

“十三五”普通高等教育规划教材

单片机原理及应用技术

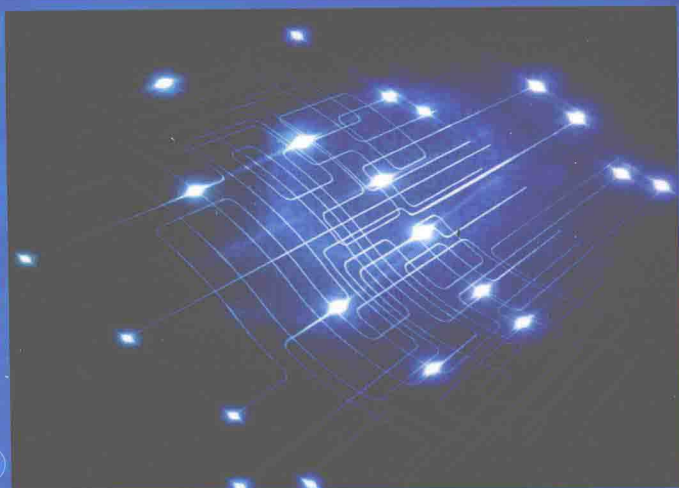
（基于 Keil C 与 Proteus）

赵全利 忽晓伟 主编



含电子教案

<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”普通高等教育规划教材

单片机原理及应用技术

(基于 Keil C 与 Proteus)

赵全利 忽晓伟 主编

周 伟 袁 浩 张会敏 等参编

机 械 工 业 出 版 社

本书从单片机应用的角度出发,详细介绍了 51 系列及兼容单片机的体系结构、工作原理、功能部件及软、硬件应用开发资源;着重讲解了单片机 C 语言程序设计及软硬件开发过程;以 Keil 集成环境、Proteus 仿真软件等开发资源为平台,引用了大量单片机软、硬件仿真调试示例及工程应用实例,引导学生逐步认识、熟知、实践和应用单片机。

本书融单片机电路原理、软件编程、仿真调试及工程应用为一体,具有结构完整、层次分明,以应用示例为导向,将知识点贯穿其中等特点,既便于教学又方便读者自学和操作。

本书可作为高等院校电子、通信、自动化、机电、测控及信息类专业的教学用书,也可作为相关专业技术人员的参考用书。

本书提供电子课件、习题答案、程序代码及仿真电路源文件,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册,审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 308596956, 电话: 010-88379753)。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用技术:基于 Keil C 与 Proteus/赵全利, 忽晓伟主编.
—北京:机械工业出版社, 2016.12
“十三五”普通高等教育规划教材
ISBN 978-7-111-56638-0

I. ①单… II. ①赵… ②忽… III. ①单片微型计算机-高等学校-教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 083497 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:时 静

责任校对:张艳霞

责任印制:李 昂

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2017 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·25.5 印张·621 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-56638-0

定价:65.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:(010)88379833

读者购书热线:(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

前 言

51 系列及兼容单片机组成的单片机应用系统以其通用性强、价廉、设计灵活等特点而遍及各个领域,有着广泛的发展前景和稳定增长的市场需求。

为了适应新形势下学习单片机技术的需要,本教材从单片机应用的角度出发,详细介绍了 51 系列及兼容单片机的体系结构、工作原理、功能部件及软硬件应用开发资源。在单片机硬件组成及汇编语言的基础上,着重讲解了单片机 C 语言程序设计及软硬件开发过程。

本书以 Keil 集成环境、Proteus 仿真软件及 ISP 下载等开发资源为平台,引用了大量的单片机软硬件仿真调试示例及工程应用实例,引导读者逐步认识、熟知、实践和应用单片机。

本书作者都是长期工作在高等院校相关专业的一线教师,曾多次在单片机课程设计、毕业设计及全国大学生电子设计竞赛及机器人竞赛培训工作中,将 Proteus 软件应用于单片机仿真设计及调试,并成功地将其转换为实际电路设计,取得了良好的教学效果和优异的竞赛成绩。本书融入了作者多年来在高等院校单片机原理及应用课程的教学和实践经验,并将成功案例编入书中。

