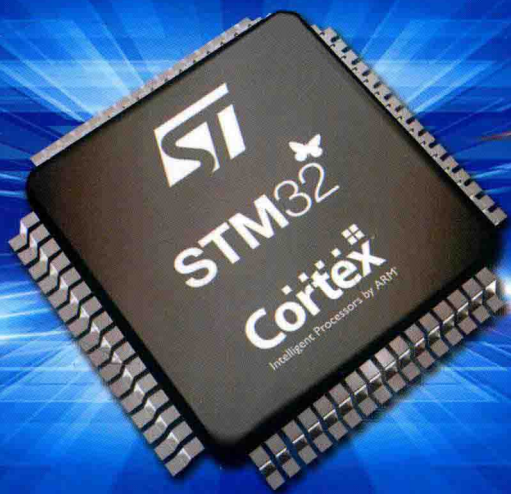


高等院校电子信息科学与工程规划教材

# 单片机原理 与应用技术

肖金球 黄伟军 雷岩 ● 编著



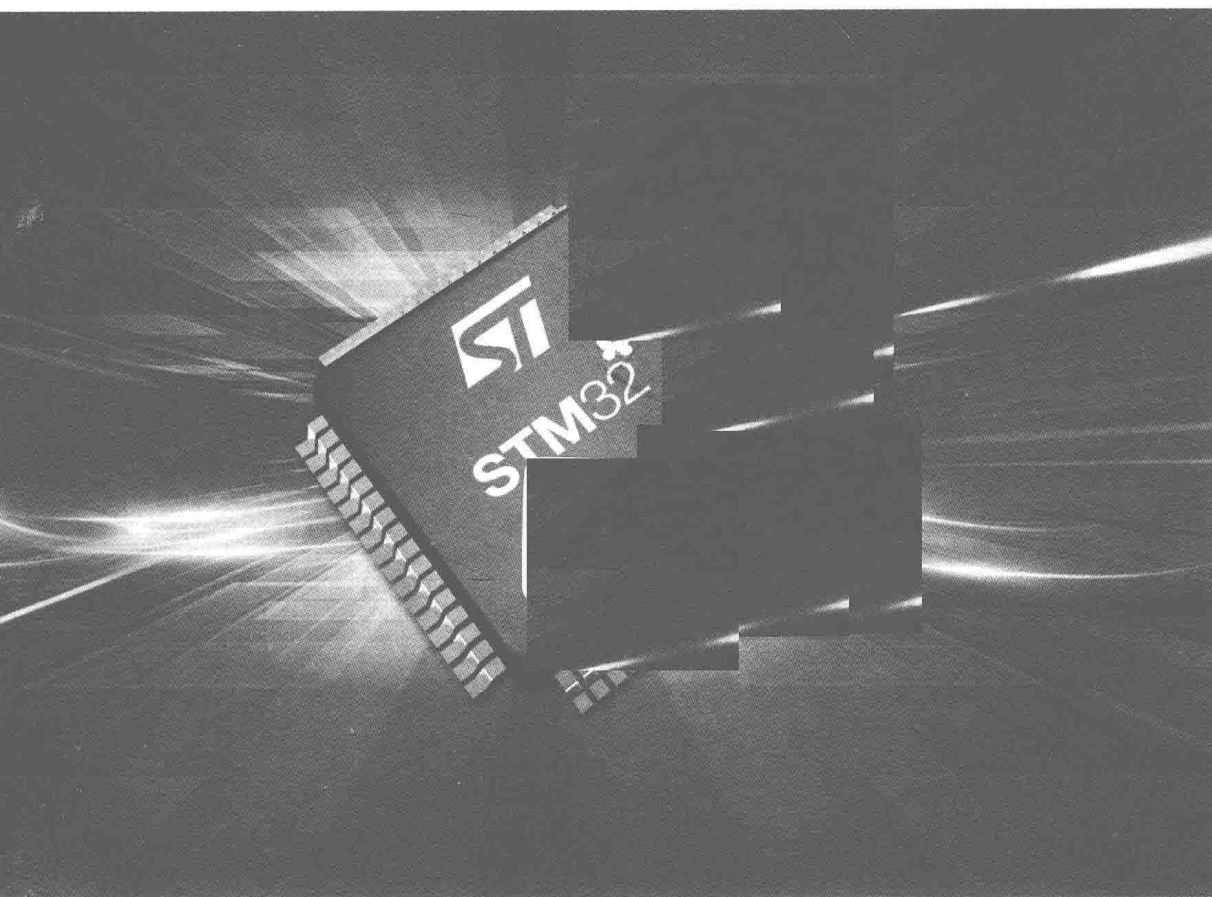
清华大学出版社



信息科学与工程规划教材

# 单片机原理 与应用技术

肖金球 黄伟军 雷岩 编著



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是以 MCS-51 单片机内核为基础, 以 Proteus ISIS 为仿真平台, 并以 Keil C51 作为编译工具来介绍单片机原理和应用技术的。开篇以计算机的原理结构和发展史为先导, 把计算机领域中两大重要分支——嵌入式系统(单片机)和通用计算机系统(微型计算机)有机结合在一起。51 单片机几乎包含了高级单片机的所有结构, 是学习高级单片机的基础。汇编语言是最接近机器码的语言, 有助于读者对单片机运行过程和状态的理解。本书主要内容包括微型计算机系统的基本组成原理及基本结构、MCS-51 单片机的硬件结构和时序、指令系统、汇编语言及 Keil C51 程序设计、内部功能及应用、系统的扩展、I/O 接口技术、Proteus ISIS 仿真平台的应用、单片机最新接口技术实例以及单片机应用系统设计实例(四旋翼飞行器飞控系统的设计)等。

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

单片机原理与应用技术 / 肖金球, 黄伟军, 雷岩编著. —北京: 清华大学出版社, 2019

(高等院校电子信息科学与工程规划教材)

ISBN 978-7-302-51880-8

I. ①单… II. ①肖… ②黄… ③雷… 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(2018)第 293999 号

责任编辑: 邓 艳

封面设计: 刘 超

版式设计: 王凤杰

责任校对: 马军令

责任印制: 董 瑾

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈: 010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者: 三河市金元印装有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm × 260mm 印 张: 24 字 数: 610 千字

