



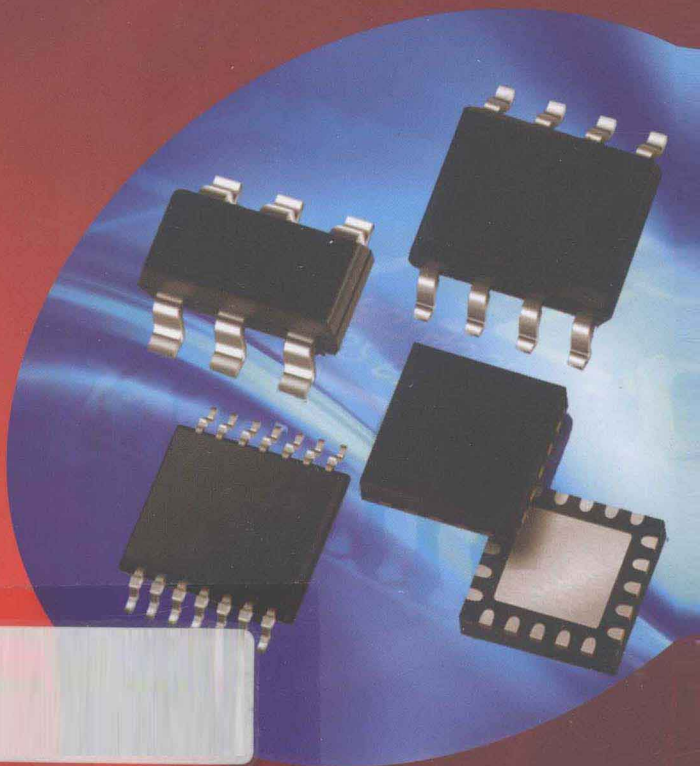
高等职业教育电子信息类专业“十二五”规划教材

单片机技术应用与实训

主编 赵俊生

CDIO教育理念

· 任务驱动
· 项目导向
· 能力培养
· 面向就业



国防工业出版社
National Defense Industry Press

高等职业教育电子信息类专业“十二五”规划教材

单片机技术应用与实训

主 编 赵俊生

副主编 张 政 王 冲 仇士玉

主 审 冯建雨

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是根据高等职业教育电子信息类专业“单片机原理及应用”课程的教学要求编写的。本书借鉴 CDIO 工程教育理念,采用任务驱动,项目导向,紧密结合单片机实际应用情况,以实训项目为主线,理论联系实际,充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,突出人才应用能力的创新素质的培养,内容丰富,实用性强。从技术和工程应用的角度出发,为适应不同层次不同专业的需要,全书介绍了单片机工程应用项目(以 MCS-51 为核心)的认识及使用、其结构、指令系统、程序设计与调试、中断系统与定时/计数、系统的扩展、串行通信和接口技术。用实例系统地介绍了单片机技术基础和实训内容。突出了工程实践能力的培养,可用于学生的理论教学与实训、课程设计与毕业设计。

本书可作为高职高专和成人教育的电气自动化应用技术、工业电气自动化、电子信息工程技术、机械自动化、机电应用技术、数控应用技术等相关专业的教材和短期培训教材,也可作为广大工程技术人员学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机技术应用与实训/赵俊生主编. —北京:国防工业出版社,2011.8

高等职业教育电子信息类专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-118-07640-0

I. ①单... II. ①赵... III. ①单片微型计算机 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 164579 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20 字数 466 千字

2011 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 37.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

高等职业教育电子信息类专业系列教材 编写组名单

姓名	所在院校
杨国华	无锡商业职业技术学院
孙刚	南京信息职业技术学院
李乐	南京铁道职业技术学院
张飞	南京铁道职业技术学院
李军科	无锡商业职业技术学院
曾庆珠	南京信息职业技术学院
朱桂兵	南京信息职业技术学院
黄伟	江苏农林职业技术学院
李娜	江苏农林职业技术学院
王卫兵	江苏食品职业技术学院
张政	江苏食品职业技术学院
郑东旭	江苏食品职业技术学院
梁庆祥	江苏食品职业技术学院
杨海卉	安徽机电职业技术学院
金彦平	常州工程职业技术学院
张林	南京机电职业技术学院
王冠军	南京机电职业技术学院
闫文娟	南京机电职业技术学院
冯建雨	山东理工职业学院
李梅	山东理工职业学院
徐夏民	无锡机电高等职业技术学校
胡海清	无锡机电高等职业技术学校
程钦	江苏技术师范学院
赵俊生	江苏财经职业技术学院
唐义锋	江苏财经职业技术学院
游小荣	常州纺织服装职业技术学院
刘子明	常州纺织服装职业技术学院

