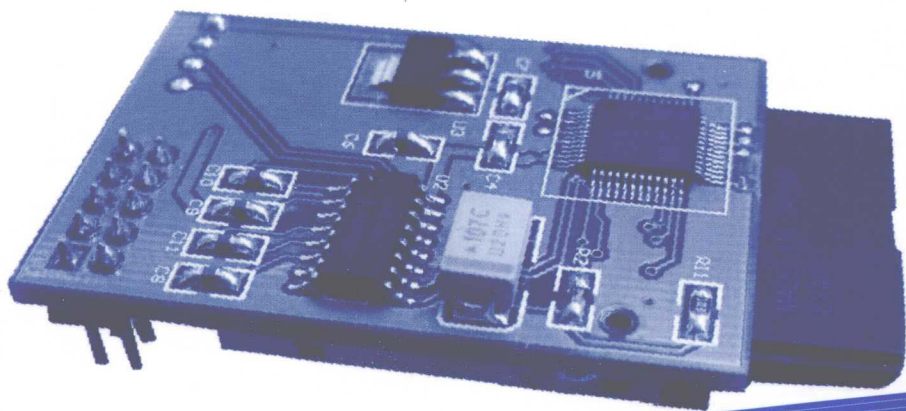


21世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材



单片机开发入门及应用实例

主 编 熊华波



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材

单片机开发入门及应用实例

主 编 熊华波
副主编 蒋 然 李 琦
主 审 李源生



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据首批国家示范性高职建设院校的课程建设要求,以培养高素质高技能型人才为指导思想,结合现代单片机技术的发展趋势而编写的。

本书以单片机开发实例——带语音播报的温度自动测量仪为主线展开内容,内容包括:单片机基础、单片机编程基础、并行输入/输出接口的使用、SPCE061A的定时器/计数器的使用、SPCE061A的ADC/DAC的使用、UART的使用、单片机语音基础及LCD显示共7章,每章中附有多个开发实例。书中还编有教学目标、教学要求、引例、特别提示、知识链接、应用案例、综合应用实例等,方便教师教学和学生自学。本书实例丰富、代表性强,每个例子都调试通过,都有具体的设计思路、软件设计以及程序代码分析,对于读者学习单片机的应用开发提供了良好的参考和指导价值。

本书语言简洁,层次清晰,简单易学、易懂。本书适合高职高专院校计算机、自动化、电子信息等相关专业的学生选用学习,同时也可供热爱单片机开发的人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

单片机开发入门及应用实例/熊华波主编. —北京:北京大学出版社,2011.1

(21世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材)

ISBN 978-7-301-17958-1

I. ①单… II. ①熊… III. ①单片微型计算机—系统开发—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TP 368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第203830号

书 名:单片机开发入门及应用实例

著作责任者:熊华波 主编

策 划 编 辑:赖 青 张永见

责 任 编 辑:李娉婷

标 准 书 号:ISBN 978-7-301-17958-1/TN·0063

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:河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者:北京大学出版社

经 销 者:新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 16.25印张 376千字

2011年1月第1版 2011年1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

前 言

随着科学技术的日新月异，单片机也从一开始的 8 位单片机发展到 16 位、32 位等诸多系列，其应用领域也逐渐地由传统的控制，扩展为控制处理、数据处理以及数字信号处理（Digital Signal Processing, DSP）等领域。凌阳的 16 位单片机就是为适应这种发展而设计的。

单片机系统的开发是硬件、软件相结合的过程。要完成单片机系统的开发，不仅需要掌握编程技术，还需要针对实际应用选择合理的单片机芯片和外围器件，并以此为基础，设计硬件电路。事实证明，通过具体的实例来学习单片机系统的开发是一条科学的途径，本书的编写，旨在通过介绍各种典型的单片机系统的开发实例来为读者提供开发单片机系统的一条“捷径”。

本书是教育部“十一五”规划课题 FJB080593 子课题的一部分，并根据国家示范性高职院校建设院校的课程建设要求，以培养高素质高技能型人才，结合现代单片机技术的发展趋势而编写的。本书在理论上以够用为度，注重培养学生的实践能力，书中选取了大量常用的应用实例，供教学演示和学生动手实践，突出高职高专的教育特色。

本书以单片机开发实例——带语音播报的温度自动测量仪为主线展开内容，内容包括：单片机基础、单片机编程基础、并行输入/输出接口的使用、SPCE061A 的定时器/计数器的使用、SPCE061A 的 ADC/ DAC 的使用、UART 的使用、单片机语音基础及 LCD 显示共 7 章，每章中附有多个开发实例。书中还编有教学目标、教学要求、引例、特别提示、知识链接、应用案例、综合应用实例等，方便教师教学和学生自学。本书实例丰富、代表性强，每个例子都调试通过，都有具体的设计思路、软件设计以及程序代码分析，对于读者学习单片机的应用开发提供了良好的参考和指导价值。

本书由辽宁省交通高等专科学校熊华波任主编，由辽宁省交通高等专科学校李源生教授主审。本书编写分工如下：北京体育大学李琦编写第 1、2 章，辽宁省交通高等专科学校蒋然编写第 3、4 章，熊华波编写第 5~7 章。另外，张萍同志在资料收集、整理方面做了大量的工作，在此表示感谢！

由于示范性高职院校的课程建设还不够完善，加之编者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2010 年 11 月

