

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)

Microcontroller Principle and Interface Technology

张毅刚 主编

彭宇 赵光权 副主编

- 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
- 大量的C51设计实例，提高设计效率



名家系列

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

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)

Microcontroller Principle and Interface Technology

张毅刚 主编

彭宇 赵光权 副主编



名家系列

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

单片机原理及接口技术 : C51编程 / 张毅刚主编
— 北京 : 人民邮电出版社, 2011. 8
21世纪高等学校计算机规划教材
ISBN 978-7-115-25665-2

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(2011)第114374号

内 容 提 要

本书详细介绍了美国 ATMEL 公司的 AT89S51 单片机的硬件结构和片内外围部件的工作原理, Keil C51 编程基础知识, 并从应用设计的角度介绍 AT89S51 单片机的各种常用的硬件接口设计, 以及相应的 Keil C51 接口驱动程序设计。本书最后介绍了 AT89S51 单片机应用系统设计以及一些典型应用举例。

本书可作为各类工科院校、职业技术学院电子技术、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。

21 世纪高等学校计算机规划教材 单片机原理及接口技术 (C51 编程)

- ◆ 主 编 张毅刚
- 副 主 编 彭 宇 赵光权
- 责任编辑 武恩玉
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 18 2011 年 8 月第 1 版
字数: 474 千字 2011 年 8 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-25665-2

定价: 34.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

前 言

单片机自 20 世纪 70 年代问世以来,已得到了十分广泛的应用。随着单片机的集成度越来越高以及单片机系统的广泛应用,对软件编程的要求也越来越高,要求编程人员在短时间内编写出执行效率高、运行可靠的程序代码。同时,由于实际系统的日趋复杂,对程序的可读性、升级与维护以及模块化的要求越来越高,以方便多个工程师进行协同开发。

C51 语言是近年来国内外在 51 单片机开发中,普遍使用的一种程序设计语言。由于 C51 语言功能强大,可读性好,便于模块开发,库函数非常丰富,编写的程序可移植性好,诸多优点使之成为单片机应用系统开发最快速、高效的程序设计语言。虽然目前各高校的工科专业已将 C 语言作为基础课程纳入教学计划,但是仅有 C 语言基础知识还是不能很快掌握单片机 C51 语言的程序设计,学生还必须熟悉 51 单片机的片内硬件结构以及外围电路的接口设计及工作原理。因此本书力求把 51 单片机的片内硬件结构以及外围电路的接口设计与 C51 语言编程紧密地结合在一起,避开 51 单片机汇编语言的指令系统以及较难掌握的汇编语言的应用程序设计。

考虑到 8 位单片机尤其是各种与 MCS-51 兼容的增强单片机仍在单片机应用中占有较重要的地位,尤其是美国 ATMEL 公司的 AT89S51 单片机是目前与 MCS-51 单片机兼容的最具代表性的机种,因此本书仅介绍 AT89S51 单片机的工作原理及应用设计。

本书是《单片机原理及接口设计》(张毅刚主编,人民邮电出版社出版)的姊妹篇教材,具有良好的可读性和实用性,在编写时重点考虑了如下问题:

(1) 注重原理与应用相结合,软硬件不脱节,在介绍各种外围电路及硬件接口设计的同时,对相应的 C51 编程设计也做了详细介绍,并给出实例。

(2) 突出了选取内容的实用性、典型性。书中所介绍的各种设计方案,均为实用的典型方案,并提供了大量的接口设计实例及 C51 编程实例,有利于学生提高设计工作的效率。

(3) 对系统设计中用到的各种器件以及某些落后的内容进行了补充和更新。

(4) 为便于学生自学,本书力求文字精练,通俗易懂,深入浅出。书中各章末均有思考题与习题,供学生巩固、消化、理解课堂所学内容之用。

(5) 读者可登录哈尔滨工业大学本课程的国家精品课程网站(<http://hitjpkc.hit.edu.cn/JPWork/ShowJpkc.asp?ID=17>)或登录人民邮电出版社教学服务与资源网(<http://www.ptpedu.com.cn>)免费获取各种教学参考资料。

鉴于实践性教学环节对“单片机原理”课程的重要性,本书所讲授的内容与课程的基础实验、课程设计、科技创新活动以及全国大学生电子竞技紧密结合起来,尤其是重视虚拟仿真软件 Proteus 在教学中各环节的应用。有关虚拟仿真软件 Proteus 在单片机课程教学中应用的教材,即将由人民邮电出版社出版。

