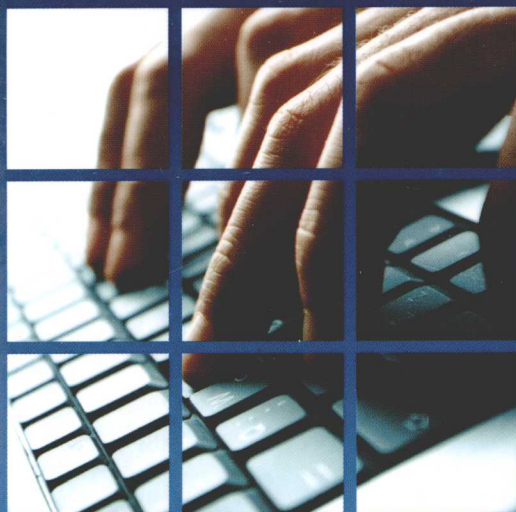




PUP6

辽宁省“十二五”普通高等教育本科省级规划教材
21世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材



SHIFT

内容全面：围绕原理、应用两条主线逐步展开，强调系统性

结构清晰：导入、分析、归纳、扩展相得益彰，注重连贯性

实践为重：以应用为导向，结合案例学习理论，突出应用性

ENTER

单片机原理及应用教程

DANPIANJI YUANLI JI YINGYONG JIAOCHENG

范立南 主 编

第 2 版



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

013046391

TP368.1-43
37-2

辽宁省“十二五”普通高等教育本科省级规划教材
21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材

单片机原理及应用教程

(第 2 版)

主 编 范立南

副主编 李荃高 李雪飞 武 刚



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



北航

C1652750

TP 368.1-43
37-2

内 容 简 介

本书以 MCS-51 系列单片机为核心,介绍了单片机的原理及应用,内容包括:单片机概述,单片机的硬件结构, MCS-51 系列单片机指令系统与汇编语言程序设计,单片机的 C 语言编程, MCS-51 系列单片机的中断系统、定时器/计数器、串行接口,系统扩展技术与 I/O 接口技术,以及单片机系统的设计与应用实例。本书参考了各种系列单片机的最新资料,吸取了单片机开发应用的最新成果,给出了大量的实验与实训实例。

全书具有较强的系统性、先进性和实用性。内容选材精练,论述简明,每章均配有习题。本书可作为高等院校计算机科学与技术、自动化、电子信息工程、机电一体化等专业的单片机课程教材,也可作为工程技术人员单片机应用技术的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用教程/范立南主编. —2 版. —北京:北京大学出版社, 2013.5

(21 世纪全国应用型本科计算机系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-22437-3

I. ①单… II. ①范… 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(2013)第 081344 号

书 名: 单片机原理及应用教程(第 2 版)

著作责任者: 范立南 主编

策 划 编 辑: 郑 双

责 任 编 辑: 郑 双

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-22437-3/TP • 1280

出 版 发 行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电 子 信 箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 三河市博文印刷厂

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.25 印张 516 千字

2006 年 1 月第 1 版

2013 年 5 月第 2 版 2013 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 43.00 元

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

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

生活在现代社会的人们有没有想过，为什么人们能用手机随时随地与他人进行通话？为什么人们随时都可以在 ATM 自动柜员机里取钱？为什么十字路口的交通灯能够在没有人干预的情况下有条不紊地指挥着交通？人们平常所使用的数码照相机、电视机顶盒、数码音响、遥控器、空调、智能洗衣机、智能玩具等所谓的高科技产品，它们到底是怎么构成的呢？其实说到底，服务于我们现代化生活的神秘之物，正是不为人所知的单片机！当然单片机的应用远不止这些，可以说单片机的应用随处可见。

进入 21 世纪，16 位的 80C196 和 32 位的 ARM 等具有更高性能的嵌入式芯片已进入了实用阶段，那么是不是现在学习 51 单片机就没有用武之地了？其实不然。在大部分的工控或测控设备中，51 单片机已经足够满足控制要求，加之其物美价廉，且 8 位增强型单片机在速度和功能上可以向现在的 16 位单片机挑战，因此在未来相当长的时期内，8 位单片机仍是单片机的主流机型。因此，学习 51 单片机，是从事控制行业一个不错的选择。

如何学习这门课程呢？

首先，大概了解单片机的结构，本书的第 2 章主要讲述了单片机的内部结构以及资源。对单片机内部结构有了初步了解之后，就可以进行简单的实例练习和实验操作，从而加深对单片机的认识。

其次，要有大量的实例练习和实验。对于单片机，读者不仅要掌握其硬件结构，也要重视对软件编程的学习。在编程时，读者要注意软件与硬件是如何结合的，通过一个个实验和验证，进而来理解硬件的结构，这样才能体会到软件与硬件是浑然一体的。通过硬件知识的学习，读者可以了解到如何通过编程来控制硬件；通过软件编程的学习，读者又可以更进一步学习到单片机硬件的工作机制和原理。

再次，读者还要多结合外围电路，如流水灯、数码管、独立键盘、矩阵键盘、A/D 或 D/A、液晶、蜂鸣器等进行练习，因为这样可以直观地看到程序运行的结果。

最后，结合自己的实际情况，开发一个完全具有个人风格、功能完善的电子产品。对于在校学生，如果有条件可以组成团队参加两年一次的全国大学生电子设计竞赛，尽情享受单片机开发带来的欢乐和成就感。

