

普通高等教育

电气信息类规划教材



免费下载电子教案

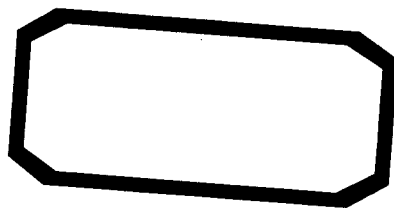
单片机 原理与应用

杭和平 杨芳 谢飞 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





普通高等教育电气信息类规划教材

单片机原理与应用

杭和平 杨 芳 谢 飞 等编著

机械工业出版社

C 语言已经成为单片机开发的主流语言。单片机应用的关键是对单片机功能应用的掌握。实践证明,重点学习高级语言,可以避免在使用汇编语言时,把大量精力花费在局限于具体问题的编程上。

本书从实际应用出发,力图从以前单片机教材纠缠具体单片机原理的解析上解脱出来,以 AT89C51 为讲解蓝本,以 C 语言为编程语言,着重讲解单片机各种功能的应用,以及如何用 C 程序去实现要求的功能。本书适合作为普通高等学校的工学/电气信息类本科专业的教材,也可以作为相关专业工程技术人员的技术参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理与应用/杭和平等编著. —北京:机械工业出版社, 2008. 4
(普通高等教育电气信息类规划教材)

ISBN 978-7-111-23603-0

I. 单… II. 杭… III. 单片微型计算机 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 026928 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:时 静 版式设计:霍永明

责任校对:陈立辉 责任印制:邓 博

北京市朝阳展望印刷厂印刷

2008 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 16 印张 · 392 千字

0001—5000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-23603-0

定价: 27.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版

出版说明

随着科学技术的不断进步，整个国家自动化水平和信息化水平的长足发展，社会对电气信息类人才的需求日益迫切、要求也更加严格。在教育部颁布的“普通高等学校本科专业目录”中，电气信息类（Electrical and Information Science and Technology）包括电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等专业。这些专业的人才培养对社会需求、经济发展都有着非常重要的意义。

在电气信息类专业及学科迅速发展的同时，也给高等教育工作带来了许多新课题和新任务。在此情况下，只有将新知识、新技术、新领域逐渐融合到教学、实践环节中去，才能培养出优秀的科技人才。为了配合高等院校教学的需要，机械工业出版社组织了这套“21世纪高等院校电气信息类系列教材”。

本套教材是在对电气信息类专业教育情况和教材情况调研与分析的基础上组织编写的，期间，与高等院校相关课程的主讲教师进行了广泛的交流和探讨，旨在构建体系完善、内容全面新颖、适合教学的专业教材。

本套教材涵盖多层面专业课程，定位准确，注重理论与实践、教学与教辅的结合，在语言描述上力求准确、清晰，适合各高等院校电气信息类专业学生使用。

机械工业出版社

前言

市场上单片机的书籍非常多，而且单片机的教材也很多。编者从事过多年单片机应用产品的开发，及单片机原理与应用方面的教学工作，深深感受到当前教学的内容与实际应用已存在相当大的脱节。

首先，尽管目前的单片机仍然有部分使用汇编语言进行开发，但是使用 C 语言编程的优点是显而易见的，尤其是近几年来单片机技术的快速发展，片上程序存储空间 ROM 和数据存储空间 RAM 都已是足够使用，以前对 C 语言编程可能担心产生的代码效率已不成为问题。学会使用 C 语言编程既是实际应用的需要，对学生而言也更加容易掌握，可避免学生把过多的精力放到用汇编语言编程的细节上。

目前的单片机教材中，考虑到原理介绍的方便，都是使用汇编语言进行编程。尽管也有不少单片机 C 语言编程方面的书籍，但这些书籍主要描述 C 语言的开发环境、开发工具、开发技巧等，对单片机的原理叙述不够，不适合教学。

其次，目前单片机课程教学内容严重陈旧，大多数教材上作为主要内容介绍的芯片仍然和 10 年前的相同，比如 8255、8279。在计算机技术高速发展的今天，10 年前的芯片早已有更好的解决方案了，很多芯片已经在市场上无法买到了。

编者认为近年来出现的大量新型单片机，例如 AVR 系列、MSP430 系列、PIC 系列等，在性能上远远超过目前 MCS-51 系列，综合性价比更高。但是目前作为单片机的教材，似乎仍然是 MCS-51 一统天下。编者不想打破这一传统做法，仍然选择了 MCS-51 作为单片机介绍的基础。原因是：①新型单片机往往系列划分细致，品种很多，例如，AVR 的单片机产品系列已经具有数十种之多。作为教材，原理介绍有难度；②作为教材而言，MCS-51 单片机在国内使用时间最长，因此应用广泛、资源丰富、参考资料多，这也不失作为教材的一大优点。但是从长远看，今后必然会出现以其他系列单片机作为蓝本的教材。

本书以目前市场上最为流行的 AT89C51/52 作为介绍的基础，事实上 AT89C51 也面临停产、淘汰，取而代之的将是 AT89S51/52。好在 AT89C51 与 AT89S51 相比在功能上和引脚上无太大差别，只是 AT89S51 具有串行的片上编程的功能，因此，本书仍以 AT89C51 作为介绍的蓝本。

