



普通高等职业院校技能型规划教材



# 单片机技术与应用

龚运新 朱芙蓉 主 编

唐亦敏 谢利民 蒋 鹏 任静福 副主编



电子教案  
实例源文件  
实例素材文件



南京大学出版社

普通高等职业院校技能型规划教材

# 单片机技术与应用

龚运新 朱芙蓉 主 编

唐亦敏 谢利民 蒋 鹏 任靖福 副主编

南京大学出版社

## 内 容 简 介

本书是全面介绍如何学习与研究单片机的教科书,是一本最贴近产品开发并且实用性较强的教材。书中介绍了开发单片机产品的方法和必备的工具,以及开发单片机产品的全过程。全书共10章,主要介绍MCS-51单片机结构、单片机最小系统、单片机硬件仿真、软件仿真、编程固化、指令系统、程序设计、定时器的使用方法,中断使用方法以及系统扩展技术、单片机产品设计。

本书内容由浅入深,辅以实例和软件仿真,通俗易懂并且便于自学,可作为高职高专学校相关类专业教材,也可作为单片机自学教程,对从事单片机应用与开发的工程技术人员也有一定参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

单片机技术与应用/龚运新,朱芙蓉主编.南京:南京大学出版社,2009.4

普通高等职业院校技能型规划教材

ISBN 978-7-305-05824-0

I. 单… II. ①龚…②朱… III. 单片机微型计算机-高等院校;技术学校-教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第048556号

出版者 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路22号

邮编 210093

网 址 <http://press.nju.edu.cn>

出版人 左 健

丛 书 名 普通高等职业院校技能型规划教材

书 名 单片机技术与应用

主 编 龚运新 朱芙蓉

副 主 编 唐亦敏 谢利民 蒋 鹏 任靖福

责任编辑 杜思明(miaofa@sina.com)

编辑热线 025-83595844

照 排 南京海洋电脑制版有限公司

印 刷 南京紫藤制版印务中心

开 本 787×1092 1/16 印张 17 字数 392千字

版 次 2009年4月第1版 2009年4月第1次印刷

ISBN 978-7-305-05824-0

定 价 29.80元

发行热线 025-83592169 025-83592317

电子邮箱 [sales@press.nju.edu.cn](mailto:sales@press.nju.edu.cn)(销售部)

[nupress1@publicl.ptt.js.cn](mailto:nupress1@publicl.ptt.js.cn)

# 前 言

目前, MCS-51 系列单片机在我国的各行各业得到了广泛应用。我国大专院校的应用电子专业、智能控制专业、自动化专业、电气控制专业、机电一体化专业、智能仪表专业都开设了单片机课程。这是一门理论性、实践性和综合性都很强的学科,它需要学生具有模拟电子技术、数字电子技术、电气控制、电力电子技术等知识背景。同时,本学科也是一门计算机软硬件有机结合的产物。本书是作者多年理论教学、实验教学及产品研发经验的结晶。在教材编写过程中,始终将理论、实验、产品开发这三者有机结合,从单片机最小系统开始,逐步扩展功能,从简单到复杂,给读者提供一种系统的、完整的、清晰的学习思路。

本书的特点是从实用角度出发,加强了设计性环节的指导,内容包括软件仿真、硬件仿真、编程器的使用(芯片固化)、产品设计等,解决了目前市场上其他单片机教材在有关软件仿真、硬件仿真、芯片固化、产品开发知识等方面介绍得较少的缺点。

本书采用实例配合软件仿真方式编写,内容通俗易懂,能帮助初学者尽快入门,使有一定基础者熟练深化。书中每个程序可通过仿真演示观察结果,并给出一个完整的编程思路与演示程序,便于用户学习和理解。

若条件许可,可以安排在计算机房或多媒体教室进行教学,边讲解边演示,结合多媒体课件,使教学内容直观形象并且通俗易懂(本书提供了教学网站,可供读者课后参考)。

在实验教学方面,本书始终将实用技能的培养放在首位,加强硬件故障排除方法和软件调试过程的指导,着重讲解软件调试方法和步骤。通过每个具体实验,使学生逐步学会产品设计开发的全过程(课程结束后,建议进行一至两周的实训或安排一周的课程设计,设计并制作某一具体单片机产品)。

