



工业和信息化部普通高等教育“十三五”规划教材立项项目

21世纪高等教育计算机规划教材

COMPUTER

单片机原理及应用 教程（C语言）

Principle and Application of
Microcontroller Tutorial

丁有军 段中兴 何波 花新峰 周方晓 丁莉 编著

— 既强调基础，又体现新知识、新技术

— 通过不同工程案例深入浅出讲解基本原理



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

等教育“十三五”规划教材立项项目

计算机规划教材

COMPUTER

单片机原理及应用 教程（C语言）

Principle and Application of
Microcontroller Tutorial

丁有军 段中兴 何波 花新峰 周方晓 丁莉 编著



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

单片机原理及应用教程 : C语言 / 丁有军等编著

— 北京 : 人民邮电出版社, 2018. 9

21世纪高等教育计算机规划教材

ISBN 978-7-115-48365-2

I. ①单… II. ①丁… III. ①单片微型计算机—C语言—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TP368.1
②TP312.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第086196号

内 容 提 要

本书以“概念—技术—应用”为主线,系统介绍8051系列单片机的结构特点和工作原理,Keil C语言编程思想与方法,以及常用的接口芯片及其相关的接口扩展技术。本书根据读者的学习认知过程,在理论介绍中,注重知识的内在逻辑关系,采用归纳、类比、总结的方法阐述单片机基本原理和方法,同时结合工程应用的案例对关键性技术问题给予重点详细说明,此外每章还配有习题供读者思考练习,强化基础理论的应用训练,加深读者对专业理论知识的理解,培养读者的实践精神和创新思维。

本书既可作为高等学校电子类、计算机类、信息类及其他理工科本科专业的单片机技术课程的教材,也可供从事单片机开发与应用的工程技术人员参考。

◆ 编 著 丁有军 段中兴 何 波 花新峰

周方晓 丁 莉

责任编辑 李 召

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

固安县铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 16.5

2018年9月第1版

字数: 402千字

2018年9月河北第1次印刷

定价: 55.00元

读者服务热线: (010) 81055256 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

随着电子技术的高速发展，单片机广泛应用于仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天、专用设备的智能化管理及过程控制等领域。“单片机原理及应用”也是高校电子及信息类专业的重要专业基础课程。然而，传统的单片机教学多采用汇编语言，虽然汇编语言便于理解单片机原理和展示，但其编写修改困难，可读性不如高级语言程序，而C语言属于高级语言，且更容易被人们理解，更符合人们的思维习惯，编写代码效率高，移植维护方便，已成为工程界单片机应用系统开发设计的一种首选语言。同时，为顺应工程认证教育的发展，强化工程实践能力，本书希望通过新的角度，用C语言作为编程工具对单片机原理及应用进行深入浅出、通俗易懂的讲解，以期培养学生理论联系实际，使用工程界通用技术来完成单片机项目的能力。

本书是根据编者长期以来从事单片机软、硬件设计与开发、教学实践和多次指导学生参加电子竞赛等实践活动积累的经验编写而成。教材的内容主要包括上下两篇。上篇：单片机的原理，主要包括单片机的发展、分类、开发过程，8051系列单片机的结构和原理，单片机C51语言基础与开发平台，定时/计数器，中断系统，串行通信等内容；下篇：单片机系统扩展及应用，主要包括单片机系统功能的扩展，键盘接口技术，显示器接口技术，A/D转换器与D/A转换器应用，系统总线接口，单片机系统开发过程等内容。通过本书的学习使读者对单片机系统软、硬件设计和开发有全面的理解和掌握。

本书既强调基础，又力求体现新知识、新技术，本书注重理论和实践的结合，以案例分析为重要载体，通过不同的工程案例深入浅出的讲解，培养学生的分析与思考能力，锻炼和提高学生实践动手能力。

本书由丁有军编写第3、11章，段中兴编写第4、12章，何波编写第7、9章，花新峰编写第1、5、8章，周方晓（攀枝花学院）编写第2、10章，丁莉编写第6章。最后由丁有军统稿。高恩深老师对本书进行了校对，并提出了许多宝贵的建议。本书的编写得到西安建筑科技大学教材建设项目的资助，在此一并表示最诚挚的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，恳切希望广大读者批评指正。

