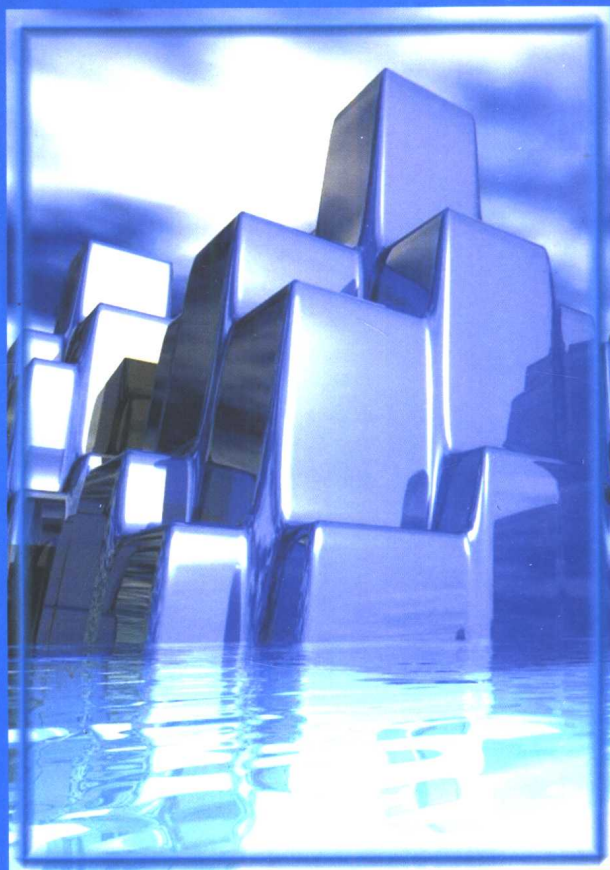


DPWXJSJYLJQCYYCXSJ

单片微型计算机原理 及其 C 语言程序设计

陈光东



华中科技大学出版社
<http://press.hust.edu.cn>

单片微型计算机原理 及其 C 语言程序设计

陈 光 东

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

单片微型计算机原理及其 C 语言程序设计/陈光东
武汉:华中科技大学出版社, 2004 年 4 月
ISBN 7-5609-3108-1

I. 单…

II. 陈…

III. 单片微型计算机-基本知识

IV. TP368.1

单片微型计算机原理及其 C 语言程序设计

陈光东

责任编辑:刘继宁 叶翠华

封面设计:潘 群

责任校对:刘 竣

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557436

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:湖北开元印刷有限公司

开本:787×1092 1/16

印张:14.5

字数:334 000

版次:2004 年 4 月第 1 版

印次:2004 年 4 月第 1 次印刷

定价:19.80 元

ISBN 7-5609-3108-1/TP·520

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

单片微型计算机是目前应用最为广泛的一种微型计算机。本书融作者多年的教学经验和科研实践,从应用的角度,简明扼要地介绍了 MCS-51 系列单片机的结构、操作、指令和程序设计,以及与各种常用外围电路、外设接口连接的硬、软件设计方法。

书中内容以当前应用最广,最为流行的机种 AT89 系列单片机为样机,并着重介绍了单片机的 C 语言及程序设计方法。全书具有系统、精练、实用,以及包括了当前最新技术知识的特点。

本书可作为各类高等学校的电子、电力、机电、控制、信息等电类专业的教材和教学参考书,也可供非电类专业及有关科技人员学习和参考。

前 言

本书由作者在华中科技大学和湖北广播电视大学讲授单片机原理课程的部分讲义内容为主改编而成。随着单片机技术的不断发展,书中内容也不断充实和完善。

本书的基本特点在于:以微机原理课程所学知识为基础,从应用的角度出发,简明扼要地介绍了 MCS-51 系列单片机的结构、工作原理、操作方法、指令和程序设计,讨论了单片机各种常用接口电路和编程方法。这种内容安排特别适宜大学本、专科学生在学完微机原理和 C 语言程序设计课后,作为单片机原理的教学用书。

为适应单片机技术迅速发展的需要,本书以当前 MCS-51 系列单片机应用最为广泛的 AT89C51 单片机为样机,并在程序设计中着重介绍了 MCS-51 系列单片机的 C 语言。希望这种安排能使读者更全面、更实用地掌握好单片机的各种最新应用技术。

硕士研究生段三丁、龚志勇、程远参加了本书中部分内容的编写和程序调试,并对全书提出了许多有益的建议,在此谨表谢意。

由于作者知识水平有限,书中程序较多、内容会有不当与疏漏之处,恳请批评指正。

作者 陈光东

2003 年 10 月

序 言

早期的 MCS-51 单片机主要包括 8051、8751 和 8031 三个品种,分别以片内程序存储器的有无与形式加以区别:8051 为 ROM 型程序存储器,8751 为 EPROM 型程序存储器,而 8031 为片内无程序存储器。在此基础上,Intel 公司还推出了增强型产品 8051、8751 和 8032,以及低功耗型产品 80C51、87C51、80C31 与 80C52、87C52、80C32 等。近年来,随着美国 ATMEI 公司的 AT89 系列单片机的推出,MCS-51 单片机已以此机型为主流,应用十分广泛。