编 者

2009年3月



# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1	<b>第 3 章 MCS-51 单片机结构</b> .....	56
1.1 单片微型计算机.....	1	3.1 MCS-51 单片机内部结构.....	56
1.1.1 单片机的基本知识.....	1	3.1.1 MCS-51 单片机组成.....	56
1.1.2 单片机的发展概况.....	2	3.1.2 MCS-51 单片机存储器结构.....	62
1.2 单片机的应用.....	6	3.1.3 内部结构仿真观察.....	70
1.3 数制.....	7	3.2 单片机的外部结构.....	71
1.3.1 数制.....	7	3.2.1 MCS-51 单片机引脚功能.....	71
1.3.2 不同数制之间的相互转换.....	9	3.2.2 复位和复位电路.....	73
1.3.3 二进制数的表示方法.....	11	3.2.3 单片机最小系统.....	74
1.4 二十进制码.....	12	3.3 单片机最小系统的应用.....	76
1.4.1 二十进制编码(BCD 码).....	13	复习思考题.....	83
1.4.2 字符码.....	15	<b>第 4 章 MCS-51 指令系统</b> .....	84
1.4.3 信息量单位——比特(bit).....	16	4.1 概 述.....	84
1.4.4 二进制的逻辑运算.....	17	4.2 寻址方式.....	86
复习思考题.....	18	4.3 指令系统.....	89
<b>第 2 章 开发工具介绍</b> .....	19	4.3.1 指令分类.....	90
2.1 软件仿真开发系统.....	19	4.3.2 数据传送类指令.....	91
2.2 Keil C51 仿真软件的使用.....	20	4.3.3 传送类指令仿真.....	96
2.2.1 下拉菜单.....	20	4.3.4 算术运算类指令.....	97
2.2.2 调试器.....	26	4.3.5 算术运算类指令仿真.....	103
2.2.3 Debug 状态下窗口分配 与菜单操作.....	28	4.3.6 逻辑操作类指令.....	104
2.2.4 通过 Debug 菜单进行程序 代码调试.....	34	4.3.7 逻辑运算类指令仿真.....	109
2.2.5 通过 Peripherals 菜单 观察仿真结果.....	41	4.3.8 位操作类指令.....	109
2.2.6 调试方法介绍.....	43	4.3.9 位操作类指令仿真.....	112
2.2.7 调试举例.....	43	4.3.10 控制转移类指令.....	112
2.3 硬件在线仿真开发系统的使用.....	48	4.3.11 控制转移类指令仿真.....	118
2.3.1 HUSYE3-SCC 系列的 单片机仿真器.....	48	4.4 伪指令.....	118
2.3.2 ISP 单片机硬件仿真器.....	53	复习思考题.....	121
2.3.3 其他开发方法.....	55	<b>第 5 章 MCS-51 单片机程序设计</b> .....	123
复习思考题.....	55	5.1 简单程序设计.....	123
		5.2 分支程序设计.....	127
		5.3 循环程序设计.....	129



5.4 子程序和参数传递方法	139	复习思考题	208
5.5 查表程序设计	141	<b>第9章 MCS-51 系统扩展技术</b>	<b>209</b>
5.6 散转程序设计	144	9.1 程序存储器的扩展设计	209
5.7 综合编程	147	9.1.1 访问外部程序存储器的时序	210
复习思考题	149	9.1.2 EPROM 接口设计	211
<b>第6章 定时器/计数器</b>	<b>150</b>	9.1.3 E <sup>2</sup> PROM 接口设计	212
6.1 定时器/计数器结构	150	9.2 数据存储器的扩展设计	217
6.2 工作方式	152	9.2.1 MCS-51 访问外部 RAM 的定时波形	217
6.3 定时器/计数器的初始化	153	9.2.2 数据存储器的扩展设计	218
6.4 应用举例	157	9.2.3 RAM 的掉电保护	219
复习思考题	164	9.3 I/O 口扩展设计	221
<b>第7章 中断系统</b>	<b>165</b>	9.3.1 8255 可编程并行接口芯片	221
7.1 中断请求源和中断请求标志	165	9.4 显示器接口扩展技术	226
7.2 中断控制	168	9.5 键盘接口设计	230
7.3 中断响应	170	9.5.1 键盘工作原理	230
7.4 外部中断触发方式	171	9.5.2 键盘接口设计	231
7.5 多个外部中断源系统设计	172	9.6 模/数(A/D)和数/模(D/A) 转换器电路接口设计	235
7.6 MCS-51 对中断请求的撤除	174	9.6.1 D/A 转换器与 8031 的接口设计	236
7.7 MCS-51 中断系统的初始化	175	9.6.2 A/D 转换器与 8031 的接口设计	240
7.8 应用举例	178	9.6.3 采样、保持和滤波	244
复习思考题	184	复习思考题	245
<b>第8章 串行接口</b>	<b>185</b>	<b>第10章 单片机产品设计</b>	<b>246</b>
8.1 串行通信的基本知识	185	10.1 概述	246
8.1.1 并行通信与串行通信	185	10.1.1 单片机产品设计	246
8.1.2 串行通信的传输方式	186	10.1.2 单片机产品设计与调试 的一般原则	247
8.1.3 异步通信和同步通信	186	10.2 8 位 A/D, D/A 转换产品的 设计实例	250
8.1.4 串行通信的过程	188	复习思考题	266
8.1.5 串行通信协议	190		
8.2 串行口控制寄存器	190		
8.3 串行接口工作方式	192		
8.4 波特率	196		
8.5 串行接口应用举例	197		

