

· 高等专科学校教学用书 ·

# 单片微机原理与 接口技术

孙和平 杨宁 白晶 编著



G AODENG

ZHUANKE

XUEXIAO

JIAOXUE

YONGSHU

冶金工业出版社

高等专科学校教学用书

MCS-51/96·系列

# 单片机原理与接口技术

吉林电气化高等专科学校

孙和平 杨 宁 白 晶 编著

孙德辉 主 审

北 京

冶金工业出版社

1998

## 内 容 提 要

本书具有通俗、易懂、实用、新颖和注重工程应用,易于自学的特点。

全书共 14 章,分上、下两篇。上篇介绍 MCS-51 系列单片机硬件、软件和中断系统功能,同时对接口技术所需各种专用芯片应用做了详细介绍,使读者能够掌握设计一个实用的单片机应用系统所需要的全部知识,然后介绍了 Intel 公司和 PHILIPS 公司的 8XC551、8XC552 等 8 位增强型单片机。下篇介绍 16 位单片机 8098 硬件及软件和人-机联系设备,最后介绍了 Intel 公司 16 位增强型单片机 80C196 系列的结构,为读者开阔视野,跟踪单片机的发展趋势、新技术提供了一个方向。

本书可作为大专院校自动控制、电气自动化、自动化仪器仪表、电气工程和计算机应用等专业的教材,也适用于高等职业教育、自学考试和科研与工程技术人员自学与参考教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

单片微机原理与接口技术/孙和平等编著. —北京:冶金工业出版社,1998. 8  
高等专科学校教学用书  
ISBN 7-5024-2195-5

I. 单… I. 孙… II. ①单片微型计算机-理论②单片微型计算机-接口 N. TP368. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 13433 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)  
北京梨园彩印厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销  
1998 年 8 月第 1 版,1998 年 8 月第 1 次印刷  
787mm×1092mm 1/16;32.25 印张;764 千字 502 页;1-3800 册  
39.70 元

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

## 前 言

根据我国高等工程专科教育要贴近工程实际环境和着重培养应用型、适应在第一线工作的工程技术人才的要求,并能够将科学技术转化为现实生产力的最终培养目标的要求,冶金、有色系统有关高等专科学校于1996年1月在吉林电气化高等专科学校召开了电类教材编审会议,对当前我国高等专科学校教材的特色进行了深入的探讨,达成了共识。

本书按照通俗、易懂、实用、新颖并注重工程应用的指导思想安排全书的结构。在内容的编排上按照由浅入深、循序渐进、突出重点、掌握方法、易于自学的原则,在具备整体概念的基础上,对每一个环节做了透彻分析。目的是使没有学过计算机的读者也能顺利地阅读本书,既掌握微型计算机的基础知识,又学会单片机的原理和工程应用方法。

全书分上、下两篇,共14章。上篇主要介绍Intel公司的8位单片机MCS-51系列的硬件结构、原理、软件设计和中断系统功能,为初学者打下坚实的基础。同时对带有共性的单片微机接口技术和各种专用接口芯片做了较为详细的介绍,目的是为学习用单片机组成的工程应用系统做好准备。最后对新型的8位增强型单片机,Intel公司的8XC551GA/GB系列和PHILIPS公司的8XC552系列做了介绍,使读者能够开阔眼界,对8位单片机的发展趋势,新技术跟踪提供了一个方向。下篇主要介绍Intel公司的16位单片机。以8098单片机为“基本型”,对16位单片机的硬件、软件、A/D、D/A、中断系统、各功能口和人-机联系设备等做了详细分析。最后对16位增强型单片机80C196系列从工程应用的角度做了介绍,使读者在工程应用中对各种型号的单片机有更多的选择余地。

本书可作为大专院校自动控制、电气自动化、自动化仪表、电气工程和计算机应用等专业的教材,也可作为高等职业教育、自学考试和从事微机应用与电气工程领域工程技术人员的参考书。

