



普通高等教育“十二五”规划教材

◎ 电子信息科学与工程类专业 规划教材

单片机原理及应用

(第3版)

◎ 张 鑫 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

电子信息科学与工程类专业规划教材

单片机原理及应用

(第3版)

张鑫 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry



北航

C1745853

TP368.1-43
31-3

185820310

内 容 简 介

全书共 10 章, 内容包括: 绪论、MCS-51 单片机的结构与原理、指令系统及程序设计、内部资源及应用、系统扩展技术、输入/输出通道设计、交互通道配置与设计、应用系统设计, 以及单片机调试/仿真常用软件 Keil C51 与 Proteus 的使用方法介绍, 最后一章为课程设计与创新实验题目。每章都配有习题, 并免费提供包括电子课件、典型例题的动画与 Proteus 仿真, 以及习题参考答案在内的教学资源包。电子课件请登录华信教育资源网 (<http://www.hxedu.com.cn>) 下载。用手机扫描书中的二维码可以播放仿真演示。

本书以培养学生的工程实践能力为目标, 突出多种典型常用集成电路芯片的介绍与应用, 突出单片机外围接口芯片的扩展、单片机应用系统的设计与实现及单片机的典型应用; 汇编语言与 C51 语言程序设计并重, 注重新技术和新器件的引入, 如: CPLD/FPGA、PSD、I²C 总线、时钟芯片、系统监控芯片、串行 A/D 转换器和 D/A 转换器、片上系统 (SoC) 等; 理论联系实际, 系统实用。

本书可作为高等学校自动化类、电气类、电子信息类及计算机类专业相关课程教材, 也可供相关领域工程技术人员参考。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及应用 / 张鑫编著. —3 版. —北京: 电子工业出版社, 2014.8

电子信息科学与工程类专业规划教材

ISBN 978-7-121-23800-0

I. ①单… II. ①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 (2014) 第 152640 号

责任编辑: 冉 哲

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市京南印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 23.5 字数: 632 千字

版 次: 2005 年 8 月第 1 版

2014 年 8 月第 3 版

印 次: 2014 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

第3版前言

本书自2005年第1版出版、2010年第2版出版以来,得到了广大读者和使用本书作为教材的高等学校广大师生的肯定。为了进一步完善本书,使之更适应高校课堂教学需要,并展现单片机技术的最新发展,作者对本书再次进行了全面的修改。

本书面向应用,以培养学生分析问题和解决问题的能力为目的,循序渐进,深入浅出,尽量使“深者得其深,浅者得其浅”,注重学生的认知特点和教学规律,注重体系的完整性。本书在介绍单片机系统的组成时,详尽地介绍了多种典型、常用的集成电路芯片及其应用,提供了大量单片机外围接口芯片及相应的单片机应用系统。

本书中,汇编语言与C51语言程序设计并重,硬件设计与软件设计的技巧性和方法并重,典型实例与Proteus仿真并重,注重新技术和新器件的引入,例如,可编程系统器件PSD、可编程逻辑器件PLD、I²C总线、LCD显示、串行A/D转换器和D/A转换器、PWM技术、片上系统(SoC)等。

本书还给出了单片机课程设计与创新实验题目供教师及读者参考。通过这些课程设计与创新实验,将有效地提高读者应用单片机解决实际工程问题的能力。

第3版在第2版的基础上,增加了C51语言程序设计、Proteus仿真等内容;在介绍汇编语言指令系统时,每介绍完一类指令,都会给出该类指令的总结,有助于读者对指令系统的掌握;删除了对全书影响不大的原第8章16位单片机简介内容,增加了单片机调试/仿真常用软件Keil C51与Proteus的使用方法介绍,方便读者学习。另外,由于学生在学习单片机课程之前,已经学习过C语言程序设计,因此,本书没有介绍C语言基础知识,而是在其基础上详细介绍了C51语言程序设计。在应用举例时,详细介绍汇编语言程序设计过程及程序,并给出相应的C51语言程序。第3版还增加了一些目前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,使得内容更加全面,全书章节结构更加合理,通用性、系统性、工程性和实用性更好。

