



普通高等教育电气信息类规划教材



免费电子教案下载

www.cmpedu.com



单片机原理与应用

第②版

杭和平 邵明刚 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

第2版

杭和平 邵明刚 编著



机械工业出版社

本书从实际应用出发,以 AT89C51 为蓝本,以 C 语言为主要编程语言,讲解了单片机原理与应用。书中也兼顾讲解汇编语言,主要目的是帮助对单片机原理的理解。本书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,着重讲解单片机各种功能的应用,以及如何用 C 程序实现要求的功能。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,邵明刚编著.—2版.—北京:机械工业出版社,2017.12

普通高等教育电气信息类规划教材

ISBN 978-7-111-59020-0

I. ①单… II. ①杭… ②邵… 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(2018)第 013912 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:时 静 责任编辑:时 静

责任校对:张艳霞 责任印制:张 博

三河市国英印务有限公司印刷

2018 年 3 月第 2 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·17 印张·409 千字

0001-2500 册

标准书号:ISBN 978-7-111-59020-0

定价:49.80 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

读者购书热线:(010)88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

本书力图从之前的单片机教材纠缠于具体单片机原理的解析上解脱出来，着重讲解单片机各种功能的应用。本书的重点既不是 AT89C51 硬件原理的细节，也不是软件语法编程技巧，而是如何使用 AT89C51 的功能；如何针对应用需要，用 C 程序实现要求的功能。本书也介绍汇编指令，但仅仅是为了帮助读者加深对硬件及单片机工作原理的了解，因此对汇编语言仅作少量介绍，第 6 章以后所有例子都以 C 语言为主。

本书不再介绍 8255、8279 等芯片的应用，避免纠结于对芯片应用的具体细节。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 AT89S51。

本书的第 1 版自 2008 年发行以来，许多读者对书中的错误和内容给出了指正，结合近几年使用该书作为教材进行的教学实践，对全书的内容、书后的习题进行了重新梳理，修订了错误，增添了部分内容。

本书由杭和平、邵明刚共同在第 1 版的基础上修订和编写，杭和平负责了第 1、2、3、4、9、10 章；邵明刚负责第 5、6、7、8 章。

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、重点突出、容易学习的教材。由于编者水平所限、时间仓促，其中难免有错误之处，恳请读者提出有益建议。

编 者

目 录

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 单片机的分类和指标	3
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	5
1.2.1 Microchip 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 飞思卡尔公司的 HCS12X 系列单片机	6
1.2.6 ST 公司的 STM32FXXX 系列单片机	6
1.3 单片机的特点及应用领域	7
1.3.1 单片机的特点	7
1.3.2 单片机的应用领域	8
1.4 一个单片机的简单应用系统	9
1.4.1 单片机的 I/O 电平	9
1.4.2 单片机电路中晶体管的应用	10
1.4.3 单片机的一个简单应用系统	10
1.5 单片机的数制与编码	11
1.5.1 进位计数制	11
1.5.2 进位计数制的相互转换	12
1.5.3 二进制数和十六进制数的运算	14
1.5.4 数码和字符的代码表示	16
习题 1	19
第 2 章 AT89C51 单片机的结构	21
2.1 AT89C51 单片机的内部结构及引脚功能	21
2.1.1 AT89C51 单片机的内部结构	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	25

2.2.1	AT89C51 存储器配置的特点	25
2.2.2	AT89C51 的程序存储器	26
2.2.3	AT89C51 低 128 B 的片内数据存储器	27
2.2.4	AT89C51 的特殊功能寄存器	31
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	36
2.3.2	单片机时序	36
2.4	AT89C51 复位与复位电路	38
2.5	AT89C51 单片机的最小系统	40
	习题 2	41
第 3 章	MCS-51 单片机的指令系统	42
3.1	指令系统基本概念	42
3.1.1	指令系统概述	42
3.1.2	指令格式	42
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
	习题 3	59
第 4 章	单片机的 C51 编程语言	63
4.1	C51 编程语言概述	63
4.1.1	C51 语言编程与汇编语言编程相比的优势	63
4.1.2	单片机 C51 与 PC 上的标准 ANSI C 编译器的主要区别	64
4.1.3	C51 的开发过程	65
4.2	C51 的标识符和关键字	66
4.3	C51 的变量与数据类型	68
4.3.1	常量与变量	68
4.3.2	数据类型	70
4.3.3	变量的存储器类型	72
4.3.4	存储器模式	74
4.3.5	C51 语言中的特殊数据类型	76
4.4	C51 语言的数组、指针与结构	82
4.4.1	数组与指针	82
4.4.2	对绝对地址进行访问	85