全书由孙和平执笔编写上篇第二、五、六、七章和下篇第八、九章以及附录一、二的内容;杨宁执笔编写上篇第一、三、四章;白晶执笔编写下篇第十、十一、十二、十三、十四章及附录三。孙和平、杨宁任本书主编。全书由孙和平规划并统稿,由孙德辉主审。

在本书的编写过程中,吉林电气化高等专科学校自控教研室和仪表教研室的教师们给予了很多帮助。尤其是李正熙和任哲二位同志对本书的编写提出了宝贵的、建设性的指导意见。在此,对上述同行的工作表示衷心的感谢。

由于编者的学识水平所限,加之单片机发展速度日新月异,书中一定存在错误和不当之处,殷切期望读者指正。

在编写本书的过程中,大量参考了同行们的论著,在此表示由衷的谢意。

编 者

1998年1月于吉林电气化高等专科学校

# 目 录

## 上 篇 8 位单片微机

<b>第一章 微型计算机的基础知识</b> .....	(2)
<b>第一节 计算机中的数制、码制和运算方法</b> .....	(2)
一、进位计数制 .....	(2)
二、不同进位计数制的转换 .....	(3)
三、带符号数 .....	(5)
四、BCD 码及十进制调整 .....	(6)
五、ASC I 码 .....	(7)
六、定点数和浮点数 .....	(7)
七、数的运算方法 .....	(10)
<b>第二节 微型计算机的组成及工作过程</b> .....	(13)
一、基本组成 .....	(13)
二、三总线连接方式 .....	(14)
三、微处理器 .....	(14)
四、存储器 .....	(17)
五、微机工作过程 .....	(18)
<b>第三节 微型计算机的存储器</b> .....	(19)
一、半导体存储器的分类 .....	(19)
二、随机存储器 RAM .....	(20)
三、只读存储器 ROM .....	(22)
<b>习题与思考题</b> .....	(24)
<b>第二章 MCS-51 系列单片机的硬件结构和原理</b> .....	(26)
<b>第一节 单片机的硬件编程结构及特性</b> .....	(26)
一、MCS-51 系列单片机分类 .....	(26)
二、内部结构组成 .....	(26)
三、单片机的算术逻辑单元 ALU .....	(27)
四、程序状态字 PSW .....	(28)
五、堆栈指针 SP .....	(29)
六、16 位程序计数器 PC .....	(30)
七、并行接口 P0~P3 .....	(31)
八、8031 单片机的引脚及其功能 .....	(33)
九、8031 外部扩展总线的产生 .....	(34)
<b>第二节 单片机存储器组织结构</b> .....	(35)
一、片内、外存储器配置及编址方法 .....	(35)

二、单片机内部 RAM 区 .....	(37)
三、片内 RAM 位寻址单元 .....	(37)
四、特殊功能寄存器 SFR .....	(38)
第三节 单片机的定时器/计数器 T/C .....	(40)
一、T/C 的编程结构 .....	(40)
二、片内定时器的运行控制 .....	(41)
三、定时器 T0 和 T1 的工作方式 .....	(43)
四、T/C 的初始化设计 .....	(44)
第四节 单片机的串行接口 .....	(47)
一、数据通信的基本概念 .....	(47)
二、串行通信中的数据传送方向 .....	(47)
三、串行通信的两种基本形式 .....	(49)
四、单片机的串行通信接口及功能 .....	(51)
五、MCS-51 串行通信的波特率选择 .....	(54)
第五节 MCS-51 单片机的工作方式 .....	(55)
一、复位方式 .....	(55)
二、编程和校验方式 .....	(56)
三、节电方式、掉电处理 .....	(58)
第六节 单片机工作的基本时序 .....	(58)
一、机器周期和指令周期 .....	(59)
二、MCS-51 指令的取指/执行时序 .....	(60)
三、CPU 访问外部 ROM 和 RAM 的时序 .....	(60)
习题与思考题 .....	(61)
<b>第三章 MCS-51 系列单片机指令系统 .....</b>	<b>(62)</b>
第一节 概述 .....	(62)
一、计算机语言 .....	(62)
二、MCS-51 指令系统符号及其含义说明 .....	(63)
三、寻址方式 .....	(63)
第二节 数据传送类指令 .....	(66)
一、传送数据的通路 .....	(67)
二、一般传送指令 .....	(67)
三、栈操作指令 .....	(69)
四、累加器交换指令 .....	(70)
五、累加器与外部 RAM 传送指令 .....	(70)
六、累加器与程序存储器传送指令 .....	(71)
七、目标地址传送指令 .....	(71)
第三节 算术操作类指令 .....	(71)
一、不带进位加法指令 .....	(71)
二、带进位加法指令 .....	(73)

