

21世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

单片机原理 与应用

The 8051 Microcontroller

张东亮 编著

- 博采众家之长，注重基础理论与实用技术的平衡
- 大量实例，提供实验参考
- 附有指令系统表、单片机术语表与符号英汉对照表



高校系列

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TP368. 1/599

2009

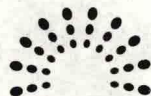
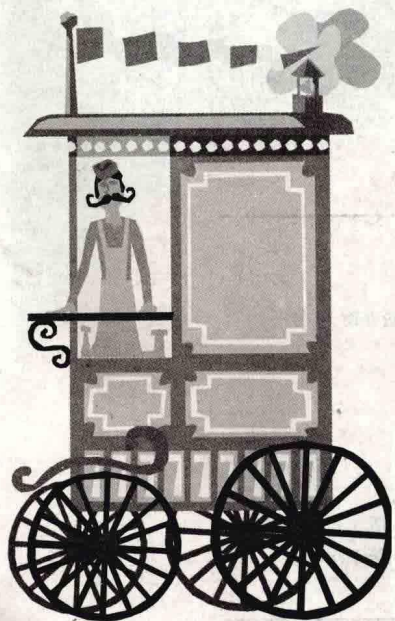
21世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

单片机原理 与应用

The 8051 Microcontroller

张东亮 编著



高校系列

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理与应用 / 张东亮编著. —北京: 人民邮电出版社, 2009.10
21世纪高等学校计算机规划教材
ISBN 978-7-115-19842-6

I. 单… II. 张… III. 单片微型计算机—高等学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第052481号

内 容 提 要

本书以 8051 单片机为典型, 介绍单片机的结构原理、软件设计、接口技术和应用。主要内容包括单片机基础知识、8051 单片机结构原理、指令系统、汇编语言程序设计、并行接口及其应用、中断系统、定时器/计数器、串行通信接口、存储器扩展与接口技术 (并口扩展、D/A 转换接口、A/D 转换接口、键盘、显示接口)、C 语言程序设计、单片机开发系统与集成开发环境、单片机应用系统设计、单片机新技术等内容。

本书有大量实例, 许多实例可以用于实验和制作; 各章安排有思考题与习题。

本书可作为高等院校相关专业的单片机课程教材, 还可以供从事计算机测控、智能仪器、嵌入式系统等领域的工程技术人员参考使用。

21 世纪高等学校计算机规划教材

单片机原理与应用

-
- ◆ 编 著 张东亮
责任编辑 刘 博
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 18.5
字数: 482 千字
印数: 1—3 000 册
 - 2009 年 10 月第 1 版
2009 年 10 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-19842-6/TP

定价: 32.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

出版者的话

现今社会对人才的基本要求之一就是应用计算机的能力。在高等学校,培养学生应用计算机的能力,主要是通过计算机课程的体制改革,即计算机教学分层、分类规划与实施;密切联系实际,恰当体现与各专业其他课程配合;教学必须以市场需求为导向,目的是培养高素质创新型人才。

人民邮电出版社经过对教学改革新形势充分的调查研究,依据目前比较成熟的教学大纲,组织国内优秀的有丰富教学经验的教师编写一套体现教学改革最新形势的“高校系列计算机教材”。在本套教材的出版过程中,我社多次召开教材研讨会,广泛听取了一线教师的意见,也邀请众多专家对大纲和书稿做了认真的审读与研讨。本套教材具有以下特点。

1. 覆盖面广, 突出教改特色

本套教材主要面向普通高等学校(包括计算机专业和非计算机专业),是在经过大量充分的调研基础上开发的计算机系列教材,涉及计算机教育领域中的所有课程(包括专业核心骨干课程与选修课程),适应了目前经济、社会对计算机教育的新要求、新动向,尤其适合于各专业计算机教学改革的特点特色。

2. 注重整体性、系统性

针对各专业的特点,同一门课程规划了组织结构与内容不同的几本教材,以适应不同教学需求,即分别满足不同层次计算机专业与非计算机专业(如工、理、管、文等)的课程安排。同时本套教材注重整体性的策划,在教材内容的选择上避免重叠与交叉,内容系统完善。学校可根据教学计划从中选择教材的各种组合,使其适合本校的教学特点。

3. 掌握基础知识, 侧重培养应用能力

目前社会对人才的需要更侧重于其应用能力。培养应用能力,须具备计算机基础理论、良好的综合素质和实践能力。理论知识作为基础必须掌握,本套教材通过实践教学与实例教学培养解决实际问题的能力和知识综合运用能力。

4. 教学经验丰富的作者队伍

高等学校在计算机教学和教材改革上已经做了大量的工作,很多教师在计算机教育与科研方面积累了相当多的宝贵经验。本套教材均由有丰富教学经验的教师编写,并将这些宝贵经验渗透到教材中,使教材独具特色。

