

新版

21世纪

高职高专系列教材

单片机实用教程

◎徐江海 主编

◎张志良 主审

提供电子教案增值服务

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高职高专系列教材

单片机实用教程

主 编 徐江海

参 编 史卫华 徐少明 冯成龙

主 审 张志良



机械工业出版社

本书以 AT89S51 单片机为例,讲述了单片机的原理和应用。内容包括单片机基础知识、单片机原理与基本应用系统、指令与汇编语言设计、中断系统和定时/计数器、串行通信、单片机的并行扩展技术和串行扩展技术、单片机常用测控电路、单片机的综合应用。

根据高职高专教育注重培养学生实践动手能力的要求,本书以单片机应用为主线,理论与实践紧密结合,注重对单片机资源应用方法的总结,使初学者更容易理解和掌握。每章安排了一定量的习题与思考题,方便读者练习和提高。

本书可作为高职高专电子、通信、电气、机电专业单片机课程教材,也可供从事单片机应用的工程技术人员参考,非常适合单片机爱好者自学。

图书在版编目(CIP)数据

单片机实用教程/徐江海主编. —北京:机械工业出版社, 2006. 12

(21 世纪高职高专系列教材)

ISBN 978-7-111-20485-5

I. 单... II. 徐... III. 单片微型计算机—高等学校: 技术学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 147113 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:赵丽欣 王 颖 版式设计:张世琴

责任校对:樊钟英 责任印制:李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2007 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15.75 印张·384 千字

0001—5000 册

定价:23.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379739

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专机电专业系列教材

编委会成员名单

主 任 吴家礼

副 主 任 任建伟 李望云 张 华 梁 栋 盛靖琪

委 员 (排名不分先后)

陈志刚 陈剑鹤 韩满林 李柏青

盛定高 张 伟 李晓宏 刘靖华

陈文杰 程时甘 韩全立 张宪立

胡光耀 苑喜军 李新平 吕 汀

杨华明 刘达有 程 奎 李益民

吴元凯 王国玉 王启洋 杨文龙

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 郝秀凯

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国40余所院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了修订,修订后的丛书名改为“21世纪高职高专系列教材”。

在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价。因此,在修订过程中,各编委会保持了第1版教材“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。同时,针对教育部提出的高等职业教育的学制将由三年逐步过渡为两年,以及强调以能力培养为主的精神,制定出了本次教材修订的原则:跟上我国信息产业飞速发展的节拍,适应信息行业相关岗位群对第一线技术应用型操作人员能力的要求,针对两年制兼顾三年制,理论以“必须、够用”为原则,增加实训的比重,并且制作了内容丰富而且实用的电子教案,实现了教材的立体化。

针对课程的不同性质,修订过程中采取了不同的处理办法。核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。此外,在修订过程中,还进行了将几门课程整合在一起的尝试。所有这些都充分地体现了修订版教材求真务实、循序渐进和勇于创新的精神。在修订现有教材的同时,为了顺应高职高专教学改革的不深入,以及新技术新工艺的不断涌现和发展,机械工业出版社及教材编委会在对高职高专院校的专业设置和课程设置进行了深入的研究后,还准备出版一批适应社会发展的急需教材。

信息技术以前所未有的速度飞快地向前发展,信息技术已经成为经济发展的关键手段,作为与之相关的教材要抓住发展的机遇,找准自身的定位,形成鲜明的特色,夯实人才培养的基础。为此,担任本系列教材修订任务的教师,将努力把最新的教学实践经验融于教材的编写之中,并以可贵的探索精神推进本系列教材的更新。由于高职高专教育正在不断的发展中,加之我们的水平和经验有限,在教材的编审中难免出现问题和错误,恳请使用这套教材的师生提出宝贵的意见和建议,以利我们今后不断改进,为我国的高职高专教育事业作出积极的贡献。

机械工业出版社

前 言

单片机技术发展非常迅速,应用领域不断扩展和延伸,如片内程序存储器替代片外程序存储器、串行扩展技术替代并行扩展技术、I/O 口的直接控制方式(内 RAM 操作指令)替代外部 I/O 控制方式(外 RAM 操作指令)等。这些变化使得单片机的外围电路更简单、硬件成本更低、产品的性价比更高。本书在编写过程中力求适应单片机应用变化的趋势,重组教学内容,与现有的单片机教材在内容组织、应用实例等方面都有较大区别,主要体现在以下几个方面:

