

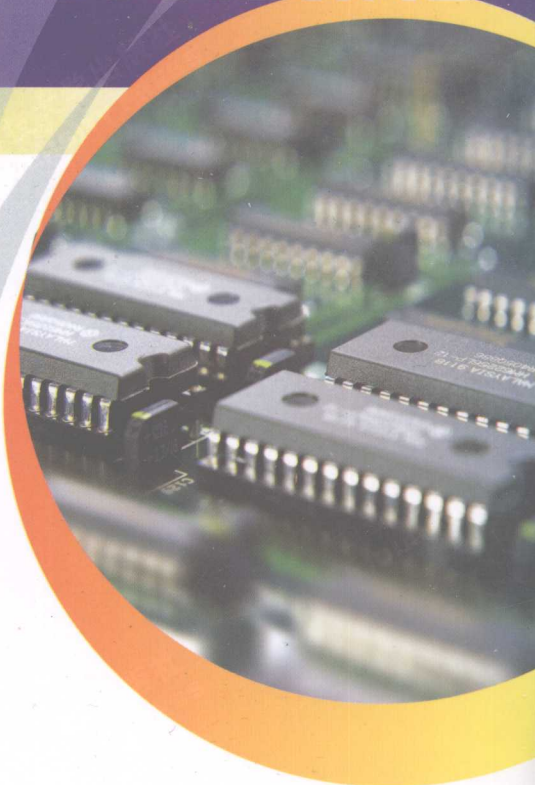


高等学校信息工程类专业规划教材

51系列单片机原理与实验教程

邹应全 编著

张小蓓 主审



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

面向 21 世纪高等学校信息工程专业规划教材

内容简介

本书是面向 21 世纪高等学校信息工程专业规划教材之一。本书以 51 系列单片机为对象，系统地介绍了单片机的组成、工作原理、指令系统、汇编语言程序设计、C 语言程序设计、中断系统、定时/计数器、串行接口、并行接口、总线系统、低功耗模式、应用开发等。本书可作为高等院校信息工程专业及相关专业的教材，也可供从事单片机工作的工程技术人员参考。

51 系列单片机原理与实验教程

邹应全 编著

张小蓓 主审

图书在版编目(CIP)数据

51 系列单片机原理与实验教程 / 邹应全编著. — 西安: 西安电子科技大学出版社, 2007.12
ISBN 978-7-5506-1028-2

1. ①5... Ⅱ. 邹... Ⅲ. 单片机—教材 Ⅳ. TP369.1
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 196769 号

责任编辑: 马承惠
责任印制: 马承惠
出版发行: 西安电子科技大学出版社(西安太白南路 2 号)
印 刷: (029)85213882 88501485 邮 编 710071
<http://www.xjpuh.com> E-mail: xjpuh@pub.xjpuh.com

经 销: 新华书店
印刷单位: 西安文苑印刷厂
开 本: 787 毫米×1095 毫米 1/16 印 张 19.75
字 数: 371 千字
印 数: 1—1000 册
定 价: 25.00 元

西安电子科技大学出版社

本书由西安电子科技大学出版社出版，印刷质量高，印刷精美。

内 容 简 介

本书是电子与通信专业的基础教材,以广泛流行的 MCS-51 内核的 AT89S52 单片机为例,全面系统地介绍了 51 系列单片机的硬件组成、指令系统及汇编语言编程方法,C51 语言编程基础和应用开发等。

本书的重点是介绍如何去实现一个完整的单片机系统,如何编写完整的单片机程序。书中汇集了作者多年来从事单片机教学与研究、应用开发的经验和心得,并以实验的形式,给出了大量的、完整的实验和开发例程,程序由汇编和 C51 两种语言给出。

本书内容全面、基础理论完整、典型实例与实验丰富;编写思路清晰、讲述清楚、配套教学资料齐全。

本书可作为大专院校的电子信息类本科或专科的教材,也可作为单片机开发人员的参考书籍,书中给出的大量经过验证的实验例程对工程开发人员具有很高的参考价值。

★ 本书配有电子教案,有需要的老师可登录出版社网站,免费下载,或与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

51 系列单片机原理与实验教程/邹应全编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2007.12

面向 21 世纪高等学校信息工程专业规划教材

ISBN 978-7-5606-1958-3

I. 5… II. 邹… 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(2007)第 196769 号

策 划 马乐惠

责任编辑 马晓娟 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 15.75

字 数 371 千字

印 数 1~4000 册

定 价 22.00 元

ISBN 978-7-5606-1958-3/TP·1013

XDUP 2250001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前言

由于 Intel 公司公开了其 8051CPU 内核, 因此, 该公司及国际上各大半导体公司, 如 Atmel、SST、Cygnal、Philips 等都能提供不同用途的 51 系列单片机。目前, 51 系列单片机品种非常丰富, 在工业控制和测量领域内的应用极为广泛, 已经成为事实上的工业标准。

