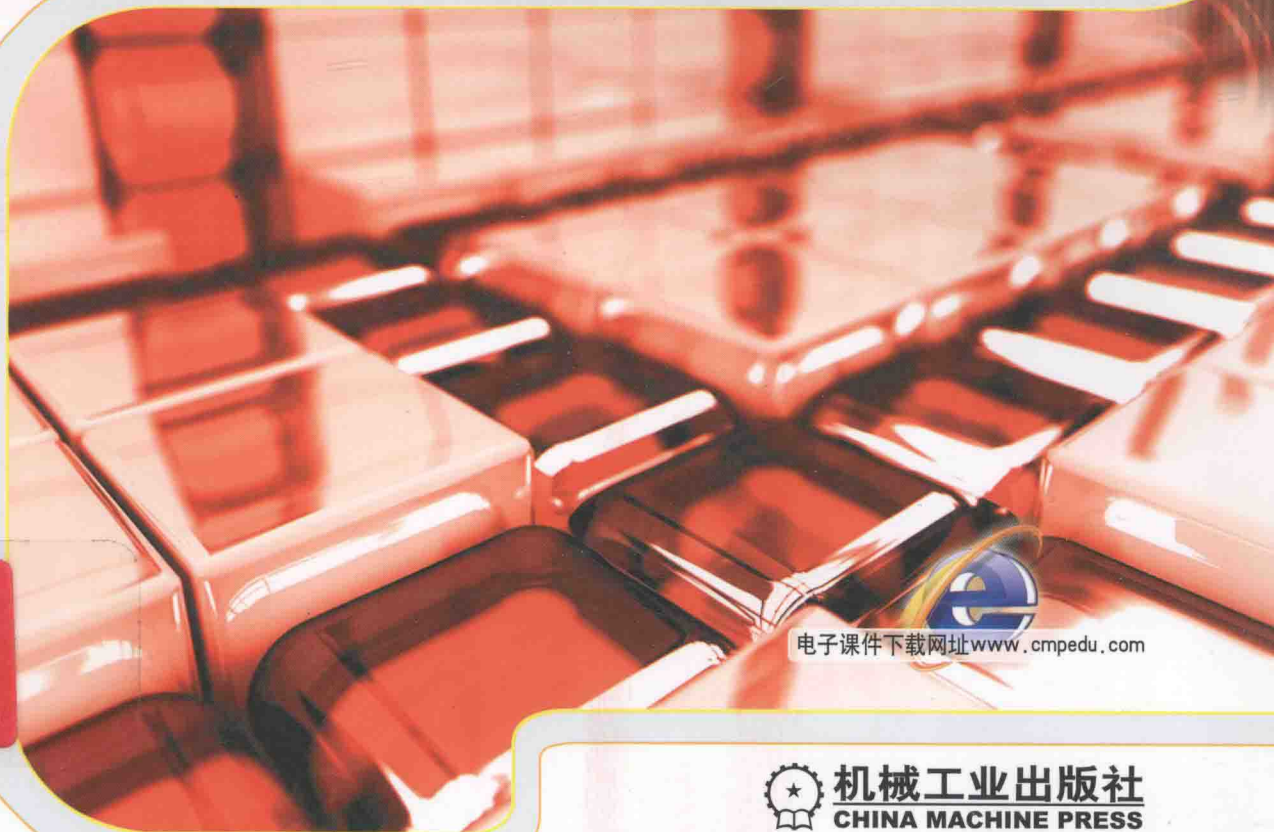




全国高等职业教育规划教材

单片机应用技术

主 编 徐江海
副主编 刘 陈
主 审 聂开俊



电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

单片机应用技术

主 编 徐江海

副主编 刘 陈

参 编 卓树峰 韦龙新 曾 春
王海燕 高之圣 胡玉忠

主 审 聂开俊



机械工业出版社

本书根据高职高专教育注重培养学生实践动手能力的要求,以 AT89S51 单片机为例,详细讲解了单片机原理和应用。内容包括:单片机基础知识、单片机应用仿真软件、AT89S51 单片机原理与基本应用系统、汇编语言程序设计、C 语言程序设计、AT89S51 单片机中断系统和定时/计数器、串行扩展技术和单片机常用测控电路、串行通信、单片机综合应用。

本书可作为高职高专电子、通信、电气、机电专业单片机课程教材,也可供从事单片机应用的工程技术人员参考。

本书配套授课电子教案,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369, 电话: 010-88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