本书以MCS-51单片机为主,主要内容包括:绪论为单片机简介,第1章介绍单片机的结构与原理,第2章介绍指令系统与程序设计,第3章介绍单片机的内部资源及应用,第4~6章介绍单片机的外围接口技术,第7章介绍单片机应用系统设计,第8章为Keil C51与Proteus软件使用简介,第9章为课程设计与创新实验题目。

作者根据多年的教学经验积累,并依托山东省省级精品课“单片机原理及应用”,对教材的配套资源进行整合,形成了集理论教学、实践教学、课后习题及参考答案、CAI课件及Proteus仿真于一体的立体化教材。CAI课件中配备了大量的动画,用以实现寻址过程、指令与程序执行过程、软硬件设计过程,以及电路信号流向与信号变化的动态表述。使用者可根据不同的教学与学习需求,从中选取相应的内容。

全书共10章,其中,绪论、第1章、第7章和第8章由张鑫编写,第2章由张彩荣编写,第3章由华臻编写,第4章由张岩编写,第5章由陈书谦编写,第6章由朱玉玺编写,第9章、各章习题和附录由郭亮编写。全书由张鑫统稿。

本书在编写的过程中得到了各位参编教师所在学校的领导和同行们的支持与帮助,在校对过程中,冉哲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,我们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，书中可能会存在某些错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

前言 & 卷

立体化教学资源

为了满足不同读者的需求，本书免费提供以下教学资源：

- 全部习题的参考答案；
- CAI 课件，登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）注册后免费下载；
- 典型例题的动画与 Proteus 仿真，并在书中为部分典型例题添加二维码，用手机扫描二维码后可以直接播放相应的动画或仿真演示；
- 教学所需的内容和图形。

其他资源请联系本书责任编辑冉哲索取，电子邮件地址 ran@phei.com.cn。

作者

2014年8月

目 录

绪论	1	2.2.3 寄存器寻址	44
第 1 章 MCS-51 单片机的结构与原理	12	2.2.4 寄存器间接寻址	45
1.1 MCS-51 单片机硬件结构及引脚	12	2.2.5 变址寻址	46
1.1.1 MCS-51 单片机内部结构	12	2.2.6 相对寻址	47
1.1.2 MCS-51 单片机外部引脚	20	2.2.7 位寻址	48
1.1.3 AT89 系列单片机简介	22	2.3 MCS-51 单片机的指令系统	49
1.1.4 STC 系列单片机简介	23	2.3.1 数据传送指令	49
1.2 MCS-51 单片机的工作方式	25	2.3.2 算术运算指令	56
1.2.1 复位方式	25	2.3.3 逻辑运算及移位指令	61
1.2.2 程序执行方式	26	2.3.4 控制转移指令	66
1.2.3 节电方式	27	2.3.5 位操作指令	73
1.2.4 编程和校验方式	28	2.4 MCS-51 单片机 C51 语言	76
1.3 单片机的时序	28	2.4.1 C51 语言概述	77
1.3.1 MCS-51 的时序单位	28	2.4.2 C51 语言的程序结构、数据与 存储类型	78
1.3.2 MCS-51 指令的取指/执行时序	29	2.4.3 C51 语言的头文件与库函数	82
1.3.3 访问片外 ROM/RAM 指令的 时序	30	2.4.4 C51 语言中绝对地址的访问	84
1.4 C8051F 系列片上系统 (SoC) 简介	31	2.4.5 C51 与汇编语言混合编程的 方法	86
1.4.1 概述	31	2.5 程序设计	87
1.4.2 基本结构与特点	33	2.5.1 汇编语言程序设计的步骤	88
习题 1	35	2.5.2 顺序程序设计	89
第 2 章 MCS-51 单片机指令系统与 程序设计	37	2.5.3 分支程序设计	90
2.1 汇编语言概述	37	2.5.4 循环程序设计	92
2.1.1 汇编语言指令格式与伪指令	37	2.5.5 查表程序设计	98
2.1.2 指令的分类	40	2.5.6 子程序设计	102
2.1.3 指令中的常用符号	41	2.6 程序设计举例	106
2.1.4 指令的字节数	41	2.6.1 多字节算术运算程序	106
2.2 MCS-51 单片机的寻址方式	42	2.6.2 数制转换程序	108
2.2.1 立即寻址	42	2.6.3 散转程序	111
2.2.2 直接寻址	43	2.7 汇编语言的开发环境	114
		2.7.1 单片机开发系统	114
		2.7.2 汇编语言的编辑与汇编	116

