



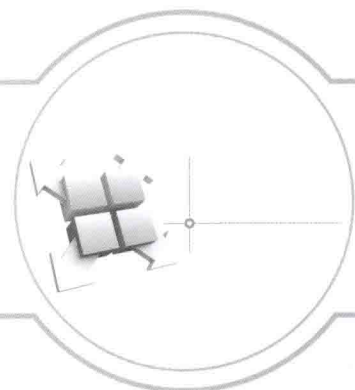
普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

单片机原理与接口技术 (第二版)

DANPIANJI YUANLI YU JIEKOU JISHU

吴亦锋 陈德为

副主编 冯维杰 曹双贵 吴海彬



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

单片机原理与接口技术（第二版）

主 编 吴亦锋 陈德为

副主编 冯维杰 曹双贵 吴海彬

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以 MCS-51 系列单片机为典型机型,从实际应用出发,系统讲解单片机的硬件结构、指令系统、汇编语言程序设计、中断与定时、存储器扩展与并行 I/O 接口扩展、显示器与键盘接口技术、模拟量通道接口、串行接口、单片机 C 语言程序设计、单片机系统设计方法与应用实例及 Proteus 电路设计与仿真软件等知识。

本书延袭了第一版的特点和风格,并增加了 Proteus 电路设计与仿真软件等新内容。全书内容更实用,章节编排更合理,文字叙述通俗易懂,重点突出、难点分散、易教易学,理论联系实际,具有较强的实用性。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化、机械电子工程、测控技术及仪器、车辆工程以及相关专业的教学用书,也可作为机电类高职、高专教材或自学用书,还可供有关工程技术人员参考。

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/吴亦锋,陈德为主编. —2 版. —北京:电子工业出版社,2014.2

普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

ISBN 978-7-121-21853-8

I. ①单… II. ①吴… ②陈… 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(2013)第 269314 号

策划编辑:李 洁(ljje@phei.com.cn)

责任编辑:李 洁 特约编辑:钟永刚

印 刷:三河市双峰印刷装订有限公司

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

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:21.25 字数:540 千字

印 次:2014 年 2 月第 1 次印刷

印 数:4 000 元 定价:39.90 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。

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

服务热线:(010) 88258888。

第 二 版 前 言

《单片机原理与接口技术》出版以来,受到了广大读者和高校师生的好评。为了使单片机课程教学能跟上新形势的发展以及满足教学的需要,作者对原书进行了全面的修订,尤其是第3章和第4章增加了许多编程实例,对第7章的数码管动态扫描显示进行了较大篇幅的改写,并增加了第12章 Proteus 电路设计与仿真软件的介绍。

本书保持了第一版深入浅出、易教易学的特点。在简要介绍基本原理的基础上,详尽介绍了 MCS-51 系列单片机的指令系统、汇编语言程序设计、中断与定时及单片机接口技术,并通过具体的应用案例介绍单片机的实际应用,具有较强的实用性。全书重点突出、难点分散,各章末均附有小结和练习题。本书作为本科生教材时,课堂讲授与实验总学时约 56~72 学时,教师在讲授时,可根据各专业特点和需要适当删减部分内容。

修订后的全书共分 12 章。第 1~2 章简要介绍数制及其转换,计算机中数和编码的表示方法及 MCS-51 单片机的硬件结构等知识。第 3~4 章详细介绍 MCS-51 单片机的指令系统,汇编语言程序的结构及汇编语言常用程序的设计方法。第 5 章介绍 MCS-51 单片机的中断系统和内部定时器/计数器的应用。第 6~9 章着重讲解 MCS-51 单片机系统扩展技术,包括存储器扩展、并行 I/O 接口扩展、数码管和键盘接口技术、D/A 和 A/D 转换器接口技术、串行接口及其应用等。第 10 章介绍 51 单片机 C 程序设计及编程实例。第 11 章介绍单片机应用系统开发设计方法,并通过几个应用实例将前面各章的知识点系统化。第 12 章介绍当前流行的电路设计与仿真软件 Proteus,熟练应用 Proteus 软件将使单片机开发人员如虎添翼。修订后的本书与第一版相比,删除了部分不适合的内容,增加了许多新的内容,使得全书内容更实用,章节编排更合理,易教易学。本书配有 PPT 课件,如有需要,请登陆电子工业出版社华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)注册后免费下载。

本书第 1 章、第 9 章由昆明学院冯维杰负责修订,第 2 章、第 10 章由淮海工学院曹双贵负责修订,第 3~6 章由福州大学吴亦锋负责修订,第 7~8 章由福州大学陈德为负责修订,第 11~12 章由福州大学吴海彬负责修订和编写,全书由吴亦锋统稿。本书在修订过程中得到了福州大学和电子工业出版社的大力支持和帮助。同时,编者还参考和引用了参考文献中的部分资料,在此一并向相关人员表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者通过电子邮箱 yifengwu@126.com 进行联系,提出批评意见和建议。

编 者

2013 年 11 月

读者服务表

尊敬的读者：

感谢您采用我们出版的教材，您的支持与信任是我们持续上升的动力。为了使您能更透彻地了解相关领域及教材信息，更好地享受后续的服务，我社将根据您填写的表格，继续提供如下服务：

1. 免费提供本教材配套的所有教学资源；
2. 免费提供本教材修订版样书及后续配套教学资源；
3. 提供新教材出版信息，并给确认后的新书申请者免费寄送样书；
4. 提供相关领域教育信息、会议信息及其他社会活动信息。