4.5	C51 的运算符和表达式	87
4.6	C51 语言的程序结构	90
4.6.1	顺序结构	90
4.6.2	选择结构	91
4.6.3	循环结构	92
4.7	C51 语言的函数	93
4.8	中断服务程序	96
4.9	C51 的预处理	97
4.9.1	宏定义	97
4.9.2	包含文件	98
4.9.3	条件编译命令	99
4.10	C51 的库函数	100
4.10.1	本征库函数	100
4.10.2	常用库函数介绍	101
4.11	使用 C51 编译器时的注意事项	101
	习题 4	102
第 5 章	MCS-51 单片机的程序设计	104
5.1	程序设计基本方法	104
5.1.1	单片机程序设计语言	104
5.1.2	程序设计步骤	105
5.1.3	程序流程图	106
5.2	汇编语言程序设计的基本概念	107
5.2.1	MCS-51 伪指令	107
5.2.2	汇编语言程序的格式	110
5.2.3	汇编语言程序的汇编	110
5.3	单片机汇编语言与 C51 语言的程序设计	113
5.3.1	16 位加减法程序	113
5.3.2	顺序程序	114
5.3.3	分支程序	116
5.3.4	循环程序	118
5.3.5	查表程序	121
5.3.6	散转程序	122
5.3.7	子程序	123
	习题 5	125
第 6 章	MCS-51 单片机的中断系统与定时/计数器	127
6.1	中断系统	127
6.1.1	概述	127
6.1.2	AT89C51 中断系统	129
6.1.3	中断应用实例	134

6.2 定时/计数器及应用	137
6.2.1 定时/计数器 0、1 的结构及工作原理	137
6.2.2 定时/计数器 0、1 的四种工作方式	140
6.2.3 定时/计数器 0、1 的应用	142
6.2.4 AT89C52 定时/计数器 2 的结构	148
6.2.5 AT89C52 定时/计数器 2 的工作方式	149
习题 6	150
第 7 章 MCS-51 单片机串行通信及其应用	152
7.1 串行通信概述	152
7.1.1 并行通信和串行通信	152
7.1.2 异步通信和同步通信	153
7.1.3 单片机串行通信传输方式	154
7.1.4 串行数据通信的传输速率	154
7.2 MCS-51 串行口	155
7.2.1 MCS-51 串行口的结构	155
7.2.2 MCS-51 串行口控制寄存器	156
7.2.3 MCS-51 串行口的工作方式及波特率计算	157
7.3 串行通信协议	161
7.3.1 RS-232 协议	161
7.3.2 RS-485 协议	164
7.3.3 串行通信的数据校验	166
7.4 串行通信的应用	167
习题 7	170
第 8 章 MCS-51 单片机接口电路	171
8.1 单片机接口电路概述	171
8.2 人机接口	171
8.2.1 LED 接口	172
8.2.2 键盘接口	178
8.2.3 蜂鸣器接口	186
8.3 数字 I/O 接口	187
8.3.1 光电隔离接口	187
8.3.2 功率输出(继电器)接口	188
8.4 串行接口	190
8.4.1 单片机和 PC 通信	190
8.4.2 串行口通信应用及实例	191
8.4.3 I ² C 接口存储芯片的应用	194
8.4.4 SPI 串行总线应用及实例	201
习题 8	206

