

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 (第2版)

Microcontroller Principle and Interface
Technology (2nd Edition)

张毅刚 王少军 付宁 编著

- 以接口设计为主线、应用设计为目的
- 全面介绍单片机原理及各种接口技术
- 提供丰富的设计案例，提高设计效率



名家系列

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

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 (第2版)

Microcontroller Principle and Interface
Technology (2nd Edition)

张毅刚 王少军 付宁 编著



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 / 张毅刚, 王少军, 付宁编著. — 2版. — 北京: 人民邮电出版社, 2015. 1
21世纪高等学校计算机规划教材. 名家系列
ISBN 978-7-115-37482-0

I. ①单… II. ①张… ②王… ③付… 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(2014)第281916号

内 容 提 要

本书详细介绍美国 Atmel 公司的 AT89S51 单片机的硬件结构与工作原理、8051 汇编语言指令系统, 并从应用设计的角度介绍 AT89S51 单片机的各种硬件扩展接口设计、接口驱动程序设计, 以及 AT89S51 单片机应用系统设计, 同时给出较多的典型设计案例。另外, 本书还对 AT89S51 单片机应用系统设计中的各种流行器件加以介绍。

本书可作为各类工科院校电子技术、计算机、工业自动化、自动控制、智能仪器仪表、电气工程、机电一体化等专业单片机课程教材, 也可供从事单片机应用设计的工程技术人员参考。

-
- ◆ 编 著 张毅刚 王少军 付 宁
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: 20.75 2015 年 1 月第 2 版
字数: 543 千字 2015 年 1 月河北第 1 次印刷
-

定价: 45.00 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: 京崇工商广字第 0021 号

8051 内核单片机因其获得的巨大成功，已成为国内外公认的 8 位单片机的标准体系结构。许多厂家以其作为基核推出的各种高度集成化的兼容机型，在世界范围内得到广泛应用。8051 内核单片机中的典型机型 AT89S51 单片机具有结构简单、清晰、易学的特点，不仅是目前各种 8051 内核单片机中最具代表性的入门机型，也是单片机初学者最容易掌握的机型。因此，以 8051 内核技术为主导的各种基本型、增强型及扩展型单片机，仍是目前我国多所高校讲授的主流机型。

本书为《单片机原理及接口技术》教材的第 2 版。自 2008 年第 1 版出版以来，已 12 次印刷，被全国多所院校选为“单片机原理”课程的教材。第 2 版与第 1 版的差别主要有以下几点。

- (1) 机型由 AT89C51 换为 AT89S51；
- (2) 讲授顺序做了改动，将键盘/开关与显示器一章的内容提前，便于读者进行系统运行结果的验证；
- (3) 案例设计尽量采用当今流行的器件，并将第 1 版中落后的器件与内容删去。

本书第 2 版反映了作者负责的“单片机原理”国家精品课程的教学内容与教学方法改革的成果，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) 本书采用 8051 汇编语言编程，而汇编语言是直接控制底层硬件的语言。掌握该编程，可为后续学习嵌入式微处理器的汇编语言及底层硬件控制打下良好的基础。如果讲授 C51 语言编程，可选用作者主编的本系列教材中的《单片机原理及接口技术（C51 编程）》一书。

(2) 考虑到目前虚拟仿真工具 Proteus 的使用已经较为普及，因此本书各章后的习题留有使用 Proteus 进行虚拟仿真设计的综合性设计习题，也可选用附录 A、附录 B 中的题目作为设计习题。如果有条件的话，这些综合性设计习题也可在相应的硬件实验系统上实现。

(3) 删去第 1 版中的单片机扩展 E²POM 的内容。原因是单片机中都集成有不同容量的 Flash 存储器作为程序存储器，所以扩展 E²POM 的工作可省去。

本书共分为 13 章，涵盖了单片机应用技术的基本内容。第 1 章介绍有关单片机的基本概念，对目前流行的各类单片机及嵌入式处理器进行介绍。第 2 章对片内的基本硬件结构及硬件资源进行介绍。第 3 章介绍 8051 汇编语言指令系统及基本的常用程序设计。第 4 章对 AT89S51 的中断系统进行介绍。第 5 章介绍单片机通过片内 I/O 如何控制 LED、LCD 的显示，以及开关与键盘检测的实现。第 6 章、第 7 章分别介绍片内硬件资源：定时器及异步串行口的工作原理及应用设计。第 8 章介绍系统的并行扩展，包括数据存储器、E²PROM 的扩展