AT89 系列单片机以 MCS-51 为内核,兼容了其硬、软件,其增加的主要功能包括:片内具有电写电擦的闪烁型程序存储器,可方便地反复编程和加密,并且这种 E²PROM 容量大,最高可达 64K 字节;单片机时钟频率的提高使运算更快;产品中还有 20 脚封装形式的机种,其体积更小,更具使用的灵活性;除此之外,AT89 系列单片机的价格也很低廉。鉴于 AT89 系列在当前 8 位单片机中有着主导机种以及与 MCS-51 兼容的特点,本书在介绍 MCS-51 系列单片机的原理、操作、结构时,以 AT89 系列中的 AT89C51 单片机为例。

在程序设计方面,除传统的汇编语言外,C 语言的使用越来越多。单片机的 C 语言目前以 Franklin C51 为主,这种 C 语言以 MCS-51 单片机的硬件为背景,并有着通用 C 语言的一般特点,能方便地实现对 MCS-51 系统单片机的高级语言编程和各种控制操作,应用非常广泛,很受编程者的欢迎。本书第 4 章将详细讨论这种语言的特点及编程方法,在其他各有关章节中也给出了许多编程应用的实例。

MCS-51 和 AT89 系列单片机的主要产品型号及特点如下表所示,有关资料可见附录。

MCS-51 系列单片机及主要产品的类型及特点一览表

单片机型号/存储器容量与类型	RAM /Byte	16 位定时 器个数	中断源 个数	最高晶振 频率/MHz	DIP 封装 引脚个数
8031/无 ROM,8051/4KBROM,8751/4KBEPROM	128	2	5	12	40
8032/无 ROM,8052/8KBROM,8752/8KBEPROM	256	3	6	12	40
80C31/无 ROM,80C51/4KBROM,87C51/4KBEPROM	128	2	5	12	40
AT89C51/4KBE ² PROM	128	2	5	24	40
AT89C52/8KBE ² PROM	256	3	8	24	40
AT89C55/20KBE ² PROM	256	3	8	24	40
AT89C1051/1KBE ² PROM	128	2	5	24	20
AT89C2051/2KBE ² PROM	128	2	5	24	20

目 录

序言

第 1 章 MCS-51 单片机的硬件结构与工作原理	(1)
1.1 存储器	(1)
1.1.1 内部数据存储器	(1)
1.1.2 特殊功能寄存器	(3)
1.1.3 程序存储器	(5)
1.1.4 外部数据存储器	(5)
1.1.5 存储器的数据操作	(5)
1.2 定时器/计数器	(7)
1.2.1 工作方式	(7)
1.2.2 控制寄存器	(9)
1.2.3 定时/计数初值的求取方法	(10)
1.3 中断系统	(12)
1.3.1 中断系统的结构	(12)
1.3.2 中断系统的控制寄存器	(12)
1.3.3 中断的响应过程	(14)
1.4 输入/输出端口	(16)
1.4.1 并行端口	(16)
1.4.2 串行端口	(19)
1.5 时钟电路、复位电路与节电运行方式	(25)
1.5.1 时钟电路	(25)
1.5.2 基本时序单位	(25)
1.5.3 复位电路	(26)
1.5.4 单片机复位后的状态	(27)
1.5.5 节电运行与掉电工作方式	(27)
1.6 引脚功能	(29)
1.7 单片机最小系统	(30)
习题与思考题	(31)
第 2 章 MCS-51 单片机的指令系统	(33)
2.1 寻址方式	(33)
2.1.1 立即寻址	(33)
2.1.2 直接寻址	(33)
2.1.3 寄存器寻址	(34)
2.1.4 寄存器间接寻址	(34)
2.1.5 变址寻址	(34)
2.1.6 相对寻址	(36)

2.1.7 位寻址	(36)
2.2 分类指令	(36)
2.2.1 数据传送与交换类指令	(37)
2.2.2 算术运算类指令	(39)
2.2.3 逻辑运算与循环类指令	(42)
2.2.4 子程序调用与转移类指令	(43)
2.2.5 位操作类指令	(48)
2.2.6 CPU 控制类指令	(49)
习题与思考题	(50)
第3章 MCS-51 单片机汇编语言程序设计基础	(54)
3.1 伪指令	(54)
3.2 顺序程序	(55)
3.3 分支程序	(56)
3.4 循环程序	(58)
3.5 数制转换程序	(62)
3.6 位操作程序	(63)
3.7 子程序	(65)
习题与思考题	(67)
第4章 MCS-51 单片机 C 语言程序设计基础	(70)
4.1 C51 的数据类型与存储类型	(70)
4.1.1 数据类型	(70)
4.1.2 存储类型	(73)
4.1.3 C51 的指针	(74)
4.2 C51 对单片机资源的定义	(75)
4.2.1 特殊功能寄存器的定义	(75)
4.2.2 片内 RAM 中位与寄存器组的定义	(77)
4.2.3 存储器绝对地址的定义	(77)
4.2.4 中断的定义	(78)
4.3 运算符、表达式与基本语句	(79)
4.3.1 运算符和表达式	(79)
4.3.2 程序的基本结构与基本语句	(84)
4.3.3 C51 的函数	(89)
4.4 内部资源操作类程序	(92)
4.4.1 定时器/计数器编程	(92)
4.4.2 中断编程	(94)
4.4.3 输入/输出端口编程	(96)
4.5 数据运算处理类程序	(99)
4.5.1 基本类型	(99)
4.5.2 数组与指针	(101)
4.5.3 数据变换	(102)

