

国家精品课程配套教材

21世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

单片机原理及 接口技术 (C51编程) (第2版)

Microcontroller Principle and Interface
Technology (C51 Programming) (2nd Edition)

张毅刚 主编

刘旺 邓立宝 副主编

- 注重选取内容的实用性、典型性
- 学以致用，以应用设计为目的
- 大量的C51程序设计案例，为设计提供借鉴



名家系列

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

国家精品课程配套

21世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

单片机原理及 接口技术 (C51编程) (第2版)

Microcontroller Principle and Interface
Technology (C51 Programming) (2nd Edition)

张毅刚 主编

刘旺 邓立宝 副主编



名家系列

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及接口技术 : C51编程 / 张毅刚主编

— 2版. — 北京 : 人民邮电出版社, 2016.6 (2016.8重印)

21世纪高等学校计算机规划教材. 名家系列

ISBN 978-7-115-41924-8

I. ①单… II. ①张… III. ①单片微型计算机—基础理论—高等学校—教材②单片微型计算机—接口技术—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第049385号

内 容 提 要

本书是国家精品资源共享课程配套建设教材。全书详细介绍了美国 ATMEL 公司的 AT89S51/52 单片机片内硬件资源及工作原理,重点介绍了单片机应用的各种技术实现以及相应的 C51 语言编程,如信息的显示与输入、中断、定时/计数、串行通信、模/数与数/模转换以及系统的并行与串行扩展的接口设计等。此外,还简要介绍了 C51 编程基础以及软件开发工具 Keil μ Vision3 及虚拟仿真平台 Proticus 的基本特性。结合各种应用,书中给出较多设计案例,可为读者的各种硬件接口设计与 C51 语言软件编程提供参考与借鉴。

本书可作为各类高等工科院校、职业技术学院的电气工程、电子电气信息技术、智能仪器仪表、机电一体化、计算机、工业自动化及自动控制等专业单片机技术课程的教材,也可供从事单片机应用设计的工程技术人员参考。

-
- ◆ 主 编 张毅刚
 - 副 主 编 刘 旺 邓立宝
 - 责任编辑 武恩玉
 - 责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市潮河印业有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 24.75 2016年6月第2版
字数: 648千字 2016年8月河北第2次印刷

定价: 52.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广字第 8052 号

第2版前言

本书为《单片机原理及接口技术（C51编程）》的第2版。自2008年第1版出版以来，已印刷10次，被全国几十所院校作为《单片机原理》课程的教材。

由于8051内核的单片机结构简单、清晰、易学，是单片机初学者最容易掌握的机型，因此，目前8051内核单片机仍是我国多所高校讲授的机型。

本书详细介绍了美国ATMEL公司的AT89S51/52单片机工作原理及应用设计，且融入了目前在教学中已经广泛使用的虚拟仿真开发工具Proteus，并给出了较多的、经过验证的仿真案例。本书也反映了作者的“单片机原理”国家精品课程的教学模式与教学方法改革的部分成果，对课程体系结构的改进也体现在本书之中。

本书在编写时重点考虑了如下问题。

(1) 将虚拟仿真工具Proteus应用在单片机课程教学中，使课程的教学模式及传统的设计开发模式发生了革命性的变化。Proteus平台为学习者提供了一个功能强大的、流动的单片机系统设计的虚拟实验室。

(2) 传统教学模式存在的弊病是，学生听完课堂讲授往往得不到软、硬件设计的训练，使得教学与实际设计脱节。本书采用Proteus与Keil μ Vision3作为工具，将软、硬件设计与案例设计有机地结合为一体，使学生真正从概念出发，设计出一个能够虚拟运行的应用系统，真正得到软硬件设计与调试的完整训练，从而达到课程教学的最终目的。把Proteus融入课程教学各环节中，是课程深入改革的必然趋势。

(3) 本书的编程语言采用C51。为提高读者的编程调试能力，作者还对C51的开发调试工具Keil μ Vision3以及Proteus的使用，从实际使用角度进行了介绍，以使读者尽快地掌握这两个软件平台的使用。

本书共分为15章，涵盖了单片机应用技术的基本内容。第1章介绍了有关单片机的基本知识，对目前流行的各类单片机及嵌入式处理器进行了介绍。第2章介绍了片内的基本硬件结构及硬件资源。第3章介绍了C51语言的编程基础。第4章介绍了Keil μ Vision3软件开发平台以及Proteus虚拟仿真平台的基本功能与使用。第5章介绍了单片机系统的显示以及开关与键盘检测的实现，为后续各章的案例仿真、观察系统运行的结果，打下基础。第6章~第8章分别介绍了片内硬件资源，即中断系统、定时器以及异步串行口的工作原理及应用案例。第9章介绍了系统的并行扩展技术。第10章介绍了目前流行的串行扩展技术，如I²C系统、单总线、SPI串行系统以及相应的应用案例。第11章介绍了模/数与数/模转换接口的设计。第12章介绍了目前应用较多的其他常用的扩展接口设计及应用编程。第13章介绍了弱电控制强电的需求，并对常用的功率接口的器件及设计进行了介绍。第14章介绍了单片机应用系统设计的可靠性及抗干扰设计。第15章介绍了应用系统设计以及调试的基本方法。

