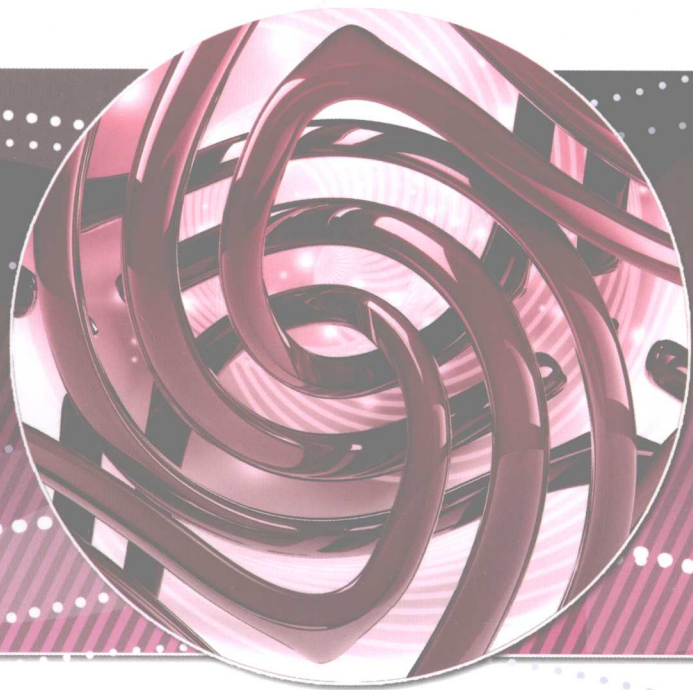


中等职业教育电类专业规划教材

单片机 技术与应用

◎ 高平 主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业教育电类专业规划教材

单片机技术与应用

高 平 主 编
米秀杰 副主编
徐 黎
程 周 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书着眼于技能型紧缺人才培养目标,从实用角度出发,系统、全面地介绍了单片机的技术和应用。本书共分7章。主要内容包括:微型计算机系统的基本知识及其发展、单片机结构的基本原理、80C51单片机的指令系统和汇编语言的基本结构、80C51单片机的内部功能部件、80C51单片机的系统扩展、单片机常用外围设备的接口电路和单片机系统的设计与应用。全书坚持以就业为导向、以能力培养为本位的原则,突出实用性、适用性和先进性,结合案例深入浅出、循序渐进地引导读者学习。各章都备有本章小结、练习与思考。