姓名	所在院校
丁健	无锡科技职业学院
卓陈祥	无锡科技职业学院
冯薇	南京化工职业技术学院
王正高	南通纺织职业技术学院
林森	南通纺织职业技术学院
苏品刚	苏州职业大学
徐遵	苏州职业大学
陆春妹	苏州职业大学
俞兴明	苏州职业大学
刘莉莉	苏州职业大学
陈霞	常州信息职业技术学院
将卫祥	常州信息职业技术学院
赵航	三江学院
刘伟彦	江苏城市职业学院
朱晓刚	常州机电职业技术学院
曹承龙	安徽财贸职业学院
曹泉	扬州技师学院
田晓华	扬州技师学院
邵争鸣	扬州技师学院
齐明琪	扬州技师学院
丁群霞	扬州技师学院
戴福兵	扬州技师学院
丁振华	徐州工业职业技术学院
孙萍	江苏信息职业技术学院
商敏红	江苏信息职业技术学院
陆渊章	江苏信息职业技术学院
李如平	安徽工商职业学院

姓名	所在院校
姚庆峰	安徽工商职业学院
陈翠红	安徽工商职业学院
王亚军	炎黄职业技术学院
熊 丹	炎黄职业技术学院
张 爽	炎黄职业技术学院
王 敏	炎黄职业技术学院
朱 燕	炎黄职业技术学院
岳云峰	紫琅职业技术学院
顾 海	紫琅职业技术学院

姓名	所在院校
刘红月	健雄职业技术学院
仲小英	健雄职业技术学院
施纪红	健雄职业技术学院
岩淑霞	健雄职业技术学院
陈邦琼	健雄职业技术学院
沈 健	健雄职业技术学院
张晓芳	健雄职业技术学院
胡宏梅	健雄职业技术学院
仇士玉	淮安电视大学

(注:排名不分先后)

前言

为了适应社会经济和科学技术的迅速发展及职业教育教学改革的需要,根据“以就业为导向”的原则,注重以先进的科学发展观调整和组织教学内容,增强认知结构与能力结构的有机结合,强调培养对象对职业岗位(群)的适应程度,国防工业出版社经过广泛调研,在江苏淮安和无锡分别召开全国高等职业教育电子信息类专业课程体系及教材建设研讨会,组织编写对电子信息类教材的整体优化力图有所突破、有所创新的教材,供工业电气技术、工业电气自动化、应用电子技术、信息工程技术、机电一体化应用技术、机械自动化等相关专业使用。

本书借鉴 CDIO 工程教育理念,采用任务驱动,项目导向,在内容的选取方面,将理论和实训合二为一,以“必需”与“够用”为度,将知识点作了较为精密的整合,内容深入浅出,通俗易懂。既有利于教,又有利于学,还有利于自学。

在结构的组织方面大胆打破常规,以工程项目为教学主线,通过设计不同的工程项目,将知识点和技能训练融于各个项目之中,各个项目按照知识点与技能要求循序渐进编排,突出技能的提高,努力符合职业教育的工学结合,达到真正符合职业教育的特色。实训所涉及的外围电路中除了常用的键盘输入、LED 显示、SRAM 扩展外,对于继电器控制、温度测控、红外遥控、步进电机控制、直流电机控制、汽车的倒车控制等多项贴近科技发展前沿的实用技术也有所涉及。同时从实际出发,以 MCS-51 系列机型为核心,并简单介绍了 AT89C51 系列机型的训练项目,以扩展学生视野。学生接触这些项目可以实现零距离上岗。

本书由江苏财经职业技术学院赵俊生担任主编,张政、王冲、仇士玉担任副主编。具体编写分工:江苏财经职业技术学院王冲编写任务 1、2;江苏食品职业技术学院张政编写 4、5;淮安电视大学仇士玉编写任务 6 和附录;其余由赵俊生编写。由山东理工职业学院冯建雨担任主审。本书编写过程中得到了江苏财经职业技术学院领导的关心与帮助,亦得到了国防工业出版社的大力支持,在此一并表示衷心感谢。此外,还要感谢书后所附参考文献的各位作者。