目 录

第 1 章 单片机基础 1

1.1 单片机的概念	3
1.2 单片机的应用	4
1.3 单片机的发展历史及产品类型	5
1.4 单片机的结构组成和工作原理	6
1.4.1 单片机的结构	6
1.4.2 中央处理器	8
1.4.3 存储器	9
1.4.4 信息在计算机中的表示和 存储	10
1.5 单片机指令系统与编程语言	12
1.6 计算机中的数制与码制	13
1.6.1 数制的概念	13
1.6.2 数的位权概念	14
1.6.3 数制之间的转换	14
1.7 认识凌阳单片机	16
1.7.1 总述	16
1.7.2 芯片的引脚排列和说明	17
1.7.3 SPCE061A 最小系统	19
1.7.4 SPCE061A 的复位电路	20
1.7.5 SPCE061A 开发方法	21
1.7.6 SPCE061A 单片机的内部 结构	22
1.7.7 SPCE061A 单片机的内核 架构	23
小结	27
习题	27

第 2 章 单片机编程基础 29

2.1 指令和程序	31
2.2 编写第一个程序	31
2.2.1 如何开始主函数	32
2.2.2 变量和常量的定义	33
2.2.3 基本运算	35

2.2.4 循环和选择程序编写	48
-----------------------	----

2.2.5 单片机中实现 1~100

相加	52
----------	----

2.3 程序的编制调试	55
-------------------	----

小结	63
----------	----

习题	64
----------	----

第 3 章 并行输入/输出接口的使用 65

3.1 I/O 端口结构	70
3.2 输入/输出接口的使用	73
3.3 输入/输出接口的使用实例一	75
3.4 输入/输出接口的使用实例二	78
3.5 输入/输出接口的使用实例三	81
3.6 输入/输出接口的使用实例四	85
3.7 输入/输出接口的使用实例五	89
3.8 单片机的 C 语言编程	94
小结	98
习题	99

第 4 章 SPCE061A 的定时器/计数器的

使用 100

4.1 定时器原理	102
4.2 定时器的应用	107
4.3 定时中断	109
4.3.1 中断相关概念	109
4.3.2 定时器中断	110
4.4 时基中断	117
4.5 计数器功能	124
4.6 综合应用——用数码管显示任意 数字	126
4.6.1 显示数据的处理	126
4.6.2 显示程序的编写	130
小结	137
习题	138

第5章 SPCE061A 的 ADC/DAC 的**使用** 139

5.1 ADC/DAC 概述 141

5.2 SPCE061A 中 DAC 的使用 142

5.2.1 DAC 的基本原理 142

5.2.2 DAC 的主要技术
指标 1465.2.3 SPCE061A 中 DAC 的
使用 148

5.3 SPCE061A 中 ADC 的使用 151

5.3.1 ADC 的基本原理 152

5.3.2 LINE_IN 通道方式
ADC 的使用 153

5.4 综合应用——简易数字电压表 ... 158

5.4.1 数字仪表概况 158

5.4.2 数字电压表 159

5.5 温度采集系统 164

5.5.1 温度传感器介绍 164

5.5.2 温度信号的变换 168

5.5.3 温度转换实现 168

小结 175**习题** 175**第6章 UART 的使用** 177

6.1 串行通信基础知识 182

6.1.1 串行通信的分类 182

6.1.2 串行通信的3种方式 186

6.1.3 错误检验 186

6.2 SPCE061A 单片机 UART 通信

电路 188

6.3 SPCE061A 单片机 UART 的

使用 189

6.3.1 SPCE061A 单片机 UART
的控制寄存器 189

6.3.2 UART 的使用 191

6.4 串行通信的综合应用——实现双机
通信 194**小结** 202**习题** 202**第7章 单片机语音基础及****LCD 显示** 204

7.1 语音基础知识 205

7.1.1 音频的概述 206

7.1.2 数字音频的采样和
量化 206

7.1.3 音频格式的介绍 207

7.1.4 语音压缩编码基础 208

7.1.5 语音合成和辨识技术 210

7.2 凌阳语音播放 211

7.2.1 A2000 和 S480 相关语音
函数 211

7.2.2 语音播放实例 213

7.3 液晶显示 227

7.3.1 SPLC501 液晶显示
基础 227

7.3.2 液晶显示实例 231

7.4 综合应用——带语音播报的温度
自动测量仪 240**小结** 247**习题** 248**参考文献** 249

第1章

单片机基础

教学目标

通过学习单片机的基础知识，掌握单片机的概念、工作原理、基本构成、发展历史、分类、应用范围等；掌握单片机编程语言的种类及各自的特点；掌握计算机中的数制及相互转换；认识凌阳单片机；掌握凌阳单片机最小系统的组成。

教学要求

能力目标	知识要点	权重	自测分数
掌握单片机的基础知识	单片机的概念、工作原理、基本构成、发展历史、分类、应用范围、编程语言	40%	
掌握几种数制及其相互转换	数制及相互转换；二进制，十进制，十六进制	20%	
认识凌阳单片机	凌阳单片机内部结构；芯片引脚；单片机最小系统，时钟信号、复位信号	40%	



单片机产品实例：公交车报站器

在 20 世纪时，世界已经跨越了 3 个“电”的时代，即电气时代、电子时代和现已进入的电脑时代。不过，这种电脑，通常是指个人计算机，简称 PC。它由主机、键盘、显示器等组成。还有一类计算机，大多数人却不怎么熟悉。这种计算机就是把智能赋予各种机械的单片机。顾名思义，这种计算机的最小系统只用了一片集成电路，即可进行运算和控制。因为它体积小，通常都藏在被控机械的“肚子”里。它在整个装置中，起着有如人类头脑的作用，它出了毛病，整个装置就瘫痪了。