4.5.4 结构体与枚举法	(103)
4.6 C51 程序的设计与开发	(105)
4.6.1 C51 程序基本概念	(105)
4.6.2 C51 程序开发过程	(107)
习题与思考题	(108)
第5章 MCS-51 单片机基于 C 语言的接口编程技术	(109)
5.1 接口编程技术中的一般方法	(109)
5.1.1 接口指令	(109)
5.1.2 接口信号与时序	(110)
5.1.3 输入/输出的数据交换方式	(111)
5.1.4 地址的译码	(112)
5.2 D/A 转换电路的接口与编程	(114)
5.2.1 D/A 转换原理	(114)
5.2.2 DAC0832 与单片机的接口	(116)
5.2.3 AD7520 与单片机的接口	(121)
5.3 A/D 转换电路的接口与编程	(123)
5.3.1 A/D 转换原理	(123)
5.3.2 ADC0809 与单片机的接口	(125)
5.3.3 TLC549 与单片机的接口	(127)
5.3.4 AD574 与单片机的接口	(129)
5.3.5 MC14433 与单片机的接口	(133)
5.4 键盘接口与编程	(136)
5.4.1 键盘结构与工作原理	(136)
5.4.2 键盘扫描的控制方式	(139)
5.4.3 键操作及功能处理	(142)
5.4.4 拨盘应用技术	(143)
5.5 显示器接口与编程	(145)
5.5.1 LED 显示器的接口	(145)
5.5.2 字符型 LCD 的接口	(150)
5.5.3 点阵型 LCD 的接口	(158)
5.6 打印机接口与编程	(166)
5.6.1 TP μ P-40A 的操作特点	(166)
5.6.2 接口电路与程序安排	(169)
5.7 IBM-PC 串行通信接口技术	(170)
5.7.1 串行通信的接口电路	(171)
5.7.2 IBM-PC 的串行通信语句	(172)
5.7.3 单片机与 IBM-PC 的通信程序	(177)
5.7.4 多机通信	(181)
5.8 实时时钟接口与编程	(184)
5.8.1 DS1302 主要特点与操作方法	(184)
5.8.2 多字节操作与低功耗方式	(188)
习题与思考题	(190)
附录一 MCS-51 系列单片机指令表	(192)
附录二 AT89 系列单片机简介	(200)
附录三 C51 库函数	(204)
附录四 C51 的编译器与连接器	(211)
参考文献	(221)

第 1 章 MCS-51 单片机的硬件结构与工作原理

众所周知,微型计算机主要由运算器、控制器、存储器和输入输出电路四个基本部件组成,其中运算器与控制器集成于 CPU 中。单片机是一种微型化了的微机,其基本结构也包含了这几个部分,MCS-51 系列单片机中,当前最为流行的机种 89C51 单片机的原理结构如图 1.1 所示。由图可见,89C51 片内除有 CPU、各类存储器和输入/输出端口外,还包含有定时器/计数器,中断和时钟振荡电路等,由此构成一个完整的单片微型计算机。

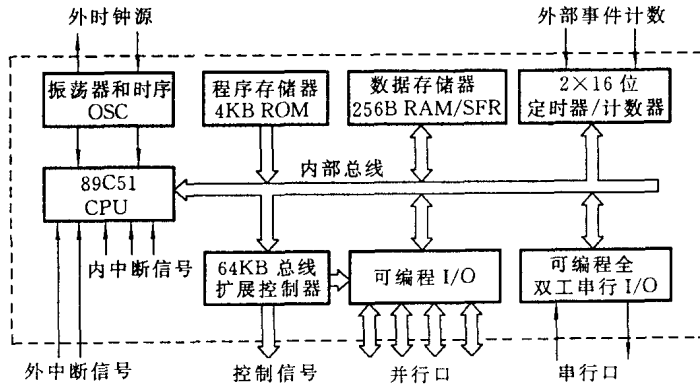


图 1.1 89C51 单片机原理结构图

下面各节将分别介绍 89C51 单片机各组成部件的结构,工作原理和操作方法。

1.1 存储器

89C51 单片机有 4 个存储器空间,分别用来安排 4 种不同功用的存储器:①内部数据存储器;②特殊功能寄存器;③程序存储器;④外部数据存储器。

内部数据存储器和特殊功能寄存器集成于片内,程序存储器已有一部分集成于片内,如果容量不够,可在片外扩展。外部数据存储器则只能安排在片外,用接口电路与单片机连接。

4 种存储空间中,内部数据存储器和特殊功能寄存器统一编址,程序存储器和外部数据存储器均独立分开编址。由此可见,89C51 的存储器有三套独立编址的存储空间。对它们的操作,无论在指令形式上,还是寻址方式上都会有所不同。