版 次: 2019 年 3 月第 1 版 印 次: 2019 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 69.80 元

产品编号: 080775-01

# 前 言

单片机（Micro Controller Unit，微控制器）是采用超大规模集成电路技术制成的一种集成电路芯片。

微控制器具有出色的控制能力，配合程序，可以像人脑一样控制电路的运行。如果说数字电路和模拟电路是打开你电子世界的第一扇大门，那么单片机技术，则是让你电子的应用能力更进一步的阶梯。是否具备单片机应用技术将直接影响一个电子爱好者就业机会的多少。

电子技术的迅猛发展、超大规模集成电路设计技术及制造工艺的不断提高，单片机技术也得到迅速发展，人们生活对单片机类电子设备的依赖也日渐增加。目前，单片机技术已经渗透到国防、工业、农业等领域。在智能仪器仪表、工业检测控制、电力电子、汽车电子、机电一体化等方面得到了广泛应用。单片机技术快速发展，促使各种扩展型、增强型的单片机不断推出，美国 ATMEML 公司、Cypress、STC、飞利浦、西门子、美国 DALLAS 等公司推出与 MCS-51 兼容的增强型单片机，但万变不离其宗，都还是以 MCS-51 单片机为基础进行内核升级和外围设备升级的。本书以 MCS-51 单片机为基础进行讲解，MCS-51 系列的单片机品种多、规格齐、适应性强、应用技术资料多，便于初学者学习和使用。

随着教学课程的改革，许多学校开始撤销“微型计算机原理”课程，直接开设“单片机原理及应用”课程。由于没有“微型计算机原理”课程的先导，缺乏微型计算机系统及结构的知识铺垫，大部分初学者会觉得单片机技术入门困难、汇编语言难以理解。根据以上问题，本书编写时做了如下工作。

1. 相对于传统的单片机书籍而言，本书增加了微型计算机系统及结构的内容，把计算机领域中两大重要分支——嵌入式系统（单片机）和通用计算机系统（微型计算机）有机结合在一起，先介绍微机的基本概念及基础理论，再具体介绍单片机原理及应用，层层递进，有利于初学者迅速掌握单片机技术。

2. 在编程语言方面，传统的“单片机原理与应用”课程普遍采用汇编语言教学，增大了学者对编程语言的学习难度且不利于工程项目的实际应用。汇编语言具有效率高，对硬件可操控性强的特点，但也有不易维护、可移植性很差的不足；C 语言具有易维护、可移植性好的优点，但无法直接对硬件控制，需要调用封装库，不利于初学者对单片机工作流程的理解。本书增加了“嵌入式单片机高级 C51 程序设计”的内容，在多数应用程序的编程中，采用汇编语言和 C51 的“双”语言编程教学。汇编语言程序设计的学习更有利于加强初学者对单片机的理解，而 C 语言的学习为大型项目开发做准备。“双”语言编程教学主要是优势互补，让学者对单片机尽快理解的同时，也对将来应用开发打下坚实的基础。

3. 仿真及编译软件方面，本书选用 Proteus ISIS 仿真软件和 Keil  $\mu$ Vision 编译软件。EDA 技术（Electronics Design Automation）的发展使得如今不需要产品板也可以在计算机中建立系统模型进行软件调试，并且还可以通过 Proteus ISIS 建立和目标产品板相差不大的产品级功能仿真模型，大大减少了硬件的投入和软件调试的等待时间。Keil  $\mu$ Vision 开发软件集

编辑、编译和仿真于一体，支持汇编语言、PLM 语言和 C 语言的程序设计，界面友好，可快速上手，很适合单片机爱好者使用。

本书共分为 12 章，第 1 章为计算机概述；第 2 章介绍计算机基础知识；第 3 章介绍微型计算机的基本结构和工作原理。前三章讲述初学者相对较熟悉的计算机系统，并补充基础知识，让初学者循序渐进地对计算机结构和原理有所了解。第 4 章讲述了单片机概论及增强型 51 单片机系列介绍，在前面章节的基础上过渡到单片机原理的学习；第 5 章介绍 MCS-51 单片机的结构和时序；第 6 章介绍 MCS-51 单片机指令系统；第 7 章介绍汇编语言程序设计；第 8 章介绍嵌入式单片机高级 C51 程序设计，读者有了汇编语言基础，对高级语言编程学习和理解就简单多了；第 9 章介绍基于 Proteus ISIS 现代嵌入式系统仿真技术；第 10 章介绍基本 51 内核内部功能及外部系统扩展和高级应用；第 11 章介绍基于 MCS-51 的 A/D、D/A 应用；第 12 章以四旋翼飞行器飞控系统的设计项目为实例，讲述单片机应用系统的开发流程。

编写本书时，笔者深入浅出地讲解 51 单片机原理与应用技术。首先力求以本书为教材的学生能够对 MCS-51 单片机的主要技术有一个深入的理解，掌握知识的同时能灵活应用；其次，能让使用本书自学的学者快速的理解、掌握和应用单片机关键性技术；最后，希望正在从事单片机系统设计，具有一定实践经验的工程技术人员在阅读本书后也能得到一些帮助。

本书参考了各个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，具有较强的系统性、先进性和实用性。内容由浅入深，并配有相应的习题，便于读者学习和实践。

本书可作为高等院校电子信息、自动控制、电气工程、物联网、计算机应用以及机电一体化等工科专业的单片机课程教材，也可作相关工程技术人员的参考书。

本书由肖金球、黄伟军、雷岩编著，参加本书编写的还有冯翼、刘传洋等。南京东南大学信息科学与工程学院的李文渊教授和南京河海大学计算机与信息学院的曹宁教授审阅了全书，并提出了许多宝贵的意见和建议。另外，本教材在编写过程中得到了清华大学出版社的大力支持，邓艳编辑为本书提出了许多宝贵的建议。在本书出版之际，笔者对在本书编写过程中给予帮助的所有老师和同学表示真诚的感谢。

