



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 原理及应用

主编 张岩 张鑫

本书 特色

- 理论、实践同步一体化，实用性与工程性并重
- 仿真辅助实践，虚拟仿真与实践设计相结合
- 由浅入深，突出软、硬件设计的方法和技巧性
- 有完整、独立的实验教学、课程设计题目
- 体系完整，注重新技术的引入



免费电子课件

www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育电气电子类工程应用型“十二五”规划教材

单片机原理及应用

主 编 张 岩 张 鑫
副主编 徐 伟 赵乃卓 刘尹霞 张 猛
参 编 张成联 蔡田芳 杨中国
刘建飞 邵淑华



机械工业出版社

全书分9章,系统地介绍了 MCS-51 单片机的结构与原理,指令系统与汇编语言程序设计、C51 程序设计、Proteus 仿真软件及与 Keil 集成开发环境联合调试, MCS-51 单片机的内部资源及应用、系统扩展技术、输入/输出通道接口、交互通道配置与接口和应用系统设计。本书程序设计以汇编为主、C51 并行的模式,通过硬、软件协同工作实现了单片机系统的功能。本书精选教学内容,合理安排教学顺序,精心提炼教学提示,丰富拓展阅读,并配套了相应实验与实训。本书提供的实例兼顾了教学与实际应用,实例稍加修改可直接应用于实际开发中,为实际应用提供了基本开发范例。本书遵循“理论—实践—再理论—再实践”的认知规律,使学生能边学习边实践,将书本知识有效地转换为动手能力,更全面地掌握单片机系统的开发技术。全书具有较强的系统性、先进性和实用性。

本书可作为高等院校自动化、电气工程及其自动化、电子信息工程、通信工程、计算机以及机电类等专业的教材或教学参考书,也可供相关领域工程技术人员参考。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作教材的老师发邮件到 jinacmp@163.com 索取,或登录 www.cmpedu.com 注册下载。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用/张岩,张鑫主编. —北京:机械工业出版社,2015.6
普通高等教育电气电子类工程应用型“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-50104-6

I. ①单… II. ①张… ②张… 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 087892 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 刘丽敏

版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2015 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18.75 印张·508 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-50104-6

定价:39.80 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

单片机原理及应用是理工科类重要的课程之一,也是一门实践性非常强的课程。为满足社会对电气自动化、计算机、电子技术、机械自动化等各类应用型人才的需要,很多高校都设置了单片机及相关课程。为提高学生的动手能力、创新能力,真正使这门技术能让学生感兴趣、掌握好,又能应用到工程实践中去,我们对该课程在教学模式、教学内容、教学方法、教学手段及考核方式上进行了改革。目前,许多学校成立了卓越工程师班、CDIO班、创新实验班,并实行定制式培养等,更加注重教学的过程和质量。

为了更好地发挥教材改革在应用型人才培养中的重要作用,本教材的编写立足于工程实践能力的培养,在详尽介绍了单片机系统结构、原理及常用应用设计的基础上,着重于实际应用系统的开发能力培养,让学生在有限的时间内掌握单片机原理及应用技术。

本书具有以下特色:

一、在编写思想上,以培养应用技术人员为目标,鼓励教学创新,强化启发式教学,提高课程兴趣度、学业挑战度和师生互动性,结合同步教学系统,将“学中做”“做中学”的工程教学理念引入课堂,体现了理论与实践内容的同步和“一体化教学”的课程模式,加强了学生实践动手能力和工程应用能力。

二、程序设计以汇编为主、C51并行的模式,通过硬、软件协同工作实现了单片机系统的功能,并配套了相应实验与实训。本书提供的实例兼顾了教学与实际应用,实例稍加修改可直接应用于实际开发中,为实际应用提供了基本开发的范例。本书遵循“理论—实践—再理论—再实践”的认知规律,使学生能边学边实践,将知识有效地转换为动手能力,更全面地掌握单片机系统的开发技术。

三、结合理论教学与实践教学一体化的教学模式,针对单片机、微机接口集成化、模块、结构、应用,在讲解基本结构及原理的基础上,以案例教学为主,注重应用;增加设计及开发的实训课程内容,硬、软件仿真技术等,体现了教材的知识丰富、结构科学合理、注重实践应用的特点。

在单片机教学过程中要推进课程改革,加强教材建设、注重教学内容、方法、手段的变革,改变以教师为主导的教学模式,尊重教育规律,坚持以能力为重,倡导边学边做,注重学思结合。针对单片机原理及应用课程实践性较强的特点,本书体现了“教”“学”与“做”结合的模式,在注重理论知识同时,增加了学生动手实践的内容,学生在课堂学习过程中边学边练,实现教、学、做一体化的教学模式,打破了以往单纯课堂理论为主的授课形式,实现单片机同步互动教学。

本书以MCS-51单片机为主,第1章介绍单片机基础,第2章介绍单片机的结构与原理,第3章介绍指令系统与汇编语言程序设计,第4章介绍C51程序设计及Proteus仿真,第5章介绍单片机的内部资源及应用,第6~8章介绍单片机的外围接口技术,第9章介绍单片机应用系统设计。书中包含比较先进和实用的单片机外围接口技术及应用系

统设计实例，内容全面。全书章节结构合理，通用性、系统性、工程性和实用性较好。

全书共分9章。第1章、第2章和第9章由张岩、张猛编写，第3章由张鑫编写，第4章由徐伟编写，第5章由赵乃卓编写，第6章由刘尹霞编写，第7章由张成联、蔡田芳编写，第8章由杨中国、刘建飞编写，各章习题和附录由邵淑华编写。全书由张岩、张鑫统稿。

本书免费提供电子课件，题库、习题参考答案，及软、硬件在内的教学资源包，由淄博耐思电子科技有限公司提供，若需要可以与机械工业出版社联系，或登录 www.cmpedu.com 注册下载。