单片机应用技术 / 徐江海主编. —北京: 机械工业出版社, 2011.10

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-35853-4

I. ①单… II. ①徐… III. ①单片微型计算机—高等职业教育—教材
IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 186936 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: 王 颖

责任印制: 乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·17.5 印张·431 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-35853-4

定价: 34.00 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

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材

电子类专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 董维佳 俞 宁 杨元挺 任德齐
华永平 吴元凯 蒋蒙安 祖 炬 梁永生

委 员 (按姓氏笔画排序)

尹立贤	王用伦	王树忠	王新新	邓 红	任艳君
刘 松	刘 勇	华天京	吉雪峰	孙学耕	孙津平
朱咏梅	朱晓红	齐 虹	张静之	李菊芳	杨打生
杨国华	汪赵强	陈子聪	陈必群	陈晓文	季顺宁
罗厚军	姚建永	钮文良	聂开俊	袁 勇	袁启昌
郭 勇	郭 兵	郭雄艺	高 健	崔金辉	曹 毅
章大钧	黄永定	曾晓宏	蔡建军	谭克清	

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 戴红霞

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

51 系列单片机作为一种嵌入式芯片，广泛应用于智能化产品的设计中。单片机课程是一门实践性很强的课程，为从事单片机应用产品开发岗位培养技能型人才，很适合开展过程行动导向教学，为便于工学结合教学实施，结合高职高专教学的特点，以单片机电子产品设计开发过程为载体编写本书。

本书主要有以下特点：

1) 以单片机资源的应用为主线，把单片机的知识点与单片机产品的设计开发过程有机联系起来，全书以“温度测量报警系统”的设计制作作为贯穿教学全过程的实例。

2) 加强对单片机应用开发工具的使用。专门安排一章介绍应用 51 单片机开发产品过程中常用的工具软件：Keil C51 和 Proteus ISIS。

3) 强化程序设计能力的培养。在学习的初始阶段先以汇编语言入门，并辅以 C 语言，通过相互对照加深对单片机内部结构原理的理解，随着学习的深入，逐步过渡到以 C 语言为主，因为 C 语言的逻辑性强，比较直观，适合处理逐步复杂的逻辑程序。在汇编语言程序设计中，将汇编指令与程序设计结合起来讲解，注重对指令功能的理解。另外强调程序结构的重要性，先结构后内容，保证编程过程中程序结构的正确。

4) 简化单片机应用接口电路，书中提供了一些有实用价值的接口电路和驱动程序。如用分立元件构成的 LED 显示、键盘接口电路等，这种电路简单灵活，成本又低；A/D、D/A 等接口电路直接采用 I/O 口控制，改变了传统的用外部 I/O 口操作的方法，使电路更直观，更简便。

5) 把串行扩展技术当做单片机外围扩展的重点。串行扩展更能充分地利用单片机自身的资源，降低产品的硬件成本，是单片机发展的趋势。重点介绍了 I²C 总线、SPI 总线，以及将单片机的串行口扩展为并行的输入/输出口。

本书由徐江海主编，并编写了其中的第 1、4 章；第 2 章由王海燕编写，刘陈任副主编并编写了第 3、8 章；第 5 章由曾春编写；第 6 章由韦龙新编写；第 7 章由高之圣编写；第 9 章由卓树峰编写；第 10 章由胡玉忠编写。全书由徐江海负责统稿，

