



普通高等教育电气电子类工程应用型“十二五”规划教材

单片机原理及 设计应用

主编 魏庆涛 徐翌



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书以 AT89C51 单片机为核心,从单片机发展角度出发,介绍了目前市场上的多种单片机类型,并且系统地讲述了 51 系列单片机的构成、指令系统、汇编语言程序设计、中断系统、定时器/计数器的应用、串行口通信、外围接口设计以及应用系统设计等内容。

本书所列程序和电路具有较强的实用性,并配有相关的课后习题答案以及多媒体教学软件,便于教学。为了解决单片机学习的抽象性问题,特在教材中加入单片机开发仿真软件 Keil C 和 Proteus 的内容,方便读者在软环境下进行实践模拟操作,直观地看到程序运行过程和电路仿真结果。同时,在第 8 章和第 9 章配置汇编程序和 C 语言程序的双程序范例,方便读者进行高级语言编程的学习。

本书适合作为普通高等院校电子信息工程、电气工程、自动化及机械等专业的教学用书,也可作为从事单片机开发人员的参考用书。

本书配有电子课件和习题参考答案,欢迎选用本书作教材的老师索取,可以登录 www.cmpedu.com 注册下载或发邮件至 [jinacmp@163.com](mailto:jnacmp@163.com)

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及设计应用/魏庆涛,徐墨主编. —北京:机械工业出版社,2015.8
普通高等教育电气电子类工程应用型“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-50860-1

I. ①单… II. ①魏… ②徐… III. ①单片微型计算机—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 173925 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:吉玲 责任编辑:吉玲 王康
版式设计:赵颖喆 责任印制:康朝琦
封面设计:张静 责任校对:张薇
北京京丰印刷厂印刷
2015 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·17 印张·421 千字
标准书号:ISBN 978-7-111-50860-1
定价:35.00 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

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379469

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前 言

单片机是在大规模集成电路芯片的基础上发展起来的一种微型处理器，其将 CPU、存储器、I/O 接口、定时器、中断等集成在一块芯片内，具备了计算机的基本功能。而随着电子技术、计算机技术、EDA 技术的发展和进步，单片机产品不断更新，性能也不断提高，并广泛应用于军事、工业、民用等多种领域。

单片机具有体积小、功能强、性价比高、稳定性好等优点，受到众多工程技术人员的喜爱，成为控制系统、数据通信、检测系统、智能设备的主要核心器件，在技术革新和生产制造等方面具有十分深远的意义和良好的发展前景。熟练掌握一类单片机的设计应用技术已经成为电类相关专业技术人员的必备专业素质。

本书以 MCS-51 系列 AT89C51 单片机为主，介绍了单片机的硬件结构、汇编语言和程序设计，介绍了单片机在软环境下的开发软件的使用，方便读者在软环境下进行程序调试和验证硬件电路，并全面论述了单片机应用系统的原理、电路设计及程序设计。本书理论与实际紧密结合，突出基础性、实用性、综合型。同时，注重单片机的 C 语言程序设计应用，在部分程序中给出了汇编和 C 语言两种编程范例，为读者将来进行工程设计开发打下基础。

本书共分 9 章，其中第 1 章主要介绍单片机的发展和应用领域，以及计算机基础知识；第 2~4 章为单片机内部硬件结构和原理，以及汇编语言和程序设计；第 5~7 章为单片机内部中断系统、定时器系统、通信系统的工作原理以及应用；第 8 章为单片机外围扩展接口技术，包含 I/O 口扩展、模数转换、数模转换、人机交互等方面的电路设计、汇编语言程序设计和 C 语言程序设计；第 9 章为单片机应用系统的电路设计、汇编语言程序设计和 C 语言程序设计。

本书由大连科技学院魏庆涛和徐翌担任主编。第 1 章、第 7 章第 2~4 节由石柱名编写，第 2 章、第 6 章由田硕编写，第 3 章、第 7 章第 1 节由张燕编写，第 4 章第 1、3、4 节由贾昊编写，第 4 章第 2 节、第 5 章由赵丽娜编写，第 8 章由魏庆涛编写，第 9 章由徐翌编写。

