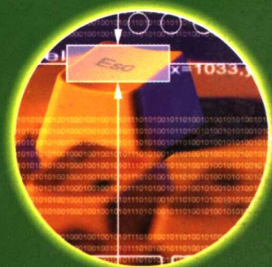


21世纪高等院校计算机科学规划教材

单片机原理及基于单片机的嵌入式系统设计

蔡方凯 主编
张 霆 等编著
洗 进 主 审

张 松 董凯宁 余 波



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高等院校计算机科学规划教材

单片机原理及基于单片机的 嵌入式系统设计

蔡方凯 主 编

张 松 董凯宁 余 波 张 霆 等编著

冼 进 主 审

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书共分两部分内容：第一部分系统介绍 MCS-51 单片机的组成原理、指令系统、汇编语言程序设计、定时、中断、串口、I/O 扩展；第二部分阐述基于单片机的嵌入式系统设计概述，并通过分析一个基于单片机的嵌入式系统实际应用项目（智能报警系统），使读者掌握嵌入式系统设计的方法，最后从实验和实训两个角度来提高读者的实际动手能力。

本书是为满足广大单片机学习者、爱好者、科技工作者从事基于单片机的嵌入式系统硬件、软件设计的需求而编写的，具有内容全面、细致、实用的特点。书中大部分软硬件设计实例都是作者多年来从事嵌入式系统和单片机应用与开发的经验总结，实用性较强。

本书内容丰富、理论架构完整，阐述实例时深入浅出，可作为高等院校单片机原理和接口技术等相关课程的教材，也可作为从事单片机开发的广大工程技术人员参考用书。

本书电子教案可从中国水利水电出版社网站（<http://www.waterpub.com.cn/softdown/>）上下载。

图书在版编目（CIP）数据

单片机原理及基于单片机的嵌入式系统设计 / 蔡方凯
主编. —北京：中国水利水电出版社，2007
21 世纪高等院校计算机科学规划教材
ISBN 978-7-5084-4397-3

I. 单… II. 蔡… III. ①单片微型计算机—高等学校—教材②微型计算机—系统设计—高等学校—教材 IV. TP368.1 TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 021813 号

书 名	单片机原理及基于单片机的嵌入式系统设计
作 者	蔡方凯 主 编 张 松 董凯宁 余 波 张 霆 等编著 洗 进 主 审
出版 发行	中国水利水电出版社（北京市三里河路 6 号 100044） 网址： www.waterpub.com.cn E-mail： mchannel@263.net （万水） sales@waterpub.com.cn
经 售	电话：（010）63202266（总机）、68331835（营销中心）、82562819（万水） 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市天竺颖华印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 19 印张 465 千字
版 次	2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	28.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

21 世纪高等院校计算机科学规划教材

编委会

主 任 袁开榜

副 主 任 孙春亮 杨庆川

编委名单

张仕斌 梅 挺 蔡乐才 吴文权

汪启荣 李秀疆 谢建华 甘 刚

冼 进 张 松 徐振明 刘 涛

瞿 中 黄同愿 李明富 刘文清

游洪跃 梁 洁 王立君 杨元泓

序

随着计算机科学与技术的发展, 计算机应用已经渗透到人们生活、工作和学习的方方面面, 从而日益改变着人类传统的工作与生活方式。这就要求当代大学生在校学习期间就应储备更多的计算机专业知识。

为了大力推广计算机应用技术, 更好地适应当前高等院校计算机教育模式的转变, 我们组织一批学术水平较高、教学经验丰富、实践能力较强的学术带头人、科研人员和从事相关课程教学的主要骨干教师, 对当前国内外高等院校计算机教育的教学现状与发展趋势、新形势下如何加强高等院校的教材建设等问题进行了深入的研究和探讨, 并成立了“21世纪高等院校计算机科学规划教材”编委会, 在明确了高校的人才培养模式、培养目标和课程体系的框架下, 组织编写了本套“21世纪高等院校计算机科学规划教材”。

本套教材具有以下显著特色:

(1) 充分体现了计算机教育教学第一线的需要。在编写之初, 编委会经过大量的前期调研和策划, 广泛地了解各高等院校的教学现状、市场需求, 研讨了课程设置、课程体系, 拟定了相关的知识单元和知识点, 充分听取了教学第一线教师对计算机教育的意见, 使本套教材充分反映了老师们的需求。