同时，读者也不必为软件、硬件基础知识不扎实而烦恼，单片机中用到的编程并不难，可以说主要是配置一些寄存器，不涉及太复杂的算法和语法，电子元器件也以简单应用居多。本书接下来的几章将主要介绍硬件和软件基础知识，这些知识对于单片机开发来说已经足够。另一方面，读者在做单片机实验的过程中会慢慢地积累，一步步地巩固相关的基础知识，在实践中有针对性地学习与训练肯定比纯粹看书效果更好。读者还可以充分利用网络技术，通过网络上许多关于单片机的网站，了解单片机的发展动向和新的知识，遇到疑难也可在网上寻找解决办法，这样会达到事半功倍的效果。

单片机是 DSP、嵌入式操作系统等高级硬件产品开发的基础。读者如果想要在这一领域

有进一步的发展,必须学会单片机的开发。

本书第1版在2006年编写出版后,取得了很好的效果,同时读者也提出了一些宝贵的意见和建议。针对这些情况,我们在本次修订再版时,对章节体系进行了相应的调整,为便于教学,每章开始都给出了本章的教学提示、学习目标以及知识结构,给出了大量的实验与实训实例,每章后面都配有各种类型的习题。本书再版的整体编排及每章的结构安排更加符合教学的需求。

本书以MCS-51系列单片机为核心,介绍单片机的原理及应用。全书共分10章。第1章介绍了单片机的概念、单片机的发展概况、常用单片机概况以及单片机的应用领域;第2章主要阐述了MCS-51系列单片机的内部结构、引脚功能、工作方式和时序;第3章详细介绍了MCS-51系列单片机的指令系统和汇编语言程序设计,包括指令格式、寻址方式、数据传送指令、算术运算指令、逻辑运算指令、控制转移指令、位操作指令等,从应用角度出发,讨论了各种常用汇编程序的设计方法,并介绍了一些实用的子程序;第4、5、6章分别阐述了MCS-51系列单片机的中断系统、定时器/计数器和串行通信接口等;第7章介绍了单片机的扩展技术,包括存储器、并行接口、串行接口、定时器/计数器的扩展技术;第8章介绍了单片机的接口技术,包括人-机交互接口键盘、显示器、打印机,检测外部模拟量的A/D接口和控制外部设备的D/A接口等;第9章对单片机的C语言基本知识进行了介绍,给出了C51编程的实例;第10章对应用系统的软、硬件设计和调试等各个方面做了进一步的分析和讨论,并给出了具体应用实例。

本书由范立南担任主编,李荃高、李雪飞、武刚担任副主编。其中范立南编写了第1章和第10章的10.1、10.2节;李荃高编写了第3、7、8章和第10章的10.5节;李雪飞编写了第2、4、5章和第10章的10.3节;武刚编写了第6、9章和第10章的10.4、10.6节。全书由范立南统稿。

本书是编者多年来教学实践的总结,也是编者从事单片机应用科研工作的总结。同时,本书参考了各种系列单片机的最新资料,吸取了单片机开发应用的最新成果,编者在此对这些参考文献的作者表示感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中的疏漏之处在所难免,恳请广大读者指正。

编 者

2013年2月

目 录

第 1 章 单片机概述.....	1	2.1.2 MCS-51 系列单片机的内部 总体结构.....	26
1.1 单片机的概念.....	2	2.2 MCS-51 系列单片机的引脚功能	27
1.1.1 单片机的基本概念.....	2	2.2.1 MCS-51 系列单片机的引脚图与 封装.....	27
1.1.2 单片机的组成.....	3	2.2.2 MCS-51 系列单片机的引脚 说明	28
1.1.3 单片机的特点.....	5	2.2.3 MCS-51 系列单片机的引脚应用 特性	30
1.2 单片机的发展过程与趋势.....	6	2.3 MCS-51 系列单片机的存储器组织 结构.....	31
1.2.1 单片机发展过程.....	6	2.3.1 程序存储器	32
1.2.2 单片机发展趋势.....	7	2.3.2 数据存储器	33
1.3 常用单片机简介.....	9	2.3.3 特殊功能寄存器	36
1.3.1 MCS-51 系列单片机.....	9	2.4 MCS-51 系列单片机的输入/输出 接口	38
1.3.2 AT89 系列单片机	11	2.4.1 P0 口.....	38
1.3.3 PIC 系列单片机	12	2.4.2 P1 口.....	39
1.3.4 M68HC11 系列单片机	13	2.4.3 P2 口.....	40
1.3.5 MCS-96 系列单片机.....	15	2.4.4 P3 口.....	40
1.3.6 8XC196KX 系列单片机	16	2.4.5 输入/输出接口的操作	41
1.3.7 MSP430 系列单片机.....	17	2.5 MCS-51 系列单片机的时钟电路与 CPU 时序	41
1.3.8 SPCE 系列单片机	18	2.5.1 时钟电路	42
1.3.9 M68300 系列单片机	19	2.5.2 CPU 时序	42
1.3.10 SH 系列单片机	20	2.5.3 典型指令的取指和执行时序	43
1.3.11 TX99/TX49 系列单片机.....	20	2.6 MCS-51 系列单片机的工作方式	44
1.4 单片机的应用领域.....	21	2.6.1 程序执行工作方式	44
1.4.1 工业过程控制.....	21	2.6.2 复位电路与复位状态.....	45
1.4.2 智能仪表.....	21	2.6.3 掉电运行方式与待机方式.....	46
1.4.3 机电一体化产品.....	21	2.7 实验与实训	48
1.4.4 信息和通信产品.....	22	2.7.1 音频驱动实验	48
1.4.5 家用电器.....	22	2.7.2 继电器控制	50
1.4.6 其他领域.....	22	本章小结	51
本章小结.....	23	习题	52
习题.....	23		
第 2 章 MCS-51 系列单片机的 硬件结构.....	24		
2.1 MCS-51 系列单片机的基本组成.....	25		
2.1.1 MCS-51 系列单片机的 片内资源.....	25		