5. 配套资源完善

所有教材均配有 PPT 电子教案,部分教材配有实践教程、题库、教师手册、学习指南、习题解答、程序源代码、演示软件、素材、图书出版后要更新的内容等,以方便教与学。

我社致力于优秀教材的出版,恳请大家在使用的过程中,将发现的问题与提出的意见反馈给我们,以便再版时修改。

前 言

近年来，单片机应用越来越广泛，其功能日臻丰富，在工业测控、仪器仪表、航天航空、军事武器、家用电器等领域获得了广泛应用。8051 系列单片机（即 Intel MCS-51 及其派生兼容系列）目前在世界上产量大、品种多，可以满足广大用户的许多需要，是国内外应用多、影响大的单片机。

本书以 8051 为典型，介绍单片机原理与接口技术。主要内容为：第 1 章单片机基础知识；第 2 章介绍 8051 单片机的结构和原理；第 3 章、第 4 章介绍 8051 的指令系统和汇编语言程序的设计方法；第 5 章到第 8 章分别介绍 8051 单片机片内的并行接口、中断系统、串行接口、定时器/计数器及其应用；第 9 章为单片机存储器扩展与接口技术；第 10 章为单片机 C 语言程序设计；第 11 章介绍单片机开发系统与集成开发环境；第 12 章通过实例介绍单片机应用系统设计；第 13 章介绍新型 8051 单片机及其新技术。

本书实例丰富，突出实用，并配有电子教案。本书作者 1988 年开始从事微型计算机应用教学与科研工作，书中有的实例来自作者从事单片机在智能仪器、自动控制方面应用的科研成果。

