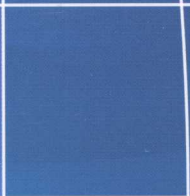
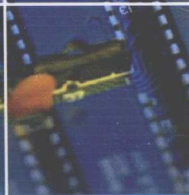
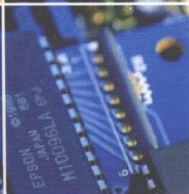


全国高职高专计算机技能型人才培养系列规划教材

中国计算机学会教育专委会
推荐教材 (高职高专类)

PIC系列单片机 原理和开发应用技术



主 编 俞光昀 吴一锋



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国高职高专计算机技能型人才培养系列规划教材

中国计算机学会教育专委会推荐教材(高职高专类)

PIC 系列单片机原理和开发应用技术

主 编 俞光昀 吴一锋

副主编 季菊辉 洪 应



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

Microchip 公司的 PIC 系列 8 位单片机是世界上最具有影响力的嵌入式微控制器之一。本书旨在对 3 个层次的内容丰富的 PIC 系列单片机的设计应用技术归纳整理,为读者建立 PIC 单片机的整体概念,为应用 PIC 系列单片机打下基础。

全书共分为 11 章,主要内容包括:单片机概述, PIC 单片机概述, PIC 单片机结构, PIC 单片机的 RISC 指令系统,中断, PIC 单片机功能部件及其特殊功能寄存器, PIC 单片机的高可靠性和低功耗, PIC 单片机程序设计, PIC 单片机应用实例, PIC 单片机开发系统,实验。全书针对 PIC 的中档机型和实用的开发系统进行介绍,还使用开发系统随机赠送的实验板进行实验,降低了实验室的建设成本。

本书可作为大专院校计算机应用、自动控制、仪器仪表及机电一体化等专业的教材,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

PIC 系列单片机原理和开发应用技术/俞光昀,吴一锋主编. —北京:北京大学出版社,2009.9

(全国高职高专计算机技能型人才培养系列规划教材)

ISBN 978-7-301-15617-9

I. P… II. ①俞…②吴… 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(2009)第 131662 号

书 名: PIC 系列单片机原理和开发应用技术

著作责任者:俞光昀 吴一锋 主编

策 划 编 辑:乐和琴 刘 丽

责 任 编 辑:程志强

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-15617-9/TP · 1048

出 版 者:北京大学出版社

地 址:北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者:北京宏伟双华印刷有限公司

发 行 者:北京大学出版社

经 销 者:新华书店

787mm×1092mm 16 开本 19 印张 438 千字

2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 30.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

《全国高职高专计算机技能型人才培养系列规划教材》

编委会委员名单

主任委员：俞光昀

副主任委员：刘乃琦 张凌雯 顾 滨 蒋方纯

委 员 (按姓名拼音排序)：

卜锡滨	陈书谦	程 刚	崔剑波
董汉丽	郝 梅	何文华	贺 平
连卫民	梁锦叶	刘甫迎	刘湘涛
李金祥	骆耀祖	聂 明	宋汉珍
苏传芳	田绍愧	佟伟光	王 伟
王秀平	吴小惠	谢 尧	徐建民
严学道	杨丽芳	杨 威	杨学全
袁启昌	朱乃立		

秘 书 长：张荣琴 刘 丽

出版说明

高技能人才是国家核心竞争力的体现，加快高技能人才的培养已经纳入国家人才强国战略的总体部署。正是国家急需高技能人才的客观要求推动了高等职业教育的飞速发展。今天，高职高专学生已经占据了高等教育的半壁江山。每年几百万新生的招生规模是一个何等惊人的数字，将如此众多的青年人培养成具有良好的道德素养、熟练的职业技能的高技能人才是多么伟大的工程！对于肩负着这一伟大使命的高职高专院校，既是难得的历史机遇，又是艰辛的任务和挑战。我们要从不断改革教学模式、教学方法等各方面努力，争取把我国的高职高专教育推向一个新的高度。

在这样伟大的历史任务面前，中国计算机学会教育专委会高职高专学组和北京大学出版社联手成立了《全国高职高专计算机技能型人才培养系列规划教材》编委会，致力于从教材编写的角度为培养高技能人才做出新贡献。

二十多年前，由全国几十所大专、成人高校、电视大学、职工大学和夜大等大专层次的学校在湖南长沙发起成立了“全国大专计算机教育研究会”，1986年全国大专计算机教育研究会加入中国计算机学会教育专委会，简单称大专学组，从此就在中国计算机学会教育专委会的指导下有计划地开始了大专层次的计算机专业的教育和教材建设的研究。同年，经原电子工业部批准，在全国大专计算机教育研究会的基础上，成立了“全国大专计算机专业教材编委会”。随着高职高专教育的发展，随着新世纪的来临，大专学组和全国大专计算机专业教材编委会分别更名为高职高专学组和全国高职高专计算机专业教材编委会。