IV

本书在编写的过程中得到了学校的领导和同行们的支持与帮助；得到了淄博耐思电子科技有限公司的支持与帮助；在校对过程中，吉玲编辑对本书提出了许多宝贵意见，对于上述同志以及参与本书出版的工作人员，在此表示诚挚的谢意！另外，向所有参考文献的作者致谢。

由于水平有限，加之时间仓促，书中可能会存在某些错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

作者

目 录

前言	
第1章 单片机概述	1
引言	1
1.1 单片机的概念	2
1.1.1 单片机的基本概念	2
1.1.2 单片机的主要特点	2
1.1.3 单片机的发展过程	2
1.2 单片机的选择及应用领域	4
1.2.1 单片机的选择	4
1.2.2 单片机的应用领域	5
1.2.3 单片机的发展趋势	5
1.3 典型单片机性能概览	6
1.4 MCS-51 单片机的学习	11
习题1	12
第2章 MCS-51 单片机的结构与原理	13
引言	13
2.1 MCS-51 单片机硬件结构及引脚	14
2.1.1 MCS-51 单片机内部结构	14
2.1.2 MCS-51 单片机外部引脚	17
2.2 MCS-51 单片机的存储器	19
2.2.1 存储器的基本结构	19
2.2.2 程序存储器 ROM	20
2.2.3 数据存储器 RAM	20
2.2.4 特殊功能寄存器 SFR	21
2.3 MCS-51 单片机的系统时钟及时序	25
2.3.1 时钟电路	25
2.3.2 MCS-51 的时序单位	26
2.3.3 典型时序分析	27
2.4 MCS-51 单片机的工作方式	29
2.4.1 复位方式	29
2.4.2 程序执行方式	30
2.4.3 节电工作方式	31
2.4.4 编程和校验方式	32
2.5 MCS-51 单片机最小系统	32
2.6 实验与实训	33
2.6.1 单片机最小系统硬件电路	33
2.6.2 复位、晶振、ALE 信号的观察	33
习题2	34
第3章 MCS-51 单片机汇编语言与程序设计	36
引言	36
3.1 概述	37
3.1.1 汇编语言程序的组成	37
3.1.2 汇编语言指令格式与伪指令	37
3.1.3 指令的分类	41
3.2 MCS-51 单片机的寻址方式	42
3.2.1 立即寻址	42
3.2.2 直接寻址	42
3.2.3 寄存器寻址	43
3.2.4 寄存器间接寻址	44
3.2.5 变址寻址	45
3.2.6 相对寻址	46
3.2.7 位寻址	46
3.3 MCS-51 单片机的指令系统	47
3.3.1 数据传送指令 (Data Transfer)	47
3.3.2 算术运算指令 (Arithmetic Operations)	54
3.3.3 逻辑运算及移位指令 (Logical Operations and Rotate)	59
3.3.4 控制转移指令 (Program Branching)	63
3.3.5 位操作指令 (Boolean Variable Manipulation)	69
3.4 汇编语言程序设计基础	72
3.4.1 汇编语言程序设计的步骤	73
3.4.2 汇编语言的汇编与 HEX 文件	74
3.4.3 汇编语言的开发系统及调试	75
3.5 汇编语言程序设计方法	77
3.5.1 顺序程序设计	78
3.5.2 分支程序设计	78
3.5.3 循环程序设计	81
3.5.4 查表程序设计	84
3.5.5 子程序设计	87

3.6 实验与实训	90	5.2.4 MCS-51 扩展外部中断请求输 入口	142
3.6.1 Keil μ Vision4 集成开发环境和 程序调试	90	5.3 MCS-51 单片机的定时器/计数器	143
3.6.2 冒泡法数据排序	93	5.3.1 定时器/计数器	143
习题3	95	5.3.2 定时器/计数器的工作方式	145
第4章 C51 程序设计及 Proteus		5.3.3 定时器/计数器的应用	146
仿真	98	5.4 MCS-51 单片机的串行通信	150
引言	98	5.4.1 概述	150
4.1 编程语言种类及其特点	99	5.4.2 MCS-51 的串行口	152
4.1.1 汇编语言的特点	99	5.4.3 串行口的工作方式	153
4.1.2 C 语言的特点	99	5.4.4 串行口的通信波特率	155
4.1.3 C51 语言的特点	99	5.4.5 串行口的应用	156
4.2 C51 简介及特征	100	5.5 实验与实训	161
4.2.1 C51 扩展	100	5.5.1 继电器控制	161
4.2.2 数据类型	101	5.5.2 工业顺序控制	161
4.2.3 存储类型	103	习题5	163
4.2.4 指针	105	第6章 MCS-51 单片机系统的扩展	
4.2.5 函数	106	技术	166
4.3 单片机的 C51 编程	108	引言	166
4.3.1 输入/输出	108	6.1 MCS-51 单片机系统扩展概述	167
4.3.2 外部中断	109	6.1.1 MCS-51 系列单片机的外部扩展 原理	167
4.3.3 定时器/计数器	109	6.1.2 MCS-51 单片机系统地址空间的 分配	168
4.3.4 串行通信	110	6.2 存储器的扩展	169
4.4 Proteus 软件仿真	111	6.2.1 程序存储器扩展	170
4.4.1 Proteus 软件介绍	111	6.2.2 数据存储器扩展	173
4.4.2 基于 Proteus 的电路仿真	112	6.2.3 MCS-51 对外部存储器的扩展	175
4.4.3 Keil 与 Proteus 联合调试	118	6.3 并行 I/O 接口的扩展	176
4.5 实验与实训	120	6.3.1 概述	176
4.5.1 Proteus 绘制单片机最小系统	120	6.3.2 普通并行 I/O 接口扩展	177
4.5.2 交通灯控制	120	6.3.3 可编程并行 I/O 接口芯片扩展	180
习题4	122	6.4 总线接口扩展	188
第5章 MCS-51 单片机的内部资源及		6.4.1 EIA RS-232C 总线标准与接口 电路	188
应用	124	6.4.2 RS-422/RS-485 总线标准与接口 电路	191
引言	124	6.4.3 I ² C 总线标准与接口电路	193
5.1 MCS-51 单片机的并行 I/O 接口	125	6.4.4 其他常用总线标准	197
5.1.1 MCS-51 内部并行 I/O 接口	125	6.5 实验与实训	199
5.1.2 MCS-51 内部并行 I/O 接口的 应用	127	6.5.1 数据存储器扩展	199
5.2 MCS-51 单片机的中断系统	132	6.5.2 步进电动机控制	200
5.2.1 中断的基本概念	132		
5.2.2 MCS-51 的中断系统	134		
5.2.3 MCS-51 中断系统的编程	140		

