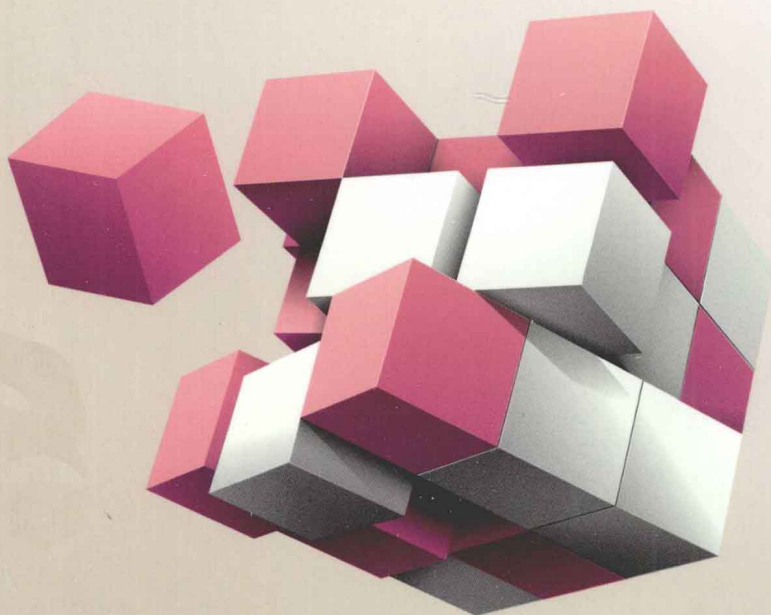


ARM Interface Programming

ARM接口编程

- 唐振明 主 编
 - 田荣华 杨 健 编 著
-



中软国际卓越人才培养系列丛书

ARM 接口编程

唐振明 主编

田荣华 杨 健 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以开发板为线索,详细介绍了常见的几种接口,主要内容包括嵌入式硬件概述,GPIO 接口编程,UART 串口通信,AD 转换接口,中断 INT 接口,RTC 实时时钟,触摸屏接口,LCD 显示屏接口,IIC 接口控制,SD 卡接口控制,MMU 内存管理单元等。本书的实验都以“理论+在线仿真实践”的方法贯穿始终,从简单到复杂,循序渐进,层层深入。

本书适合作为计算机、软件工程、电气自动化及电子信息工程等专业课程的教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

ARM 接口编程 / 唐振明主编; 田荣华, 杨健编著. —北京: 电子工业出版社, 2012.6

(中软国际卓越人才培养系列丛书 / 唐振明主编)

ISBN 978-7-121-14774-6

I. ①A… II. ①唐… ②田… ③杨… III. ①微处理器, ARM—高等职业教育—教材 IV. ①TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 205613 号

策划编辑: 程超群

责任编辑: 陈虹 特约编辑: 董玲

印刷: 涿州市京南印刷厂

装订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本: 787×1092 1/16 印张: 14.5 字数: 371 千字

印次: 2012 年 6 月第 1 次印刷

印数: 4 000 册 定价: 29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

序

当我翻阅了“中软国际卓越人才培养系列丛书”后，不禁为这套丛书的立意与创新之处感到欣喜。教育部“卓越工程师教育培养计划”有三个主要特征：一是行业企业深度参与培养过程；二是学校按通用标准和行业标准培养工程人才；三是强化培养学生的工程能力和创新能力。这套丛书紧紧围绕“卓越计划”的要求展开，以企业人才需求为前提，同时又充分考虑了高校教育的特点，能让企业有效参与高校培养过程，是一套为“卓越计划”量身打造的丛书。

丛书的设计理念紧扣中软国际 ETC 的“5R”理念，即真实的企业环境、真实的项目经理、真实的项目案例、真实的工作压力、真实的就业机会，切实地将企业真实需求展现给读者。丛书中的知识点力求精简、准确、实用，显然是编著者经过反复推敲并精心设计的成果。丛书对企业用之甚少的知识点，都进行了弱化，用较少篇幅讲解，而对于企业关注的知识点，都使用非常详尽的内容进行学习。这样的设计对初学者尤其是在校学生非常必要，能够节省很多学习时间，在有限的时间内学习到企业关注的技能，而不是花费很多精力去钻研并不实用的内容。

丛书非常强调“快速入门”这一法宝，能够对某门技术“快速入门”永远是激发学习兴趣的关键。丛书设计了很多“快速入门”章节，使用详尽丰富的图示以及代码示例，保证读者只要根据丛书的指导进行操作，就能够尽快构建出相关技术的实例。

丛书非常注重实际操作，很多知识点都是从提出问题引出，从而在解决这个问题过程中讲解相关的技能。丛书中没有大篇幅的理论描述，尽力用最通俗、最简练的语言讲解每一个问题，而不是“故作高深”地使用很多新名词。

非常值得一提的是，丛书配备了对应的 PPT 讲义，并将 PPT 讲义显示到了相应章节，这种形式令人耳目一新。首先能起到提纲挈领的作用，帮助读者快速了解每个章节的主要内容，掌握完整的知识体系。另外，这种方式非常适合在高校教学中使用，能够完全与教材同步，方便学生课后复习及课前预习，可以有效提高教学效果。