(2) 各高校计算机院(系)院长(主任)对本套教材的建设十分重视, 热情鼓励教师积极参与编写, 充分展现了各个高校在计算机教育教学改革中取得的最新教研成果。

(3) 本套教材在内容安排上既注重内容的全面性, 也充分考虑了不同学科、不同专业对计算机知识的不同需求的特殊性。

(4) 本套教材为了充分调动学生分析问题、解决问题的积极性, 以及锻炼学生的实际动手能力, 在全书中大力增加了实践检验所占的比重。

(5) 力求实践性强是本套教材的一大特色, 通过案例教学, 将最急需、最实用的计算机知识传授给学生。

为进一步体现实用性, 本配套教材在编写时配有课程学习辅导、实验指导、综合实训、电子教案等, 以使教材向多元化、多媒体化发展, 满足广大教师的教学需要。

总之, 本套教材凝聚了众多长期工作在教学、科研第一线的教师及科研人员的教学科研成果、教学经验和智慧, 在写法上体现了理论与实践相结合, 相关的知识点讲解清晰、透彻, 注重教学实践, 力求科学实用, 符合教学习惯。语言通俗易懂, 内容丰富翔实, 既有对基本理论及使用方法的透彻讲解, 又注重实例与技巧的融会贯通。这套教材是新形势下计算机教育改革的一种新的尝试, “新”就会有許多值得修改的地方。我们期待广大读者对本套规划教材提出宝贵意见, 以便进一步修订, 使本套规划教材不断完善和提高。

21世纪高等院校计算机科学规划教材编委会

主任 袁开榜

2006年6月

前 言

基于单片机的嵌入式系统以体积小、价格低、应用灵活等优点，在工业控制、机电一体化、智能仪表、通信、家用电器等领域得到广泛应用。嵌入式系统的广泛应用必然带来对嵌入式技术人才的需求迅速增加，各高等院校为适应市场对单片机人才的需求，纷纷开设了单片机原理和技术课程。

对于初次接触单片机和嵌入式系统的高等院校学生、工程技术人员来说，普遍感到单片机难学，即使学习了单片机原理以后，对基于单片机的嵌入式系统设计还是感觉无从下手。作者根据自己的单片机教学和项目开发经验编写了此书，希望能为广大单片机爱好者提供帮助，使单片机不再让人望而生畏，使嵌入式系统设计不再神秘。

本书以 MCS-51 系列单片机为主线，突出单片机的实践性和应用性强的特点，全面讲述了单片机应用系统的结构、原理和基于单片机的嵌入式系统设计。全书共分 13 章，第 1 章介绍单片机的基本常识；第 2 章介绍作为一个单片机应用开发人员应如何认识单片机的引脚电气特性和内部结构；第 3 章和第 4 章介绍单片机汇编语言和汇编语言程序设计，希望通过大量实例提高读者的编程能力，编程能力对进行基于单片机的嵌入式项目开发起关键作用；第 5 章至第 7 章介绍中断、定时和串行通信的基本原理，突出强调单片机开发者应如何通过编程实现对片内的中断、定时和串行通信模块的控制；第 8 章介绍单片机四个 I/O 口的使用及存储器的扩展；第 9 章介绍基于单片机的嵌入式系统的概念、组成、特点及其应用；第 10 章则希望通过有限的实例使读者掌握嵌入式接口设计的方法，嵌入式接口设计千头万绪，掌握嵌入式接口设计的基本方法，读者可以针对实际应用需求一步步设计出自己需要的基于单片机的嵌入式系统；第 11 章和第 12 章从实际项目出发，详细介绍了利用 C51 语言实现实际项目的开发过程；第 13 章从实验和实训两个角度来提高读者的实际动手能力，通过实验和实训，读者基本上可以迈入嵌入式系统开发的大门。全书从原理、实验、实训、项目开发几方面循序渐进地介绍了单片机的基本原理和设计方法。

