



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

单片机原理 及应用

(第三版)

李建忠 余新拴 闵永智 编著
杨琳霞 胡 健 康苏明



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

单片机原理及应用

(第三版)

李建忠 余新拴

闵永智 杨琳霞 编著

胡 健 康苏明

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书以中、小规模单片机应用系统普遍采用的 51 系列单片机为对象,系统地介绍了单片机的硬件结构与原理、指令系统与程序设计、外部功能扩展、并行与串行总线的接口技术、单片机应用系统的软硬件结构与开发方法、C 语言应用程序设计等内容。

本书注重知识的内在联系与规律,采用归纳、类比的方法讲解单片机技术的原理和方法。各章中对关键性内容都结合丰富的实例予以说明,并在章末配有习题供读者练习;同时,着眼于工程实际,选用了大量有实用价值的问题进行讨论。

本书既可作为高等学校电气自动化、计算机及相关专业的教材,也可供从事单片机系统开发应用的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用/李建忠等编著. —3 版. —西安:西安电子科技大学出版社, 2013.12

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3212 - 4

I. ① 单... II. ① 李... III. ① 单片微型计算机—高等学校—教材 IV. ① TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 233177 号

策 划 毛红兵

责任编辑 邵汉平 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2013 年 12 月第 3 版 2013 年 12 月第 17 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 20.5

字 数 479 千字

印 数 81 001~84 000 册

定 价 36.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3212 - 4/TP

XDUP 3504003-17

如有印装问题可调换

第三版前言

一部精品教材建设的源泉是读者。本书自 2002 年 2 月出版, 经 2008 年 2 月全面修订, 以普通高等学校“十一五”国家级规划教材出版, 已连续 16 次印刷, 发行 81 000 册, 深得读者厚爱。第二版出版五年来, 收到了读者一些宝贵的反馈意见和建议。学生朋友们期望在有利于自学方面再做提高, 因为课堂授课时间毕竟有限, 大多数内容要靠自学; 教师朋友们提出, 在部分内容的阐述上进一步突出重点, 深入原理和分析方法。读者反馈中, 包含有肯定, 这是对作者极大的鼓励; 改进意见十分中肯, 都是教学实践的真实反映。这是本书第三版修订的富有感染力的背景, 也是修订的目标。

本次修订, 在保持第二版读者肯定的内容体系基础上, 做了以下几个方面的工作:

(1) 对第二版全书进行了全面梳理, 针对每一个知识点, 突出重点, 展现条理, 语言表达进一步简明准确。

(2) 完善了部分原理性内容的完整性和部分应用性内容的实用性。例如, 在第 2 章中增加了 CPU 执行各类指令的时序; 在第 5 章的同步串行总线接口技术中增加了模拟总线时序的控制程序等。

(3) 在应用问题上, 突出方法分析。在单片机内部资源的应用问题中, 详细分析了初始化的内容与步骤, 例如在各种定时器应用程序中给出了初值计算方法; 在每一个接口实例中增加了结构方法和端口地址的分析。

(4) 提高了全书前后内容的一致性。例如, 单片机的 C 语言应用程序设计一章中的绝大多数示例都与前面几章中的汇编源程序示例对应, 这样便于前后对照, 理解编程的方法及其单片机资源利用的实质方式。

(5) 在大多数编程举例中增加了注释信息量, 尤其对单片机的 C 语言应用程序设计一章做了较大幅度修改。这样, 能为学生自学提供有力帮助。

在本书的修订过程中, 得到陕西理工学院相关领导、教师和西安电子科技大学出版社的高度重视, 给予了大力支持, 在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限, 书中错误和不妥之处难免, 敬请读者一如既往地关心支持, 提出宝贵意见。

作者
2013 年 10 月

第二版前言

随着单片机应用技术的发展,单片机产品不断更新换代,单片机应用的模式、方法也在不断发展。一方面,单片机应用系统的规模越来越大,其外围连接了种类繁多的外设,甚至进入了计算机网络系统,如很多单片机的工业控制系统采用多机分布式系统;另一方面,单片机的嵌入式应用又使其体积越来越小,器件引脚数目要求尽量减少。这两种不同的趋势,对单片机产品的发展产生了不同的影响。

近年来,串行接口设备凭借其控制灵活、接口简单、占用资源少等优点在工业测控、仪器仪表等领域得到广泛应用,这种发展趋势加强了单片机串行通信功能,使串行通信技术成为了单片机应用技术的重要组成部分。为了方便系统与外围设备连接,新一代单片机增加了 I²C、SPI、1—Wire 等串行接口功能,用户可以通过 I²C、SPI、1—Wire 串行接口连接各种设备,完成检测功能,把系统情况通过串口传送给上位机管理系统,完成远程设备的控制。同时,单片机外围接口器件不断推陈出新,数据通信芯片、串行存储器、数字化传感器、液晶显示器件等的推出,也要求单片机系统开发人员进一步关注单片机的各种新型接口应用技术。