附录 A 与附录 B 给出了紧密结合课程内容用于实验教学环节和课程设计环节的基础实验题目与课程设计题目。附录 C 与附录 D 分别给出了经过验证的用于液晶显示器 LCD1602 以及时钟日历芯片 DS1302 的头文件。

全书参考学时为 40~60 学时, 教师可根据实际情况, 对讲授内容进行取舍或补充。

本书由张毅刚担任主编, 并完成了第 1 章、第 2 章的编写以及全书统稿。副主编由刘旺(第 3 章、第 5 章)与邓立宝(第 7 章、第 14 章、第 15 章)担任。参加编写工作的还有吴艳(整体架构与目录确定及第 11 章)、潘大为(第 4 章)、刘兆庆(第 8 章以及程序调试与案例仿真)、杨志明(第 9 章)、俞洋(第 10 章)、付宁(附录 A、附录 B)、梁军(第 12 章)、马云彤(第 14 章)、刘大同(第 6 章)、赵光权(第 13 章)。

在本书出版之际, 特别感谢广州风标电子有限公司总经理匡载华先生为本书的编写出版给予了大力支持和帮助, 非常感谢广州风标电子有限公司提供的有关技术资料、网络版的 Proteus 仿真实验平台以及配套的 E 型模块化实验装置。

本课程的国家精品资源共享课程网站如下, 读者可访问网站参考相应的教学资源。

(http://www.icourses.cn/coursestatic/course_5981.html)

书中存在的错误及疏漏之处敬请读者批评指正, 并请与作者联系(作者邮箱: zyg@hit.edu.cn)。

作者

2016 年 3 月于哈尔滨工业大学

第 1 章 单片机概述1	2.4.1 程序存储器空间.....22
1.1 什么是单片机.....1	2.4.2 数据存储器空间.....22
1.2 单片机的发展历史.....2	2.4.3 特殊功能寄存器.....23
1.3 单片机的特点.....2	2.4.4 位地址空间.....26
1.4 单片机的应用.....3	2.5 AT89S51 单片机的并行 I/O 端口.....27
1.5 单片机的发展趋势.....4	2.5.1 P0 口.....27
1.6 MCS-51 系列与 AT89S5x 系列单片机.....5	2.5.2 P1 口.....28
1.6.1 MCS-51 系列单片机.....5	2.5.3 P2 口.....29
1.6.2 AT89S5x 系列单片机.....6	2.5.4 P3 口.....30
1.7 各种衍生品种的 8051 单片机.....8	2.6 时钟电路与时序.....30
1.7.1 STC 系列单片机.....8	2.6.1 时钟电路设计.....31
1.7.2 C8051F×××单片机.....9	2.6.2 机器周期、指令周期与指令时序...32
1.7.3 AD μ C812 单片机.....9	2.7 复位操作和复位电路.....32
1.7.4 华邦 W77 系列、W78 系列单片机.....9	2.7.1 复位操作.....32
1.8 PIC 系列单片机与 AVR 系列单片机.....10	2.7.2 复位电路设计.....33
1.8.1 PIC 系列单片机.....10	2.8 看门狗定时器 (WDT) 的使用.....33
1.8.2 AVR 系列单片机.....11	2.9 低功耗节电模式.....35
1.9 其他的嵌入式处理器简介.....11	2.9.1 空闲模式.....35
1.9.1 嵌入式 DSP 处理器.....12	2.9.2 掉电运行模式.....36
1.9.2 嵌入式微处理器.....12	2.10 AT89S52 单片机与 AT89S51 单片机的 差异.....36
思考题及习题.....13	2.10.1 AT89S52 单片机与 AT89S51 单片机片内硬件资源的差别.....37
第 2 章 AT89S51 单片机片内 硬件结构15	2.10.2 AT89S52 的引脚.....37
2.1 AT89S51 单片机的片内硬件结构.....15	2.10.3 AT89S52 单片机的存储器结构.....37
2.2 AT89S51 的引脚功能.....17	思考题及习题.....40
2.2.1 电源及时钟引脚.....17	第 3 章 C51 编程语言基础43
2.2.2 控制引脚.....17	3.1 C51 编程语言简介.....43
2.2.3 并行 I/O 口引脚.....18	3.1.1 C51 语言与 8051 汇编语言的比较...43
2.3 AT89S51 的 CPU.....19	3.1.2 C51 语言与标准 C 语言的比较...44
2.3.1 运算器.....19	3.2 C51 语言程序设计基础.....44
2.3.2 控制器.....21	3.2.1 C51 语言中的数据类型与 存储类型.....45
2.4 AT89S51 单片机存储器的结构.....21	