1) 以一具体型号单片机——AT89S51 为例。AT89S51 源于 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机,以 80C51 为基核,内含 4KB 的程序存储器,内置看门狗(Watch Dog)模块和用于在系统编程(ISP)的 SPI 接口,AT89S 系列是目前使用最广泛的单片机之一。MCS-51 系列单片机仍然是 8 位单片机的主流之一。

2) 以单片机内部资源的应用为主线,把与单片机有关的知识内容有机衔接。全书以单片机应用系统最基本的应用电路——LED 数码管动态扫描电路和键盘电路为线索,从简单到复杂,从单一资源的应用到多资源的综合应用,由浅入深、逐步递进,一步一步地构建应用系统。例如,由 I/O 口的简单输出应用(循环流水灯)→数码管的静态显示和动态显示电路→结合中断和定时/计数器实现键盘接口和时钟→电子马表。根据单片机学习从简单应用到综合应用逐步提高的需要,有机地组织教材内容,学习次序为:由单片机内部 RAM 的功能→对内部 RAM 操作的相关指令→I/O 口的结构与操作→单片机应用的基本系统(硬件和软件)→循环流水灯的制作,将读者一步一步引进单片机应用的门槛,并同步学习需要用到的指令。

3) 强调对指令功能的理解和对程序结构的掌握。将指令和程序设计结合起来讲解,淡化指令的寻址方式和指令操作的时序,注重指令操作的功能和指令应用,并通过程序设计加强对指令的理解和掌握。例如,对转移类指令结合循环程序设计学习,查表指令结合数码管的动态扫描程序设计学习等。在程序设计方面注意程序结构的完整性,有针对性地介绍中断、定时/计数器、串行口的应用程序设计的步骤以及它们在程序结构中的位置,使读者更容易掌握程序设计。

4) 简化单片机应用接口电路,提供有实用价值的接口电路。尽量简化单片机外围电路,如 LED 显示电路、键盘接口电路由分立元件构成,实际使用中比集成门电路更简单和实用,而且成本低;A/D、D/A 等接口电路也直接采用 I/O 口控制,改变传统方法上的用外部 I/O 口操作的方法,更直观,更简便。

5) 把串行扩展技术当作单片机外围扩展的重点。串行扩展能更充分地利用单片机自身资源,降低产品的硬件成本,是单片机发展的趋势,将逐步取代传统的并行扩展技术。重点介绍了将串行口扩展为并行的输入/输出口、I²C 总线以及其他的串行接口芯片。

6) 通过实例说明单片机综合应用中需要考虑的问题及综合应用的步骤。单片机综合应用需要全面考虑硬件资源的分配和程序架构,建立单片机应用开发的平台,介绍业内常用的

集成开发环境 Keil C51, 并简要介绍单片机 C 语言程序设计要点和程序结构, 介绍了多延时任务程序设计等单片机实际应用技巧。

本书由徐江海主编, 并编写其中的第 1、2、3、4、7、9 章; 第 5 章由徐少明编写; 第 6 章由冯成龙编写; 第 8 章由史卫华编写。全书由徐江海负责统稿, 张志良主审。聂开俊审阅了书稿并提出了许多宝贵意见, 在此表示诚挚的感谢。

限于编者水平, 书中错误和疏漏之处在所难免, 敬请读者批评指正 (E-mail: jsjfw@mail.machineinfo.gov.cn)。为方便教学, 本书配有电子教案, 需要者可从 www.cmpbook.com 上下载。