早期单片机的开发流程是首先以汇编为主要编程语言编写程序, 然后在厂家提供的开发环境下编译、仿真、生成目标文件(通常为十六进制文件), 最后通过编程器(俗称烧写器)将目标文件下载到目标板的单片机中, 完成整个调试。随着单片机硬件性能的不断提高, 单片机的开发方法发生了很大的改变。一方面, 由于时钟速度、RAM 和 ROM 容量的大幅度提高, 用户在编写单片机应用程序时, 往往更注重程序本身的编写效率、方便性和可移植性, 因此 C51 得到了越来越广泛的应用; 另一方面, 由于 ISP 技术、IAP 技术和 JTAG 技术在 51 单片机上的应用, 使单片机的编程、仿真、下载都变得非常的方便。

单片机课程是一门实践性非常强的课程, 其教学内容更新换代快。目前, 一些高校的单片机教学仍然沿用传统的教学模式, 理论教学主要讲授 8031 的硬件组成、指令系统、汇编程序设计、外设电路设计等, 教学内容过于陈旧, 缺乏时下流行单片机的硬件介绍及 C51 和开发平台内容的介绍; 实验教学主要利用教学设备完成规定的实验内容, 且均是些验证性的实验。因此, 教学效果不太明显, 学生在课程结束后仍然对单片机的开发一知半解。究其原因, 作者认为主要在于缺乏让学生自己设计系统、实现系统的实践教学环节。考虑到单片机教学和开发的特点, 作者力求在给读者介绍单片机基本理论的同时, 重点介绍如何去设计并实现一个完整的单片机系统, 同时提供大量完整的实用开发例程, 以期达到缩短理论学习时间, 与实际开发应用相结合的效果。

本书以 Atmel 公司的 AT89S5X 单片机为例, 全面介绍了 51 系列单片机的硬件组成原理、指令系统及 C51 编程基础等, 并给出了大量的实验例程及其分析。全书分为 8 章, 第 1 章介绍了单片机的基本概况, 特别是对 51 系列、AVR 系列和 PIC 系列单片机作了较为全面的比较, 同时还介绍了单片机选型的方法, 并提供了相关公司的产品系列。第 2 章介绍了 AT89S52 单片机的硬件组成, 特别是对编程很重要的特殊控制寄存器和状态寄存器作了详细说明。第 3 章和第 4 章介绍了 51 系列单片机的指令系统和汇编语言的编程方法。第 5 章介绍了 C51 基础, 特别是对 C51 与 C 语言的不同之处做了重点介绍。第 6 章介绍了一种模块化设计的单片机实验系统, 详细介绍了该系统的每块硬件电路原理, 同时举例介绍了如何自行设计一个测温系统。第 7 章和第 8 章采用实验的形式给出了大量的常用例程, 比如键盘扫描、液晶显示、数码管显示、中断, 等等, 这些例程都是经过 Keil 验证的实用例程, 对实际开发有很大的参考价值。

本书由南京信息工程大学电信学院邹应全编著。参加编写工作的还有南京信息工程大学的吴大中、季鑫源、熊杰锋、刘建成, 宜宾学院的李庆, 淮阴生物工程高等学校的张兆

鹏,西南民族大学的宁爱华等。邹应全完成了第1、2、5、6、7、8章的编写,吴大中完成了第3章的编写,季鑫源完成了第4章的编写。熊杰锋、李庆、刘建成和宁爱华编写了大多数实验程序和习题。张兆鹏完成文字录入和校对工作。

西北工业大学的张小蓟教授于百忙中审阅了本书,并提出了许多非常宝贵的意见,解放军理工大学的张宝富教授对初稿提出了建设性的意见,并与作者进行了有益的探讨,在此一并表示衷心的感谢!同时也感谢南京信息工程大学的资助!

由于编者水平有限,书中难免存在错漏和不妥之处,恳请各位读者批评指正!

为了配合理论教学,南京信息工程大学的相关老师研制成功了单片机原理实验教学系统(简称单片机原理实验箱),并配了详细的实验指导书,现已成功应用于我院及相关兄弟院校的单片机原理课程的教学,取得了良好的教学效果。对实验箱有兴趣的读者可以与作者联系。

作者的电子邮箱:guysnow@163.com。

作者

2007年10月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 单片微型计算机	1
1.1.1 单片机的发展概况	1
1.1.2 单片机的发展趋势	2
1.2 单片机的应用	4
1.3 AVR、51 和 PIC 系列 8 位单片机性能的比较	4
1.3.1 51 系列	4
1.3.2 PIC 系列	7
1.3.3 AVR 系列	8
1.4 51 系列单片机的主要生产厂家及特点	9
1.4.1 Atmel 公司的 51 系列单片机	9
1.4.2 Cygnal 公司的 51 系列单片机	10
1.4.3 SST 公司的 51 系列单片机	13
1.4.4 Philips 公司的 51 系列单片机	15
1.4.5 华邦公司的 51 系列单片机	15
1.4.6 Cypress 公司的 51 系列单片机	15
习题与思考题	15
第 2 章 MCS-51 单片机的硬件组成	16
2.1 MCS-51 单片机的外部特性	16
2.1.1 引脚说明及特性	16
2.1.2 外部总线	19
2.2 AT89S52 单片机的内部组成	20
2.2.1 基本组成模块	20
2.2.2 内部原理图	20
2.3 CPU 及复位电路	21
2.3.1 CPU	21
2.3.2 复位和复位电路	23
2.4 I/O 端口	24
2.4.1 端口功能	25
2.4.2 端口操作	25
2.5 存储器	27
2.5.1 程序存储器	28
2.5.2 内部数据存储器	28
2.5.3 外部数据存储器	29
2.6 专用功能寄存器	29
2.6.1 累加器(ACC)	31

