

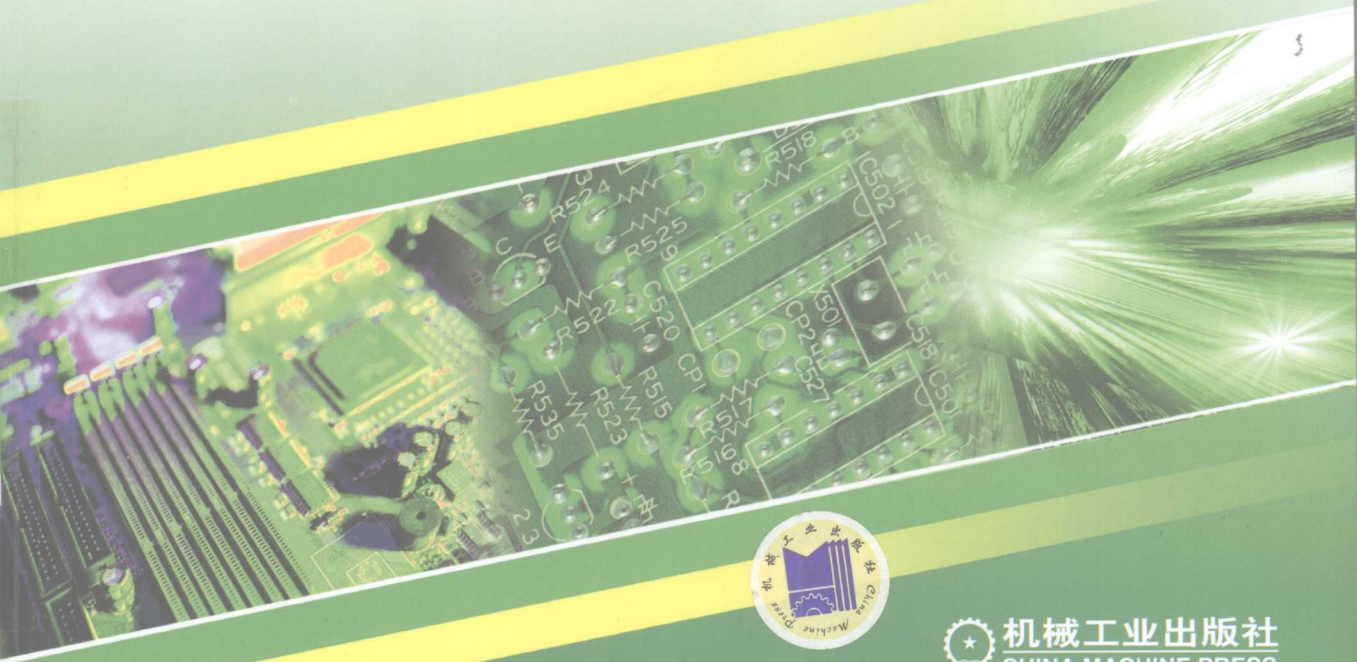


Danpianji Yuanli Yu Yingyong Jishu Shijian

卢胜利 郝立果 丁峰 边琰 编著

单片机

原理与应用技术实践



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

单片机原理与应用技术实践

卢胜利 郝立果 丁 峰 边 琰 编著



机械工业出版社

本书着眼于培养高等院校相关专业在校大学生和已步入职场的大学毕业生的单片机应用技术实践能力。考虑到众多学校普遍以 51 系列单片机为教学样机,并装备了 51 单片机实验设备,本书选择 51 系列单片机中的 89C51 为典型样机来阐述单片机的组成原理及其应用技术。主要内容包括硬件构成及外部功能扩展、指令系统、汇编语言和 C51 程序设计、集成开发环境 Keil μ Vision2 及仿真工具、单片机应用系统中的过程通道和人机界面设计技术、单片机数据通信技术、单片机应用系统一般设计流程和方法、单片机应用系统抗干扰常用措施,还包括大量单片机实验项目及各方面的典型应用实例。为解决单片机应用技术学习过程中的实验问题,突出单片机应用技术实践性强的特点,介绍了可与本书配套的 TUTE-Ⅱ 型单片机学习板,本书所列基础实验和综合设计实验项目均可在该学习板上实现。拥有本书和学习板,读者不仅拥有了学习单片机应用技术的课堂,也拥有了随身携带的单片机实验装置,以最少投资就可具备学习单片机应用技术和开展应用实践活动的全部条件。

本书结构完整、内容新颖,突出应用。为强调“应知应会”,每章末尾都安排有本章小结与思考练习题。本书的特色在于理论和实践的高度统一,既可作为单片机应用技术教程,也可作为实验指导书。本书不仅适合于普通高等院校和高职院校相关专业广大学生阅读,也适合于已经步入职场并需要提高单片机应用技术水平与实践能力的广大毕业生阅读,还可作为广大工程技术人员自学单片机应用技术的教程或参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理与应用技术实践/卢胜利等编著. —北京:机械工业出版社, 2009. 4

ISBN 978-7-111-26411-8

I. 单… II. 卢… III. 单片微型计算机 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 026328 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:吉玲 版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:张静 责任印制:洪汉军

三河市宏达印刷有限公司印刷

2009 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·19 印张·470 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-26411-8

定价:30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379768

封面无防伪标均为盗版

前 言

微型计算机的发展已经进入所谓“后 PC 时代”，网络化和嵌入式系统的广泛应用是后 PC 时代的两个重要特征。有专家预言，嵌入式系统在后 PC 时代的数量将占全部微型计算机的 90% 以上。嵌入式系统（Embedded Systems, ES）泛指嵌入在特定系统（对象体系）之中的微型计算机系统。物理结构的嵌入式和面向特定应用是嵌入式系统区别于通用微型计算机的两个重要标志。依据嵌入式系统的规模和外部特征，通常将嵌入式系统分为系统级、板级和芯片级。