在学习本课程时，除了应具备数字及模拟电子技术等方面的基础知识外，应注意在学习的过程中加强实验环节，以便真正掌握单片机原理并应用于实践中。

本书适合高等院校自动化、电气、电子、计算机、机械电子等专业的教学。也可以供从事微机应用、测控系统、智能仪器仪表、嵌入式系统等领域的工程技术人员参考。

编 者

2009 年 2 月

目 录

第 1 章 单片机基础知识.....1

1.1 计算机的发展.....1

1.1.1 通用计算机的发展.....1

1.1.2 单片机的发展历程.....2

1.1.3 单片机的发展趋势.....3

1.2 计算机的组成及技术指标.....4

1.2.1 通用微型计算机的组成.....4

1.2.2 MCS-51 单片机的组成.....6

1.2.3 计算机的主要技术指标.....8

1.3 8051 单片机常用系列.....8

1.4 单片机的应用.....10

1.5 一个简单实例及单片机应用系统

开发过程.....11

1.6 数制及编码.....13

1.6.1 数制.....13

1.6.2 编码.....15

1.7 常用数字电路.....18

1.7.1 逻辑门电路.....18

1.7.2 三态门.....19

1.7.3 触发器.....20

1.7.4 寄存器.....21

思考题与习题.....23

第 2 章 8051 单片机结构.....25

2.1 8051 单片机引脚及其功能.....25

2.2 8051 单片机内部结构.....29

2.3 中央处理器与时序.....30

2.3.1 运算器.....30

2.3.2 控制器.....32

2.3.3 时序.....33

2.4 8051 存储器结构.....36

2.4.1 程序存储器.....37

2.4.2 数据存储器.....37

2.4.3 特殊功能寄存器.....39

2.5 复位与复位电路.....42

2.6 单片机低功耗工作方式.....43

思考题与习题.....45

第 3 章 8051 单片机指令系统.....46

3.1 指令系统概述.....46

3.2 寻址方式.....48

3.2.1 符号说明.....48

3.2.2 寻址方式.....48

3.3 数据传送类指令.....51

3.3.1 片内 RAM 数据传送指令.....51

3.3.2 片外数据传送指令.....53

3.3.3 查表指令.....53

3.3.4 堆栈操作指令.....54

3.3.5 交换指令.....55

3.4 算术运算类指令.....56

3.4.1 加法指令.....56

3.4.2 减法指令.....57

3.4.3 加 1 指令.....57

3.4.4 减 1 指令.....57

3.4.5 十进制调整指令.....58

3.4.6 乘法与除法指令.....58

3.5 逻辑运算类指令.....59

3.5.1 逻辑“与”指令.....59

3.5.2 逻辑“或”指令.....59

3.5.3 逻辑“异或”指令.....60

3.5.4 累加器清零与取反指令.....60

3.5.5 循环移位指令.....60

3.6 控制转移类指令.....61

3.6.1 无条件转移指令	61	5.3 I/O端口的简单应用	95
3.6.2 条件转移指令	62	5.4 I/O端口用于显示器与键盘	99
3.6.3 间接转移指令	63	5.4.1 数码管显示器接口	99
3.6.4 子程序调用及返回指令	63	5.4.2 键盘接口	102
3.6.5 空操作指令	64	思考题与习题	106
3.7 布尔运算类指令	65	第6章 中断系统	107
3.7.1 位数据传送指令	65	6.1 概述	107
3.7.2 位修改指令	65	6.1.1 中断的概念	107
3.7.3 位逻辑运算指令	66	6.1.2 中断的功能	108
3.7.4 位转移指令	66	6.1.3 中断源	108
思考题与习题	67	6.1.4 中断处理过程	109
第4章 汇编语言程序设计	69	6.2 8051单片机中断系统	110
4.1 概述	69	6.2.1 中断源及中断入口	110
4.1.1 程序设计语言	69	6.2.2 中断请求标志	111
4.1.2 汇编语言源程序的格式	70	6.2.3 中断允许控制寄存器	112
4.1.3 汇编语言伪指令	71	6.2.4 中断源优先级的设定	113
4.2 顺序与循环程序	73	6.3 中断响应处理过程	114
4.2.1 程序基本结构	73	6.3.1 中断响应	114
4.2.2 顺序程序	74	6.3.2 中断处理	115
4.2.3 循环程序	75	6.3.3 中断返回	115
4.3 分支程序	78	6.3.4 中断请求的撤除	116
4.3.1 简单分支程序	78	6.3.5 外部中断响应时间	117
4.3.2 散转程序	79	6.4 扩展外部中断源	117
4.4 查表程序	80	6.5 中断系统的应用	118
4.5 子程序	82	思考题与习题	121
4.6 算术运算与代码转换程序举例	86	第7章 定时器/计数器	123
4.6.1 多字节算术运算	86	7.1 8051定时器/计数器结构及工作 原理	123
4.6.2 代码转换	88	7.1.1 定时器/计数器结构和原理	123
思考题与习题	90	7.1.2 定时器/计数器方式寄存器	125
第5章 并行输入输出接口 及其应用	91	7.1.3 定时器控制寄存器	125
5.1 概述	91	7.2 定时器/计数器的工作方式	126
5.2 8051并行输入输出端口结构	91	7.2.1 定时器方式0	126

7.2.2 定时器方式 1	127	9.4.2 D/A 转换器的指标	174
7.2.3 定时器方式 2	127	9.4.3 D/A 转换器 DAC0832 与 单片机的接口	174
7.2.4 定时器方式 3	128	9.5 A/D 转换接口	177
7.3 定时器/计数器的应用	128	9.5.1 A/D 转换器的指标	178
7.3.1 方式 0、方式 1 的应用	129	9.5.2 A/D 转换器 ADC0809 的接口	178
7.3.2 方式 2、方式 3 的应用	133	9.6 扩展接口用于键盘显示器	182
7.3.3 门控位的应用	135	9.6.1 并行接口 8255 及串口扩展 用于键盘显示器	182
思考题与习题	135	9.6.2 键盘显示器接口芯片 8279	187
第 8 章 串行通信接口	137	思考题与习题	195
8.1 串行通信概述	137	第 10 章 8051 单片机 C 语言 程序设计	197
8.2 8051 单片机串行通信口	139	10.1 概述	197
8.2.1 串行口结构与工作原理	139	10.2 C51 数据类型与存储类型	197
8.2.2 串行口控制寄存器	140	10.3 SFR、可寻址位和 I/O 口的定义	200
8.2.3 串行口的工作方式	141	10.4 C 语言运算符与基本语句	201
8.2.4 串行通信波特率	145	10.5 C51 程序结构与函数	203
8.3 单片机串行口方式 0 的应用	146	10.6 C51 编程实例	205
8.4 单片机与单片机串行通信	148	思考题与习题	210
8.5 单片机与 PC 串行通信	151	第 11 章 单片机开发系统与集成 开发环境	211
8.5.1 串行通信硬件接口电路	151	11.1 单片机开发工具	211
8.5.2 单片机与 PC 串行通信 软件设计	153	11.2 集成开发环境 uV2	216
思考题与习题	156	11.3 单片机实验开发板	222
第 9 章 存储器扩展与接口技术	157	11.3.1 8051 单片机实验仿真器 MON-51	222
9.1 并行总线扩展	158	11.3.2 AT89S51 单片机 ISP 在系统 编程	226
9.2 单片机外部存储器扩展	160	思考题与习题	227
9.2.1 存储器寻址	160	第 12 章 单片机应用系统设计	228
9.2.2 程序存储器的扩展	162	12.1 单片机应用系统的设计开发方法	228
9.2.3 数据存储器的扩展	165	12.2 开关量输入输出接口电路	232
9.2.4 程序和数据存储器空间的合并	167		
9.3 并行 I/O 接口扩展	167		
9.3.1 简单 I/O 接口电路扩展	167		
9.3.2 可编程并行 I/O 口 8255 的扩展	168		
9.4 D/A 转换接口	172		
9.4.1 D/A 转换基本原理	173		

12.3 单片机应用系统实例	234	13.4 串行总线接口技术	258
12.4 数字温度计	239	13.4.1 SPI 总线扩展	259
12.5 温度压力测控系统	244	13.4.2 I ² C 总线扩展	264
思考题与习题	247	思考题与习题	271
第 13 章 8051 单片机新技术	248	附录 A 8051 指令表	272
13.1 新型 8051 兼容单片机	248	附录 B 单片机术语与符号	
13.2 AT89 系列 8051 单片机	251	英汉对照表	280
13.3 定时器 T2 与监视定时器	253	参考文献	286
13.3.1 定时器 T2	253		
13.3.2 监视定时器	258		

