

 高等教育规划教材

# 嵌入式系统 原理与应用

魏权利 李丽萍 林粤伟 编著



提供电子教案

下载网址 <http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



高等教育规划教材

# 嵌入式系统原理与应用

魏权利 李丽萍 林粤伟 编著



机械工业出版社

本书分为13章,内容包括:嵌入式系统概述;ARM微处理器体系结构;ARM微处理器指令系统;微处理器ARM程序设计;微处理器S3C2410A;嵌入式系统应用产品开发平台;嵌入式存储器系统及扩展接口电路设计;通用I/O端口和中断系统程序设计;微处理器S3C2410A的定时/计数器;A-D转换、触摸屏与LCD程序设计;嵌入式系统I/O总线接口与编程;嵌入式系统应用程序设计举例;ARM9实验项目及内容。

本书详实地介绍了ARM系统在启动过程中所涉及的硬件原理以及通过软件进行配置的程序。全书内容简练、概念清晰、逻辑性强、深入浅出,具有很强的专业性、技术性与实用性。

本书可以作为高等院校计算机类、自动化类、电气类专业的相关课程教材,也可以作为广大嵌入式开发工程师技术人员的参考用书。

本书配套授课电子课件,需要的教师可登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 免费注册,审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ:2966938356、电话:010-88379739)。

## 图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统原理与应用/魏权利,李丽萍,林粤伟编著. —北京:机械工业出版社,2014.9

高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-48650-3

I. ①嵌… II. ①魏… ②李… ③林… 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(2014)第274232号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:郝建伟 王 斌 责任校对:张艳霞

责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2014年11月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·22印张·532千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-48650-3

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:(010)88379833

机工官网:[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线:(010)88379649

机工官博:[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网:[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面无防伪标均为盗版

金书网:[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 出版说明

当前,我国正处在加快转变经济发展方式、推动产业转型升级的关键时期。为经济转型升级提供高层次人才,是高等院校最重要的历史使命和战略任务之一。高等教育要培养基础性、学术型人才,但更重要的是加大力度培养多规格、多样化的应用型、复合型人才。

为顺应高等教育迅猛发展的趋势,配合高等院校的教学改革,满足高质量高校教材的迫切需求,机械工业出版社邀请了全国多所高等院校的专家、一线教师及教务部门,通过充分的调研和讨论,针对相关课程的特点,总结教学中的实践经验,组织出版了这套“高等教育规划教材”。

本套教材具有以下特点:

1) 符合高等院校各专业人才的培养目标及课程体系的设置,注重培养学生的应用能力,加大案例篇幅或实训内容,强调知识、能力与素质的综合训练。

2) 针对多数学生的学习特点,采用通俗易懂的方法讲解知识,逻辑性强、层次分明、叙述准确而精炼、图文并茂,使学生可以快速掌握,学以致用。

3) 凝结一线骨干教师的课程改革和教学研究成果,融合先进的教学理念,在教学内容和方法上做出创新。

4) 为了体现建设“立体化”精品教材的宗旨,本套教材为主干课程配备了电子教案、学习与上机指导、习题解答、源代码或源程序、教学大纲、课程设计和毕业设计指导等资源。

5) 注重教材的实用性、通用性,适合各类高等院校、高等职业学校及相关院校的教学,也可作为各类培训班教材和自学用书。

欢迎教育界的专家和教师提出宝贵的意见和建议。衷心感谢广大教育工作者和读者的支持与帮助!

机械工业出版社

# 前 言

目前，嵌入式系统已经在工业控制、航天、军事、无线通信、汽车工业等领域得到广泛的应用。随着开发平台和开发软件的不断完善，开发的难度日益降低，越来越多的科技人员投入到了嵌入式系统产品的研发中，我国科技人员嵌入式应用系统开发的水平和国际地位明显提升。

在开发过程中，我们发现无论是进行嵌入式应用系统的裸机开发还是基于操作系统的开发，目前都很难找到一本能全面、系统地介绍嵌入式系统启动时或启动引导 Bootloader 所涉及的所有硬件电路工作原理以及程序设计的图书。本书的撰写就是为了弥补这一空缺。本书以在嵌入式系统开发领域得到广泛应用的 ARM 微处理器为主，全面系统地讲述了嵌入式系统的原理及应用。全书共有 13 章，各章的内容介绍如下：

第 1 章介绍了嵌入式系统的概念和组成，嵌入式微处理器的结构与类型，精简指令计算机系统 RISC 的特点和流水线技术，最后叙述了嵌入式应用系统的开发流程。

第 2 章介绍了 ARM 微处理器的结构、特点和应用选型，ARM 的总线系统与接口，重点讲述了 ARM9 体系结构的存储器组织、ARM9 微处理器的工作状态与运行模式、ARM9 体系结构的寄存器组织、ARM9 微处理器的异常。

第 3 章介绍 ARM9 微处理器的指令格式与特点、寻址方式，分类讲述 ARM9 指令的功能，并给出了大量的应用示例。

第 4 章主要讲述 ARM 汇编伪指令、ARM 汇编语言程序设计、ARM 汇编语言与 C 语言的混合编程以及子程序或函数之间的相互调用。

第 5 章主要讲述微处理器 S3C2410A 的体系结构、内部组成、存储器控制器的特性与空间分布、复位电路、电源电路、时钟电路与电源管理等。

第 6 章主要讲述了 ARM9 的软、硬件开发平台以及在实际应用中的配置。

第 7 章介绍了嵌入式存储器系统结构组成、MMU 的功能与工作原理，重点讲述了存储器控制寄存器的功能与实际应用中的设置编程、使用 8/16/32 位数据线存储器芯片扩展设计 8/16/32 位 ARM 总线系统的电路。