聂开俊审阅了书稿，并提出了许多宝贵意见，在此表示诚挚的感谢。

江苏瑞特电子有限公司胡玉忠高级工程师，参与了本书的策划编写工作，并对书中的实例进行了审阅和验证，提出了许多修改意见，在此表示诚挚的感谢。

限于编者水平，书中错误和疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 单片机基础知识 1

1.1 单片机概述 1

1.1.1 单片机的概念 1

1.1.2 单片机的发展概况 1

1.1.3 单片机的特点 2

1.1.4 单片机应用的环节和电子产品的 开发步骤 2

1.2 单片机中数的表示方法 4

1.2.1 位、字节、字的概念 4

1.2.2 数制与数制转换 4

1.2.3 单片机中数的表示方法 7

1.3 常用编码 9

1.3.1 8421 BCD 码 9

1.3.2 ASCII 码 10

1.4 贯穿教学全过程的实例——温度 测量报警系统之一 11

1.4.1 温度测量报警系统的功能分析和 系统硬件框图 11

1.4.2 温度测量报警系统的设计制作 步骤 12

1.5 习题 12

第 2 章 单片机应用仿真软件 14

2.1 单片机软件仿真集成开发环境 ——Keil C51 14

2.1.1 Keil C51 的工作环境 14

2.1.2 工程的创建 15

2.1.3 工程的设置 18

2.1.4 工程的调试运行 21

2.1.5 存储空间资源的查看和修改 25

2.1.6 变量的查看和修改 26

2.2 单片机硬件仿真集成开发环境—— Proteus ISIS 27

2.2.1 Proteus ISIS 的用户界面 28

2.2.2 设置 Proteus ISIS 的工作环境 30

2.2.3 电路原理图的设计与编辑 37

2.2.4 Proteus ISIS 与 Keil C51 联合 使用 44

2.3 习题 45

第 3 章 AT89S51 单片机原理与基本 应用系统 47

3.1 AT89S51 单片机的内部结构与 引脚功能 47

3.1.1 内部结构 47

3.1.2 引脚功能 48

3.2 AT89S51 单片机存储器空间配置 与功能 49

3.2.1 程序存储器 49

3.2.2 内部数据存储器（内 RAM） 50

3.2.3 特殊功能寄存器 51

3.3 汇编语言指令格式与内部 RAM 的 操作指令 54

3.3.1 汇编语言指令的基本格式和指令中 常用的符号 54

3.3.2 内部 RAM 的操作指令 56

3.4 AT89S51 单片机 I/O 端口的结构 及工作原理 58

3.4.1 P0 口 58

3.4.2 P1 口 59

3.4.3 P2 口 59

3.4.4 P3 口 59

3.4.5 I/O 口的操作 60

3.5 AT89S51 单片机基本应用 系统 61

3.5.1 最小硬件系统 61

3.5.2 汇编语言程序的一般结构	63	5.1.1 C51 语言的基本知识	114
3.5.3 I/O 口的简单输出应用	66	5.1.2 运算符与表达式	118
3.6 贯穿教学全过程的实例——温度 测量报警系统之二	68	5.1.3 指针与绝对地址访问	119
3.7 习题	69	5.2 单片机 C 语言程序设计 基础	121
第 4 章 汇编语言程序设计	72	5.2.1 常用语句与流程控制	121
4.1 程序设计的基本方法	72	5.2.2 函数	124
4.1.1 程序设计步骤	72	5.2.3 C51 程序的一般结构	125
4.1.2 汇编语言程序的书写格式	73	5.3 LED 数码管显示电路及其驱动 程序	127
4.2 顺序程序设计	73	5.4 LCD 显示电路及其驱动 程序	129
4.3 控制转移指令与循环程序 设计	74	5.5 贯穿教学全过程的实例——温度 测量报警系统之四	131
4.3.1 循环程序	74	5.6 习题	133
4.3.2 比较转移指令与循环程序设计 ..	76	第 6 章 AT89S51 单片机中断系统和 定时/计数器	135
4.3.3 循环移位指令与程序设计	78	6.1 中断概述	135
4.3.4 条件转移指令与循环程序设计 ..	80	6.1.1 中断的概念	135
4.4 分支程序设计	82	6.1.2 MCS-51 系列单片机中断系统以及 和中断有关的特殊功能 寄存器	135
4.4.1 单分支结构程序	82	6.1.3 中断处理过程	138
4.4.2 多分支结构程序	83	6.1.4 中断响应时间	140
4.5 堆栈及其操作指令	84	6.2 外部中断的应用	140
4.5.1 堆栈的概念	84	6.2.1 外部中断应用步骤	140
4.5.2 堆栈操作指令	85	6.2.2 外部中断应用举例	141
4.6 算术运算、逻辑运算和交换指令 与程序设计	86	6.3 定时/计数器	142
4.6.1 算术运算指令	86	6.3.1 定时/计数器概述	142
4.6.2 逻辑运算指令	91	6.3.2 与定时/计数器有关的特殊功能 寄存器	143
4.6.3 交换指令	92	6.3.3 定时/计数器工作方式	144
4.7 查表指令与查表程序设计	94	6.3.4 定时/计数器应用步骤	146
4.7.1 查表指令与查表程序设计	94	6.3.5 定时/计数器应用举例	151
4.7.2 LED 数码管显示电路及其驱动 程序	96	6.4 键盘接口	157
4.7.3 LCD 显示电路及其驱动 程序	101	6.4.1 按键的抖动问题	158
4.7.4 其他常用伪指令	106	6.4.2 独立式按键及其接口	158
4.8 贯穿教学全过程的实例——温度 测量报警系统之三	108	6.4.3 键盘扫描方式	161
4.9 习题	111	6.4.4 矩阵式键盘及其接口	163
第 5 章 C 语言程序设计	114		
5.1 单片机 C51 语言基础	114		