三、加 1 指令	(74)
四、带借位减法指令	(74)
五、减 1 指令	(75)
六、乘法指令	(75)
<b>第四节 逻辑操作类指令</b>	(77)
一、单操作数指令	(77)
二、逻辑“与”指令	(78)
三、逻辑“或”指令	(79)
四、逻辑“异或”指令	(79)
<b>第五节 控制转移类指令</b>	(80)
一、无条件转移指令	(80)
二、条件转移指令	(83)
三、循环转移指令	(84)
<b>第六节 位处理类指令</b>	(85)
一、位数据传送指令	(86)
二、位状态控制指令	(86)
三、位逻辑操作指令	(87)
四、位条件转移指令	(87)
<b>习题与思考题</b>	(89)
<b>第四章 汇编语言程序设计</b>	(91)
<b>第一节 预备知识</b>	(91)
一、汇编语言语句格式	(91)
二、汇编语言伪指令	(92)
三、流程图	(94)
<b>第二节 简单程序与分支程序</b>	(96)
一、简单程序	(96)
二、分支程序	(96)
<b>第三节 循环程序</b>	(100)
一、循环程序的结构	(100)
二、循环嵌套与多重循环	(100)
三、循环程序举例	(101)
<b>第四节 子程序</b>	(105)
一、子程序的概念	(105)
二、子程序的调用与返回	(105)
三、子程序的结构与设计	(106)
四、子程序举例	(106)
<b>第五节 查表程序</b>	(109)
<b>习题与思考题</b>	(111)
<b>第五章 中断概念及 MCS-51 的中断系统</b>	(114)

第一节 中断概念	(114)
一、CPU 与外设交换信息的四种控制方式	(114)
二、中断处理方式	(115)
三、对中断系统功能的要求	(118)
四、中断优先权排队实现方法	(119)
五、CPU 响应中断的条件	(121)
六、矢量中断	(121)
七、中断处理及返回过程	(122)
第二节 MCS-51 单片机的中断系统及控制	(123)
一、MCS-51 中断源及中断结构	(124)
二、中断允许寄存器 IE	(125)
三、中断优先级寄存器 IP	(125)
四、中断响应过程和中断请求的撤除	(126)
五、中断初始化设定	(128)
六、中断系统应用实例	(129)
第三节 MCS-51 单片机外部中断源的扩展	(134)
一、MCS-51 中断系统的局限性	(134)
二、用查询法扩展外部中断源	(134)
三、用 8259A 可编程中断控制器扩展外部中断源	(136)
四、8259A 的初始化命令字	(139)
五、8259A 的工作方式分析	(142)
六、8259A 与 8081 的硬件接口及中断初始化设定	(142)
习题与思考题	(146)
<b>第六章 MCS-51 单片机扩展接口技术及最小应用系统设计</b>	(147)
第一节 单片机扩展方案及程序存储器扩展	(147)
一、单片机扩展总线的产生	(147)
二、用作地址锁存器的常用芯片	(147)
三、程序存储器 ROM 的扩展方法	(149)
四、数据存储器 RAM 的扩展	(153)
五、同时扩展 RAM 和 EPROM	(155)
六、多片存储器芯片的扩展	(155)
第二节 MCS-51 并行 I/O 接口及定时器的扩展	(160)
一、8255A 通用可编程并行 I/O 接口	(160)
二、8155 可编程并行 I/O 接口	(167)
三、8253 可编程定时器/计数器扩展应用	(176)
第三节 用 USART 器件扩展单片机串行接口	(184)
一、8251A 通用同步/异步接口芯片功能	(184)
二、8251A 的编程结构、引脚功能和工作方式	(184)
三、8251A 的控制字、命令字的格式	(187)