编者

目 录

出版说明

前言

第1章 单片机基础知识 1

1.1 单片机概述 1

1.1.1 单片机概念 1

1.1.2 单片机的发展概况 1

1.1.3 单片机的特点 2

1.1.4 单片机的应用环节 2

1.2 单片机中数的表示方法 3

1.2.1 位、字节、字的概念 3

1.2.2 数制与数制转换 3

1.2.3 二进制数的运算 6

1.2.4 原码、反码、补码 7

1.3 常用编码 9

1.3.1 8421 BCD 码 9

1.3.2 ASCII 码 10

1.4 小结 11

1.5 习题与思考题 12

第2章 AT89S51 单片机原理与 14

基本应用系统 14

2.1 单片机的内部结构与 14

引脚功能 14

2.1.1 内部结构 14

2.1.2 引脚功能 15

2.2 单片机存储器的空间 16

配置与功能 16

2.2.1 程序存储器 16

2.2.2 内部数据存储器 17

2.2.3 特殊功能寄存器 18

2.3 汇编语言指令格式与内部 21

RAM 的操作指令 21

2.3.1 汇编语言指令的基本格式和 21

指令中常用的符号 21

2.3.2 内部 RAM 的操作指令 23

2.4 单片机 I/O 端口结构 25

及工作原理 25

2.4.1 P0 口 25

2.4.2 P1 口 25

2.4.3 P2 口 26

2.4.4 P3 口 26

2.4.5 I/O 口的操作 27

2.5 单片机基本应用系统 27

2.5.1 最小硬件系统 27

2.5.2 汇编语言程序的一般结构 29

2.5.3 I/O 口的简单输出应用 32

2.5.4 AT89S51 单片机低功耗 35

工作方式* 35

2.6 小结 36

2.7 习题与思考题 36

第3章 指令与汇编语言程序设计 40

3.1 程序设计的基本方法 40

3.1.1 程序设计的步骤 40

3.1.2 汇编语言程序的书写格式 41

3.2 顺序程序设计举例 41

3.3 控制转移指令与循环程序设计 42

3.3.1 循环程序 42

3.3.2 比较转移指令与循环程序设计 44

3.3.3 循环移位指令与程序设计 46

3.3.4 条件转移指令与循环程序设计 47

3.4 分支程序的设计 49

3.5 堆栈及其操作指令 51

3.6 算术运算、逻辑运算和交换指令 53

与程序设计 53

3.6.1 算术运算指令 53

3.6.2 逻辑运算指令 58

3.6.3 交换指令 59

3.7 查表指令与查表程序设计 61

3.7.1 查表指令与查表程序设计 61

3.7.2 LED 数码管显示电路及其 驱动程序	63	5.2.3 双机通信及示例	116
3.7.3 寻址方式与其他的常用伪指令 ..	67	5.2.4 多机通信及示例	119
3.8 小结	70	5.3 小结	126
3.9 习题与思考题	70	5.4 习题与思考题	126
第4章 AT89S51 单片机中断系统和 定时/计数器	73	第6章 AT89S51 单片机并行 扩展技术	128
4.1 中断概述	73	6.1 AT89S51 单片机系统 扩展概述	128
4.1.1 中断的概念	73	6.1.1 系统并行扩展的内容	128
4.1.2 MCS-51 系列单片机中断系统以及 和中断有关的特殊功能寄存器 ..	73	6.1.2 系统并行扩展的三总线	128
4.1.3 中断处理过程	76	6.2 扩展外部 ROM	130
4.1.4 中断响应时间	78	6.2.1 只读存储器	130
4.2 外部中断的应用	78	6.2.2 常用的 EPROM 芯片	131
4.2.1 外部中断应用步骤	78	6.2.3 EPROM 芯片与 AT89S51 单片机 典型连接电路	132
4.2.2 外部中断应用举例	79	6.2.4 扩展 E ² PROM	133
4.3 定时/计数器	80	6.3 扩展外部 RAM	134
4.3.1 定时/计数器概述	80	6.3.1 常用的 RAM 芯片	134
4.3.2 与定时/计数器有关的特殊功能 寄存器	80	6.3.2 SRAM 与 AT89S51 的典型 连接电路	135
4.3.3 定时/计数器工作方式	82	6.3.3 多片存储器扩展——线选法与 译码法	136
4.3.4 定时/计数器应用步骤	84	6.4 扩展并行输入/输出	139
4.3.5 定时/计数器应用举例	87	6.4.1 扩展并行 I/O 口	140
4.4 键盘接口	92	6.4.2 扩展总线的驱动能力	141
4.4.1 按键的抖动问题	92	6.4.3 可编程并行 I/O 扩展芯片简介 ..	141
4.4.2 独立式按键及其接口	93	6.5 小结	143
4.4.3 键盘扫描方式	95	6.6 习题与思考题	143
4.4.4 矩阵式键盘及其接口	97	第7章 串行扩展技术	146
4.5 小结	100	7.1 AT89S51 串行口转换为 并行口	146
4.6 习题与思考题	101	7.1.1 串口输出转换为并口输出	146
第5章 串行通信	104	7.1.2 并口输入转换成串口输入	148
5.1 概述	104	7.1.3 AT89S51 I/O 口虚拟串行扩展 ..	150
5.1.1 异步通信和同步通信	104	7.2 I ² C 总线串行扩展技术	150
5.1.2 波特率	106	7.2.1 I ² C 总线串行扩展技术概述	150
5.1.3 串行通信的制式	106	7.2.2 89S51 虚拟 I ² C 总线软件包	153
5.2 AT89S51 单片机串行口	107	7.2.3 AT24C×× 系列 E ² PROM 芯片扩展	155
5.2.1 与串行口有关的特殊功能 寄存器	107		
5.2.2 串行口工作方式	110		

