



教育部高等职业教育示范专业规划教材

机电一体化专业

单片机应用技术

DANPIANJI YINGYONG JISHU

张文灼 主编



赠电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

教育部高等职业教育示范专业规划教材
(机电一体化专业)

单片机应用技术

主 编 张文灼
副主编 梁月肖 李海涛 高 梅
参 编 朱 军 刘 博 段永彬 李香服
 张晓娜 弓 宇 高 琨
主 审 刘秋成 刘振永



机械工业出版社

本书分9章,以MCS-51系列单片机的AT89C51为例,深入浅出地介绍了单片机基础知识、MCS-51单片机硬件结构和原理、MCS-51单片机指令系统、MCS-51单片机汇编语言程序设计、中断系统与定时/计数器、单片机串行通信技术、单片机系统扩展与接口技术、单片机C51语言程序设计入门以及单片机应用系统设计与开发。

本书是作者在长期从事单片机教学的基础上编写的,主要特色为:专门针对高职学生特点编排章节,非常利于教师教学与学生自学,叙述精炼,知识条目化,融抽象理论于大量的简单但典型的实例中;重实践技能,以“任务驱动”为线,本书共设计了14个“任务”(实践),浅显易懂,步骤完整详细;每章都有学习重点及难点、本章小结,还有题型丰富的思考与练习。

本书适合高职高专机电、数控、模具、汽车、信息自动化类、计算机类及其他相关专业的学生使用,也可作为中职、成人教育和相关专业上岗人员的技术培训教材,还可作为电子设计爱好者初学单片机时的参考用书。

为方便教学,本书备有电子课件、思考与练习参考答案、模拟试卷及答案,凡选用本书作为授课用书的学校均可来电索取,咨询电话:010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

单片机应用技术/张文灼主编. —北京:机械工业出版社,2009.1
教育部高等职业教育示范专业规划教材. 机电一体化专业
ISBN 978-7-111-25625-0

I. 单… II. 张… 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(2008)第180990号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:王宗锋 于宁

版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:马精明 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2009年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16印张·393千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-25625-0

定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)68354423

封面防伪标均为盗版

前 言

近年来,单片机在工业控制、数据采集、智能化仪表、机电一体化、家用电器等领域得到了广泛应用,极大地提高了这些领域的技术水平和自动化程度。单片机的开发应用已成为高科技和工程领域的一项重要内容。单片机开发应用技术已成为电子信息、电气、通信、自动化、机电一体化、数控等专业学生及相关专业技术人员必须掌握的技术,各大院校相关专业也都将单片机课程作为一门重要课程列入教学计划。

当前,有关单片机技术的教材很多,但真正根据高职高专学生特点编写的好教材却不多,本书是作者在长期从事高职高专单片机教学的基础上,结合国家当前的高职高专教育教学改革、示范院校建设理念组织编写的。本书努力将“基于工作任务导向”、“突出技能应用”的理念贯穿教材始终,对传统的单片机知识框架进行了必要的调整,将“教、学、做”的教学模式从内容编排上体现出来。

全书共分9章,以MCS-51系列单片机的AT89C51为例,深入浅出地介绍了单片机基础知识、MCS-51单片机硬件结构和原理、MCS-51单片机指令系统、MCS-51单片机汇编语言程序设计、中断系统与定时/计数器、单片机串行通信技术、单片机系统扩展与接口技术、单片机C51语言程序设计入门以及单片机应用系统设计与开发。

本书特色为:专门针对高职高专学生特点编排章节,非常利于教师教学与学生自学,叙述精炼,知识条目化,融抽象理论于大量的简单但典型的实例中;重实践技能,以“任务驱动”为主,本书共设计了14个“任务”(实践)，“任务”浅显易懂,步骤完整详细,易于操作;每章都有学习重点及难点、本章小结,还有题型丰富的思考与练习,便于学生学习、自测与课程考核。

本书由河北工业职业技术学院张文灼任主编;石家庄科技信息职业学院梁月肖、潍坊职业学院李海涛、河北工业职业技术学院高梅任副主编;参加编写的还有:沈阳职业技术学院汽车分院朱军、刘博,山西工程职业技术学院弓宇,河北工业职业技术学院张晓娜、段永彬、李香服,德州职业技术学院高琨。张文灼负责全书编写思路与大纲的总体策划,编写了第1~4章、第6章、第7章的7.3~7.13节、附录和所有的思考与练习,并对全书统一修改、定稿;张文灼、梁月肖共同编写了第9章;李海涛编写了第7章的7.1~7.2节;朱军、刘博共同编写了第5章;张文灼、弓宇共同编写了第8章;高梅、李香服、张晓娜、段永彬、高琨对14个“任务”进行了调试。