第3章 MCS-51 系列单片机指令系统和程序设计

3.1 MCS-51 系列单片机的指令格式及标志	55
3.1.1 指令格式	55
3.1.2 指令中常用的符号	56
3.2 MCS-51 系列单片机的寻址方式	56
3.2.1 寄存器寻址	57
3.2.2 直接寻址	57
3.2.3 立即寻址	57
3.2.4 寄存器间接寻址	58
3.2.5 基址寄存器加变址寄存器间接寻址	58
3.3 MCS-51 系列单片机的指令系统	58
3.3.1 数据传送类指令	58
3.3.2 算术运算类指令	63
3.3.3 逻辑运算类指令	66
3.3.4 控制转移类指令	68
3.3.5 位操作类指令	73
3.4 汇编语言程序设计	74
3.4.1 程序设计方法	74
3.4.2 伪指令	75
3.4.3 顺序程序设计	77
3.4.4 分支程序设计	80
3.4.5 循环程序	81
3.4.6 查表程序设计	84
3.4.7 子程序设计	86
3.5 实验与实训	87
3.5.1 传送指令训练	87
3.5.2 多字节十进制加法	91
3.5.3 拆字程序	92
3.5.4 数据排序	93
3.5.5 二进制转 BCD 码	93
3.5.6 延时程序的设计	94
本章小结	96
习题	96

第4章 MCS-51 系列单片机的中断系统

4.1 中断的概念	101
-----------	-----

4.1.1 中断的基本概念	101
4.1.2 中断系统应解决的基本问题	101
4.2 MCS-51 系列单片机的中断源、中断标志与中断控制	102
4.2.1 中断源和中断标志	102
4.2.2 中断控制	105
4.3 MCS-51 系列单片机的中断响应	106
4.3.1 中断响应条件	106
4.3.2 中断响应过程	107
4.3.3 中断响应时间	107
4.4 MCS-51 系列单片机的中断程序设计	108
4.4.1 中断初始化程序	108
4.4.2 中断服务程序	108
4.4.3 外部中断应用举例	108
4.4.4 外部中断源的扩充	110
4.4.5 中断系统设计中应注意的几个问题	112
4.5 实验与实训	112
4.5.1 故障源监控器的设计	112
4.5.2 抢答器的设计	114
本章小结	117
习题	117

第5章 MCS-51 系列单片机的定时器/计数器

5.1 MCS-51 系列单片机定时器/计数器的结构及工作原理	120
5.1.1 定时器/计数器的结构	120
5.1.2 定时器/计数器的工作原理	120
5.2 MCS-51 系列单片机的定时器/计数器的控制寄存器	121
5.2.1 控制寄存器 TCON	121
5.2.2 方式选择寄存器 TMOD	121
5.3 MCS-51 系列单片机的定时器/计数器的工作方式	122
5.3.1 工作方式 0	122
5.3.2 工作方式 1	123
5.3.3 工作方式 2	123
5.3.4 工作方式 3	124



5.4 MCS-51 系列单片机的定时器/计数器的应用举例	124
5.4.1 计数初值的计算	124
5.4.2 定时器/计数器的初始化	125
5.4.3 应用举例	126
5.5 实验与实训	128
5.5.1 简易方波发生器	128
5.5.2 基于定时器/计数器实现的音乐播放器	130
5.5.3 交通信号灯的控制	134
本章小结	139
习题	139

第 6 章 MCS-51 系列单片机的串行接口

6.1 串行通信基础	142
6.1.1 通信方式	142
6.1.2 串行通信方式	142
6.1.3 波特率	144
6.2 串行接口工作原理	144
6.2.1 串行接口结构	144
6.2.2 串行接口的控制	145
6.2.3 串行接口的 4 种工作方式	147
6.2.4 波特率设计	150
6.3 串行接口应用举例	152
6.3.1 方式 0 应用	152
6.3.2 方式 1 应用	153
6.3.3 方式 2 和方式 3 的应用	155
6.4 实验与实训	157
6.4.1 74LS164 串转并实验	157
6.4.2 74LS165 并转串实验	159
6.4.3 单片机间的多机通信	160
本章小结	165
习题	165