3.2.2 C51 语言的特殊功能寄存器及 位变量定义	49	5.3.1 LED 数码管的显示原理	100
3.2.3 C51 语言的绝对地址访问	51	5.3.2 LED 数码管的静态显示与 动态显示	103
3.2.4 C51 的基本运算	52	5.4 单片机控制 LED 点阵显示器显示	106
3.2.5 C51 的分支与循环程序结构	54	5.4.1 LED 点阵显示器的结构与 显示原理	106
3.2.6 C51 的数组	60	5.4.2 控制 16×16 LED 点阵显示屏的 案例	107
3.2.7 C51 的指针	62	5.5 单片机控制 LCD 1602 液晶显示器的 显示	109
3.3 C51 语言的函数	63	5.5.1 LCD 1602 液晶显示模块简介	110
3.3.1 函数的分类	63	5.5.2 单片机控制字符型 LCD 1602 显示 案例	116
3.3.2 函数的参数与返回值	64	5.6 键盘接口设计	119
3.3.3 函数的调用	65	5.6.1 键盘接口设计应解决的问题	119
3.3.4 中断服务函数	66	5.6.2 独立式键盘接口设计案例	120
3.3.5 变量及存储方式	66	5.6.3 矩阵式键盘的接口设计案例	127
3.3.6 宏定义与文件包含	66	5.6.4 非编码键盘扫描方式的选择	129
3.3.7 库函数	67	5.6.5 单片机与专用键盘/显示器芯片 HD7279 的接口设计	130
思考题及习题	68	思考题及习题	140
第 4 章 开发与仿真工具	69	第 6 章 中断系统的工作原理及 应用	142
4.1 Keil C51 的使用	69	6.1 AT89S51 中断技术概述	142
4.1.1 Keil C51 简介	69	6.2 AT89S51 中断系统结构	142
4.1.2 基本操作	69	6.2.1 中断请求源	143
4.1.3 添加用户源程序文件	71	6.2.2 中断请求标志寄存器	143
4.1.4 程序的编译与调试	73	6.3 中断允许与中断优先级的控制	144
4.1.5 项目的设置	75	6.3.1 中断允许寄存器 IE	145
4.2 Proteus 虚拟仿真工具介绍	77	6.3.2 中断优先级寄存器 IP	145
4.2.1 Proteus 功能简介	77	6.4 响应中断请求的条件	146
4.2.2 Proteus ISIS 的虚拟仿真	78	6.5 外部中断的响应时间	147
4.2.3 Proteus 的各种虚拟仿真调试工具	84	6.6 外部中断的触发方式选择	148
4.2.4 虚拟设计仿真举例	87	6.6.1 电平触发方式	148
思考题及习题	93	6.6.2 跳沿触发方式	148
第 5 章 单片机与开关、键盘以及 显示器件的接口设计	94	6.7 中断请求的撤销	148
5.1 单片机控制发光二极管显示	94	6.8 中断函数	149
5.1.1 单片机与发光二极管的连接	94	6.9 中断系统应用举例	150
5.1.2 I/O 端口的编程控制	95	6.9.1 单一外中断的应用	151
5.2 开关状态检测	98		
5.2.1 开关检测案例 1	98		
5.2.2 开关检测案例 2	99		
5.3 单片机控制 LED 数码管的显示	100		

6.9.2 两个外中断的应用	152
6.9.3 中断嵌套的应用	153
思考题及习题	155
第7章 定时器/计数器的的工作原理及应用	157
7.1 定时器/计数器的结构	157
7.1.1 定时器/计数器工作方式 寄存器 TMOD	158
7.1.2 定时器/计数器控制寄存器 TCON	158
7.2 定时器/计数器的4种工作方式	159
7.2.1 方式0	159
7.2.2 方式1	160
7.2.3 方式2	160
7.2.4 方式3	161
7.3 计数器对外部输入的计数信号的要求	162
7.4 定时器/计数器 T0、T1 的编程应用	163
7.4.1 P1 口控制 8 只 LED 每 0.5s 闪亮一次	163
7.4.2 计数器的应用	164
7.4.3 控制 P1.0 产生周期为 2ms 的 方波	166
7.4.4 利用 T1 控制发出 1kHz 的 音频信号	167
7.4.5 LED 数码管秒表的制作	169
7.4.6 测量脉冲宽度——门控位 GATEx 的 应用	171
7.4.7 LCD 时钟的设计	173
7.5 AT89S52 新增定时器/计数器 T2 简介	175
7.5.1 T2 的特殊功能寄存器 T2CON 和 T2MOD	175
7.5.2 T2 的 16 位自动重装载方式	177
7.5.3 T2 的捕捉方式	179
7.5.4 T2 的波特率发生器方式及 可编程时钟输出	179
思考题及习题	182

第8章 串行口的工作原理及应用	184
8.1 串行通信基础	184
8.1.1 并行通信与串行通信	184
8.1.2 同步通信与异步通信	185
8.1.3 串行通信的传输模式	186
8.1.4 串行通信的错误校验	186
8.2 串行口的结构	187
8.2.1 串行口控制寄存器 SCON	187
8.2.2 特殊功能寄存器 PCON	188
8.3 串行口的4种工作方式	189
8.3.1 方式0	189
8.3.2 方式1	193
8.3.3 方式2	194
8.3.4 方式3	195
8.4 多机通信	196
8.5 波特率的制定方法	197
8.5.1 波特率的定义	197
8.5.2 定时器 T1 产生波特率的计算	197
8.6 串行口应用设计案例	198
8.6.1 串行通信标准接口 RS232、RS422 与 RS485 简介	199
8.6.2 方式1 的应用设计	201
8.6.3 方式2 和方式3 的应用设计	208
8.6.4 多机通信的应用设计	210
8.6.5 单片机与 PC 串行通信的设计	216
8.6.6 PC 与单片机或与多个单片机的 串行通信	220
思考题及习题	221
第9章 单片机系统的并行扩展	223
9.1 系统并行扩展技术	223
9.1.1 系统并行扩展结构	223
9.1.2 地址空间分配	225
9.1.3 外部地址锁存器	227
9.2 外部数据存储器的并行扩展	228
9.2.1 常用的静态 RAM (SRAM) 芯片	228
9.2.2 读写片外 RAM 的操作时序	229
9.2.3 并行扩展数据存储器的设计	230