1.1.1 内部数据存储器

内部数据存储器又称为内部数据 RAM,共 128 字节,地址范围为 00H~7FH,见图 1.2。前 32 个单元(地址 00H~1FH)称为寄存器区。其中,每 8 个寄存器形成一个寄存器组。具体说有:

寄存器 0 组 地址 00H~07H

寄存器 1 组 地址 08H~0FH

寄存器 2 组 地址 10H~17H

寄存器 3 组 地址 18H~1FH

通过对特殊功能寄存器 PSW 中 RS1、RS0 两位的编程设置(见 1.1.2),可选择任一寄存器组

字节地址

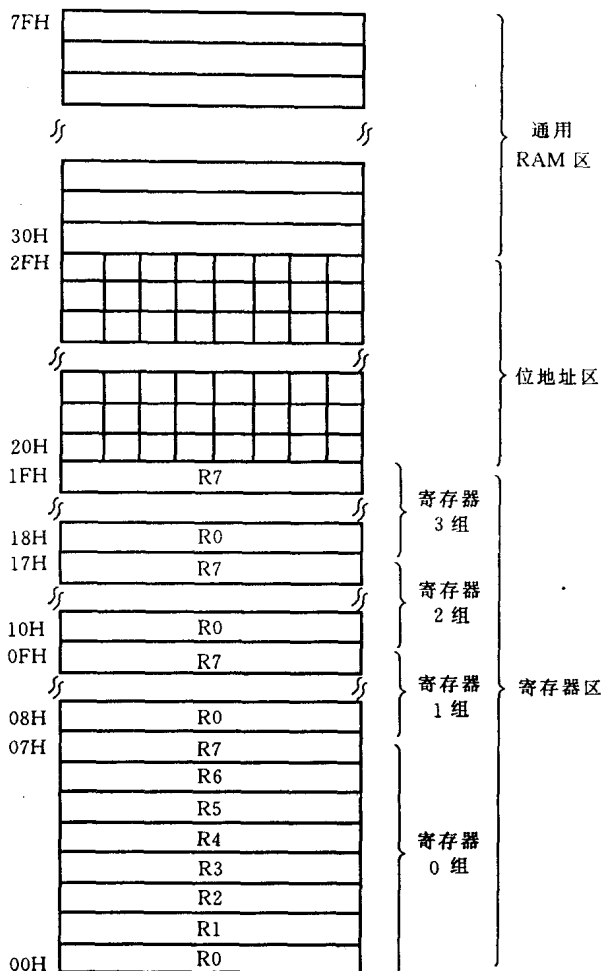


图 1.2 内部数据存储器结构

字节地址 (MSB) (LSB)

7FH								
	⋮							
2FH	7F	7E	7D	7C	7B	7A	79	78
2EH	77	76	75	74	73	72	71	70
2DH	6F	6E	6D	6C	6B	6A	69	68
2CH	67	66	65	64	63	62	61	60
2BH	5F	5E	5D	5C	5B	5A	59	58
2AH	57	56	55	54	53	52	51	50
29H	4F	4E	4D	4C	4B	4A	49	48
28H	47	46	45	44	43	42	41	40
27H	3F	3E	3D	3C	3B	3A	39	38
26H	37	36	35	34	33	32	31	30
25H	2F	2E	2D	2C	2B	2A	29	28
24H	27	26	25	24	23	22	21	20
23H	1F	1E	1D	1C	1B	1A	19	18
22H	17	16	15	14	13	12	11	10
21H	0F	0E	0D	0C	0B	0A	09	08
20H	07	06	05	04	03	02	01	00
1FH	寄存器 3 组							
18H	寄存器 2 组							
17H								
10H	寄存器 1 组							
0FH								
08H	寄存器 0 组							
07H								
00H								

图 1.3 内部数据存储器中的位地址

为工作寄存器组，方法如下：

RS1	RS0	所选中的寄存器组
0	0	选中寄存器 0 组
0	1	选中寄存器 1 组
1	0	选中寄存器 2 组
1	1	选中寄存器 3 组

当某一组被设定成工作寄存器组后，该组中的 8 个寄存器，从低地址到高地址就分别称为 R0～R7，从而可以把它们用作通用寄存器，并可按寄存器寻址方式被访问。

另外三组寄存器则同其他数据 RAM 一样，只能按字节地址进行读写。

字节地址 20H 到 2FH 称为位地址区，共有 16 个字节，计 128 位，每位都有相应的位地址，位地址范围为 00H～7FH，见图 1.3。通过位寻址，可以对各位进行位操作。由此可见，89C51 单片机有着相当出色的位处理能力。

在内部数据 RAM 中，既有字节地址，又有位地址，两者的地址范围都是 00H～7FH，这在数据操作时应加以注意，当然，指令形式会明确表明是对字节操作还是对位操作。内部数据 RAM 通常

用来存放运算过程的中间值,并用作堆栈区。

1.1.2 特殊功能寄存器

89C51 单片机共有 21 个字节的特殊功能寄存器(SFR),起着专用寄存器的作用,用来设置片内电路的运行方式,记录电路的运行状态,并表明有关程序运行的标志等。此外,特殊功能寄存器中,还有把并行和串行 I/O 端口映射过来的 I/O 端口寄存器,对这些寄存器的读写,可实现相应 I/O端口的输入、输出操作。