习题6	201	8.4 MCS-51 单片机与微型打印机的接口 技术	246
第7章 MCS-51 单片机的输入/输出 通道接口	202	8.4.1 微型打印机的特点	246
引言	202	8.4.2 接口技术	246
7.1 输入/输出通道概述	203	8.4.3 字符代码及打印命令	248
7.2 D/A 转换器及接口技术	206	8.4.4 打印程序实例	249
7.2.1 D/A 转换器的性能指标	206	8.5 实验与实训	250
7.2.2 D/A 转换器的分类	207	8.5.1 可调数字电子钟	250
7.2.3 DAC0832 转换器的接口	207	8.5.2 汉字打印实例	255
7.3 A/D 转换器及接口技术	212	习题8	256
7.3.1 A/D 转换器的性能指标	212	第9章 MCS-51 单片机应用系统设计 与实例	258
7.3.2 A/D 转换器的分类	213	引言	258
7.3.3 ADC0809 转换器的接口	213	9.1 单片机应用系统设计过程	259
7.4 实验与实训	216	9.1.1 总体设计	259
7.4.1 直流电动机调速	216	9.1.2 硬件设计	261
7.4.2 数据采集系统	217	9.1.3 软件设计	262
习题7	219	9.1.4 单片机应用系统的调试与测试	264
第8章 MCS-51 单片机的交互通道 配置与接口	221	9.2 提高系统可靠性的一般方法	265
引言	222	9.2.1 电源干扰及其抑制	265
8.1 MCS-51 单片机与键盘的接口技术	222	9.2.2 地线干扰及其抑制	266
8.1.1 概述	222	9.2.3 其他提高系统可靠性的方法	268
8.1.2 使用键盘时必须解决的问题	222	9.3 应用实例——单片机温度控制系统	269
8.1.3 键盘接口	223	9.3.1 方案论证	269
8.2 MCS-51 单片机与显示器的接口 技术	232	9.3.2 总体设计	270
8.2.1 LED 显示器及其接口	232	9.3.3 硬件设计	270
8.2.2 LCD 显示器及其接口	239	9.3.4 软件设计	273
8.3 MCS-51 单片机键盘和显示器接口设计 实例	241	9.3.5 综合调试	283
8.3.1 利用 8255 芯片实现键盘和显示器 接口	241	习题9	283
8.3.2 利用 MCS-51 的串行口实现键盘和 显示器接口	243	附录	284
8.3.3 利用专用芯片实现键盘和显示器 接口	245	附录 A ASCII 码字符表	284
		附录 B MCS-51 单片机指令表	285
		附录 C Proteus 库元器件分类及部分 元器件	289
		参考文献	290

第1章 单片机概述

》》内容提示

单片机是将微处理器（CPU）、只读存储器（ROM）、随机存取存储器（RAM）、定时器/计数器、中断系统、输入/输出接口（I/O 接口）、总线和其他多种功能器件集成在一块芯片上的微型计算机。它具有集成度高、体积小、控制功能强、低电压、低功耗、稳定可靠、使用灵活、便于扩展、性价比高、易于产品化等独特优点，在家用电器、智能化仪器、数控机床、数据处理、自动检测、通信、智能机器人、工业控制、汽车电子及航空航天等领域发挥着十分重要的作用。

》》学习目标

- ◇ 掌握单片机的概念和特点；
- ◇ 了解发展过程、发展趋势、应用领域；
- ◇ 了解单片机的选型和典型单片机性能概况。

》》知识结构

本章知识结构如图 1.1 所示。

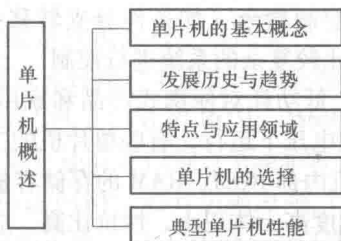


图 1.1 本章知识结构

引言

1946 年 2 月 14 日，在美国宾夕法尼亚（Pennsylvania）大学的一间大厅里，由美国陆军的一位将军按下一个按钮，一件对现代世界有巨大影响的事件发生了，世界上第一台电子数字计算机（取名为 ENIAC）启动了。由于 ENIAC 是按照美籍匈牙利科学家冯·诺依曼（Von Neumann）提出的“以二进制存储信息”、“以存储程序”为基础的结构思想进行设计、制造和工作的，所以人们又称其为冯·诺依曼计算机。

近 70 年来，计算机已由传统的科学计算发展到用于信息处理、实时控制、辅助设计、智能模拟及现代通信网络等领域。计算机技术的迅速发展对人类社会的进步产生了巨大的推动作用，尤其是微型计算机的出现及其在国民经济和人民生活的各个领域不断深入的广泛应用，正在改变着人们传统的生活和工作方式，人类已进入以计算机为主要工具的信息时代。