第 9 章 MCS-51 单片机总线系统与 I/O 口扩展	207
9.1 单片机扩展总线概述	207
9.1.1 片外总线扩展结构	207
9.1.2 三总线扩展的方法	208
9.1.3 AT89CX 系列单片机的片内存储容量	209
9.2 MCS-51 单片机 I/O 口扩展及编址技术	209
9.2.1 单片机 I/O 口扩展	209
9.2.2 AT89C51 单片机总线扩展的编址技术	212
9.3 MCS-51 存储器扩展技术	215
9.3.1 AT89C51 单片机的数据存储器扩展	215
9.3.2 AT89C51 单片机的程序存储器扩展	219
习题 9	221
第 10 章 AT89C51 单片机应用实例	223
10.1 单片机系统设计方法	223
10.2 温度采集与显示系统的设计	224
10.2.1 温度采集与显示系统原理	224
10.2.2 一总线 (1-Wire) 数字温度传感器 DS18B20	225
10.2.3 AT89C51 单片机与 DS18B20 的接口	227
10.2.4 AT89C51 单片机读取 DS18B20 温度值的编程	228
10.2.5 显示驱动芯片 MAX7219	232
10.2.6 AT89C51 单片机与 MAX7219 的接口与编程	236
10.2.7 温度的采集处理与显示程序	239
习题 10	245
附录	246
附录 A MCS-51 指令简表	246
附录 B 温度测量与显示系统原理图	250
附录 C Keil C51 简介	251

第 1 章 单片机的基础知识

单片机又称单片微控制器 (Microcontroller Unit, MCU)。单片机是一种数字芯片，但不是仅完成某一个确定逻辑功能的芯片，而是把一个计算机系统集成到一个芯片上，通过写入的程序实现不同的功能。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)、定时器/计数器、中断系统等全部集成在一个半导体芯片上。

单片机是一种集成的数字元件，用半导体的开关状态 (0 或者 1 状态、或者高电平低电平) 来传递和处理信息。对于 8 位单片机而言，用十六进制表达单字节数据更为简洁，因此，熟悉二进制与十六进制的算术运算、逻辑运算，以及相互转换是单片机学习的基本要求。

1.1 单片机概述

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 为输入端口 INPUT 和输出端口 OUTPUT。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，需要在单片机外部另加。输入和输出端口 I/O 也有多有少，但 CPU 只有一个。

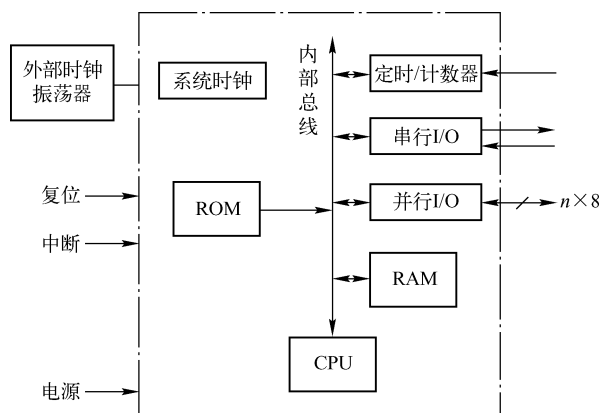


图 1-1 单片机的内部结构框图

中央处理器 (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。

程序存储器 (ROM): 用来存放用户程序, 可分为 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 系列早期的单片机 8751 上使用的就是 EPROM, 还有单独的 EPROM 存储器芯片 (如 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。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, 使用这种程序存储器的单片机, 正在被使用 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”) 的单片机是主流, 例如常用的 AT89C、AT89S 等系列单片机。flash 程序存储器可以多次用电直接擦写, 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。

随机存储器 (RAM): 是断电后信息会丢失的存储器, 这种存储器可以反复快速修改信息, 用来存放程序运行时的工作变量和数据。

为了叙述方便, 本书把单片机的程序存储器统称为 ROM, 把数据存储器统称为 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。也使得单片机需要外接 ROM 或 RAM 的情况越来越少。

并行输入/输出 (I/O) 端口: 通常为独立的双向 I/O 口, 任何端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 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。