编者

2018年1月

上 篇

第 1 章 概述	2	2.4.2 有关时序的概念	26
1.1 计算机的发展	2	2.4.3 CPU 时序	27
1.2 单片机的基本概念	3	2.5 单片机的复位	27
1.3 单片机的发展概况	4	2.5.1 复位电路	27
1.4 单片机的特点与应用	5	2.5.2 复位后的状态	28
1.5 常用单片机类型及常用单片机 系列介绍	6	2.6 低功耗设计	28
1.6 单片机应用系统开发过程简介	9	2.6.1 时钟停止模式	28
1.6.1 单片机项目开发流程	9	2.6.2 空闲模式	28
1.6.2 MCS-51 系列单片机仿真软件 Proteus 的基本使用方法	11	2.6.3 掉电模式	29
习题及思考题	15	2.7 最小系统设计	29
第 2 章 MCS-51 系列单片机的结构和 原理	16	习题及思考题	29
2.1 MCS-51 系列单片机的主要性能 特点	16	第 3 章 单片机 C51 语言基础与开发 平台	30
2.2 MCS-51 系列单片机的内部 结构	17	3.1 单片机 C51 语言基础	30
2.2.1 CPU 结构	17	3.1.1 数据类型	30
2.2.2 存储器结构及编址	18	3.1.2 特殊功能寄存器	31
2.2.3 并行 I/O 接口	21	3.1.3 存储类型	32
2.3 51 系列单片机的引脚功能	23	3.1.4 指针	34
2.4 时钟电路与时序	25	3.1.5 绝对地址访问	36
2.4.1 时钟电路	25	3.1.6 运算符	36
		3.1.7 Keil C 代码优化技巧	38
		3.1.8 Keil C 程序举例	39
		3.2 Keil μ Vision5 集成开发环境	40
		3.2.1 Keil μ Vision5 中建立项目的 方法	40

8.1.1 键盘工作原理	137	第 10 章 A/D 转换器与 D/A 转换器	
8.1.2 独立式键盘接口	138	应用	184
8.1.3 矩阵式键盘接口	139	10.1 A/D 转换器接口	184
8.2 键盘显示接口芯片 HD7279A	144	10.1.1 A/D 转换器概述	184
8.2.1 HD7279A 的特点及引脚	144	10.1.2 8 位并行 A/D 转换器	
8.2.2 控制指令	145	ADC0809	185
8.2.3 HD7279A 与单片机的接口及		10.1.3 12 位 A/D 转换器 MAX197	189
程序设计	147	10.1.4 串行模数转换芯片	
习题及思考题	149	TLC0832	192
第 9 章 显示器接口技术	150	10.2 D/A 转换器接口	196
9.1 LED 显示器原理及应用	150	10.2.1 D/A 转换器概述	196
9.1.1 LED 显示器的结构与显示		10.2.2 8 位 D/A 转换器 DAC0832	197
原理	150	10.2.3 12 位 D/A 转换器 MAX508	200
9.1.2 LED 显示器常见接口及		习题及思考题	203
驱动	152	第 11 章 系统总线扩展	204
9.1.3 LED 显示器接口应用		11.1 I ² C 总线	204
示例	159	11.2 SPI 总线接口	218
9.2 LCD 显示器原理及应用	161	11.3 单总线 (1-Wire) 接口	224
9.2.1 液晶显示模块原理	161	习题及思考题	234
9.2.2 字符型液晶显示器		第 12 章 单片机综合应用实例	235
LCD1602A	167	12.1 单片机应用系统设计过程	235
9.2.3 FYD12864 显示模块	172	12.2 单片机应用系统设计举例	236
9.2.4 汉字字模提取	181	习题及思考题	257
习题与思考题	183		

上 篇

1.1 计算机的发展

计算机 (computer) 俗称电脑, 是一种用于高速计算的电子计算机器, 可以进行数值计算, 又可以进行逻辑计算, 还具有存储记忆功能。计算机是能够按照程序运行, 自动、高速处理海量数据的现代化智能电子设备。计算机由硬件系统和软件系统组成。计算机是新技术革命的一支主力, 也是推动社会向现代化迈进的活跃因素。计算机科学与技术是第二次世界大战以来发展最快、影响最为深远的新兴学科之一。计算机产业已在世界范围内发展成为一种极富生命力的战略产业。