在硬件发展的同时,单片机软件开发工具日益丰富,出现了众多支持高级语言编程的单片机开发工具。利用 C 语言设计单片机应用程序已成为单片机应用系统开发设计的一种趋势。Keil C51 已被完全集成到一个功能强大的集成化开发环境 μ Vision2 中。

在本书第一版中,以 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机为对象,系统介绍了单片机原理、接口与应用系统开发、设计技术,深得读者厚爱。本书第一版自 2002 年 2 月出版以来,重印 8 次,发行 4 万余册,2006 年被评选为普通高等学校“十一五”国家级规划教材。但随着单片机技术的发展,原书的部分内容已不能很好地适应新技术的发展。在此背景下,编者对原书进行了全面修订,力图从单片机产品、接口技术、开发方法等方面来反映单片机技术新的发展,以更好地适应教学和人才培养的需要。

第二版在保持第一版书的体系、风格、特点的基础上,扩展了与单片机相关的基本概念和应用,更加强实用性,重点增加了串行总线扩展技术、常用串行器件(串行 A/D 转换器、串行 D/A 转换器、液晶显示器接口等)接口技术。全书共 8 章。第 1 章为概述。第 2、3、4 章介绍了 51 系列单片机的硬件结构、指令系统、汇编语言程序和系统功能的扩展。第 5 章介绍了单片机串行口功能扩展,包括 51 单片机与异步串行通信总线接口、I²C 串行接口、SPI 串行接口和单总线接口。第 6 章介绍了单片机系统中常见的接口技术。第 7 章介绍了单片机应用系统结构与应用系统的设计内容、过程和一般方法。第 8 章基于 C51 对标准 C 语言的扩展,针对 Keil C51 介绍了单片机应用系统 C 语言应用程序设计的一般方法和典型实例。

由于各著名的半导体厂家相继生产了基于 8051 内核的产品,例如 PHILIPS 公司的 P89

系列、美国 SST 公司的 SST89 系列等，51 单片机实际上代表了一种 8051 内核技术，并不代表某一种产品，因此，本书以“51 单片机”来泛指具有 8051 内核技术的多个厂家的单片机产品。虽然 51 系列单片机并不是功能最强、技术最先进的单片机，但它们源于经典的 MCS-51 系列，且占有相当大的市场应用份额，因此，考虑到教学的连续性和所用实验开发装置的普及性，在作一般共性介绍时，仍采用 51 系列单片机。

本书在编写过程中得到了西安电子科技大学出版社的大力支持，在此表示衷心的感谢。由于作者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

作者
2007 年 11 月

第一版前言

单片机技术作为计算机技术的一个分支，广泛地应用于工业控制、智能仪器仪表、机电一体化产品、家用电器等各个领域。“单片机原理及应用”在工科院校各专业中已作为一门重要的技术基础课而普遍开设。学生在课程设计、毕业设计、科研项目中会广泛应用到单片机知识，而且，进入社会后也会广泛接触到单片机的工程项目。鉴于此，提高“单片机原理及应用”课的教学效果，更新教学内容甚为重要。单片机应用技术涉及的内容十分广泛，如何使学生在有限的时间内掌握单片机应用的基本原理和方法，是一个很有价值的教改项目。笔者多年从事“单片机原理及应用”课的教学，针对上述教改内容做过不懈的探索。本书就是由笔者的教案整理而成的。

本书具有以下特点：

(1) 压缩了与通用微机原理的重叠部分。本书直接以单片机与通用微机的结构、原理的异同点作为开头，能使读者集中精力，以通用微机的原理知识作基础，学习单片机原理与应用技术。

(2) 始终贯穿应用观点。例如，在讲解单片机原理结构中明确指出，要抓住单片机的供应状态，即如何正确、合理地使用单片机提供给用户的软、硬件资源。避免读者拘泥于一般理论的学习。

(3) 本书虽仍采用常见教材“以点代面”的讲解方法，但着力使读者达到“以点见面”、“触类旁通”的效果。例如，在每一章节前都概述出相关的一般性内容和方法，然后再以典型内容加以说明。本书以 MCS-51 单片机为讲解对象，但通过学习也可以很容易地掌握其他种类单片机。