计算机的出现将人类推进了信息社会，微型计算机是大规模集成电路技术发展的结果，它的出现给人类社会的发展带来了根本性的飞跃。作为微型计算机发展的一个重要分支，单片机

以其独特的结构和性能使计算机从海量数值计算进入了智能控制领域，并形成了通用计算机和嵌入式系统两个发展方向。

1.1 单片机的概念

1.1.1 单片机的基本概念

单片微型计算机 (Single-Chip Microcomputer) 简称单片机，就是将微处理器 (Central Processing Unit, CPU)、只读存储器 (Read Only Memory, ROM) 和随机存取存储器 (Random Access Memory, RAM)、定时器/计数器、中断系统、输入/输出接口 (I/O 接口)、总线和其他多种功能器件集成在一块芯片上的微型计算机。由于单片机的重要应用领域为智能化电子产品，一般需要嵌入仪器设备内，故又称为嵌入式微控制器 (Embedded Microcontroller)。

1.1.2 单片机的主要特点

单片机的主要特点如下：

① 可靠性高。单片机芯片是按工业测控环境要求设计的，所以其抗干扰的能力优于个人计算机 (Personal Computer, PC)。单片机的系统软件 (如程序、常数、表格) 均固化在 ROM 中，不易受病毒破坏。许多信号的通道均集成在一个芯片内，所以运行时系统稳定可靠。

② 便于扩展。单片机片内具有计算机正常运行所必需的部件，片外有很多供扩展用的引脚 (总线、并行 I/O 接口和串行 I/O 接口)，很容易构成各种规模的计算机应用系统。

③ 控制功能强。具有丰富的控制指令 (如条件分支转移指令、I/O 接口的逻辑操作指令、位处理指令等)，可以对逻辑功能比较复杂的系统进行控制。

④ 低电压、低功耗。低电压、低功耗对便携式产品和家用消费类产品是非常重要的。许多单片机可在 5V 或 3V，甚至更低的电压下运行，有些单片机的工作电流已降至微安级。

⑤ 片内存储容量较小。单片机内部 ROM、RAM 的存储容量较小，但可以外部扩展。

除此之外，单片机还具有集成度高、体积小、性价比高、应用广泛、易于产品化等特点。

单片机的出现是近代计算机技术发展史上的一个重要里程碑，单片机的诞生标志着计算机正式形成了通用计算机系统和嵌入式计算机系统两大分支。通用计算机的主要特点是，大存储容量，高速数值计算，不必兼顾控制功能，不断完善操作系统，它在数据处理、模拟仿真、人工智能、图像处理、多媒体、网络通信中得到广泛应用。但是，通用计算机的体积大、成本高，无法嵌入到很多产品中，而单片机则因嵌入式应用而生。单片机具有体积小、成本低等特点，广泛应用于机器人、仪器仪表、汽车电子系统、工业控制单元、玩具、家用电器、办公自动化设备、金融电子系统、舰船、个人信息终端及通信产品中。单片机以面向对象的实时监测和控制为己任，不断增强控制能力，降低成本，减小体积，改善开发环境，迅速而广泛地取代了经典电子系统。既有几元钱一片的一般功能的单片机，又有上百元一片的多功能 (A/D 转换器、D/A 转换器、通信接口、多个计数器、多种接口标准等) 的单片机。

1.1.3 单片机的发展过程

1974 年，美国仙童 (Fairchild) 公司研制了世界上第一台单片机 F8。该机由两块集成电路芯片组成，结构奇特，具有与众不同的指令系统，深受家用电器与仪器仪表领域的欢迎和重视。从此，单片机开始迅速发展，应用领域也在不断扩大，现已成为微型计算机的重要分支。单片机

的发展通常可以分为以下四个阶段:

(1) 第一阶段 (1974 ~ 1976 年)

在这个时期生产的单片机,制造工艺落后,集成度低,而且采用了双片形式。典型的代表产品有 Fairchild 公司的 F8 系列。其特点是,片内只包括 8 位 (bit) CPU, 64B (字节) 的 RAM 和两个并行口,需要外加一块 3851 芯片 (内部具有 1KB 的 ROM、定时器/计数器和两个并行口) 才能组成一台完整的单片机。

(2) 第二阶段 (1977 ~ 1978 年)

这个时期生产的单片机虽然已能在单片芯片内集成 CPU、并行口、定时器/计数器、RAM 和 ROM 等功能部件,但性能低,品种少,应用范围也不是很广。典型的产品有 Intel 公司的 MCS-48 系列。其特点是,片内集成有 8 位的 CPU, 1KB 或 2KB 的 ROM, 64B 或 128B 的 RAM, 只有并行接口,无串行接口,有一个 8 位的定时器/计数器,两个中断源。片外寻址范围为 4KB,芯片引脚为 40 个。

(3) 第三阶段 (1979 ~ 1982 年)

这是 8 位单片机成熟的阶段。这一代单片机和前两代相比,不仅存储容量和寻址范围增大,而且中断源、并行 I/O 接口和定时器/计数器的个数都有了不同程度的增加,并且集成有全双工串行通信接口。在指令系统方面,普遍增设了乘除法、位操作和比较指令。这一时期生产的单片机品种齐全,可以满足各种不同领域的需要。其特点是,片内包括了 8 位的 CPU, 4KB 或 8KB 的 ROM, 128B 或 256B 的 RAM, 具有串/并行接口, 2 个或 3 个 16 位的定时器/计数器, 还有 5 ~ 7 个中断源。片外寻址范围可达 64KB, 芯片引脚为 40 个。代表产品有 Intel 公司的 MCS-51 系列, Motorola 公司的 MC6805 系列, TI 公司的 TMS7000 系列, Zilog 公司的 Z8 系列等。

(4) 第四阶段 (1983 年至今)

这是 16 位单片机和 8 位高性能单片机并行发展的时代。16 位单片机的工艺先进,集成度高,内部功能强,运算速度快,而且允许用户采用面向工业控制的专用语言,如 PL/M 和 C 语言等。其特点是,片内包括了 16 位的 CPU, 8KB 的 ROM, 256B 的 RAM, 具有串/并行接口, 4 个 16 位的定时器/计数器, 8 个中断源, 还有看门狗 (Watchdog), 总线控制部件, 还增加了 D/A 和 A/D 转换电路, 片外寻址范围可达 64KB, 芯片引脚为 48 个或 68 个。代表产品有 Intel 公司的 MCS-96 系列, Motorola 公司的 MC68HC16 系列, TI 公司的 TMS9900 系列, NEC 公司的 783 × × 系列和 NS 公司的 HPC16040 等。

