



普通高等教育“十三五”规划教材

单片机原理与 接口技术

◆ 桑胜举 王太雷 主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十三五”

单片机原理与接口技术

主 编：桑胜举 王太雷
副主编：吴月英 赵晓宁 沈 丁 张秀红
编 委：杨德运 赵继超 郇正良 张 琴
李 芳 叶长国 宗 栋 钱 艺
栾云才 张 岩 周京伟 贝依林



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以 89C51 单片机为典型机,详细介绍了 MCS-51 系列单片机的构成、工作原理、指令系统、汇编语言程序设计、中断技术、定时/计数器、串行口通信等内容,并结合实际应用,系统地介绍了 MCS-51 系列单片机的扩展技术,包括存储器扩展、I/O 口扩展、显示器与键盘接口、A/D 及 D/A 接口技术等。为顺应单片机技术的发展趋势,跟踪单片机技术的最新发展,满足不同层次的研究开发人员的需求,本书还详细介绍了 AT89 系列单片机及 C8051F 系列单片机的特点和应用。本书共 11 章,内容丰富,力求反映当前单片机的最新技术,在对单片机原理叙述全面、准确的基础上,加强了实践教学环节。为了便于初学者理解和掌握,本书在内容安排上采用循序渐进的论述方法,从基础理论到实践应用,并充分考虑所使用实例的典型性和实用性,期望读者在学习后,既能掌握单片机的一般原理和接口技术,又能掌握单片机应用系统的设计方法。

本书可作为高等院校计算机应用、自动化、仪器仪表、机电一体化等相关专业学生学习单片机原理的教材,亦可作为从事单片机应用系统设计、产品开发和电气维修工程技术人员的培训教材,同时也是单片机爱好者学习单片机原理的参考资料。

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。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与接口技术 / 桑胜举, 王太雷主编. —北京: 电子工业出版社, 2018.1

ISBN 978-7-121-32917-3

I. ①单… II. ①桑… ②王… 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 (2017) 第 257830 号

策划编辑: 赵玉山

责任编辑: 赵玉山

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 18.25 字数: 467 千字

版 次: 2018 年 1 月第 1 版

印 次: 2018 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254556, zhaoyz@phei.com.cn。

前 言

自 20 世纪 80 年代初 Intel 公司研制出 MCS-51 系列单片机以来,单片机作为最典型的低端嵌入式系统,由于其微小的体积和极低的成本,广泛应用于家用电器、机器人、仪器仪表、工业控制、交通运输等领域。单片机在我国也得到广泛的推广和应用,成为控制系统中最普遍的应用技术。

编者从事过多年的单片机原理与应用的教学工作和单片机应用产品的开发工作,深深体会到当前大部分教学内容与实际应用严重脱节。为了使广大读者熟悉和掌握 MCS-51 系列单片机,作者结合自己多年的教学和科研实践,并参考了大量相关资料,编写了本书,力图从以往教材局限于具体单片机原理的解析上解脱出来,着重于各种功能的应用。本书共 11 章,以 MCS-51 系列单片机为介绍对象,分别介绍 MCS-51 系列单片机结构原理、MCS-51 单片机指令系统、汇编语言程序设计、并行 I/O 口的使用、并行 I/O 口的扩展方法及使用、中断系统和定时/计数器、A/D 转换接口和 D/A 转换接口技术、键盘与显示器接口技术等内容。近年来,嵌入式微控制器的发展速度惊人,并融合了许多新的设计理念和传统计算机的技术成果。在目前百花齐放的单片机系列之中,具有系统编程(ISP)特性的片上系统(SoC)系列单片机——C8051F 脱颖而出,本书最后介绍了该系列单片机的特点及应用,期望对读者起到抛砖引玉的作用。

本书本着理论必需、够用的原则,突出实用性、操作性,加强理论联系实际,语言上通俗易懂,做到了好教易学,以满足目前教学的实际需要。本书在编写过程中,在力求对单片机原理叙述全面、准确的基础上,加强了实践教学环节;从工程设计应用的角度出发,列举了大量的例题和实际操作课题,除提供常见的编程方法和接口电路外,还给出简单实用的电路;从教学的实际需要出发,培养学生的创造能力、产品开发能力,力求达到理论与实践的统一。

本书由桑胜举、王太雷主编,吴月英、赵晓宁、沈丁、张秀红副主编。参与本书编写的有:山东科技大学张琴(第 1 章)、山东泰山职业技术学院赵晓宁(第 2 章)、泰山学院吴月英(第 3 章、第 11 章)、张秀红(第 4 章、第 8 章)、沈丁(第 10 章)、钱艺(第 5 章)、栾云才(第 6 章)、宗栋(第 7 章)、张岩(第 9 章)。泰山学院杨德运、赵继超、郇正良、叶长国、李芳、周京伟、贝依林等教师参与了部分章节的编写工作,书中所有图表由吴月英精心绘制,全书由桑胜举进行统稿。

本书得到山东省教育厅教学改革研究项目(应用型本科计算机硬件基础课程体系的改革与实践研究,鲁教高函 2015-12)、山东省泰安市科技发展专项计划项目(环境探测球形机器人科研平台的构建,201320629)、山东省泰安市科技发展计划项目(基于 C 型臂手术导航关键技术及空间姿态探测仪的研究,2016GX0004)和泰山学院科技计划项目(球形机器人驱动原理及仿真研究,Y-0102013010)的资助。在此表示衷心的感谢!