全书参考学时为 40~60 学时，教师可根据实际情况，对各章所讲授的内容进行取舍。

本书由哈尔滨工业大学电气工程及自动化学院张毅刚教授担任主编，彭宇教授、赵光权副教授担任副主编。此外，参加编写工作的还有刘兆庆、刘旺、俞洋、乔立岩、付宁、杨智明、刘大同、梁军、马云彤等诸位教师，学生潘邵武、满源也为本书部分程序的调试付出了辛勤的劳动。

由于时间紧迫，书中错误及疏漏之处敬请读者批评指正，并请与作者本人联系（邮箱：zyg@hit.edu.cn）。

作 者

2011 年 5 月于哈尔滨工业大学

目 录

第 1 章 单片机概述 1	2.4.3 特殊功能寄存器..... 23
1.1 什么是单片机..... 1	2.4.4 位地址空间..... 26
1.2 单片机的发展历史..... 2	2.5 AT89S51 单片机的并行 I/O 端口..... 27
1.3 单片机的特点..... 2	2.6 时钟电路与时序..... 29
1.4 单片机的应用..... 3	2.6.1 时钟电路设计..... 29
1.5 单片机的发展趋势..... 4	2.6.2 机器周期、指令周期与指令时序..... 30
1.6 MCS-51 系列与 AT89S5x 系列单片机..... 5	2.7 复位操作和复位电路..... 31
1.6.1 MCS-51 系列单片机..... 5	2.7.1 复位操作..... 31
1.6.2 AT89 系列单片机..... 6	2.7.2 复位电路设计..... 31
1.6.3 AT89 系列单片机的型号说明..... 7	2.8 低功耗节电模式..... 33
1.7 各种衍生品种的 51 单片机..... 8	2.8.1 空闲模式..... 33
1.7.1 STC 系列单片机..... 9	2.8.2 掉电运行模式..... 34
1.7.2 C8051F $\times\times\times$ 单片机..... 10	2.8.3 掉电和空闲模式下的 WDT..... 34
1.7.3 AD μ C812 单片机..... 10	思考题及习题..... 35
1.7.4 华邦 W77 系列、W78 系列单片机..... 10	第 3 章 C51 语言编程基础 37
1.8 PIC 系列单片机与 AVR 系列单片机..... 10	3.1 编程语言 Keil C51 简介..... 37
1.8.1 PIC 系列单片机..... 11	3.1.1 Keil C51 简介..... 37
1.8.2 AVR 系列单片机..... 12	3.1.2 C51 与标准 C 的比较..... 38
1.9 其他的嵌入式处理器简介..... 12	3.2 Keil C51 的开发工具..... 39
1.9.1 嵌入式 DSP 处理器..... 13	3.2.1 集成开发环境 Keil μ Vision3 简介..... 39
1.9.2 嵌入式微处理器..... 13	3.2.2 Keil μ Vision3 软件的安装、启动和运行..... 40
思考题及习题..... 14	3.3 C51 语言程序设计基础..... 40
第 2 章 AT89S51 单片机硬件结构 15	3.3.1 C51 语言中的数据类型与存储类型..... 41
2.1 AT89S51 单片机的硬件组成..... 15	3.3.2 C51 语言的特殊功能寄存器及位变量定义..... 45
2.2 AT89S51 的引脚功能..... 17	3.3.3 C51 语言的绝对地址访问..... 47
2.2.1 电源及时钟引脚..... 17	3.3.4 C51 的基本运算..... 48
2.2.2 控制引脚..... 18	3.3.5 C51 的分支与循环程序结构..... 50
2.2.3 并行 I/O 口引脚..... 18	3.3.6 C51 的数组..... 57
2.3 AT89S51 的 CPU..... 19	3.3.7 C51 的指针..... 58
2.3.1 运算器..... 19	3.4 C51 语言的函数..... 60
2.3.2 控制器..... 21	3.4.1 函数的分类..... 60
2.4 AT89S51 单片机存储器的结构..... 21	3.4.2 函数的参数与返回值..... 61
2.4.1 程序存储器空间..... 22	3.4.3 函数的调用..... 62
2.4.2 数据存储器空间..... 23	