6.5 贯穿教学全过程的实例——温度 测量报警系统之五	167	8.2.2 并行 A/D (ADC0809) 及其接口 电路	200
6.5.1 温度测量报警系统键盘电路 设计	167	8.2.3 串行 A/D (TLC1549) 及其接口 电路	204
6.5.2 温度测量报警系统键盘功能 原理	168	8.2.4 常用的 V/F 转换接口电路	206
6.5.3 温度测量报警系统键盘功能程序 设计	168	8.3 D/A 转换接口电路	207
6.5.4 温度测量报警系统之五的 程序	169	8.3.1 D/A 转换的基本概念	207
6.6 习题	171	8.3.2 并行 D/A (DAC0832) 及其接口 电路	207
第 7 章 串行扩展技术	174	8.3.3 串行 D/A (TLC5615) 及其接口 电路	212
7.1 SPI 串行接口	174	8.4 步进电动机接口电路	213
7.1.1 SPI 串行总线扩展技术概述	174	8.4.1 步进电动机工作原理	213
7.1.2 SPI 总线应用举例	176	8.4.2 步进电动机接口电路	215
7.2 I ² C 总线串行扩展技术	183	8.5 贯穿教学全过程的实例——温度 测量报警系统之七	216
7.2.1 I ² C 总线串行扩展技术概述	183	8.5.1 温度测量报警系统 A/D 转换接口 电路设计	216
7.2.2 AT89S51 虚拟 I ² C 总线 软件包	186	8.5.2 温度测量、显示与报警	217
7.2.3 AT24C××系列 E ² PROM 芯片	187	8.6 习题	219
7.2.4 A/D、D/A 芯片 PCF8591 扩展	190	第 9 章 串行通信	221
7.3 贯穿教学全过程的实例——温度 测量报警系统之六	193	9.1 串行通信概述	221
7.3.1 温度测量报警系统存储器电路 设计	193	9.1.1 并行通信与串行通信	221
7.3.2 温度测量报警系统存储器程序 设计	193	9.1.2 异步通信和同步通信	221
7.4 习题	195	9.1.3 串行通信波特率	222
第 8 章 单片机常用测控电路	197	9.1.4 串行通信的制式	223
8.1 开关量输入/输出驱动接口 电路	197	9.2 AT89S51 单片机串行口	224
8.1.1 光电隔离输入/输出接口 电路	197	9.2.1 与串行口有关的特殊功能 寄存器	224
8.1.2 继电器驱动接口电路	198	9.2.2 串行口工作方式	227
8.1.3 晶闸管驱动接口电路	198	9.2.3 双机通信及实例	233
8.2 A/D 转换接口电路	199	9.2.4 多机通信及实例	236
8.2.1 A/D 转换的基本概念	199	9.3 贯穿教学全过程的实例——温度 测量报警系统之八	238
		9.3.1 温度测量报警系统串行通信接口 电路设计	238
		9.3.2 温度测量报警系统串行通信接口 程序设计	239
		9.4 习题	239

第 10 章 单片机综合应用	241	10.2.3 软件设计	250
10.1 单片机应用系统的设计	241	10.3 太阳能热水器控制器	257
10.1.1 总体设计	241	10.3.1 系统控制要求和方案	257
10.1.2 硬件设计	242	10.3.2 硬件设计	258
10.1.3 软件设计	243	10.3.3 软件设计	259
10.1.4 抗干扰设计	246	10.4 习题	264
10.2 交通灯控制系统	248	附录 MCS-51 系列单片机指令表 ...	265
10.2.1 系统控制要求和方案	248	参考文献	269
10.2.2 硬件设计	249		

