

高等院校电子信息技术应用型特色教材

单片机原理及应用系统设计

杨文龙 主编

大学出版社

高等院校电子信息技术应用型特色教材

单片机原理及应用系统设计

杨文龙 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是将 MCS-51 系列单片机原理、汇编语言程序设计、C51 程序设计及应用系统控制接口技术整合在一起的面向测控领域的教科书。本书全面系统地介绍了 MCS-51 系列单片机的结构原理、指令系统、接口技术、应用系统的设计、汇编语言程序设计、C51 高级语言程序设计以及基于 RTX51 实时多任务操作系统的多任务程序设计方法。此外,还对当前流行的以 MCS-51 为内核的 3 种系列的派生型单片机——Atmel 公司的 AT89C51 系列、Philips 公司的 P89C51 系列和宏晶科技公司的 STC89/STC90C51 系列作了详尽介绍。

本书取材广泛、先进实用,概念清晰且实例丰富,图文并茂,数据准确。

本书可作为高等院校电子与信息技术相关专业的教材或教学参考书,也可供从事单片机应用系统开发的工程技术人员阅读参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用系统设计/杨文龙主编. —北京:清华大学出版社,2011.11

ISBN 978-7-302-25447-8

I. ①单… II. ①杨… III. ①单片微型计算机—理论 ②单片微型计算机—系统设计
IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 078767 号

责任编辑:朱怀永

责任校对:袁芳

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:27 字 数:620 千字

版 次:2011 年 11 月第 1 版 印 次:2011 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:46.00 元

Intel 公司的 MCS-51 系列单片机 (Single Chip Microcomputer) 是当前国内外在测控领域中广泛使用的高档 8 位微控制器 (Microcontroller), 它是集 CPU、ROM/RAM、I/O 接口于统一芯片的大规模集成电路, 具有体积小、功能强、可靠性高、功耗低、使用方便以及外围硬件支持十分丰富等优点, 可满足各类工业测量控制的需要。近年来, 随着电子与信息技术的迅猛发展, 单片机技术已成为计算机控制技术的一个独特分支, 形成了理论性和实践性都很强的一门课程。

本书以 MCS-51 系列单片机为阐述对象, 系统地介绍单片机的结构原理和应用技术。全书共分 9 章, 第 1 章扼要介绍单片机的发展概况、单片机的特点和应用以及当前单片机主要系列产品的性能; 第 2 章以国际上知名度高、应用广泛的 MCS-51 系列单片机为主体, 介绍其基本结构和性能; 第 3 章重点介绍 MCS-51 单片机的指令系统和程序设计基础, 使读者能更透彻地了解 MCS-51 单片机的功能, 同时为编程应用打下基础; 第 4 章介绍 MCS-51 单片机的中断系统、定时器和串行口的功能和应用; 第 5 章介绍 MCS-51 单片机的系统扩展技术, 包括程序存储器的扩展、外部数据存储器的扩展和 I/O 口的扩展; 第 6 章介绍 MCS-51 单片机的实用接口技术, 主要包括显示器/键盘接口、打印机接口、A/D 和 D/A 转换器接口; 第 7 章介绍当前广为流行的与 MCS-51 兼容的派生型单片机, 包括 Atmel 公司的 AT89C51X 系列 Flash 单片机、Philips 公司的 P89C51RX2 单片机以及宏晶科技公司的 STC89/STC90 系列单片机; 第 8 章介绍单片机 C51 语言程序设计方法, 重点介绍 C51 语言及用 C51 语言来编写 MCS-51 单片机应用程序的方法; 第 9 章介绍 RTX51 实时多任务操作系统以及在 RTX51 环境下编写 MCS-51 单片机多任务应用程序。本书列举的应用实例大多是作者在从事教学和科研中总结和提炼而来的, 每一个例子都能体现所在章节中的重点。每章均附有习题, 供读者练习。编者注意了理论和实践相结合, 力求做到既有一定的理论基础, 又能运用理论解决实际问题; 既介绍一定的先进技术, 又着眼于为当前的应用服务。

本书可作为工业自动化、自动控制、计算机应用及其他有关专业的教材及教学参考书, 也可作为测控领域的工程技术人员的培训教材或自学

参考书。

作者在香港科技大学工作期间,在业务上得到了 X. S. Li 教授的支持和具体指导,在此均表示诚挚的感谢。由于作者水平所限,书中难免存在不足之处,希望广大读者批评指正。