由于时间仓促,加上作者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

目 录

任务 1 单片机技术应用系统的认识	1
项目单元 1 单片机应用系统开发过程的认知和演示	1
项目单元 2 MCS-51 单片机 I/O 口控制实训	16
项目单元 3 循环流水灯实训	32
任务 2 单片机指令系统	49
项目单元 1 80C51 定点数运算程序设计实训	49
项目单元 2 逻辑操作实训	61
项目单元 3 控制转移和子程序调用实训	68
任务 3 单片机的中断与定时系统	79
项目单元 1 80C51 单片机外部中断实训	79
项目单元 2 定时/计数器实训	89
任务 4 单片机的通信	102
项目单元 1 RS-232 串口通信实训	102
项目单元 2 RS-485 串口通信实训	115
任务 5 MCS-51 单片机系统的扩展	133
项目单元 1 80C51 系统扩展实训	133
任务 6 单片机的键盘接口技术	153
项目单元 1 单片机与液晶显示模块接口实训	153
项目单元 2 键盘扫描显示实训	165
任务 7 单片机的接口技术	181
项目单元 1 ADC0809 并行 A/D 转换实训	181
项目单元 2 DAC0832 并行 D/A 转换器的接口技术实训	199
任务 8 单片机的应用举例	212
项目单元 1 红外发射接收实训	212
项目单元 2 单片机交通信号灯控制实训	222
项目单元 3 单片机作息时钟控制器实训	242
项目单元 4 单片机汽车倒车测距仪实训	255
项目单元 5 温度传感器温度测量与控制实训	269
附录 1 THKL-C51 仿真器联机及软件的使用说明	286
附录 2 MCS-51 系列单片机指令表	306
参考文献	311

任务1 单片机技术应用系统的认识

【教学目标】

1. 了解单片机的概念、特点、发展及应用范围。掌握常用的进位计数制及各种数制的转换方法。
2. 掌握原码、补码、反码的表示方法及其相互转换。掌握 8421BCD 码和 ASCII 码的表示方法。
3. 了解单片机的内部结构,熟悉芯片各控制引脚的名称和功能。熟悉 8051 单片机三个不同存储空间配置及地址范围,重点是 40 个引脚功能,三个不同存储空间及各自访问指令,片内 RAM 功能区、范围及应用。
4. 了解 4 个 I/O 口的结构及工作原理,理解在扩展片外存储器情况下 P0、P1、P2、P3 口功能。
5. 熟练掌握汇编语言指令的基本格式。理解 8051 单片机的 7 种寻址方式及相应的寻址空间。

【任务描述】

本任务通过对单片机概念、进位计数制及各种数制的转换,以及单片机内部结构和引脚的功能、三个不同存储空间与寻址方式及相应的寻址空间等内容的掌握,通过应用系统的开发、I/O 口的结构、最小系统等训练达到完成相应的目标。

项目单元1 单片机应用系统开发过程的认知和演示

【项目描述】

本项目研究的单片机就是把组成微型计算机的各个功能集成在一块芯片上,构成一个完整的微型计算机,介绍其特点和分类、典型的单片机 MCS-51 的主要特点和性能指标。常用的数制及不同数制之间转换与运算。首先介绍在设计单片机应用系统时,在完成硬件系统设计之后,必须配备相应的应用软件。

【项目分析】

本项目通过单片机开发系统(称为开发机或仿真器)进行仿真开发。仿真的目的是利用开发机的资源(CPU、存储器和 I/O 设备等)来模拟欲开发的单片机应用系统(即目标机)的 CPU 存储器和 I/O 操作,并跟踪和观察目标机的运行状态。

本项目研究认知 ATMEL 公司的 89C51、89C52、89C2051、89C4051 等,以及 Intel 公司

的 80C31、80C51、87C51、80C32、80C52、87C52 等芯片和引脚的介绍。

利用 P3 口的不同开关状态组合控制 P1 口的 LED 的不同点亮组合;使 8 个 LED 经一定的时间间隔轮流点亮,然后在一定的时间间隔轮流熄灭;利用手工汇编办法修改存储器内容改变延时常数,观察 LED 的亮灭变化。

【知识链接】

1.1.1 MCS-51 系列单片机的概述

1. 单片机的概念

单片微型计算机(Single Chip Microcomputer),简称单片机,是近代计算机技术发展的一个分支——嵌入式计算机系统。它是将计算机的主要部件(CPU、RAM、ROM、定时器/计数器、I/O 接口电路等)集成在一块大规模的集成电路中,形成芯片级的微型计算机。自单片机问世以来,就在控制领域得到广泛应用,特别是近年来,许多功能电路都被集成在单片机内部,如 A/D、D/A、PWM、WDT、I²C 总线接口等,极大地提高单片机的测量和控制能力,现在所说的单片机已突破了微型计算机(Microcomputer)的传统内容,更准确的名称应为微控制器(Microcontroller),虽然仍称其为单片机,但应把它认为是一个单片形态的微控制器。