单片微型计算机（Single Chip Microcomputer, SCM）简称为单片机，是芯片级嵌入式系统的典型代表。由于最早是为工业控制目的而设计的，因而也被称作微控制器（Micro-Control Unit, MCU）。回顾单片机的发展历程，1976 年 Intel 公司推出的 MCS-48 系列单片机（4 位）具有标志性，20 世纪 80 年代初推出的 MCS-51 单片机（8 位）则极大地推动了单片机的应用和发展，并在相当长的一段时间内引领着单片机发展的潮流。美国 Atmel 公司后来推出的 89C51/2 单片机是 51 内核与 Flash ROM 相结合的新一代 51 系列单片机；近年来推出的 89S51/52 单片机又增加了看门狗定时器（WDT）和程序代码下载（ISP）功能，成为 51 系列单片机的换代产品，使 51 系列单片机的应用前景更加广阔。51 系列单片机属于总线型单片机，具有硬件架构完整、功能强大、技术成熟、通用性强、可外部扩展、配套芯片齐全、集成开发环境好、实用子程序丰富以及价格低廉等一系列优点，无论是实际工程应用，还是学习单片机原理及其应用技术，51 系列单片机都是理想的选择。因此，各类学校在开设“单片机原理与应用”、“单片机应用技术”或“嵌入式系统应用基础”等课程时，普遍选择 51 系列单片机为教学样机，各类学校的单片机实验室或嵌入式系统基础实验室也大都装备了 51 系列单片机实验装置。

本书的特色在于理论和实践的统一，既可作为单片机原理与应用技术教程，也可作为单片机应用技术实践的指导书。单片机应用技术是电气信息类各专业（自动化、计算机科学与技术、电子工程、通信工程、信息工程等）和测控技术与仪器等相关专业在校大学生（包括高职院校相关专业学生）必须掌握的专业知识和专业技能。普及单片机应用技术实践活动对提高大学生动手能力和创新实践能力具有很好的促进作用；许多已经步入职场的大学毕业生（包括高职院校毕业生）在工作岗位上遇到单片机应用技术问题，常为在学校期间没有很好掌握单片机应用技术而懊恼，迫切需要通过自学来提高单片机应用技术水平。为适应在校大学生和已经步入职场的大学毕业生学习和掌握单片机应用技术的需要，为适应自我提升单片机应用技术实践能力的需要，本书除在各章节内容安排上突出应用技术的特点，尽量通过应用实例说明问题之外，还专门介绍了可与本书配套的 TUTE-II 型 51 系列单片机学习板。该学习板最早是天津工程师范学院相关专业学生为参加全国电子设计竞赛而设计的，经过指导教师和多届参赛学生不断地修改和完善，TUTE-II 型 51 系列单片机学习板的结构和单元电路已基本定型，具有功能配置齐全、适应各层次学习以及价格低廉等特点。本书所列基础实验项目和综合设计实例都可在该学习板上实现。拥有本书和配套的学习板，不仅拥

有了学习 51 系列单片机原理及其应用技术的课堂,也拥有了随身携带的单片机实验装置,以最少的投资就可具备学习单片机应用技术和开展应用实践的全部条件。

单片机产品目前已呈现多样化局面,但学习单片机组成原理和应用技术必须针对一种典型机型,开展单片机应用技术实践活动也需要针对一种典型机型才能够深入。在单片机及其应用技术教学过程中,把握好一般和特殊的关系非常重要,既应了解哪些原理和技术属于各种单片机所共有,也应知道哪些结构和技术是典型机型所特有。只有这样,才能将所学知识和技能灵活应用,也才能在最短的时间内适应和掌握多种单片机的应用技术。广大读者应该认识到,在低功耗、精简指令以及在线调试(ICE)等方面,其他许多单片机都有比 51 系列单片机更好的表现。为此,本书对 51 系列单片机以外的各种主流单片机及其特点也做了简要介绍。片上系统(System on Chip, SoC)是单片机的重要发展方向之一,在单芯片上集成的功能部件越来越丰富,各种微型化操作系统(μ OS)也被成功引入单片机应用系统之中。对单片机产品及其应用技术诸如此类的变化和发展,本书也在相关章节中提醒读者给予关注。

本书共分 9 章。第 1 章从微机组成原理和嵌入式系统的概念出发,阐述单片机在组成结构及应用技术方面的特点,介绍单片机的发展历程、分类方法、选型原则、单片机应用系统的设计要点以及提高单片机应用技术水平的具体途径;第 2 章以 89C51 单片机为典型样机,阐述 51 系列单片机的硬件组成原理;第 3 章介绍 51 系列单片机的指令系统;第 4 章阐述 51 系列单片机汇编语言及 C51 程序设计方法,介绍 51 系列单片机集成开发环境 Keil μ Vision2 以及典型仿真工具的使用方法等;第 5 章阐述 51 系列单片机的外部功能扩展技术,包括传统的并行总线扩展技术和当前流行的串行总线(SPI 和 I²C)扩展技术;第 6 章阐述人机界面的概念以及在单片机应用系统中的重要地位、作用和特点,介绍构成单片机应用系统人机界面的基本功能部件(键盘、LED/LCD 显示模块、微型打印机等)和典型电路模块及其与单片机的接口和驱动程序,还简要介绍了嵌入式系统中流行的图形用户界面(GUI);第 7 章阐述常用数据通信接口标准(RS-232C/RS-422/RS-485)和串行数据通信接口电路设计方法,通过相应实例介绍多个单片机之间以及单片机与 PC 之间的数据通信软件设计方法;第 8 章阐述单片机应用系统的过程通道,介绍数字量输入通道(DI)、模拟量输入通道(AI)、数字量输出通道(DO)和模拟量输出通道(AO)的一般结构,并通过实例介绍各种过程通道的硬件构成和控制软件设计方法;第 9 章阐述单片机应用系统的设计流程和设计原则,介绍单片机应用系统中的监控程序(Monitor)及其设计方法;介绍提高单片机应用系统可靠性的软硬件基本措施;还介绍了可与本书配套的单片机学习板(TUTE-II 型)的结构及单元电路,并给出基于该学习板的若干基础实验项目以及基于该学习板的若干应用实例。