# 第1章

## 绪论

### 学习目标

本章将重点介绍单片机的基本结构、特点、发展过程以及应用场合等知识，并且讲解数制与转换、数的运算、数的表示、信息编码等微型计算机内部与运算相关的内容。

### 学习要求

- **了解：**微型计算机的发展历史和发展方向。
- **掌握：**数制和数制之间相互转换的方法；计算机中数的表示方法；计算机中信息的编码方法；单片机的基本结构、特点及应用场合。

## 1.1 单片微型计算机

单片微型计算机是20世纪70年代初期发展起来的，它的产生、发展和壮大以及对经济发展的巨大贡献引起了人们的高度重视，本节将对单片微型计算机进行全面、概括的叙述。

单片微型计算机简称为单片机，它是微型计算机发展中的一个重要分支，以其独特的结构和性能，越来越广泛地应用到工业、农业、国防、网络、通信以及人们的日常工作和生活领域中。单片机在一块芯片上集成了中央处理器(CPU)、存储器(RAM、ROM)、定时器/计数器和各种输入/输出(I/O)接口(如并行I/O口、串行I/O口和A/D转换器)等。由于单片机通常是实时控制应用而设计制造的，因此又称为微控制器(MCU)。

### 1.1.1 单片机的基本知识

常见单片机的设计都包括以下几个方面：

- 指令及与指令对应的电路(芯片)和代码。
- 固化程序的编程器。



- 硬件仿真器。

单片机设计完成后,由其生产厂家生产出产品(芯片、编程器、仿真器),再由开发人员开发出市场所需的应用产品。在这些开发的芯片中,有些芯片是公开使用的(在市场上能买到的芯片就属于这种类型),这种芯片分为两类:一类不能加密,另一类可加密;有些芯片是不公开的,如军工产品和各大公司开发的专用产品。

单片机的种类很多,但无论哪种单片机,其生产厂家都要配套提供编程器(固化程序用)、硬件仿真器(调试程序用)、指令系统和芯片使用说明书,否则很难进行二次开发(除非能破解芯片)。因此对于单片机产品开发人员来说,所要做的工作是:按厂家提供的方法使用芯片,按产品功能要求设计电路、编写程序、制成产品。对于产品维修和使用人员来说,需要了解芯片电路的工作原理,并且掌握维修和使用芯片的方法。

### 1.1.2 单片机的发展概况

单片机自问世以来,其性能不断提高并完善,产品资源不仅能满足很多应用的需要,而且具有集成度高、功能强、速度快、体积小、功耗低、使用方便、性能可靠、价格低廉等特点,因此在工业控制、智能仪器仪表、数据采集和处理、通信系统、网络系统、汽车工业、国防工业、高级计算器、家用电器等领域的应用日益广泛,并且正在逐步取代现有的多片微机应用系统。单片机的潜力越来越被人们所重视,特别是当前用 CMOS 工艺制成的各种单片机,由于功耗低、使用的温度范围大、抗干扰能力强以及能满足一些具有特殊要求的应用场合,从而更加扩大了单片机的应用范围,也进一步促进了单片机技术的发展。

自 1976 年 9 月 Intel 公司推出 MCS-48 单片机以来,单片机就受到了广大用户的欢迎。因此,相关公司都争相推出各自的单片机产品,例如 GI 公司推出的 PIC1650 系列单片机和 Rockwell 公司推出的与 6502 微处理器兼容的 R6500 系列单片机。这些单片机都是 8 位机,片内有 8 位中央处理器(CPU)、并行 I/O 口、8 位定时器/计数器、容量有限的存储器(RAM、ROM)以及简单的中断功能。

1978 年下半年, Motorola 公司推出 M6800 系列单片机,而 Zilog 公司则推出 Z8 系列单片机。1980 年, Intel 公司在 MCS-48 系列基础上又推出了高性能的 MCS-51 系列单片机。这类单片机均带有串行 I/O 口,定时器/计数器为 16 位,片内存储容量(RAM、ROM)都相应增大,并有优先级中断处理功能,单片机的功能、寻址范围都比早期的扩大了,它们是当时单片机应用的主流产品。

1982 年, Mostek 公司和 Intel 公司先后推出了性能更高的 16 位单片机 MK68200 和 MCS-96 系列, NS 公司和 NEC 公司也分别在原有 8 位单片机的基础上推出了 16 位单片机 HPC16040 和  $\mu$  PD783 $\times$ 系列。1987 年, Intel 公司宣布了性能比 8096 高两倍的 CMOS 型 80C196。1988 年, Intel 公司推出带 EPROM 的 87C196 单片机。由于 16 位单片机推出的时间较迟,并且价格昂贵,开发设备有限,至今还未得到广泛应用。而 8 位单片机已能满足大部分应用的需要,因此在推出 16 位单片机的同时,高性能的新型 8 位单片机也不断问世。例如, Motorola 公司推