二十多年来，高职高专学组和高职高专计算机专业教材编委会一方面不断研究改进高职高专计算机各专业方向的培养计划和教学方法；另一方面与出版社合作联合成立相关系列编委会致力于高职高专计算机专业系列教材的编写工作。二十多年来，共完成了五轮近三百种教材的编写工作。

计算机高职高专教材的出版，解决了大专计算机教学过度依赖本科教材的问题，一轮又一轮，一批又一批教材的相继出版，不但使高职高专教材的质量与时俱进，同时还推动了高职高专院校师资队伍的成长。

但是，由于我国职业教育起步较晚，至今还没有形成西方发达国家那样完整的职业教育体系，因此在职业教育的许多方面，包括教材建设方面还存在着相对落后的方面和诸多不足。就教材而言，存在着部分新专业没有教材；教材内容陈旧，不适应新技术发展的需要；实践技能教材严重缺乏；教材内容和职业资格证书制度衔接不足等。

我国社会主义现代化建设需要大批高技能人才，而高技能人才的培养需要科学的、合理的教材。《全国高职高专计算机技能型人才培养系列规划教材》旨在教材建设中引进国内外成熟的经验，同时适应高等职业教育不断改革的需要，在教材内容和教材风格上有所创新。

本套教材计划按照每门课程的不同特点，分别采用任务驱动法、项目教学法或案例教学法。

在教材内容上，本套教材力图将最新的知识、最新的技术写进教材；着重讲解技能型人才培养所需的内容和关键点，突出实用性和可操作性；尽量采用综合性的实例来讲解理论知识。

识的综合运用，“以例释理”，将理论讲解简单化，从而锻炼学生的思维能力以及运用概念解决问题的能力；要设计具备真实性的实践操作训练项目，加强学生对工程实践的兴趣，提高他们的实践操作技能；为了满足学有余力的学生深入学习的需要，我们提倡模块化编写方法，有些科目需要编写提高模块。

在编写风格上，本套教材将努力学习和借鉴国内外优秀教材的写作思路、写作方法和章节安排；作为工科教材，本套教材也将借鉴人文学科教材的写作模式，体现清新活泼的风格；部分教材还将采用学校教师任主编，企业高工任主审的方式，依托行业和企业共同进行编写；在出版纸质教材的同时，还将编写网络课件、CAI 课件、教学素材库、电子教案、试题库及考试系统和多媒体教学软件。

本套教材不仅适合高职高专院校计算机及相近专业的学生使用，也适用于企事业单位从业人员的在职培训，对于社会上广大自学人员的素质提高也具有实用价值和参考作用。

中国计算机学会教育专委会高职高专学组
《全国高职高专计算机技能型人才培养系列规划教材》编委会
2009 年 3 月

前 言

现代人类社会的各个方面，从工业、农业、商业、国防、通信、交通运输、科学技术等领域到文化娱乐、教育、医疗乃至家庭生活的每一个角落，无一不在快速地走向自动化和现代化。

单片机即单片微处理器或微控制器，是实现自动控制性价比最高的计算机，其发展非常迅速。在发展 16 位、32 位高档单片机的同时，8 位乃至 4 位单片机得到了更大的发展和普及。目前 8 位单片机已经能够满足控制领域中多数场合的需求，因此在今后相当长的时间内，8 位单片机仍将是控制领域的主角。

Microchip 公司的 PIC 8 位单片机系列是世界上最有力影响力的嵌入式微控制器之一。该系列单片机采用了 RISC 精简指令系统和哈佛总线，易学易用；运算速度快，体积小，工作电压低，功耗小，驱动能力强，适合用电池供电；由于其程序存储器采用了低价格的 Flash 技术，其价格几乎和掩模型相近，适合中小批量生产；PIC 最大的特点是不搞单纯的功能堆积，而是从实际出发，重视产品的性能与价格比，靠发展多种型号来满足不同层次的应用需求，已经发展出基本级产品、中级产品和高级产品 3 个层次系列许多型号的产品，而且抗干扰能力强，程序保密性好，可靠性高，广泛应用于从鼠标器、IC 卡、儿童玩具、家用电器、电信通信、工业控制、智能仪器仪表到汽车电子、金融电子等许多领域，尤其适合机、电、仪一体化的智能型产品。

本书旨在将 3 个层次不同型号的 PIC 系列单片机的特点、结构、指令系统及设计应用技术加以归纳整理，并提供丰富的应用实例，为读者建立 PIC 系列单片机的整体概念，为应用 PIC 系列单片机打下基础。PIC 系列单片机型号众多，在涉及具体的例子时，本书以中档的 PIC16 系列单片机为主。为了使学生毕业后能够尽快适应实际工作环境，本书介绍了与实用的开发系统最接近的 PICMATE 2004 精灵版开发系统，并且使用该开发系统随机赠送的实验板进行实验，降低了实验室的建设成本。