由于时间仓促，笔者水平有限，书中难免会存在疏漏和不足之处，殷切希望广大读者予以批评和指正。

编者

# 目 录

第 1 章 计算机概述..... 1	3.3 存储器..... 34
1.1 绪论..... 1	3.3.1 存储器的分类..... 34
1.1.1 计算机发展简史..... 1	3.3.2 存储器结构及寻址..... 35
1.1.2 计算机工作原理..... 2	3.4 I/O接口电路..... 37
1.1.3 计算机应用领域..... 4	3.4.1 接口电路功能..... 37
1.1.4 计算机发展趋势..... 5	3.4.2 I/O接口电路分类..... 38
1.2 微型计算机系统..... 6	3.4.3 接口电路控制方式..... 38
1.2.1 微型计算机系统的定义与特点..... 7	3.5 总线及其工作原理..... 39
1.2.2 微型计算机系统的组成..... 9	3.5.1 总线工作原理..... 39
1.2.3 微型计算机系统的应用与发展..... 10	3.5.2 总线特性..... 40
1.3 嵌入式计算机系统..... 10	3.5.3 总线分类..... 40
1.3.1 嵌入式系统的定义与特点..... 10	3.6 指令与程序概述..... 41
1.3.2 嵌入式系统的结构..... 11	3.6.1 指令系统简介..... 41
1.3.3 嵌入式系统的应用与发展..... 12	3.6.2 程序设计语言..... 42
第 2 章 计算机基础知识..... 16	3.6.3 微型计算机工作过程..... 44
2.1 计算机中的数制与编码..... 16	第 4 章 单片机概论..... 46
2.1.1 数制及转换方法..... 16	4.1 单片机的特点及发展概况..... 46
2.1.2 计算机中数的表示及运算..... 19	4.1.1 单片机——微控制器嵌入式 应用的概念..... 46
2.1.3 计算机中的常用编码..... 21	4.1.2 单片机的特点和应用..... 47
2.2 计算机的基本组成电路..... 24	4.1.3 单片机的历史与发展..... 50
2.2.1 逻辑门电路..... 24	4.2 常用单片机系列介绍..... 51
2.2.2 触发器电路..... 25	4.2.1 MCS-51系列单片机..... 52
2.2.3 三态输出电路..... 27	4.2.2 80C51系列单片机..... 53
2.2.4 寄存器电路..... 27	4.2.3 STC系列单片机..... 55
2.2.5 存储器电路..... 28	4.2.4 CY7C680XX系列单片机..... 57
2.2.6 时序及时钟电路..... 29	4.2.5 C8051系列单片机..... 62
第 3 章 微型计算机的基本结构和 工作原理..... 32	第 5 章 MCS-51 单片机结构和时序..... 67
3.1 微型计算机的基本结构..... 32	5.1 MCS-51单片机结构..... 67
3.2 微处理器..... 33	5.1.1 MCS-51单片机的结构..... 67
3.2.1 控制器..... 34	5.1.2 MCS-51的封装与引脚..... 69
3.2.2 运算器..... 34	5.1.3 CPU的结构..... 71

5.1.4	存储器结构	75	第7章	汇编语言程序设计	131
5.1.5	输入/输出端口结构	82	7.1	汇编语言语句的格式	131
5.1.6	定时器/计数器	87	7.2	伪指令	132
5.1.7	中断系统	87	7.2.1	汇编起始指令 (ORG)	132
5.2	时序	87	7.2.2	汇编结束命令 (END)	132
5.2.1	振荡器和时钟电路	88	7.2.3	赋值命令 (EQU)	132
5.2.2	CPU取指令, 执行指令 周期时序	90	7.2.4	数据地址赋值命令 (DATA)	133
5.3	单片机的工作方式	92	7.2.5	定义字节指令 (DB)	133
5.3.1	复位操作	92	7.2.6	定义字命令 (DW)	133
5.3.2	程序执行方式	94	7.2.7	定义空间命令 (DS)	134
5.3.3	低功耗工作方式	94	7.2.8	位地址符号命令 (BIT)	134
第6章	MCS-51 单片机指令系统	97	7.3	汇编语言源程序的编程和汇编	134
6.1	指令系统简介	97	7.3.1	源程序编辑	135
6.1.1	指令概述	97	7.3.2	源程序汇编	135
6.1.2	指令格式	97	7.4	汇编语言程序设计方法	136
6.1.3	指令的分类	97	7.4.1	简单程序	136
6.1.4	指令中的符号	98	7.4.2	分支程序	137
6.2	MCS-51的寻址方式	99	7.4.3	循环程序	139
6.2.1	立即寻址 (Immediate Addressing)	99	7.4.4	查表程序	142
6.2.2	直接寻址 (Direct Addressing)	100	7.4.5	子程序	143
6.2.3	寄存器寻址 (Register Addressing)	100	7.5	综合编程举例	145
6.2.4	寄存器间接寻址 (Register Indirect Addressing)	101	7.5.1	算术运算类程序	145
6.2.5	基址寄存器加变址寄存器的 间接寻址 (Base Register Plus Index Register Indirect Addressing)	102	7.5.2	代码转换类程序	150
6.2.6	相对寻址	102	7.5.3	查表程序	153
6.2.7	位寻址	103	7.5.4	软件看门狗	154
6.3	MCS-51指令系统	104	7.5.5	数字滤波程序	156
6.3.1	数据传送类指令	104	第8章	嵌入式单片机高级C51 程序设计	160
6.3.2	算术运算类指令	110	8.1	嵌入式高级C语言编程概述	160
6.3.3	逻辑运算类指令	116	8.2	嵌入式C语言编译环境介绍	160
6.3.4	控制转移类指令	120	8.2.1	Keil C集成开发环境介绍	161
6.3.5	布尔变量操作类指令	127	8.2.2	Keil C工程的建立与设置	163
			8.3	Keil C51与标准C	168
			8.3.1	Keil C51扩展关键字	168
			8.3.2	内存区域 (Memory Areas)	169
			8.3.3	特殊功能寄存器SFR	170
			8.3.4	存储类型标示符的声明	170
			8.3.5	存储模式	171