本书由天津工程师范学院自动化与电气工程学院卢胜利、边琰,天津工程师范学院工程实训中心郝立果和北方民族大学电子与信息工程学院丁峰合作编著。以上教师均长期从事单片机应用技术方面的教学、实验、实训和科研工作,拥有较为丰富的理论教学和实践指导经验。本书第 1、2、5、8 章由卢胜利编著;第 3、4 章由郝立果和丁峰共同编著;第 6 章由边琰编著;第 7 章由丁峰编著;第 9 章由卢胜利和郝立果共同编著。全书由卢胜利统稿。

本书在编著过程中,参阅和借鉴了许多书籍、资料和文献,本书的出版得到作者所在学校领导和同事的大力支持和鼓励,机械工业出版社电工电子分社的领导和编辑人员给予了热

情的帮助和指导，在此一并表示深深的感谢！

单片机应用技术所包含的内容很丰富，涉及知识面也很广泛，由于编者学识水平和经验所限，书中难免存在不妥和疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

为方便教学，本书全部内容已经制作成电子课件。需要者请向机械工业出版社索取。需要本书配套学习板（TUTE-Ⅱ型）的读者，请与天津工程师范学院实训中心郝立果联系。编者电子邮箱：

卢胜利：LSL5612@163.com

郝立果：ivy.lou@163.com

丁 峰：dingfeng67@126.com

边 琰：aileanbian@gmail.com

编 者

于天津

目 录

前言

第1章 绪论 1

1.1 嵌入式系统简介 1

1.1.1 嵌入式系统的特征 1

1.1.2 嵌入式系统的等级 1

1.2 单片机的组成、分类及特点 1

1.2.1 单片机的基本组成 1

1.2.2 单片机的功能扩展 2

1.2.3 单片机的分类 3

1.2.4 单片机的主要特点 3

1.3 单片机的技术发展 4

1.3.1 单片机的起源与发展 4

1.3.2 单片机的发展阶段 5

1.3.3 单片机的发展趋势 5

1.4 单片机的应用领域 7

1.5 单片机应用技术 8

1.5.1 专业基础知识 8

1.5.2 专业技能与实践能力 8

1.5.3 学习能力 9

1.5.4 单片机选择 9

1.6 本章小结与思考练习题 10

1.6.1 小结 10

1.6.2 思考练习题 10

第2章 MCS-51 系列单片机

组成原理 11

2.1 MCS-51 系列单片机概述 11

2.2 51 单片机组成与引脚功能 11

2.2.1 内部结构 12

2.2.2 引脚功能 14

2.2.3 时钟电路与工作时序 16

2.2.4 复位操作 18

2.2.5 低功耗工作方式 19

2.3 存储器配置 20

2.3.1 存储器空间与编址方式 20

2.3.2 程序存储器 21

2.3.3 数据存储器 22

2.4 并行 I/O 端口 24

2.4.1 P0 口 25

2.4.2 P1 口 25

2.4.3 P2 口 26

2.4.4 P3 口 26

2.4.5 输入功能及操作方式 27

2.4.6 输出功能及负载能力 28

2.5 定时/计数器 28

2.5.1 定时/计数器结构 28

2.5.2 定时/计数器相关 SFR 28

2.5.3 定时/计数器工作模式 30

2.5.4 定时/计数器初始化 32

2.6 串行接口 33

2.6.1 数据通信基础 33

2.6.2 串行接口构成 35

2.6.3 串行接口相关 SFR 36

2.6.4 串行接口工作方式 37

2.6.5 多机通信方式 38

2.6.6 波特率选择与设置 38

2.7 中断系统 40

2.7.1 信息传送方式 40

2.7.2 51 单片机中断系统结构 41

2.7.3 中断源 41

2.7.4 中断允许控制 42

2.7.5 中断优先权控制 43

2.7.6 中断响应与矢量中断 45

2.7.7 中断系统初始化 47

2.8 本章小结与思考练习题 48

2.8.1 小结 48

2.8.2 思考练习题 48

第3章 MCS-51 系列单片机

指令系统 50

3.1 51 单片机寻址技术 50

3.1.1 寻址方式 50

3.1.2 寻址关系符号 51

3.2 MCS-51 系列单片机指令系统 52

3.2.1 指令构成与分类 52

3.2.2 数据传送类指令 53

3.2.3 算术运算类指令	56	5.1.2 并行存储器扩展	97
3.2.4 逻辑运算类指令	58	5.1.3 并行 I/O 接口扩展	100
3.2.5 移位指令	59	5.2 串行扩展技术	107
3.2.6 位操作指令	59	5.2.1 基于串行接口的扩展	107
3.2.7 控制转移指令	60	5.2.2 基于 SPI 总线的扩展	109
3.3 MCS-51 系列单片机指令汇总	63	5.2.3 基于 I ² C 总线的扩展	115
3.4 本章小结与思考练习题	68	5.3 本章小结与思考练习题	123
3.4.1 小结	68	5.3.1 小结	123
3.4.2 思考练习题	69	5.3.2 思考练习题	124
第 4 章 MCS-51 系列单片机		第 6 章 单片机应用系统的	
程序设计	71	人机界面	125
4.1 汇编语言程序设计概述	71	6.1 显示器	125
4.1.1 汇编语言语句格式	71	6.1.1 LED 显示器及其接口与驱动	125
4.1.2 汇编语言伪指令	72	6.1.2 LCD 显示器及其接口与驱动	131
4.2 基本程序结构	73	6.2 键盘	141
4.2.1 顺序结构	73	6.2.1 非编码键盘组成原理	142
