



卓越系列 · 21 世纪高职高专精品规划教材



单片机原理与应用

SINGLE CHIP MICROCOMPUTER
PRINCIPLES AND APPLICATIONS

主编 国 兵 刘 静

内容简介

本书以 80C51 系列单片机为主线,系统地介绍了单片机的硬件结构、工作原理、指令系统、程序设计、中断技术、定时器/计数器、并行扩展技术、串行通信、串行扩展技术、应用系统设计及接口技术等。各章均安排有适量实用性和趣味性的实验内容,突出实际应用,理论与实际相结合,以丰富的实例给学生提供较为直观、实用的信息,以培养学生运用所学知识和技能解决实际问题的综合能力。

本书适于作为高职高专院校的机电、电气、电子信息类及相近专业单片机原理系统设计与应用课程的教学用书,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与应用/国兵,刘静主编. —天津:天津大学出版社,2008.2

ISBN 978-7-5618-2593-8

I.单... II.①国...②刘... III.单片微型计算机
IV.TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 004231 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
短信网址 发送“天大”至 916088
印 刷 迁安万隆印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 169mm × 239mm
印 张 17.5
字 数 363 千
版 次 2008 年 2 月第 1 版
印 次 2008 年 2 月第 1 次
印 数 1 - 4 000
定 价 29.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

单片机,顾名思义,就是由单片半导体芯片构成的微型计算机系统。它具有结构简单、体积小、性能价格比高、功耗小等诸多优点。它作为实时控制和检测的核心部件,在工业测控、智能化仪器仪表、家用电器、计算机外设等领域有着广泛的应用。

随着计算机技术迅速发展,单片机产品不断更新换代。本书在介绍单片机时,是以目前普遍适用的 80C51 系列为例进行讲解的,而在介绍具体型号时,则选用了美国 Atmel 公司畅销多年的 AT89 系列产品。AT89 系列单片机的优点使它很快脱颖而出,并占有较大的市场份额。AT89 系列单片机的成功使得几个著名的半导体厂家也相继生产了类似的产品,例如 Philips 公司的 P89 系列、美国 SST 公司的 SST89 系列等。后来人们简称此类产品为“89 系列单片机”,实际上它仍然属于 80C51 系列。89 系列单片机虽然并不是功能最强、技术最先进的单片机,但它源于经典的 MCS-51 系列。考虑到教学的连续性及 89 系列单片机和所用开发装置的普及性,书中单片机芯片实例采用 Atmel 公司的 AT89S51/S52 单片机——AT89C51/C52 的替代产品。不过,Philips 等其他公司仍然有 89C51/C52 的兼容产品,因此,在作一般共性介绍时,仍采用 80C51 符号表示。

为了适应高等职业教育机电、电气类专业教学的需要,我们在多年教学实践的基础上组织编写了这本《单片机原理与应用》。本书共分 10 章。第 1 章介绍基础知识,第 2~4 章介绍单片机硬件结构、指令系统和程序设计,第 5~7 章介绍单片机中断技术、定时器/计数器和并行扩展技术,第 8、9 章介绍串行通信和串行扩展技术,第 10 章介绍应用系统设计及接口技术。各章提供的参考程序均在单片机实验系统中上机通过。

在本书编写时,充分考虑到当前高职高专院校学生的学习特点,力求达到以下目标。

1. 培养应用型技术人才,突出基本技能的培养,加强单片机实际应用的训练,提高学生解决问题的能力。

2. 全书以单片机实际应用为主线,理论知识以够用为准,力求做到理论与实践相结合,以丰富的实例给学生提供较为直观、实用的信息。每个章节的应用实例都有一

定的实用性、趣味性。

3. 应用实例重点介绍分析方法、设计方法,同时提供相关元器件的信息。

4. 每个章节先简要叙述理论知识、再介绍相关的元器件、设计方法和注意事项,最后引出应用实例。每章给出的思考与练习既有理论方面的,又有实训方面的。

本书由国兵、刘静任主编,苏青、杨翡任副主编,第1章由国兵编写,第2章由张海军编写,第3、4章由苏青编写,第5、7章由杨翡编写,第6章由刘成好编写,第8、9章由冷波编写,第10章及附录由刘静编写。全书由国兵统稿。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2008年2月