第 8 章简述了 S3C2410A 的 I/O 端口的功能，特殊功能寄存器的作用与配置；详细讲述了 ARM9 的中断系统以及实际应用的编程过程。

第 9 章讲述了 S3C2410A 的定时/计数器的工作原理，重点介绍了看门狗定时器、RTC 实时时钟，Timer 0 ~ Timer 4 定时/计数器的工作原理、功能寄存器以及它们的设置与应用编程。

第 10 章详细地介绍了 A - D 转换器、触摸屏、LCD 的工作原理，功能寄存器与编程。特别是 TFT - LCD 的应用程序设计。

第11章讲述了S3C2410A的UART、I<sup>2</sup>C、SPI总线的工作原理，特殊功能寄存器，并结合实际使用的总线接口芯片进行了程序设计。

第12章为嵌入式系统应用程序设计举例，详细介绍了S3C2410A启动程序的设计，数字温度传感器DS18B20的编程原理等，在此基础上完成了实时温度监测系统的设计。

第13章列出了实验项目与实验内容，通过实验加深对课程内容的理解。

本书计划需要48学时，教学过程中可以根据实际情况进行适当的调整。

本书主要由魏权利教授编写，并对全书的内容进行了审定。第9章由林粤伟博士编写。李丽萍高级实验师参与了整部教材的编写工作。信息学院2010级学生乔方昭对第12章的实际应用程序进行了调试，完成了整个程序的设计功能，在此表示感谢。机械工业出版社为本书的出版做了大量细致而周到的工作，使本书得以顺利出版，在此表示由衷的感谢。

由于作者的学识和水平有限，书中难免有错误和疏漏之处，欢迎广大读者批评指正。

编者

## 精品教材推荐目录

序号	书号	书名	作者	定价	获奖情况
1	978-7-111-44718-4	大学计算机基础(Windows 7+Office 2010) 第3版	刘瑞新	39.00	
2	978-7-111-28676-9	计算机应用基础教程(Windows XP+Office 2003)	刘志强	38.00	
3	978-7-111-47047-2	计算机应用基础(Windows 7+Office 2010)第2版	宁玲	43.00	
4	978-7-111-43012-4	新编C语言程序设计教程	钱雪忠	39.90	
5	978-7-111-33365-4	C++程序设计教程—化难为易地学习C++	黄品梅	35.00	十二五
6	978-7-111-48279-6	Visual Basic 程序设计教程(第3版)	刘瑞新	39.90	
7	978-7-111-31223-9	ASP.NET 程序设计教程(C#版)第2版	崔淼	38.00	
8	978-7-111-39152-4	ASP.NET 程序设计教程	崔连和	42.00	
9	978-7-111-46103-6	Android 应用程序开发	汪杭军	49.00	
10	978-7-111-45858-6	数据库系统原理及应用教程(SQL Server 2008)第4版	苗雪兰 刘瑞新	39.90	十二五、十一五
11	978-7-111-45454-0	数据库原理及应用(Access版)第3版	吴靖	39.00	北京精品教材
12	978-7-111-48219-2	Visual FoxPro 程序设计教程(第3版)	刘瑞新	39.90	
13	978-7-111-39525-6	多媒体技术应用教程(第7版)	赵子江	39.00	十二五、十一五、 全国优秀畅销书奖
14	978-7-111-26505-4	多媒体技术基础(第2版)	赵子江	36.00	北京精品教材
15	978-7-111-44520-3	计算机网络——原理、技术与应用(第2版)	王相林	49.90	浙江精品教材
16	978-7-111-08257-5	计算机网络应用教程(第3版)	王洪	32.00	北京精品教材
17	978-7-111-36023-0	无线移动互联网——原理、技术与应用	崔勇	52.00	十二五、北京精品 教材立项
18	978-7-111-20898-3	TCP/IP 协议分析及应用	杨延双	39.00	北京精品教材
19	978-7-111-46983-4	网络安全技术及应用(第2版)	贾铁军	49.00	上海精品教材
20	978-7-111-45196-9	物联网导论	薛燕红	45.00	
21	978-7-111-39540-9	物联网概论	韩毅刚	45.00	
22	978-7-111-41218-2	网页设计与制作教程(HTML+CSS+JavaScript)	刘瑞新	39.90	
23	978-7-111-43389-7	操作系统原理	周苏	49.90	
24	978-7-111-35895-4	Linux 应用基础教程——Red Hat Enterprise Linux/CentOS 5	梁如军	58.00	
25	978-7-111-23424-1	嵌入式系统原理及应用开发	陈渝	35.00	北京精品教材
26	978-7-111-45795-4	数据结构与算法(第3版)	张小莉	39.90	
27	978-7-111-26532-0	软件开发技术基础(第2版)	赵英良	34.00	十二五、十一五
28	978-7-111-27907-5	计算机软件技术基础	李淑芬	30.00	北京精品教材立项
29	978-7-111-26103-2	信息安全概论	李剑	28.00	
30	978-7-111-40081-3	防火墙技术与应用	陈波	29.00	