2.6.2	B 寄存器(B)	31
2.6.3	程序状态字(PSW)	32
2.6.4	堆栈指针(SP)	33
2.6.5	数据指针(DPTR)	33
2.6.6	端口 P0~P3	33
2.6.7	串行数据缓冲器(SBUF)	33
2.6.8	定时器/计数器(T0、T1、T2)	34
2.6.9	辅助寄存器	34
2.6.10	其他控制寄存器	34
2.7	中断系统	34
2.7.1	中断请求源	35
2.7.2	中断控制	37
2.7.3	中断优先级机构	38
2.7.4	中断响应过程	38
2.7.5	外部中断触发方式	40
2.7.6	中断响应时间	40
2.7.7	中断的单步操作	41
2.7.8	外部中断扩展	41
2.8	定时器/计数器	43
2.8.1	定时器/计数器 0 和定时器/计数器 1	43
2.8.2	定时器/计数器 2	48
2.9	串行接口	51
2.9.1	串行接口控制寄存器 SCON 及波特率选择位	51
2.9.2	串行接口的操作方式	52
2.9.3	波特率	57
2.10	看门狗定时器(WDT)	58
2.10.1	看门狗的使用	58
2.10.2	看门狗在掉电模式和空闲模式下的使用	58
2.11	掉电模式和空闲模式	58
2.11.1	空闲模式	59
2.11.2	掉电模式	59
	习题与思考题	59
第 3 章 MCS-51 指令系统		61
3.1	概述	61
3.2	寻址方式	63
3.3	指令系统	65
3.3.1	指令分类	65
3.3.2	数据传送类指令	66
3.3.3	算术运算类指令	71
3.3.4	逻辑操作类指令	76
3.3.5	位操作类指令	80
3.3.6	控制转移类指令	82
3.4	伪指令	87

习题与思考题	89
第4章 MCS-51 汇编语言程序设计	92
4.1 简单程序设计	92
4.2 分支程序设计	93
4.3 循环程序设计	95
4.4 散转程序设计	109
4.5 子程序和参数传递方法	112
4.6 查表程序设计	115
4.7 数制转换	119
习题与思考题	123
第5章 C51 应用基础	124
5.1 Keil C51 简介	124
5.2 C51 程序设计基础知识	125
5.2.1 C51 特点	125
5.2.2 一个简单的 C51 例子	125
5.2.3 C51 的基础知识	126
5.2.4 存储空间定义	126
5.2.5 C51 数据类型	127
5.2.6 C51 存储空间的定义	129
5.2.7 C51 的常量	129
5.2.8 C51 的常用运算符	130
5.2.9 C51 的表达式	134
5.2.10 C51 的基本语句	136
5.3 C51 的函数与数组	142
5.3.1 函数的定义	143
5.3.2 数组	144
5.4 C51 的编程规范	147
5.5 C51 的基本应用	149
5.5.1 8051 I/O 口字节操作的应用	149
5.5.2 8051 I/O 口位操作的应用	149
5.5.3 8051 计数器的应用	150
5.5.4 8051 外部中断的应用	151
5.5.5 8051 串行口中断的应用	151
5.5.6 8051 访问外部数据存储器的应用	153
习题与思考题	154
第6章 AT89S5X 实验系统	155
6.1 实验系统硬件组成	155
6.1.1 电源接口	156
6.1.2 液晶	156
6.1.3 编程接口	159
6.1.4 串口	159
6.1.5 发光二极管	160

6.1.6	4 位 LED	160
6.1.7	扩展接口	162
6.1.8	单片机	162
6.1.9	键盘	163
6.1.10	蜂鸣器	163
6.2	ISP 下载器	164
6.3	最小系统板制作及测温系统设计	168
第 7 章	基础实验	171
实验一	Keil 软件和 ISP 在线编程工具使用实验	171
实验二	数据传送实验	173
实验三	数据转换实验	175
实验四	拆字、拼字实验	178
实验五	I/O 口实验(发光二极管实验)	180
实验六	数码管实验	182
实验七	中断实验	185
实验八	键盘扫描实验	187
实验九	RS232 串口实验	193
实验十	液晶控制实验	196
第 8 章	综合设计性实验	200
实验一	DS18B20 温度采集实验	200
实验二	D/A 转换实验	206
实验三	A/D 转换实验	209
实验四	IIC 总线实验	212
实验五	SPI 总线实验	217
实验六	实时时钟 DS12C887 实验	223
实验七	8255A 并口扩展实验	229
附录 A	8051 单片机的常用指令	232
附录 B	实验模块原理图	236
附录 C	测温系统原理图	240
附录 D	Atmel 公司 51 系列单片机选型表	241
参考文献		244

第1章 绪论

1.1 单片微型计算机

微型计算机的出现是电子数字计算机广泛应用到人们日常生活和工作领域中的一个重大转折点,对社会产生了极大的影响。单片微型计算机是微型计算机发展的一个重要分支,它以独特的结构和性能,已经广泛地应用到国民经济建设的各个领域。