1946年2月14日, 由美国军方定制的世界第一台电子计算机“电子数字积分计算机”埃尼阿克 (Electronic Numerical And Calculator, ENIAC) 在美国宾夕法尼亚大学问世了。ENIAC 是美国奥伯丁武器试验场为了满足计算弹道需要而研制成的。该机使用了 1 500 个继电器, 18 800 个电子管, 占地 170m², 重量达 30 多吨, 耗电 150kW, 造价约 48 万美元。这台计算机每秒能完成 5 000 次加法运算, 400 次乘法运算, 比当时最快的计算工具快 300 倍, 是继电器计算机的 1 000 倍、手工计算的 20 万倍。用今天的标准看, 它是那样的“笨拙”和“低级”, 其功能远不如一只掌上可编程计算器, 但它使科学家们从复杂的计算中解脱出来, 它的诞生标志着人类进入了一个崭新的信息革命时代。此后, 随着计算机器件从电子管到晶体管, 再从分立元件到集成电路以至微处理器, 计算机的发展不断飞跃。至今已经经历了电子管计算机、晶体管计算机、大规模集成电路计算机和超大规模集成电路计算机 4 代的发展。

由于社会的需求和发展, 计算机也在不断地革新和发展着。人们按计算机的规模、性能、用途和价格等方面来分类, 曾经将其分为巨、大、中、小、微型计算机。近年来, 计算机的发展趋势是: 一方面向着高速、大容量、智能化的超级巨型机的方向发展; 另一方面向着微型机的方向发展。

巨型机也被称作超级计算机, 它具有很高的速度及巨大的容量, 能对高品质动画进行实时处理。它的研制水平标志着一个国家的科学技术和工业发展的程度, 象征着国家的实力。巨型机的指标通常用每秒多少次浮点运算来表示。20 世纪 70 年代的第一代巨型机每秒为 1 亿次浮点运算; 20 世纪 80 年代的第二代巨型机每秒为 100 亿次浮点运算; 20 世纪 90 年代研

制的第三代巨型机速度已达到每秒万亿次浮点运算。目前的许多巨型机都是采用多处理机结构,用大规模并行处理来提高整机的处理能力。巨型机大多用于空间技术,中、长期天气预报,石油勘探,战略武器的实时控制等领域。我国在1983年研制了“银河I”型巨型机,其速度为每秒1亿次浮点运算。2016年6月,中国研发的超级计算机“神威太湖之光”,目前落户在位于无锡的中国国家超级计算机中心。该超级计算机的浮点运算速度是超级计算机“天河二号”(同样由中国研发)的2倍,达9.3亿亿次每秒。

微型计算机简称微机,其准确的称谓应该是微型计算机系统。一个完整的微型计算机系统包括硬件系统和软件系统两大部分。硬件系统由运算器、控制器、存储器(含内存、外存和缓存)、各种输入/输出设备组成,采用“指令驱动”方式工作。软件系统可分为系统软件和应用软件。系统软件是指管理、监控和维护计算机资源(包括硬件和软件)的软件。它主要包括:操作系统、各种语言处理程序、数据库管理系统以及各种工具软件等。其中操作系统是系统软件的核心,用户只有通过操作系统才能完成对计算机的各种操作。应用软件是为某种应用目的而编制的计算机程序,如文字处理软件、图形图像处理软件、网络通信软件、财务管理软件、CAD软件、各种程序包等。微型机的中央处理单元(Central Processing Unit, CPU)集成在一个硅片上,因此其体积小,成本低。自20世纪70年代微型计算机诞生之后,计算机的应用就推向了全社会。个人计算机(Personal Computer, PC)的普及已经渗透到各个领域,它对于社会生产力的发展和人类生活的改变已经起到了极大的促进作用。

自1971年微型计算机问世以来,由于实际应用的需要,微型计算机向着两个方向发展:一个是向着高速度、大容量、高性能的高档微机方向发展;而另一个则是向着稳定可靠、体积小、功耗低、价格低廉的单片机方向发展。单片机是微型计算机的一个重要分支,它的出现是计算机发展史上的一个重要里程碑,它使计算机从海量存储与高速复杂数值计算进入到智能化控制领域。从此,计算机的两个重要领域——通用计算机领域和嵌入式计算机领域都获得了极其重大的进展。