4.2.2 分支结构	74	6.2.2 按键消抖动措施	144
4.2.3 循环结构	75	6.2.3 矩阵式键盘设计实例	144
4.2.4 子程序结构	76	6.3 微型打印机	154
4.2.5 中断程序结构	77	6.3.1 TP μ P-40B 的字符与命令	
4.3 汇编语言程序设计实践	78	代码	155
4.3.1 查表程序	78	6.3.2 TP μ P-40B 与单片机的接口	
4.3.2 算术运算程序	79	电路	155
4.3.3 接口控制程序	80	6.4 图形用户界面简介	157
4.4 面向 51 单片机的 C 语言程序	81	6.5 本章小结与思考练习题	159
4.4.1 C51 程序结构	81	6.5.1 小结	159
4.4.2 C51 数据类型	82	6.5.2 思考练习题	159
4.4.3 C51 运算符和表达式	84	第 7 章 单片机应用系统的	
4.4.4 C51 流程控制语句	84	数据通信技术	161
4.4.5 单片机资源与 C 语言编译	86	7.1 串行通信接口标准	161
4.4.6 C 语言程序实例	86	7.1.1 RS-232C 接口特性	161
4.5 Keil μ Vision2 集成开发环境	87	7.1.2 RS-232C 接口电路	163
4.5.1 Keil μ Vision2 的安装	88	7.1.3 RS-485 接口特性	164
4.5.2 Keil μ Vision2 的使用	88	7.1.4 RS-485 接口电路	165
4.5.3 程序代码下载	91	7.2 51 单片机之间数据通信技术	166
4.6 本章小结与思考练习题	93	7.2.1 查询方式数据通信	167
4.6.1 小结	93	7.2.2 中断方式数据通信	172
4.6.2 思考练习题	93	7.2.3 主从式多机数据通信	177
第 5 章 MCS-51 系列单片机		7.3 51 单片机与 PC 机数据通信技术	182
外部功能扩展技术	95	7.3.1 锅炉压力和温度控制系统	
5.1 并行扩展技术	95	概述	183
5.1.1 51 单片机外总线结构	95	7.3.2 51 单片机数据通信程序设计	183

7.3.3 PC 机数据通信程序设计	187	9.2 单片机应用系统监控程序设计	241
7.4 本章小结与思考练习题	193	9.2.1 选择结构设计法	241
7.4.1 小结	193	9.2.2 转移表设计法	242
7.4.2 思考练习题	193	9.2.3 状态变量设计法	245
第8章 单片机应用系统的		9.3 单片机应用系统的可靠性	246
过程通道	194	9.3.1 系统自检与故障诊断	246
8.1 过程通道概述	194	9.3.2 常见干扰源及分类	248
8.1.1 过程通道的作用与特点	194	9.3.3 常用硬件抗干扰措施	250
8.1.2 过程通道的分类	195	9.3.4 常用软件抗干扰措施	259
8.2 数字量输入通道	196	9.4 TUTE-II 型单片机学习板	262
8.2.1 数字量输入通道结构	196	9.4.1 TUTE-II 型单片机学习板	
8.2.2 数字量输入通道电路	197	特点	262
8.3 模拟量输入通道	199	9.4.2 TUTE-II 型单片机学习板	
8.3.1 模拟量输入通道结构	199	组成	262
8.3.2 模拟多路开关	200	9.4.3 TUTE-II 型单片机学习板单元	
8.3.3 模拟信号变换与放大电路	200	电路	263
8.3.4 采样与保持	203	9.5 基于 TUTE-II 型单片机学习板的	
8.3.5 模数转换器及其接口	204	基础实验	268
8.4 数字量输出通道	218	9.5.1 P1 口输出实验	268
8.4.1 数字量输出通道结构	219	9.5.2 外中断实验	271
8.4.2 信号隔离与驱动电路	219	9.5.3 定时器实验	273
8.4.3 常见开关执行器件及驱动	220	9.5.4 LED 动态显示实验	274
8.4.4 数字量输出通道实例	223	9.5.5 A/D 转换实验	276
8.5 模拟量输出通道	227	9.5.6 D/A 转换实验	278
8.5.1 模拟量输出通道结构	227	9.5.7 键盘扫描实验	280
8.5.2 数模转换器及其接口	227	9.5.8 串行通信实验	283
8.6 本章小结与思考练习题	234	9.6 基于 TUTE-II 型单片机学习板的	
8.6.1 小结	234	综合设计	284
8.6.2 思考练习题	235	9.6.1 直流电动机调速控制系统	
第9章 单片机应用系统设计与实现	236	设计	284
9.1 单片机应用系统设计与调试	236	9.6.2 公交车语音报站系统设计	288
9.1.1 设计思想与设计原则	236	9.7 本章小结与思考练习题	292
9.1.2 设计流程与设计任务	237	9.7.1 小结	292
9.1.3 调试步骤与调试方法	239	9.7.2 思考练习题	292
9.1.4 规范化程序设计方法	240	参考文献	294

第 1 章 绪 论

1.1 嵌入式系统简介

1.1.1 嵌入式系统的特征

微型计算机从应用角度一般分为独立式微机系统（台式电脑、笔记本电脑等）和嵌入式微机系统（简称嵌入式系统）两大类。嵌入式系统定义为嵌于特定系统（对象体系）之中的微型计算机系统。嵌入式系统最为重要的特征是物理结构上的嵌入式，即与应用对象（对象体系）结合在一起，成为特定系统的智能部件或智能子系统；嵌入式系统另一个重要特征是功能上的专用性，即硬件和软件都是为特定系统专门定制和开发的。