21 个特殊功能寄存器不连续地分布在 128 个字节的 SFR 存储空间中,地址范围为 80H~FFH,见图 1.4。图中带 * 的表明是有位地址的寄存器。在这片 SFR 中,包含有 128 个位地址空间,分布在特殊功能寄存器中,地址范围也是 80H~FFH,但只有 83 个有效位地址,可对 11 个特殊功能寄存器的某些位作位寻址操作,见图 1.5。

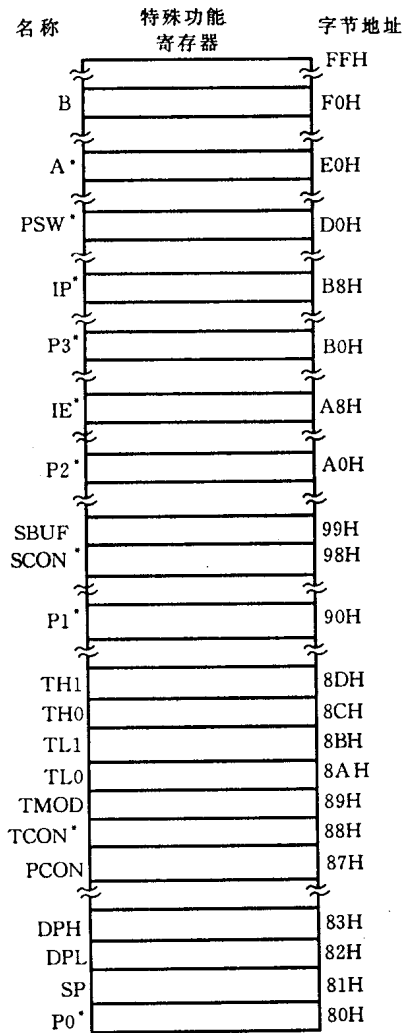


图 1.4 特殊功能寄存器及其字节地址

寄存器 符号	字节 地址	位 地 址							
		(MSB)				(LSB)			
		B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
B	F0H	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0
		A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
A	E0H	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0
		CY	AC	F0	RS1	RS0	OV		P
PSW	D0H	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
		PS PT1 PX1 PT0 PX0							
IP	B8H	—	—	—	BC	BB	BA	B9	B8
		P3.7	P3.6	P3.5	P3.4	P3.3	P3.2	P3.1	P3.0
P3	B0H	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
		EA ES ET1 EX1 ET0 EX0							
1E	A8H	AF			AC	AB	AA	A9	A8
		P2.7	P2.6	P2.5	P2.4	P2.3	P2.2	P2.1	P2.0
P2	A0H	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
		SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
SCON	98H	9F	9E	9D	9C	9B	9A	99	98
		P1.7	P1.6	P1.5	P1.4	P1.3	P1.2	P1.1	P1.0
P1	90H	97	96	95	94	93	92	91	90
		TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0
TCON	88H	8F	8E	8D	8C	8B	8A	89	88
		P0.7	P0.6	P0.5	P0.4	P0.3	P0.2	P0.1	P0.0
P0	80H	87	86	85	84	83	82	81	80

图 1.5 特殊功能寄存器中的位地址

由此可见,在特殊功能寄存器中,也有两套地址:字节地址和位地址。两者在地址空间上都是 80H~FFH,但字节地址只有 21 个字节是有效的,位地址只有 83 位是有效的,可以说,它们是内部

数据存储器中字节地址与位地址的不连续延伸。其他无效地址单元是不能被访问的,在使用时应加以注意。

21 个特殊功能寄存器的名称及主要功用介绍如下,详细的用法在以下各节内容中予以介绍。

- A 累加器。自身带有全零标志 Z,若 $A=0$,则 $Z=1$;若 $A\neq 0$,则 $Z=0$ 。该标志常用作程序分支转移的判断条件。
- B 寄存器。常用于乘除法运算(见第 2 章)。
- PSW 程序状态字。主要起着标志寄存器的作用,其 8 位定义如下。

CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	X	P
----	----	----	-----	-----	----	---	---