目 录

第 1 章 基础知识	(1)
1.1 计算机的发展历史	(1)
1.2 嵌入式计算机系统	(2)
1.3 单片机概述	(3)
1.4 计算机运算基础	(9)
思考与练习	(15)
第 2 章 单片机内部基本结构与工作原理	(17)
2.1 单片机的结构	(17)
2.2 单片机的工作原理	(20)
2.3 单片机的存储器	(25)
2.4 单片机的输入/输出端口结构	(32)
2.5 CPU 时序及时钟电路	(36)
2.6 复位电路	(40)
2.7 低功耗方式	(42)
思考与练习	(44)
第 3 章 80C51 的指令系统	(45)
3.1 指令系统概述	(45)
3.2 指令系统介绍	(50)
思考与练习	(75)
第 4 章 汇编语言程序设计	(77)
4.1 概述	(77)
4.2 顺序程序设计	(84)
4.3 循环程序设计	(86)
4.4 分支程序设计	(91)
4.5 子程序设计	(93)
4.6 查表程序设计	(98)
思考与练习	(100)
第 5 章 中断系统	(101)
5.1 中断系统结构与控制	(101)
5.2 中断处理过程	(107)
5.3 外部中断扩展	(111)

思考与练习	(113)
第 6 章 定时器/计数器	(115)
6.1 定时器/计数器的结构及原理	(115)
6.2 定时器/计数器的控制	(116)
6.3 定时器/计数器的工作方式	(119)
6.4 定时器/计数器的应用举例	(122)
6.5 定时器/计数器 T2	(128)
6.6 WDT 监视定时器	(133)
思考与练习	(134)
第 7 章 并行扩展技术	(136)
7.1 并行扩展概述	(136)
7.2 存储器扩展	(139)
7.3 并行 I/O 接口扩展	(143)
思考与练习	(158)
第 8 章 串行通信	(159)
8.1 串行通信概述	(159)
8.2 UART 串行口简介	(164)
8.3 单片机之间的通信	(171)
思考与练习	(177)
第 9 章 串行扩展技术	(179)
9.1 串行扩展概述	(179)
9.2 I ² C 串行扩展总线	(182)
9.3 SPI 串行扩展接口	(191)
思考与练习	(196)
第 10 章 应用系统设计及接口技术	(197)
10.1 单片机应用系统概述	(197)
10.2 键盘接口	(198)
10.3 显示器接口	(210)
10.4 数/模转换接口	(228)
10.5 模/数转换接口	(238)
10.6 单片机应用系统实例	(243)
思考与练习	(261)
附录 1 MCS-51 指令表	(263)
附录 2 ASCII 码字符表	(269)
附录 3 常用器件引脚图	(270)
参考文献	(272)

第1章 基础知识

单片机是微型计算机的一个重要分支,属于嵌入式系统的一种,目前普遍应用于工业控制、尖端科技以及人类的日常生活中。本章重点介绍单片机的发展历史、趋势以及组成、特点和分类,并补充介绍简单的计算机基础知识。

1.1 计算机的发展历史

计算机是应数值计算的要求而诞生的。人类使用计算工具经历了从简单到复杂、从低级到高级的发展过程,相继产生了诸如算盘、计算尺、手摇式机械计算机、电动式机械计算机等计算工具。

世界上第一台计算机出现于1946年,由美国宾夕法尼亚大学研制。这台计算机的占地面积为170 m²,质量达30 000 kg,共使用约18 000只电子管、6 000多个开关、7 000多只电阻、10 000多只电容以及500 000多条电路,耗电量为140 kW,运算速度5 000次/s,造价高达100多万美元。在今天看来,这台计算机昂贵笨重,功能也不强,但它是人类历史上的第一台电子计算机。

由于社会的需求和发展,计算机也在不断地更新和发展,在此后60多年中,计算机的发展经历了电子管计算机、晶体管计算机、集成电路计算机到大规模集成电路计算机四代。每一次逻辑元件的变更都会使计算机的性能得到一次飞跃性的发展,再加上硬件结构和软件技术的不断改进,使得计算机的性价比提高了成千上万倍。

在计算机的发展过程中,电子计算机技术一直朝着满足海量、高速数值计算的要求发展,每一代计算机又派生出大小不一、性能各异的类型。如果按计算机的规模、性能和用途来分类,可分为巨、大、中、小、微型计算机。近年来,计算机的发展逐渐形成两大趋势:一方面向着高速大容量、智能化的超级巨型机方向发展;另一方面向着微型机的方向发展。

