

自动化工程师职业培训丛书

单片机 技术基础及应用

主 编 顾 波
副主编 李素萍 刘海朝 任 岩



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

自动化工程师职业培训丛书

单片机 技术基础及应用

主 编 顾 波
副主编 李素萍 刘海朝 任 岩
参 编 袁生举 周 娜 谢俊明 成 斌



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书系统地介绍了单片机技术的基本概念、理论基础、技术方法和应用实例。本书共 8 章,第一章主要介绍了单片机的发展概况、数制及编码技术;第二~四章分别介绍了 MCS-51 系列单片机的硬件结构、软件编程环境和 MCS-51 系列单片机的指令系统;第五章介绍了 MCS-51 单片机内部资源;第六章介绍了 MCS-51 单片机的扩展技术;第七章介绍了单片机的 A/D、D/A 转换设计;第八章在前面已介绍知识的基础上,结合具体实例来帮助读者加深对前面介绍的各种知识的认识。

本书侧重于基础知识的介绍,内容通俗易懂,在学习过程中结合大量的具体实例对内容进行补充说明,有利于单片机技术从入门到提高的进阶学习。

本书既适用于单片机初学者,又可作为工程技术人员的技术参考书及高校相关专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

单片机技术基础及应用 / 顾波主编. —北京:中国电力出版社, 2010.10

(自动化工程师职业培训丛书)

ISBN 978-7-5123-0810-7

I. ①单… II. ①顾… III. ①单片微型计算机—技术培训—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 166788 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 1 月第一版 2011 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13 印张 313 千字

印数 0001—3000 册 定价 24.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前 言

单片机是一种集成电路芯片,采用超大规模技术把具有数据处理能力(如算术运算,逻辑运算、数据传送、中断处理)的微处理器(CPU),随机存取数据存储器(RAM),只读程序存储器(ROM),输入/输出电路(I/O口),甚至还包括定时器/计数器,串行通信口(SCI),显示驱动电路(LCD或LED驱动电路),脉宽调制电路(PWM),模拟多路转换器及A/D转换器等电路集成到一块芯片上,构成一个小巧但完善的计算机系统。这些电路能在软件的控制下准确、迅速、高效地完成程序设计者事先规定的任务。

单片机控制系统能够取代以前利用复杂电子线路或数字电路构成的控制系统,可以用软件控制来实现,并能够实现智能化,现在单片机的应用领域越来越广泛,例如,通信产品、家用电器、智能仪器仪表、过程控制和专用控制装置等方面。

本书具有以下几方面的特点:

(1) 重点介绍了单片机技术的基本知识,适当介绍了提高部分,便于读者从入门到提高的进阶学习,使读者可以循序渐进地理解和掌握单片机技术。

(2) 首先介绍了单片机的整体结构和整体结构中各组成部分之间的联系,然后分章节详细介绍了各组成部分的结构和功能,使读者能通过整体了解局部,并通过局部的学习进一步增强对单片机整体结构的认识。知识结构组织新颖,整体与局部相结合,便于读者进行学习、理解和应用。

(3) 全面、详细地介绍了单片机的外围扩展技术,包括单片机常规扩展技术和一些最新的外围扩展技术,增强了读者对单片机使用范围的认识。

(4) 以技能训练为主,强调实际应用,书中列举了大量的单片机应用实例,以加强读者对单片机技术的理解和应用。

本书共8章,第一章介绍了单片机的发展概况和数制及编码;第二章主要介绍了单片机的硬件结构,包括单片机的内部结构和引脚功能等;第三章介绍了单片机的软件编程环境,主要介绍了单片机编程和仿真时常用的两个软件:Keil软件和伟福软件;第四章详细介绍了单片机的指令系统,包括单片机的寻址方式、指令系统、伪指令和汇编语言编程方法;第五章主要介绍了单片机内部资源,包括中断系统、定时器/计数器和串口通信等知识;第六章介绍了单片机系统扩展技术,包括输入/输出接口的扩展、键盘/显示器接口扩展和单片机系统存储器的扩展;第七章主要介绍了单片机的A/D、D/A转换设计;第八章通过具体实例来系统地学习前面各章节知识。