(4) 本书着力使学生掌握学习方法。掌握一门学科知识的学习方法，其实质是找出并抓住学科知识的内在联系，并形成一完整体系，本书力求突出这方面的特色。例如，在对指令系统的讲述中，许多教材采取按功能分类逐条指令罗列讲解，使初学者深感数百条指令像一盘散沙似的，很难理解、记忆。其实，指令系统中有一些操作是具有多条指令的子集合，子集合中的指令只是针对不同的操作对象，即由不同的寻址方式组合而成的；有一些操作不同，但操作数的组合规律却相同或相似，如加、减、逻辑操作指令。本书讲述中用归纳、类推、类比方法进行纵向归类、横向类推、比较；同时对每类/每条指令的讲解，着重揭示其内部执行原理，使初学者达到比较好的学习效果。

(5) 本书最后一章编写了“单片机的 C 语言应用程序设计”，这与现行教材相比较是一个新内容。单片机 C 语言程序设计是带趋势性的单片机应用系统开发设计的新方法，纳入“单片机原理及应用”课的教学内容，是对教学内容的改革。

本书可作为工科院校有关专业“单片机原理及应用”课程的教材或教学参考书，也可

作为需要掌握和使用单片机技术的工程技术人员的参考资料。

在本书的编写过程中，编者借鉴了许多现行教材的宝贵经验，在此，谨向这些作者表示诚挚的感谢。

编者力图使本书成为一本包含“单片机原理及应用”课程教学内容，具有教学方法改革特色的教材。但由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在不妥或错误之处，敬请读者和同行批评、指正。

编者
2001年11月

目 录

第 1 章 概述.....	1	2.5.3 P2 口.....	34
1.1 单片机的基本概念.....	1	2.5.4 P3 口.....	34
1.1.1 单片机的发展历程.....	1	2.6 定时器/计数器.....	35
1.1.2 单片机技术的多学科交叉特点.....	2	2.6.1 定时器/计数器 C/T0、C/T1 的	
1.1.3 单片机的功能结构特征.....	2	功能结构.....	35
1.2 单片机的发展.....	4	2.6.2 定时器/计数器 C/T0、C/T1 的	
1.2.1 单片机的发展概况.....	5	4 种工作方式.....	37
1.2.2 单片机技术的发展.....	6	2.7 串行输入/输出口.....	39
1.3 单片机的特点及应用.....	8	2.7.1 串行通信的基本概念.....	39
1.3.1 单片机的特点.....	8	2.7.2 51 单片机的串行口.....	42
1.3.2 单片机的应用.....	9	2.8 51 单片机的中断系统.....	47
1.4 单片机的类型与常用单片机系列.....	9	2.8.1 中断的基本概念.....	47
1.4.1 单片机的类型.....	9	2.8.2 51 单片机中断源.....	47
1.4.2 目前流行的 51 内核的		2.8.3 中断控制.....	49
8 位单片机.....	11	2.8.4 中断响应的条件、过程与时间.....	51
习题一.....	15	2.9 复位状态及复位电路.....	52
第 2 章 51 系列单片机的硬件结构.....	16	2.9.1 复位状态.....	52
2.1 51 系列单片机简介.....	16	2.9.2 复位电路.....	53
2.1.1 MCS-51 系列单片机.....	16	2.10 51 单片机的低功耗方式.....	53
2.1.2 8051 派生产品.....	16	2.10.1 方式设定.....	54
2.2 51 单片机的内部结构与引脚信号.....	17	2.10.2 空闲(等待、待机)工作方式.....	54
2.2.1 51 单片机的基本组成.....	17	2.10.3 掉电(停机)工作方式.....	55
2.2.2 51 单片机的引脚信号.....	17	习题二.....	55
2.3 微处理器.....	20	第 3 章 51 单片机指令系统和汇编语言	
2.3.1 运算部件.....	20	程序示例.....	57
2.3.2 控制部件及振荡器.....	21	3.1 51 单片机指令系统概述.....	57
2.3.3 指令操作时序.....	23	3.1.1 指令与指令系统的概念.....	57
2.4 存储器.....	26	3.1.2 51 单片机指令系统及其指令格式... 58	
2.4.1 程序存储器.....	26	3.2 寻址方式.....	58
2.4.2 数据存储器.....	28	3.2.1 立即寻址.....	59
2.5 并行输入/输出接口.....	32	3.2.2 寄存器寻址.....	59
2.5.1 P0 口.....	32	3.2.3 寄存器间接寻址.....	59
2.5.2 P1 口.....	33	3.2.4 直接寻址.....	60