杨文龙

2011年2月于广州



| | |
|--------------------------------------|----|
| 第 1 章 概述 | 1 |
| 1.1 单片机的内部结构和特点 | 1 |
| 1.1.1 单片机的内部结构 | 1 |
| 1.1.2 单片机的特点 | 2 |
| 1.2 单片机的发展概况 | 3 |
| 1.2.1 单片机的发展史 | 3 |
| 1.2.2 单片机的技术发展趋势 | 5 |
| 1.3 单片机的应用领域 | 7 |
| 习题 1 | 8 |
| 第 2 章 MCS-51 系列单片机的结构 | 9 |
| 2.1 MCS-51 单片机的结构和引脚 | 9 |
| 2.1.1 MCS-51 单片机的结构框图 | 9 |
| 2.1.2 MCS-51 单片机的引脚定义及功能 | 10 |
| 2.2 存储器组织和位处理器 | 12 |
| 2.2.1 MCS-51 单片机存储器组织 | 12 |
| 2.2.2 程序存储器 | 13 |
| 2.2.3 数据存储器 | 14 |
| 2.2.4 特殊功能寄存器 | 16 |
| 2.2.5 位处理器 | 20 |
| 2.3 并行 I/O 口 | 20 |
| 2.3.1 并行 I/O 口的结构 | 20 |
| 2.3.2 并行 I/O 口的操作 | 22 |
| 2.4 时钟和 CPU 时序 | 23 |
| 2.4.1 振荡器和时钟电路 | 23 |
| 2.4.2 CPU 时序 | 24 |
| 2.5 复位和掉电处理及编程操作 | 27 |
| 2.5.1 复位 | 27 |
| 2.5.2 掉电保护操作 | 28 |
| 2.5.3 CHMOS 型 80C51 单片机的节电工作方式 | 29 |
| 2.5.4 8751 片内 EPROM 的编程接口 | 30 |

| | | |
|--------------|------------------------------------|-----------|
| 2.5.5 | 8951 片内快闪存储器的编程接口 | 32 |
| 习题 2 | | 34 |
| 第 3 章 | MCS-51 单片机的指令系统和程序设计 | 36 |
| 3.1 | 指令格式和寻址方式 | 36 |
| 3.1.1 | 程序设计语言 | 36 |
| 3.1.2 | 指令格式 | 37 |
| 3.1.3 | 寻址方式 | 41 |
| 3.2 | 指令系统 | 46 |
| 3.2.1 | 数据传送指令 | 46 |
| 3.2.2 | 算术运算指令 | 53 |
| 3.2.3 | 逻辑运算指令 | 58 |
| 3.2.4 | 控制转移指令 | 61 |
| 3.2.5 | 位操作指令 | 67 |
| 3.3 | 程序设计举例 | 68 |
| 3.3.1 | 查表程序 | 68 |
| 3.3.2 | 分支程序 | 72 |
| 3.3.3 | 循环程序 | 76 |
| 3.3.4 | 逻辑操作程序 | 79 |
| 3.3.5 | 代码转换程序 | 80 |
| 3.3.6 | 运算程序 | 82 |
| 习题 3 | | 86 |
| 第 4 章 | 中断系统和定时器/计数器及串行 I/O 口 | 91 |
| 4.1 | MCS-51 单片机中断系统 | 91 |
| 4.1.1 | 中断的基本概念 | 91 |
| 4.1.2 | MCS-51 单片机中断控制机构 | 93 |
| 4.1.3 | 中断控制 | 94 |
| 4.1.4 | 用软件模拟第 3 级中断优先级 | 97 |
| 4.1.5 | 中断响应过程 | 98 |
| 4.1.6 | 中断请求的撤除 | 99 |
| 4.1.7 | 外部中断 | 100 |
| 4.1.8 | 单步操作 | 102 |
| 4.2 | 定时器/计数器 | 103 |
| 4.2.1 | 定时器/计数器的结构 | 103 |
| 4.2.2 | 定时器的方式寄存器和控制寄存器 | 104 |
| 4.2.3 | 定时器的工作方式 | 106 |
| 4.2.4 | 定时器 T2 | 109 |