出了带有 A/D 和多功能 I/O 的 68MC11 系列, Zilog 公司推出了带有 DMA 功能的 Suqer8, Intel 公司在 1987 年也推出了带有 DMA 和 FIFO 的 UPI-452 等。

目前国际市场上的 8 位、16 位系列单片机已有很多, 但是在国内使用较多的单片机系列是 Intel 公司的产品, 其中又以 MCS-51 系列单片机应用最为广泛, 而且该系列还在进一步发展完善, 其价格越来越低, 性能越来越好。

单片机技术正以惊人的速度向前发展, 就市场上已出现的单片机而言, 其技术革新与进步主要表现在以下几个方面。

### 1. CPU 的发展

增加 CPU 的字长或提高时钟频率均可提高 CPU 的数据处理能力和运算速度。CPU 的字长目前有 8 位、16 位和 32 位。一些 8 位单片机的算术逻辑运算部件(ALU)是 16 位, 内部采用 16 位数据总线。例如 NEC 公司的  $\mu$ PD7800 系列的 8 位单片机和 Mitsubishi 公司的 M37700 系列单片机, 它们的数据处理能力和速度比一般 8 位单片机强,  $\mu$ PD7800 系列单片机作一次 16 位乘以 16 位的乘法用时  $3.2\mu\text{s}$ , 16 位除以 8 位的除法用时  $3.0\mu\text{s}$ , 32 位除以 16 位的除法用时  $8.3\mu\text{s}$ 。

另外, 单片机内部采用双 CPU 结构能极大提高处理能力, 例如 Rockwell 公司的 R6500/21 和 R65C29 单片机。由于内部有两个 CPU 能同时工作, 可以更好地处理外围设备的中断请求, 克服单 CPU 在多重高速中断响应时的失效问题。同时, 由于双 CPU 可以共享存储器和 I/O 接口的资源, 因此还可以更好地解决信息通信问题。例如 Intel 公司的 8044 单片机, 它的内部实际上是由 8051 单片机和 SIU 通信处理机组成, 由 SIU 通信处理器来管理 SDLC 的通信, 这样既加快了通信处理的速度, 同时也减轻了 8051 单片机的处理负担。

### 2. 片内存储器的发展

#### ① 扩大存储容量

早期单片机的片内 RAM 一般为 64~128 字节, ROM 为 1K~2K 字节, 寻址范围为 4K 字节。新型单片机的片内 RAM 为 256 字节, ROM 为 16K 字节。例如 Intel 公司的 8052 单片机片内 ROM 为 8K 字节, 通用仪器公司的 70120 单片机片内 ROM 容量为 12K 字节(片内 ROM 容量最大的是日立公司的 MC6301Y 单片机, 为 16K 字节)。新型单片机的寻址范围可扩大到 64K 字节, 甚至是 128K 字节(其中随机存储器 RAM 容量为 64K 字节, 只读存储器 ROM 容量为 64K 字节), 这类单片机有 Intel 公司的 MCS-51 系列和 Zilog 公司的 Z8601、Z8603、Z8611、Z8681 单片机等。

注意

◆ 内部 ROM 分可擦除和一次性可编程(OTP)两种, 前者价格高, 在技术开发时使用; 后者价格低, 在开发成功后一次性固化在产品上使用。需要注意的是, 一次性固化在产品上使用的必须是成熟产品, 否则会造成经济损失。

### ② 片内 EPROM 开始 E<sup>2</sup>PROM 化

一些早期的单片机采用可擦式的只读存储器 EPROM, 然而 EPROM 必须采用高压编程和紫外线擦除, 给使用带来不便。近年来推出的电擦除可编程只读存储器 E<sup>2</sup>PROM 可在正常工作电压下进行读写, 并能在断电的情况下保持信息不丢失。因此, 一些厂家已开始用 E<sup>2</sup>PROM 替代原来的片内 EPROM, 例如 TI 公司和 Seeq 公司的 72710(1K 字节 E<sup>2</sup>PROM)和 72720(2K 字节 E<sup>2</sup>PROM), Motorola 公司的 68HC11A<sub>2</sub>(2K 字节 E<sup>2</sup>PROM)和 68HC805C<sub>4</sub>(4K 字节的 E<sup>2</sup>PROM)以及 TEXAS 仪器公司的 77C82(8K 字节 E<sup>2</sup>PROM)。