由于时间仓促,作者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2017 年 9 月

目 录

第1章 绪论	(1)	3.3.1 内部 RAM 传送指令	(36)
1.1 单片机技术的发展背景	(1)	3.3.2 外部 RAM 传送指令	(37)
1.2 单片机的组成	(2)	3.3.3 数据交换类指令	(38)
1.3 单片机的特点及应用	(3)	3.3.4 查表指令	(38)
1.3.1 单片机的特点	(3)	3.3.5 堆栈操作指令	(39)
1.3.2 单片机的应用	(4)	3.4 算术运算类指令	(40)
1.4 单片机的发展历史	(4)	3.4.1 加法指令	(40)
1.5 单片机分类	(5)	3.4.2 减法指令	(43)
1.5.1 按单片机功能分类	(5)	3.4.3 乘法指令	(43)
1.5.2 MCS-51 系列单片机	(6)	3.4.4 除法指令	(44)
1.6 单片机发展趋势	(7)	3.5 逻辑运算类指令	(44)
本章小结	(10)	3.5.1 基本逻辑操作	(44)
习题 1	(10)	3.5.2 其他逻辑操作	(46)
第2章 单片机的结构及原理	(11)	3.6 控制转移类指令	(47)
2.1 80C51 单片机的基本结构	(11)	3.6.1 无条件转移指令	(47)
2.1.1 80C51 单片机的组成	(11)	3.6.2 条件转移指令	(50)
2.1.2 80C51 单片机的存储器	(13)	3.6.3 调用及返回指令	(51)
2.2 并行 I/O 口	(18)	3.6.4 空操作指令	(52)
2.2.1 P0 口	(19)	3.7 位操作类指令	(53)
2.2.2 P1 口	(20)	3.7.1 位传送指令	(53)
2.2.3 P2 口	(20)	3.7.2 位修改指令	(53)
2.2.4 P3 口	(21)	3.7.3 位逻辑操作指令	(53)
2.3 时钟电路与复位电路	(21)	3.7.4 位判断转移类指令	(54)
2.3.1 时钟电路与时序	(21)	本章小结	(55)
2.3.2 复位电路	(23)	习题 3	(55)
2.4 单片机的工作方式	(25)	第4章 80C51 汇编语言程序设计	(57)
2.4.1 复位方式	(25)	4.1 概述	(57)
2.4.2 程序执行方式	(25)	4.1.1 程序设计语言	(57)
2.4.3 节电工作方式	(25)	4.1.2 汇编语言伪指令	(57)
2.4.4 编程和校验方式	(26)	4.1.3 程序汇编方法	(60)
2.5 单片机的工作过程	(27)	4.2 顺序程序设计	(62)
2.6 AT89 系列单片机简介	(27)	4.3 分支程序设计	(64)
本章小结	(29)	4.3.1 一般分支结构程序	(65)
习题 2	(29)	4.3.2 散转程序设计	(68)
第3章 单片机的指令系统	(30)	4.4 循环程序设计	(70)
3.1 指令系统简介	(30)	4.4.1 循环程序结构	(70)
3.2 寻址方式	(31)	4.4.2 循环程序实例	(71)
3.3 数据传送类指令	(35)	4.5 查表程序设计	(76)

4.6 子程序设计 with 堆栈技术	(77)	6.3 定时器/计数器的的工作方式	(117)
4.6.1 子程序实例	(78)	6.3.1 方式 0	(117)
4.6.2 堆栈结构	(81)	6.3.2 方式 1	(118)
4.6.3 子程序结构	(82)	6.3.3 方式 2	(119)
4.6.4 代码转换程序	(83)	6.3.4 方式 3	(119)
4.6.5 算术运算子程序	(85)	6.4 定时器/计数器的初始化	(120)
4.6.6 查找、排序程序	(89)	6.4.1 初始化步骤	(120)
本章小结	(92)	6.4.2 计数器初值的计算	(120)
习题 4	(92)	6.4.3 定时器初值的计算	(121)
第 5 章 中断系统	(97)	6.4.4 初始化实例	(121)
5.1 中断系统概述	(97)	6.5 定时器/计数器的编程和应用	(122)
5.1.1 中断的概念	(97)	本章小结	(129)
5.1.2 中断的特点	(97)	习题 6	(129)
5.1.3 中断系统的功能	(98)	第 7 章 串行接口	(131)
5.2 中断源与中断寄存器	(99)	7.1 串行通信基础	(131)
5.2.1 中断源	(99)	7.1.1 串行通信的分类	(131)
5.2.2 中断寄存器	(100)	7.1.2 串行通信的制式	(133)
5.3 中断处理过程	(102)	7.1.3 串行通信的接口电路	(133)
5.3.1 中断响应	(102)	7.2 通信总线标准及其接口	(134)
5.3.2 中断处理	(103)	7.2.1 RS-232C 接口	(134)
5.3.3 中断返回	(104)	7.2.2 RS-449、RS-422A、RS-423A 标准接口	(135)
5.3.4 中断响应时间	(104)	7.2.3 20mA 电流环路串行接口	(136)
5.4 中断触发方式	(104)	7.3 80C51 的串行接口	(137)
5.5 中断源的扩展	(105)	7.3.1 80C51 串行口结构	(137)
5.5.1 定时器扩展中断源	(105)	7.3.2 80C51 串行的的工作方式	(138)
5.5.2 中断查询扩展	(106)	7.3.3 80C51 串行口的波特率	(140)
5.6 中断请求的撤除	(107)	7.4 80C51 单片机之间的通信	(142)
5.6.1 撤除定时器中断	(107)	7.4.1 双机通信硬件电路	(142)
5.6.2 撤除串行口中断	(107)	7.4.2 双机通信软件编程	(143)
5.6.3 撤除外部中断	(107)	7.4.3 多机通信	(146)
5.7 中断初始化	(108)	7.5 PC 和单片机之间的通信	(147)
5.8 应用举例	(109)	7.5.1 通信接口设计	(147)
本章小结	(112)	7.5.2 软件编程	(148)
习题 5	(113)	7.6 串行通信的差错控制编码技术	(150)
第 6 章 定时器/计数器	(115)	7.6.1 差错控制编码的分类	(150)
6.1 定时器/计数器的结构与工作原理	(115)	7.6.2 几种常用的差错控制编码	(150)
6.1.1 定时器/计数器的结构	(115)	7.6.3 CRC 检错码查表法的软件 实现	(155)
6.1.2 定时器/计数器的工作 原理	(116)	7.6.4 CRC 检错码计算法的软件 实现	(157)
6.2 定时器/计数器相关寄存器	(116)	7.7 串行口应用举例	(158)
6.2.1 方式寄存器 TMOD	(116)		
6.2.2 控制寄存器 TCON	(117)		