第 1 章

单片机基础知识

本章主要内容

- ◇ 计算机的发展 (Development of Computers)
 - 通用计算机的发展 (Development of General Computers)
 - 单片机的发展历程与趋势 (Development Tendency of Microcontrollers)
- ◇ 计算机的组成及技术指标 (Structure and Specifications of Computers)
 - 通用微型计算机的组成 (Composing of General Microcomputers)
 - MCS-51 单片机的组成 (Composing of MCS-51 Microcontrollers)
 - 计算机的主要技术指标 (Specifications of Computers)
- ◇ 8051 单片机常用系列 (Frequently Used Families of 8051 Microcontrollers)
- ◇ 单片机的应用 (Applications of Microcontrollers)
- ◇ 一个简单实例及单片机应用系统开发过程 (An Example and Development Procedure for Microcontroller Application Systems)
 - ◇ 数制及编码 (Number System and Coding System)
 - 数制 (Number System)
 - 编码 (Coding System)
 - ◇ 常用数字电路 (Digital Circuits)
 - 逻辑门电路 (Logical Gate Circuits)
 - 三态门 (Tri-state Gates)
 - 触发器 (Triggers)
 - 寄存器 (Registers)

1.1 计算机的发展

1.1.1 通用计算机的发展

世界上第一台电子数字计算机 (Electronic Digital Computer) 被称为 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator, 电子数字积分器与计算器), 1946 年 2 月由美国宾夕法尼亚大学研制成功。这台计算机字长为 12 位, 运算速度为 5 000 次/s, 使用 18 800 个电子管 (Vacuum Tube)、1 500 个继电器, 占地面积为 150m², 质量达 30t, 耗电为 140kW, 造价为 1 000 多万美元。计算机的发展日新月异, 至今已经历了四代。

第一代是电子管计算机 (1946 年 ~ 1957 年)。此时计算机的逻辑元件采用电子管; 主存储器采用磁鼓、磁芯; 外存储器采用磁带; 软件主要用机器语言编制程序, 后期逐步发展为汇编语言。

此时计算机主要用于科学计算。

第二代是晶体管计算机（1957年~1964年）。计算机的逻辑元件为晶体管；主存储器仍用磁芯；外存储器开始使用磁盘；软件有了很大发展，出现了各种高级语言及编译程序。此时计算机的应用已发展至数据处理，并开始用于工业控制。

第三代是集成电路计算机（1964年~1971年）。此时计算机逻辑元件已开始采用小规模和中规模的集成电路，主存储器仍以磁芯为主，软件方面已出现了分时操作系统，会话式的高级语言也得到发展。计算机的应用范围日益扩大，已开始用于企业管理与工业控制。

第四代是大规模集成电路计算机，是从1971年后发展起来的。计算机逻辑元件采用大规模、超大规模集成电路为主要部件。所谓大规模集成电路（Large Scale IC）是指在单片硅片上可以集成1000个以上晶体管的集成电路。目前一般可集成10万个，最多可集成数亿个。内存储器元件采用半导体存储器。由于集成电路的体积小、耗能少、可靠性高，因而促使计算机快速发展。

计算机按规模、性能来分类，可分为巨、大、中、小、微型计算机。计算机的发展趋势是：一方面向着高速、智能化的超级巨型机的方向发展；另一方面向着微型机、网络化的方向发展。

巨型计算机主要用于大型科学研究和实验以及超高速数学计算。微型计算机

（Microcomputer，微机）问世之前，计算机还只限于少数科技人员用于进行数学计算。微机的诞生揭开了计算机神秘的面纱。微机的中央处理器（Central Processing Unit，CPU）是集成在一个芯片上的，而巨、大、中、小型计算机的CPU则是由相当多的电路组成的。微型机的CPU也称为微处理器（Micro Processing Unit，MPU或Microprocessor）。因为微型计算机充分利用了大规模和超大规模集成电路工艺，所以体积小、成本低。加之其适用广泛，除了可用于一般的计算、管理之外，还适用于工业控制等领域。1971年，美国Intel公司研制了第一片微处理器Intel4004，字长4位，集成度为2000个晶体管/片。自20世纪70年代微型计算机诞生之后，计算机的应用推向了全社会，应用渗透到各个领域。

微型机不断更新换代，新技术层出不穷。在微机的大家族中，主要有以个人计算机（Personal Computer，PC）为代表的通用计算机和单片机两大分支。1981年，美国IBM公司推出第一台PC，其CPU采用Intel8088（准16位，477MHz）。随后各种兼容机不断涌现，其CPU的性能价格比按摩尔定律发展，即每18个月性能提高一倍，价格降低一半。计算机软硬件技术迅速发展，造就了计算机领域一些著名公司英特尔（Intel）、IBM和微软（Microsoft）等。PC使得计算机（电脑）进入到社会的各个角落。