这套丛书是中软国际多年行业经验的积累和沉淀，也是众多编者智慧与汗水的结晶，一定能在校企合作的道路上发挥积极长远的作用。

国家示范性软件学院建设工作办公室副主任
北京交通大学软件学院院长



前 言

嵌入式系统自 20 世纪 70 年代以来，至今已有 30 多年发展历史。嵌入式系统大致经历了四个发展阶段。

- (1) 第一阶段是以可编程序控制器系统为核心的研究阶段；
- (2) 第二阶段是以嵌入式中央处理器 CPU 为基础，以简单操作系统为核心的阶段；
- (3) 第三阶段是以嵌入式操作系统为标志的阶段；
- (4) 第四阶段是基于网络操作的嵌入式系统发展阶段。

近几年，嵌入式系统技术得到了广泛的应用和爆发性的发展，分布控制、无线传感、数字化通信、云计算、可重构计算、多媒体网络及应用等新兴技术的出现为嵌入式产业的研究及应用注入了新的活力，而面向实时信号处理算法的 DSP 产品则向着高速度、高精度、低功耗的方向发展。随着硬件实时性要求的提高，嵌入式系统的软件规模也不断扩大，逐渐形成了实时多任务操作系统（RTOS），并开始成为嵌入式系统的主流。这一阶段嵌入式系统的主要特点是：操作系统的实时性得到了很大改善，已经能够运行在各种不同类型的微处理器上，具有高度的模块化和扩展性。此时的嵌入式操作系统已经具备了文件和目录管理、设备管理、多任务、网络、图形用户界面等功能，并提供了大量的应用程序接口，从而使得应用软件的开发变得更加简单。随着互联网应用的进一步发展，互联网技术与信息家电、工业控制技术等日益紧密结合，嵌入式设备与互联网的结合、物联网终端系统成为嵌入式技术未来研究与应用的焦点。近几年中国嵌入式芯片和嵌入式软件技术的突飞猛进，已成为世界众多企业家的共识，而“中国制造”也推动了嵌入式的高速发展，同时也为中国嵌入式产业的发展提供了良好的机遇。因此普及嵌入式技术，加快嵌入式技术人才的培养迫在眉睫。

本书内容丰富，辅以图表和代码的讲解，使思路更为清楚直观，通俗易懂。本书尤其强调实践动手能力，本书的实验都以“理论+在线仿真实践”的方法贯穿始终，从简单到复杂，循序渐进，层层深入。并且配有齐全的实例程序和完备的程序注释，具有较强的实践性和应用性。

本书以实际的开发板为线索，共 12 章，包括十个常见硬件接口编程，结合各种外围接口电路原理和设计、接口硬件结构及时序、datasheet 的理解，给出了调试通过的接口程序，并辅以 JLINK/ULINK 在线实时仿真调试。

第 1 章：嵌入式硬件概述 本章主要以 ARM 为例描述了嵌入式硬件，并对硬件电路的设计做出了具体的描述。设计一个电子产品需要三大步骤。硬件电路的设计很大程度上决定了驱动代码的编写，对已成品的硬件进行驱动编程，主要是对硬件电路图的识别，即对框图、原理图、PCB 图、时序图等的理解。

第 2 章：GPIO 接口编程 本章主要介绍的是 ARM 通用的 I/O 端口 GPIO。它是一组输入引脚或输出引脚，CPU 对它们能够进行存取。本章节用了两个实验：蜂鸣器和 LED 灯 GPIO 端口控制实验，从硬件原理图、数据手册分析等来说明 GPIO 的用法，首先通过配置寄存器将其配置成输入、输出或者其他特殊功能模式，然后通过数据寄存器来控制端口输入电压的高低，从而达到控制所连接端口硬件的目的。

第 3 章：UART 串口通信 本章主要介绍串口通信的原理及通信方式，UART 的基本概念，串口通信最重要的参数等，并根据对 UART 通信原理，结合对 UART 相关寄存器的理解做出程

序接口设计，实现对串口的收/发功能。

第4章：AD转换接口 本章主要学习AD转换的概念、分类及主要技术指标，AD转换的四个主要过程：采样、保持、量化和编码，结合AD的硬件设计原理配置ADCON寄存器，使能预配置比例因数，设置预配置比例因数值，配置AD转换通道号，做出ADC程序的设计方案并实现。

第5章：中断INT接口 本章首先介绍了中断的概念，然后介绍了2440中断相关寄存器的功能及配置，在异常中断流程一节中，中断处理函数的入口地址关联在中断向量表中。中断发生时，系统硬件强制程序跳转到了表中相关地址处，该地址是一个跳转指令，跳转到中断函数地址解析程序IRQ_Handler，最终转到中断处理函数(SystemIrqHandler)。接着对中断优先级进行了叙述。最后以内部中断看门狗中断定时器，和外部中断键盘中断的程序剖析了中断的整个过程。

第6章：RTC实时时钟 本章学习了为系统提供可靠时间的RTC模块，RTC为运行的应用程序提供了一个时间基准。当前的日期和时间由一组时间寄存器提供，每秒更新一次，RTC的外围电路简单却实用，RTC模块有三种功能：产生时钟滴答、实时计时和作为系统的触发唤醒器。

第7章：触摸屏接口 本章讲述了人机交互较为重要的一种工具触摸屏，首先对常见的几种触摸屏做了简单的介绍，接着以电阻式触摸屏为例对四线电阻式触摸屏的物理结构及其等效电路、触摸屏的接口原理及相关寄存器的配置方法进行了详细讲述，最后在理解触摸屏相关数据手册及触摸屏中断原理的基础上对触摸屏驱动进行了设计并讲解了程序实现的整个过程。