如果你是第一次接触单片机，可能会对单片机感到很陌生。但单片机却时时刻刻在我们的身边存在，例如在坐公交车时，都听到过车上的报站声音，其实公交车报站器就是一种单片机产品。一些高级的公交车报站器是以单片机为控制核心，结合 GPS(全球定位系统)，对车辆的运行状态(位置、方向、速度、时间等)进行实时采集，对数据进行分析，当车辆达到预定位置时，通过语音功能进行播报站名、音乐、广告、提示语、时间等信息，并在 LED(发光二极管)点阵上显示，实现全自动报站功能。当然如果考虑成本以及运行的可靠性，可以省去 GPS，这时由司机根据车辆运行情况，通过键盘操作进行手动报站。

图 1.1 所示是公交车报站器的示意图，系统以凌阳 16 位单片机 SPCE061A 为控制核心，可以划分为键盘输入(接收司机发出的报站指令)、数码管显示(显示所报站名、日期时间、行进方向等信息)、SPR4096 资源存储(语音资源存储，相当于计算机上的硬盘或 U 盘等存储介质)与 61 板(凌阳单片机的一种单片机开发板，是以单片机为核心构成的控制电路)语音播报等部分。61 板是整个系统的控制核心，并且负责语音的输出。

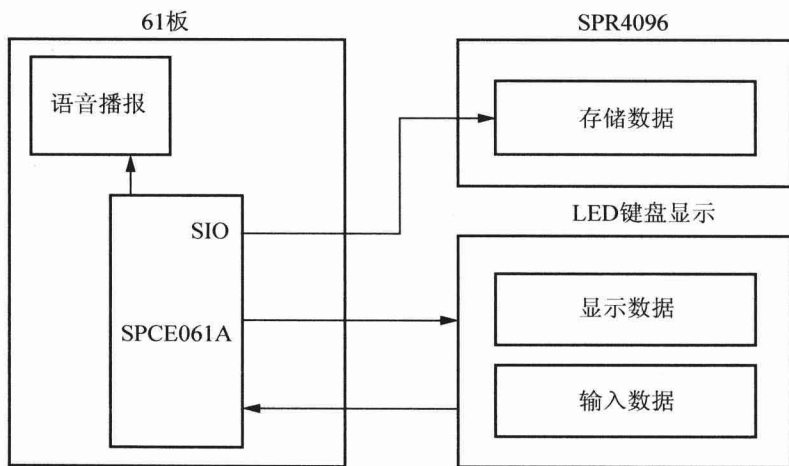


图 1.1 单片机构成的语音报站器示意图

上面介绍了一种单片机产品，日常生活中我们能接触到的单片机产品还有很多，如今天每个人都很熟悉的嵌入式电子设备——电饭煲、空调、洗衣机、热水器、遥控多功能电风扇、冰箱、电视、DVD 播放机、MP3 播放机、充电器、手机、汽车、电动自行车、电梯、飞机、火车等都采用了不同性能档次、不同温度范围和不同成本等级的单片机，而且它的应用范畴还在不断地延伸到很多我们以前想都想不到的领域。一般来说，现代都市生活每天都要接触或使用超过 100 种采用单片机的产品，不信我们可以来看一下：

从一大早把你从睡梦中唤醒的数字闹钟算起，起床后你很可能会使用电动牙刷，很多





人还习惯冲个澡清醒一下，冲完澡后你一般会用电动干发机吹干头发，用电动剃须刀刮刮胡须，然后准备吃早餐，此时你一般会用咖啡机冲杯咖啡，用烤面包机烤几块面包，打开水过滤系统，用电饭煲煮点粥，再从冰箱里拿出鸡蛋，用电动搅拌器打稀，再拿到微波炉里蒸一下就可以享用一顿丰盛的早餐了。

吃完早餐你就该上班了，当你用车钥匙遥控打开汽车门坐进你的爱车的时候，你可曾想到已经有 50 颗左右的单片机在准备为你服务，它们控制着倒车雷达或倒车语音提示器、前后车灯、刮水器、安全气囊、发动机、ABS、牵引系统、电动助力转向、电子消声器、滑动传感器、窗门开启和关闭、座位调整、车内温度、车速 / 油箱指示、转向灯以及胎压监测等。等到一切准备就绪，你就可用遥控器打开自家车库大门，然后开车上路。此时你一路上会遇到很多自动交通信号灯、雷达测速、红灯监视器、交通流量监测器、电子路标、自动街灯、加油机、收加油款的 POS 终端以及自动支付隧道、桥梁和高速公路使用费的交通卡。

当你到达办公楼时，你会看到夜晚使用的射灯、简洁的荧光灯、电子出口标志和备用灯、紧急照明灯，以及可随外界光线明暗程度自动调节亮度的办公照明系统。当你使用电梯时，电梯的控制、运行和提示也是采用单片机来实现的。今天的电表、水表和煤气 / 天然气表也大都采用单片机来实现自动抄表和计费。你会使用到吸尘器、洗衣机和干衣机，你一般也会为你的办公 / 家用计算机安装不间断电源。

当筋疲力尽回到家时，你很可能想在电动按摩椅上放松一下，并用遥控电风扇加速房间里的空气对流。你也可能想做一些家庭护理，如用电子血压计量一下自己的血压，用电子体温计量一下自己的体温，用电子称测一下自己的体重，用血糖仪测一下自己血液中的糖分，如有偏头痛现象发生还可利用偏头痛减轻仪缓解一下痛苦。