巨型计算机也称为超级计算机,价格昂贵,运算能力强大,主要用于大型科学研究和实验以及超高速、大容量的数学计算。它的研制水平标志着一个国家的科学技术和工业发展水平,象征着国家的实力。

微型机简称“微机”。微型机的CPU集成在一个小的芯片上,体积小,质量轻,价格便宜,适用面广,自面世以来,已渗透到社会生产生活中的各个领域。

计算机的出现使人类社会发生了翻天覆地的变化,科技、国防、工业、农业、通信以及日常生活的各个领域都得到了飞速发展,人们的生产、生活方式发生了十分深刻的变革。目前计算机的发展水平已经成为一个国家现代化水平的重要标志之一。

1.2 嵌入式计算机系统

为适应控制领域内的要求,科研人员把微型机嵌入到被控制对象系统中,形成嵌入式系统。嵌入式系统的出现使计算机从海量数值计算进入到智能化控制领域。从此,计算机技术在通用计算机领域和嵌入式计算机领域都获得了极其重要的进展。

1.2.1 嵌入式计算机系统概念

计算机最初是用来进行数据计算的。通常,人们将满足海量高速数值计算的计算机称为通用计算机;将面对工业控制领域的测控对象、嵌入到工控系统中的计算机称为嵌入式计算机系统,简称嵌入式系统(Embedded System)。

与通用计算机系统相比,嵌入式系统最显著的特点是面向工控领域的测控对象。工控领域的测量对象都是一些物理参量,如力、温度、速度、加速度、位移等,控制对象都是一些机械参量。这些参量对嵌入式计算机系统采集、处理、控制的速度要求较低,而对控制方式与控制能力的要求极高。嵌入式系统是面向产品、面向实际应用的系统,应用范围遍及各个领域。

1.2.2 嵌入式系统的分类

嵌入式系统按所嵌入计算机的特点可分为工业控制计算机、通用微处理器、嵌入式微处理器和单片机等几类。前两者是基于通用 CPU 的计算机系统,后两者则是芯片形态的计算机系统。

1. 工业控制计算机

工业控制计算机是早期嵌入式计算机系统经常采取的方式。大多由通用计算机系统进行机械加固、电气加固后构成,有很强的数据处理能力,应用软件开发十分方便,但体积庞大,主要用于具有较大嵌入空间的应用环境,如舰船、大型试验装置、分布式测控系统等。

2. 通用 CPU 模块

通用 CPU 模块是由通用 CPU 构成的各种形式的主机板系统。为了满足工控测控对象要求,通用 CPU 模块上常会设置一些满足测控对象要求的接口电路。通用 CPU 模块具有较强的数据处理能力,可方便地开发应用软件,体积较小,主要用于需要大量数据处理、逻辑判断的具有较小嵌入空间的应用环境中,如中型和大型试验系统、电视机机顶盒(Top Box)、收银机等。

3. 嵌入式微处理器(Embedded Processor)

早期的微处理器 MPU(Micro Processor Unit)主要用来构成通用计算机系统。为适应嵌入式系统的需要,各厂家在微处理器的基核上添加外围单元和满足测控要求的

外围接口电路,构成一个嵌入式单芯片形态计算机系统。由于嵌入式微处理器的总线、I/O 地址与通用微处理器构成的 PC 机兼容,因此,嵌入式微处理器易于开发,有较好的操作系统支持,是单片形态的嵌入式系统,广泛用于中、小型嵌入式应用系统中。

4. 单片机

单片机又称为“单片微型计算机”、“微控制器”和“嵌入式微控制器”。单片机是应嵌入式应用的需要而诞生的,具有专门为嵌入式应用设计的体系结构与指令系统。此外,它还具有体积小、价格低、易于掌握和普及的特点,广泛应用于中、小型工控领域,是电子系统智能化的重要工具之一。

在以上四种嵌入式系统中,单片机发展最快、品种最多、应用最为广泛。由于传统的微型计算机在体积、价格以及可靠性方面都无法满足嵌入式的应用需要,因此,以单片机为主的嵌入式系统迅速发展。目前,嵌入式系统在实际应用数量上远远超过了通用计算机。