3.4.4 中断服务函数	63	5.6.2 跳沿触发方式	86
3.4.5 变量及存储方式	63	5.7 中断请求的撤销	86
3.4.6 宏定义与文件包含	64	5.8 中断函数	87
3.4.7 库函数	65	5.9 C51 编程举例	88
3.5 软件仿真开发工具 Proteus 与 Keil		5.9.1 单一外中断的应用	88
μ Vision3 的联调	65	5.9.2 两个外中断的应用	89
3.5.1 软件仿真开发工具 Proteus 简介	65	5.9.3 中断嵌套	91
3.5.2 Proteus 与 Keil μ Vision3 的联调	66	5.9.4 多外部中断源系统设计	92
思考题及习题	67	思考题及习题	93
第 4 章 AT89S51 片内并行端口的原理及编程	68	第 6 章 AT89S51 单片机的定时器/计数器	95
4.1 AT89S51 的并行 I/O 端口的结构及工作原理	68	6.1 定时器/计数器的结构	95
4.1.1 P0 口	68	6.1.1 工作方式控制寄存器 TMOD	96
4.1.2 P1 口	70	6.1.2 定时器/计数器控制寄存器 TCON	96
4.1.3 P2 口	70	6.2 定时器/计数器的 4 种工作方式	97
4.1.4 P3 口	71	6.2.1 方式 0	97
4.1.5 P1~P3 口驱动 LED 发光二极管的问题	72	6.2.2 方式 1	98
4.2 并行 I/O 端口的 C51 编程举例	73	6.2.3 方式 2	98
4.2.1 从左到右的流水灯的制作	73	6.2.4 方式 3	99
4.2.2 左右来回循环的流水灯的制作	73	6.3 对外部输入的计数信号的要求	100
4.2.3 开关量检测指示器 1	76	6.4 定时器/计数器的编程和应用	101
4.2.4 开关量检测指示器 2	76	6.4.1 P1 口外接的 8 只 LED 每 0.5s 闪亮一次	101
思考题及习题	77	6.4.2 计数器的应用	102
第 5 章 AT89S51 单片机的中断系统	79	6.4.3 扩展一个外部中断源	103
5.1 AT89S51 中断技术概述	79	6.4.4 P1.0 上产生周期为 2ms 的方波	104
5.2 AT89S51 中断系统结构	79	6.4.5 P1.1 上产生周期为 1s 的方波	104
5.2.1 中断请求源	80	6.4.6 T1 控制发出 1kHz 的音频信号	105
5.2.2 中断请求标志寄存器	80	6.4.7 测量脉冲宽度——门控位 GATEx 的应用	106
5.3 中断允许与中断优先级的控制	81	6.4.8 实时时钟的设计	107
5.3.1 中断允许寄存器 IE	82	思考题及习题	108
5.3.2 中断优先级寄存器 IP	82	第 7 章 AT89S51 单片机的串行口	110
5.4 响应中断请求的条件	84	7.1 串行口的结构	110
5.5 外部中断的响应时间	85	7.1.1 串行口控制寄存器 SCON	110
5.6 外部中断的触发方式选择	86	7.1.2 特殊功能寄存器 PCON	112
5.6.1 电平触发方式	86	7.2 串行口的 4 种工作方式	112
		7.2.1 方式 0	112

7.2.2 方式 1	116
7.2.3 方式 2	117
7.2.4 方式 3	118
7.3 多机通信	119
7.4 波特率的制定方法	120
7.4.1 波特率的定义	120
7.4.2 定时器 T1 产生波特率的计算	120
7.5 串行通信的应用设计	122
7.5.1 各种串行通信接口标准	122
7.5.2 方式 1 的应用	124
7.5.3 方式 2 和方式 3 的应用	127
7.5.4 主从式多机通信的应用	129
7.5.5 单片机与 PC 的串行通信	133
7.5.6 PC 与单片机或与多个单片机的 串行通信接口设计	135
思考题及习题	136