本书的主要特点:

- 1) 结构完整、层次分明、内容详实、循序渐进、便于查阅和自学。
- 2) 以应用示例为导向,将知识点贯穿其中,即便于教学,又方便读者操作。
- 3) 工程实例及仿真调试内容丰富,便于读者引用。
- 4) 多技术融合,为读者提供单片机应用系统设计的全过程及解决方案。

本书共 10 章,第 1 章在介绍计算机基本组成的基础上,详细描述了单片机应用系统的组成、特点及开发资源;第 2 章介绍了 51 单片机硬件的功能结构、内部组成、编程资源及最小系统;第 3 章介绍了 Proteus 嵌入式系统仿真软件的使用与操作;第 4 章介绍了 51 单片机指令系统、汇编语言、C51 程序设计基础、集成开发环境 Keil 的使用及 Proteus 联机仿真调试示例;第 5 章介绍了 51 单片机中断结构、中断应用技术及中断应用实例设计及仿真;第 6 章介绍了 51 单片机内部定时器/计数器原理、应用实例的设计及仿真;第 7 章介绍了 51 单片机串行通信接口、串行口通信应用实例的设计及仿真;第 8 章介绍了 51 单片机系统扩展、I/O 接口扩展、A-D、D-A 转换技术及应用实例;第 9 章介绍了单片机应用系统的开发过程、典型工程实例的软、硬件设计过程;第 10 章介绍了单片机应用系统的抗干扰技术。

本书由赵全利、忽晓伟任主编,周伟、袁浩、张会敏等参编,其中第 1 章由赵全利编写,第 2 章由周伟编写,第 3 章和第 8 章 8.1~8.2 节由袁浩编写,第 4 章 4.1~4.2 节和第 8 章的 8.7~8.8 节由董素鸽编写,第 4 章 4.3~4.4 节由柴云编写,第 4 章 4.5~4.7 节和第 5 章由胡代弟编写,第 6 章 6.1~6.3 节由张会敏编写,第 6 章 6.4~6.6 节和第 10 章由王蓓编写,第 7 章由谢泽奇编写,第 8 章 8.3~8.6 节由左建业编写,第 9 章由忽晓伟编写。各章习题解答、软、硬件仿真调试、附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F、图表制作、文字录入及电子课件由陈瑞霞、骆秋容、刘大学、刘克纯、缪丽丽、徐维维、徐云

林、刘瑞新、崔瑛瑛、翟丽娟、庄建新、刘大莲、韩建敏、庄恒、李刚、孙明建、田金凤、陈文娟、李继臣、王如新、赵艳波、王茹霞和田同福编写并完成。全书由赵全利教授统筹设计、对各章节整改并统稿，刘瑞新教授主审定稿。

本书可作为高等院校电子、通信、自动化、测控及计算机等专业单片机原理及应用课程的教学用书，也可作为相关专业技术人员的参考用书。

为了配合教学，本书配以全程课件、Keil 源程序文件及 Proteus 仿真文件，教师可从机械工业出版社教育服务网 <http://www.cmpedu.com> 下载。

本书在编写过程中参考和引用了许多文献资料，在此对有关文献资料的作者表示真诚感谢。由于微机硬件技术发展速度很快，加之作者水平有限，书中不足和遗漏之处，恳请老师、同学及读者朋友们提出宝贵意见和建议。

编 者

目 录

前言

第1章 计算机基础概述	1
1.1 计算机及系统组成	1
1.1.1 计算机到单片机的发展过程	1
1.1.2 单片机、单板机、PC	3
1.1.3 数制与编码	4
1.1.4 计算机系统组成	12
1.2 单片机与嵌入式系统	16
1.2.1 单片机的特点和应用	17
1.2.2 嵌入式系统	18
1.2.3 单片机应用系统的组成	19
1.3 单片机应用开发资源	21
1.4 一个简单的单片机应用示例	23
1.5 思考与练习	27
第2章 51 单片机及硬件结构	28
2.1 51 单片机系列	28
2.2 51 单片机总体结构	29
2.2.1 51 单片机总体结构框图及功能	29
2.2.2 51 单片机引脚功能	33
2.3 51 单片机存储结构及位处理器	38
2.3.1 51 单片机存储器的特点	38
2.3.2 程序存储器	38
2.3.3 数据存储器	40
2.3.4 专用寄存器区 (SFR)	42
2.3.5 位处理器	44
2.4 51 单片机工作方式	45
2.4.1 复位及复位方式	45
2.4.2 程序执行工作方式	46
2.4.3 节电工作方式	47
2.5 51 单片机的时序	48
2.5.1 时钟	48
2.5.2 CPU 时序	48

