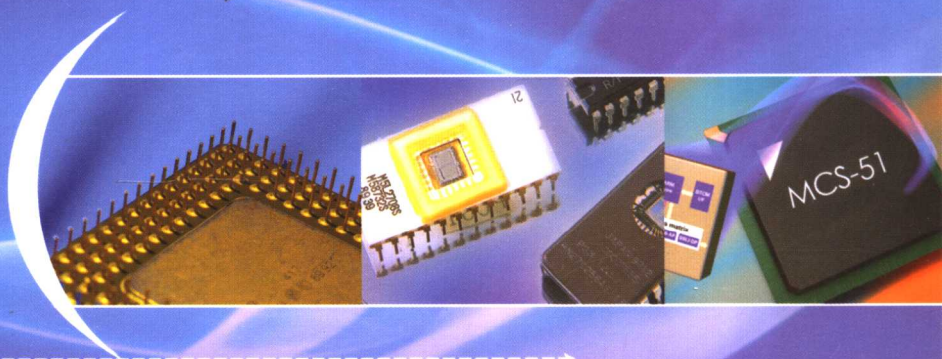


Low cost
SRIO-GbE-
Risk free
-51

单片机控制技术 在通信中的应用 ——MCS-51系列

潘超群 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

TP368.1/416

2008

单片机控制技术在通信中的应用 ——MCS-51 系列

潘超群 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书从实际应用出发,重点介绍了利用单片机解决通信领域中遇到的复杂的控制问题。为了使读者掌握这种较复杂的控制技术,首先对 MCS-51 系列的系统组成原理和指令功能作了简要叙述,对单片机软硬件设计中用到的有关计算机的基础知识、数字逻辑设计知识和数字逻辑电路知识也作了简要介绍。特别详细地讲解了由单片机构成的程控电话交换机的软硬件系统,解决了 PC 与单片机之间近距离、远距离通信及与以太网接口实现在 Internet 网络中通信的问题。

本书的大部分内容和应用实例来源于实际研究成果。叙述力求精练,易于理解,便于读者自学和掌握。本书可作为大专院校、电大、职大、职高和培训班的教材,以及相关专业工程技术人员的参考用书。

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

单片机控制在通信中的应用: MCS-51 系列 / 潘超群编著. —北京: 电子工业出版社, 2008.3

ISBN 978-7-121-06061-8

I. 单… II. 潘… III. 单片微型计算机—计算机控制系统—应用—通信 IV. TP368.1 TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 021984 号

策划编辑: 高买花

责任编辑: 宋兆武 何 况

印 刷: 北京民族印刷厂

装 订: 北京鼎盛东极装订有限公司

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: 787×1 092 1/16 印张: 20.5 字数: 525 千字

印 次: 2008 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 45.00 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 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

序

单片微型计算机简称单片机,具有性能稳定、通用性强、性价比高等特点,目前广泛应用于工业、交通、金融、仪器仪表等领域的自动控制、机械制造和测量等。单片机在通信领域的应用也很多,如在程控电话交换、数据通信、无线跳频通信和保密通信等系统和设备中。

本书重点介绍了单片机控制技术在通信领域的应用。在简要讲述了计算机基础知识之后,详细介绍了典型单片机的原理、组成与程序设计方法,结合程控电话交换应用,深入浅出地阐述了由单片机构成的程控电话交换机控制系统实现对用户状态的监视和处理、接收用户话机的发号、控制向用户振铃、控制中继线转发号,以及提供用户特种服务功能等复杂控制功能。此外,还介绍了PC与单片机之间、单片机与单片机之间的通信原理,以及利用调制解调器在有/无线信道上进行两地远距离通信的方法。最后,还结合Internet应用,介绍了基于单片机的嵌入式操作系统接入Internet网络技术和PC与单片机之间实现以太网通信及在Internet中进行通信的方法。虽然本书主要讲的是单片机在通信领域中的应用,但其利用单片机实现控制的设计思路、编程方法和技巧,对其他领域中单片机的应用也不失借鉴和参考价值。

本书与同类书籍相比具有显著的优点:一是注重讲述原理,如在介绍MCS-51系列单片机串口数据通信方法时,对如何找串行数据帧头和帧尾的同步搜索原理进行了详细阐述,使读者既知其然,又知其所以然;二是力求内容创新,如介绍了采用共数据总线方式接入大量输入/输出接口设备的新控制方法,该方法既不占用单片机本身的接口资源,又解决了大量输入/输出接口设备数据的读/写问题;三是叙述深入浅出,如在介绍短转移、条件转移指令偏移量理论计算方法的同时,还根据目的地址具体算出了偏移量字节,为手工编程者提供方便;四是实践基础扎实,编者从事通信设备研制和单片机应用研究逾二十载,本书是其丰富实践经验的总结,大部分程序源于编者以前开发成功的产品。