微型计算机已经进入所谓“后 PC 时代”，嵌入式微机技术的发展及其广泛应用是后 PC 时代的重要特征之一。已经有专家预言，嵌入式系统在后 PC 时代的数量将占到全部微型计算机的 90% 以上。

1.1.2 嵌入式系统的等级

依据嵌入式系统的规模 and 外部特征，一般将嵌入式系统分为系统级、板级和芯片级。

1. 系统级嵌入式系统

通常指各种类型的工业控制计算机（IPC、IEEE104 等）。其专用性特征是不言而喻的，而嵌入式结构特征体现在与应用对象的宏观结合，成为整个系统不可缺少的智能子系统（如过程控制系统中的各种工业控制计算机系统）。

2. 板级嵌入式系统

通常指各种类型带 CPU 的电路板及 OEM 产品。往往嵌入在控制装置（如数控系统），作为整个装置中的核心智能部件。

3. 芯片级嵌入式系统

通常指以单片集成电路形式出现的微机系统，是与对象体系结合最为紧密、应用领域最为广泛、应用方式最为灵活的嵌入式系统，以单片机最为典型。

1.2 单片机的组成、分类及特点

1.2.1 单片机的基本组成

单片机是单片微型计算机的简称。由于最早是为工业控制目的而设计的，因而也称之为微控制器。微型计算机由中央处理单元（CPU）、存储器和 I/O 接口（端口）三大部件构成，各部件通过总线（BUS）连接成为有机的整体，再通过 I/O 接口连接各种外部设备或外

围电路模块，配置相应的软件（系统程序 + 应用程序），即构成微型计算机系统。单片机是微型计算机家族中的成员之一，其外部表现为单片集成电路，本质上是一个完整的微型计算机系统。其中包括 CPU、存储器、并行 I/O 接口、定时/计数器、中断控制逻辑、串行通信，甚至 A/D、D/A、PWM、信号处理等功能电路。单片机的型号和种类很多，尽管各种系列和型号的单片机在结构、字长、指令集、存储器组织、制造技术乃至功耗和封装等诸多方面存在很大差异，但其内部所包括的共同部分如下。

1. 中央处理单元（Central Processing Unit, CPU）

亦称微处理器单元 MPU（Micro - Processor Unit）。其数据长度有 4 位、8 位、16 位，甚至 32 位。主要完成算术/逻辑运算、逻辑判断、数据读取、存储和传送等功能，构成单片机的核心部件。

2. 存储器

单片机内部有一定数量的 RAM（如 MCS - 51 单片机片内有 128/256B），用作数据存储器、堆栈和特殊功能寄存器等。现在的单片机内部基本都有 ROM，主要用作程序存储器，如 MCS - 51 系列的 AT89C51 有 4KB 的 Flash ROM。片内拥有的存储器（尤其是 ROM）容量越大，越有利于简化单片机应用系统电路、降低成本和提高可靠性。

3. 时钟电路

内部电路与外接石英晶体振荡器（晶振）相配合，产生单片机运行的基本时钟脉冲以及各种时序信号。

4. 复位电路

内部电路与外部阻容（RC）元件和人工按钮（复位按键）相配合，提供上电复位和人工复位信号，使单片机处于（返回到）初始工作状态，程序也从起始位置开始运行。

5. 中断逻辑

单片机实时处理各类事件的协调机构，由中断请求、中断控制、中断优先权处理和中断响应等功能部件组成。

6. 通用并行 I/O 接口

单片机与外部联系的基本通道，某些单片机（如 MCS - 51 系列）在外部扩展模式下，由并行口充当外部总线。

7. 定时/计数器

为适应顺序（时间/事件）控制需要而设置的基本功能电路，也为串行通信波特率的灵活设置提供了便利。

8. 异步串行通信接口

为适应数据串行传输和联网需要而设置的基本功能电路。

1.2.2 单片机的功能扩展

除以上共同部分之外，各种系列或型号的单片机都根据其应用需要，扩展了某些特殊功能部件，使单片机的功能和可靠性进一步提高，也形成了各自的特色。这些特殊功能部件主要包括：

- (1) 看门狗定时器（WatchDog Timer, WDT）；
- (2) SPI 和 I²C 串行总线接口电路；

- (3) 在线编程 (In System Programmability, ISP) 接口;
- (4) 在线仿真 (In Circuit Emulation, ICE) 接口;
- (5) A/D 转换电路;
- (6) D/A 转换电路;
- (7) 脉宽调制 (Pulse – Width Modulation, PWM) 输出电路;
- (8) 液晶显示器 (Liquid Crystal Display, LCD) 驱动电路;
- (9) 输入捕捉 (Input CAPture, ICAP) 和输出比较 (Output COMpare, OCMP) 电路;
- (10) 直接存储器访问 (Direct Memory Access, DMA) 控制电路。

1.2.3 单片机的分类

根据目前单片机的发展状况,可将单片机从不同角度分为通用型/专用型、总线型/非总线型、控制型/家电型和低端型/高端型四类。

1. 通用型/专用型

按单片机的适用范围,可将单片机分为通用型和专用型。通用型单片机是指普遍适用于各领域和各种应用对象的单片机。目前绝大部分单片机(如 MCS-51 系列、AVR 系列、PIC 系列、MSP-430 系列等)都属于通用型单片机。专用型单片机则指专门针对某一类产品甚至某一个产品设计而定制的单片机,如电子体温计中的单片机,在片内集成了半导体温度传感器和测量电路以及 ADC 接口等功能部件,构成专用于电子体温计产品的单片机。