| | |
|--|------------|
| 4.2.5 定时器/计数器的编程和应用举例 | 114 |
| 4.3 串行接口 | 124 |
| 4.3.1 串行通信的基本概念 | 124 |
| 4.3.2 MCS-51 单片机串行口的控制 | 126 |
| 4.3.3 串行口的工作方式 | 127 |
| 4.3.4 波特率设置 | 130 |
| 4.3.5 串行口的编程和应用举例 | 132 |
| 4.3.6 多机通信系统 | 135 |
| 习题 4 | 141 |
| 第 5 章 MCS-51 单片机系统的扩展 | 143 |
| 5.1 MCS-51 单片机扩展系统的组成 | 143 |
| 5.2 Flash 程序存储器的扩展 | 145 |
| 5.2.1 Flash 存储器特性 | 145 |
| 5.2.2 28F256 型 Flash | 146 |
| 5.2.3 用 28F256 型 Flash 扩展外部程序存储器 | 150 |
| 5.3 数据存储器的扩展 | 155 |
| 5.3.1 静态 RAM | 155 |
| 5.3.2 扩展外部数据存储器举例 | 157 |
| 5.4 并行 I/O 口的扩展 | 158 |
| 5.4.1 用不可编程的接口芯片扩展 I/O 口 | 159 |
| 5.4.2 用 8255A 可编程并行接口芯片扩展 I/O 口 | 160 |
| 5.5 地址译码电路 | 177 |
| 5.5.1 片选信号产生 | 177 |
| 5.5.2 地址译码电路 | 181 |
| 习题 5 | 182 |
| 第 6 章 单片机系统的接口技术 | 184 |
| 6.1 显示器和键盘接口 | 184 |
| 6.1.1 LED 数码显示器接口与编程 | 184 |
| 6.1.2 键盘接口与编程 | 194 |
| 6.1.3 键盘/显示系统 | 202 |
| 6.2 打印机接口 | 221 |
| 6.2.1 TP- μ P-16A 微型打印机简介 | 221 |
| 6.2.2 微型打印机与 MCS-51 单片机的连接 | 224 |
| 6.3 D/A 和 A/D 转换接口 | 226 |
| 6.3.1 D/A 转换接口技术 | 226 |
| 6.3.2 A/D 转换接口技术 | 235 |

| | |
|--|------------|
| 习题 6 | 242 |
| 第 7 章 MCS-51 派生型单片机 | 245 |
| 7.1 Atmel 89 系列单片机 | 245 |
| 7.1.1 AT89 系列单片机分类 | 245 |
| 7.1.2 AT89C51/52 单片机 | 246 |
| 7.1.3 AT89C1051/2051 单片机 | 249 |
| 7.1.4 AT89S51/52 单片机 | 255 |
| 7.2 Philips P89C51RX2 系列单片机 | 262 |
| 7.2.1 P89C51RX2 系列单片机综述 | 262 |
| 7.2.2 P89C51RX2 系列单片机内部结构 | 262 |
| 7.2.3 P89C51RX2 系列单片机引脚功能 | 264 |
| 7.2.4 存储器组织 | 265 |
| 7.2.5 P89C51RX2 系列单片机特殊功能寄存器 SFR | 266 |
| 7.2.6 时钟模式 | 268 |
| 7.2.7 中断优先级结构 | 268 |
| 7.2.8 降低 EMI | 270 |
| 7.2.9 双数据指针寄存器 DPTR0 和 DPTR1 | 271 |
| 7.2.10 可编程计数器阵列 PCA | 272 |
| 7.2.11 硬件监视定时器 WDT | 280 |
| 7.2.12 P89C51RX2 系列单片机在系统编程和在应用编程 | 280 |
| 7.3 STC89/STC90 系列单片机 | 282 |
| 7.3.1 STC89 系列单片机简介 | 282 |
| 7.3.2 STC89 系列单片机的内部结构及封装形式 | 284 |
| 7.3.3 STC89C 系列单片机的特殊功能寄存器 | 284 |
| 7.3.4 STC89 系列单片机的新特性 | 284 |
| 7.3.5 STC89 系列单片机 ISP | 293 |
| 7.3.6 新一代的 STC90 系列单片机 | 294 |
| 习题 7 | 302 |
| 第 8 章 C51 语言程序设计 | 303 |
| 8.1 Keil C51 概述 | 303 |
| 8.1.1 Keil C51 对 MCS-51 单片机存储空间的定义 | 303 |
| 8.1.2 C51 程序结构与调试 | 304 |
| 8.2 C51 数据类型和运算符及表达式 | 308 |
| 8.2.1 数据类型 | 308 |
| 8.2.2 运算符和表达式 | 310 |
| 8.2.3 运算符的优先级和结合性 | 314 |