本书由顾波主编,负责全书的组织和统稿。第一、五章由李素萍编写,第二、三章由刘海朝编写,第四章由袁生举编写,第六章由任岩编写,第七、八章由顾波、周娜、谢俊明编写。

限于编者水平,书中难免存在缺点和不足之处,恳请读者提出宝贵的意见和建议。

作 者

2010年4月



目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 单片机的发展概况.....	1
第二节 数制及编码.....	6
第三节 单片机的应用领域.....	10
第二章 MCS-51 单片机的硬件结构	11
第一节 MCS-51 单片机的内部结构.....	11
第二节 MCS-51 单片机的引脚功能.....	24
第三节 MCS-51 单片机的指令时序.....	26
第三章 单片机软件编程环境	31
第一节 Keil 软件的使用.....	31
第二节 伟福软件的使用.....	39
第三节 伟福仿真软件使用实例.....	49
第四章 MCS-51 单片机指令系统	52
第一节 寻址方式.....	52
第二节 指令系统.....	56
第三节 伪指令及汇编实例.....	69
第四节 汇编语言程序设计.....	72
第五章 MCS-51 单片机的内部资源	77
第一节 中断系统.....	77
第二节 中断系统结构.....	79
第三节 定时器/计数器.....	88
第四节 串口通信.....	96
第六章 MCS-51 系统扩展技术	112
第一节 输入/输出接口的扩展.....	112
第二节 键盘/显示器接口扩展.....	135
第三节 单片机系统存储器的扩展.....	145
第七章 A/D、D/A 转换设计	159
第一节 A/D 转换接口设计.....	159
第二节 D/A 转换接口设计.....	168
第三节 A/D、D/A 转换实例.....	174

第八章 MCS-51 单片机应用实例.....	177
第一节 MCS-51 单片机简单应用.....	177
第二节 综合应用实例	186
参考文献.....	200

第一章

概 述

单片机是一种集成电路芯片,它采用超大规模技术把具有数据处理能力(如算术运算,逻辑运算、数据传送、中断处理)的微处理器(Center Processing Unit, CPU),随机存取数据存储器(RAM),只读程序存储器(ROM),输入/输出接口电路(I/O 接口),甚至还包括定时器/计数器,串行通信口(SCI),显示驱动电路(LCD 或 LED 驱动电路),脉宽调制电路(PWM),模拟多路转换器及 A/D 转换器等电路集成到一块芯片上,构成一个小巧但完善的计算机系统。这些电路能在软件的控制下准确、迅速、高效地完成程序设计者事先规定的任务。

单片机控制系统能够取代以前利用复杂电子线路或数字电路构成的控制系统,可以用软件控制来实现,并能够实现智能化,现在单片机控制范围很广,例如,在通信产品、家用电器、智能仪器仪表、过程控制和专用控制装置等都有应用。单片机的应用领域也越来越广泛。

单片机的应用意义远不限于它的应用范围广和由此带来的经济效益,更重要的是它已从根本上改变了传统的控制方法和设计思想,是控制技术的一次革命,是一座重要的里程碑。

⑦ 第一节 单片机的发展概况

一、单片机的发展特点

所谓单片机,是指一个集成在一块芯片上的计算机系统。尽管它的大部分功能集成在一块小芯片上,但是它将具有数据处理能力的微处理器(CPU)、存储器[含程序存储器(ROM)和数据存储器(RAM)]、输入/输出接口电路(I/O 接口)等模块集成在同一块芯片上,构成一个既小巧又很完善的计算机硬件系统,在单片机程序的控制下能准确、迅速、高效地完成程序设计者事先规定的任务。所以说,一片单片机芯片就具有组成计算机的全部功能。

(一) 单片机简介

单片机也被称为微控制器(Microcontroller),它最早被用在工业控制领域。单片机是由芯片内仅有的 CPU 专用处理器发展而来的。最早的设计理念是通过将大量外围设备和 CPU 集成在一个芯片中,使计算机系统更小,更容易集成,且易于与复杂但对体积要求严格的控制设备相结合。INTEL 的 Z80 就是最早按照这种思想设计出的处理器,从此以后,单片机和专用处理器的发展便分开了。

由此来看,单片机有着一般微处理器(CPU)芯片所不具备的功能,它可单独地完成

现代工业控制所要求的智能化控制功能，这是单片机最大的特征。然而单片机又不同于单板机（一种将微处理器芯片、存储器芯片、输入/输出接口芯片安装在同一块印制电路板上的微型计算机），单片机芯片在没有开发前，它只是具备功能极强的超大规模集成电路，如果对它进行应用开发，它便是一个小型的微型计算机控制系统，但它与单板机或个人电脑（PC 机）有着本质的区别。

单片机的应用属于芯片级应用，需要用户（单片机学习者与使用者）了解单片机芯片的结构和指令系统，以及其他集成电路应用技术和系统设计所需要的理论和技术，用这样特定的芯片设计应用程序，从而使该芯片具备特定的功能。

不同的单片机有着不同的硬件特征和软件特征，即它们的技术特征均不尽相同，硬件特征取决于单片机芯片的内部结构，用户要使用某种单片机，必须了解该类型产品是否满足需要的功能和应用系统所要求的特性指标。这里的技术特征包括功能特性、控制特性和电气特性等，这些信息需要从生产厂商的技术手册中得到。软件特征是指指令系统特性和开发支持环境，指令特性即我们熟悉的单片机的寻址方式，数据处理和逻辑处理方式，输入/输出特性及对电源的要求等。开发支持的环境包括指令的兼容及可移植性，支持软件（包含可支持开发应用程序的软件资源）及硬件资源。要利用某型号单片机开发自己的应用系统，掌握其结构特征和技术特征是必须的。