1.3 单片机概述

单片机是早期单片微型计算机(Single Chip Microcomputer)的直译,简称 SCM。在单片机诞生之初,SCM 是一个准确的称谓。随着 SCM 的体系结构不断完善以及控制功能的不断扩展,国际上逐渐采用微控制器 MCU(MicroController Unit)来代替 SCM,并成为单片机界公认的、统一的名称。

1.3.1 单片机的发展历史

单片机作为微型计算机的一个重要分支,应用广泛,发展迅速,自诞生以来,已发展为上百个系列、近千个品种。自 1971 年美国 Intel 公司首先研制出四位单片机 4004 以来,它的发展大致分为五个阶段。

1. 第一阶段(1971—1976)

这是单片机的萌芽阶段。这一阶段的单片机多以 4 位单片机为主,功能比较简单,多用于家用电器、计算器、高级玩具等,如美国 Fairchild 公司生产的单片机 F8。

2. 第二阶段(1976—1980)

这是初级单片机阶段。这一阶段的单片机采用单芯片形式,发展了各种 8 位单片机。其典型代表为美国 Intel 公司生产的 MCS-48 系列单片机。这个系列的单片机集成了 8 位 CPU、多个并行 I/O 口、一个 8 位定时/计数器、RAM 等。它无串行 I/O 口,寻址范围不大于 4 kB,可以满足一般工业控制和智能化仪器仪表的需要。由于受集成度的限制,此时 8 位单片机性能较低,属低档单片机。

3. 第三阶段(1980—1983)

这是高性能单片机阶段。这一阶段单片机电路的集成度得到提高,并发展了多

种高性能 8 位单片机,如 Intel 公司在 MCS-48 基础上推出的高档 8 位单片机系列 MCS-51。它在以下几个方面完善了典型的通用总线型单片机体系:

①设置了经典的 8 位单片机的总线结构,包括 8 位数据总线、16 位地址总线、控制总线及具有多机通信功能的串行通信接口;

②有 CPU 外围功能单元的集中管理模式,如特殊功能寄存器的管理;

③设置了体现工控特性的位地址空间及位操作方式;

④有丰富和完善的指令系统,增加了许多突出控制功能的指令。

这一阶段的单片机进一步拓宽了应用范围,使之能用于智能终端、局部网络接口,并挤入个人计算机领域,且具有优良的性价比。

4. 第四阶段(1983—1990)

这是单片机的巩固和发展阶段。这一阶段巩固发展了 8 位单片机并推出 16 位单片机,并逐步向微控制器发展。这一阶段的单片机可满足测控系统的需要,逐步完善各种外围电路和接口电路,并突出智能控制能力。如 Intel 公司推出的 8X252 系列 8 位单片机在性能、存储容量和多功能方面都得到了加强。又如 Intel 公司推出的 MCS-96 系列 16 位单片机,将一些用于测控系统的模数转换器、程序运行监视器、脉宽调制器等纳入其中,体现了单片机的微控制器(MicroController Unit)特征。

随着 MCS-51 系列单片机的广泛应用,许多半导体生产厂商以 8051 为内核,将许多测控系统中使用的外围电路(如 ADC、DAC、PWM、WDT、DMA)集成到单片机中,增强了串行扩展总线和接口功能(如 SPI、I²C、Microwire、1-Wire),强化了智能控制器的特征。

5. 第五阶段(1990 至今)

这是微控制器的全面发展阶段。随着单片机在各个领域全面、深入地发展和应用,许多大半导体和电气厂商都参与到单片机的研制和生产当中,推出了适合不同领域要求的单片机,如各种高速、低功耗、大存储容量、强运算能力的 8 位/16 位/32 位通用型单片机,还有用于单一领域的廉价的专用型单片机以及功能全面的片上单片机系统等。众多的单片机厂商在竞争中发展,在发展中取长补短,使得单片机的发展和完善始终处于其他各类产品的前列。

1.3.2 单片机的组成、特点与分类

1. 单片机的组成

单片机是微型机的一个分支,它在结构上的最大特点是把中央处理器(CPU)、存储器、定时器和各种输入/输出接口电路集成在一块超大规模集成电路芯片上。就其组成和基本原理而言,一块单片机芯片就是一台微型计算机。