本章小结	(159)	习题 9	(220)
习题 7	(159)	第 10 章 单片机产品设计与开发	(223)
第 8 章 单片机系统扩展	(161)	10.1 单片机产品设计步骤	(223)
8.1 程序存储器扩展	(161)	10.1.1 设计任务及技术指标	(223)
8.1.1 单片机程序存储器概述	(161)	10.1.2 总体方案设计	(223)
8.1.2 EPROM 扩展	(162)	10.1.3 产品的硬件设计	(224)
8.1.3 EEPROM 扩展	(164)	10.1.4 产品的软件设计	(225)
8.1.4 常用程序存储器芯片	(167)	10.1.5 产品调试	(226)
8.2 数据存储器扩展	(170)	10.2 单片机产品的抗干扰技术	(227)
8.2.1 SRAM 扩展实例	(170)	10.2.1 干扰源及其传播途径	(227)
8.2.2 外部 RAM 与 I/O 同时 扩展	(172)	10.2.2 抗干扰措施的电源设计	(228)
8.3 并行 I/O 口扩展	(174)	10.2.3 产品的地线设计	(230)
8.3.1 简单的 I/O 口扩展	(174)	10.2.4 A/D 和 D/A 转换器的抗 干扰措施	(231)
8.3.2 可编程并行接口芯片 8155	(175)	10.2.5 传输干扰	(232)
本章小结	(180)	10.2.6 抗干扰措施的元器件	(233)
习题 8	(181)	10.3 单片机应用系统设计实例	(235)
第 9 章 单片机接口技术	(183)	10.3.1 应用设计实例一——电脑 时钟的设计	(235)
9.1 单片机与键盘接口	(183)	10.3.2 应用设计实例二——交流 工频频率测量	(246)
9.1.1 键盘工作原理	(183)	本章小结	(253)
9.1.2 独立式按键	(185)	习题 10	(253)
9.1.3 矩阵式按键	(185)	第 11 章 基于 51 核的片上系统简介	(255)
9.2 单片机与显示器接口	(188)	11.1 近年来 51 系列单片机的最新发展	(255)
9.2.1 LED 显示和接口	(189)	11.2 C8051F 简介	(256)
9.2.2 可编程接口芯片 INTEL 8279	(198)	11.2.1 C8051F 系列单片机片上 资源	(256)
9.2.3 LED 大屏幕显示	(199)	11.2.2 C8051F 系列 CPU	(257)
9.2.4 LCD 液晶显示和接口	(202)	11.2.3 C8051F 存储器	(258)
9.3 D/A 转换接口	(210)	11.2.4 可编程数字 I/O 和交叉 开关	(259)
9.3.1 D/A 转换概述	(210)	11.2.5 可编程计数器阵列	(261)
9.3.2 D/A 转换芯片 DAC0832	(211)	11.2.6 多类型串行总线端口	(263)
9.3.3 单缓冲方式的接口与 应用	(212)	11.2.7 模/数、数/模转换器	(266)
9.3.4 双缓冲方式的接口与 应用	(213)	11.2.8 全速的在线调试接口 (JTAG)	(269)
9.4 A/D 转换器接口	(215)	11.3 Cygnal C8051 典型应用	(271)
9.4.1 A/D 转换器概述	(215)	11.3.1 精密混合型	(271)
9.4.2 A/D 转换芯片 ADC0809	(216)	11.3.2 汽车电子应用	(272)
9.4.3 单片机与 ADC0809 接口	(217)	11.3.3 手持设备、传感器应用	(273)
9.4.4 应用举例	(218)	11.3.4 USB 应用	(273)
本章小结	(219)		

11.3.5 CAN 应用	(274)	习题 11	(276)
11.3.6 低成本应用	(274)	附录一: 部分 ASCII 码表	(277)
11.3.7 低电压、低功耗系列	(275)	附录二: MCS51 单片机指令速查表	(278)
11.3.8 电容触摸传感系列	(275)	附录三: C8051 系列单片机 SFR 表	(283)
本章小结	(276)		

第1章 绪 论

单片机 (Micro controllers) 自 20 世纪 70 年代问世以来, 从 4 位发展到 8 位, 又从 16 位迅速发展到了 32 位, 已成为计算机技术中的一个独特的分支。随着嵌入式技术、物联网技术的发展, 传统的 8 位单片机的性能也得到了飞速提高, 处理能力比起 20 世纪 80 年代提高了数百倍。单片机技术的发展以微处理器技术及超大规模集成电路技术的发展为先导, 以广泛的应用领域拉动, 表现出较微处理器更具个性的发展趋势, 已广泛应用于电子玩具、智能仪器仪表、数据采集与处理、物联网、航空航天等领域。

本章主要对单片机的基本概念、发展概况、特点与应用情况做一简单介绍, 以便读者对单片机技术有较为全面的了解。

1.1 单片机技术的发展背景

电子计算机诞生于 1946 年, 在其后漫长的历史进程中, 计算机始终是供养在特殊的机房中, 用以实现数值计算的大型昂贵设备。直到 20 世纪 70 年代, 微处理器 (Micro Processor Unit, MPU) 的出现, 才使得计算机出现了历史性的变化。以微处理器为核心的微型计算机以其小型、价廉、可靠性高的特点, 迅速走出机房; 而基于高速数值计算能力的微型机, 表现出的智能化水平引起了控制类专业人士的兴趣, 人们尝试着将微型机嵌入到一个对象体系中, 实现对象体系的智能化控制。

1. 现代计算机技术的两大分支

早期, 人们勉为其难地将通用计算机系统进行改装, 在大型设备中实现嵌入式应用, 以实现对象的智能化控制。然而, 对于众多的对象系统 (如家用电器、仪器仪表、工控单元等), 无法嵌入通用计算机系统, 况且嵌入式系统与通用计算机系统的技术发展方向完全不同, 因此, 必须独立地发展嵌入式计算机系统, 这就形成了现代计算机技术发展的两大分支——通用计算机系统与嵌入式计算机系统。