单片机控制系统能够取代以前利用复杂电子线路或数字电路构成的控制系统，可以以软件控制来实现，并能够实现智能化。

诚然，单片机的应用意义远不限于它的应用范畴或由此带来的经济效益，更重要的是它已从根本上改变了传统的控制方法和设计思想，是控制技术的一次革命，是一座重要的里程碑。

（二）单片机的发展历程

1946 年第一台电子计算机诞生至今，依靠微电子技术和半导体技术的进步，从电子管——晶体管——集成电路——大规模集成电路，使得计算机体积更小，功能更强。特别是近 20 年时间里，计算机技术更是飞速的发展，计算机在工农业、科研、教育、国防和航空航天领域获得了广泛的应用，计算机技术已经是一个国家现代科技水平的重要标志。

单片机诞生于 20 世纪 70 年代，最初的单片机是利用大规模集成电路技术把中央处理单元和数据存储器（RAM）、程序存储器（ROM）及其他 I/O 接口集成在一块芯片上，构成一个小巧的计算机系统，而现代的单片机则加上了中断单元、定时单元及 A/D 转换等更复杂、更完善的电路，使得单片机的功能越来越强大，应用越来越广泛。

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，单片机仍处在初级的发展阶段，元件集成规模还比较小，功能比较简单，一般把 CPU、RAM 有的还包括一些简单的 I/O 口集成到芯片上，像 Fairchild 公司就属于这一类型，它还需配上外围的其他处理电路才能构成完整的计算系统。类似的单片机还有 Zilog 公司的 Z80 微处理器。

1976 年 Intel 公司推出了 MCS-48 单片机，这个时期的单片机才是真正的 8 位单片微型计算机。它以体积小，功能全，价格低而赢得了广泛的市场，为单片机的发展奠定了基础，成为单片机发展史上一个重要的里程碑。

在 MCS-48 的带动下，其后，各大半导体公司相继研制和发展了自己的单片机，像 Zilog 公司的 Z8 系列。到了 20 世纪 80 年代初，单片机已发展到了高性能阶段，像 Intel 公司的

MCS-51 系列, Motorola 公司的 6801 和 6802 系列, Rokwell 公司的 6501 及 6502 系列等, 此外, 日本的著名电气公司 NEC 和 HITACHI 都相继开发了具有自己特色的专用单片机。

20 世纪 80 年代, 世界各大公司均竞相研制出品种多、功能强的单片机, 约有几十个系列, 300 多个品种, 此时的单片机均属于真正的单片化, 大多集成了 CPU、RAM、ROM、数目繁多的 I/O 接口、多种中断系统, 甚至还有一些带 A/D 转换器的单片机, 功能越来越强大, RAM 和 ROM 的容量也越来越大, 寻址空间甚至可达 64KB, 可以说, 单片机发展到了一个新的阶段。

以 8 位单片机为起点, 单片机的发展可以分为以下几个阶段:

(1) 第一阶段(1976~1978 年), 单片机的探索阶段。以 Intel 公司的 MCS-48 为代表。MCS-48 的应用领域主要是在工业控制领域, 这一阶段的研究公司还包括 Motorola、Zilog 等, 并且取得了满意的效果。这就是单片微型计算机(Single Chip Microcomputer, SCM)的诞生年代, “单片机”一词即由此而来。

(2) 第二阶段(1978~1982 年), 单片机的完善阶段。Intel 公司在 MCS-48 基础上推出了完善的、典型的单片机系列 MCS-51。它在以下几个方面奠定了典型的通用总线型单片机体系结构。

1) 完善的外部总线。MCS-51 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) CPU 外围功能单元的集中管理模式;

3) 体现工控特性的位地址空间及位操作方式;

4) 指令系统趋于丰富和完善, 并且增加了许多突出控制功能的指令。

(3) 第三阶段(1982~1990 年)。8 位单片机的巩固发展及 16 位单片机的推出阶段, 也是单片机向微控制器发展的阶段。Intel 公司推出的 MCS-96 系列单片机, 将一些用于测控系统的模数转换器、程序运行监视器、脉宽调制器等纳入片中, 体现了单片机的微控制器特征。随着 MCS-51 系列的广泛应用, 许多电气厂商竞相使用 80C51 为内核, 将许多测控系统中使用的电路技术、接口技术、多通道 A/D 转换部件、可靠性技术等应用到单片机中, 增强了外围电路功能, 强化了智能控制的特征。