图 1.1 所示为单片机的典型结构框图。由图可见,单片机的核心部分是中央处理器(CPU)。它是单片机的大脑,由它统一指挥和协调其他各部分的工作。时钟电路给单片机提供工作时所需要的时钟信号。程序存储器和数据存储器分别存放单片

机工作时使用的软件和临时数据。中断系统处理系统工作时出现的突发事件,定时/计数器对时间定时或对外部事件计数。内部总线把计算机的各主要部件连接成一体,它包括地址总线、数据总线和控制总线。其中,地址总线的作用是在交换数据时提供地址,CPU 通过它们将地址输出到存储器或 I/O 接口;数据总线作用是在 CPU 或存储器或 I/O 接口之间或存储器与外设之间交换数据;控制总线包括 CPU 发出的控制信号线和外部接入 CPU 的应答信号线等。输入/输出接口(I/O 接口)是计算机与输入/输出设备之间的接口。输入/输出设备(I/O 设备)是计算机与人或其他设备交换信息的装置,如显示器、键盘和打印机等。

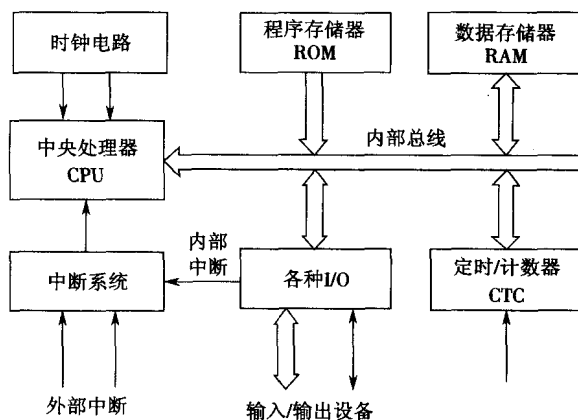


图 1.1 单片机结构框图

单片机中的 CPU、存储器及中断系统等部件的详细内容将在后面的章节陆续介绍。

2. 单片机的主要特点

正是单片机的这种结构形式及其所采用的半导体技术,使它具有很多显著的优点,因而在各个领域得到飞速发展。单片机的特点体现在以下几方面。

(1) 控制功能强,运行速度快

单片机的结构和指令系统都着重满足工业控制的要求,指令系统中设有丰富的转移指令、I/O 口的逻辑操作指令及位处理指令,其逻辑控制功能及运行速度均高于同一档次的微机。

(2) 抗干扰能力强,可靠性高

单片机把各功能部件集成在一块芯片上,内部采用总线结构,减少了各芯片之间的连线,因此使抗干扰能力大大优于一般的 CPU。单片机的程序指令及常数、表格固化在 ROM 中,不易被破坏,且对于强磁场环境易于采取屏蔽措施,适合在恶劣环境下工作。

(3) 低功耗、低电压、性价比高

在许多没有电力供应的应用场合,较低的功耗和工作电压是生产便携式产品的

必要条件。一般单片机的功耗仅为 20 ~ 100 mW, 电压 2 ~ 6 V, 价格 5 ~ 30 元。

(4) 扩展了多种串行口

所有的单片机都有 UART 串行口, 有的机型还增加了 SPI、I²C、Microwire、1 - Wire 等串行总线方式, 进一步缩小了体积, 简化了结构。

(5) 系统扩展性容易, 开发周期短

芯片内部具有计算机正常运行所必需的部件, 芯片外部具有许多可供扩展的总线及并行、串行输入/输出引脚, 容易构成各种规模的应用系统。

3. 单片机的分类

单片机种类繁多, 根据发展情况可以从以下角度进行分类。

(1) 按适用范围可分为通用型与专用型

通用型把可开发资源(如 ROM、I/O 口等)全部提供给使用者, 如 80C51 系列。专用型是针对某一类产品甚至某一个产品专门设计生产的, 如为满足电子体温计的要求, 在片内集成有热敏电阻、ADC 接口和段式液晶驱动器接口的温度计量控制用单片机。

(2) 按是否提供并行总线可划分总线型与非总线型

总线型单片机设置有并行地址总线、数据总线、控制总线, 这些总线用以扩展并行外围器件, 如 AT89C51。非总线型单片机的外围器件通过串行接口连接, 去掉并行扩展总线, 以减少封装成本和芯片体积, 如 AT89C2051。