由于本课程的学时较少，本书在教材内容的选择上和解释过程中力求少而精，不对学生提出不切实际的要求。全书共分 11 章，为了方便没有单片机基础的读者进行学习，本书第 1 章介绍了单片机的一般原理包括单片机的用途、一般结构、发展过程、特点、指令的执行过程、单片机应用系统的开发过程和开发工具；第 2 章对 PIC 单片机的特点、分类、性能、命名规则及封装做了概括性的介绍；第 3 章从整体上介绍了 PIC 单片机的内部结构以及数据存储器和程序存储器即特殊功能寄存器；第 4 章介绍了 PIC 单片机的 RISC 指令系统；第 5 章介绍了 PIC 单片机的中断功能，用实例说明了中断功能的使用；第 6 章详细介绍了 PIC 单片机的功能部件及相应的特殊功能寄存器；第 7 章列举了实现 PIC 单片机的高可靠性和低功耗的各种技术；第 8 章介绍了 PIC 单片机的汇编程序设计方法及其宏汇编；第 9 章列举了各种应用实例供读者参考；第 10 章主要介绍了实用的 PIC 单片机的开发系统；第 11 章安排了 10 个基本的实验。

本书由俞光昀和吴一锋老师任主编，季菊辉和洪应老师任副主编。除了统编全书外，俞光昀老师还编写了第 1 章、第 2 章、第 5 章；吴一锋老师编写了第 7 章、第 9 章、第 10 章

的部分内容和第 11 章的部分实验；季菊辉老师编写了第 3 章、第 4 章、第 10 章的部分内容和第 11 章的部分实验；洪应老师编写了第 6 章和第 8 章。福州高奇公司的陈小牧总工程师担任本书的主审，对本书的编写提出了许多宝贵的修改意见。在本书的编写过程中，还得到了福州高奇公司的工程技术人员、北京大学出版社、全国高职高专计算机技能型人才培养系列规划教材编委会的大力支持，在此表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，错误和不足之处在所难免，恳请广大读者予以指正。

编 者
2009 年 6 月

目 录

第 1 章 单片机概述.....	1	5.6 中断程序实例.....	66
1.1 单片机的用途.....	1	本章小结.....	69
1.2 单片机的基本结构.....	2	习题 5.....	70
1.3 单片机的特点.....	4	第 6 章 PIC 单片机功能部件及其	
1.4 单片机的发展过程.....	6	特殊功能寄存器.....	71
1.5 单片机应用系统开发与开发工具.....	7	6.1 I/O 口.....	72
本章小结.....	10	6.1.1 通用的 I/O 口.....	72
习题 1.....	10	6.1.2 复用的 I/O 口.....	78
第 2 章 PIC 单片机概述.....	11	6.2 定时器/计数器.....	79
2.1 PIC 单片机的主要特点.....	11	6.2.1 定时器/计数器的作用.....	80
2.2 PIC 单片机系列简介.....	13	6.2.2 定时器/计数器 0(TMR0).....	81
本章小结.....	21	6.2.3 定时器/计数器 1(TMR1)	
习题 2.....	22	模块.....	84
第 3 章 PIC 单片机结构.....	23	6.2.4 定时器 2(TMR2)模块.....	86
3.1 PIC 单片机的内部结构.....	23	6.3 捕捉器/比较器/脉宽调制器模块	
3.2 程序存储器.....	27	(CCP 模块).....	88
3.3 数据存储器.....	30	6.3.1 输入捕捉模式.....	88
本章小结.....	37	6.3.2 比较模式.....	89
习题 3.....	37	6.3.3 脉宽调制模式.....	90
第 4 章 PIC 单片机的 RISC 指令系统.....	38	6.4 SSP 同步串行口模块.....	91
4.1 PIC 单片机的寻址方式.....	38	6.4.1 SPI 模式.....	91
4.2 基本级和中级 PIC 单片机指令详解... 40		6.4.2 I ² C 方式.....	94
本章小结.....	55	6.5 SCI 串行通信口.....	100
习题 4.....	55	6.5.1 PIC 单片机的串行通信(SCI)	
第 5 章 中断.....	56	模块.....	100
5.1 中断的概念.....	56	6.5.2 SCI 波特率产生器(BRG).....	102
5.2 PIC 单片机丰富的中断功能.....	59	6.5.3 采样.....	103
5.3 PIC 单片机中断的开放、禁止和		6.5.4 SCI 异步方式.....	104
状态标志.....	60	6.5.5 SCI 同步方式.....	106
5.4 PIC 单片机中断响应过程.....	64	6.6 带 A/D 的 PIC 单片机.....	109
5.5 PIC 单片机中断现场保护.....	64	6.7 带比较器的 PIC 单片机.....	115
		6.8 带参考电压模块的 PIC 单片机.....	118
		本章小结.....	119
		习题 6.....	120