8.3.6	数据类型	171		
8.3.7	位变量与声明	174		
8.3.8	Keil C51指针	174		
8.3.9	Keil C51函数	175		
8.4	C51语言的程序流程控制	178		
8.4.1	条件语句 (if)	178		
8.4.2	循环语句	179		
8.4.3	break语句、continue语句和 goto语句	180		
8.4.4	选择语句 (switch)	181		
<b>第9章</b>	<b>基于 Proteus ISIS 的现代 嵌入式系统仿真技术</b>	<b>183</b>		
9.1	Proteus ISIS仿真系统介绍	183		
9.1.1	Proteus ISIS简介	183		
9.1.2	Proteus ISIS操作界面介绍	183		
9.2	原理图绘制的方法和步骤	188		
9.2.1	基本操作	188		
9.2.2	创建新的设计文件	189		
9.2.3	设置图纸类型	190		
9.2.4	图形编辑基本操作	190		
9.2.5	将所需元器件加入对象 选择器	193		
9.2.6	放置元器件	195		
9.2.7	绘制总线	196		
9.2.8	元件间导线连接 (Wiring Up Components on the Schematic)	197		
9.2.9	导线标注 (Part Labels)	197		
9.3	Proteus VSM的电路分析	198		
9.3.1	激励源	198		
9.3.2	虚拟仪器	202		
9.3.3	探针	204		
9.3.4	图表分析	204		
9.4	Proteus ISIS联合Keil C仿真 8051及虚拟串口	207		
9.4.1	Proteus ISIS与Keil C软件设置	207		
9.4.2	虚拟串口Virtual Serial Port Driver 6.0	209		
9.4.3	串口调试工具SSCOM及 Secure CRT介绍	210		
9.4.4	基于Proteus ISIS的MCS-51 最小仿真电路及相关设置	211		
<b>第10章</b>	<b>基本 51 内核单片机内部功能 以及外部系统扩展和应用</b>	<b>213</b>		
10.1	定时/计数器介绍及基于 Proteus ISIS的仿真	213		
10.1.1	概述	213		
10.1.2	定时/计数器的控制字	214		
10.1.3	定时/计数器的4种工作模式	215		
10.1.4	定时/计数器的编程及应用	218		
10.2	中断系统	224		
10.2.1	中断系统的组成及中断源	224		
10.2.2	中断控制	225		
10.2.3	中断处理	228		
10.2.4	中断使用方法	231		
10.3	串行通信介绍及基于Proteus ISIS的仿真	233		
10.3.1	串行口的结构与控制	233		
10.3.2	串行口工作方式和波特率	236		
10.3.3	基于Proteus ISIS的基本 串行口应用仿真实例	239		
10.3.4	串行口的扩展应用及基于 Proteus ISIS的仿真实例	241		
10.4	单片机的外部并行扩展	255		
10.4.1	外部并行扩展性能	256		
10.4.2	程序存储器的扩展	258		
10.4.3	数据存储器的扩展	261		
10.5	可编程并行接口芯片8255	263		
10.5.1	8255的内部结构	264		
10.5.2	8255的引脚功能	265		
10.5.3	8255的控制字、状态字	267		
10.5.4	8255的工作方式及与 MCS-51单片机的连接	268		
10.6	串行外部总线扩展技术及 基于Proteus ISIS的仿真	272		
10.6.1	常用串行外部总线扩展 技术概述	272		
10.6.2	AT93C46/56/66 E <sup>2</sup> PROM 特性	276		

5.1.4	存储器结构	75	第7章	汇编语言程序设计	131
5.1.5	输入/输出端口结构	82	7.1	汇编语言语句的格式	131
5.1.6	定时器/计数器	87	7.2	伪指令	132
5.1.7	中断系统	87	7.2.1	汇编起始指令 (ORG)	132
5.2	时序	87	7.2.2	汇编结束命令 (END)	132
5.2.1	振荡器和时钟电路	88	7.2.3	赋值命令 (EQU)	132
5.2.2	CPU取指令, 执行指令 周期时序	90	7.2.4	数据地址赋值命令 (DATA)	133
5.3	单片机的工作方式	92	7.2.5	定义字节指令 (DB)	133
5.3.1	复位操作	92	7.2.6	定义字命令 (DW)	133
5.3.2	程序执行方式	94	7.2.7	定义空间命令 (DS)	134
5.3.3	低功耗工作方式	94	7.2.8	位地址符号命令 (BIT)	134
第6章	MCS-51 单片机指令系统	97	7.3	汇编语言源程序的编程和汇编	134
6.1	指令系统简介	97	7.3.1	源程序编辑	135
6.1.1	指令概述	97	7.3.2	源程序汇编	135
6.1.2	指令格式	97	7.4	汇编语言程序设计方法	136
6.1.3	指令的分类	97	7.4.1	简单程序	136
6.1.4	指令中的符号	98	7.4.2	分支程序	137
6.2	MCS-51的寻址方式	99	7.4.3	循环程序	139
6.2.1	立即寻址 (Immediate Addressing)	99	7.4.4	查表程序	142
6.2.2	直接寻址 (Direct Addressing)	100	7.4.5	子程序	143
6.2.3	寄存器寻址 (Register Addressing)	100	7.5	综合编程举例	145
6.2.4	寄存器间接寻址 (Register Indirect Addressing)	101	7.5.1	算术运算类程序	145
6.2.5	基址寄存器加变址寄存器的 间接寻址 (Base Register Plus Index Register Indirect Addressing)	102	7.5.2	代码转换类程序	150
6.2.6	相对寻址	102	7.5.3	查表程序	153
6.2.7	位寻址	103	7.5.4	软件看门狗	154
6.3	MCS-51指令系统	104	7.5.5	数字滤波程序	156
6.3.1	数据传送类指令	104	第8章	嵌入式单片机高级C51 程序设计	160
6.3.2	算术运算类指令	110	8.1	嵌入式高级C语言编程概述	160
6.3.3	逻辑运算类指令	116	8.2	嵌入式C语言编译环境介绍	160
6.3.4	控制转移类指令	120	8.2.1	Keil C集成开发环境介绍	161
6.3.5	布尔变量操作类指令	127	8.2.2	Keil C工程的建立与设置	163
			8.3	Keil C51与标准C	168
			8.3.1	Keil C51扩展关键字	168
			8.3.2	内存区域 (Memory Areas)	169
			8.3.3	特殊功能寄存器SFR	170
			8.3.4	存储类型标示符的声明	170
			8.3.5	存储模式	171