四、8251A 和 8031 单片机的硬件接口及应用 .....	(191)
<b>第四节 单片机与 A/D 和 D/A 转换器的接口及应用</b> .....	(193)
一、关于 A/D、D/A 转换器的技术指标 .....	(194)
二、A/D 转换的基本原理 .....	(194)
三、ADC0809 模数转换器和单片机接口应用 .....	(197)
四、12 位 A/D 转换器与单片机的接口应用 .....	(202)
五、8031 和 5G14433A/D 转换器接口 .....	(205)
六、DAC0832 数、模转换器与 8031 的接口应用 .....	(210)
七、12 位 D/A 转换器和 8031 的接口 .....	(214)
<b>第五节 人-机联系接口技术</b> .....	(217)
一、LED 数码显示器原理与控制方法 .....	(218)
二、非编码键盘的工作原理与接口控制方法 .....	(225)
三、8279 可编程键盘/显示器通用接口芯片 .....	(230)
四、8279 与单片机的接口及应用程序设计 .....	(239)
<b>第六节 8031 单片机最小应用系统设计</b> .....	(243)
一、组成应用系统的基本方法 .....	(243)
二、最小应用系统的硬件结构 .....	(244)
习题与思考题 .....	(246)
<b>第七章 8 位增强型单片机简介</b> .....	(247)
<b>第一节 概述</b> .....	(247)
<b>第二节 Intel 公司增强型单片机</b> .....	(247)
一、8XC51GB 的主要性能 .....	(247)
二、片内 RAM 及 SFR .....	(248)
三、8XC51GB 端口及其复用功能 .....	(249)
四、8XC51GB 的 A/D 转换器 .....	(249)
五、8XC51GB 的中断系统 .....	(251)
六、看门狗定时器 WDT .....	(255)
<b>第三节 飞利浦 (PHILIPS) 公司增强型单片机</b> .....	(255)
一、8XC552 主要性能 .....	(256)
二、特殊功能寄存器 SFR .....	(257)
三、8XC552 并行 I/O 端口及复用功能 .....	(259)
四、脉冲宽度调制器 PWM .....	(260)
五、A/D 转换器功能 .....	(261)
六、定时器 T2 和捕捉比较逻辑 .....	(264)
七、监视定时器 WDT .....	(266)
八、8XC552 中断系统 .....	(267)
九、I <sup>2</sup> C 串行扩展总线简介 .....	(270)
习题与思考题 .....	(271)

## 下 篇 16 位单片微机

<b>第八章 MCS-96 系列的 8098 单片机硬件结构</b> .....	(273)
<b>第一节 MCS-96 系列单片机概述</b> .....	(273)
一、MCS-96 系列单片机产品发展概述 .....	(273)
二、8×98 单片机的主要特点 .....	(273)
三、8098 单片机的应用范围 .....	(275)
<b>第二节 8098 单片机的硬件结构</b> .....	(275)
一、8098 芯片硬件编程结构 .....	(275)
二、8098 芯片引脚及功能 .....	(277)
三、寄存器算术逻辑单元 RALU .....	(278)
四、寄存器阵列与特殊功能寄存器 SFR .....	(279)
五、8098 的时钟及系统复位状态 .....	(282)
六、掉电保护 .....	(284)
<b>第三节 8098 单片机存储器空间配置</b> .....	(285)
一、8098 单片机的存储器地址空间 .....	(285)
二、芯片配置寄存器 CCR .....	(286)
三、8098 外部扩展总线的产生 .....	(289)
<b>习题与思考题</b> .....	(290)
<b>第九章 8098 单片机的指令系统及程序设计</b> .....	(291)
<b>第一节 概述</b> .....	(291)
一、操作数类型 .....	(291)
二、8098 通用寄存器的定义方法 .....	(292)
三、寻址方式 .....	(292)
四、程序状态字 PSW .....	(294)
<b>第二节 8098 单片机指令系统</b> .....	(295)
一、数据传送类指令 .....	(295)
二、算术运算指令 .....	(297)
三、逻辑运算指令 .....	(301)
四、栈区操作指令 .....	(302)
五、转移与调用指令 .....	(303)
六、条件转移指令 .....	(304)
七、位测试转移指令 .....	(305)
八、循环控制指令 .....	(306)
九、单寄存器指令 .....	(306)
十、移位指令 .....	(307)
十一、专用控制指令 .....	(308)
十二、规格化指令 .....	(309)
<b>第三节 8098 汇编语言程序应用举例</b> .....	(309)