由于写入 E<sup>2</sup>ROM 的数据能永久保存, 因此有些厂家已开始将 E<sup>2</sup>PROM 用作片内 ROM, 甚至用作片内通用寄存器(这样就省去备用电池)。

### ③ 闪速存储器

随着 CMOS 工艺的改进和提高, 闪速存储器在不断发展和完善, 应用越来越广、容量越来越大、价格越来越低, 并且在各个领域得到应用(例如 ATMEL 公司将闪存技术应用到单片机中, 生产出了带闪速存储器的 AT89 系列)。对于一些小型系统, 外部可以不用扩展存储芯片, 从而只用单片机就能构建完整的控制系统(PIC 系列也有带闪有技术的存储芯片)。

### ④ 串行存储器

I<sup>2</sup>C 总线的快速发展使得串行数据存储器在容量和存储速度上有了很大的提高, 由于它体积小、口线少、价格低, 从而使其被广泛应用。

### ⑤ 片内程序的保密措施

为了使片内 EPROM(或 E<sup>2</sup>PROM)的内容不被复制, 一些厂家对片内 EPROM(或 E<sup>2</sup>PROM)采用加锁技术。例如 Intel 公司的 8X252, 加锁后的 EPROM(或 E<sup>2</sup>PROM)中的程序只能供片内 CPU 读取, 不能从片外读取。如果需要从片外读取, 必须先开锁。在开锁时, CPU 先自动擦除 EPROM(或 E<sup>2</sup>PROM)中的信息, 从而达到程序保密的目的。

## 3. 片内输入输出接口功能

最初的单片机片内只有并行输入/输出接口、定时器/计数器, 其功能较弱, 实际应用中往往需要通过特殊的接口扩展功能, 从而增加了应用系统结构的复杂性。

目前, 新型单片机内的接口无论从类型和数量上都有很大的发展, 不仅大大提高了单片机的功能, 而且极大地简化了系统的总体结构。例如, 有些单片机的并行 I/O 口能直接输出大电流和高电压, 可直接用于驱动荧光显示管(VFD)、液晶显示器(LCD)和数码显示管(LED)等设备, 应用系统中不再需要外部驱动电路。有些单片机的片内含有 A/D 转换器, 在一些实时控制系统中可省掉外部 A/D 转换器。

在单片机中已出现的各类型新型接口有数十种, 例如 A/D 转换器、D/A 转换器、DMA 控制器、CRT 控制器、LCD 驱动器、LED 驱动器、VFD 驱动器、正弦波发生器、声音发生器、字符发生器、波特率发生器、锁相环、频率合成器、脉宽调制器等。虽然现在一个单片机内只含有若干种接口, 但其功能却比初期的单片机强大很多, 因此可作为高速主机(80286/80386)的



通用外设接口(例如,以 UPI-452 中的 128 字节的 FIFO 作为高速主机与慢速外设传送数据的缓冲器,然后通过 UPI-452 的 DMA 控制器进行快速数据传送)。

**注意**

- ◆ 目前,单片机种类繁多并且功能多样。将外围电路尽量集中在芯片内,使其成为名副其实的单片机,这是一种发展趋势。

#### 4. 单片机制造工艺的提高

单片机的制造工艺直接影响其性能。早期的单片机采用 PMOS 工艺,随后逐渐采用 NMOS、HMOST 和 CMOS 工艺。目前,8 位单片机中有一半产品已 CMOS 化,16 位单片机也已开始推出 CMOS 型产品(如 68HC200、80C196 等)。为了进一步降低功耗,日立公司的 HD63705 和 RCA 公司的 CDP6805E<sub>2</sub> 设置有等待(Wait)和停止(Stop)两种工作方式。处于等待方式时,振荡器工作,CPU 停止工作,存储器和寄存器的内容则不变,单片机的总功耗极大地下降;处于停止方式时,振荡器和 CPU 都停止工作,存储器和寄存器内容也保持不变,单片机的功耗为最小。例如 RCA 公司的 CDPS8605E<sub>2</sub>,在 5V 工作电压下的正常功耗为 35mW,而在处于等待方式和停止方式时的功耗分别仅为 5mW 和 5 $\mu$ W。

此外,采用 CMOS 工艺的单片机的工作电源范围较宽。例如采用 NMOS 工艺的单片机,其工作电源范围一般为 4.5~5.5V,而采用 CMOS 工艺的单片机(如 RCA 公司的 CDP1804AC)其工作电源范围可达 4~6.5V。功耗大小与电源电压成正比,所以降低电源电压即可降低功耗,但是降低电压会减慢指令执行速度,即降低单片机的运算速度。因此一般希望在一定速度的前提下,尽量降低工作电压,减小功耗。