第 8 章 AT89S51 单片机外部 存储器的扩展

8.1 系统扩展结构	138
8.2 地址空间分配和外部地址锁存器	139
8.2.1 存储器地址空间分配	139
8.2.2 外部地址锁存器	142
8.3 程序存储器 EPROM 的扩展	144
8.3.1 常用的 EPROM 芯片	144
8.3.2 程序存储器的操作时序	146
8.3.3 AT89S51 单片机与 EPROM 的 接口电路设计	148
8.4 静态数据存储器 RAM 的扩展	149
8.4.1 常用的静态 RAM (SRAM) 芯片	149
8.4.2 外扩数据存储器的读写操作时序	150
8.4.3 AT89S51 单片机与 RAM 的 接口电路设计	151
8.5 EPROM 和 RAM 的综合扩展	153
8.5.1 综合扩展的硬件接口电路	153
8.5.2 外扩存储器电路的编程	155
8.6 片内 Flash 存储器的编程	155
8.6.1 通用编程器编程	157
8.6.2 ISP 编程	157
思考题及习题	158

第 9 章 AT89S51 单片机的 I/O 扩展

9.1 I/O 接口扩展概述	160
9.1.1 扩展的 I/O 接口功能	160
9.1.2 I/O 端口的编址	160
9.1.3 I/O 数据的传送方式	161
9.1.4 I/O 接口电路	161
9.2 AT89S51 扩展 I/O 接口芯片 82C55 的 设计	162
9.2.1 82C55 芯片简介	162
9.2.2 工作方式选择控制字及端口 PC 置位/复位控制字	163
9.2.3 82C55 的 3 种工作方式	165
9.2.4 AT89S51 单片机与 82C55 的 接口设计	169
9.3 利用 74LSTTL 电路扩展并行 I/O 口	171
9.4 用 AT89S51 单片机的串行口扩展 并行口	172
9.4.1 用 74LS165 扩展并行输入口	172
9.4.2 用 74LS164 扩展并行输出口	173
9.5 用 I/O 口控制的声音报警接口	174
9.5.1 扬声器报警接口	174
9.5.2 音乐报警接口	176
思考题及习题	176

第 10 章 AT89S51 单片机与输入/ 输出外设的接口

10.1 LED 数码管显示器的接口设计	178
10.1.1 LED 数码管的工作原理	178
10.1.2 LED 数码管显示器接口设计 举例	179
10.2 键盘的接口设计	183
10.2.1 键盘接口应解决的问题	183
10.2.2 键盘接口设计举例	184
10.2.3 键盘扫描方式的选取	188
10.3 键盘/显示器接口的设计实例	188
10.3.1 利用并行 I/O 芯片 82C55 实现 键盘/显示器接口	188
10.3.2 利用串行口实现的键盘/显示器 接口	191

10.3.3 专用接口芯片 HD7279 实现的 键盘/显示器控制·····	193	12.3 I ² C 总线的串行扩展·····	243
10.4 AT89S51 单片机与液晶显示器的 接口·····	204	12.3.1 I ² C 串行总线系统的基本结构···	244
10.4.1 LCD 显示器的分类·····	204	12.3.2 I ² C 总线的数据传送规定·····	244
10.4.2 点阵字符型液晶显示模块介绍···	204	12.3.3 AT89S51 的 I ² C 总线扩展系统···	247
10.4.3 AT89S51 单片机与 LCD 的接口 及软件编程·····	208	12.3.4 I ² C 总线数据传送的模拟·····	248
10.5 AT89S51 单片机与微型打印机 TP μ P- 40A/16A 的接口·····	211	12.3.5 I ² C 总线在 IC 卡中的应用·····	251
10.6 AT89S51 单片机与 BCD 码拨盘的 接口设计·····	215	思考题及习题·····	255
思考题及习题·····	216	第 13 章 AT89S51 单片机的应用设计 与调试 ·····	256
第 11 章 AT89S51 单片机与 D/A、 A/D 转换器的接口 ·····	217	13.1 单片机应用系统的设计步骤·····	256
11.1 AT89S51 单片机与 DAC 的接口·····	217	13.2 单片机应用系统设计·····	257
11.1.1 D/A 转换器简介·····	217	13.2.1 硬件设计应考虑的问题·····	257
11.1.2 AT89S51 单片机与 8 位 D/A 转换器 0832 的接口设计·····	218	13.2.2 典型的单片机应用系统·····	258
11.2 AT89S51 单片机与 ADC 的接口·····	225	13.2.3 系统设计中的地址空间分配与 总线驱动·····	259
11.2.1 A/D 转换器简介·····	225	13.2.4 应用设计例 1——最小应用系统 设计·····	261
11.2.2 AT89S51 与逐次比较型 8 位 A/D 转换器 ADC0809 的接口···	226	13.2.5 应用设计例 2——数字电压表的 设计·····	262
11.2.3 AT89S51 与逐次比较型 12 位 A/D 转换器 AD1674 的接口·····	230	13.2.6 应用设计例 3——带有报警 功能的温度测量仪的设计·····	264
11.3 AT89S51 单片机与 V/F 转换器的 接口·····	234	13.3 单片机应用系统的仿真开发与调试···	266
11.3.1 用 V/F 转换器实现 A/D 转换的 原理·····	235	13.3.1 仿真开发系统的种类与基本 功能·····	267
11.3.2 常用 V/F 转换器 LMX31 简介···	235	13.3.2 仿真开发系统简介·····	267
11.3.3 V/F 转换器与 MCS-51 单片机 接口·····	236	13.3.3 用户样机的仿真调试·····	270
11.3.4 LM331 应用举例·····	237	13.4 单片机应用系统的抗干扰与可靠性 设计·····	272
思考题及习题·····	238	13.4.1 AT89S51 片内看门狗定时器的 使用·····	273
第 12 章 单片机的串行扩展技术 ···	239	13.4.2 软件滤波·····	273
12.1 单总线串行扩展·····	239	13.4.3 开关量输入/输出软件抗干扰 设计·····	274
12.2 SPI 总线串行扩展·····	240	13.4.4 过程通道干扰的抑制措施—— 隔离·····	275
12.2.1 SPI 总线的扩展结构·····	241	13.4.5 印刷电路板抗干扰布线的基本 原则·····	276
12.2.2 扩展带 SPI 串口的 A/D 转换器 TLC2543·····	242	思考题及习题·····	278
		参考文献·····	280