本书编写过程中在结合作者工作经验的基础上，参考了同类教材和论文，对这些教材的编著者和论文作者表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
第1章 绪论	1
1.1 单片机概述	1
1.1.1 单片机	1
1.1.2 单片机应用系统和单片机开发系统	2
1.1.3 单片机程序设计语言和软件	3
1.2 单片机发展及应用	3
1.2.1 单片机发展阶段	3
1.2.2 单片机的应用	4
1.3 单片机分类	5
1.3.1 单片机按位分类	5
1.3.2 主要单片机性能分类	6
1.4 数的进制及编码	8
1.4.1 数制	8
1.4.2 进制转换	13
1.4.3 二进制数的编码	17
练习题	21
第2章 MCS-51 系列单片机的硬件结构和原理	23
2.1 单片机的处理器	23
2.1.1 运算器	24
2.1.2 控制器	25
2.2 单片机的存储器	27
2.2.1 程序存储器	27
2.2.2 数据存储器	28
2.3 51 系列单片机的引脚	31
2.4 单片机 CPU 时序	35
2.4.1 时序单位	35
2.4.2 指令时序	36
2.5 单片机低功耗工作方式	37
练习题	38
第3章 MCS-51 系列单片机的指令系统	39
3.1 MCS-51 单片机指令系统简介	39
3.1.1 指令编码格式	39
3.1.2 符号定义	40
3.1.3 伪指令	40
3.2 寻址方式	42
3.3 MCS-51 系列单片机的指令说明	44
3.3.1 数据传送类指令	44
3.3.2 逻辑操作类指令	48
3.3.3 算术运算类指令	50
3.3.4 位操作类指令	54
3.3.5 控制转移类指令	56
练习题	60
第4章 MCS-51 汇编语言程序设计	63
4.1 汇编语言程序设计概述	63
4.1.1 汇编语言的特点	63
4.1.2 汇编语言的语句格式	64
4.1.3 汇编语言程序设计的步骤与特点	64
4.2 Keil μ Vision3 软件	64
4.2.1 简介	64
4.2.2 软件编辑界面	66
4.2.3 项目及程序的建立	68
4.3 单片机汇编语言程序的基本结构形式	73
4.3.1 顺序结构程序	73
4.3.2 分支结构程序	76
4.3.3 循环结构程序	79
4.3.4 子程序结构程序	82
4.4 MCS-51 单片机汇编语言程序设计举例	84
4.4.1 多字节算术运算程序	84
4.4.2 数制转换程序	85
4.4.3 查表分支键盘程序	87
4.4.4 数据排序	89
4.4.5 数据极值查找程序	92
4.4.6 找数问题	93
4.4.7 汇编语言的编辑、汇编与调试	94
练习题	95

第 5 章 MCS-51 系列单片机的中断系统	96
5.1 中断的概念	96
5.1.1 中断概述	96
5.1.2 中断处理过程	97
5.1.3 中断系统具备的功能	97
5.1.4 中断源、中断信号和中断向量	98
5.1.5 中断优先级和中断嵌套	99
5.1.6 中断响应条件与中断控制	100
5.2 MCS-51 单片机中断系统	101
5.2.1 中断请求源	101
5.2.2 与中断源有关的特殊寄存器	101
5.2.3 硬件查询顺序	103
5.2.4 51 单片机中断响应条件及响应过程	103
5.3 中断系统应用程序	106
5.4 Proteus 电路仿真软件介绍	108
5.4.1 简介	108
5.4.2 ISIS 软件编译环境	109
5.4.3 电路原理图的建立	112
练习題	115
第 6 章 MCS-51 系列单片机的定时器/计数器	116
6.1 定时器/计数器工作原理	116
6.1.1 定时器/计数器内部结构及工作原理	116
6.1.2 计数功能	117
6.1.3 定时功能	117
6.2 定时器/计数器有关寄存器	118
6.2.1 工作方式寄存器 TMOD	118
6.2.2 控制寄存器 TCON	118
6.2.3 中断允许控制寄存器 IE	119
6.3 定时器/计数器工作方式	119
6.3.1 定时器/计数器的工作方式 0	119
6.3.2 定时器/计数器的工作方式 1	120
6.3.3 定时器/计数器的工作方式 2	120
6.3.4 定时器/计数器的工作方式 3	120
6.3.5 定时器/计数器的初始化	121
6.4 定时器/计数器应用程序	121
6.4.1 利用定时器/计数器产生方波	121
6.4.2 定时应用	123
6.4.3 计数应用	125
练习題	126
第 7 章 MCS-51 系列单片机串行通信	127
7.1 数据通信概述	127
7.1.1 数据通信	127
7.1.2 并行通信与串行通信	129
7.1.3 串行通信过程及通信协议	130
7.2 串行口寄存器	132
7.2.1 串行口寄存器结构	132
7.2.2 串行口相关寄存器	133
7.3 串行口工作方式	134
7.3.1 串行口工作方式 0	134
7.3.2 串行口工作方式 1	134
7.3.3 串行口工作方式 2	135
7.3.4 串行口工作方式 3	135
7.4 串行口应用	135
7.4.1 串行口扩展	135
7.4.2 双机通信	137
练习題	141
第 8 章 单片机系统的扩展	142
8.1 单片机总线结构	142
8.1.1 总线概述	142
8.1.2 选址方法	143
8.2 存储器扩展	143
8.2.1 程序存储器扩展	143
8.2.2 数据存储器扩展	146
8.2.3 FLASH 存储器扩展	149
8.3 人机交互扩展	150
8.3.1 键盘技术	150
8.3.2 显示技术	159
8.4 前向通道中的 A-D 转换扩展	164
8.4.1 前向通道简介	164
8.4.2 A-D 转换指标及转换原理	165
8.4.3 8 路 8 位并行 A-D 转换芯片 ADC0809	167
8.4.4 11 路 12 位串行 A-D 转换芯片 TLC2543	173
8.5 后向通道中的 D-A 扩展	177
8.5.1 后向通道简介	177