及片内 Flash 存储器的编程。第 9 章介绍 I/O 的并行扩展。第 10 章介绍目前流行的串行扩展技术,如单总线、SPI 串行接口、I²C 总线,以及相应的应用设计举例。第 11 章介绍模/数与数/模转换接口电路的设计。第 12 章对单片机应用中的其他常用接口的设计作以介绍。第 13 章介绍应用系统的设计与调试,并对系统设计中的抗干扰与可靠性设计做以简要介绍。最后在附录 A 和附录 B 中给出基础实验题目与课程设计题目,可用于实验教学和课程设计教学环节。

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。

本书由哈尔滨工业大学张毅刚教授担任主编并完成了全书整体架构、内容选取和确定,以及全书的统稿工作,此外还完成了部分章节的编写。哈尔滨工业大学自动化测试与控制研究所的付宁与王少军担任副主编。参加本书编写工作的还有刘大同、刘旺、崔继海、梁军、杨智明、赵光权、马云彤、俞洋、周建宝和张京超等。

由于作者学识有限,书中的错误及疏漏之处敬请读者批评指正,并请与出版社编辑(wuenyu@ptpress.com.cn)或作者联系(邮箱:zyg@hit.edu.cn)。

作者

2014 年 9 月于哈尔滨工业大学

目 录

第 1 章 单片机概述	1	2.4 AT89S51 单片机存储器的结构	20
1.1 单片机简介	1	2.4.1 程序存储器空间	21
1.2 单片机的发展历史	2	2.4.2 数据存储器空间	21
1.3 单片机的特点	2	2.4.3 特殊功能寄存器	22
1.4 单片机的应用	3	2.4.4 位地址空间	25
1.5 单片机的发展趋势	4	2.5 AT89S51 单片机的并行 I/O 端口	26
1.6 MCS-51 系列与 AT89S5x 系列单片机	5	2.5.1 P0 口	26
1.6.1 MCS-51 系列单片机	5	2.5.2 P1 口	27
1.6.2 AT89S5x 系列单片机简介	6	2.5.3 P2 口	28
1.7 各种衍生品种的 8051 单片机	8	2.5.4 P3 口	29
1.7.1 STC 系列单片机	8	2.6 时钟电路与时序	30
1.7.2 C8051Fxxx 单片机	9	2.6.1 时钟电路设计	30
1.7.3 AD μ C812 单片机	9	2.6.2 时钟周期、机器周期、指令周期与 指令时序	31
1.7.4 华邦 W77 系列、W78 系列单片机	9	2.7 复位操作和复位电路	32
1.8 PIC 系列单片机与 AVR 系列单片机	10	2.7.1 复位操作	32
1.8.1 PIC 系列单片机	10	2.7.2 复位电路设计	32
1.8.2 AVR 系列单片机	11	2.8 AT89S51 单片机的最小应用系统	33
1.9 其他的嵌入式处理器简介	11	2.9 看门狗定时器 (WDT) 的使用	33
1.9.1 嵌入式 DSP 处理器	11	2.10 低功耗节电模式	34
1.9.2 嵌入式微处理器	12	2.10.1 空闲模式	35
思考题及习题	13	2.10.2 掉电运行模式	35
第 2 章 AT89S51 单片机的片内 硬件结构	14	思考题及习题	35
2.1 AT89S51 单片机的硬件组成	14	第 3 章 8051 指令系统与 编程基础	37
2.2 AT89S51 的引脚功能	16	3.1 指令系统概述	37
2.2.1 电源及时钟引脚	16	3.2 指令格式	37
2.2.2 控制引脚	16	3.3 指令系统的寻址方式	38
2.2.3 并行 I/O 口引脚	17	3.4 8051 指令系统分类介绍	40
2.3 AT89S51 的 CPU	18	3.4.1 数据传送类指令	41
2.3.1 运算器	18	3.4.2 算术运算类指令	44
2.3.2 控制器	19		