本书力图从以前单片机教材局限于具体单片机原理的解析上解脱出来，着重于单片机各种功能的应用。本书的重点既不在 AT89C51 硬件原理的细节上，也不在软件语法编程技巧上，而在于如何使用 AT89C51 的功能；如何针对应用

需要,用 C 程序去实现要求的功能。本书也介绍汇编指令,但仅仅为了学习时加深对硬件的了解,以及加深对单片机工作原理的了解,因此对汇编语言仅作少量介绍,到第 7 章以后所有例子都是使用 C 语言。

本书不再介绍 8255、8279 等芯片的应用,对于程序存储器的扩展也一带而过。书中的所有程序举例均调试通过,应用实例也在硬件和软件上调试无误。

本书以 AT89C51 为基础,如果书中出现 MCS-51 的字样,则表明对所有 MCS-51 内核的单片机均适用,具体的示例中一般使用 AT89C51 或 AT89C52。

本书由杭和平、杨芳、谢飞等共同编写,杭和平负责第 1、2、4、10 章;杨芳负责第 5、6、8、9 章;谢飞负责第 3、7 章;参与编写的老师还有霍罡、龚自霞、贾松坡等。同时,感谢樊晓兵老师为本书的编写提供了大量帮助。本书适合作为普通高等学校的工学/电气信息类本科专业的教材,也可以作为相关专业工程技术人员的技术参考书。

本书在编写过程中参考了大量单片机方面的教材和技术书籍,力求编写出一本实用性强,重点突出,容易学习的教材。由于编者水平所限,时间仓促,恳请读者提出有益建议。

目 录

出版说明

前言

第 1 章 单片机的基础知识	1
1.1 单片机概述	1
1.1.1 单片机的结构与组成	1
1.1.2 单片机的分类与指标	2
1.1.3 MCS-51 单片机及其兼容产品	3
1.2 其他常用单片机系列	4
1.2.1 Microchip 公司的 PIC 系列单片机	5
1.2.2 TI 公司的超低功耗型 MSP430 系列单片机	5
1.2.3 Atmel 公司的 AVR 系列单片机	5
1.2.4 ADI 公司的 ADuC8xx 系列单片机	6
1.2.5 Motorola 公司的 68HCxx 系列单片机	6
1.3 单片机的特点及应用领域	6
1.3.1 单片机的特点	7
1.3.2 单片机的应用领域	8
1.4 单片机应用系统	9
1.4.1 单片机的 I/O 电平	10
1.4.2 单片机电路中晶体管的应用	10
1.4.3 一个简单的应用系统	11
1.5 单片机的数制与编码	11
1.5.1 进位计数制	12
1.5.2 进位计数制的相互转换	13
1.5.3 二进制和十六进制数的运算	14
1.5.4 数码和字符的代码表示	17
1.6 习题	19

第 2 章 AT89C51 单片机的结构	21
2.1 AT89C51 单片机的基本结构	21
2.1.1 AT89C51 单片机的片内资源	21
2.1.2 AT89C51 单片机的引脚功能	22
2.2 AT89C51 单片机的存储器配置	24
2.2.1 AT89C51 存储器配置的特点	25
2.2.2 AT89C51 的程序存储器	25

2.2.3 AT89C51 低 128B 的片内数据存储器	26
2.2.4 AT89C51 的特殊功能寄存器	30
2.2.5 AT89C51 的片外数据存储器	34
2.2.6 AT89C52 的存储器配置	34
2.3 AT89C51 的时钟电路与 CPU 时序	35
2.3.1 AT89C51 的时钟电路	35
2.3.2 CPU 时序	36
2.4 AT89C51 的复位与复位电路	37
2.5 AT89C51 单片机最小系统	39
2.6 习题	40

第 3 章 MCS-51 单片机的指令系统	42
3.1 指令系统的基本概念	42
3.1.1 指令系统概述	42
3.1.2 指令格式	43
3.1.3 寻址方式	43
3.2 指令系统	46
3.2.1 数据传送类指令	46
3.2.2 算术运算类指令	50
3.2.3 逻辑运算及位移指令	53
3.2.4 位操作类指令	55
3.2.5 控制转移类指令	57
3.3 习题	59

第 4 章 单片机的 C51 编程语言	61
4.1 C51 编程语言概述	61
4.1.1 C51 语言编程与汇编语言编程相比的优势	61
4.1.2 C51 与标准 ANSI C 编译器的主要区别	62
4.1.3 C51 的开发过程	63
4.2 C51 的标识符和关键字	64
4.3 C51 的变量与数据类型	66
4.3.1 常量与变量	66
4.3.2 数据类型	68
4.3.3 变量的存储器类型	70

