

国家示范性建设院校电子信息类
优质核心及精品课程规划教材

微控制器开发与应用

主 编 董少明

副主编 马良安 王 姝 董辰晖



西安电子科技大学出版社
XIDIAN UNIVERSITY PRESS

国家示范性建设院校电子信息类优质核心及精品课程规划教材

微控制器开发与应用

主 编 董少明

副主编 马安良 王 姝 董辰晖

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本教材从应用开发的角度出发,以 80C51 系列微控制器为背景,介绍其基础知识、硬件结构、指令系统、汇编语言程序设计、内部功能部件、项目实践、系统扩展、接口技术及开发技术。

本教材以项目为引导,按学习任务来组织内容,共分为两篇 9 个项目:项目一~项目六为基础应用篇,项目七~项目九为扩展提高应用篇。各项目均有丰富的案例及问题扩展,项目末安排有知识链接、规律总结和可供选做的自测题。附录中还提供了完整的 80C51 微控制器指令表、微控制器学习和应用的常用网站等资料,以帮助读者获得微控制器应用开发的基本能力,尽快掌握微控制器应用系统的开发技术。

本教材可作为高职高专院校计算机应用、自动控制、电气电子、机械等工科专业相关课程的教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考书。

★本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

微控制器开发与应用/董少明主编. —西安:西安电子科技大学出版社, 2010.10

国家示范性建设院校电子信息类优质核心及精品课程规划教材

ISBN 978-7-5606-2473-0

I. ① 微… II. ① 董… III. ① 微控制器—高等学校—教材 IV. ① TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 176789 号

策 划 云立实

责任编辑 张 玮 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2010 年 10 月第 1 版 2010 年 10 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 17.75

字 数 418 千字

印 数 1~3000 册

定 价 25.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2473 - 0/TP · 1232

XDUP 2765001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

2008年7月18日,陕西工业职业技术学院被确定为“国家示范性高等职业院校建设计划”立项建设院校,计算机应用技术专业被确定为示范建设专业。在示范任务建设过程中,计算机应用技术专业项目组成员结合学院“工学六融合”人才培养模式,与华三通信技术有限公司、西安协同数码有限责任公司等知名IT企业合作,本着培养目标与岗位需求相融合、课程体系与工作过程相融合、教学内容与工作任务相融合的宗旨,在对区域行业、企业进行了大量调研的基础上,由西安电子科技大学出版社牵头组织企业专家与学校一起,基于技能培养的目标编写了本书。同时本书也是计算机应用技术专业示范性建设成果之一。

“微控制器开发与应用”是高职高专院校电类、信息技术类专业的一门重要的专业课程。通过本课程的学习,能使学生系统地掌握微控制器原理及接口技术,掌握微控制器开发与应用的基本方法,熟悉微控制器应用系统的开发技术。

本书借鉴了先进的教学理念,以工作过程为导向,从实用的角度出发,采用阶梯化、模块化的项目结构,将微控制器开发与应用技术所涉及到的知识和技能整合为9个大的学习项目,并分解为28个学习任务,充分体现了培养高职高专院校学生职业能力的教学目标。

本书中前6个项目构成一个相对完整的基础应用篇,也可供少学时或其他专业使用;后3个项目构成扩展提高应用篇,以突出微控制器应用系统以及接口技术方面的知识。本书注重理论和实践相结合,项目设有问题情境、问题分析类导读信息;通过数个学习任务来组织学习内容,并在各学习任务中安排有案例分析;知识链接用来扩展学生的视野;项目末安排有规律总结和自测题。本书在附录中还给出了完整的指令表,常用IC引脚图,微控制器学习、应用的常用网站,使学生尽快掌握微控制器应用系统的开发技术。

本书结构严谨、内容充实,以微控制器市场流行的MCS-51微控制器为主,介绍了当今世界上微控制器技术应用的现状及发展趋势,由浅入深地介绍了微控制器的内部结构、资源和工作原理、汇编语言程序设计以及中断、定时/计数器、系统扩展、输入/输出通道中的并行输入/输出接口、串行输入/输出接口、外围设备接口、A/D、D/A转换接口和微控制器应用系统设计开发技术及其程序设计,还介绍了两个不同类型的完整的微控制器应用系统案例。