第8章：LCD显示屏接口 本文先对LCD显示屏的发明及原理做了总体的介绍，接着对ARM芯片上的LCD控制器的逻辑进行了详细的叙述，8.3节也是最重要的一节，对LCD中常见的种类TFT屏时序做了详细的分析和图解，并对根据TFT屏的时序对LCD控制器的配置做了说明及方法的介绍。8.4节中针对LCD控制器的配置实现对LCD屏的驱动及代码。

第9章：IIC接口控制 本章主要介绍的是IIC接口，首先介绍IIC接口的概念及总线特点。接着对IIC控制器进行了讲解，最后根据IIC的四种操作模式设计并实现了IIC程序。

第10章：SD卡接口控制 本章主要介绍的是SD卡接口，SD卡需要高速读/写，特设有两个访问接口：SD模式接口和SPI接口。其中SD接口是为高速专用设备而设计，使设备能对卡进行高速可靠的传输。

第11章：MMU内存管理单元 本章主要介绍的MMU，它负责虚拟地址到物理地址的映射，MMU使得每个用户进程拥有自己独立的地址空间，并通过内存访问权限的检查保护每个进程所用的内存不被其他进程破坏。MMU重点就在于地址映射：页表的结构与建立、映射的过程。本章主要是理论部分，可作为MMU实现机制的参考。

第12章：ARM-Keil集成开发环境 本章主要介绍了ARM RealView MDK集成开发环境的使用，本书所有章节的实验都是基于这个开发环境的，所以必须要熟练掌握REALVIEW MDK的配置、使用及相关功能，以及Keil MDK编译器与JLINK/ULINK等仿真器的使用。

本书所配套的PPT、课程大纲、代码等内容，可到华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)免费下载。

在编写本书的过程中，得到了中软国际的很多领导、同事及朋友的支持和帮助。特别是CTO办公室的各位专家同仁，在此表示感谢。由于作者知识所限，书中难免有不足之处，敬请广大读者海涵，并恳请赐正。

编者

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 嵌入式硬件概述	(1)
1.1 硬件产品设计流程	(1)
1.2 电路图的识图能力	(3)
1.3 软件控制硬件方法	(6)
1.4 嵌入式 C 语言	(9)
1.4.1 寄存器定义解释	(9)
1.4.2 寄存器操作	(10)
1.5 2440SDK 底板接口资源说明	(12)
1.6 本章小结	(14)
1.7 课后练习	(14)
第 2 章 GPIO 接口编程	(15)
2.1 GPIO 接口介绍	(15)
2.1.1 I/O 接口的编址方式	(16)
2.1.2 GPIO (General-Purpose IO ports)	(16)
2.2 硬件原理分析	(18)
2.2.1 蜂鸣器硬件原理分析	(18)
2.2.2 LED 的硬件原理分析	(19)
2.3 GPIO 接口程序实现	(20)
2.3.1 基于 GPIO 接口的蜂鸣器控制实现	(21)
2.3.2 基于 GPIO 接口的 LED 控制实现	(22)
2.4 Keil MDK 程序在线仿真调试环境配置	(24)
2.5 本章小结	(29)
2.6 课后练习	(29)
第 3 章 UART 串口通信	(30)
3.1 通信的基本模式及原理	(30)
3.1.1 数据通信的基本模式	(30)
3.1.2 串行通信原理	(31)
3.2 串行通信的方式	(31)
3.2.1 同步串行通信	(31)
3.2.2 异步串行通信	(31)
3.3 串口硬件原理分析	(32)
3.3.1 RS-232-C 接口	(32)
3.3.2 UART 数据流电路分析	(34)
3.4 串口通信程序设计	(36)
3.4.1 初始化 UART 端口	(36)
3.4.2 UART 线性控制寄存器	(37)
3.4.3 UART 控制寄存器	(38)

3.4.4	UART 波特率除数寄存器 (波特率因子寄存器)	(39)
3.5	本章小结	(43)
3.6	课后练习	(44)
第4章	AD 转换接口	(45)
4.1	ADC 介绍	(45)
4.1.1	AD 转换器的分类	(45)
4.1.2	AD 转换器的主要技术指标	(46)
4.2	A/D 转换过程	(47)
4.3	模数 (A/D) 转换器工作原理	(48)
4.3.1	A/D 转换工作原理	(48)
4.3.2	AD 硬件原理	(49)
4.4	ADC 程序设计	(50)
4.5	本章小结	(52)
4.6	课后练习	(52)
第5章	中断 INT 接口	(53)
5.1	S3C2440 中断介绍	(53)
5.2	中断控制器操作	(54)
5.3	ARM 中断异常处理	(56)
5.3.1	ARM 中断异常处理流程	(56)
5.3.2	中断优先级生成模块	(63)
5.4	看门狗中断程序实例	(66)
5.4.1	看门狗概念	(66)
5.4.2	看门狗的功能模块及所用寄存器	(66)
5.4.3	看门狗程序实现	(68)
5.5	键盘中断程序设计	(70)
5.5.1	键盘中断硬件连接	(70)
5.5.2	键盘中断程序的实现	(71)
5.6	本章小结	(76)
5.7	课后练习	(76)
第6章	RTC 实时时钟	(77)
6.1	实时时钟介绍	(77)
6.2	S3C2440 内部 RTC 模块结构框架分析	(78)
6.3	S3C2440 处理器的 RTC 工作原理	(79)
6.4	RTC 硬件原理及程序实现	(80)
6.4.1	RTC 硬件原理	(80)
6.4.2	RTC 程序实现	(81)
6.5	本章小结	(89)
6.6	课后练习	(89)
第7章	触摸屏接口	(90)
7.1	触摸屏介绍	(90)