第 1 章

单片机概述

【内容概要】本章介绍有关单片机的基础知识、发展历史、应用领域以及发展趋势，并对 MCS-51 系列单片机及其兼容的单片机（统称为 51 单片机）作一简要介绍。重点介绍 51 单片机的代表性机型：美国 ATMEL 公司的 AT89S51。对目前较为广泛使用的其他类型的单片机产品也做一简单介绍。本章最后还对用于嵌入式系统的（包括单片机在内的）嵌入式处理器家族的其他成员（DSP—数字信号处理器、嵌入式微处理器）进行了概要介绍，以使读者对其有初步了解。

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、自动检测与控制、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微型计算机，简称单片机。

单片机主要应用于测控领域。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）。而在我国，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，因为它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。单片机芯片体积小、成本低，可广泛地嵌入到如工业控制单元、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 等各种外围功能部件等）可以全部提供给用户。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，并编写相应的软件来满足各种不同需要的测控系统。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单片机。例如，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的综合考虑，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

首先简要回顾一下单片机的发展历史。

单片机根据其基本操作处理的二进制位数主要分为：4 位单片机、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 年～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 年～1978 年）：低性能单片机阶段。1976 年 Intel 公司推出的 MCS-48 单片机（8 位单片机）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 年～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。由于这类单片机的性价比高，所以得到了广泛的应用。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，各公司的 8 位单片机迅速发展起来，新机型不断涌现，这也是目前应用数量最多的单片机。

第四阶段（1983 年～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的时期，这个时期的 Mortorola、Intel、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应用。近年来，又有不少新型的高集成度的单片机产品涌现出来，出现了单片机产品丰富多彩的局面。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，单片机的发展和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。单片机体积小，很容易嵌入到系统之中，便于实现各种方式的检测或控制，在这一点上，一般的微型计算机根本做不到。由于单片机本身就是一个用于测控目的的微型计算机，因此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，如工业自动检测监视系统、数据采集系统、自动控制系统、智能仪器仪表等。

为什么单片机的应用如此广泛? 主要是因为以单片机为核心构成的应用系统具有以下优点。

(1) 简单方便, 易于掌握和普及。由于单片机技术是一门较为容易掌握的普及技术。单片机的应用系统设计、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以很快地掌握其应用设计技术。

(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工业自动化领域获得长足的发展和大量应用。近几年, 单片机的内部结构愈加完美, 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的基础。

(4) 嵌入容易, 用途广泛。单片机的体积小、性价比高, 应用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。在单片机出现以前, 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, 不仅系统的体积庞大, 而且因为线路复杂, 连接点太多, 极易出现故障。单片机问世后, 电路的组成和控制方式都发生很大的变化。在单片机应用系统中, 这些测控功能的绝大部分都已经由单片机的软件程序实现, 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, 可以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的各个领域中得到了广泛的应用。