3.4.3 逻辑操作类指令.....	48	第5章 I/O口应用——显示与 开关/键盘输入.....	90
3.4.4 控制转移类指令.....	50	5.1 单片机控制发光二极管的显示.....	90
3.4.5 位操作类指令.....	53	5.1.1 单片机与发光二极管的连接.....	90
3.5 8051 指令汇总.....	54	5.1.2 单片机 I/O 端口控制发光二极管的 编程.....	91
3.6 某些指令的说明.....	58	5.2 开关状态检测.....	92
3.7 8051 汇编语言程序设计基础.....	59	5.3 单片机控制 LED 数码管的显示.....	93
3.7.1 编程语言概述.....	59	5.3.1 LED 数码管显示原理.....	93
3.7.2 汇编语言语句和格式.....	60	5.3.2 LED 数码管的显示方式.....	95
3.7.3 伪指令.....	61	5.3.3 LED 数码管静态显示设计.....	97
3.7.4 汇编语言源程序的汇编.....	63	5.3.4 LED 数码管动态显示设计.....	98
3.8 8051 汇编语言程序设计举例.....	64	5.4 单片机控制 LED 点阵显示器显示.....	99
3.8.1 子程序的设计.....	64	5.4.1 LED 点阵显示器结构与 显示原理.....	99
3.8.2 查表程序设计.....	65	5.4.2 控制 16×16 LED 点阵显示屏的 设计.....	101
3.8.3 分支转移程序设计.....	67	5.5 单片机控制 LCD 1602 液晶显示器的 显示.....	105
3.8.4 循环程序设计.....	70	5.5.1 LCD 1602 液晶显示模块简介.....	105
思考题及习题.....	72	5.5.2 单片机控制字符型 LCD 1602 的 显示案例.....	110
第4章 AT89S51 单片机的 中断系统.....	74	5.6 键盘接口设计.....	112
4.1 AT89S51 中断技术概述.....	74	5.6.1 键盘接口设计应解决的问题.....	112
4.2 AT89S51 中断系统结构.....	74	5.6.2 独立式键盘的设计.....	113
4.2.1 中断请求源.....	75	5.6.3 矩阵式键盘的设计.....	116
4.2.2 中断请求标志寄存器.....	75	5.6.4 单片机与专用键盘/显示器 芯片 HD7279 的接口设计.....	120
4.3 中断允许与中断优先级的控制.....	76	5.7 AT89S51 单片机与 BCD 码拨盘的 接口设计.....	129
4.3.1 中断允许寄存器 IE.....	77	思考题及习题.....	131
4.3.2 中断优先级寄存器 IP.....	78	第6章 AT89S51 单片机的 定时器/计数器.....	132
4.4 响应中断请求的条件.....	80	6.1 定时器/计数器的结构.....	132
4.5 外部中断的响应时间.....	81	6.1.1 工作方式控制寄存器 TMOD.....	133
4.6 外部中断的触发方式选择.....	81		
4.6.1 电平触发方式.....	81		
4.6.2 跳沿触发方式.....	81		
4.7 中断请求的撤销.....	82		
4.8 中断服务子程序的设计.....	83		
4.9 多外部中断源系统设计.....	85		
4.9.1 中断和查询结合的方法.....	85		
4.9.2 用优先权编码器扩展外部中断源.....	86		
思考题及习题.....	89		

6.1.2 定时器/计数器控制 寄存器 TCON	133	7.5.5 PC 与单片机或多个单片机的 串行通信接口设计	170
6.2 定时器/计数器的 4 种工作方式	134	思考题及习题	171
6.2.1 方式 0	134	第 8 章 AT89S51 单片机外部存储器的 并行扩展	172
6.2.2 方式 1	135	8.1 系统并行扩展结构	172
6.2.3 方式 2	135	8.2 地址空间分配和外部地址锁存器	173
6.2.4 方式 3	136	8.2.1 存储器地址空间分配	173
6.3 对外部输入的计数信号的要求	138	8.2.2 外部地址锁存器	177
6.4 定时器/计数器的编程和应用	138	8.3 静态数据存储器 RAM 的并行扩展	178
6.4.1 方式 1 的应用	138	8.3.1 常用的静态 RAM (SRAM) 芯片	178
6.4.2 方式 2 的应用	140	8.3.2 外扩数据存储器的读写 操作时序	179
6.4.3 方式 3 的应用	143	8.3.3 AT89S51 单片机与 RAM 的接口 设计与软件编程	180
6.4.4 门控制位 GATE _x 的应用—— 测量脉冲宽度	145	8.4 片内 Flash 存储器的编程	184
6.4.5 实时时钟的设计	146	8.4.1 使用通用编程器的程序写入	185
思考题及习题	148	8.4.2 使用下载线的 ISP 编程	185
第 7 章 AT89S51 单片机的 串行口	149	8.5 E ² PROM 的并行扩展	186
7.1 串行口的结构	149	8.5.1 并行 E ² PROM 芯片简介	186
7.1.1 串行口控制寄存器 SCON	150	8.5.2 E ² PROM 的工作方式	187
7.1.2 特殊功能寄存器 PCON	151	8.5.3 AT89S51 单片机扩展 E ² PROM AT2864 的设计	188
7.2 串行口的 4 种工作方式	151	思考题及习题	189
7.2.1 方式 0	151	第 9 章 AT89S51 单片机的 I/O 扩展	191
7.2.2 方式 1	154	9.1 I/O 接口扩展概述	191
7.2.3 方式 2	155	9.1.1 扩展的 I/O 接口功能	191
7.2.4 方式 3	157	9.1.2 I/O 端口的编址	191
7.3 多机通信	157	9.1.3 I/O 数据的传送方式	192
7.4 波特率的制定方法	159	9.1.4 I/O 接口电路	192
7.4.1 波特率的定义	159	9.2 AT89S51 扩展 I/O 接口芯片 82C55 的 设计	193
7.4.2 定时器 T1 产生波特率的计算	159	9.2.1 82C55 芯片简介	193
7.5 串行口的应用	160		
7.5.1 串行通信接口标准	160		
7.5.2 串行通信设计需要考虑的问题	163		
7.5.3 双机串行通信软件编程	164		
7.5.4 PC 与单片机的点对点串行 通信接口设计	169		