(3) 按大致的应用领域可分为工控型与家电型

工控型满足工业控制用机, 家电型多数为专用单片机。

(4) 按数据处理位数可划分为 4 位、8 位、16 位、32 位单片机

4 位单片机一次只能处理 4 位二进制数, 结构简单, 价格低廉, 而且功能灵活, 既有相当的数据处理能力, 又具备较强的控制能力, 性能价格比较高。典型产品有美国 NS(National Semiconductor) 公司的 COP402 系列和日本电气(NEC)公司 μ PD75XX 系列。这类单片机常用于计算器、家用电器中的控制器和电子玩具中。

8 位单片机的控制功能较强, 品种最为齐全。在结构方面, 它具有较大的存储容量、寻址范围, 中断源、并行 I/O 接口, 定时器/计数器个数也有所增加, 并集成有全双工串行通信接口。典型产品有 Intel 公司的 MCS - 51 系列、Atmel 公司的 AT89 系列机(同 MCS - 51 兼容)、荷兰 Philips 公司的 80C51 系列(同 MCS - 51 兼容)、Motorola 公司的 M6805 系列和 Microchip 公司的 PIC 系列等。这类单片机常用于工业控制、智能仪表、家用电器和办公自动化系统中。

在高性能增强型 8 位单片机中, 还集成了 A/D 和 D/A 转换器、捕捉/比较模块、监视定时器(Watchdog)、总线控制部件和晶体振荡电路等。由于这类单片机的片内资源丰富、功能强大, 因而可广泛应用于各个领域, 是单片机的主流机型。

16 位单片机的运算速度普遍高于 8 位机, 有的单片机的寻址能力高达 1MB, 片内含有 A/D 和 D/A 转换电路, 支持高级程序设计语言。典型产品有 Intel 公司的 MCS

- 96/98 系列、Motorola 公司的 M68HC16 系列和 Microchip 公司的 PIC 系列等。这类单片机常用于过程控制、智能仪表、家用电器及作为计算机外部设备的控制器中。

32 位单片机具有极高的数据处理能力,是目前单片机的顶级产品。典型产品有 Motorola 公司的 M68300 系列和日立公司的 SH 系列等。这类单片机常用于移动电话、数码相机、打印机和 PDA(个人数字助理)中。

1.3.3 单片机的应用

单片机具有体积小、可靠性高、功能强、灵活方便等诸多优点,广泛应用于国民经济的各个领域。单片机的应用从根本上改变了传统的控制系统设计思想和设计方法,以前由模拟电路和数字电路实现的大部分功能,现在都能用单片机通过软件实现。根据单片机的应用情况,大致可以分为以下几个方面。

(1) 在智能仪器仪表中的应用

在各类仪器仪表中引入单片机可以使仪器仪表数字化、智能化、微型化,提高测量的自动化程度和精度,可简化仪器仪表的硬件结构、减小体积并提高性价比,如温度智能控制仪表、医用仪表、汽车电子设备、数字示波器等。

(2) 在计算机网络和通信技术中的应用

大部分的单片机都具有通信接口,为单片机在计算机网络与通信设备中的应用提供了良好的条件。单片机可使通信设备的智能控制水平大大提高,因而被广泛应用。例如用在调制解调器、传真机、复印机、打印机、移动电话机、固定电话机等诸多设备中。

(3) 在日常生活及家用电器中的应用

传统的家电配上单片机以后,可以提高智能化程度,增加功能。单片机使人类生活更加方便、舒适、丰富多彩,如用在洗衣机、电冰箱、电子玩具、收录机、微波炉、电视机、录像机、音响设备、程控玩具、游戏机等诸多设备中。

(4) 在工业控制中的应用

单片机可以构成各种工业测控系统、自适应系统、数据采集系统等,如 MCS-51 单片机用于电镀生产线控制、温室人工气候控制、报警系统控制等。

机电一体化是机械工业发展的方向。它是通过机械技术与微电子技术、信息技术紧密结合而形成的一个新的学科。采用单片机作为产品中的控制器,能充分发挥它体积小、可靠性高、功能强等优点,可大大提高机器的自动化、智能化程度。