3.2.5 变址寻址	60	4.2.2 74LS244 和 74LS245 芯片	103
3.2.6 相对寻址	60	4.2.3 3-8 译码器 74LS138	104
3.2.7 位寻址	61	4.3 存储器的扩展	105
3.3 数据传送类指令	61	4.3.1 存储器扩展概述	105
3.3.1 访问片内数据存储器的 一般数据传送指令	61	4.3.2 程序存储器的扩展	107
3.3.2 访问片内数据存储器的特殊 传送指令	63	4.3.3 数据存储器的扩展	110
3.3.3 访问片外数据存储器的 数据传送指令	64	4.3.4 兼有片外程序存储器和片外 数据存储器的扩展举例	112
3.3.4 访问程序存储器的数据传送指令	65	4.4 并行 I/O 扩展	113
3.4 算术运算指令	66	4.4.1 I/O 口扩展概述	113
3.4.1 加、减运算指令	66	4.4.2 8255A 可编程并行 I/O 口扩展	114
3.4.2 十进制调整指令	67	4.4.3 8155 可编程并行 I/O 口扩展	121
3.4.3 乘、除法指令	68	4.4.4 用 TTL 芯片扩展简单的 I/O 接口	126
3.5 逻辑运算及移位指令	69	4.4.5 用串行口扩展并行 I/O 口	129
3.6 控制转移类指令	71	习题四	131
3.6.1 无条件转移指令	71	第 5 章 单片机串行口功能扩展	133
3.6.2 条件转移指令	73	5.1 串行口功能扩展概述	133
3.7 子程序调用与返回指令	75	5.2 51 系列单片机与异步串行 通信总线接口	133
3.7.1 子程序调用指令	75	5.2.1 RS-232 接口	133
3.7.2 返回指令	76	5.2.2 51 单片机与 PC 机间的 通信接口	138
3.7.3 空操作指令	76	5.2.3 RS-449/RS-422/RS-423/RS-485 标准接口	148
3.8 位操作类指令	76	5.3 51 系列单片机与同步串行总线接口	150
3.9 汇编程序格式与伪指令	78	5.3.1 I ² C 总线	151
3.10 汇编程序设计示例	81	5.3.2 SPI 总线接口	160
3.10.1 算术与逻辑处理程序	81	5.3.3 单总线技术	162
3.10.2 数制转换程序	85	习题五	168
3.10.3 多分支转移(散转)程序	86	第 6 章 51 单片机的接口与应用	170
3.10.4 定时器/计数器应用程序	88	6.1 按键、键盘及其接口	170
3.10.5 外部中断应用程序	90	6.1.1 键输入过程与软件结构	170
3.10.6 串行口应用程序	91	6.1.2 键盘接口和键输入软件中 应解决的几个问题	171
习题三	96	6.1.3 独立式按键	172
第 4 章 51 单片机系统功能扩展	100	6.1.4 行列式键盘	173
4.1 系统扩展概述	100	6.2 LED 显示器及其接口	177
4.1.1 最小应用系统	100	6.2.1 LED 显示器结构与原理	177
4.1.2 单片机系统扩展的内容与方法	101		
4.2 常用扩展器件简介	101		
4.2.1 锁存器 74LS373	102		

6.2.2	LED 显示器的显示方式	178	7.1.2	单片机应用系统的设计内容	228
6.2.3	LED 显示器接口	179	7.2	单片机应用系统开发过程	228
6.2.4	键盘、显示器组合接口	182	7.2.1	系统需求与方案调研	230
6.3	LCD 显示器及其接口	185	7.2.2	可行性分析	230
6.3.1	液晶显示器简介	185	7.2.3	系统方案设计	230
6.3.2	字符型液晶显示模块 LCM 的 组成原理	185	7.2.4	系统详细设计与制作	231
6.3.3	LCM 的命令字	188	7.2.5	系统调试与修改	231
6.3.4	字符型 LCM 的接口及应用举例 ...	191	7.2.6	生成正式系统(或产品)	231
6.4	A/D 转换器接口	197	7.3	单片机应用系统的一般设计方法	231
6.4.1	A/D 转换器概述	197	7.3.1	确定系统的功能与性能	231
6.4.2	A/D 转换器 ADC0809 与 单片机的接口	198	7.3.2	确定系统基本结构	232
6.4.3	单片机与 A/D 转换器 AD574 的接口	201	7.3.3	单片机应用系统硬、软件的 设计原则	233
6.4.4	串行 A/D 转换器与 单片机的接口	204	7.3.4	硬件设计	234
6.5	D/A 转换器接口	207	7.3.5	软件设计	235
6.5.1	D/A 转换器概述	207	7.3.6	资源分配	236
6.5.2	8 位 D/A 转换器与 单片机的接口	209	7.4	单片机应用系统的调试	237
6.5.3	高于 8 位 D/A 转换器与 单片机的接口	215	7.4.1	硬件调试	237
6.5.4	串行 D/A 转换器与 单片机的接口	217	7.4.2	软件调试	239
6.6	行程开关、晶闸管、继电器与 单片机的接口	220	7.4.3	系统联调	240
6.6.1	光电耦合器件	220	7.4.4	现场调试	240
6.6.2	行程开关、继电器触点与 单片机的接口	221	7.5	51 单片机应用系统设计与调试实例	241
6.6.3	晶闸管元件与单片机接口	221	习题七	244	
6.6.4	继电器与单片机接口	222	第 8 章 单片机 C 语言应用程序设计	245	
习题六	223	8.1	C 语言与 51 单片机	245	
第 7 章 单片机应用系统 设计与开发	225	8.1.1	51 单片机 C 语言编程简介	245	
7.1	单片机应用系统结构与 应用系统的设计内容	225	8.1.2	Keil C51 开发工具	246
7.1.1	单片机应用系统的 一般硬件组成	225	8.1.3	Keil C51 对标准 C 语言的扩展	247
			8.2	C51 数据类型及其在 51 单片机中的 存储方式	247
			8.2.1	Keil C51 中的基本数据类型	247
			8.2.2	C51 数据在 51 单片机中的 存储方式	248
			8.3	C51 数据的存储类型与 51 单片机 存储结构	250
			8.3.1	存储类型	250
			8.3.2	存储模式	252
			8.4	51 单片机特殊功能寄存器的 C51 定义	253