2.6	单片机最小系统组成	51
2.7	思考与习题	53
第3章	Proteus 虚拟仿真技术	55
3.1	Proteus 安装	55
3.2	Proteus ISIS 基本操作	58
3.2.1	Proteus 工作区	58
3.2.2	Proteus ISIS 主要参数设置	63
3.2.3	Proteus ISIS 激励信号源	67
3.2.4	Proteus ISIS VSM 虚拟仪器	69
3.3	Proteus 原理图编辑及仿真	74
3.3.1	Proteus ISIS 原理图编辑	74
3.3.2	Proteus ISIS 电路仿真	78
3.4	思考与习题	82
第4章	指令系统、汇编语言及 C51 程序设计	83
4.1	单片机指令系统	83
4.1.1	指令分类及指令格式	83
4.1.2	寻址方式及寻址空间	84
4.1.3	指令系统及应用示例	88
4.2	汇编语言程序设计基础	101
4.2.1	汇编语言特征	101
4.2.2	伪指令	102
4.2.3	汇编语言程序设计及应用	104
4.3	C51 程序设计	110
4.3.1	C51 及数据类型	110
4.3.2	C51 运算符及表达式	116
4.3.3	C51 控制语句	121
4.3.4	数组	126
4.3.5	函数	129
4.3.6	指针	136
4.4	Keil 51 单片机集成开发环境	142
4.4.1	单片机应用程序开发过程	142
4.4.2	Keil 开发环境的安装	142
4.4.3	Keil 工程的建立	143
4.4.4	Keil 调试功能	145
4.5	单片机 I/O 端口应用程序及仿真	147
4.5.1	流水灯	148
4.5.2	键控流水灯	152

4.6	Keil C 与 Proteus 联机调试示例	157
4.6.1	通过插件实现 Keil C 与 Proteus 联机调试及示例	157
4.6.2	通过 OMF 文件实现 Keil 与 Proteus 调试及示例	159
4.7	思考与习题	161
第5章	51 单片机中断系统及应用	164
5.1	中断的概念	164
5.1.1	中断及中断源	164
5.1.2	中断嵌套及优先级	164
5.2	51 单片机中断系统结构及中断控制	165
5.2.1	中断源和中断请求标志	165
5.2.2	中断允许控制	167
5.2.3	中断优先级控制	168
5.3	51 单片机中断响应过程	169
5.3.1	中断响应	169
5.3.2	中断处理	170
5.3.3	中断返回	171
5.4	外部中断源扩展	171
5.4.1	中断加查询方式扩展外部中断源	171
5.4.2	利用定时器扩展外部中断源	173
5.5	中断系统应用设计示例及仿真	173
5.5.1	中断系统应用设计	174
5.5.2	中断实现程序(指令)单步操作	174
5.5.3	外部中断应用示例及仿真	175
5.6	思考与习题	183
第6章	51 单片机定时器/计数器及应用	185
6.1	定时器/计数器概述	185
6.2	定时器/计数器的控制	186
6.2.1	定时器/计数器工作模式寄存器 TMOD	186
6.2.2	定时器/计数器控制寄存器 TCON	187
6.3	定时器/计数器的工作模式	187
6.3.1	工作模式 0	188
6.3.2	工作模式 1	189
6.3.3	工作模式 2	190
6.3.4	工作模式 3	191
6.4	定时器/计数器应用技术	192
6.4.1	模式 0 的应用	192
6.4.2	模式 1 的应用	193