2. 总线型/非总线型

按单片机是否提供并行总线区分,可将单片机分为总线型和非总线型。总线型单片机设置有并行地址总线、数据总线和控制总线的单片机,可通过相关引脚并行扩展外围器件。MCS-51 系列单片机就是最典型的总线型单片机,它可以通过并行口及相关引脚进行存储器和各种 I/O 器件的并行扩展,以适应不同应用对象的需要。非总线型单片机将所需要外围器件及外设接口集成在单片机芯片内部,不对外提供并行扩展总线。所谓 SoC 单片机基本都属于非总线型单片机(如 MSP-430 系列、凌阳 SPCE061A 等)。

3. 控制型/家电型

按单片机应用领域区分,可将单片机分为控制型和家电型。一般而言,控制型单片机的寻址范围大,运算能力强,I/O 接口丰富;家电型单片机多为特定产品专门设计定制,通常为小封装、低价格,外围器件和外设接口集成度高。

4. 低端型/高端型

按单片机字长大小及硬软件资源区分,可将单片机分为低端型和高端型。低端型通常指 4 位和 8 位单片机,其寻址能力小,内部程序存储器 (ROM)、数据存储器 (RAM) 和 I/O 端口等资源有限,指令功能简单,一般只适用于简单场合应用。高端型通常指 16 位单片机,尤其指内部资源丰富、指令系统功能强大的各种 SoC 单片机。低端型也常被称为普及型单片机,高端型单片机则常被称为“高级单片机”。

1.2.4 单片机的主要特点

单片机是最早出现的嵌入式系统,也是嵌入式系统的典型代表。单片机除具有其他嵌入式系统所具有的物理结构上的嵌入式和功能的专用性两个基本特征之外,还具有以下特点。

1. 性能价格比优异

单片机大量应用于各种智能型电子产品之中，其性价比对这类产品的总性价比影响极大。随着技术水平和半导体制造工艺水平的不断提升以及芯片产量的大幅增长，单片机的功能在不断增强，各项技术指标也在不断提高，而制造成本和销售价格却在不断下降，呈现出优异的性价比。

2. 集成度高，体积小，可靠性高

单片机是大规模集成电路（Large Scale Integrated circuit, LSI）技术高度发展的产物，体积小（尤其是表面贴装芯片）是其固有的特性；单片机将各种功能电路集成在一块芯片上，内部采用总线结构，减少了各功能电路之间的连线，从而大大提高了单片机的可靠性与抗干扰能力。由于体积小，易于在强磁场环境下采取屏蔽措施，也大大提高了恶劣环境下工作的适应性。

3. 控制功能强

单片机的别名为“微控制器”。一方面反映了单片机是由工业控制催生的产物，另一方面则表明控制功能强是单片机的重要特点之一。其硬件方面主要表现为配备了功能强大的定时/计数通道、中断系统和信号 I/O 通道；软件方面则表现为指令系统中有极丰富的转移指令、I/O 逻辑操作以及位处理（布尔处理）指令，从而为构建单片机控制系统带来便利。

4. 低功耗

对于各种手持式和便携式产品以及在市电（220V 交流电）难以输送的特殊应用场合，电池供电是唯一的选择。单片机常常应用于电池供电的场合，低功耗对其非常重要，也是单片机在发展过程中不断追求的性能指标之一。单片机的低功耗特性一方面表现在工作电流进一步降低和工作电压进一步下降，另一方面则表现在不断完善的电源管理功能。超低功耗单片机（如 MSP-430、AVR、PIC 等）在节电（休眠）模式下，所消耗的电流不大于 $1\mu\text{A}$ 。

5. 系统扩展和配置规范

外部可扩展的单片机采用并行端口扩展外部存储器和各种 I/O 接口或功能部件，构成各种规模的应用系统。所有单片机都可采用串行扩展规范（SPI、I²C），扩展单片机应用系统所需要的各种串行接口的功能部件。

1.3 单片机的技术发展

1.3.1 单片机的起源与发展

1946 年在美国诞生了世界上第一台数字电子计算机（简称计算机），在随后的几十年里，计算机技术和产品都得到了飞速发展，由电子管阶段迅速发展到晶体管阶段，又由晶体管阶段进一步发展到集成电路乃至大规模集成电路阶段。1972 年诞生的微型计算机，尤其是个人计算机（Person Computer, PC）的迅速普及以及在信息处理、逻辑分析、决策判断、输入/输出管理等方面所显示的优异的性能，引起了自动控制领域专家的极大兴趣。如何将计算机微型化并嵌入到对象体系（如舰船、汽车、机床、仪器仪表等、家用电器、通信产品、电子玩具等）中，使其在信号采集、实时数据处理、智能化决策、输出驱动控制等任务中发挥核心作用和智能作用，引起了微处理器芯片研究人员和制造商的高度重视，并进行

了积极的探索。

20 世纪 70 年代, 美国 Fairchild (仙童) 公司推出了世界上第一款单片机 (F8), Intel、Motorola、Zilog 和 TI 等大公司在探索过程中也都取得了满意的效果, 各自推出了探索期的代表性产品。1976 年 Intel 公司推出的 MCS-48 系列单片机, 标志着微型计算机嵌入式应用的模式和产品形态由探索步入成熟, 并正式确定了单片机 (SCM) 这一名称。MCS-48 系列单片机是 4 位单片机, 其典型应用是作为早期 PC 键盘中的控制器。