1.2 单片机的基本概念

单片机因将其主要组成部分集成在一个芯片上而得名,具体说就是把中央处理单元(CPU)、随机存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、中断系统、定时器/计数器以及输入/输出(I/O)电路等主要微型机部件,集成在一块芯片上。虽然单片机只是一个芯片,但从组成和功能上看,它已经具有了计算机系统的属性,为此称它为单片微型计算机,简称单片机(Single Chip Microcomputer, SCM)。

单片机主要用于控制领域,用以实现各种测试和控制功能,为了强调其控制属性,也可以把单片机称为微控制器(Micro Controller Unit, MCU)。由于单片机应用时通常处于被控系统的核心地位并融入其中,即以嵌入的方式进行使用,为了强调其“嵌入”的特点,也常常将单片机称为嵌入式微控制器(Embedded Micro Controller Unit, EMCU)。

单片机通常是指芯片本身,它是由芯片制造商生产的,在它里面集成的是一些作为基本组成部分的运算器电路、控制电路、存储器、中断系统、定时器/计数器以及输入/输出电路等。但一个单片机芯片并不能把计算机的全部电路都集成到其中,例如,组成谐振电路和复位电路的石英晶体、电阻、电容等,这些元件在单片机系统中只能以分离元件的形式出现。

此外,在实际的控制应用中,常常需要扩展外围电路和外围芯片。从中可以看到单片机和单片机系统的差别,即单片机只是一个芯片,而单片机系统则是在单片机芯片的基础上扩展其他电路或芯片构成的具有一定应用功能的计算机系统。

通常所说的单片机系统都是为实现某一控制应用需要由用户设计的,是一个围绕单片机芯片而组建的专用计算机应用系统。在单片机系统中,单片机处于核心地位,是构成单片机系统的硬件和软件基础。

在单片机硬件的学习上,既要学习单片机,也要学习单片机系统,即单片机芯片内部的组成和原理,以及单片机系统的组成方法。

1.3 单片机的发展概况

1971年11月,美国 Intel 公司首先设计出 4 位微处理器 Intel 4004,搭配上随机存取存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM) 和移位寄存器等芯片,构成第一台 MCS-4 微型计算机。1972 年 4 月 Intel 公司又研制成了功能较强的 8 位微处理器 Intel 8008。这些微处理器虽说还不是单片机,但从此拉开了研制单片机的序幕。

1976 年 Intel 公司推出了 MCS-48 单片机,这个时期的单片机才是真正的 8 位单片微型计算机,并推向市场。它以体积小,功能全,价格低赢得了广泛的应用,为单片机的发展奠定了基础,成为单片机发展史上重要的里程碑。在 MCS-48 的带领下,其后,各大半导体公司相继研制和发展了自己的单片机,如 Zilog 公司的 Z8 系列。到了 20 世纪 80 年代初,单片机已发展到了高性能阶段,如 Intel 公司的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 6801 和 6802 系列、Rokwell 公司的 6501 及 6502 系列等,此外,日本的著名电气公司 NEC 和 Hitachi 都相继开发了具有自己特色的专用单片机。

20 世纪 80 年代,世界各大公司均竞相研制出品种多、功能强的单片机,约有几十个系列,300 多个品种,此时的单片机均属于真正的单片化,大多集成了 CPU、RAM、ROM、数目繁多的 I/O 接口、多种中断系统,甚至还有一些带 A/D 转换器的单片机,功能越来越强大,RAM 和 ROM 的容量也越来越大,寻址空间甚至可达 64KB。可以说,单片机发展到了一个全新阶段,应用领域更广泛,许多家用电器均走向利用单片机控制的智能化发展道路。

1982 年以后,16 位单片机问世,代表产品是 Intel 公司的 MCS-96 系列,16 位单片机比起 8 位机,数据宽度增加了一倍,实时处理能力更强,主频更高,集成度达到了 12 万只晶体管,RAM 增加到了 232 字节,ROM 则达到了 8KB,并且有 8 个中断源,同时配置了多路的 A/D 转换通道,高速的 I/O 处理单元,适用于更复杂的控制系统。