本书可作为中等职业学校电气运行与控制专业类教学用书,也可作为单片机开发维护人员的参考书。

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。

图书在版编目(CIP)数据

单片机技术与应用/高平主编. —北京:电子工业出版社,2008.6

中等职业教育电类专业规划教材

ISBN 978-7-121-06280-3

I. 单… II. 高… III. 单片微型计算机—专业学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第079448号

策划编辑:白楠

责任编辑:李影 张凌 特约编辑:李印清

印刷:北京市海淀区四季青印刷厂

装订:三河市万和装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:14 字数:356.8千字

印次:2008年6月第1次印刷

印数:4000册 定价:21.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

中等职业学校教材工作领导小组

主任委员：陈 伟 信息产业部信息化推进司司长

副主任委员：辛宝忠 黑龙江省教育厅副厅长

李雅玲 信息产业部人事司处长

尚志平 山东省教学研究室副主任

马 斌 江苏省教育厅职社处处长

黄才华 河南省职业技术教育教学研究室主任

苏渭昌 教育部职业技术教育中心研究所主任

王传臣 电子工业出版社副社长

委 员：（排名不分先后）

唐国庆 湖南省教科院

张志强 黑龙江省教育厅职成教处

李 刚 天津市教委职成教处

王润拽 内蒙古自治区教育厅职成教处

常晓宝 山西省教育厅职成教处

刘 晶 河北省教育厅职成教处

王社光 陕西省教育科学研究所

吴 蕊 四川省教育厅职成教处

左其琨 安徽省教育厅职成教处

陈观诚 福建省职业技术教育中心

邓 弘 江西省教育厅职成教处

姜昭慧 湖北省职业技术教育研究中心

李栋学 广西壮族自治区教育厅职成教处

杜德昌 山东省教学研究室

谢宝善 辽宁省基础教育教研培训中心职教部

安尼瓦尔·吾斯曼 新疆维吾尔自治区教育厅职成教处

秘 书 长：李 影 电子工业出版社

副 秘 书 长：柴 灿 电子工业出版社

前 言

20世纪70年代中期发展起来的一种面向控制的大规模集成电路模块——单片机的问世,已成为高科技和工程领域的一项重大突破,在工农业生产中发挥着巨大的作用。

编者在编写过程中,参阅了大量的同类书籍及相关报纸杂志,借鉴了其中的精华部分来充实本书,从整个系统的功能及实用出发,以目前最通用的80C51系统单片机为主,介绍了当今世界上单片机技术应用的现状、发展趋势,并且从实用的角度出发,介绍了单片机的最新技术。

在本书的编写过程中,作者力求体现职业教育的性质、任务和培养目标,坚持以就业为导向、以能力培养为本位的原则,突出教材的实用性、适用性和先进性。

本书内容新颖、结构严谨、深入浅出。全书共分为7章,第1章讲述了微型计算机系统的基本知识及其发展;第2章介绍了单片机结构的基本原理,包括单片机的内部结构、存储器、各引脚功能、输入输出接口等;第3章介绍了80C51单片机的指令系统功能及应用,以及汇编语言程序基本结构及设计方法;第4章介绍了80C51单片机的内部功能部件,包括定时/计数器、串行接口、中断系统及其处理过程;第5章介绍了80C51单片机的系统扩展,其中重点介绍了程序存储器、数据存储器、I/O接口的扩展与应用;第6章介绍了单片机常用外围设备的接口电路,包括常用的人机交互设备接口、转换器及光电接口电路;第7章介绍了单片机系统的设计与应用。为帮助读者思考、复习和总结,本书各章都备有本章小结、练习与思考。

本书由安徽省汽车工业学校高平主编,长春职业技术学院米秀杰、安徽省汽车工业学校徐黎任副主编。其中第1、4章由高平编写,第2、3章由徐黎编写,第5、6、7章由米秀杰编写,高平负责全书的统稿。另外,合肥东方职业技术学校王大才和王小林、长春职业技术学院赵丽参加了本书的文字录入、校对等工作,书中主要程序都在合肥东方职业技术学校机房调试通过,并得到该校苏光银校长的大力支持。程周作为主审,认真阅读了书稿,提出了许多修改意见,在此一并致谢。

为了方便教师教学,本书还配有教学指南、电子教案及习题答案(电子版),请有此需要的教师登录华信教育资源网(www.huaxin.edu.cn 或 www.hxedu.com.cn)免费注册后再下载,在有问题时请在网站留言板留言或与电子工业出版社联系(E-mail:hxedu@phei.com.cn)。

由于作者水平所限,书中疏漏和错误之处在所难免,欢迎广大读者提出宝贵意见。

编 者

2008年4月

目 录

第 1 章 微型计算机系统基本知识及其发展	1
1.1 概述	1
1.1.1 微型计算机	1
1.1.2 微型计算机的发展概况	1
1.1.3 单片机的发展概况	2
1.1.4 单片机的特点和应用	3
1.1.5 单片机系统的组成	4
1.1.6 单片机技术的发展趋势	4
1.2 计算机中数的表示方法及运算	5
1.2.1 常用数制及转换	5
1.2.2 机器数及其编码	8
1.2.3 ASCII 码基本概念	12
本章小结	12
练习与思考 1	13
第 2 章 单片机结构原理	14
2.1 常用术语及其内部结构	14
2.1.1 常用术语	14
2.1.2 内部结构	17
2.2 CPU 及其存储器配置	17
2.2.1 运算器	18
2.2.2 控制器	19
2.2.3 程序存储器	20
2.2.4 数据存储器	21
2.3 引脚功能及其 CPU 时序	24
2.3.1 引脚功能	24
2.3.2 振荡电路及其时钟电路	27
2.3.3 CPU 时序	27
2.4 I/O 端接口结构及工作原理	28
2.4.1 P0 口结构及工作原理	29
2.4.2 P1 口结构及工作原理	30
2.4.3 P2 口结构及工作原理	31
2.4.4 P3 口结构及工作原理	31
本章小结	31
练习与思考 2	32