全书由河北工业职业技术学院高级工程师刘秋成、石家庄学院副教授刘振永任主审,他们认真细致地审阅了全书,提出了许多宝贵意见和建议,在此谨表谢意。

由于单片机技术日新月异,加之编者水平有限,书中难免出现疏漏和不妥之处,敬请广大同行和读者批评指正,不胜感激。

编 者

目 录

前言

第1章 单片机基础知识 1

1.1 单片机概述 1

1.1.1 微型计算机 1

1.1.2 单片机的概念 2

1.1.3 单片机的性能特点 3

1.1.4 单片机的发展历史 3

1.1.5 单片机的发展趋势 4

1.1.6 单片机的应用领域 4

1.2 单片机的组成结构 5

1.2.1 中央处理器 5

1.2.2 系统总线 6

1.2.3 存储器 6

1.2.4 I/O口 9

1.2.5 定时/计数器 9

1.3 单片机的工作过程 9

1.4 单片机的主要品种系列 10

1.4.1 单片机的分类 10

1.4.2 MCS-51 系列单片机 10

1.4.3 89 系列单片机 11

1.5 单片机应用系统的开发 13

1.5.1 单片机的程序设计语言 13

1.5.2 单片机开发系统 14

1.5.3 单片机常用开发方法 14

1.5.4 单片机编程软件简介 16

1.6 任务1 用单片机控制闪烁灯 19

1.7 数制与码制基础 20

1.7.1 常用的进位计数制 20

1.7.2 不同数制间的相互转换 22

1.7.3 数的表示 24

1.7.4 信息的表示与输入输出 27

本章小结 27

思考与练习 28

第2章 MCS-51 单片机硬件结构和

原理 29

2.1 MCS-51 单片机硬件结构 29

2.1.1 89C51 单片机内部组成 29

2.1.2 89C51 单片机芯片外部引脚 30

2.2 单片机最小应用系统 31

2.2.1 最小应用系统的概念 31

2.2.2 时钟电路 32

2.2.3 复位电路 34

2.3 任务2 构建单片机最小应用系统 35

2.4 89C51 单片机 I/O 端口 36

2.4.1 并行 I/O 端口的功能 36

2.4.2 并行 I/O 端口的结构 37

2.4.3 并行 I/O 端口的操作 37

2.4.4 端口负载能力 39

2.5 任务3 端口输入/输出控制——模拟

开关灯 39

2.6 89C51 单片机存储器结构 40

2.6.1 程序存储器 ROM 41

2.6.2 数据存储器 RAM 41

2.7 89C51 单片机的工作方式 47

2.7.1 程序连续执行方式 47

2.7.2 程序单步执行方式 47

2.7.3 低功耗工作方式 47

本章小结 48

思考与练习 48

第3章 MCS-51 单片机指令系统 50

3.1 概述 50

3.1.1 相关概念 50

3.1.2 指令格式 50

3.1.3 MCS-51 单片机指令系统 51

3.1.4 指令说明常用的约定符号 51

3.2 寻址方式 52

3.2.1 立即数寻址 52

3.2.2 寄存器寻址 52

3.2.3 直接寻址 53

3.2.4 寄存器间接寻址 53

3.2.5 基址 + 变址寻址 53

3.2.6 相对寻址 54

3.2.7 位寻址 54

3.3 指令系统 55

3.3.1 数据传送类指令	55	5.2.5 定时/计数器的初始化	114
3.3.2 数据交换指令	61	5.3 任务7 复杂交通信号灯模拟控制 ..	115
3.3.3 算术运算类指令	63	5.4 任务8 用单片机定时器控制报警声	
3.3.4 逻辑运算类指令	66	系统	120
3.3.5 控制转移类指令	68	本章小结	122
3.3.6 位操作类指令	72	思考与练习	123
3.4 任务4 顺序彩灯的控制	74	第6章 单片机串行通信技术	125
本章小结	77	6.1 串行通信概述	125
思考与练习	77	6.1.1 通信的基本概念	125
第4章 MCS-51 单片机汇编语言程序		6.1.2 串行通信的分类	125
设计	81	6.1.3 串行通信的数据传输方式	126
4.1 汇编语言及伪指令	81	6.1.4 波特率	127
4.1.1 汇编语言	81	6.1.5 串行通信数据的校验	127
4.1.2 伪指令	81	6.2 串行通信信号的传输	128
4.2 汇编语言源程序结构及编写步骤	83	6.3 89C51 单片机串行口的结构及原理 ..	131
4.2.1 汇编语言源程序结构	83	6.4 89C51 单片机串行口的工作方式	133
4.2.2 汇编语言源程序编写步骤	83	6.4.1 方式0	133
4.3 顺序程序结构	84	6.4.2 方式1	135
4.4 分支程序结构	85	6.4.3 方式2	136
4.4.1 单分支程序结构	85	6.4.4 方式3	136
4.4.2 多分支程序结构	87	6.4.5 89C51 单片机串行口的波特率 ..	137
4.4.3 分支程序结构的转移条件	87	6.5 任务9 89C51 单片机双机通信	138
4.5 任务5 多状态闪烁灯控制	87	本章小结	140
4.6 循环程序结构	90	思考与练习	140
4.6.1 循环程序结构的组成	90	第7章 单片机系统扩展与接口技术 ..	141
4.6.2 循环程序设计	91	7.1 89C51 单片机系统扩展概述	141
4.7 子程序设计	92	7.1.1 89C51 单片机的片外总线结构 ..	141
4.8 任务6 简单交通信号灯模拟控制	95	7.1.2 89C51 单片机外部扩展的方法 ..	142
本章小结	97	7.1.3 89C51 单片机的系统扩展能力 ..	142
思考与练习	97	7.1.4 地址锁存与译码	143
第5章 中断系统与定时/计数器	99	7.2 89C51 单片机外部存储器的扩展	145
5.1 中断系统	99	7.2.1 程序存储器的扩展	146
5.1.1 中断及中断处理过程	99	7.2.2 数据存储器的扩展	149
5.1.2 89C51 单片机的中断系统	100	7.3 并行 I/O 口的扩展	152
5.1.3 89C51 单片机的中断控制	102	7.3.1 并行 I/O 口扩展的基本方法	152
5.1.4 中断响应	105	7.3.2 简单并行 I/O 口扩展	152
5.1.5 中断系统的应用	107	7.3.3 采用 8255A 扩展并行 I/O 口	153
5.2 定时/计数器	108	7.3.4 采用 8155/8156 扩展并行 I/O	
5.2.1 定时/计数器的基本结构	108	口	159
5.2.2 定时/计数器的工作原理	109	7.4 任务10 8155 并行 I/O 口扩展训	
5.2.3 定时/计数器的控制	110	练	165
5.2.4 定时/计数器的工作方式	112	7.5 键盘及其接口电路	168
		7.5.1 按键的识别	169