9.2.2 工作方式选择控制字及端口 PC 置位/复位控制字.....	194	11.2.2 AT89S51 单片机与 8 位 D/A 转换器 0832 的接口设计.....	231
9.2.3 82C55 的 3 种工作方式.....	196	11.3 AT89S51 单片机与 12 位 D/A 转换器 AD667 的接口设计.....	235
9.2.4 AT89S51 单片机与 82C55 的接口 设计.....	200	11.3.1 12 位 D/A 转换器 AD667 简介 ...	236
9.3 利用 74LSTTL 电路扩展并行 I/O 口... ..	201	11.3.2 AD667 与 AT89S51 单片机的接口 设计.....	237
9.4 用 AT89S51 单片机的串行口扩展 并行口	203	11.3.3 AD667 使用中的技术细节	238
9.4.1 用 74LS165 扩展并行输入口	203	11.4 AT89S51 与串行输入的 12 位 D/A 转换器 AD7543 的接口设计	241
9.4.2 用 74LS164 扩展并行输出口	204	11.4.1 AD7543 简介	241
9.5 用 I/O 口控制的声音报警接口.....	205	11.4.2 AT89S51 扩展 AD7543 的 接口设计.....	242
9.5.1 蜂鸣音报警接口.....	205	11.5 单片机扩展 A/D 转换器概述	243
9.5.2 音乐报警接口.....	206	11.6 单片机扩展并行 8 位 A/D 转换器 ADC0809.....	244
思考题及习题	206	11.6.1 ADC0809 简介	244
第 10 章 单片机系统的串行 扩展技术.....	208	11.6.2 AT89S51 单片机与 ADC0809 的 接口设计.....	245
10.1 单总线串行扩展	208	11.7 单片机扩展 12 位串行 ADC-TLC2543 的设计	247
10.1.1 单总线系统的典型应用—— DS18B20 的温度测量系统.....	208	11.7.1 TLC2543 的特性及工作原理	248
10.1.2 单总线 DS18B20 温度测量系统的 设计.....	211	11.7.2 AT89S51 单片机扩展 TLC2543 的 设计.....	249
10.2 SPI 总线串行扩展	215	11.8 AT89S51 与双积分型 A/D 转换器 MC14433 的接口	251
10.3 I ² C 总线的串行扩展.....	216	11.8.1 MC14433 A/D 转换器简介.....	252
10.3.1 I ² C 串行总线系统的基本结构	217	11.8.2 MC14433 与 AT89S51 单片机的 接口	253
10.3.2 I ² C 总线的数据传送规定	217	11.9 AT89S51 单片机与 V/F 转换器的 接口	255
10.3.3 AT89S51 的 I ² C 总线系统扩展.....	220	11.9.1 用 V/F 转换器实现 A/D 转换的 原理.....	255
10.3.4 I ² C 总线数据传送的模拟	221	11.9.2 常用 V/F 转换器 LMX31 简介....	255
10.3.5 利用 I ² C 总线扩展 E ² PROM AT24C02 的 IC 卡设计.....	223	11.9.3 V/F 转换器与 AT89S51 单片机的 接口设计.....	256
思考题及习题	227		
第 11 章 AT89S51 单片机与 DAC、 ADC 的接口.....	229		
11.1 单片机扩展 D/A 转换器概述	229		
11.2 单片机扩展并行 8 位 DAC0832 的 设计	230		
11.2.1 DAC0832 简介	230		