晚上睡觉时你可用电动窗帘机自动关窗帘，冬天睡觉时可开启电热毯，用自动调温 / 调湿器调节室内温度和湿度，用空气净化器吸收你房间里的各种有毒气体，用遥控器自动关灯 / 关门，用电子驱蚊器驱赶蚊虫，用一氧化碳检测仪、烟雾检测器和控制系统、摄像监控报警系统保障你的家人和家庭的生命财产安全，甚至启动防夜游管理系统自动锁死各道房门。

生活中处处都能接触到单片机，单片机究竟是什么？它由哪些部分组成？它是如何工作的？下面就针对这些内容加以介绍。

1.1 单片机的概念

单片机的全称是单芯片计算机(Single Chip Microcomputer)，又称单芯片微控制器(Micro Controller Unit, MCU)。它把一个计算机系统集成到一个芯片上，简单地说，一个芯片就可以成为一台完整的计算机系统。在早期的单片机中集成了处理器(控制器)，输入 / 输出接口(I/O)，RAM，ROM，定时器 / 计数器等部件的电子器件，构成一个最小的计算机系统。现在的单片机，芯片内还集成了 Flash(闪存)，PWM(脉冲宽度调制)，A/D(模数转换)、D/A(数模转换)，UART(串行异步通信)等多种常用功能部件，功能强大且易于使用。另外芯片中还集成了固定的程序用于处理特定的问题，例如一个计算器是一个单片机系统，一台洗衣机是一个单片机系统，一个照相机是一个单片机系统，一个机械臂也是一个单片机系统。现在比较流行的单片机有 51 系列，intel 系列，AVR 系列，凌阳系列，等等。



单片机到底是什么呢？就是一台计算机，只不过是微型的，麻雀虽小，但五脏俱全。它内部也有和计算机功能类似的模块，例如 CPU，内存，并行总线，还有和硬盘作用相同的存储器件，不同的是它的这些部件性能都相对家用计算机弱很多，不过价钱也较低，一般不超过 10 元，用它来做一些控制电器一类不很复杂的工作足够了。它主要是作为控制部分的核心部件。单片机是一种在线式实时控制计算机，在线式就是现场控制，需要有很高的工作稳定性、较低的成本，这也是和离线式计算机(如家用 PC)的主要区别。

计算机系统包括了软、硬件系统，硬件必须和软件配合使用。而单片机是要靠程序的，并且可以修改，通过不同的程序实现不同的功能，尤其是一些独特的功能。这些独特的功能是别的器件需要费很大力气才能做到的，有些则是花大力气也很难做到的。一个不是很复杂的功能要是用美国 20 世纪 50 年代开发的 74 系列，或者 60 年代的 CD4000 系列这些纯硬件来实现的话，电路一定是一块大的 PCB(印制电路板)板！但是如果用美国 70 年代成功投放市场的系列单片机，结果就会有天壤之别！这是因为单片机通过人们编写的程序可以实现高智能，高效率，以及高可靠性！

1.2 单片机的应用

单片机的用处非常多，生活在现代城市中，你肯定离不开单片机，早些年，我们的前辈要开发一个简单的逻辑控制产品，需要用到很多的分离器件，这样不仅麻烦，而且可靠性不高，现在用一枚几块钱的单片机便能轻松搞定。单片机由于有极高的可靠性、微型性和智能性(只要编写不同的程序后就能够完成不同的控制工作)，已成为工业控制领域中普遍采用的智能化控制工具，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。如导弹的导航装置，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 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。以下是一些应用举例：

(1) 智能产品：单片机微处理器与传统的机械产品相结合，使传统机械产品结构简化、控制智能化，构成新一代的机电一体化的产品。例如，传真打字机采用单片机，可以取代近千个机械器件；缝纫机采用单片机控制，可执行多功能自动操作、自动调速、控制缝纫花样的选择。

(2) 智能仪表：用单片机微处理器改良原有的测量、控制仪表，能使仪表数字化、智能化、多功能化、综合化。而测量仪器中的误差修正、线性化等问题也可迎刃而解。

(3) 测控系统：用单片机微处理器可以设计各种工业控制系统、环境控制系统、数据控制系统，例如温室人工气候控制、水闸自动控制、电镀生产线自动控制、汽轮机电液调节系统等。

(4) 数控型控制机：在目前数字控制系统的简易控制机中，采用单片机可提高可靠性，增强其功能、降低成本。例如在两坐标的连续控制系统中，用 8051 单片机微处理器组成的系统代替 Z-80 组台系统，在完成同样功能的条件下，其程序长度可减少 50%，提高了执行速度。数控型控制机采用单片机后可能改变其结构模式，例如使控制机与伺服控制分开，用单片机构成的步进电机控制器可减轻数控型控制机的负担。



(5) 智能接口：微型计算机系统，特别是在较大型的工业测控系统中，除外围装置(打印机、键盘、磁盘、CRT)外，还有许多外部通信、采集、多路分配管理、驱动控制等接口。这些外围装置与接口如果完全由主机进行管理，势必造成主机负担过重，降低执行速度，如果采用单片机进行接口的控制与管理，单片机微处理器与主机可并行工作，大大地提高了系统的执行速度。如在大型数据采集系统中，用单片机对模拟 / 数字转换接口进行控制不仅可提高采集速度，还可对数据进行预先处理，如数字滤波、线性化处理、误差修正等。在通信接口中采用单片机可对数据进行编码译码、分配管理、接收 / 发送控制等。



特别提示

- 单片机的应用领域可以归纳为以下几个方面：
 - (1) 单片机在智能仪器仪表中的应用；
 - (2) 单片机在工业测控中的应用；
 - (3) 单片机在计算机网络和通信技术中的应用；
 - (4) 单片机在日常生活及家电中的应用；
 - (5) 单片机在办公自动化方面。