9.2.4	单片机外扩数据存储 RAM6264 的 案例设计	232
9.3	片内 Flash 存储器的编程	233
9.3.1	使用通用编程器的程序写入	234
9.3.2	使用下载线的 ISP 编程	234
9.4	E ² PROM 的并行扩展	235
9.4.1	并行 E ² PROM 芯片简介	235
9.4.2	AT89S51 单片机扩展 E ² PROM AT2864 的设计	236
9.5	AT89S51 扩展并行 I/O 芯片 82C55 的 设计	237
9.5.1	I/O 接口扩展概述	237
9.5.2	并行 I/O 芯片 82C55 简介	238
9.5.3	82C55 的 3 种工作方式	241
9.5.4	AT89S51 单片机与 82C55 的接口 设计	245
9.6	利用 74LSTTL 电路扩展并行 I/O 口	247
9.7	用 AT89S51 单片机的串行口 扩展并行 输入/输出口	248
9.7.1	用 74LS165 扩展并行输入口	248
9.7.2	用 74LS164 扩展并行输出口	249
	思考题及习题	250
第 10 章 AT89S51 单片机系统的串行 扩展 252		
10.1	单总线串行扩展	252
10.1.1	单总线扩展的典型应用—— DS18B20 的温度测量系统	252
10.1.2	设计案例: 单总线 DS18B20 温度测量系统	255
10.2	SPI 总线串行扩展	258
10.3	I ² C 总线的串行扩展	259
10.3.1	I ² C 串行总线系统的基本结构	259
10.3.2	I ² C 总线的数据传送规定	260
10.3.3	AT89S51 的 I ² C 总线扩展系统	263
10.3.4	I ² C 总线数据传送的模拟	264
10.3.5	利用 I ² C 总线扩展 E ² PROM AT24C02 的 IC 卡设计	267
	思考题及习题	273

第 11 章 AT89S51 单片机与 DAC、 ADC 的接口		274
11.1	单片机扩展 DAC 概述	274
11.2	单片机扩展并行 8 位 DAC0832 的 设计	275
11.2.1	DAC0832 简介	275
11.2.2	案例设计: 单片机扩展 DAC0832 的 程控电源	276
11.2.3	案例设计: 波形发生器的 制作	278
11.3	单片机扩展串行 10 位 DAC——TLC5615	282
11.3.1	串行 DAC——TLC5615 简介	282
11.3.2	案例设计: 单片机扩展串行 DAC——TLC5615 的设计	284
11.4	单片机扩展 ADC 概述	286
11.5	单片机并行扩展 8 位 A/D 转换器 ADC0809	287
11.5.1	案例设计: 单片机控制 ADC0809 进行 A/D 转换	288
11.5.2	案例设计: 两路输入的数字电压表 的设计	290
11.6	单片机扩展串行 8 位 A/D 转换器 TLC549	293
11.6.1	TLC549 的特性及工作原理	293
11.6.2	案例设计: 单片机扩展 TLC549 的 设计	294
11.7	单片机扩展串行 12 位 ADC——TLC2543 的设计	296
11.7.1	TLC2543 的特性及工作原理	296
11.7.2	案例设计: 单片机扩展 TLC2543 的 设计	298
	思考题及习题	300
第 12 章 单片机各种应用设计		302
12.1	单片机控制步进电机	302
12.2	单片机控制直流电机	304
12.3	频率计的制作	306
12.4	电话机拨号的模拟	309

12.5	8 位竞赛抢答器设计	314	14.3	过程通道干扰的抑制措施——隔离	343
12.6	基于时钟/日历芯片 DS1302 的电子钟设计	318	14.3.1	光电隔离的基本配置	343
	思考题及习题	324	14.3.2	光电隔离的实现	344
第 13 章	功率接口设计	325	14.4	空间干扰及抗干扰措施	345
13.1	单片机与外围集成数字驱动电路的接口	325	14.4.1	接地技术	345
13.2	单片机与光电耦合器的接口	327	14.4.2	屏蔽技术	347
13.2.1	晶体管输出型光电耦合器驱动接口	327	14.5	反电势干扰的抑制	348
13.2.2	晶闸管输出型光电耦合器驱动接口	329	14.6	印制电路板的抗干扰设计	349
13.3	单片机与继电器的接口	330	14.6.1	地线及电源线设计	349
13.3.1	单片机与直流电磁式继电器功率接口	330	14.6.2	去耦电容的配置	349
13.3.2	单片机与交流电磁式接触器的接口	331	14.6.3	印制电路板的布线的抗干扰设计	350
13.4	单片机与晶闸管的接口	332	14.7	软件抗干扰措施	350
13.4.1	单向晶闸管	332	14.7.1	软件抗干扰的一般方法	350
13.4.2	双向晶闸管	332	14.7.2	软件滤波	351
13.4.3	光耦合双向晶闸管驱动器	332	14.7.3	开关量输入/输出软件抗干扰设计	352
13.5	单片机与集成功率电子开关输出接口	334	14.8	看门狗定时器的使用	352
13.5.1	集成功率电子开关 TWH8751 简介	334		思考题及习题	353
13.5.2	集成功率电子开关 TWH8751 的典型应用	335	第 15 章	单片机应用系统的设计与调试	355
13.6	单片机与固态继电器的接口	336	15.1	单片机应用系统的设计步骤	355
13.6.1	固态继电器的特性与分类	336	15.2	单片机应用系统设计	356
13.6.2	固态继电器的应用	337	15.2.1	硬件设计应考虑的问题	356
13.7	低压开关量信号输出技术	339	15.2.2	典型的单片机应用系统	357
	思考题及习题	340	15.2.3	系统设计中的总线驱动	358
第 14 章	单片机应用系统抗干扰与可靠性设计	341	15.2.4	软件设计考虑的问题	360
14.1	干扰的来源	341	15.3	单片机应用系统的仿真开发与调试	360
14.2	供电系统干扰及其抗干扰措施	342		思考题及习题	365
14.2.1	电源噪声来源、种类及危害	342	附录 A	基础实验题目	366
14.2.2	供电系统的抗干扰设计	342	实验 1	单片机 I/O 口实验——LED 流水灯	366
			实验 2	单个外部中断实验	366
			实验 3	中断嵌套实验	367
			实验 4	定时器/计数器的定时实验	367
			实验 5	定时器/计数器的计数器实验	367
			实验 6	串口方式 0 扩展并行输出口实验	367