6.4.3 模式2的应用	195
6.4.4 模式3的应用	196
6.5 定时器/计数器应用设计实例及仿真	196
6.5.1 定时器延时控制及仿真	196
6.5.2 定时器实现测量脉冲宽度及仿真	200
6.5.3 10 kHz 方波发生器及仿真	203
6.5.4 循环加1计数器及仿真	205
6.6 思考与习题	208
第7章 51 单片机串行口及应用	209
7.1 通信基础知识	209
7.1.1 并行通信	209
7.1.2 串行通信	209
7.1.3 波特率和发送/接收时钟	212
7.1.4 奇偶校验	212
7.2 常用串行通信总线标准及接口电路	213
7.2.1 RS-232C 总线标准及接口电路	213
7.2.2 RS-422/485 总线标准及接口电路	215
7.3 51 单片机串行口	216
7.3.1 串行口结构	216
7.3.2 串行口控制	217
7.3.3 串行口的工作方式	218
7.3.4 波特率设置	220
7.4 串行口应用技术及设计实例	222
7.4.1 串行口方式0应用设计实例	222
7.4.2 串行口其他方式下的应用设计实例	229
7.4.3 双机通信应用设计实例	235
7.4.4 多机通信设计实例	242
7.5 思考与习题	250
第8章 单片机系统扩展及 I/O 接口技术	252
8.1 单片机系统扩展概述	252
8.1.1 单片机系统扩展常用接口芯片	252
8.1.2 单片机扩展后的总线结构	253
8.2 程序存储器的扩展	255
8.2.1 常用的程序存储器	255
8.2.2 程序存储器的扩展	259
8.3 数据存储器的扩展	262
8.3.1 常用数据存储器芯片	262

8.3.2 数据存储器的扩展	263
8.4 I/O 端口的扩展	266
8.4.1 简单并行 I/O 口的扩展	266
8.4.2 8155 可编程多功能接口芯片及扩展	269
8.5 单片机扩展系统外部地址空间的编址方法	275
8.5.1 单片机扩展系统地址空间编址	275
8.5.2 线选法	276
8.5.3 译码法	277
8.6 单片机 I/O 接口技术及应用	278
8.6.1 键盘及接口电路	278
8.6.2 LED 显示器及接口电路	284
8.6.3 LCD 液晶显示器及接口	290
8.6.4 8155 扩展键盘与显示器设计实例	296
8.7 A-D、D-A 转换器与单片机的接口	299
8.7.1 D-A 转换器及应用技术	300
8.7.2 A-D 转换器及应用技术	304
8.8 思考与练习	310
第 9 章 单片机应用系统开发及设计实例	312
9.1 单片机应用系统开发过程	312
9.1.1 总体设计	312
9.1.2 硬件设计	313
9.1.3 软件设计	313
9.1.4 软、硬件仿真调试	313
9.1.5 联机调试	314
9.1.6 程序下载	314
9.1.7 脱机运行	318
9.2 单片机应用系统设计实例	318
9.2.1 智能循迹小车	318
9.2.2 单片机舵机控制系统	322
9.2.3 电子密码锁控制系统	331
9.2.4 LED 点阵显示系统	350
9.2.5 直流电机转速控制系统	357
9.3 思考与练习	369
第 10 章 单片机应用系统抗干扰技术	370
10.1 干扰源	370
10.1.1 干扰源、传播途径及干扰分类	370
10.1.2 串模干扰与共模干扰	371

10.1.3 电网及电路干扰	372
10.2 硬件抗干扰措施	372
10.2.1 串模干扰与共模干扰的抑制	373
10.2.2 输入/输出通道干扰的抑制	374
10.2.3 电网及电路干扰的抑制	378
10.2.4 地线的抗干扰措施	380
10.3 软件抗干扰措施	382
10.3.1 数字量信号软件抗干扰措施	382
10.3.2 CPU 软件抗干扰	384
10.3.3 程序运行监视器 (WatchDog)	385
10.4 思考与练习	386
附录	387
附录 A 51 单片机指令表	387
附录 B 常用 C51 库函数	391
附录 C ASCII (美国标准信息交换码) 码表	393
附录 D Proteus 中非标准符号与国标的对照表	394
附录 E 本书中英文缩写含义及中文对照表	395
附录 F Proteus 元器件大类对照表	396
参考文献	398