1.1.2 单片机的发展历程

单片机异军突起，发展极为迅速。1976年9月，Intel公司推出了MCS-48系列8位单片机，从此单片机的数量、功能扶摇直上。

单片机也被称作单片计算机（Single Chip Computer）、单片微型计算机（Single Chip Microcomputer）、微控制器（Microcontroller，Micro Controller Unit）、嵌入式控制器（Embedded Controller）等。随着单片机在技术、体系结构上不断扩展其控制功能，国际上逐渐称其为微控制器（Microcontroller或MCU）。单片机主要用于实时控制与仪器仪表领域，属于嵌入式应用（Embedded Application），是嵌入式系统（Embedded System）的主力军。

单片机作为微型计算机的一个重要分支，应用面广、发展快，已有数百个系列数千个品种。将8位单片机的推出作为起点，单片机的发展历程大致可分为以下四个阶段。

第一阶段（1976年~1978年）：单片机的探索阶段。以Intel公司的MCS-48为代表（Micro

Computer System, MCS)。MCS-48 的推出是在控制领域的探索。其他公司还有 Motorola、Zilog 等。MCS-48 采用了单片结构,即在一块芯片内含有 8 位 CPU、定时/计数器、并行输入/输出(I/O)接口、随机存取存储器(RAM)和只读存储器(ROM)等,主要用于工业控制领域。它以体积小、功能全、价格低等特点,获得了广泛的应用,为单片机的发展奠定了基础。

第二阶段(1978年~1982年):高性能单片机阶段。这一类单片机带有串行 I/O 口、8 位数据线、16 位地址线可以寻址的范围达到 64K 字节、控制总线、较丰富的指令系统等。1980 年 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 外围功能单元的管理模式。

(3) 体现控制特性的位地址空间及位操作方式。

(4) 指令系统丰富,增加了许多控制功能的指令。

第三阶段(1982年~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。16 位单片机除 CPU 为 16 位外,片内 RAM 和 ROM 容量进一步增大,实时处理能力更强。例如,Intel MCS-96 单片机时钟振荡频率为 12MHz,片内 RAM 为 232 字节,ROM 为 8K 字节,中断为 8 级,片内带有 10 位 A/D 转换器和高速输入/输出部件等。随着 MCS-51 系列的广泛应用,许多厂商竞相使用 8051 的内核技术,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。

第四阶段(1990 年至今):微控制器的全面发展阶段。各公司的产品在尽量兼容的同时,向高速、强运算能力、寻址范围大以及小型廉价方面发展。随着单片机在各个领域全面、深入的发展和应用,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。

1.1.3 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,今后将进一步向 CMOS 化、低功耗、小体积、大容量、高性能、低价格和外围电路内装化等几个方面发展。单片机的发展趋势主要有以下几个方面。

(1) CMOS 化 CHMOS (Complementary High Performance MOS, 互补高性能 MOS) 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。因为单片机芯片多数是采用 CMOS 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 和 CHMOS 工艺。CHMOS 是 CMOS 和 HMOS (High Performance MOS) 工艺的结合。目前的 CHMOS 电路已达到 LSTTL (Low-power Schottky TTL) 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,单片机领域 CMOS 正在逐渐取代 TTL 电路。

(2) 低功耗化 单片机的功耗已从毫安级降到微安级,甚至 1 μ A 以下,完全适应电池工作。低功耗化还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节电运行方式。允许使用的电压范围越来越宽,一般在 3~6V 范围内工作。电源下限已可达 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,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,在单片机内部电路中采取了新的技术措施。

(5) 大容量化 以往单片机内部 ROM 为 1~4KB, RAM 为 64Byte~128Byte。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,需使片内存储器大容量化。目前,单片机内部 ROM 可达 64KB, RAM 可达 2KB。

(6) 高性能化 进一步改进 CPU 的性能,加快指令速度和提高系统的可靠性。采用精简指令系统计算机 RISC (Reduced Instruction Set Computer) 结构和流水线技术,可以大幅度提高运行速度。指令速度已达 100MIPS (百万条指令每秒),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可比通常的单片机高出 10 倍以上。

(7) 小容量、低价格化 与上述发展相反,以 8 位机为中心的小容量、低价格单片机也是发展动向之一。这类单片机的用途是把以往用数字集成电路组成的控制电路单片化。目前流行的与 MCS-51 兼容的 89S51, 89S2051 单片机价格在 10 元人民币以内。

(8) 外围电路内装化 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、数/模转换器、DMA (直接存储器存取) 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 Programmable, 一次可编程) 存储器技术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“单片方案”应用结构的发展。特别是 I²C (Inter IC)、SPI (串行外设接口) 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。

1.2 计算机的组成及技术指标

1.2.1 通用微型计算机的组成

微型计算机系统由硬件 (Hardware) 与软件 (Software) 组成。硬件由主机与外围设备组成。软件包括系统软件、应用软件、程序设计语言等。

1. 通用计算机硬件组成

一般微型计算机的硬件结构如图 1-1 所示,主要由 CPU (Central Processing Unit, 中央处理器)、存储器和 I/O (Input/Output, 输入/输出) 接口 3 部分组成,三者通过三组总线即数据总线 (Data Bus, DB)、地址总线 (Address Bus, AB) 和控制总线 (Control Bus, CB) 相连接。