20 世纪 80 年代初, Intel 公司率先推出了 MCS-51 系列 8 位单片机, 1983 年又率先推出了 MCS-96 系列 16 位单片机, 从而确立了 Intel 公司在单片机技术开发和芯片制造领域的主导地位。自 MCS-48 单片机问世后, 单片机技术和产品发展非常迅速。Philips、GI、Rockwell、Zilog、Motorola、Microchip、NEC、凌阳等公司都纷纷推出了自己的单片机系列产品, 使单片机技术和产品呈现出“百花齐放、百家争鸣”的繁荣景象。Intel 公司由于专注于 PC 微处理器的开发与生产, 逐渐失去了在单片机技术和产品发展中的领导地位, Philips、TI、Atmel、Microchip 等公司后来居上, 逐渐成为单片机技术发展的引领者和主流单片机芯片的供应商。

1.3.2 单片机的发展阶段

单片机技术的发展历程通常用 SCM、MCU、SoC 三个阶段来概括。

1. 单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer, SCM) 发展阶段

SCM 发展阶段的主要目标是寻求单片形态的嵌入式系统的最佳体系结构, 创新嵌入式计算机模式, 奠定了 SCM 与通用计算机完全不同的发展道路。Intel 公司在此发展阶段功不可没。

2. 微控制器 (Micro Controller Unit, MCU) 发展阶段

MCU 发展阶段的主要目标是不断满足各类控制对象和控制系统对外围电路的要求, 以适应构建基于单片机的智能控制系统和装置的需要。这一发展阶段的重任主要由电气、电子技术开发商和芯片制造商承担。在这个阶段, Intel 公司推出了 MCS-96 系列单片机, 将用于测控系统的模数 (A/D) 转换器、程序运行监视器 (WDT)、脉宽调制器 (PWM) 等纳入单片机芯片之中。随着 MCS-51 系列的广泛应用, 众多电气厂商竞相使用 80C51 为内核 (俗称 51 内核), 将测控系统中普遍使用的电路技术、接口技术、多通道 A/D 转换部件、可靠性技术等应用到单片机中, 进一步增强了单片机外围电路的功能, 强化了单片机的微控制器特征。

3. 片上系统 (System on Chip, SoC) 发展阶段

寻求应用系统在单芯片上最大化解决, 在 MCU 阶段就成为单片机应用系统追求的目标之一。微电子技术、LSI 设计和 EDA 工具的进步和发展以及单片机应用技术的标准化、模块化, 为在单个芯片上构建微机应用系统创造了条件, 将单片机的发展推到了片上系统 (SoC) 的新阶段。

1.3.3 单片机的发展趋势

单片机的发展趋势可概括为以下 10 个主要方面。

1. CMOS 化

采用双极型半导体工艺的 TTL 电路速度快,但功耗和芯片面积较 MOS 电路大。随着半导体技术和制造工艺水平的不断进步,出现了 HMOS (高密度和高速度 MOS) 和 CHMOS 工艺 (CMOS 和 HMOS 工艺的结合),采用 CHMOS 制造工艺的数字集成电路已达到 LSTTL 的速度 (传输延迟小于 2ns),其综合优势远大于 TTL 电路。因而,在单片机领域 CMOS 电路取代 TTL 电路已成为重要的发展趋势。Intel 80C51 (AT89C51) 已普遍取代早期的 8051 就是这种发展趋势的反映。CMOS 电路的特点是低功耗、高密度、低速度、低价格,还具有功耗可控的特点,可以使单片机工作在功耗精细管理状态。

2. 低功耗

目前单片机的工作电流普遍已经达到毫安级,而且几乎所有的单片机都有 WAIT、STOP 等节电运行模式,此模式下的电流消耗甚至低于 $1\mu\text{A}$,非常适合电池供电系统。此外,单片机允许使用的电压范围也越来越宽 (如 3 ~ 6V)。低电压供电的单片机电源下限仅为 1 ~ 2V,甚至出现了 0.8V 供电的单片机。低功耗化的效应不仅在于功耗低,而且带来了产品的高可靠性、高抗干扰能力以及产品的便携化。

3. 高可靠性

为提高单片机的抗电磁干扰能力,使产品能适应恶劣的工作环境,满足电磁兼容性方面更高标准的要求,单片机制造商普遍在单片机内部电路采用了新的技术措施。此外,还普遍设置了看门狗定时器 (WDT),以有效防止程序运行失控。

4. 大容量

单片机内部程序存储器 (ROM) 容量一般为 1 ~ 4KB (1KB = 1024B),而数据存储器 (RAM) 容量一般为 64 ~ 128B (字节)。面对复杂系统时,单片机存储容量就显得不够大,通常需要外部扩展以增大程序存储器或数据存储器的容量。为克服外部扩展带来的不便,采用新制造工艺使片内存储器大容量化成为单片机发展的重要趋势。16 位高端单片机内部的程序存储器 (ROM) 容量普遍达到几十 KB 到几百 KB,片内数据存储器容量则达到几 KB 到几十 KB (如 TI 公司的 MSP-430 系列、凌阳公司的 SPAC061A 等)。

5. 高性能

高性能主要体现在单片机中 CPU 性能的不断提高。微处理器一般分为繁杂指令集结构 (CISC) 和精简指令集结构 (RISC) 两大类。CISC 微处理器的设计重点在于硬件,强调硬件执行指令的功能;RISC 微处理器的设计重点在于降低由硬件执行指令的复杂度。新型单片机中的微处理器大量采用精简指令集结构和流水线技术,使单片机的运行速度大幅提升,出现了速度达到 100MIPS (每秒执行 $100 \times$ 百万条指令) 的单片机,同时还加强了位处理功能、中断和定时控制功能。这类单片机的运算速度比早期单片机高出 10 倍以上。由于这类单片机有极高的指令速度,可以用软件模拟 I/O 功能,由此引出了“虚拟外设”的新概念。