8.5	51 单片机并行接口的 C51 定义	254	8.11.1	测量频率	278
8.6	位变量的 C51 定义	254	8.11.2	测量周期	280
8.6.1	位变量的 C51 定义	255	8.12	51 单片机间通信的 C 语言编程	281
8.6.2	对位变量定义的限制	255	8.12.1	点对点的串行异步通信	281
8.7	C51 的指针	256	8.12.2	多机通信	285
8.7.1	通用指针与指定存储器的指针	256	8.13	键盘和数码显示人机交互的 C 语言编程	293
8.7.2	指针转换	257	8.13.1	行列式键盘与 51 单片机接口的 C51 编程	293
8.8	与使用 51 单片机内部资源有关的 头文件	258	8.13.2	七段数码管显示与 51 单片机 接口的 C51 编程	294
8.9	51 单片机内部资源应用的 C 语言编程	260	8.13.3	字符型液晶显示模块(LCM)与 51 单片机的接口	296
8.9.1	中断应用的 C 语言编程	260	习题八		300
8.9.2	定时器/计数器应用的 C 语言编程	262	附录 A	ASCII 码表	302
8.9.3	串行口使用的 C 语言编程	264	附录 B	51 单片机指令表	303
8.10	51 单片芯片外扩展的 C 语言编程	267	附录 C	利用 μVision4 开发应用 程序指导	310
8.10.1	8255 与单片机接口 C 语言程序	267	C.1	μ Vision4 简介	310
8.10.2	51 单片机数据采集的 C 语言编程	268	C.2	在 μ Vision4 中创建应用	310
8.10.3	51 单片机输出控制的 C 语言编程	272	C.3	项目参数配置	313
8.11	频率、周期测量的 C 语言编程	278	C.4	单片机外部设备仿真	314



第 1 章 概 述

随着计算机技术的发展,单片机技术已成为计算机技术的一个独特的分支;单片机的应用领域也越来越广泛,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。本章主要对单片机的基本概念、发展、概况、特点与应用情况以及单片机系列产品进行简要介绍,以使读者对单片机有一个初步了解。

1.1 单片机的基本概念

单片机的全称为单片微型计算机(Single Chip Microcomputer)。从应用领域来看,单片机主要用于控制,所以称它为微控制器(Microcontroller Unit)或嵌入式控制器(Embedded Controller)。单片机是将计算机的基本部件微型化并集成在一块芯片上的微型计算机。

1.1.1 单片机的发展历程

电子数字计算机诞生于 1946 年,在其后的一个历史进程中,计算机始终是被供养在特殊的机房中、实现数值计算的大型昂贵设备。直到 20 世纪 70 年代微处理器的出现,才使得计算机以小型、廉价、高可靠性的特点,迅速走出机房,并被逐渐嵌入到一个对象体系中,实现对象体系的智能化控制。这样一来,计算机便失去了原来的形态,其功能也有所不同。为了区别于原有计算机系统,把嵌入到对象体系中实现对象体系智能化控制的计算机称做嵌入式计算机系统。

早期,人们通过改装通用计算机系统,在大型设备中实现嵌入式应用。然而,在众多的对象系统(如家用电器、仪器仪表、控制单元等)中,无法嵌入通用计算机系统,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,必须独立地发展通用计算机系统与嵌入式计算机系统,这就形成了现代计算机技术的两大分支。