教材样书申请、咨询电话：010-88379739，QQ：2850823885，网址：<http://www.cmpedu.com>

# 目 录

## 出版说明

## 前言

<b>第1章 嵌入式系统概述</b> .....	1	2.3.3 ARM的协处理器接口.....	16
1.1 嵌入式系统的概念与组成.....	1	<b>2.4 ARM9体系结构的存储器组织</b> .....	16
1.1.1 嵌入式系统的定义.....	1	2.4.1 ARM体系结构的存储器空间.....	17
1.1.2 嵌入式系统的应用过程和发展趋势.....	1	2.4.2 ARM9中的大端存储与小端存储.....	17
1.1.3 嵌入式系统的组成.....	2	2.4.3 I/O端口的访问方式.....	18
1.2 嵌入式微处理器的结构与类型.....	3	<b>2.5 ARM9微处理器的工作状态与运行模式</b> .....	18
1.2.1 嵌入式微控制器.....	3	2.5.1 ARM9微处理器的工作状态.....	19
1.2.2 嵌入式DSP处理器.....	3	2.5.2 ARM9微处理器的运行模式.....	19
1.2.3 嵌入式微处理器.....	4	<b>2.6 ARM9体系结构的寄存器组织</b> .....	20
1.2.4 嵌入式片上系统.....	5	2.6.1 通用寄存器.....	21
1.3 计算机组成、体系结构与嵌入式处理器.....	5	2.6.2 程序状态寄存器.....	22
1.3.1 冯·诺依曼结构与哈佛结构.....	5	<b>2.7 ARM9微处理器的异常</b> .....	24
1.3.2 精简指令计算机RISC.....	6	2.7.1 ARM9微处理器异常的概念.....	24
1.3.3 流水线计算机.....	7	2.7.2 ARM体系结构的异常类型.....	24
1.3.4 嵌入式微处理器的信息存储方式.....	7	2.7.3 各种异常类型的含义.....	25
1.4 嵌入式应用系统的开发流程.....	9	2.7.4 异常的响应过程.....	25
习题.....	10	2.7.5 应用程序中的异常处理.....	26
<b>第2章 ARM微处理器体系结构</b> .....	11	习题.....	27
2.1 ARM微处理器的体系结构与特点.....	11	<b>第3章 ARM微处理器指令系统</b> .....	28
2.1.1 ARM微处理器体系的结构.....	11	3.1 ARM9的指令格式.....	28
2.1.2 ARM微处理器体系的特点.....	11	3.1.1 ARM9微处理器的指令格式与特点.....	28
2.2 ARM微处理器系列介绍及应用选型.....	12	3.1.2 指令执行的条件码.....	30
2.2.1 ARM7微处理器系列.....	12	<b>3.2 ARM9微处理器指令的寻址方式与应用示例</b> .....	31
2.2.2 ARM9微处理器系列.....	13	3.2.1 立即数寻址方式.....	31
2.2.3 ARM微处理器的应用选型.....	13	3.2.2 寄存器寻址方式.....	32
2.3 ARM的总线系统与接口.....	14	3.2.3 寄存器偏移寻址方式.....	32
2.3.1 ARM的总线系统.....	14	3.2.4 寄存器间接寻址方式.....	34
2.3.2 ARM的JTAG调试接口.....	15	3.2.5 基址+变址寻址方式.....	34



3.2.6 多寄存器寻址方式 .....	35	<b>第5章 微处理器 S3C2410A .....</b>	<b>89</b>
3.2.7 堆栈寻址方式 .....	36	5.1 微处理器 S3C2410A 介绍 .....	89
3.2.8 块复制寻址方式 .....	37	5.1.1 微处理器 S3C2410A 的体系结构 ...	89
3.2.9 相对寻址方式 .....	37	5.1.2 微处理器 S3C2410A 的内部结构 ...	89
3.3 ARM9 指令系统 .....	38	5.1.3 微处理器 S3C2410A 的技术特点 ...	90
3.3.1 ARM 数据处理指令 .....	38	5.2 微处理器 S3C2410A 存储器	
3.3.2 寄存器装载及存储指令 .....	45	控制器特性与空间分布 .....	92
3.3.3 ARM 跳转指令 .....	49	5.2.1 微处理器 S3C2410A 存储器	
3.3.4 ARM 杂项指令 .....	51	控制器特性 .....	92
3.3.5 ARM 协处理器指令 .....	55	5.2.2 微处理器 S3C2410A 存储器	
3.3.6 ARM 伪指令 .....	57	空间分布 .....	93
习题 .....	60	5.3 微处理器 S3C2410A 时钟电路与	
<b>第4章 微处理器 ARM 程序设计 .....</b>	<b>61</b>	时钟频率管理 .....	94
4.1 ARM 汇编伪指令 .....	61	5.3.1 微处理器 S3C2410A 外部时钟	
4.1.1 数据常量定义伪指令 EQU .....	61	电路 .....	94
4.1.2 数据变量定义伪指令 .....	62	5.3.2 微处理器 S3C2410A 锁相环 PLL ...	95
4.1.3 内存分配伪指令 .....	63	5.3.3 微处理器 S3C2410A 时钟分频	
4.1.4 汇编控制伪指令 .....	66	控制 .....	97
4.1.5 汇编程序中常用伪指令 .....	68	5.3.4 微处理器 S3C2410A 时钟频率	
4.1.6 汇编语言中的运算符与表达式 .....	71	管理 .....	97
4.1.7 Linux 操作系统中 GNU 开发		5.3.5 S3C2410A 工作频率的设置与	
环境下的伪指令 .....	74	分频编程示例 .....	99
4.2 ARM 汇编语言程序设计 .....	76	5.4 微处理器 S3C2410A 复位电路	
4.2.1 ARM 汇编中的源文件类型 .....	76	与电源电路 .....	101
4.2.2 ARM 汇编语言的语句格式 .....	76	5.4.1 微处理器 S3C2410A 复位电路 .....	101
4.2.3 ARM 汇编语言的程序结构 .....	77	5.4.2 微处理器 S3C2410A 电源电路 .....	103
4.3 ARM 汇编语言与 C 语言混合		5.5 微处理器 S3C2410A 电源功耗	
编程 .....	79	管理 .....	103
4.3.1 基本的 APCS .....	79	5.5.1 电源功耗管理模式及时钟功率	
4.3.2 汇编语言程序调用 C 语言程序 .....	80	配给 .....	104
4.3.3 C 语言程序中调用汇编语言程序 ...	81	5.5.2 慢速控制寄存器 CLKSLOW 的属性	
4.3.4 C 语言程序中内嵌汇编语言程序 ...	82	及其位功能 .....	104
4.3.5 在汇编程序中访问 C 语言程序		5.5.3 电源功耗管理状态转换图 .....	105
变量 .....	83	习题 .....	106
4.3.6 嵌入式 C 语言中的几个特殊		<b>第6章 嵌入式系统应用产品</b>	
关键字 .....	84	开发平台 .....	107
4.4 ARM 程序设计应用示例 .....	85	6.1 硬件开发平台 .....	107
习题 .....	87	6.1.1 FL2440 开发板硬件资源简介 .....	107

