌入式系统目前正处于一个快速发展的阶段,新的技术和应用成果不断地涌现,囿于编者的水平,对于书中的疏漏和不足之处希望广大读者批评、指出。

编者

2015年11月6日 于紫金山麓

目 录

开发工具篇

第 1 章 嵌入式系统开发环境构建	3
1.1 宿主机-目标机开发架构	3
1.1.1 基于 JTAG 信道的调试架构	3
1.1.2 基于串口信道的调试架构	4
1.1.3 基于以太网信道的调试架构	5
1.2 实验平台(目标机)介绍	5
1.2.1 硬件环境	6
1.2.2 软件环境	6
1.3 ADS 1.2 的使用	7
1.3.1 ADS 1.2 的集成开发环境	7
1.3.2 工程项目建立	10
1.3.3 ADS 1.2 的配置	16
1.3.4 ADS 1.2 的调试	26
1.4 超级终端的使用	28
1.4.1 超级终端的配置	29
1.4.2 程序下载	30

基 础 篇

第 2 章 汇编指令基础实验	37
2.1 实验目标及要求	37
2.2 实验步骤	37

2.3 实验关键点	39
2.3.1 ARM9 微处理器寄存器组织	39
2.3.2 ARM9 微处理器相关汇编指令	42
2.3.3 ADS 1.2 汇编程序编写规范	43
2.3.4 实验程序源码解释	43
第3章 GPIO 的用途实验	51
3.1 实验目标及要求	51
3.2 实验步骤	51
3.3 实验关键点	51
3.3.1 端口引脚功能介绍	52
3.3.2 端口的控制寄存器介绍	53
3.3.3 实验程序源码解释	54
第4章 RS-232 通信接口实验	57
4.1 实验目标及要求	57
4.2 实验关键点	57
4.2.1 RS-232 协议介绍	57
4.2.2 UART 部件寄存器	58
4.2.3 实验程序源码解释	60
第5章 RTC 部件实验	64
5.1 实验目标及要求	64
5.2 实验关键点	64
5.2.1 内部寄存器介绍	64
5.2.2 BCD 码介绍	66
5.2.3 实验程序源码解释	66
第6章 Timer 部件实验	70
6.1 实验目标及要求	70
6.2 实验关键点	70
6.2.1 内部寄存器介绍	71
6.2.2 直流电机转速控制原理介绍	74
6.2.3 实验程序源码解释	74

提 高 篇

第 7 章 启动引导程序实验	81
7.1 实验目标及要求	81
7.2 实验关键点	81
第 8 章 中断机制实验	86
8.1 实验目标及要求	86
8.2 实验关键点	86
8.2.1 S3C2440 芯片中断机制	86
8.2.2 中断编程模式	93
8.2.3 实验程序源码解释	93
第 9 章 人机接口实验	101
9.1 实验目标及要求	101
9.2 实验关键点	101
9.2.1 LED 显示器原理	101
9.2.2 LED 显示器驱动编写示例	102
9.2.3 LCD 显示器原理	104
9.2.4 LCD 显示器驱动编写示例	108
9.2.5 非编码式键盘原理	114
9.2.6 非编码式键盘驱动编写示例	116

综 合 篇

第 10 章 数字电子钟设计	121
10.1 实验目标及要求	121
10.2 实验关键点	121
附录 A 一些重要的头文件及其他文件	125
A.1 源程序文件 2410addr.s 中的代码	125
A.2 头文件 reg2410.h 中的代码	136

A.3	头文件 macro.h 中的代码	140
A.4	头文件 gpio.h 中的代码	141
A.5	头文件 isr.h 中的代码	148
A.6	源程序文件 UHAL.c 中的代码	150
A.7	源程序文件 Isr_a.s 中的代码	152
A.8	源程序文件 stack.s 中的代码	153
A.9	源程序文件 exception.s 中的代码	154
A.10	源程序文件 pagetable.s 中的代码	154
A.11	源程序文件 retarget.c 中的代码	155
A.12	配置文件 scat_ram.scf 中的代码	156
参考文献		159

开发工具篇

第 1 章 嵌入式系统开发环境构建

嵌入式系统的应用需求是多种多样的,针对不同应用层次的需求,嵌入式系统开发过程中所采用的开发环境及开发工具也会不同。本章实验所练习的开发环境构建,是针对从事最底层硬件驱动程序开发及无操作系统环境下的应用程序开发的需求而言的。通常针对这样的开发任务,需要构建一个宿主机-目标机架构的开发环境,以便在此环境中从事相关软件的开发调试工作。