基 本 信 息			
姓名	性别	年龄	
职称	学历	职务	
学校	院系（所）	教研室	
通信地址		邮政编码	
手机	办公电话		
E-mail			QQ 号码
教 学 信 息			
您所在院系的年级学生总人数			
	课程 1	课程 2	课程 3
课程名称			
讲授年限			
类 型			
层 次			
学生人数			
目前教材			
作 者			
出 版 社			
教材满意度			
书 评			
结构（章节）意见			
例题意见			
习题意见			
实训/实验意见			
您正在编写或有意向编写教材吗？希望能与您有合作的机会！			
状 态		方向/题目/书名	出 版 社
☐ 正在写 ☐ 准备中			
☐ 有讲义 ☐ 已出版			

联系的方式有以下三种：

1. 发 Email 至 lijie@phei.com.cn 领取电子版表格；
2. 打电话至出版社编辑 010-88254501（李洁）；
3. 填写该纸质表格，邮寄至“北京市万寿路 173 信箱，李洁收，100036”

我们将在收到您信息后一周内给您回复。电子工业出版社愿与所有热爱教育的人一起，共同学习，共同进步！

Contents

目录

第1章 微型计算机基础知识

1.1 微型计算机和单片机发展概述	1	1.4.2 原码、反码和补码	16
1.1.1 微型计算机的发展	1	1.4.3 补码的加减运算	18
1.1.2 单片机的发展	6	1.4.4 加减法运算溢出判别方法	18
1.2 各种进制数的表示及相互转换	9	1.5 计算机中的字符编码	20
1.2.1 各种进制数的表示	9	1.5.1 BCD 码	20
1.2.2 不同进制数的相互转换	11	1.5.2 ASCII 码	21
1.3 二进制数的运算	13	1.6 微型计算机组成原理	22
1.3.1 二进制数的算术运算	13	1.6.1 微型计算机的基本组成	22
1.3.2 二进制数的逻辑运算	14	1.6.2 微型计算机的工作原理	26
1.4 计算机中数的表示方法	15	本章小结	31
1.4.1 无符号数和有符号数	15	思考题和习题	31

第2章 MCS-51 单片机的硬件结构及原理

2.1 MCS-51 系列单片机及其内部结构	33	2.4.3 特殊功能寄存器 (SFR)	46
2.1.1 MCS-51 系列单片机	33	2.4.4 位处理器 (布尔处理机)	49
2.1.2 MCS-51 单片机内部结构框图	35	2.5 MCS-51 单片机的并行 I/O 接口	50
2.2 MCS-51 单片机典型芯片的外部引脚功能	36	2.5.1 并行 I/O 接口电路结构	50
2.3 中央处理单元 (CPU)	39	2.5.2 并行 I/O 接口的特点	52
2.3.1 控制器	39	2.6 MCS-51 单片机最小系统	53
2.3.2 运算器	41	2.6.1 单片机最小系统概念	53
2.4 存储器	43	2.6.2 单片机最小系统分析	53
2.4.1 程序存储器	44	2.6.3 AT89 系列单片机最小系统	54
2.4.2 数据存储器	44	2.6.4 单片机最小系统的不足	54
		本章小结	55
		思考题和习题	55

第3章 MCS-51 单片机指令系统

3.1 指令格式与寻址方式	57	3.2 数据传送指令	62
3.1.1 指令格式	57	3.2.1 内部数据传送指令	62
3.1.2 寻址方式	58	3.2.2 外部数据传送指令	63



3.2.3 堆栈操作指令	65	3.5 控制转移指令	80
3.2.4 数据交换指令	66	3.5.1 无条件转移指令	80
3.3 算术运算指令	68	3.5.2 条件转移指令	82
3.3.1 加法指令	68	3.5.3 子程序调用及返回指令	84
3.3.2 减法指令	72	3.5.4 空操作指令	85
3.3.3 乘除法指令	73	3.6 位操作指令	86
3.4 逻辑运算与移位指令	76	3.6.1 位赋值指令	87
3.4.1 逻辑与运算指令	76	3.6.2 位传送指令	87
3.4.2 逻辑或运算指令	77	3.6.3 位逻辑运算指令	88
3.4.3 逻辑异或运算指令	77	3.6.4 位变量条件转移指令	88
3.4.4 累加器清零和取反指令	78	本章小结	90
3.4.5 移位指令	78	思考题和习题	90

第4章 汇编语言程序设计

4.1 汇编语言概述	93	4.3 算术运算程序设计	107
4.1.1 汇编语言与汇编的概念	93	4.3.1 加法程序	107
4.1.2 汇编语言源程序的格式	94	4.3.2 减法程序	109
4.1.3 伪指令	96	4.3.3 乘除法程序	110
4.1.4 源程序的汇编	97	4.4 非数值操作程序设计	112
4.2 汇编语言程序的结构	97	4.4.1 码制转换程序	112
4.2.1 汇编语言程序设计步骤	97	4.4.2 查表程序	114
4.2.2 顺序程序结构	98	4.4.3 检索程序	115
4.2.3 分支程序结构	100	本章小结	116
4.2.4 循环程序结构	102	思考题和习题	117
4.2.5 主程序调用子程序结构	105		