6.1.2 PC 与开发板的硬件连接 .....	108	<b>第 8 章 通用 I/O 端口和中断系统</b>	
<b>6.2 软件开发平台 .....</b>	<b>108</b>	<b>程序设计 .....</b>	<b>153</b>
6.2.1 交叉开发环境简介 .....	108	8.1 S3C2410A 的通用 I/O 端口 .....	153
6.2.2 ADS1.2 集成开发环境简介 .....	108	8.1.1 I/O 端口的功能 .....	153
6.2.3 编写应用程序需要使用的		8.1.2 通用 I/O 端口功能寄存器 .....	157
头文件 .....	110	8.1.3 其他端口功能寄存器 .....	162
6.2.4 Code Warrior IDE 集成开发		8.1.4 通用 I/O 端口程序设计示例 .....	164
环境的使用 .....	111	<b>8.2 微处理器 S3C2410A 中断系统</b>	
6.2.5 AXD 调试器的使用 .....	117	<b>程序设计 .....</b>	<b>166</b>
<b>习题 .....</b>	<b>124</b>	8.2.1 S3C2410A 中断系统的树型结构 .....	167
<b>第 7 章 嵌入式存储器系统及扩展接口</b>		8.2.2 S3C2410A 的中断源 .....	169
<b>电路设计 .....</b>	<b>125</b>	8.2.3 S3C2410A 中断请求过程 .....	169
<b>7.1 嵌入式存储器系统结构组成 .....</b>	<b>125</b>	8.2.4 ARM 中断控制寄存器 .....	170
7.1.1 嵌入式存储器的层次结构及		8.2.5 子中断控制寄存器 .....	175
特点 .....	125	8.2.6 外部中断功能寄存器 .....	176
7.1.2 ARM9 高速缓冲存储器 Cache .....	126	<b>8.3 S3C2410A 中断服务程序的</b>	
7.1.3 S3C2410A 存储器管理单元 MMU .....	126	<b>设计 .....</b>	<b>180</b>
7.1.4 S3C2410A 主存储器分布以及使用的		8.3.1 S3C2410A 中断服务程序实现框架	
存储器类型 .....	128	之一: 普通实现方式 .....	180
<b>7.2 存储器控制寄存器 .....</b>	<b>129</b>	8.3.2 S3C2410A 中断服务程序实现框架之二:	
7.2.1 存储器控制寄存器介绍 .....	130	基于中断向量的实现方式 .....	182
7.2.2 主存芯片配置编程实例 .....	134	8.3.3 子中断服务程序的实现框架 .....	186
<b>7.3 8 位/16 位/32 位内存芯片扩展</b>		8.3.4 外部中断服务程序的实现框架 .....	187
<b>设计 .....</b>	<b>135</b>	8.3.5 中断服务程序的应用示例 .....	188
7.3.1 8 位存储器芯片扩展设计 .....	135	<b>习题 .....</b>	<b>190</b>
7.3.2 16 位存储器芯片扩展设计 .....	137	<b>第 9 章 微处理器 S3C2410A 的定时/</b>	
<b>7.4 Nor Flash 闪存接口设计 .....</b>	<b>138</b>	<b>计数器 .....</b>	<b>191</b>
7.4.1 Nor Flash 与 Nand Flash 的区别 .....	139	9.1 S3C2410A 定时/计数器原理 .....	191
7.4.2 Nor Flash 实用电路设计 .....	140	9.2 看门狗定时器	
<b>7.5 闪存 Nand Flash 存储器接口</b>		<b>(WATCHDOG) .....</b>	<b>192</b>
<b>设计 .....</b>	<b>141</b>	9.2.1 看门狗定时器的工作原理 .....	192
7.5.1 Nand Flash 的结构组成 .....	142	9.2.2 看门狗特殊功能控制寄存器 .....	192
7.5.2 Nand Flash 的引导、工作模式 .....	144	9.2.3 看门狗定时器应用示例 .....	194
7.5.3 Nand Flash 控制功能寄存器 .....	145	<b>9.3 具有脉宽调制 (PWM) 的</b>	
7.5.4 Nand Flash 的实用电路与		<b>定时器 (TIMER) .....</b>	<b>195</b>
程序设计 .....	146	9.3.1 定时器 TIMER 概述 .....	195
<b>7.6 SDRAM 存储器的电路设计 .....</b>	<b>150</b>	9.3.2 TIMER 部件的操作 .....	195
<b>习题 .....</b>	<b>152</b>	9.3.3 TIMER 特殊功能控制寄存器 .....	199