1.1 宿主机-目标机开发架构

为了介绍清楚宿主机-目标机的开发架构,下面首先介绍 3 个名词。

1. 宿主机

它是指安装并运行嵌入式系统开发工具软件的通用个人计算机,如台式 PC、笔记本电脑等。通过它,嵌入式系统开发者可以完成目标机的软件编辑、编译、连接、调试、下载等工作。

2. 目标机

它是指嵌入式系统。通常嵌入式系统的硬件平台由设计者制作完成后,其硬件平台上是无任何软件程序运行的,这样的目标机被称为裸机。由于嵌入式系统的资源有限,因此,需要借助宿主机来完成其程序代码的开发工作。

3. 通信信道

它是指宿主机与目标机之间的信息通道。宿主机与目标机通过通信信道连接在一起,完成程序代码的下载,以及调试过程中的调试信息传输。通信信道主要有 3 种形式:JTAG、串行通信、以太网通信。下面分别介绍基于这 3 种通信信道的调试架构。

1.1.1 基于 JTAG 信道的调试架构

JTAG 是 Joint Test Action Group 的缩写,是一种用于测试芯片内部及其外围接口电路的测试协议。目前,嵌入式系统中所使用的微处理器芯片,大多支持 JTAG 协议,如 ARM 系列的微处理器、DSP 等。一种典型的基于 JTAG 的调试架构如图 1-1 所示。



图 1-1 基于 JTAG 的调试架构

如图 1-2 所示, JTAG 调试适配器又称为 JTAG 仿真器, 是一种专用于调试嵌入式系统底层软件的设备。它一端通过 USB 接口(或者并行接口)与宿主机连接, 另一端通过 JTAG 接口与目标机连接, 从而构成了程序代码调试、下载通道。此时, 需要宿主机上安装并运行相配套的调试工具软件和下载工具软件。



图 1-2 JTAG 仿真器

JTAG 协议中所定义的接口信号线主要有 4 根, 分别是 TMS(模式选择信号线)、TCK(时钟信号线)、TDI(数据输入信号线)、TDO(数据输出信号线)。但实际的目标机上, 其 JTAG 接口通常采用 20 针或 10 针的, 接口中除了有上述 4 根信号线外, 还有一些辅助信号线, 如 nTRST(复位信号线)、电源线、地线等。

当目标机是裸机的情况下, 需要采用基于 JTAG 信道的调试架构来进行程序代码的调试, 换句话说, 若目标机中没有支持串口通信、以太网通信等程序代码时, 所有程序代码的调试及下载工作均需要通过 JTAG 接口来进行。

1.1.2 基于串口信道的调试架构

所谓的基于串口信道的调试架构, 是指目标机与宿主机之间通过 RS-232 接口连接在一起, 通过串行通信工具来下载程序代码, 并观察调试中程序运行状态的调试环境。要构建这样的调试架构, 目标机中必须已经运行有支持串口通信以及相关命令的程序, 不能是裸机。初学者在嵌入式系统实验平台上(或开发板上)进行程序开发时, 通常会采用这种调试架构, 因为, 嵌入式系统实验平台上(或开发板上)已经运行有支持串口通信以及相关命令的程序, 而不是裸机。

一个基于串口信道的调试架构如图 1-3 所示。宿主机上运行的调试工具软件通常是其系统中所附带的“超级终端”工具。在使用它进行下载和观察调试信息之前, 需要对宿主主机中的超级终端的一些参数进行配置, 使其在通信速率、数据格式等方面符合目标机的规定。

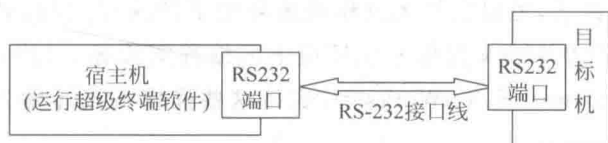


图 1-3 基于串口的调试架构

需要指出的是,超级终端工具并不能进行程序代码的编辑、编译、连接等工作,这些工作必须借助于其他工具软件,如 ADS 1.2、RVDS 等。超级终端仅完成下载程序代码到目标机上,并观察程序运行结果。但在观察程序运行结果时,不能采用设置断点、单步调试等手段,而是需要程序设计者在自己编写的代码中插入一些发送参数的代码,这样,在超级终端的窗口中才能观察到程序的运行状态。