| | | |
|-------|----------------------------------|-----|
| 8.3 | 控制语句 | 315 |
| 8.3.1 | 顺序控制语句 | 315 |
| 8.3.2 | if 语句 | 317 |
| 8.3.3 | switch 语句 | 318 |
| 8.3.4 | 循环语句 | 319 |
| 8.3.5 | goto 和 break 及 continue 语句 | 320 |
| 8.4 | 函数 | 321 |
| 8.4.1 | 函数的定义与声明 | 322 |
| 8.4.2 | 函数调用及参数传递 | 322 |
| 8.4.3 | 函数的返回值 | 324 |
| 8.4.4 | 函数的嵌套与递归调用 | 325 |
| 8.4.5 | 变量的存储类型 | 326 |
| 8.4.6 | 中断服务函数 | 327 |
| 8.5 | 数组 | 329 |
| 8.5.1 | 一维数组 | 330 |
| 8.5.2 | 多维数组 | 332 |
| 8.6 | 指针 | 334 |
| 8.6.1 | 指针的概念 | 334 |
| 8.6.2 | 指针运算 | 336 |
| 8.6.3 | 数组指针与指针数组 | 337 |
| 8.6.4 | 指针与函数 | 338 |
| 8.7 | 结构、联合及枚举 | 340 |
| 8.7.1 | 结构的定义 | 340 |
| 8.7.2 | 结构变量的初始化 | 342 |
| 8.7.3 | 结构成员的访问 | 342 |
| 8.7.4 | 结构数组 | 344 |
| 8.7.5 | 结构与指针 | 345 |
| 8.7.6 | 结构与函数 | 348 |
| 8.7.7 | 联合 | 349 |
| 8.7.8 | 枚举 | 351 |
| 8.8 | 编译预处理命令 | 352 |
| 8.8.1 | 宏定义 | 353 |
| 8.8.2 | 文件包含 | 355 |
| 8.8.3 | 条件编译 | 355 |
| 8.9 | C51 与汇编语言混合编程 | 357 |
| 8.9.1 | C 程序中直接嵌入汇编语言代码 | 357 |
| 8.9.2 | C51 调用汇编函数 | 358 |
| 8.10 | C51 编程举例 | 361 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| 8.10.1 温度数据采集系统 | 361 |
| 8.10.2 数字式电子钟 | 369 |
| 习题 8 | 376 |
| 第 9 章 RTX51 实时多任务操作系统 | 381 |
| 9.1 实时多任务处理 | 381 |
| 9.2 RTX51 的特性 | 382 |
| 9.3 RTX51 运行机制 | 386 |
| 9.4 RTX51 系统函数 | 391 |
| 9.5 RTX51 多任务程序设计 | 398 |
| 9.5.1 多任务编程方法 | 398 |
| 9.5.2 RTX51 Tiny 多任务应用程序实例 | 405 |
| 习题 9 | 407 |
| 附录 A MCS-51 单片机汇编指令表 | 408 |
| 附录 B Keil C51 库函数 | 414 |
| 参考文献 | 419 |

概 述

自从 1975 年美国德克萨斯仪器公司(Texas Instruments)的第一个单片微型计算机(简称单片机)TMS-1000 问世以来,单片机技术已成为计算机技术的一个独特分支,其应用领域越来越广泛,特别是在工业控制和仪器仪表智能化中扮演着极其重要的角色。本章主要介绍单片机的发展概况、特点和应用。通过对本章的学习,读者能够对单片机有一个初步的认识,对单片机的主要系列产品的功能有所了解。

1.1 单片机的内部结构和特点

1.1.1 单片机的内部结构

一个最基本的微型计算机通常由以下部分组成:

- (1) 中央处理器(CPU),包括 ALU、控制器和寄存器组;
- (2) 存储器,包括 ROM 和 RAM;
- (3) 输入/输出(I/O)接口,与外部输入/输出设备连接。

随着超大规模集成电路技术的发展和计算机微型化的需要,把上述微型计算机的基本功能部件全部集成在一块半导体芯片上,使得一块集成电路芯片就是一部微型计算机,这种集成电路芯片被称为单片微型计算机(Single Chip Microcomputer),简称单片机。单片机除了具备一般微型计算机的功能外,为了增强实时控制能力,绝大部分单片机的芯片上还集成有定时器/计数器,某些单片机还带有 A/D 转换器等功能部件。一个典型单片机的内部结构如图 1.1 所示。