本书由蔡方凯主编，张松、董凯宁、余波和张霆等编著，其中第 1、2 章由余波编写，第 3、4、8、10 章由张松编写，第 5、6、7 章由蔡方凯编写，第 9、11、12 章由董凯宁编写，第 13 章由张霆编写。另外，参与本书编写工作的还有：邹素琼、赵秋云、赵继军、彭艺、曲辉辉、周章、蒋波、徐留旺、曹振宇、张婷、温凌霜、鲁得翠、蒋泽平、魏乐、韩翔、程小英、谭小丽等，在编写过程中还得到了李传学、刘虹、严成等同志的大力帮助，在此一并表示感谢。

由于作者水平所限，加之计算机技术发展迅速且本书的覆盖面广，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。我们的联络方式：china_54@tom.com。

编 者

2007 年 1 月

目 录

序

前言

第 1 章 单片机概述	1
1.1 微型计算机系统结构	1
1.2 微型计算机工作过程	3
1.2.1 如何将程序烧写到程序存储器中	3
1.2.2 如何将程序从程序存储器中取出	4
1.2.3 CPU 读出指令码和操作数后如何执行	7
1.3 单片机发展历史	8
1.4 单片机的发展趋势	9
1.5 单片机应用——电子产品的控制器	10
1.6 单片机的主要生产厂家及产品	10
1.7 计算机中的数制	11
1.7.1 数制的基本概念	11
1.7.2 不同进位计数制之间的转换	12
1.8 习题	16
第 2 章 MCS-51 单片机的结构和原理	17
2.1 MCS-51 系列单片机特性	17
2.2 从外部引脚初看 51 单片机	18
2.3 从引脚使用二看单片机	20
2.3.1 单片机最小系统的实现	20
2.3.2 时钟信号	22
2.3.3 复位状态	23
2.4 从内部结构三看 51 单片机	23
2.4.1 中央处理器 CPU	24
2.4.2 MCS-51 单片机存储器及其存储空间	25
2.4.3 程序存储器	26
2.4.4 内部数据存储器	26
2.4.5 特殊功能寄存器 (SFR)	28
2.5 并行输入/输出端口	30
2.6 习题	30
第 3 章 MCS-51 指令系统	32
3.1 指令系统概述	32
3.1.1 指令格式	32

3.1.2	指令字长	33
3.1.3	指令分类	33
3.2	寻址方式	34
3.2.1	立即寻址	34
3.2.2	寄存器寻址	34
3.2.3	直接寻址	35
3.2.4	寄存器间接寻址	35
3.2.5	变址寻址	36
3.2.6	相对寻址	36
3.2.7	位寻址	37
3.2.8	指令中常用的符号注释	38
3.3	MCS-51 的指令系统	38
3.3.1	数据传送类指令	39
3.3.2	算术运算指令	44
3.3.3	逻辑运算及移位类指令	48
3.3.4	控制转移类指令	50
3.3.5	位操作类指令	55
3.4	习题	58
第 4 章	汇编语言程序设计	61
4.1	伪指令	61
4.1.1	为什么要使用伪指令	61
4.1.2	MCS-51 单片机的伪指令	61
4.2	汇编语言程序设计	65
4.2.1	顺序结构	65
4.2.2	分支结构	68
4.2.3	循环结构	72
4.2.4	子程序设计和子程序调用	76
4.3	习题	79
第 5 章	MCS-51 单片机中断系统	80
5.1	中断的概念	80
5.2	MCS-51 单片机的中断流程	81
5.2.1	中断请求标志寄存器	83
5.2.2	中断允许寄存器 IE	84
5.2.3	中断优先级控制	85
5.2.4	中断嵌套	86
5.3	MCS-51 的中断响应条件和中断处理	87
5.3.1	中断响应的条件	87