8.5.2 D-A 转换指标及转换原理	178	9.4 单片机在线编程技术	210
8.5.3 8 位并行 D-A 转换芯片 DAC0832	180	9.4.1 单片机在线编程概述	210
8.5.4 10 位串行 D-A 转换芯片 TLC5615	185	9.4.2 ISP 技术	210
8.6 I/O 口的扩展	187	9.5 应用实例——单片机温度控制 系统	211
8.6.1 TTL 芯片扩展 I/O	187	9.5.1 温度传感器概述	211
8.6.2 并行 I/O 口芯片 8255A	188	9.5.2 DS18B20 温度传感器介绍	211
练习题	195	9.5.3 温度控制系统总体设计	215
第 9 章 单片机应用系统设计	196	9.6 应用实例——交通灯控制系统 设计	232
9.1 单片机应用系统设计介绍	196	9.6.1 交通灯系统的总体设计	232
9.1.1 单片机应用系统设计步骤	196	9.6.2 交通灯控制系统的功能要求	233
9.1.2 单片机应用系统硬件设计	196	9.6.3 系统硬件的设计	233
9.1.3 单片机应用系统软件设计	197	9.6.4 系统软件的设计	233
9.2 单片机应用系统的开发与调试	198	9.7 应用实例——直流电动机控制 系统	246
9.2.1 单片机应用系统的开发	198	9.7.1 直流电动机原理及应用	246
9.2.2 单片机应用系统的调试	200	9.7.2 直流电动机调速系统的设计	248
9.3 单片机应用系统的抗干扰技术	201	附录 MCS 系列单片机指令表	258
9.3.1 干扰源概述	201	参考文献	266
9.3.2 硬件抗干扰技术	204		
9.3.3 软件抗干扰技术	207		

第1章 绪论

人类科技发展至今，计算机技术取得了迅猛发展，计算机技术已渗透到国防、工业、农业、企业管理、交通运输等日常生活各个领域。从个人利用计算机进行办公、娱乐，到企业单位利用计算机进行管理，制造业利用计算机进行产品开发、设计、制造、生产控制等，计算机已无所不在，无所不用，其作用和成就的日益卓著，已成为现代工业水平的标志之一。而计算机的发展主要有两个方向：一个是通用计算机系统，一个是控制领域的微型计算机系统。通用计算机主要用于运算、管理、辅助设计及制造等，是我们日常生活中最常见的计算机系统。而控制领域的微型计算机是一种嵌入式系统，是将微型计算机嵌入到应用系统中的一种技术应用。在进入计算机时代的新世纪，许多人都在从事着与计算机相关的职业，而只有从事嵌入式系统应用才真正地进入到计算机系统的内部软、硬件体系中，才能真正领会计算机的智能化本质并掌握智能化设计的知识和技术。从学习单片机应用技术入手是今后成为计算机应用软、硬件开发技术人才的最经济、实用、便捷的途径之一。因此，学习单片机的原理，掌握单片机的应用技术，具备单片机开发能力，对于一个高级工程技术开发人员而言具有十分重要的意义。本书主要以51单片微型计算机为例，学习微型计算机的原理与应用。

1.1 单片机概述

单片机应用的历史并不长，但是单片机的应用却从根本上改变了传统的控制系统设计思想和设计方法。使用单片机之前，控制系统是由模拟电路或数字电路实现大部分的控制功能，而现在已能利用单片机通过软件编程方法实现模拟或数字电路的控制功能。这种以软件取代硬件并能提高系统性能的控制技术“软化”技术，称之为微控制技术。因而单片机的应用是对传统控制技术的一场革命。

1.1.1 单片机

单片机对刚刚接触嵌入式领域的人而言还不是十分熟悉，但是个人计算机是大家在日常生活中经常见到和使用的，二者都是计算机，它们之间又有什么联系和区别呢？我们利用个人计算机即微型计算机来对单片机进行介绍。

微型计算机包括中央处理器（Central Processing Unit, CPU）、存储器（内存、硬盘、闪存等）、输入/输出（Input/Output, I/O）口及其他功能部件，如定时/计数器、中断系统等。它们通过地址总线（Address Bus, AB）、数据总线（Data Bus, DB）和控制总线（Control Bus, CB）连接起来，通过输入/输出口线与外部设备（打印机、摄像头、键盘）及外围芯片（显卡、网卡）相连。CPU中配有指令系统，计算机系统中配有主机监控程序（CPU温度自动保护）、系统操作软件（Window XP、Window 7等）及用户应用软件（Word、游戏软件）。

单片机是将微型计算机的主要组成部分集成在一个芯片上的微型计算机，具体地说就是

把中央处理器 (CPU)、随机存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM)、I/O 接口、中断系统和定时器/计数器等接口集成在一块芯片上, 构成了一台微型计算机。换一种说法, 单片机就是不包括输入输出设备、不带外部设备的微型计算机, 相当于一个没有显示器, 没有键盘, 不带监控程序的单板机。虽然单片机只是一个芯片, 但从组成和功能来说, 其已具有了计算机系统的属性, 因此称它为单片微型计算机 (Single Chip Micro-Computer, SCMC), 简称单片机。

单片机在应用时通常处于被控系统核心地位并融入其中, 即以嵌入的方式进行使用。为了强调其“嵌入”的特点, 也常常将单片机称为嵌入式微控制器 (Embedded Micro-Controller Unit, EMCU)。

单片机只是一个芯片, 既无显示器也无键盘, 而在许多控制系统中或者需要键盘输入控制参数, 或者需要显示器显示系统工作状态, 那该怎么办呢? 这里讲一讲单片机系统, 也就是单片机应用系统。单片机系统是在单片机芯片的基础上扩展其他电路或芯片构成的具有一定应用功能的计算机系统。例如一种温度测控系统, 如图 1-1 所示。



图 1-1 温度测控系统框图

1.1.2 单片机应用系统和单片机开发系统

单片机应用系统是为控制应用而设计的, 该系统与控制对象结合在一起使用, 是单片机开发应用的成果。但由于软硬件资源所限, 单片机系统本身不能实现自我开发, 要进行系统开发设计, 必须使用专门的单片机开发系统。