2.7.3 汇编语言的调试	116	4.2 存储器的扩展	173
习题 2	118	4.2.1 程序存储器扩展	174
第 3 章 MCS-51 单片机的内部资源及 应用	121	4.2.2 数据存储器扩展	177
3.1 MCS-51 单片机的并行 I/O 接口	121	4.2.3 MCS-51 单片机对外部 存储器的扩展	179
3.1.1 MCS-51 单片机的内部并行 I/O 接口	121	4.2.4 程序存储空间和数据存储 空间的混合	179
3.1.2 MCS-51 单片机内部并行 I/O 接口的应用	123	4.3 并行 I/O 接口的扩展	180
3.1.3 C51 语言中 MCS-51 单片机 并行 I/O 接口的定义方法	125	4.3.1 概述	180
3.2 MCS-51 单片机的中断系统	126	4.3.2 普通并行 I/O 接口扩展	181
3.2.1 中断的基本概念	127	4.3.3 可编程并行 I/O 接口芯片扩展	183
3.2.2 MCS-51 单片机的中断系统	128	4.3.4 可编程逻辑器件 (PLD) 的 扩展	193
3.2.3 MCS-51 单片机中断系统的 软件设计	135	4.3.5 可编程系统器件 (PSD) 的 扩展	196
3.2.4 MCS-51 单片机扩展外部中断 请求输入/输出	136	4.4 时钟芯片的扩展	198
3.3 MCS-51 单片机的定时器/计数器	139	4.4.1 时钟芯片概述	198
3.3.1 定时器/计数器	139	4.4.2 DS1302 的工作原理及应用	199
3.3.2 定时器/计数器的工作方式	141	4.5 系统监控芯片的扩展	210
3.3.3 定时器/计数器的应用	142	4.5.1 概述	210
3.4 MCS-51 单片机的串行通信	148	4.5.2 MAX692A 的工作原理及应用	211
3.4.1 概述	148	4.6 总线接口扩展	213
3.4.2 MCS-51 单片机的串行口	150	4.6.1 EIA RS-232C 总线标准与 接口电路	214
3.4.3 串行口的工作方式	152	4.6.2 RS-422/RS-485 总线标准与 接口电路	218
3.4.4 串行口的通信波特率	153	4.6.3 I ² C 总线标准与接口电路	221
3.4.5 串行口的初始化	154	4.6.4 其他常用总线标准	225
3.4.6 串行口的应用	155	习题 4	227
习题 3	167	第 5 章 MCS-51 单片机的输入/输出 通道设计	229
第 4 章 MCS-51 单片机的系统 扩展技术	170	5.1 输入/输出通道概述	229
4.1 MCS-51 单片机系统扩展概述	170	5.1.1 传感器	229
4.1.1 MCS-51 系列单片机的外部 扩展原理	170	5.1.2 单片机应用系统的输入/输出 通道	229
4.1.2 MCS-51 单片机系统地址 空间的分配	171	5.2 D/A 转换器及其硬、软件设计	232