(4) 第四阶段(1990 年至今)。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, 出现了高速、大寻址范围、强运算能力的 8 位、16 位、32 位通用型单片机, 以及小型廉价的专用型单片机。

按单片机的功能对单片机进行分类, 可以把单片机分为以下三个主要的阶段:

(1) SCM 即单片微型计算机阶段。这一阶段主要是寻求最佳的单片嵌入式系统及最佳的体系结构, 奠定了 SCM 与通用计算机完全不同的发展道路。在开创嵌入式系统独立发展道路上, Intel 公司功不可没。

(2) MCU (Micro Controller Unit) 即微控制器阶段。这一阶段主要的技术发展方向是: 不断扩展满足嵌入式应用的各种外围电路与接口电路, 突显其对对象的智能化控制能力。它所涉及的领域都与对象系统相关, 因此, 发展 MCU 的重任不可避免地落在电气、电子技术厂家。因此, 在这一阶段 Intel 逐渐淡出 MCU 的发展。在发展 MCU 方面, 最著名的厂家当数 Philips 公司。Philips 公司以其在嵌入式应用方面的巨大优势, 将 MCS-51 从单片微型计算机迅速发展 to 微控制器。因此, 当我们回顾嵌入式系统发展道路时, 不要忘记 Intel 和 Philips 的历史功绩。

(3) 单片机是嵌入式系统的发展之路。向 MCU 阶段发展的重要因素, 就是寻求应用系统在芯片上的最大化解决。因此, 专用单片机的发展自然形成了 SoC (System on a Chip) 化趋势。随着微电子技术、IC 设计、EDA 工具的发展, 基于 SoC 的单片机应用系统设计会有较大的发展。对单片机的理解可以从单片微型计算机、单片微控制器延伸到单片应用系统。

(三) 单片机的发展趋势

1. CMOS 化

近年, 由于 CHMOS 技术的进步, 大大地促进了单片机的 CMOS 化。CMOS 芯片除了低功耗特性之外, 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。这也是今后以 80C51 取代 8051 为标准 MCU 芯片的原因。因为单片机芯片多数是采用 CMOS (金属栅氧化物) 半导体工艺生产。CMOS 电路的特点是低功耗、高密度、低速度、低价格。采用双极型半导体工艺的 TTL 电路速度快, 但功耗和芯片面积较大。随着技术和工艺水平的提高, 又出现了 HMOS (高密度、高速度 MOS) 和 CHMOS 工艺。CHMOS 和 HMOS 工艺的结合, 使目前生产的 CHMOS 电路已达到 LSTTL 的速度, 传输延迟时间小于 2ns, 它的综合优势已大于 TTL 电路。因而, 在单片机领域 CMOS 正在逐渐取代 TTL 电路。

2. 低功耗化

单片机的电流从 mA 级降到了 μA 级甚至 $1\mu\text{A}$ 以下; 使用电压在 3~6V 之间, 完全能使用电池工作。低功耗化的效应不仅是功耗低, 而且带来了产品的高可靠性、高抗干扰能力以及产品的便携化。

3. 低电压化

几乎所有的单片机都有 WAIT、STOP 等省电运行方式。允许使用的电压范围越来越宽, 一般在 3~6V 范围内工作。低电压供电的单片机电源下限已达 1~2V。目前 0.8V 供电的单片机已经问世。

4. 低噪声与高可靠性

为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, 各单片机厂商在单片机内部电路中都采用了新的技术措施。

5. 大容量化

以往单片机内的 ROM 为 1~4KB, RAM 为 64~128B。但在需要复杂控制的场合, 该存储容量是不够的, 必须进行外接扩充。为了适应这种领域的要求, 需运用新的工艺, 使片内存储器大容量化。目前, 单片机内 ROM 最大可达 64KB, RAM 最大为 2KB。

6. 高性能化

高性能化主要是指进一步改进 CPU 的性能, 加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性。采用精简指令集 (RISC) 结构和流水线技术, 可以大幅度提高运行速度。现指令速度最高者已达 100MIPS (Million Instruction Per Seconds, 兆指令每秒), 并加强了位处理功能、中断和定时控制功能。这类单片机的运算速度比标准的单片机高出 10 倍以上。由于这类单片机有极高的指令速度, 可以用软件模拟其 I/O 功能, 由此引入了虚拟外设的新概念。

7. 小容量、低价格化

与上述相反, 以 4 位、8 位机为中心的小容量、低价格化也是发展动向之一。这类单片机的用途是把以往用数字逻辑集成电路组成的控制电路单片化, 可广泛用于家电产品。

8. 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。除了一般必须具有的 CPU、ROM、RAM、定时器/计数器等以外,片内集成的部件还有模/数转换器、DMA 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。