通用计算机系统的技术要求是高速、海量的数值计算, 技术发展方向是总线速度的无限提升, 存储容量的无限扩大; 而嵌入式计算机系统的技术要求则是对象的智能化控制能力, 技术发展方向是与对象系统密切相关的嵌入性能、控制能力与控制的可靠性。

如果说微型机的出现, 使计算机进入到现代计算机发展阶段, 那么嵌入式计算机系统的诞生, 则标志着计算机进入了通用计算机系统与嵌入式计算机系统两大分支的并行发展时代。嵌入式计算机系统则走上了一条完全不同的道路, 即独立发展的、单芯片化道路, 承担起发展与普及嵌入式系统的历史任务, 迅速地将传统的电子系统发展到智能化的现代电子系统时代。因此, 现代计算机技术发展的两大分支的里程碑意义在于: 它不仅形成了计算机发展的专业化分工, 而且将发展计算机技术的任务扩展到传统的电子系统领域, 使计算机成为进入人类社会全面智能化时代的有力工具。

2. 单片机开创了嵌入式系统独立发展道路

传统微型计算机的体积、价位、可靠性都无法满足广大对象系统的嵌入式应用要求, 因此,

嵌入式系统必须走独立发展道路，这条道路就是单芯片化道路：将计算机集成在一个独立芯片上，从而开创了嵌入式系统独立发展的单片机时代。

单片机时代的嵌入式系统，大多是基于 8 位单片机，实现最底层的嵌入式应用。大多数从事单片机应用的开发人员，都是对象系统领域中的电子系统工程师，加之单片机的出现，立即脱离了计算机专业领域，以“智能化”器件身份进入电子系统领域，没有带入“嵌入式系统”概念。因此，不少从事单片机应用的人，不了解单片机与嵌入式系统的关系，在谈到嵌入式系统时，往往理解成基于 32 位嵌入式处理器。这样，单片机与嵌入式系统形成了计算机领域的两个独立的名词。但单片机是典型的、独立发展起来的嵌入式系统，从学科建设的角度出发，应该把它统一到嵌入式系统领域范畴。考虑到原来单片机的电子系统底层应用特点，可以把嵌入式系统应用分成高端与低端，把原来的单片机应用理解成嵌入式系统的低端应用。

1.2 单片机的组成

1. 微型计算机的组成

微型计算机（Microcomputer）简称微机，是计算机的一个重要分支。微型计算机系统由硬件系统和软件系统两大部分组成，微型计算机系统组成如图 1-1 所示。

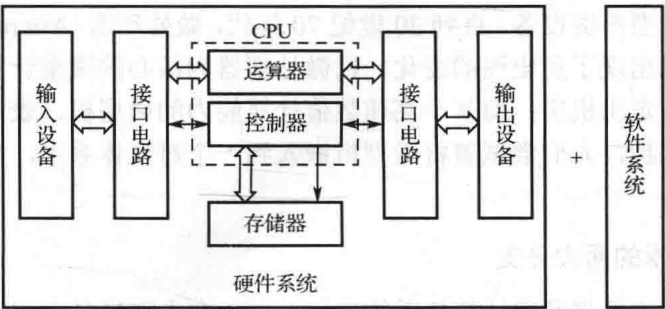


图 1-1 微型计算机系统组成示意图

硬件系统是指构成微机系统的实体和装置，通常由运算器、控制器、存储器、输入接口电路和输入设备、输出接口电路和输出设备等组成。其中，运算器和控制器一般做在一个集成芯片上，是计算机的核心部分，统称中央处理器（Central Processing Unit，简称 CPU），是微机的核心部件，配上存放程序和数据的存储器、输入/输出（Input/Output，简称 I/O）接口电路及外部设备即构成微机的硬件系统。

- ① 运算器。运算器是计算机的运算部件，用于实现算术和逻辑运算。
- ② 控制器。控制器是计算机的指挥控制部件，使计算机各部分能自动协调地工作。
- ③ 存储器。存储器是计算机的记忆部件，用于存放程序和数据，可分为内存储器和外存储器。
- ④ 输入设备。输入设备用于将程序和数据输入到计算机中，如键盘、鼠标等。
- ⑤ 输出设备。输出设备用于把计算机计算或加工的结果，以用户需要的形式显示或保存，如显示器、打印机。

软件系统是指微机系统所使用的各种程序的总体。人们通过软件系统对硬件系统进行控制并实现与外设进行信息交换，使微机按照人的意图完成预定的任务。软件系统与硬件系统共同构成实用的微机系统，两者是相辅相成、缺一不可的。

2. 单片微型计算机

单片微型计算机是指集成在一个芯片上的微型计算机，也就是把组成微型计算机的各种功能部件，包括 CPU、随机存取存储器 RAM (Random Access Memory)、只读存储器 ROM (Read Only Memory)、基本输入/输出接口电路、定时器/计数器等部件制作在一块集成芯片上，构成一个完整的微型计算机，从而实现微型计算机的基本功能。单片机内部结构示意图如图 1-2 所示。

3. 单片机应用系统及组成

单片机应用系统是以单片机为核心，配以输入、输出、显示、控制等外围电路和软件，能实现一种或多种功能的实用系统。单片机应用系统也是由硬件和软件组成的，硬件是应用系统的基础，软件是在硬件的基础上对其资源进行合理调配和使用，从而完成应用系统所要求的任务，单片机应用系统的组成如图 1-3 所示。