随着新型单片机片内接口电路的增多,外引脚也在增多。为了减少外引脚线,目前主要采用两种方式:一种是采用新颖的通信总线以减少外引线,另一种是改进外封装,例如采用扁平引脚封装 FP (Flat Package)、方形引脚封装 QIP (Quad In line Package)和叠背式封装 PBP (Piggy back Package)等。这些封装的引脚都比双列直插式 DIP(Dual In line Package)封装多得多。

#### 5. 片内固化应用软件和系统软件

将一些应用软件和系统软件固化于片内 ROM 中,以便简化用户应用程序的编制工作,为用户开发和应用提供方便。如 RUP1-44 系列单片机,把通信控制软件固化在片内,使用户的通信程序极大地简化。Intel 公司在一些 MCS-51 单片机内固化了 PL/M-51 语言,在 8052BH 中固化了 BASIC 解释程序,用户不仅可以使使用汇编语言,还可以使用 BASIC 语言编程(这种 BASIC 语言系统比基本 BASIC 有所扩充,增加了很多适合控制用的语句、命令、运算符等,而且还允许 BASIC 语言和汇编语言互相调用)。在需要快速控制时,可使用汇编语言,如采样、A/D 转换等;在执行复杂的数据运算时,可使用汇编语言来调用 BASIC 中现成的运算子程序。由此可见,这种单片机既能满足速度方面的要求,又能简化用户编程。RCA 公司的 68HC05D2



在片内固化了键盘管理程序，甚至在 CDP1804P 内固化了 PASCAL 语言等。

单片机的技术仍然在不断发展，新型单片机还将不断涌现，而当前单片机的产量已经占整个微型计算机(包括一般的微处理器)产量的百分之八十以上。目前，低档 8 位单片机(如 8048)于 20 世纪 80 年代初就开始应用，现在已转向高档 8 位单片机(8051、Z8 等)的应用(也有不少单位已转向 16 位单片机的开发和应用)。

## 1.2 单片机的应用

单片机在一块芯片上集成了一台微型计算机所需的 CPU、存储器、输入/输出部件和时钟电路等，因此它具有体积小、使用灵活、成本低、易于产品化、抗干扰能力强、可在各种恶劣环境下可靠地工作等特点。单片机的应用面广泛、控制能力较强，在工业控制、智能仪表、外设控制、家用电器、机器人、军事装置等方面被广泛应用。

### 1. 测控系统中的应用

控制系统(特别是工业控制系统)的工作环境恶劣(各种干扰很强)，并且往往要求其能够进行实时控制，因此对于控制系统的要求是工作稳定、可靠、抗干扰能力强。单片机最适合用于控制领域，例如锅炉恒温控制、电镀生产线自动控制等。

### 2. 智能仪表中的应用

采用单片机制作测量和控制仪表，可以使此类仪表向数字化、智能化、多功能化、柔性化发展，并使监测、处理、控制等功能一体化，减轻仪表的重量，使其便于携带和使用，同时降低成本，提高了性价比(典型的实例有数字式 RLC 测量仪、智能转速表、计时器等)。

### 3. 智能产品

单片机与传统的机械产品结合，使传统机械产品结构简化、控制智能化，形成新型的机、电、仪一体化产品(典型的实例有数控车床、智能电动玩具、各种家用电器和通信设备等)。

### 4. 在智能计算机外设中的应用

在计算机应用系统中，除通用外部设备(键盘、显示器、打印机)外，还有许多用于外部通信、数据采集、多路分配管理、驱动控制等方面的接口。如果这些外部设备和接口全部由主机管理，会造成主机负担过重、运行速度降低，并且无法提高对各种接口的管理能力。如果采用单片机专门对接口进行控制和管理，则主机和单片机就能并行工作，这不仅大大提高系统的运算速度，而且单片机还可对接口信息进行预处理，以减少主机和接口间的通信密度，提高接口控制管理的能力(典型的示例有绘图仪控制器，磁带机、打印机的控制器等)。





## 注意

◆ 综上所述, 单片机在很多应用领域都得到了广泛的应用。目前国外的单片机应用已相当普及, 虽然从 1980 年开始才着手开发应用, 但至今也已拥有数十家专门生产单片机开发系统的工厂或公司, 越来越多的科技工作者投身到单片机的开发和应用中, 并且在程序控制、智能仪表等方面涌现出大量科技成果。可以预见, 单片机在我国必将有着更为广阔的发展前景。

## 1.3 数制

数制即计数体制, 它是按照一定规则表示数值大小的计数方法。日常生活中最常用的计数体制是十进制, 数字电路中常用的计数体制则是二进制(有时也采用八进制和十六进制)。对于任何一个数, 都可以用不同的进制来表示。

### 1.3.1 数制

用数字量表示物理量的大小时, 仅用一位数码往往不够, 因而必须用进位计数的方法组成多位数码。将多位数码中每一位的构成方法以及从低位到高位进位的规则称为数制, 常用的数制有十进制、二进制、八进制和十六进制等几种。