第 3 章 80C51 单片机指令系统及汇编语言程序基本结构	35
3.1 指令系统基本概念	35
3.1.1 指令基本格式	35
3.1.2 指令系统中的常用符号	36
3.1.3 寻址方式	36
3.2 指令系统功能及应用	41
3.2.1 数据传送类指令	41
3.2.2 算术运算类指令	43
3.2.3 逻辑运算类指令	46
3.2.4 控制转移类指令	48
3.2.5 位操作类指令	52
3.3 汇编语言程序基本结构及综合举例	54
3.3.1 汇编语言程序的基本结构	54
3.3.2 汇编语言程序设计的基本方法	57
3.3.3 综合举例	63
本章小结	64
练习与思考 3	65
第 4 章 80C51 单片机的内部功能部件	67
4.1 定时/计数器 0 和 1	67
4.1.1 定时/计数器的结构和功能	67
4.1.2 定时/计数器 0 和 1 的控制和状态寄存器	68
4.1.3 T0 和 T1 的四种工作模式	70
4.2 定时/计数器 2	72
4.2.1 T2 控制寄存器 T2CON	72
4.2.2 定时/计时器 T2 的工作方式	73
4.3 定时/计数器的应用	75
4.3.1 定时/计数器模式 0	75
4.3.2 定时/计数器模式 1	76
4.3.3 定时/计数器模式 2	76
4.3.4 定时/计数器门控位 GATE 的应用	77
4.3.5 运行中读定时/计数器	78
4.4 串行接口	78
4.4.1 串行通信基础知识	78
4.4.2 串行通信两种基本方式	78
4.4.3 串行通信数据传送方式	80
4.4.4 串并转换和串行接口	80
4.5 80C51 系列单片机的串行接口	81
4.5.1 80C51 单片机串行口的结构	81
4.5.2 80C51 单片机串行口的控制	82

4.5.3	波特率设计	83
4.6	串行口的工作方式	85
4.6.1	模式 0	85
4.6.2	模式 1	86
4.6.3	模式 2	87
4.6.4	模式 3	87
4.7	串行口应用	87
4.7.1	用串行口扩展 I/O 口	88
4.7.2	单片机双机通信技术	89
4.7.3	单片机多机通信技术	95
4.8	中断系统	96
4.8.1	中断概念	96
4.8.2	中断优点	97
4.8.3	中断功能	98
4.8.4	中断源类型	98
4.8.5	定时中断类	99
4.8.6	串行中断类	99
4.9	80C51 中断系统	99
4.9.1	中断请求	100
4.9.2	中断允许控制寄存器 IE	101
4.9.3	中断优先级控制寄存器 IP	102
4.10	中断处理过程	102
4.10.1	中断的响应	102
4.10.2	中断的处理	103
4.10.3	中断的返回	104
4.10.4	中断请求撤除	104
4.10.5	中断响应时间	105
4.10.6	80C51 外部中断源扩展	106
4.10.7	中断系统应用	108
本章小结	109
练习与思考 4	109
第 5 章	80C51 单片机系统扩展	112
5.1	存储器扩展基础	112
5.1.1	存储器分类	112
5.1.2	80C51 单片机扩展系统的组成	113
5.1.3	片选方式和地址分配	118
5.1.4	存储器系统设计要点	122
5.2	程序存储器扩展	122
5.2.1	常用的程序存储器	122