# 第1章 计算机概述

计算机发展到今天,已不再是一种应用工具,它已经成为一种文化和潮流,并给各行各业带来了巨大的冲击和变化。同时,计算机文化也在改变着人们的生活模式和思维模式,从来没有一种文化会像计算机文化一样得到如此一致的认同。

所谓计算机是电子数字计算机的简称,是一种自动地、高速地进行数值运算和信息处理的电子设备。电子计算机的出现和发展,是科学技术和生产力发展的卓越成就之一,反过来,它也极大地促进了科学技术和生产力的发展。本章介绍计算机的特点、分类、应用以及计算机的组成,并阐述硬件和软件之间的关系。

## 1.1 绪 论

### 1.1.1 计算机发展简史

计算工具的演化经历了由简单到复杂、从低级到高级的不同阶段,例如从“结绳记事”中的绳结到算筹、算盘、计算尺、机械计算机等。它们在不同的历史时期发挥了各自的历史作用,同时也启发了电子计算机的研制和设计思路。

1889年,美国科学家赫尔曼·何乐礼研制出以电力为基础的电动制表机,用以储存计算资料。

1930年,美国科学家范内瓦·布什造出世界上首台模拟电子计算机。

1946年2月14日,由美国军方定制的世界第一台电子计算机“电子数字积分计算机”(ENIAC Electronic Numerical And Calculator)在美国宾夕法尼亚大学问世了。ENIAC(中文名:埃尼阿克)是美国奥伯丁武器试验场为了满足计算弹道需要而研制成的,这台计算机使用了17840支电子管,大小为80英尺×8英尺(1英尺=30.48厘米),重达28t(吨),功耗为170kW,每秒能进行5000次的加法运算,造价约为487000美元。ENIAC的问世具有划时代的意义,表明电子计算机时代的到来。在以后60多年里,计算机技术展现了惊人的速度发展,没有任何一门技术的性能价格比能在30年内增长6个数量级。

自从第一台电子计算机问世以来,计算机科学与技术获得了日新月异的飞速发展。计算机的发展大致经历了四代:

#### (1) 第1代:电子管数字机(1946~1958年)

硬件方面,逻辑元件采用的是真空电子管;主存储器采用汞延迟线、阴极射线示波管静电存储器、磁鼓、磁芯;外存储器采用的是磁带;软件方面采用的是机器语言、汇编语言;应用领域以军事和科学计算为主。

特点是体积大、功耗高、可靠性差、速度慢(一般为每秒数千次至数万次)、价格昂贵,但为以后的计算机发展奠定了基础。

## (2) 第2代: 晶体管数字机 (1958 ~ 1964 年)

这一代计算机的主要逻辑元件为晶体管, 主存储器仍用磁芯, 外存储器已开始使用磁盘, 软件也有较大发展, 出现了各种高级语言。应用领域以科学计算和事务处理为主, 并开始进入工业控制领域。特点是体积缩小、能耗降低、可靠性提高、运算速度提高 (一般为每秒数十万次, 可高达 300 万次)、性能比第 1 代计算机有很大的提高。

## (3) 第3代: 集成电路数字机 (1964 ~ 1970 年)

硬件方面, 逻辑元件采用中、小规模集成电路 (MSI、SSI), 主存储器仍采用磁芯; 软件方面出现了分时操作系统以及结构化、规模化程序设计方法, 操作系统、会话式高级语言等软件发展迅速。特点是速度更快 (一般为每秒数百万次至数千万次), 而且可靠性有了显著提高, 价格进一步下降, 产品有了通用化、系列化和标准化的趋势, 应用领域开始进入文字处理和图形图像处理领域。机种多样化, 生产系列化, 结构积木化, 使用系统化, 是这一阶段计算机发展的主要特点。

## (4) 第4代: 大规模集成电路机 (1970 年至今)

硬件方面, 逻辑元件采用大规模和超大规模集成电路 (LSI 和 VLSI), 软件方面出现了数据库管理系统、网络管理系统和面向对象语言等。1971 年世界上第一台微处理器在美国硅谷诞生, 开创了微型计算机的新时代。计算机的应用领域从科学计算、事务管理、过程控制逐步走向家庭。

由于集成技术的发展, 半导体芯片的集成度更高, 每块芯片可容纳数万乃至数百万个晶体管, 并且可以把运算器和控制器都集中在一个芯片上, 从而出现了微处理器, 并且可以用微处理器和大规模、超大规模集成电路组装成微型计算机, 就是我们常说的微电脑或 PC 机。微型计算机体积小, 价格便宜, 使用方便, 但它的功能和运算速度已经达到甚至超过了过去的大型计算机。另一方面, 利用大规模、超大规模集成电路制造的各种逻辑芯片, 已经可以制成体积并不很大, 但运算速度可达一亿甚至几十亿次的巨型计算机。

随着物理元器件的变化, 不仅计算机主机经历了更新换代, 它的外部设备也在不断地变革。比如外存储器, 由最初的阴极射线显示管发展到磁芯、磁鼓, 之后又发展为通用的磁盘, 现在又出现了体积更小、容量更大、速度更快的只读光盘 (CD-ROM)。

## 1.1.2 计算机工作原理

计算机的基本原理是存储程序和程序控制。预先要把指挥计算机如何进行操作的指令序列 (称为程序) 和原始数据通过输入设备输入到计算机内存储器中。每一条指令中明确规定了计算机从哪个地址取数, 进行什么操作, 然后送到什么地址去等步骤。

### 1. 基本原理

计算机在运行时, 先从内存中取出第一条指令, 通过控制器的译码, 按指令的要求, 从存储器中取出数据进行指定的运算和逻辑操作等加工, 然后再按地址把结果送到内存中去。接下来, 再取出第二条指令, 在控制器的指挥下完成规定操作, 依此进行下去, 直至遇到停止指令。

程序与数据一样存储, 按程序编排的顺序, 一步一步地取出指令, 自动地完成指令规定的操作是计算机最基本的工作原理。这一原理最初是由美籍匈牙利数学家冯·诺依曼 (John

von Neumann) 于 1945 年提出来的, 故称为冯·诺依曼原理。

按照冯·诺依曼存储程序的原理, 计算机在执行程序时须先将要执行的相关程序和数据放入内存储器中, 在执行程序时 CPU 根据当前程序指针寄存器的内容取出指令并执行指令, 然后再取出下一条指令并执行, 如此循环下去直到程序结束指令时才停止执行。其工作过程就是不断地取指令和执行指令的过程, 最后将计算的结果放入指令指定的存储器地址中。计算机工作过程中所要涉及的计算机硬件部件有内存储器、指令寄存器、指令译码器、计算机、控制器、运算器和输入/输出设备等, 在后续的内容中将会着重介绍。