实验 7 串行口方式 0 扩展并行输入口 实验	368	题目 8 利用定时器在 P1.0 上产生周期为 2ms 的方波	374
实验 8 双单片机串行通信	368	题目 9 电话键盘及拨号的模拟	375
实验 9 扩展 82C55 并行 I/O 实验	369	题目 10 双机串行口方式 1 单工通信	375
实验 10 独立式键盘实验	369	题目 11 数码管显示 4×4 矩阵键盘的 键号	375
实验 11 矩阵式键盘扫描实验	369	题目 12 波形发生器的制作	376
实验 12 单片机控制 1602 液晶显示器 显示字符	369	题目 13 频率计的制作	376
实验 13 DAC0832 的 D/A 转换实验	370	题目 14 数字电压表设计	376
实验 14 ADC0809 的 A/D 转换实验	370	题目 15 单片机控制串行 DAC——TLC5615 的调压器	377
实验 15 I ² C 总线串行扩展——AT24C02 存储器读写	370	题目 16 单片机控制 16×16 阵列 LED 的 显示	377
附录 B 课程设计题目	372	题目 17 直流电机控制实验	378
题目 1 节日彩灯控制器的设计	372	题目 18 步进电机控制实验	378
题目 2 单一外中断的应用	372	附录 C 头文件"LCD1602.h"清单	379
题目 3 LED 数码管秒表的制作	373	附录 D 头文件"DS1302.h"清单	381
题目 4 音乐音符发生器的制作	373	参考文献	385
题目 5 用定时器设计的门铃	373		
题目 6 控制数码管循环显示单个数字	374		
题目 7 基于 DS18B20 的数字温度计设计	374		

第 1 章

单片机概述

【内容概要】Intel 的 8051 已成为国内外公认的 8 位单片机标准体系结构，它被许多厂家作为基核，并推出多种兼容机型，在世界范围内得到广泛应用。美国 ATMEL 公司的 AT89S5x 系列单片机，尤其是该系列中的 AT89S51/AT89S52 仍是目前应用较为广泛的机型，也是单片机初学者首选的入门机型。本章介绍单片机的基础知识、发展历史、发展趋势及应用领域，除了对 AT89S51 单片机进行简单介绍外，同时也对嵌入式处理器家族中其他成员，如 DSP、嵌入式微处理器也做了概括性介绍，以使读者对其有初步了解，为后续学习 DSP、嵌入式微处理器打下基础。

单片机自 20 世纪 70 年代问世以来，已广泛应用在工业自动化、自动控制与检测、智能仪器仪表、机电一体化设备、汽车电子、家用电器等各个方面。那么，什么是单片机呢？

1.1 什么是单片机

单片机就是在一片半导体硅片上，集成了中央处理单元（CPU）、存储器（RAM、ROM）、并行 I/O、串行 I/O、定时器/计数器、中断系统、系统时钟电路及系统总线的，用于测控领域的单片微型计算机，简称单片机。

由于单片机在使用时，通常处于测控系统的核心地位并嵌入其中，因而，国际上通常把单片机称为嵌入式控制器（Embedded MicroController Unit, EMCU）或微控制器（MicroController Unit, MCU）。而在我国，大部分工程技术人员则习惯使用“单片机”这一名称。

单片机的问世，是计算机技术发展史上的一个重要里程碑，它标志着计算机正式形成了通用计算机和嵌入式计算机两大分支。单片机芯片体积小、成本低，可广泛地嵌入如工业控制单元、机器人、智能仪器仪表、武器系统、家用电器、办公自动化设备、金融电子系统、汽车电子系统、玩具、个人信息终端以及通信产品中。

单片机按照其用途可分为通用型和专用型两大类。

通用型单片机就是其内部可开发的资源（如存储器、I/O 等各种片内外围功能部件等）全部提供给用户。用户可根据实际需要，设计一个以通用单片机芯片为核心，再配以外围接口电路及其他外围设备（简称外设），并编写相应的程序来控制功能，以满足各种不同测控系统的功能需求。通常所说的和本书所介绍的单片机都是指通用型单片机。