第1章 计算机基础概述

随着计算机技术的迅速发展，计算机已广泛应用于信息处理、实时控制、辅助设计、智能模拟及现代通信网络等领域。尤其是微型计算机及微控制器（单片型计算机）的出现，以及在国民经济各个领域的应用，正在改变着人们传统的生活和工作方式。人类已进入以计算机为主要工具的信息时代。

本章首先介绍计算机中表示信息的数制和编码、计算机系统的结构组成。然后重点介绍单片型计算机（以下简称单片机）应用系统的组成、特点及应用开发资源。最后通过一个简单应用示例，使读者初步建立单片机应用的整体概念，了解单片机一般应用的开发过程。

1.1 计算机及系统组成

本节在计算机硬件经典结构的基础上，介绍了计算机和单片机的基本概念及常用单片机系列类型，计算机中表示信息的数制、编码及计算机系统基本组成。

1.1.1 计算机到单片机的发展过程

1. 冯·诺依曼计算机

1945年6月发表的关于EDVAC的报告草案中，提出了以“二进制存储信息”和“存储程序（自动执行程序）”为基础的计算机结构思想，即冯·诺依曼结构。按照冯·诺依曼结构思想构建的由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备组成的计算机经典结构，如图1-1所示。

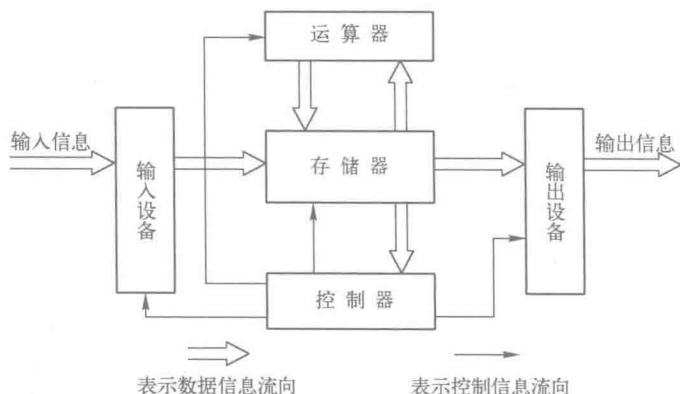


图 1-1 EDVAC 计算机硬件经典结构

在计算机中，二进制数是计算机硬件能直接识别并进行处理的唯一形式。计算机所做的

任何工作都必须以二进制数据所表示的指令形式送入计算机内存中存储，一条条有序指令的集合称为程序。

根据冯·诺依曼的设计，计算机应能自动执行程序，而执行程序又归结为逐条执行指令。计算机对任何问题的处理都是对数据的处理，计算机所做的任何操作都是执行程序的结果。很好地认识和理解计算机产生的结构思想，有助于理解数据、程序与计算机硬件之间的关系，这对于学习和掌握计算机基本原理是十分重要的。

从计算机诞生到现在，经历了半个多世纪的发展，计算机由原来仅应用于科学和工程数值计算，已逐步用于非数值运算，现已广泛用于国民经济的各个领域及人们的学习、工作和生活中。计算机在体积、性能、应用、速度以及生产成本等各方面，都发生了巨大的变化。

2. 从计算机到单片机

1976年，随着控制系统及智能仪器的强劲需求，Intel公司推出了MCS-48系列8位单片机，1981年8月，IBM公司推出以8088为CPU的世界上第一台16位微型计算机（IBM 5150 Personal Computer），即著名的IBM PC个人计算机，使计算机的应用日益广泛和深入。

最早由Intel公司推出8051/31类单片机，由于该公司将重点放在与PC兼容的高档芯片开发上，Intel公司将MCS-51系列单片机中的8051内核使用权以专利互换或出让给世界许多著名IC制造厂商，如Philips、NEC、Atmel、AMD、Dallas、Siemens、Fujitsu、OKI、华邦及LG等。