一、8098 汇编语言语句格式 .....	(309)
二、汇编语言程序设计 .....	(310)
三、典型程序举例 .....	(310)
习题与思考题 .....	(314)
<b>第十章 8098 中断系统与硬件定时器 .....</b>	<b>(317)</b>
<b>第一节 8098 中断系统 .....</b>	<b>(317)</b>
一、8098 中断源 .....	(317)
二、中断控制 .....	(318)
三、中断响应及中断优先级的改变 .....	(321)
四、8098 单片机中断系统的局限性 .....	(323)
<b>第二节 中断服务程序设计举例 .....</b>	<b>(323)</b>
一、中断服务程序设计要点 .....	(323)
二、中断服务程序设计举例 .....	(323)
三、8098 扩展外部中断控制器 8259A 的应用设计 .....	(327)
<b>第三节 8098 硬件定时/计数器 .....</b>	<b>(333)</b>
一、I/O 控制与状态寄存器 .....	(334)
二、定时器 1 .....	(335)
三、定时器 2 .....	(336)
四、监视定时器 .....	(337)
五、定时器的应用举例 .....	(338)
习题与思考题 .....	(342)
<b>第十一章 8098 的 HSI、HSO 及软件定时器 .....</b>	<b>(344)</b>
<b>第一节 高速输入单元 HSI .....</b>	<b>(344)</b>
一、HSI 的功能 .....	(344)
二、HSI 的硬件结构 .....	(344)
三、HSI 的控制 .....	(346)
四、HSI 的中断 .....	(347)
五、HSI 的使用要点及使用方法 .....	(348)
六、HSI 的应用举例 .....	(351)
<b>第二节 高速输出单元 HSO .....</b>	<b>(354)</b>
一、HSO 的功能 .....	(354)
二、HSO 的硬件结构 .....	(354)
三、HSO 的控制 .....	(355)
四、软件定时器 .....	(357)
五、HSO 的中断 .....	(358)
六、HSO 的使用要求 .....	(358)
七、HSO 的应用举例 .....	(358)
习题与思考题 .....	(365)
<b>第十二章 8098 单片机 A/D、D/A 转换器及串行口 .....</b>	<b>(368)</b>

第一节 8098 的模/数转换器 .....	(368)
一、A/D 转换器的结构 .....	(368)
二、A/D 转换器的控制 .....	(369)
三、A/D 转换器的使用方法及使用要点 .....	(369)
四、A/D 转换器的程序控制设计 .....	(370)
五、提高 8098 单片机双极性模拟输入 A/D 转换器分辨率的设计方法 .....	(373)
第二节 脉冲宽度调制输出 .....	(379)
一、PWM 单元的结构和工作原理 .....	(379)
二、与 PWM 波有关的寄存器和 PWM 单元的启动 .....	(380)
三、用 PWM 实现 D/A 转换 .....	(380)
四、PWM 单元的应用举例 .....	(382)
第三节 串行口及其应用 .....	(385)
一、串行口的工作方式 .....	(386)
二、串行口的控制 .....	(387)
三、多机串行通信 .....	(390)
四、串行口的使用要点及使用方法 .....	(390)
五、串行口的应用举例 .....	(391)
六、IBM-PC/XT 与 8098 串行数据通信系统硬件设计 .....	(396)
习题与思考题 .....	(397)
<b>第十三章 8098 单片机最小应用系统设计 .....</b>	<b>(400)</b>
第一节 概述 .....	(400)
第二节 8098 最小系统硬件设计 .....	(400)
一、扩展外部存储器 .....	(400)
第三节 用 8279 接口芯片扩展键盘、显示器 .....	(405)
一、8279 功能概述 .....	(405)
二、8279 键盘接口设计 .....	(405)
三、8279 显示控制部分接口设计 .....	(413)
四、8279 与键盘/显示器的接口设计 .....	(416)
习题与思考题 .....	(423)
<b>第十四章 16 位增强型单片机 80C196 简介 .....</b>	<b>(424)</b>
第一节 高性能 16 位单片机 8XC196 概述 .....	(424)
第二节 80C196KB .....	(426)
一、基本功能结构框图 .....	(426)
二、引脚 .....	(426)
三、CPU 结构 .....	(427)
四、存储器空间 .....	(427)
五、中断系统 .....	(430)
六、定时器 .....	(432)
七、HSI/HSO .....	(434)