2. 单片机的特点

(1) 小巧灵活,成本低,易于产品化,有优异的性能价格比。

(2) 集成度高,有很高的可靠性,能在恶劣的环境下工作,单片机把功能部件集成在一块芯片内部,缩短和减少功能部件之间的连线,提高了单片机的可靠性和抗干扰能力。

(3) 控制功能强,特别是集成了功能接口电路,使用更方便有效,指令面向控制对象,可以直接对功能部件进行操作,易于实现从简单到复杂的各类控制任务。

(4) 低功耗,低电压,便于生产便携式产品。

单片机所具有的以上显著特点,使它在各个领域都得到了广泛应用,从日常的智能化家电产品到专业的智能仪表,从单个的实时测控系统的分布式多机系统以及嵌入式系统。使用单片机已经成为各个行业提高产品性能、降低生产成本、提高生产效率的重要手段,例如交通灯、霓虹灯控制、广场上的计时牌等系统中都用到了单片机控制。

1.1.2 单片机的发展概况

1. 单片机的发展历史

第 1 阶段(1974 年—1976 年):初级单片机阶段。

20 世纪 70 年代,微电子技术正处于发展阶段,集成电路属于中规模发展时期,各种新材料新工艺尚未成熟,单片机仍处在初级发展阶段。

1974 年,美国仙童(Fairchild)公司研制出世界上第一台单片微型计算机 F8,深受家用电器和仪器仪表领域的欢迎和重视,从此拉开了研制单片机的序幕。这个时期生产的单片机特点是制造工艺落后、集成度低、功能简单,而且采用双片结构。

第 2 阶段(1976 年—1978 年):低性能单片机阶段。

这时的单片机芯片内集成有 CPU、并行口、定时器、RAM 和 ROM 等部件,但 CPU 功能还不太强,I/O 的种类和数量少,存储容量小,只能应用于比较简单的场合。

1976 年 Intel 公司推出了 MCS-48 单片机,这个系列的单片机内集成有 8 位 CPU、并

行 I/O 接口、8 位定时/计数器,寻址范围不大于 4KB,且无串行口。它是 8 位机的早期产品,并以体积小、功能全、价格低等特点得到了广泛的应用。

第 3 阶段(1978 年—1983 年):高性能单片机阶段。

这时的单片机普遍带有串行口,有多级中断处理系统,16 位定时/计数器,片内 RAM、ROM 容量加大,且寻址范围可达 64KB,有的片内还带有 A/D 转换器接口。这时的单片机发展到了一个全新的阶段,应用领域更广泛,许多家用电器均走向利用单片机控制的智能化发展道路。

这类单片机有 Intel 公司的 MCS-51, Motorola 公司的 M6805 和 Zilog 公司的 Z8 等。

第 4 阶段(1983 年至今):单片机全面发展阶段。

各公司的产品在相互兼容的同时,向高速、强运算能力、大寻址范围以及小型廉价方向发展。出现了超 8 位单片机和 16 位及以上单片机,片内含有 A/D 和 D/A 转换电路,支持高级语言,主要用于过程控制、智能仪表、家用电器及作为计算机外部设备的控制器等。具有代表性的有 MCS-96 系列、Moster 公司的 MK68200 系列、NC 公司的 HPC16040 系列、NEC 公司的 783 × × 系列和 TI 公司的 TMS9940 系列等。

目前国际市场上 8 位、16 位单片机系列已很多,但是,在国内使用较多的单片机是 Intel 公司的产品,其中 MCS-51 系列单片机应用尤为广泛,二十几年经久不衰,而且还在进一步发展完善,价格越来越低,性能越来越好。

2. 单片机的发展方向

单片机的发展趋势将是向着高性能化、大容量、小容量、低价格化,外围电路内装化等几个方面发展。

(1) 单片机的高性能化。主要指进一步改善 CPU 的性能,加快指令运算的速度和提高系统控制的可能性,并加强了位处理功能、中断和定时控制功能;采用流水线结构,指令以队列形式出现在 CPU 中,从而有很高的运算速度。有些单片机基本采用了多流水线结构,这类单片机的运算速度要比标准的单片机高出 10 倍以上。

(2) 片内存储器大容量化。以往单片机的片内 ROM 为 1KB~4KB, RAM 为 64KB~128KB。在一些较复杂的应用系统中,存储器容量就显得不够,不得不外扩存储器。为了适应这种要求,将片内存储器大幅度增加,片内 ROM 可以达到 12KB。今后,随着微电子技术的不断复杂,片内存储器容量将进一步扩大。