- CY 进、借位。运算结果有进、借位, $CY=1$;无进、借位, $CY=0$ 。
- AC 辅助进、借位(高半字节与低半字节间的进、借位)。运算结果有进、借位, $AC=1$;无进、借位, $AC=0$ 。
- F0 用户标志位。可由用户设定其含义。
- RS1,RS0 工作寄存器组选择位,见 1.1.1。
- OV 溢出位。运算结果按补码运算理解的状态下,有溢出, $OV=1$;无溢出, $OV=0$ 。
- X 无效位。
- P 奇偶位。运算结果有奇数个 1, $P=1$;运算结果有偶数个 1, $P=0$ 。
- SP 影响标志位的指令及其影响方式见附表 2。
- SP 堆栈指针。89C51 单片机的堆栈设在片内 RAM 中,因而堆栈空间最大为 128 字节。对堆栈的操作包括压入(PUSH)和弹出(POP)两种方式,并且遵循后进先出原则。89C51 单片机的堆栈操作步骤为先加后压,先弹后减的原则,堆栈区域是向地址增大的方向生成的。详细过程见 2.2.1。
- DPRT 数据指针。分成 DPL(低 8 位)和 DPH(高 8 位)两个寄存器。用来存放 16 位地址值,以便用间接寻址或变址寻址的方式对片外数据 RAM 或程序存储器作 64K 字节范围内的数据操作。
- P0~P3 I/O 端口寄存器。是 4 个并行 I/O 端口映射入 SFR 中的寄存器。通过对该寄存器的读/写,可实现从相应 I/O 端口的输入/输出。例如:指令 MOV P1,A 实现了把 A 累加器中的内容从 P1 端口输出的操作。指令 MOV A,P3 实现了把 P3 端口线上的信息输入到 A 中的操作。
- IP 中断优先级控制寄存器。 } 详见 1.3 节。
- IE 中断允许控制寄存器。 }
- TMOD 定时器/计数器方式控制寄存器。 }
- TCON 定时器/计数器控制寄存器。 }
- TH0,TL0 定时器/计数器 0。 }
- TH1,TL1 定时器/计数器 1。 }
- SCON 串行端口控制寄存器。 }
- SBUF 串行数据缓冲器。 }
- PCON 电源控制寄存器。 }

1.1.3 程序存储器

MCS-51 单片机具有 64K 字节的程序存储器空间,最大可以安排 64K 字节的程序存储器。

89C51 单片机片内只有 4K 字节程序存储器,用来存放用户程序,其地址范围为 0000H~0FFFH,占据整个程序存储器 64KB 地址空间的最低 4KB 地址。如果片内这 4K 字节程序存储器不能满足程序容量的要求,可以通过总线与控制信号在片外扩展程序存储器。

89C51 片内的这 4K 字节程序存储器为闪烁型 E²PROM,电擦电写,写入程序能长期保存,不挥发不丢失,并可反复编程。

程序存储器中的某些地址被固定地用于特定程序的入口地址:

地址	用途
0000H	复位操作后的程序入口
0003H	外部中断 0 服务程序入口
000BH	定时器 0 中断服务程序入口
0013H	外部中断 1 服务程序入口
001BH	定时器 1 中断服务程序入口
0023H	串行 I/O 中断服务程序入口

在编程时,通常在这些入口地址开始的二三个地址单元中,放入一条转移类指令,以使相应的程序在指定的程序存储器区域生成。例如,从 000BH 地址单元开始,放入一条转移到 3000H 地址单元的转移类指令,定时器 0 的中断服务程序就可从 0300H 地址单元开始安排。又如,定时器 1 的中断服务程序非常短,从 001BH 地址单元连续存放不会占用到 0023H 地址单元,或者串行 I/O 中断根本就不被使用,那么,001BH 就可以直接作为定时器 1 中断服务程序的首地址,而不必安排转移类指令。

程序存储器用来存放固化了的用户程序,取指地址由程序计数器 PC 给出,PC 具有自动加 1 的功能,从而在无转移无调用类指令的条件下,指令被逐一执行。转移调用类指令可改变 PC 值,使程序得以转移。程序存储器中也可固化一片数据区,存放被查阅的表格和参数等。

1.1.4 外部数据存储器

外部数据存储器又称为外部数据 RAM,当 89C51 片内 128 个字节的数据 RAM 不能满足数量上的要求时,可通过总线端口和其他 I/O 端口扩展外部数据 RAM,其最大容量可达 64K 字节。外部数据 RAM 与内部数据 RAM 的功用基本相同,但前者不能进行堆栈操作。

当 89C51 单片机同时外接有程序存储器和数据存储器时,操作两者的区别在于:程序存储器只有读操作而无写操作,且读操作信号由引脚 $\overline{\text{PSEN}}$ 提供;数据存储器则有读写操作,且由引脚信号 $\overline{\text{RD}}$ 和 $\overline{\text{WR}}$ 选通读写操作。对片内 RAM 和片外 RAM 操作的区别在于:片内 RAM 操作时无读写信号产生,片外 RAM 操作时则有读写信号 ($\overline{\text{RD}}$, $\overline{\text{WR}}$) 产生。上面是不同的存储器操作在硬件信号方面的区别,这些反映在符号指令上则是有着完全不同的符号形式和寻址方式(详见 2.2 节)。

1.1.5 存储器的数据操作

1. 程序存储器的数据操作

只有读操作。除由 PC 直接寻址,以执行各条指令外,还可用 PC 或 DPTR 作变址寻址。例如,若 DPTR=2000H, A=20H,则指令 MOVC A, @A+DPTR 完成了把程序存储器 2020H 单元中

的内容送入 A 中的操作。这种数据操作方式通常用来查阅程序存储器中的数据表格。

2. 外部数据 RAM 的数据操作

可进行读写操作。用 DPTR 或工作寄存器组中的 R0 或 R1 作寄存器间接寻址。当用 R0 或 R1 作寄存器间接寻址时,由 P2 端口提供高 8 位地址,R0 或 R1 提供低 8 位地址。

- 例 1 MOVX A, @DPTR ;外部数据 RAM 中,以 DPTR 为地址中的内容→A
 例 2 MOV P2, # 20H ;数 20H→P2
 MOV R0, # 30H ;数 30H→R0
 MOVX @R0, A ;A→外部数据 RAM 中 2030H 单元