#### 1. 十进制(Decimal)

十进制是最常使用的数制。在十进制中, 共有 0~9 十个数码, 它的运算规则是“逢十进一, 借一当十”, 因此称为十进制。在十进制中, 同一数字符号在不同的数位中代表的数值不同。假设某个十进制数有  $n$  位整数,  $m$  位小数, 则任何十进制数  $N$  均可表示为:

$$N_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 10^i \quad (\text{式 1-1})$$

上式中  $k_i$  为第  $i$  位的系数, 可取值为 0, 1, 2, ..., 9;  $10^i$  为第  $i$  位的权; 10 为进位基数。基数和权是进位制的两个要素, 利用基数和权可以将任何一个数表示成多项式的形式。例如, 十进制数 505.6 可表示为:

$$(505.6)_{10} = 5 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1}$$

## 注意

◆ 以上表示方法称为多项式表示法或按权展开式。



## 2. 二进制(Binary)

在数字电路中，应用最广泛的数制是二进制。二进制数中只有 0、1 两个数字符号，所以其运算规则是“逢二进一，借一当二”，各位的权为  $2^i$ ， $k_i$  为第  $i$  位的系数。假设某个二进制数  $N$  有  $n$  位整数、 $m$  位小数，则任何一个二进制数  $N$  均可表示为：

$$N_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 2^i \quad (\text{式 1-2})$$

利用公式 1-2 可以将任何一个二进制数转换为十进制数。

计算机内采用的是二进制表示，采用二进制具有以下优点：

- 二进制只有 0 和 1 两个数码，因此在数字系统中，可用电子器件的两种不同状态来表示这两个数码，实现起来非常方便。例如，用 0 和 1 可表示晶体管的导通和截止，或者表示低电平和高电平等。二进制数的物理实现简单、易行、可靠，并且存储和传送也方便。
- 二进制运算规则简单，有利于简化计算机的内部结构，提高运算速度。

### 注意

- ◆ 二进制数的缺点是书写位数太多，不便于记忆。为此，数字系统通常来用八进制和十六进制。

## 3. 八进制(Octal)

八进制有 0、1、2、3、4、5、6、7 等八个数码，基数为 8，它的运算规则是“逢八进一，借一当八”。任意一个八进制数  $N$  可表示为：

$$N_8 = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 8^i \quad (\text{式 1-3})$$

利用公式 1-3 可将任意一个八进制数转换为十进制数。

## 4. 十六进制(Hexadecimal)

十六进制数采用 16 个数码，采用的运算规则是“逢十六进一，借一当十六”。这 16 个数码是 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A(对应于十进制数中的 10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15)。十六进制数的基数是 16。参照公式 1-1，任意一个十六进制数  $N$  可表示为：

$$N_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 16^i \quad (\text{式 1-4})$$



利用公式 1-4 可将任意一个十六进制数转换为十进制数。

**【例 1-1】** 将十六进制数 4E6 转换为十进制数。

**解:**  $(4E6)_{16} = 4 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 6 \times 16^0 = (1254)_{10}$

注意

◆ 在本书中, 十进制数(Decimal)、二进制数(Binary)、八进制数(Octal)、十六进制数(Hexadecimal)常用第一个字母 D、B、O、H 作为其标识, 添加在数的后面。例如,  $(F58.B2)_{16}$  可写成 F58.B2H, 也可写成(F58.B2)H。

二进制数与八进制数、十进制数、十六进制数之间的对应关系如表 1-1 所示。

表 1-1 二进制数与八进制数、十进制数、十六进制数之间的对应关系

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数	十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
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				

### 1.3.2 不同数制之间的相互转换

#### 1. 二进制转换成十进制

**【例 1-2】** 将二进制数 10011.101 转换成十进制数。

**解:** 将每一位二进制数乘以位权, 然后相加, 可得:

$$\begin{aligned} (10011.101)_B &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= (19.625)_D \end{aligned}$$

#### 2. 十进制转换成二进制

可用“除 2 取余”法将十进制的整数部分转换成二进制。

**【例 1-3】** 将十进制数 23 转换成二进制数。

**解:** 根据“除 2 取余”法的原理, 按如下步骤转换:

$$\begin{array}{r}
 2 \overline{) 23} \cdots \cdots \text{余 } 1 \quad b_0 \\
 2 \overline{) 11} \cdots \cdots \text{余 } 1 \quad b_1 \\
 2 \overline{) 5} \cdots \cdots \text{余 } 1 \quad b_2 \\
 2 \overline{) 2} \cdots \cdots \text{余 } 0 \quad b_3 \\
 2 \overline{) 1} \cdots \cdots \text{余 } 1 \quad b_4 \\
 0
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \uparrow \\
 \text{读} \\
 \text{取} \\
 \text{次} \\
 \text{序}
 \end{array}$$