第1章 单片机基础知识

1.1 单片机概述

1.1.1 单片机的概念

单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer) 简称单片机, 是近代计算机技术发展的一个分支——嵌入式计算机系统。它是将计算机的主要部件: CPU、RAM、ROM、定时器/计数器、输入/输出接口电路等集成在一块大规模集成电路中, 形成芯片级的微型计算机。单片机自问世以来, 就在控制领域得到广泛应用, 特别是近年来, 许多功能电路都被集成在单片机内部, 如 A-D、D-A、PWM、WDT、I²C 总线接口等, 极大地提高了单片机的测量和控制能力。我们现在所说的单片机已突破了微型计算机的传统内容, 更准确的名称应为微控制器 (Microcontroller), 虽然我们仍称其为单片机, 但应把它看做一个单片形态的微控制器。

1.1.2 单片机的发展概况

单片机以功能强、可靠性高、体积小、功耗低、使用灵活方便等优点得到了广泛应用, 特别是在过程控制、智能仪表、集散控制系统等方面的应用。单片机的发展速度很快, 每隔两三年就更新换代一次, 其发展的过程可分为以下几个阶段。

1) 第一代: 单片机发展的起步阶段。最早期的单片机只有 4 位, 功能简单, 只能用于简单的控制。1974 年出现了 8 位单片机, 单片机的性能有了较大提高, 典型的产品有 Intel 公司的 MCS-48 系列, Zilog 公司的 Z-8 系列, Motorola 公司的 MC6800 等, 并正式命名为 Single Chip Microcomputer。

2) 第二代: 单片机发展的成熟阶段。1979~1982 年, 单片机发展进入成熟阶段, 单片机内部的体系结构得到进一步完善, 面向对象、突出了控制功能, 寻址的空间范围扩大, 规范了数据线、地址线的总线结构, 有了多功能的异步串行接口 (UART), 提供了位寻址、位操作和大量的控制转移指令等, 形成了单片机标准结构。当时最典型的产品是 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机。

3) 第三代: 微控制器形成阶段。1982~1990 年, 单片机完成了向微控制器的转换。为进一步满足测控要求, 将许多测控对象的接口电路集成到单片机内部, 如 A/D、D/A、PWM 等。形成了不同于 Single Chip Microcomputer 特点的微控制器——MCU, 同时出现了 16 位的单片机, 运算处理的速度更快。

4) 第四代: 微控制器百花齐放阶段。进入 20 世纪 90 年代, 随着半导体集成电路技术、微电子技术的发展, 以及电气制造商和半导体厂商的广泛参与, 微控制器进入百花齐放

的发展时期。有的生产厂商推出适合不同领域，面向不同对象的，（从简单的玩具、小家电到机器人、智能仪表、过程控制等）单片机系列。

目前高校使用的单片机教材主要有两类：MCS-51 系列（CISC 结构）单片机，另一类介绍 PIC 系列（RISC 结构）单片机。本书以 AT89S51（与 MCS-51 兼容）单片机为例，以单片机的应用为主线，以应用单片机产品的设计过程贯穿全书，详细介绍单片机的原理与应用。

1.1.3 单片机的特点

单片机之所以在各个领域得到广泛应用，是因为它具有以下特点。

1) 小巧灵活、成本低，易于产品化，有优异的性能价格比。

2) 集成度高，有很高的可靠性，能在恶劣的环境下工作。单片机把功能部件集成在一块芯片内部，缩短和减少了功能部件之间的连线，提高了单片机的可靠性和抗干扰能力。

3) 控制功能强，特别是因集成了功能接口电路，使用更方便、有效，指令面向控制对象，可以直接对功能部件操作，易于实现从简单到复杂的各类控制任务。

4) 低功耗、低电压，便于生产便携式产品。

由于单片机具有以上显著特点，使它在各个领域得到了广泛应用。从日常的智能化家用电器产品到专业的智能仪表，从单个的实时测控系统到分布式多机系统，再到嵌入式系统。使用单片机已经成为各个层次、各个行业提高产品性能，降低生产成本，提高生产效率的重要手段。例如，我们经常看到的交通灯、霓虹灯，广场上的计时牌等装置中有单片机的身影。

1.1.4 单片机应用的环节和电子产品的开发步骤

单片机课程是一门综合性、实践性很强的课程，学习的目的是为了应用，只有通过应用才能巩固知识点，提高使用技巧。单片机的应用和以前学过的模拟电路、数字电路的设计应用不同，模拟电路或数字电路只要工作原理正确，电子元器件正确完好，功能就能实现。而单片机的应用除了要电路正确、元器件完好外，还需要适当的软件程序，只有硬件和软件的协调才能实现相应的功能。单片机应用过程包括两个方面：硬件电路设计和应用程序设计，具体包括以下 4 个环节：