3. 内部数据 RAM 的数据操作

可进行读写操作。按直接字节地址作直接寻址或用工作寄存器组中的 R0 或 R1 作寄存器间接寻址。

- 例 1 MOV 35H, # 64H ;数 64H 送入片内 RAM # 35H 单元
 例 2 MOV R0, # 40H ;数 40H→R0
 MOV A, @R0 ;内部数据 RAM 中 40H 地址中的内容→A

4. 特殊功能寄存器 SFR 的数据操作

可进行读写操作。只能用直接寻址方式对给出地址的 SFR 作数据操作。

- 例 1 MOV P1, # 55H ;数 55H 经 P1 端口输出
 例 2 MOV A, P3 ;把 P3 端口上的数据输入到 A
 例 3 MOV PSW, # 10H ;数 10H→PSW,从而使 RS1=1,RS0=0,实现了选中第 2 组寄存器为工作寄存器的操作(此操作还清掉了 PSW 中其他各标志位)

5. 位地址空间的数据操作

可进行读写操作。采用直接位寻址方式对位地址中的数据作拉操作。

- 例 1 SETB 20H ;“1”→片内 RAM 20H 位地址单元
 例 2 SETB EA ;“1”→SFR 中的 EA 位(由图 1.5 可见,EA 的位地址为 AFH)

89C51 单片机 4 种存储空间的主要特点及数据操作方式可归纳如表 1.1 所示。关于数据操作方法,第 2 章中还会详细讨论。需要指出的是,单片机中的存储器结构与数据操作方法,是应用单片机的基础,必须了解得十分清楚。

表 1.1 89C51 的存储器特点及数据操作

存储器类型	容 量	地 址		寻址方式	操 作 例
		字节地址	位地址		
程序存储器	片内 4KB, 64KB 空间	0000H~0FFFFH 0000H~FFFFH	无	PC 间址 DPTR 间址	MOVC A,@A+ DPTR
外部数据存储器	64KB 空间	0000H~FFFFH	无	P2Ri 间址 DPTR 间址	MOVX A,@R0 MOVX @DPTR,A
内部数据存储器	128 字节	00H~7FH	00H~7FH	直接寻址 Ri 间址 位寻址	MOV 50H,# 32H MOV @R1,A SETB 44H
特殊功能寄存器	21 字节	80H~FFH (不连续)	80H~FFH (不连续)	直接寻址 位寻址	MOV A,90H CLR B0H

1.2 定时器/计数器

定时器/计数器简称定时器,其作用主要包括产生各种时间间隔、记录外部脉冲与事件的数量等,是微机中最常用、最基本的部件之一。89C51 单片机有 2 个 16 位的定时器/计数器:定时器 0 (T0)和定时器 1(T1)。

T0 由 2 个定时寄存器 TH0 和 TL0 构成,T1 则由 TH1 和 TL1 构成,它们都分别映射在特殊功能寄存器中,从而可以通过对特殊功能寄存器中这些寄存器的读写来实现对这两个定时器的操作。作定时器时,每一个机器周期定时寄存器自动加 1,所以定时器也可看成是计量机器周期的计数器。由于每个机器周期为 12 个时钟振荡周期,所以定时的分辨率是时钟振荡频率的 $1/12$ 。作计数器时,只要在单片机外部引脚 T0(或 T1)有从 1 到 0 电平的负跳变,计数器就自动加 1。计数的最高频率一般为振荡频率的 $1/24$,例如,选用 12MHz 晶振,则最高计数频率为 0.5MHz。

1.2.1 工作方式

T0 或 T1 无论用作定时器或计数器都有 4 种工作方式:方式 0、方式 1、方式 2 和方式 3。除方式 3 外,T0 和 T1 有完全相同的工作状态。下面以 T1 为例,分述各种工作方式的特点和用法。

1. 工作方式 0。

13 位方式。由 TL1 的低 5 位和 TH1 的 8 位构成 13 位计数器(TL1 的高 3 位无效)。工作方式 0 的结构见图 1.6。

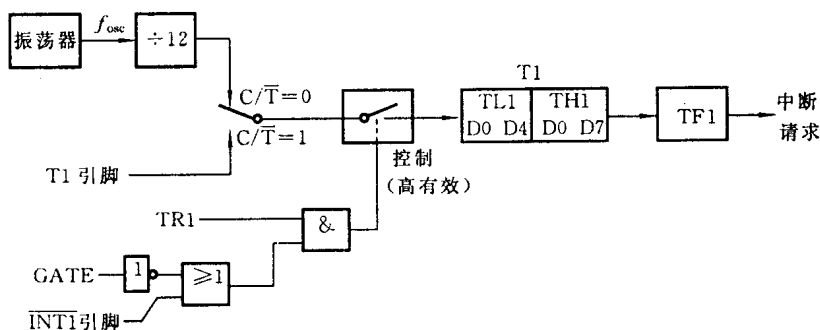


图 1.6 T1(或 T0)工作方式 0:13 位方式

图中,C/ $\overline{T}$ 为定时/计数选择: $C/\overline{T}=0$,T1 为定时器,定时信号为振荡周期 12 分频后的方波脉冲; $C/\overline{T}=1$,T1 为计数器,计数信号来自引脚 T1 的外部信号。