4.3.4 存储模式	73	I/O 口扩展	122
4.3.5 C51 语言中的特殊数据类型	74	6.1 单片机扩展总线概述	122
4.4 C51 语言的数组、指针与结构	80	6.1.1 片外总线扩展结构	122
4.4.1 数组与指针	80	6.1.2 三总线扩展的方法	123
4.4.2 对绝对地址进行访问	83	6.1.3 AT89Cxx 系列单片机的片内存储 容量	124
4.5 C51 的运算符和表达式	84	6.2 MCS-51 单片机 I/O 口扩展及编址 技术	124
4.6 C51 语言的程序结构	88	6.2.1 单片机 I/O 口扩展	124
4.6.1 顺序结构	88	6.2.2 89C51 单片机总线扩展的编址 技术	127
4.6.2 选择结构	88	6.3 MCS-51 存储器扩展技术	130
4.6.3 循环结构	90	6.3.1 89C51 单片机的数据存储器 扩展	130
4.7 C51 语言的函数	91	6.3.2 89C51 单片机的程序存储器 扩展	134
4.8 中断服务程序	94	6.4 习题	136
4.9 C51 的预处理	95		
4.9.1 宏定义	95	第 7 章 MCS-51 单片机的中断系统与 定时/计数器	138
4.9.2 包含文件	95	7.1 中断系统	138
4.9.3 条件编译命令	96	7.1.1 概述	138
4.10 C51 的库函数	97	7.1.2 AT89C51 中断系统	139
4.10.1 本征库函数	97	7.1.3 中断应用实例	145
4.10.2 几类重要的库函数	98	7.2 定时/计数器及应用	148
4.11 使用 C51 编译器时的注意事项	98	7.2.1 定时/计数器 0、1 的结构及工作 原理	148
4.12 习题	99	7.2.2 定时/计数器 0、1 的 4 种工作 方式	149
		7.2.3 定时/计数器 0、1 的应用	152
第 5 章 MCS-51 单片机的程序设计 ...	101	7.2.4 AT89C52 定时/计数器 2 的结构	158
5.1 程序设计的基本方法	101	7.2.5 AT89C52 定时/计数器 2 的工作 方式	159
5.1.1 单片机程序设计语言	101	7.3 习题	160
5.1.2 程序设计的步骤	102		
5.1.3 程序流程图	103	第 8 章 AT89C51 串行通信及其 应用	161
5.2 汇编语言程序设计的基本概念	103	8.1 串行通信概述	161
5.2.1 MCS-51 伪指令	103	8.1.1 并行通信和串行通信	161
5.2.2 汇编语言程序的格式	106	8.1.2 异步通信和同步通信	162
5.2.3 汇编语言程序的汇编	107	8.1.3 单片机串行通信传输方式	163
5.3 单片机汇编语言与 C51 语言的程序 设计	108	8.1.4 串行数据通信的传输速率	164
5.3.1 16 位加减法程序	108		
5.3.2 顺序程序	109		
5.3.3 分支程序	111		
5.3.4 循环程序	113		
5.3.5 查表程序	116		
5.3.6 散转程序	118		
5.3.7 子程序	118		
5.4 习题	121		
第 6 章 MCS-51 单片机总线系统与			

8.2 AT89C51 串行口	164	第 10 章 AT89C51 单片机应用实例 ...	208
8.2.1 AT89C51 串行口的结构	164	10.1 单片机系统设计方法	208
8.2.2 AT89C51 串行口控制寄存器	165	10.2 温度采集与显示系统的设计	209
8.2.3 AT89C51 串行口的工作方式及 波特率计算	167	10.2.1 温度采集与显示系统的原理	209
8.3 串行通信协议	170	10.2.2 一总线 (1-Wire) 数字温度 传感器 DS18B20	210
8.3.1 RS-232 协议	170	10.2.3 AT89C51 单片机与 DS18B20 的 接口	211
8.3.2 RS-485/422A 协议	174	10.2.4 AT89C51 单片机读取 DS18B20 温度值的编程	214
8.3.3 串行通信的数据校验	175	10.2.5 显示驱动芯片 MAX7219	217
8.4 串行通信的应用	177	10.2.6 AT89C51 单片机与 MAX7219 的 接口与编程	221
8.5 习题	179	10.2.7 温度的采集处理与显示程序	224
第 9 章 MCS-51 单片机接口电路	181	10.3 习题	230
9.1 人机接口	181	附录	231
9.1.1 LED 接口	181	附录 A MCS-51 指令简表	231
9.1.2 键盘接口	186	附录 B 温度测量与显示系统原理图	234
9.2 数字 I/O 接口	194	附录 C Keil C51	235
9.2.1 光电隔离接口	194	C.1 uVision2 集成开发环境	235
9.2.2 功率输出 (继电器) 接口	195	C.2 uVision2 集成开发环境的使用	235
9.3 串行接口	196		
9.3.1 单片机和 PC 机通信	196		
9.3.2 串行通信应用及实例	198		
9.3.3 I ² C 接口存储芯片的应用	201		
9.4 习题	207		

第 1 章 单片机的基础知识

1.1 单片机概述

单片机又称单片微控制器 (Microcontroller)，国外普遍称为 MCU (Micro Control Unit)，其基本结构是将微型计算机的基本功能部件：中央处理器 (CPU)、存储器、输入/输出接口 (I/O)、定时/计数器、中断系统等全部集成在一个半导体芯片上。

单片机结构上的设计，在硬件、指令系统及 I/O 处理能力等方面都有独到之处，具有较强而有效的控制功能。虽然单片机只是一个芯片，但无论从组成还是从其逻辑功能上来看，都具有微机系统的含义。另一方面，单片机毕竟是一个芯片，只有外加所需的外部设备，才可以构成实用的单片机应用系统。