6. 小容量、低价格

在 16 位高端单片机向大容量化发展的同时,4 位和 8 位低端单片机则表现出小容量、低价格化发展的趋势。这类单片机发展的目标是将以往用数字逻辑集成电路组成的控制电路单片机化或智能化,以适合家电和电子玩具等低端消费电子产品的需要。

7. 外围电路内装化

外围电路内装化是单片机发展的主要方向之一。随着集成电路技术的不断提高,将众多

典型的外围功能器件集成在单片机内部已经成为可能。除了一般单片机必须具有的 CPU、ROM、RAM、定时器/计数器等以外，内部集成的部件通常还有模/数转换器、DMA 控制器、声音发生器、监视定时器、液晶显示（LCD）驱动器、彩色电视机和录像机用的锁相电路等。

8. 串行外部扩展技术

单片机应用系统一般采用三总线（ABUS、DBUS、CBUS）结构扩展外围器件，并逐渐成为单片机应用系统的经典或主流结构。I²C 和 SPI 等串行总线的出现和各种串行接口存储器和其他外围器件不断涌现，逐渐使采用三总线扩展的结构产生了变化，基于 I²C 和 SPI 串行总线的串行扩展技术成为单片机的流行趋势，使单片机的引脚大为简化，单片机系统的结构更加简洁和规范。

9. 在线调试技术

单片机应用系统开发通常需要采用 ICE 装置（仿真器），开发环境复杂，不利于普及和推广。现在越来越多的单片机内部集成了 ISP 或 IAP（在线编程），甚至 ICE（在线仿真）功能模块，逐渐可以摆脱对开发装置的依赖，采用 JTAG 技术实现在线仿真调试。

10. 基于操作系统的软件结构

操作系统（Operation System, OS）是计算机系统软件的核心，配置操作系统的微型计算机将为使用者提供标准化的应用平台和各种服务。由于操作系统需要占用系统资源（CPU 运行时间/存储空间等），而单片机资源有限，一般无法配置操作系统；一般认为单片机所面对的任务较为简单，也没有必要配置操作系统。随着单片机字长的增加和内部资源的不断扩充，也由于单片机应用系统的复杂性不断增加（尤其是联网的需要），加之各种微小内核的嵌入式操作系统（如 $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 、 $\mu\text{C}/\text{Linux}$ ）的出现，使配置操作系统成为单片机软件技术发展的重要趋势之一。

1.4 单片机的应用领域

单片机的应用领域不仅十分广泛，还从根本上改变了传统控制系统的设计理念和设计方法，先前采用模拟电路或数字电路实现的大部分功能，现在都可以采用单片机并通过软件方法来实现。这种软件代替硬件的控制技术也称为微控制技术，是传统控制技术的一次革命。单片机目前已成为科技领域的有力工具，人类生活的得力助手。下面仅列出单片机的五个典型应用领域。

1. 智能化仪表

单片机广泛地用于各种仪器仪表，使仪器仪表智能化，以提高测量的自动化程度和测量精度，简化仪器仪表的硬件结构，提高其性能价格比。

2. 机电一体化

机电一体化是机械工业发展的重要方向。机电一体化产品是指集机械技术、传感技术、微电子技术、计算机技术和通信技术于一身，具有智能化特征的机电产品，如数控机床、智能机器人和汽车等。单片机作为机电一体化产品中的微型控制器，能充分发挥它的体积小、可靠性高、功能强等优势。

3. 实时控制

单片机广泛地用于各种实时控制系统中。例如，在工业测控、航空航天、尖端武器、机器人等各种实时控制系统中，都可以用单片机作为控制器。单片机的实时数据处理能力和控制功能，可使系统保持在最佳工作状态，提高系统的工作效率和产品质量。

4. 分布式多机系统

在比较复杂的系统中，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。单片机在这种系统中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。单片机的高可靠性和强抗干扰能力，使它可以置于恶劣环境的前端工作。

5. 人类生活

单片机诞生后不久就步入了人类生活之中。洗衣机、电冰箱、空调、电视机、微波炉等家用电器和电子玩具配上单片机后，提高了智能化程度，增加了功能，倍受人们喜爱；在电子门禁系统、自动抄表系统等社区智能化产品中，到处都有单片机的身影，单片机将使人类的生活更加方便、舒适和丰富多彩。

1.5 单片机应用技术

单片机应用技术是面向特定领域和特定对象的单片机应用系统设计与构建技术，具有知识综合性强、技术更新速度快、实践性强等显著特点。对从事单片机应用技术人员的专业基础知识水平、多方面知识和技术的综合能力，专业技能和实践能力以及新知识和新技术的学习能力等都有较高要求。

1.5.1 专业基础知识

设计与构建单片机应用系统属于面向特定对象的数字系统（硬件）和程序系统（软件）设计与构建问题，从事单片机应用技术人员必须具备以下四个方面的专业基础知识：

- （1）数字电子技术（数字电路基础、各种典型组合逻辑电路和时序逻辑电路）；
- （2）模拟电子技术（模拟电路基础、模拟信号处理电路）；
- （3）微机原理与接口技术（微机系统组成、各种典型接口技术）；
- （4）汇编语言和高级程序设计（程序设计基本概念、典型汇编语言和 C 语言程序设计方法）。

除此之外，还应学习和掌握特定应用对象的相关专业知识，才能正确构建针对特定对象的单片机应用系统。

1.5.2 专业技能与实践能力

所谓单片机应用技术，是指设计和构建面向各种特定应用对象的专用微型计算机系统的硬件和软件综合应用技术。对专业技能和实践能力都有较高、较全面的要求。一名合格的单片机应用技术人员，要能够承担信息传感部件（传感器）选择、信号处理电路、电源电路、单片机外围电路、人机界面中各种器件驱动电路、串行通信接口电路等方面的硬件设计、制