串口输入/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。

定时/计数器 (T/C): 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。

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 等类型的振荡器产生振荡时钟。系统时钟类似于 PC 中的主频。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、电压监控、PWM 输出、输入脉宽捕捉、看门狗电路、低压检测复位电路等。

1.1.2 单片机的分类和指标

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，都是专用型单片机。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：

位数：是单片机能够一次处理数据的宽度，早期的有 4 位机，目前常用的是 8 位机（如 MCS-51）、16 位机（如 FREESCALE 的 MC9S12DG128）、32 位机（如 ST 的 STM32F103）等。目前使用最广泛的还是 8 位机，如 MCS-51 及其兼容单片机、ATMEL 的 AVR 系列单片机。但是，基于 ARM 构架的 32 位单片机也得到越来越多的应用，如 ST 的 STM32F 系列等。

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），以 8 位单片机为例，存储器以字节（B）为单位，程序存储器空间较大，ROM 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），目前常用的存储器类型是 Flash ROM。数据存储器的字节数则通常为几十字节到几百字节，甚至上千字节。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，新一代的单片机一般具有在系统编程（ISP, In-System Programming）或在应用编程（IAP, In-Application Programming）功能，有的还有专用的 ISP 编程接口或 JTAG 的调试编程接口。

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性能指标，新一代的单片机有的可以具有 40 mA 的驱动能力，可以直接驱动 LED。

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/每秒），目前最快的单片机可达到 100MIPS 以上。单片机的速度通常是和系统时钟联系的，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，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。

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

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。

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 公司推出了 MCS-48 系列 8 位单片机，该产品因体积小、功能全、价格低，而得到广泛应用，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、FREESCALE 公司的 HC08 系列机、Microchip 的 PIC 系列、以及 Atmel 公司的基于 MCS-51 内核的单片机 AT89 系列和 AVR 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 FREESCALE 公司的 S12 系列，TI 公司的 MPS430 系列等。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，随着 ARM 微处理器的大量应用，32 位单片机得到迅速发展。由于应用系统日趋复杂，功能要求提高，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。随着 ARM CORTEX-M3 系列单片机价格越来越低，32 位单片机开始进入传统 8 位单片机的应用领域。

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之一。

MCS 是 Intel 公司早期单片机系列的符号。Intel 公司推出了 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，8751 片内有 4 KB 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 128 B，片内的 51 系列的 4 KB 程序存储器增加到 8 KB，增加了一个 16 位的定时/计数器等。以上提到的这几种早期 Intel 的 51 系列单片机目前都已不再生产。

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，大多选用 AT89C51。之后 Atmel 公司又推出了 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 20 KB，增加了片内的看门狗。

本书以 AT89C51 为样本介绍单片机的原理，由于其指令和芯片引脚完全与 MCS-51 相同，因此本书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功能集成到片内，大大方便了系统的设计，简化了硬件电路，加快了系统开发的速度。

1.2.1 Microchip 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，在应用普及上也不如 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，尤其在工业控制、家用电器领域中。

1.2.2 TI 公司的超低功耗型 MSP430 系列单片机

TI 公司的 MSP430Flash 系列 16 位单片机，是目前业界所有内部集成闪存存储器（Flash ROM）产品中功耗最低的。在 3 V 工作电压下，其耗电电流低于 350 $\mu\text{A}/\text{MHz}$ ，待机模式下仅为 1.5 $\mu\text{A}/\text{MHz}$ ，具有 5 种节能模式。该系列产品的工作温度范围为 $-40 \sim 85^\circ\text{C}$ ，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耗能产品。

1.2.3 Atmel 公司的 AVR 系列单片机

Atmel 公司的基于精简指令集（Reduced Instruction Set CPU, RISC）的 AVR 系列单片机，其中，ATtiny、AT90 与 ATmega 分别对应低、中、高档产品，已得到了广泛的应用。近年来，随着 ATmega 系列单片机价格降低，使用日益广泛。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、串行通信等外，还有以下特点。

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 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，可以在程序中使能，可以设置为三态门。I/O 口有 20 mA 以上的电流驱动能力，可以直接点亮 LED 指示灯。