(3) 小容量、低价格化。与上述相反,小容量、低价格化的 4 位、8 位单片机也是发展的方向之一。这类单片机主要用于儿童玩具等较小规模的控制系统。

(4) 外围电路内装化。这也是单片机发展的主要方向。随着集成度的不断提高,有可能把众多的各种外围功能器件集成在片内。除了一般必须具备的 CPU、RAM、ROM、定时/计数器等之外,片内集成的部件还有 A/D、D/A 转换器、DMA(Direct Memory Access)控制器、声音发生器、监视定时器、液晶显示驱动器、彩色电视机和录像机用的锁相电路等。

(5) 增强 I/O 接口功能。为了减少外部驱动芯片,进一步增加单片机并行口的驱动能力,现在有些单片机可直接输出大电流和高电压,以便直接驱动显示器。

(6) 加快 I/O 的传输速度。有些单片机设置了高速 I/O 接口,以便能以更快的速度触发外围设备,以更快的速度读取数据。

1.1.3 单片机的应用

单片机广泛应用于仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天、专用设备的智能化管理及过程控制等领域,大致可分为如下几种范畴。

1. 在智能化仪器仪表上的应用

单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、扩展灵活、微型化及使用方便等优点,广泛应用于仪器仪表中,结合不同类型的传感器,可实现如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、厚度、角度、长度、硬度和压力等物理量的测量。采用单片机控制使得仪器仪表数字化、智能化、微型化,且比采用模拟或数字电子电路更加强大。例如,精密的测量设备(功率计、示波器、各种分析仪)。

2. 在工业控制中的应用

用单片机可以构成形式多样的控制系统、数据采集系统。例如工厂流水线的智能化管理、电梯智能化控制、各种报警系统、与计算机联网构成二级控制系统等。

3. 在家用电器中的应用

可以这样说,现在的家用电器基本上都采用了单片机控制,从电饭煲、洗衣机、电冰箱、空调机、彩电、其他音响视频器材,到电子称量设备,品种多样,无所不在。

4. 在计算机网络和通信领域中的应用

现代的单片普遍具备通信接口,可以很方便地与计算机进行数据通信,为在计算机网络和通信设备间的应用提供了极好的物质条件。现在的通信设备基本上都实现了单片机智能化控制,从电话机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信,再到日常工作中随处可见的移动电话、集群移动通信、无线对讲机等。

5. 在医用设备领域中的应用

单片机在医用设备中的用途亦相当广泛,例如医用呼吸机、各种分析仪、监护仪、超声诊断设备及病床呼叫系统等都应用了单片机。

此外,单片机在工商、金融、科研、教育、航空航天等领域都有着十分广泛的用途。

1.1.4 典型单片机 MCS-51 系列简介

1. MCS-51 系列

MCS-51 是 Intel 公司生产的一个单片机系列名称。属于这一系列的单片机有多种型号,如 8051/8751/8031/8052/8752/8032/80C51/87C51/80C31/80C52/87C52/80C32 等。

该系列单片机的生产工艺有两种:HMOS 工艺(即高密度短沟道 MOS 工艺)和 CHMOS 工艺(即互补金属氧化物的 HMOS 工艺)。CHMOS 是 CMOS 和 HMOS 的结合,既保持了 HMOS 的高速度和高密度的特点,还具有 CMOS 的低功耗的特点。在产品型号中凡带有字母“C”的,即为 CHMOS 芯片;不带有字母“C”的,即为 HMOS 芯片。HMOS 芯片的电平与 TTL 电平兼容,而 CHMOS 芯片的电平既与 TTL 电平兼容,又与 CMOS 电平兼容。所以,在单片机应用系统中应尽量采用 CHMOS 工艺的芯片。

在功能上,该系列单片机有基本型和增强型两大类,通常以芯片型号的末位数字来区分。末位数字为“1”的型号为基本型,末位数字为“2”的型号为增强型,如 8051/8751/8031/80C51/87C51/80C31 为基本型,8052/8752/8032/80C52/87C52/80C32 为增强型。

在片内程序存储器的配置上,该系列单片机有 3 种形式,即掩模 ROM、EPROM 和

ROMLess(无片内程序存储器)。如 80C51 含有 4KB 的掩模 ROM,87C51 含有 4KB 的 EPROM,而 80C31 在芯片无程序存储器,应用时要在单片机芯片外扩展程序存储器。

2. 80C51 系列

80C51 是 MCS-51 系列单片机中 CHMOS 工艺的一个典型品种,其他厂商以 8051 为基核开发出的 CHMOS 工艺单片机产品统称为 80C51 系列。当前常用的 80C51 系列产品有:ATMEL 公司的 89C51、89C52、89C2051、89C4051 等;Intel 公司的 80C31、80C51、87C51、80C32、80C52、87C52 等;除此之外,还有 Philips、华邦、Dallas、Siemens 等公司的许多产品。虽然这些产品在某些方面有一些差异,但基本结构是相同的。