1.3 单片机的发展历史及产品类型

单片机是随着电子计算机的发展而产生的，我们一起回忆一下电子计算机的发展过程，电子计算机的发展大致已经历了以下四代。

第一代——电子管时代，其发展年代大约在 1946—1958 年。世界上公认的第一台电子计算机是 1946 年由宾夕法尼亚大学研制出来的。这台计算机使用了 18000 个电子管，1500 个继电器，占地面积为 150m²，质量为 30t，功率达 140kW，花费资金 100 多万美元。它的运算速度却只有 5000 次 /s。但它的发明奠定了以后计算机发展的基础。当时的计算机软件主要用机器语言编制程序，其用途主要用于科学计算。

第二代——晶体管时代，其发展年代大约在 1958—1964 年，计算机的逻辑元件为晶体管。软件有了很大发展，开始使用各种高级语言编制程序。计算机的应用已发展至各种事物的数据处理，并开始用于工业控制。

第三代——集成电路时代，其发展年代大约在 1964—1971 年。此时计算机的逻辑元件为小规模集成电路 (SSI) 和中规模集成电路 (MSI)。软件方面已出现了分时操作系统，会话式的高级语言也有了相当发展。计算机的应用已开始用于企事业管理与工业控制。

第四代——大规模集成电路时代，是从 1971 年以后发展起来的。计算机的逻辑元件为大规模集成电路 (LSI)。软件性能也有极大的提高，计算机应用也进入了网络时代。

随着社会的发展和需求的提高，计算机也在不断地更新与发展。由于计算机是应数值计算而产生的，因此长期以来电子计算机技术都是随着满足大量高速数值计算而发展的，直到 20 世纪 70 年代，电子计算机在数字逻辑运算、推理、自动控制等方面显露出非凡的功能后，在各种控制领域开始对计算机技术发展提出了与传统大量高速计算完全不同的要求。这些要求是：面对控制对象、面对各种传感器信号、面对人机交互操作控制、能方便地嵌入工控应用系统中等。



为了实现上述要求,单片微型计算机(简称单片机)应运而生。单片机又称“微控制器”、“嵌入式微控制器”。单片机一词最初是源于“Single Chip Microcomputer”,简称SCM。在单片机诞生时,SCM是一个准确、流行的称谓,“单片机”一词准确地表达了这一概念。随着SCM在技术上、体系结构上不断扩展其控制功能,单片机已不能用“单片微型计算机”来准确表达其内涵。国际上逐渐采用“MCU”(Micro Controller Unit)来代替,形成了单片机界公认的、最终统一的名词。在国内因为“单片机”一词已约定俗成,故而继续沿用。1976年,intel公司首先推出了MCS-48系列的单片微型计算机。

单片机的发展历史大致可分为三个阶段。

第一阶段(1976—1978年):以intel公司的MCS-48系列为代表,此单片微型计算机具有8位CPU、并行I/O端口、8位时序同步计数器,寻址范围不大于4KB,没有串口。

第二阶段(1978—1982年):高性能单片微型计算机阶段,如intel公司的MCS-51系列、Motorola公司的6801和Zilog公司的Z-8等。该类单片微型计算机具有串口、多级中断处理系统和16位时序同步计数器,RAM、ROM容量加大,寻址范围可达64KB,有的芯片还有A/D转换接口。

intel公司开发的MCS-51系列单片机,其代表芯片包括8051、8031、8052、8032、8751和8752,这些统称为51系列单片机。

世界各地厂商研制多个品种的单片机产品,其中有Motorola公司的6801、6802,Zilog公司的Z-8系列,Rockwell公司的6501、6502等。

第三阶段(1982年至今):8位单片微型计算机改良型及16与32位单片微型计算机阶段,如intel公司的16位单片机MCS-96系列,凌阳公司的SPCE系列,32位单片机ARM系列。

本书主要介绍我国台湾凌阳公司生产的单片机,主要因为其具有高速度、低价、可靠、实用、体积小、功耗低和简单易学等特点。像SPCE061A型单片机内嵌32K字闪存Flash,处理速度高,尤其适用于数字语音播报和识别等应用领域,是数字语音识别与语音信号处理的理想产品,得到了广泛的应用。凌阳SPMC75系列单片机是凌阳科技开发的具自主知识产权的16位微控制器(单片机),它集成了能产生变频电机驱动的PWM发生器、多功能捕获比较模块、BLDC电机驱动专用位置检测接口、两相增量编码器接口等硬件模块;以及多功能I/O接口、同步和异步串行口、ADC(模数转换器)、定时计数器等功能模块。利用这些硬件模块支持,SPMC75可以完成诸如家电用变频驱动器、标准工业变频驱动器、多环伺服驱动系统等复杂应用。

1.4 单片机的结构组成和工作原理

1.4.1 单片机的结构

单片机由中央处理器(又称微处理器,包括运算器和控制器)、存储器、输入/输出接口电路、输入设备和输出设备组成,如图1.2所示,它们之间由总线(bus)连接进行信息传输。

先来做个比喻,CPU好比人体的“大脑”,计算机大大小小的指令都通过它来执行;存储器记录着计算机需要执行的程序和需要处理的各种数据;输入设备负责将需要处理的数据输入“大脑”;输出设备将处理好的数据输出给外围设备(与计算机相连的其他设备);计算机“器官”与“器官”之间的数据传输,是通过总线来完成的,就像人体的养分