7.1.1	触摸屏简介	(90)
7.1.2	触摸屏的主要类型	(91)
7.2	四线电阻式触摸屏的工作原理	(94)
7.2.1	触摸屏的接口部分	(95)
7.2.2	触摸屏接口模式	(95)
7.2.3	触摸屏相关寄存器	(96)
7.3	触摸屏程序设计及实现	(99)
7.4	本章小结	(101)
7.5	课后练习	(101)
第8章	LCD 显示屏接口	(102)
8.1	LCD 显示屏介绍	(102)
8.1.1	超薄平面显示器时代来临	(102)
8.1.2	液晶的发明与原理	(102)
8.1.3	液晶显示器的发展与未来	(104)
8.2	S3C2440 LCD 控制器详解	(105)
8.3	TFT 屏时序分析及 LCD 控制器的设置方法	(107)
8.3.1	TFT 屏时序分析	(107)
8.3.2	S3C2440 LCD 控制器的设置方法	(109)
8.4	LCD 驱动主程序分析	(110)
8.5	本章小结	(122)
8.6	课后练习	(122)
第9章	IIC 接口控制	(123)
9.1	IIC 概念及特点	(123)
9.1.1	IIC 概念	(123)
9.1.2	IIC 总线特点	(124)
9.1.3	I2C 总线的硬件结构	(124)
9.2	IIC 总线工作原理及工作时序	(125)
9.2.1	总线的构成及信号类型	(125)
9.2.2	IIC 时序分析	(126)
9.3	S3C2440 的硬件连接及 IIC 控制器	(128)
9.3.1	AT24××系列的硬件连接	(128)
9.3.2	S3C2440 的 IIC 相关寄存器	(129)
9.4	IIC 程序设计及实现	(131)
9.4.1	IIC 程序设计	(131)
9.4.2	IIC 程序实现	(133)
9.5	本章小结	(135)
9.6	课后练习	(135)
第10章	SD 卡接口控制	(136)
10.1	SD 总线接口	(137)
10.1.1	SPI 接口	(137)

10.1.2	SD 接口	(138)
10.2	SD 总线协议	(139)
10.3	SD 卡主程序分析	(140)
10.4	本章小结	(159)
10.5	课后练习	(160)
第 11 章	MMU 内存管理单元	(161)
11.1	MMU 介绍	(161)
11.2	S3C2440 虚拟地址到物理地址的映射	(162)
11.2.1	虚拟地址和物理地址的概念	(162)
11.2.2	虚拟地址到物理地址的转换过程	(163)
11.2.3	内存的访问权限检查	(169)
11.2.4	TLB 的作用	(170)
11.2.5	Cache 的作用	(170)
11.2.6	S3C2440 MMU、TLB、Cache 的控制指令	(172)
11.3	MMU 使用实例——地址映射	(173)
11.4	本章小结	(178)
11.5	课后练习	(179)
第 12 章	ARM-Keil 集成开发环境	(180)
12.1	Keil MDK 特性	(180)
12.2	Keil MDK 整体结构及应用开发解决方案	(181)
12.3	RealView MDK 的使用	(182)
12.3.1	μ Vision4 的安装	(182)
12.3.2	创建 μ Vision4 工程	(186)
12.4	Keil MDK 编译器与 ULINK2 使用	(197)
12.4.1	ULINK2 概述	(197)
12.4.2	ULINK2 与 MDK 的链接使用	(198)
12.5	Keil MDK 编译器与 J-LINK 使用	(200)
12.5.1	J-LINK 概述	(200)
12.5.2	J-LINK 与 MDK 的链接使用	(200)
12.6	Keil MDK 编译器与 H-JTAG 使用	(203)
12.6.1	H-JTAG 介绍	(203)
12.6.2	H-JTAG 调试结构	(204)
12.6.3	H-JTAG 的安装	(204)
12.6.4	H-JTAG 配置	(206)
12.6.5	MDK 的安装与设置	(208)
12.6.6	调试	(209)
12.7	本章小结	(210)
12.8	课后练习	(210)
附录		(211)
参考文献		(215)

第 1 章 嵌入式硬件概述

底层的驱动或内核开发人员通常要跟硬件紧密配合，协同完成工作。硬件电路的设计很大程度上决定了驱动代码的编写。一个熟练的底层开发人员需要同时具备硬件开发知识和软件相关能力。

1. 硬件开发知识

- (1) 清楚硬件的设计和生產流程。
- (2) 清楚工作中常用硬件器件的工作原理。
- (3) 有看懂硬件原理图的能力，主要涉及影响到编程的关键连线和引脚的一定要能看懂。
- (4) 能看懂硬件（主要是能编程控制的集成电路，简称 IC）的编程资料，一般是称为 DataSheet 的 PDF 文档，了解各个寄存器的设置和常见任务的处理流程。

2. 软件相关能力

- (1) 知道如何用编程语言（主要是 C 语言和少量的汇编）去控制硬件。
- (2) 熟悉底层软件与操作系统的接口。

同一款硬件，原始的控制代码是基本一样的，但是各个操作系统对驱动与 OS 的接口完全不一样。Windows 系列的驱动接口远比 Linux 复杂得多，各个操作系统也提供了不同底层函数接口用于开发，这些都需要熟练掌握。

(3) 具有调试底层软件的能力，除了常用的软件调试手段（如单步 Debug，查看输出信息……），有时可能需要动用软件和硬件检测设备来调试。

- 如网络调试，可能需要抓包软件，基于硬件的流量测试仪。
- 基于硬件电路的仪器，如万用电表、示波器和逻辑分析仪。
- 基于无线的设备，可能需要无线信号发生器或基站模拟设备。