第 7 章 PIC 单片机的高可靠性和低功耗

7.1 系统振荡方式及其选择	121
7.2 如何实现可靠复位	124
7.3 利用看门狗提高系统可靠性	130
7.4 SLEEP 方式及其唤醒	131
7.5 系统配置字和用户识别码	132
7.6 PIC 单片机应用系统低功耗设计技术	133
本章小结	136
习题 7	136

第 8 章 PIC 单片机程序设计

8.1 程序基本格式	137
8.1.1 PIC16C5X 和 PIC16F5XX 系列单片机源程序的基本格式	139
8.1.2 PIC16C6X/7X/8X 和 PIC16FXXX 系列单片机源程序的基本格式	140
8.2 程序设计基础	143
8.2.1 比较程序	143
8.2.2 循环程序	146
8.2.3 延时程序	148
8.2.4 程序转移和查表	149
8.2.5 寄存器体的寻址	151
8.3 宏汇编器 MPASM	153
8.3.1 MPASM 的安装和入门	153
8.3.2 MPASM 的 Windows 界面	155
8.3.3 伪指令	156
8.3.4 使用 MPASM 建立可重定位目标代码	159
8.3.5 错误/警告信息	164
本章小结	166
习题 8	166

第 9 章 PIC 单片机应用实例

9.1 PIC16CXXX SRAM 的扩展	168
9.1.1 扩展电路	168
9.1.2 程序清单	170
9.2 PIC16C57 构成的温度测量控制网络	171
9.3 用 PIC14000 控制的铅蓄电池充电器	174

9.4 PIC 单片机在电饭煲控制中的应用	177
9.5 带 ADC 的芯片的使用	182
9.6 基于 PIC16 单片机的空调控制系统	194
本章小结	198
习题 9	199

第 10 章 PIC 单片机开发系统

10.1 单片机应用系统的开发过程	200
10.2 源程序编辑汇编和软件仿真	202
10.3 PICMATE 2004 及其使用	205
10.3.1 PICMATE 2004 简介	205
10.3.2 PICMATE 2004 精灵版系统安装	206
10.3.3 GTT-IDE 环境下调试 PICMATE 2004	210
10.3.4 常见错误信息	223
10.4 MPLAB ICD 2 在线调试器	224
10.4.1 MPLAB ICD 2 在线调试器的功能和限制	224
10.4.2 使用 ICD 2 作为调试器	228
10.4.3 调试实例	234
10.5 烧写器	243
本章小结	247
习题 10	247

第 11 章 实验

实验 1 利用 MPLAB IDE 调试汇编语言程序	249
实验 2 数据传送实验	254
实验 3 I/O 输出实验	256
实验 4 软件延时实验	258
实验 5 定时器的使用	260
实验 6 定时器中断编程技术	263
实验 7 A/D 键盘实验	266
实验 8 温度测量实验	272
实验 9 LCD 显示实验	276
实验 10 SPI 使用与 D/A 转换实验	282
实验 11 PWM 应用实验	286

附录 部分不规范图形符号与国家标准图形符号对照表

参考文献

第 1 章 单片机概述



目标

掌握单片机的基本结构和指令的执行过程；了解单片机的发展过程、用途、特点和单片机应用系统的开发过程与开发工具。



重点

现代计算机包括单片机仍然是冯·诺依曼结构的计算机；计算机的工作过程就是快速执行指令的过程，包括 4 个步骤；单片机应用系统的开发模式、开发过程和开放工具。



内容

单片机的用途；单片机的特点；单片机的基本结构；指令的执行过程；单片机的发展过程；单片机应用系统的开发模式、开发过程和开放工具。

1.1 单片机的用途

单片机全称为单片微型计算机(Single Chip Microcomputer)，又称微控制器(Microcontroller Unit)或嵌入式控制器(Embedded Controller)。它是将计算机的基本部件微型化并集成到一块芯片上的微型计算机，通常片内都含有 CPU、ROM、RAM、并行 I/O、串行 I/O、定时器/计数器、中断控制、系统时钟及系统总线等。

单片机以微处理器为核心，在相应的应用环境下开发出软件并写入片内的程序存储器，再配上周边的外围电路，就构成了应用于各行各业的单片机系统。随着信息化社会和知识经济的发展，单片机的应用越来越引起人们的重视。单片机控制着当今大多数的电子设备、家用电器与机器设备。单片机的身影无处不在地存在于工业控制、消费电子、计算机及周边产品、通信和办公设备等领域。据预测，到 2010 年，每个成年人平均每天会接触到 351 个单片机。毫不夸张地说，我们生活在一个单片机的世界里。下面仅是一些典型的应用领域。