1) 设计硬件电路。设计单片机的外围电路，首先要设计单片机正常工作的必要电路（复位电路、时钟电路等），其次要设计外围的功能电路，并选择适当的引脚作为外电路的控制或输入引脚。

2) 设计程序。早期开发程序都是在开发系统上进行，现在一般在计算机上完成。在计算机上开发程序需要有编写程序的软件环境，如使用汇编语言或 C 语言（51 系列单片机 C 语言又叫 C51）编写程序，所编写的程序叫源程序文件，它们不能直接在单片机上运行，而是需要通过编译系统将其转换为单片机能执行的程序文件，即目标文件，也叫机器语言文件。汇编语言程序文件的扩展名为“.ASM”；C 语言程序文件的扩展名为“.C”；目标文件的扩展名为“.HEX”或“.BIN”，一般都使用“.HEX”，即十六进制文件形式。

3) 程序下载。目标文件需要通过一个叫“编程器”的设备下载到单片机内部,这一过程也叫编程。(要注意和在计算机上编写程序的“编程”的区别),行业内也常称其为“烧片子”。现在的单片机芯片上一般都有 SPI 总线的编程口线,利用 SPI 口线在单片机产品的系统板上设计 ISP (In System Program) 或 IAP (In Application Programming) 接口,可以和计算机相连,通过它们直接将程序下载到系统板的芯片中,而不必再使用专用设备下载程序。编译完成的目标文件下载之前,也可以在编程环境中模拟仿真调试,进行初步检验。

4) 通电运行和检查。含有程序的芯片装载到系统板上,就可以通电运行。如果程序正确,硬件电路完好,系统就能正常运行。如果系统不能正常运行,就需要根据单片机系统的工作状况,判断是硬件电路问题,还是软件程序问题。如是硬件问题,只要检查相应的电路并修改好即可。如是软件问题就需要回到第 2) 步,重复第 2)~4) 步过程,直到程序正确。程序是否正确可以直接在第 2) 步用仿真或模拟仿真来判断。

对初学单片机的读者来说,以上 4 步中的重点是 2)、4) 两步。

单片机主要是用于电子产品或控制装置(电子控制的机电一体化产品),单片机应用产品的开发步骤如图 1-1 所示。



图 1-1 单片机应用产品的开发步骤

① 明确产品功能。首先根据产品的功能要求和技术指标,确定实施的方案,主要包括确定系统硬件模块,选择合适的键盘、显示等人机对话方式,选取软件编程环境和仪器设备,规划实施的步骤等。

② 元器件资料准备。根据系统方案各模块的功能和技术参数,选择合适的电子元器件以及这些元器件的技术资料,为具体实施做准备,同时要准备必要的仪器设备,熟悉相关的应用软件。

③ 功能电路设计。按照由简单到复杂的原则设计各模块电路,合理分配单片机资源,一般先设计显示电路,然后是键盘电路,最后是其模块电路的设计。

④ 功能程序设计。与硬件功能电路对应,每设计一个模块电路,要同步编写相应的驱动程序,逐步构成系统软件模块。尽可能用软件实现所需的功能,减少硬件成本。

⑤ 系统功能联调。主要是系统软件调试,根据确定的产品功能和技术指标要求,调试和完善软件,做好软件各模块间的功能协调,软件接口的衔接。

⑥ 产品制作。对硬件电路设计规范的 PCB 版,编写产品的生产调试流程和检测标准,焊接、装配硬件电路,最后将程序下载到单片机芯片,并安装到硬件系统中。

⑦ 产品测试。按照系统的功能和技术指标要求,依据检测标准对产品进行测试,若不符合要求由技术人员维修。

其中的③、④步可以同步实施,每一功能的设计、实现过程都包含硬件设计、程序设计、程序下载和通电运行检查 4 个环节。

1.2 单片机中数的表示方法

1.2.1 位、字节、字的概念

单片机作为微型计算机的一个分支，其基本功能就是对数据进行大量的算术运算和逻辑操作。计算机只能识别二进制数，因此二进制数及其编码是所有计算机的基本语言。对于本书讲解的 8 位单片机，数的存在方式主要有位、字节和字。所谓“位”就是 1 位二进制数，其只能存放“1”或“0”，可以用来表示两种不同状态信息，如开关的“通”和“断”，电平的“高”和“低”等。8 位二进制数组成 1 字节，既可以表示实际的数，也可以表示多个状态的组合信息，8 位单片机处理的数据绝大部分都是 8 位的二进制数，也就是以字节为单位，包括单片机执行的程序都是以字节形式存放在存储器中。2 字节组成一个字，也即 16 位的二进制数。