在底层软件开发领域，还有一些非标准 CPU 的分支开发领域，由于采用接近于 CPU 的复杂结构，因此必须用编程语言去开发，但又不是普通的 GCC 那样的开发环境，而是自己独立的开发环境，嵌入式工程师需要掌握其中一种工具。

(4) 常用数据处理，如音频加密、视频影像处理的 DSP，都会有自己独立的开发环境，有的是接近汇编级的语法代码，更高级的是类似于 C 的编程语言。常见的 DSP 开发环境是 TI 的 CCP。

(5) 在网络流量很大的地方，如核心路由器、大型防火墙、网关等，这些设备有时用软件已经无法处理，往往采用基于网络处理器的方案，网络处理器会在硬件直接处理网络包，这些网络处理器也有独立的开发环境用于开发，如 Intel 的 IXP 系列。

- (6) FPGA、CPLD (VHDL) 用类似于 Basic 或 C 语言的开发语言去设计硬件，如 MaxPlus II。
- (7) LabView 虚拟仪器。

1.1 硬件产品设计流程

与软件不同，一个硬件产品从最基本的器件到最终产品的出厂，是一个全球化高度合作的

结果，牵涉到一个完整的产业链的方方面面。因此需要高度工程化的管理和生产技术，否则不可能生产出合格的产品。

以一部手机的生产为例，它的技术标准和研发可能是在欧美的大公司或大学的研究机构进行，如 Nokia 和爱立信、高通等。当技术成熟后，可能在美国的 IC 设计公司（如 TI）设计出可以满足实际产品的集成电路，这个集成电路的生产、出厂测试等流程可能是在中国台湾新竹的台积电、联电的 IC 生产工厂代工。

单独的 IC 并不能形成产品，必须要焊接在电路板上，和其他电器件一起才能组成完整的电路，这是一个风险很高的设计过程。以前要由最终的厂商完成这样的工作，这样会花费很长的时间和资金，并且有可能失败。现在流行的趋势是由专业的设计公司负责完成硬件电路和底层软件的设计，甚至是应用程序的开发，这大大降低了生产厂家的门槛。手机设计里最有名的 MTK 公司（联发科技），提供底层的 IC 到硬件电路方案加软件方案的全套设计，这样使得很多小厂也能直接生产手机。MTK 被称为黑手机之父，这几年大量的手机上市，它功不可没。这也使得它成为了台湾股市的股王。

如果是从元器件开始设计一个电子产品，第一阶段是硬件工程师要根据参考方案和文档，设计出一个硬件原理图来。主要用来验证电路是否能正常接通，确定硬件的连线等工作。类似于产品硬件设计模型，这项工作一般是由公司中最有经验的工程师来完成。原理图都是一个逻辑表示，如元器件用示意图表示，连线也不会跟最终产品的走线一模一样。IC 是高度集成的精密器件，不可能像电气设备一样，直接拉线就行。通常会在一个覆有一层导电金属层的绝缘板上用化学方法“刻”一根一根的导线。然后再焊接上去，这种板就称为 PCB（Printer Circuit Board 印制电路板）。这种方法有很多优点，节约空间、防止干扰、焊接点小、牢固、集成度高等，因此现代的电子元件互连完全采用 PCB 来制作。硬件设计第二阶段就是要将原理图设计成供生产的 PCB 图。类似于建筑施工图，里面的设计布局将会跟实际产品开发一模一样。PCB 也是取决于设计经验，但很多也是重复劳动，在很多小的公司往往采用外包的方式让专业的 PCB 公司来代为设计，深圳就有大量公司或工作室来代人完成 PCB 设计。

原理图设计和 PCB 设计都需要专用软件来完成。现在从几十万到几万的设计软件都已出现，如常用的 Protel，PowerLogic/PowerPCB 可以完成二阶段设计，高端设计软件有 Cadence。当完成 PCB 设计后，一方面准备制作 PCB，由于 PCB 的制作设备非常昂贵，一般是由专门 PCB 生产厂家来代工，深圳是中国及世界上 PCB 最集中的产业基地，拥有大量的 PCB 制作厂家；另一方面由 PCB 图导出 BOM（元器件清单）交由采购部门进行采购。现代 IC 的引脚已经越来越复杂，采用手工焊接效率低、失败率高，往往需要专门的焊接厂进行全自动的焊接，深圳即拥有大量的焊接工厂。

当一个产品完成后，就需要设计出吸引人的产品外壳，这个过程称为结构设计。比较简单的是用金属冲压件，如计算机机箱、机柜之类。其优点是设计成本低，可以快速实现。缺点是一般只能是带直角的设计，外形过于简单。现在大部分电子产品采用塑料外壳，优点是可以做出非常复杂的外形，并且可以采用不同材质进行组合；缺点是设计复杂，并且要用专用模具来生产。现在结构设计软件普遍采用 Pro/E 或 UG 来进行设计，也有人使用 AutoCAD 来设计。现在结构设计一般也是外包给专业的设计公司进行设计，很多厂商为了节约成本，往往采用模具厂预先做好的模具，这个模具被称为“公模”。

欧美市场对环保有极为严格的要求，如果产品要销往欧美市场，往往需要使用无铅的焊锡、油漆，对电磁辐射也有强制要求。也有其他的准入门槛，如欧盟的 CE 认证、美国的 UL 认证、