7.2.4 时钟芯片 PCF8563 扩展	158	9.1.4 AT89S51 单片机 ISP	196
7.2.5 A/D、D/A 芯片 PCF8591 扩展 ...	161	9.1.5 抗干扰设计	198
7.3 小结	165	9.1.6 单片机的 C 语言设计	200
7.4 习题与思考题	165	9.1.7 Keil C51 集成开发环境 使用说明	201
第 8 章 单片机常用测控电路	168	9.2 交通灯控制系统	208
8.1 开关量输入/输出驱动 接口电路	168	9.2.1 系统控制要求和方案	208
8.1.1 光电隔离输入/输出接口电路 ...	168	9.2.2 硬件设计	209
8.1.2 继电器驱动接口电路	169	9.2.3 软件设计	210
8.1.3 晶闸管驱动接口电路	170	9.3 太阳能给排水控制器	216
8.2 A/D 转换接口电路	170	9.3.1 系统控制要求和方案	216
8.2.1 A/D 转换的基本概念	170	9.3.2 硬件设计	217
8.2.2 并行 A/D 及其接口电路	171	9.3.3 软件设计	219
8.2.3 串行 A/D 及其接口电路	176	9.4 集散温度测控系统	223
8.2.4 常用的 V/F 转换接口电路	179	9.4.1 系统要求和控制方案	223
8.3 D/A 转换接口电路	179	9.4.2 硬件设计	224
8.3.1 D/A 转换的基本概念	179	9.4.3 软件设计	225
8.3.2 并行 D/A 及其接口电路	180	9.5 小结	231
8.3.3 串行 D/A 及其接口电路	184	9.6 习题与思考题	231
8.4 步进电动机接口电路	186	附录	232
8.4.1 步进电动机工作原理	186	附录 A MCS-51 系列单片机 指令表	232
8.4.2 步进电动机接口电路	188	附录 B MCS-51 系列单片机 反汇编指令表	235
8.5 小结	189	附录 C MCS-51 系列单片机指令 中英文对照说明	236
8.6 习题与思考题	189	附录 D MCS-51 系列单片机特殊功能 寄存器中英文对照说明	238
第 9 章 单片机综合应用	191	参考文献	239
9.1 单片机应用系统的设计	191		
9.1.1 总体设计	191		
9.1.2 硬件设计	192		
9.1.3 软件设计	193		

1.2 单片机中数的表示方法

第1章 单片机基础知识

1.2.1 位、字节、字的概念

1.1 单片机概述

1.1.1 单片机概念

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、输入/输出接口电路等)集成在一块大规模的集成电路中, 形成的芯片级的微型计算机。自从单片机问世以来, 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, 极大提高了单片机的测量和控制能力, 我们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), 虽然我们仍称其为单片机, 但应把它认为是一个单片形态的微控制器。

1.1.2 单片机的发展概况

单片机以功能强、可靠性高、体积小、功耗低、使用灵活方便等优点得到广泛应用, 特别是在过程控制、智能仪表、集散控制系统等领域。单片机的发展速度很快, 每隔二三年就更新换代一次, 其发展的过程可分为以下几个阶段。