第 7 章 MCS-51 系列单片机的扩展技术

7.1 单片机最小系统	168
7.1.1 8031 单片机的最小系统	168
7.1.2 具有片内程序存储器的单片机最小系统	169

7.2 系统扩展原理	169
7.3 程序存储器的扩展	171
7.3.1 程序存储器	171
7.3.2 地址锁存器	172
7.3.3 程序存储器的扩展方法	172
7.4 数据存储器的扩展	175
7.4.1 常用的数据存储器	175
7.4.2 数据存储器的扩展方法	177
7.5 I/O 口扩展	180
7.5.1 用于 I/O 口扩展的常用 TTL 电路	180
7.5.2 用 TTL 电路扩展的 I/O 接口	182
7.5.3 可编程 I/O 芯片 8255 的扩展	185
7.5.4 可编程 IO/RAM 芯片 8155 的扩展	191
7.6 串行接口的扩展	196
7.6.1 RS-232C 串行通信标准	197
7.6.2 RS-422/485 标准总线及应用	200
7.7 定时器/计数器扩展	201
7.7.1 8253 的结构及引脚	201
7.7.2 8253 的控制字及工作方式	202
7.7.3 8253 的操作过程	204
7.7.4 8253 的扩展	205
7.8 实验与实训	206
7.8.1 用 RS-232C 实现单片机与计算机间的通信	206
7.8.2 8255 可编程并行接口扩展实验	207
7.8.3 8155 芯片扩展实验	208
本章小结	209
习题	210

第 8 章 MCS-51 系列单片机的接口技术

8.1 单片机与键盘的接口	213
8.2 单片机与显示器的接口	218
8.2.1 LED 数码管显示器	218
8.2.2 LCD 液晶显示器	224

8.3 单片机与打印机的接口.....	229	9.3 C51 构造数据类型.....	269
8.3.1 RD-DH 型微型打印机简介.....	229	9.3.1 数组.....	269
8.3.2 接口说明.....	229	9.3.2 指针.....	270
8.3.3 RD-DH 型微型打印机控制命令.....	230	9.3.3 结构.....	271
8.3.4 打印示例.....	231	9.3.4 联合.....	272
8.4 数模与模数转换器接口.....	232	9.3.5 枚举.....	274
8.4.1 常用性能指标.....	233	9.4 C51 函数.....	276
8.4.2 数模转换器 DAC0832.....	234	9.4.1 函数的分类和定义.....	276
8.4.3 模数转换器 ADC0809.....	236	9.4.2 函数参数及函数间的数据传递.....	279
8.5 实验与实训.....	238	9.4.3 函数的调用与声明.....	280
8.5.1 99.99s 秒表的设计.....	238	9.4.4 函数的嵌套与递归.....	281
8.5.2 矩阵式键盘接口及应用.....	242	9.5 编程举例.....	283
8.5.3 A/D 转换器接口及应用——PWM 电机控制.....	245	9.5.1 用 C 语言实现输入/输出编程.....	283
8.5.4 D/A 转换器接口及其应用——直流电机调速.....	247	9.5.2 用 C 语言实现逻辑运算.....	283
本章小结.....	249	9.5.3 用 C 语言实现数据转换.....	283
习题.....	249	9.5.4 用 C 语言实现公式的编辑.....	284
第 9 章 C51 程序设计.....	252	9.6 实验与实训.....	284
9.1 C51 程序设计基础.....	253	9.6.1 简单矩阵运算.....	284
9.1.1 C51 基础知识.....	253	9.6.2 数据排序.....	286
9.1.2 C51 数据类型.....	254	9.6.3 延时程序的设计.....	287
9.1.3 C51 常量与变量.....	254	9.6.4 用 C 语言实现定时器/计数器的编程.....	288
9.1.4 C51 存储模式与绝对地址访问.....	257	9.6.5 用 C 语言实现中断的编程.....	289
9.1.5 C51 常用运算符.....	259	9.6.6 用 C 语言实现串行接口的编程.....	290
9.1.6 C51 表达式语句与复合语句.....	261	本章小结.....	292
9.2 C51 基本结构和语句.....	262	习题.....	292
9.2.1 C51 基本结构.....	262	第 10 章 单片机应用系统的设计与实例.....	295
9.2.2 if 语句.....	263	10.1 单片机应用系统的设计方法.....	296
9.2.3 switch/case 语句.....	264	10.1.1 系统总体方案的确定.....	297
9.2.4 while 语句.....	265	10.1.2 应用系统的硬件设计.....	298
9.2.5 do while 语句.....	266	10.1.3 应用系统的软件设计.....	300
9.2.6 for 语句.....	266	10.1.4 应用系统的抗干扰设计.....	301
9.2.7 循环嵌套.....	267	10.2 单片机应用系统的开发过程.....	303
9.2.8 break 和 continue 语句.....	268	10.2.1 单片机的开发与开发工具.....	303
9.2.9 return 语句.....	269	10.2.2 单片机开发系统的功能.....	303



10.2.3 单片机应用系统的调试、 运行与维护.....	305
10.3 函数信号发生器的设计.....	309
10.3.1 功能分析及总体设计.....	309
10.3.2 硬件设计.....	309
10.3.3 软件设计.....	310
10.4 红外报警器的设计.....	314
10.4.1 功能分析及总体设计.....	314
10.4.2 硬件设计.....	316
10.4.3 软件设计.....	317
10.5 步进电机控制.....	318
10.5.1 步进电机的工作原理、 分类.....	318
10.5.2 步进电机与单片机的 接口设计.....	320
10.6 实验与实训.....	327
10.6.1 简易数字频率计.....	327
10.6.2 公交自动报站器.....	332
本章小结.....	340
习题.....	341
参考文献.....	342