5.3.2	中断处理过程	88
5.4	中断程序编程举例	89
5.4.1	中断入口程序设计	89
5.4.2	中断编程举例	91
5.5	习题	93
第 6 章	定时器与计数器	95
6.1	定时和计数的基本概念	95
6.1.1	计数的基本概念	95
6.1.2	定时的基本概念	95
6.2	MCS-51 单片机定时/计数器的结构和工作原理	96
6.2.1	定时/计数器概述	96
6.2.2	单片机定时/计数器的工作方式	97
6.2.3	定时/计数器的工作模式寄存器	98
6.2.4	定时/计数器的启动控制寄存器	99
6.3	定时/计数器工作模式及其应用	99
6.3.1	工作模式 0 及其应用	100
6.3.2	工作模式 1 及其应用	102
6.3.3	工作模式 2 及其应用	103
6.3.4	工作模式 3 及其应用	105
6.4	综合应用举例	106
6.5	习题	110
第 7 章	串行接口通信	111
7.1	概述	111
7.1.1	数据传输方向	111
7.1.2	同步和异步通信	112
7.1.3	波特率	113
7.2	MCS-51 单片机的串行通信接口	113
7.2.1	串行通信接口结构	113
7.2.2	串行口控制寄存器 SCON 和 PCON	114
7.3	串行口的四种工作方式	116
7.3.1	串口工作方式 0	116
7.3.2	串口工作方式 1	117
7.3.3	串口工作方式 2	121
7.3.4	串口工作方式 3	121
7.4	串口综合应用举例	123
7.4.1	串口模块化编程	123
7.4.2	串口模块化编程举例	124

7.4.3	串行口多机通信技术	126
7.5	习题	129
第 8 章	并行 I/O 接口扩展及其应用	130
8.1	概述	130
8.2	准双向并行 I/O 的使用	130
8.2.1	准双向并行 I/O 口的输出功能	131
8.2.2	准双向并行 I/O 口的输入功能	132
8.3	并行 I/O 的扩展	133
8.3.1	利用 74LS377、74LS373 扩展 8 位并行 I/O 接口	134
8.3.2	利用 74LS244 扩展 8 位并行 I/O 接口	135
8.4	存储器的扩展	136
8.4.1	数据存储芯片 RAM 介绍	137
8.4.2	6264 芯片的读写操作时序	137
8.4.3	对片外 RAM 的读写操作时序	138
8.4.4	6264 和 51 单片机的接口设计	139
8.5	习题	141
第 9 章	嵌入式系统概述	142
9.1	嵌入式系统简介	142
9.1.1	什么是嵌入式系统	142
9.1.2	嵌入式系统的特点	144
9.1.3	嵌入式系统分类	145
9.1.4	嵌入式微处理器	145
9.1.5	嵌入式系统选型指南	147
9.2	嵌入式系统的应用领域	149
9.3	嵌入式系统的发展趋势	150
9.4	习题	152
第 10 章	基于单片机的嵌入式接口设计	153
10.1	键盘接口设计	153
10.1.1	键盘的工作原理	153
10.1.2	独立式按键	154
10.1.3	矩阵式按键	156
10.2	数码管 (LED) 显示器	160
10.2.1	LED 显示器的结构与原理	160
10.2.2	LED 显示驱动技术	162
10.2.3	LED 显示接口设计实例	163
10.3	液晶显示 (LCD) 接口设计	166
10.3.1	点阵式液晶显示器的基本原理	166

10.3.2	液晶显示器引脚	167
10.3.3	时序波形	168
10.3.4	显示模块控制字	168
10.3.5	单片机和液晶模块硬件接口设计	169
10.3.6	单片机和液晶模块的软件设计	171
10.4	模/数 (ADC)、数/模 (DAC) 接口设计	172
10.4.1	ADC0809 芯片结构	172
10.4.2	ADC0809 的工作原理	173
10.4.3	A/D 转换器的接口设计实例	173
10.4.4	D/A 转换器 DAC0832 的结构	176
10.4.5	D/A 转换器 DAC0832 与单片机的接口技术	177
10.5	单片机常用总线接口设计及实例	179
10.5.1	概述	179
10.5.2	I ² C 总线的基本特征	179
10.5.3	I ² C 总线的数据传输格式	181
10.5.4	单片机模拟 I ² C 总线	182
10.5.5	I ² C 总线接口设计实例	185
10.5.6	单片机对 24LC256 的写操作	186
10.6	习题	190
第 11 章	嵌入式单片机技术 C 教程基础	191
11.1	C51 编程基础	191
11.1.1	标识符与关键字	191
11.1.2	数据类型	195
11.1.3	常量	197
11.1.4	变量及其存储模式	198
11.1.5	用 typedef 重新定义数据类型	199
11.1.6	操作符与表达式	200
11.2	串行通信与定时程序	201
11.3	嵌入式操作系统	202
11.3.1	嵌入式操作系统简介	202
11.3.2	实时嵌入式操作系统分析	204
11.4	习题	212
第 12 章	嵌入式系统 C 教程实战篇	213
12.1	引言	213
12.2	嵌入式智能报警系统概要	215
12.2.1	安全防护系统的综合性能	215
12.2.2	安全防护系统的组建方式	217