通用计算机系统与嵌入式计算机系统的专业分工发展,导致 20 世纪末计算机技术的飞速发展。计算机专业领域集中精力发展通用计算机系统的软、硬件技术,不必兼顾嵌入式应用的要求,通用微处理器迅速从 286、386、486、586 到双核甚至四核的 64 位,操作系统则迅速升级到具有高速海量的数据文件处理能力,使通用计算机进入了一个新的阶段。

嵌入式计算机系统则走上了一条完全不同的道路,这条独立发展的道路就是单片化道路,将计算机做在一块芯片上,从而开创了嵌入式系统独立发展的单片机时代。

单片机是最典型的嵌入式系统,起源于微型计算机时代。单片机的出现实现了最底层的嵌入式系统应用,带有明显的电子系统设计模式的特点,大多数从事单片机应用开发的人员都是对象系统领域中的电子工程师。可以说单片机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，不过，单片机仍不具有“嵌入式系统”概念。因此，“单片机”与“嵌入式系统”被看做两个独立的名词。由于单片机是典型的、独立发展起来的嵌入式系统，因此，从学科的角度应该把它统一成“嵌入式系统”。单片机的生产与应用将计算机技术扩展到传统的电子系统领域，使计算机成为人类社会全面智能化时代的有力工具。

1.1.2 单片机技术的多学科交叉特点

嵌入式系统的嵌入式应用特点，决定了它多学科交叉的特点。作为计算机的内容，要求计算机专业领域人员介入其体系结构、软件技术、工程应用方面的研究。然而，要了解对象体系的控制要求，实现系统控制模式，则必须具备对象领域的专业知识。因此，由嵌入式系统发展的历史过程以及嵌入式应用的多样性，形成了两种应用模式，这两种应用模式是电子系统设计模式和计算机应用设计模式。

电子系统设计模式是指单片机以器件形态进入到传统电子技术领域中，以电子技术应用工程师为主体，实现电子系统的智能化。电子技术应用工程师以自己习惯的电子技术应用模式，从事单片机的应用开发。这种应用模式最主要的特点是：软/硬件的底层性、随意性，对象系统专业技术的密切相关性，缺少计算机工程设计方法。

计算机应用设计模式是指基于嵌入式系统软、硬件平台，以网络、通信为主的非嵌入式底层应用，从计算机专业角度介入嵌入式系统应用，带有明显的计算机工程应用特点。

两种应用模式代表了两个专业领域的特色，但又相互交织、相互渗透，形成互补。虽然计算机专业人士会愈来愈多地介入嵌入式系统的应用，但由于对象专业知识的隔阂，其应用领域会集中在网络、通信、多媒体、电子商务等方面，不可能替代原来电子工程师在控制、仪器仪表、机械电子等方面的嵌入式应用。因此，两种应用模式会长期并存，在不同的应用领域中相互补充。电子系统设计模式应从计算机应用设计模式中学习计算机工程方法和嵌入式系统软件技术；计算机应用设计模式应从电子系统设计模式中了解嵌入式系统应用的电路系统特性、基本外围电路设计方法和对象系统的基本要求等。

由于嵌入式系统的两种应用模式并存和互补，形成了单片机技术的多学科交叉特点。正因如此，单片机原理及应用成为电子电气类、机电类、计算机类专业都开设的重要应用技术课程。

1.1.3 单片机的功能结构特征

单片机源于微型计算机，属于计算机的一个应用分支。但单片机问世以来，所走的路与微处理器是不同的。微处理器向着高速运算，数据分析与数据处理，大规模、大容量存储器方向发展，以提高通用计算机的性能；其接口界面也是为了满足外设和网络接口而设计的。单片机则是从工业测控对象、环境、接口特点出发，向着增强控制功能、提高工业环境下的可靠性、灵活方便地构成计算机应用系统的界面接口的方向发展。因此，单片机既有与通用微型计算机相同的功能结构特征，又有自己的功能结构特点。