5.2.1	D/A 转换器的性能指标	233
5.2.2	D/A 转换器的分类	233
5.2.3	D/A 转换器的硬、软件设计	234
5.3	A/D 转换器及接口技术	242
5.3.1	A/D 转换器的性能指标	242
5.3.2	A/D 转换器的分类	243
5.3.3	A/D 转换器的硬、软件设计	244
5.3.4	数据采集系统	254
	习题 5	256
第 6 章 MCS-51 单片机的交互通道配置与设计 258		
6.1	MCS-51 单片机扩展键盘的技术	258
6.1.1	概述	258
6.1.2	使用键盘时必须解决的问题	259
6.1.3	单片机扩展键盘的硬、软件设计	260
6.2	MCS-51 单片机扩展显示器的技术	272
6.2.1	LED 显示器及其硬、软件设计	273
6.2.2	LCD 显示器及其硬、软件设计	280
6.2.3	单片机扩展液晶显示模块 LCD1602	283
6.3	MCS-51 单片机扩展键盘和显示器的设计实例	291
6.3.1	利用 8155/8255A 芯片实现键盘和显示器的设计	291
6.3.2	利用 MCS-51 的串行口实现键盘和显示器的设计	295
6.3.3	利用专用芯片扩展键盘和显示器	297
6.4	MCS-51 单片机扩展微型打印机的技术	298
6.4.1	微型打印机的特点	298
6.4.2	单片机扩展微型打印机的硬件设计	299
6.4.3	字符代码及打印命令	300
6.4.4	单片机扩展微型打印机的设计举例	302
	习题 6	302

第 7 章 MCS-51 单片机应用系统设计 304

7.1	MCS-51 单片机应用系统设计过程	305
7.1.1	总体设计	305
7.1.2	硬件设计	306
7.1.3	软件设计	308
7.1.4	可靠性设计	309
7.1.5	单片机应用系统的调试、测试	314
7.2	单片机应用系统设计举例	315
7.2.1	单片机在工业测控系统中的应用	315
7.2.2	单片机在里程、速度计量中的应用	321
	习题 7	325

第 8 章 Keil C51 与 Proteus 软件使用简介 326

8.1	Keil C51 简介	326
8.1.1	Keil C51 概述	326
8.1.2	Keil C51 的开发环境	326
8.1.3	Keil C51 功能模块简介	327
8.1.4	Keil C51 软件的安装	327
8.1.5	Keil C51 软件的使用	328
8.2	虚拟仿真开发工具 Proteus 仿真软件简介	336
8.2.1	Proteus 仿真软件简介	336
8.2.2	Proteus 原理图输入系统 (ISIS) 环境简介	338
8.2.3	Proteus ISIS 的编辑环境设置	343
8.2.4	Proteus ISIS 的系统运行环境设置	344
8.2.5	单片机应用系统的虚拟设计与仿真	345
8.2.6	Proteus 与 Keil μ Vision4 的联调	355
	习题 8	356

第 9 章 课程设计与创新实验题目 357

9.1	医院住院病人呼叫器的设计	357
-----	--------------	-----

9.2 万年历的设计 357

9.3 学校学生生活时间提示系统的设计 357

9.4 智力竞赛抢答器的设计 358

9.5 交通信号灯实时控制系统的设计 358

9.6 电子密码锁的设计 358

9.7 超声波测距系统的设计 359

9.8 数字频率计的设计 359

9.9 多路数据采集系统的设计 359

9.10 温度控制系统的设计 359

9.11 自动电梯控制电路的设计 360

9.12 出租车计程计价器的设计 360

9.13 智能化公共汽车报站器的设计 360

9.14 自动往返电动车的设计 361

9.15 简易 IC 卡收费器的设计 361

9.16 消毒柜控制电路的设计 361

附录 A ASCII 码字符表 362

附录 B MCS-51 单片机指令表 363

附录 C 著名的单片机网站 367

参考文献 368

绪 论

绪论中主要介绍单片机的基本概念、发展过程、发展趋势、应用领域、市场前景、单片机的选型及典型单片机性能概览。目的在于使学生了解单片机，重视单片机技术的学习。

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)、存储器 ROM (Read Only Memory, 只读存储器) 和 RAM (Random Access Memory, 随机存储器)、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)。

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, 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芯片内, 运行系统稳定可靠。

(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

单片机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 3V, 甚至更低的电压下运行, 有些单片机的工作电流已降至 μA 级。

(5) 易于嵌入、发展迅速、应用广泛

单片机具有体积小、性价比高、灵活性强等特点, 易于嵌入到其他系统中, 在嵌入式微控制器中占有重要的位置。单片机从 20 世纪 70 年代出现至今发展迅速, 以其形式多样、集成度高、功能日臻完善、应用系统设计简单、易于掌握和普及、易于产品化等特点而得到了广泛应用和普及。