1.1.1 单片机的结构与组成

单片机的一般结构可用图 1-1 所示的方框图描述。CPU 包括控制器和运算器；ROM 和 RAM 是存储器，ROM 存放程序，RAM 存放数据；I/O 为输入设备和输出设备。单片机用片内总线实现 CPU、ROM、RAM、I/O 各模块之间的信息传递。具体到某一种型号的单片机，其芯片内部集成的程序存储器 ROM 和数据存储器 RAM 大小不同，有的单片机内部无程序存储器 ROM，需要在单片机外部扩展。输入和输出端口 I/O 也有多有少，但 CPU 只有一个。

(1) 中央处理器 (CPU)

CPU 是单片机的核心单元，通常由算术逻辑运算部件 ALU 和控制部件构成。

(2) 程序存储器 (ROM)

ROM 用来存放用户程序，可分类为 EPROM、Mask ROM、OTP ROM、Flash 存储器等。与 RAM 相比，数据一旦写入 ROM 后，即使断电，信息也不会丢失。

EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) 是一种用紫光擦除，需外接高电压编程 (烧录) 的只读存储器。在芯片上有一个透明窗口，用紫光照射透明窗口一定的时间即可擦除片内的程序，进行下一次的程序重写。程序写入后用胶纸封住窗口保护程序。MCS-51 系列的单片机 8751 上就使用的是 EPROM，还有单独的 EPROM 存储器芯片 (如

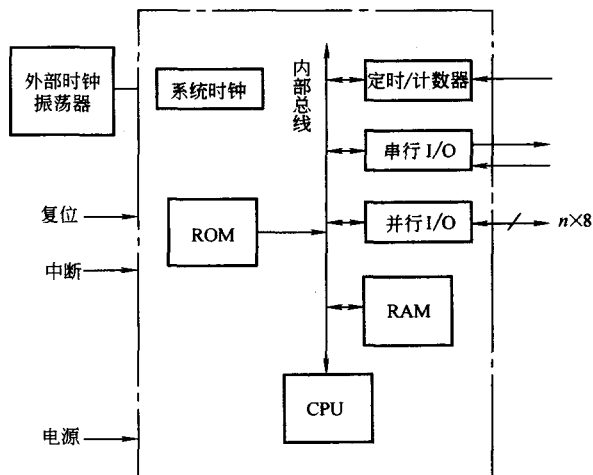


图 1-1 单片机的一般结构框图

2764), 在早期的单片机系统中, 无片内 ROM 的 MCS-51 系列单片机 8031 常常外接 2764 等 EPROM 作为程序存储器。

Mask ROM 又称为掩膜的只读存储器, 程序编写完毕, 确保无错误的情况下, 将程序交给 ROM 生产厂家写入, 不能再擦除重写。Mask ROM 适合大批量稳定生产的产品, 当用量很大时, 单片的成本最低。

OTP ROM (One Time Programmable ROM) 是一次性编程的只读存储器, 不能擦除重写, 这种程序存储器的单片机, 正在被 Flash 存储器的单片机代替, 例如 OTP ROM 的单片机 PIC16C7x 系列被相同类别 Flash 存储器的 PIC16F7x 代替。

目前使用片内 Flash 程序存储器 (也称为“闪存”) 的单片机是使用的主流, 例如常用的 AT89C、AT89S 等系列单片机, 这种 Flash 的程序存储器可以用电直接反复地多次擦和写, 使用方便。现在使用的 U 盘、MP3、数码相机用的 CF 卡等, 都是使用 Flash 作为存储介质的。

带有 EPROM 的单片机, 例如 8751, 或者外接程序存储器的单片机, 例如 8031, 都已经逐渐被市场淘汰。

(3) 随机存储器 (RAM)

RAM 是断电后信息会丢失的存储器, 这种存储器可以快速反复地修改信息, 用来存放程序运行时的工作变量和数据。

为了叙述的方便, 把单片机的程序存储器统称为 ROM, 数据存储器统称为 RAM。

由于半导体技术的发展, 单片机片内 ROM 和 RAM 的容量越来越大, 方便了单片机在复杂的控制和运算方面的运用, 也使得在单片机需要外接 ROM 或 RAM 的情况越来越少。

(4) 并行输入/输出 (I/O) 端口

并行输入/输出端口通常为独立的双向 I/O 口, 任何口既可以用作输入方式, 又可以用作输出方式, 通过软件编程设定。I/O 端口是单片机的重要资源, 也是衡量单片机功能的重要指标之一。单片机的 I/O 口通常还可以进行“位”操作, 即对每一位进行读或写操作。

(5) 串行输入/输出口

串行输入/输出口用于单片机和串行设备或其他单片机的通信。串行通信有同步和异步之分, 这可以用硬件或通用串行收发器件实现。串行通信是单片机与其他设备进行信息交换最简单和廉价的方式。

(6) 定时/计数器 (T/C)