单片机结构上的设计主要是面向控制的需要,因此,它在硬件结构、指令系统和 I/O 能力等方面均有独特之处,其显著的特点之一就是具有非常有效的控制功能,为此又被称为微控制器(Microcontroller)。所以单片机不但与一般微处理机一样是一个有效的数据处理机,而且还是一个功能很强的过程控制机。从某种意义上讲,一块单片机具有相当于一台

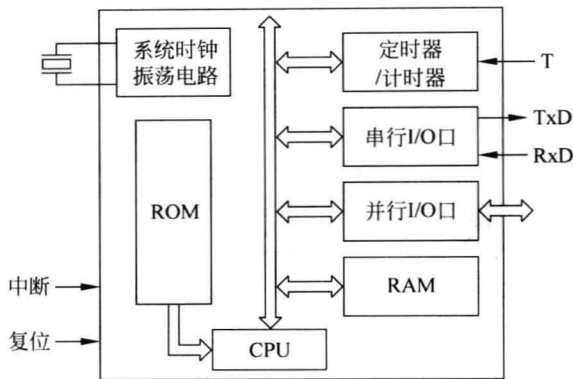


图 1.1 典型单片机的内部结构

单板(多片)微型计算机的功能,只要加上所需的输入/输出设备,就可以构成一个完整的系统,满足各种应用领域的需要。

1.1.2 单片机的特点

所谓单片机就是一块芯片上集成了CPU、ROM、RAM、定时/计数器和多种I/O接口电路等达到一定规模的微型计算机。单片机与通用微型计算机比较,在硬件结构、指令设置上均有独到之处,其主要特点如下。

(1) 在存储器组织上采用哈佛(Harvard)结构。即数据存储空间与程序存储空间相互分离开(Harvard Aiken 在 1944 年为 IBM 公司推出的 Mark 1 中,提出 Harvard 结构,并在 1946 年由 John Mauchly 采用了 Harvard 结构设计出第一台电子计算机 ENIAC)。而不太采用目前计算机常用的冯·诺依曼(Von Neumann)结构,即数据与程序合用一个存储空间(这是由 John Von Neumann 提出,并在 1951 年诞生 EDVAC 计算机)。

采用 Harvard 结构主要是考虑到单片机主要面向控制,程序存储器 ROM 和数据存储器 RAM 严格分工。通常需要较大容量的 ROM,ROM 只存放已调试好的控制程序、常数及数据表格。还需要一定容量的 RAM,用于存放少量的随机数据、变量及用做工作区。这样小容量的数据存储器能以高速 RAM 的形式集成在单片机内,加快程序运行速度。RAM 并不是当做高速数据缓冲存储器(Cache)用。

(2) 采用面向控制的指令系统。为满足控制的需要,单片机的逻辑控制能力要优于同等级的 CPU,特别是单片机具有很强的位处理能力。单片机的运行速度也较高。

(3) 单片机的 I/O 引脚通常是多功能的。由于单片机芯片上引脚数有限,为了解决实际引脚数和需要的信号线数的矛盾,采用了引脚功能复用的方法,引脚处于何种功能,可由指令来设置或由机器状态来区分。

(4) 系列齐全,功能扩展性强。单片机有内部掩膜 ROM、内部 EPROM 和外接 ROM 等形式,并可方便地扩展外部的 ROM、RAM 及 I/O 接口,与许多通用的微机接口芯片兼容,给应用系统的设计和和生产带来极大的方便。

(5) 单片机的功能是通用的。单片机虽然主要作控制器用,但是功能上还是通用的,

可以像一般微处理器那样广泛地应用在各个方面。

1.2 单片机的发展概况

1.2.1 单片机的发展史

大规模集成电路工艺技术的进一步发展,导致微型计算机正沿着两个引人注目的方向前进:一是高性能的 32/64 位微型机及其系列化向大、中型计算机挑战,二是微型计算机的单片化,使一块芯片不仅包含 CPU,而且还集成了必要的存储器及 I/O 接口电路等功能部件,构成一台体积小、价格低、功能强、能适应各种控制领域需要的单片微型计算机。1975 年德克萨斯仪器公司首先推出世界上第一个 4 位单片机 TMS-1000 型,随后各厂商竞相研制和开发各种单片机。目前,单片机的产品已达 50 多种系列,300 多种型号,就字长而言,主要是 4 位、8 位、16 位和 32 位 4 种。