本书是单片机技术应用方面极具参考价值的书籍。随着计算机技术的发展和社會信息化进程的加快,单片机的使用也越来越广。相信本书的出版,将为从事单片机应用开发、研究的科技人员和大专院校师生提供有益的帮助。

国家“863”通信主题信息网络技术专家,主任高工

徐启建

2007年12月于北京

前 言

单片机 (Single Chip Microcomputer, SCM), 或称微处理器 (Micro-Processor Unit, MPU), 是 20 世纪 80 年代发展起来的一种新型计算机。由于它具有速度快、体积小、价格低、功能全等优点, 因此在工业、交通、金融、医疗等部门及通信、自动控制、机械制造等行业得到了越来越广泛的应用。

长期实践表明, MCS-51 系列单片机是一种性能稳定可靠、通用性强、性价比高的 8 位单片机, 现已成为国内单片机应用和教学的主流品种。本书所介绍的单片机控制在通信中的应用就是以 MCS-51 系列单片机为例来进行讲述的, 包括 8051 (80C51)、8751 (87C51) 等系列或目前流行的 AT89C51、AT89S51 等, 因为它们具有相同的指令系统。

为了更清楚地讲述单片机控制, 本书除了对 MCS-51 系列单片机的硬件结构 (尤其是与应用关系紧密的硬件结构) 和指令系统 (特别是指令的用法) 作了详细的说明外, 对计算机基础知识, 如数制与码制、数字逻辑知识、常用数字逻辑电路等也作了简要介绍。凡读者在自行设计单片机控制电路时所涉及的知识在本书中均能查阅。

单片机控制技术在通信领域的应用很广, 如程控电话交换、数据通信、无线跳频通信、保密通信和测量仪器等。本书的内容涉及程控电话交换、PC 与单片机间数据通信、数字多频信号检测和计时计费等方面, 详细介绍了由单片机构成的程控电话交换机或集团电话的软件控制系统。叙述了它是如何实现对几十个用户状态的监测和处理、如何接收几十部话机 (含直流脉冲和双音多频话机) 的发号、如何控制向几十部用户话机的振铃、如何控制中继线的转发号及如何提供用户特种服务功能等。

本书具有下列特点。

(1) 在介绍 MCS-51 系列单片机的串行口数据通信中, 对于一帧一帧的串行数据, CPU 怎么来找帧头和帧尾, 即怎么把每一帧分隔开? 本书阐明了 MCS-51 系列单片机在进行串行数据通信时的同步搜索原理。

(2) 本书介绍了在 MCS-51 系列单片机系统中采用共数据总线的方式接入大量输出/输入接口设备的控制方法。该方法既不占用单片机本身的接口 (P0~P3) 资源, 又解决了大量输出/输入接口设备 (几十个甚至上百个) 数据的读/写控制问题。

(3) 本书给出了短转移 (SJMP)、条件转移指令 (CJNE、DJNZ、JB、JNB、JC 和 JNC 等) 偏移量 (含向前转移和向后转移) 的计算方法。对有些程序段中的转移指令还根据目的地址算出了具体的偏移量字节 (即该指令的最后一个字节), 目的是为手工编程者提供方便。还有一些指令, 如二一十进制数调整指令 (DAA) 等也介绍得较为清楚。

(4) 本书大部分内容和应用实例来源于研究和实际开发成果, 并给出了大量的应用程序。

本书虽然讲的是单片机在通信领域的应用，但其编程技术、控制方法对其他领域中的单片机应用也有一定的借鉴和参考作用。本书在编写的过程中得到了康东明同志的帮助，在此表示感谢。

本书虽经多次修改和校对，但由于编者水平有限，书中不足和疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正，以期共同进步。