随着CPU技术的飞速发展，这些厂商在保持与8051单片机兼容的基础上先后改善了8051的许多特点，扩展了针对满足不同测控对象要求的外围电路，如模拟量输入的A-D、伺服驱动的PWM、高速输入/输出控制的HSL/HSO、串行扩展总线I2C、保证程序可靠运行的WDT及引入使用方便且价廉的Flash ROM等。由于以8051为内核的MCU系列单片机在世界上的产量最大，应用也最广泛，使它成为8位单片机的主流，成为事实上的标准MCU芯片。

通常所说的51系列单片机（本书以下简称51单片机）是对以Intel公司MCS-51系列单片机中8051为基核推出的各种型号兼容性单片机的统称。

51单片机是学习单片机应用基础的首选单片机，同时也是应用最广泛的一种单片机。51单片机的代表型号有Intel公司80C51、ATMEL公司的AT89系列，但51单片机一般不具备自编程能力。

当前，在应用系统中盛行的STC单片机系列，完全兼容51单片机，具有抗干扰性强、加密性强、超低功耗、可以远程升级、价格低廉、使用方便等特点，使得STC系列单片机的应用日趋广泛。

Atmel公司的AT89系列单片机是目前世界上一种独具特色而性能卓越的单片机，在结构性能和功能等方面都有明显的优势，它在计算机外围设备、通信设备、自动化工业控制、宇航设备仪器仪表及各种消费类产品中都有着广泛的应用前景。

Atmel公司生产的AT90系列是增强型RISC（精简指令集）内载FLASH单片机，通常称为AVR系列（Advance RISC）。芯片上的Flash存储器附在用户的产品中，可随时编程，方便用户产品设计。其增强的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。AVR单片机工作电压为2.7~6.0V，可以实现耗电最优化。AVR单片机广泛应用于计算机外围设备、工业实时控制、仪器仪表、通信设备、家用电器及宇航设备等各

个领域。

ARM 单片机采用了新型的 32 位 ARM 处理器,使其在指令系统、总线结构、调试技术、功耗以及性价比等方面都超过了传统的 51 单片机,同时 ARM 单片机在芯片内部集成了大量的片内外设,所以功能和可靠性都大大提高。

事实已经证明,尽管微控制器技术发展迅速,品类繁多,但 51 单片机依据其通用性强、价格低廉及设计灵活等特点,仍然有着广泛的应用领域和稳定增长的市场。

常用 51 单片机厂商及型号如下。

Intel (英特尔) 的 80C31、80C51、87C51、80C32、80C52 及 87C52 等。

ATMEL (艾德梅尔) 的 89C51、89C52、89C2051、89S51 (RC) 及 89S52 (RC) 等。

Philips (飞利浦)、华邦、Dallas (达拉斯) 及 Siemens (西门子) 等公司的许多产品。

STC (国产宏晶) 的 89C51、89C52、89C516 及 90C516 等众多品牌。

1.1.2 单片机、单板机、PC

随着大规模集成电路技术的迅速发展,把运算器、控制器和通用寄存器集成在一块半导体芯片上,这种芯片称为微处理器(机),也称 CPU。以微处理器为核心,配上由大规模集成电路制作的只读存储器 (ROM)、读写存储器 (RAM)、输入/输出接口电路及系统总线等所组成的计算机,称为微型计算机。可以从不同角度对微型计算机进行分类。例如,按微处理器的制造工艺、微处理器的字长、微型计算机的构成形式及应用范围等进行分类。按微处理器字长来分,微型计算机一般分为 8 位、16 位、32 位和 64 位机。下面仅介绍按微型计算机的构成形式分类,可分为单片机、单板机和 PC。

1. 单片机

单片机又称单片微控制器。它是将微处理器、存储器 (RAM、ROM)、定时器及输入/输出接口等部件通过内部总线集成在一块芯片上,是一种可嵌入各种工业、民用设备及仪器仪表内的芯片型计算机。一块单片机芯片就是具有一定规模的微型计算机,再加上必要的外围器件,就可构成完整的计算机硬件系统。

由于单片机这种特殊的结构形式及特点,使其在智能化仪表、家用电器、机电一体化产品及工业控制等各个领域内的应用都得到迅猛的发展。尤其是随着微控制技术的不断完善和发展以及自动化程度的日益提高,单片机的应用正在导致传统的控制技术发生巨大变化。