9. 串行扩展技术

在很长一段时间里,通用型单片机通过三总线结构扩展外围器件成为单片机应用的主流结构。随着低价位 OTP (One Time Programable) 及各种类型片内程序存储器的发展,加之外围接口不断进入片内,推动了单片机“单片”应用结构的发展。特别是 IC、SPI 等串行总线的引入,可以使单片机的引脚设计得更少,单片机系统结构更加简化及规范化。

二、单片机种类及性能

1. ATMEL 公司的 AVR 单片机

ATMEL 公司的 AVR 单片机是增强型 RISC 内载 Flash 的单片机,芯片上的 Flash 存储器附在用户的产品中,可随时编程,以及再编程,使用户的产品设计容易,更新换代方便。AVR 单片机采用增强的 RISC 结构,使其具有高速处理能力,在一个时钟周期内可执行复杂的指令,每 MHz 可实现 1MIPS 的处理能力。AVR 单片机工作电压为 2.7~6.0V,可以实现耗电最优化。AVR 的单片机广泛应用于计算机外部设备、工业实时控制、仪器仪表、通信设备、家用电器、宇航设备等各个领域。

2. Motorola 单片机

Motorola 是世界上最大的单片机厂商。从 M6800 开始,开发了多个品种,有 4 位、8 位、16 位、32 位的单片机,其中典型的代表有:8 位机 M6805、M68HC05 系列,8 位增强型 M68HC11、M68HC12,16 位机 M68HC16,32 位机 M683XX。Motorola 单片机的特点之一是在同样的速度下所用的时钟频率较 Intel 类单片机低得多,因而使得高频噪声低,抗干扰能力强,更适合于工控领域及恶劣的环境。

3. MicroChip 单片机

MicroChip 单片机的主要产品是 PIC 16C 系列和 17C 系列 8 位单片机,CPU 采用 RISC 结构,分别有 33、35、58 条指令,它采用 Harvard 双总线结构,具有运行速度快、低工作电压、低功耗、较大的输入/输出直接驱动能力、价格低、一次性编程、体积小等特点,适用于用量大、档次低、价格敏感的产品。在办公自动化设备,消费电子产品,电信通信,智能仪器仪表,汽车电子,金融电子,工业控制不同领域都有广泛的应用,PIC 系列单片机在世界单片机市场份额排名中逐年提高,发展非常迅速。

4. MDT20XX 系列单片机

工业级 OTP 单片机,由 Micon 公司生产,与 PIC 单片机管脚完全一致,海尔集团的电冰箱控制器,TCL 通信产品,长安奥拓铃木小轿车功率分配器就采用这种单片机。

5. EM78 系列 OTP 型单片机

台湾义隆电子股份有限公司生产,可直接替代 PIC16CXX,管脚兼容,软件可转换。

6. Scenix 单片机

Scenix 公司推出的 8 位 RISC 结构 SX 系列单片机与 Intel 的 Pentium II 等一起被《Electronic Industry Yearbook 1998》评选为 1998 年世界十大处理器。在技术上有其独到之处: SX 系列双时钟设置,指令运行速度可达 50、75、100MIPS;具有虚拟外设功能,柔

性化 I/O 端口,所有的 I/O 端口都可单独编程设定,公司提供各种 I/O 的库函数,用于实现各种 I/O 模块的功能,如多路 UART、多路 A/D、PWM、SPI、DTMF、FS、LCD 驱动等。采用 EEPROM/FLASH 程序存储器,可以实现在线系统编程。通过计算机 RS-232C 接口,采用专用串行电缆即可对目标系统进行在线实时仿真。

7. EPSON 单片机

EPSON 单片机以低电压、低功耗和内置 LCD 驱动器的特点闻名于世,尤其是 LCD 驱动部分做得很好。该单片机广泛用于工业控制、医疗设备、家用电器、仪器仪表、通信设备和手持式消费类产品等领域。目前 EPSON 已推出四位单片机 SMC62 系列、SMC63 系列、SMC60 系列和八位单片机 SMC88 系列。

8. 东芝单片机

东芝单片机门类齐全,4 位机在家电领域有很大市场,8 位机主要有 870 系列、90 系列,该类单片机允许使用慢模式。东芝的 32 位单片机采用 MIPS 3000A RISC 的 CPU 结构,面向数字相机、图像处理等市场。

9. 8051 单片机

8051 单片机最早由 Intel 公司推出,其后,多家公司购买了 8051 的内核,使得以 8051 为内核的 MCU 系列单片机在世界上产量最大,应用也最广泛,有人推测 8051 可能最终形成事实上的标准 MCU 芯片。

10. LG 公司生产的 GMS90 系列单片机

该系列单片机与 Intel MCS-51 系列、Atmel 89C51/52、89C2051 等单片机兼容,具有 CMOS 技术和高达 40MHz 的时钟频率,多应用于多功能电话、智能传感器、电能表、工业控制、防盗报警装置、各种计费器、各种 IC 卡装置、DVD、VCD、CD-ROM 等。