9.3.4 定时器 TIMER 应用示例 .....	201	习题 .....	252
9.4 实时时钟 RTC .....	203	<b>第 11 章 嵌入式系统 I/O 总线接口与编程 .....</b>	<b>253</b>
9.4.1 RTC 概述 .....	203	11.1 串行通信接口原理与 S3C2410A 的 UART 编程 .....	253
9.4.2 RTC 功能寄存器 .....	204	11.1.1 数字通信的分类与特点 .....	253
9.4.3 RTC 应用程序设计 .....	206	11.1.2 串行通信标准 .....	254
习题 .....	209	11.1.3 S3C2410A 的 UART 简介与结构 .....	258
<b>第 10 章 A-D 转换、触摸屏与 LCD</b>		11.1.4 S3C2410A 的 UART 操作 .....	259
<b>程序设计 .....</b>	<b>211</b>	11.1.5 S3C2410A 的 UART 功能寄存器 .....	261
10.1 S3C2410A 的模-数转换器与程序设计 .....	211	11.1.6 S3C2410A 的 UART 编程示例 .....	266
10.1.1 ADC 的分类与工作原理 .....	211	<b>11.2 I<sup>2</sup>C 接口原理与编程 .....</b>	<b>275</b>
10.1.2 ADC 的主要技术参数 .....	214	11.2.1 I <sup>2</sup> C 总线接口原理 .....	275
10.1.3 S3C2410A 模-数转换器 ADC 主要性能指标 .....	214	11.2.2 I <sup>2</sup> C 的总线协议 .....	276
10.1.4 S3C2410A 模-数转换器 ADC 和触摸屏接口电路 .....	215	11.2.3 S3C2410A 的 I <sup>2</sup> C 接口 .....	277
10.1.5 S3C2410A 中 ADC 的功能寄存器 .....	216	11.2.4 I <sup>2</sup> C 总线专用寄存器 .....	279
10.1.6 S3C2410A 的 ADC 编程示例 .....	218	11.2.5 S3C2410A 处理器 I <sup>2</sup> C 总线与 E <sup>2</sup> PROM 芯片 AT24C02 应用编程示例 .....	281
10.2 LCD 触摸屏原理与程序设计 .....	219	11.2.6 仿真 I <sup>2</sup> C 总线的 MCS-51 单片机实现程序 .....	287
10.2.1 LCD 电阻式触摸屏的工作原理 .....	219	<b>11.3 SPI 接口原理与编程 .....</b>	<b>288</b>
10.2.2 S3C2410A 与 LCD 触摸屏接口电路 .....	220	11.3.1 SPI 接口原理 .....	288
10.2.3 使用触摸屏的配置过程 .....	221	11.3.2 S3C2410A 的 SPI 接口电路 .....	290
10.2.4 触摸屏编程接口模式 .....	221	11.3.3 SPI 功能寄存器 .....	292
10.2.5 S3C2410A 的 LCD 触摸屏编程示例 .....	222	11.3.4 SPI 总线接口编程流程 .....	295
10.3 液晶显示器 LCD 与程序设计 .....	224	11.3.5 S3C2410A 的 SPI 与内置 E <sup>2</sup> PROM 的看门狗芯片 X5045 应用编程示例 .....	296
10.3.1 LCD 的显示原理与分类 .....	225	习题 .....	303
10.3.2 S3C2410A LCD 控制器的特性 .....	226	<b>第 12 章 嵌入式系统应用程序设计</b>	
10.3.3 S3C2410A LCD 控制器的内部结构和显示数据格式 .....	227	<b>举例 .....</b>	<b>305</b>
10.3.4 S3C2410A LCD 功能控制寄存器 .....	229	12.1 嵌入式系统启动引导程序 .....	305
10.3.5 TFT-LCD 控制器操作 .....	237	12.1.1 启动引导程序的作用 .....	305
10.3.6 LCD 控制寄存器的配置 .....	242	12.1.2 启动引导程序任务 .....	306
10.3.7 S3C2410A 的 LCD 显示程序设计 .....	242	12.1.3 引导程序的启动流程 .....	306
		12.2 系统启动引导程序的设计 .....	307

12.2.1	外部文件的引用 .....	307	13.1.2	ARM 乘法指令实验 .....	330
12.2.2	常量的定义 .....	308	13.1.3	寄存器装载及存储汇编指令 实验 .....	331
12.2.3	S3C2410A 的异常处理 .....	310	13.1.4	算术加/减法汇编指令实验 .....	332
12.2.4	主体程序 .....	314	13.1.5	ARM 微处理器工作模式与堆栈指针 设置实验 .....	334
12.2.5	调用 C 语言程序 .....	317	13.2	C 语言实验项目及内容 .....	336
12.3	应用程序 Main 函数的实现 .....	317	13.2.1	ARM C/C++ 语言实验 1 .....	336
12.3.1	应用程序中的文件引用和变量 定义 .....	318	13.2.2	ARM C/C++ 语言实验 2 .....	337
12.3.2	实时时钟 RTC 主要函数代码 .....	318	13.3	混合编程实验项目及内容 .....	338
12.3.3	触摸屏主要函数代码 .....	319	13.3.1	汇编 - C 语言数据块拷贝编程 实验 .....	338
12.3.4	数字温度传感器 DS18B20 主要函数设计 .....	321	13.3.2	C - 汇编语言整型 4 参数加法 编程实验 .....	339
12.3.5	LCD 主要函数设计 .....	325	13.3.3	汇编 - C 语言 BCD 码编程 实验 .....	339
12.3.6	应用系统测试函数的设计 .....	327	13.4	FL2440 开发板实验 .....	340
习题	.....	327	参考文献	.....	341
<b>第 13 章 ARM9 实验项目及内容</b>	.....	329			
13.1	汇编语言实验项目及内容 .....	329			
13.1.1	熟悉开发环境与汇编编程 .....	329			