(1) 中央处理器与系统总线。中央处理器 (CPU) 是采用大规模集成电路的芯片,片内集成了运算器 (ALU)、控制器和若干高速存储单元即寄存器。PC 最早采用的 CPU 是 8088,外部数据总线为 8 位,内部数据总线为 16 位,时钟频率为 4.77MHz,后来发展到 8086/80286/80386/80486, Pentium (奔腾), Pentium2, Pentium3, Pentium4 等,数据总线发展到 32/64 位,时钟频率为 16MHz, 166MHz, 450MHz,

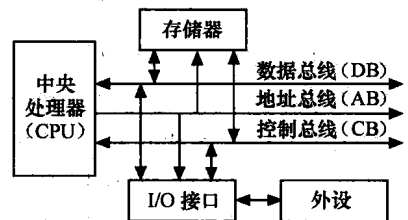


图 1-1 微型计算机硬件结构组成框图

733MHz, 3.06GHz 等。

CPU 通过系统总线与存储器、I/O 接口和外部设备进行信息交换。总线是一组传输信号的线路。

① 地址总线：传输 CPU 发出的地址信息，选择需要访问的存贮单元和 I/O 接口电路。地址总线是单向的，只能由 CPU 向外传送地址信息。地址总线的位数决定了可以直接访问的存贮器单元数目。

② 数据总线：用来在微处理器和存贮器以及 I/O 接口之间传送数据，如从存贮器中取数据到 CPU，把运算结果从 CPU 送到外部输出设备等。数据总线是双向的，即数据可从 CPU 传出，也可以从外部送入 CPU。

③ 控制总线：可以是 CPU 的控制信号送往外界，也可以是外部设备的请求信号或状态信号输入到 CPU。对于每一条具体的控制线，信号的传送方向则是固定的，个别信号线具有双向功能。

(2) 存储器 (Memory)。存储器就是存放程序和数据部件。只有通过存储器，计算机才能进行程序的运行和数据的处理。存储器容量单位一般采用 Byte (字节即 8 位二进制数)、KB (1 024Byte)、MB (1 024KB)、GB (1 024MB)、TB (1 024GB) 等。一般两个字节为一个字 (Word)。存储器读写速度是指读或写一条信息所需的时间，它是影响计算速度的主要因素之一。一般半导体存储器存取时间在几十纳秒 (ns) 到几百纳秒。

微机的存储器分为主存储器和辅助存储器两类，当前主要由半导体存储器和磁盘、光盘等构成。半导体存储器造价高、速度快，但容量小，主要用来存放当前正在运行的程序和正在待处理的数据；磁盘、光盘造价低、容量大、信息可长期保存，但速度慢，主要用来存放暂不运行的程序和暂不处理的数据。半导体存储器被安排在机内的电路板上，CPU 可以通过总线直接存取，因而也称内存；CPU 通过 I/O 接口进行存取磁盘、光盘，所以称外存 (External Storage)，有时也称其为外设。

半导体存储器分为只读存储器 (Read Only Memory, ROM) 和随机存取存储器 (Random Access Memory, RAM)。ROM 通常只允许读操作，即在正常工作时只能读取其中的信息，信息可在断电后长期保存。一般用来存放一些固定程序，如监控程序、子程序、字库及数据表等；RAM 可进行读写操作，所以又称为读写存储器。一般的 RAM 在断电后原来存放的信息将会丢失。RAM 常用于存放经常要改变的程序或中间计算结果等。

只读存储器可分为掩膜 ROM、OTPROM、EPROM、E²PROM、Flash 等不同类型。

掩膜 ROM 是由厂家编好程序写入 (称固化) 供用户使用，用户不能更改它。在合适批量的情况下，其价格最便宜。

一次可编程存储器 (One Time Programmable ROM, OTP) 又被称为可编程序只读存储器 (Programmable ROM, PROM)，它的内容可由用户根据自己所编程序一次性写入，一旦写入，只能读出，而不能再进行更改。

可改写的只读存储器 (Erasable PROM, EPROM) 芯片的内容可以通过紫外线照射其玻璃窗口而彻底擦除，可重新写入新的程序，写好程序后，用不透明的纸盖住其玻璃窗口。通常一个 EPROM 芯片可改写几十次。紫外线擦除器一般需要几分钟到二十几分钟可对 EPROM 芯片进行一次擦除。在对 EPROM 编程时，不同型号的芯片编程电压可能不同。

可电擦除可编程只读存储器 (Electrically Erasable Programmable ROM, E²PROM 即 EEPROM)，可通过加电写入或清除其内容，其编程电压和清除电压可以与 CPU 的 5V 工作电压相同，不需另加电压。它既有与 RAM 一样读写操作简便，又有数据不会因掉电而丢失的优点，因而使用极为方便。一般 E²PROM 保存的数据至少可达 10 年以上，每块芯片可擦写 1 000 次以上。