⑦ 第二节 数制及编码

一、数制

数制是人们利用符号进行计数的科学方法。数制有很多种,人们最熟悉的是十进制数,这是一种基数为 10 的进制,逢 10 进 1。除此之外,人们还用到的有二进制、八进制和十六进制等。为了区别不同进位的进制,一般在数字后面加上数制,如:2 代表二进制,16 代表十六进制等;也可以用字母表示数制,B(Binary)代表二进制,O(Octal)代表八进制,D(Decimal)代表十进制,H(Hexadecimal)代表十六进制。

1. 十进制(以 10 或 D 作后缀,可省略)

我们最常用的记数制是十进制,有 1、2、3、4、5、6、7、8、9、0 10 个数字符号,并按照“逢十进一”规则组成。一个十进制数值实际上是由它们在这个数中所处的位置来决定的。所以,十进制是一种位置记数法。

例如,72568.65 这个数,用十进制表示,可以写成如下的形式。

$$72568.65 = 7 \times 10^4 + 2 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

可以用 X_i 表示 0~9 10 个数中的任意一个,那么,一个含有 n 位整数, m 位小数的十进制值可以表示为

$$N = X_{n-1} \times 10^{n-1} + X_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + X_0 \times 10^0 + X_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + X_{-m} \times 10^{-m}$$

N 表示该十进制值,10 称为数制的基数, 10^i 为该位的权。

2. 二进制（以 2 或 B 作后缀）

在计算机内部存储、处理和传输的信息均采用二进制代码来表示，二进制数只有 0 和 1 两个数码，所以运算起来很简单，其运算规则是逢二进一。

在二进制中，基数是 2，所以可以把任意一个二进制数 N 写成

$$N = X_{n-1} \times 2^{n-1} + X_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + X_0 \times 2^0 + X_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + X_{-m} \times 2^{-m}$$

其中， X_i 表示 0 和 1 中的任意一个， n 和 m 为正整数。

例如：1101(2) = $1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$ ；

11.11(2) = $1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$ 。

在计算机内部，信息的存储、处理和传递均采用二进制代码。这是因为二进制数运算简便且用电子元件容易实现。

二进制数具有以下特点：

(1) 二进制数中只有 0 和 1 两个数字，可以方便地采用具有两个不同的稳定物理状态的元件来表示。例如，电容的充电和放电，电位的高和低，指示灯的开和关，晶体管的截止和导通；脉冲电位的低和高等，分别表示二进制数字中的 0 和 1。具有上述这两个状态的元件制造容易，可靠性也高。

(2) 二进制数运算规则简单，使得计算机中的运算部件结构相应变得比较简单。二进制数的加法法则和乘法法则都只有 4 条，即

$0+0=0$, $0+1=1$, $1+0=1$, $1+1=10$;

$0 \times 0=0$, $0 \times 1=0$, $1 \times 0=0$, $1 \times 1=1$ 。

(3) 二进制数中的 0 和 1 与逻辑代数的逻辑变量一样，可以采用二进制数进行逻辑运算，并应用逻辑代数作为工具来分析和设计计算机中的逻辑电路，使得逻辑代数成为设计计算机的数学基础。

3. 八进制（以 8 或 O 作后缀）

八进制数的进位规则是“逢八进一”，其基数为 8，采用的数码是 0~7，每位的权是 8 的幂。任何一个八进制数也可以表示为

$$N = X_{n-1} \times 8^{n-1} + X_{n-2} \times 8^{n-2} + \cdots + X_0 \times 8^0 + X_{-1} \times 8^{-1} + \cdots + X_{-m} \times 8^{-m}$$

其中， X_i 表示 0~7 8 个数中的任意一个， n 和 m 为正整数。

例如：(376.4)₈ = $3 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1} = 3 \times 64 + 7 \times 8 + 6 + 0.5 = (254.5)_{10}$ 。

4. 十六进制（以 16 或 H 为后缀）

十六进制是计算机中常用的数制，它的基数是 16，因此有 16 个数字符号，它们是 0~9、A~F。其中，A 表示数 10，B 表示数 11，C 表示数 12，D 表示数 13，E 表示数 14，F 表示数 15，并且是“逢十六进一”。它与十进制的关系可按位置记数法求得。

例如，把十六进制 5EB(16) 转换为十进制可得

5EB(16) = $5 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 11 \times 16^0 = 1515(10)$ 。

二、数制之间的转换

1. 二进制数与十进制数之间的转换

(1) 二进制数转换成十进制数——按权展开法。

二进制数按权展开，可以将一个二进制数转换成等值的十进制数。

例如：(10110.11)₂ = $1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = (22.75)_{10}$ 。