# 第 1 章 嵌入式系统概述

嵌入式系统是后 PC 时代被广泛应用的计算机系统。在人们的日常生活、学习和工作中所接触的仪器或设备中，都能嵌入具有强大控制能力和计算能力的嵌入式计算机系统。它不仅广泛应用于成熟领域，如工业控制、家用电器、通信设备、网络设备、医疗器械和军事装置等，而且随着嵌入式系统的不断发展还衍生出了许多新的应用，如 PDA、智能手机、MP4 播放器、运动控制器和无线路由器等。可以预见，嵌入式系统随着技术的不断进步、使用范围的逐步扩展、开发环境更加方便易用，必将会有更多的技术人员投入嵌入式系统应用开发当中，开发出更多更好的产品，促进嵌入式系统在更多领域发挥更大作用。

## 1.1 嵌入式系统的概念与组成

本节首先介绍嵌入式系统的定义与“三要素”，然后介绍嵌入式系统的应用过程和发展趋势，最后介绍嵌入式系统的组成。

### 1.1.1 嵌入式系统的定义

嵌入式系统的定义有许多，但它们的真正含义基本相同，以下是具体的定义内容。

根据国际电气与电子工程师协会 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 的定义，嵌入式系统是“控制、监视或者辅助设备、机器和车间运行的装置”。

目前国内一个普遍被认同的定义是：以应用为中心，以计算机技术为基础，软件硬件可裁剪，适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

也可以这样定义：嵌入式系统是一种专用的单片计算机系统，作为装置或设备的主控或监测器件，焊接在它们的印制电路板 (PCB) 中，完成某种特定功能。

嵌入式系统一般由嵌入式微处理器芯片、外围硬件设备、嵌入式操作系统以及用户应用程序 4 个部分组成。

嵌入式系统的三个基本要素是指“嵌入性”、“专用性”与“计算机系统”。嵌入性是指它是以芯片的形式嵌入在 PCB 印制电路板中；专用性是指它是为特定的设备量身定做的软硬件系统；计算机系统是说，它虽然以芯片的形式显现，但是它具有一台计算机的软硬件功能。

目前嵌入式系统的应用无处不在，8 位单片机嵌入式系统，例如 MCS-51 系列，在低端产品中是主流，它占整个嵌入式系统的市场份额约为 70%。在中、高端产品中 ARM 使用占 70% 左右的份额，在移动电话、数码照相机、数字电视的机顶盒、微波炉、汽车的防抱死制动系统 (ABS) 等装置或设备中都使用了 ARM 嵌入式系统。

### 1.1.2 嵌入式系统的应用过程和发展趋势

#### 1. 嵌入式系统应用过程的 4 个阶段

##### (1) 第 1 阶段：无操作系统阶段

MCS-51 系列单片机是最早应用的嵌入式系统之一，单片机作为各类工业控制和飞机、

导弹等武器装备中的微控制器，用来执行一些单线程的程序，完成监测、伺服和设备指示等多种功能，一般没有操作系统的支持，程序设计采用汇编语言或 C51 语言。采用汇编语言编写的程序具有效率高、占用内存少、实时性强且控制时间精准等特点。缺点是对技术人员的要求高，开发周期相对长一些。

现在使用意法半导体（ST）公司基于 ARM9 的 ARM Cortex - M3 内核产品——STM32 微处理器芯片开发的实时控制设备，大部分都是在无操作系统的情况下使用 C 语言开发的，它比在有操作系统下开发有更高的运行效率。目前开发要求具有强实时性的装备时也是在“裸机”情况（无操作系统）下开发的。

### (2) 第 2 阶段：简单操作系统阶段

20 世纪 80 年代，出现了大量具有高可靠性、低功耗的嵌入式 CPU。芯片上集成有 CPU、I/O 接口、串行接口及 RAM、ROM 等部件，是面向 I/O 设计的微控制器在嵌入式系统设计中的应用。一些简单的嵌入式操作系统开始出现并得到迅速发展，如较为常用的  $\mu$ C/OS 嵌入式操作系统，程序设计人员也开始基于嵌入式操作系统开发嵌入式应用软件。此时的嵌入式操作系统虽然还比较简单，但已经初步具有了一定的兼容性和扩展性，内核精巧且效率高，大大缩短了开发周期，提高了开发效率。

### (3) 第 3 阶段：实时操作系统阶段

20 世纪 90 年代，面对分布控制、柔性制造、数字化通信和信息家电等巨大市场的需求，嵌入式系统飞速发展。随着硬件实时性要求的提高，出现了实时多任务操作系统 RTOS（Real - Time Operating System），实时操作系统在嵌入式系统中的应用使应用软件的开发变得更加简单。

### (4) 第 4 阶段：面向 Internet 阶段

进入 21 世纪，Internet 技术与信息家电、工业控制技术等的结合日益紧密，嵌入式技术与 Internet 技术的结合正在推动着嵌入式系统的飞速发展。由于 Linux 是 UNIX 的 PC 版本，具有强大的网络功能，且为开源软件，因此嵌入式 Linux 操作系统得到了广泛的应用。微软公司也看到了嵌入式市场的广阔前景，推出 Windows CE 嵌入式操作系统，对于熟悉 Windows 开发环境的开发者来讲，也提供了基于 Windows 平台的嵌入式系统开发能力。

## 2. 嵌入式系统的发展趋势

面对嵌入式技术与 Internet 技术的结合，嵌入式系统的开发和应用呈现出以下发展趋势。

1) 新的微处理器层出不穷，大都朝着精简系统内核，优化关键算法，降低功耗和软硬件成本，提供更加友好的多媒体人机交互界面的方向发展。

2) Linux、Windows CE、Palm OS 等嵌入式操作系统迅速发展。嵌入式操作系统自身结构的设计体现出更加便于移植。具有源代码开放、系统内核小、执行效率高、网络结构完整等特点，能够在短时间内支持更多的微处理器。