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、网络通信中得到了广泛应用。但是, 通用计算机的体积大、成本高, 无法嵌入到大多数产品 (如智能仪表等) 中, 而单片机则应嵌入式应用而生。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（内含 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。

单片机作为最典型的嵌入式系统，它的成功应用推动了嵌入式系统的发展。单片机技术在高等学校的相关专业单独开设课程；在课程设计、毕业设计，乃至研究生论文课题中，单片机技术的应用非常广泛；在高校中大力推行的各种电子设计竞赛、智能车竞赛中，单片机技术的应用占有重要的地位。因此，作为电类专业的学生，必须学好并灵活应用单片机技术。

2. 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 4 个阶段。

（1）第一阶段（1974—1976 年）

单片机初级阶段。在这个时期生产的单片机，制造工艺落后，集成度低，而且采用双片形式。典型的代表产品有 1974 年 12 月 Fairchild 公司推出的 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）

低性能单片机阶段。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 1976 年 Intel 公司推出的 MCS-48 系列、1977 年 GI 公司推出的 PIC1650。其特点是，片内集成有 8 位的 CPU，1KB/2KB 的 ROM，64B/128B 的 RAM，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）

高性能单片机阶段。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。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。此后，各公司的单片机迅速发展起来，新机型单片机不断出现，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/8KB 的 ROM，128B/256B 的 RAM，具有串/并行接口，2~3 个 16 位的定时器/计数器，5~7 个中断源；片外寻址范围可达 64KB，芯片引脚为 40 个。

（4）第四阶段（1983 年至今）

8 位单片机巩固发展及 16 位、32 位单片机推出阶段。20 世纪 90 年代是单片机大发展时期，Motorola、Intel、Microchip、Atmel、TI（德州仪器）、三菱、Hitachi（日立）、Philips（飞利浦）、ST（意法半导体公司）等公司开发了大批性能优越的单片机，极大地促进了单片机的发展与应用。16 位单片机的工艺先进，集成度高，内部功能强，运算速度快。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、D/A 转换电路和 A/D 转换电路；片外寻址范围 64KB，芯片引脚为 48 个或 68 个。另外，大容量和多功能的新型 8 位单片机也得

到了进一步发展。代表产品有 Intel 公司的 88044 (双 CPU 工作)、Zilog 公司的 Super8 (含 DMA 通道)、Motorola 公司的 MC68HC11F1 (内含 E²PROM 及 A/D 转换电路) 等。

近年来出现的 32 位单片机, 是单片机的顶级产品, 具有较高的运算速度。代表产品有 ARM 系列、Motorola 公司的 M68300 系列、Silabs 公司的 Precision32 系列、Microchip 公司的 PIC32MX 系列、TI 公司的 F28×系列和 Hitachi 公司的 SH 系列等。

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 (Single-Chip Microcomputer) 即单片微型计算机阶段。主要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 (Micro Control Unit) 即微控制器阶段, 主要的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, 代表产品有 Philips 公司的 80C51, Atmel 公司的 AT89C××、AT89S××系列等。

SoC (System on Chip) 即片上系统阶段, 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 MCS-51 系列从 MCU 推向了 SoC 时代。

3. 单片机的发展趋势

单片机的发展是为了满足不断增长的传感器接口、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, 以适应自动检测与控制要求。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、功率驱动、程序运行监控、信号实时处理、通信能力等方面。总之, 单片机正在向高性能、多功能、大存储容量、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。

(1) CPU 的改进

采用多核 CPU 结构, 增加数据总线的宽度、时钟频率, 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。

(2) 高性能

在单片机设计中采用精简指令集 (Reduced Instruction Set Computing, RISC) 体系结构、并行流水线操作等设计技术, 以提高单片机的运算速度和执行效率。