编 著 者

2007 年 11 月

目 录

第 1 章 计算机基础知识	(1)
1.1 数制与码制	(1)
1.1.1 数制	(1)
1.1.2 数制之间的转换	(2)
1.1.3 代码	(4)
1.2 数字逻辑知识	(7)
1.2.1 逻辑运算	(7)
1.2.2 布尔代数的运算法则及基本定律	(10)
1.2.3 几个常用的公式和定理	(10)
1.2.4 同一个布尔代数式的常用的几种形式	(11)
1.3 常用数字逻辑电路	(12)
1.3.1 三态输出门	(12)
1.3.2 全加器	(12)
1.3.3 二—四译码器	(13)
1.3.4 三—八译码器	(14)
1.3.5 双稳态触发器	(15)
1.3.6 射极跟随器	(17)
1.3.7 线性放大器(电压调节器)	(17)
1.4 单片机基本知识	(18)
1.4.1 单片机系统的结构	(18)
1.4.2 单片机的工作原理	(20)
第 2 章 MCS-51 系列单片机的系统与结构	(22)
2.1 MCS-51 系列单片机的引脚及功能	(22)
2.2 MCS-51 系列单片机的内部结构	(23)
2.2.1 MCS-51 系列单片机的存储器配置	(23)
2.2.2 MCS-51 系列单片机的程序存储器	(24)
2.2.3 MCS-51 系列单片机的数据存储器	(24)
2.3 输入/输出(I/O)接口	(28)
2.3.1 P0 口结构	(29)
2.3.2 P1 口结构	(30)
2.3.3 P2 口结构	(30)
2.3.4 P3 口结构	(31)
2.3.5 端口的负载能力及接口要求	(31)
2.4 时钟电路和复位电路	(32)
2.4.1 时钟电路	(32)
2.4.2 时钟与时序	(32)
2.4.3 复位电路	(34)

2.5	定时器/计数器	(34)
2.5.1	工作模式控制专用寄存器 TMOD	(34)
2.5.2	溢出标志及中断激活方式控制专用寄存器 TCON	(35)
2.5.3	定时器/计数器 2 控制专用寄存器 T2CON	(36)
2.6	串行接口	(37)
2.6.1	串行口控制寄存器 SCON	(37)
2.6.2	数据缓冲存储器 SBUF	(38)
2.6.3	串行接口工作方式	(38)
2.6.4	串行通信过程	(39)
2.6.5	帧同步搜索原理	(39)
2.6.6	波特率计算	(40)
2.6.7	电源控制专用寄存器 PCON	(41)
2.7	MCS-51 系列单片机的中断系统	(41)
2.7.1	允许中断寄存器 IE	(42)
2.7.2	中断优先级寄存器 IP	(42)
2.7.3	中断优先级结构	(43)
2.7.4	中断请求的激活与撤销	(43)
第 3 章	单片机指令系统及程序设计	(45)
3.1	指令系统简介	(45)
3.1.1	指令分类和符号说明	(45)
3.1.2	寻址方式	(46)
3.2	MCS-51 系列单片机的指令系统	(47)
3.2.1	数据传送类指令	(47)
3.2.2	算术运算类指令	(54)
3.2.3	逻辑运算类指令	(59)
3.2.4	控制程序转移类指令	(63)
3.2.5	位操作指令	(68)
3.3	实用程序设计	(71)
3.3.1	数据块传送和数据块内容查找程序	(71)
3.3.2	双字节 BCD 数据的比较	(73)
3.3.3	用位操作指令组成的软件求解逻辑问题	(73)
3.3.4	顺序结构程序设计	(74)
3.3.5	通用显示程序设计	(75)
3.3.6	十六进制数至 ASCII 码间的转换	(77)
第 4 章	单片机存储器和接口扩展的应用	(79)
4.1	单片机存储器的扩展	(79)
4.2	单片机接口的扩展及应用	(80)
4.2.1	MCS-51 系列单片机共数据总线方式的 I/O 接口	(80)
4.2.2	程控电话交换机向用户振铃的控制	(81)
4.2.3	程控电话交换机对用户状态的监视	(87)