1.2.2 数制与数制转换

十进制数是我们熟悉和常用的，但计算机能识别的只是二进制数。二进制数位数较多，书写和识读不便，因而在计算机中又常用到十六进制数，了解十进制数、二进制数、十六进制数之间的关系、相互转换和运算方法，是学习单片机的基础。

1. 十进制数、二进制数和十六进制数

(1) 十进制数 (Decimal)

十进制数的主要特点：

- 1) 基数为 10，由 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个数码构成。
- 2) 进位规则是“逢十进一”。

所谓基数是指计数制中所用到的数码个数，如十进制数共有 0~9 十个数码，所以基数是 10。当某一位数计满基数时就向它邻近的高位进一，十进制数的计数规则是“逢十进一”。在汇编语言中，书写十进制数时在数码的后面加符号 D，但 D 可以省略。

任何一个十进制数都可以展开成幂级数形式。例如：

$$123.45D = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

其中， 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 为十进制数各位数的权。

(2) 二进制数 (Binary)

二进制数的主要特点：

- 1) 基数为 2，由 0、1 两个数码构成。
- 2) 进位规则是“逢二进一”。

在汇编语言中书写二进制数时，在数码的后面加符号 B，B 不可省略。二进制数也可以展开成幂级数形式，如：

$$1011.01B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 11.25D$$

其中， 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 、 2^{-1} 、 2^{-2} 称为二进制数各位数的权。

(3) 十六进制数 (Hexadecimal)

十六进制数的主要特点：

1) 基数为 16，由 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 十六个数码构成，其中 A、B、C、D、E、F 分别代表十进制数的 10、11、12、13、14、15。

2) 进位规则是“逢十六进一”。

在汇编语言中书写十六进制数时，在数的后面加符号 H，H 不可省略。十六进制数也可以展开成幂级数形式，如：

$$123.45H=1\times16^2+2\times16^1+3\times16^0+4\times16^{-1}+5\times16^{-2}=291.26953125D$$

其中， 16^2 、 16^1 、 16^0 、 16^{-1} 、 16^{-2} 称为十六进制数各位数的权。

十六进制数与二进制数相比，大大缩短了数的位数，4 位二进制数可以用 1 位的十六进制数表示，计算机中普遍用十六进制数表示数据，表 1-1 为十进制数、二进制数、十六进制数的对应关系。

表 1-1 十进制数、二进制数、十六进制数的对应关系

十 进 制 数	十六进制数	二 进 制 数	十 进 制 数	十六进制数	二 进 制 数
0	0H	0000B	8	8H	1000B
1	1H	0001B	9	9H	1001B
2	2H	0010B	10	AH	1010B
3	3H	0011B	11	BH	1011B
4	4H	0100B	12	CH	1100B
5	5H	0101B	13	DH	1101B
6	6H	0110B	14	EH	1110B
7	7H	0111B	15	FH	1111B

在 C51 中，数据通常采用十进制和十六进制，由于 51 单片机是 8 位单片机，所有的数在单片机内部都是以 8 位二进制形式存在的，因此 C51 中一般不用八进制数。注意 C51 中没有二进制数，需要二进制数时通常用十六进制数表示，从表 1-1 可知 1 位十六进制数相当于 4 位二进制数，它们本质上是一致的。在 C51 中书写十六进制数时，在数码前面加“0x”，如 0x0A，为 2 位十六进制数，数据大小为 10。

不管是汇编语言还是 C 语言，涉及数据都不能超出范围。如在汇编语言中，数据大小必须是字节或字能存放的范围，超过范围时可以通过扩充字节的方式来存放。在 C 语言中，数据必须满足变量定义的范围，否则会丢失信息。

2. 数制转换

(1) 二进制数与十六进制数间的转换

1) 二进制数转换为十六进制数。

采用 4 位二进制数合成为 1 位十六进制数的方法，以小数点为界分成左侧整数部分和右侧小数部分，整数部分从小数点开始，向左每 4 位二进制数一组，不足 4 位在数的前面补 0，小数部分从小数点开始，向右每 4 位二进制数一组，不足 4 位在数的后面补 0，然后每组用十六进制数码表示，并按序相连即可。