单片机是单片微型计算机(Single Chip Microcomputer)的简称,它在一个芯片上集成了中央处理器(CPU)、数据存储器(RAM)、程序存储器(ROM、EPROM、Flash ROM)、定时器/计数器(Timer)和其他各种输入/输出(I/O)设备(如 RS-232 串行通信口、中断控制、系统时钟及系统总线等),这些设备之间的相互连接结构如图 1-1 所示。

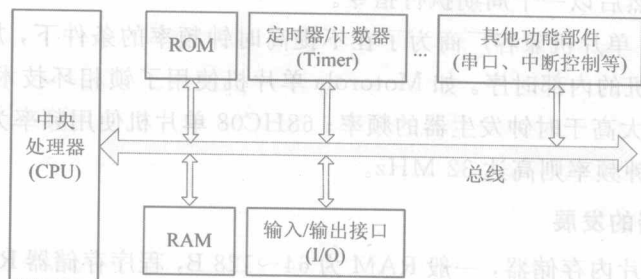


图 1-1 单片机结构

总之,一个单片机就相当于一台微型计算机,可以用下面一个表达式来描述:

单片机 = CPU + ROM + RAM + I/O + 功能部件

单片机在整体性能上不如微型计算机,但单片机与微型计算机相比有其显著的优点:体积小、编程方便、功耗低、成本低。正是这些优点使单片机得到了广泛的应用。生活中到处是单片机应用的影子,如 VCD 机、手机、微波炉、空调、自动洗衣机以及汽车电子设备等。

1.1.1 单片机的发展概况

1975 年,美国德州仪器(TI)公司推出了 TMS-1000, Intel 公司则推出了 4004 4 位单片机;1980 年,Intel 公司在 MCS-48 系列的基础上,又推出高性能的 MCS-51 系列 8 位单片机;1982 年,16 位单片机问世后,Intel 又推出了 MCS-96 系列 16 位单片机。而今,具有强大的片内功能的 32 位单片机也已问世。

无论是哪一种位数的单片机,也无论是哪一个系列的单片机,都为新产品的开发、应

用系统的研制、智能控制器的研究等创造了极其有利的硬件环境。可以说,由于世界各生产厂家生产的通用型 4 位、8 位、16 位、32 位单片机以及衍生出的五花八门的系列及型号的产品,使单片机技术的应用达到了无处不在的地步。但就国内近 30 年的应用实践而言,使用量最大的仍是 8 位单片机,应用范围最广的也是 8 位单片机。目前,8 位单片机的销量占全球单片机销量的 65% 左右,仍是当前应用的主流。

1.1.2 单片机的发展趋势

单片机技术正以惊人的速度向前发展,主要表现在以下几个方面。

1. CPU 的发展

增加 CPU 的字长或提高时钟频率均可提高 CPU 的数据处理能力和运算速度。CPU 的字长已有 8 位、16 位、32 位和 64 位之分,时钟频率也已发展到 20 MHz 以上。标准的 8051 单片机一个机器周期要占用 12 个时钟周期,执行一条指令最少要一个机器周期,而现在的单片机,其执行指令的速度大大提高了。如 Cygnal 公司的 C8051FXXX 系列是全集成混合信号的片上系统单片机(SOC 单片机),采用了 CIP-51 微处理器内核,该微处理器 70% 指令的执行是在 1 个或 2 个系统时钟周期内完成的,只有 4 条指令的执行需 4 个以上的时钟周期。Atmel 公司的 AT89 系列单片机是采用 RISC(Reduced Instruction Set CPU)结构的单片机,该系列单片机可在一个时钟周期内执行一条指令,即在执行前一条指令时就取下一条指令,然后以一个周期执行指令。

还有一些 8051 单片机兼容厂商为了在不提高时钟频率的条件下,加快单片机的运算速度,改善了单片机的内部时序。如 Motorola 单片机使用了锁相环技术或内部倍频技术,使内部总线速度大大高于时钟发生器的频率;68HC08 单片机使用频率为 4.9 MHz 的外部振荡器,而内部时钟频率则高达 32 MHz。

2. 片内存储器的发展

早期单片机的片内存储器,一般 RAM 为 64~128 B,程序存储器 ROM 在 1~2 KB 之间,新型的单片机片内的 RAM 在 256 B 以上,片内程序存储器也采用了快速闪存(Flash)技术,可在 5 V 电压下进行程序的烧录,容量可达 128 KB 以上。由于采用了 Flash 技术,使得在线编程(In-System Programming, ISP)和在实际应用中编程(In Application Programming, IAP)技术得以实现。

3. 片内输入/输出接口功能的加强

最初的单片机,片内只有并行输入/输出接口、定时器/计数器,它们的功能也较差,在实际应用中往往还要通过特殊的接口扩展功能,这样既增加了应用系统结构的复杂性,也降低了系统的稳定性。

近几年来,新型单片机的接口,无论从类型上还是从数量上都有很大的发展,这不仅大大地提高了单片机的功能,而且也大大地简化了系统的总体结构。例如,有些单片机的并行 I/O 口能直接输出大电流和高电压,可直接用以驱动数码管(LED)、液晶显示器(LCD)等。集成在片内的部件也越来越多,常见的有 A/D 转换器、D/A 转换器、串行通信接口、看门狗电路、网络控制模块、用于变频控制的脉宽调制控制电路等。