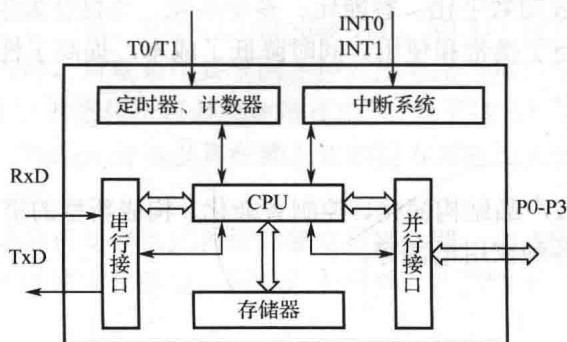


图 1-2 单片机内部结构示意图

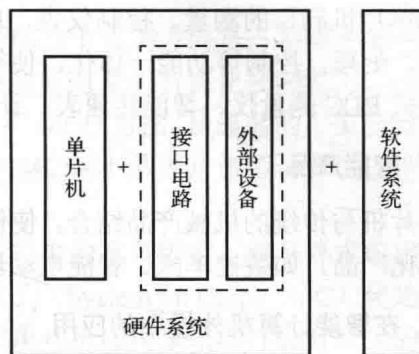


图 1-3 单片机应用系统的组成

由此可见，单片机应用系统的设计人员必须从硬件和软件两个角度来深入了解单片机，并能够将二者有机结合起来，才能形成具有特定功能的应用系统或整机产品。

1.3 单片机的特点及应用

单片机自问世以来，性能不断提高和完善，其资源不仅能满足很多应用场合的需要，而且具有集成度高、功能强、速度快、体积小、功耗低、使用方便、性能可靠、价格低廉等特点，因此，在工业控制、智能仪器仪表、数据采集和处理、通信系统、网络系统、汽车工业、国防工业、高级计算器具、家用电器等领域的应用日益广泛，并且正在逐步取代现有的多片微机应用系统，单片机的潜力越来越被人们所重视。

1.3.1 单片机的特点

单片机是在一块芯片上集成了一台微型计算机所需的 CPU、存储器、输入/输出部件和时钟电路等。由于单片机的结构形式及它所采取的半导体工艺，使其具有很多显著的特点，因而在各个领域都得到了迅猛的发展。单片机主要有如下特点：

- ① 小巧灵活、成本低、易于产品化。能组装成各种智能仪器仪表。
- ② 可靠性好，应用范围广。单片机芯片本身是按工业测控环境要求设计的，抗干扰性强，能适应各种恶劣的环境，这是其他机种无法比拟的。
- ③ 易扩展，容易构成各种规模的应用系统，控制功能强。单片机的逻辑控制功能很强，指令系统有各种控制功能指令，可以对逻辑功能比较复杂的系统进行控制。

④ 具有通讯功能,可以实现多机和分布式控制,形成控制网络和远程控制。

1.3.2 单片机的应用

由于单片机具有显著的优点,它已成为科技领域的有力工具,人类生活的得力助手,其应用遍及各个领域,主要体现在以下几个方面:

1. 测控系统中的应用

测控系统特别是工业控制系统的工作环境恶劣,各种干扰也强,而且往往要求实时控制,故要求控制系统工作稳定、可靠、抗干扰能力强。由单片机的特点可以看出,单片机很适宜于测控领域,如炉子恒温控制、电镀生产线自动控制等。

2. 智能仪表中的应用

用单片机制作的测量、控制仪表,能使仪表向数字化、智能化、多功能化、柔性化发展,并使监测、处理、控制等功能一体化,使得仪表便于携带和使用,同时降低了成本,提高了性价比,如数字式 RLC 测量仪、智能转速表、计时器等。

3. 智能产品

单片机与传统的机械产品结合,使传统机械产品结构简化、控制智能化,构成新型的机、电、仪一体化产品。如数控车床、智能电动玩具、各种家用电器等。

4. 在智能计算机外设中的应用

在计算机应用系统中,除通用外部设备(键盘、显示器、打印机)外,还有许多用于外部通信、数据采集、多路分配管理、驱动控制等接口。如果这些外部设备和接口全部由主机管理,势必造成主机负担过重、运行速度降低,并且不能提高对各种接口的管理水平。如果采用单片机专门对接口进行控制和管理,则主机和单片机就能并行工作,这不仅大大提高系统的运算速度,而且单片机还可对接口信息进行预处理,以减少主机和接口间的通信密度、提高接口控制管理的水平。

1.4 单片机的发展历史

1. 单片机技术发展历程

自 1971 年美国 Intel 公司首先推出 4 位微处理器以来,单片机经历了由 4 位机到 8 位机再到 16 位机的发展过程。它的发展到目前为止大致可分为 5 个阶段:

① 第 1 阶段(1971—1976 年):单片机发展的初级阶段。

1971 年 11 月 Intel 公司首先设计出集成度为 2 000 只晶体管的 4 位微处理器 Intel 4004,并配有 RAM、ROM 和移位寄存器,构成了第一台微处理器,而后又推出了 8 位微处理器 Intel 8008,以及其他各公司相继推出的 8 位微处理器。

② 第 2 阶段(1976—1980 年):低性能 8 位单片机阶段。

以 1976 年 Intel 公司推出的 MCS 48 系列为代表,采用将 8 位 CPU、8 位并行 I/O 接口、8 位定时/计数器、RAM 和 ROM 等集成于一块半导体芯片上的单片结构,其功能可满足一般工业控制和智能化仪器、仪表等的需要。

③ 第 3 阶段(1980—1983 年):高性能 8 位单片机阶段。

高性能 8 位单片机带有串行口、多级中断处理系统、多个 16 位定时器/计数器。片内 RAM、ROM 的容量加大,寻址范围可达 64KB,有些芯片内还带有 A/D 转换接口。

④ 第 4 阶段(1983 至 20 世纪 80 年代末):16 位单片机阶段。

1983 年 Intel 公司又推出了高性能的 16 位单片机 MCS 96 系列,由于采用了最新的制造工艺,使芯片集成度高达 12 万只晶体管。

⑤ 第 5 阶段(90 年代~今):单片机在集成度、功能、速度、可靠性、应用领域等全方向向更高水平发展。

2. 单片机技术的理解

单片机诞生于 20 世纪 70 年代末,在不同的时期又称作 SCM、MCU、SoC 等。

单片微型计算机(Single Chip Microcomputer, SCM)阶段,主要是寻求最佳的单片形态嵌入式系统的最佳体系结构。

微控制器(Micro Controller Unit, MCU)阶段,主要的技术发展方向是:不断扩展满足嵌入式应用时,对象系统要求的各种外围电路与接口电路,突显其对象的智能化控制能力。因此,发展 MCU 的重任不可避免地落在电气、电子技术厂家。在发展 MCU 方面,最著名的厂家当数 Philips 公司。Philips 公司以其在嵌入式应用方面的巨大优势,将 MCS-51 从单片微型计算机迅速发展到微控制器。