(3) 外围电路的内装化

把需要的外围电路全部集成到单片机内, 实现系统的单片化是目前单片机发展的趋势。将应用系统中常用的存储器、模数 (A/D) 转换器、数模 (D/A) 转换器、多路转换开关、电压基准、温度传感器、液晶显示 (Liquid Crystal Diodes, LCD) 驱动器、同步串行外设接口 (Serial Peripheral Interface, SPI)、I²C 串行总线 (Inter Integrated Circuit Bus)、看门狗 (Watchdog, WDT)、电源监视器等集成到单片机芯片中, 从而成为名副其实的单片机。例如, NS (National Semiconductor, 美国国家半导体) 公司的单片机把语音、图像部件等集成到单片机中, Infineon 公司的 C167CS-32FM 单片机内部含有两个局部网络控制模块 CAN (Controller Area Network, 局域网络控制器)。

(4) 大存储容量

片内存储器采用闪存 (Flash Memory), 其容量可达 128KB 甚至更多, 使得一般单片机应用系统可不用外扩程序存储器。加大片内数据存储器容量, 以满足动态数据存储的需求。单片机

的寻址能力可达 16MB 甚至更多。

(5) 制造工艺不断提高

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。并且越来越多地采用低频时钟和模拟电路结合的方式。目前单片机及其外围器件普遍采用 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor, 互补金属氧化物半导体) 工艺,使单片机具有较宽的工作电压范围、较低的功耗等优点。

(6) 接口性能不断提高

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。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,占用 I/O 资源少等特点。和互联网连接已是一种明显的走向。

(7) 可靠性不断提高

近年来,各生产厂家为了提高单片机的可靠性而采用了电快速瞬变脉冲模式 (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。

(8) 低功耗

目前单片机产品多为 CMOS 化芯片,具有低功耗的优点。为了充分发挥低功耗的特点,这类单片机普遍配置有等待状态、睡眠状态、关闭状态等工作方式。在这些状态下低电压工作的单片机,其消耗的电流仅在 μA 或 nA 量级,非常适合干电池供电的便携式、手持式的仪器仪表及其他消费类电子产品。

(9) 编程及仿真技术的简单化

目前,大多数单片机都支持程序的在线编程,也称在系统编程 (In System Programming, ISP),只需要一个 ISP 接口下载线,即可把程序从 PC 机写入单片机的 Flash 存储器内,省去编程器。某些单片机还支持在应用编程 (In Application Programming, IAP),可以在线对单片机的应用程序进行动态修改,省去了仿真器。

(10) 实时操作系统的使用

单片机可配置实时操作系统,如 MCS-51 单片机的实时操作系统 RTX51。RTX51 是针对 MCS-51 单片机的多任务内核,从本质上简化了对实时事件反应速度要求较高的复杂系统的设计、编程与测试。它已完全集成到 C51 编译器中,使用简单方便。

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。

4. 单片机的应用

单片机具有结构简单、应用方便、软硬件结合、功能强、体积小、价格低、应用方便、易于掌握和普及、易于产品化、易于嵌入到各种应用系统中等优点。因此,以单片机为核心的嵌入式系统在相关领域中得到了广泛应用。

(1) 工业检测与控制

单片机广泛应用于智能控制、过程控制、数据采集、仪器仪表、监控、机器人、机电一体化等应用系统中。例如,机床、高档中西餐厨具、锅炉、供水系统、自动报警系统、卫星信号

接收系统等，大大降低了劳动强度和生产成本，增强了产品的功能，有效地提高了系统的工作效率和产品质量。

(2) 仪器仪表

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。

(3) 消费类电子产品

单片机在家电、手机、高档电子玩具中的应用已经非常普及，如：电视机、电冰箱、空调、洗衣机、电风扇、微波炉、电饭煲、加湿器、消毒柜等。在这些设备中嵌入了单片机后，明显地提高了产品的功能、性能、性价比、智能化程度，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。

(4) 计算机外围设备

大部分计算机外围设备都采用单片机作为控制器，如：键盘、打印机、CRT（Cathode Ray Tube，阴极射线管）显示器、绘图仪、硬盘驱动器和网络通信设备等。

(5) 网络与通信的智能接口

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：各类手机、传真机、程控电话交换机、各种通信设备、智能家居、楼宇自动化中的自动抄表系统等。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，用单片机来进行控制或管理，可以大大提高系统的运行速度和接口的管理水平。