12.2.3	报警中心系统	221
12.2.4	报警系统的误报问题	222
12.3	嵌入式智能报警主机硬件详细设计	223
12.3.1	AT89C52 单片机主控制子模块	223
12.3.2	电源子模块	226
12.3.3	数码管显示驱动子模块	228
12.3.4	语音录制存储子模块	229
12.3.5	数据存储子模块	230
12.3.6	双音多频信号接收发送子模块	234
12.3.7	无线遥控发射/接收子模块	240
12.3.8	警号驱动子模块	248
12.3.9	报警接入子模块	248
12.3.10	电话信号发送/接收子模块	249
12.4	嵌入式报警主机软件设计	251
12.4.1	程序框架	251
12.4.2	流程说明	252
12.4.3	软件抗干扰	260
12.5	嵌入式报警主机技术改进展望	261
12.6	习题	265
第 13 章	单片机汇编语言综合实训	266
13.1	单片机开发实验板 EZ_SP 简介	266
13.2	MCS-51 单片机实验	267
实验一	单片机开发系统及使用	267
实验二	存储器块清零	269
实验三	二进制到 BCD 的转换	270
实验四	多字节乘法程序	271
实验五	I/O 口亮灯实验	273
实验六	中断实验	274
实验七	定时器/计数器实验	275
实验八	A/D 转换实验	277
实验九	D/A 转换实验	279
实验十	单片机串行口应用实验	280
13.3	单片机开发实训	282
实训一	交通灯控制	282
实训二	电子钟	284
实训三	6 位数字密码锁	287
参考文献	291

第 1 章 单片机概述

知识点:

- ◇ 了解计算机的基本结构
- ◇ 理解计算机的工作过程
- ◇ 掌握原码、反码、补码的概念和数制转换

随着电子技术的迅速发展,计算机已渗透到人们的生活中。计算机工业的迅速发展顺应了工业和社会消费领域对计算机应用的巨大需求。通常人们对计算机的理解是普通 PC 机,但是在工控、数据采集、仪器仪表等领域,迫切需要高性能、低功耗、便携式的微型计算机,所以单片机和基于单片机的嵌入式系统成为工控领域的宠儿。除了工业方面,民用产品和消费类产品中也随处可见单片机的广泛应用。

1.1 微型计算机系统结构

1946年,美国的宾夕法尼亚大学设计研制了世界上第一台名为 ENIAC 的电子数字计算机。ENIAC 由 1.8 万只电子管组成,占地 180 平方米,重达 30 吨,运算速度为 5000 次/秒。

几十年来,电子计算机经历了几次重大的技术革命,得到了突飞猛进的发展。从计算机硬件角度看,体积、重量、功耗显著降低,存储容量、功能显著提高。从软件发展趋势看,随着 Windows 操作系统和大量软件的使用,操作和使用计算机越来越方便。

计算机的硬件系统由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五个部分组成,如图 1-1 所示。

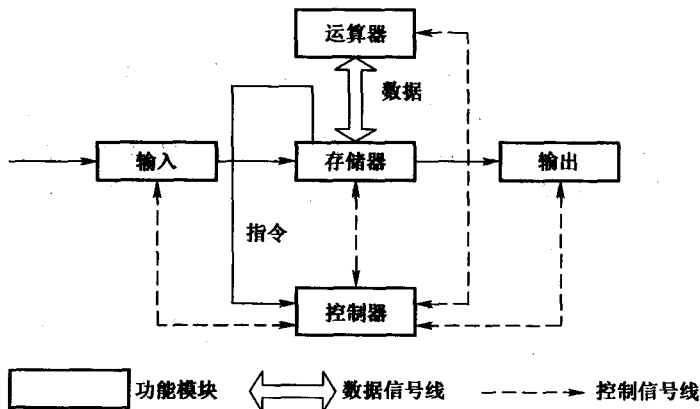


图 1-1 电子计算机基本结构图

1. 运算器

运算器又称为算术逻辑单元 (ALU)，是计算机中负责对数据进行运算处理的部件，主要功能是完成各种算术运算和逻辑运算，如加、减、乘、除、逻辑判断、逻辑比较等。运算器的运算速度是决定计算机档次的主要性能指标之一。