单片机开发系统在单片机应用系统设计中占有重要的地位, 是单片机应用系统设计中不可缺少的开发工具。在单片机应用系统设计的仿真调试阶段, 必须借助于单片机开发系统进行模拟, 调试程序, 检查硬件、软件的运行状态, 并随时观察运行的中间过程而不改变运行中的原有数据, 从而实现模拟现场的真实调试。

单片机开发系统应具备的功能:

- 1) 方便地输入和修改用户的应用程序。
- 2) 对用户系统硬件电路进行检查和诊断。
- 3) 将用户源程序编译成目标代码并固化到相应的 ROM 中去, 并能在线仿真。
- 4) 以单步、断点、连续等方式运行用户程序, 能正确反映用户程序执行的中间状态, 即能实现动态实时调试。

常用的 MCS-51 硬件开发系统:

- 1) Keil C51 单片机仿真器。
- 2) TKS 系列仿真器。
- 3) Flyto Pemulator 单片机开发系统。
- 4) Medwin 集成开发环境。
- 5) E6000 系列仿真器。

1.1.3 单片机程序设计语言和软件

单片机程序设计语言和软件主要是指在开发系统中使用的语言和软件。在单片机开发系统中可使用机器语言、汇编语言和高级语言，而在单片机应用系统中只能使用机器语言。

机器语言是用二进制代码表示的单片机指令，用机器语言构成的程序称之为目标程序。汇编语言是用符号表示的指令，汇编语言是对机器语言的改进，是单片机最常用的程序设计语言。虽然机器语言和汇编语言都是高效的计算机语言，但它们都是面向机器的低级语言，不便记忆和使用，且与单片机硬件关系密切，不同系列的单片机所使用的汇编语言是有所差别的，这就要求程序设计人员必须精通单片机的硬件系统和指令系统。

为了使程序设计具有通用性，单片机也开始尝试使用高级语言，其中编译型语言有 P1、M51、C-51、C、MBASIC-51 等，解释型语言有 MBASIC 和 MBASIC-52 等。

单片机程序设计有其复杂的一面，因为编写单片机程序主要使用汇编语言，使用起来有一定的难度，而且由于单片机应用范围广泛，各种外围芯片的种类十分的多，面对多种多样的控制对象和系统，很少有现成的程序可供借鉴，这与微型机在数值计算和数据处理等应用领域中有许多成熟的经典程序可供直接调用或模仿有很大的不同。

1.2 单片机发展及应用

1.2.1 单片机发展阶段

单片机的发展从 4 位机、8 位机一直发展到现在的 16 位机、32 位机，经历了五个阶段四代。

第一阶段（1971~1974 年）1971 年 11 月美国 Intel 公司设计出 2000 只晶体管集成的 4 位微处理器 Intel4004，并且配置了随机存储器 RAM 和只读存储器 ROM 以及移位寄存器等芯片，组成了第一台 MCS-4 微型计算机；1972 年 4 月 Intel 公司又研制开发了 8 位微处理器 Intel8008，虽然说微处理器不是现在所说的单片机，但是此系列微处理器的开发却掀起了研制单片机的高潮。

第二阶段（1974~1978 年）单片机探索阶段，第一代单片机。从 1974 年 12 月，仙童（Fairchild）公司首先推出 8 位单片机 F8，以及 1975 年美国的 TEXA 仪器公司发布 TMS1000 系列 4 位单片机开始至今经历四代。其中 F8 单片机是此期间最早的单片机产品，是双片形式的 8 位 CPU 的单片机，由一个带有 4KRAM 和 2 个并行 I/O 口的 F8 和一个带有 1KROM、定时/计数器和 2 个并行 I/O 口的 3851 组成。而 Intel 公司也不甘落后，推出了集成有 8 位 CPU、并行 I/O 口、8 位定时/计数器、简单终端、寻址范围小于 4KB、片内 RAM 和 ROM、无串行口的 MSC-48 单片机。

第三阶段：（1978~1983 年）高性能单片机完善阶段，第二代高性能 8 位单片机问世。这期间研制开发的单片机普遍带有串行口、中断系统和 16 位定时/计数器。同时单片机内部的存储器容量变大，无论是 ROM 还是 RAM 的寻址范围都可以达到 64KB，有的单片机带有 A-D 转换功能。这类单片机有 Intel 公司的 MCS-51、Motorola 公司的 MC6801 和 Zilog 公司的 Z80 等。这个阶段的单片机目前应用仍非常广泛，仍然是单片机应用系统设计的主流产品，

尤其是 MCS-51 系列产品。

第四阶段：(1983~90 年代初) 8 位单片机发展及第三代 16 位单片机推出阶段。该阶段的单片机主要是不断完善高档 8 位单片机以及 16 位单片机和专用单片机的开发研制。如 MCS-96 系列的 8096、8098 芯片。其增加性能主要体现为 16 位 CPU，RAM/ROM 增大，中断能力增强，片内集成 A-D 转换电路和 HSIO 等。

第五阶段：(90 年代至今) 高档 16 位单片机和第四代 32 位的单片机出现阶段。如 80196，MC8300 等，单片机的性能和速度已经得到了大幅度的提高。