7.5.2 独立式按键	169	8.3.4 位操作符	203
7.5.3 矩阵键盘	170	8.3.5 自增减及复合运算符	204
7.6 显示器及其接口电路	175	8.4 C51 函数	204
7.6.1 LED 显示器	175	8.4.1 函数的分类	204
7.6.2 LED 点阵大屏幕显示	176	8.4.2 函数的定义	205
7.7 任务 11 8 位字符的 LED 动态显示	180	8.4.3 函数的参数值和函数值	205
7.8 任务 12 设计 8×8 点阵显示屏	181	8.4.4 中断服务函数的定义	206
7.9 D/A 转换接口	183	8.4.5 函数的调用	207
7.9.1 D/A 转换基本知识	183	8.5 C51 语言编程实例	209
7.9.2 典型的 D/A 转换器芯片 DAC0832	184	8.5.1 简单 C51 语言程序设计	209
7.10 任务 13 基于 DAC0832 的灯循环渐变控制	186	8.5.2 用 C51 语言实现中断程序设计	209
7.11 A/D 转换接口	188	8.5.3 用 C51 语言编写键盘扫描程序	210
7.11.1 典型的 A/D 转换器芯片 ADC0809	188	8.5.4 C51 语言与汇编语言的混合编程	211
7.11.2 ADC0809 与 89C51 单片机的连接	189	8.6 C51 编译器——Keil C51 软件的使用	217
7.12 光电隔离及继电器接口	191	本章小结	217
7.12.1 晶体管输出型光耦合器	191	思考与练习	217
7.12.2 晶闸管输出型光耦合器	192	第 9 章 单片机应用系统设计与开发	219
7.12.3 继电器接口	193	9.1 单片机应用系统设计的流程	219
7.13 任务 14 利用 ADC0809 检测输入端电压	193	9.1.1 总体设计	219
本章小结	195	9.1.2 硬件设计	219
思考与练习	195	9.1.3 资源分配	222
第 8 章 单片机 C51 语言程序设计入门	197	9.1.4 软件设计	222
8.1 C51 语言概述	197	9.1.5 软件仿真	223
8.1.1 C51 语言	197	9.2 数码管数字时钟设计	224
8.1.2 C51 程序的基本构成	197	9.2.1 系统硬件电路的设计	224
8.2 C51 的数据结构	198	9.2.2 系统软件的设计	224
8.2.1 C51 的数据类型	199	9.3 两坐标步进电动机的单片机控制	231
8.2.2 C51 的常量与变量	199	9.3.1 步进电动机常识	231
8.2.3 C51 数据的存储类型	200	9.3.2 两坐标步进电动机控制系统	232
8.2.4 C51 定义 SFR 字节和位单元	201	本章小结	239
8.2.5 C51 定义并行口	202	思考与练习	239
8.3 C51 运算符、表达式及其规则	202	附录	240
8.3.1 算术运算符及其表达式	202	附录 A ASCII 表 (美国标准信息交换代码)	240
8.3.2 关系运算符	203	附录 B MCS-51 系列单片机分类指令表	240
8.3.3 逻辑运算符	203	附录 C MCS-51 系列单片机按字母顺序排列的指令表	244
		参考文献	248

第1章 单片机基础知识

【学习重点及难点】

- ◇ 单片机的组成、特点、发展及应用
- ◇ MCS-51 系列单片机的常用产品
- ◇ 单片机系统的开发过程
- ◇ 不同进制之间的转换和有符号数的表示

1.1 单片机概述

单片机体积微小，成本极低，可广泛地嵌入到各种小型产品中，已成为现代电子系统中最重要的智能化工具，目前世界各类单片机年产高达 100 亿片，我国年需求量约为 12 亿片。

1.1.1 微型计算机

1. 微型计算机的产生

从计算机的元器件集成程度来看，至今已经历了电子管、晶体管、大规模集成电路及超大规模集成电路等四代，人类正积极探索研制以人工智能为主要特征的第五代计算机。

微型计算机（Micro Computer）诞生于 20 世纪 70 年代初，是第四代计算机的重要分支，其核心部件 CPU 利用超大规模集成电路工艺将运算器与控制器集成在一片芯片上，而其他类型计算机的 CPU 则是由很多分立元器件电路或集成电路所组成。

2. 微型计算机的组成

微型计算机系列很多，其内部结构不完全相同，但不论是何种档次、系列型号，均是由初级计算机发展而来的，其内部基本部件及工作过程仍然十分相似。

微型计算机硬件系统通常由微处理器、存储器及输入/输出（Input/Output, I/O）接口电路及必要的外围设备等组成，通过系统总线有机地连接在一起，并通过 I/O 接口与外围设

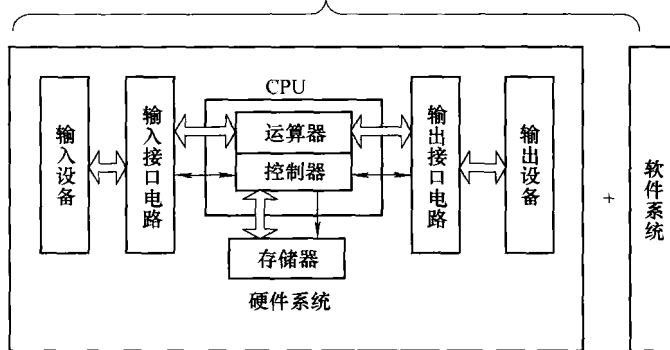


图 1-1 微型计算机系统组成示意图

备及外围芯片相连。

微型计算机系统由硬件系统和软件系统两大部分组成，两者相辅相成、缺一不可，微型计算机系统组成示意图如图 1-1 所示。

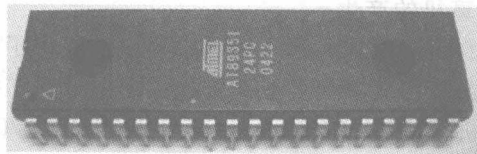
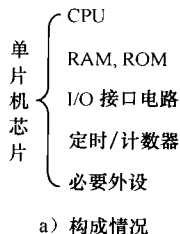
1.1.2 单片机的概念