近年来出现的 32 位单片机,具有较高的运算速度。代表产品有 Motorola 公司的 M68300 系列和 Hitachi (日立) 公司的 SH 系列等。

 **延伸阅读:** 飞思卡尔半导体 (Freescale Semiconductor, 原摩托罗拉半导体部。2004 年, 摩托罗拉半导体部独立成为飞思卡尔半导体) 是全球最大的半导体公司之一, 2006 年的总销售额达 64 亿美元。飞思卡尔半导体是全球领先的半导体公司, 为汽车、消费、工业、网络和无线市场设计并制造嵌入式半导体产品。这家私营企业总部位于德州奥斯汀, 在全球 30 多个国家和地区拥有设计、研发、制造和销售机构。飞思卡尔半导体专注于嵌入式处理解决方案, 从微处理器和微控制器到传感器、模拟集成电路和连接, 不断开拓汽车、消费电子、工业和网络市场。

单片机的发展从嵌入式系统的角度可分为 SCM、MCU 和 SOC 三大阶段。

SCM 即单片微型计算机 (Single-Chip Microcomputer) 阶段, 主要是寻求最佳的单片形态、嵌入式系统的最佳体系结构。在 SCM 开创嵌入式系统独立发展道路上, Intel 公司功不可没。

MCU 即微控制器 (Micro Controller Unit) 阶段, 主要的技术发展方向是不断扩展满足嵌入式

应用和设计系统要求的各种外围电路与接口电路,突显其对象的智能化控制能力。在发展 MCU 方面,Philips 公司将 MCS-51 系列迅速推进到 80C51 的 MCU 时代,形成了可满足各种嵌入式系统应用要求的单片机系列产品;Atmel 公司以其先进的 Flash ROM (闪存) 技术推出 AT89C × × 系列,形成了引领单片机的 Flash ROM 潮流。

SOC 即片上系统 (System On Chip) 阶段,主要寻求应用系统在芯片上的最大化解决。因此,单片机的发展自然形成了 SOC 化趋势。随着微电子技术、集成电路 (Integrated Circuit, IC) 设计、电子设计自动化 (Electronic Design Automatic, EDA) 工具的发展,基于 SOC 的单片机应用系统设计会有较大的发展。Silabs 公司推出的 C8051F 系列,将 80C51 系列从 MCU 推向了 SOC 时代。



延伸阅读: SOC 的定义多种多样,由于其内涵丰富、应用范围广,很难给出准确定义。一般说来, SOC 称为片上系统,有的也称为系统级芯片,意指它是一个产品,是一个专用的集成电路。它包含完整硬件系统及嵌入软件的全部内容。同时, SOC 又是一种技术,用以实现从确定系统功能开始,到软件和硬件的划分,并完成设计的整个过程。从狭义角度讲,它是信息系统核心的芯片集成,将系统关键部件集成在一块芯片上;从广义角度讲, SOC 是一个微小型系统。

1.2 单片机的选择及应用领域

1.2.1 单片机的选择

当今单片机琳琅满目,产品性能各异。选择单片机需要考虑指令结构、程序存储方式和特殊功能的单片机三个方面。

1. 指令结构

按指令结构可将单片机分为复杂指令集 (Complex Instruction Set Computing, CISC) 结构和精简指令集 (Reduced Instruction Set Computing, RISC) 结构两种。

CISC 的 CPU 内部将较复杂的指令译码,分成几个微指令去执行,因此指令较多,开发程序比较容易。其特点是指令丰富,功能较强,但取指令和取数据不能同时进行,指令复杂,执行工作效率较差,处理数据速度较慢,价格也高。属于 CISC 结构的单片机有 Intel 的 8051 系列, Motorola 的 M68HC 系列, Atmel 的 AT89 系列, Philips (飞利浦) 的 80C51 系列等。

RISC 的 CPU 的指令位数较短,内部具有快速处理指令的电路,指令的译码与数据的处理较快,执行效率比 CISC 高,但必须经过编译程序的处理,才能发挥它的效率。其特点是,取指令和取数据可以同时进行,执行效率较高,速度较快。同时,这种单片机指令多为单字节,程序存储器的空间利用率大大提高,有利于实现超小型化。属于 RISC 结构的有美国 Microchip 公司的 PIC 系列, Zilog 公司的 Z86 系列, Atmel 公司的 AT90S 系列等。

2. 程序存储方式

根据程序存储方式单片机可分为 ROMless (片内无 ROM, 需要片外扩展 EPROM)、EPROM、OTPROM、Flash ROM 和 Mask ROM 五种,可根据系统设计功能要求进行选择。

3. 特殊功能的单片机

为了构成控制网络或形成局部网,有的单片机内部含有局部网络控制模块 CAN。为了能在变频控制中方便使用单片机,形成最具经济效益的嵌入式控制系统,有些单片机内部设置了专门用于变频控制的脉宽调制 (Pulse Width Modulation, PWM) 控制电路。

目前,新的单片机的功耗越来越小,很多单片机都设置了多种工作方式,这些工作方式包括暂停、睡眠、空闲、节电等。有的单片机已采用三核(TnCore)结构,是一种建立在SOC级芯片概念上的结构。这种单片机由三个核组成即MCU和数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)核、数据和程序存储器核以及外围专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC),其最大特点在于把DSP和MCU同时制作在一个片上。其中,DSP的作用主要是在高速计算和特殊处理(如快速傅里叶变换)等方面。