专用型单片机是专门针对某些产品的特定用途制作的，如各种家用电器中的控制器等。由于是用于特定用途，单片机芯片制造商常与产品厂家合作，设计和生产“专用”的单片机芯片。在

设计中, 已经对“专用”单片机的系统结构最简化、可靠性和成本的最佳化等方面都做了全面综合考虑, 所以“专用”单片机具有十分明显的综合优势。但是, 无论“专用”单片机在用途上有多么“专”, 其基本结构和工作原理都是以通用单片机为基础的。

1.2 单片机的发展历史

单片机根据其基本操作处理的二进制位数主要分为 8 位单片机、16 位单片机以及 32 位单片机。

单片机的发展历史可大致分为 4 个阶段。

第一阶段 (1974—1976 年): 单片机初级阶段。因工艺限制, 单片机采用双片的形式, 而且功能比较简单。1974 年 12 月, 仙童公司推出了 8 位的 F8 单片机, 实际上只包括了 8 位 CPU、64B RAM 和 2 个并行口。

第二阶段 (1976—1978 年): 低性能单片机阶段。1976 年 Intel 公司推出的 MCS-48 单片机 (8 位) 极大地促进了单片机的变革和发展。1977 年 GI 公司推出了 PIC1650, 但这个阶段的单片机仍然处于低性能阶段。

第三阶段 (1978—1983 年): 高性能单片机阶段。高性能单片机使应用跃上了一个新的台阶。这个阶段推出的单片机普遍带有串行 I/O 口、多级中断系统、16 位定时器/计数器, 片内 ROM、RAM 容量加大, 且寻址范围可达 64KB, 有的片内还带有 A/D 转换器。由于这类单片机性价比高, 因而得到了广泛应用。其典型代表产品为 Intel 公司的 MCS-51 系列、Mortorola 公司的 6801 单片机。此后, 各公司的与 MCS-51 系列兼容的 8 位单片机得到迅速发展, 新机型不断涌现。

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 年代是单片机制造业大发展时期, 这个时期的 Mortorola、Intel、Microchip、ATMEL、德州仪器 (TI)、三菱、日立、飞利浦、韩国 LG 等公司也开发了一大批性能优越的单片机, 它们极大地推动了单片机的推广与应用。近年来, 又有不少新型的高集成度的单片机涌现出来, 出现了单片机产品百花齐放, 丰富多彩的局面。目前, 除了 8 位单片机得到广泛应用之外, 16 位、32 位单片机也得到了广大用户的青睐。

1.3 单片机的特点

单片机是集成电路技术与微型计算机技术高速发展的产物。单片机体积小、价格低、应用方便、稳定可靠, 因此, 单片机的发展普及给工业自动化等领域带来了一场重大革命和技术进步。由于单片机很容易嵌入系统之中, 因而便于实现各种方式的检测或控制, 这是一般微型计算机根本做不到的。单片机只要在其外部适当增加一些必要的外围扩展电路, 就可以灵活地构成各种应用系统, 如工业自动控制系统、自动检测监视系统、数据采集系统、智能仪器仪表等。

为什么单片机应用如此广泛? 其主要原因如下。

(1) 简单方便, 易于掌握和普及。由于单片机技术是较容易掌握的普及技术, 单片机应用系统设计、组装、调试已经是一件容易的事情, 广大工程技术人员通过学习可很快地掌握其应用设计与调试技术。

(2) 功能齐全, 应用可靠, 抗干扰能力强。

(3) 发展迅速, 前景广阔。在短短几十年的时间里, 单片机就经过了 4 位机、8 位机、16 位机、32 位机等几大发展阶段。尤其是形式多样、集成度高、功能日臻完善的单片机不断问世, 更使得单片机在工业控制及自动化领域获得了长足发展和大量应用。近几年, 单片机内部结构越加完美, 配套的片内外围功能部件越来越完善, 一片芯片就是一个应用系统, 为应用系统向更高层次和更大规模的发展奠定了坚实基础。

(4) 嵌入容易, 用途广泛。单片机体积小、性价比高、灵活性强等特点在嵌入式微控制系统中具有十分重要的地位。在单片机问世前, 人们要想制作一套测控系统, 往往采用大量的模拟电路、数字电路、分立元件来完成, 它不但系统体积庞大, 且因为线路复杂, 连接点太多, 极易出现故障。单片机问世后, 电路组成和控制方式都发生了很大变化。在单片机应用系统中, 各种测控功能的实现绝大部分都已经由单片机的程序来完成, 其他电子线路则由片内的外围功能部件来替代。

1.4 单片机的应用

单片机具有软硬件结合、体积小, 很容易地嵌入各种应用系统中的优点。因此, 以单片机为核心的嵌入式控制系统在下述各个领域得到了广泛的应用。

1. 工业控制与检测

在工业领域, 单片机的主要应用有: 工业过程控制、智能控制、设备控制、数据采集和传输、测试、测量、监控等。在工业自动化的领域中, 机电一体化技术将发挥越来越重要的作用。在这种集机械、微电子和计算机技术为一体的综合技术(如机器人技术)中, 单片机发挥着非常重要的作用。

2. 仪器仪表

目前对仪器仪表的自动化和智能化要求越来越高。在智能仪器仪表中使用单片机不但有助于提高仪器仪表的精度和准确度、简化结构、减小体积且易于携带和使用, 而且能够加速仪器仪表向数字化、智能化、多功能化方向发展。