## 2. 系统架构

计算机系统由硬件系统和软件系统两大部分组成。美籍匈牙利科学家冯·诺依曼 (John von Neumann) 奠定了现代计算机的基本结构, 这一结构又称冯·诺依曼结构, 其特点如下。

- (1) 使用单一的处理部件来完成计算、存储以及通信的工作。
- (2) 存储单元是定长的线性组织。
- (3) 存储空间的单元是直接寻址的。
- (4) 使用低级机器语言, 指令通过操作码来完成简单的操作。
- (5) 对计算进行集中的顺序控制。
- (6) 计算机硬件系统由运算器、存储器、控制器、输入设备、输出设备五大部件组成并规定了它们的基本功能。
- (7) 采用二进制形式表示数据和指令。
- (8) 在执行程序和处理数据时必须将程序和数据从外存储器装入主存储器中, 然后才能使计算机在工作时能够自动调整地从存储器中取出指令并加以执行。

## 3. 硬件系统

硬件通常是指构成计算机的设备实体。一台计算机的硬件系统应由五个基本部分组成: 运算器、控制器、存储器、输入和输出设备。现代计算机还包括中央处理器和总线设备。这五大部分通过系统总线完成指令所传达的操作, 当计算机在接受指令后, 由控制器指挥, 将数据从输入设备传送到存储器存放, 再由控制器将需要参加运算的数据传送到运算器, 由运算器进行处理, 处理后的结果由输出设备输出。

## 4. 软件系统

所谓软件是指为方便使用计算机和提高使用效率而组织的程序以及用于开发、使用和维护的有关文档。软件系统可分为系统软件和应用软件两大类。

### (1) 系统软件

系统软件 (System Software), 由一组控制计算机系统并管理其资源的程序组成, 其主要功能包括: 启动计算机, 存储、加载和执行应用程序, 对文件进行排序、检索, 将程序语言翻译成机器语言等。实际上, 系统软件可以看作用户与计算机的接口, 它为应用软件和用户提供了控制、访问硬件的手段, 这些功能主要由操作系统完成。此外, 编译系统和各种工具软件也属此类, 它们从另一方面辅助用户使用计算机。

### (2) 应用软件

为解决各类实际问题而设计的程序系统称为应用软件。从其服务对象的角度, 又可分为通用软件和专用软件两类。

### 1.1.3 计算机应用领域

#### 1. 信息管理

信息管理是以数据库管理系统为基础,辅助管理者提高决策水平,改善运营策略的计算机技术。信息处理具体包括数据的采集、存储、加工、分类、排序、检索和发布等一系列工作。信息处理已成为当代计算机的主要任务,是现代化管理的基础。据统计,80%以上的计算机主要应用于信息管理,成为计算机应用的主导方向。信息管理已广泛应用于办公自动化、企事业计算机辅助管理与决策、情报检索、图书馆、电影电视动画设计、会计电算化等各行各业。

#### 2. 科学计算

科学计算是计算机最早的应用领域,是指利用计算机来完成科学研究和工程技术中提出的数值计算问题。在现代科学技术工作中,科学计算的任务是大量的和复杂的。利用计算机的运算速度快、存储容量大和连续运算的能力,可以解决人工无法完成的各种科学计算问题。例如,工程设计、地震预测、气象预报、火箭发射等都需要由计算机承担庞大而复杂的计算量。

#### 3. 过程控制

过程控制是利用计算机实时采集数据、分析数据,按最优值迅速地对控制对象进行自动调节或自动控制。采用计算机进行过程控制,不仅可以大大提高控制的自动化水平,而且可以提高控制的时效性和准确性,从而改善劳动条件、提高产量及合格率。因此,计算机过程控制已在机械、冶金、石油、化工、电力等行业得到广泛的应用。

#### 4. 辅助技术

计算机辅助技术包括 CAD、CAM 和 CAI 等。

##### (1) 计算机辅助设计 (Computer Aided Design, 简称 CAD)

计算机辅助设计是利用计算机系统辅助设计人员进行工程或产品设计,以实现最佳设计效果的一种技术。CAD 技术已应用于飞机设计、船舶设计、建筑设计、机械设计、大规模集成电路设计等。采用计算机辅助设计,可缩短设计时间,提高工作效率,节省人力、物力和财力,更重要的是提高了设计质量。

##### (2) 计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, 简称 CAM)

计算机辅助制造是利用计算机系统对产品的加工控制过程,输入的信息是零件的工艺路线和工程内容,输出的信息是刀具的运动轨迹。将 CAD 和 CAM 技术集成,可以实现设计产品生产的自动化,这种技术被称为计算机集成制造系统。有些国家已把 CAD 和计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing)、计算机辅助测试 (Computer Aided Test) 及计算机辅助工程 (Computer Aided Engineering) 组成一个集成系统,使设计、制造、测试和管理有机地组成为一体,形成高度的自动化系统,因此产生了自动化生产线和“无人工厂”。

##### (3) 计算机辅助教学 (Computer Aided Instruction, 简称 CAI)

计算机辅助教学是利用计算机系统对课堂进行教学。教学课件可以用 PowerPoint 或 Flash 等制作。CAI 不仅能减轻教师的负担,还能使教学内容生动、形象逼真,能够动态演示实验原理或操作过程,激发学生的学习兴趣,提高教学质量,为培养现代化高质量人才提供有效方法。

## 5. 翻译

1947年,美国数学家、工程师沃伦·韦弗与英国物理学家、工程师安德鲁·布思提出了以计算机进行翻译(简称“机译”)的设想,机译从此步入历史舞台,并走过了一条曲折而漫长的发展道路。机译被列为21世纪世界十大科技难题。与此同时,机译技术也拥有巨大的应用需求,机译消除了不同文字和语言间的隔阂,堪称高科技造福人类之举。