4.2.4	程控电话交换机用户话路接续的控制	(94)
4.2.5	单片机与选择开关的连接电路	(95)
4.2.6	MCS-51 系列单片机与 TPμP-40A/16A 微型打印机接口	(97)
第 5 章	MCS-51 构成的程控电话交换机控制系统	(100)
5.1	程控电话交换机的组成和基本控制过程	(100)
5.1.1	程控电话交换机的组成	(100)
5.1.2	程控电话交换机的控制过程	(100)
5.2	程控电话交换机的基本控制系统	(101)
5.3	电话交换网络	(102)
5.3.1	MT8804 模拟开关的功能和使用	(102)
5.3.2	用户通话接续子程序	(102)
5.3.3	用户断续子程序	(104)
5.3.4	找空闲绳路子程序	(104)
5.3.5	标绳路空闲子程序	(105)
5.4	“软”电话信号音的产生及控制	(106)
5.4.1	用软件的方法生成电话信号音的设想	(106)
5.4.2	“软”电话信号音的生成与控制	(106)
5.4.3	送电话信号音控制字节的生成	(114)
5.4.4	送用户拨号音和断信号音子程序	(115)
5.5	程控电话交换机的启动程序	(117)
5.6	程控电话交换机的主程序	(119)
5.7	程控电话交换机各分项任务处理程序	(121)
5.7.1	摘机处理子程序	(121)
5.7.2	用户久呼不答处理子程序	(122)
5.7.3	被叫应答处理子程序	(124)
5.7.4	叫醒(闹钟)服务处理子程序	(127)
5.7.5	用户非特服拨号呼叫(通话呼叫)处理子程序	(129)
5.7.6	挂机用户处理子程序	(134)
5.7.7	收号处理子程序	(139)
5.7.8	用户所拨两位号码对应的功能分支处理程序	(144)
5.7.9	用户对应各存储单元复位及清用户收号器子程序	(149)
5.7.10	自动回叫处理子程序	(152)
5.8	程控电话交换机的中继线来铃检测及处理	(154)
5.8.1	中继来铃检测和直流脉冲转发号控制子程序的调用	(155)
5.8.2	中继来铃检测子程序	(157)
5.8.3	中继来话接续子程序	(159)
5.8.4	中继线有关存储单元复位子程序	(162)
5.9	中继线示忙/闲继电器转发直流脉冲话机发号	(164)
5.9.1	出中继线拨号处理程序	(164)
5.9.2	中继线直流脉冲转发号控制子程序	(168)

5.9.3 中继示忙/闲继电器闭合控制子程序	(173)
5.10 用音频 (DTMF) 信号转发直流脉冲话机发号	(174)
5.11 双音多频信号的识别和接收	(175)
5.11.1 MT8870 芯片的常规使用	(176)
5.11.2 MT8870 芯片的高效使用	(176)
5.11.3 分时控制接收 DTMF 信号软件程序	(178)
5.11.4 号码间隔的识别	(183)
5.11.5 音频话机用户拨号状态分析处理程序	(183)
5.11.6 MT8870 芯片的高效使用的改进	(185)
5.12 双音多频 (DTMF) 信号的发送	(187)
5.12.1 MT8880 芯片引脚功能及内部结构	(187)
5.12.2 MT8880 芯片各种功能的可编程控制	(190)
5.13 用户拨号状态分析和号码识别	(194)
5.14 直流脉冲话机和音频话机的兼容处理	(197)
5.15 用户数增加时涉及双音多频信号接收程序的改动	(197)
第 6 章 单片机外围电路及应用技术	(204)
6.1 抗死机电路	(204)
6.2 由+5V 电源产生-5V 电源	(205)
6.3 电压/频率 (V/F) 转换器及铃流源电路	(205)
6.4 多路 A/D 转换的软硬件实现	(207)
6.4.1 ICL7135 模/数 (A/D) 转换器引脚及功能	(207)
6.4.2 多路 A/D 转换系统控制	(208)
6.4.3 系统功能的软件实现	(208)
6.5 电话通信计时/计费器	(212)
6.5.1 硬件设计	(213)
6.5.2 功能选择和使用	(213)
6.5.3 数据显示接口	(214)
6.5.4 软件设计	(216)
6.6 程序交换机的计费处理及话单打印	(224)
6.6.1 计费处理及话单打印流程	(225)
6.6.2 计费话单内容及打印数据生成	(231)
第 7 章 PC 与单片机的串行通信	(239)
7.1 串行通信总线标准	(239)
7.1.1 RS-232C 标准总线	(239)
7.1.2 RS-422A/485 标准总线	(240)
7.2 硬件接口电路和程序设计	(241)
7.2.1 硬件接口电路	(241)
7.2.2 软件程序的设计	(244)
7.3 MCS-51 系列单片机串行接口的多机通信	(246)
7.3.1 单片机串行接口的多机通信控制原理	(246)