靠血管输送一般。

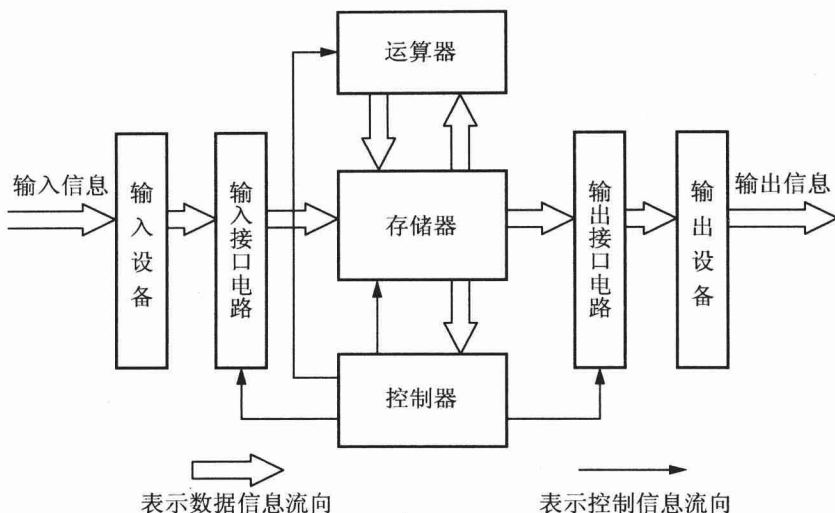


图 1.2 单片机的基本结构组成

单片机的工作过程实质上是执行程序的过程，单片机系统上电后，在程序计数器 PC 的控制下，按一定的顺序从程序存储器(ROM 或 EEPROM)中取出指令，经控制器分析后，送相应的部件执行。也就是说，单片机的工作过程是周而复始地取指令、分析指令和执行指令的过程。

以打算盘为例计算一道算术题。例： $36 + 163 \times 156 - 166 \div 34$ 。现在要进行运算，首先需要一把算盘，其次是纸和笔。把要计算的问题记录下来，然后第一步先算 163×156 ，把它与 36 相加的结果记在纸上，然后计算 $166 \div 34$ ，再把它从上一次结果中减去，就得到最后的结果。

现在，用单片机来完成上述过程，显然，首先要有代替算盘进行运算的部件，这就是“运算器”；其次，要有能起到纸和笔作用的器件，即能记忆原始题目、原始数据和中间结果，还要记住使单片机能自动进行运算而编制的各种命令，这类器件就称为“存储器”。此外，还需要有能代替人作用的控制器，它能根据事先给定的命令发出各种控制信号，使整个计算过程能一步一步地进行。但是只有这 3 部分还不够，原始的数据与命令要输入，计算的结果要输出，都需要按先后顺序进行，有时还需等待。当在计算 163×156 时，数字 36 就不能同时进入运算器。因此就需要在单片机上设置按控制器的命令进行动作的“门”，当运算器需要时，让新数据进入，或者，当运算器得到最后结果时，再将此结果输出，而中间结果不能随便“溜出”单片机。这种对输入、输出数据进行一定管理的“门”电路在单片机中称为“口”(port)。在单片机中，基本上有 3 类信息在流动，第一类是数据，即各种原始数据(如上例中的 36、163 等)、中间结果(如 $166 \div 34$ 所得的商 4、余数 30 等)、程序(命令的集合)等。这样要由外围设备通过“口”进入单片机，再存放在存储器中，在运算处理过程中，数据从存储器读入运算器进行运算，运算的中间结果要存入存储器中，或最后由运算器经“出入口”输出。用户要单片机执行的各种命令(程序)也以数据的形式由存储器送入控制器，由控制器解读(译码)后变为各种控制信号，以便执行如加、减、乘、除等功能的各种命令。所以，这一类信息是第二类信息，称为控制命令，即由控制器控制

运算器一步一步地进行运算和处理,又控制存储器的读(取出数据)和写(存入数据)等。第三类信息是地址信息,其作用是告诉运算器和控制器到何处取命令、取数据,将结果存放到什么地方,通过哪个口输入和输出信息等。

存储器又分为只读存储器(ROM)和随机存取存储器(RAM)两种,前者存放调试好的固定程序和常数,后者存放一些随时有可能变动的数据。顾名思义,只读存储器一旦将数据存入,就只能读出,不能更改(EPROM、EEPROM等类型的ROM可通过一定的方法来更改、写入数据)。而随机存取存储器可随时存入或读出数据。

实际上,人们往往把运算器和控制器合并称为中央处理单元——CPU。单片机除了进行运算外,还要完成控制功能,所以离不开计数和定时。因此,在单片机中就设置有定时器兼计数器。到这里为止,我们已经知道了单片机的基本组成,即单片机是由中央处理器(即CPU中的运算器和控制器)、只读存储器(通常表示为ROM)、读写存储器(又称随机存储器,通常表示为RAM)、输入/输出(又分为并行口和串行口,表示为I/O口)等组成。实际上单片机里面还有一个时钟电路,使单片机在进行运算和控制时,都能有节奏地进行。另外,还有所谓的“中断系统”,这个系统有“传达室”的作用,当单片机控制对象的参数到达某个需要加以干预的状态时,就可经此“传达室”通报给CPU,使CPU根据外部事态的轻重缓急来采取适当的应付措施。

现在,已经知道了单片机的组成,余下的问题是如何将它们各部分连接成相互关联的整体呢?实际上,单片机内部有一条将它们连接起来的“纽带”,即所谓的“内部总线”。此总线有如大城市的“干道”,而CPU、ROM、RAM、I/O口、中断系统等就分布在此“总线”的两旁,并和它连通。从而,一切指令、数据都可经内部总线传送,有如大城市内各种物品的传送都经过干道一样。