本书由董少明担任主编,马安良、王姝、董辰晖担任副主编。其中马安良编写了项目三、五;王姝编写了项目四、六、七;董辰晖编写了项目八、九;董少明编写了其余的章节以及附录等内容,并负责统稿。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不当之处,恳请诸位读者不吝赐教,以利修正。

编 者

2009年10月

目 录

基础应用篇

项目一 微控制器基础知识	3
问题情境 微控制器典型应用系统的构成	3
问题分析 微控制器与一般计算机的区别	3
学习任务	4
任务1 微控制器的认识	4
任务2 学习微控制器必备的基础知识	7
任务3 什么是微控制器系统	12
知识链接	13
规律总结	17
自测题	18
项目二 80C51 系列微控制器的硬件结构	20
问题情境 微控制器应用案例——“跑马灯”电路	20
问题分析 如何学习微控制器的结构及设计要求	21
学习任务	21
任务1 从应用角度看 80C51 微控制器的结构	21
任务2 80C51 微控制器的存储器结构	27
任务3 80C51 微控制器并行 I/O 接口及设计要求	31
任务4 80C51 微控制器应用系统的构成	35
知识链接	40
规律总结	42
自测题	43
项目三 80C51 微控制器的指令系统	46
问题情境 如何让“跑马灯”跑起来	46
问题分析 汇编语言指令格式的描述	46
学习任务	47
任务1 符号约定和寻址方式	47
任务2 指令系统	52
知识链接	67
规律总结	68

自测题	69
项目四 汇编语言程序设计	73
问题情境 如何让“跑马灯”跑得更有趣	73
问题分析 汇编语言程序结构	74
学习任务	75
任务 1 汇编语言程序设计的基本方法	75
任务 2 汇编语言程序设计	79
知识链接	89
规律总结	96
自测题	96
项目五 80C51 微控制器内部功能部件	99
问题情境 无人值守航标灯是如何工作的	99
问题分析 航标灯的工作机制和程序设计	99
学习任务	101
任务 1 80C51 微控制器的中断系统	101
任务 2 80C51 微控制器的定时器/计数器	108
任务 3 80C51 微控制器的串行通信 I/O 接口	114
知识链接	124
规律总结	129
自测题	130
项目六 项目实践	133
任务 1 I/O 接口应用	133
任务 2 定时器/计数器及中断功能应用	142
任务 3 串行接口应用	152
规律总结	154
自测题	154

扩展提高应用篇

项目七 80C51 微控制器系统的扩展	159
问题情境 常用人机交互设备与微控制器的连接	159
问题分析 微控制器系统扩展的机制	160
学习任务	160
任务 1 80C51 的总线扩展	160
任务 2 存储器扩展基础	161
任务 3 程序存储器的扩展	162
任务 4 数据存储器的扩展	168
任务 5 并行 I/O 接口的扩展	171

知识链接	180
规律总结	184
自测题	184
项目八 微控制器接口技术	186
问题情境 微控制器数字温度计的设计	186
问题分析 接口技术研究的问题	187
学习任务	187
任务1 光电隔离接口	187
任务2 常用人机交互设备接口	190
任务3 D/A、A/D 转换器及其接口	210
任务4 步进电机及驱动接口	229
知识链接	233
规律总结	235
自测题	235
项目九 微控制器开发技术	237
问题情境 工业电炉温度控制系统的设计	237
问题分析 微控制器开发技术研究的问题	238
学习任务	238
任务1 微控制器的开发系统和开发工具	238
任务2 微控制器应用系统的设计原则与过程	241
任务3 微控制器应用系统的抗干扰设计	247
任务4 微控制器应用实例	249
规律总结	262
自测题	263
附录 A ASCII 码表	264
附录 B 80C51 微控制器指令表	265
附录 C 常用 IC 引脚图	270
附录 D 微控制器学习、应用的常用网站	274
参考文献	275