定时/计数器用于单片机内部精确定时或对外部事件 (如输入的脉冲信号) 进行计数, 有的单片机内部有多个定时/计数器。

(7) 系统时钟

通常需要外接石英晶体或其他振荡源提供时钟信号输入, 也有的使用内部 RC 振荡器。系统时钟类似于 PC 微机中的主频, 它是反映单片机运行速度的重要指标。

以上只是单片机的基本构成, 现代的单片机又加入了许多新的功能部件, 如 EEPROM、模拟/数字转换器、数字/模拟转换器、温度传感器、液晶驱动电路、看门狗电路、低压检测电路等。

1.1.2 单片机的分类与指标

单片机从用途上可分成专用型单片机和通用型单片机两大类。专用型单片机是为某种专门用途而设计的单片机, 如带有影像解码硬件的 DVD 专用控制芯片、带有 MP3 音频解码的

专用控制芯片就都是一种专用单片机，也可以认为是一种专用的 DSP。我们通常所说的单片机是指通用的单片机。

单片机的性能有以下几个重要指标。

(1) 位数

位数是单片机能够一次处理的数据的宽度，常用的有 4 位机（如 MSM64155A）、8 位机（如 MCS-51）、16 位机（如 MCS-96）、32 位机（如 NEC 的 V850 系列）等。目前使用最广泛的是 8 位机（如 MCS-51）。

(2) 存储器

存储器包括程序存储器（习惯上简称为 ROM）和数据存储器（习惯上简称为 RAM），程序存储器空间较大，字节数一般从几 KB 到几十 KB（ $1\text{KB} = 2^{10}\text{B} = 1024\text{B}$ ），甚至上百 KB（如 Atmega128），另外还有不同的类型，如 ROM、EPROM、Flash ROM 和 OTP ROM 型。数据存储器的字节数则通常为几十 B 到几百 B，甚至上千 B 之间。程序存储器的编程方式也是用户选择的一个重要因素，有的是串行编程，有的是并行编程，新一代的单片机有的还具有在系统编程（In-System-Programmable, ISP）或在应用编程（In-Application re-Programmable, IAP）功能，有的还有专用的 ISP 编程接口或 JTAG 调试编程接口。

(3) I/O 口

I/O 口即输入/输出口，一般有几个到几十个，用户可以根据自己的需要进行选择。I/O 口的驱动能力也是一个选择指标，新一代的单片机有的可以具有 40mA 的驱动能力，可以直接驱动 LED 发光二极管。

(4) 速度

速度指的是 CPU 的处理速度，以每秒执行多少条指令衡量，常用单位是 MIPS（百万条指令/秒），目前最快的单片机可达到 100MIPS。单片机的速度通常是和系统时钟（相当于 PC 机的主频）相联系的，但并不是频率高的处理速度就一定快；不能仅仅从单片机时钟频率的快慢来判断单片机的处理速度；对于同一种型号的单片机来说，采用频率高的时钟比频率低的速度要快。

(5) 工作电压

通常工作电压是 5V，也有 3.3V 电压的产品，更低的可在 1.5V 工作。现代单片机又出现了宽电压范围型，即在 1.8V ~ 6.5V 内都可正常工作。

(6) 功耗

低功耗是现代单片机所追求的一个目标，目前低功耗单片机的静态电流可以低至 μA （微安， 10^{-6}A ）或 nA（纳安， 10^{-9}A ）级。有的单片机还具有等待、关断、睡眠等多种工作模式，以此来降低功耗。

(7) 使用温度

单片机根据工作温度可分为民用级（商业级）、工业级和军用级三种。民用级的温度范围是 0 ~ 70℃，工业级是 -40 ~ 85℃，军用级是 -55 ~ 125℃。

1.1.3 MCS-51 单片机及其兼容产品

1976 年 Intel 公司推出 MCS-48 系列 8 位单片机，以体积小、功能全、价格低等自身的魅力，得到了广泛的应用，成为单片机发展过程中的一个重要标志。

由于 MCS-48 系统的成功应用, 单片机及单片机应用技术迅速发展, 到目前为止, 世界各地厂商已相继研制出数万种的单片机产品。例如 8 位机的典型产品有 Intel 公司的 MCS-51 系列机、Motorola 公司的 MC68 系列机、Microchip 公司的 PIC 系列, 以及 Atmel 公司的基于 MCS-51 内核的单片机 AT89 系列等。

在 8 位单片机的基础上, 16 位单片机也相继产生, 其功能进一步加强, 代表产品有 Intel 公司的 MCS-96 系列。然而, 由于应用领域大量需要的仍是 8 位单片机, 因此, 各大公司纷纷推出高性能、大容量、多功能的新型 8 位单片机。近年来, 32 位单片机得到迅速的发展, 由于应用系统的日趋复杂, 功能要求的提高, 32 位单片机必然会越来越多地应用在各种电子产品和系统中。

单片机正在扮演越来越重要的角色。目前, 单片机正朝着高性能和多品种发展, 但由于 MCS-51 系列 8 位单片机仍能满足绝大多数应用领域的需要, 基于 MCS-51 内核的单片机仍是使用最为广泛的单片机, 并且在以后的相当一段时期内仍然将占据单片机应用的主导地位。

MCS 是 Intel 公司单片机系列的符号, Intel 公司推出有 MCS-48、MCS-51、MCS-96 系列单片机。其中, 目前最常用的是 MCS-51 系列, MCS-51 系列单片机包括 51 和 52 两个子系列。