单片机是嵌入式系统的独立发展之路,向 MCU 阶段发展的重要因素,就是寻求应用系统在芯片上的最大化解决。因此,专用单片机的发展自然形成了(System on Chip, SoC)化趋势。随着微电子技术、IC 设计、EDA 工具的发展,基于 SoC 的单片机应用系统设计会有较大的发展。因此,对单片机的理解可以从单片微型计算机、单片微控制器延伸到单片应用系统。

1.5 单片机分类

1.5.1 按单片机功能分类

按照其存储器配置状态可分为三种:片内 ROM 型、片内 EPROM 型、外接 EPROM 型。若按其功能可分为以下几种类型:

(1) 基本型

该类型的典型产品是 8051,其特性如下:8 位 CPU;片内 RAM 有 128 字节;片内 ROM 有 4K 字节;21 个特殊功能寄存器;4 个并行 8 位并行 I/O 口,一个全双工串行口;2 个 16 位定时器/计数器;5 个中断源、2 个中断优先级;一个时钟振荡器和时钟电路。

(2) 内部存储器增大的基本型

此种单片机的内部 RAM 和 ROM 容量比基本型单片机增大一倍,产品有 8052AH、8032AH、8752BH。

(3) 低功耗基本型

这类产品型号中带有“C”字的单片机,采用 CHMOS 工艺,其特点为低功耗,产品有 80C51BH、80C31BH、87C51 等。

(4) 高级语言型

如 8052AH-BASIC 芯片内固化有 MCS BASIC52 解释程序。

(5) 可编程计数阵列(PCA)型

这类产品具有两个特点:一个是有 5 个比较/捕捉模块;另外一个是有有一个增强的多机通信接

口。该类产品有 83C51FA、80C51FA、87C51FA、83C51FB 等。

(6) A/D 型

该系列单片机带有 8 路 8 位 A/D；半双工同步串行接口；拥有 16 位监视定时器；扩展了 A/D 中断和串行口中断，使中断源达到 7 个；具有振荡器失效检测功能。该类产品有 83C51GA、80C51GA、87C51GA 等。

(7) DMA 型

该产品分为两类：一类是 DMA、GSC 型，产品有 83C152JA、80C152JA、80C152B 等；另一类是 DMA、FIFO 型，产品有 83C452、80C452、87C452P 等。

(8) 多并行口型

此类单片机是在 80C51 基础上，新增加和 P1 口相同的 8 位准双向 P4 口和 P5 口，还增加在内部具有上拉电阻的 8 位双向口 P6 口。该类产品有 83C451、80C451 等。

1.5.2 MCS-51 系列单片机

尽管单片机品种繁多，但无论是从世界范围或是从国内范围来看，使用最为广泛的应属 MCS-51 单片机。其引进历史较长，影响面较广、应用成熟，已被单片机控制装置的开发设计人员广泛接受。基于这一事实，本书以 MCS-51 系列单片机（8031、8051、8751 等）为研究对象，介绍单片机的硬件结构、工作原理及应用系统的设计。MCS-51 单片机系列共有十几种芯片，如表 1-1 所列。

表 1-1 MCS-51 系列单片机分类表

系列	片内 ROM 形式			片内存储器容量		寻址范围	I/O 特性			中断源
	无	ROM	EPROM	ROM	RAM		计数定时	并行接口	串行接口	
51 型	8031	8051	8751	4KB	128B	2×64KB	2×16	4×8	1	5
	80C31	80C51	87C51	4KB	128B	2×64KB	2×16	4×8	1	5
52 型	8032	8052	8752	8KB	256B	2×64KB	3×16	4×8	1	6
	80C32	80C52	87C52	8KB	256B	2×64KB	3×16	4×8	1	6

1. 51 子系列和 52 子系列

MCS-51 系列又分为 51 和 52 两个子系列，并以芯片型号的最末位数字作为标志。其中 51 子系列是基本型，而 52 子系列则属增强型。从表 1-1 可以看出，52 子系列相比 51 子系列增强了很多功能，具体体现在以下几方面：

- 片内 ROM 从 4KB 增加到 8KB；
- 片内 RAM 从 128 字节增加到 256 字节；
- 定时器/计数器从 2 个增加到 3 个；
- 中断源从 5 个增加到 6 个。

在 52 子系列的内部 ROM 中以掩膜方式集成有 8K BASIC 解释程序，这就是通常所说的 8052-BASIC。这意味着单片机已可以使用高级语言。该 BASIC 与基本 BASIC 相比，增加了一些控制语句，以满足单片机作为控制机的需要。

2. 单片机芯片半导体工艺

MCS-51 系列单片机采用两种半导体工艺生产。一种是 HMOS 工艺，即高速度高密度短沟道 MOS 工艺。另外一种是 CHMOS 工艺，即互补金属氧化物的 HMOS 工艺。表 1-1 中芯片型号中

带有字母“C”的，为 CHMOS 芯片，其余均为一般的 HMOS 芯片。

CHMOS 是 CMOS 和 HMOS 的结合，除保持了 HMOS 高速度和高密度的特点之外，还具有 CMOS 低功耗的特点。例如 8051 的功耗为 630mW，而 80C51 的功耗只有 120mW。在便携式、手提式或野外作业仪器设备上低功耗是非常有意义的。因此，在这些产品中必须使用 CHMOS 的单片机芯片。