第 1 章

单片机概述

教学提示

单片机是在一块芯片上集成了中央处理单元(CPU)、只读存储器(ROM)、随机存储器(RAM)和各种输入/输出(I/O)接口(定时器/计数器、并行 I/O 接口或串行 I/O 接口以及 A/D 转换器接口等)的微型计算机。它具有集成度高、体积小、功能强、使用灵活、价格低廉、稳定可靠等优点,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,以及火箭导航尖端技术等领域发挥着十分重要的作用。

学习目标

- 了解单片机的现状及发展趋势;
- 掌握单片机的有关概念和特点;
- 掌握单片机的组成;
- 了解单片机供应商主要产品的性能特点;
- 了解单片机的应用领域。

知识结构

本章知识结构如图 1.1 所示。

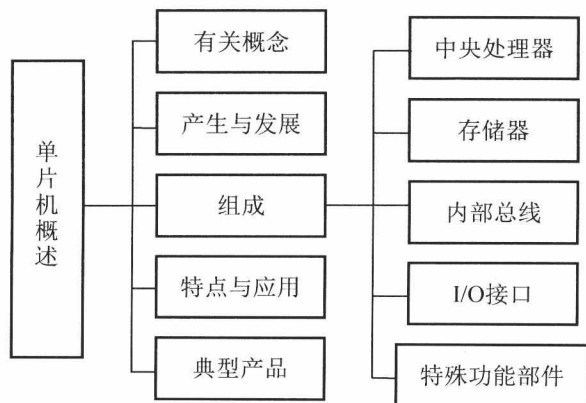


图 1.1 本章知识结构图

1.1 单片机的概念

微型计算机的出现给人类生活带来了根本性的变化,使现代科学研究产生了质的飞跃,单片机技术的出现则给现代工业测控领域带来了一次新的技术革命。可以说,单片机技术的开发和应用水平已逐步成为一个国家工业发展的标志之一,并正在深深地改变着人们的生活。

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,即把组成微型计算机的各个功能部件,如中央处理器(CPU)、随机存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、I/O 接口电路、定时器/计数器和串行通信接口等集成在一块芯片中,构成一个完整的微型计算机。

由于单片机主要面对的是测控对象,突出的是控制功能,所以它从功能和形态上来说都是应测控领域应用的要求而诞生的。随着单片机技术的发展,它在芯片内集成了许多面向测控对象的接口电路,如 ADC、DAC、高速 I/O 口、脉冲宽度调制器(Pulse Width Modulator, PWM)、监视定时器(Watch Dog Timer, WDT)等。这些对外电路及外设接口已经突破了微型计算机传统的体系结构,所以单片机也称为微控制器(Micro Controller Unit, MCU)。

1. 单片机与微处理器

随着大规模与超大规模集成电路技术的快速发展,微型计算机技术形成了两大分支:微处理器(Micro Processor Unit, MPU)和微控制器。

MPU 是微型计算机的核心部件,它的性质决定了微型计算机的性能。通用型的计算机已从早期的数值计算、数据处理发展到当今的人工智能阶段,它不仅可以处理文字、字符、图形、图像等信息,而且还可以处理音频、视频等信息,并向多媒体、人工智能、虚拟现实、网络通信等方向发展。它的存储容量和运算速度正在以惊人的速度发展,高性能的 32 位、64 位微型计算机系统正向大、中型计算机挑战。

MCU 主要用于控制领域。由它构成的检测控制系统应该具有实时的、快速的外部响应的功能,应该能迅速采集到大量数据,并在做出正确的逻辑推理和判断后实现对被控对象参数的调整与控制。单片机直接利用了 MPU 的发展成果,也发展了 16 位、32 位、64 位的机型,但它的发展方向是高性能、高可靠性、低功耗、低电压、低噪声和低成本。目前,单片机仍然是以 8 位机为主,16 位、32 位、64 位机并行发展的格局。单片机的发展主要还是表现在其接口和性能不断满足多种多样检测对象的要求上,尤其突出表现在它的控制功能上,用于构成各种专用的控制器和多机控制系统。

2. 单片机与嵌入式系统

面向检测控制对象,嵌入到应用系统中的计算机系统称为嵌入式系统。实时性是嵌入式系统的主要特征,对系统的物理尺寸、可靠性、重启动和故障恢复方面也有特殊的要求。由于被嵌入对象的体系结构、应用环境等的要求,嵌入式计算机系统比通用的计算机系统设计更为复杂,涉及面也更为广泛。从形式上可将嵌入式系统分为系统级、板级和芯片级。

系统级嵌入式系统为各种类型的工控机,包括进行机械加固和电气加固的通用计算机系

统、各种以总线方式工作的工控机和各种模块组成的工控机。它们大都有丰富的通用计算机软件及周边外设的支持，有很强的数据处理能力，应用软件的开发也很方便。但由于其体积庞大，适合于具有较大空间的嵌入式应用环境，如大型实验装置、船舶、分布式测控系统等。