1.1.5 单片机中数的表示方法

单片机作为微型计算机的一个分支,其基本功能就是对数据进行大量的算术运算和逻辑操作,但是它只能识别二进制数。对于我们要进行研究的 8 位单片机,数的存在方式主要有位(bit)、字节(B)和字。“位”就是一位二进制数,即“1”或“0”,用来表示信息的两种不同状态,如开关的“通”和“断”、电平的“高”和“低”等。8 位二进制数组成一字节,既可以表示实际的数,也可以表示多个状态的组合信息。8 位单片机处理的数据绝大部分都是 8 位二进制数,也就是以字节为单位,单片机执行的程序也以字节形式存放在存储器中。两个字节组成一个字,即 16 的二进制数。但二进制数位数较多,书写和识读不便,因而又常用到十六进制数。了解十进制数、二进制数、十六进制数之间的关系和运算方法,是学习单片机的重要基础。

1. 十进制数、二进制数、十六进制数

1) 十进制数(Decimal)

十进制数的主要特点:基数为 10,由 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个数码构成。进位规则是“逢十进一”。

基数指计数制中所用到的数码个数,如十进制数共有 0~9 十个数码,所以基数是 10。当某一位数计满基数时就向它邻近的高位进一。十进制数一般在数的后面加符号 D 表示,可以省略。

任何一个十进制数都可以展开成幂级数形式,例如:

$$123.45D = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

其中, 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 称为十进制数各数位的权。

2) 二进制数(Binary)

二进制数的主要特点:基数为 2,由 0、1 两个数码构成。进位规则是“逢二进一”。

二进制数在书写时在数的后面加符号 B 表示,B 不可省略。二进制数也可以展开成幂级数形式,如:

$$1011.01B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 11.25D$$

其中, 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 、 2^{-1} 、 2^{-2} 称为二进制数各数位的权。

3) 十六进制数(Hexadecimal)

十六进制数的主要特点:基数为 16,由 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 十六个数码构成,其中 A、B、C、D、E、F 分别代表十进制数的 10、11、12、13、14、15。进位规则是“逢十六进一”。

十六进制数在书写时在数的后面加符号 H 表示,H 不可省略。十六进制数也可以展

开成幂级数形式,如:

$$123.45\text{H} = 1 \times 16^2 + 2 \times 16^1 + 3 \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} + 5 \times 16^{-2} = 291.26953125\text{D}$$

其中, 16^2 、 16^1 、 16^0 、 16^{-1} 、 16^{-2} 称为十六进制数各数位的权。

十六进制数与二进制数相比,大大缩短了数的位数,一个4位的二进制数只需要1位十六进制数表示,计算机中普遍用十六进制数表示。表1.1.1列出了十进制数、二进制数、十六进制数的对应关系。

表 1.1.1 十进制数、二进制数、十六进制数的对应关系

十进制数	十六进制数	二进制数	十进制数	十六进制数	二进制数
0	0H	0000B	8	8H	1000B
1	1H	0001B	9	9H	1001B
2	2H	0010B	10	AH	1010B
3	3H	0011B	11	BH	1011B
4	4H	0100B	12	CH	1100B
5	5H	0101B	13	DH	1101B
6	6H	0110B	14	EH	1110B
7	7H	0111B	15	FH	1111B

2. 数制转换

1) 二进制数与十六进制数的转换

(1) 二进制数转换为十六进制数。采用四位二进制数合成为一位十六进制数的方法,以小数点为界分成左侧整数部分和右侧小数部分,整数部分从小数点开始,向左每4位二进制数一组,不足4位在数的前面补0,小数部分从小数点开始,向右每4位二进制数一组,不足4位在数的后面补0,然后每组用十六进制数码表示,并按序相连即可。

[例 1.1.1] 把 111010.011110B 转换为十六进制数。

$$\frac{0011}{3} \frac{1010}{A} . \frac{0111}{7} \frac{1000}{8} = 3\text{A}.78\text{H}$$

(2) 十六进制数转换为二进制数。将十六进制数的每位分别用4位二进制数码表示,然后它们按序连在一起即为对应的二进制数。

[例 1.1.2] 把 2BD4H 和 20.5H 转换为二进制数。

$$\begin{aligned} 2\text{BD}4\text{H} &= 0010\ 1011\ 1101\ 0100\text{B} \\ 20.5\text{H} &= 0010\ 0000.0101\text{B} \end{aligned}$$