7.3.2	单片机串行接口的多机通信协议	(247)
7.3.3	单片机串行接口的多机通信程序	(248)
7.4	利用 MCS-51 系列单片机进行两地间的数据通信	(251)
7.4.1	调制解调器 MSM 7512B 芯片功能及引脚	(252)
7.4.2	MSM 7512B 的应用电路及与单片机的连接	(252)
7.4.3	数据发送与接收的控制程序	(254)
第 8 章	单片机在数字多频信号检测中的应用	(259)
8.1	多频记发器信号的编码	(259)
8.2	数字多频信号检测原理	(260)
8.3	数字多频信号检测步骤	(262)
8.4	选取最佳检测窗口宽度	(263)
8.5	检测方法的硬件实现	(263)
8.6	数字多频信号检测原理和方法的计算机仿真	(265)
8.6.1	被测多频信号组成形式的设定	(265)
8.6.2	仿真软件程序	(265)
第 9 章	单片机嵌入式系统接入 Internet 网络通信技术	(271)
9.1	嵌入式 Internet 基本概念	(271)
9.1.1	嵌入式 Internet 远程监控系统	(271)
9.1.2	嵌入式控制单元	(272)
9.2	以太网数据传输帧格式	(273)
9.3	网络控制器及其芯片	(273)
9.3.1	网络控制器	(273)
9.3.2	以太网控制器芯片 RTL8019AS	(274)
9.4	RTL8019AS 和 89C52 组成的嵌入式 Internet 系统	(288)
9.4.1	硬件接口电路	(288)
9.4.2	程序设计	(290)
附录 A	程控交换机软件 RAM 地址和接口地址功能分配	(293)
附录 B	程控交换机软件(子)程序入口地址表	(297)
附录 C	常用集成电路芯片引脚	(299)
附录 D	MCS-51 系列单片机汇编语言指令表(按功能排列)	(303)
附件 E	按指令操作码顺序排列的指令表	(308)
参考文献		(315)

第1章 计算机基础知识

本章叙述的计算机基础知识包括数制与码制、数字逻辑知识和常用数字逻辑电路，这些内容对今后学习单片机的指令、程序设计、电路控制和具体应用都是必不可少的。

1.1 数制与码制

1.1.1 数制

1. 十进制

十进制数是大家非常熟悉的，有时为了与二进制数、十六进制数相区别，可以用一个括号加下脚标或括号内加 D 标明，如 $(135.5)_{10}$ ， $135.5(D)$ 等。一般地说一个十进制数可用 10 的幂指数之和来表示，即

$$S = \sum k_j (10)^j \quad (k_j \text{ 为 } 0 \sim 9 \text{ 中任意一个数字}) \quad (1-1)$$

$$(N)_{10} = (k_n k_{n-1} \dots k_1 k_0 k_{-1} \dots k_{-m})$$

这个数的整数部分有 $n+1$ 位，从 $(10)^0$ 位 k_0 至 $(10)^n$ 位 k_n ；小数部分有 m 位， $(10)^{-1}$ 位 k_{-1} 至 $(10)^{-m}$ 位 k_{-m} ，如： $135.5 = 1 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1}$

2. 二进制

引入二进制是为了使计算机适应数码的存储和运算。计算机和单片机的存储器（内存和外存）是由一个个晶体管组成的，这些晶体管工作在开关状态下，它的输出不是高电平就是低电平，高电平表示数码 1，而低电平表示数码 0，二进制数只有两个数码，即 1、0，加法逢二进一位。这样，计算机在处理二进制运算时就相当方便了。为了与十进制数、十六进制数相区别，可以用一个括号内加 B 标明，二进制可表示为：

$$S = \sum k_j (2)^j \quad (k_j \text{ 为 } 0 \text{ 和 } 1 \text{ 中的一个数字}) \quad (1-2)$$

这个数的整数部分有 $n+1$ 位，从 $(2)^0$ 位 k_0 至 $(2)^n$ 位 k_n ；小数部分有 m 位，从 $(2)^{-1}$ 位 k_{-1} 至 $(2)^{-m}$ 位 k_{-m} ，如：

$$1110.101(B) = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = 14.625(D)$$

二进制数的递增规则是：

$$1 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 100 \rightarrow 101 \rightarrow 110 \rightarrow 111 \rightarrow 1000 \rightarrow 1001 \rightarrow 1010 \rightarrow 1011 \rightarrow 1100 \dots$$

2 的幂指数与十进制数的对应关系如下。

$$\text{2 的幂指数: } 2^{12} \quad 2^{11} \quad 2^{10} \quad 2^9 \quad 2^8 \quad 2^7 \quad 2^6 \quad 2^5 \quad 2^4 \quad 2^3 \quad 2^2 \quad 2^1 \quad 2^0$$

$$\text{十进制数: } 4096 \quad 2048 \quad 1024 \quad 512 \quad 256 \quad 128 \quad 64 \quad 32 \quad 16 \quad 8 \quad 4 \quad 2 \quad 1$$