定时器 T1 能否启动工作,还受到 TR1、GATE 和引脚信号 $\overline{INT1}$ 的控制。由图中的逻辑电路可知,当 GATE=0 时,只要 TR1=1 就可打开控制门,使定时器工作;当 GATE=1 时,只有 TR1=1 且 $\overline{INT1}=1$ 时,才可打开控制门。GATE、TR1、C/ $\overline{T}$ 的状态选择由定时器的控制寄存器 TMOD, TCON 中相应位状态确定, $\overline{INT1}$ 则是外部引脚上的信号。

在一般的应用中,通常使 GATE=0,从而由 TR1 的状态控制 T1 的开闭:TR1=1 时,打开 T1;TR1=0 时,关闭 T1。在特殊的应用场合,例如,利用定时器测量接于 $\overline{INT1}$ 引脚上的外部脉冲高电平的宽度时,可使 GATE=1,TR1=1。当外部脉冲出现上升沿,亦即 $\overline{INT1}$ 由 0 变 1 电平时,启动 T1 定时,测量开始;一旦外部脉冲出现下降沿,亦即 $\overline{INT1}$ 由 1 变 0 时,就关闭了 T1。

定时器启动后,定时或计数脉冲加到 TL1 的低 5 位,从预先设置的初值(时间常数)开始不断增 1。TL1 计满后,向 TH1 进位。当 TL1 和 TH1 都计满之后,置位 T1 的定时器回零标志 TF1,以此表明定时的时间或计数次数已到,以供查询或在打开中断的条件下,可向 CPU 请求中断。如需进一步定时/计数,需用指令重置时间常数。

2. 工作方式 1

16 位方式。与工作方式 0 基本相同,区别仅在于工作方式 1 的计数器由 TL1 和 TH1 组成 16 位计数器,从而比工作方式 0 有更宽的定时/计数范围。工作方式 1 的结构见图 1.7。

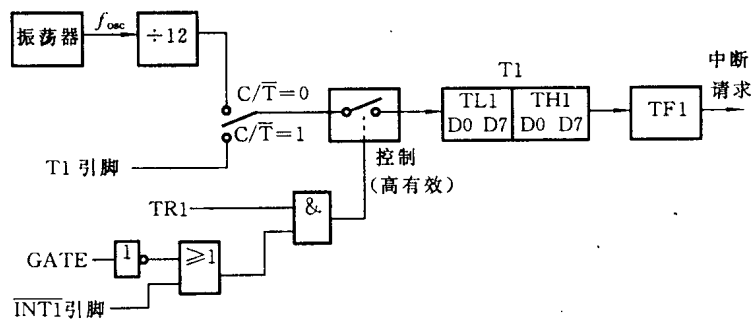


图 1.7 T1(或 T0)工作方式 1:16 位方式

3. 工作方式 2

8 位自动装入时间常数方式。由 TL1 构成 8 位计数器,TH1 仅用来存放时间常数。启动 T1 前,TL1 和 TH1 装入相同的时间常数,当 TL1 计满后,除定时器回零标志 TF1 置位,具有被查询和向 CPU 请求中断的条件外,TH1 中的时间常数还会自动地装入 TL1,并重新开始定时或计数。所以,工作方式 2 是一种自动装入时间常数的 8 位计数器方式。由于这种方式不需要指令重装时间常数,因而操作方便,在允许的条件下,应尽量使用这种工作方式。当然,这种方式的定时/计数范围要小于方式 0 和方式 1。工作方式 2 的结构见图 1.8。

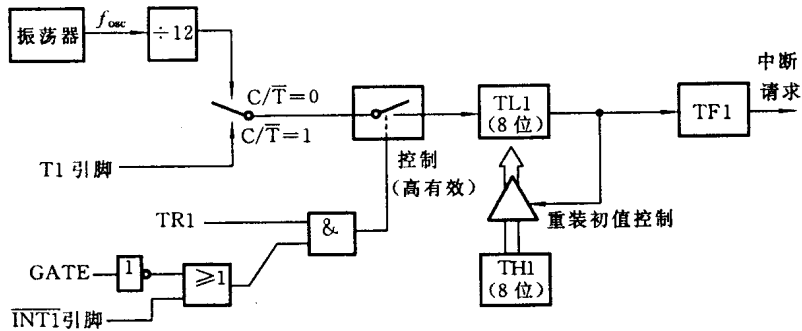


图 1.8 T1(或 T0)工作方式 2:8 位自动装入时间常数方式

4. 工作方式 3

2 个 8 位方式。工作方式 3 只适用于定时器 0。如果使定时器 1 为工作方式 3,则定时器 1 将处于关闭状态。

当 T0 为工作方式 3 时,TH0 和 TL0 分成 2 个独立的 8 位计数器。其中,TL0 既可用作定时器,又可用作计数器,并使用原 T0 的所有控制位及其定时器回零标志和中断源。TH0 只能用作定时器,并使用 T1 的控制位 TR1、回零标志 TF1 和中断源,见图 1.9。