在 51 系列中, 主要有 8031、8051、8751 等种类, 基于 HMOS 工艺, 它们的指令系统与芯片的引脚完全相同, 只有程序存储器 ROM 的配置不同。8031 片内不含程序存储器 (ROMless), 8751 片内有 4KB 的 EPROM。三种机型对应的低功耗 CHMOS 工艺的产品分别是 80C31、80C51、87C51。

52 系列对应的三种机型为 8032、8052、8752。52 系列与 51 系列的芯片引脚完全相同, 52 系列可以直接兼容 51 系列, 也就是使用 51 系列开发的软件和硬件, 可以更换为对应的 52 系列单片机, 而无需任何改动。52 系列在 51 系列的基础上有所改进, 主要有: 片内数据存储器 RAM 增加了 128B, 片内的 51 系列的 4KB 程序存储器增加到 8KB, 增加了一个 16 位的定时/计数器等。

除 Intel 的 MCS-51 外, 还有许多以 MCS-51 为内核的单片机, 可以看作是 MCS-51 单片机的兼容机型。其中在国内使用最为广泛的是 Atmel 公司的 51 系列 AT89C51 和 52 系列 AT89C52。AT89C51 除了片内使用的程序存储器为 Flash 存储器外, 其他的与 Intel 的 8751 相同, 由于 Flash 存储器编程的方便性, 新开发的基于 51 系列的单片机系统, 几乎均选用 AT89C51。Atmel 公司近期又推出 AT89S51 (和 AT89S52) 单片机, 带有 ISP 串行编程功能, 其他与 AT89C51 相同, 使用更加方便。AT89C55 也是与 AT89C52 基本相同, 封装相同, 指令兼容, 只是将片内的 Flash ROM 扩大到 20KB, 增加了片内的看门狗。

本书以 AT89C51 为样本介绍单片机的原理, 由于指令和芯片引脚完全与 MCS-51 相同, 内容大多也可以用于 MCS-51 系列的其他机型。

1.2 其他常用单片机系列

现代单片机的发展极为迅速, 各种不同类型的单片机在不同的应用领域争奇斗艳。特别是很多单片机将许多的功能集成到片内, 大大方便了系统的设计, 简化了硬件电路, 从而加快了系统开发的速度。

1.2.1 Microchip 公司的 PIC 系列单片机

Microchip 公司是世界上最早生产单片机的厂家之一，也是当今世界最大的 8 位单片机生产商之一，由于 PIC 系列单片机进入国内时间较晚，开发工具和资料不如 MCS-51 系列，在应用的普及上不如 MCS-51 单片机。PIC 系列单片机在国外有广泛的应用，在我国的使用也正在日益增多。

目前，市面上比较常见的单片机主要有以下系列：PIC12C5xxx 和 PIC16C5x 系列，这两个系列的单片机是 PIC 单片机中的低端产品，其中 PIC16C5x 系列是最早在市场上得到发展的系列，因其价格较低，且有较完善的开发手段，因此在国内应用最为广泛；而 PIC12C5xx 是世界上第一个 8 脚低价位单片机，可用于一些对单片机体积要求较高的简单智能控制领域，前景十分广阔。PIC16Cxxx 系列是 PIC 的中档产品，品种丰富、性价比高，指令周期可达到 200ns，增加了中断功能、带 A/D、内部 EEPROM 数据存储器、多种系统时钟选择、比较输出、捕捉输入、PWM 输出、I²C 和 SPI 接口、异步串行通信 (USART)、模拟电压比较器及 LCD 驱动等，其封装从 8 脚到 68 脚，可用于高、中、低档的电子产品设计中。PIC17Cxx 系列是 PIC 系列 8 位单片机中的高档产品，适合于高级复杂系统的开发，其性能在中档位单片机的基础上增加了硬件乘法器，指令周期可达 160ns，它是目前世界上 8 位单片机中性价比最高的机种之一，可用于高、中档产品的开发，如电动机控制、音调合成等。

1.2.2 TI 公司的超低功耗型 MSP430 系列单片机

TI 公司的 MSP430 Flash 系列单片机，是目前业界所有内部集成闪速存储器 (Flash ROM) 产品中功耗最低的。在 3V 工作电压下其耗电电流低于 350 μ A/MHz，待机模式仅为 1.5 μ A/MHz，具有 5 种节能模式。该产品的工作温度范围为 -40 $^{\circ}$ C ~ 85 $^{\circ}$ C，可满足工业应用要求。MSP430 微控制器可广泛地应用于煤气表、水表、电子电度表、医疗仪器、火警智能探头、通信产品、家庭自动化产品、便携式监视器及其他低功耗产品。由于 MSP430 微控制器的功耗极低，可设计出只需 2 块电池就可以使用长达 10 年的仪表应用产品。