二进制数的算术运算有如下四种。

加法：两个二进制数相加，先把两个数的位对齐，然后按 $0+0=0$ ， $0+1=1$ ， $1+0=1$ ， $1+1=1$ 并向高位进一位的规则相加。

减法：两个二进制数相减，先把两个数的位对齐，然后按 0-0=0，1-0=1，1-1=0，0-1=1 并向高位借一位的规则相减。

乘法：乘数的每一位分别对被乘数按 0×0=0，0×1=0，1×0=0，1×1=1 的规则相乘，再进行“移位一加”运算后得到乘积。

除法：由除数对被除数反复进行“移位一减”运算得到商和余数。

3. 十六进制

由于十六进制 (H) 与二进制 (B) 之间有非常简便的换算关系，引入十六进制可使其表示的数更简短，便于记忆。十六进制数有 16 个数码，即：0~9 和 A(10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15)，其加法是逢十六进一位。十六进制数的递增规则是：1→2→3→4→5→6→7→8→9→A→B→C→D→E→F→10→11…十六进制可表示为：

$$S=\sum k_j(16)^j \quad (k_j \text{ 为 } 0\sim F \text{ 中的任意一个数字}) \tag{1-3}$$

例如：5AF(H)=5×16²+10×16¹+15×16⁰=1455 (D)

4. 二一十进制 (BCD)

二一十进制是二进制表示的十进制数。即每位十进制数用 4 位二进制数来表示，而每相邻的 4 位二进制数组之间是十进位的关系。例如：十进制数据 8953 (D) 用二一十进制 (BCD) 来表示应该是 1000 1001 0101 0011，二一十进制主要应用于数据的通用显示中。

1.1.2 数制之间的转换

我们先写出 16 以内的十进制、二进制和十六进制对照表如下所示。

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

1. 二进制数→十六进制数

一个二进制数可方便地变成十六进制数，方法是：从这个数的低位 (2⁰) 开始，每四位用逗号分隔。

例如：

11011100101110110 (B) →1, 1011, 1001, 0111, 0110,

然后直接写出分隔号内的十六进制数，可得到 1B976(H)。因此，11011100101110110 (B) =1B976(H)；反之，十六进制数要变成二进制数可把每一位十六进制数直接用二进制数写出，并按照从高位到低位的先后顺序排列即可完成，如：2BC(H)=001010111100 (B)。

2. 二进制数→十进制数

二进制数转变成十进制数可按式(1-2)从低位到高位相加得到。如:

$$\begin{aligned} &001010111100 \text{ (B)} \\ &=1 \times 2^2 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^7 + 1 \times 2^9 \\ &=4+8+16+32+128+512 \\ &=700 \text{ (D)} \end{aligned}$$

3. 十进制数→二进制数

方法 1: 整数部分用除 2 取余法, 小数部分用乘 2 取进位法

2 1000	0 (余数)	0.53125	
2 500	0	×2	进位
2 250	0	1.06250	1
2 125	0	×2	
2 62	0	0.1250	0
2 31	1	×2	
2 15	1	0.250	0
2 7	1	×2	
2 3	1	0.500	0
1	1	2	
		1.000	1

即: $1000.53125(\text{D})=1111100000.10001(\text{B})$

方法 2: 把十进制数分拆成 2 的幂指数之和的形式, 从高位到低位, 含有 2 的幂指数的位写 1, 不含的位写 0, 这样来得到二进制数。如:

$$\begin{aligned} 1184 &= 1024 + 0 \times 512 + 0 \times 256 + 128 + 0 \times 64 + 32 + 0 \times 16 + 0 \times 8 + 0 \times 4 + 0 \times 2 + 0 \times 1 \\ &= 10010100000(\text{B}) \end{aligned}$$

4. 十进制数→十六进制数

方法 1: 可以先把十进制数按上述方法变成二进制数, 然后就可以方便地把二进制数变成十六进制数。如: $1184=10010100000(\text{B})=4\text{A}0(\text{H})$

方法 2: 将十进制数用除 16 取余法得到十六进制数。第一次得到的余数是十六进制数的最高位; 再把得到商经过除 16 的运算, 得到的余数是十进制数的次高位; 这样反复进行直到新商不大于 15 为止; 而最后一次得到的余数是十六进制数的最低位。