20 世纪 90 年代以后,单片机获得了飞速的发展,世界各大半导体公司相继开发了功能更为强大的单片机。美国 Microchip 公司发布了一种完全不兼容 MCS-51 的新一代 PIC 系列单片机,引起了业界的广泛关注,特别它的产品只有 33 条精简指令集吸引了不少用户,使人们从 Intel 的 111 条复杂指令集中走出来。PIC 单片机获得了快速的发展,在业界中占有了一席之地。随后更多的单片机种蜂拥而至, Motorola 公司相继发布了 MC68HC 系列单片机,日本的几个著名公司都研制出了性能更强的产品,但日本的单片机一般均用于专用系统控制,而不像 Intel 等公司投放到市场形成通用单片机。例如, NEC 公司生产的 μ COM87 系列单片机,其代表作 μ PC7811 是一种性能相当优异的单片机。 Motorola 公司的 MC68HC05 系列其高

速低价等特点赢得了不少用户。Zilog 公司的 Z8 系列产品代表作是 Z8671, 内含 BASIC Debug 解释程序, 极大地方便了用户。而美国国家半导体公司的 COP800 系列单片机则采用了先进的哈佛结构。Atmel 公司则把单片机技术与先进的 Flash 存储技术完美地结合起来, 发布了性能相当优秀的 AT89 系列单片机。Holttek 和 Winbond 等公司凭着他们廉价的优势, 也纷纷加入了单片机发展行列。

随着集成电路的发展及信息时代的到来, 开始出现了以 ARM 为代表的 32 位单片机, 目前, ARM 单片机在移动通信、手持计算、多媒体数字消费等嵌入式设备中得到了广泛的应用。

目前, 单片机园地里, 单片机品种异彩纷呈, 争奇斗艳。有 8 位、16 位和 32 位机, 但 8 位单片机仍以它的价格低廉、品种齐全、应用软件丰富、支持环境充分、开发方便等特点而占据着重要的地位。

1.4 单片机的特点与应用

1. 单片机的特点

单片机是从工业测控对象、环境、接口特点出发, 向着增强控制功能、提高工业环境下的可靠性方向发展。它的主要特点如下。

(1) 种类多, 型号全

很多单片机厂家逐年扩大适应各种需要, 有针对性地推出一系列型号产品, 使系统开发工程师有很大的选择余地。大部分产品有较好的兼容性, 保证了已开发产品能顺利移植, 较容易地使产品进行升级换代。

(2) 提高性能, 扩大容量, 性能价格比高

集成度已经达到 300 万个晶体管以上, 总线速度达到数十微妙到几百纳秒, 指令执行周期已经达到几微妙到数十纳秒, 以往片外 XRAM 现已在物理上存入片内, ROM 容量已经扩充达 32KB、64KB、128KB 以致更大的空间。价格从几百元到几元不等。

(3) 增加控制功能, 向真正意义上的“单片”机发展

把原本是外围接口芯片的功能集成到一块芯片内, 在一片芯片中构造了一个完整的功能强大的微处理应用系统。

(4) 低功耗

现在新型单片机的功耗越来越小, 供电电压从 5V 降低到了 3.2V, 甚至 1V, 工作电流从 mA 降到 μA 级, 工作频率从十几兆赫兹可编程到几十千赫兹。特别是很多单片机都设置了多种工作方式。这些工作方式包括等待、暂停、睡眠、空闲、节电等。

(5) C 语言开发环境, 友好的人机互交环境

大多数单片机都提供基于 C 语言开发平台, 并提供大量的函数供使用。这使产品的开发周期、代码可读性、可移植性都大为提高。

2. 单片机的应用

单片机广泛应用于仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天、专用设备的智能化管理及过程控制等领域, 大致可分如下几个范畴。

(1) 在智能仪器仪表上的应用

单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、扩展灵活、微型化和使用方便等优点,广泛应用于仪器仪表中,结合不同类型的传感器,可实现诸如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度、元素、压力等物理量的测量。采用单片机控制使得仪器仪表数字化、智能化、微型化,且功能比起采用电子或数字电路更加强大。例如,精密的测量设备(功率计、示波器、各种分析仪)。