支持板上的在线编程（In - System Programming, ISP）。支持包括休眠在内的 5 种节电模式，在休眠状态下，最小耗电流可低至 0.5 μA 。

AVR 的单片机产品系列已经有数十种之多。Atmega128 在片内有 128 KB 的 Flash 存储器, 4 KB 的 EEPROM 和 4 KB 的 RAM, 已在数据采集系统、医疗仪器等复杂的单片机系统中得到了很好的应用。

1.2.4 ADI 公司的 ADuC8XX 系列单片机

ADuCXXX 系列是美国 Analog Device (简称 ADI) 公司出品的高性能单片机, 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中, 方便了单片机在数据采集系统中的应用。

ADuC824 是美国 ADI 公司推出的具有 24 位 A-D 的单片机, 是一种具有完整的数据采集系统的芯片。ADuC824 基于 8051 的内核, 指令集与 8051 兼容; 片内有 8 KB flash 程序存储器; 640 B 片内 EEPROM 数据存储器; 256 B 片内数据 RAM; 可扩展 64 KB 程序存储器空间和 16 MB 数据存储器空间。3 个 16 位的定时器/计数器; 26 根可编程 I/O 线; 12 个中断源, 两个优先级。

最吸引人的是 ADuC824 片内集成了两个独立的 $\Sigma - \Delta$ 型 ADC 通道, 主、辅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 D-A 转换器 (DAC)。

ADuC824 可采用 3 V 或 5 V 电压工作; 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 飞思卡尔公司的 HCS12X 系列单片机

飞思卡尔 (Freescale) 公司的 16 位单片机主要分为 HC12、HCS12、HCS12X 三个系列。HC12 核心是 16 位高速 CPU12 核, 总线速度 8 MHz; HCS12 系列单片机以速度更快的 CPU12 内核为核心, 简称 S12 系列, 典型的 S12 总线速度可以达到 25 MHz。HCS12X 是 HCS12 系列增强型产品, 基于 S12 CPU 内核, 总线频率最高可达 40 MHz。S12X 系列单片机目前又有几个子系列: MC9S12XA 系列、MC9S12XB 系列、MC9S12XD 系列、MC9S12XE 系列、MC9S12XF 系列、MC9S12XH 系列和 MC9S12XS 系列。飞思卡尔汽车级的单片机在汽车电子部件中有广泛的应用。

1.2.6 ST 公司的 STM32FXXX 系列单片机

STM32FXXX 系列单片机属于中低端的 32 位 ARM 微控制器。其中, 常用的 STM32F1XX 系列, 如 STM32F103 是基于 ARM 的 Cortex-M3 内核; STM32F4XX 系列, 如 STM32F405 是基于 ARM 的 Cortex-M4 内核。芯片片内程序存储器 Flash 的大小可达 16 ~ 512 KB, 引脚从 32PIN 到 128PIN, 具有丰富的功能模块。由于其价格低廉, 所以已越来越多地进入传统单片机市场, 得到广泛应用。

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。

- 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，更加适合震动、粉尘等恶劣的工作环境。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运行速度。
- 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。
- 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，可以由用户编程确定。
- 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。其主要的差别是在片内配置了一些不同种类或不同数量的功能部件，以适用于不同的被控对象。
- 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

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。

体积小，可靠性高。由单片机组成的应用系统结构简单，其体积特别小，极易对系统进行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。

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，能有针对性解决由简单到复杂的各类控制任务。

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，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，形成新的智能型产品。

1.3.2 单片机的应用领域

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，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领域。

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，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，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，它们通过通信总线相互联系、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，例如，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、保安门禁系统、电视机、机顶盒、音响设备、电子秤、IC卡、手机等。

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，以及计算机外部设备，如打印机、绘图机、传真机、键盘和通信终端等。在这些设备中使用单片机，使其具有计算、存储、显示、输入等功能，具有和计算机连接的接口，使计算机的能力及应用范围大大提高，更好地发挥了计算机的性能。