(1) 第一代: 单片机发展的起步阶段。最早期的单片机只有 4 位, 功能简单, 只能用于简单的控制。1974 年出现了 8 位单片机, 由美国仙童公司首先推出。随后各公司分别推出了各自的 8 位单片机产品。典型的产品有 Intel 公司的 MCS—48 系列, Zilog 公司的 Z—8 系列, Motorola 公司的 MC6800 等。同时, 单片机的性能也有了较大提高, 并被正式命名为 Single Chip Microcomputer。

(2) 第二代: 单片机发展的成熟阶段。1979~1982 年单片机的发展进入了成熟阶段, 单片机内部的体系结构得到了进一步完善, 面向对象、突出了控制功能, 寻址的空间范围扩大, 规范了数据线、地址线的总线结构, 有了多功能的异步串行接口 UART, 设置位地址空间, 提供位寻址、位操作和大量的控制转移指令等, 形成了单片机的标准结构。这时期最典型的产品就是 Intel 公司的 MCS—51 系列单片机。

(3) 第三代: 微控制器形成阶段。1982~1990 年单片机完成向微控制器的转换, 为进一步满足测控要求, 将许多测控对象的接口电路集成到单片机内部, 如 A/D、D/A、PWM、DMA 等, 形成了不同于 Single Chip Microcomputer 特点的微控制器——MCU, 同时出现了 16 位的单片机, 运算处理的速度更快。

(4) 第四代: 微控制器百花齐放阶段。进入 20 世纪 90 年代, 随着半导体集成电路技术的发展, 以及电气制造商和半导体厂商的广泛参与, 微控制器进入百花齐放的发展时期。

生产厂商相继推出了适合不同领域、面对不同对象的单片机系列,从简单的玩具、小家电到机器人、智能仪表、过程控制等。

1.1.3 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,缩短和减少了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到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。

1.1.4 单片机的应用环节

单片机的应用与模拟电路、数字电路的应用不同。模拟电路或数字电路只要设计原理正确,安装的电子元器件正确完好,功能就能实现。而单片机的设计应用则还需要适当的软件程序。

单片机应用的设计环节及步骤如下:

(1) 设计硬件电路。首先设计单片机正常工作的必要电路(复位、时钟等),其次设计外围的功能电路并选择适当的引脚作为外电路的控制或输入。

(2) 设计程序。早期的开发程序都是通过专门的开发系统完成的,现在则可以在计算机上完成。利用计算机开发程序需要有开发环境,常用的语言有汇编语言、C语言等,C语言是高级语言,初学者一般使用汇编语言。在这些环境下编写的程序叫源程序。源程序并不能直接在单片机上运行,还需转换为单片机能执行的程序,即机器语言。在计算机编写的程序还可以通过仿真或模拟仿真,来观察程序是否正确。

(3) 程序下载。转换好的目标文件需要通过一个叫“编程器”的设备下载到单片机内部,这一过程也叫编程(在行业内也被叫做“烧片子”)。要注意这一过程和计算机上编写程序的“编程”的区别。

(4) 通电运行和检查。将下载好目标文件程序的单片机插入到设计的电路上,通电运行。如果程序正确,硬件电路完好,系统就能正常运行。如果系统不能正常运行就需要根据单片机系统的工作状况判断是硬件电路问题,还是软件程序问题。是硬件问题只要检查相应的电路并修改好即可。是软件问题就需要回到第2步,重复2~4过程,直到程序正确。程序是否正确可以直接在第2步用仿真或模拟仿真来判断。

以上所讲的4步中,重点是2、4两步,硬件电路在开始学习阶段都是一些简单的应用,程序下载只要会使用编程器即可,一般厂家都提供使用说明。

1.2 单片机中数的表示方法

1.2.1 位、字节、字的概念

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,但它只能识别二进制数。对于本书讲解的8位单片机,数的存在方式主要有位(bit)、字节(B)和字。所谓“位”就是一位的二进制数,即“1”或“0”,用来表示信息的两种不同状态。例如,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位的二进制数,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位的二进制数。

1.2.2 数制与数制转换

计算机能识别的只是二进制数,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、二进制数和十六进制数

1) 十进制数(Decimal)

十进制数的主要特点有:

- ① 基数为10,由0、1、2、3、4、5、6、7、8、9十个数码构成。
- ② 进位规则是“逢十进一”。

所谓基数是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的计数规则是“逢十进一”。十进制数一般在数的后面加符号D表示,D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} 为十进制数各位数的权。

2) 二进制数(Binary)

二进制数的主要特点有:

- ① 基数为2,由0、1两个数码构成。
- ② 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有:

- ① 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。

② 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：

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

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 位二进制数只需要 1 位的十六进制数表示，计算机中普遍用十六进制数表示，表 1-1 为十进制数、二进制数、十六进制数的对应关系。

表 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】 把 111010.011110B 转换为十六进制数。

$$\begin{array}{cccc} 0011 & 1010 & 0111 & 1000 \\ 3 & A & 7 & 8 \end{array} = 3A.78H$$

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，然后把它们按序连在一起即为对应的二进制数。

【例 1-2】 把 2BD4H 和 20.5H 转换为二进制数。

$$2BD4H = 0010\ 1011\ 1101\ 0100B$$

$$20.5H = 0010\ 0000.0101B$$

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 1-3】 把 1001.01B 转换为十进制数。

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

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数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 1-4】 将十进制数 47 转换为二进制数。

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 $47 = 1011111B$

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 1-5】 将十进制数 0.8125 转换成二进制数。

0.8125	整数	
$\times$	2	最高位
	1.6250	
	0.6250	
$\times$	2	
	1.2500	
	0.2500	
$\times$	2	
	0.5000	
$\times$	2	
	1.0000	最低位
		1

则 $0.8125 = 0.1101B$

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 1-6】 将十六进制数 3DF2H 转换成十进制数。

$$3DF2H = 3 \times 16^3 + 13 \times 16^2 + 15 \times 16^1 + 2 \times 16^0 = 15858$$

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类似，整数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 1-7】 将十进制数 47 转换为十六进制数。

		余数	
16	47		
16	2	15 (FH)	低位
	0	2	高位

则 $47 = 2FH$

【例 1-8】 将十进制数 0.48046875 转换成十六进制数。

	整数	
0.48046875		
$\times$	16	
7.68750000	7	高位
0.68750000		
$\times$	16	
11.00000000	11 (BH)	低位

则 $0.48046875 = 0.7BH$

从上面的例子可以看出十进制数转换为二进制数的步数较多，而十进制数转换为十六进制数的步数较少，以后将十进制数转换为二进制数，可先将其转换为十六进制数，再由十六进制数转换为二进制数，可以减少许多计算。例如：

$$47 = 2FH = 101111B$$

1.2.3 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，这里简要介绍一下算术运算，逻辑运算将结合单片机的逻辑运算指令在后面的章节中讲解。

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 1-9】

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

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 1-10】

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

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的乘法类似，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, 最后把所得结果对应相加, 就得到两个数的积。

[例 1-11]

$$\begin{array}{r}
 1010 \quad \text{被乘数} \\
 \times 1001 \quad \text{乘数} \\
 \hline
 1010 \\
 0000 \\
 0000 \\
 1010 \\
 \hline
 1011010 \quad \text{积}
 \end{array}$$

从上面的例子可以看出, 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。与十进制数类似, 从被除数的最高位开始取出与除数相同的位数, 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, 直到被除数的位都下移为止。

[例 1-12]

$$\begin{array}{r}
 \text{商} \quad 100001 \\
 \text{除数 } 110 \overline{) 11001011} \quad \text{被除数} \\
 \underline{110} \\
 001011 \\
 \underline{110} \\
 101 \quad \text{余数}
 \end{array}$$

则 $11001011\text{B} \div 110\text{B} = 100001\text{B}$, 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。

1.2.4 原码、反码、补码

前面已经提到, 在 8 位单片机中数是以字节为单位, 即以 8 位二进制数的形式存在, 每字节存放数的范围为 $0 \sim 255$, 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是怎样表示符号数的呢? 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 所示。

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, 我们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。

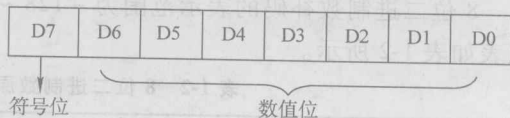


图 1-1 8 位有符号数的结构

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。