(1) 电信：如用于电话机、无绳电话机、投币电话机、磁卡电话机、光卡电话机、可视电话机、数字或汉字寻呼机、模拟或蜂窝移动通信手持机、无线对讲机、业余无线电台、传真机、调制解调器、交换机、通话计费器、电话密码锁、来电显示器、磁卡、IC 卡、IP 电话卡等。

(2) 家用电器：如用于遥控电视机、录像机、摄像机、VCD、CD、LD、卫星电视接收机、音响控制器、卡拉 OK 点唱机、数码相机、自动洗衣机、冰箱、空调、洗碗机、微波炉、电饭煲、热水器、万年历、智能充电器、防盗防火等各种报警器、电子锁、数字电度表、游戏

机、智能运动器材等。

(3) 计算机外围设备：如用于键盘、打印机、扫描仪、绘图仪、智能终端、智能扩充卡、调制解调器等。

(4) 办公自动化设备：如用于复印机、传真机、智能打印机、个人数字助理 PAD、电子词典、电子计算器等。

(5) 工业控制：如用于过程控制、柔性控制、集散控制系统、CIMS 控制系统、智能机器人、数控机床、PLC 控制器、机电一体化系统等。

(6) 仪器仪表：如用于工业、农业、医疗、生物、化工、电子、计量、遥感、遥测等各种领域的智能仪器仪表。

(7) 商用电子：如用于自动售货机、自动柜员机、电子收款机、电子秤、智能卡、IC 卡读/写器、电子广告屏等。

(8) 汽车电子：如用于点火控制、变速控制、防滑控制、防撞控制、燃烧控制、排气控制、计程计费器、防盗报警、电子地图、车载通信装置等。

(9) 军用电子：如用于智能武器、雷达系统、电子战斗机、导弹和鱼雷的精确制导系统等。

(10) 玩具：如用于智能玩具、遥控玩具、学习玩具、电子宠物、袖珍游戏机等。

据权威机构的调查，2000 年美国一般家用系统中应用单片机的数量已经达到 226 个；自动化办公室内有 42 个；典型的汽车电子系统中包括 35 个；一台微机系统中约嵌入 10 多片单片机；一辆 RMW-7 系列的宝马车中嵌入 63 片单片机。目前，单片机的产量正以每年 27% 的速度递增。2001 年，全世界单片机的年产量已经达到 70 亿片，我国大陆单片机的年需求量约为 6 亿片。尽管早已开发成功 16 位的高档单片机，但是在目前的单片机应用领域主要使用的仍然是 8 位单片机。2002 年 8 位单片机的销售额增长了 4.4%，高达 45 亿美元，占整个单片机销售额的 43% 和发货量的 60%。据 MOTOROLA 公司估计，到 2010 年全世界平均每人每天要接触到多达 351 片甚至更多的单片机。

单片机的应用领域，尤其是使用单片机的产品不胜枚举。需要指出，单片机的应用，不仅在于它的广泛范围和巨大的经济效益，更重要的是它从根本上改变了传统控制系统的设计思想和设计方法。过去必须由模拟电路和数字电路实现的大部分控制功能现在已经能够使用单片机通过软件方法实现了，而且这种替代还提高了系统性能，这种控制技术是一种全新的概念，称为微控制技术。随着单片机应用的推广普及，微控制技术必将不断发展和日趋完善，而单片机的应用也必将更加广泛、更加深入。

1.2 单片机的基本结构

在单片机应用系统中，单片机是为了满足对象系统的要求而嵌入其中的。嵌入到对象系统中的专用计算机系统称为嵌入式计算机系统，单片机应用系统是最典型的嵌入式系统。

1. 冯·诺依曼结构计算机

现代计算机的概念是美籍匈牙利数学家冯·诺依曼等人提出来的，60 年来，计算机科学技术获得了惊人的发展，但是，现代计算机仍然是冯·诺依曼结构的计算机，只是从当初的以运算器为核心过渡到现在的以存储器为核心，如图 1.1 所示。所谓以存储器为核心，是指输入器在控制器的控制下将原始数据和计算步骤输入存储器；控制器从存储器读出计算步骤；