3. 消费类电子产品

单片机在家用电器中的应用已经非常普及, 例如, 洗衣机、电冰箱、微波炉、空调、电风扇、电视机、加湿机、消毒柜等。在这些设备中嵌入了单片机后, 使其功能与性能大大提高, 并实现了智能化、最优化控制。

4. 通信

在调制解调器、各类手机、传真机、程控电话交换机、信息网络以及各种通信设备中, 单片机也已经得到了广泛应用。

5. 武器装备

在现代化的武器装备中, 如飞机、军舰、坦克、导弹、鱼雷制导、智能武器装备、航天飞机导航系统等, 都有单片机的嵌入。

6. 各种终端及计算机外部设备

计算机网络终端设备(如银行终端)以及计算机外部设备(如打印机、硬盘驱动器、绘图机、传真机、复印机等)中都使用了单片机作为控制器。

7. 汽车电子设备

单片机已经广泛地应用在各种汽车电子设备中,如汽车安全系统、汽车信息系统、智能自动驾驶系统、汽车卫星导航系统、汽车紧急请求服务系统、汽车防撞监控系统、汽车自动诊断系统以及汽车黑匣子等。

8. 分布式多机系统

在比较复杂的多节点测控系统中,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。在这种系统中,单片机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的测量和控制。

综上所述,从工业自动化、自动控制、智能仪器仪表、消费类电子产品等方面,直到国防尖端技术领域,单片机都发挥着十分重要的作用。

1.5 单片机的发展趋势

单片机的发展趋势将是向大容量、高性能、外设部件内装化等方面发展。

1. CPU 的改进

(1) 增加数据总线的宽度。例如,各种 16 位单片机和 32 位单片机,其数据处理能力要优于 8 位单片机。另外,8 位单片机内部采用 16 位数据总线,其数据处理能力明显优于一般 8 位单片机。

(2) 采用双 CPU 结构,以提高数据处理能力。

2. 存储器的发展

(1) 片内程序存储器普遍采用闪烁 (Flash) 存储器。闪烁存储器能在 +5V 下读写,既有静态 RAM 的读写操作简便,又有在掉电时数据不会丢失的优点。单片机可不用扩展外部程序存储器,这大大简化了系统的硬件结构,有的单片机片内程序存储器容量可达 128KB,甚至更多。

(2) 加大片内数据存储器存储容量,如 8 位单片机 PIC18F452 片内集成了 4KB 的 RAM,以满足动态数据存储的需要。

3. 片内 I/O 的改进

(1) 增加并行口的驱动能力,以减少外部驱动芯片。有的单片机可以直接输出大电流和高电压,以便能直接驱动 LED 和 VFD (荧光显示器)。

(2) 有些单片机设置了一些特殊的串行 I/O 功能,为构成分布式、网络化系统提供了方便条件。

(3) 引入了数字交叉开关,改变了以往片内外设与外部 I/O 引脚的固定对应关系。交叉开关是一个大的数字开关网络,可通过编程设置交叉开关控制寄存器,将片内的计数器/定时器、串行口、中断系统、A/D 转换器等片内外设灵活配置出现在端口 I/O 引脚,允许用户根据自己的特定应用,将内部外设资源分配给端口 I/O 引脚。

4. 低功耗

目前单片机产品均为 CMOS 化芯片,具有功耗小的优点。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消耗的电流仅在 μA 或 nA 量级,非常适合于电池供电的便携式、手持式的仪器仪表以及其他消费类电子产品。

5. 外围电路内装化

随着集成电路技术及工艺的不断发展,把所需的众多外围电路全部装入单片机内,即系统的单片化是目前单片机发展趋势之一,一片芯片就是一个“测控”系统。

6. 编程及仿真的简单化

目前大多数的单片机都支持程序的在线编程,也称在系统编程 ISP (In System Program),编程时只需一条与 PC 相连的 ISP 下载线(多为 USB 口或串口),就可以把仿真调试通过的程序代码从 PC 在线写入单片机的 Flash 存储器内,省去编程器。某些机型还支持在线应用编程(IAP),可在线升级或销毁单片机的应用程序,省去了仿真器。

综上所述,单片机正在向多功能、高性能、高速度、低电压、低功耗、低价格(几元钱)、外设电路内装化以及片内程序存储器、数据存储器容量不断增大的方向发展。

7. 实时操作系统的使用

单片机可配置实时操作系统 RTX51, RTX51 是一个针对 8051 单片机的多任务内核。RTX51 实时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设计、编程和调试,它已完全集成到 C51 编译器中,使用简单方便。

1.6 MCS-51 系列与 AT89S5x 系列单片机

20 世纪 80 年代以来,单片机的发展非常迅速,其中 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机是一款设计成功、易于掌握并在世界范围得到广泛普及应用的机型。

1.6.1 MCS-51 系列单片机

MCS 是 Intel 公司生产的单片机的系列符号, MCS-51 系列单片机是 Intel 公司在 MCS-48 系列基础上,于 20 世纪 80 年代初发展起来的,是最早进入我国并在我国得到广泛应用的机型。

MCS-51 的基本型产品主要包括 8031、8051、8751(对应的低功耗型 80C31、80C51、87C51)和增强型产品 8032、8052、8752。