八、A/D 转换器及脉宽调制输出 PWM .....	(434)
九、串行口 .....	(435)
十、输入/输出口 .....	(436)
十一、特殊工作方式 .....	(437)
十二、软件概述 .....	(437)
十三、80C196KB 的封装 .....	(437)
第三节 80C196KC .....	(437)
一、存储器空间 .....	(438)
二、外设事务服务器 PTS .....	(441)
三、定时器 .....	(452)
四、高速输入 HSI .....	(452)
五、高速输出 HSO .....	(452)
六、A/D 转换器 .....	(453)
七、脉冲宽度调制输出 PWM .....	(454)
八、串行口 .....	(454)
九、特殊工作方式 .....	(455)
十、软件概述 .....	(455)
十一、80C196KC 的封装 .....	(456)
第四节 80C196MC .....	(457)
一、存储器空间 .....	(457)
二、事件处理器阵列 EPA .....	(459)
三、波形发生器 .....	(466)
四、脉宽调制器 .....	(476)
五、模拟/数字转换器 A/D .....	(477)
六、中断和外设事务服务器 PTS .....	(481)
七、80C196MC 的封装 .....	(485)
习题与思考题 .....	(486)
附录一 MCS-51 系列单片机指令表 .....	(487)
附录二 MCS-96 系列单片机指令表 .....	(490)
附录三 单片机开发系统简介 .....	(497)
主要参考文献 .....	(502)

# 上 篇 8 位单片机

## 概 述

微处理器问世不过二十多年，在这短短的时间内，它已对人类社会产生了巨大的影响。单片微机作为微机家族中的一员，在 70 年代中期，由 Intel 公司等推出的 8 位单片机，以其诸多的独特优点而成为微机的一个重要分支，应用广泛，发展迅速。目前，整个单片机的产量占全部微机产量的 70% 以上，其中 8 位单片机的产量又占整个单片机产量的 60% 以上。而 Intel 公司推出的 MCS-51 系列单片机的产量已占 8 位单片机的 50% 以上，由于它具有集成度高，处理功能强，可靠性高，系统结构简单，价格低廉等优点，在目前乃至若干年以后，在智能仪器仪表、信号的检测及处理、工业自动控制、机-电一体化等方面的应用中占有重要地位。Intel 公司的单片机应用广泛的另一个原因是，Intel 公司的外围配套接口芯片品种齐全，单片机可根据不同的需要，选择不同的外围接口芯片，并且接口电路简单，很容易地组成各种不同的应用系统。

本篇先介绍微机一般组成原理，再介绍 MCS-51 系列单片机硬件结构，指令及汇编语言程序设计，然后介绍中断系统及其功能，并且着重讲述了单片机扩展接口技术和人机联系设备。最后介绍了 Intel 公司和 PHILIPS 公司推出的 8 位高性能增强型单片机系列品种：8XC51GA/GB 和 8XC552 等。使读者对 8 位单片机的发展、应用有一个全面的了解，为工程设计打下良好的基础。