5.2.2	程序存储器的扩展	124
5.3	数据存储器的扩展	128
5.3.1	常用的数据存储器	128
5.3.2	数据存储器的扩展	128
5.4	I/O 接口的扩展	130
5.4.1	I/O 口扩展概述	130
5.4.2	简单的 I/O 口扩展	131
5.4.3	采用 8255A 扩展 I/O 口	132
	本章小结	137
	练习与思考 5	138
第 6 章	常用外围设备接口电路	140
6.1	常用人机交互设备接口	140
6.1.1	键盘接口电路	140
6.1.2	LED 显示器接口电路	146
6.1.3	LCD (液晶) 显示器接口电路	149
6.2	D/A、A/D 转换器	153
6.2.1	D/A 转换的基本概念	153
6.2.2	DAC0832 与 80C51 单片机的接口技术	155
6.2.3	串行 D/A 及其接口技术	160
6.2.4	A/D 转换的基本概念	161
6.2.5	ADC0809 与 80C51 单片机的接口技术	162
6.2.6	串行 A/D 及其接口技术	167
6.3	光电隔离接口	169
6.3.1	光电耦合器件简介	169
6.3.2	常用光电耦合器件	169
6.3.3	光电隔离技术的应用	169
	本章小结	172
	练习与思考 6	172
第 7 章	单片机系统的设计与应用	175
7.1	单片机系统设计的过程	175
7.1.1	系统设计的基本要求	175
7.1.2	系统设计的一般步骤	176
7.1.3	系统硬件设计	179
7.1.4	系统软件设计	181
7.1.5	系统调试	184
7.2	单片机系统设计实例	186
7.2.1	电脑时钟的设计	186
7.2.2	交通控制灯的设计	192
7.3	单片机系统的高级设计技术	195

7.3.1 加密技术	195
7.3.2 低功耗设计	198
7.4 单片机系统的可靠性与抗干扰性	200
7.4.1 单片机系统的可靠性	201
7.4.2 单片机系统的抗干扰性	202
本章小结	210
练习与思考 7	210
参考文献	212

第1章 微型计算机系统基本知识及其发展

世界上第一台计算机是1946年问世的,半个多世纪以来,计算机得到了突飞猛进的发展,微型机的出现开辟了计算机的新纪元。通过对本章的学习,应该了解微型计算机的发展概况,单片机的发展、特点、应用、组成及发展趋势,以及计算机中常用数制的表示和运算。

1.1 概述

20世纪计算机的发明是最重大的科学技术成就之一,它使人类文明进入了一个崭新的时代。由于计算机具有强大的运算能力、逻辑判断能力、数据处理能力,因此自问世以来得到了突飞猛进的发展。

1.1.1 微型计算机

1971年Intel公司制造出第一片微型机芯片4004后,开始了计算机发展的一个新时代——微型机时代。微型机的发展速度非常迅猛,其核心部件——微处理器的性能和集成度几乎每两年增加一倍,而且愈来愈快。人们凭借先进的制造技术,可在一片面积很小的芯片上,集成中央处理器CPU,这就是微处理器芯片。微处理器芯片、存储器(ROM、RAM)、输入/输出(I/O口)及其他功能部件如定时/计数器、中断系统等通过地址总线(AB)、数据总线(DB)、控制总线(CB)结合在一起,构成了微型计算机系统的硬件部分。微型计算机的组成如图1.1所示。

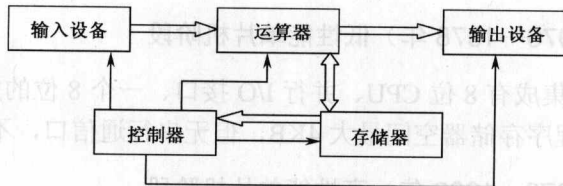


图 1.1 微型计算机的组成

1.1.2 微型计算机的发展概况

微型机因其体积小、结构紧凑而得名。它的一个重要特点是将中央处理器CPU制作在一块集成电路芯片上,这种芯片称为微处理器。根据微处理器的集成度和处理能力,形成了微型机的不同发展阶段。



1. 第一代微型机：1971—1972 年

1971 年美国 Intel 公司首先研制成 4004 微处理器，它是一种 4 位微处理器，随后又研制出 8 位微处理器 Intel8008。由这种 4 位或 8 位微处理器制成的微型机统属第一代微型机。

2. 第二代微型机：1973—1977 年

第二代微型机的微处理器都是 8 位的，但集成度有了较大提高。典型产品有 Intel 公司的 8080 Motorola 公司的 6800 和 Zilog 公司的 Z80 等微处理芯片。以这类芯片为 CPU 生产的微型机，其性能比第一代有了很大的提高。