Flash 存储器 (Flash Memory) 又称闪速存储器 (闪存)，是一种快速编程的 E²PROM。例如 PC 机的 BIOS (Basic Input Output System, 基本输入输出系统) 即监控程序一般采用 Flash 存储器。

许多新型单片机具有片内闪速存储器，如 89S52 有 8KB Flash 存储器。

RAM 按照存储信息的方式可分为静态 RAM 和动态 RAM 两种。静态 RAM (Static RAM, SRAM) 的特点是只要有电源加于存储器，数据就能长期保留。动态 RAM (Dynamic RAM, DRAM) 写入的信息只能保持若干毫秒的时间，因此每隔一定时间必须重新写入一次，以保持原来的信息不变。这种重写的操作，又称刷新 (Refresh)，故动态 RAM 控制电路较复杂，但动态 RAM 价格比静态 RAM 便宜些。PC 内存条一般采用动态 RAM，目前容量一般在 64MB ~ 2GB，而单片机多采用静态 RAM，容量一般在 128Byte ~ 64KB。

存储器技术像 CPU 技术一样也在不断发展，例如广泛采用的串行接口存储器技术等。

(3) I/O 接口和 I/O 设备。I/O 设备是指微机上配备的输入输出设备 (Input/Output Device)，也称外部设备 (Peripheral) 或外围设备 (External Device)，其功能是为微机提供具体的输入输出手段。通用微机常见的 I/O 设备有标准键盘 (Keyboard)、CRT (Cathode Ray Tube, 阴极射线管) 屏幕或液晶显示器、鼠标、打印机、绘图仪、扫描仪、磁盘或光盘驱动器等。

I/O 接口电路完成匹配外设与 CPU 的工作速度、信号变换、数据缓冲和 CPU 联络等工作。在微机系统中，较复杂的 I/O 接口电路一般都被做在电路插板上，这种电路插板又被称为卡 (Card)，只要将它们插入总线插槽 (I/O 通道) 就等于将它们连到了系统总线。早期 PC 使用的 I/O 接口芯片有：8255 并行接口、8251 串行接口、8253 定时器/计数器、8259 中断控制器等。

2. 通用计算机软件

通用计算机软件包括系统软件、应用软件、程序设计语言等。

(1) 系统软件。系统软件通常包括：操作系统、诊断调试程序、设备驱动程序等。

在系统软件中，最重要的软件是操作系统 (Operating System, OS)。所有的应用程序包括系统软件中的一些程序，都要在操作系统平台上运行。

操作系统的基本功能是负责管理、调度整个系统的软硬件资源，包括：CPU、存储器、各 I/O 设备等硬件资源，以及文件、目录、进程、任务等软件资源；向用户提供最基本的交互界面，以方便用户的使用。

当前，新型操作系统还向用户提供了更多可利用的软件资源，如各种实用程序和函数库等。目前 PC 机常用的操作系统为视窗系列操作系统如 Windows XP 以及 DOS (Disk Operating System, 磁盘操作系统) 等。对于单片机控制系统开发完成后，其系统里的监控程序，也相当一个小的操作系统的功能，它完成管理和协调各控制要求任务。

(2) 应用软件。应用软件是围绕某项应用、面向某些对象而编制的一类软件，如电子线路原理图与印刷电路板设计软件 Protel、杀病毒软件 KV3000 等。它可以是面向数据库管理、面向计算机辅助设计 (如 AUTOCAD)、面向文字处理的软件 (如办公自动化软件 Office XP)，也可以是为某个单位、某项工作的具体需要，或按某项控制的要求而开发的软件。

(3) 程序设计语言。计算机的程序设计语言有汇编语言和高级语言。目前 PC 多采用 Visual C++、Visual Basic、Java、Delphi、C 等高级语言编程。而单片机则多采用汇编语言、C 语言等编程。软件的开发多采用集成开发环境 (Integrated Development Environment, IDE)，即将编辑程序 (Editor)、汇编程序 (Assembler)、编译程序 (Compiler)、连接程序 (linker)、调试程序 (Debugger) 等集成在一起。

1.2.2 MCS-51 单片机的组成

单片微型计算机即单片机，就是将 CPU、RAM、ROM、定时/计数器等各种 I/O 接口电路集

成到一块集成电路芯片上的计算机 (A computer on a chip)。因此,一块芯片就构成了一台计算机。它主要用于控制领域,故又被称为微控制器 (Microcontroller)。单片机属于微机的一种,具有普通微机的基本组成和功能。

8051 是 MCS-51 系列单片机的最初成员,也是所有 MCS-51 及其众多兼容单片机的内核 (Core),图 1-2 所示为 8051 单片机结构框图。8051 内核有以下特点。