第5章 MCS-51 单片机的中断与定时

5.1 中断技术概述	119	*5.2.6 多外部中断源系统设计	131
5.1.1 中断的定义和作用	119	5.3 MCS-51 单片机的定时/	
5.1.2 中断源与中断分类	119	计数器	132
5.1.3 中断嵌套	120	5.3.1 定时与计数原理	132
5.1.4 中断处理过程	120	5.3.2 定时/计数器的控制	133
5.2 MCS-51 单片机的中断系统	121	5.3.3 定时/计数器的工作方式	134
5.2.1 中断源和中断标志	121	5.3.4 定时/计数器应用举例	137
5.2.2 中断请求的控制	123	*5.3.5 用定时/计数器扩展外部中断	142
5.2.3 中断的响应过程	125	本章小结	143
5.2.4 中断请求的撤除	127	思考题和习题	143
5.2.5 外部中断应用举例	128		



第 6 章 存储器扩展与并行 I/O 接口扩展

6.1 MCS-51 单片机存储器的扩展	145	6.3 MCS-51 单片机并行 I/O 接口的应用与扩展	157
6.1.1 存储器概述	145	6.3.1 MCS-51 单片机 I/O 接口的直接应用	158
6.1.2 程序存储器及其扩展	147	6.3.2 采用 8255A 扩展并行 I/O 端口	160
6.1.3 数据存储器及其扩展	151	6.3.3 采用 8155 扩展并行 I/O 端口	167
6.2 I/O 接口技术概述	155	本章小结	172
6.2.1 I/O 接口的作用	155	思考题和习题	173
6.2.2 I/O 接口的编址	156		
6.2.3 I/O 数据的传送方式	156		
6.2.4 I/O 接口的类型	157		

第 7 章 显示器与键盘接口技术

7.1 LED 数码管显示接口	174	7.2.2 行列式非编码键盘接口	181
7.1.1 LED 数码管显示原理	174	7.3 键盘与显示系统	184
7.1.2 数码管的显示方式	175	本章小结	187
7.2 非编码键盘接口	179	思考题和习题	188
7.2.1 独立式按键接口	180		

第 8 章 模拟量通道接口

8.1 模拟量通道接口概述	189	8.3 A/D 转换器	197
8.1.1 模拟量接口的地位和作用	189	8.3.1 逐次逼近式 A/D 转换原理	197
8.1.2 模拟量转换器的性能指标	190	8.3.2 A/D 转换器 ADC0809	198
8.2 D/A 转换器	191	8.3.3 A/D 转换应用举例	201
8.2.1 D/A 转换原理	191	本章小结	202
8.2.2 D/A 转换器 DAC0832	192	思考题和习题	202
8.2.3 D/A 转换应用举例	196		

第 9 章 MCS-51 单片机的串行接口

9.1 串行通信基础	203	9.3 MCS-51 串行接口的应用	214
9.1.1 串行通信规程	203	9.3.1 串行接口方式 0 的应用	214
9.1.2 串行通信的制式	206	9.3.2 串行接口其他方式的应用	217
9.2 MCS-51 单片机的串行接口	207	*9.4 单片机的多机通信	220
9.2.1 MCS-51 串行接口的结构	208	9.4.1 MCS-51 多机通信原理	221
9.2.2 MCS-51 串行接口的工作方式	211	9.4.2 多机通信应用举例	221
9.2.3 MCS-51 串行接口的通信波特率	212	本章小结	227
		思考题和习题	227



*第 10 章 单片机 C 语言程序设计

10.1 单片机 C 语言概述	229	10.5 C51 的函数	250
10.1.1 C 语言的特点及程序结构	229	10.6 单片机资源的 C51 编程	
10.1.2 C 语言与 MCS-51 单片机	230	实例	251
10.2 C51 的数据类型与运算	230	10.6.1 C51 程序的反汇编程序	251
10.2.1 C51 的数据类型	230	10.6.2 并行口及键盘、显示器	
10.2.2 关于指针型数据	233	接口的 C51 编程	252
10.2.3 C51 的运算符	234	10.6.3 C51 中断程序的编制	255
10.3 数据的存储类型和存储		10.6.4 定时/计数器的 C51 编程	256
模式	241	10.6.5 串行通信的 C51 编程	257
10.3.1 数据的存储类型	241	10.6.6 A/D 和 D/A 转换器的	
10.3.2 存储模式	242	C51 编程	258
10.4 C51 程序基本结构与相		10.7 51 单片机系统开发常用工	
关语句	243	具软件 KEIL C51	259
10.4.1 C51 程序基本结构	243	本章小结	265
10.4.2 C51 相关语句	245	思考题和习题	266

*第 11 章 单片机应用系统设计与应用实例

11.1 单片机应用系统的研发		11.2.4 仿真与调试	275
步骤	267	11.3 单片机应用系统设计实例	276
11.2 单片机应用系统设计方法	269	11.3.1 公交车车上人数统计器	276
11.2.1 单片机应用系统的硬件		11.3.2 数字电压表	278
设计	269	11.3.3 水塔水位控制器	281
11.2.2 单片机应用系统的软件		本章小结	283
设计	270	思考题和习题	283
11.2.3 单片机应用系统的抗干扰			
设计	271		