4. 半导体工艺技术的发展

早期的单片机采用 PMOS 工艺, 随后逐渐采用 NMOS、HMOS 和 CMOS 工艺, 现在的单片机基本上都采用 CMOS 工艺。半导体工艺技术的发展, 对提高单片机的综合性能有很大好处, 主要表现在以下几个方面:

(1) 提高集成度。早期单片机采用 $5\ \mu\text{m}$ 的工艺, 后来采用 $4\sim 3\ \mu\text{m}$ 的工艺时, 芯片上的电路复杂度已可提高 $2\sim 4$ 倍。当前的单片机大部分采用 $0.6\ \mu\text{m}$ 以下的工艺, 有的甚至采用 $0.13\ \mu\text{m}$ 的工艺, 在一块硅片上能集成的部件更多。

(2) 低功耗化。采用 CMOS 工艺制作的单片机本身具有低功耗的优点, 为了进一步降低功耗, 很多单片机都设置了等待 (Wait)、停止 (Stop) 和睡眠 (Sleep) 等低功耗的工作方式。例如 TI 公司的 MSP430 系列单片机, 它具有 LPM1、LPM3 和 LPM4 三种低功耗的工作方式, 在工作电压为 $3\ \text{V}$, 工作方式为 LPM1 时, CPU 静止, 振荡频率介于 $1\sim 4\ \text{MHz}$ 之间, 外围电路处于活动的情况下, 只消耗约 $50\ \mu\text{A}$ 的电流; 在工作方式为 LPM4 时, CPU、外围电路、振荡器都处于静止状态, 只消耗约 $0.1\ \mu\text{A}$ 的电流。

(3) 工作电压范围加宽。采用 NMOS 工艺制作的单片机, 工作电压一般为 $4.5\sim 5.5\ \text{V}$, 而采用 CMOS 工艺制作的单片机, 一般都可以在 $3\sim 6\ \text{V}$ 的条件下工作。目前有的单片机的工作电压更低, 如 TI 公司的 MSP430X11X 系列单片机的工作电压为 $2.2\ \text{V}$ 。

(4) 单片机的外型封装多样化。早期单片机的外型封装都采用双列直插式 (DIP) 封装, 如今, 外型封装可为方形 (PQFP、PLCC), 还可采用贴片工艺方式封装, 以减小体积。单片机的外型封装方式如图 1-2 所示。

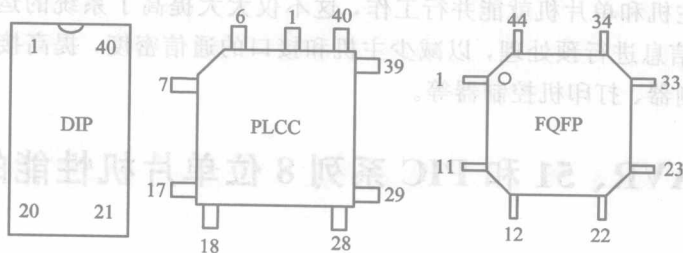


图 1-2 单片机的封装方式

5. 低噪声与高可靠性技术的发展

为提高单片机系统的抗电磁干扰能力, 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采用了一些新的技术措施。如很多系列单片机在片内增加了看门狗定时器, Motorola 公司的 MC68HC08 系列单片机采用了 EFT (Electrical Fast Transient) 的抗干扰技术等。

6. ISP 及 IAP 的应用

在线编程 (ISP) 及在应用中编程 (IAP) 是通过计算机的并口或串口对单片机进行程序下载编程的技术。单片机引出的编程线与 I/O 口线复用, 不增加单片机引脚数量。ISP 技术为单片机的开发、调试提供了方便, 并使单片机系统远程调试、升级成为现实。IAP 技术可实现单片机在应用中的再编程, 为仪器仪表的智能化提供了重要的技术手段。

1.2 单片机的应用

单片机主要可用于以下几方面。

1. 控制系统

控制系统,特别是工业控制系统的工作环境恶劣,各种干扰大,而且往往要求实时控制,故要求控制系统工作稳定、可靠、抗干扰能力强。单片机是最适宜于控制领域的应用,如数控机床、电镀生产线自动控制等。

2. 智能仪表

用单片机制作的测量、控制仪表,能使仪表向数字化、智能化、多功能化、柔性化方向发展,并使检测、处理、控制等功能一体化,使仪表重量大大减轻,便于携带和使用,同时降低了成本,提高了性能/价格比,如数字式 RLC 测量仪、智能转速表、计时器等。

3. 智能产品

单片机与传统的机械产品结合,使传统机械产品结构简化,控制智能化,构成新型的机电一体化产品,如数控车床、电脑空调机、各种家电和通信设备等。

4. 计算机外设

在计算机应用系统中,除通用外部设备(键盘、显示器、打印机)外,还有许多用于外部通信的设备,如数据采集、多路分配管理、驱动控制接口等。在接口中采用单片机进行控制和管理后,主机和单片机就能并行工作,这不仅大大提高了系统的运算速度,而且单片机还可对接口信息进行预处理,以减少主机和接口的通信密度,提高接口控制管理的水平,如绘图仪控制器、打印机控制器等。