FCC 认证等，这些都是强制标准，必须先由认证的代理机构认证后，才能在上述市场销售，这是一个必需的环节。

1.2 电路图的识图能力

常见的电路图有三大类框图：原理框图（如图 1.1 所示）、原理图（如图 1.2 所示）、PCB 图（如图 1.3 所示）和时序图（如图 1.4 和图 1.5 所示）。原理框图用于描述系统结构，一般用于文档描述；原理图用于系统原理设计，同时进行底层软件编程时往往需要多次查阅原理图的设计；PCB 图用于实际生产，软件编程一般不需要查看 PCB 图。

底层软件人员往往需要了解的是时序图（Timing），它用于反映多个信号源（或引脚）之间信号的相互关系。因为一个硬件完成一项工作必须是多个引脚协同工作，而且往往有时间顺序上的要求。而时序图就是反映这种时间信号间相互关系的图形，在实际运行中，往往也可以用示波器等设备测量出这种波形关系，用于协助软件人员调试错误。

NAND Flash 控制时序图，有规则的波形（HCLK）一般用于表示时钟信号以及不同信号计时。如图 1.5 所示表示在第二个时钟周期时，CLE/ALE 必须由低电平切换为高电平。在第三个时钟周期，NEW 由高电平变为低电平。用双线表示波形，即 DATA，表示高低电平不确定，必须取决于当时应用的情况。如图 1.5 所示，DATA 在有效的时钟周期内传输的是不同命令或地址。