1.3.4 单片机的发展趋势

目前,单片机正朝着高性能和多品种方向发展,今后单片机的发展趋势将是进一步向着 CMOS 化、高性能化、高可靠性、大容量化、多功能化等方面发展,发展趋势主要体现在以下几个方面。

(1)低功耗管理

现在几乎所有的单片机都有待机、掉电等多种低功耗运行方式。CMOS 技术的进步大大促进了单片机的 CMOS 化。CMOS 芯片除了具有低功耗特性以外,还具有功耗的可控性,使单片机可以工作在功耗精细管理状态。此外,有些单片机还采用了双时钟技术,即具有高速和低速两个时钟,在不需高速运行时,即转入低速工作以降低功耗,有些单片机采用高速时钟下的倍频控制运行速度,以降低功耗。低功耗的实现提高了产品的可靠性和抗干扰能力。

(2)更宽的工作电压范围

目前,单片机的工作电压范围都是 3.3~5.5 V,有的产品可以达到 2.2~6 V,少数型号最低电压已经可以降到 1.8 V。更宽的工作电压范围有利于单片机长时间在省电模式下工作,也便于生产出便携式产品。

(3)高性能化

高性能化主要指进一步改进 CPU 的性能。早期的单片机许多都采用复杂指令集(CISC)结构,为了加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性,精简指令集(RISC)结构和流水线技术得到了广泛应用。这样可以大幅度提高运算速度,并拓展单片机的应用领域。

(4)高可靠性

新型的单片机内部电路中都采取了新的技术措施,以提高单片机的抗电磁干扰能力,使产品能适应恶劣的工作环境,满足电磁兼容性方面更高标准的要求,产品的可靠性进一步提高。

(5)大容量化

早期的单片机内的程序存储器容量为 4 kB 左右,数据存储器容量为 128 B 左右。在控制较为复杂的场合,这样的存储容量是不够的,必须在单片机外部进行扩展。简化单片机外围电路,扩大片内存储器容量是发展趋势。

(6)外围电路内装化

随着集成度的不断提高,可以把众多的各种外围功能器件集成在片内,如模/数转换器、数/模转换器、DMA 控制器、声音发生器、监视定时器、液晶显示驱动器等。

(7)串行扩展技术

由于串行总线传输速度的不断提高,传统的并行总线在单片机中的主流地位受到动摇。SPI、I²C、Microwire、1-Wire 等串行总线的引入,可以使单片机的引脚更少,单片机结构更加简化。

随着半导体集成工艺的不断发 展,单片机的集成度更高,体积更小,功能更强。可以预言,未来的单片机将会把整个系统集成在一个芯片上,成为真正意义的“单片机”。

1.4 计算机运算基础

计算机是对大量数据及信息进行加工处理的机器。被处理的数据和信息既可以是数字,又可以是字母或符号。本节介绍这些数字、字母、符号在计算机中的表达形式及二进制数的运算,为以后章节的学习奠定基础。

1.4.1 数制

数制是计数的进位制,是人们利用符号进行计数的方法。每种数制中使用数码的个数称为“基数”。基数是某种进位制中产生进位的数值,它等于每个数位中所允许最大数码值加1。数制每一位具有的值称为“权”。一个数码所在不同数位时,代表的数值不同。这个与数位相关的常数称为该位的位权,简称权。在进位制中,每个数位都有自己的权值。该位数码表示的数值等于该数码本身的价值乘以该位的权。数制有很多种,在计算机中常用的数制有十进制、二进制和十六进制。

1. 十进制

十进制是在一般数学计算中最常用的数制,共使用0~9十个数字符号(称为数码),十进制的基数为10,各位的权是以10为底的幂。任何一个十进制数都可用权展开式表示。例如十进制数543可如下式展开:

$$543D = 5 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0$$

由上式可见,每个(位)数字的值都是以这个(位)数字乘以基数的幂次表示,式中 10^0 、 10^1 、 10^2 分别称为0权位、1权位、2权位。

十进制数一般有以下特点:

- ①有0~9十个数字符号,基数为10,各位的权为 10^n (n 为整数);
- ②运算规则是加法逢十进一、减法借一为十;
- ③用后缀D(Decimal)表示十进制数,通常对十进制数可不加后缀。