1.3 AVR、51 和 PIC 系列 8 位单片机性能的比较

1.3.1 51 系列

应用最广泛的 8 位单片机首推 Intel 的 51 系列,该产品硬件结构合理,指令系统规范,加之生产历史“悠久”,有先入为主的优势。世界上有许多著名的芯片公司都购买了 51 芯片的核心专利技术,并在其基础上进行性能上的扩充,使得芯片得到了进一步的完善,形成了一个庞大的体系,直到现在仍在不断改进和发展。有人推测,51 芯片可能最终形成事实上的标准 MCU 芯片。

51 系列单片机的优点之一是它从内部的硬件到软件有一套完整的按位操作系统,称作位处理器,或布尔处理器。它的处理对象不是字或字节,而是位。它不仅能对片内某些特殊功能寄存器的某位进行处理,如传送、置位、清零、测试等,还能进行位的逻辑运算,其功能十分完备,使用起来得心应手。虽然其他种类的单片机也具有位处理功能,但能进行位逻辑运算的却属少见。51 系列单片机在片内 RAM 区间还特别开辟了一个双重功能的地址区间(16 个字节,单元地址为 20H~2FH),它既可作字节处理,也可作位处理(作位处理时,约 128 个位,相应的位地址为 00H~7FH),使用极为灵活。这一功能无疑给使用

者提供了极大的方便,这是由于一个较复杂的程序在运行过程中会遇到很多分支,因而需建立很多标志位,需要对有关的标志位进行置位、清零或检测,以确定程序的运行方向,而实施这一处理功能(包括前面所有的位功能),只需用一条位操作指令即可。

【例 1-1】对 21H 的第 0 位(相应位地址为 08H)置位。

只需用一条位指令:

SETB 08H

对周围的其他位不会产生影响。

有的单片机并不能直接对 RAM 单元中的位进行操作,如 AVR 系列单片机中,若要对 RAM 中的某位置位,则必须通过状态寄存器 SREG 的 T 位进行中转。

【例 1-2】对 RAM 中的 R0 寄存器的第 4 位置位。

位指令:

BSET6

; 状态寄存器 T 置位

BLD R0, 4

; 将 T 位复制到 R0 的第 4 位

显然,通过中转的方式置位比直接置位要复杂。

51 系列单片机的另一个优点体现在其乘法和除法指令上,它们给编程带来了便利。8 位除以 8 位的除法指令,商为 8 位,精度不够,用得不多,而 8 位乘 8 位的乘法指令,其积为 16 位,精度能满足要求,因此用得较多。作乘法时,只需一条指令就行了,即 MUL AB (两个乘数分别在累加器 A 和寄存器 B 中,积的低位字节在累加器 A 中,高位字节在寄存器 B 中)。很多 8 位单片机并不具备乘法功能,作乘法时还得编上一段子程序,十分不便。

在 51 系列单片机中,还有一条二进制—十进制调整指令 DA,它能将二进制变为 BCD 码,这对于十进制的计算十分方便。而在其他的单片机中,则需调用专用的子程序才行。

Intel 公司 51 系列单片机的典型产品是 8051,其片内有 4 KB 的一次性程序存储器(OTP)。Atmel 公司将其改为电可擦写的快速闪存(Flash),容许擦写 1000 次以上,这给编程和调试带来了极大的便利,其产品 AT89C52、AT89S52……成为当今最流行的 8 位单片机。

51 系列单片机的 I/O 脚的设置和使用非常简单,当该脚作输入脚使用时,只需将该脚设置为高电平(复位时,各 I/O 口均置高电平)即可;当该脚作输出脚使用时,则为高电平或低电平均可。低电平时,输入电流可达 20 mA,具有一定的驱动能力;高电平时,输出电流仅数十微安培甚至更小(电流实际上是由脚的上拉电流形成的),基本上没有驱动能力。其原因是高电平时该脚也同时作输入脚使用,而输入脚必须具有高的输入阻抗,因而上拉的电流必须很小才行。作输出脚使用而欲进行高电平驱动时,需利用外电路实现(见图 1-3),当 I/O 脚为高电平时,电流经 R 驱动 LED 发光;低电平时, I/O 脚导通,电流由该脚入地,LED 灯灭(I/O 脚导通时对地的电压降小于 1 V,LED 的阈值为 1.5~1.8 V)。

51 系列单片机的 I/O 脚使用简单,但高电平时无输出能力,可谓有利有弊,故其他系

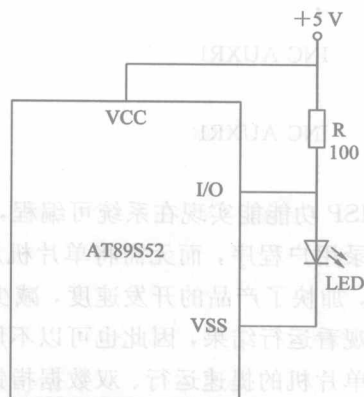


图 1-3 单片机驱动发光二极管原理图

列的单片机(如 PIC 系列、AVR 系列等)对 I/O 口进行了改进,增加了方向寄存器以确定输入或输出,但使用也变得复杂。

一些简装的 51 产品也相应出现,如 Atmel 公司的 AT89C1051、AT89C2051、AT89C4051 等(快速闪存的容量分别为 1 KB、2 KB、4 KB 等,但不能外接数据存储器),指令系统与 AT89C51 完全兼容,但引脚均为 20 脚,不光体积小,而且价格低廉,这使得其他公司竞相仿照。