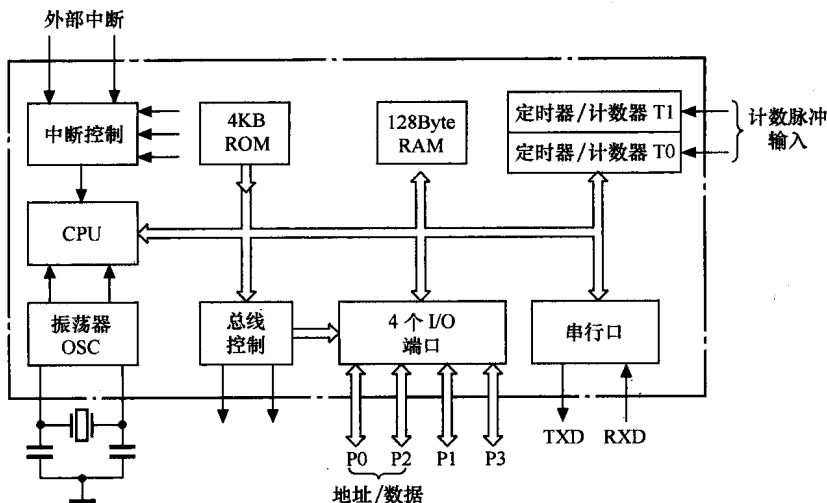


图 1-2 8051 内核的基本结构框图

- (1) 为控制领域优化设计的 8 位 CPU。
- (2) 4KB 的片内程序存储器 (ROM)。
- (3) 128Byte 的片内数据存储器 (RAM)。
- (4) 64KB 程序存储器地址空间。
- (5) 64KB 数据存储器地址空间。
- (6) 较强的布尔处理 (位操作) 能力。
- (7) 32 位双向且可位寻址的 I/O 线 (P0 ~ P3)。
- (8) 两个 16 位定时器/计数器 (T0, T1)。
- (9) 1 个全双工的串行接口。
- (10) 5 个具有两个优先级的中断源。
- (11) 片内时钟振荡电路 (Oscillator, OSC)。
- (12) 111 条指令。

可见,8051 将 8 位 CPU、存储器 (128Byte RAM 和 4KB ROM) 及接口电路集成到一块芯片上,即构成了微型计算机的基本硬件电路。片内接口电路包括 4 个并行 I/O 接口 P0 ~ P3、两个 16 位定时器 T0 ~ T1、串行接口及中断控制电路,分别相当于 PC 的 8255 并口、8253 定时器、8251 串行口和 8259 中断控制器等芯片。与通用微机相比,单片机有以下特点。

- (1) 优异的性能价格比,是价格可以低于 1 美元的计算机。
- (2) 集成度高、体积小。
- (3) 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,大大提高了单片机的可靠性与抗干扰能力。
- (4) 程序采取固化形式也可以提高可靠性。

(5) 为了满足控制领域要求, 指令系统中具有极丰富的转移指令、I/O 口的逻辑操作以及位处理功能。

1.2.3 计算机的主要技术指标

计算机的技术性能由其系统结构、指令系统、硬件组成、软件配备及外部设备等因素来决定。常用的硬件性能指标有字长、速度、存储器容量等。

1. 字长

字长为 CPU 并行处理数据的二进制位数。通常为内部数据总线的位数。通常为 4 位、8 位、16 位、32 位。目前 PC 字长一般为 32 位、64 位, 而单片机字长多为 8 位或 16 位。

2. 时钟频率

CPU 时钟频率(即主频)反映了计算机的速度。运算速度通常指 CPU 每秒钟执行指令的条数。目前 PC 主频一般为 733MHz、2.1GHz、3.06GHz 等, 而单片机的时钟频率多为 6MHz、12 MHz、40MHz。一些 DSP 控制器(属于 32 位单片机)时钟频率可达 400MHz。

3. 存储器容量

存储器容量一般以字节 Byte 或位(bit, 比特)为单位。1Byte=8bit, 1KB=2¹⁰Byte=1 024Byte, 1MB=1 024KB, 1GB=1 024MB。目前 PC 主存储器容量一般为 32MB~2GB。单片机的程序存储器一般为 2KB~64KB, 数据存储器一般为 128Byte~64KB。

4. 接口与外设指标

PC 机通常的外设有标准键盘、鼠标、CRT、LCD 屏幕显示器、打印机、扫描仪、音箱、硬盘、软盘、闪盘等, 其接口电路有显卡、声卡、网卡等。而单片机系统的外设往往很简单, 通常有 LED 指示灯、数码管、简单键盘、开关、继电器、数模、模数转换电路等, 有的单片机系统甚至没有显示器与键盘。

表 1-1 给出了单片机与 PC 性能指标的对比。

表 1-1 单片机与 PC 性能指标比较表

项 目	PC	单 片 机
价格	高: 数千至上万元	低: 数元至数百元
功能	多	单一
体积	大	很小
存储器	大: 32MB~2GB	小: 2KB~64KB
CPU	32 位、64 位	8 位(16 位)为主
时钟频率	733MHz~3.06GHz	6MHz~24MHz
常用输出设备	GRT 或 LCD 显示器	LED 数码管
常用输入设备	鼠标、键盘	简单按键
操作系统	Windows XP, Linux	自行开发
编程语言	Visual C++, Visual Basic	汇编语言或 C 语言

1.3 8051 单片机常用系列

自 1976 年诞生以来, 单片机已有数百个系列数千个品种, 且不断出现新品种。例如 Intel 公