如: $186 \div 16 = 11 \text{ 余 } 10$, 把 11 和 10 都用十六进制表示, 得到 $186=\text{BA}(\text{H})$ 。

5. 二进制数(B)→二—十进制数(BCD)

方法 1: 可以先把二进制数按式(1-2)从低位到高位相加变成十进制数, 然后写出每一位十进制数的二进制数就得到二—十进制数。

方法 2: 可以把二进制数经过除 1010 (B) 的运算, 第一次得到的余数是二—十进制数的最高位; 再把得到商(二进制数)经过除 1010 (B) 的运算, 得到的余数是十进制数的次高位; 这样反复进行直到新商不大于 9 为止; 而最后一次得到的余数是二—十进制数的最低位。

1.1.3 代码

本节叙述带符号数的代码表示、运算规则及其他一些实用的编码方法。

带符号数的代码表示及运算规则有以下几种。

1. 原码

原码是由符号位加数值部分组成的。正数的符号位为 0，负数的符号位为 1，设 (X) 原 $= X_0 X_1 X_2 \cdots X_n$ ， X_0 表示符号位， $X_1 \sim X_n$ 为数值部分， n 为数值的位数。“+0”用 0.000...0 表示；“-0”用 1.000...0 表示。如：19=0110011，-10=1101010。

2. 反码

正数的反码与原码相同，负数的反码是将其对应的正数含符号位一起求反得到的。“+0”表示为 0.000...0；“-0”表示为 1.111...1。如：+19 的反码应为 0110011，-19 的反码应为 1101100。

3. 补码

正数的补码与原码、反码均相同，负数的补码由反码加 1 得到，即 (X) 补 $= (X)$ 反 + 1
求补码也可以这样来实现，即从数据的最低位向高位开始看，发现第一个“1”（包括这个“1”在内）照抄（用原码表示），前面的位求反（用反码表示），这样可得到数值的补码。例如，求 -4 的补码，方法 1：先写出 4 的原码 0100，求反得到 1011，加 1 后得到 1100（-4 的补码）。方法 2：先写出 4 的原码 0100，从后面向前面看，在 2^2 位发现第一个 1，100 照抄，前面的数字求反得到 11100（-4 的补码）。

补码的运算：

由于计算机中的硬件电路只有加法电路（全加器），没有减法电路，因此计算机作减法时需要转化为加法来计算。例如，计算 $x - y = x + (-y) = ?$ ，一般是先把 x 和 $-y$ 都以补码表示，计算机将 x 和 $-y$ 的补码相加后得到的是 $x + (-y)$ 的补码。

例 1 求 $119 + (-101) = 18$ 及 $-119 + 101 = -18$ 的补码运算。

0.01110111	(119 的补码);	1.10001001	(-119 的补码);
0.01100101	(101 的补码);	1.10011011	(-101 的补码)。
0.01110111	119	1.10001001	-119
+) 1.10011011	-101	+) 0.01100101	101
0.00010010	18	1.11101110	-18

两个符号不同的数相加，和以补码形式表示出。符号位为 0，表示和为正数；符号位为 1，表示和为负数。

例 2 求 $119 + 101 = 220$ 及 $-119 + (-101) = -220$ 的补码运算。

0.01110111	119	1.10001001	-119
+) 0.01100101	101	+) 1.10011011	-101
0.11011100	220	1.00100100	-220

119+101 是两个正数相加，正数的补码就是原码，和以补码（即原码）表示出。相加过程中字节的 D7 位无进位，符号位为 0，表示是正数。D6 位有进位而 D7 位无进位，表示和数大于 127。

-119+(-101)是两个负数相加，它们的补码分别是 10001001 和 10011011，和数 00100100 是-220 的补码，D7 位的进位移到符号位（即进位位）上，表示是负数。字节的 D7 位有进位而 D6 位无进位，表示和数小于-128。

其他一些实用的编码方法在下面列出。

4. 二—十进制编码

二—十进制编码是用二进制数表示的十进制数的编码。即每位十进制数用 4 位二进制数来表示，而每相邻的 4 位二进制数组之间是十进位的关系。常用的编码有 8421 BCD 码，2421 BCD 码和余 3 码等。例如：十进制数 8953（D）用二—十进制（8421 BCD 码）编码来表示应该是 1000 1001 0101 0011，二—十进制（8421 BCD 码）编码主要应用于单片机的数据存储、处理和显示中。