控制器再控制运算器和存储器依次执行每一个计算步骤即每一条指令，并把计算结果存入存储器；最后由控制器控制输出器以各种方式从存储器输出计算结果。

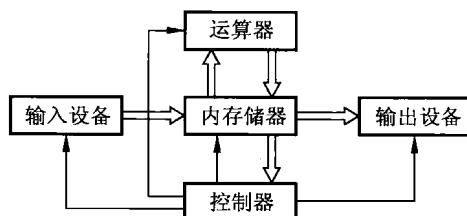


图 1.1 以存储器为核心的计算机基本组成框图

如图 1.1 所示，冯·诺依曼结构的计算机主要包括控制器、运算器、存储器、输入器和输出器五大部件，它们通过系统总线互相连接。控制器(Control Unit)和运算器(即算术逻辑单元 Arithmetic Logic Unit)合称为中央处理器(Central Processing Unit, CPU)；输入器和输出器合称为输入/输出设备，简称 I/O 设备。CPU、I/O 设备和主存储器是计算机的三大部分。CPU、主存储器和总线构成计算机的主体，称为“主机”，相对地把 I/O 设备和外存储器称为外部设备，简称“外设”。

2. 指令的执行过程

计算机的工作过程实际上就是快速地执行指令(即程序)并按照程序规定的操作对数据进行处理的过程。在计算机运行时，计算机内部有两种信息在流动：一种是数据信息；另一种是指令控制信息。数据信息包括原始数据、中间结果、结果数据以及源程序等。原始数据和源程序都存储在存储器中，然后分别读入运算器和指令寄存器，经过处理得到的结果数据，或者再存入存储器，或者从输出设备输出。指令控制信息是指控制器对指令进行分析解释后得出的控制命令，这些命令由控制器分别发给不同的部件，使各部件协调工作，共同完成指令规定的任务。

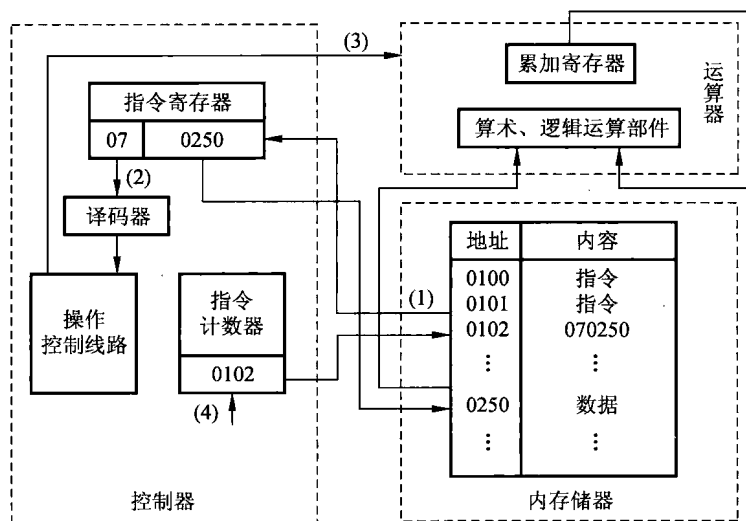


图 1.2 指令的执行过程

图 1.2 是指令执行过程的示意图,反映了数据信息、指令信息在控制器、运算器和存储器中的流动过程。原始数据和程序是存放在存储器中的,为了便于说明,图中数据以十进制表示,指令操作码和地址码用八进制表示。指令的执行过程包括以下 4 个步骤。

(1) 取指令。图中程序计数器中的地址为 0102,所以从内存地址 0102 中取出当前指令 070250,送往指令寄存器。

(2) 分析指令。在指令分析阶段,由译码器对指令中的操作码(即 07)进行分析,确定对操作数要进行何种操作;同时,根据指令中的地址码,确定操作数在 0250 中。

(3) 执行指令。指令分析结束后,由操作控制线路发出完成该操作所需要的一系列控制信息,实现该指令规定的操作,并且将处理结果或者再存入存储器,或者从输出设备输出。

(4) 准备执行下一条指令。一条指令执行完之后,一般使程序计数器增 1,以便顺序执行下一条指令。如果遇到转移指令,则将转移地址送入程序计数器,从而实现程序的转移。

3. 单片机的一般结构

单片机的一般结构如图 1.3 所示。与如图 1.1 所示的冯·诺依曼计算机结构相比较,CPU 对应控制器和运算器;ROM 和 RAM 对应存储器,分别存储程序和数据;I/O 则对应输入和输出设备,上述各部分通过总线实现信息传递。很容易看出,单片机仍然是属于冯·诺依曼结构的计算机。