## 6. 多媒体应用

随着电子技术特别是通信和计算机技术的发展,人们已经有能力把文本、音频、视频、动画、图形和图像等各种媒体综合起来,构成一种全新的概念——“多媒体”(Multimedia)。在医疗、教育、商业、银行、保险、行政管理、军事、工业、广播、交流和出版等领域中,多媒体的应用发展很快。

## 7. 计算机网络

计算机网络是由一些独立的和具备信息交换能力的计算机互联构成,以实现资源共享的系统,计算机在网络方面的应用使人类之间的交流跨越了时间和空间障碍。计算机网络已成为人类建立信息社会的物质基础,它给我们的工作带来极大的方便和快捷,如在全国范围内的银行信用卡系统的使用、火车和飞机订票及检票系统的使用等。可以在全球最大的互联网络——Internet上进行浏览、检索信息、收发电子邮件、阅读书报、玩网络游戏、选购商品、参与众多问题的讨论、实现远程医疗服务等。

### 1.1.4 计算机发展趋势

随着科技的进步,各种计算机技术、网络技术的飞速发展,计算机的发展已经进入了一个快速而又崭新的时代,计算机已经从功能单一、体积较大发展到了功能复杂、体积微小、资源网络化等。计算机的未来充满了变数,性能的大幅度提高是不可置疑的,而实现性能的飞跃却有多种途径。不过性能的大幅提升并不是计算机发展的唯一路线,计算机的发展还应当变得越来越人性化,同时也要注意注重环保等等。

计算机从出现至今,经历了机器语言、程序语言、简单操作系统和Linux、Macos、BSD、Windows等现代操作系统四代,运行速度也得到了极大的提升,第四代计算机的运算速度已经达到每秒几十亿次。计算机也由原来的仅供军事科研使用发展到人人拥有,计算机强大的应用功能,产生了巨大的市场需求,未来计算机性能应向着微型化、网络化、智能化和巨型化的方向发展。

#### 1. 巨型化

巨型化是指为了适应尖端科学技术的需要,发展高速度、大存储容量和功能强大的超级计算机。随着人们对计算机的依赖性越来越强,特别是在军事和科研教育方面对计算机的存储空间和运行速度等要求会越来越高。

#### 2. 微型化

随着微型处理器(CPU)的出现,计算机中开始使用微型处理器,这使计算机体积缩小了,成本降低了。另一方面,软件行业的飞速发展提高了计算机内部操作系统的便捷度,计算机外部设备也趋于完善。计算机理论和技术上的不断完善促使微型计算机很快渗透到全社

会的各个行业和部门中，并成为人们生活和学习的必需品。四十年来，计算机的体积不断地缩小，台式电脑、笔记本电脑、掌上电脑、平板电脑体积逐步微型化，为人们提供便捷的服务。因此，未来计算机仍会不断趋于微型化，体积将越来越小。

### 3. 网络化

互联网将世界各地的计算机连接在一起，从此进入了互联网时代。计算机网络化彻底改变了人类世界，人们通过互联网进行沟通、交流（QQ、微博等）、教育资源共享（文献查阅、远程教育等）、信息查阅共享（百度、谷歌）等，特别是无线网络的出现，极大地提高了人们使用网络的便捷性，未来计算机将会进一步向网络化方面发展。

### 4. 人工智能化

计算机人工智能化是未来发展的必然趋势。现代计算机具有强大的功能和运行速度，但与人脑相比，其智能化和逻辑能力仍有待提高。人类不断在探索如何让计算机能够更好地反映人类思维，使计算机能够具有人类的逻辑思维判断能力，可以通过思考与人类沟通交流，抛弃以往的通过编码程序来运行计算机的方法，直接对计算机发出指令。

### 5. 多媒体化

传统的计算机处理的信息主要是字符和数字。事实上，人们更习惯的是图片、文字、声音、视频等多种形式的多媒体信息。多媒体技术可以集图形、图像、音频、视频、文字为一体，使信息处理的对象和内容更加接近真实世界。

电子数字计算机诞生于 1946 年，直到 20 世纪 70 年代，随着集成电路的不断发展，微处理器的出现，计算机的使用有了历史性的变化。以微处理器为核心的微型计算机以其小型、价廉、高可靠性的特点，迅速走出机房，在满足数据、文字、图像等信息处理的同时，在工业控制领域也得到了日益广泛的应用，将微型机嵌入一个对象体系中，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与通用的计算机功能。为了区别于原有的通用计算机系统，把嵌入对象体系中，实现对象体系智能化控制的计算机，称作嵌入式计算机系统。如果说微型机的出现，使计算机进入现代计算机发展阶段，那么嵌入式计算机系统的诞生，则标志了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并行发展时代，从而导致 20 世纪末，计算机的高速发展时期。

由于嵌入式计算机系统要嵌入对象体系中，实现的是对象的智能化控制，因此，它有着与通用计算机系统完全不同的技术要求与技术发展方向。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。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。

## 1.2 微型计算机系统

通用计算机具有计算机的标准形态，通过装配不同的应用软件，以类同的面目出现，应用在当今社会的各个领域。目前我们最广泛使用的 PC 机和笔记本电脑就是通用计算机最典

型的代表。

计算机是20世纪最伟大的发明之一，微型计算机是计算机的一个重要分支，它的发展是以微处理器的发展为主要标志的。本节以微型计算机为例，对通用计算机的特点、结构和原理、应用等性能指标进行概述。

## 1.2.1 微型计算机系统的定义与特点

计算机主机按体积、性能和价格分为巨型机、大型机、中型机、小型机和微型机五类，微型计算机属于第四代电子计算机产品，即大规模及超大规模集成电路计算机，是电路技术不断发展，芯片集成度不断提高的产物，是性能价格比高、体积较小的一类，常应用在科学计算、信息管理、自动控制、人工智能等领域。从其工作原理上来讲，微型机与其他几类计算机并没有本质上的差别。所不同的是，由于采用了集成度较高的器件，使得其在结构上具有独特的特点，即将组成计算机硬件系统的两大核心部分——运算器和控制器，集成在一片集成电路芯片上，显然该芯片是整个微机系统的核心，即所谓的中央处理单元（Central Processing Unit, CPU），被称为微处理器（Microprocessor）。它是一块大规模集成电路芯片，代表着整个微机系统的性能。所以，通常就将采用微处理器为核心构造的计算机称为微机，工作学习中使用的个人微机，生产生活中运用的各种智能化电子设备都是典型的微机系统。