5. 格雷（Gray）码

格雷（Gray）码是一种可靠性代码，Gray 码有多种形式，但都有一个共同的特点，就是任意两个相邻的数，它们的 Gray 码仅有一位差别。这个特点的意义在于：在二进制计数过程中从一个数计到另一个数（如从 15→0）时，“1111→0000”有四位数字变化，当触发器翻转时间不严格一致时，就会出现其他错误码的情况，而 Gray 码从编码形式上杜绝了这种错误的产生。

反过来，在 A/D 变换中，对于普通 BCD 码，如果数码在传输过程中错一位，会在接收端引起幅度的区大变化，产生很大的误码（误差）噪声。如果用 Gray 码表示，错一位码只引起其对应的电压幅度在相邻的区间内取值，这样很大程度上减少了误码引起的电压误差。一种典型的 Gray 码如下表所示。

十进制数	二进制码	Gray 码	十进制数	二进制码	Gray 码
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000

6. 奇偶校验码（Parity Codes）

二进制数在传输时可能会发生错误，而奇偶校验码能以很大的概率检查出传输发生的错误。奇偶校验码的构成是在信息位之外再加一位校验。如果是奇校验，那么当信息码中 1 的个数是奇数时校验位补 0；当信息码中 1 的个数是偶数时校验位补 1。一旦出了错误（奇数个

错误), 收端就会检查出来。由于出一个错误比出双错的频率大得多, 所以此校验能比较有效地检查出错误来。反之, 如果是偶校验, 校验位补 1 与补 0 的安排与补奇时相反。奇偶校验码如下表所示。

十进制数	奇校验 BCD 码	偶校验 BCD 码	十进制数	奇校验 BCD 码	偶校验 BCD 码
0	00001	00000	5	01011	01010
1	00010	00011	6	01101	01100
2	00100	00101	7	01110	01111
3	00111	00110	8	10000	10001
4	01000	01001	9	10011	10010
信息位 校验位		信息位 校验位	信息位 校验位		信息位 校验位

7. 汉明 (Hamming) 码

汉明码被称为“校验码”, 因为它不但能发现错误而且还能纠正错误。它也是由信息位和校验位两部分组成的。现以某一种 Hamming-8421 码为例, 来说明校验位的编码和校验功能。设 P1 P2 P3 为校验位, I4 I3 I2 I1 为信息位 (设为 0100), 且信息位与校验位的位置安排是 I4 I3 I2 P3 I1 P2 P1, 计算校验位得到:

$P3=I4 \oplus I3 \oplus I2=0 \oplus 1 \oplus 0=1$

$P2=I4 \oplus I3 \oplus I1=0 \oplus 1 \oplus 0=1$

$P1=I4 \oplus I2 \oplus I1=0 \oplus 0 \oplus 0=0$

接收端 Hamming-8421 码的校验和表示为:

$S2=I4 \oplus I3 \oplus I2 \oplus P3$

$S1=I4 \oplus I3 \oplus I1 \oplus P2$

$S0=I4 \oplus I2 \oplus I1 \oplus P1$

如果传输过程中没有出错, 那么校验和为:

$S2=I4 \oplus I3 \oplus I2 \oplus (I4 \oplus I3 \oplus I2)=0$

$S1=I4 \oplus I3 \oplus I1 \oplus (I4 \oplus I3 \oplus I1)=0$

$S0=I4 \oplus I2 \oplus I1 \oplus (I4 \oplus I2 \oplus I1)=0$

如果收到的代码有单错, 例如, 发送数字 4 的 Hamming-8421 码是 0 1 0 1 0 1 0, 实际上接收到的 Hamming-8421 码是 0 0 0 1 0 1 0, 收端校验和为:

$S2=I4 \oplus I3 \oplus I2 \oplus P3=0 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 1=1$

$S1=I4 \oplus I3 \oplus I1 \oplus P2=0 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 1=1$

$S0=I4 \oplus I2 \oplus I1 \oplus P1=0 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 0=0$

由 S2S1S0 组成的代码是 6, 指示出第 6 位 (I3) 发生了错误, 应由 0 改为 1。

Hamming 码纠错条件: 只出单错 (一位出错), 可以允许校验位本身出错。完整的 Hamming-8421 码列表如下。

位置	7	6	5	4	3	2	1	位置	7	6	5	4	3	2	1
N	I4	I3	I2	P3	I1	P2	P1	1	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	1