基础应用篇

THE
JOURNAL
OF
THE
ROYAL
ANTHROPOLOGICAL
INSTITUTE

项目一 微控制器基础知识

问题情境 微控制器典型应用系统的构成

由微控制器及其外围接口部件组成的微控制器系统称为微控制器应用系统，可以应用于不同的场合。一个具有测控功能的微控制器典型应用系统的构成如图 1-1 所示。

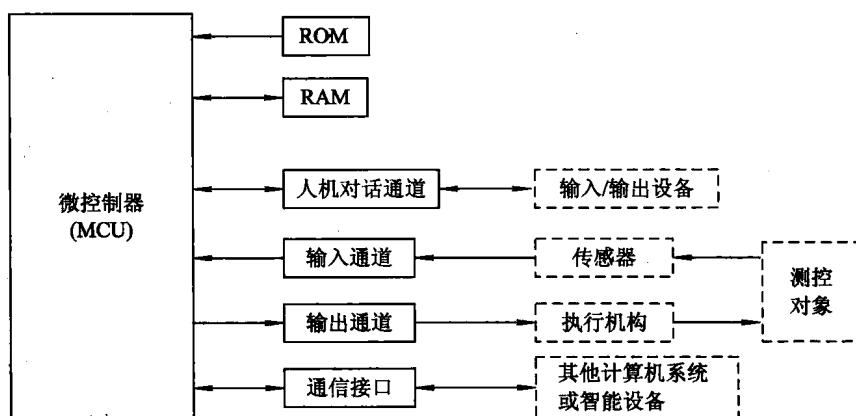


图 1-1 微控制器典型应用系统

一个微控制器典型应用系统通常由微控制器、片外程序存储器(ROM)、片外数据存储器(RAM)、扩展的输入/输出接口(I/O 接口)通道以及系统工作过程中进行人工干预和输出结果的人机对话通道等组成。

微控制器在一块芯片上集成了一个中央处理器(CPU)、程序存储器(只读存储器 ROM 或者闪存 Flash ROM)、数据存储器(随机存储器 RAM)，一个或者数个定时/计数器(CTC)，以及用来扩展外围设备资源的输入/输出接口(I/O 接口)或其他外围功能部件等。就其组成而言，一片微控制器就是一台微型计算机的基本硬件系统。

微控制器常用的输入输出设备有键盘、LED 和 LCD 显示器、打印机等。用于对检测信号进行采集的输入通道通常由传感器、信号处理电路和相应的接口电路组成；输出通道用于向受控设备及执行机构发出各种控制信号，它通常包括输出信号电参量的变换、通道隔离和驱动电路等；通信接口则用于与其他计算机系统或智能设备实现信息的交换。

问题分析 微控制器与一般计算机的区别

微控制器作为微型计算机的一个分支，与一般的微型计算机没有本质上的区别，同样

具有运算速度快、控制精确等特点并具有记忆功能和逻辑判断能力。但微控制器毕竟是集成在一块芯片上面面向控制应用的微型计算机，它与一般的微型计算机相比，在硬件结构和指令设置上还是有较大差异的，主要表现为以下几点：

(1) 结构上采用 Harvard 结构，即数据存储空间与程序存储空间相互分隔开来。而目前一般计算机常用的是 Von Neumann 结构，即数据与程序合用一个存储空间。采用 Harvard 结构主要是考虑到微控制器大多用于控制，需要较大的程序存储器用来固化已调试好的控制程序以及较小容量的数据存储器用来存放少量的数据。

程序存储器只存放程序与常数或表格，所以无论什么芯片，都是“只读”的存储器。数据存储器能以高速寄存器形式集于微控制器内，以加快微控制器的运算速度，它用来存放需要处理的随机数据，而不是当作高速数据缓冲器来用。从控制信号上讲，访问外部程序存储器时 $\overline{\text{PSEN}}$ 信号有效，访问外部数据存储器时 $\overline{\text{WR}}$ 或 $\overline{\text{RD}}$ 信号有效，从而保证了这两类存储严格分开。