【例 1-1】 把 111010.011110B 转换为十六进制数。

$$\begin{array}{cccc} \underline{0011} & \underline{1010} & \underline{0111} & \underline{1000B}=3A.78H \\ 3 & A & 7 & 8 \end{array}$$

2) 十六进制数转换为二进制数。

将十六进制数的每位分别用 4 位二进制数码表示，然后把它们按序连在一起即为对应的二进制数。

【例 1-2】把 2BD4H 和 20.5H 转化为二进制数。

$$2BD4H = 0010\ 1011\ 1101\ 0100B$$

$$20.5H = 0010\ 0000.0101B$$

(2) 二进制数与十进制数间的转换

1) 二进制数转换成十进制数。

将二进制数按权展开后求和即得到十进制数。

【例 1-3】把 1001.01B 转换成十进制数。

$$1001.01B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 9.25$$

2) 十进制数转换成二进制数。

十进制数转换为二进制数一般分为两步，整数部分和小数部分分别转换成二进制数的整数和小数。

整数部分转换通常采用“除 2 取余法”，即用 2 连续去除十进制数，每次把余数拿出，直到商为 0，依次记下每次除的余数，然后按先得到的余数为低位，最后得到的余数为最高位依次排列，就得到转换后的二进制数。

【例 1-4】将十进制数 47 转换为二进制数。

	余数	
2 47		
2 23	1	最低位
2 11	1	
2 5	1	
2 2	1	
2 1	0	
0	1	最高位

则 $47 = 101111B$

小数部分转换通常采用“乘 2 取整法”。即依次用 2 乘小数部分，记下每次得到的整数，直到积的小数为 0，最先得到的整数为小数的最高位，最后得到的整数为最低位。积的小数有可能连续乘 2 达不到 0，这时转换出的二进制小数为无穷小数，根据精度要求保留适当的有效位数即可。

【例 1-5】将十进制数 0.8125 转换成二进制数。

	整数	
0.8125		
$\times 2$		
1.6250	1	最高位
0.6250		
$\times 2$		
1.2500	1	
0.2500		

$$\begin{array}{r} \times \quad 2 \\ 0.5000 \\ \times \quad 2 \\ 1.0000 \end{array}$$

0

1

最低位

则 $0.8125=0.1101\text{B}$

(3) 十六进制数与十进制数间的转换

1) 十六进制数转换成十进制数。

将十六进制数按权展开后求和即得到十进制数。

【例 1-6】 将十六进制数 3DF2H 转换成十进制数。

$$3\text{DF}2\text{H}=3\times 16^3+13\times 16^2+15\times 16^1+2\times 16^0=15858$$

2) 十进制数转换成十六进制数。

十进制数转换成十六进制数的方法与十进制数转换成二进制数的方法类似，整数和小数部分分别转换。整数部分采用“除 16 取余法”，小数部分采用“乘 16 取整法”。

【例 1-7】 将十进制数 47 转换为十六进制数。

余数

$$\begin{array}{r} 16 \overline{) 47} \\ 16 \overline{) 2} \\ 0 \end{array}$$

15 (FH)

2

低位

高位

则 $47=2\text{FH}$

【例 1-8】 将十进制数 0.48046875 转换成十六进制数。

整数

$$\begin{array}{r} 0.48046875 \\ \times \quad 16 \\ 7.68750000 \\ 0.68750000 \\ \times \quad 16 \\ 11.00000000 \end{array}$$

7

11 (BH)

高位

低位

则 $0.48046875=0.7\text{BH}$

从上面的例子可以看出十进制数转换成二进制数的步数较多，而十进制数转换成十六进制数的步数较少，以后我们将十进制数转换成二进制数，可先将其转换为十六进制数，再由十六进制数转换为二进制数，可以减少许多计算。如：

$$47=2\text{FH}=101111\text{B}$$

1.2.3 单片机中数的表示方法

前面已经提到，在 8 位单片机中数是以字节为单位，即 8 位二进制数的形式存在，一个字节存放数的范围为 0~255，这样的数也可以称为无符号数，而现实中的数是有符号的。那么单片机（包括微型计算机）中是怎样表示有符号数的呢？用最高位表示数的符号，并且规