3. 第三代微型机：1978—1981 年

1978 年 Intel 公司生产出 16 位微处理器 8086，标志着微处理器进入第三代，其性能比第二代提高近 10 倍。典型产品有 Intel8086、Z8000、M68000 等。以 16 位微处理器为 CPU 生产的微型机能支持多种应用，如数据处理等。

4. 第四代微型机：1981 年至今

随着半导体技术工艺的发展，集成电路的集成度越来越高，众多的 32 位高档微处理器被研制出来，典型产品有 Intel 公司的 Pentium 系统，AMD 公司的 AMDK6，Cyrix 公司的 6X86 等。以 32 位微处理器为 CPU 生产的微型机，一般属于第四代，其性能可与 20 世纪 70 年代的大中型计算机相媲美。

1.1.3 单片机的发展概况

从最初的单片机到如今的新一代单片机，其发展历史大致可分为四个阶段。

1. 第一阶段（1974—1976 年）单片机的初级阶段

因受当时工艺技术的限制，单片机结构和功能都很简单。例如，仙童公司生产的 F8 单片机，内部仅有 8 位 CPU，64 字节 RAM 和 2 个并行口，还需一些其他芯片才能组成一台完整的单片机。

2. 第二阶段（1976—1978 年）低性能单片机阶段

该系列单片机内集成有 8 位 CPU、并行 I/O 接口、一个 8 位的定时/计数器、片内 64 或 128 字节 RAM，程序存储器空间最大 4KB，但无串行通信口，不宜多机应用。

3. 第三阶段（1978—1983 年）高性能单片机阶段

这一阶段推出的单片机虽然仍采用 8 位 CPU，但均有多级中断功能、串行通信接口、16 位的定时/计数器，而且片内 ROM、RAM 容量加大，寻址空间范围可达 64KB，有的片内还带有 A/D 转换器接口。这一阶段单片机的生产厂家众多，产品系列也特别多，主要有 Intel 公司的 80C51，Motorola 公司的 6801 和 Zilog 公司的 Z8 等。这类产品由于具有优异的性能价格比，因而获得了极其广泛的应用。尤其是 80C51 系列单片机，特别适合

于控制方面,在我国教育和经济建设等各个领域大显身手,经久不衰,是我国单片机应用的主流系列。

4. 第四阶段(1983年至今)暂且称做新一代单片机阶段

这一阶段单片机的突出特点是“单片机”的含义已发生了根本改变。目前大家仍然保留单片机这一习惯叫法,但大家也都明白它是指单片微控制器(Single-Chip Microcontroller)。

1.1.4 单片机的特点和应用

新一代单片机有如下几方面特点:

1. 内部 CPU 仍然以 8 位为主流,并不断完善。另一方面发展了 16 位、32 位的单片机。早期单片机多使用 CISC 体系结构,近来 RISC 单片机已大力发展。在 RISC 单片机中,除了指令集精简外,一般都用单字长指令和流水线操作的方法,大大加快了单片机的指令执行速度。
2. 片内程序存储器有 ROM、EPROM 和低成本 OTP(一次性烧入 ROM),甚至是无 ROM(Romless)。近年来,Flash ROM 已获得了普遍发展。由于 Flash ROM 可在线多次写入,有些公司称这为 MTP(M-Time Programmable ROM)。Flash ROM 的普遍使用,也导致了 ISP(在线可编程 In-System Programmable)技术的迅速发展。可扩展容量有的已突破 64KB,达到 2MB 以上。片内 RAM 已有 2KB 以上的产品,可扩展容量也可达到 2MB 以上。
3. 芯片日趋多样化、复杂化,产品专用化。单片机在原有结构基础上,集成嵌入了一些外设与一些外设驱动电路单元,如通用接口、看门狗(Watchdog)、A/D 和 D/A、LCD 驱动单元、遥控键盘、语音接口、串行总线 I2C、甚至通用串行总线 USB(Universal Serial Bus)、控制器局域网 CAN(Controller Area Network)等。某些公司把数字信号处理器 DSP(Digital Signal Processor)也嵌入了“单片机”内。
4. 多采用 CMOS 工艺,出现双时钟、低电压单片机,大大降低了系统功耗。时钟速度大幅度提高,有的已达 100MHz 以上。芯片引脚数过去多为 40PIN,现在已向两个方向发展——多引脚(100PIN 以上)和少引脚(20PIN 以下)。封装形式多样化,有 DIP、SH-DIP、QFP、SQFP、HQFP、TQFP、PGA、BGA、PLCC 等。