板级嵌入式系统有各种类型的带 CPU 的主板及原始设备制造商(Original Equipment Manufacturer, OEM)产品。与系统级嵌入式系统相比，板级嵌入式系统体积较小，可以满足较小空间的嵌入式应用环境。

芯片级嵌入式系统以单片机最为经典。单片机嵌入到对象的环境、结构体系中作为其中一个智能化的控制单元，是最典型的嵌入式计算机系统。它有唯一的专门为嵌入式应用而设计的体系结构和指令系统，加上它的芯片级的体积和在现场运行环境下的高可靠性，最能满足各种中、小型对象的嵌入式应用要求。因此，单片机是目前发展最快、品种最多、数量最大的嵌入式计算机系统。

1.1.2 单片机的组成

单片机的结构特征是将组成计算机的基本部件集成在一块芯片上，构成一台功能独特的、完整的单片微型计算机。单片机的典型结构框图如图 1.2 所示。

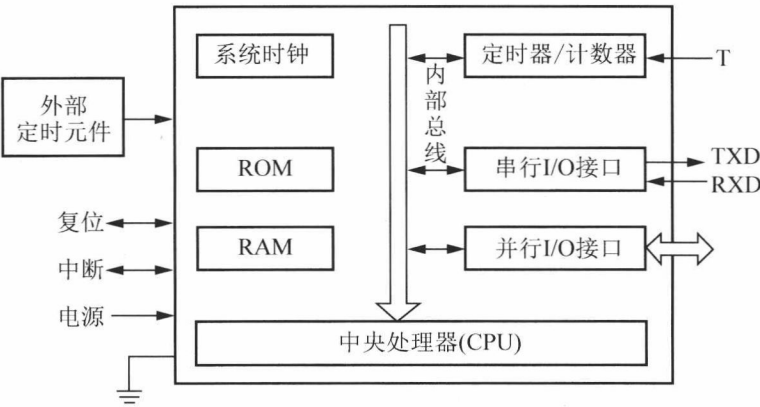


图 1.2 单片机的典型结构框图

1. 中央处理器

中央处理器(CPU)是单片机的核心部件，它由运算器和控制器组成，另外增设了面向控制的处理功能，如位处理、查表、多种跳转、乘除法运算、状态检测、中断处理等，增强了实时性。数据处理和系统的操作控制都是由 CPU 完成的，单片机最主要的功能技术指标也是由它决定的。

根据 CPU 的字长(即数据运算和传送数据的位数)，单片机可分为 4 位、8 位、16 位、32 位和 64 位等。此外，不同的单片机 CPU 在运算速度、数据处理能力、中断和实时控制功能等方面差别很大，这些也是衡量 CPU 功能强弱的主要技术指标。

2. 存储器

在单片机内部，ROM 和 RAM 是分开制造的。通常，ROM 存储容量较大，RAM 存储的容量较小，这是单片机用于控制的一大特点。单片机的存储空间有两种基本结构。一种是普

林斯顿(Princeton)结构,将程序和数据合用一个存储器空间,即 ROM 和 RAM 的地址在同一个空间里分配不同的地址。CPU 访问存储器时,一个地址对应唯一的一个存储单元,可以是 ROM,也可以是 RAM,用同类的访问指令。另一种是将程序存储器和数据存储器截然分开、分别寻址的结构,称为哈佛(Harvard)结构,CPU 用不同的指令访问不同的存储器空间。由于单片机实际应用中具有面向控制的特点,所以一般需要较大的程序存储器。目前,包括 MCS-51 和 80C51 系列的单片机均采用程序存储器和数据存储器截然分开的哈佛结构。

(1) 程序存储器

因为单片机的应用系统一般都是专用控制器,一旦研制成功,其监控程序也就定型了,因此可以用只读存储器作为程序存储器。此外,只读存储器中的内容不会丢失,从而提高了可靠性。单片机内部的程序存储器主要有以下几种形式。

1) 掩膜 ROM(Mask ROM)。它是由半导体厂家在芯片生产封装时,将用户的应用程序代码通过掩膜工艺制作到单片机的 ROM 区中,一旦写入用户就不能修改。因此它适合于程序已定型,并大批量使用的场合。8051 就是采用掩膜 ROM 的单片机。

2) OTP ROM(One Time Programmable ROM):这是用户一次性编程写入的程序存储器。用户可通过专用的写入器将应用程序写入 OTP ROM 中,但只允许写入一次。

3) EPROM(Erasable Programmable ROM):这种芯片带有透明窗口,可通过紫外线擦除程序存储器的内容。应用程序可通过专门的写入器脱机写入到单片机中,需要更改时可通过紫外线擦除后重新写入。8751 就是采用 EPROM 的单片机。

4) E²PRO(M(Electrically Erasable Programmable ROM):这种单片机内部具有电可编程电可擦除的 E²PRO(M 程序存储器。

5) ROMLESS:这种单片机内部没有程序存储器,使用时必须外接程序存储器(一般为 EPROM 电路)。8031 就是 ROMLESS 型的单片机。

6) Flash ROM:闪速存储器是一种可由用户多次编程写入的程序存储器。它不需要用紫外线擦除,编程与擦除完全用电实现,数据具有非易失性。编程与擦除速度快,4KB 编程只需数秒,擦除只需 10ms。例如 AT89 系列单片机,可实现在线编程,也可下载,这是目前大力发展的一种 ROM,大有取代 EPROM 型产品的趋势。