扩大电源电压范围,并在较低电压下仍能工作,这也是单片机发展的目标之一。

1.2.2 单片机的应用领域

单片机的应用可分为单机应用和多机应用两类。

1. 单机应用

① 民用电子产品。单片机在民用电子产品中的应用明显地提高了产品的性能价格比,提高了产品在市场上的竞争力,同时受到产品开发商和用户的双重青睐。目前,家用电器、手机、高档电子玩具等几乎都是采用单片机作控制器的。

② 计算机系统。计算机系统中有很大一部分采用单片机作控制器,如键盘管理、打印机、显示器、绘图机、硬盘驱动器和网络通信设备等。

③ 智能仪表。仪表的数字化、智能化、多功能化、综合化的发展,可通过单片机的改造来实现,以单片机为中心进行设计,从而使智能仪表集测量、处理、控制功能为一体。

④ 工业测控。单片机对工业设备,如机床、汽车、锅炉、供水系统、自动报警系统、卫星信号接收系统等进行智能测控,大大降低了劳动强度和生产成本,提高了产品质量的稳定性,增强了产品的功能,并提高了智能化程度。

⑤ 网络与通信的智能接口。在大型计算机控制的网络或通信电路与外围设备的接口电路中,用单片机来控制或管理,可大大提高系统的运行速度和接口的管理水平。

⑥ 军工领域。单片机的高可靠性、宽适用温度范围、能适应各种恶劣环境的特点,使得单片机被广泛应用于导弹控制、鱼雷制导控制、智能武器装备、航天飞机导航等军工领域。

⑦ 办公自动化。单片机在办公自动化方面也有广泛的应用。

2. 多机应用

① 功能集散系统。应用于工程中因多种外围功能要求而设置的多机系统。

② 并行多机处理系统。主要用于解决工程应用系统的快速性问题,以便构成大型实时工程应用系统,如快速并行数据采集系统、快速并行数据处理系统、实时图像处理系统等。

③ 局域网络系统。单片机网络主要应用于分布式测控系统、通信系统等领域,如楼宇自动化中的自动抄表系统。

1.2.3 单片机的发展趋势

目前,单片机的主流仍然是8位高性能单片机。单片机的发展是为了满足不断增长的自动检测与控制在传感器接口、各种工业对象的电气接口、功率驱动接口、人机接口、通信网络接口等方面的要求,具体体现在高速的I/O能力,较强的中断处理能力,较高的A/D转换、D/A转换性能,以及较强的位操作能力、功率驱动能力、程序运行监控能力、信号实时处理能力等方面。总之,单片机正在向高性能、多内部资源、多功能化引脚、高可靠性、低电压、低功耗、低噪声、低成本的方向发展。

单片机是现代计算机、电子技术的新兴领域,无论是单片机本身,还是单片机应用系统的设

计方法,都会随时代不断发生变化。单片机相关的技术发展趋势如下:

① 全盘 CMOS 化。互补金属氧化物半导体 (Complementary Metal Oxide Semiconductor, CMOS) 电路具有较宽的工作电压范围、较低的功耗等优点,已成为目前单片机及其外围器件流行的半导体工艺。

② 更小的光刻工艺提高了集成度,从而使芯片更小、成本更低、工作电压更低、功耗更低,特别是很多单片机都设置了多种工作方式,这些工作方式包括等待、暂停、睡眠、空闲、节电等。同时,还越来越多地采用了低频时钟和模拟电路结合的方式。

③ CPU 的改进。采用双 CPU 结构,增加数据总线的宽度,提高数据处理的速度和能力;采用流水线结构,提高处理和运算速度,以适应实时控制和处理的需要。

④ 增大了存储容量,增强了片内紫外线可擦除 ROM (Erasable Programmable ROM, EPROM) 的电可擦除 ROM (Electric Erasable Programmable ROM, E²PRO) 化和程序保密化。基于 Flash ROM 的单片机与基于 ROM 的单片机在成本上的差距在迅速缩小。单片机片内程序存储器技术最广泛的应用状态是一次编程 ROM (One Time Programmable ROM, OTPROM)、Flash ROM 和 Mask ROM (掩膜 ROM)。

⑤ 提高并行接口的驱动能力,以减少外围驱动芯片,增加外围 I/O 接口的逻辑功能和控制的灵活性。

⑥ 以串行方式为主的外围扩展。串行扩展具有方便、灵活,电路系统简单,占有 I/O 资源少等特点。目前,单片机的外围器件普遍提供了串行扩展方式。

⑦ 外围电路的内装化。由于集成电路工艺的不断改进和提高,越来越多的复杂外围电路集成到单片机中,如定时器/计数器、比较器、放大器、A/D 转换器、D/A 转换器、串行通信接口、看门狗 (Watchdog) 电路、液晶显示器 (Liquid Crystal Display, LCD) 控制器等。把需要的外围电路全部集成到单片机内,即系统的单片化是目前单片机发展的趋势。

⑧ 和互联网连接已是一种明显的走向。

⑨ 可靠性及应用水平越来越高。近年来,各生产厂商为了提高单片机的可靠性而采用了电快速瞬变模式 (Electrical Fast Transients, EFT) 技术、低噪声布线技术及驱动技术、跳变沿软化技术、低频时钟等。

⑩ 8 位机的主流地位。这是由面向大多数嵌入式应用对象的有限响应时间要求所决定的。从 8 位机诞生至今,乃至今后相当长的一段时间内,在单片机应用领域中,8 位机的主导地位不会改变。

随着半导体工艺技术的发展及系统设计水平的提高,单片机还会不断产生新的变化和进步。单片机与微机系统之间的差距越来越小,甚至难以辨认。设计的发展趋势是采用标准单片机,利用软件控制系统工作。闪存存储器支持通过现场软件升级来重新定义工作方式和增加功能特性。随着系统复杂性的增加,单片机的应用也会快速增多,因为定义与开发复杂软件要比定义与开发复杂硬件简单得多。目前,许多采用小型可编程逻辑器件的设计也可以利用嵌入式系统进行重新设计。