(6) 军事、航空

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航空航天、导弹控制、鱼雷制导控制、智能武器装备、导航等军工领域。

(7) 办公自动化。

现在办公室使用的大量通信和办公设备多数都嵌入了单片机，如：打印机、复印机、传真机、绘图仪、考勤机、电话及计算机中的键盘译码、磁盘驱动等。

(8) 医疗器械。

单片机在医用设备中有着广泛的应用，如：医用呼吸机、各种分析仪、监护仪、超声诊断设备及病床呼叫系统等。

(9) 汽车电子设备

单片机已广泛应用于各种汽车电子设备中，如：汽车安全气囊、汽车信息系统、智能自动驾驶系统、卫星汽车导航系统、汽车紧急请求服务系统、汽车防撞监控系统、汽车仪表检测系统、汽车自动诊断系统及汽车黑匣子等。

(10) 分布式多机处理系统

在比较复杂的多节点测控系统中，常采用分布式多机处理系统。

① 集散控制系统。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。

许多日常产品都包含用户完全不会注意到的嵌入式系统。一项研究表明，一般的消费者每天接触到的物品中，就包含近 100 个嵌入式单片机。从烤面包机、吹风机、无绳电话、安全系统、微波炉、洗衣机到汽车的众多产品，都加入了嵌入式单片机来增强可靠性、改善性能、保证安全、提高产品灵活性或简化用户接口等。由于许多产品中使用多个单片机来提供嵌入式系统，因此这些产品中单片机使用量的增长速度远远高于这些产品本身的增长速度。信息高速公

路或因特网供应商每年约售出 3 亿台（件）产品，手机制造商每年约销售 5 亿部手机。虽然这两个市场都很大，但仅单片机市场每年销售量就超过 50 亿片。

综上所述，单片机在工业、农业、国防、军工、医疗、汽车电子、智能仪器仪表、家用电器、消费类电子等领域都发挥着十分重要的作用，单片机应用的市场前景非常广阔。

5. 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以下 3 个方面。

(1) 指令结构

按指令结构不同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；但是由于指令复杂，执行工作效率较差，处理数据速度较慢。CISC 的特点是指令丰富，功能较强，但取指令和取数据不能同时进行，速度受限，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、Winbond（华邦）的 W78 系列、Philips（飞利浦）的 80C51 系列等。

RISC 的 CPU 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。RISC 的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：Microchip 公司的 PIC 系列、Zilog 公司的 Z86 系列、Atmel 公司的 AT90S 系列、三星公司的 KS57 系列 4 位单片机、义隆公司的 EM78 系列等。

(2) 程序存储方式

根据程序存储方式的不同，单片机可分为 ROMless（片内无 ROM，需要片外扩展 ROM）、EPROM、OTPROM、Flash ROM 和 Mask ROM 共 5 种。我国一开始都采用 ROMless 型单片机，对单片机的普及起了很大作用。但是，这种强调接口的单片机无法广泛应用，甚至走入了误区。目前，单片机大都将程序存储体置于其内，给应用带来了极大的方便。

(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。例如，Infineon 公司的 C505C、C515C、C167CR、C167CS-32FM、81C90，以及 Motorola 公司的 68HC08AZ 系列等，特别是在单片机 C167CS-32FM 中，内部含有两个 CAN 模块。

为了能在变频控制中方便地使用单片机，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。例如，Fujitsu 公司的 MB89850 系列、MB89860 系列，Motorola 公司的 MC68HC08MR16、MR24 等。在这些单片机中，脉宽调制电路有 6 个通道输出，可产生三相脉宽调制交流电压，并且内部包含死区控制等功能。

目前，新的单片机的功耗越来越小，特别是很多单片机都设置了多种工作方式，这些工作方式包括暂停、睡眠、空闲、节电等。例如，Philips 公司的单片机 P87LPC762 在空闲时，其工作电流为 1.5mA，而在节电方式下，其工作电流只有 0.5mA。而 TI 公司的 16 位单片机 MSP430 系列的低功耗方式有 LPM1、LPM3、LPM4 共 3 种。当电源为 3V 时，如果工作于 LPM1 方式下，即使外围电路处于活动状态，由于 CPU 不活动，振荡器主频为 1~4MHz，因此，这时工作电流只有 50 μ A。在 LPM3 方式下，振荡器主频为 32.768kHz，这时工作电流只有 1.3 μ A。在 LPM4