1.2.3 Atmel 公司的 AVR 系列单片机

Atmel 公司最近正在以惊人的速度不断推出各种型号的基于增强精简指令 RISC (Reduced Instruction Set CPU) 的 AVR 系列单片机，其中 ATtiny、AT90 与 ATmega 分别对应为低、中、高档产品，在国外已得到了广泛的应用。特别是近一两年，随着高档 ATmega 系列单片机的大幅降价，部分产品的价格已非常具有竞争力，例如 ATmega8、ATmega48 的价格已接近 AT89C51，但在性能和芯片集成的功能部件上远优于 AT89C51，在国内也正得到广泛的应用。大多数 AVR 单片机除了具有 8051 的基本功能，如定时/计数器、中断、串行通信等以外，还有以下的特点。

AVR 单片机在一个时钟周期内执行一条指令，因此处理速度在 1MHz 时钟频率时，大约为 1MIPS。而且 AVR 单片机的结构设计和指令设计特别适合 C 语言的应用，Atmel 公司为 AVR 单片机保留的 GCC 开发工具端口，为 AVR 单片机的应用提供了极大的便利。

以 ATmega8 为例，在系统时钟方面，既可以使用外接的晶振或外部时钟，也可选用内部的 RC 振荡器片；片内集成了看门狗 (Watchdog) 电路，具有单独的看门狗 RC 振荡时

钟, 不使用主振荡时钟; ATmega8 内部还集成了低供电电压检测 (Brown-out) 复位电路。

ATmega8 片内包括有 10 位 8 通道的 A/D 转换器, 有内部基准电压。有 PWM 输出, 可用于 D/A 转换。所有的 I/O 口都配置了片内上拉电阻, 可以在程序中使用, 可以设置为三态门。I/O 口有 20mA 以上的电流驱动能力, 足以直接点亮 LED 灯。

支持板上的在线编程 ISP, 国内已有厂商提供计算机并口上的下载编程器, 价格低廉, 使开发十分便利。支持包括休眠在内的 5 种节电模式, 在休眠状态下, 最小的耗电流可低至 $0.5\mu\text{A}$ 。

AVR 的单片机产品系列已经具有数十种之多。高档产品 ATmega128 在片内具有 128KB 的 Flash 存储器, 4KB 的 EEPROM 和 4KB 的 RAM, 这在以前的单片机是难以想象的, 目前这种单片机已在数据采集系统、医疗仪器等复杂的单片机系统中得到很好的应用。

1.2.4 ADI 公司的 ADuC8xx 系列单片机

ADuCxxx 系列是美国 AnalogDevice (简称 ADI) 公司出品的高性能微转换器, 该系列单片机充分发挥了 ADI 公司在 A/D 转换器上的技术优势, 将高性能的 A/D 转换器集成到单片机的片内, 方便了单片机在数据采集系统中的应用。

ADuC824 是美国 AD 公司新近推出的具有 24 位 A/D 的单片机, 是一种具有真正意义的完整的数据采集系统芯片。ADuC824 基于 8051 的内核, 指令集与 8051 兼容; 片内有 8KB Flash 程序存储器; 640B 片内 EEPROM 数据存储器; 256B 片内数据 RAM; 可扩展 64KB 程序存储器空间和 16MB 数据存储器空间。3 个 16 位的定时/计数器; 26 根可编程 I/O 线; 12 个中断源, 2 个优先级。

最吸引人的是 ADuC824 片内集成了两个独立的 Σ - Δ 型 ADC 通道, 主、辅助通道的分辨率分别为 24 和 16 位, 具有可编程自校正功能; 还有 12 位电压输出型的数模转换器 (DAC)。

ADuC824 可采用 3V 或 5V 电压工作, 具有正常、空闲和掉电 3 种工作模式。片内还有一个通用 UART 串行 I/O, 一个与 I²C 兼容的二线串口和 SPI 串口, 一个看门狗定时器 (WDT), 一个电源监视器 (PSM), 片内温度传感器, 两个激励电流源。非常适合应用于智能传感器、数据采集等系统。

ADuC8xx 系列还有 ADuC812、ADuC816、ADuC834 等芯片, 均采用 8051 的内核和兼容的指令集, 主要区别在于 A/D 和 D/A 转换器的分辨率, 存储器容量的大小等。

1.2.5 Motorola 公司的 68HCxx 系列单片机

Motorola 是世界上最早开发单片机的著名厂商, 现单片机生产部分转移到 Freescale (飞思卡尔) 公司。它是目前全球最大的 8 位单片机生产商之一, 拥有 8 位、16 位和 32 位几十个系列的单片机, 其中 8 位机主要有 68HC05、68HC08 和 68HC11 等系列。Motorola 单片机的功能强, 进入我国的时间也很早, 在单片机应用领域有很高的威望, 但由于初期其开发工具价格较高, 影响了普及率。

1.3 单片机的特点及应用领域

单片机与通用微型计算机相比, 在硬件结构和指令设置上有以下不同之处。

(1) 存储器 ROM 和 RAM 是严格分工的

ROM 用作程序存储器，只存放程序、常数和数据表格，而 RAM 用作数据存储器，存放临时数据和变量。这样的设计方案使单片机更适用于实时控制（也称为现场控制或过程控制）系统。将已调试好的程序固化（即对 ROM 编程，也称烧录或者烧写）在程序存储空间 ROM 中，这样不仅掉电时程序不丢失，还避免了程序被破坏，从而确保了程序的安全性。与通用微型计算机使用的磁盘/光盘存储设备相比，单片机的 ROM 是一种电子存储器，更加适合在振动、粉尘等恶劣的环境下工作。实时控制仅需容量较小的 RAM，用于存放少量随机数据，这样有利于提高单片机的操作速度。