微处理器是微机系统的核心部分，自20世纪70年代初出现第一片微处理器芯片以来，微处理器的性能和集成度几乎每两年翻一番，其发展速度大大超过了前几代计算机。微型计算机从20世纪70年代初问世到现在，经历了以下几个发展阶段。

第1阶段（1971～1973年）是4位和8位低档微处理器时代，通常称为第1代，其典型产品是Intel4004和Intel8008微处理器和分别由它们组成的MCS-4和MCS-8微机。基本特点是采用PMOS工艺，集成度低（4000个晶体管/片），系统结构和指令系统都比较简单，主要采用机器语言或简单的汇编语言，指令数目较少（20多条指令），基本指令周期为20～50 $\mu$ s，用于简单的控制场合。

第2阶段（1974～1977年）是8位中高档微处理器时代，通常称为第2代，其典型产品是Intel8080/8085、Motorola公司、Zilog公司的Z80等。它们的特点是采用NMOS工艺，集成度提高约4倍，运算速度提高约10～15倍（基本指令执行时间1～2 $\mu$ s）。指令系统比较完善，具有典型的计算机体系结构和中断、DMA等控制功能。软件方面除了汇编语言外，还有BASIC、FORTRAN等高级语言和相应的解释程序和编译程序，在后期还出现了操作系统。

第3阶段（1978～1984年）是16位微处理器时代，通常称为第3代，其典型产品是Intel公司的8086/8088，Motorola公司的M68000，Zilog公司的Z8000等微处理器。其特点是采用HMOS工艺，集成度（20000～70000晶体管/片）和运算速度（基本指令执行时间是0.5 $\mu$ s）都比第2代提高了一个数量级。指令系统更加丰富、完善，采用多级中断、多种寻址方式、段式存储机构、硬件乘除部件，并配置了软件系统。这一时期著名微机产品有IBM公司的个人计算机，由于IBM公司在发展个人计算机时采用了技术开放的策略，使个人计算机风靡世界。

第4阶段（1985～1992年）是32位微处理器时代，又称为第4代。其典型产品是Intel

公司的 80386/80486, Motorola 公司的 M69030/68040 等。其特点是采用 HMOS 或 CMOS 工艺, 集成度高达 100 万个晶体管/片, 具有 32 位地址线和 32 位数据总线。每秒钟可完成 600 万条指令 (Million Instructions Per Second, MIPS)。微型计算机的功能已经达到甚至超过超级小型计算机, 完全可以胜任多任务、多用户的作业。同期, 其他一些微处理器生产厂商 (如 AMD、TEXAS 等) 也推出了 80386/80486 系列的芯片。

第 5 阶段 (1993 ~ 2005 年) 是奔腾 (pentium) 系列微处理器时代, 通常称为第 5 代。典型产品是 Intel 公司的奔腾系列芯片及与之兼容的 AMD 的 K6、K7 系列微处理器芯片。内部采用了超标量指令流水线结构, 并具有相互独立的指令和数据高速缓存。随着 MMX (Multi Media eXtended) 微处理器的出现, 使微机的发展在网络化、多媒体化和智能化等方面跨上了更高的台阶。

第 6 阶段 (2005 年至今) 是酷睿 (Core) 系列微处理器时代, 通常称为第 6 代。酷睿是一款领先节能的新型微架构, 设计的出发点是提供卓然出众的性能和能效, 提高每瓦性能, 也就是所谓的能效比。早期的酷睿是基于笔记本处理器的。酷睿 2 (Core 2 Duo) 是英特尔在 2006 年推出的新一代基于 Core 微架构的产品体系, 于 2006 年 7 月 27 日发布。酷睿 2 是一个跨平台的构架体系, 包括服务器版、桌面版、移动版三大领域。其中, 服务器版的开发代号为 Woodcrest, 桌面版的开发代号为 Conroe, 移动版的开发代号为 Merom。

由于微型计算机是采用 LSI 和 VLSI 组成的, 所以它除了具有一般计算机的运算速度快、计算精度高、记忆功能和逻辑判断力强、自动工作等常规特点外, 还有它自己的独特优点。

### 1. 体积小、重量轻、功耗低

由于采用了大规模和超大规模集成电路, 从而使构成微型计算机所需的器件数目大为减少, 体积大为缩小。一个与小型机 CPU 功能相当的 16 位微处理器 MC68000, 由 13000 个标准门电路组成, 其芯片面积仅为  $6.25 \times 7.14 \text{mm}^2$ , 功耗为 1.25W。32 位的超级微处理器 80486, 有 120 万个晶体管电路, 其芯片面积仅为  $16 \times 11 \text{mm}^2$ , 芯片的重量仅十几克。工作在 50MHz 时钟频率时的最大功耗仅为 3W。随着微处理器技术的发展, 今后推出的高性能微处理器产品体积更小、功耗更低而功能更强, 这些优点对于航空、航天、智能仪器仪表等领域具有特别重要的意义。

### 2. 可靠性高、对使用环境要求低

微型计算机采用大规模集成电路以后, 使系统内使用的芯片数大大减少, 接插件数目大幅度减少, 简化了外部引线, 安装更加容易。加之 MOS 电路芯片本身功耗低、发热量小, 使微型计算机的可靠性大大提高, 因而也降低了对使用环境的要求, 普通的办公室和家庭环境就能满足要求。

### 3. 结构简单、设计灵活、适应性强

微型计算机多采用模块化的硬件结构, 特别是采用总线结构后, 使微型计算机系统成为一个开放的体系结构, 系统中各功能部件通过标准化的插槽和接口相连, 用户选择不同的功能部件 (板卡) 和相应外设就可构成不同要求和规模的微型计算机系统。由于微型计算机的模块化结构和可编程功能, 使得一个标准的微型计算机在不改变系统硬件设计或只部分地改变某些硬件时, 在相应软件的支持下就能适应不同的应用任务的要求, 或升级为更高档次的微机系统, 从而使微型计算机具有很强的适应性和广泛的应用范围。