下面具体来了解CPU和存储器。

1.4.2 中央处理器

中央处理器又称内核,由两大部分组成:运算器和控制器,如图1.3所示。运算器包括完成二进制的算术/逻辑运算部件(ALU)、累加器、暂存器、程序状态字(PSW)以及通用寄存器,主要完成运算由控制器提供的数据,并受控制器的控制。累加器和暂存器是CPU中工作最频繁的寄存器。在进行算术、逻辑运算时,往往在运算前暂存一个操作数(如被加数),而运算后又保存其结果(如代数),这时都要用到累加器和暂存器。标志寄存器PSW用来存放运算结果的一些特征,如有无进位、借位等。通用寄存器R1~R5可用于数据运算或传送的来源及目标寄存器。

控制器负责从程序存储器(ROM)中取指令和数据,并对指令进行译码,同时还从数据存储器RAM中取出数据,提供给运算器,并控制运算器完成预定的运算,且运算结果会由控制器进行分配,控制后续程序的执行,或提供数据给后续的运算等。

控制器是CPU的神经中枢,它包括时序部件、操作控制逻辑电路、指令寄存器、译码器及程序计数器PC等。这里程序计数器PC是由16位寄存器构成的计数器。要单片机执行一个程序,就必须把该程序按顺序预先装入存储器ROM的某个区域。单片机动作时应按顺序一条一条取出指令来加以执行。因此,必须有一个电路能找出指令所在的单元地址,该电路就是程序计数器PC。当单片机开始执行程序时,给程序计数器PC装入第一条指令所在地址,它每取出一条指令(如为多字节指令,则每取出一个指令字节),程序计数器

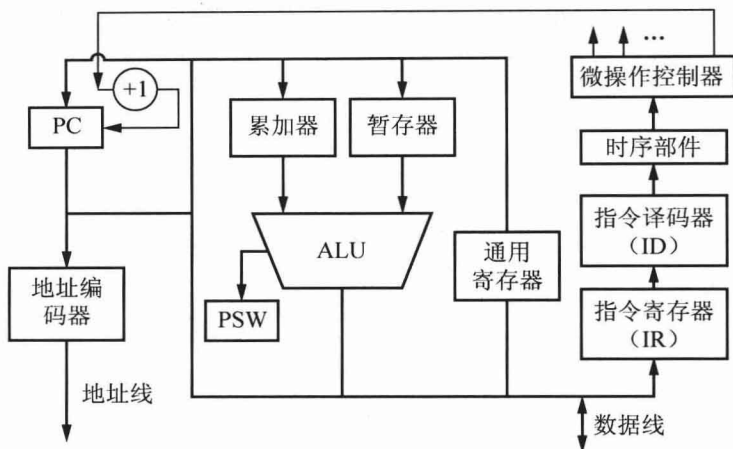


图 1.3 CPU 的基本组成

PC 的内容就自动加 1，以指向下一条指令的地址，使指令能顺序执行。只有当程序遇到转移指令、子程序调用指令，或遇到中断时(后面将介绍)，程序计数器 PC 才转到所需要的地方去。CPU 按程序计数器 PC 指定的地址，从 ROM 相应单元中取出指令放在指令寄存器中暂存，然后指令寄存器中的指令代码被译码器译成各种形式的控制信号，这些信号与单片机时钟振荡器产生的时钟脉冲在定时与控制电路中相结合，形成按一定时间节拍变化的电平和时钟，即控制信息，在 CPU 内部协调寄存器之间的数据传输、运算等操作。



特别提示

- 通用寄存器 R1 ~ R5 可用于数据运算或传送的来源及目标寄存器。
- 程序计数器 PC 的作用，是用来记录程序目前执行位置的寄存器，其内容为单片机执行的指令机器码所在存储单元的地址，用以控制程序走向。CPU 每执行完一条指令，就会改变 PC 的值，使其指向下一条指令的地址。

1.4.3 存储器

存储器用于存储程序和数据。单片机工作时，需要由程序代码来控制 and 提供运算所需的数据，而运算结束后的数据要进行保存，这时，就需要有空间去存储这些预先设定好的程序和中间生成的数据，这就引出了 RAM 和 ROM 的存在目的。

1. 随机存取存储器(Random Access Memory, RAM)

RAM 主要用于存放运算中间数据、运算结果数据或作为数据堆栈和数据缓冲器，又称数据存储器。单片机的数据存储器由随机存取存储器 RAM 组成，用于存储实时输入的数据。凌阳单片机内部存储器 0000H ~ 07FFH 为内部随机存取存储器 RAM，7000H ~ 7FFFH 为专用寄存器区(I/O 端口，系统端口)。从使用角度讲，搞清内部数据存储器的结构和地址分配是十分重要的。因为将来在学习指令系统和程序设计时会经常用到它们。

2. 只读存储器(Read Only Memory, ROM)

ROM 主要用于存放应用程序，故又称程序存储器。程序是控制计算机动作的一系列

命令, 单片机只认识由“0”和“1”代码构成的机器指令。在单片机处理问题之前必须事先将编好的程序、表格、常数汇编成机器代码后存入单片机的存储器中, 该存储器称为程序存储器。