*第 12 章 Proteus 电路设计与仿真软件

12.1 Proteus 软件概述	285	12.2.2 绘制原理图	301
12.1.1 Proteus 软件功能	285	12.3 Proteus 单片机电路仿真	307
12.1.2 Proteus 7.8 软件主界面	286	12.3.1 利用集成编译器仿真	308
12.1.3 Proteus 系统资源	290	12.3.2 利用 Keil 辅助 Proteus	
12.2 用 Proteus 7.8 绘制单片机		仿真	311
电路原理图	295	本章小结	317
12.2.1 基本编辑工具	295	思考题和习题	317



附录 A 美国标准信息交换代码 (ASCII 码)

附录 B MCS-51 单片机指令表

附录 C KEIL C51 常用库函数原型

参考文献

注：章节前面标有“*”号的为选学标志，不同专业可视具体要求及课时进行选讲。

第 1 章 微型计算机基础知识

【知识点】

- ☆ 微型计算机和单片机的发展
- ☆ 数制及各种进制数之间的转换
- ☆ 二进制数的算术运算和逻辑运算
- ☆ 计算机中有符号数的表示（原码、反码和补码，补码的加减运算）
- ☆ 字符的编码（BCD 码、ASCII 码）
- ☆ 微型计算机系统的基本组成与工作原理

1.1 微型计算机和单片机发展概述

计算机作为一种计算工具，是人类有史以来最伟大的发明之一和人类智慧的结晶，也是目前文明社会中最有价值的工具之一。人类经过几个世纪的努力，计算机随着生产的发展和社会的进步，经历了一个从简单到复杂，从低级到高级的漫长发展过程，其中相继出现了如算盘、计算尺、手摇机械计算机、电动机械计算机等不同类型的计算机。直到 1946 年，在美国宾夕法尼亚大学研制成功了世界上第一台全电子管的电子数字积分式计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer)。ENIAC 的诞生，标志着人类电子计算机时代的到来。

1.1.1 微型计算机的发展

1. 电子计算机的发展

1943 年，美国为适应第二次世界大战的需要（计算弹道轨迹），在美国陆军军部主持下，由美国宾夕法尼亚大学物理学家约翰·莫克利 (John.Mauchly) 和工程师普雷斯·埃克特 (Prespen. Eckert) 领导，开始研制世界上第一台电子数字积分计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer)。1945 年 12 月 ENIAC 研制成功，1946 年 2 月正式交付使用，共服役 9 年。这台计算机总共安装了 17468 只电子管，7200 个二极管，70000 多只电阻器，10000 多只电容器和 6000 只继电器，占地面积为 170m² 左右，总质量达 30000kg，总功耗约 140kW，运算速度达到每秒能进行 5000 次加法运算、300 次乘法运算。尽管人类后来的计算机并不是在这台机器的基础上发展起来的，但计算机界还是认同，把 ENIAC 的启动之时作为电子计算机的誕生日并载入史册。

应该说，现代计算机理论的奠基人是英国数学家、逻辑学家阿兰·麦席森·图灵 (Alan Mathison Turing, 1912—1957 年)。1936 年，年仅 24 岁图灵发表《论可计算数及其在判定问题中的应用》的论文，首次阐明了现代计算机的原理，从理论上证明了现代通用计算机存在的可能性，为后来计算机的发展奠定了理论基础。

1946 年，美籍匈牙利数学家冯·诺依曼 (Von Neuman, 1903—1957 年) 发表了《关于



离散变量自动电子计算机的草案》的论文, 论文长达 101 页, 第一次提出了在数字计算机内部的存储器中存放程序的概念。同时领导研制小组开始研制一种“基于程序存储和程序控制”的计算机, 并于 1952 年研制成功且投入使用。这台计算机被称为电子离散变量计算机 EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer), 它对于计算机的体系结构有着重要的理论意义, 这种“基于程序存储和程序控制”体系结构的计算机被称之为冯·诺依曼原理计算机, 并且一直延续至今。

从 1946 年第一台电子数字计算机 ENIAC 诞生以来, 随着电子技术和电子元器件的发展, 电子计算机在短短的 60 多年里经历了电子管、晶体管、集成电路和超大规模集成电路的发展阶段, 使计算机的体积越来越小, 功能越来越强, 价格越来越低, 应用越来越广泛。计算机界一般把计算机的发展阶段分为五代。

第一代: 电子管电子计算机 (1946—1958 年)。

第一代计算机的基本逻辑元件是电子管, 内存储器采用水银延迟线, 外存储器主要采用磁鼓、纸带、卡片、磁带等。运算速度只是每秒几千次~几万次基本运算, 内存容量也不大。程序设计语言处于低级阶段, 主要使用二进制表示的机器语言和符号语言编程, 没有高级语言和系统软件, 一切操作都是由中央处理器集中控制, 输入、输出设备简单, 采用穿孔纸带或卡片来输出结果。因此, 第一代计算机的特点是: 体积大、耗电多、运算速度低、成本高、可靠性低、使用不便。应用主要局限于一些军事和科研部门进行科学计算。

第二代: 晶体管电子计算机 (1958—1965 年)。

1948 年, 美国贝尔实验室发明了晶体管, 晶体管代替了体积庞大的电子管, 电子设备的体积不断减小。10 年后晶体管取代了计算机中的电子管, 诞生了第二代计算机——晶体管计算机。晶体管计算机的基本逻辑元件是晶体管, 内存储器主要采用磁芯, 其运算速度为每秒几十万~百万次基本运算, 体积为第一代计算机的几十分之一。外存储器仍主要采用磁鼓、纸带、卡片、磁带等。与第一代电子管计算机相比, 晶体管计算机具有体积小, 耗电少, 成本低, 逻辑功能强, 使用方便, 可靠性高等优点。

在这个时期, 系统软件出现了监控程序, 提出了操作系统概念, 各种高级语言层出不穷, 常见的有 COBOL、FORTRAN、ALGOL 60 等。与低级语言(机器语言)相对比, 高级语言是以人类自然语言为基础的一种编程语言, 使用人们易于接受的文字、符号和语法来描述解算过程, 使计算机编程更容易, 也比低级语言有较高的可读性。计算机管理方式和编程方式的改变, 扩大了计算机的应用领域, 也催生了计算机软件学科和软件产业。应用范围进一步扩大, 从军事和尖端技术领域延伸到气象、数据处理、事务处理、工业控制以及其他科学研究领域。

第三代: 中小规模集成电路电子计算机 (1965—1970 年)。

1958 年, 美国德州仪器公司的杰克·基尔比发明了世界上第一块集成电路, 开辟了微电子时代。

第三代计算机的基本逻辑元件采用中、小规模集成电路, 原有的磁芯存储器被半导体存储器逐步取代, 计算机运算速度提高到每秒百万~几百万次基本运算, 性能和稳定性进一步提高。终端设备和远程终端迅速发展, 并与通信设备、通信技术结合起来, 为日后计算机网络的出现打下了基础。

在这个时期, 系统软件有了很大的发展, 出现了分时操作系统, 高级程序设计语言进一步发展, 产生了会话式语言和结构化程序设计语言。计算机的管理和使用方式也由手工操



作改变为自动管理,使计算机的使用效率显著提高。计算机的功能越来越强,应用范围越来越广,不仅用于科学计算,还用于文字处理、企业管理、自动控制等领域。同时,计算机体系结构进入标准化、模块化、系列化的发展时期。

第四代:大规模、超大规模集成电路电子计算机(1971年开始)。

第四代计算机是指从1970年以后基本逻辑元件采用大规模集成电路(LSI)、超大规模集成电路(VLSI)和极大规模集成电路(ULSI),内存储器采用半导体存储器制成的计算机。与第三代计算机相比,第四代计算机体积更小,可靠性更强,寿命更长。计算速度加快,达到每秒几百万~千亿次基本运算。内存储器普遍采用半导体存储器,存储容量、存取速度和可靠性均大幅度提高。外存储器除广泛使用软、硬磁盘外,还相继出现大容量的硬磁盘、光盘、U盘等。另外,各种使用方便的输入输出设备也相继出现,如大容量的磁盘、光盘、U盘、鼠标、图像扫描仪、数字化照相机、高分辨率彩色显示器、激光打印机和绘图仪等,为计算机在各行各业的应用,开辟了广阔的空间。

这一时期的计算机不论是在体系结构方面还是在软件技术方面都有了较大的提高,并行处理、多机系统、嵌入式系统、多媒体系统、网络通信和网络计算等方面都在快速发展。软件产业高度发达,系统软件和各种实用软件层出不穷,出现了数据库管理系统、分布式操作系统和图形界面操作系统,极大地方便了计算机的应用,使计算机的应用范围迅速扩大,广泛应用于数据处理、工业控制、各类辅助设计、图像识别、语言识别、通信等方面。另外,计算机网络技术也得到了巨大的发展,Internet已经成为覆盖整个地球的最大的信息网络,正在改变人们的工作、生活、交流和娱乐方式。

第四代计算机中最有影响的机种是微型计算机,它诞生于20世纪70年代初,20世纪80年代得到了迅速推广,成为计算机发展史上最显赫的事件之一。

第五代:智能计算机(20世纪80年代中期至今)。

第五代计算机将把信息采集、存储、处理、通信和人工智能结合在一起,具有形式推理、联想、学习和解释能力。它的系统结构将突破传统的冯·诺依曼机器的概念,可实现高度的并行处理。现仍处于研制发展中,其工作原理、结构至今尚未统一。

2. 微型计算机的发展

1971年,Intel公司采用MOS大规模集成电路技术,生产开发出全球第一块微处理器Intel 4004,该芯片能同时处理4位二进制数,集成了2300个晶体管,每秒可进行6万次运算,成本约为200美元。它本来是为高级袖珍计算器Busicom而设计的,但生产出来后,却获得了意外的成功。这项突破性的发明开始了人类将智能内嵌入计算机中的伟大历程。也标志着计算机进入微型机的时代。

将计算机的运算器和控制器集成在一块大规模集成电路芯片上,该芯片就称为中央处理单元(CPU),也称为微处理器或微处理机。以微处理器为核心,再配上存储器、接口电路、电源和部分基本外部设备(如键盘、显示器、磁盘驱动器等)构成的计算机就称为微型计算机。微型计算机的发展是以微处理器的发展为标志,学术界一般以微处理器的发展来划分微型计算机的发展阶段。

第一代(1971—1973年)的4位和低档8位微处理器。

1971年,Intel公司推出的世界上第一个微处理器Intel 4004,它能够处理4bit的数据,每秒运算6万次,运行频率为108kHz。



1972 年, Intel 又推出 8 位微处理器 Intel 8008, 它采用工艺简单、速度较低的 PMOS 工艺, 集成了约 9000 个晶体管, 时钟频率 0.5/0.8MHz, 平均指令执行时间为 $1\sim 2\mu\text{s}$ 。

第二代 (1973—1977 年) 的中高档 8 位微处理器。

1974 年, Intel 公司将 Intel 8008 发展成 Intel 8080。由于微处理器可用来完成以前需要很多设备才能完成的计算任务, 且价格便宜, 因此各半导体公司开始竞相开发微处理器芯片。Zilog 公司生产了 Z80, Motorola 公司生产了 MC6800, Rockwell 公司生产了 R6502, Intel 公司于 1976 年又推出了 Intel 8085。这时期微处理器的特点是采用 NMOS 工艺, 时钟频率为 $2\sim 4\text{MHz}$, 运算速度是第一代的 $10\sim 15$ 倍, 指令系统比较完善, 寻址能力有所增强, 已有典型的计算机体系结构以及中断和 DMA 功能, 支持语言有汇编语言、BASIC、FORTRAN 和 PL/M 等, 后期开始配备 PC/M 操作系统。

第三代 (1978—1982 年) 的 16 位微处理器。

随着超大规模集成电路 (VLSI) 的发展, 1978 年 Intel 公司推出了 16 位微处理器 Intel 8086, 片内集成了 29000 个晶体管。Zilog 公司和 Motorola 公司也先后推出 16 位的 Z8000 和 MC68000。1979 年 Intel 公司推出了内部 16 位结构、外部数据总线为 8 位的微处理器 Intel 8088。特点是采用 HMOS 工艺, 时钟频率为 $4\sim 8\text{MHz}$, 平均指令执行时间为 $0.5\mu\text{s}$, 集成度达 $2\sim 6$ 万晶体管/片; 1982 年 Intel 公司推出了 Intel 80286。80286 芯片集成了 14.3 万只晶体管、16 位字长, 时钟频率为 20MHz 。其内部和外部数据总线皆为 16 位, 地址总线为 24 位, 内存寻址能力为 16MB。80286 可工作于实模式与保护模式。在实模式下, 微处理器可访问的内存容量限制在 1MB; 而在保护模式下, 80286 可直接访问 16 MB 的内存, 且可以保护操作系统。另外 80286 也是第一款能实现多任务切换的 CPU。

1981 年, IBM 公司采用 Intel 8088 微处理器生产了第一台通用微型计算机 IBM PC, 从此 IBM PC 系列微机成为个人计算机的主流机之一。

第四代 (1982—1992 年) 的 32 位微处理器。

1985 年, Intel 划时代的 80386DX 芯片正式发布, 片内集成了 27.5 万个晶体管, 时钟频率为 12.5MHz , 后来又逐步提高到 20MHz 、 25MHz 、 33MHz 。80386DX 具有 32 位数据线和 32 位地址线, 内部寄存器均为 32 位, 最大地址空间为 4GB, 支持 64TB 的虚拟存储空间。在 80386 中还引入多任务管理机制, 用任务寄存器来管理各任务的内存段, 实现多个任务的切换。80386 也是第一个支持片外 Cache 的 CPU。

1989 年, Intel 公司推出了 80486 芯片, 它使用 $1\mu\text{m}$ 的制造工艺, 集成了 120 万个晶体管, 是超级版本的 386。80486 是将 80386 和数学协处理器 80387 以及一个 8KB 的高速缓存集成在一个芯片内, 并且, 在 80486 中首次采用 RISC (精简指令集) 技术, 可以在一个时钟周期内执行一条指令。它还采用了突发总线方式, 大大提高了与内存的数据交换速度。

第五代 (1993—1995 年) 的 32 位奔腾微处理器。

1993 年, 新一代芯片 80586 问世, 微处理器技术发展到了一个新的阶段。为了摆脱 80486 时代微处理器名称混乱及申请数字版权的困扰, Intel 公司把自己的新一代产品命名为 Pentium (奔腾), 以区别 AMD 和 Cyrix 的产品。

Intel 公司推出的 Pentium (奔腾) 微处理器片内集成了 310 万个晶体管。Pentium 的 CPU 字长 32 位, 使用 64 位数据线, 32 位地址线, 内存寻址能力为 4GB, 时钟频率达 120MHz 以上。内部集成了 8KB 的代码和数据 Cache。采用了超标量流水线和指令分支预测技术, 集成了高性能的浮点处理单元。它提供有四种工作模式: 即实地址模式、虚地址模



式、虚拟 8086 模式和系统管理模式。

1996 年, Intel 公司推出 Pentium MMX (Multi Media eXtensions), 在 Pentium 的基础上增加了 57 条 MMX (多媒体扩展指令集) 指令, 采用了 SIMD (单指令流多数据流) 技术, 用于音频、视频、图形/图像数据处理, 使多媒体和通信处理能力得到了很大提高。

AMD 公司和 Cyrix 公司也分别推出了 K5 和 6X86 微处理器来对付“芯片巨人”。但是由于奔腾微处理器的性能最佳, 还是由 Intel 公司逐渐占据了大部分市场。

第六代 (1995—1999 年) 的加强型 Pentium 微处理器。

1995 年, Intel 公司推出了 Pentium Pro (高性能奔腾), 片内集成了 550 万个晶体管。具有 64 位数据线、36 位地址线, 时钟频率可达 300MHz。内部集成了 16KB 的一级 Cache 和 256/512KB 的二级 Cache。Pentium Pro 具有 3 个整数执行单元和 1 个浮点单元, 可以同时执行 3 条整数型指令。并采用指令乱序执行和寄存器重命名技术, 进一步提高指令执行的并行性。

1997 年 5 月, Intel 公司发布 Pentium II。Pentium II 集成了 750 万个晶体管, CPU 字长仍为 32 位, 内部 1 级代码和数据 Cache 增加为 16KB, 内部 2 级 Cache 仍为 256/512KB, 增加了 MMX 技术。

1999 年 2 月, Intel 公司发布 Pentium III 微处理器。Pentium III 在 Pentium II 的基础上进一步提高了性能, 集成了 950 万个晶体管, 时钟频率为 500MHz, 而 2000 年推出的 PIII 其时钟频率高达 1GHz, 并增加了 128 位的 SIMD (Single Instruction Multiple Data, 单指令多数据流) 寄存器和 72 条指令, 用于互联网流式 SIMD 扩展 SSE (Streaming SIMD Extensions), 内部 L1 级 Cache 达到 32KB, L2 级 Cache 为 512KB。

2000 年 11 月 21 日, 更为强大的 Pentium IV 处理器诞生, Pentium IV 基于 0.18 μ m 工艺技术, 集成了 4200 万个晶体管, 采用了 Intel 全新的 NetBurst 架构, 采用了超级流水线技术和快速执行引擎, 增强了浮点和多媒体单元。L1 级 Cache 还增加了 12KB 的执行跟踪 Cache, 系统总线速度达到 400MHz。Pentium IV 增加了由 144 条新指令组成的 SSE2, 提供 128 位 SIMD 整数算法操作和双精度浮点操作, 时钟频率达 1.3GHz。

2001 年 8 月, Intel Pentium IV 处理器时钟频率达 2GHz。

2002 年 11 月, Pentium IV 处理器的时钟频率达 3.06GHz, 并使用超线程 (HT) 技术, 可使微机性能提升 25%。

2003 年 6 月, 含超线程 (HT) 技术的 Intel Pentium IV 处理器的时钟频率达 3.2 GHz。

2004 年 6 月, 支持超线程 (HT) 技术的 Intel Pentium IV 处理器主频突破 3.4 GHz, 此后 Intel Pentium 4 处理器的主频被提高到 3.8GHz。

在这阶段 Intel 公司不断推出新一代的处理器, 其他公司也紧追不舍。应该感谢 AMD 公司一直不断努力, 力图超越自己和 CPU 巨人 Intel。正因为有了 AMD 和其他公司给予 Intel 强有力的挑战, CPU 才会如此快速地降低价格。

AMD 公司在同期推出的微处理器有: K6、K6-2 3D NOW、Athlon、Athlon XP 等。

2004 年, Intel 未能按计划发布 4GHz Pentium IV 处理器, 其根本原因是遭遇无法解决的功耗问题。从 1971 年开始, 第一款处理器 Intel 4004 问世, 主频 400kHz, 1994 年达到 100MHz, 2001 年突破 1GHz, 以后每年提高 1GHz。然而 2004 年未能超过 4GHz, 历时 33 年企图通过加快主频来提升处理器性能的路停在 4GHz 之下。从 20 世纪 90 年代初开始的, 以 Intel 公司和 AMD 公司为主角的 CPU 频率大战, 到此偃旗息鼓。此后, 各 CPU 开发公司, 不约而同地把处理器的发展转向 64 位处理器和多核处理器, 历史走到了转折点。



第六代后(2000年至今)的64位微处理器和多核处理器。

① 64位微处理器。

2003年4月,AMD公司发布世界上首款基于AMD64技术的64位微处理器AMD Opteron,Opteron面向服务器产品是同时支持32位计算的64位微处理器,它奠定了64位计算机发展史上的里程碑。同年9月AMD公司又发布面向PC用户的Athlon 64。这两款产品在内核上差异很小,均采用0.13 μm SOI(Silicon On Insulator)工艺制造,集成了1亿多个晶体管,主频为1.6GHz。由于AMD64架构完全兼容X86-32指令集,代表了微处理器的发展方向,一推出就得到了业界的广泛欢迎和青睐。Opteron和Athlon64的成功,使得AMD公司在和Intel公司30多年的竞争中首次战胜Intel,暂时取得了优势。

面对AMD公司的挑战,Intel公司也在2004年推出代号为Nocona的具有64位处理能力的Xeon(至强)微处理器,Nocona采用与AMD公司的64位微处理器相同的架构。

64位微处理器的竞争已经拉开了序幕,究竟那一种微处理器能代表未来的发展方向?在回顾微处理器发展历史的过程中,可以清楚地看到相互兼容的优势。在当前由32位向64位转折面前,计算机行业将面临新的机遇和挑战,走相互兼容的道路,将是人们明智的选择。

② 多核心微处理器。

多核心,也指单芯片多处理器(Chip Multi Processors, CMP)。CMP是由美国斯坦福大学提出的,其思想是将大规模并行处理器中的对称多处理器(Symmetrical MultiProcessing, SMP)集成到同一芯片内,各个处理器并行执行不同的进程。

多核微处理器已成为高性能通用处理器的发展主流。这个阶段多核微处理器的代表产品有:

IBM公司:Power4(2001年,双核)、Power5(2004年,双核)、Power6(2007年,双核)、Power7(2010年,8核)。

Intel公司:Montecito(2004年,双核)、SmithField(2005年,双核)、Conroe(2006年,双核)、Conroe i7(2008年,4核)、Tukwila(2010年,4核)。