(2) 强调自供应能力和节约成本。微控制器与个人电脑中的通用型微处理器相比，它的体积小，同时内封有功能丰富的部件、输入/输出设备及其接口，且可以通过特殊的指令来进行操作，还可安置在仪表内部实现嵌入功能。比如，一个典型的微控制器只需要一个时钟发生电路就可以构成一个微控制器的最小系统在软件控制下进行工作，其价格一般为人民币 10~20 元。

(3) 应用开发以汇编语言为主。由于微控制器对成本是敏感的，因而目前占统治地位的软件还是较低级的汇编语言，它是除了二进制机器码以外最低级的语言了。既然这么低级为什么还要用呢？很多高级的语言已经达到了可视化编程的水平为什么不用呢？原因很简单，就是微控制器没有家用计算机那样的 CPU，也没有像硬盘那样的海量存储设备。一个可视化高级语言编写的小程序里面即使只有一个按钮，也会达到几十 KB 的容量。对于家用 PC 的硬盘来讲这样的存储容量不算什么，可是对于微控制器来讲是不能接受的。微控制器在硬件资源方面的利用率必须很高才行，所以汇编语言虽然原始却还是在大量使用。一样的道理，如果把巨型计算机上的操作系统和应用软件拿到家用 PC 上来运行，则家用 PC 也是承受不了的。

(4) 实现在线实时控制。微控制器是一种实现在线实时控制的计算机。在线实时控制就是现场控制，需要的是有较强的抗干扰能力，这也是微控制器和离线式计算机(比如家用 PC)的主要区别。

学 习 任 务

任务 1 微控制器的认识

(一) 什么是微控制器

首先让我们认识一下什么是单片机。所谓单片机就是单片微型计算机(Single Chip Microcomputer, SCM)的简称。它是把微型计算机的基本功能部件：中央处理器(CPU)、数

据存储器(RAM)、程序存储器(ROM)、中断机构、定时器/计数器(Timer/Counter)以及输入/输出接口等,集成在一块半导体芯片上的一种微型计算机。它是大规模、超大规模集成电路技术发展和计算机微型化技术发展的产物。随着 SCM 在架构上的不断扩展,新一代单片机不断涌现,这些单片机的控制功能被不断扩充,许多外围功能部件被内置化,如 ADC(模数转换器)、DAC(数模转换器)、PWM(脉宽调制器)、WDT(监视定时器)等,所以已不能再用 SCM 来准确表达其内涵了。目前国际上统一称单片机为微控制器(MicroController Unit, MCU)。在国内,因单片机一词已约定俗成而继续沿用,但其内涵应该对应 MCU,因此我们应该明确知道的是 MCU 的结构及功能均是按照工业控制的要求而设计的,其主要应用是面向控制的,故称其为微控制器(MCU)更科学。

在微控制器的结构设计上,它的硬、软件系统及 I/O 接口控制能力等方面都有独到之处,具有较强而有效的功能。从其组成、逻辑功能上来看,微控制器都具备了微机系统的基本部件。但是需要指出的是,绝大多数微控制器毕竟还只是一个芯片,只有在配置了应用系统所需的接口芯片、输入/输出设备等,才可以构成实用的微控制器应用系统。

(二) 微控制器的发展历程及应用

1. 微控制器的发展历程

微控制器的诞生是计算机发展史上一个重要的里程碑,标志着计算机在控制领域形成了一个独立的分支——嵌入式系统(Embedded System),从此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齐头并进的时代。从其诞生至今的 30 年中,微控制器已发展形成上百种系列的近千个机种。以领跑的 Intel 公司 MCS 系列微控制器为主线来看,微控制器的发展大致经历了以下几个阶段:

1976~1979 年为微控制器的探索阶段。1976 年 Intel 公司推出 MCS-48 系列微控制器,将 CPU 和计算机基本功能部件集成到了一个芯片上,SCM 一词即由此而来。第一代 8 位通用微控制器的诞生,开创了嵌入式系统与通用计算机完全不同的独立发展道路,表明了 Intel 在工控领域的创新探索获得成功。