(2) 在工业控制中的应用

用单片机可以构成形式多样的控制系统、数据采集系统。例如,工厂流水线的智能化管理,电梯智能化控制、各种报警系统,与计算机联网构成二级控制系统等。

(3) 在家用电器中的应用

可以这样说,现在的家用电器基本上都采用了单片机控制,从电饭煲、洗衣机、电冰箱、空调机、彩电、其他音响视频器材,再到电子称量设备,五花八门,无所不在。

(4) 在计算机网络和通信领域中的应用

现代的单片机普遍具备通信接口,可以很方便地与计算机进行数据通信,为在计算机网络和通信设备间的应用提供了极好的物质条件,现在的通信设备基本上都实现了单片机智能控制,从手机,电话机、小型程控交换机、楼宇自动通信呼叫系统、列车无线通信。再到日常工作中随处可见的移动电话、集群移动通信、无线电对讲机等。

(5) 单片机在医用设备领域中的应用

单片机在医用设备中的用途亦相当广泛,例如,医用呼吸机、各种分析仪、监护仪、超声诊断设备及病床呼叫系统等。

此外,单片机在工商、金融、科研、教育、国防、航空航天等领域都有着十分广泛的用途。

1.5 常用单片机类型及常用单片机系列介绍

自单片机诞生至今,加入单片机生产和研制的厂家在全世界已经有上百家,它已发展为几百个系列的上千个机种,使用户有了较大的选择余地。随着集成电路的发展,单片机也已从4位发展到8位、16位、32位。根据近年来的使用情况看,8位单片机仍然是低端应用的主要机型。专家预测,在未来相当长一段时间内,仍将保持这个局面。所以,目前教学的首选机型还是8位单片机,而8位单片机中最具代表性、最经典的机型,当属51系列单片机。

20世纪80年代中期,由于Intel公司将8051内核使用权以专利互换或出售形式转给世界许多著名集成电路(Integrated Circuit, IC)制作厂商,使得众多的半导体厂商都购买了51芯片的核心专利技术,并在其基础上进行性能上的扩充,使得芯片得到进一步的完善,形成了一个庞大的体系。不同厂家在设计生产时都保证了产品的兼容性,这主要是指令兼容、总线兼容和引脚兼容。现在一般把与8051内核相同的单片机统称为“51系列单片机”。众多厂商的参与使得8051的发展长盛不衰,从而形成了一个既具有经典性,又有旺盛生命力的单片机系列。

下面介绍目前流行的51内核单片机。

1. MCS-51 系列单片机

MCS-51系列单片机是Intel公司推出的通用型单片机。MCS-51系列又分为51和52两

个子系列，并以芯片型号的最末位数字作为标志。其中，51 子系列是基本型，而 52 子系列则属增强型。

MCS-51 系列单片机采用两种半导体工艺生产。一种是 HMOS 工艺，即高速度、高密度、短沟道 MOS 工艺。另外一种为 CHMOS 工艺，即互补金属氧化物的 HMOS 工艺。表 1-1 中，芯片型号中带有字母“C”的，为 CHMOS 芯片，如 80C51、87C51。其余均为一般的 HMOS 芯片。

MCS-51 单片机片内程序存储器常见的有 3 种配置形式，即无 ROM、掩膜 ROM 和 EPROM。这 3 种配置形式对应 3 种不同的单片机芯片，它们各有特点，如表 1-1 所示。

表 1-1 MCS-51 单片机分类表

子系列	片内 ROM 形式			片内 ROM 容量(KB)	片内 RAM 容量(B)	寻址范围(KB)	I/O 特性			中断源
	无	ROM	EPROM				计数器	并行口	串行口	
51 子系列	8031	8051	8751	4	128	2×64	2×16	4×8	1	5
	80C31	80C51	87C51	4	128	2×64	2×16	4×8	1	5
52 子系列	8032	8052	8752	8	256	2×64	3×16	4×8	1	6
	80C32	80C52	87C52	8	256	2×64	3×16	4×8	1	6

对 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机进行选型时应注意以下两点。

(1) 每个单片机产品子系列，根据内部程序存储器提供方式的不同，型号基本上有 3 种。例如，在 8051 子系列中，有 3 种主要的芯片：8031、8051、8751，分别对应内部不提供程序存储器、提供 4KB 掩膜 ROM 和 4KB EPROM 的同一芯片的 3 种版本。

(2) MCS-51 系列单片机有两种制造工艺，HMOS 工艺和 CHMOS 工艺。由此可以分为分别对应的两个子系列：8051 和 80C51 子系列。虽然两种芯片在功能上完全兼容，但采用 CHMOS 工艺的 80C51 子系列属于 CMOS 器件，与 HMOS 器件相比，它的工作电流要小得多，因此使单片机的功耗降得很低，而且还增加了待机工作模式和掉电工作模式。