1. 4 位单片机

单片机的开发和应用是从 4 位机开始的,由于 4 位单片机的字长为 4 位,一次并行处理(运算或传送)4 位二进制数据,因此其内部结构简单,从而最早问世。自 1975 年以来,几乎所有的 4 位微型计算机全是单片结构。4 位单片机有美国国家半导体 NS(National Semiconductor)公司的 COP4XX 系列,日本电气(NEC)公司的 μ PD75XX 系列,这两种系列的单片机产量约占 4 位机产量的 50%,主宰了 4 位机的市场。

另外,美国洛克威尔(Rockwell)公司的 PPS/1 系列、德克萨斯仪器公司的 TMS-1000 系列、日本松下(National)公司的 MN1400 系列、富士通(Fujitsu)公司的 MB88 系列和夏普(Sharp)公司的 SM 系列等都占有 4 位单片机一定的市场。

4 位单片机不仅结构简单、价格低廉,而且功能灵活,既有相当的数据处理能力,又具备较强的控制能力。例如 COP400 系列的典型 4 位单片机 COP444L,为 NMOS 低功耗 28 脚双列直插封装的单片机,片内包含 4 位 CPU、时基计数器、串/并行 I/O 接口和存储器等,存储器的 ROM 为 $2K \times 8$ 位, RAM 为 128×4 位,并具有矢量中断功能。又如, NEC 公司的 μ PD75308,片内的 ROM 可达 $8K \times 8$ 位, RAM 为 512×4 位, I/O 引脚数为 58 根,还可直接驱动 LCD(Liquid Crystal Display)。

由于 4 位单片机具有较高的性能价格比,主要用于汽车电子、网络设备、手持设备、数码相机、家用电器、民用电子装置和电子玩具等领域。近年来,4 位单片机的产量虽仍很大,但在单片机生产中的比重正逐年下降,其主角地位已让位于 8 位单片机。

2. 8 位单片机

1976 年 9 月美国英特尔(Intel)公司首次推出了 MCS-48 系列 8 位单片机,这是第一个完全的 8 位单片机。它在一块芯片上包含了 8 位 CPU、1K 字节的 ROM、64 字节的 RAM、27 根 I/O 接口引脚端、1 个 8 位定时器/计数器和 2 个中断源。随后,1977 年莫斯特克(Mostek)和仙童(Fairchild)公司共同合作生产了 3870(F8)系列的 8 位单片机;1978 年摩托罗拉(Motorola)公司推出了 6801 系列的 8 位机。此后,各种 8 位单片机也纷纷应运而生。

在 1978 年以前各厂家生产的 8 位单片机,由于受集成度(几千只管/片)的限制,一般都没有串行 I/O 接口,并且寻址空间的范围小(小于 8KB),从性能来看,属于低档 8 位单片机,如 Intel 的 MCS-48 系列和 Fairchild 的 F8 系列。

随着集成电路工艺水平的提高,在 1978 年到 1983 年期间电路集成度提高到几万只管/片,因而一些高性能的 8 位单片机相继问世。例如,1978 年 Motorola 公司推出的 MC6801 系列、齐洛格(Zilog)公司的 Z8 系列,1979 年 NEC 公司的 μ PD78XX 系列,1980 年 Intel 公司的 MCS-51 系列,美国微芯科技公司(Microchip Technology)PIC12F/16F/17F 系列,爱特梅尔(Atmel)的 AVR 系列等 8 位单片机。芯片的集成度在 52000 只管/片(MC6800)~60000 只管/片(MCS-51)之间。这类单片机的寻址能力达 64~128KB,片内 ROM 容量达 4~64KB, RAM 达 128~256B,片内除了带有并行 I/O 口外,还有串行 I/O 口,甚至某些单片机还有 A/D 和 D/A 转换功能。因此,把这类单片机称为高档 8 位单片机。

在高档 8 位单片机的基础上,功能进一步加强,近年来推出了超 8 位单片机,如 Intel 公司的 8X252、UPI-452、83C152, Zilog 公司的 Super8, Motorola 公司的 MC68HC II 等,其中不乏优异性能芯片,它们不但进一步扩大了片内 ROM 或 RAM 的容量,同时还增加了通信功能、DMA 传送功能以及高速 I/O 功能等。自 1985 年以来,各种高性能、大存储容量、多功能的超 8 位单片机不断涌现,它们将代表单片机发展的方向,在单片机应用领域中起越来越大的作用。