1979~1982 年为微控制器完善阶段。1980 年 Intel 公司在 MCS-48 基础上推出了 MCS-51 系列高性能 8 位微控制器,开始配备串行通信接口(UART),其典型产品为 80C51。MCS-51 的推出奠定了典型通用总线型的微控制器架构。从此微控制器发展到了一个全新阶段,应用领域更加广泛。

1982~1990 年为 16 位微控制器推出且高性能 8 位微控制器更进一步发展阶段。1980 年 Intel 公司推出了 MCS-96 系列微控制器,将 ADC、PWM、WDT 等用于测控系统的部件内装在芯片中,体现了微控制器的特征。嵌入式计算机系统走上了单芯片化发展的道路。

1990 年以来为微控制器的全面发展阶段,微控制器正朝着高性能和多品种的方向发展。一方面,出现了高速、大寻址范围、强运算能力的 8 位、16 位、32 位通用型微控制器;另一方面,出现了小型廉价的专用型微控制器。随着超大规模集成电路(VLSI)工艺技术的发展,有可能把所需的外围电路全部装入微控制器内,这种芯片称为系统级芯片(System on a Chip, SoC)。专用微控制器的发展呈 SoC 化趋势是目前微控制器的发展热点之一。

2. 新一代 80C51 系列微控制器的崛起

由于引领微控制器发展的 Intel 公司忙于开发其个人计算机用微处理器,因此将其

MCS-51 内核使用权转让给 ATMELE、Philips、NEC、SST、Winbond(华邦)等著名 IC 制造商。众多 IC 制造商竞相研制和开发与 MCS-51 微控制器兼容的各具增强特色的微控制器,如 ATMELE 公司的 AT89C51 和 AT89S51、Philips 公司的 P89C51、Winbond 公司的 W78E51B 以及 Hyundai 公司的 GMS97C51 等。

微控制器园地里各品种异彩纷呈,争奇斗艳。现在 MCS-51 及 80C51 成为众多 IC 制造商支持并开发出上百个机种的大家族,现统称其为新一代的 80C51。其典型产品为 ATMELE 公司推出的 AT89C51。

1998 年 ATMELE 公司将微控制器内的程序存储器(属 EPROM)改为闪速存储器(Flash Memory),率先推出了 AT89 系列微控制器。闪速电可擦除可编程只读存储器(Flash Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory, FE²PROM)可以像 RAM 一样在线擦写,在系统开发过程中给编程和调试带来了极大的便利,大大缩短了系统的开发周期。另外,FE²PROM 又具有像 ROM 一样掉电信息不丢的特性,使得在系统工作过程中,能有效地保存数据信息。AT89C51 的引脚和 80C51 是一致的,软件上又完全兼容标准 MCS-51 的指令系统,所以 AT89C51 可以直接替换 80C51。AT89 系列微控制器已成为当今最流行的 8 位微控制器,它的出现使得学习微控制器不再因花费昂贵而高不可攀,正所谓“旧时王谢堂前燕,飞入寻常百姓家”。

目前,微控制器应用呈现 8 位、16 位、32 位微控制器并举的格局。虽然微控制器品种繁多,功能各异,开发装置也互不兼容,但是客观实践表明,新一代 80C51 是其中的佼佼者,它以价格低廉、品种齐全、开发方便、应用软件丰富和支持环境充分等特点而占据主导地位。本书将以 AT89 系列为主,阐述微控制器的原理与应用。

当然,微控制器并非只是新一代 80C51 一枝独秀。美国 Microchip 公司发布了一种完全不兼容 MCS-51 的 PIC 系列微控制器。这种具有 RISC(精简指令集计算机)架构的 PIC 系列微控制器只有 33 条精简指令集,比 MCS-51 的 111 条指令集要少得多,其以优良的品质和性能吸引了不少用户,并获得了快速的发展,在业界中占有一席之地。