11.9.4 V/F 转换的应用设计.....	257	13.2.5 软件的总体框架设计.....	290
思考题及习题	258	13.3 单片机应用系统的仿真开发与	
第 12 章 其他常用的接口设计	260	调试.....	291
12.1 步进电机的控制	260	13.4 单片机应用系统的抗干扰与	
12.1.1 控制步进电机的工作原理.....	260	可靠性设计.....	296
12.1.2 控制步进电机的设计案例.....	261	13.4.1 AT89S51 片内看门狗定时器的	
12.2 直流电机的控制	262	使用.....	296
12.2.1 控制直流电机的工作原理.....	263	13.4.2 指令冗余和软件陷阱.....	297
12.2.2 控制直流电机的设计案例.....	263	13.4.3 软件滤波.....	299
12.3 基于时钟/日历芯片 DS1302 的电子钟		13.4.4 开关量输入/输出软件	
设计.....	265	抗干扰设计	302
12.3.1 DS1302 的工作原理.....	265	13.4.5 过程通道干扰的抑制措施——	
12.3.2 DS1302 的应用设计案例.....	268	隔离.....	303
12.4 AT89S51 单片机与微型打印机 TP μ P-		13.4.6 印制电路板抗干扰布线的	
40A/16A 的接口.....	274	基本原则.....	304
12.4.1 TP μ P-40A/16A 微型打印机		思考题及习题	307
简介.....	274	附录 A 基础实验题目	308
12.4.2 字符代码及打印命令.....	276	实验 1 单片机 I/O 口应用——控制 LED	
12.4.3 TP μ P-40A/16A 与 AT89S51 单片机		流水灯	308
接口设计.....	277	实验 2 单个外部中断实验	308
12.5 单片机与 I/O 功率驱动的接口设计... 278		实验 3 中断嵌套实验	309
12.5.1 AT89S51 与外围集成数字驱动电路		实验 4 定时器/计数器的定时实验.....	309
的接口.....	278	实验 5 定时器/计数器的计数器实验.....	309
12.5.2 AT89S51 与光电耦合器的		实验 6 串口方式 0 扩展并行输出口	
接口.....	280	实验.....	309
12.5.3 AT89S51 与集成功率电子开关输出		实验 7 串行口方式 0 扩展并行输入口	
接口.....	283	实验.....	310
思考题及习题	284	实验 8 双单片机串行通信	310
第 13 章 AT89S51 单片机的应用		实验 9 扩展 82C55 并行 I/O 实验	311
设计与调试.....	285	实验 10 独立式键盘实验	311
13.1 单片机应用系统的设计步骤	285	实验 11 矩阵式键盘扫描实验	311
13.2 单片机应用系统设计	286	实验 12 单片机控制 1602 液晶显示器显示	
13.2.1 硬件设计应考虑的问题.....	286	字符.....	311
13.2.2 典型的单片机应用系统.....	287	实验 13 DAC0832 的 D/A 转换实验.....	312
13.2.3 系统设计中的总线驱动.....	288	实验 14 ADC0809 的 A/D 转换实验.....	312
13.2.4 软件设计考虑的问题.....	290		

实验 15 I ² C 总线串行扩展——AT24C02 存储器读写	312	题目 10 双机串行口方式 1 单工通信	317
附录 B 课程设计题目	314	题目 11 数码管显示 4×4 矩阵键盘的 键号	317
题目 1 节日彩灯控制器的设计	314	题目 12 波形发生器的制作	317
题目 2 单一外中断的应用	314	题目 13 频率计的制作	318
题目 3 LED 数码管秒表的制作	315	题目 14 数字电压表设计	318
题目 4 音乐音符发生器的制作	315	题目 15 单片机控制串行 DAC: AD7543 的 调压器	319
题目 5 用定时器设计的门铃	315	题目 16 单片机控制 16×16 阵列 LED 的 显示	319
题目 6 控制数码管循环显示单个数字	316	题目 17 直流电机控制实验	319
题目 7 基于 DS18B20 的数字温度计 设计	316	题目 18 步进电机控制实验	320
题目 8 利用定时器在 P1.0 上产生周期 为 2ms 的方波	316	参考文献	321
题目 9 电话键盘及拨号的模拟	316		