同理, 若将任意进制数转换为十进制数, 只需将数 $(N)_R$ 写成按权展开的多项式表示式, 并按十进制规则进行运算, 便可求得相应的十进制数 $(N)_{10}$ 。

(2) 十进制数转换成二进制数。

1) 对整数的转换。对于整数的转换可以采用除 2 取余法。若将十进制整数 $(N)_{10}$ 转换为二进制整数 $(N)_2$, 则可以写成

$$\begin{aligned}(N)_{10} &= a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 \\ &= 2(a_{n-1} \times 2^{n-2} + a_{n-2} \times 2^{n-3} + \cdots + a_2 \times 2^1 + a_1) + a_0 \\ &= 2Q_1 + a_0\end{aligned}$$

如果将上式两边同除以 2, 所得的商为

$$Q_1 = (a_{n-1} \times 2^{n-2} + a_{n-2} \times 2^{n-3} + \cdots + a_2 \times 2^1 + a_1)$$

余数就是 a_0 。同理, 这个商又可以写成

$$Q_1 = 2(a_{n-1} \times 2^{n-3} + a_{n-2} \times 2^{n-4} + \cdots + a_2) + a_1$$

显然, 若将上式两边再同时除以 2, 则所得余数是 a_1 。重复上述过程, 直到商为 0, 就可得二进制数的数码 a_0 、 a_1 、 $\cdots$ 、 a_{n-1} 。例如, 将 $(57)_{10}$ 转换为二进制数:

2	57	余数
2	28	1= a_0
2	14	0= a_1
2	7	0= a_2
2	3	1= a_3
2	1	1= a_4
	0	1= a_5

$(57)_{10} = (111001)_2$

把得到的余数从下到上排列, 即可得到转换的二进制。

2) 小数转换。对于小数转换为二进制数, 可以采用乘 2 取整法, 若将十进制小数 $(N)_{10}$ 转换为二进制小数 $(N)_2$, 则可以写成

$$(N)_{10} = a_{-1} \times 2^{-1} + a_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m}$$

将上式两边同时乘以 2, 便得到

$$2(N)_{10} = a_{-1} + (a_{-2} \times 2^{-1} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m+1})$$

令小数部分

$$(a_{-2} \times 2^{-1} + a_{-3} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m+1}) = F_1$$

则上式可写成

$$2(N)_{10} = a_{-1} + F_1$$

因此, $2(N)_{10}$ 乘积的整数部分就是 a_{-1} 。若将 $2(N)_{10}$ 乘积的小数部分 F_1 再乘以 2, 则有

$$2F_1 = a_{-2} + (a_{-3} \times 2^{-1} + a_{-4} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m+2})$$

所得乘积的整数部分就是 a_{-2} 。显然, 重复上述过程, 便可求出二进制小数的各位数码。例如, 将 $(0.724)_{10}$ 转换成二进制小数。

$$\begin{array}{r}
 0.724 \\
 \times 2 \quad \text{整数} \\
 \hline
 1.448 \cdots \cdots \quad 1=a_{-1} \\
 0.448 \\
 \times 2 \\
 \hline
 0.896 \cdots \cdots \quad 0=a_{-2} \\
 0.792 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.584 \cdots \cdots \quad 1=a_{-3} \\
 0.792 \\
 \times 2 \\
 \hline
 1.584 \cdots \cdots \quad 1=a_{-4} \\
 (0.724)_{10}=(0.1011)_2
 \end{array}$$

可见，小数部分乘 2 取整的过程，不一定能使最后乘积为 0，因此转换值存在误差。通常在二进制小数的精度已达到预定的要求时，运算便可结束。

将一个带有整数和小数的十进制数转换成二进制数时，必须将整数部分和小数部分分别按除 2 取余法和乘 2 取整法进行转换，然后再将两者的转换结果合并起来即可。

同理，若将十进制数转换成任意 R 进制数 $(N)_R$ ，则整数部分转换采用除 R 取余法；小数部分转换采用乘 R 取整法。

2. 二进制数与八进制数、十六进制数之间的相互转换

八进制数和十六进制数的基数分别为 $8=2^3$ ， $16=2^4$ ，所以三位二进制数恰好相当一位八进制数，四位二进制数相当一位十六进制数，它们之间的相互转换是很方便的。

二进制数转换成八进制数的方法是从小数点开始，分别向左、向右，将二进制数按每三位一组分组（不足三位的补 0），然后写出每一组等值的八进制数。

例如，求 $(01101111010.1011)_2$ 的等值八进制数：

$$\begin{array}{r}
 \text{二进制} \quad \underline{001} \quad \underline{101} \quad \underline{111} \quad \underline{010} \quad . \quad \underline{101} \quad \underline{100} \\
 \text{八进制} \quad 1 \quad 5 \quad 7 \quad 2 \quad . \quad 5 \quad 4
 \end{array}$$