3. 微控制器的特点与应用

微控制器正是由于它单芯片集成的结构形式以及所采用的半导体工艺,使其在速度、功耗、成本上和多芯片系统相比具有较大的优势。微控制器侧重的是增强对测控对象的控制功能,提高工业环境下的可靠性,构成灵活、方便的应用计算机系统的界面接口。因此,微控制器有着自己的特点,归纳起来主要有以下 5 点:

(1) 性价比高。同昂贵的通用微处理器相比,微控制器的成本低廉,许多微控制器芯片每片的价格只有几元人民币。

(2) 集成度高,可靠性好。微控制器把各功能部件集成在一块芯片上,内部采用总线结构,提高了它的可靠性与抗干扰能力,从而能适应较宽裕的温度环境,能在恶劣的工业环境下可靠工作。

(3) 功能完善,接口多样。微控制器专为满足工业控制而设计,具有各种各样的接口以及丰富的控制指令,特别是逻辑操作与位处理指令;其配套应用软件提供了丰富的软件库,使用户开发微控制器应用系统时更快速、便利。

(4) 低功耗、低电压。一般电源供电电压为 3~5 V,在此范围内微控制器都能正常工作,电压的下限可达 1~2 V。在生产工艺上以 CMOS 或 HCMOS 代替 NMOS,工作电流可从

mA 级降到 μA 级。嵌入式微处理器的低功耗,使得便于利用它生产便携式的无线及移动的计算机通信设备,靠电池供电的嵌入式系统更是如此。

(5) 总线多样,易于扩展。微控制器外部的典型三总线结构,便于系统扩展。可方便地实现多机和分布式控制,构成各种规模的应用系统,提高整个控制系统的效率和可靠性。外部总线增加了 I^2C 及 SPI 等串行总线方式,缩小了体积,简化了结构。可根据需要进行并行或者串行扩展,形成网络和多机控制系统。

4. 微控制器的应用

微控制器的应用范围广阔,在家用电器、医疗设备、测控仪表、计算机外设、数控机床、尖端武器、机器人和航空航天中都得到了广泛的应用,成为控制系统中重要的智能化芯片。归纳起来,微控制器的主要应用有以下 5 个方面:

(1) 工业自动化控制。这是最早采用微控制器应用的领域之一。用微控制器可以构成各种形式的控制系统,如流水线的智能化管理、电梯 PLC 智能化控制、各种报警系统、与计算机联网构成二级控制系统等。微控制器还作为机电一体化产品中的控制器,可大大提高机器的自动化、智能化程度。

(2) 智能化家电控制。微控制器嵌入到现代的各种家用电器中取代传统的电子电路控制已经成为发展趋势,并且提高了这些家电的身价。如微控制器控制的智能化电饭煲、全自动洗衣机、电冰箱、空调、彩电等,五花八门,无所不在。

(3) 计算机外设控制。在计算机外部设备中多数都嵌入了微控制器系统,如打印机、复印机、扫描仪、磁盘驱动器等。例如,有些微型打印机内部采用 8035 单片微机控制,能打印点阵汉字,可与一般的微机配接。在软盘驱动器和硬盘驱动器中,大多采用 8048 微控制器,控制主轴电机的启停和转速,控制步进电机的精确步距,从而保证磁头的精确寻道和定位。

(4) 智能化仪表测控。在传统仪器仪表中嵌入了微控制器之后,可以简化其硬件结构,使仪器仪表数字化、微型化;可以提高测量的精度,提升智能化程度,增加其性价比,从而提高了仪器仪表的档次。结合不同类型的传感器,还可实现各类物理量的精密测量,如温度、湿度、流量、流速、电压、频率等。微控制器在医疗设备中也应用得相当广泛,如呼吸机、监护仪、超声诊断设备及病床呼叫系统等。除此之外,微控制器在机器人、军用航空、航天等尖端领域的应用更加突出。