常用单片机主要包括 51 系列及其兼容机,以及嵌入式 ARM 系列等。常用单片机芯片的外形如图 1-2 所示。

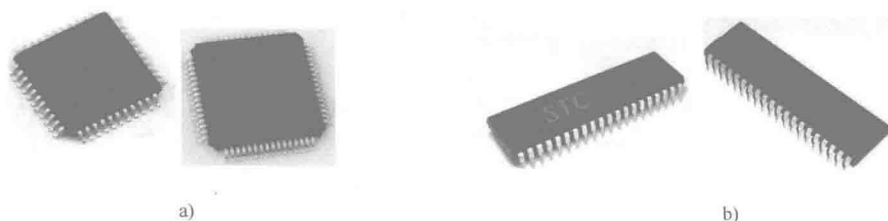


图 1-2 单片机芯片外形

a) 贴片型单片机 b) 双列直插式单片机

2. 单板机

这里说的单板机是指简易的单片机实验及开发系统，或称开发板。它将单片机系统的各个部分都组装在一块印制电路板上，包括微处理器、输入/输出接口及配备简单的 LED、LCD、小键盘、下载器及插座等。单板机是学习及开发单片机应用的必须工具，其主要功能如下。

- 1) 可以直接在单板机上操作进行单片机学习实验。
- 2) 单片机应用系统开发。
- 3) 直接用于控制系统。

单板机的外形如图 1-3 所示。

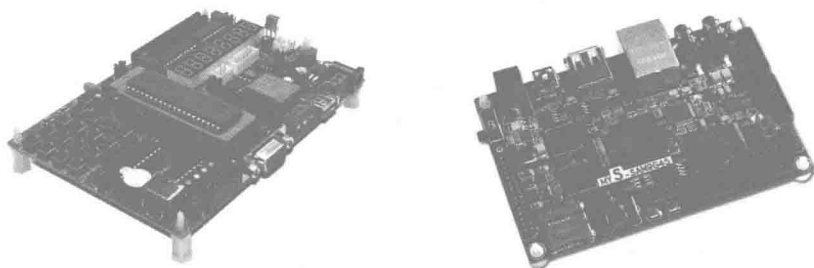


图 1-3 单板机（单片机实验及开发板）外形

3. PC

PC (Personal Computer) 又称个人计算机（微机），可以实现各种计算、数据处理及信息管理等。PC 又可分为台式微机和便携式微机。台式机需要放置在桌面上，它的主机、键盘和显示器都是相互独立的，通过电缆和插头连接在一起。便携式微机又称笔记本电脑，它把主机、硬盘驱动器、键盘和显示器等部件组装在一起，可以用可充电电池供电，便于随身携带。

当 PC 运行单片机等微处理器开发环境软件时，可以通过 PC 方便地实现对单片机等微处理器芯片的编程、编译、代码下载及调试，这时的 PC 通常称为上位机。PC 作为上位机与单片机开发板的通信连接如图 1-4 所示。



图 1-4 PC 与单片机的通信连接

1.1.3 数制与编码

在计算机中，任何命令和信息都是以二进制数据的形式存储的，计算机所执行的全部操

作都归结为对数据的处理和加工。为了便于理解计算机系统的基本工作原理，掌握数字等信息在计算机系统内的表示方法及处理过程，本节主要介绍有关计算机与数制和编码等方面的基础知识。

1. 计算机与二进制

计算机是一种以二进制数据形式存储信息、以程序存储为基础、由程序自动控制的电子设备。

在计算机中，由于所采用的电子逻辑器件具有仅能存储和识别两种状态的特点，计算机内部的一切信息存储、处理和传送均采用二进制数的形式。二进制数是计算机硬件能直接识别并处理的唯一形式。

人们需要计算机所做的任何工作，都必须以计算机所能识别的指令形式转换为二进制代码送入计算机内存中，一条条有序指令的集合称为程序。计算机的工作过程也就是执行程序的过程，计算机所做的任何工作都是执行程序的结果。