则  $(23)_D = (10111)_B$

可用“乘2取整”的方法将任何十进制数的纯小数部分转换成二进制数。

**【例1-4】** 将十进制数  $(0.562)_D$  转换成误差  $\varepsilon$  不大于  $2^{-6}$  的二进制数。

**解：** 用“乘2取整”法按如下步骤转换。

**取整**

$$0.562 \times 2 = 1.124 \cdots \cdots 1 \cdots \cdots b_1$$

$$0.124 \times 2 = 0.248 \cdots \cdots 0 \cdots \cdots b_2$$

$$0.248 \times 2 = 0.496 \cdots \cdots 0 \cdots \cdots b_3$$

$$0.496 \times 2 = 0.992 \cdots \cdots 0 \cdots \cdots b_4$$

$$0.992 \times 2 = 1.984 \cdots \cdots 1 \cdots \cdots b_5$$

由于最后的小数  $0.984 > 0.5$ ，根据“四舍五入”的原则， $b_6$  应为 1，因此：

$$(0.562)_D = (0.100011)_B$$

其误差  $\varepsilon < 2^{-6}$ 。

### 3. 二进制转换成十六进制

由于十六进制基数为 16，而  $16 = 2^4$ ，因此 4 位二进制数就相当于 1 位十六进制数。可用“4 位分组”法将二进制数转换为十六进制数。

**【例1-5】** 将二进制数 1001101.100111 转换成十六进制数。

**解：**  $(1001101.100111)_B = (0100\ 1101.1001\ 1100)_B = (4D.9C)_H$

同理，若将二进制数转换为八进制数，可将二进制数分为 3 位一组，再将每组的 3 位二进制数转换成一位八进制数即可。

### 4. 十六进制转换成二进制

由于 1 位十六进制数对应于 4 位二进制数，因此若要将十六进制数转换成二进制数，只需将十六进制数变成 4 位二进制数，然后按位的高低依次排列即可。

**【例1-6】** 将十六进制数 6E.3A5 转换成二进制数。

**解：**  $(6E.3A5)_H = (110\ 1110.0011\ 1010\ 0101)_B$

同理，若将八进制数转换为二进制数，只需将八进制数变成 3 位二进制数，然后按位的高



低依次排列即可。

### 5. 十六进制转换成十进制

使用“按权相加”法可以将十六进制数转换为十进制数。

**【例 1-7】** 将十六进制数 7A.58 转换成十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解: } (7A.58)_{\text{H}} &= 7 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 5 \times 16^{-1} + 8 \times 16^{-2} \\ &= 112 + 10 + 0.3125 + 0.03125 = (122.34375)_{\text{D}} \end{aligned}$$

## 1.3.3 二进制数的表示方法

在十进制数中，可以通过在数字前面加上“+”、“-”符号来表示正负数。由于数字电路不能直接识别“+”、“-”符号。因此在数字电路中把一个数的最高位作为符号位，并用 0 表示“+”符号，用 1 表示“-”符号。像这样符号也数码化的二进制数称为机器数，原来带有“+”、“-”符号的数称为真值，例如：

十进制数	+67	-67
二进制数(真值)	+1000011	-1000011
计算机内(机器数)	01000011	11000011

通常，二进制正负数(机器数)有原码、反码和补码等 3 种表示方法。

### 1. 原码

用首位表示数的符号，0 表示正，1 表示负，其他位则为数的真值的绝对值，这样的表示方法称为原码。

**【例 1-8】** 求 $(+105)_{10}$ 和 $(-105)_{10}$ 的原码。

$$\begin{aligned} \text{解: } [(+105)_{10}]_{\text{原}} &= [(+1101001)_2]_{\text{原}} = (01101001)_2 \\ [(-105)_{10}]_{\text{原}} &= [(-1101001)_2]_{\text{原}} = (11101001)_2 \end{aligned}$$

0 的原码有两种，即

$$[+0]_{\text{原}} = (00000000)_2$$

$$[-0]_{\text{原}} = (10000000)_2$$

原码简单易懂，与真值转换起来很方便。但当两个异号的数相加或两个同号的数相减时就要做减法运算，此时就必须判别这两个数哪一个绝对值大，用绝对值大的数减去绝对值小的数，运算结果的符号则是绝对值大的那个数的符号。这样操作比较麻烦，运算的逻辑电路也较难实现。因此，为了将加法和减法运算统一成只做加法运算，就引入了反码和补码表示。

### 2. 反码

反码用得较少，它只是求补码的一种过渡。正数的反码与其原码相同，负数反码的计算方法为：先求出该负数的原码，然后原码的符号位不变，其余各位按位取反，即 0 变 1，1 变 0。