3. 片内 ROM 存储器配置形式

MCS-51 单片机片内程序存储器有三种配置形式，即掩膜 ROM、EPROM 和无 ROM。这三种配置形式对应三种不同的单片机芯片，它们各有特点，也各有其适用场合，在使用时应根据需要进行选择。一般情况下，片内带掩膜型 ROM 适用于定型大批量应用产品的生产；片内带 EPROM 适合研制产品样机；外接 EPROM 的方式适用于研制新产品。最近 Intel 公司又推出片内带 EEPROM 型的单片机，可以在线写入程序。

1.6 单片机发展趋势

自 1976 年 9 月 Intel 公司推出 MCS-48 单片机以来，单片机就受到了广大用户的欢迎。因此，有关公司都争相推出各自的单片机，如 GI 公司推出 PIC1650 系列单片机，Rockwell 公司推出了与 6502 微处理器兼容的 R6500 系列单片机。它们都是 8 位机，片内有 8 位中央处理器（CPU）、并行 I/O 口、8 位定时器/计数器和容量有限的存储器（RAM、ROM）以及简单的中断功能。

1978 年下半年 Motorola 公司推出 M6800 系列单片机，Zilog 公司相继推出 Z8 单片机系列。1980 年 Intel 公司在 MCS-48 系列基础上又推出了高性能的 MCS-51 系列单片机。这类单片机均带有串行 I/O 口，定时器/计数器为 16 位，片内存储容量（RAM，ROM）都相应增大，并有优先级中断处理功能，单片机的功能、寻址范围都比早期的扩大了，它们是当时单片机应用的主流产品。

1982 年 Mostek 公司和 Intel 公司先后又推出了性能更高的 16 位单片机 MK68200 和 MCS-96 系列，NS 公司和 NEC 公司也分别在原有 8 位单片机的基础上推出了 16 位单片机 HPC16040 和 μ PD783 $\times\times$ 系列。1987 年 Intel 公司又宣布了性能比 8096 高两倍的 CMOS 型 80C196，1988 年推出带 EPROM 的 87C196 单片机。由于 16 位单片机推出的时间较迟、价格昂贵、开发设备有限等多种原因，至今还未得到广泛应用。而 8 位单片机已能满足大部分应用的需要，因此，在推出 16 位单片机的同时，高性能的新型 8 位单片机也不断问世，如 Motorola 公司推出了带 A/D 和多功能 I/O 的 68MC11 系列，Zilog 公司推出了带有 DMA 功能的 Suqer8，Intel 公司在 1987 年也推出了带 DMA 和 FIFO 的 UPI-452 等。

目前国际市场上 8 位、16 位单片机系列已有很多，但是，在国内使用较多的系列是 Intel 公司的产品，其中又以 MCS-51 系列单片机应用尤为广泛，二十几年经久不衰，而且还在更进一步发展完善，价格越来越低，性能越来越好。单片机技术正以惊人的速度向前发展，就市场上已出现的单片机而言，单片机的主要发展方向是单片机的制造工艺及技术，单片机的可靠性技术，以及以单片机为核心的嵌入式系统。

1. 单片机的技术发展

单片机的技术进步反映在其内部结构、功率消耗、外部电压以及制造工艺等方面。

(1) 内部结构的进步

在单片机内部已集成了越来越多的部件，这些部件包括一般常用的电路，如定时器、比较器、A/D 转换器、D/A 转换器、串行通信接口、Watchdog 电路、LCD 控制器等。有的单片机为了能构

成控制网络或形成局部网,内部含有局部网络控制模块 CAN,例如,Infineon 公司的 C505C、C515C、C167CR、C167CS-32FM、81C90; Motorola 公司的 68HC08AZ 系列等,这类单片机十分容易构成网络,适用于较为复杂的控制系统。

为了能在变频控制中方便地使用单片机,形成最具经济效益的嵌入式控制系统,有的单片机内部还设置了专门用于变频控制的脉宽调制控制电路,如 Fujitsu 公司的 MB89850 系列、MB89860 系列, Motorola 公司的 MC68HC08MR16、MR24 等。在这些单片机中,脉宽调制电路有 6 个输出通道,可产生三相脉宽调制交流电压,且内部含有死区控制等功能。

目前,有的单片机已采用了所谓的三核(TrCore)结构:一个是微控制器和 DSP 核,一个是数据和程序存储器核,一个是外围专用集成电路(ASIC)。这类单片机的最大特点是把 DSP 和微控制器同时做在一个片上。虽然从结构定义上讲, DSP 属单片机的一种,但其作用主要反映在高速计算和特殊处理上,如快速傅立叶变换等。这类单片机一般采用 32 位的 MCU,而 DSP 采用 16 或 32 位结构,工作频率一般在 60MHz 以上,典型的有 Infineon 公司的 TC10GP, Hitachi 公司的 SH7410、SH7612 等。把 DSP 和传统单片机结合,大大提高了单片机的功能,这是目前单片机最大的进步之一。

(2) 功耗、封装及电源电压的进步

现在,新的单片机的功耗越来越小,特别是很多单片机都设置了多种工作方式,包括等待、暂停、睡眠、空闲、节电等,如 Philips 公司的 P87LPC762 就是一个很典型的例子。在空闲时,其功耗为 $1.5\mu\text{A}$,而在节电方式中,其功耗只有 $0.5\mu\text{A}$ 。而在功耗上最令人惊叹的是 TI 公司的 MSP430 系列,它是一个 16 位的单片机系列,具有超低功耗工作方式,它有 LPM1、LPM3、LPM4 三种低功耗方式。当工作电源为 3V 时,如果工作于 LPM1 方式,即使外围电路处于工作状态,由于单片机的 CPU 不活动,其振荡器处于 $1\sim 4\text{MHz}$,这时功耗只有 $50\mu\text{A}$ 。在 LPM3 时,振荡器处于 32kHz ,这时功耗只有 $1.3\mu\text{A}$ 。在 LPM4 时, CPU、外围及振荡器 32kHz 都不活动,则功耗只有 $0.1\mu\text{A}$ 。

