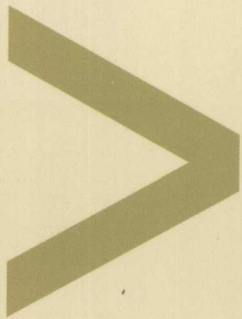




# 高性能混合信号 ARM——ADuC7xxx 原理与应用开发



■ 李 刚 王 焱 曾锐利 林 凌 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

# 高性能混合信号 ARM——ADuC7xxx

## 原理与应用开发

李 刚 王 焱 编著  
曾锐利 林 凌

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书介绍了美国 ADI 公司出品的高性能混合信号 ARM——ADuC7xxx 系列精密模拟微控制器。ADuC7xxx 兼有 ARM 微处理器的特长和 ADI 公司数据转换与信号调理技术优势,在测控系统、仪器仪表和机电一体化等领域有广泛的应用前景,其优势是其他微处理器望尘莫及的。

本书可以作为机电类和电子技术类本科生和研究生的教材和参考书,也可以作为电子工程师自学 ARM 的用书。

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

高性能混合信号 ARM——ADuC7xxx 原理与应用开发/李刚等编著. —北京:电子工业出版社,2009.4  
ISBN 978-7-121-08433-1

I. 高… II. 李… III. 微处理器,ARM—系统设计 IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 028541 号

责任编辑:张 榕 特约编辑:张荣琴

印 刷:北京东光印刷厂

装 订:三河市万和装订厂

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:787×1092 1/16 印张:21 字数:537.6 千字

印 次:2009 年 4 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:39.00 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。

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

服务热线:(010)88258888。

# 前 言

ARM (Advanced RISC Machines) 在微处理器与嵌入式行业内为人们所熟知,这是由于 ARM 相比于其他微处理器(或单片机)具有高性能、低成本和功耗低等一系列特点。而 ARM 本身的生产又独具特色,ARM 作为微处理器行业的一家知名企业,该企业只设计了多个系列高性能、廉价、耗能低的 RISC 处理器、相关技术及软件,而生产却由其他公司完成,ARM 将其技术授权给世界上许多著名的半导体、软件和 OEM 厂商,每个厂商得到的都是独一无二的 ARM 相关技术及服务,利用这种合作关系,ARM 很快成为许多全球性 RISC 标准的缔造者。

ADI (Analog Devices, Inc.) 作为业界广泛认可的数据转换和信号调理技术全球领先的供应商,拥有遍布世界各地的 60 000 客户,他们事实上代表了全部类型的电子设备制造商。ADI 公司作为高性能模拟集成电路(IC)制造商庆祝公司在此行业全球领先 40 多年,其产品广泛用于模拟信号和数字信号处理领域。

10 年前,ADI 公司将高精度 ADC 和 DAC 等模拟接口电路与 89C52 内核集成到一个芯片上,诞生了一个崭新的器件系列——ADuC8xx,并冠名为“微转换器”(MicroConverter)。在同时具备 89C52 和 ADI 所擅长的数据转换和信号调理技术优势的同时,ADuC8xx 系列还独具在线编程、调试等特点,在工业测控、仪器仪表和各种嵌入式系统中得到了广泛的应用。

现在,ADI 公司又被授权生产 ARM 微处理器,研制出性能远远超出 ADuC8xx 的又一个崭新系列微处理器——ADuC7xxx 系列。青出于蓝而胜于蓝,在具备 ADuC8xx 众多突出优点的同时,ADuC7xxx 系列在速度、功耗、ADC 的精度与速度等更胜一筹,还增加了可编程门阵列等新外设和功能,在测控、机电一体化等领域必将大展宏图,因此,ADuC7xxx 系列又被称为“精密模拟微控制器”。作者从事单片机与微处理器的教学和科研有 20 多年,对 ADuC7xxx 系列微处理器情有独钟,把它作为主流器件介绍给学生们和在科研中应用,取得了很好的效果。

好的东西总是希望与大家分享,因此,我们把自己近年来的一些体会,再搜集了一些资料,编写出本书,希望能够给大家一些帮助,在科研和新产品开发上多一个利器。

参加本书编写的有:刘玉良、卢宗武、高剑明、王慧敏、王慧泉、赵喆、张丽君、李娜等。此外,本书的编写还参考了大量的资料,对这些资料的作者表示衷心的感谢。在本书的编写过程中得到 ADI 公司、IAR 公司的大力支持,电子工业出版社的张榕同志也给予了热情的支持与帮助,作者借此机会向他们表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有这样或那样的错误,希望能够得到读者的指教,以便我们共同做好 ADuC7xxx 系列 ARM 的开发和应用。

作者

# 目 录

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 第1章 概述 .....               | (1)  |
| 1.1 计算机的历史 .....           | (1)  |
| 1.2 计算机的应用 .....           | (3)  |
| 1.3 计算机的发展 .....           | (5)  |
| 1.4 单片微型计算机概述 .....        | (6)  |
| 1.5 ARM 简介 .....           | (8)  |
| 1.5.1 ARM 的产品系列 .....      | (8)  |
| 1.5.2 ARM 微处理器的应用选型 .....  | (9)  |
| 1.5.3 ADuC702x 的主要特点 ..... | (10) |
| 第2章 计算机的组成与数据格式 .....      | (11) |
| 2.1 计算机的硬件系统 .....         | (11) |
| 2.2 计算机的软件系统 .....         | (13) |
| 2.3 计算机的相关术语 .....         | (14) |
| 2.4 计算机的性能评测 .....         | (15) |
| 2.5 数制与运算 .....            | (16) |
| 2.5.1 数制的基本概念 .....        | (16) |
| 2.5.2 数制之间的转换 .....        | (17) |
| 2.5.3 各种信息在计算机内的表示 .....   | (17) |
| 2.5.4 计算机的运算基础 .....       | (21) |
| 第3章 ARM7TDMI 内核 .....      | (23) |
| 3.1 结构、功能与信号 .....         | (24) |
| 3.2 编程模式 .....             | (27) |
| 3.3 操作模式选择 .....           | (28) |
| 3.4 寄存器 .....              | (29) |
| 3.5 异常 .....               | (31) |
| 3.5.1 FIQ .....            | (31) |
| 3.5.2 IRQ .....            | (31) |
| 3.5.3 异常中断 .....           | (31) |
| 3.5.4 软件中断 .....           | (32) |

|                                |                                     |      |
|--------------------------------|-------------------------------------|------|
| 3.5.5                          | 无定义的指令陷阱 .....                      | (32) |
| 3.5.6                          | 向量总结 .....                          | (33) |
| 3.5.7                          | 异常优先级 .....                         | (33) |
| 3.5.8                          | 中断响应时间 .....                        | (34) |
| 3.6                            | 复位 .....                            | (34) |
| 第4章 ADuC702x 系列的概况与存储器结构 ..... |                                     | (35) |
| 4.1                            | ADuC702x 系列的主要型号 .....              | (36) |
| 4.2                            | ADuC702x 系列的封装与引脚 .....             | (36) |
| 4.3                            | 存储器结构 .....                         | (50) |
| 4.3.1                          | Flash/EE 存储器 .....                  | (51) |
| 4.3.2                          | SRAM .....                          | (51) |
| 4.3.3                          | 存储器映像寄存器 .....                      | (51) |
| 4.4                            | 非易失性 Flash/EE 存储器 .....             | (58) |
| 4.4.1                          | Flash/EE 存储器的可靠性 .....              | (58) |
| 4.4.2                          | Flash/EE 存储器的编程 .....               | (58) |
| 4.5                            | 从 SRAM 和 Flash/EE 存储器中执行程序的耗时 ..... | (62) |
| 4.6                            | 复位与存储器重新映射 .....                    | (63) |
| 4.7                            | 外部存储器接口 .....                       | (65) |
| 第5章 数字外设与接口 .....              |                                     | (69) |
| 5.1                            | PWM .....                           | (69) |
| 5.1.1                          | 40 根引脚封装器件 .....                    | (70) |
| 5.1.2                          | PWM 模块的说明 .....                     | (70) |
| 5.1.3                          | 输出控制单元 .....                        | (74) |
| 5.1.4                          | 门控驱动单元 .....                        | (76) |
| 5.1.5                          | 关闭 PWM 系统 .....                     | (76) |
| 5.1.6                          | PWM 系统的存储器映像寄存器 .....               | (77) |
| 5.2                            | GPIO(通用 I/O 口) .....                | (79) |
| 5.3                            | 串口多路器 .....                         | (83) |
| 5.3.1                          | UART 串口 .....                       | (83) |
| 5.3.2                          | 可网络寻址的 UART 模式 .....                | (89) |
| 5.4                            | SPI 串口 .....                        | (90) |
| 5.5                            | I <sup>2</sup> C 兼容接口 .....         | (93) |
| 5.5.1                          | I <sup>2</sup> C 串口时钟的产生 .....      | (94) |
| 5.5.2                          | 从机地址 .....                          | (94) |
| 5.5.3                          | I <sup>2</sup> C 串口寄存器 .....        | (94) |

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| 5.6 可编程逻辑门阵列(PLA)                | (99)         |
| <b>第6章 模拟外设与接口</b>               | <b>(105)</b> |
| 6.1 ADC(模-数转换器)                  | (105)        |
| 6.1.1 转移函数                       | (105)        |
| 6.1.2 典型操作                       | (106)        |
| 6.1.3 MMR 接口                     | (108)        |
| 6.1.4 转换操作                       | (112)        |
| 6.1.5 驱动模拟输入端                    | (114)        |
| 6.1.6 校准                         | (115)        |
| 6.1.7 温度传感器                      | (115)        |
| 6.1.8 能隙参考电源                     | (116)        |
| 6.2 DAC(数-模转换器)                  | (116)        |
| 6.3 电源监视器(PSM)                   | (118)        |
| 6.4 比较器                          | (119)        |
| 6.4.1 迟滞性                        | (119)        |
| 6.4.2 比较器接口                      | (119)        |
| <b>第7章 定时、中断及其他控制逻辑</b>          | <b>(121)</b> |
| 7.1 时钟系统                         | (121)        |
| 7.1.1 外部石英晶体振荡器                  | (121)        |
| 7.1.2 外部时钟的选择                    | (122)        |
| 7.2 功耗控制                         | (122)        |
| 7.3 定时器                          | (125)        |
| 7.3.1 定时器0(RTOS 定时器)             | (125)        |
| 7.3.2 定时器1(通用定时器)                | (126)        |
| 7.3.3 定时器2(闹钟定时器)                | (128)        |
| 7.3.4 定时器3(看门狗定时器)               | (130)        |
| 7.4 外部内存接口                       | (132)        |
| 7.5 中断系统                         | (136)        |
| 7.5.1 IRQ                        | (137)        |
| 7.5.2 FIQ                        | (138)        |
| 7.5.3 可编程中断                      | (139)        |
| <b>第8章 硬件系统设计</b>                | <b>(140)</b> |
| 8.1 电源                           | (140)        |
| 8.1.1 IOV <sub>DD</sub> 供电电源的灵敏度 | (141)        |
| 8.1.2 线性稳压电源                     | (141)        |
| 8.1.3 接地和PCB各层的布置                | (142)        |

|        |                                                        |       |
|--------|--------------------------------------------------------|-------|
| 8.2    | 时钟振荡器 .....                                            | (143) |
| 8.3    | 上电复位操作 .....                                           | (144) |
| 8.4    | 硬件系统的典型设计 .....                                        | (144) |
| 第9章    | ADuC702x 的开发工具 .....                                   | (146) |
| 9.1    | 概述 .....                                               | (146) |
| 9.2    | EWARM 集成开发环境及其配套仿真器 .....                              | (147) |
| 9.2.1  | EWARM 简介 .....                                         | (147) |
| 9.2.2  | 在 EWARM 中生成一个新项目 .....                                 | (154) |
| 9.2.3  | 程序的编译和连接 .....                                         | (156) |
| 9.2.4  | 用 C-SPY 调试应用程序 .....                                   | (159) |
| 9.2.5  | EWARM Flash Loader 开发指南 .....                          | (165) |
| 9.3    | ARM ADS 集成开发环境 .....                                   | (172) |
| 9.3.1  | 命令行开发工具 .....                                          | (172) |
| 9.3.2  | ARM 运行时库 .....                                         | (182) |
| 9.3.3  | GUI 开发环境( CodeWarrior 和 AXD) .....                     | (184) |
| 9.3.4  | 实用程序 .....                                             | (186) |
| 9.3.5  | ADS 支持的软件 .....                                        | (187) |
| 9.3.6  | 使用 ADS 创建工程 .....                                      | (187) |
| 9.3.7  | 使用命令行工具编译应用程序 .....                                    | (194) |
| 9.3.8  | 用 AXD 进行代码调试 .....                                     | (195) |
| 第10章   | ADuC702x 的应用实例 .....                                   | (199) |
| 10.1   | 微型 12 导心电图机 .....                                      | (199) |
| 10.1.1 | 硬件设计 .....                                             | (199) |
| 10.1.2 | 心电图机嵌入式系统的软件开发 .....                                   | (208) |
| 10.1.3 | 心电图机 PC 辅助软件的开发 .....                                  | (215) |
| 10.1.4 | 心电信号的数据处理 .....                                        | (220) |
| 10.2   | $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 的移植 .....          | (225) |
| 10.2.1 | $\mu\text{C}/\text{OS} - \text{II}$ 到 ARM7 内核的移植 ..... | (225) |
| 10.2.2 | ADuC7026 针对移植的特殊设计 .....                               | (226) |
| 10.2.3 | 移植的测试和实现 .....                                         | (229) |
| 10.3   | 基于 ADuC7026 与 RTI8019AS 的网络数据采集系统 .....                | (230) |
| 10.3.1 | 系统硬件设计 .....                                           | (230) |
| 10.3.2 | 软件设计 .....                                             | (231) |
| 10.3.3 | 验证方法及结论 .....                                          | (233) |
| 10.4   | 多通道 IP 电参数测量仪 .....                                    | (233) |
| 10.4.1 | 硬件部分 .....                                             | (233) |
| 10.4.2 | 软件部分 .....                                             | (235) |

|                           |                       |       |
|---------------------------|-----------------------|-------|
| 10.4.3                    | 实验数据                  | (237) |
| 10.4.4                    | 小结                    | (237) |
| 附录 A ARM7TDMI( -S) 指令集及编程 |                       | (238) |
| A.1                       | ARM 处理器寻址方式           | (239) |
| A.1.1                     | 寄存器寻址                 | (239) |
| A.1.2                     | 立即寻址                  | (239) |
| A.1.3                     | 寄存器偏移寻址               | (240) |
| A.1.4                     | 寄存器间接寻址               | (240) |
| A.1.5                     | 基址寻址                  | (240) |
| A.1.6                     | 多寄存器寻址                | (241) |
| A.1.7                     | 堆栈寻址                  | (241) |
| A.1.8                     | 块复制寻址                 | (241) |
| A.1.9                     | 相对寻址                  | (242) |
| A.2                       | ARM 指令集               | (242) |
| A.2.1                     | 指令格式                  | (242) |
| A.2.2                     | ARM 存储器访问指令           | (244) |
| A.2.3                     | ARM 数据处理指令            | (250) |
| A.2.4                     | ARM 跳转指令              | (256) |
| A.2.5                     | ARM 协处理器指令            | (256) |
| A.2.6                     | ARM 杂项指令              | (259) |
| A.2.7                     | ARM 伪指令               | (261) |
| A.3                       | Thumb 指令集             | (264) |
| A.3.1                     | Thumb 指令集与 ARM 指令集的区别 | (264) |
| A.3.2                     | Thumb 存储器访问指令         | (264) |
| A.3.3                     | Thumb 数据处理指令          | (268) |
| A.4                       | 伪指令                   | (278) |
| A.4.1                     | 符号定义伪指令               | (278) |
| A.4.2                     | 数据定义伪指令               | (281) |
| A.4.3                     | 报告伪指令                 | (286) |
| A.4.4                     | 汇编控制伪指令               | (288) |
| A.4.5                     | 杂项伪指令                 | (290) |
| A.4.6                     | ARM 伪指令               | (296) |
| A.4.7                     | Thumb 伪指令             | (297) |
| A.5                       | ARM 汇编程序设计            | (297) |
| A.5.1                     | 文件格式                  | (297) |
| A.5.2                     | ARM 汇编的一些规范           | (298) |
| A.5.3                     | 子程序的调用                | (301) |
| A.5.4                     | 数据比较跳转                | (302) |

|        |                      |       |
|--------|----------------------|-------|
| A.5.5  | 循环                   | (302) |
| A.5.6  | 数据块复制                | (303) |
| A.5.7  | 栈操作                  | (303) |
| A.5.8  | 特殊寄存器定义及应用           | (303) |
| A.5.9  | 查表操作                 | (304) |
| A.5.10 | 长跳转                  | (304) |
| A.5.11 | 对信号量的支持              | (304) |
| A.5.12 | 伪指令使用                | (304) |
| A.5.13 | 一个完整的例子              | (305) |
| A.5.14 | 外设控制                 | (305) |
| A.5.15 | 三级流水线介绍              | (305) |
| A.6    | C 与汇编混合编程            | (306) |
| A.6.1  | 内嵌汇编                 | (306) |
| A.6.2  | 内嵌汇编的指令用法            | (308) |
| A.6.3  | 内嵌汇编器与 armasm 汇编器的差异 | (309) |
| A.6.4  | 内嵌汇编注意事项             | (309) |
| A.6.5  | 访问全局变量               | (310) |
| A.6.6  | C 程序与汇编程序相互调用        | (311) |
| A.6.7  | C 程序调用汇编程序           | (312) |
| A.6.8  | 汇编程序调用 C 程序          | (313) |
| A.7    | ARM 指令集列表            | (314) |
| A.8    | Thumb 指令集列表          | (316) |
| A.9    | 汇编预定义变量及伪指令          | (318) |
| A.9.1  | 预定义的寄存器和协处理器名        | (318) |
| A.9.2  | 内置变量列表               | (319) |
| A.9.3  | CPSR 和 SPSR 分配图      | (323) |
| 参考文献   |                      | (324) |

# 第1章 概述

## 1.1 计算机的历史

电子数字计算机是20世纪最重大的科技成就之一。1946年由美国宾夕法尼亚大学设计制造的ENIAC电子计算机问世,同年,贝尔实验室的Schockley博士发明了被誉为“20世纪最伟大发明”的晶体管。在这场改变人类生存方式的变革中,CPU以其作为计算机“大脑”和“心脏”这一核心地位而始终处于变革风暴的前沿,计算机得到迅速发展,并已广泛应用于工农业生产、科学研究、国防及人们日常工作和生活的各个领域。伴随着人类进入21世纪,以高科技为支撑的信息化社会已经到来,以“信息”为主导的新兴产业正在全球经济领域掀起一场空前的革命。信息高速公路初见端倪,信息技术在近半个世纪内以令人炫目的速度繁衍、演化着。“知识”是这场革命的直接推动力,而计算机及其应用技术则是知识经济的基础,掌握计算机知识和应用能力的多少,已成为衡量现代人文化水平高低的一个重要标志。随着信息化时代的到来,计算机技术的进一步发展和应用必将对社会发展和人类文明产生更大的促进作用,对社会政治、经济、文化和人类生活的各个方面产生巨大而深远的影响。

1946年,美籍匈牙利科学家冯·诺依曼就提出了计算机体系结构设计的一些思想,包含3个基本要点:

- (1) 采用二进制数的形式表示指令和数据;
- (2) 将指令序列和数据预先存入计算机的存储器中;程序执行时,能自动、连续地从存储器中逐一地取出指令并执行;
- (3) 计算机硬件由5部分组成。

按照这种思想设计的计算机称为冯·诺依曼型计算机,其工作原理的核心是“存储程序”和“程序控制”,即“集中顺序控制”。现代电子计算机的构造均为冯·诺依曼结构,即由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备5大部分组成;数据和程序以二进制代码的形式不加区别地存放在存储器中,存放位置由地址指定,地址码也是二进制形式;控制器根据存放在存储器中的指令序列(即程序)工作,并由一个程序计数器(PC)控制指令的执行。控制器具有判断能力,能够根据计算结果选择不同的动作流程。

微型计算机通常包含如下几种类型。

单片微型计算机:一种把微处理器、半导体存储器、I/O接口和中断系统集成在同一块芯片上的有完整功能的微型计算机,这块芯片就是它的硬件,软件程序就存放在片内只读存储器内。其实,单片机很难和被控对象直接进行电气连接,故在实际应用中单片机总要通过这样和那样的芯片和被控对象相连。单片微型计算机具有体积小、重量轻、价格低和可靠性好等许多优点,常在家用电器、智能仪器仪表和工业控制领域中应用。

**单板微型计算机:**一种把微处理器、半导体存储器、I/O 接口和中断电路等芯片集装在一块印制电路板上的微型计算机。在这块印制电路板上,通常还装有简易键盘和发光二极管,只读存储器中还固化有容量不大的监控程序。单板微型计算机具有单片机类似的优点,常做成专用的过程控制机投放市场。

**多板微型计算机:**顾名思义,是一种把构成微型计算机的功能部件分别组装在多块印制电路板上,并通过同一机箱内的总线插槽连成一体微型计算机。这种多板结构的微型计算机功能很强,常常可以通过选用不同的印制电路板插件板达到不同场合使用的目的。

在推动计算机发展的诸多因素中,电子器件的发展是最活跃的因素。根据使用的基本电子器件,计算机经历了 4 个阶段。

**第一代(1945 年—1958 年):**电子管计算机。采用水银延迟线作为内存,磁鼓作为外存。体积大、耗电多、运算速度慢。最初只能使用二进制表示的机器语言,到 20 世纪 50 年代中期才出现汇编语言。这个时期,计算机主要用于科学计算和军事方面,应用很不普遍。

**第二代(1958 年—1964 年):**晶体管计算机。内存主要采用磁芯,外存大量采用磁盘,输入/输出设备有了较大改进。体积显著减小、可靠性提高、运算速度可达每秒百万次。软件方面出现了高级程序设计语言和编译系统。计算机开始广泛应用于以管理为目的的信息处理。

**第三代(1964 年—1971 年):**固体组件计算机。主要采用中、小规模集成电路。运算速度达每秒千万次,可靠性大大提高,体积进一步缩小,价格大大降低。软件方面进步很大,有了操作系统,开展了计算机语言的标准化工作并提出了结构化程序设计方法,出现了计算机网络。计算机应用开始向社会化发展,其应用领域和普及程度迅速扩大。

**第四代(1971 年至今):**大规模集成电路计算机。大规模集成电路的出现使计算机发生了巨大的变化,特别是出现了微处理器,从而推出了微型计算机。微型计算机的出现和发展是计算机发展史上的重大事件,使计算机在存储容量、运算速度、可靠性和性能价格比等方面都比上一代计算机有了较大突破。各种系统软件、应用软件大量推出,功能配置空前完善,充分发挥了计算机的功能,把计算机的发展和应用带入了一个全新的时代,计算机已经应用到几乎所有的领域,成为人类社会活动中不可缺少的工具。

1965 年,摩尔经统计发现,集成电路内芯片的晶体管数目,几乎每隔 18 个月到 24 个月,其集成度就要翻一番。这条未经严格证明但又千真万确的“金科玉律”,经过近 30 年的检验,始终表现出令人惊异的准确性。

微型计算机的发展过程,也就是微处理器的发展过程,自 1971 年第一个微处理器出现以来,微处理器的发展已经经历了 4 代,目前正处在第 5 代微处理器发展阶段,每一代的性能都提高了近一个数量级。几乎每两年就有一个质的变化,目前仍在向多功能、多媒体方向发展。微处理机一经问世,就以体积小、重量轻、价格低廉、可靠性高、结构灵活、适应性强和应用面广等一系列优点占领世界计算机市场,并得到广泛应用,成为现代社会不可缺少的主要工具。

1971 年—1973 年为第一代微处理器,代表产品为 Intel 4004 和 Intel 8008。前者为 4 位机,后者为 8 位机。集成度约为 2000 等效晶体管/片,时钟频率为 1MHz,指令周期为 20 $\mu$ s。

1973 年—1975 年为第二代微处理器,代表产品为 Intel 8080、M6800,字长为 8 位,集成度为 5000 管/片,时钟频率为 2MHz,指令周期为 2 $\mu$ s。

1975年—1977年为第三代微处理器,代表产品为 Intel 8085、M6802,字长为8位,集成度为1万管/片,时钟频率为2.5~5MHz,指令周期小于1 $\mu$ s。

1978年—1980年为第四代微处理器,代表产品为 Intel 8086、M6809,字长为16位,集成度为3万管/片,时钟频率为5MHz,指令周期小于0.5 $\mu$ s。

1980年之后为第5代微处理器,代表产品有 80286、Motorola 68010 等,字长为16位,集成度达10万管/片,时钟频率为10MHz,指令周期约为0.2 $\mu$ s。1983年之后又出现了 Intel 80386、Motorola 68020 等微处理器,字长为32位,时钟频率为16MHz以上,集成度高达15~50万管/片,指令周期为0.1 $\mu$ s。其后又出现了 Intel 80486 系列,集成度达数百万管/片以上,时钟频率高达上千兆赫兹,指令周期只有几十纳秒。在这些处理器的芯片上已经包含大容量的高速缓冲存储器,原来属于大型机的存储管理技术已经移植到芯片上。

Intel 公司于1996年推出了新 x86 系列 CPU——Pentium Pro。Pentium Pro 芯片内部集成了550万个晶体管,内部时钟频率为133MHz。1996年底 Intel 公司又推出了 Pentium 系列的改进版本,也就是平常所说的 Pentium MMX(多能奔腾)。MMX 技术是 Intel 最新发明的一项多媒体增强指令集技术,它的英文全称可以翻译成“多媒体扩展指令集”。

1997年5月,Intel 推出了与 Pentium Pro 同一个档次的 Pentium II。Pentium II 有一系列的不同档次的产品,其中第一代的产品就是 Pentium II Klamath 芯片。作为 Pentium II 的第一代芯片,它运行在66MHz总线上,主频分233MHz、266MHz、300MHz和333MHz4种。由于它代表了 Pentium 系列机当时的最高性能,所以将其称为二代奔腾 Pentium。

应该把 Pentium III 称为“多能奔腾二代处理机”(Pentium II Processor with MMX2 Technology)。Intel 公司于1999年2月发布了 Pentium III 芯片——Katmai,作为第一款专为提高用户的互联网计算体验而设计的微处理机,使用户能够尽享丰富的音频、视频、动画和栩栩如生的三维效果。针对不同需求,Pentium III 推出了移动 Pentium III 和 Pentium III Xeon(至强)处理机。

Pentium 4 是 Intel 新一代高性能32位微处理机,在体系结构上,Pentium 4 完全不同于它的前辈机 Pentium II 和 Pentium III。Pentium II 和 Pentium III 采用的是与 Pentium Pro 相同的 P6 结构形式,而 Pentium 4 采用的则是 Net Burst 的新式处理机结构。采用 Net Burst 机构是为了加快以突发方式传送数据速度,如流媒体、MP3 播放程序和视频压缩程序等的传送速度。专家们指出“该设计意味着从传统整数运算性能(如标准的商业应用程序)向媒体运算性能变迁的重大革新”。但是 Net Burst 仍然是由开发 P6 的原班人马完成的。

## 1.2 计算机的应用

计算机的应用形式和应用领域千变万化、日新月异,已深入到人类社会生活中的各个领域,从国防技术、航空航天技术、核能技术、管理科学系统、科学研究、工业设计和仿真、生产过程控制、多媒体与信息高速公路技术、文化教育、医疗等,到智能仪表、家用电器等,无一不是计算机信息处理与控制的应用领域。按照计算机应用的性质和形式,可分为数值计算、数据处理(包括办公自动化、数据库应用系统)、生产自动化(包括过程控制、计算机辅助系统——如计算机辅助设计 CAD、辅助制造 CAM、辅助测试 CAT、辅助工程 CAE、计算机集成制造系统 CIMS 等)、计算机模拟、人工智能、计算机网络应用、远程教育等。

### 1. 科学计算(或数值计算)

科学计算是指利用计算机来完成科学研究和工程技术中提出的数学问题的计算。在现代科学技术工作中,科学计算问题是大量的和复杂的。利用计算机的高速计算、大存储容量和连续运算的能力,可以实现人工无法解决的各种科学计算问题。

### 2. 数据处理(或信息处理)

数据处理是指对各种数据进行收集、存储、整理、分类、统计、加工、利用、传播等一系列活动的统称。据统计,80%以上的计算机主要用于数据处理,这类工作量面宽,决定了计算机应用的主导方向。数据处理从简单到复杂已经历了三个发展阶段:①电子数据处理(Electronic Data Processing, EDP),它是以文件系统为手段,实现一个部门内的单项管理;②管理信息系统(Management Information System, MIS),它是以数据库技术为工具,实现一个部门的全面管理,以提高工作效率;③决策支持系统(Decision Support System, DSS),它是以数据库、模型库和方法库为基础,帮助管理决策者提高决策水平,改善运营策略的正确性与有效性。

目前,数据处理已广泛地应用于办公自动化、企事业计算机辅助管理与决策、情报检索、图书管理、电影电视动画设计、会计电算化等各行各业。信息正在形成独立的产业,多媒体技术使信息展现在人们面前的不仅是数字和文字,也有声情并茂的声音和图像信息。

### 3. 辅助技术(或计算机辅助设计与制造)

(1) 计算机辅助设计(Computer Aided Design, 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。它已广泛地应用于飞机、汽车、机械、电子、建筑和轻工等领域。在电子计算机的设计过程中,利用 CAD 技术进行体系结构模拟、逻辑模拟、插件划分、自动布线等,从而大大提高了设计工作的自动化程度与设计速度,提高设计质量。

(2) 计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)。计算机辅助制造是利用计算机系统对生产设备的管理、控制和操作的过程。在产品的制造过程中,用计算机控制机器的运行,处理生产过程中所需的数据,控制和处理材料的流动以及对产品进行检测等。使用 CAM 技术可以提高产品质量,降低成本,缩短生产周期,提高生产率和改善劳动条件。

将 CAD、CAM 技术集成,实现设计生产自动化,这种技术被称为计算机集成制造系统(CIMS)。它的实现将真正做到无人化工厂(或车间)。

(3) 计算机辅助教学(Computer Aided Instruction, CAI)。计算机辅助教学是利用计算机系统使用课件来进行教学。课件可以用著作工具或高级语言来开发制作,它能引导学生循序渐进地学习,使学生轻松自如地从课件中学到所需要的知识。CAI 的主要特色是交互教育、个别指导和因人施教。

### 4. 过程控制(或实时控制)

过程控制是利用计算机及时采集检测数据,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

制的及时性和准确性,从而改善劳动条件、提高产品质量及合格率。计算机过程控制已在机械、冶金、石油、化工、纺织、水电、航天等部门得到广泛的应用。

### 5. 人工智能(或智能模拟)

人工智能(Artificial Intelligence)是计算机模拟人类的智能活动,如感知、判断、理解、学习、问题求解和图像识别等。现在人工智能的研究已取得不少成果,有些已开始走向实用阶段。例如,能模拟高水平医学专家进行疾病诊疗的专家系统,具有一定思维能力的智能机器人等。

### 6. 网络应用

计算机技术与现代通信技术的结合构成了计算机网络。计算机网络的建立,不仅解决了一个单位、一个地区、一个国家中计算机与计算机之间的通信,而且因各种软、硬件资源的共享,故也大大促进了国际间的文字、图像、视频和声音等各类数据的传输与处理。

## 1.3 计算机的发展

当今计算机的发展趋势主要有以下几方面。

(1) 高性能。计算机的性能越来越高,速度越来越快,主要表现在计算机的主频越来越高。集成电路的发展从 VLSI 开始进入 ULSI,即特大规模集成电路时期,而且由于 RISC 技术的成熟与普及,CPU 性能年增长率由 20 世纪 80 年代的 35% 发展到 20 世纪 90 年代的 60%。到后来出现奔腾系列,不仅是芯片频率的提高,而且是计算机整体性能的提高,器件速度通过发明新器件(如量子器件等),采用纳米工艺、片上系统等技术还可以提高几个数量级。

(2) 两极化。即巨型计算机和微型计算机,前者代表着计算机科学技术的发展水平,主要应用于大型领域如国防尖端技术、航空航天技术等。后者则反映了计算机的应用普及程度。多媒体技术是当前微型计算机研究的热点,并行处理则是巨型计算机的核心技术。

(3) 多媒体技术。多媒体技术是将数值、文字、声音、图形、图像、视频等多种媒体信息进行综合处理的技术,是当前微型计算机研究和开发的热点,其中的关键技术是音频和视频数据的压缩与解压缩、多媒体数据的通信传输,以及各种媒体信息设备的接口技术。

(4) 人性化。目前计算机“思维”的方式与人类思维方式有很大区别,人机之间的距离还不小。人类还很难以自然的方式,如语言、手势、表情与计算机打交道,计算机难用已成为阻碍计算机进一步普及的巨大障碍。随着 Internet 的普及,普通老百姓使用计算机的需求日益增长,这种强烈需求将大大促进计算机智能化方向的研究。近几年来计算机识别文字(包括印刷体、手写体)和口语的技术已有较大提高,已初步达到商品化水平,估计 5~10 年内手写和口语输入将逐步成为主流的输入方式。手势(特别是哑语手势)和脸部表情识别也已取得较大进展。使人沉浸在计算机世界的虚拟现实(Virtual Reality)技术是近几年来发展较快的技术,21 世纪将更加迅速地发展。

(5) 网络化。网络技术是计算机技术与通信技术的结合,是今后计算机应用的主流。Internet 的迅速发展及广泛应用,使人类进入了信息化时代,信息的快速获取和共享已成为影响经济发展与社会进步的重要因素之一。

(6) 智能化。应用人工智能技术,使计算机模仿人的推理、思维、联想、学习等功能,并具有声音识别、图像识别能力,在某种程度上具备人的智能,这种智能计算机是未来计算机发展的总方向。

(7) 非冯·诺依曼体系结构的计算机是现代计算机技术研究的另一个焦点。冯·诺依曼体系结构的“存储程序和程序控制”原理表现为“集中顺序控制”这一串行机制,已成为从根本上限制计算机性能提高的障碍。要从根本上提高计算机性能,就必须突破冯·诺依曼体系结构的限制,方法之一就是采用并行处理技术,研究方向即为新一代计算机,如神经网络计算机、生物计算机、光子计算机等。未来的计算机将向高性能、人性化、网络化三个方向发展。

## 1.4 单片微型计算机概述

单片微型计算机是微型计算机的一个重要分支,也是一种非常活跃和颇具生命力的机种。单片微型计算机简称单片机,特别适用于控制领域,故又称为微控制器。通常,单片机由单块集成电路芯片构成,内部包含有计算机的基本功能部件:中央处理器 CPU、存储器和 I/O 接口电路等。单片机只需要和适当的软件及外部设备相结合,便成为一个单片机控制系统。

1974 年,美国仙童公司研制出世界上第一台单片微型计算机 F8,该机由两块集成电路芯片组成,结构奇特,具有与众不同的指令系统,深受民用电器和仪器仪表领域的欢迎和重视,从此,单片机开始迅速发展,应用范围也在不断扩大,现在已经成为微型计算机的重要分支。

如果将 8 位单片机的推出作为起点,那么单片机的发展历史大致可分为以下几个阶段。

(1) 第一阶段(1971 年—1978 年):单片机的探索阶段。以 Intel 公司的 MCS-48 为代表。MCS-48 的推出是由于工控领域的探索,参与这一探索的公司还有 Motorola、Zilog 等,都取得了满意的效果。这就是 SCM 的诞生年代,“单片机”一词即由此而来。

(2) 第二阶段(1978 年—1982 年):单片机的完善阶段。Intel 公司在 MCS-48 基础上推出了完善的、典型的单片机系列 MCS-51。它在以下几个方面奠定了典型的通用总线型单片机体系结构。①完善的外部总线。MCS-51 设置了经典的 8 位单片机的总线结构,包括 8 位数据总线、16 位地址总线、控制总线及具有很多通信功能的串行通信接口。②CPU 外围功能单元的集中管理模式。③体现工控特性的位地址空间及位操作方式。④指令系统趋于丰富和完善,并且增加了许多突出控制功能的指令。

(3) 第三阶段(1982 年—1990 年):8 位单片机的巩固发展及 16 位单片机的推出阶段,也是单片机向微控制器发展的阶段。Intel 公司推出的 MCS-96 系列单片机,将一些用于测控系统的模—数转换器、程序运行监视器、脉宽调制器等纳入片中,体现了单片机的微控制器特征。

(4) 第四阶段(1990 年至今):微控制器的全面发展阶段。随着单片机在各个领域全面深入地发展和应用,出现了高速、大寻址范围、强运算能力的 8 位/16 位/32 位通用型单片机,以及小型廉价的专用型单片机。

目前,单片机正朝着高性能和多品种方向发展,主要趋势将是进一步实现 CMOS 化、低功耗、小体积、大容量、高性能、低价格、外围电路内装化和串行扩展技术等几个方面。下面是单片机发展趋势的详细介绍。

**CMOS化:**近年,由于CMOS技术的进步,大大地促进了单片机的CMOS化。CMOS芯片除了低功耗特性之外,还具有功耗的可控性,使单片机可以工作在功耗精细管理状态。这也是今后以80C51取代8051为标准MCU芯片的原因。因为单片机芯片多数是采用CMOS(金属栅氧化物)半导体工艺生产,CMOS电路的特点是低功耗、高密度、低速度、低价格,它的综合优势已优于TTL电路。因而,在单片机领域CMOS正在逐渐取代TTL电路。

**低功耗化:**单片机的功耗已从mA级,降至 $1\mu\text{A}$ 以下;使用电压为3~6V,完全适应电池工作。低功耗化的效应不仅功耗低,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。

**低电压化:**几乎所有的单片机都有WAIT、STOP等省电运行方式。允许使用的电压范围越来越宽,一般在3~6V范围内工作,低电压供电的单片机电源下限已可达1~2V。目前0.8V供电的单片机已经问世。这些特点便于生产便携式产品。

**低噪声与高可靠性:**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,各单片厂家在单片机内部电路中都采用了新的技术措施。

**大容量化:**以往单片机内的ROM为1~4KB, RAM为64~256B。但在需要复杂控制的场合,该存储容量是不够的,必须进行外接扩充。为了适应这种领域的要求,须运用新的工艺,使片内存储器大容量化。目前,单片机内ROM可达64KB甚至更高, RAM最大为2KB。

**高性能化:**主要是指进一步改进CPU的性能,加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性。采用精简指令集(RISC)结构和流水线技术,可以大幅度提高运行速度,并加强位处理功能、中断和定时控制功能。这类单片机的运算速度比标准的单片机高出10倍以上。由于这类单片机有极高的指令速度,就可以用软件模拟其I/O功能,由此引入了虚拟外设的新概念。

**小容量、低价格化:**以4位、8位机为中心的小容量、低价格化也是发展动向之一。这类单片机的用途是把以往用数字逻辑集成电路组成的控制电路单片化,可广泛用于家电产品。

**外围电路内装化:**随着集成度的不断提高,有可能把众多的各种外围功能器件集成在片内。除了一般必须具有的CPU、ROM、RAM、定时器/计数器等以外,片内集成的部件还有模—数转换器、DMA控制器、声音发生器、监视定时器、液晶显示驱动器、彩色电视机和录像机用的锁相电路等。

**串行扩展技术:**通用型单片机通过三总线结构扩展外围器件成为单片机应用的主流结构。随着低价位OTP(One Time Programmable)及各种类型片内程序存储器的发展,加之外围接口不断进入片内,推动了单片机“单片”应用结构的发展。特别是I<sup>2</sup>C、SPI、CAN等串行总线的引入,可以使单片机的引脚设计得更少,单片机系统结构更加简化及规范化。

随着半导体集成工艺的不断发展,单片机的集成度将更高、体积将更小、功能将更强。单片机已成为计算机发展和应用的一个重要方面。它从根本上改变了传统的控制系统设计思想和设计方法。从前必须由模拟电路或数字电路实现的大部分功能,现在已能用单片机通过软件方法来实现了。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。

单片机具有体积小、可靠性高、功能强、灵活方便等许多优点,故可以广泛应用于国民经济的各个领域,对各行各业的技术改造和产品更新换代起到了重要的推动作用。在工业控制中,单片机直接位于第一线,面广量大,是工厂自动化的关键部件之一。