2. 控制器

相当于计算机的指挥中心，负责控制和指挥计算机中的各个部件协调工作。主要功能是从存储器中取出指令、分析指令、执行指令，按照先后顺序向计算机中的各个部件发出控制信号，指挥它们完成各种操作。

控制器和运算器组成中央处理器 CPU。CPU 是由一块或多块大规模或超大规模集成电路芯片组成的，它的性能好对计算机的档次起决定性作用。比如，字长是反映 CPU 性能的重要指标之一。它指的是 CPU 一次可以处理的二进制位数。字长越长，其运算精度越高。现在的计算机字长一般为 8 位、16 位、32 位、64 位等。反映 CPU 能力的另一重要指标是时钟频率，即主频。主频在很大程度上决定了计算机的运算速度。例如：Pentium III 800 表示 CPU 主频为 800MHz；AMD Athlon 1GHz 表示 CPU 主频为 1GHz。

3. 存储器

在计算机中，存储器是用来存储数据和程序的“记忆”装置。计算机中的全部信息，包括数据、程序、指令以及运算的中间数据和最后的结果都要存放在存储器中。

存储器由若干个存储单元组成，信息可以按地址写入或读出。存储器的基本存储单位为字节 (Byte)，并约定八位二进制数为一个字节；字节用 B 表示。存储单位还有千字节 (KB)、兆字节 (MB)、千兆字节 (GB)，它们之间的换算公式如下：

$$1024\text{B}=1\text{KB}$$

$$1024\text{KB}=1\text{MB}$$

$$1024\text{MB}=1\text{GB}$$

存储器分为两大类：一类是内部存储器，简称内存储器、内存或主存；另一类是外部存储器或辅助存储器，简称外存储器、外存或辅存。

内存储器是计算机主机中的一个组成部分，它可以直接与 CPU 交换信息。内存储器一般都是采用大规模或超大规模集成电路工艺制造的半导体存储器，具有体积小、重量轻、存取速度快等特点。

外存储器一般用来存放需要永久保存的或是暂时不用的程序和数据信息。外存储器不直接与 CPU 交换信息，当需要这些信息时可以将它们调入内存和 CPU 交换信息。现在计算机中广泛采用了价格较低、存储容量大、可靠性高的磁介质作为外存储器，常用的有软磁盘、硬磁盘和磁带等；还有采用激光技术存储信息的光盘存储器，如只读型光盘 (CD-ROM) 和可读写型光盘 (CD-RW) 等。

4. 输入设备

输入设备是将数据信息和程序通过计算机接口电路转换成电信号，顺序地送入计算机存储器中进行处理的设备。常用的输入设备有键盘、鼠标、图形扫描仪、卡片输入机等，最常用的是键盘和鼠标。

5. 输出设备

输出设备是用来将计算机中处理后的数据、程序和图形等转换成为人们能够识别的形式

显示出来的设备。常用的输出设备有显示器、打印机、绘图仪等。显示输出系统由显示器和显示适配器（显卡）构成。显卡由显示存储器、寄存器和控制电路三部分组成，是主机与显示器之间的桥梁，负责将计算机内部输出的信号转换成显示器能够接收的信号。显示器按其构成的器件可分为阴极射线管（CRT）显示器和液晶（LCD）显示器。显示器屏幕上的字符和图形是由一个个像素组成的，像素的多少用分辨率来表示。目前常用的显示器分辨率有 640×480 像素、 800×600 像素、 1024×768 像素等。分辨率越高，其清晰度越好，显示的效果越好。选择显示系统时要综合考虑显示器和显卡的性能，两者之间应该相互匹配。

打印机是使用最广泛的输出设备，是把计算机中的信息生成硬拷贝的设备。打印机按打印方式分为击打式和非击打式两类。击打式打印机主要是针式打印机，非击打式打印机主要是喷墨打印机和激光打印机。