方式下，CPU、外围及振荡器都不活动，工作电流只有 $0.1\mu\text{A}$ 。

有的单片机已采用三核（TrCore）结构。这是一种建立在 SoC 级芯片概念上的结构。这种单片机由 3 个核组成：MCU 和 DSP（Digital Signal Processing，数字信号处理）核，数据和程序存储器核，以及 ASIC（Application Specific Integrated Circuit，外围专用集成电路）核。其最大特点在于把 DSP 和 MCU 同时制作在一个片上。DSP 的用途主要是在高速计算和特殊处理（如快速傅里叶变换）等方面，把它和传统单片机结合集成，大大提高了单片机的性能，这是目前单片机最大的进步之一。这种单片机最典型的有 Infineon 公司的 TC10GP、Hitachi 公司的 SH7410、SH7612 等。这些单片机都是高档单片机，MCU 都是 32 位的，而 DSP 采用 16 或 32 位结构，工作频率一般在 60MHz 以上。

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。目前，一般单片机都可以工作于 3.3~5.5V 电压，甚至 2.2~6V 电压。例如，Fujitsu 公司的 MB89 系列单片机工作电压为 3.3~5.5V，而 TI 公司的 MSP430X11X 系列的单片机工作电压低至 2.2V。

6. 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 公司在计算机方面将重点放在奔腾等与 PC 机兼容的高档芯片的开发上，因此，MCS-51 单片机主要由 Philips、Atmel、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 0.1。

表 0.1 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
基本型	80C31	4×8 位	2×16 位	5	1	128 字节	无
	80C51	4×8 位	2×16 位	5	1	128 字节	4KB 掩模 ROM
	87C51	4×8 位	2×16 位	5	1	128 字节	4KB EPROM
	89C51	4×8 位	2×16 位	5	1	128 字节	4KB E ² PROM
增强型	80C32	4×8 位	3×16 位	6	1	256 字节	无
	80C52	4×8 位	3×16 位	6	1	256 字节	8KB 掩模 ROM
	87C52	4×8 位	3×16 位	6	1	256 字节	8KB EPROM
	89C52	4×8 位	3×16 位	6	1	256 字节	8KB E ² PROM

(2) Motorola 单片机

Motorola 公司是目前世界上较大的单片机生产厂家之一。自 1974 年 Motorola 公司推出第一种 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、16、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模为主的, 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 (含多个输入捕捉端和多个输出比较端), 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 0.2。

表 0.2 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	—	—	31	
68HC705F32	920	32 256 OTP			8				1.8
68HC11D3	192	4096 OTP	SCI/SPI	8	3/2	—	5	—	16
68HC711E20	768	20 480 Flash	SCI/SPI	—	4/3/2/1	—	—	—	38
68HC11F1	1024	512 E ² PROM			5/4/3/2				30
68HC16Z3	4096	8192 Mask	SCI/QSPI	2	16/20/25	8	5/3.3	WDT	16
MC9S12D64	4096	65 536 Flash	SCI/IIC/SPI/	8	25	8	5.0	4/8/7	59/91
MC9S12DT128B	8192	131 072 Flash	CAN2.0A/B	8	25	8	5.0	4/8	91
MC68302	1152	—	SCC/SCP/SMC	—	25/33/20/16	—	3.3/5	—	132
MC68375	10k	256 Flash	—	—	—	16	3.3	—	—

(3) PIC 单片机

由 Microchip (美国微芯科技公司) 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, 适合用量大、档次低、价格敏感的产品, 同时, 重视产品的性能与价格比, 靠发展多种型号来满足不同层次的应用要求。PIC 系列有几十种型号, 可以满足各种需要。其中, PIC10F20X 单片机仅有 6 个引脚, 而 PIC12LF1552 体积最小 (2 mm×3 mm, UDFN 封装), 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