纵观单片机的发展历程,单片机已经由纯粹的单片微型机发展到增加一定接口从而适用于一般控制应用的单片微控制器。为适应不同用户的专门应用,通常在 CPU 之外又增加了相适应的有独特功能的外设驱动器,单片机又发展成了嵌入式微控制器。

单片机是随着应用工业测控的需要而诞生的,其结构与指令都是按照工业控制要求设计的,故又称单片微控制器,它使计算机系统以单片的形态出现。以单片机为核心的应用系统通常以最小系统运行,在家用电器、智能仪器仪表中我们常常可以看到单片机在工作。在工业测控系统中,通常在单片机的基础上外扩存储器、I/O 口以及一些外围电路,形成功能更强、更完善的系统。正是单片机体积小、功能强、可靠性高和价格低等优点,使得其被广泛应用到家电、工业过程控制、仪器仪表、智能武器、航空、汽车等领域。目前,世界上单片机的年产量已达十亿片之多,通常是微处理器产量的 4 倍以上,其数量之大和



应用面之广是计算机所无法相比拟的。

1.1.5 单片机系统的组成

单片机系统的组成，包括硬件和软件两大部分。

1. 硬件部分

基本内核 其结构相当于一个微型计算机，仅由这部分构成的单片机产品是原本意义上的单片微型计算机。其 CPU 往往是 4 位或 8 位的，Intel 公司的 80C51 单片机是 8 位机中最流行的产品，已成为事实上的标准，很多公司开发与其兼容的产品系列，并将其作为自己高性能微控制器产品的内核。存储器一般包括两个区域，即程序存储器区和数据存储器区。为适应用户二次产品开发的需要和成本因素，片内通常只集成部分存储器。片内程序存储器的结构又有掩模 ROM、可擦除可编程的 EPROM、一次可编程 ROM (OTP) 和无 ROM 型。有的产品中还会加入其他部分非易失性存储器，如 Flash ROM 等。

其他专设配置部分的各功能电路单元可以配合前述的基本内核形式的单片机芯片另行设计多片型系统。高性能的单片机 (8 位机、16 位机、32 位机) 产品为针对特定的用户功能，已把它们与内核做在同一块半导体芯片里，这就是微控制器，亦即嵌入式微控制器。这些电路单元中主要有监视定时器 WDT (Watchdog Timer)、可编程计数器阵列 PCA (Programmable Counter Array)、高速输入输出 HSI 和 HSO (High-Speed Input/Output)、直接存储器访问 DMA (Direct Memory Access)、串行总线 I2C (Inter-Integrated Circuit)、全局串行通道 GSC (Global Serial Channal)、USB、CAN、LED 和 LCD 驱动器、各种 DSP 等。

2. 软件部分

应用系统少不了软件——程序。因此，当我们设计一个单片机应用系统或产品时，虽然可以选择更高性能的单片机，但软件部分仍需要用户自己开发。软件设计是根据指令系统及系统功能要求来进行的。针对一个应用系统来说，某些功能的实现既可以用硬件来完成也可以用软件来完成。用硬件实现通常具有速度快、占用 CPU 时间少的优点，但电路复杂、成本高；而用软件来实现则可以简化硬件电路的设计、提高系统的可靠性、降低系统成本，但占用 CPU 时间长，实时性差，故只能用于对系统速度要求不高的情况。

另外，单片机应用系统的开发还必须具备开发系统，即开发单片机应用系统的环境。

1.1.6 单片机技术的发展趋势

在今后相当长一段时期内 8 位单片机仍将是单片机的主流机型，主要是因为 8 位廉价型单片机会逐渐进入 4 位机领域；另一方面增强型 8 位单片机在速度和功能上正向现在的 16 位单片机形成挑战。因此未来的机型发展可能是 8 位机与 32 位机共存的时代。从应用而言，32 位机在一定的时间内数量仍不会很多。现有的 16 位机仍有相当长的生命期。