3) 嵌入式系统的开发成了一项系统工程，开发厂商不仅要提供嵌入式软硬件系统本身，同时还要提供强大的硬件开发工具和软件支持包。

### 1.1.3 嵌入式系统的组成

嵌入式系统的组成包括嵌入式系统硬件和嵌入式软件两个部分，以下分别予以介绍。

嵌入式系统的硬件组成主要包含有嵌入式处理器、外围设备接口和执行装置（被控对象）。

嵌入式系统的软件组成，对于裸机开发来讲主要有以下内容：嵌入式处理器芯片内部三总

线频率的设置,配置存储器芯片的设置,7种异常模式堆栈指针的设置,中断指针的传递程序,为C语言的运行创建环境,I/O端口的配置与控制程序、应用程序等。以上前5个部分也是 Bootloader(启动引导程序)的主要内容。

对于基于操作系统的嵌入式软件开发来讲,主要包括 Bootloader 启动引导程序的移植,操作系统内核的移植,文件系统的移植,I/O设备驱动程序的编写以及加载,图形用户接口程序设计,应用程序的设计等。

嵌入式计算机系统是整个嵌入式系统的核心,可以分为硬件层、中间层、系统软件层和应用软件层。执行装置接受嵌入式计算机系统发出的控制命令,执行所规定的操作或任务。

嵌入式系统从整体上来讲也可以分为硬件层、中间层、系统软件层和应用软件层。

## 1.2 嵌入式微处理器的结构与类型

嵌入式处理器是隐藏在控制设备或装置中,完成接收现场数据,进行数据处理,并向执行装置发出控制命令的微处理器。1971年 Intel 公司推出了 Intel4004,1974年推出了 Intel8080,1976年 zilog 制造了与 8080 兼容的 CPU z-80,这类处理器(称为 CPU)所构造的是单板微型计算机系统,简称单板机,是嵌入式应用的前身;随后出现了简称单片机的单片微型计算机。例如 Intel 公司在 1976 年 9 月推出的 MCS-51 系列 8 位单片机,它内部不但集成了 CPU,还集成了存储器和 I/O 接口等计算机的元素,但这时嵌入式系统的概念还不是热点的技术名词;一直到 20 世纪 90 年代后期 32 位 ARM 微处理器的广泛使用,嵌入式系统的概念才被广大技术人员所熟知。现在人们把具有计算机基本组成元素的单片微型集成电路芯片,从 MCS51 系列单片机开始到目前的 32 位 ARM 微处理器统称为嵌入式系统,但从技术人员角度出发,嵌入式系统主要指的是 32 位 ARM 微处理器单片机。

嵌入式微处理器按 CPU 处理能力可分为 8 位、16 位、32 位和 64 位。一般把处理能力在 16 位及以下的称为嵌入式微控制器(Embedded Microcontroller),32 位及以上的称为嵌入式微处理器。

嵌入式微处理器内部将 CPU、ROM、RAM 及 I/O 等部件集成到同一个芯片上,也称为单芯片微控制器(Single Chip Microcontroller)。

根据用途,可以将嵌入式处理器分为嵌入式微控制器、嵌入式微处理器、嵌入式 DSP 处理器、嵌入式片上系统、双核或多核处理器等类型。

### 1.2.1 嵌入式微控制器

嵌入式微控制器 MCU(Micro Controller Unit)的典型代表为单片机,芯片内部集成了 ROM、RAM、总线逻辑、定时/计数器、看门狗、I/O、串行口、脉宽调制输出(PWM)、A-D、D-A、Flash、EEPROM 等各种必要功能和外设。嵌入式微控制器具有单片化、体积小、功耗和成本低,可靠性高等特点,约占嵌入式系统市场份额的 70%。

嵌入式微控制器的代表就是 MCS-51 系列单片机,主要使用其汇编语言或 C 语言进行裸机开发。

### 1.2.2 嵌入式 DSP 处理器

嵌入式 DSP 处理器(Embedded Digital Signal Processor, EDSP)是专门用于信号处理方面

的处理器，芯片内部采用程序和数据分开存储和传输的哈佛结构，具有专门硬件乘法器，采用流水线操作，提供特殊的 DSP 指令，可用来快速地实现各种数字信号处理算法，使其处理速度比其他最快的 CPU 还快 10 倍以上。

从 20 世纪 80 年代到现在，缩小 DSP 芯片尺寸始终是 DSP 技术的发展方向。DSP 处理器已发展到第 5 代产品，多数基于精简指令集计算机 RISC (Reduced Instruction Set Computer) 结构，并将几个 DSP 芯核、MPU 芯核、专用处理单元、外围电路单元和存储单元集成在一个芯片上，成为 DSP 系统级集成电路，其系统集成度极高。

DSP 运算速度的提高主要依靠新工艺改进芯片结构。目前一般的 DSP 运算速度为 100MIPS (即每秒钟可运算 1 亿条指令)。TI 的 TM320C6X 芯片由于采用超长指令字 VLIW (Very Long Instruction Word) 结构设计，其处理速度已高达 2000MIPS。按照发展趋势，DSP 的运算速度完全可能再提高 100 倍 (达到 1600GIPS)。