(5) 多机系统中的测控。微控制器所具备的通信接口,能方便地实现微控制器与微控制器之间、微控制器与计算机之间的数据通信。在分布式多机系统中,若干台功能各异的微控制器通过串行通信相互联系,协调工作。微控制器可以置于恶劣环境的前端,对现场信息进行实时的测控。现代通信设备大多实现了微控制器智能控制,如手机、移动电话、楼宇自动通信呼叫系统、无线电对讲机等。综上所述,微控制器已成为计算机发展和应用的一个重要方面。

任务 2 学习微控制器必备的基础知识

(一) 进位计数制及其转换

凡采用数字符号排列,按照由低位向高位进位计数的方法称为进位计数制,简称为计

数制或进位制。在人们的日常生活中，会遇到各种不同的进位计数制，不仅有最常使用的十进制，还有二进制、八进制、十二进制、十六进制、二十四进制等。在计算机领域比较常用的进位计数制如下：

- (1) 二进制：由数字符号 0、1 构成，逢 2 进 1。
- (2) 八进制：由数字符号 0~7 构成，逢 8 进 1。
- (3) 十进制：由数字符号 0~9 构成，逢 10 进 1。
- (4) 十六进制：由数字符号 0~9 和字母 A~F 构成，逢 16 进 1。

在计算机内部，数的表示仅采用二进制计数制，即计算机内部处理的信息(数值数据、字符、图形、声音等)必须用 0、1 的代码表示，计算机能够理解的语言也只能是由 0、1 构成的语言，而用户在书写时则可以采用任何进制形式的数。下面讨论各种数制之间的转换。

1. 十进制数转换为二进制数

十进制数转换为二进制数，需对其整数和小数部分分别进行转换。

(1) 十进制整数转换为二进制整数的方法是：用 2 不断地去除要转换的十进制数，直至商为 0。每次所得的余数即为二进制数位，最初得到的余数是二进制整数的最低位。这就是所谓的“除 2 取余，逆序排列”法。

【例 1.1】 将十进制数 25 转换成二进制数。

2		25		余数	↑
2		12		1	
2		6		0	
2		3		0	
2		1		1	
		0		1	

因此：

$$(25)_{10} = (11001)_2$$

(2) 十进制小数转换为二进制小数的方法是：用 2 不断地去乘要转换的十进制小数，直至乘积的小数部分为 0。每次所得的整数部分即为二进制数位，最初得到的整数是二进制小数的最高位。这就是所谓的“乘 2 取整，顺序排列”法。

【例 1.2】 将十进制数 0.8125 化成二进制数。

0.8125		整数	
× 2			
1.625		1	
0.625			
× 2			
1.25		1	
0.25			
× 2			
0.5		0	
0.5			
× 2			
1.0		1	
0			

因此：

$$(0.8125)_{10} = (0.1101)_2$$

注意：当十进制小数不能用有限位二进制小数精确表示时，可根据精度要求，采用“零舍一入”的方法，取有限位二进制小数近似表示。

2. 二进制数转换为十进制数

将二进制数转换为十进制数，只需按位权展开求累加和即可。

【例 1.3】 把二进制数 11011.0101 转换为十进制数。

$$\begin{aligned} 11011.0101 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 0 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4} \\ &= 16 + 8 + 0 + 2 + 1 + 0 + 0.25 + 0 + 0.0625 \\ &= (27.3125)_{10} \end{aligned}$$