1. 产生

在单片机诞生之前，为满足工业控制对象的嵌入式应用要求，只能将通用计算机进行机械加固、电气加固后嵌入到对象体系（如舰船、航天器等）中构成控制系统等。通用计算机体积巨大且成本高昂，无法嵌入到大多数对象体系（如家用电器、汽车、机器人、仪器仪表等）中，因此在通用微型计算机基础之上发展了单片机，如今单片机已成为现代微型计算机的一个独特而又重要的应用分支。

2. 概念

单片机是将 CPU、存储器、定时/计数器、I/O 接口电路和必要的外设集成在一块芯片上，构成的一个既小巧又完善的计算机硬件系统，可实现微型计算机的基本功能，因此早期称其为单片微型计算机（Single Chip Microcomputer, SCM），简称单片机。单片机体积很小，其构成情况及典型外形如图 1-2 所示，其中图 1-2b 为 Atmel 公司的 AT89S51 实物图。



b) AT89S51 实物

图 1-2 单片机构成情况及典型外形

随着科学技术的发展，单片机芯片内扩展了各种控制功能，现今的单片机集成了许多面向测控对象的接口电路，已经突破了微型计算机的传统内容，SCM 已不能准确表达其内涵，国际上逐渐采用微控制器（Micro Controller Unit, MCU）来代替。因为在国内“单片机”一词已约定俗成，故可继续沿用。

3. 单片机与通用微型计算机 CPU 的区别

二者结构基本相同，但单片机的 CPU 增设了“面向控制”的处理功能，增强了实时控制性。主要区别如下：

(1) 通用的微型计算机 CPU 它以发展超强运算速度与强大数据处理能力为己任，如 Intel 公司目前的“酷睿 2”微处理器，已将四片高达 2.53GHz 时钟频率的可协同并行运行的 CPU 核心模块集成于一片芯片内；通用的微型计算机 CPU 价格较高，体积较大，功耗也很高。

(2) 单片机 它主要用于控制领域，也发展了 16 位、32 位等机型，但发展方向是高可靠性、抗干扰、低功耗、低电压、低噪声和低成本；单片机芯片在没有被使用者开发前，只是一片集成电路，如对其进行应用开发，便可成为一个小型的微机控制系统。

1.1.3 单片机的性能特点

(1) 体积小 单片机集成度很高, 体积非常小, 可非常方便地嵌入到各种应用场合。如 PIC12C508 型单片机只有一粒纽扣大小, 仅有 8 根引脚。

(2) 可靠性高 芯片本身是按工业测控环境要求设计的, 内部布线很短, 其抗工业干扰功能明显优于通用 CPU。程序指令、常数及表格数据等可固化在 ROM 中, 不易破坏。

(3) 控制功能强 单片机的指令系统有极丰富的条件及分支转移能力、I/O 接口的逻辑操作及位处理能力, 适用于专门的控制功能。

(4) 易于扩展 片内具有计算机正常运行所必需的部件, 芯片外部有许多供扩展用的三总线及并行、串行 I/O 口, 很容易构成各种规模的计算机应用系统。

(5) 低电压、低功耗 单片机广泛应用于便携式产品和家电消费类产品, 对于此类产品, 低电压、低功耗尤为重要。许多单片机可在 2.2V 电压以下工作, 目前 0.8V 供电的单片机已问世, 工作电流为 μA 级, 一粒纽扣电池就可使单片机长期运行。

(6) 性能价格比优异 由于单片机的广泛使用, 其销量极大, 各大公司的商业竞争激烈, 使其价格相对较低, 性能价格比优异。

1.1.4 单片机的发展历史

1971 年美国 Intel 公司生产出了 4 位单片机 4004, 其特点是结构简单, 但功能单一、控制能力较弱; 1974 年美国 Fairchild 公司研制出第一台 8 位单片机 F8; 1976 年 9 月 Intel 公司推出了 MCS-48 系列单片机, 成为单片机发展进程中的一个重要阶段, 这就是第一代单片机, 之后各公司竞相推出自己的单片机。单片机发展大体可分为如下几个阶段:

(1) 低性能 8 位单片机阶段 约 1976 ~ 1978 年, 以 Intel 公司的 MCS-48 系列单片机为代表, 一片芯片内包含了一个 8 位的 CPU、定时/计数器、并行 I/O 接口、ROM 和 RAM 等, 主要用于工业控制领域。

(2) 高性能 8 位单片机阶段 约 1978 ~ 1982 年, 1978 年 Motorola 公司推出 M6800 系列单片机, Zilog 公司推出 Z8 系列单片机。1980 年 Intel 公司推出了高性能的 MCS-51 系列单片机, 并成为此时期的代表机型, 属于高性能的 8 位单片机, 迅速得到了推广应用。此代单片机配置了完美的外部并行总线和串行通信接口, 规范了特殊功能寄存器的控制模式, 增强了指令系统, 为发展具有良好兼容性的新一代单片机奠定了良好的基础。

(3) 8 位单片机提高及 16 位单片机推出阶段 约 1982 ~ 1990 年, 8 位机以 MCS-51 系列单片机为代表, 同时 16 位单片机也有很大发展, 如 Intel 公司的 MCS-96 系列单片机。

(4) 单片机全面发展阶段 约 1990 ~ 现在, 目前单片机正朝着多品种、高速、强运算能力、大寻址范围以及小型廉价方向发展。当今产品众多, 一定时期内将不存在某个单片机一统天下的垄断局面, 走的是依存互补、相辅相成、共同发展的道路。此外, 32 位单片机在复杂控制领域也已进入实用阶段。