1. 工业检测与控制

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愈来愈重要的作用, 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, 单片机应用十分普及。单片机的使用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也已经非常普及。目前家电产品的一个重要发展趋势是不断提高其智能化程度。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, 其功能和性能大大提高, 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的应用。

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的测控系统中, 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、高性能化, 外设部件内装化等方面发展。为满足不同用户的要求, 各公司竞相推出能满足不同需要的产品。

1. CPU 的改进

(1) 增加 CPU 的数据总线宽度。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。使用片内闪烁存储器, 单片机可不用片外扩展程序存储器, 大大简化了应用系统的硬件结构。目前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, 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。这就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. 低功耗化

目前单片机产品均已 CMOS 化, CMOS 芯片的单片机具有功耗小的优点, 而且为了充分发挥

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. 外设电路内装化

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），只需一条ISP并口下载线，就可以把仿真调试通过的程序从PC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

51单片机可配置实时操作系统RTX51。RTX51是一个针对8051系列的多任务内核。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应用的系统设计、编程和调试。RTX51实时内核完全集成到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，世界上一些著名厂商投放市场的产品就有数百个机型，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使用的机型。

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系列的基础上于20世纪80年代初发展起来的，是最早进入我国，并在我国应用最为广泛的单片机机型之一，也是单片机应用的主流品种。

MCS-51系列单片机主要包括基本型产品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

典型产品：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内的程序是公司制作芯片时，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来作为程序存储器，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 就相当于一个 8751。

2. 增强型

Intel 公司在 MCS-51 系列的 3 种基本型产品基础上, 又推出了增强型系列产品, 即 52 子系列, 典型产品为: 8032、8052、8752。它们内部的 RAM 增到 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, 串行口通信速率大大提高。

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 AT89 系列单片机

MCS-51 系列单片机的代表性产品为 8051, 其他单片机都是在 8051 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, 逐渐淡出单片机芯片的开发和生产。由于 MCS-51 系列单片机设计上的成功, 以及较高的市场占有率, 以 MCS-51 技术核心为主导的单片机已经成为许多厂家、电气公司竞相选用的对象, 并以此为基础。因此, 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半导体芯片生产厂家, 如 ATMEL、Philips、CygnaI、ANALOG、LG、ADI、Maxim、DEVICES、DALLAS 等公司。这些厂家生产的兼容机均采用 8051 的内核结构、指令系统相同, 采用 CMOS 工艺; 有的公司还在 8051 内核的基础上又增加了一些功能模块, 其集成度更高, 更有特点, 功能和市场竞争力更强。人们常用 80C51 来称呼所有这些具有 8051 内核使用 8051 指令系统的单片机, 也习惯把这些兼容机等各种衍生品种统称为 51 单片机。

近年来, 世界上单片机芯片生产厂商推出的与 8051 (80C51) 兼容的主要产品如表 1-2 所示。

表 1-2 与 80C51 兼容的主要产品

生产厂家	单片机型号
ATMEL 公司	AT89C5x 系列 (89C51/89S51、89C52/89S52、89C55 等)
Philips (飞利浦) 公司	80C51、8xC552 系列
CygnaI 公司	C80C51F 系列高速 SOC 单片机
LG 公司	GMS90/97 系列低价高速单片机
ADI 公司	AD μ C8xx 系列高精度单片机
美国 Maxim 公司	DS89C420 高速 (50MIPS) 单片机系列
台湾华邦公司	W78C51、W77C51 系列高速低价单片机
AMD 公司	8-515/535 单片机
Siemens 公司	SAB80512 单片机

在众多的与 MCS-51 单片机兼容的各种基本型、增强型、扩展型等衍生机型中,美国 ATMEL 公司推出的 AT89 系列,尤其是该系列中的 AT89C5x/AT89S5x 单片机在我国目前的 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、引脚以及指令系统方面完全兼容,该系列单片机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 (在系统编程,也称在线编程) 及 SPI 串行接口技术等。片内 Flash 存储器允许在线 (+5V) 电擦除、使用编程器或串行下载写入对其重复编程。另外,AT89C5x/AT89S5x 单片机还支持由软件选择的两种节电工作方式,非常适于电池供电或其他要求低功耗的场合。AT89S51 与 MCS-51 系列中的 87C51 相比,片内的 4KB Flash 存储器取代了 87C51 片内的 4KB 的 EPROM。AT89S51 片内的 4KB Flash 存储器可在线编程或使用编程器重复编程,且其价格较低,因此 AT89S5x 单片机是目前取代 MCS-51 系列单片机的主要芯片之一。本书重点介绍 AT89S51 单片机的工作原理及应用设计。