8 位单片机由于其功能强、品种多,正广泛应用于各个领域,是单片机的主流机种。由于 8 位机的价格不断下降,甚至比 4 位机的价格还要低,近几年来出现了用 8 位机取代 4 位机的趋势,4 位机相对萎缩,其市场逐渐被 8 位机侵吞,估计今后几年内 8 位单片机仍作为主角活跃在单片机的舞台上。本书将以目前应用最广的 Intel 公司 MCS-51 系列单片机为主进行介绍,它是我国优选应用的机种之一。

3. 16 位单片机

1983 年以后,集成电路的集成度可达十几万个管/片,16 位单片机逐渐问世。Mostek 公司的 68200 是第一个公布于世的 16 位单片机。但由于该公司经营不景气,68200 一直没有得到很好的开发和应用。1985 年 Mostek 公司宣布倒闭,68200 几乎要绝迹。而后,法国汤姆逊(Thomson)公司接管该公司,并在 1986 年末推出了 CMOS 型的 68HC200 16 位单片机。

1983 年 Intel 公司研制出 16 位 MCS-96 系列单片机,该公司自 1985 年修正了早期 8096AH 的错误,并推出相应的仿真器后,才开始推广 8096 的应用。8096 是整个 MCS-96 系列的代表性产品,集成度为 12 万只管/片。根据其结构不同可分为 48 引脚的双列直插式和 68 引脚的扁平式两种封装形式,内含 16 位 CPU、8KB 的 ROM、232B 的 RAM、5 个 8 位并行 I/O 口、4 个全双工串行口、4 个 16 位定时器/计数器、8 个通道的 10 位 A/D 转换器(48 脚封装的只有 4 个通道)、8 级中断处理系统。8096 的硬件设置使它具有拓扑 I/O 功能,例如,具有高速输入/输出子系统(HSIO)、具有脉冲宽度调制 PWM(Pulse-Width Modulators)输出、具有特殊用途的监视定时器(Watchdog Timer)等。1987 年年末,Intel 公司还推出了 CMOS 型的 80C96。最近 Intel 公司又推出了 MCS-96 系列的新成员 8098,它的结构与功能与 8096 类同,内部 CPU 寄存器为 16 位,但外部数据总线为

8位,这样在保持内部16位高速运算的条件下,可使用户系统更简单。8098类似于8088CPU,属于准16位单片机。由于8098单片机的价格较低廉,也便于I/O接口,因此受到广大用户的青睐,成为产量较高的16位单片机之一。

NS、Motorola和NEC公司在他们原有的8位单片机基础上,也推出了16位单片机HPC16040、783XX和68HC12系列。他们的宗旨是使其仅为8位机的价格而具有16位机的功能。例如,68HC12与68HC11指令在源码级兼容。68HC12单片机比起68HC11来,在总线速度上由2~3MHz提高到8MHz,增加了一些新的指令,特别是提供了模糊逻辑运算与模糊控制的指令。68HC12的基本寻址空间仍为64KB,但可以采用自动分页的方式扩展应用程序到256K甚至更多。这样做的好处是指令代码短,程序代码效率高。由于它们的出现,16位单片机世界也正在开始热闹起来,这将大大促进16位单片机的发展。

4. 32位单片机

尽管8位单片机的市场份额依旧最大、生命周期依然较长,16位的单片机的需求亦在大幅上升,但随着调制解调器、GPS、路由器、机顶盒、工作站、激光打印机等中高端应用需求的增长,32位单片机应运而生。例如,Motorola公司推出的MC68HC376是一种高性能的32位单片机,它具有极强的数据处理、逻辑运算和信息存储能力,且支持BDM(Background Debug Mode)模式。其主要功能模块包括32位CPU、系统集成模块(SIM)、4KB备用RAM、8KB片内ROM、10位队列式的模数转换器(QADC)、队列式串行通信模块(QSM)、可构造时钟模块(CTM4)、时间处理单元(TPU)、3.5KB静态TPURAM和CAN控制模块(TOUCAN)。MC68HC376的基本性能如下:

- (1) 24位地址总线、16位数据总线结构,支持32位数据操作。
- (2) 2个8位双功能I/O,1个7位双功能I/O,16~44个模拟量输入通道。
- (3) 具有系统保护逻辑,同时可进行时钟监视和总线监视。
- (4) 速度快,在4.194MHz的晶振下系统时钟可达20.97MHz。
- (5) 功耗低,具备低功率休眠功能。
- (6) 支持高级语言和背景调试。

此外,瑞萨科技(Renesas Technology)、飞利浦(Philips)、英飞凌(Infineon)、意法半导体(ST Microelectronics)、飞思卡尔(Freescale)、Atmel、富士通、三星(Samsung)等公司的单片机产品线均覆盖到了32位单片机产品。

1.2.2 单片机的技术发展趋势

单片机自在20世纪70年代问世以来得到蓬勃发展,单片机功能正日渐完善。目前,单片机在技术上有很大的进展,主要体现在以下几个方面。

1. 提高CPU的性能

提高CPU性能主要是提高CPU的运行速度和计算精度。目前采用的技术有扩大字长、采用流水线结构和加强指令系统功能等。

2. 提高CPU运行速度

提高CPU运行速度主要措施是一方面提高CPU时钟频率,如新一代与MCS-51系

列兼容的单片机,时钟频率由原来的 12MHz 提高到 16MHz、24MHz、33MHz、40MHz,甚至高达 60MHz。另一方面减少每个机器周期的时钟数,如新一代与 MCS-51 系列兼容的单片机,由原来每个机器周期包含 12 个时钟减少到 6 个时钟、4 个时钟,甚至 2 个时钟,指令的执行速度为典型 MCS-51 的 2 倍、3 倍和 6 倍。另外,有些单片机采用 RISC (Reduced Instruction Set Computer, 精简指令集计算机) 技术,它与 CISC (Complex Instruction Set Computer, 复杂指令集计算机) 结构相比,缩减了指令条数,简化了寻址方式,使指令格式规整化,指令译码和指令执行硬件相对简单,从而提高执行指令的速度和效率。例如, Microchip 公司的 PIC16CXX 系列单片机和 Motorola 公司的 68HCXX 单片机。

3. 丰富的 I/O 接口

单片机集成了越来越丰富的 I/O 内部资源,例如增加 I/O 的数量(8XC451)、设置高速 I/O 口、多种定时器/计数器、增加外部中断源、内含 A/D 和 D/A 转换器等,使用户几乎不需要扩充就能满足应用需要,不仅是开发简单,真正实现产品单片化,同时进一步提高系统稳定性和抗干扰能力,目前该方向发展为 SOC(片上系统)。

4. 多样化的串行总线

Intel 较早地在 MCS-51 系列单片机上设置了全双工串行口 UART,后来又增加了具有帧错误检测和自动地址识别的全双工串行口,称为增强 UART。而后又推出了多规程高性能串行通信接口,称为全局串行通道 GSC。另外,某些机型还增加了 SEP(SEPIO/SEPLCK)串行口。

Philips 则在单片机中全力发展芯片间总线(Inter IC),并引入(Controllor Area Network)BUS 技术,推出 I²C BUS 和 CAN BUS 的单片机,对发展单片机的多机通信和网络系统具有重要意义。

Cypress 公司推出带 USB(Universal Serial Bus)接口的单片机。目前 USB 接口在 PC 上广为流行,这就使得单片机能更方便与 PC 实现即插即用高速串行通信,具有更广阔的应用前景。

5. 增大容量存储器,增强寻址能力

许多单片机不但增大了片内存储器的容量,而且扩大了 CPU 的寻址范围,存储空间高达 64KB~2MB,从而也提高了系统扩展能力。片内程序存储器也从过去的掩膜(Mask)ROM、EPROM、E²PROM 发展到现在流行的 Flash Memory。

6. 提供多种封装形式

广泛使用的双列直插塑封 PDIP(Plastic Dual In-line Package)单片机很适合原型机的开发。为了电路板工艺需要以及单片机自身发展需要,不断推出多种封装形式,例如双列直插陶瓷封装 CDIP(Ceramic Dual In-line Package)、方形壁插塑封 PLCC(Plastic Leaded Chip Carrier)、方形壁插塑陶瓷封装 CLCC(Ceramic Leaded Chip Carrier)、方形表面焊装陶封 PQFP(Plastic Quad Flat Package)、超薄超小型封装 TSSOP(Thin Shrink Small Outline Package)、小型双列表面焊装塑封 VSO(Very Short pitch small Out-line package)等。