1. 单片机与微型计算机的基本功能组成部分

由于单片机是从通用微型计算机分化出来的一个应用分支，因此，它的基本功能组成



部分和工作原理与通用微型计算机具有一致性。

微型计算机(简称微机)的基本组成结构如图 1.1 所示。

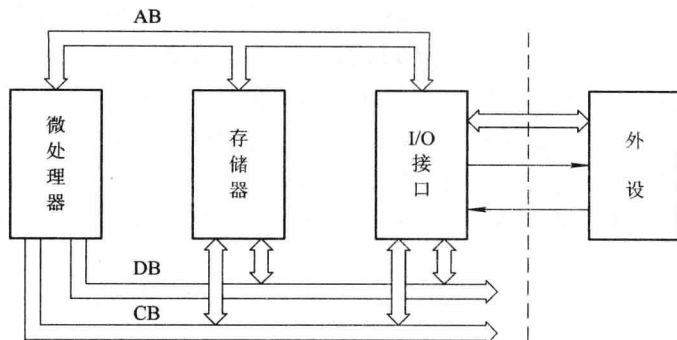


图 1.1 微机基本组成结构框图

微型计算机由微处理器(CPU)、存储器、I/O 接口三大功能部分通过总线连接成一个有机的整体, 在外部通过 I/O 接口配置各种外部设备就构成微机的硬件系统。总线按其传输信息的不同分为地址总线(Address Bus, AB)、数据总线(Data Bus, DB)和控制总线(Control Bus, CB)。

单片机也具有微机的三大功能组成部分, 且具有类似的结构体系。

2. 单片机与通用微机不同的功能结构特征

由于嵌入式系统与对象系统密切相关, 因此其主要技术发展方向是满足嵌入式应用的要求。所以, 单片机除具有通用微机的基本功能组成部分外, 还包括实时控制所要求的一些相关功能器件。单片机的组成结构可用图 1.2 来描述。

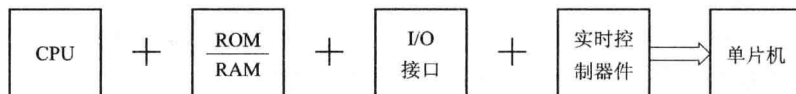


图 1.2 单片机组成框图

从功能组成上看, 单片机是这样一种芯片, 它把微机的三大组成部分(CPU + 存储器 + I/O 接口)和一些实时控制需要的功能器件集成在一块芯片上。实时控制器件包含的内容十分广泛, 可以包括定时器/计数器、中断控制、模/数转换器(ADC)、数/模转换器(DAC)、脉冲调制器(PWM)、电压比较器、看门狗(Watchdog)、DMA、串行口、传感器等, 以及 I²C、SPI、1—Wire 等外部串行总线接口。实时控制器件配置的多少也是衡量单片机性能优劣的重要方面, 不同规格、不同系列或型号的单片机实时控制器件的配置可能不同。随着技术的发展, 单片机集成的功能越来越强大, 并朝着 SOC(System On Chip, 片上系统)方向发展。

从结构上看, 单片机不但与通用微型计算机一样, 是一个有效的数据处理机, 而且是一个功能很强的过程控制机。从某种意义上讲, 一块单片机就具有一台微型计算机的功能, 只需加上所需的输入/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。

单片机结构中包含了通用微机的功能部分, 且也具有较强的数据处理功能, 那么, 二者的发展能否相互取代呢? 其实, 单片机与通用微机的相同功能部分在具体构造中存在许



多不同点。正因如此，单片机与通用微机是两个不同的发展分支。下面对二者构造中的主要不同进行简要说明。

(1) 通用微机的 CPU 主要面向数据处理，其发展主要围绕数据处理功能、计算速度和精度的进一步提高。例如，现今微机的 CPU 都支持浮点运算，采用流水线作业、并行处理、多级高速缓冲(Cache)技术等，CPU 的主频达到数吉赫兹(GHz)，字长达到 32 位以上。单片机主要面向控制，控制中的数据类型及数据处理相对简单，满足控制要求的数据处理容易实现，所以单片机的数据处理功能相对通用微机要弱一些，计算速度和精度也相对要低一些。例如，现在的单片机产品的 CPU 大多不支持浮点运算，CPU 还采用串行工作方式，振荡频率大多在百兆以下，在一些简单应用系统中采用 4 位字长的单片机，在中、小规模应用场合，8 位字长单片机还被广泛采用，在一些复杂的中、大规模的应用系统中，才采用 16 位字长、32 位字长单片机。

(2) 通用微机中，存储器组织结构主要针对增大存储容量和 CPU 对数据的存取速度。现今微机的内存容量达到了数吉字节(GB)，存储体系采用多体、并读技术和段、页等多种管理模式。单片机中存储器的组织结构比较简单，存储器芯片直接挂在单片机的总线上，CPU 读/写存储器时直接按物理地址来寻址存储器单元，寻址空间一般都是 64 KB。还有，通用微机中程序存储器(ROM)和数据存储器(RAM)是一个地址空间，而单片机中，把程序存储器和数据存储器设计为两个独立的地址空间，这是考虑了控制的实际需要。