特别提示

- RAM 主要用于存放运算中间数据、运算结果数据或作为数据堆栈和数据缓冲器, 又称数据存储器。ROM 主要用于存放应用程序, 故又称程序存储器。

1.4.4 信息在计算机中的表示和存储

计算机运算的基础是二进制运算。二进制运算可以非常方便地表示计算机最基础的逻辑运算; 计算机在工作时就是通过最基础的逻辑运算来完成所有的数据处理、运算。

位: 信息的基本单位是位(bit 或 b), 表示一个二进制信息“1”或“0”。在存储器中, 位信息是由具有记忆功能的半导体电路实现的, 例如用触发器记忆一位信息。

字节和字: 在微型机中信息大多是以字节(Byte 或 B) 或字形式存放的, 一个字节由 8 个位信息组成(1 Byte = 8 bit), 一个字由 16 个位信息组成, 通常把一个字节或字称作一个存储单元。

存储容量: 存储器芯片的存储容量是指一块芯片中所能存储的信息位数, 例如 8KB 的芯片, 其存储容量为 $8 \times 1024 \times 8 \text{ 位} = 65536 \text{ 位信息}$ 。存储体的存储容量则是指由多块存储器芯片组成的存储体所能存储的信息量, 一般以字节的数量表示。

地址: 地址表示存储单元所处的物理空间的位置, 用来区分不同的存储单元, 用一组二进制代码表示。地址相当于存储单元的“单元编号”, CPU 可以通过地址码访问某一存储单元, 一个存储单元对应一个地址码。例如凌阳单片机有 16 位地址线, 能访问的外部存储器最大地址空间为 64K(65536) 字, 对应的 16 位地址码为 0000H ~ FFFFH, 第 0 个字的地址为 0000H, 第 1 个字的地址为 0001H, …… , 第 65535 个字的地址为 FFFFH。

计算机中的所有信息都是用二进制数来表示。一位二进制数称为一个 bit(比特) 或一个二进制的位, 内存就是由许多个能存储二进制数的电路构成的, 能存储一位二进制数的电路也可以称为一个 bit(比特) 或一个二进制的位。为了能访问各个 bit, 需要能区分各个 bit, 可以给每个 bit 按照在电路中的位置编号。通过不同编号就可以访问不同的 bit, 但对现在的计算机来说不是一位一位地访问数据, 这样太麻烦速度也慢, 所以随着计算机技术的发展逐渐变化为多位数据一起访问。从 4 位、8 位、16 位、32 位, 甚至 64 位等, 这时可以将多位二进制数编一个号, 通过这个编号可以同时访问多位数据。对应的这个编号就是存储器的地址编号。这个好比每家每户有一个邮政地址一样, 每家人可以通过同一个邮政地址收到信件, 也可以通过一个地址向另一家的所有人发信。在单片机中, 一个地址对应 16 位二进制数, 为了区分这 16 位, 每一位也有一个编号, 从 b0 ~ b15, 这里的 b 代表 bit。(注意: 地址编号是从 0 开始)

下面是一个地址的 16 位:

b15	b14	b13	b12	b11	b10	b9	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

b0 是低位, b15 是高位, 有时又有这样的叫法: 一个地址的低 8 位(b0 ~ b7) 为低字节,





高8位(b8 ~ b15)为高字节。

图1.4所示为凌阳单片机的存储器结构示意图。这种存储器存储容量为65535个单元，其中每个存储单元对应一个地址，65535个单元共有65535个地址，用4位16进制数表示，即存储器的地址(0x0000 ~ 0xFFFF)。存储器中每个存储单元可存放一个16位二进制信息，通常用4位16进制数来表示，这就是存储器的内容。存储器的存储单元地址和存储单元的内容是不同的两个概念，不能混淆。

0x0000 0x07FF	2KB SRAM
0x0800 0x6FFF	保留空间
0x7000 0x7FFF	I/O端口 系统端口
0x8000 0xFFF5	32KB FLASH ROM
0xFFF6 0xFFFF	中断向量

图 1.4 凌阳单片机的存储器结构示意图



特别提示

- 存储器地址表示存储单元所处的物理空间的位置，用来区分不同的存储单元，用一组二进制代码表示。地址相当于存储单元的“单元编号”，CPU可以通过地址码访问某一存储单元，一个存储单元对应一个地址码。

下面通过一个例子具体说明单片机的工作原理：

编制好的程序放在存储器中，由控制器控制逐条取出指令执行。例如：计算 $a + b - c = ?$ （设 a 、 b 、 c 为已知的3个数，分别存放在存储器的5~7号单元中，结果将存放在存储器的8号单元中）。如果采用单累加寄存器结构的运算器，完成上述计算至少需要4条指令，这4条指令依次存放在存储器的0~4号单元中，参加运算的数也必须存放在存储器指定的单元中，存储器中有关单元的内容如图1.5(a)所示。运算器的简单框图如图1.5(b)所示，参加运算的两个操作数一个来自累加寄存器，一个来自存储器，运算结果则放在累加寄存器中。图中的存储数据寄存器是用来暂存从存储器中读出的数据或写入存储器的数据的。

计算机的控制器将控制指令逐条的执行，最终得到正确的结果。

第1步，执行取数指令，从存储器5号单元取出数 a ，送入累加寄存器中。

第2步，执行加法指令，将累加寄存器中的内容 a 与从存储器6号单元取出数 b 一起送到ALU中相加，结果 $a + b$ 保留在累加寄存器中。

第3步，执行减法指令，将累加寄存器中的内容 $a + b$ 与从存储器7号单元取出的数 c 一起送到ALU中相减，结果 $a + b - c$ 保留在累加寄存器中。

第4步，执行存数指令，把累加寄存器的内容 $a + b - c$ 存至存储器8号单元。