从单片机的结构功能上看，单片机的发展趋势将向大容量高性能化、小容量低价格化和外围电路内转化及增强 I/O 口功能等几个方向发展。



大容量高性能化:片内存储结构容量进一步扩大。以往单片机的ROM为1KB~4KB, RAM为64B~128B,因此在某些复杂控制情况下,存储器容量不够,必须进行另外的外部扩展。为适应这种应用场合的要求,可以加大片内存储器的容量。当前单片机内部的ROM可达4KB~8KB, RAM可达256B,有的片内ROM可达12KB, RAM可达1MB,寻址可达16MB。将来,随着工艺技术的不断发展,片内存储容量将进一步扩大。高性能化主要是指进一步改进CPU性能,加快指令运算速度和提高系统控制的可靠性。第二代8位单片机片内CPU及存储器均采用16位,内部总线也采用16位,甚至有的还采用流水线技术,指令的执行速度可达100ms,堆栈的空间也达到64KB,从而可以支持C语言开发。片内RAM在1MB以上,存储器寻址达到了16MB。

小容量低价格化:与以上相反,这类单片机是把以往数字逻辑集成电路构成的控制电路单片机化,以使价格降低。

外围电路内转化:随着集成度的不断提高,尽可能把众多的各种外围功能器件集成在片内,除寄存器、定时/计数器等外,片内还可以集成A/D、D/A、DMA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。

增强I/O口功能:为减少外部驱动芯片,以进一步增加单片机并行口的驱动能力,某些单片机还可以直接输出大电流和高电压,从而直接驱动显示器。为进一步的增加I/O口的传输速度,有的单片机还设置了高速I/O口,用最快的速度触发外部设备,也可以以最快的速度响应外部事件。

综上,单片机发展前景应该是非常乐观的,将会在工农业生产中发挥更加重要的作用。

1.2 计算机中数的表示方法及运算

计算机所处理的信息,必须先经过数字化处理,即数据、文字、符号、图像等各种信息都要经过编码,成为计算机所能识别和处理的数字信息。因此,计算机选择哪种数字系统、如何表示数据,将直接影响计算机的性能和结构。在计算机中,数字是以二进制数表示的,它易于物理实现,同时数据存储、传送和处理简单可靠,而且运算规则简单,特别是采用二进制后,能方便地使用逻辑代数这一数学工具进行逻辑电路的设计、分析、综合,并使计算机具有逻辑性。因此,有必要了解二进制的表示以及与其他常用进位计数制间的差异和转换方法。

1.2.1 常用数制及转换

人们习惯用十进制数,而计算机用的是二进制数。在学习和使用计算机时,为了阅读和书写的方便,常采用十六进制。

1. 各种进位计数制及其表示方法

进位计数有两个要素:一是使用的数字符号,二是进位规则。

十进制数使用10个数字符号,即常用的阿拉伯符号0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。这些符号叫数码,数码的个数称为基数。进位规则是“逢十进一”,即计数时每一位计到



10 便往上进 1 位。所以，基数就是两相邻数码中高位的权与低位的权之比。

每个单独的数码只表示 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 中的一个数值。当要表示的数值较大时，需要用多个数码按照顺序排列来表示。每个数码表示的数值不仅取决于本身，同时还取决于它所处的位置。如 10682 表示一万零六百八十二。可写成如下多项式的形式：

$$1 \times 10^4 + 0 \times 10^3 + 6 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 2 \times 10^0$$

式中的 10^0 、 10^1 、 10^2 、 10^3 、 10^4 在数学上分别表示个位、十位、百位、千位、万位上的“权”。每一位上的数码与该位的“权”的乘积表示该位数值的大小。

任一个十进制数 N 可表示为：

$$N = \pm [a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + \dots + a_{-m} \times 10^{-m}]$$

$$= \pm [\sum a_i \times 10^i] \quad (\text{式中 } i = -m \sim (n-1))$$

这是一个多项式，或中幂指数 m 是小数位数， n 是整数位数，均为正整数；系数 a_i 是第 i 位的数码符号，可以是 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个数码符号中的任一个，由具体数决定；10 是基数。