# 第一章 微型计算机的基础知识

本章主要介绍计算机中的数制、码制和数的运算方法，微型计算机的组成及简单的工作过程、存储器的结构、分类及RAM、EPROM、芯片功能及使用，使读者掌握二进制数、尤其是带符号数的表示和运算，初步了解并熟悉微型计算机的组成、基本原理和硬件结构。

## 第一节 计算机中的数制、码制和运算方法

在计算机中，CPU只识别用0、1代码表示的二进制数，而人们所熟悉的只是十进制数等。因此，需要对数制、码制进行定义，并正确地实现相互转换或运算。在计算机中常用的有十进制数、二进制数、八进制数和十六进制数。

### 一、进位计数制

按进位的原则进行计数的方法，称为进位计数制。十进制数有两个主要特点：

- (1) 它有十个不同数字符号，即0, 1, 2, ……，9；
- (2) 低位向高位进位是逢十进一。

因此，同一个数字符号在不同的位置（或叫数位）所代表的数值是不同的。如353.3中三个3分别代表不同的数值300，3和0.3，这个数可写为：

$$353.3 = 3 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1}$$

通常称上式中的10为十进数的基数，即基数就是所用数字符号（或称数码）的个数，而称 $10^2$ ， $10^1$ ， $10^0$ ， $10^{-1}$ ，……等为各数位的位值（或权）。

二进制数与十进制数类似，它也有两个主要特点：

- (1) 它有且只有二个不同的数字符号，即0和1；
- (2) 低位向高位的进位是逢二进一。

因此，同一个数字符号在不同的位置所代表的数值也是不同的。如 $(101.1)_2$ 可写成：

$$(101.1)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} = (4 + 1 + 0.5)_{10} = (5.5)_{10}$$

亦即二进制就是基数为2的进位计数法，其各位上的位值（权）分别为 $2^{n-1}$ ， $2^{n-2}$ ，……， $2^1$ ， $2^0$ ， $2^{-1}$ ，…… $2^{-m}$ 。

一般来说，任意一个十进制数N可表示为：

$$\begin{aligned} N &= \pm [K_{n-1} \times 10^{n-1} + K_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + K_1 \times 10^1 + K_0 \times 10^0 \\ &\quad + K_{-1} \times 10^{-1} + K_{-2} \times 10^{-2} + \dots + K_{-m} \times 10^{-m}] \\ &= \pm \sum_{i=-m}^{n-1} K_i \times 10^i \end{aligned}$$

式中  $m$ 、 $n$  均为正整数； $K_i$  可以是0, 1, 2, ……，9十个数字符号中任何一个，它要由具体数来定，10为基数。

同理，任意一个二进制数B可表示为：

$$\begin{aligned} B &= K_{n-1} \times 2^{n-1} + K_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + K_1 \times 2^1 + K_0 \times 2^0 \\ &\quad + K_{-1} \times 2^{-1} + K_{-2} \times 2^{-2} + \dots + K_{-m} \times 2^{-m} \end{aligned}$$

$$= \pm \sum_{i=-n}^{i-1} K_i \times 2^i$$

式中  $K_i$  是 0、1 数字符号中任何一个，2 为基数。

对于任意进位计数制，基数可用正整数  $R$  来表示。这时，数  $N$  可表示：

$$N = \pm \sum_{i=-n}^{i-1} K_i R^i$$

式中  $K_i$  是 0、1、……、 $(R-1)$  中的任何一个； $R$  是基数，采用“逢  $R$  进一”的原则进行计数。

对于八进制， $R=8$ ，此时有 0、1、2、3、4、5、6、7 八个数码状态，基数“8”在这里表示八。在八进制中，采用“逢八进一”的原则进行计数。如  $(305)_8$ ，则为

$$(305)_8 = 3 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 5 \times 8^0$$