1.1.3 基于以太网信道的调试架构

所谓的基于以太网信道的调试架构,是指目标机与宿主机之间通过以太网接口连接在一起,通过 FTP 等工具来下载程序代码的环境。一个基于以太网信道的调试架构如图 1-4 所示。

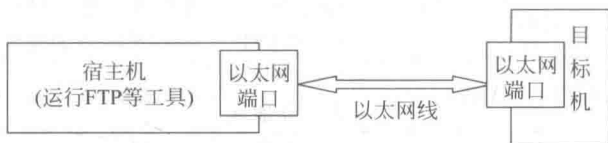


图 1-4 基于以太网的调试架构

采用基于以太网信道的调试架构,其目的主要是来提高程序代码的下载速度。因为, JTAG 信道的下载速度很慢,通过 JTAG 信道下载一个十几千字节程序代码,需要花费十几分钟的时间;串行接口信道的下载速度也不快,其下载时的传输速率最快是 115 200bps,对于大容量的程序代码下载,如 Linux 内核镜像,也会花费较多时间。因此,通常需要下载大容量程序代码时,要借助于以太网信道。

值得指出的是,基于以太网信道的调试架构通常只是用于下载大容量的程序代码或文件,程序的编辑、编译、连接、调试还是需要借助于其他工具软件。

1.2 实验平台(目标机)介绍

本实验教程所针对的实验目标机,其硬件平台所使用的微处理器芯片是 S3C2440 芯片,该芯片中集成了大量的功能部件,如中断控制器、UART 部件、RTC 定时器、LCD 控制器等。在此基础上,实验目标机硬件平台中还扩展了一些外部功能芯片,以便于完成一些接口功能的相关实验。实验目标机并不是裸机,其上运行有 bootloader(启动引导程

序)以及 Linux 操作系统,可以支持无操作系统环境下的编程实验、 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统环境下的编程实验以及 Linux 操作系统环境下的编程实验等。(注:也可以运行其他的操作系统,如 Windows CE、VxWorks 等,支持这些操作系统环境下的应用程序编程实验。)

1.2.1 硬件环境

实验目标机的硬件组成及地址分配如表 1-1 所示。

表 1-1 实验目标机的硬件组成

序号	硬件名称	芯片型号或部件	硬件地址	功能说明
1	微处理器 (CPU)	S3C2440		通过其引脚 OM1、OM0 可配置系统的启动方式 OM[1:0]=00 从 Nand Flash 启动 OM[1:0]=01 从 Nor Flash 启动(16 位)
2	Nor Flash	S29AL016		容量为 2MB
3	Nand Flash	K9F2G08		容量为 $(256\text{M}+8\text{M})\times 8$ 位,由 S3C2440 芯片内部 Nand Flash 控制器直接控制
4	SDRAM	K4S561632	0x30000000~ 0x33FFFFFF	每片容量为 $16\text{M}\times 16\text{b}$,共 2 片,总容量为 64MB,由 nGCS6 控制
5	RS232	UART0、UART1	芯片内部规定的寄存器地址	2 个异步串行通信(RS232 标准)接口
6	RS485	UART2	芯片内部规定的寄存器地址	1 个异步串行通信(RS485 标准)接口
7	LED 灯	GPC5/6/7		3 个 LED 灯,可以用作状态指示
8	LED 数码管		08000100	7 段数码管,可以显示数字字符
9	LCD 显示屏	芯片内部 LCD 控制器		
10	直流电机			
11	IIC 存储器			
12	小键盘	IIC 总线控制		
13	音频	GPG8、9、0		IIS 总线功能
14	触摸屏	GPG12、13、14、15		占用 A/D 引脚: AIN5、AIN7
15	网卡 1			

1.2.2 软件环境

本实验教程所针对的实验目标机不是裸机,其上已经移植好启动引导程序及 Linux 操作系统。但该实验目标机也支持无操作系统环境下的程序开发,以及支持 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统环境下的程序开发。在不同的软件环境下进行程序开发时,通常所使用的开发工具是不同的。本实验教程目的是使学生熟悉并掌握嵌入式系统的底层软件开发,即掌