1.3 典型单片机性能概览

1. MCS-51 单片机

MCS-51 单片机是美国 Intel 公司于 1980 年推出的产品,指令数为 111 条。MCS-51 单片机是世界上用量最大的单片机之一。目前,由于 Intel 公司在计算机方面把重点放在奔腾等与 PC 兼容

的高档芯片的开发上,因此,MCS-51 单片机主要由 Philips、三星、华邦等公司生产。这些公司都在保持与 MCS-51 单片机兼容的基础上改善了 MCS-51 的许多特性,提高了速度,降低了时钟频率,放宽了电源电压的动态范围,降低了产品价格。MCS-51 系列或其兼容的单片机目前仍是应用的主流产品之一。MCS-51 系列单片机主要包括 8031、8051、8751、89C51 和 89S51 等通用产品。MCS-51 系列单片机的性能见表 1.1。

表 1.1 MCS-51 系列单片机的性能

系 列	典型芯片	I/O 接口	定时器/计数器	中 断 源	串行通信口	片内 RAM	片内 ROM
51 系列	80C31	4×8 位	2×16 位	5	1	128B	无
	80C51	4×8 位	2×16 位	5	1	128B	4KB 掩膜 ROM
	87C51	4×8 位	2×16 位	5	1	128B	4KB EPROM
	89C51	4×8 位	2×16 位	5	1	128B	4KB E ² PROM
52 系列	80C32	4×8 位	3×16 位	6	1	256B	无
	80C52	4×8 位	3×16 位	6	1	256B	8KB 掩膜 ROM
	87C52	4×8 位	3×16 位	6	1	256B	8KB EPROM
	89C52	4×8 位	3×16 位	6	1	256B	8KB E ² PROM

 **特别提示:** 8031 没有片内 ROM, 因此使用时必须扩展片外 ROM。8751 片内有 4KB 的 ERPOM (紫外线擦除可编程 ROM), 在对其烧写程序时, 需要将芯片从系统拆除下来。然后放入紫外线擦除器中擦除 ROM 中的信息, 再使用编程器重新写入程序。

2. Motorola 单片机

Motorola 公司是目前世界上较大的单片机生产厂商之一。自 1974 年 Motorola 推出第一种 M6800 单片机之后, 相继推出了 M6801、M6804、M6805、M68HC05、M68HC08、M68HC11、M68HC16、M68300、M68360 等系列单片机。

Motorola 单片机品种全、选择余地大、新产品多, 有 8 位、16 位、32 位系列单片机。其主要产品有 8 位机 68HC05 和升级产品 68HC08, 其中 68HC05 有 30 多个系列, 200 多个品种, 产量已超过 20 亿片; 8 位增强型单片机 68HC11 和升级产品 68HC12, 其中 68HC11 有 30 多个品种, 年产量在 1 亿片以上; 16 位机 68HC16 有十几个品种; 32 位单片机的 68300 系列也有几十个品种, 其主要特点是, 在同样速度下所用的时钟频率较 Intel 单片机的时钟频率低很多, 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。Motorola 8 位单片机过去的程序存储策略是以掩膜为主的, 最近推出 OTP 计划以适应单片机发展新趋势, 其 32 位机在性能和功耗方面都胜过 ARM (Advanced RISC Machines) 公司的 ARM7。

Motorola 单片机内部包含: CPU, 振荡器, 实时时钟, 中断, ROM/RAM/EPROM/E²PROM/OTPROM/Flash ROM 存储器, 并行 I/O 接口, 串行通信接口 (Serial Communication Interface, SCI), 串行外设接口 (Serial Peripheral Interface, SPI), 定时器/计数器, 多功能定时器 (含多个输入捕捉和多个输出比较端), PWM, Watchdog, D/A 转换器、A/D 转换器, LED (Light Emitting Diode)、LCD、屏幕 (On-Screen Display, OSD)、荧光 (Vacuum Fluorescent Display, VFD) 等显示驱动器, 键盘中断 (Keyboard Interrupt module, KBI), 双音多频 (Dual Tone Multi Frequency, DTMF) 接收/发生器, 保密通信控制器, 锁相环 (Phase Locked Loop, PLL), 调制解调器, 直接存储器访问 (Direct Memory Access, DMA) 等。Motorola 系列单片机的性能见表 1.2。

表 1.2 Motorola 系列单片机的性能

型 号	RAM/B	ROM/B	串行口	定时器	总线速度/MHz	A/D 转换器	电源电压/V	PWM	I/O 接口
68HC05B6	176	6144 Mask	SCI	4	1/2.1	8	5/3.3	2	32
68HC705B16	528	32 768 Mask			4/2.1				
68HC05C8A	176	7744 Mask	SCI/SPI	2	1/2.1	—	5/3.3	—	31
68HC705C8A	304	8 092 OTP							
68HC05C9A	352	15 936 Mask							
68HC705F32	920	32 256 OTP		8	1.8	8	5/2.7	3	69/80
68HC11D3	192	4096 OTP	SCI/SPI	8	3/2		5	—	16
68HC11EA9	512	12 288 OTP	SCI/SPI	8	2/1	8	5	—	34
68HC711E20	768	20 480 Flash			4/3/2/1				38
68HC11F1	1024	512 E ² PROM	SCI/SPI		5/4/3/2				30
68HC16Y1	2048	—	SCI/SPI	1	16	8	5	WDT	24
68HC16Z3	4096	8192 Mask	SCI/QSPI	2	16/20/25		5/3.3		16