第 1 章

单片机概述

【内容概要】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。Intel 公司的 8051 单片机已成为国内外公认的标准体系结构，被世界许多厂商作为基核，推出了多种兼容机型，已在世界范围内得到广泛应用。在众多的兼容机型中，美国 Atmel 公司的 AT89S5x 系列，尤其是该系列中的 AT89S51（或 AT89S52）单片机，非常适合作为单片机初学者的入门机型。本章除了对 AT89S51 单片机作以简单介绍外，还对嵌入式处理器家族中其他成员，如 DSP、嵌入式微处理器，进行概括性介绍，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，已广泛地应用在工业自动化、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 单片机简介

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，所以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）。在我国，大部分工程技术人员则习惯于使用“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，可广泛地嵌入到工业控制单元、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 等各种外围功能部件）能够全部提供给用户。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实现其测控功能，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而制作的。例如，各种家用电器中的控制器等。由于用于特定用途，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):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):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):较高性能单片机阶段。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,所以得到广泛应用。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—现在):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,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位单片机也得到广大用户的青睐,得到普及。

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到系统之中,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?主要是单片机系统具有以下优点。

(1)简单方便,易于掌握和普及。由于单片机技术是较为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长足发展和大量应用。近几年, 单片机内部结构愈加完美, 配套的片内外设部件越来越完善, 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, 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设部件来替代。

1.4 单片机的应用

单片机具有软硬件结合、体积小, 很容易嵌入到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, 有助于提高仪器仪表的精度和准确度, 简化结构, 减小体积而易于携带和使用, 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、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

单片机将向大容量、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。

(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,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。例如,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) 引入数字交叉开关,改变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,将片内的计数器/定时器、串行口、中断系统、A/D 转换器片内外设资源灵活配置给端口 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。这类单片机普遍具有空闲状态、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,把所需的众多外设及外围电路全部装入单片机内,即系统的单片化是目前的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(In System Programming, ISP),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,省去编程器与仿真器。某些机型还支持在线应用编程(In Application Programming, IAP),可在线升级或销毁单片机的应用程序。

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,已完全集成到C51编译器中,使用简单方便。

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。

1.6 MCS-51 系列与 AT89S5x 系列单片机

自20世纪80年代以来,单片机的发展非常迅速,其中Intel公司推出的MCS-51系列单片机,是一款设计成功、易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。

该系列主要包括8031、8051、8751(对应的CMOS工艺的低功耗型为80C31、80C51、87C51)基本型产品和8032、8052、8752增强型产品。

1. 基本型

MCS-51系列基本型的典型产品为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,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4KB的EPROM取代了8051的4KB ROM,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外扩一片4KB的EPROM就相当于一片8751。

2. 增强型

Intel公司在MCS-51系列基本型产品的基础上,又推出了增强型系列产品,即52子系列,典型产品为:8032、8052、8752。它们内部RAM由128B增至256B,8052、8752的片内程序存储器由4KB增至8KB,16位定时器/计数器由2个增至3个。

表1-1列出基本型和增强型的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 系列单片机简介

1. 8051 内核单片机与 AT89S5x 系列单片机

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, 得到世界众多公司的青睐。MCS-51 系列单片机的代表性产品为 8051, 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、Cygnal、Analog Devices、LG、ADI、Maxim、Dallas 等公司。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模块的增加与扩展, 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) 来称呼所有这些具有 8051 内核, 且使用 8051 指令系统的单片机, 统称为 8051 系列单片机或 8051 单片机。

在众多的兼容扩展型机型中, 美国 Atmel 公司的 AT89xxx 系列, 尤其是该系列中的 AT89C5x/AT89S5x 单片机在 8051 单片机市场中占有较大的份额。

Atmel 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烁 (Flash) 存储器技术, 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, 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。

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。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, 具有低功耗的空闲工作方式和掉电工作方式, 还增加了 5 个特殊功能寄存器。

从表 1-1 可看出 AT89S51 相当于基本型的 8751 与 AT89S52 相当于增强型的 8752 单片机的差别。AT89S51 片内有 4KB Flash 存储器、128B 的 RAM、5 个中断源以及 2 个定时器/计数器。而 AT89S52 片内有 8KB 的 Flash 程序存储器、256B 的 RAM、6 个中断源、3 个定时器 (比 AT89S51 多出的 1 个定时器, 且具有捕捉功能)。

尽管 AT89S5x 系列有多种机型, 但是掌握好基本型 AT89S51 是十分重要的, 因为它是各种 8051 内核单片机的基础, 最具代表性, 同时也是各种 8051 内核的增强扩展型等衍生品的基础。因此本书以 AT89S51 单片机为典型机型, 介绍其工作原理与应用设计。