(2) 数据存储器

在单片机中,用随机存取存储器(RAM)来存储数据,暂存运行期间的数据、中间结果、堆栈、位标志和数据缓冲等,所以称之为数据存储器。一般在单片机内部设置一定容量的 RAM,并以高速 RAM 的形式集成在单片机内,以加快单片机的运行速度。同时,单片机还把专用的寄存器和通用的寄存器放在同一 RAM 内统一编址,以利于运行速度的提高。对于某些应用系统,还可以外部扩展数据存储器。

3. 内部总线

单片机内部总线是 CPU 连接片内各主要部件的纽带,是各类信息传送的公共通道。内部总线主要由 3 种不同性质的信号线组成,分别是地址线、数据线和控制线。地址线主要用来传送存储器所需要的地址码或外部设备的设备号,通常由 CPU 发出并被存储器或 I/O 接口电路所接收。数据线用来传送 CPU 写入存储器或经 I/O 接口送到输出设备的数据,也可以传送从存储器或输入设备经 I/O 接口读入的数据,因此,数据线通常是双向信号线。控制线有两类:一类是 CPU 发出的控制命令,如读命令、写命令、中断响应等;另一类是存储器或外设的状态信息,如外设的中断请求、存储器忙和系统复位信号等。

4. I/O 接口和特殊功能部件

I/O 接口电路有并行和串行两种。单片机为了突出控制的功能,提供了数量多、功能强、使用灵活的并行 I/O 接口,使用上不仅可灵活地选择输入或输出,还可作为系统总线或控制信号线,从而为扩展外部存储器和 I/O 接口提供了方便。串行 I/O 接口用于串行通信,可把单片机内部的并行数据转换成串行数据向外传送,也可以串行接收外部送来的数据并把它们转换成并行数据送给 CPU 处理。高速的 8 位机都可提供全双工串行 I/O 接口,因而能和某些终端设备进行串行通信,或者和一些特殊功能的器件相连接。

特殊功能部件有很多种,一般来讲,定时器/计数器是不可缺少的。在实际应用中,单片机常常需要精确定时,或者需对外部事件进行计数,因此在单片机内部设置了定时器/计数器电路,通过中断,实现定时/计数的自动处理。

有些单片机内部还包括其他特殊功能部件,如 A/D 转换器、D/A 转换器、直接存储器存取(Direct Memory Access, DMA)通道、PWM、WDT 等,其内部包含的特殊功能部件及数量与单片机型号有关。

1.1.3 单片机的特点

单片机与一般的微型计算机相比,由其独特的结构决定了它具有如下特点。

1. 集成度高、体积小

在一块芯片上集成了构成一台微型计算机所需的 CPU、ROM、RAM、I/O 接口以及定时器/计数器等部件,能满足很多应用领域对硬件的功能要求,因此由单片机组成的应用系统结构简单,体积特别小。

2. 面向控制、功能强

由于单片机是面向控制的,它的实时控制功能特别强,CPU 可以直接对 I/O 接口进行各种操作,能有针对性地解决从简单到复杂的各类控制任务。

3. 抗干扰能力强

单片机内 CPU 访问存储器、I/O 接口的信息传输线(即总线)大多数在芯片内部,因而不受外界的干扰,另一方面,由于单片机体积小,适应温度范围宽,在应用环境比较差的情况下,容易采取对系统进行电磁屏蔽等措施,在各种恶劣的环境下都能可靠地工作,所以单片机应用系统的可靠性比一般微型计算机系统高得多。

4. 功耗低

为了满足广泛使用于便携式系统的要求,许多单片机内的工作电压仅为 1.8~3.6V,而工作电流仅为数百微安。

5. 使用方便

由于单片机内部功能强,系统扩展方便,所以应用系统的硬件设计非常简单,又因为国内外提供多种多样的单片机开发工具,它们具有很强的软硬件调试功能和辅助设计的手段,这样使单片机的应用极为方便,大大缩短了系统研制的周期。另外,还可方便地实现多机和分布式控制,使整个控制系统的效率和可靠性大为提高。

6. 性能价格比高

单片机功能强、价格便宜,其应用系统的印制电路板小,接插件少,安装调试简单等一系列原因,使单片机应用系统的性能价格比高于一般的微型计算机系统。为了提高单片机速度和运行效率,很多地方已开始使用精简指令集计算机(Reduced Instruction Set Computer, RISC)流水线和数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)等技术。由于单片机的广泛使用、销量极大,各大公司的商业竞争更使其价格十分低廉,从而使其性能价格比极高。

7. 容易产品化

单片机以上的特性,缩短了由单片机应用系统样机至正式产品的过渡过程,使科研成果能迅速转化为生产力。

1.2 单片机的发展过程与趋势

单片机自20世纪70年代诞生以来,发展十分迅速。目前世界上单片机供应商有几十家,单片机型号繁多。从各种新型单片机的性能上看,单片机正朝着面向多层次用户的多品种、多规格方向发展。