2) 二进制数与十进制数的转换

(1) 二进制数转换为十进制数。将二进制数按权展开后求和即得到相应的十进制数。

[例 1.1.3] 把 1001.01 B 转换为十进制数。

$$1001.01\text{B} = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 9.25$$

(2) 十进制数转换为二进制数。十进制数转换为二进制数一般分为两步,整数部分和小数部分分别转换成二进制的整数部分和小数部分。

整数部分转换通常采用“除2取余法”,即用2连续去除十进制数,每次把余数拿出,直到商为0,依次记下每次除的余数,然后按先得到的余数为低位、最后得到的余数为最高位的次序依次排列,就得到转换后的二进制数。

[例 1.1.4] 将十进制数 47 转换成二进制数。

2	47	余数	
2	23	1	最低位
2	11	1	
2	5	1	
2	2	1	
2	1	0	
	0	1	最高位

则 $47 = 101111\text{B}$

小数部分转换通常采用“乘2取整法”,即依次用2乘小数部分,记下每次得到的整数,直到积的小数为0,最先得到的整数为小数的最高位,最后得到的整数为小数的最低位。积的小数有可能连续乘2达不到0,这时转换出的二进制小数为无穷小数,根据精度要求保留适当的有效位数即可。

[例 1.1.5] 将十进制数 0.8125 转换成二进制数。

0.8125	整数	
$\times 2$		最高位
16250	1	
0.6250		
$\times 2$		
1.2500	1	
0.2500		
$\times 2$		
0.5000	0	
$\times 2$		最低位
1.0000	1	

则 $0.8125 = 0.1101\text{B}$

3) 十六进制数与十进制数的转换

(1) 十六进制数转换成十进制数。将十六进制数按权展开后求和即得到十进制数。

[例 1.1.6] 将十六进制数 3DF2H 转换成十进制数。

$$3\text{DF}2\text{H} = 3 \times 16^3 + 3 \times 16^2 + 15 \times 16^1 + 2 \times 16^0 = 15858$$

(2) 十进制数转换成十六进制数。十进制数转换成十六进制数的方法与十进制数转换成二进制数的方法相似,整数部分和小数部分分别转换。整数部分采用“除16取余法”,小数部分采用“乘16取整法”。

[例 1.1.7] 将十进制数 47 转换成十六进制数。将十进制数 0.48046875 转换成十六进制数。

16	47	余数	
16	2	15 (FH)	低位
	0	2	高位

则 $47 = 2 \text{ FH}$

0.48046875		
× 16	整数	
7.68750000	7	高位
0.68750000		
× 16		
11.00000000	11(BH)	低位

则 $0.48046875 = 0.7 \text{ BH}$

从上面的例子可以看出十进制数转换成二进制数的步骤较多,而十进制数转换成十六进制数的步骤较少,以后将十进制数转换成二进制数,可先其转换为十六进制数,再由十六进制数转换成二进制数,可以减少许多计算。例如:

$$47 = 2 \text{ FH} = 101111 \text{ B}$$

3. 二进制数的运算

二进制数的运算比较简单,包括算术运算和逻辑运算,这里简要介绍算术运算,逻辑运算将结合单片机的逻辑运算指令在后面的项目中介绍。

1) 加法运算

运算规则: $0+0=0, 0+1=1+0=1, 1+1=10$ (向高位进位)。

[例 1.1.8]

$$\begin{array}{r} 01101010\text{B} \\ + 00111011\text{B} \\ \hline 10100101\text{B} \end{array}$$

2) 减法运算

运算规则: $0-0=0, 1-0=1, 1-1=0, 0-1=1$ (向高位借 1)。

[例 1.1.9]

$$\begin{array}{r} 10110101\text{B} \\ - 01001101\text{B} \\ \hline 01101000\text{B} \end{array}$$

3) 乘法运算

运算规则: $0 \times 0 = 0, 0 \times 1 = 1 \times 0 = 0, 1 \times 1 = 1$ 。

两个二进制数的乘法运算与十进制数乘法类似,用乘数的每一位分别去乘被乘数的每一位,所得结果的最低位与相应乘数位对齐,最后把所得结果相应相加,就得到两个数

的积。

[例 1.1.10] 求 1010×1001 的积。

1010	被乘数
$\times 1001$	乘数

1010	
0000	
0000	
1010	

1011010	积

则 $1010 \times 1001 = 1011010$

从上面的例子可见,二进制数的乘法运算实质上是由“加”(加被乘数)和“移位”(对齐乘数位)两种操作实现的。

4) 除法运算

除法运算是乘法的逆运算。与十进数类似,从被除数的最高位开始取出除数相同的位数,减去除数,够减商记为 1,不够减商记为 0,然后将被除数的下一位移到余数上,重复前面的减除数操作,直到被除数的位数都下移为止。