所以 $(01101111010.1011)_2=(1572.54)_8$

二进制数转换成十六进制数的方法和二进制数与八进制数的转换相似，从小数点开始分别向左、向右将二进制数按每四位一组分组（不足四位补 0），然后写出每一组等值的十六进制数。例如，将 (1101101011.101) 转换为十六进制数：

$$\begin{array}{r}
 \underline{0011} \quad \underline{0110} \quad \underline{1011} \quad . \quad \underline{1010} \\
 3 \quad 6 \quad B \quad . \quad A
 \end{array}$$

所以 $(1101101011.101)_2=(36B.A)_{16}$

八进制数、十六进制数转换为二进制数的方法可以采用与前面相反的步骤，即只要按原来顺序将每一位八进制数（或十六进制数）用相应的三位（或四位）二进制数代替即可。

例如，分别求出 $(375.46)_8$ 、 $(678.A5)_{16}$ 的等值二进制数分别为：

$$(375.46)_8=(011111101.100110)_2, (678.A5)_{16}=(011001111000.10100101)_2$$

⑦ 第三节 单片机的应用领域

单片机已经渗透到我们生活的各个领域，几乎很难找到哪个领域没有单片机的踪迹。导弹的导航装置，飞机上各种仪表的控制，计算机的网络通信与数据传输，工业自动化过程的实时控制和数据处理，广泛使用的各种智能 IC 卡，民用豪华轿车的安全保障系统，录像机、摄像机、全自动洗衣机的控制，以及程控玩具、电子宠物等，这些都离不开单片机。更不用说自动控制领域的机器人、智能仪表、医疗器械了。因此，单片机的学习、开发与应用将造就一批计算机应用与智能化控制的科学家、工程师。

单片机的应用大致可分如下几个范围：

1. 在智能仪器仪表上的应用

单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、扩展灵活、微型化和使用方便等优点，广泛应用于仪器仪表中，结合不同类型的传感器，可实现诸如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度、元素、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，且功能比起采用电子或数字电路更加强大。例如，精密的测量设备，如功率计，示波器，各种分析仪等。

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

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、再到电子称量设备，五花八门，无所不在。

4. 在计算机网络和通信领域中的应用

现代的单片机普遍具备通信接口，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控制，从手机，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，无线电对讲机等。

5. 单片机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。

6. 在各种大型电器中的模块化应用

某些专用单片机设计用于实现特定功能，从而在各种电路中进行模块化应用，而不要使用人员了解其内部结构。如音乐集成单片机，看似简单的功能，微缩在电子芯片中（有别于磁带机的原理），就需要复杂的类似于计算机的原理。音乐信号以数字的形式存于存储器中（类似于 ROM），由微控制器读出，转化为模拟音乐电信号（类似于声卡）。在大型电路中，这种模块化应用极大地缩小了体积，简化了电路，降低了损坏、错误率，也方便于更换。

第二章

MCS-51 单片机的硬件结构

MCS-51 系列单片机已有十多种产品,可分为两大系列:51 子系列和 52 子系列。51 子系列主要有 8031、8051、8751 三种机型。它们的指令系统与芯片引脚完全兼容,它们的差别仅在于片内有无 ROM 或 EPROM。

52 子系列主要有 8032、8052、8752 三种机型。52 子系列与 51 子系列的不同之处在于:片内数据存储器增至 256B;片内程序存储器增至 8KB (8032 无);有 3 个 16 位定时器/计数器,6 个中断源。其他性能均与 51 子系列相同。本章将主要针对 8051 单片机的结构作介绍。

⑦ 第一节 MCS-51 单片机的内部结构

一、MCS-51 单片机的基本组成

MCS-51 单片机是在一块芯片中集成了 CPU、RAM、ROM、定时器/计数器和多种功能的 I/O 线等一台计算机所需要的基本功能部件。MCS-51 单片机内包含下列几个部件。

- (1) 8 位 CPU。
- (2) 片内带振荡器,振荡频率 f_{ox} 范围为 1.2~12MHz;可有时钟输出。
- (3) 128B 的片内数据存储器。
- (4) 4KB 的片内程序存储器 (8031 无)。
- (5) 程序存储器的寻址范围为 64KB。
- (6) 片外数据存储器的寻址范围为 64KB。
- (7) 21 个字节专用寄存器。
- (8) 4 个 8 位并行 I/O 接口: P0、P1、P2、P3。
- (9) 一个全双工串行 I/O 接口,可多机通信。
- (10) 两个 16 位定时器/计数器。
- (11) 中断系统有 5 个中断源,可编程为两个优先级。
- (12) 111 条指令,含乘法指令和除法指令。
- (13) 有强的位寻址、位处理能力。
- (14) 片内采用总线结构。
- (15) 用单一+5V 电源。