单片机发展近半个世纪以来，已从 8 位、低速、集成度低、功耗高向多位、高速、低功耗、低价格、高集成发展，尽管 32 位单片机已经出现在市场上，但是应用并不广泛，而功能强、集成度高、低功耗、易扩展和稳定性良好的单片机型号依然是众多单片机系统开发者的最先选择，同时一些专用单片机应用也比较多。

1.2.2 单片机的应用

现代电子系统的基本核心是嵌入式计算机应用系统（简称嵌入式系统，Embedded System），而单片机就是最典型、最广泛、最普及的嵌入式计算机应用系统，其构成的应用系统具有在线控制、软硬结合、受环境影响小等特点。

提到单片机的应用，引用一句话“不怕想不到，就怕做不到”，也可以说：“凡是能想到的地方，单片机都可以用得上。”这并不夸张。单片机主要应用的领域有：

(1) 智能化家用电器 各种家用电器普遍采用单片机智能化控制代替传统的电子线路控制，升级换代，提高档次。从电饭煲、洗衣机、电冰箱、空调、电视、音响视频器材，再到电子秤量设备，五花八门，无所不在。

(2) 工业控制 工业自动化控制是最早采用单片机控制的领域之一。用单片机可以构成形式多样的控制系统、数据采集系统。如工厂流水线的智能化管理、电梯智能化控制、各种报警系统、各种测控系统、过程控制等。在化工、建筑、冶金等各种工业领域都要用到单片机控制。

(3) 智能仪器仪表 单片机结合不同类型的传感器，大大提升了仪表的档次，强化了功能，可实现功率、频率、湿度、温度、流量、速度、压力等物理量的测量，并且可对采集数据进行处理和存储、故障诊断、联网集控工作等。

(4) 办公自动化 现代办公室中使用的大量通信和办公设备多数嵌入了单片机。如打印机、复印机、传真机、绘图机、考勤机、电话以及通用计算机中的键盘译码、磁盘驱动等。

(5) 网络和智能化通信产品 现代的单片机普遍具备通信接口，可以很方便地与计算机进行数据通信，为在计算机网络和通信设备间的应用提供了极好的物质条件，从电话机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信，再到日常工作中随处可见的移动电话、集群移动通信、无线电对讲机等。手机内的芯片属专用型单片机。

(6) 汽车电子产品 单片机在汽车电子中的应用非常广泛，现代汽车的集中显示系统、动力监测控制系统、自动驾驶系统、通信系统和运行监视器（黑匣子）、GPS 导航系统、ABS 防抱死系统、制动系统等都离不开单片机。

(7) 模块化应用 某些专用单片机设计用于实现特定功能，从而在各种电路中进行模

块化应用,而不要求使用人员了解其内部结构。如音乐集成单片机,看似简单的功能,微缩在纯电子芯片中(有别于磁带机的原理),就需要复杂的类似于计算机的原理。如:音乐信号以数字的形式存于存储器中(类似于ROM),由微控制器读出,转化为模拟音乐电信号(类似于声卡)。

(8) 军事领域 在国防科技上单片机也在发挥其重要作用,如雷达等。

此外,单片机在工商,金融,科研,教育等领域都有着十分广泛的用途。单片机应用的意义不仅在于它的广阔范围及所带来的经济效益,更重要的意义在于单片机的应用从根本上改变了控制系统传统的设计思想和设计方法。以前采用硬件电路实现的大部分控制功能,正在用单片机通过软件方法来实现。以前自动控制中的PID调节,现在可以用单片机实现具有智能化的数字计算控制、模糊控制和自适应控制。这种以软件取代硬件并能提高系统性能的控制技术称为微控技术。随着单片机应用的推广,微控技术将不断发展完善。

1.3 单片机分类

1.3.1 单片机按位分类

从20世纪70年代中期开始,单片机在不断发展,半导体器件制造厂商不断推出自己的系列产品。迄今为止,市场上的单片机产品已达60多个系列,1000多个品种。按照CPU能够对数据处理的位数来分,通常可分为4位、8位、16位、32位机。

1. 4位单片机

四位单片机的控制处理能力较弱,常用于计算器、智能单元、家电控制器、玩具控制、电话等各种规模较小的家电类消费产品。

典型的4位单片机产品,有OKI公司的MSM64164C、MSM64481,NEC公司的75006X系列,EPSON公司的SMC62系列,NS公司的COP4系列,Toshiba公司的TMP47系列等。

2. 8位单片机

8位单片机的控制处理能力较强,是目前品种最为丰富、应用最为广泛的单片机,有着体积小、功耗低、功能强、性价比高、易于推广应用等显著优点。和4位机相比,它不仅有较大范围的存储容量和寻址空间,同时中断、定时器、并行口等都有了不同程度的增加,并集成了全双工串行口,而增强型的8位机在片内还增加了A-D和D-A转换器以及看门狗、总线控制等电路。这类单片机在自动化装置、智能仪器仪表、过程控制、通信、家用电器等许多领域得到广泛应用。目前主要分为MCS-51系列及其兼容机型和非MCS-51系列单片机。

51系列单片机以其典型的结构,众多的逻辑位操作功能,以及丰富的指令系统,堪称一代“名机”。目前,主要机型有Atmel(爱特梅尔)公司的AT89系列、Philips(飞利浦)公司的80C51系列、Winbond(华邦)公司的W78E系列、Intel公司的MCS-51系列等。

非51系列单片机在中国应用较广的有Microchip(微芯)的PIC单片机、Atmel的AVR单片机ATmega8、义隆EM78系列,以及Motorola(摩托罗拉)的68HC05/11/12系列单片机等。