[例 1.1.11] 求 $11001011 \div 110$ 。

	100001	商
除数 110	$\overline{) 11001011}$	被除数
	110	

	001011	
	110	

	101	余数

则 $11001011B \div 110 = 100001B$, 余数 101B。

综上所述,二进制数的加、减、乘、除运算,可以归纳为加、减、移位三种操作。我们所要学的单片机都有相应的操作指令。

4. 原码、反码、补码

前面已经提到,在 8 位单片机数中是以字节为单位,即以 8 位二进制数的形式存在,每字节存放数的范围为 0 ~ 255,这样的数也可以称为无符号数。而现实中数是有符号的,单片机包括微型计算机中规定用最高位表示数的符号,并且规定 0 表示“+”,1 表示“-”,其余位为数值位,表示数的大小,如图 1.1.1 所示。

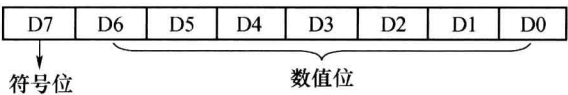


图 1.1.1 8 位有符号数的结构

例如, +1 表示为 00000001B, -1 表示为 10000001B,为区别实际的数和它在单片机中的表示形式,把数码化了的带符号位的数称为机器数,把实际的数称为机器数的真值。00000001B 和 10000001B 为机器数, +1 和 -1 分别为它们的真值。双字节和多字节数有

类似的结构,最高位为符号位,其余的位为数值位。单片机中机器数的表示方法有三种形式:原码、反码和补码。

1) 原码(True Form)

符号位用0表示+,用1表示-,数值位与该数绝对值一样,这种表示机器数的方法称为原码表示法。

正数的原码与原来的数相同,负数的原码符号位为1,数值位与对应的正数数值位相同。

$[+1]_{\text{原}} = 00000001\text{B}$, $[-1]_{\text{原}} = 10000001\text{B}$,显然8位二进制数原码表示的范围为 $-127 \sim +127$ 。

0的原码有两种表示方法, $+0$ 和 -0 。 $[+0]_{\text{原}} = 00000000\text{B}$, $[-0]_{\text{原}} = 10000000\text{B}$ 。

2). 反码(One's complement)

一个数的反码可以由它的原码求得,正数的反码与正数的原码相同,负数的反码符号位为1,数值位为对应原码的数值位按位取反。例如:

$$[+1]_{\text{反}} = [+1]_{\text{原}} = 00000001\text{B}$$

$$[-1]_{\text{反}} = 11111110\text{B}$$

$$[+0]_{\text{反}} = [+0]_{\text{原}} = 00000000\text{B}$$

$$[-0]_{\text{反}} = 11111111\text{B}$$

8位二进制数反码表示的范围为: $-127 \sim +127$ 。

3) 补码(Two's complement)

补码的概念可以通过调钟表的例子来理解。假设现在钟表指示的时间是4点,而实际的时间是6点,有两种方法来校正:一是顺时针拨2小时是加法运算,即 $4 + 2 = 6$;二是逆时针拨10小时,是减法运算,但 $4 - 10$ 不够减,由于钟表是12小时循环,该拨时的方法可由下式表示: $12(\text{模}) + 4 - 10 = 6$,与顺时针拨时是一致的,数学上称为按模12的减法。可见 $4 + 2$ 的加法运算和 $4 - 10$ 按模12的减法是等价的。类似的还有按模的加法运算,两个数的和超过模,只保留超过的部分,模丢失。这里的2和10是互补的,数学上的关系为: $[X]_{\text{补}} = \text{模} + X$ 。

8位二进制数满256向高位进位,256自动丢失,因此8位二进制数模为 $2^8 = 256$ 。

一个数的补码可由该数的反码求得。正数的补码与正数的反码和原码一致,负数的补码等于该数的反码加1。例如:

$$[+1]_{\text{补}} = [+1]_{\text{原}} = [+1]_{\text{反}} = 00000001\text{B}$$

$$[-1]_{\text{补}} = 11111111\text{B}$$

$$[-0]_{\text{反}} = 11111111\text{B}, \text{加1得 } 00000000\text{B}, \text{所以,}$$

$$[-0]_{\text{补}} = 00000000\text{B} = [+0]_{\text{补}}, 0 \text{ 的补码只有一种表示方法。}$$

8位二进制数补码的表示范围为 $-128 \sim +127$ 。8位二进制数的原码、反码、补码的对照表见表1.1.2。