(2) 采用面向控制的指令系统

在实时控制方面，尤其是在位操作方面单片机有着不俗的表现。

(3) 输入/输出 (I/O) 端口引脚通常设计有多种功能

在设计时，究竟使用多功能引脚的哪一种功能，则可以由用户编程确定。

(4) 品种规格的系列化

属于同一个产品系列、不同型号的单片机，通常具有相同的内核、相同或兼容的指令系统。其主要的差别仅在片内配置了一些不同种类或不同数量的功能部件，以适用不同的被控对象。

(5) 单片机的硬件功能具有广泛的通用性

同一种单片机可以用在不同的控制系统中，只是其中所配置的软件不同而已。换言之，给单片机固化上不同的软件，便可形成用途不同的专用智能芯片。有时将这种芯片称为固件 (Firmware)。

1.3.1 单片机的特点

(1) 具有较高的性能价格比

高性能、低价格是单片机最显著的特点，其应用系统具有印制板小、接插件少、安装调试简单方便等特点，使单片机应用系统的性能价格比大大高于一般微机系统。

(2) 体积小，可靠性高

由单片机组成的应用系统结构简单，其体积小，极易对系统采取电磁屏蔽等抗干扰措施。另一方面，单片机不易受外界的干扰。所以单片机应用系统的可靠性比一般微机系统高得多。

(3) 控制功能强

单片机采用面向控制的指令系统，实时控制功能特别强。CPU 可以直接对 I/O 口进行输入、输出操作及逻辑运算，并且具有很强的位处理能力，能有针对性地解决由简单到复杂的各类控制任务。

(4) 使用方便、容易产品化

由于单片机具有体积小、功能强、性能价格比较高、系统扩展方便、硬件设计简单等优点，而且单片机开发工具具有很强的软、硬件调试功能，使研制单片机应用系统极为方便，加之现场运行环境的可靠性，因此使单片机能满足许多小型对象的嵌入式应用要求，可广泛应用在仪器仪表、家用电器、智能玩具、控制系统等领域中，以形成新的智能型产品。

1.3.2 单片机的应用领域

单片机应用领域越来越广泛,除了在工业控制、智能化仪器仪表、通信、家用电器等领域应用外,在智能化、高档电子玩具产品中也大量采用单片机作为核心控制部件。

单片机由于其体积小、功耗低、价格低廉,且具有逻辑判断、定时计数、程序控制等多种功能,故广泛应用于仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天、专用设备的智能化管理及过程控制等领域。以下简单介绍一些典型的应用。

(1) 单片机在工业测量仪表中的应用

单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、扩展灵活、微型化和使用方便等优点,广泛应用于仪器仪表中。在各种智能传感器、变送器、各种现场总线的智能仪表中均有不同类型的单片机。用单片机改造原有的测量、控制仪表,能使仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化及柔性化的方向发展,并使长期以来测量仪表中的误差修正和线性化处理等难题迎刃而解。由单片机构成的智能仪表,集测量、处理、控制功能于一体,从而赋予测量仪表以崭新的面貌。

(2) 单片机在机电一体化中的应用

机电一体化是机械工业发展的方向。机电一体化产品是指集机械技术、微电子技术、计算机技术、传感器技术于一体,具有智能化特征的机电产品,例如微机控制的车床、钻床、机器人等。单片机作为产品中的控制器,能充分发挥它体积小、可靠性高、功能强等优点,可大大提高机器的自动化、智能化程度。

(3) 单片机在实时控制中的应用

单片机广泛地应用于各种实时控制系统中。例如,在工业测控、航空航天、尖端武器等各种实时控制系统中,都可以用单片机作为控制器。单片机的实时数据处理能力和控制功能,能使系统保持在最佳工作状态,从而提高系统的工作效率和产品质量。例如机器人,每个关节或动作部位都是一个单片机实时控制系统。

(4) 单片机在分布式多机系统中的应用

在比较复杂的系统中,常采用分布式多机系统。多机系统一般由若干台功能各异的单片机应用系统组成,各自完成特定的任务,它们通过串行通信相互联系、协调工作。单片机在这种系统中往往作为一个终端机,安装在系统的某些节点上,对现场信息进行实时测量和控制。单片机的高可靠性和强抗干扰能力,使它可以置于恶劣环境的前端工作。

(5) 单片机在医疗仪器上的应用

在现代医学医疗仪器和康复器械中大量使用单片机,增加了仪器的准确性,使功能更加强大,协助医生提高诊断和治疗水平,这些仪器有数字心电图机、B超、心脏起搏器、各种肢体康复仪等。

(6) 消费类电子产品上的应用

该应用主要反映在家电领域,如洗衣机、空调器、汽车电子与保安系统、电视机、录像机、DVD机、音响设备、电子秤、IC卡、手机等。在这些设备使用单片机之后,其控制功能和性能大大提高,并实现了智能化、最优化控制。

(7) 终端及外部设备控制

计算机网络终端设备,如银行终端、商业POS(自动收款机)、复印机等,以及计算机