因此：(11011.0101)₂ = (27.3125)₁₀

任意进制数与十进制数之间转换的一般方法如图 1-2 所示。

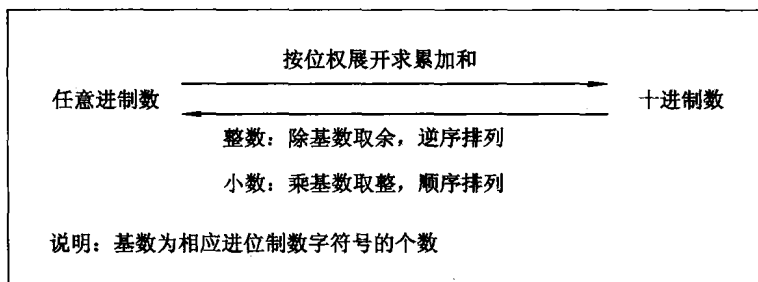


图 1-2 任意进制数与十进制数转换的一般方法

3. 二进制数与十六进制数的相互转换

二进制数转换成十六进制数比较容易，具体方法如下：

- (1) 把二进制数以小数点为界向左向右每 4 位分成一 4 组，不足 4 位的以 0 补齐。
- (2) 把每组 4 位的二进制数转换成 1 位的十六进制数。
- (3) 按从左到右的次序写出转换结果。

【例 1.4】 把二进制数 10110111.0101111 转换成十六进制数。

分组： 1011, 0111, 0101, 1110

转换： B 7 5 E

因此：(10110111.0101111)₂ = (B7.5E)₁₆

十六进制数转换成二进制数的方法更简单，只需从左到右把每位十六进制数写成相应的 4 位二进制数，并把结果写在一起即可。

【例 1.5】 把十六进制数 3BD.A5 转换成二进制数。

(3BD.A5)₁₆ = 3 B D . A 5
 0011 1011 1101 . 1010 0100

因此：(3BD.A5)₁₆ = (1110111101.101001)₂ （已去掉最左边没有意义的 0）

表 1-1 中列出了 0~15 之间的十进制数在二进制、八进制和十六进制下的对应值。为了加快数制转换的速度，这张表中的内容应该熟记于心。

表 1-1 0~15 在各种数制下的表示

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	00	0	8	1000	10	8
1	0001	01	1	9	1001	11	9
2	0010	02	2	10	1010	12	A
3	0011	03	3	11	1011	13	B
4	0100	04	4	12	1100	14	C
5	0101	05	5	13	1101	15	D
6	0110	06	6	14	1110	16	E
7	0111	07	7	15	1111	17	F

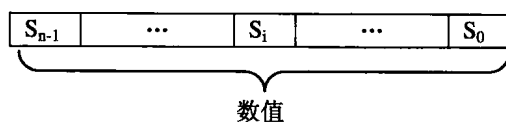
4. 数的书写方法

人们喜欢用十进制，而计算机仅认识二进制。十六进制、八进制则是二进制的缩写，看到了十六进制、八进制，就等于看到了二进制。计算机中经常使用的数的书写方法有二进制(后缀 B、Binary)、八进制(后缀 O、Octal 或 Q，因为 O 与 0 容易混淆，所以书写印刷为 Q)、十进制(后缀 D，Decimal，或者不要后缀)和十六进制(后缀 H、Hex)。

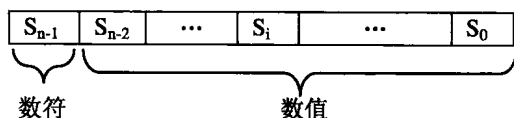
例： 1010B ；表示二进制数
 5703Q ；表示八进制数
 2048D ；表示十进制数
 0A30BH ；表示十六进制数(在汇编语言程序中由字母 A~F 开头的
 ；十六进制数前需要添加 0)

(二) 机器数

计算机中的数据简称为机器数，一个完整的机器数应能表示无符号数和符号数。对于一个字长为 n 位的机器数而言，若表示无符号数时，其 n 位应全部用于表示数值。如：



若表示符号数时，其最高位用于表示数的符号(用 0 表示正数，用 1 表示负数，这样的处理称为数符号的数字化表示)，其余的 $n-1$ 位用于表示数值。如：



无论是无符号数，还是符号数，都是计算机能够直接处理的两种数据。

在计算机中对于符号数有不同的编码方式，通常采用两种编码表示：原码、补码。

1. 原码

最高位为符号位(正数用 0，负数用 1)，其余位为数值位，数值位不变。

【例 1.6】 $X = +45 = +00101101B$ $[X]_{\text{原}} = 00101101B$

$X = -45 = -00101101B$ $[X]_{\text{原}} = 10101101B$