1.2.1 单片机发展过程

单片机出现的历史并不长,它的产生与发展和微处理器的产生与发展大体上同步,也经历4个阶段。

第1阶段(1974—1976年):初级单片机阶段。1974年,美国Fairchild公司研制出世界上第一台单片微型计算机F8,深受家用电器和仪器仪表领域的欢迎和重视,从此拉开了研制单片机的序幕。这个时期生产的单片机特点是制造工艺落后、集成度低,而且采用双片结构。典型的代表产品有Fairchild公司的F8和Mostek公司的3870等。

第2阶段(1976—1978年):低性能单片机阶段。这一时期生产的单片机虽然已能在单块芯片内集成CPU、并行接口、定时器、RAM和ROM等功能芯片,但CPU功能还不太强,I/O设备的种类和数量少,存储器存储容量小,只能应用于比较简单的场合。以Intel公司的MCS-48为代表,这个系列的单片机内集成有8位CPU、并行I/O接口、8位定时器/计数器,寻址范围不大于4KB,且无串行接口,它是8位单片机的早期产品。MCS-48系列单片机是Intel公司1976年以后陆续推出的第一代8位单片机系列产品,包括基本型8048、8748和8035,强化型8049、8039、8050、8750和8040,简化型8020、8021和8022,专用型UPI-8041、8741等。低、中档型单片机目前已被高档8位单片机所取代。

第3阶段(1978—1983年):高性能单片机阶段。在这一阶段推出的单片机普遍带有串行接口,有多级中断处理系统,16位定时器/计数器。片内RAM、ROM容量加大,且寻址范围可达64KB,有的片内还带有A/D转换器接口。这类单片机有Intel公司的MCS-51, Motorola公司的M6805和Zilog公司的Z8等。由于这类单片机的应用领域极其广泛,各公司正在大力改进其结构与性能,所以,这个系列的各类产品仍是目前国内外产品的主流。其中MCS-51系列产品,由于其优良的性能价格比,特别适合我国的国情,MCS-51系列单片机有可能稳定相当一段时期。



第4阶段(1983年至今): 16位及以上单片机和超8位单片机并行发展阶段。此阶段单片机发展的主要特征是,一方面发展16位及以上单片机和专用单片机;另一方面不断完善高档8位单片机,改善其结构,以满足不同用户需要。自1982年16位单片机诞生以来,现在已有Intel公司的MCS-96系列、Mostek公司的MK68200、NS公司的HPC16040系列、NEC公司的783XX系列和TI公司的TMS9940及9995系列等。16位单片机的特点是CPU是16位的,运算速度普遍高于8位机,有的单片机寻址可达1MB,片内含有A/D和D/A转换电路,支持高级语言。16位单片机主要用于过程控制、智能仪表、家用电器及作为计算机外部设备的控制器等。32位单片机的字长为32位,具有极高的运算速度。近年来,随着家用电子系统、多媒体技术和Internet技术的发展,32位甚至64位单片机的生产前景看好,其典型产品有Motorola公司的M68300系列和Hitachi公司的SH系列等。第4阶段单片机的一个重要标志是,超8位单片机的各档机型都增加了直接存储器存取(DMA)通道、特殊串行接口等。这些8位单片机主要有Intel公司的8044、87C252、83C252、80C252、UPI-452, Zilog公司的Super 8, Motorola公司的68HC11等。对于MCS-51系列高档单片机,近年来,Intel公司及其他公司在提高该系列产品性能方面做了很多工作,如低功耗控制、具有高级语言编程,软件开发比较方便,将MCS-96系列中的一些高速输出、脉宽调制(PWM)、捕捉定时器/计数器移植进来等。

20世纪80年代以来,单片机的发展非常迅速。从基本操作处理的数据位数来看,有4位、8位、16位、32位甚至64位单片机。从技术上看,8位、16位、32位、64位单片机各有其相应的应用领域和定位,可以预料,16位、32位及64位单片机将会越来越受到人们的重视,今后其应用会越来越多。但是衡量单片机,不仅要考虑其性能指标,而且还要考虑价格和开发周期等综合效益。在许多场合,4位和8位机已经可以满足需要,而如果要用高档的16位及32位甚至64位单片机,可能会延长开发周期和增加费用。因此,在今后相当长一段时间内,16位、32位及64位单片机只能不断扩大其应用范围,并不能代替8位机。另外,由于8位单片机在性能价格比上占有优势,且8位增强型单片机在速度和功能上可向现在的16位单片机挑战,所以,8位单片机仍将在今后的一段时间里占主流地位。

在单片机家族中,80C51系列是其中的佼佼者,加之Intel公司将其MCS-51系列中的80C51内核使用权以专利互换或出售形式转让给世界许多著名IC设计厂商,如Philips、NEC、Atmel、AMD、华邦等,这些公司都在保持与80C51单片机兼容的基础上改善了80C51的许多特性。这样,80C51就变成由众多制造厂商支持的、发展出上百品种的大家族,现统称其为80C51系列(简称C51系列),且成为单片机发展的主流机型。此系列的单片机应用也最为广泛,因此,本书以讨论80C51系列单片机为主。

1.2.2 单片机发展趋势

近年来单片机的发展非常快,纵观单片机的现状及历史,其发展趋势正朝着大容量高性能化、小容量低价格化、外围电路内装化、多品种化,以及I/O接口功能的增强、功耗降低等方向发展。

1. CPU功能增强

单片机内部CPU功能的增强集中体现在数据处理速度和精度的提高以及I/O处理能力的