这期间世界各大半导体公司相继开发了功能更为强大的单片机, 例如美国 Microchip 公司研制出了一种完全不兼容传统 MCS-51 系列的新一代 PIC 系列单片机, 该单片机只有 33 条精简指令集 (RISC), 使人们从 Intel 的 111 条复杂指令集中走出来。

1.1.5 单片机的发展趋势

(1) 低功耗 CMOS 化 现在的单片机基本都采用了 CMOS (互补金属氧化物) 半导体工艺, 其特点是功耗低。而 CHMOS 工艺是 CMOS 和 HMOS (高密度、高速度 MOS) 工艺的结合, 同时具备了高速和低功耗的特点。

(2) 低噪声与高可靠性 为提高单片机的抗电磁干扰能力, 使产品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, 各单片机厂家在单片机内部电路中都采取了新的技术措施。

(3) 存储器大容量化 运用新的工艺可使内部存储器大容量化, 得以存储较大型的应用程序, 这样可适应一些复杂控制的要求。当今单片机的寻址能力早已突破早期的 64KB 限制, 内部 ROM 容量可达 62MB, RAM 容量可达 2MB, 今后还将继续扩大。

(4) 高性能化 主要是指进一步改进 CPU 的性能, 加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性。采用精简指令集结构和流水线技术, 可以大幅度提高运行速度, 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比标准的单片机高出 10 倍以上。由于这类单片机有极高的指令速度, 就可以用软件模拟硬件 I/O 功能, 由此引入了虚拟外设的新概念。

(5) 外围电路内装化 为适应更高要求的检测、控制, 现今增强型的单片机集成了模/数转换器、数/模转换器、PWM (脉宽调制电路)、WTD (看门狗) 以及 LCD (液晶) 驱动电路等。生产厂家还可根据用户要求量身定做单片机芯片。此外许多单片机都具有多种微型化的封装形式。

(6) 增强 I/O 及扩展功能 大多数单片机 I/O 引脚输出的都是微弱电信号, 驱动能力较弱, 需增加外部驱动电路以驱动外围设备, 现在有些单片机可以直接输出大电流和高电压, 不需额外驱动模块即可驱动外围设备。另外还出现了很多高速 I/O 接口的单片机, 能更快地触发外围设备, 也能更快地读取外部数据。扩展方式从并行总线发展到各种串行总线, 从而减少了单片机引线, 降低了成本。

1.1.6 单片机的应用领域

单片机系统能够取代以前利用复杂的数字组合及模拟电路构成的控制系统, 并能够实现智能化, 有人形容“凡是能想到的地方, 单片机都可用得上, 有电器的地方就有单片机”。

(1) 日常生活及家电领域 目前各种家用电器已普遍采用单片机控制取代传统的控制电路, 如洗衣机、电冰箱、空调机、微波炉、电饭煲及其他视频音像设备的控制器, 视听大屏幕显示、各类信号指示、各类充放电设备、手机通信、电子玩具、信用卡、智能楼宇及防盗系统等。

(2) 办公自动化领域 现代办公室中所使用的大量通信、信息产品多数都采用了单片机, 如通用计算机系统键盘译码、磁盘驱动、打印机、绘图仪、复印机、电话、传真机及考勤机等。

(3) 商业营销领域 广泛使用的电子秤、收款机、条形码阅读器、仓储安全监测系统、商场保安系统、空气调节系统及冷冻保鲜系统等。

(4) 工业自动化 在通用工业控制中, 单片机可用于各种机床控制, 电机控制, 还可

用于工业机器人、各种生产线、各种过程控制及各种检测系统等；在军事工业中，单片机可用于导弹控制、鱼雷制导控制、智能武器装备及航天导航系统等。

(5) 智能仪器仪表 采用单片机控制使仪器仪表数字化、智能化、微型化，结合不同类型的传感器可实现如电压、频率、湿度和温度等诸多物理量的测量。

(6) 集成智能传感器的测控系统 单片机与传感器相结合可以构成新一代的智能传感器，其将传感器初级变换后的电量作进一步的变换、处理，输出能满足远距离传送、能与微机接口的数字信号，如压力传感器与单片机集成在一起的微小型压力传感器可随钻机送至井下，以报告井底的压力状况。

(7) 汽车电子与航空航天电子系统 在汽车工业中，可用于点火控制、变速器控制、防滑刹车控制、排气控制及自动驾驶系统等；在航空航天中，可用于集中显示系统、动力监测控制系统、通信系统以及运行监视器（黑匣子）等。

1.2 单片机的组成结构

单片机是将组成计算机的基本部件集成在一块晶体芯片上，图 1-3 为单片机的典型结构框图。

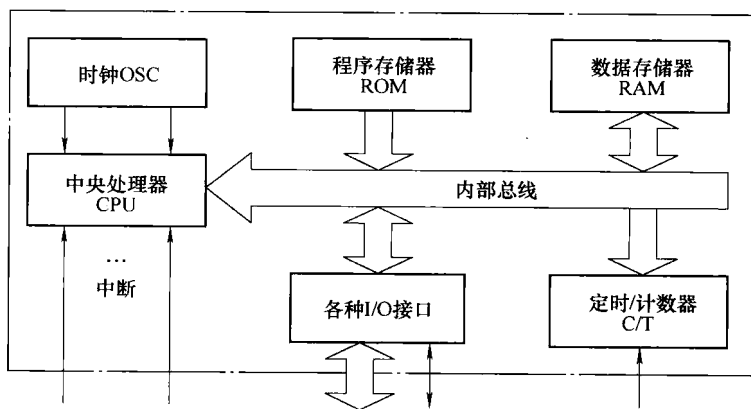


图 1-3 单片机的典型结构框图

1.2.1 中央处理器

1. 控制器

控制器负责从程序存储器中取出指令，并逐条地分析指令和执行指令。控制器包括程序计数器、指令寄存器、指令译码器、微操作控制部件和时序控制电路。

(1) 程序计数器 (Program Counter, PC) PC 中有自动加载下一条将要执行的指令所在存储器单元地址编号的功能。当读取一条指令执行后，PC 能自动指向下一条指令，为读取执行下一条指令做准备，因此单片机工作时，程序可以自动连续执行。