随着贴片工艺的出现,单片机也大量采用了各种符合贴片工艺的封装方式,以减少体积。在这种形势下, Microchip 公司推出的 8 引脚的单片机就特别引人注目,如 PIC12CXXX 系列。它含有 $0.5\sim 2\text{KB}$ 的程序存储器, $25\sim 128\text{B}$ 的数据存储器, 6 个 I/O 端口以及一个定时器,有的还含 4 通道 A/D 转换,完全可以满足一些低档系统的应用。

另外,扩大电源电压范围以及在较低电压下仍然能够工作是当今单片机发展的目标之一。一般单片机均能在 $3.3\sim 5.5\text{V}$ 的条件下工作,而一些厂家已经生产出了可以在 $2.2\sim 6\text{V}$ 条件下工作的单片机,如 Fujitsu 公司的 MB89191~89195、MB89121~125A、MB89130 系列等。还有 TI 公司的 MSP430X11X 系列单片机的工作电压也低至 2.2V 。

(3) 工艺上的进步

现在的单片机基本上采用 CMOS 技术,大多数加工工艺采用了 $0.6\mu\text{m}$ 以下的光刻技术。有些公司采用的光刻工艺更精密,如 Motorola 公司已采用 $0.35\mu\text{m}$ 甚至是 $0.25\mu\text{m}$ 、 $0.18\mu\text{m}$ 技术,这些技术的进步大大地提高了单片机的内部密度和可靠性。

2. 以单片机为核心的嵌入式系统

单片机的另外一个名称就是嵌入式微控制器,原因在于它可以嵌入到任何微型或小型仪器或设备中。目前,把单片机嵌入式系统和 Internet 连接已是一种趋势。但是, Internet 一向采用一种“肥服务器、瘦用户机”的技术。这种技术在互联网上存储及访问大量数据是合适的,但对于控制嵌入式器件就成了“杀鸡用牛刀”了。要实现嵌入式设备和 Internet 连接,就需要把传统的 Internet 理论和嵌入式设备的实践都颠倒过来。为了使嵌入式设备能切实可行地与 Internet 连接,就要求专

门为嵌入式微控制器设备设计网络服务器,使嵌入式设备可以和 Internet 相连,并通过标准网络浏览器进行过程控制。

为了把以单片机为核心的嵌入式系统和 Internet 相连,已有多家公司在这方面进行了深入研究,如 EmWare 公司和 TASKING 公司。

EmWare 公司提出了嵌入式系统入网的方案——EMIT 技术。这个技术包括三个主要部分: EmMicro, EmGateway 和网络浏览器。其中, EmMicro 是嵌入设备中的一个只占内存容量 1KB 的极小的网络服务器; EmGateway 作为一个功能较强的用户或服务器,用于实现对多个嵌入式设备的管理,还有标准的 Internet 通信接入以及网络浏览器的支持; 网络浏览器使用 EmObjects 进行显示和嵌入式设备之间的数据传输。如果嵌入式设备的资源足够,则 EmMicro 和 emGateway 可以同时装入嵌入式设备中,实现 Internet 的直接接入。

TASKING 把 emWare 的 EMIT 软件包和有关的软件配套集成,形成了一个集成开发环境,向用户提供了一个方便的开发环境。嵌入互联网联盟 ETIC (embed the Internet Consortium) 正在紧密合作,共同开发嵌入式 Internet 的解决方案。

3. 单片机应用的可靠性技术发展

在单片机应用中,可靠性是首要因素。为了扩大单片机的应用范围和领域,提高单片机自身的可靠性是一种有效的方法。近年来,单片机的生产厂家在单片机设计上采用了各种提高可靠性的新技术,这些新技术主要表现在以下几点:

(1) EFT (Ellectrical Fast Transient) 技术

EFT 技术是一种抗干扰技术,它是指在振荡电路的正弦信号受到外界干扰时,其波形上会迭加各种毛刺信号,如果使用施密特电路对其整形,则毛刺会成为触发信号,干扰正常的时钟。如果交替使用施密特电路和 RC 滤波电路,就可以消除这些毛刺,而令干扰作用失效,从而保证系统的时钟信号正常工作,这样,就提高了单片机工作的可靠性。Motorola 公司的 MC68HC08 系列单片机就采用了这种新技术。

(2) 低噪声布线技术及驱动技术

在传统的单片机中,电源及地线是在集成电路外壳的对称引脚上,一般是在左上、右下或右上、左下的两对对称点上。这样,就使电源噪声穿过整块芯片,对单片机的内部电路造成干扰。现在,很多单片机都把地线和电源引脚安排在两条相邻的引脚上。这样,不仅降低了穿过整个芯片的电流,另外还方便用户在印制电路板上布置去耦电容,从而降低系统的噪声。

现在为了适应各种应用系统的需要,很多单片机的输出能力都有了很大提高,如 Motorola 公司的单片机的 I/O 口的灌拉电流可达 8mA 以上,而 Microchip 公司的单片机可达 25mA。其他公司如 AMD、Fujitsu、NEC、Infineon、Hitachi、Atmel、Toshiba 等基本上都在 8~20mA 的水平。这些电流较大的驱动电路集成到芯片内部,使单片机在工作时带来了各种噪声。为了减少这种影响,现在单片机采用了多个小管子并联等效于一个大管子方法,并在每个小管子的输出端上串入不同等效阻值的电阻,以降低 di/dt ,这也就是所谓的“跳变沿软化技术”,从而能有效地消除大电流瞬变时产生的噪声。

(3) 采用低频时钟

高频外时钟是噪声源之一,它不仅能对单片机应用系统产生干扰,还会对外界电路产生干扰,使系统的电磁兼容性不能满足要求。对于要求可靠性较高的系统,低频外时钟有利于降低系统的噪声。现在,在一些单片机中采用内部锁相环技术,就是在外部时钟较低时,也能产生较高的内部总线速度,从而既保证了速度又降低了噪声。Motorola 公司的 MC68HC08 系列及其 16/32 位单片机,就采用了这种技术以提高单片机的可靠性。