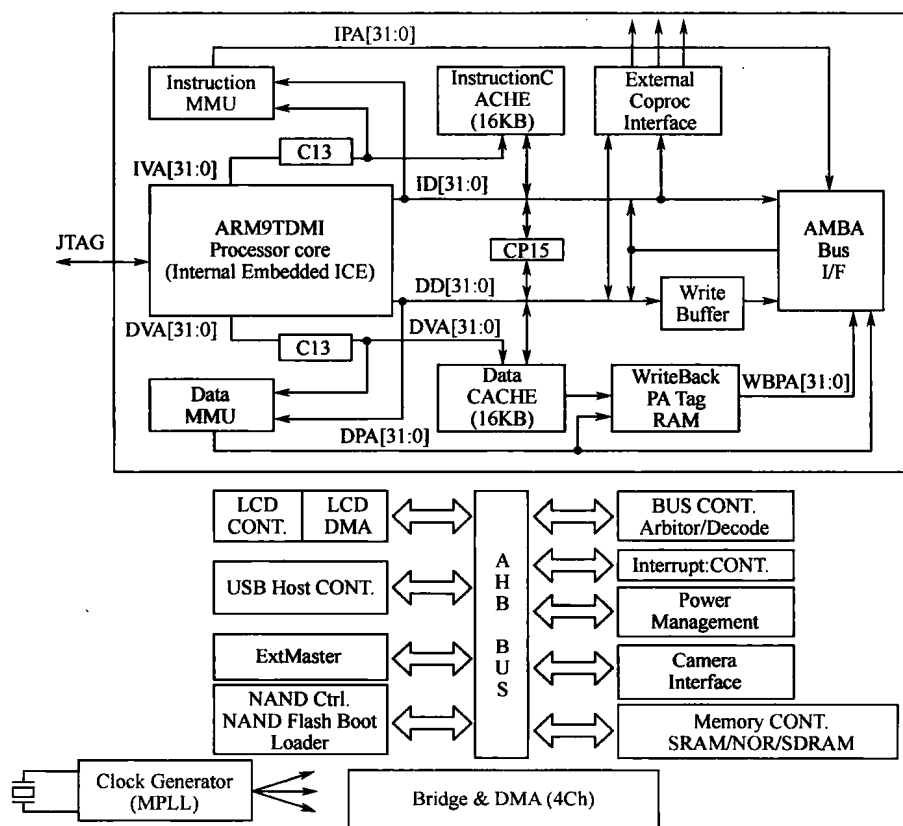


图 1.1 S3C2440 的原理框图

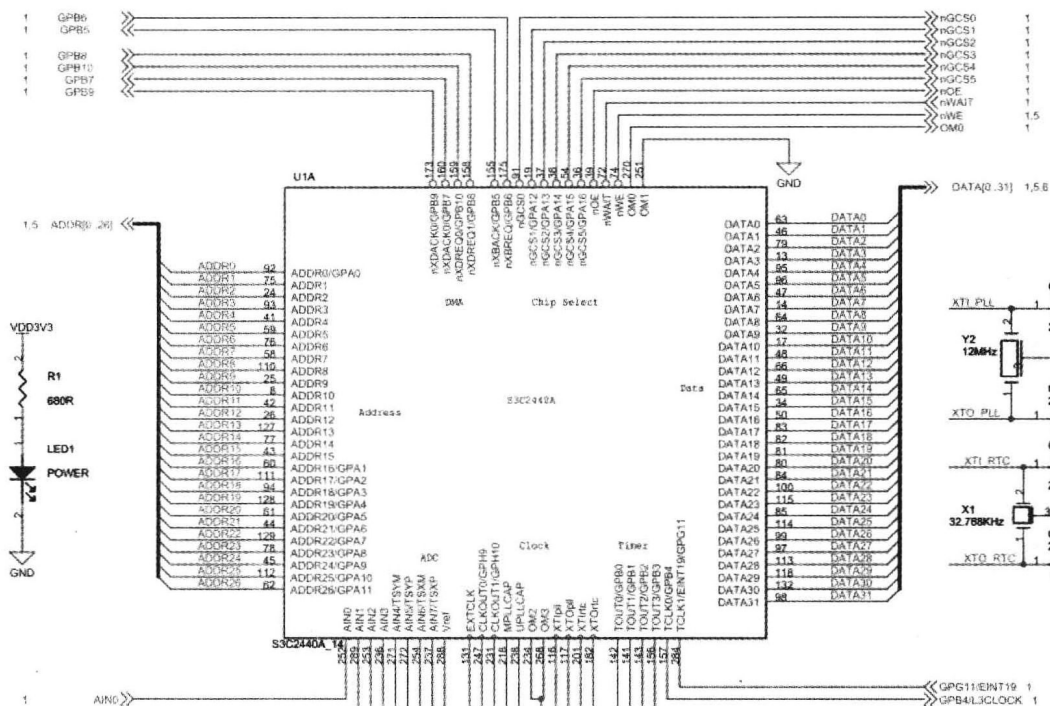


图 1.2 2440 部分原理图

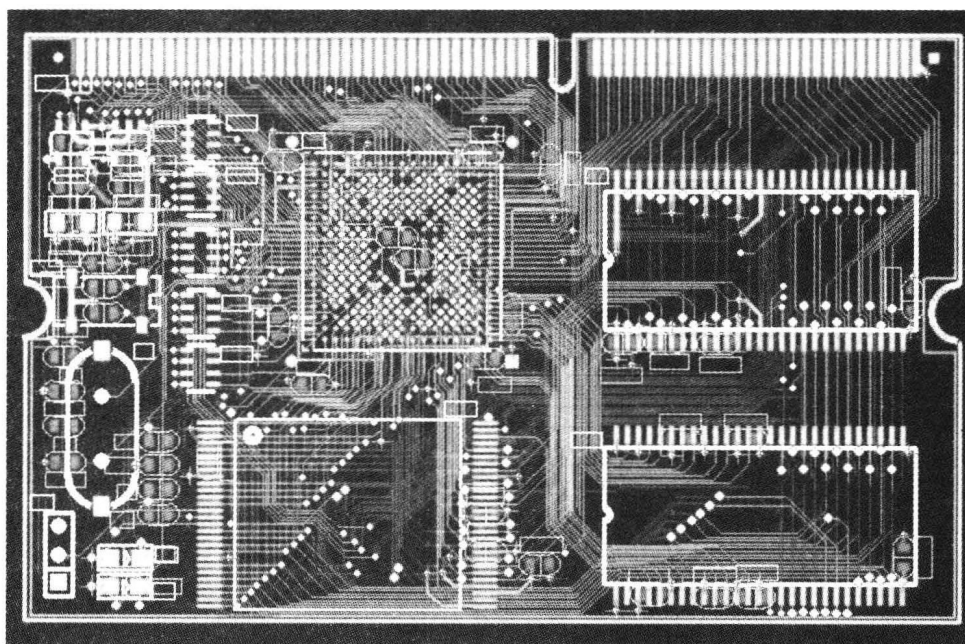


图 1.3 S3C2440 开发板的 PCB 图

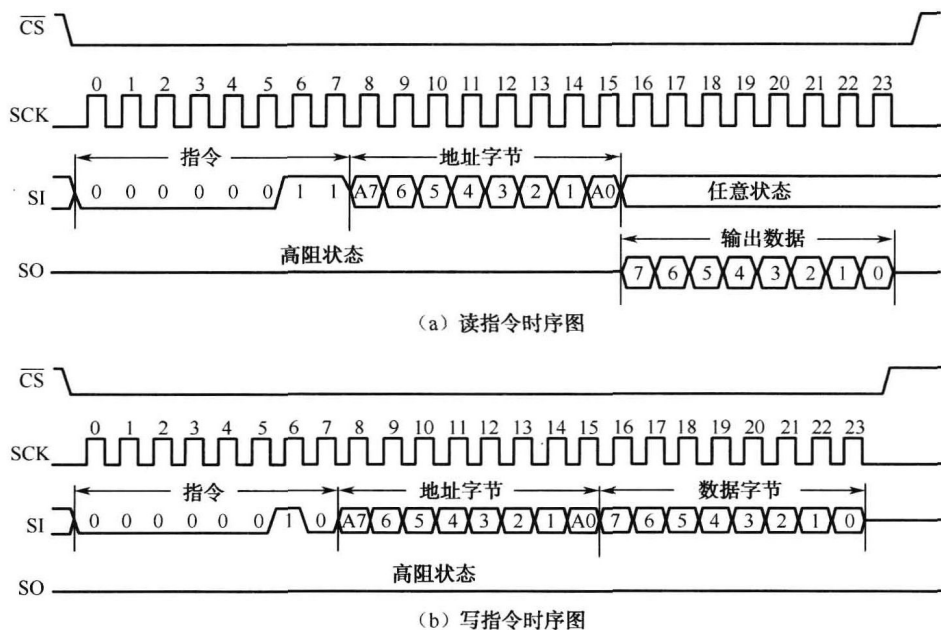


图 1.4 SPI 总线信号时序图 (Timing)