(3) 通用微机中 I/O 接口主要考虑标准外设(CRT、标准键盘、鼠标、打印机、硬盘、光盘等)，用户通过标准总线连接外设，能实现即插即用。单片机应用系统的外设都是非标准的，千差万别，种类很多，单片机的 I/O 接口实际上是向用户提供了外设连接的物理界面，用户对外设的连接要设计具体的接口电路，需有熟练的接口电路设计技术。

下面介绍结构上有相同之处但也有区别的几个名词。

- 微处理器(MPU)：把运算器、控制器和一定数量的寄存器集成在一块芯片上，是构成微型计算机的核心部件，所以也称为中央处理单元(CPU)。
- 单板机：将微处理器(CPU)、存储器、I/O 接口电路以及简单的输入/输出设备组装在一块印刷电路板上，称为单板微型计算机，简称单板机。一些开发板产品及实验室提供的试验箱都是单板机形态的。
- 微型计算机：微处理器(CPU)、存储器、I/O 接口电路由总线有机地连接在一起的整体，称为微型计算机。
- 微型计算机系统：将微型计算机与外围设备、电源、系统软件一起构成的系统，称为微型计算机系统。

1.2 单片机的发展

目前计算机硬件技术朝着巨型化、微型化和单片化三个方向发展。单片机代表着计算机技术的一个发展方向。自 1975 年美国德克萨斯仪器公司(Texas Instruments)第一块单片机芯片 TMS-1000 问世以来，在短短的 30 多年间，单片机技术已发展成为计算机技术的一个非常有活力的分支，它有着自己的技术特征、规范、发展道路和应用环境。随着电子技术的发展，单片机在集成度、功能、性能、体系结构等方面都得到了飞速发展。



1.2.1 单片机的发展概况

随着超大规模集成电路的发展,单片机先后经历了 4 位机、8 位机、16 位机、32 位机和 64 位机的发展阶段。

1. 4 位单片机

1971 年,美国 Intel 公司首先推出了 4 位微处理器芯片 4004;1975 年美国德克萨斯仪器公司首次推出 4 位单片机 TMS-1000;此后,各个计算机生产公司竞相推出 4 位单片机。例如,美国国家半导体(National Semiconductor)公司的 COP402 系列,日本电气(NEC)公司的 μ PD75XX 系列,美国洛克威尔(Rockwell)公司的 PPS/1 系列,日本松下公司的 MN1400 系列,富士通公司的 MB88 系列等。

近几年来,4 位单片机在结构和性能上做了很大的改进,在市场中仍占有一席之地。

4 位单片机的主要应用领域有:PC 机的输入装置(鼠标、游戏杆),电池充电器,运动器材,带液晶显示的音/视频产品控制器,一般家用电器的控制及遥控器,电子玩具,钟表,计算器,多功能电话等。

2. 8 位单片机

1972 年,美国 Intel 公司首先推出了 8 位微处理器 8008,并于 1976 年 9 月率先推出 MCS-48 系列 8 位单片机,使单片机发展进入了一个新的阶段。在这之后,8 位单片机纷纷面市。例如,莫斯特克(Mostek)和仙童(Fairchild)公司共同合作生产的 3870(F8)系列,摩托罗拉(Motorola)公司的 6801 系列等。

在 1978 年以前,各厂家生产的 8 位单片机受集成度(几千只管/片)的限制,一般没有串行接口,并且寻址空间的范围小(小于 8 KB),从性能上看属于低档 8 位单片机。

随着集成电路工艺水平的提高,在 1978 年到 1983 年期间,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 年摩托罗拉公司推出的 MC6801 系列及齐洛格(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。这类单片机的寻址能力达 64 KB,片内 ROM 容量达 4~8 KB,片内除带有并行 I/O 口外,还有串行 I/O 口,甚至某些还有 A/D 转换器功能。因此,把这类单片机称为 8 位高档单片机。

随后,在高档 8 位单片机的基础上推出了超 8 位单片机,如 Intel 公司的 8X252、UPI-45283C152, Zilog 公司的 Super8, Motorola 公司的 MC68HC 等,它们不但进一步扩大了片内 ROM 和 RAM 的容量,同时还增加了通信功能、DMA 传输功能以及高速 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,它们代表了单片机的发展方向,在单片机应用领域起着越来越大的作用。

8 位单片机由于功能强,被广泛用于自动化装置、智能仪器仪表、智能接口、过程控制、通信、家用电器等各个领域。

3. 16 位单片机

1983 年以后,集成电路的集成度可达十几万只管/片,各系列 16 位单片机逐渐问世。这一阶段的代表产品有 1983 年 Intel 公司推出的 MCS-96 系列,1987 年 Intel 公司推出的 80C96,美国国家半导体公司推出的 HPC16040, NEC 公司推出的 783XX 系列等。