1.2 微型计算机工作过程

微机的工作过程按照“程序存储，程序控制”的方式工作。程序存储是指用户根据实际应用需要将程序编写完毕，并将程序的机器码存放在存储器中。用户编程的根本目的是要求计算机能够按照用户需求一步步地执行该段程序，那么计算机如何能够理解用户程序，并按要求去执行该段程序呢？这就是程序控制。程序控制是指 CPU 内的控制器按照用户程序中的指令顺序，从存储器中取出指令，并分析指令的功能，进而发出各种控制信号，指挥计算机中的各类部件来执行该指令。取指令、分析指令、执行指令的操作重复执行，直到完成程序中的全部指令操作为止。

按照“程序存储，程序控制”的方式工作，微机必须解决以下几个问题：

- 如何将程序的机器码存储到程序存储器中。
- 如何将程序的机器码从程序存储器中取出。
- 当 CPU 完成从程序存储器中读出程序的机器码后，如何执行该语句。

下面将针对这三个问题进行详细阐述。

1.2.1 如何将程序烧写到程序存储器中

对于普通 PC 机而言，其程序存放在硬盘中，此时面临的问题就是将文件、程序内容写入硬盘。Windows 操作系统提供了图形化的操作环境，读者不必了解对硬盘的写操作原理，仅需要单击“保存”按钮或“保存”菜单就可以很方便地完成该操作。对 51 单片机而言，将程序存储到程序存储器中则相对复杂一些，必须利用 51 单片机芯片厂家提供的专用设备（烧写器）来完成，市场上有专门的单片机烧写器销售。烧写器实际上就是完成对程序存储器的写操作。利用烧写器可以将用户程序的机器码存储到单片机中。

机器码就是机器语言，计算机的语言分为三类：机器语言、汇编语言和高级语言。

1. 机器语言

计算机能够识别的语言。它是由“0”和“1”组成的二进制代码语言，使用机器语言编写的程序，称为机器语言程序。机器语言程序可以直接在计算机上运行。但是，机器语言不便

于记忆、阅读和编写。

2. 汇编语言

汇编语言是在机器语言的基础上发展起来的。人们用助记符号来表示机器指令中的操作码，这样形成了汇编语言。它克服了机器语言的缺点，易于记忆、掌握，便于阅读和编写。用汇编语言编写的程序称为汇编语言程序。但是，必须将汇编语言程序翻译成机器语言程序，计算机才能识别和执行。

3. 高级语言

为了使计算机的应用更加广泛，人们发明了高级语言。高级语言与计算机的指令系统无关，它独立于计算机硬件，采用接近人们的表达方式、功能完善的语句形式，易于被人们掌握。用高级语言编写的程序不能在计算机上直接运行，必须将其翻译成机器语言才能执行。

1.2.2 如何将程序从程序存储器中取出

为了更好地理解这个问题，下面分四个方面来阐述。

1. 最基本的计算机组成

一台简单的计算机通常包括三个主要的子系统：中央处理单元（CPU）、存储系统（用来存储 CPU 将要执行的程序和数据）、输入/输出子系统（如键盘、显示器等），如图 1-2 所示。

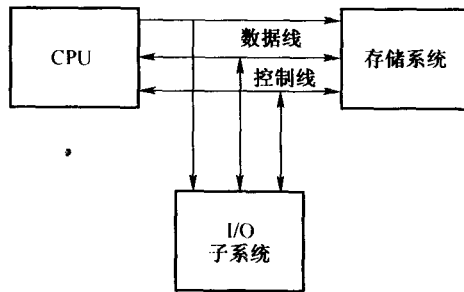


图 1-2 最基本的计算机结构

从图 1-2 所示可以看出，计算机系统采用了三总线结构。从物理上来说，总线（Bus）是一组导线，计算机的部件都是连在总线上的，为了将信息从一个部件传到另一个部件，源部件先将数据输出到总线上，然后目标部件再从总线上接收这些数据。一般计算机系统包括地址总线、数据总线、控制总线。