对于十六进制数  $R=16$  的情况，此时除了 0~9 十个数外还需要加 A、B、C、D、E、F 六个状态数，合起来为十六个状态采用“逢十六进一”原则。

我们把常用的几种进位计数制表示的方法列于表 1-1 中。

表 1-1 常用计数制表示的方法

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	0	0	0	9	1001	11	9
1	1	1	1	10	1010	12	A
2	10	2	2	11	1011	13	B
3	11	3	3	12	1100	14	C
4	100	4	4	13	1101	15	D
5	101	5	5	14	1110	16	E
6	110	6	6	15	1111	17	F
7	111	7	7	16	10000	20	10
8	1000	10	8				

## 二、不同进位计数制的转换

转换原则：不同进位计数制之间的转换是根据两个有理数如相等，则两数的整数部分和分数部分应分别相等的原则进行的。转换前后，两数相等。

### 1. 二进制与八进制之间的相互转换

由于  $2^3=8$ ，所以 3 位二进制数相当于 1 位八进制数，它们之间是完全对应的。因此，只要把 1 位八进制数字化成 3 位二进制数字，反之，把 3 位二进制数字化成 1 位八进制数字，即可实现八进制到二进制，或者二进制到八进制的转换。例如：

$$\begin{array}{cccc} \text{八进制到二进制} & 1 & 5 & \cdot & 6 \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ & 001 & 101 & \cdot & 110 \end{array}$$

$$\text{即 } (15.6)_8 = (1101.11)_2$$

$$\begin{array}{cccccc} \text{二进制到八进制} & 100 & 010 & \cdot & 100 & 100 \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ & 4 & 2 & \cdot & 4 & 4 \end{array}$$

$$\text{即 } (100010.1001)_2 = (42.44)_8$$



## 2. 二进制与十六进制之间的转换

由于  $2^4=16$ ，所以 4 位二进制数相当于 1 位十六进制数，它们之间是完全对应的。因此，只要把 1 位十六进制数化成 4 位二进制数字，反之，把 4 位二进制数化成 1 位十六进制数字即可实现十六进制到二进制，或者二进制到十六进制的转换。例如：

十六进制到二进制

2	3	·	A	9
↓	↓	↓	↓	↓
0010	0011	·	1010	1001

即  $(23.A9)_{16} = (100011.10101001)_2$

二进制到十六进制

0010	0000	·	1011	1000
↓	↓	↓	↓	↓
2	0	·	B	8

即  $(100000.10111)_2 = (20.B8)_{16}$

## 3. 二进制、八进制、十六进制转换成十进制

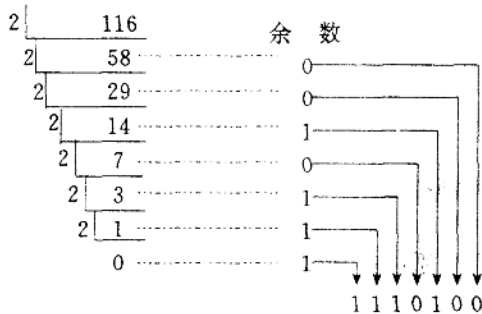
根据它们各自定义表示方式，按权展开相加即可将二进制数、八进制数、十六进制数转换成十进制数。例如十六进制到十进制转换：

$$(2C.C)_{16} = 2 \times 16^1 + C \times 16^0 + C \times 16^{-1} = 2 \times 16^1 + 12 \times 16^0 + 12 \times 16^{-1} \\ = (44.75)_{10}$$

## 4. 十进制转换成二进制、八进制、十六进制

### (1) 整数部分

分别用基数 2、8、16 不断的去除待转换的十进制整数，直到商为 0 为止，每次除所得的余数相应为二进制、八进制、十六进制数码。最初得到为最低有效数字，最后得到为最高有效数字。例如十进制到二进制：



即  $(116)_{10} = (1110100)_2$

### (2) 小数部分

分别用基数 2、8、16 不断的去乘待转换的十进制小数，直到积的小数部分为 0（或直到所要求的位数）为止，每次乘所得的整数即相应为二进制、八进制、十六进制数码。最初得到的为最高有效数字，最后得到的为最低有效数字。例如：十进制到二进制：

即  $(0.84375)_{10} = (0.11011)_2$