AT89S5x 的“S”档系列机型是 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,代表性产品为 AT89S51 和 AT89S52。由于 AT89C51 单片机已不再生产,原来使用 AT89C51 单片机的系统,在保留原来软硬件的条件下,完全可以用 AT89S51 直接替换。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、具有低功耗空闲工作方式和掉电工作方式。目前,AT89S5x 系列已经逐渐取代了 AT89C5x 系列。

尽管 AT89S5x 系列单片机有多种机型,但是掌握好基本型 AT89S51 单片机是十分重要的,因为它们是具有 8051 内核的各种型号单片机的基础,最具典型性和代表性,同时也是各种增强型、扩展型等衍生品种的基础。

在我国,除了 8 位单片机得到广泛应用外,一些厂家的 16 位单片机也得到了广大用户的青睐。例如,美国 TI 公司的 16 位的 MSP430 系列单片机。这些单片机本身带有 A/D 转换器,一片芯片就构成了一个数据采集系统。用户设计使用非常方便。尽管这样,16 位单片机还远远没有 8 位单片机应用的那样广泛和普及,这是因为目前在单片机的大多数应用场合中,8 位单片机所具有的性能已经能够满足大部分的实际需求,况且 8 位单片机的性价比也较好。在众多厂家生产的各种不同的 8 位单片机中,51 单片机目前仍然是 8 位单片机的主流品种,在最近若干年内仍是自动化、机电一体化、仪器仪表、工业检测控制应用的主角。

1.6.3 AT89 系列单片机的型号说明

AT89S5x 系列单片机编码由三部分组成,它们是前缀、型号和后缀。

格式为:

AT89C×××× ××××

其中,AT 是前缀,89C××××是型号,××××是后缀。下面分别对这三部分进行说明。

1. 前缀

由字母“AT”组成,表示该器件是 ATMEL 公司的产品。

2. 型号

由“89C××××”或“89LV××××”或“89S××××”等表示。

“89C××××”中，8 表示单片，9 表示内部含有 Flash 存储器，C 表示 CMOS 产品。

“89LV××××”中，LV 表示低电压产品，可在 2.5V 电压下工作，其他的产品在 5V 下工作。

“89S××××”中，S 表示含有串行下载的 Flash 存储器。

后 4 位的“××××”表示器件的型号，如 51、52、2051、8052 等。

3. 后缀

由最后的“××××”4 个参数组成，每个参数的表示意义不同。在型号与后缀部分由“—”号隔开。

后缀中的第 1 个“×”表示速度，意义如下：

x=12，表示速度为 12MHz；

x=16，表示速度为 16MHz；

x=20，表示速度为 20MHz；

x=24，表示速度为 24MHz。

后缀中的第 2 个“×”表示封装，意义如下：

x=P，表示塑料双列直插 DIP 封装；

x=D，表示陶瓷封装；

x=Q，表示 PQFP 封装；

x=J，表示 PLV 封装；

x=A，表示 TQFP 封装；

x=S，表示 SOIC 封装；

x=W，表示裸芯片。

后缀中的第 3 个“×”表示芯片的温度范围，意义如下：

x=C，表示商业用产品，温度范围为 0~+70℃；

x=I，表示工业用产品，温度范围为-40~+85℃；

x=A，表示汽车用产品，温度范围为-40~+125℃；

x=M，表示军用产品，温度范围为-55~+150℃；

后缀中的第 4 个“×”用于说明产品的工艺，意义如下：

x 为空，表示处理工艺是标准工艺；

x=/883，表示处理工艺采用 MIL-STD-883 标准。

例如，某一单片机型号为“AT89C51-12PI”，则表示该单片机是 ATMEL 公司的 Flash 单片机，CMOS 产品，速度为 12 MHz，封装塑料双列直插 DIP 封装，是工业用产品，按标准处理工艺生产。

1.7 各种衍生品种的 51 单片机

除了 AT89S5x 系列单片机外，世界各半导体器件厂家推出的以 8051 为内核、各种集成度高、功能强的单片机，也得到广大设计工程师的青睐。