推广之，对于任意进位计数制，若基数用 R 表示，则任意数 N 可表示为：

$$N = \pm [\sum a_i \times R^i] \quad (\text{式中 } i = -m \sim (n-1))$$

对于二进制数，数码符号只有 2 个，即 0 和 1，基数是 2。进位规则是“逢二进一”。以 8 位二进制为例，从高到低各位的权依次是： 2^7 、 2^6 、 2^5 、 2^4 、 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 。如有一个二进制数 11010100，如果感觉不到它的大小，可用多项式展开法将其转换成十进制数，就知道它是多少了：

$$(11010100)_2 = 1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0$$

$$= 128 + 64 + 0 + 16 + 0 + 4 + 0 + 0$$

$$= (212)_{10}$$

对于十六进制数，数码符号需 16 个，取：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F，基数是 16，进位规则是“逢十六进一”。

表 1.1 列出了部分十进制、二进制、十六进制数对照。

表 1.1 常用数制对照

十进制	二进制	十六进制	十进制	二进制	十六进制
0	0000	0	12	1100	C
1	0001	1	13	1101	D
2	0010	2	14	1110	E
3	0011	3	15	1111	F
4	0100	4	16	1 0000	10
5	0101	5	17	1 0001	11
6	0110	6	32	10 0000	20
7	0111	7	255	1111 1111	FF
8	1000	8	0.5	0.1	0.8
9	1001	9	0.25	0.01	0.4
10	1010	A	0.125	0.001	0.2
11	1011	B	0.0625	0.0001	0.1



2. 二进制数的运算

(1) 二进制加法。二进制加法规则为：

$$0+0=0, 0+1=1, 1+0=1, 1+1=10, 1+1+1=11$$

例如，数 10101 与数 10011 相加，演算过程如下（括号内对应十进制值）：

$$\begin{array}{r} 10111 \quad \text{进位} \\ 10101 \quad (21) \text{ 被加数} \\ +10011 \quad (19) \text{ 加数} \\ \hline \end{array}$$

$$101000 \quad (40) \text{ 和}$$

(2) 二进制减法：二进制减法规则为：

$$0-0=0 \quad 0-1=1 \text{ (借位)} \quad 1-0=1 \quad 1-1=0$$

如，数 10110 减去数 1100 的过程为：

$$\begin{array}{r} -10000 \quad \text{借位} \\ 10110 \quad (22) \text{ 被减数} \\ -) 1100 \quad (12) \text{ 减数} \\ \hline \end{array}$$

$$01010 \quad (10) \text{ 差}$$

3. 十六进制数的使用

计算机只能处理二进制数。二进制数书写起来非常麻烦，并且容易出错、不易阅读。从表 1.1 可以看出，十六进制的 16 个数码与四位二进制的 16 种组和是一一对应的。实际上，十六进制数本质上就是二进制数，是二进制数的简单书写形式，即十六进制一位数相当于二进制四位数。例如，将二进制数 1000101011.00011 写成十六进制数的方法是，先对该数从小数点向两边每 4 位分为一组，若不足 4 位补 0；再从左至右把每一组用十六进制数码依次写出来，其中小数点仍在原来位置保留，即：

$$(1000101011.00011)_2 = (0010 \ 0010 \ 1011.0001 \ 1000)_2 = (22B.18)_{16}$$

上式中，下标数字表示该数的进制。书写时也可以用大写字母表示，二进制数末尾加一大写字母 B，十六进制数末尾加 H，十进制数末尾加 D（也可不加），如上面的算式也可写为：

$$1000101011.00011B = 0010 \ 0010 \ 1011.0001 \ 1000B = 22B.18H$$

把十六进制数展开成二进制数也很简单，方法是依次将十六进制数每一位数用 4 位二进制数展开写出来，其中小数点仍在原来位置保留即可。例如，将 3A8.3FH 写成二进制数形式如下：

$$3A8.3FH = 0011 \ 1010 \ 1000.0011 \ 1111B = 111010.00111111B$$

以上介绍的 3 种进位制，十进制是人们习惯的计数制，二进制是计算机唯一能处理的进位制，而十六进制是程序员在编写程序时，为了书写方便而用来代替二进制的一种数据表示方法。在使用计算机时，程序员还必须熟练掌握各种数制之间的转换。