(2) 指令寄存器 (Instruction Register, IR) IR 临时存放从存储器中取来的指令。

(3) 指令译码器 (Instruction Decoder, ID) ID 负责翻译指令，从 IR 送来的指令经 ID 译码后，单片机即可知道该进行何种操作。

(4) 微操作控制部件 不同的指令在指令译码器中翻译后, 由微操作控制部件产生相应的控制命令和控制信号, 用以控制单片机按指令的要求进行相应的操作。

(5) 时序控制电路 产生单片机各操作部件所需的定时脉冲信号, 严格保证各操作动作的时间先后顺序。

2. 运算器

运算器完成指令要求的计算工作。在计算机中数的计算有两种: 一种是算术运算, 即加、减、乘、除四则运算; 另一种是逻辑运算, 如与、或、非、异或等。参加运算的数据在运算器中存放的地方是寄存器, 不同类型的单片机寄存器的数量和具体功能不同。

1.2.2 系统总线

系统总线将 CPU、存储器及 I/O 接口等相对独立的部件连接起来, 作为多个功能部件共享的公共信息传输通道, 是一组信号传输线的集合。共享总线的各个功能部件必须分时段使用总线传输信息, 以保证总线上的信息任何时候都是唯一的。系统总线包括数据总线 (Data Bus, DB)、地址总线 (Address Bus, AB) 和控制总线 (Control Bus, CB)。

(1) 数据总线 其为一种双向的通信总线, 用于实现 CPU、存储器和 I/O 接口之间的数据交换, 数据可以是数值数据, 也可以是指挥计算机工作的程序和相关数据。数据总线的根数很规范, 一般有 8、16、32 和 64 根等。

(2) 地址总线 其为一种传输 CPU 发出的地址信号的单向通信总线, 用于向存储器或 I/O 接口提供地址码, 以选择相应的存储器或 I/O 接口。地址总线的根数称为地址总线宽度, 其决定了 CPU 的寻址范围, 即 CPU 所能寻找的存储单元或 I/O 接口的数目。如某微型计算机有 16 根地址线, 那么其可以寻找到 2^{16} 个存储单元或 I/O 接口。地址总线宽度也很规范, 一般有 8、16、20、24、32 和 36 根等。

(3) 控制总线 其传输的是保证微型计算机各部件同步和协调工作的控制信号, 其为单向通信总线, 其中有的传输从 CPU 发出的信息, 如读、写等信号, 有的是其他部件发给 CPU 的信息, 如复位、中断请求等信号。控制总线的根数因机型的不同而不同, 不像数据总线和地址总线那样规范。

1.2.3 存储器

单片机的存储器按用途分为程序存储器和数据存储器, 多数单片机还可以外部扩充存储器。

1. 程序存储器

程序存储器用来存放单片机的应用程序及运行中的常数数据, 单片机应用系统一经开发完毕, 其软件也就定型, 运行中程序存储器的信息不再更改。半导体只读存储器 (Read only Memory, ROM) 所存储的信息正常情况下只能读取而不能改写, 断电后信息不丢失, 所以常用作单片机程序存储器。ROM 根据写入或擦除方式的不同可分为以下几种类型:

(1) 掩膜 ROM 由厂家在芯片生产封装时, 将用户程序通过掩膜工艺写入, 写入后不能修改。所以适合于程序已定型, 并大批量使用的场合, 具有工作可靠和成本低等优点。

(2) 可编程只读存储器 (Programmable ROM, PROM) 用户可通过专用的写入器将应用程序写入其中, 但只能写入一次, 且写入的信息不能修改。

(3) 紫外线擦除可编程只读存储器 (Erasable Programmable ROM, EPROM) 用户可根据需要对 EPROM 进行多次写入和擦除。当需要更改时, 先将芯片放在专用的擦除器中, 在紫外线照射下使其 MOS 电路复位, 原存信息被擦除, 然后重新写入, 过去各种微型计算机系统应用 EPROM 的较多。

(4) 电擦除可编程存储器 (Electrically EPROM, EEPROM 或 E²PROM) 与 EPROM 不同, E²PROM 采用电的方法擦除信息, 不必用紫外线照射, 除了能整片擦除以外, 还能实现字节擦除, 并且擦除和写入操作可以在单片机内进行, 不需要附加设备, 数据保存可达 10 年以上, 每块芯片可擦写 1 万次以上。因而, E²PROM 比 EPROM 性能更优越, 但价格较高, 当今的单片机主要应用此种存储器。

(5) 快闪存储器 (Flash Memory) 简称闪存, 是一种新型的可擦除、非易失性存储器, 编程与擦除完全用电实现, 数据不易挥发, 可保存 10 年。其擦除和写入的速度比 E²PROM 快得多, 目前商品化的 Flash Memory 已做到允许擦写次数达 10 万次, 存储容量可达数 GB。这是目前大力发展的一种 ROM, 大有取代 E²PROM 之势。

2. 数据存储器

数据存储器用于暂存运行期间的数据、现场采集的原始数据、中间结果、运算结果、缓冲和标志位等临时数据。因为需要经常进行读写操作, 所以单片机通常采用随机存取存储器 (Random Access Memory, RAM) 作为外部数据存储器。