不过,原 51 系列也有许多值得改进之处,如运行速度过慢等。当晶振频率为 12 MHz 时,机器周期达 $1\ \mu\text{s}$,显然适应不了现代高速运行的需要。华邦公司(Winbond)生产的产品型号为 W77 系列和 W78 系列。W78 系列与 AT89C 系列完全兼容。W77 系列为增强型,它们对原有的 8051 的时序作了改进,每个机器周期从 12 个时钟周期改为 4 个周期,使速度提高了 2 倍,同时,晶振频率最高可达 40 MHz。W77 系列还增加了看门狗(Watch-Dog)、两组 UART、两组 DPTR 数据指针、ISP 等多种功能。

此处要特别提及的是双数据指针,它能给编程带来很大的便利。在 51 系列单片机中,数据指针 DPTR 是片内与片外的数据存储器打交道的主要途径(由片外数据存储器读入片内累加器 A 或由片内累加器 A 写入片外数据存储器),也是程序存储器与累加器 A 之间的数据传送的必由之路。由于频繁的数据交换,特别是数据块的搬运和比较,数据指针非常吃紧,它需要不断地实施现场保护与还原,不光编程变得复杂,而且运行速度也减慢。而当采用两个数据指针时,可以各负其责,互不干扰,轻松地完成上述过程。两个数据指针的选取取决于特殊功能寄存器 AUXR1 的第 D0 位 DPS。当 DPS 为 0 时,选中数据指针 DPTR0(复位时 DPS 也为 0);DPS 为 1 时,选中数据指针 DPTR1。DPS 位不能位寻址,故不能进行布尔操作,但由于 AUXR1 的 D1 位被强制为逻辑“0”,不可能发生由 D0 位向 D1 位进位之可能,因而可以通过对 AUXR1 进行增 1 来使 D0 位由 0 变为 1 或由 1 变为 0,从而达到双数据指针快速切换的目的。

【例 1-3】 双数据指针的快速切换指令。

```
MOV AUXR1, #0          ; DPS 为 0, DPTR0 有效
:
INC AUXR1                ; DPS 为 1, DPTR1 有效
:
INC AUXR1                ; DPS 为 0, DPTR0 有效
:
```

ISP 功能能实现在系统可编程,可以省去通用的编程器,单片机在用户板上即可下载和烧录用户程序,而无需将单片机从生产好的产品上取下。未定型的程序还可以边生产边完善,加快了产品的开发速度,减少了新产品因软件缺陷带来的风险。由于可以将程序下载并观看运行结果,因此也可以不用仿真器。

单片机的提速运行、双数据指针及 ISP 功能并非是 W77 系列所特有的,一些新的型号的 51 系列产品大都有该功能,如 Philips 的 51LPC 系列、AT89 系列中的某些型号、STC89C 系列等等。有的单片机还附有 A/D、D/A 转换、片内 EEPROM 数据存储器、PWM 输出、I²C 总线、上电复位检测、欠压复位检测等等。这些新系列的单片机,它们都兼容 8051 的指令系统。增强功能的实现,大都是由片内新增的特殊功能寄存器来进行设置

的,这些寄存器被安排在片内特殊功能寄存器区间(80H~FFH)的预留地址上。

比较有代表性的产品还有 STC89C51RC、C8051F331/330 等等。可以这么说,新的 51 产品几乎可以涵盖所有新的功能。由于新型号的芯片种类太多,此处不可能一一列举,读者可根据使用的需求查阅相关的资料。

1.3.2 PIC 系列

PIC 系列单片机是美国微芯公司(Microship)的产品,是当前市场份额增长最快的单片机品种之一。它的 CPU 采用 RISC 结构,分别有 33、35、58 条指令(视单片机的级别而定),属精简指令集,而 51 系列有 111 条指令,AVR 单片机有 118 条指令,都比前者复杂。它采用 Harvard 双总线结构,运行速度快(指令周期约 160~200 ns),能使程序存储器的访问和数据存储器的访问并行处理。这种指令流水线结构,在一个周期内完成两部分工作,一是执行指令,二是从程序存储器取出下一条指令,这样,总的看来每条指令只需一个周期(个别除外),这也是高效率运行的原因之一。此外,它还具有低工作电压、低功耗、驱动能力强等特点。

PIC 系列单片机共分三个级别,即基本级、中级、高级。其中又以中级的 PIC16F873(A)、PIC16F877(A)用得最多,下面以这两种单片机为例进行说明。这两种芯片除了引出脚不同外(PIC16F873(A)为 28 脚的 PDIP 或 SOIC 封装;PIC16F877(A)为 40 脚的 PDIP 或 44 脚的 PLCC/QFP 封装),其他的差别并不大。