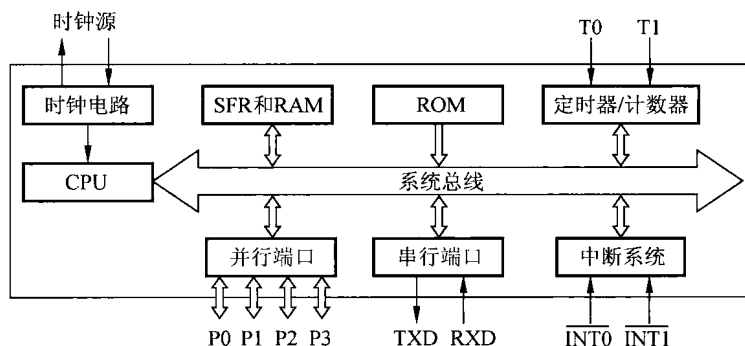


图 1.3 一般的单片机内部结构

当然,为了满足对象系统的要求,具体到某一种型号的单片机,其芯片内部集成的程序存储器 ROM 和数据存储器 RAM 的大小、输入/输出端口(I/O)的多少可能不同甚至相差非常大,但是 CPU 只有一个。此外,为了提高单片机的性能和扩展单片机的用途,制造厂通常将一些不同功能的专用模块如定时器/计数器、模—数转换器和数—模转换器(A/D 转换器和 D/A 转换器,简称为 ADC 和 DAC)、串行端口等也集成到单片机芯片内部,习惯上把这些模块和 I/O 端口统称为“外围模块”。

1.3 单片机的特点

与通用计算机相比,单片机除了具有体积小、价格低、性能强、速度快、用途广、使用灵活、工作可靠等一系列优点外,在硬件结构和指令设置方面还有许多适合组成嵌入式系统的独特的优点。

1. 程序存储器 ROM 和数据存储器 RAM 严格分工

在单片机中, ROM 作为程序存储器, 只存放程序、常数和常数表格; RAM 作为数据存储器, 存放系统采集到的变量数据和测量控制过程中产生或使用的临时数据。一般来说, ROM 的容量比较大, 可以固化(或称烧写)已经调试成功的程序, 掉电时程序不会丢失, 也不易遭到破坏, 从而确保了程序的安全性。测控系统的随机变量比较少, 运算中使用的临时数据也有限, 所以为了节省成本和提高操作速度, 单片机的数据存储器一般都比较少。不同型号单片机的 ROM 和 RAM 的容量差别很大, 用户应该从满足使用的需要出发, 选择足够的容量即可, 无须追求过多的空间。

2. 具有面向控制的指令系统

单片机是适应嵌入式系统的测量和控制的需要发展起来的, 在指令系统设计时, 考虑了测量和控制的需要, 例如, 位操作指令可以直接对 I/O 口的每一位进行操作, 非常有利于测量和控制的需要。

3. 多功能输入/输出(I/O)端口引脚

在测量控制系统中, 往往要从 I/O 口的某一个引脚输入一个模拟量或数字(开关)量, 或者从某一个引脚输出某个控制信号, 因此希望单片机有比较多的 I/O 引脚。为了减小单片机的体积, 降低价格, 芯片封装的引脚往往受到限制。为了解决 I/O 引脚数量少和实际需要中信号功能种类多的矛盾, 采用了“一脚多能”的复合方法, 即一条引脚可以满足多种功能, 在某个系统中究竟使用该引脚的何种功能, 可由用户通过程序设定。

4. 规格品种的系列化

嵌入式系统具有“嵌入性”、“专用性”和“计算机系统”3 个要素。所谓“嵌入性”, 是指必须满足对象系统的环境要求, 如物理环境(小型)、电气/气氛环境(可靠)、成本(价廉)等要求。所谓“专用性”, 是指软硬件的“裁剪性”, 以便满足对象要求的最小软硬件配置。在嵌入式系统中使用的计算机, 其软硬件配置够用即可, 无须有多余。

为了满足嵌入式系统的此种要求, 现在许多单片机厂商向用户推出了规格品种系列化的产品。同一系列不同型号的单片机, 通常具有相同的内核、相同或兼容的指令系统, 但是配置了不同种类或不同数量的功能部件或模块。例如, ROM 或 RAM 的种类或容量不同, I/O 引脚的数量和功能不同, 定时器/计数器的数量不同, 中断源的数量不同, 有/无 ADC 及 ADC 的模拟量输入通道的数量或转换结果的位数不同, 有/无看门狗等。

5. 单片机的硬件功能具有广泛的通用性

同一种单片机配备了不同的软件, 就可以实现不同的功能, 组成不同的测量控制系统, 可见单片机的硬件功能具有广泛的通用性。

1.4 单片机的发展过程

1. 现代计算机技术的两大分支

1) 嵌入式应用始于微型机时代

电子数字计算机在 1946 年诞生之后的很长一段时间里,始终是供养在特殊的机房中实现数值计算的大型昂贵设备。直到 20 世纪 70 年代,微处理器的出现才使计算机出现了历史性的变化。以微处理器为核心的微型计算机以其小型、价廉、高可靠性等特点,迅速走出机房;基于高速数值解算能力的微型机,表现出的智能化水平引起了控制专业人士的兴趣,微型机嵌入到一个对象体系中,实现了对象体系的智能化控制。例如,将微型计算机经电气加固、机械加固,并配置各种外围接口电路,安装到大型舰船中构成自动驾驶仪或轮机状态监测系统。这样一来,计算机失去了原来的形态与通用的功能。为了有别于通用计算机系统,把嵌入到对象体系中实现对象体系智能化控制的计算机,称做嵌入式计算机系统。