RAM 正常使用时, 不仅能读取存放在存储单元中的数据, 还能随时写入新的数据, 断电后 RAM 中的信息全部丢失, 属易失性存储器。CPU 读取其数据后, 存储器内原数据不变; 而新数据写入后, 原数据被新数据代替。

RAM 按器件制造工艺不同分为两类, 分别为双极型 RAM 和 MOS 型 RAM。

(1) 双极型 RAM 采用晶体管触发器作为基本存储电路, 其优点是存取速度快, 但结构复杂、集成度较低, 比较适合用于小容量的高速暂存器。

(2) MOS 型 RAM 采用 MOS 管作为基本存储电路, 具有集成度高、功耗低、价格便宜等优点, 在半导体存储器中占有主要地位。MOS 随机存储器按信息存储的方式又分为静态 RAM 和动态 RAM 两种。静态 RAM (Static RAM, SRAM) 存储的信息采用触发器的两个稳定状态来表示, 因此在非掉电情况下不会自动丢失; 动态 RAM (Dynamic RAM, DRAM) 存储的信息经过一定时间会自动丢失, 工作中需要进行定时刷新。目前最新类型的单片机也有用 E²PROM 和 Flash Memory 做数据存储器的。

3. 存储器读写原理

在存储器中有很多存储单元, 为使存入和取出时不发生混淆, 必须给每个存储单元一个唯一的固定编号, 这个编号就称为存储单元的地址, 地址码由十六进制数表示。可以通过地址码访问某一存储单元。一般一个存储单元为一个字节, 对应一个地址。

存储器芯片有数据总线、地址总线及必要的控制信号线。数据总线一般与存储单元的二进制数据位数相同, 如果存储单元为 8 个位空间, 则数据总线为 8 根。典型的存储器结构如图 1-4 所示。

因为存储单元数量很大, 为了减少存储器向外引出的地址线, 在存储器内部都带有译码器。根据二进制编码译码的原理, n 根地址线可以区别 2^n 个地址编号。

例如, 对于 16 位地址线的微型计算机系统来说, 所能访问的最大地址空间为 2^{16} 个存储

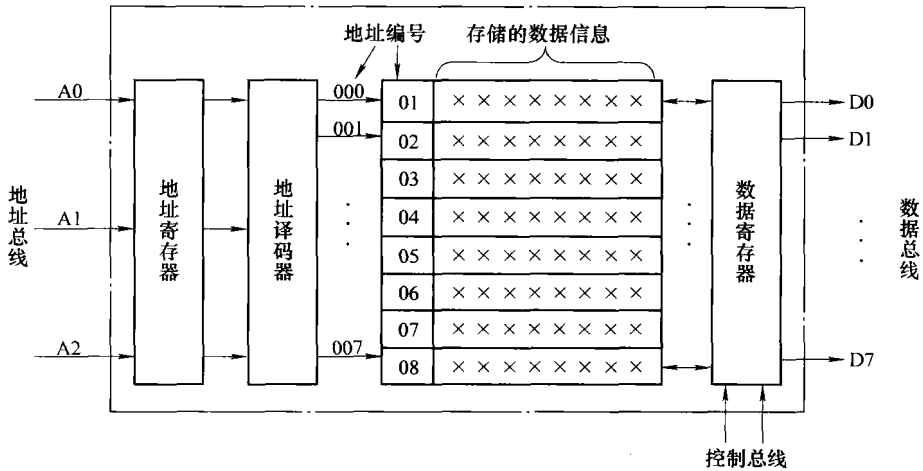


图 1-4 典型存储器结构

单元，而该系统每个单元可存储 1 个字节数据，所以能访问 64KB 数据。64KB 存储空间
的地址范围是 0000H ~ FFFFH，第 0 个字节的地址为 0000H，第 1 个字节的地址为 0001H，…，
第 65535 个字节的地址为 FFFFH。

对存储器的访问操作主要有两个，分别为读（取）和写（存）。对存储器某存储单元访
问的工作过程为：

- 1) CPU 向存储器地址总线发送某存储单元的地址码。
- 2) 某存储单元被选中，处于待命状态。
- 3) CPU 向存储器发送读或写的控制信号，确定读写性质。

4) 如果计划向存储单元写数据，则 CPU 将要写入的信息发送到数据总线上，被选中
的存储单元从数据总线接收信息；如果 CPU 计划读取信息，则存储单元自动将其内部信息传
输到数据总线等待 CPU 读取。

4. 信息存储相关概念

(1) 位 位 (bit, b) 是计算机所能表示的最小的数据单元，可以表达一个二进制数据
“1”或“0”。位信息是由存储器中具有记忆功能的电路（如触发器）实现的。

(2) 字节 一个字节 (Byte, B) 由 8 个二进制位组成，字节是一个数据单位。对一个
8 位二进制代码的最低位称为第 0 位 (位 0)，最高位称为第 7 位 (位 7)。通常存储器中的
一个存储单元的容量为一个字节，在微型计算机中信息大多是以字节形式存放的。信息以
单、双字节形式在存储器中的存储如图 1-5 所示。

(3) 存储单元 存储器是由大量寄存器组成的，其中每一个寄存器称为一个存储单元，
而存储单元由若干位组成。一个存储单元一般为 4 位或 8 位，每一个位可以存储一位二进制
数据。