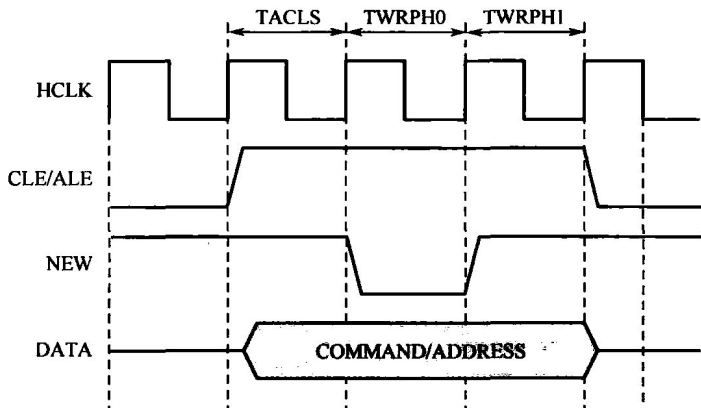


图 1.5 NAND Flash 控制时序图

1.3 软件控制硬件方法

作为一个嵌入式软件开发人员，必须熟悉如何控制硬件。

首先从技术上要确定项目开发采用哪种 CPU，这取决于项目人员的技术背景、产品、以前的经验、技术特点等。一般公司会尽可能采用同一种 CPU 来开发不同产品，这样可以最大可能节约成本，并且技术风险比较小。当确定了 CPU 后，研发人员就要研究 CPU 的相关文件、指令集和测试程序，这些都要在项目开始前完成。硬件 IC 的手机通常是 PDF 格式的，称为 DataSheet。CPU 的 DataSheet 相当于一本厚厚的技术词典，如 S3C2440 的 DataSheet 有 596 页。

如果要控制比较复杂的外部设备，通常还需要阅读相应的手册。因此在开发前，最好阅读尽可能多的手册。

以 S3C2440 CPU 为例，首先要通过了解 S3C2440 CPU 的框图（如图 1.6 所示）来了解这款 CPU 的大致部件。

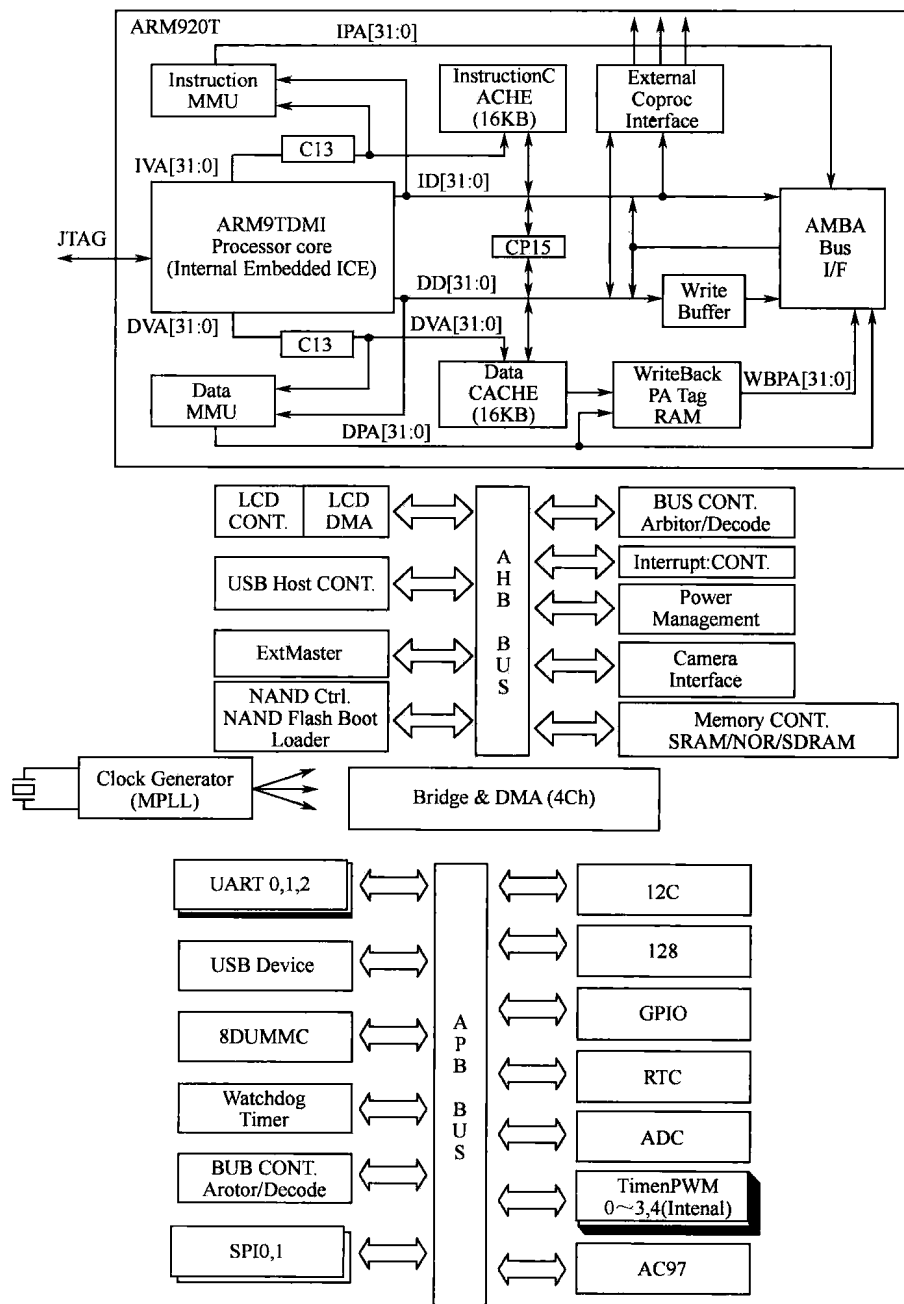


图 1.6 S3C2440 CPU 框图