PIC 系列单片机的 I/O 口是双向的,其输出电路为 CMOS 互补推挽输出电路。I/O 脚增加了用于设置输入或输出状态的方向寄存器(TRISn,其中 n 对应各口,如 A、B、C、D、E 等),从而解决了 51 系列 I/O 脚为高电平时同为输入和输出状态的缺点。当置位 1 时为输入状态,且不管该脚呈高电平或低电平,对外均呈高阻状态;置位 0 时为输出状态,不管该脚为何种电平,均呈低阻状态,有相当的驱动能力,低电平时输入电流达 25 mA,高电平时输出电流可达 20 mA。相对于 51 系列而言,这是一个很大的优点,它可以直接驱动数码管显示且外电路简单。PIC 系列单片机的 A/D 为 10 位,能满足精度要求。同时,它还具有在线调试及编程(ISP)的功能。

PIC 系列单片机的专用寄存器(SFR)并不像 51 系列那样都集中在一个固定的地址区间(80H~FFH)内,而是分散在四个地址区间内,即存储体 0(Bank0: 00H~7FH)、存储体 1(Bank1: 80H~FFH)、存储体 2(Bank2: 100H~17FH)和存储体 3(Bank3: 180H~1FFH)。只有 5 个专用寄存器 PCL、STATUS、FSR、PCLATH、INTCON 在 4 个存储体内同时出现。在编程过程中,要经常与专用寄存器打交道,需反复地选择对应的存储体,也即对状态寄存器 STATUS 的第 6 位(RP1)和第 5 位(RP0)置位或清零。

【例 1-4】 PIC 系列单片机选择存储体的指令。

CLRFSTATUS ; 清零 RP1, RP0, 即选择存储体 0

:

BSF STATUS, RP0 ; 置位 RP0, 即选择存储体 1

:

BCF STATUS, RP0 ; 清零 RP0, 即选择存储体 0

:

选择存储体多少给编程带来了一些麻烦。对于 PIC 系列单片机, 它的位指令操作通常限制在存储体 0 区间(00H~7FH)。

PIC 系列单片机的数据传送和逻辑运算基本上都得通过工作寄存器 W(相当于 51 系列的累加器 A)来进行, 而 51 系列的单片机还可以通过寄存器在相互之间直接传送(如: MOV 30H, 20H; 指令将寄存器 20H 的内容直接传送至寄存器 30H 中), 因而 PIC 系列单片机的瓶颈现象比 51 系列还要严重, 这一点在编程中将有切身的感受。

1.3.3 AVR 系列

AVR 系列单片机是 Atmel 公司推出的较为新颖的单片机, 其显著的特点为高性能、高速度、低功耗。它取消了机器周期, 以时钟周期为指令周期, 实行流水作业。AVR 系列单片机指令以字为单位, 且大部分指令都为单周期指令, 而单周期既可执行本条指令, 同时还可完成下一条指令的读取。时钟频率通常为 4~8 MHz, 故最短指令执行时间为 125~250 ns。该系列的型号较多, 但可用下面三种作为代表: AT90S2313(简装型)、AT90S8515、AT90S8535(带 A/D 转换)。

此系列单片机的通用寄存器一共 32 个(R0~R31), 前 16 个寄存器(R0~R15)都不能直接与立即数打交道, 因而其通用性有所下降, 而在 51 系列中, 它所有的通用寄存器(地址 00H~7FH)均可以直接与立即数打交道, 显然要优于前者。

AVR 系列没有类似累加器 A 的结构, 它主要通过 R16~R31 寄存器来实现 A 的功能。在 AVR 中, 没有像 51 系列的数据指针 DPTR, 而是由 X(由 R26、R27 组成)、Y(由 R28、R29 组成)、Z(由 R30、R31 组成)三个 16 位的寄存器(相当于有三组 DPTR)来完成数据指针的功能的, 而且还能作后增量或先减量等的运算。

【例 1-5】AVR 系列单片机的指令举例。

LDRd, X ; 将 X 所指的地址的内容装入寄存器 Rd 中

LDRd, Y+ ; 将 Y 所指的地址的内容装入寄存器 Rd 中, 然后 Y 的地址加 1

LDRd, -X ; 将 X 的地址减 1 所指的地址的内容装入寄存器 Rd 中

在 51 系列中, 所有的逻辑运算都必须在 A 中进行, 而 AVR 系列却可以在任两个寄存器之间进行, 这些比 51 系列强。

AVR 的专用寄存器集中在 00H~3FH 地址区间, 无需像 PIC 那样要先进行选存储器的操作, 使用起来比 PIC 方便。AVR 的片内 RAM 的地址区间为 0060H~00DFH(AT90S2313)和 0060H~025FH(AT90S8515、AT90S8535), 它们占用的是数据空间的地址, 这些片内 RAM 仅仅是用来存储数据的, 通常不具备通用寄存器的功能。当程序复杂时, 通用寄存器 R0~R31 就显得不够用, 而 51 系列的通用寄存器多达 128 个(为 AVR 的 4 倍), 编程时不会有这种感觉。

AVR 的 I/O 脚类似 PIC, 它也有用来控制输入或输出的方向寄存器, 在输出状态下, 高电平的输出电流在 10 mA 左右, 低电平的输入电流为 20 mA, 虽不如 PIC 系列, 但比 51 系列强。

以上的三种 AVR 型号, 其管脚与对应的 51 系列兼容, 如 AT90S2313 与 51 系列的 AT89C2051 的管脚兼容(PDIP-20 脚), AT90S8515、AT90S8535 与 51 系列的 AT89C51 兼容(PDIP-40 脚), 等等。