(4) 存储器容量 指在一块芯片中所能存储的二进制信息位数，容量单位有 bit、Byte
以及较大的单位 KB、MB 和 GB。换算关系如下

$$1 \text{ Byte} = 8 \text{ bit}$$

$$1 \text{ KB} = 2^{10} \text{ B} = 1024 \text{ B}$$

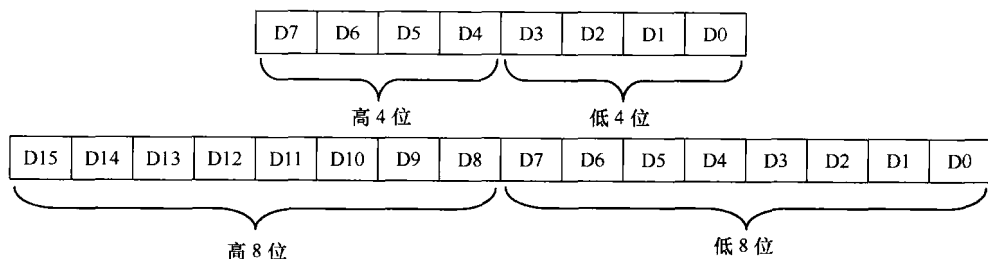


图 1-5 单、双字节形式在存储器中的存储

$$1\text{MB} = 2^{10}\text{KB} = 1024\text{KB}$$

$$1\text{GB} = 2^{10}\text{MB} = 1024\text{MB}$$

例如， $8\text{K} \times 8$ 位的芯片，能存储 $8 \times 1024 \times 8 = 65536$ 位信息，存储容量为 8KB。

1.2.4 I/O 口

I/O 口是 CPU 与外界交换信息的数据通道，根据信号传输的形式可分为并行 I/O 口和串行 I/O 口两类。

(1) 并行 I/O 口 单片机通过并行 I/O 口，允许 CPU 与外部交换信息时一次传递多位二进制数据，一般 8 根 I/O 线为一组，同时传输 8 个二进制位（0 或 1）。

(2) 串行 I/O 口 串行 I/O 口一次只传递一位二进制信息，速度较慢，但其最大优点是通信线路少，只需 1~2 根传输线即可。单片机往往用串行 I/O 口和某些远程设备进行通信（大于 30m 时），或者和一些特殊功能的器件相连接。

1.2.5 定时/计数器

定时/计数器在实际中应用非常广泛，单片机往往需要精确地定时或对外部事件进行计数，因而在其内部设置了定时/计数器电路。如测试电动机转速，首先定时 1s，然后记录这 1s 内电动机的转数，前者靠的是定时器，后者是计数器。定时/计数器一旦被 CPU 启动，即可实现定时/计数的自动处理，实现与 CPU 并行工作，二者互不干预。

1.3 单片机的工作过程

单片机执行程序的过程，实际上就是逐条执行指令的过程。计算机每执行一条指令都可分为三个阶段进行，即：取指令、分析指令和执行指令。

(1) 取指令 根据程序计数器 PC 中的值从程序存储器（ROM）对应单元中读出现行指令，送到指令寄存器。

(2) 分析指令 将指令寄存器中的指令操作码取出后进行译码，分析其指令性质，如指令需要读取相关操作数，则寻找操作数地址。

(3) 执行指令 按照分析指令的预期结果完成指令功能

后续指令逐条地重复上述操作过程，直至遇到停机指令或循环等待指令。

单片机中的程序一般都事先通过写入器固化在内部或外部程序存储器中，因而一开机

即可执行指令。

1.4 单片机的主要品种系列

现在全世界单片机品种总量已超过 1000 种，流行系列结构有 30 多个，MCS-51 系列占多半，生产此种系列单片机的厂家有 20 多家，共计 350 多个衍生产品。

1.4.1 单片机的分类

(1) 按应用范围分类 可分成专用型和通用型。专用型是针对某种特定产品而设计的，根据需要对单片机内部的硬件资源有所取舍，其外形也有所不同，例如用于体温计的单片机、用于洗衣机的单片机等；通用型是将所有资源提供给用户，适应性强，用户可根据需要对其进行开发。

(2) 按字长分类 在通用型的单片机中，又可按字长分为 4 位、8 位、16 位及 32 位单片机。

虽然现在计算机的 CPU 几乎全是 64 位的，但单片机只在航天、汽车和机器人等高新技术以及复杂控制领域，需要高速处理大量数据时才选用 16 位或 32 位，而在一般工业领域，8 位单片机的性能即可满足大部分控制场合需要，其应用仍然是最多的。

1.4.2 MCS-51 系列单片机

MCS-51 系列单片机是 Intel 公司 1980 年推出的高档 8 位机，在众多通用 8 位单片机中，其影响最为深远。

1. MCS-51 单片机典型产品

包括三种典型基本产品：8031（片内无程序存储器）、8051 和 8751。

三种芯片只是在程序存储器的形式上不同，在结构和功能上都一样，特点如下：

1) 8051 单片机片内含有 4KB 的 ROM，ROM 中的程序是由单片机芯片生产厂家固化的，适于大批量生产的产品。

2) 8751 单片机片内含有 4KB 的 EPROM，开发人员将编好的程序用开发机或编程器写入其中。

3) 8031 片内没有程序存储器，当在片外扩展 EPROM 后，就相当于一片 8751，应用较灵活。

2. 51 子系列和 52 子系列

Intel 公司的 MCS-51 系列单片机共有十几种芯片，分 51 子系列和 52 子系列，其中 51 子系列属于基本型，52 子系列属于增强型。两子系列芯片内核和外部封装完全相同，后者较前者只是在定时/计数器、中断源、内部 RAM 和 ROM 的数量上有所增加，如表 1-1 所示。

Intel 公司后来将其 MCS-51 系列中的 8051/80C51 内核使用权以专利互换或出售形式转让给世界许多著名 IC 制造厂商，如 Philips、NEC、Atmel、AMD 和华邦等，这些公司在保持与 MCS-51 单片机兼容的基础上改善了其许多特性，同样的一段程序，在各个单片机厂家的硬件上运行的结果都是一样的。这样，MCS-51 系列单片机就变成有众多制造厂商支持的、发展出上百个品种的大家族，统称为 MCS-51 系列。一直到现在，MCS-51 内核系列兼容的