1. 基本型

基本型的典型产品有 8031、8051、8751。8031 内部包括 1 个 8 位 CPU、128B RAM、21 个特殊功能寄存器(SFR)、4 个 8 位并行 I/O 口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时器/计数器、5 个中断源,但片内无程序存储器,因此需外部扩展程序存储器芯片。

8051 是在 8031 的基础上,片内又集成有 4KB ROM 作为程序存储器。所以,8051 是一个程序不超过 4KB 的小系统。ROM 内的程序是芯片厂商制作芯片时代为用户烧制的,主要用在程序已定且批量大的单片机产品中。

8751 与 8051 相比,片内集成的 4KB 的 EPROM 取代了 8051 的 4KB ROM,从而构成了一个程序不大于 4KB 的小系统。用户可以将程序固化在 EPROM 中,EPROM 中的内容可反复擦写修改。8031 外部扩展一片 4KB 的 EPROM 就相当于一片 8751。

2. 增强型

Intel 公司在 MCS-51 系列基本型产品基础上,又推出了增强型系列产品,即 52 子系列,其典型产品为 8032、8052、8752。它们的内部 RAM 增至了 256B,8052、8752 的片内程序存储器扩展到 8KB,16 位定时器/计数器增至 3 个,6 个中断源。

表 1-1 列出了基本型和增强型的 MCS-51 系列单片机片内的基本硬件资源。

表 1-1

MCS-51 系列单片机的片内硬件资源

	型号	片内程序存储器	片内数据存储器 (B)	I/O 口线 (位)	定时器/计数器 (个)	中断源个数 (个)
基本型	8031	无	128	32	2	5
	8051	4KB ROM	128	32	2	5
	8751	4KB EPROM	128	32	2	5
增强型	8032	无	256	32	3	6
	8052	8KB ROM	256	32	3	6
	8752	8KB EPROM	256	32	3	6

1.6.2 AT89S5x 系列单片机

1. 8051 内核单片机与 AT89S5x 系列单片机

MCS-51 系列单片机的代表产品为 8051, 目前世界其他公司推出的兼容扩展型单片机都是在 8051 内核的基础上进行了功能的增减。20 世纪 80 年代中期以后, Intel 公司已把精力集中在高档 CPU 芯片的研发上, 逐渐淡出单片机的开发和生产。由于 MCS-51 单片机设计上的成功以及较高的市场占有率, 它得到了世界众多公司的青睐。Intel 公司以专利转让或技术交换的形式把 8051 的内核技术转让给了许多芯片生产厂家, 如 ATMEL、Philips、CygnaI、ANALOG、LG、ADI、Maxim、DEVICES、DALLAS 等公司。这些厂家生产的兼容机型均采用 8051 的内核结构, 指令系统相同, 且采用 CMOS 工艺; 有的公司还在 8051 内核的基础上又增加了一些片内外设模块, 使其集成度更高, 功能和市场竞争力更强。人们常用 8051 (80C51, “C” 表示采用 CMOS 工艺) 来称呼所有具有 8051 内核、且使用 8051 指令系统的单片机, 人们习惯把这些兼容型扩展型等各种衍生品种统称为 8051 单片机。

在众多的兼容扩展型等衍生机型中, 美国 ATMEL 公司的 AT89 系列, 尤其是该系列中的 AT89C5x/AT89S5x 单片机在世界 8 位单片机市场中占有较大的份额。

ATMEL 公司是美国 20 世纪 80 年代中期成立并发展起来的半导体公司。该公司于 1994 年以 E²PROM 技术与 Intel 公司的 80C51 内核的使用权进行了交换。ATMEL 公司的技术优势是其闪存 (Flash) 存储器技术, 它将 Flash 技术与 80C51 内核相结合, 形成了片内带有 Flash 存储器的 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机。AT89C5x/AT89S5x 系列单片机与 MCS-51 系列单片机在原有功能、引脚以及指令系统方面完全兼容, 系列中的某些品种又增加了一些新的功能, 如看门狗定时器 WDT、ISP (在线编程) 及 SPI 串行接口等, 片内 Flash 存储器可直接在线 (ISP) 重复编程。此外, AT89C5x/AT89S5x 还支持两种节电工作方式, 非常适于电池供电或其他低功耗场合。

AT89S51 片内 4KB Flash 存储器可在线编程或使用编程器重复编程, 且价格较低, 因此 AT89S5x 单片机是目前 8051 单片机的典型芯片之一。本书以 AT89S51 单片机为典型机型, 介绍其工作原理与应用设计。

AT89S5x 的 “S” 档系列是 ATMEL 公司继 AT89C5x 系列之后推出的新机型, “S” 表示含有串行下载的 Flash 存储器, 代表产品为 AT89S51 和 AT89S52。AT89C51 单片机已不再生产, 可用 AT89S51 直接代换。与 AT89C5x 系列相比, AT89S5x 系列的时钟频率以及运算速度都有了较大的提高。例如, AT89C51 工作频率的上限为 24MHz, 而 AT89S51 则为 33MHz。AT89S51 片内集成有双数据指针 DPTR、看门狗定时器、具有低功耗空闲工作方式和掉电工作方式, 另外还增加了 5 个特殊功能寄存器。

从表 1-1 可看出 AT89S51 与 AT89S52 单片机的差别。AT89S51 片内有 4KB Flash 存储器、128B