目前 DSP 芯片在机械电子的控制方面运用广泛，如在变频器、PLC 中作为它的控制核心。它的开发基本也是在裸机中进行的，主要使用 C 语言进行裸机程序设计。

### 1.2.3 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器 (Micro Processor Unit, MPU) 由通用计算机的 CPU 发展而来，嵌入式微处理器只保留和嵌入式应用紧密相关的功能硬件，去除其他的冗余功能部分，以最低的功耗和资源实现嵌入式应用的特殊要求。通常嵌入式微处理器把 CPU、ROM、RAM 及 I/O 等做到同一个芯片上。32 位微处理器采用 32 位的地址和数据总线，其地址空间达到了  $2^{32} = 4GB$ 。目前主流的 32 位嵌入式微处理器系列主要有 ARM 系列、MIPS 系列、PowerPC 系列，属于这些系列的嵌入式微处理器产品很多，有千种以上。

#### 1. 嵌入式 ARM 系列

ARM (Advanced RISC Machine) 公司的 ARM 微处理器体系结构目前被公认为是嵌入式应用领域领先的 32 位嵌入式 RISC 微处理器结构。ARM 体系结构目前发展并定义了 7 种不同的版本。从版本 v1 到版本 v7，ARM 体系的指令集功能不断扩大。ARM 微处理器系列中的各种处理器，虽然在实现技术、应用场合和性能方面都不相同，但只要支持相同的 ARM 体系版本，基于它们的应用软件是兼容的。

目前，大量的移动电话、游戏机、平板电脑和机顶盒等设备都已采用了 ARM 微处理器，许多一流的芯片厂商都是 ARM 的授权用户，如 Intel、Samsung、TI、Freescale、ST 等公司。

#### 2. 嵌入式 MIPS 系列

美国斯坦福大学的 Hennessy 教授领导的研究小组研制的无互锁流水级微处理器 MIPS (Microprocessor without Interlocked Piped Stages) 是世界上很流行的一种 RISC 处理器，其机制是尽量利用软件办法避免流水线中的数据相关问题。

从 20 世纪 80 年代初期 MIPS 处理器发明到现在的这 30 多年里，MIPS 处理器以其高性能的处理能力被广泛应用于路由器、调制解调设备、电视、游戏机、打印机、DVD 播放器等广泛的领域。

#### 3. 嵌入式 PowerPC 系列

PowerPC 是 Freescale (原 Motorola) 公司的产品。PowerPC 的 RISC 处理器采用了超量处理器设计和调整内存缓冲器，修改了指令处理设计，它完成一个操作所需的指令数比复杂指令集计算机 CISC (Complex Reduced Instruction Set Computer) 结构的处理器要多，但完成操作的



总时间却减少了。

PowerPC 内核采用独特分支处理单元可以让指令预取效率大大提高，即使指令流水线上出现跳转指令，也不会影响到其运算单元的运算效率。PowerPC RISC 处理器设计了多级内存高速缓冲区，以便让那些正在访问（或可能会被访问）的数据和指令总是存储在调整内存中。这种内存分层和内存管理设计，指令系统的内存访问性能非常接近调整内存，但其成本却与低速内存相近。

### 1.2.4 嵌入式片上系统

嵌入式片上系统（System On Chip, SOC）最大的特点是成功实现了软硬件无缝结合，直接在处理器片内嵌入操作系统的代码模块，而且具有极高的综合性，在一个芯片内部运用超高速硬件描述语言 VHDL，即可实现一个复杂的系统。与传统的系统设计不同，用户不需要绘制庞大复杂的电路板来一点点地连接焊制，只需要使用精确的语言，综合时序设计直接在器件库中调用各种通用处理器的标准，然后通过仿真就可以直接交付芯片厂商进行生产，设计生产效率高。

在 SOC 中，绝大部分系统构件都是在系统内部，系统简洁、体积和功耗小，可靠性高。SOC 芯片已在高频处理、视频处理、影视制作、网络及系统逻辑等应用领域中广泛应用。

## 1.3 计算机组成、体系结构与嵌入式处理器

计算机组成主要是指，计算机的硬件组成部件以及实现这些硬件功能所使用的材料、实现的理论与技术方法，以及各组成部分的逻辑关系，它决定着计算机的性能和功能。

目前正在使用的计算机是由电子来传递和处理信息的。电子在导线中传播的速度虽然极快，但是，从发展高速率计算机来说，采用电子做传输信息载体还不能满足快的要求，提高计算机运算速度也明显表现出它的能力是有限的。而光子计算机以光子作为传递信息的载体，光互连代替导线互连，以光硬件代替电子硬件，以光运算代替电运算，利用激光来传送信号，并由光导纤维与各种光学元件等构成集成光路，从而进行数据运算、传输和存储。在光子计算机中，不同波长、频率、偏振态及相位的光代表不同的数据，这远胜于电子计算机中通过电子“0”、“1”状态变化进行的二进制运算，可以对复杂度高、计算量大的任务实现快速的并行处理。光子计算机的主板中不存在电磁干扰，使信道的传输速率更快，将使运算速度远远高于现有的计算机速度。目前正在研究中的计算机还有量子计算机、超导计算机和多值计算机等。

计算机体系结构主要指计算机的系统化设计和构造，不同的计算机体系结构适用于不同的需求或应用。从传统意义的指令界面上来看，现代计算机的体系结构基本划分成两大类：复杂指令集计算机系统 CISC 体系（如 X86 芯片）和简化指令集计算机系统 RISC 体系（如 ARM 芯片）。

因此可以说嵌入式处理器是一种结合了 X86 个人计算机的 PC 体系结构，实时控制系统的要求和简化指令集之后产生的，满足实时控制系统应用的计算机体系结构。以下将分别介绍冯·诺依曼结构、哈佛结构、精简指令计算机 RISC、流水线计算机等内容。

### 1.3.1 冯·诺依曼结构与哈佛结构

#### 1. 冯·诺依曼（Von Neumann）结构

冯·诺依曼结构的计算机由 CPU 和存储器构成，其程序和数据共用一个存储空间，程序