3. 16位单片机

16位单片机操作速度及数据吞吐能力在性能上比8位机有较大提高,寻址能力高达1M,主要应用于工业控制、智能仪器仪表、便携式设备等场合。其中TI的MSP430系列以

其超低功耗的特性广泛应用于低功耗场合。目前，应用较多的有 TI 的 MSP430 系列、凌阳 SPCE061A 系列、Motorola 的 68HC16 系列、Intel 的 MCS-96/196 系列、NS 的 HPC 系列等。

4. 32 位单片机

32 位单片机是单片机的发展趋势，是目前的单片机顶级产品，广泛应用于无线、汽车、消费娱乐、数字影像、工业、网络、安全、存储设备等领域。32 位单片机主要由 ARM 公司研制，因此，提及 32 位单片机，一般均指 ARM 单片机。

严格来说，ARM 不是单片机，而是一种 32 位处理器内核（主要有 ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10 等），它由英国 ARM 公司开发，但 ARM 公司自己并不生产芯片，而是由授权的芯片厂商如 Samsung（三星）、Philips（飞利浦）、Atmel（爱特梅尔）、Intel（英特尔）等制造，芯片厂商可以根据自己的需要进行结构与功能的调整。因此，实际中使用的 ARM 芯片有很多型号，常见的 ARM 芯片主要有飞利浦的 LPC2000 系列、三星的 S3C/S3F/S3P 系列等。

1.3.2 主要单片机性能分类

目前生产单片机的厂商很多，主要有美国的 Intel、Atmel、Motorola、Microchip、Zilog 等公司，日本的 NEC、Toshiba、Fujitsu、Hitachi 等公司，荷兰的 Philips 公司，德国的 Siemens 公司，等等。

而目前市场上 Intel、Microchip、Atmel、深圳宏晶生产的 51 系列单片机使用较为广泛，这里介绍一些单片机的产品。

1. Intel 公司的 MCS-51 系列

MCS-51 是指由美国 Intel 公司 1980 生产的一系列单片机的总称，这一系列单片机包括了基本型和增强型两类，其中的 8051 型号单片机是最早最典型的产品。Intel 公司将 MCS-51 的核心技术授权给很多其他公司，所以现在有很多公司做以 8051 为核心的 51 系列兼容单片机，这些单片机都是在 8051 的基础上进行功能的加强或简化而来的，所以习惯于称呼 MCS-51 系列单片机为 8051，而十多年前 8031 在我国较流行，所以很多应用系统以 8031 作为控制处理核心。表 1-1 列出了 MCS-51 单片机应用较广泛的型号的特性。

Philips 公司的 80C51 系列单片机是 MCS-51 中的一个子系列，与 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机完全兼容，具有同样的指令系统和寻址方式。

表 1-1 MCS-51 系列单片机

片内资源	基本型型号			增强型型号		
	8031 8031AH 80C31	8051 8051AH 80C51	8751 8751BH 87C51	8032 8032AH 80C32	8052 8052AH 80C52	8752 8752BH 87C52
ROM	/	4K × 8B	/	/	8K × 8B	/
EPROM	/	/	4K × 8B	/	/	8K × 8B
RAM	128 × 8B	128 × 8B	128 × 8B	256 × 8B	256 × 8B	256 × 8B
并行接口	4 个 8 位	4 个 8 位	4 个 8 位	4 个 8 位	4 个 8 位	4 个 8 位
串行接口 UART	1	1	1	1	1	1

(续)

片内资源	基本型型号			增强型型号		
	8031 8031AH 80C31	8051 8051AH 80C51	8751 8751BH 87C51	8032 8032AH 80C32	8052 8052AH 80C52	8752 8752BH 87C52
中断源	5	5	5	6	6	6
定时器/计数器	2个16位	2个16位	2个16位	3×16位	3×16位	3×16位
掉电和待机模式	/	/	/	/	/	/
工作频率	12MHz	12MHz	12MHz	12MHz	12MHz	12MHz

2. Atmel 公司的 AT89 系列

Atmel (爱特梅尔) 半导体成立于 1984 年, 总部位于美国, 是高级半导体产品设计、制造和行销的领先者。该公司将 E²PROM 和 Flash 存储器运用于单片机, 开创了单片机程序存储器变革的先河。

AT89 系列单片机是以 MCS-51 单片机为内核标准的单片机, 改进型的 51 单片机。比如说标准的 8051 单片机没有 20pin 封装的芯片。但是 AT89C2051 和 AT89C4051 都是 20pin 封装的单片机。它们主要是把原 51 单片机的 P0 口和 P2 口省略了, 然后再改进了一些功能, 可以认为它们是精简型 51 单片机。AT89 有许多型号, 常用的有 AT89C51、AT89S51、AT89C52、AT89S52 等。AT89 系列单片机都是 Flash 型单片机, 烧录次数至少在 1000 次以上。表 1-2 为常用 AT89 系列单片机。