3. PIC 单片机

由美国 Microchip 公司推出的 PIC 单片机系列产品，是较早采用 RISC 结构的嵌入式微控制器，仅 33 条指令。其特点是高速度、低电压、低功耗、大电流 LCD 驱动能力和低价位 OTP 技术，自带看门狗定时器，可以用来提高程序运行的可靠性，具有睡眠和低功耗模式，强调节约成本的最优化设计，适于用量大、档次低、价格敏感的产品，同时，重视产品的性价比，靠发展多种型号来满足不同层次的应用要求。PIC 系列有几十个型号，可以满足各种需要。其中，PIC12C508 单片机仅有 8 个引脚，是世界上最小的单片机。PIC 单片机广泛应用于计算机的外设、家电控制、电信通信、智能仪器、汽车电子等领域，是市场份额增长较快的一种单片机，也是世界上最有影响力的嵌入式微控制器之一。

PIC 单片机具有彻底的保密性，优越的开发环境，产品上市零等待等优点。PIC 单片机的引脚具有防瞬态能力，通过限流电阻可以接至 220V 交流电源，直接与继电器控制电路相连，无须光耦合器隔离，给应用带来极大方便。PIC 系列单片机的性能见表 1.3。

表 1.3 PIC 系列单片机的性能

型 号	RAM/B	A/D 转换器	ROM	串行口	工作速度/MHz	定时器/计数器	低压型号	封装
PIC12CE518	25	—	512	—	4	1 + WDT	PIC12LCE518	PDIP8
PIC12CE673	128	4	1024		10		PIC12LCE673	—
PIC12CF675	64	4	1024		20	2 + WDT	PIC12LCF675	—
PIC16C558	128	—	2048		20	2 + WDT	PIC16LC558	—
PIC17C43	454	—	4096	USART	33	4 + WDT	PIC17LC43	PDIP SOIC
PIC17C752	678	12	8192	USART (2), I ² C, SPI			PIC17LC752	
PIC17C766	902	16	16 384				PIC17LC766	
PIC18C242	512	5	8192	AUSART, SPI, I ² C	40	4 + WDT	PIC18LC242	PDIP8 SOIC8
PIC18C252	1536		1638				PIC18LC252	
PIC18C452	1536	8	1638				PIC18LC452	
PIC18C658		12	1638	AUSART, SPI, I ² C, CAN2.0B	40		PIC18LC658	

4. EM78 单片机

EM78 系列单片机是由中国台湾义隆公司 (EMC) 推出的 8 位单片机。EM78 单片机采用高速 CMOS 工艺制造, 低功耗设计 (正常工作电流为 2mA, 休眠状态电流为 1 μ A); 内部包括 ALU、ROM、RAM、I/O、堆栈、中断控制、定时器/计数器、看门狗定时器、电压检测器、复位电路、振荡电路等; 具有三个中断源, R-OPTION 功能, I/O 唤醒功能, 多功能 I/O 接口等; 具有优越的数据处理性能, 采用 RISC 结构设计, 单周期、单字节及流水线指令, 采用大家熟悉的 MCS-51 指令风格设计, 共计 58 条指令; RAM 容量从 32 ~ 157KB, 最短指令周期为 100ns, 程序页面为 1KB (多至 4 页)。EM78 系列单片机具有完备的开发手段、快速的代码转换、系列化的单片机设计, 方便产品的升级换代。它广泛应用于智能小区系统、消防电子系统、汽车电子、智能家用电器、医疗保健仪器、工业控制等行业。EM78 系列单片机的性能见表 1.4。

表 1.4 EM78 系列单片机的性能

型 号	ROM/bit	RAM/B	I/O	中断 (外/内)	计数器	引脚	工作电压/V	备 注
EM78P153	512 $\times$ 13	32	12	3 (1/2)	1	14	2.2 ~ 6	内含 RC 振荡器
EM78P156	1K $\times$ 13	48	12	3 (1/2)	1	18	2.2 ~ 5.5	低电压复位
EM78P447	4K $\times$ 13	148	20/24	3 (1/2)	1	28/32	2.2 ~ 5.5	—
EM78451	4K $\times$ 13	147	35	3 (1/2)	2	40, 42, 44	2.3 ~ 5.5	含 SPI
EM78P458	4K $\times$ 13	96	1	6 (1/5)	3	20/24	2.2 ~ 6.0	含 A/D, PWM
EM78P459	4K $\times$ 13	96	16	6 (1/5)	3	20/24	2.2 ~ 6.0	含 A/D, PWM
EM78P806	8K $\times$ 13	0.6K	36	9	3	80/100	2.5 ~ 6.0	含 LCD 驱动, DTMF 接收, FSK 电路
EM78P860	16K $\times$ 13	2.8K	32	8 (4/4)	3	80/100	2.5 ~ 6.0	含 LCD 驱动, DTMF 接收, FSK 电路
EM78P567	4 ~ 16K $\times$ 13	0.5K	24/36	12	3	32/44	2.5 ~ 6.0	含 DTMF 接收, A/D, D/A 电路
EM78P257	2K $\times$ 13	80	15/17	4 (1/3)	4	18/20	2.1 ~ 6.0	红外线, 鼠标电路

5. MSP430 单片机

MSP430 系列单片机是美国德州仪器 (Texas Instruments, TI) 公司生产的一种特低功耗的 Flash 微控制器, 有“绿色微控制器 (Green MCU)”之称。MSP430 系列新型产品集成了业内领先的超低功率闪存、高性能模拟电路和一个 16 位 RISC 结构的 CPU, 具有丰富的寻址方式、简单的 27 条指令、较高的处理速度, 系统工作稳定, 指令周期可达 125ns, 且大部分指令可在一个指令周期内完成; 具有丰富的片内设置, 如看门狗、定时器/计数器、比较器、并行接口、串行口、A/D 转换器、硬件乘法器等; 工作电流较小, 仅为 0.1 ~ 400 μ A; 属低电压器件, 仅需 1.8 ~ 3.6V 电压供电, 从而有效降低了系统功耗; 使用超低功耗的数控振荡器技术, 可以实现频率调节和无晶振运行; 6 μ s 的快速启动时间可以延长待机时间并使启动更加迅速, 降低了电池的功耗。MSP430 系列单片机的性能见表 1.5。