2) 现代计算机技术的两大分支

由于嵌入式计算机系统要嵌入到对象系统中,实现对象要求的智能化控制,包括数据采集、分析处理、状态显示、输出控制等,因此它与通用计算机系统有着完全不同的技术要求和技术发展方向。嵌入式计算机系统的出现和发展使现代计算机技术的发展形成了两大技术分支:通用计算机系统和嵌入式计算机系统。

通用计算机系统的技术要求是高速、海量的数值计算;技术的发展方向是总线速度的无限提升,存储容量的无限扩大。嵌入式计算机系统的技术要求是对象的智能化控制能力;技术发展方向是与对象系统密切相关的嵌入性能、控制能力和控制的可靠性。

早期,人们勉为其难地将通用计算机系统进行改装,在大型设备中实现嵌入式应用。然而,众多的对象系统(如家用电器、仪器仪表、工控单元……)无法嵌入通用计算机系统,况且嵌入式系统与通用计算机系统的技术发展方向完全不同。因此,必须独立地发展通用计算机系统与嵌入式计算机系统,从而形成了现代计算机技术发展的两大分支。

2. 单片机发展的两种模式

1974 年,美国仙童(Firchild)公司研制了世界第一台单片微型机 F8。该机由两块集成电路芯片组成,结构奇特,具有与众不同的指令系统,深受民用电器领域和仪器仪表领域的欢迎和重视。从此,单片机开始迅速发展,应用领域也在不断扩大。

在探索单片机的发展道路时,有过两种模式,即“ Σ 模式”和“创新模式”。“ Σ 模式”本质上是通用计算机直接芯片化的模式,它将通用计算机系统中的基本单元进行裁剪后,集成到一块芯片上。“创新模式”完全从嵌入式应用的要求出发设计全新的、满足嵌入式应用要求的体系结构、微处理器、指令系统、总线方式、管理模式等。Intel 公司的 MCS48、MCS51 就是按照创新模式发展起来的单片微型计算机。

3. 单片机发展的三大阶段

从 20 世纪 70 年代诞生以来,单片机的发展经历了 SCM、MCU 和 SoC 三大阶段。

1) SCM 阶段

SCM 阶段即单片微型计算机(Single Chip Microcomputer)阶段, 主要是寻求最佳的单片形态作为嵌入式系统的最佳体系结构。“创新模式”的成功奠定了 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的道路上, Intel 公司功不可没。

2) MCU 阶段

MCU 阶段即微控制器(Micro Controller Unit)阶段。该阶段主要的技术发展方向: 不断扩展满足嵌入式应用中对象系统要求的各种外围电路与接口电路, 尤其是对对象的智能化控制能力。MCU 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、电子技术厂家身上。从这一角度来看, Intel 逐渐淡出 MCU 的发展也有其客观方面的原因。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到了微控制器。

3) SoC 阶段

SoC(System on Chip)可以译为“系统集成芯片”, 意指它是一个产品, 是一个有专用目标的集成电路, 其中包含完整系统并有嵌入软件的全部内容; SoC 也可以译为“系统芯片集成”, 意指它是一种技术, 用以实现从确定系统功能开始, 到软/硬件划分, 并完成设计的整个过程。

单片机是嵌入式系统的独立发展之路, 从 SCM 向 MCU 阶段发展的一个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 化趋势。可以说基于单片机的嵌入式系统是 SoC 的最初形式。有些单片机系统, 如家电控制器等, 有着非常广阔的市场。将这种单片机实现系统集成, 把所用的微处理器和外围电路集成为一个芯片, 不仅可以降低成本, 提高可靠性, 同时还有利于保护知识产权, 这就是 SoC 的最初形式。

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。因此, 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。

1.5 单片机应用系统开发与开发工具

1. 嵌入式系统的两种应用模式

嵌入式系统的嵌入式应用特点, 决定了它多学科交叉的特点, 在嵌入式系统发展的历史过程中, 以及嵌入式应用的多样性中, 具有两种应用模式。

1) 客观存在的两种应用模式

嵌入式计算机系统起源于微型机时代, 但很快就进入到了独立发展的单片机时代。当时, 嵌入式系统以器件形态迅速进入传统电子技术领域中, 以电子技术应用工程师为主体, 实现传统电子系统的智能化, 而计算机专业队伍并没有真正进入单片机应用领域。电子技术应用工程师以自己习惯的电子技术应用模式从事单片机的应用开发。这种应用模式最重要的特点: 软、硬件的底层性和随意性; 与对象系统的专业技术的密切相关性; 缺少计算机工程设计方法。