表 1-2 常用 AT89 系列单片机

片内资源	单片机型号					
	AT89C51	AT89S51	AT89C52	AT89S52	AT87F51	AT89LS51
Flash ROM	4K×8B	4K×8B	8K×8B	8K×8位	/	4K×8B
OTP	/	/	/	/	8K×8B	/
RAM	128×8B	128×8B	256×8B	256×8B	128×8B	128×8B
工作频率	24MHz	33MHz	24MHz	33MHz	24MHz	16MHz
并行接口	4个8位	4个8位	4个8位	4个8位	4个8位	4个8位
串行接口 UART	1	1	1	1	1	1
中断源	5	5	6	6	6	5
定时器/计数器	2个16位	2个16位	3个16位	3个16位	2个16位	2个16位
掉电和待机模式	有	有	有	有	有	有
看门狗电路	/	有	/	有	/	有

市场上所说的 AVR 单片机有一款是 Atmel 公司开发的 AT90 系列单片机, 是增强型的 RISC (精简指令) 单片机, 其他的 AT90 系列单片机已经转型给了 Attiny 系列和 Atmega 系列。所有的 AVR 单片机都支持 ISP。

51 系列单片机是应用较为普遍的单片机, 而除了 51 系列单片机之外还有很多较流行的

单片机系列。

3. Microchip 公司的 PIC 系列

Microchip 公司生产的 PIC 系列单片机也是一种在国内比较流行的单片机，其最大的特点是不搞单纯的功能堆积，PIC 系列产品的档次从低到高有几十个型号，可以满足不同用途和层次的需求。

PIC 系列单片机主要用于家电、汽车、办公自动化、通信、工业控制等领域。常用的型号包括 PIC16C5X、PIC12C5XX、PIC16F8X、PIC16F8XX 等，产品等级分为商业级（ $0^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ ）、工业级（ $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ ）、军用级（ $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ ）。ROM 形式分为 EPROM（紫外线擦除）、Flash-ROM（闪存）、OTP（一次编程）、QTP（大批量掩膜）等。

PIC 系列单片机与 MCS-51 系列单片机相比各有特点，主要区别体现在总线结构、指令结构、寄存器结构上，在应用时要考虑其各自特点、性能、价格等因素选择使用。

(1) 总线结构 MCS-51 的总线结构是冯·诺依曼型，计算机在同一个存储空间取指令和数据，两者不能同时进行；而 PIC 的总线结构是哈佛结构，指令和数据空间是完全分开的，一个用于指令，一个用于数据，由于可以对程序和数据同时进行访问，所以提高了数据吞吐率。正因为 PIC 系列单片机中采用了 RISC 精简指令集，是哈佛双总线结构，程序和指令总线可以采用不同的宽度。数据总线都是 8 位的，但指令总线位数分别为 12、14、16 位。

(2) 指令结构 MCS-51 的取指和执行采用单指令流水线结构，即取一条指令，执行完后再取下一条指令；而 PIC 的取指和执行采用双指令流水线结构，当一条指令被执行时，允许下一条指令同时被取出，这样就实现了单周期指令。

(3) 寄存器结构 PIC 的所有寄存器，包括 I/O 口，定时器和程序计数器等都采用 RAM 结构形式，而且都只需要一个指令周期就可以完成访问和操作；而 MCS-51 需要两个或两个以上的周期才能改变寄存器的内容。

4. Motorola 单片机

Motorola 公司从 M6800 开始，4 位、8 位、16 位、32 位的单片机都能生产。Motorola 单片机的特点之一是在同样的速度下所用的时钟频率较 Intel 类单片机低得多，因而使得高频噪声低，抗干扰能力强，更适合于工控领域及恶劣的环境，目前广泛应用于汽车电子中动力传动、车身、底盘及安全系统等领域。飞思卡尔（freescale）一直是摩托罗拉半导体分支，2004 年 7 月成为独立企业，Motorola 单片机半导体业务由飞思卡尔公司接管负责。

1.4 数的进制及编码

由于计算机只能识别“1”和“0”的数字量信息，所以在计算机处理中，所有数据和信息的存储以及指令的编码都是以二进制的形式存在的，下面介绍计算机中常用的数制和编码以及数据在计算机中的表示方法。

1.4.1 数制

关于数，大家并不陌生。在日常工作和学习中，我们已经接触过各种各样的数。这里，我们讨论数的问题，主要是从计算机的角度研究数的表示方法及其特点。

人们在长期的生产实践中,发明和积累了多种不同的计数方法,如现在广泛使用的源于阿拉伯民族文化的十进制数,钟表计时采用六十进制数,也有采用二进制的,如2只筷子为1双等。中国古代的八卦也是采用二进制信息来表示的。在数字系统中常用的进位计数制有十进制、二进制、八进制和十六进制。

说到数制,就有规则性的问题,如十进制采用“逢十进一”的进位规则,六十进制数采用“逢六十进一”的进位规则。下面给出相关的定义:

表示数码中每一位的构成及进位的规则称为进位计数制,简称数制。

进位计数制也叫位置计数制,其计数方法是把数划分为不同的数位,当某一数位累计到一定数量之后,该位又从零开始,同时向高位进位。在这种计数制中,同一个数码在不同的数位上所表示的数值是不同的。进位计数制可以用少量的数码表示较大的数,因而被广泛采用。