2. 数制及其转换

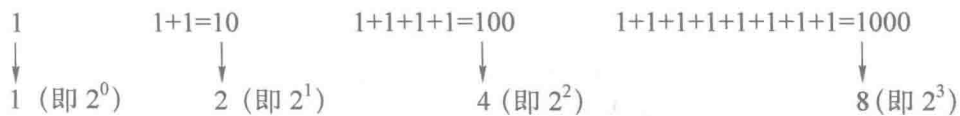
数制就是计数方式。

日常生活中常用的是十进制计数方式，计算机内部使用的是二进制数据，在向计算机输入数据及输出数据时，人们习惯于用十进制、十六进制数据等，因此，计算机在处理数据时，必须进行各种数制之间的相互转换。

(1) 二进制数

二进制数只有两个数字符号：0 和 1。计数时按“逢二进一”的原则进行计数，也称其基数为二。一般情况下，二进制数可表示为 $(110)_2$ 、 $(110.11)_2$ 、10110B 等。

根据位权表示法，每一位二进制数在其不同位置表示不同的值。例如：



对于 8 位二进制数（由低位 ~ 高位分别用 D0 ~ D7 表示），则各位所对应的权值为

2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

对于任何二进制数，可按位权求和展开为与之相应的十进制数，则有：

$(10)_2 = 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = (2)_{10}$
 $(11)_2 = 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (3)_{10}$
 $(110)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = (6)_{10}$
 $(111)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (7)_{10}$
 $(1111)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (15)_{10}$
 $(10110)_2 = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = (22)_{10}$

例如，二进制数 10110111，按位权展开求和计算可得：

$(10110111)_2 = 1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$
 $= 128 + 0 + 32 + 16 + 0 + 4 + 2 + 1$

$$= (183)_{10}$$

对于含有小数的二进制数，小数点右边第一位小数开始向右各位的权值分别为

2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}	...

例如，二进制数 10110.101，按位权展开求和计算可得：

$$\begin{aligned}(10110.101)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 16 + 4 + 2 + 0.5 + 0.125 \\ &= (22.625)_{10}\end{aligned}$$

必须指出：在计算机中，一个二进制数（如 8 位、16 位或 32 位）既可以表示数值，也可以表示一种符号的代码，还可以表示某种操作（即指令），计算机在程序运行时按程序的规则自动识别，这就是本节开始所述及的，即一切信息都是以二进制数据进行存储的。

(2) 十六进制数

十六进制数是学习和研究计算机中二进制数的一种比较方便的工具。计算机在信息输入输出或书写相应程序或数据时，可采用简短的十六进制数表示相应的位数较长的二进制数。

十六进制数有 16 个数字符号，其中 0~9 与十进制相同，剩余 6 个为 A~F，分别表示十进制数的 10~15，见表 1-1。十六进制数的计数原则是逢“十六进一”，也称其基数为十六，整数部分各位的权值由低位到高位分别为： 16^0 、 16^1 、 16^2 、 16^3 ……。例如：

$$\begin{aligned}(31)_{16} &= 3 \times 16^1 + 1 \times 16^0 = (49)_{10} \\ (2AF)_{16} &= 2 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = (687)_{10}\end{aligned}$$

为了便于区别不同进制的数据，一般情况下可在数据后面跟一后缀：

二进制数用“B”表示（如 00111010B）；

十六进制数用“H”表示（如 3A5H）；

十进制数用“D”表示（如 39D 或 39）。

(3) 不同数制之间的转换

前已述及，计算机中的数只能用二进制表示，十六进制数适于读写，日常生活中使用的是十进制数，计算机必须根据需要对各种进制数据进行转换。

1) 二进制数转换为十进制数。

对任意二进制数均可按权值展开将其转化为十进制数。例如：

$$\begin{aligned}10111B &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 23D \\ 10111.011B &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 23.375D\end{aligned}$$

2) 十进制数转换为二进制数。

方法 1

十进制数转换为二进制数，可将整数部分和小数部分分别进行转换，然后合并。其中整数部分可采用“除 2 取余法”进行转换。小数部分可采用“乘 2 取整法”进行转换。

例如：采用“除 2 取余法”将 37D 转换为二进制数。