- 地址总线：与其他总线不同，地址总线是单向的，地址总线的内容总是由 CPU 送到地址总线上，而 CPU 不读取地址总线上的数据。例如，当 CPU 从存储器读取数据、指令或写数据到存储器时，必须指明要访问的存储器单元地址，CPU 输出地址内容到地址总线上，而存储器从地址总线上读取地址，并且用它来访问正确的存储单元。对应 I/O 子系统，比如键盘、显示器等，都有一个唯一的地址，当访问某个 I/O 子系统时，CPU 将此设备的地址放到地址总线上，每个设备均从地址总线上读取地址并判断自己是不是 CPU 正要访问的设备。若不是则不作任何响应，若是则和 CPU 进行相应的数据通信。

- **数据总线：**数据是通过数据总线来传送的，当 CPU 从存储器中读取数据时，它首先把需要访问的存储器地址输出到地址总线上，发出读操作命令，然后存储器从地址总线上读取地址，并根据地址访问相应的存储单元，同时将该存储单元中的数据输出到数据总线上，这样 CPU 就可以从数据总线上读取数据了。当 CPU 向存储器写入数据时，它首先输出地址到地址总线上，发出写操作命令，然后输出数据到数据总线上，这样存储器就可以从数据总线上读取数据并将它存储到正确的存储单元中。当访问某个 I/O 子系统时其数据总线功能类似于对存储器的访问。
- **控制总线：**控制总线用来传送各种控制信号，用于 CPU 和存储系统或 I/O 子系统之间的通信。

2. 存储器

存储器是用于存储数据的一组电路。在设计中它不是严格的组合电路，一个存储器元件有多个存储单元，每个单元存储固定长度的二进制值；不同的存储器芯片，其存储单元的数量和大小也不相同；存储器芯片存储容量的大小由单元数乘以每个单元的位数确定。

存储器一般分为随机读写存储器（RAM）和只读存储器（ROM）。

- **随机存取存储器（RAM, Random Access Memory）：**简称随机存储器或读写存储器，是一种既能写入又能读出数据的存储器。但当机器断电或关机时，存储器中存储的信息会立即消失。
- **只读存储器（ROM, Read Only Memory）：**是计算机内部一种只能读出数据信息而不能写入信息的存储器。但当机器断电或关机时，只读存储器中的信息不会丢失。

对于使用者来说，选择存储器主要从三方面考虑：存取速度、容量、价格。存取速度要求与 CPU 的速度相匹配，存储容量通常用 $N \times M$ 表示，例如容量为 512×8 位的存储器芯片表示该芯片有 512 个存储单元，每个存储单元可以存储 8 位二进制数。

存储器芯片的地址输入选择它其中的一个单元，有 2^N 个单元的存储器芯片需要 N 位的地址输入，通常标记 $A[N-1 \dots 0]$ ，对于大小为 512×8 位的存储器芯片而言，其地址总线为 $A[8 \dots 0]$ 。

存储器芯片中的数据引脚常用于访问数据，数据总线的每一位都有一个引脚，对于 M 位的数据总线，这些引脚通常标记为 $D[M-1 \dots 0]$ ，对于大小为 512×8 位的存储器芯片，其数据总线为 $D[7 \dots 0]$ 。

3. 非常简单的 CPU 设计与实现

这里描述和设计一个非常简单的 CPU，这个 CPU 在现实中是没有任何应用价值的，因为它太简单了，但是目的是为了读者理解 CPU 的具体工作原理。

为了说明 CPU 的设计过程，考虑一个小型的有点不实用的 CPU，这款 CPU 的特点是：

- CPU 仅能访问 64 字节的存储空间（程序存储器和数据存储器共用）。
- 每个字节是 8 位。
- CPU 只包含一个程序员可以访问的寄存器，即一个标记为 ACC 的 8 位累加器。

指令集通常由三大类指令组成：传送类指令、运算（包括逻辑运算）类指令、转移类指令。在这款系统中，仅设计 4 条指令，按照等长编码原理，利用高 2 位对指令类型进行编码，低 6 位 AAAAAA 表示地址线，如表 1-1 所示。MOV 指令代表“传送类”指令，ADD 指令代表“运算类”指令，AND 指令代表“逻辑运算类”指令，LJMP 指令代表“转移类”指令，指令的具体功能在后面的章节中阐述。