一种数制中允许使用的数码符号的个数称为该数制的基数,记作 R 。而某个数位上数码为1时所表征的数值,称为该数位的权值,简称“权”。各个数位的权值均可表示成 R^i 的形式,其中 i 是各数位的序号。利用基数和“权”的概念,可以把一个 R 进制数 D 用下列形式表示:

$$\begin{aligned} D_R &= (a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0a_{-1}\cdots a_{-m})_R \\ &= a_{n-1}R^{n-1} + a_{n-2}R^{n-2} + \cdots + a_1R^1 + a_0R^0 + \cdots + a_{-m}R^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i R^i \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中, n 是整数部分的位数, m 是小数部分的位数, R 是基数, R^i 称为第 i 位的权, a_i 是第 i 位的系数,是 R 进制中 R 个数字符号中的任何一个,即 $0 \leq a_i \leq R-1$ 。所以,某个数位上的数码 a_i 所表示的数值等于数码 a_i 与该位的权值 R^i 的乘积。

式(1-1)等号左边的形式,为数制 R 的位置计数法,也叫并列表示法;等号右边的形式,称之为 R 进制的多项式表示法,也叫按权展开式。

注意,为了避免在用到多种进制时可能出现的混淆,本书用下标形式来表示特定数的基数,如 D_R 表示 R 进制的数 D 。

1. 十进制数

自古以来,人们在日常生活中习惯使用的是十进计数制,这可能与人有十个手指这一事实有关。十进制的基数 R 为10,采用十个数码符号0、1、2、3、4、5、6、7、8、9来表示一个数的大小(如果是小数的话,还需要有一个小数点符号“.”),这样的若干个数码符号并列在一起即可表示一个十进制数。十进制的表示常用下标10、D或默认不做任何标记。如十进制数25可以表示为:25₁₀,25D,或25。

对照公式(1-1),十进制的按权展开式如下:

$$D_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i \quad (1-2)$$

式中, n 是整数部分的位数, m 是小数部分的位数, a_i 是数码0~9中的一个。

例如,十进制数368.25,小数点左边的第一位为个位,8代表 8×10^0 ;左边第二位为十位,6代表 6×10^1 ;左边第三位为百位,3代表 3×10^2 ;而小数点右边第一位为十分位,2代表 2×10^{-1} ;右边第二位为百分位,5代表 5×10^{-2} 。由此可以看出,处于不同位置的数字符号代表着不同的意义,也就是说有不同的权值。这5个数中3的位权最大,称之为最高位

有效数字 (MSB), 5 的位权最小, 称之为最低有效数字 (LSB)。

小数点用来区分一个数的整数和小数部分。更准确地讲, 相对于小数点不同位置所含权的大小可用 10 的幂表示。也就是说, 十进制数各位的权值为 10^i , i 是各数位的序号。十进制数以小数为界, 整数部分为 10 的正次幂, 小数部分为 10 的负次幂。

十进制数的计数规律是: 低位向其相邻高位“逢十进一, 借一为十”。也就是说, 每位数累计不能超过 10, 计满 10 就应向高位进 1; 而从高位借来的 1, 就相当于低位的数 10。十进制各位的权值为 10^i , i 是各数位的序号。

一般情况, N 位十进制, 可表示 10^N 个不同的数值, 从 0 开始并包括 0, 其最大数为 $10^N - 1$ 。

2. 二进制数

在数字系统中, 十进制不便于实现。例如, 很难设计一个电子器件, 使其具有 10 个不同的电平 (每一个电压值对应于 0~9 中的一个数字); 相反, 设计一个具有两个工作电平的电子电路却很容易。而二进制数只需两个状态即可表示, 与机器的开关状态相对应, 所以容易实现。这就是二进制在数字系统中得到广泛应用的根本原因。此外, 二进制也是数字系统唯一可识别的代码。

所谓二进制, 就是基数 R 为 2 的进位计数制, 它只有 0 和 1 两个数码符号。二进制数一般用下标 2 或 B 表示, 如 1101_2 , $1101B$ 等。

二进制的按权展开式如下:

$$D_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i \tag{1-3}$$

式中, n 是整数部分的位数, m 是小数部分的位数, a_i 是数码 0 或 1。

前面有关十进制的论述同样适用于二进制, 二进制也属于位置计数体系。其中每一个二进制数字都具有特定的数值, 它是用 2 的幂所表示的权, 即各位的权值为 2^i , i 是各数位的序号。如图 1-2 所示。这里, 二进制小数点 (对应于十进制小数点) 左边是 2 的正次幂, 右边是 2 的负次幂。图中所示数值为 11.11, 为了求的与二进制数对应的十进制数, 可把二进制各位数字 (0 或 1) 乘以位权并相加, 即

$$\begin{aligned} 11.11_2 &= 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 2 + 1 + 0.5 + 0.25 = 3.75_{10} \end{aligned}$$



图 1-2 位权二进制表示

在二进制中, 二进制数位经常称为“位”。因此, 在图 1-2 所示的数中, 小数点左边有 2 位, 它们是该数的整数部分, 小数点右边有 2 位, 代表小数部分, 最左边一位是最高有效位 (MSB), 最右边一位是最低有效位 (LSB), 在图 1-2 中, MSB 的位权是 2^1 , LSB 的位权是 2^{-2} 。

在二进制中, 仅有“0”和“1”两个符号或可能的数值, 即使如此, 二进制同样可以用来表示十进制或其他进制所能表示的任何数, 但用二进制表示一个数所用的位数较多。

用 N 位二进制可实现 2^N 个计数, 可表示的最大数是 $2^N - 1$ 。

二进制的计数规则是: 低位向相邻高位“逢二进一, 借一为二”。二进制的四则运算规则很简单, 以下将介绍二进制数的加、减、乘、除四则运算。

(1) 二进制加法

二进制的加法运算有如下规则: