



21世纪全国高等院校计算机教育“十一五”规划教材

# 单片机原理与应用

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 主 编 | 邓安远 | 夏永恒 |
| 副主编 | 王 雷 | 齐 颖 |
|     | 殷锋社 | 张明月 |



中国计划出版社

21世纪全国高等院校计算机教育“十一五”规划教材

# 单片机原理与应用

本书编委会 编著

中国计划出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

单片机原理与应用 / 《单片机原理与应用》编委会编  
著. —北京: 中国计划出版社, 2008. 7

21世纪全国高等院校计算机教育“十一五”规划教材  
ISBN 978-7-80242-130-1

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

中国版本图书馆CIP数据核字 (2008) 第087964号

## 内 容 简 介

本书以 MCS-51 系列单片机为主, 全面、系统、详细地介绍了单片机的硬件、软件及应用技术。本书主要包括: 第 1 章 单片器机概述, 第 2 章 MCS-51 系列单片机的结构及原理, 第 3 章 MCS-51 系列单片机的指令系统, 第 4 章 MCS-51 系列单片机程序设计 (程序设计以汇编语言为主), 第 5 章 MCS-51 单片机的定时器/计数器, 第 6 章 中断系统, 第 7 章 串行接口及其通信, 第 8 章 并行 I/O 接口, 第 9 章 MCS-51 系列单片机的存储器扩展及接口技术, 第 10 章 单片机应用系统中的抗干扰技术设计, 第 11 章 单片机系统设计与开发。对单片机应用系统的软件、硬件设计也在各章节中穿插地做了阐述。本书的特点: 内容丰富、实用性强、概念清晰、由浅入深、编排顺序合理, 各章后均选配了丰富的习题以供读者自行学习研究。

本书可作为高等院校、高等职业学校及成人高等学校的教材, 也可作为工程技术人员学习参考用书或培训教材。

21世纪全国高等院校计算机教育“十一五”规划教材

### 单片机原理与应用

本书编委会 编著

☆

中国计划出版社出版

(地址: 北京市西城区木樨地北里甲11号国宏大厦C座4层)

(邮政编码: 100038 电话: 63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行

河北省高碑店市鑫宏源印刷包装有限责任公司印刷

---

787×1092 毫米 1/16 24.75 印张 602 千字

2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—4000 册

☆

ISBN 978-7-80242-130-1

定价: 36.80 元

## 本书编委会

主 编：邓安远 夏永恒

副主编：王 雷 齐 颖 殷锋社 张明月

参 编：赵 春 王 芸 方树峰 杜效伟 陈天凯

# 前 言

随着电子技术的日益进步,微型计算机技术取得了突飞猛进的发展。单片微型计算机的诞生是计算机发展史上的一个新的里程碑,作为微型计算机的一个重要分支,随着其功能的不断完善,优点的日渐突出,单片机的应用范围日益广泛,对人类社会也产生了巨大的影响。目前,其应用范围已涵盖工业测控、智能仪表仪器、机电一体化和日用家电等领域。单片机已备受各行各业的关注,其应用前景极为广阔。

目前世界上已经推出了多种类型的单片机,其中尤以美国 Intel 公司生产的 MCS-51 系列单片机最受欢迎。MCS-51 系列单片机具有集成度高、处理功能强、可靠性好、系统结构简单、性价比高等优点,且易于学习和掌握。因此,本书以 MCS-51 系列单片机为核心,以满足高等院校及广大工程技术人员学习和掌握 MCS-51 单片机的相关理论和应用技术的需求,精心编著了这本单片机原理及接口技术一书。

本书内容丰富,实用性强,帮助读者从初步了解单片机到学以致用,进而能够自行设计系统并加以应用。

本书在参考、借鉴国内较多相关教材、专著的基础上,注重突出以下特点:

1. 在单片机原理介绍和系统分析的基础上,强调了应用系统的设计。本书不仅对单片机的硬件系统和各种接口技术作出了详细的介绍,还在此基础上增加了大量的应用设计实例,以供读者研究学习之用,从而可以帮助读者更快的了解和掌握单片机应用系统。
2. 本书着重突出实用性。在单片机系统扩展、单片机接口技术、抗干扰技术及应用系统设计中,介绍了典型电路及其相关程序,有利于读者提高设计工作能力和效率。
3. 书中在每章后面都选配有丰富的习题,以便于读者掌握和巩固所学知识。
4. 本书适应面比较广,既可作为高等院校、高等职业学校及成人高等学校的自动化、测试控制、仪器等相关专业教材或课外参考用书,也可供从事单片机应用的工程技术人员学习参考或作为培训教材,具有很高的参考价值和使用价值。

本书由邓安远、夏永恒主编,王雷、齐颖、殷锋社、张明月担任副主编,赵春、王芸、方树峰、杜效伟、陈天凯参与编写。

在本书的编写过程中,参阅了大量的教材和参考文献,在此谨向作者致以衷心的感谢!

由于时间仓促和编者水平有限,加之信息技术更新迅速,书中难免存在错误及疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2007年5月

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第 1 章 单片机概述                | 1  |
| 1.1 计算机的产生与发展              | 1  |
| 1.2 计算机中的数制与编码             | 2  |
| 1.2.1 计算机中的数制              | 3  |
| 1.2.2 计算机中数的表示             | 5  |
| 1.2.3 计算机常用编码              | 8  |
| 1.3 单片机的发展及应用              | 9  |
| 1.3.1 单片机的发展               | 10 |
| 1.3.2 单片机的原理及特点            | 12 |
| 1.3.3 单片机的应用               | 14 |
| 1.4 常用单片机系列介绍              | 15 |
| 1.4.1 单片机的种类及产品            | 15 |
| 1.4.2 单片机的应用系统结构           | 18 |
| 1.4.3 单片机的选用               | 20 |
| 1.5 小结与提高                  | 21 |
| 1.6 思考与练习                  | 21 |
| 第 2 章 MCS-51 系列单片机的结构及原理   | 22 |
| 2.1 MCS-51 系列单片机的结构        | 22 |
| 2.1.1 MCS-51 系列单片机的主要特性    | 22 |
| 2.1.2 8051 的总体结构           | 23 |
| 2.1.3 MCS-51 系列单片机的一般结构    | 24 |
| 2.2 MCS-51 系列单片机的引脚        | 25 |
| 2.2.1 MCS-51 系列单片机的引脚定义及功能 | 26 |
| 2.2.2 MCS-51 系列单片机的外部总线构成  | 32 |
| 2.3 MCS-51 系列单片机的主要组成部分    | 34 |
| 2.3.1 MCS-51 系列单片机的中央处理部件  | 34 |
| 2.3.2 MCS-51 系列单片机的存储器结构   | 37 |
| 2.3.3 串行 I/O 接口            | 44 |
| 2.4 CPU 的时序与时钟电路           | 47 |
| 2.4.1 振荡器和时钟电路             | 47 |
| 2.4.2 CPU 的时序及有关概念         | 48 |

|              |                          |           |
|--------------|--------------------------|-----------|
| 2.4.3        | 时序定时单位                   | 48        |
| 2.4.4        | CPU 的取指令和执行指令时序          | 50        |
| 2.5          | MCS-51 系列单片机的工作方式        | 51        |
| 2.5.1        | 复位方式                     | 51        |
| 2.5.2        | 程序执行方式                   | 52        |
| 2.5.3        | 低功耗方式                    | 52        |
| 2.5.4        | EPROM 编程和校验方式            | 54        |
| 2.6          | 小结与提高                    | 55        |
| 2.7          | 思考与练习                    | 55        |
| <b>第 3 章</b> | <b>MCS-51 系列单片机的指令系统</b> | <b>56</b> |
| 3.1          | 指令系统简介                   | 56        |
| 3.1.1        | 指令概述                     | 56        |
| 3.1.2        | 指令格式                     | 57        |
| 3.1.3        | 指令中常用符号说明                | 58        |
| 3.2          | 寻址方式                     | 59        |
| 3.2.1        | 立即寻址                     | 59        |
| 3.2.2        | 直接寻址                     | 59        |
| 3.2.3        | 寄存器寻址                    | 60        |
| 3.2.4        | 寄存器间接寻址                  | 61        |
| 3.2.5        | 变址寻址                     | 62        |
| 3.2.6        | 相对寻址                     | 62        |
| 3.2.7        | 位寻址                      | 63        |
| 3.2.8        | MCS-51 寻址方式小结            | 63        |
| 3.3          | 指令类型                     | 64        |
| 3.4          | 数据传送指令                   | 65        |
| 3.4.1        | 内部 RAM 数据传送指令            | 65        |
| 3.4.2        | ROM 和外部 RAM 数据存储器传送指令    | 70        |
| 3.4.3        | 程序存储器向累加器 A 传送数据指令       | 72        |
| 3.4.4        | 数据交换指令                   | 74        |
| 3.4.5        | 堆栈操作指令                   | 74        |
| 3.5          | 算术运算类指令                  | 77        |
| 3.5.1        | 加法运算指令                   | 79        |
| 3.5.2        | 减法运算指令                   | 81        |
| 3.5.3        | 乘法运算指令 (1 条)             | 83        |
| 3.5.4        | 除法运算指令 (1 条)             | 83        |
| 3.5.5        | 十进制调整指令                  | 83        |
| 3.6          | 逻辑运算及移位类指令               | 84        |
| 3.6.1        | 两个操作数的逻辑操作指令             | 85        |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 3.6.2 累加器 A 的逻辑操作指令             | 88         |
| 3.6.3 循环移位指令                    | 89         |
| 3.7 控制转移类指令                     | 90         |
| 3.7.1 无条件转移指令                   | 92         |
| 3.7.2 条件转移指令                    | 94         |
| 3.7.3 子程序调用及返回指令                | 97         |
| 3.7.4 空操作指令                     | 99         |
| 3.8 位操作指令                       | 99         |
| 3.9 小结与提高                       | 102        |
| 3.10 思考与练习                      | 102        |
| <b>第 4 章 MCS-51 系列单片机程序设计</b>   | <b>104</b> |
| 4.1 程序设计语言概述                    | 104        |
| 4.1.1 机器语言                      | 104        |
| 4.1.2 汇编语言                      | 105        |
| 4.1.3 高级语言                      | 105        |
| 4.2 汇编语言源程序的设计与汇编               | 106        |
| 4.2.1 汇编语言格式                    | 106        |
| 4.2.2 汇编语言程序设计步骤及基本结构           | 107        |
| 4.2.3 源程序的汇编                    | 113        |
| 4.2.4 伪指令                       | 116        |
| 4.3 单片机汇编语言程序设计                 | 118        |
| 4.3.1 顺序结构程序设计                  | 119        |
| 4.3.2 分支(选择)结构程序设计              | 120        |
| 4.3.3 循环结构程序设计                  | 125        |
| 4.3.4 子程序结构程序设计                 | 131        |
| 4.4 单片机汇编语言程序设计举例               | 133        |
| 4.4.1 代码转换程序设计                  | 133        |
| 4.4.2 算术运算程序设计                  | 136        |
| 4.4.3 逻辑运算程序设计                  | 140        |
| 4.4.4 查表程序设计                    | 141        |
| 4.4.5 数据检索程序设计                  | 144        |
| 4.4.6 数据排序程序设计                  | 146        |
| 4.5 小结与提高                       | 148        |
| 4.6 思考与练习                       | 148        |
| <b>第 5 章 MCS-51 单片机的定时器/计数器</b> | <b>150</b> |
| 5.1 定时器/计数器的结构和工作原理             | 150        |
| 5.1.1 定时器/计数器概述                 | 150        |
| 5.1.2 定时器/计数器结构及工作原理            | 151        |



|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 5.1.3 定时器/计数器的功能 .....           | 153        |
| 5.2 定时器/计数器的控制 .....             | 153        |
| 5.2.1 工作方式控制寄存器 (TMOD) .....     | 153        |
| 5.2.2 定时器控制寄存器 (TCON) .....      | 154        |
| 5.2.3 定时器/计数器的初始化 .....          | 155        |
| 5.3 定时器/计数器的工作方式 .....           | 157        |
| 5.3.1 工作方式 0 .....               | 157        |
| 5.3.2 工作方式 1 .....               | 159        |
| 5.3.3 工作方式 2 .....               | 160        |
| 5.3.4 工作方式 3 .....               | 162        |
| 5.4 定时器/计数器应用实例 .....            | 163        |
| 5.5 小结与提高 .....                  | 172        |
| 5.6 思考与练习 .....                  | 172        |
| <b>第 6 章 中断系统</b> .....          | <b>173</b> |
| 6.1 中断系统概述 .....                 | 173        |
| 6.1.1 中断的概念 .....                | 173        |
| 6.1.2 中断的功能 .....                | 174        |
| 6.1.3 中断过程 .....                 | 175        |
| 6.1.4 中断类型 .....                 | 176        |
| 6.1.5 中断源与中断优先级 .....            | 176        |
| 6.2 中断控制 .....                   | 178        |
| 6.2.1 定时器/计数器控制寄存器 (TCON) .....  | 178        |
| 6.2.2 串行口控制寄存器 (SCON) .....      | 180        |
| 6.2.3 中断允许控制寄存器 (IE) .....       | 180        |
| 6.2.4 中断优先级控制寄存器 (IP) .....      | 181        |
| 6.3 中断处理过程 .....                 | 182        |
| 6.3.1 中断请求 .....                 | 182        |
| 6.3.2 中断处理 .....                 | 183        |
| 6.3.3 中断返回 .....                 | 187        |
| 6.3.4 中断请求的撤除 .....              | 188        |
| 6.3.5 中断系统的初始化 .....             | 188        |
| 6.3.6 中断响应举例 .....               | 189        |
| 6.4 中断系统应用实例 .....               | 190        |
| 6.4.1 利用定时器实现灯的闪烁 .....          | 190        |
| 6.4.2 通过 P1.0~P1.7 控制发光二极管 ..... | 193        |
| 6.4.3 CPU 与外部设备的数据传送方式 .....     | 194        |
| 6.4.4 中断源的扩展 .....               | 196        |
| 6.4.5 键盘控制 LED 显示电路 .....        | 198        |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 6.5 小结与提高                           | 200        |
| 6.6 思考与练习                           | 200        |
| <b>第7章 串行接口及其通信</b>                 | <b>202</b> |
| 7.1 串行通信基础                          | 202        |
| 7.1.1 数据通信的基本概念                     | 202        |
| 7.1.2 串行通信方式                        | 204        |
| 7.1.3 数据同步技术                        | 205        |
| 7.1.4 波特率和接收/发送时钟                   | 208        |
| 7.1.5 信号的调制与解调                      | 209        |
| 7.1.6 串行通信的差错检测和校验                  | 210        |
| 7.1.7 串行通信的传输速率与距离                  | 211        |
| 7.2 串行通信总线标准及其接口                    | 212        |
| 7.2.1 RS-232C 接口标准                  | 212        |
| 7.2.2 RS-449、RS-422A 和 RS-423A 接口标准 | 216        |
| 7.2.3 RS-485 接口标准                   | 217        |
| 7.2.4 20mA 电流环路串行接口                 | 218        |
| 7.3 MCS-51 系列单片机串行接口及工作方式           | 218        |
| 7.3.1 串行口的结构                        | 219        |
| 7.3.2 串行口控制寄存器 SCON 和特殊功能寄存器 PCON   | 219        |
| 7.3.3 串行口的 4 种工作方式                  | 221        |
| 7.3.4 波特率设计                         | 226        |
| 7.3.5 串行口 4 种工作方式的应用及比较             | 228        |
| 7.4 MCS-51 系列单片机串行通信                | 231        |
| 7.4.1 双机串行通信                        | 231        |
| 7.4.2 多机串行通信                        | 235        |
| 7.4.3 MCS-51 系列单片机与 PC 的串行通信        | 239        |
| 7.5 串行接口的应用实例                       | 241        |
| 7.5.1 串行通信实例一                       | 241        |
| 7.5.2 串行通信实例二                       | 242        |
| 7.6 小结与提高                           | 246        |
| 7.7 思考与练习                           | 246        |
| <b>第8章 并行 I/O 接口</b>                | <b>247</b> |
| 8.1 概述                              | 247        |
| 8.1.1 I/O 接口的作用                     | 248        |
| 8.1.2 外部设备的编址                       | 248        |
| 8.1.3 I/O 数据的 4 种数据传送方式             | 249        |

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| 8.1.4 I/O 接口的类型 .....                      | 250        |
| 8.2 MCS-51 并行 I/O 端口及其应用 .....             | 251        |
| 8.2.1 MCS-51 并行 I/O 端口 .....               | 251        |
| 8.2.2 MCS-51 并行 I/O 端口的应用实例 .....          | 254        |
| 8.3 并行 I/O 接口扩展 .....                      | 256        |
| 8.3.1 概述 .....                             | 256        |
| 8.3.2 常用的 I/O 接口扩展形式 .....                 | 257        |
| 8.3.3 8255A 可编程接口及扩展技术 .....               | 262        |
| 8.3.4 8155 通用并行接口芯片 .....                  | 268        |
| 8.4 小结与提高 .....                            | 277        |
| 8.5 思考与练习 .....                            | 277        |
| <b>第 9 章 MCS-51 系列单片机的存储器扩展及接口技术 .....</b> | <b>279</b> |
| 9.1 存储器的扩展 .....                           | 279        |
| 9.1.1 数据存储器的扩展 .....                       | 279        |
| 9.1.2 程序存储器的扩展 .....                       | 280        |
| 9.2 打印机及接口 .....                           | 282        |
| 9.2.1 打印机概述 .....                          | 282        |
| 9.2.2 PP40 微型打印机与单片机接口的设计 .....            | 283        |
| 9.2.3 其他打印机的工作原理 .....                     | 288        |
| 9.3 键盘及接口 .....                            | 289        |
| 9.3.1 键盘工作原理 .....                         | 290        |
| 9.3.2 中断扫描方式 .....                         | 293        |
| 9.4 显示器及接口 .....                           | 294        |
| 9.4.1 显示器的结构 .....                         | 294        |
| 9.4.2 显示器的工作方式和显示程序设计 .....                | 295        |
| 9.5 A/D 转换接口和 D/A 转换接口 .....               | 298        |
| 9.5.1 A/D 转换接口 .....                       | 298        |
| 9.5.2 D/A 转换接口 .....                       | 301        |
| 9.6 小结与提高 .....                            | 305        |
| 9.7 思考与练习 .....                            | 305        |
| <b>第 10 章 单片机应用系统中抗干扰技术设计 .....</b>        | <b>307</b> |
| 10.1 干扰源 .....                             | 307        |
| 10.1.1 共模干扰 .....                          | 307        |
| 10.1.2 串模干扰 .....                          | 309        |
| 10.1.3 电源干扰 .....                          | 309        |
| 10.1.4 单片机应用系统出错的主要现象与原因 .....             | 310        |
| 10.1.5 干扰对单片机应用系统的影响 .....                 | 311        |

|               |                       |            |
|---------------|-----------------------|------------|
| 10.2          | 软件的抗干扰设计              | 312        |
| 10.2.1        | 程序执行过程中的软件抗干扰         | 312        |
| 10.2.2        | 系统的恢复                 | 321        |
| 10.3          | 硬件的抗干扰设计              | 325        |
| 10.3.1        | 串模干扰的抑制               | 325        |
| 10.3.2        | 共模干扰的抑制               | 326        |
| 10.3.3        | 地线系统干扰的抑制             | 328        |
| 10.3.4        | 电源与电网干扰的抑制            | 329        |
| 10.3.5        | 输入输出通道干扰的抑制           | 329        |
| 10.3.6        | 电路板工艺与布线抗干扰设计         | 330        |
| 10.4          | 小结与提高                 | 331        |
| 10.5          | 思考与练习                 | 331        |
| <b>第 11 章</b> | <b>单片机系统设计与开发</b>     | <b>333</b> |
| 11.1          | 单片机系统的基本要求            | 333        |
| 11.2          | 单片机系统结构及设计内容          | 334        |
| 11.2.1        | 单片机系统的结构特点            | 335        |
| 11.2.2        | 单片机系统设计的内容            | 336        |
| 11.3          | 单片机系统设计过程             | 336        |
| 11.3.1        | 确定任务                  | 337        |
| 11.3.2        | 总体设计                  | 338        |
| 11.3.3        | 软件设计                  | 338        |
| 11.3.4        | 硬件设计                  | 342        |
| 11.4          | 单片机系统开发工具             | 344        |
| 11.5          | 单片机系统的调试              | 347        |
| 11.5.1        | 软件调试                  | 347        |
| 11.5.2        | 硬件调试                  | 347        |
| 11.6          | 单片机系统设计实例——高校作息时间安排   | 349        |
| 11.6.1        | 控制任务与控制原理             | 349        |
| 11.6.2        | 作息时间单片机系统硬件设计         | 350        |
| 11.6.3        | 作息时间单片机系统软件设计         | 352        |
| 11.7          | 单片机系统设计实例——倒计时计时器设置   | 360        |
| 11.7.1        | 日历时钟芯片 DS12C887 的介绍   | 360        |
| 11.7.2        | 倒计时计时器硬件的电路设计         | 364        |
| 11.7.3        | 倒计时计时器的软件设计           | 364        |
| 11.8          | 单片机系统设计实例——单片机驱动直流小电机 | 366        |
| 11.8.1        | 驱动电路的基本原理             | 366        |
| 11.8.2        | 驱动芯片——TA7267BP 的使用    | 369        |
| 11.8.3        | 软件系统程序的设计             | 370        |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 11.8.4 电路的设计.....         | 370 |
| 11.9 小结与提高.....           | 372 |
| 11.10 思考与练习.....          | 372 |
| 附录 A 标准 ASCII 码字符表.....   | 373 |
| 附录 B MCS-51 系列单片机指令表..... | 375 |
| 主要参考文献.....               | 380 |

# 第 1 章

## 单片机概述

当今时代被人们称为信息时代，一个重要的因素就是计算机的出现和发展，它被看作是 20 世纪最重要的科学性成就之一。目前，计算机已经被广泛的应用到了国民经济的各个方面，并且在人们的日常生活中也发挥了不可替代的作用，成为各国工业发展水平的重要标志之一。

自从 1946 年第一台电子数字计算机（ENIAC）问世以来，已经经历了电子管计算机、晶体管计算机、中小规模集成电路计算机、大规模和超大规模集成电路计算机四个发展阶段。现在，计算机一方面向着高速、智能化的超级巨型计算机发展，另一方面则朝着微型化方向发展。

在微型计算机家族中，单片机异军突起，发展迅速，它的特点是，依托一定的硬件资源，针对特定的控制目的，实现一个高可靠性及高效率的计算机应用系统。单片机的这一特点，恰好满足了现代工业发展的迫切需要。随着各种单片机及其开发手段的推出，单片机以其体积小、功能齐全、价格低廉、可靠性高等优点，在工业测控、智能仪表器、机电一体化产品、家电等领域得到了广泛的应用。因此，学习单片机技术是适应时代发展，满足实际应用的需要。



### 本章主要内容

- ▣ 计算机的产生与发展
- ▣ 计算机中的数与编码
- ▣ 单片机的发展及应用
- ▣ 常用单片机系列介绍

### 1.1 计算机的产生与发展

世界上的第一台电子计算机（电子数字积分计算机，ENIAC）于 1946 年诞生在美国宾夕法尼亚大学，到目前为止，计算机的发展大致已经经历了如下四代：

第一代电子管计算机，始于 1946 年，其主要特点是：结构上以 CPU 为中心，逻辑元件采用电子管，主存储器采用磁鼓、磁芯，外存储器采用磁带；软件主要使用机器语言，速度慢，存储量小，主要用于科学计算及数据成批处理。

第二代晶体管计算机，始于 1958 年，结构上以存储器为中心，应用范围扩大到数据处

理和工业控制。其主要特点是：逻辑元件采用晶体管，主存储器采用磁芯存储器，外存储器开始采用磁盘；软件方面广泛使用高级程序设计语言，如 FORTRAN、ALGOL、COBOL、PL/I 等，这时的计算机已在各种事务数据处理方面获得广泛的应用，并开始用于过程控制。这一代计算机比第一代计算机体积小，耗电少，运算速度为每秒十万次至几十万次，可靠性也有所提高。

第三代中小规模集成电路计算机，始于 1964 年，结构上仍以存储器为中心，增加了多种外部设备，软件也得到了一定的发展，文字图像处理功能加强。其主要特点是：在硬件方面逻辑元件采用集成电路，主存储器仍为磁芯存储器，机种多样化、系列化，外部设备不断增加，品种繁多，尤其是终端和远程终端设备迅速发展，并与通信设备结合；在软件方面，操作系统进一步完善，已出现了分时操作系统，会话式的高级语言也发展的很快；此外，小型、超小型计算机也飞速发展起来。这一代计算机广泛用于科学计算、工业控制、数据处理，运算速度达到每秒几十万次至几百万次，存储容量、运算速度和可靠性方面又比第二代提高了一个数量级。

第四代大规模和超大规模集成电路计算机，始于 1971 年，应用更广泛，很多核心部件可集成在一个或多个芯片上，从而出现了微型计算机。

20 世纪 70 年代以来，是第四代计算机兴盛和第五代计算机萌芽的时代，第五代计算机将是智能型计算机，它不但能模拟人类的神经（听、视觉甚至大脑的思维活动能力），而且具有学习功能，软件方面将采用自然语言。

我国从 1956 年开始电子计算机的科研和教学工作，1983 年研制成功运算速度为每秒 1 亿次的“银河”巨型计算机，1992 年 11 月研制成功运算速度为每秒 10 亿次的“银河 II”巨型计算机，1997 年研制了运算速度为每秒 130 亿次的“银河 III”巨型计算机。

目前计算机正向微型化和巨型化、多媒体化和网络化方向发展。计算机的通信产业已经成为新型的高科技产业。计算机网络的出现，改变了人们的工作方式、学习方式、思维方式和生活方式。从计算机的发展历史可以看出，每一次逻辑元件的变更都会使计算机性能得到一次飞跃性的发展。60 多年来，计算机的性能价格比提高了千万倍，主要体现在运算速度提高了千万倍，存储器容量提高了千万倍，体积缩小了千倍，软件性能提高了百万倍，而价格却降为万分之几。目前，在世界各行各业中，发展速度最快的要首推计算机行业。这和社会对它的需求是分不开的。

## 1.2 计算机中的数制与编码

数制是人们对事物数量计数的一种统计规律。虽然一个数可以用不同计数制形式表示它的大小，但该数的量值是相等的。电子计算机包括单片机都是一种处理信息的机器。日常生活中，习惯于使用十进制数，但在数字电路和电子计算机中，其电气元件最易实现的是两种稳定状态：器件的“开”与“关”；电平的高与“低”。所以适合使用二进制数，通常用 1 和 0 两个数码。采用二进制数的“0”和“1”可以很方便地表示机内的数据运算与存储。由于用二进制表示一个数，所用的数码长，书写和阅读不方便，所以书写时又常将二进制数转换为八进制数或十六进制数。

### 1.2.1 计算机中的数制

#### 1. 计数制

人们在日常生活中，常用多种进制的数制系统，最广泛使用的是十进制，这是一种逢十进一的计数方法。任何一个十进制数都可以表示为：

$$X = x_m \times 10^m + \cdots + x_0 \times 10^0 + x_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + x_{-n} \times 10^{-n} = \sum_{i=-n}^m x_i \times 10^i$$

式中，10称为十进制的基数，而所在数位*i*的权为 $10^i$ 。对任意进制来说，所谓基数，就是用来表示数时可以选用的不同数字的个数。所以十进制的基数为10，用来表示数时可以选择的数 $x_i$ 为0~9十个数字，且逢十进一。例如：

$$1987.5 = 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1}$$

常用的数制还有二进制、八进制和十六进制等。

基数小于10的计数制，可用十进制相应的数码作为它的数字符号，一个数一般由多个数码组成。数码在数中的位置不同，其值也不同。

以2为基数的数制称为二进制计数制，它只包括0和1两个数码，很容易用电子元件的两种不同的状态来表示，如用高电平表示1，用低电平表示0。所以，计算机中通常采用二进制数。

二进制数的计数特征：逢二进一，运算简单。

在加、减、乘、除四则运算中，二进制乘法实质上是做移位加法，除法则为移位减法。同样，对任意一个二进制数X都可以表示为：

$$X = x_m \times 2^m + \cdots + x_0 \times 2^0 + x_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + x_{-n} \times 2^{-n} = \sum_{i=-n}^m x_i \times 2^i$$

式中，第*i*位的数是0或1，对应的数值为 $x_i \times 2^i$ ，并称 $2^i$ 为第*i*位的权。

例如，二进制数1101.11，则可表示为：

$$1101.11 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

为了书写和阅读方便，经常采用八进制数、十六进制数作为二进制数的缩写形式。在计数时，八进制数采用逢八进一，十六进制数采用逢十六进一。

为了避免使用多种进位制产生混乱，在书写计算机程序时，一般不用基数作为下标来区分各种进制，而是用相应的英文字母作后缀来表示各种进制的数。例如：

B (Binary) 表示二进制数。

D (Decimal) 表示十进制数，一般可省略D，即无后缀的数字为十进制数。

H (Hexadecimal) 表示十六进制数。

#### 2. 不同进制数之间的转换

尽管有不同的进制，但在计算机中的数仍然只能用二进制数表示，十六进制数适应于读者方便读数的需要，而十进制数则是日常生活所必需的。因此，需要掌握各种进制间的转换关系。十进制数、二进制数、八进制数和十六进制数的对照如表1-1所示。



表 1-1 4 种进制数码对照表

| 十进制 | 二进制  | 八进制 | 十六进制 | 十进制 | 二进制   | 八进制 | 十六进制 |
|-----|------|-----|------|-----|-------|-----|------|
| 0   | 0000 | 0   | 0    | 9   | 1001  | 11  | 9    |
| 1   | 0001 | 1   | 1    | 10  | 1010  | 12  | A    |
| 2   | 0010 | 2   | 2    | 11  | 1011  | 13  | B    |
| 3   | 0011 | 3   | 3    | 12  | 1100  | 14  | C    |
| 4   | 0100 | 4   | 4    | 13  | 1101  | 15  | D    |
| 5   | 0101 | 5   | 5    | 14  | 1110  | 16  | E    |
| 6   | 0110 | 6   | 6    | 15  | 1111  | 17  | F    |
| 7   | 0111 | 7   | 7    | 16  | 10000 | 20  | 10   |
| 8   | 1000 | 10  | 8    |     |       |     |      |

## (1) 二进制数转换为十进制数

基本方法：将二进制数按权展开式，利用十进制数的运算法则求和，即可得到等值的十进制数。

## (2) 十进制数转换为二进制数

任意十进制数  $N$  转换成二进制数，需将整数部分和小数部分分开，采用不同方法分别进行转换，然后用小数点将这两部分连接起来。

## ① 整数部分：除基取余法。

分别用二进制基数 2 不断地去除十进制数  $N$  的整数，直到商为 0 为止，每次所得的余数依次排列即为相应进制的数码。最初得到的为最低有效数字，最后得到的为最高有效数字。

## ② 小数部分：乘基取整法。

分别用基数 2 不断地去乘十进制数  $N$  的纯小数部分，直到积的小数部分为 0（或直到所要求的位数）为止，每次乘得的整数依次排列即为相应进制的数码。最初得到的为最高有效数字，最后得到的为最低有效数字。

## (3) 二进制数、十六进制数之间的相互转换

将二进制数转换为十六进制数，从低位开始，每 4 位一组，然后将其转换为对应的十六进制数。如最后一组不足 4 位，需在左边补 0。

用同样方法可将二进制小数转换十六进制小数，只是分组应从小数点右边开始分成 4 位一组。如最后一组不足 4 位，需在右边补 0。

十六进制数转换为二进制数，将每位十六进制数直接转换成相应的 4 位二进制数。

**【例 1-1】** 将数  $(10.101)_2$ ， $(46.12)_8$ ， $(2D.A4)_{16}$  转换为十进制数。

解： $(10.101)_2 = 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = 2.625$

$(46.12)_8 = 4 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} + 2 \times 8^{-2} = 38.15625$

$(2D.A4)_{16} = 2 \times 16^1 + 13 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} + 4 \times 16^{-2} = 45.64062$

**【例 1-2】** 将  $(168.645)_{10}$  转换成二进制、八进制和十六进制数。

解： $(168.645)_{10} = (10101000.10100)_2 = (250.51217)_8 = (A8.A51EB)_{16}$