AMD公司:Opteron(2004年,双核)、AMD双核速龙(2006年,双核),Shanghai(2008年,4核)、Istanbul(2009年,6核)、Magny-Cours(2010年,12核)。

虽然微处理器已经发展到多核心微处理器阶段,一方面它的发展远没有结束,我们必须清醒地认识到,多核的大众时代尚未到来。对于桌面应用,多核的大众化并不会很快变为现实。尽管利用并行CPU来提高软件总体性能的概念至少已经出现35年了,但是在开发工具方面,使这种方法进入商业市场的产品却非常少,可供程序员迅速开发程序的仍是单线程程序。不管你有一个处理器还是多个处理器,现今的大部分应用程序仍是单线程程序,性能增加不会很大。因此,多核技术的真正有效应用成为限制多核处理器在计算机上面普及的瓶颈。为了再一次提高性能和功能,还得等待计算机应用厂商对多核应用软件改写和投资,这个过程可能是漫长的。

1.1.2 单片机的发展

随着大规模集成电路技术的发展,可以将CPU、ROM、RAM、定时/计数器以及输入/输出(I/O)接口电路等主要计算机部件集成在一块集成电路芯片上。这样所组成的芯片级的微型计算机称为单片微型计算机(Single Chip Microcomputer),简称单片微机或单片机。虽然单片机只是一个芯片,但从组成和功能上看,它已具有了微机系统的含义。



单片机的出现是为满足控制领域应用的要求和各种控制要求而得到迅速发展的,例如 80C51、68HC05、68HC11 等系列单片机着重扩展了各种控制功能,如 A/D、PWM、PCA 计数器捕获/比较逻辑、高速 I/O 接口、WTD 等,已突破了微型计算机的传统内容。所以更准确地反映单片机本质的名称应是微控制器 (Microcontroller, MCU)。

目前,单片机在工业测控领域中占有重要地位。各电气厂商、家电行业、机电行业和测控企业都把单片机作为本部门产品更新换代、产品智能化的重要工具。正因为如此,各大电子器件和电气厂商均有自己的单片机系列产品。据不完全统计,目前全世界单片机的生产厂家有一百多家,能生产 60 多个系列、1000 多个型号的单片机产品。

1. 单片机的发展简史

自从 1974 年美国仙童 (Fairchild) 公司的第一台单片机问世以来,单片机的发展非常迅速,各种新型和高性能单片机不断推陈出新冲向市场。迄今已有 30 多年历史,大致经历了五个发展阶段。

第一阶段 (1971—1974 年): 单片机萌芽阶段。

1971 年 11 月美国 Intel 公司设计出集成度为 2300 只晶体管/片的 4 位微处理器 Intel 4004,并且配有随机存储器 RAM,只读存储器 ROM 和移位寄存器等芯片,构成第一台 MCS-4 微型计算机。随后又研制出 8 位微处理器 Intel 8008。在此期间 Fairchild 公司也研制出了 8 位微处理器 F8。这些微处理器虽说还不是单片机,但从此拉开了研制单片机的序幕。

第二阶段 (1974—1978 年): 初级单片机阶段。

1976 年 Intel 公司推出了 MCS-48 单片机,它将 8 位 CPU、并行 I/O 接口、8 位定时/计数器和 28 字节的 RAM 集成在一个芯片内。寻址范围不大于 4KB,且无串行接口。使用 NMOS 工艺。这个时期的单片机才是真正的 8 位单片微型计算机。它以体积小,功能全,低价位赢得了广泛的应用,为单片机的发展奠定了基础,成为单片机发展史上的重要里程碑。

第三阶段 (1978—1983 年): 高性能单片机阶段。

这一阶段单片机和前阶段相比,不仅存储容量和寻址范围大,而且中断源、并行 I/O 接口和定时/计数器个数有了增加,集成了全双工串行通信接口。在指令系统方面,普遍增设了乘除法和比较指令。这类单片机代表产品有 Intel 公司的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 MC6801 系列、Zilog 公司的 Z8 系列、TI 公司的 TMS7000 系列等。

于 1980 年推出的 MCS-51 单片机为发展具有良好兼容性的新一代微控制器奠定了良好的基础。在 8051 技术实现开放后,Philips、Atmel、Dallas 和 Siemens 等公司纷纷推出了基于 80C51 内核 (8051 的 CMOS 版本) 的微控制器。这些各具特色的产品能够满足大量嵌入式应用需求。基于 80C51 内核的微控制器并没有停止发展的脚步,例如现在 Maxim/Dallas 公司提供的 DS89C430 系列微控制器,其单周期指令速度已经提高到了 8051 的 12 倍。

此外,Rockwell、NS 和日本松下公司也先后生产了自己的单片机系列。由于这类单片机应用领域极其广泛,各大公司都大力改进其结构与性能。所以,这个时期的各类产品目前仍是国内外产品的主流。其中 MCS-51 系列产品由于其优良的性能价格比,有可能在相当长一段时间内仍处于主流产品地位。

第四阶段 (1983 年至今): 8 位单片机巩固发展及 16 位单片机推出阶段。

20 世纪 80 年代,世界各大公司均竞相研制出品种多、功能强的单片机,约有几十个系列,300 多个品种,此时的单片机均属于真正的单片化,大多集成了 CPU、RAM、ROM、数目繁多的 I/O 接口、多种中断系统,甚至还有一些带 A/D 转换器的单片机,功能越来越