2. 二进制

因为十进制数字太多,如果用电路实现计算,电路就会很复杂。而二进制中只使用0、1两个数字符号,在计算机中很容易就能实现。例如,可以用高电平表示“1”,低电平表示“0”,因此在计算机中常用的进位制是二进制。

二进制数的基数为“2”,各位的权是以2为底的幂,任何一个二进制数都可用权展开式表示。例如二进制数1011B可如下式展开:

$$1011B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

因此上式相当于十进制数是:

$$1011B = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 11D$$

二进制数一般有以下特点:

- ①有0、1两个数字符号,基数为2,各位的权为 2^n (n 为整数);

②运算规则是加法逢二进一、减法借一为二；

③用后缀 B(Binary)表示二进制数。

3. 十六进制

由于二进制位数太多,为方便记忆和书写,人们又提出了十六进制的书写方式。十六进制中共使用 0~9 及 A~F 十六个数字符号,其中 A~F 相当于十进制数的 10~15。十六进制数的基数为“16”,各位的权是以 16 为底的幂任何一个十六进制数都可用权展开式表示。例如十六进制数 5D6EH 可如下式展开:

$$5D6EH = 5 \times 16^3 + 13 \times 16^2 + 6 \times 16^1 + 14 \times 16^0$$

因此上式相当于十进制数是:

$$5D6EH = 5 \times 16^3 + 13 \times 16^2 + 6 \times 16^1 + 14 \times 16^0 = 23918D$$

十六进制数一般有以下特点:

①有 0~9 及 A~F 十六个数字符号,基数为 16,各位的权为 16^n (n 为整数);

②运算规则是加法逢十六进一、减法借一为十六;

③用后缀 H(Hexadecimal)表示十六进制数。

十六进制数与二进制数之间的转换十分方便。4 位二进制数可用一位十六进制数表示,因此在书写计算机的机器语言时多采用十六进制数。应注意的是,十六进制数若为字母打头,在汇编语言中须在前面加一个“0”。

十进制数、二进制数和十六进制数之间的对应关系如表 1.1 所示。

表 1.1 十进制数、二进制数和十六进制数对照表

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

1.4.2 数制的转换

(1)二进制数、十六进制数转换成十进制数

二进制数和十六进制数按权展开后相加即可转换成十进制数。

(2)十进制整数转换成二进制整数、十六进制整数

十进制数转换成二进制数要将整数部分和小数部分分别转换。

十进制整数转换成二进制整数采用“除以2取余”法,即用2连续去除十进制数,直至商为0,逆序排列每次除以2所得余数组合即为转换后的二进制整数部分。

十进制小数转换成二进制小数数采用“乘以2取整”法,即用2连续去乘十进制小数,直至小数部分为0或满足精度为止,正序排列每次所得的整数组合即为二进制的小数部分。

十进制转换成十六进制与十进制转换成二进制方法相同,也要将整数和小数分别转换。

十进制整数转换成十六进制整数采用“除以16取余”法,即用16连续去除十进制数,直至商为0,逆序排列所得余数组合即为转换后的十六进制整数部分。

十进制小数转换成十六进制小数数采用“乘以16取整”法,即用16连续去乘十进制小数,直至小数部分为0或满足精度为止,正序排列每次所得的整数组合即为十六进制的小数部分。

(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采用“四位合一”法,即从小数点开始,向左或向右每四位为一组,不足四位补0,将每组用十六进制数表示。例如,二进制数10110101011.011可转换成十六进制数5AB.6。

十六进制数转换成二进制数采用“一位分四位”法,即将十六进制数中的每位分别用相对应的四位二进制数替换,最高位或最低位若有0,可以省略。例如,十六进制数7432.8可转换成二进制数111010000110010.1。

【例1】 将十进制整数100转换成二进制整数。

解:用2连续除100,直至商为0,算式如下:

2	100	.....	余数 0	最低位
2	50	.....	余数 0	
2	25	.....	余数 1	
2	12	.....	余数 0	
2	6	.....	余数 0	
2	3	.....	余数 1	
	1	.....	余数 1	最高位

运算结果:100D = 1100100B

【例2】 将十进制整数2008转换成十六进制整数。

解:用16连续除2008,直至商为0,算式如下:

16	2008	.....	余数 8	最低位
16	125	.....	余数 13	↑
	7	.....	余数 7	最高位

运算结果:2008D = 7D8H