2. Atmel 公司 AT89 系列单片机

美国 Atmel 公司是国际上著名的半导体公司，该公司的技术优势在于 Flash 存储器技术。随着业务的发展，在 20 世纪 90 年代初，Atmel 公司一跃成为全球最大的 E²PROM 供应商。1994 年，为了介入单片机市场，Atmel 公司以 E²PROM 技术和 Intel 公司的 80C31 单片机核心技术进行交换，从而取得了 80C31 内核的使用权。Atmel 公司把自身的先进 Flash 存储器技术和 80C31 核相结合，推出了 Flash AT89 系列单片机。这是一种内部含 Flash 存储器的特殊单片机。由于它内部含有大容量的 Flash 存储器，所以，在产品开发及生产便携式商品、手提式仪器等方面有着十分广泛的应用，也是目前取代传统的 MCS-51 系列单片机的主流单片机之一。

AT89 系列单片机对于一般用户来说，有下列明显的优点。

(1) 内部含有 Flash 存储器，在系统开发过程中很容易修改程序，可以大大缩短系统的开发时间。

(2) 与 MCS-51 系列单片机引脚兼容，可以直接进行代换。

(3) AT89 系列并不是对 80C31 的简单继承，该系列的功能进一步增强了。

在我国，这种单片机受到广泛青睐，很多以前使用 80C51、80C52 的用户都转而使用 AT89

系列。对于有丰富编程经验的用户而言,不需要仿真器,可以直接将程序烧入芯片,放在目标板上加电直接运行,观察运行结果,出现问题时再进行修改,然后重新烧写程序,再进行试验,直至成功。

AT89 系列包括两大类,第一类是常规的,就是 AT89C 系列,这类单片机要用常规的并行方法编程,必需使用编程器编程;第二类是 ISP Flash 系列 (ISP,在系统可编程,即芯片安装到电路板上之后不用拿下来而直接往里面烧写程序),也就是 AT89S 系列,这类单片机除了用常规的并行方法编程外,还可以在系统用下载线进行编程,省去价格较贵的编程器,而且可以在目标板上直接修改程序。

3. PHILIPS 80C51 系列单片机

PHILIPS 公司生产的单片机都属于 MCS-51 系列的兼容单片机,从内核结构上可划分为两类:16 位的 XA 系列和 80C51 兼容系列。其中以 80C51 兼容系列单片机最为著名,下面讨论的就是这一系列的产品。PHILIPS 公司开发了众多基于 80C51 内核架构的派生器件,型号数以百计,可满足不同的应用场合。其中许多产品在存储器、定时/计数器、输入/输出、中断、串行口等资源上做了不同程度的改进和增强,在有的型号中还新增了诸如 IIC 接口、A/D 转换、PWM 输出等新的外设。这样就使用户总能找到适合自己需要的型号。可以说 PHILIPS 也为 MCS-51 单片机的经久不衰做出了很大的贡献。PHILIPS 公司 80C51 兼容系列单片机从内核结构上又可以划分为两大类,即 6 时钟内核类和 12 时钟内核类。我们知道标准的 MCS-51 单片机的每个机器周期包括 12 个时钟周期,所谓 6 时钟内核是指单片机的每个机器周期包括 6 个时钟周期,所以在相同的时钟频率下,采用 6 时钟内核的单片机运行速度更快。许多采用 6 时钟内核单片机也可以通过软件设置使其工作在 12 时钟模式,这样就增加了使用的灵活性。PHILIPS 公司提供了各种适合应用于各种场合的 80C51 兼容单片机配置,规格比较齐全,可应用在很多电子产品中。选型时可根据需要,从存储器、运行速度、定时/计数器、串行口、供电电压、模拟量处理等不同角度进行选择。

4. Winbond 单片机

Winbond (华邦) 公司是一家在国际上有较高声誉的半导体公司,其生产的 MCS-51 系列兼容单片机独具特色。原 MCS-51 系列单片机虽然历史悠久,应用也非常广泛,但也有许多值得改进之处,如运行速度过慢等。当晶振频率为 12MHz 时,机器周期达 $1\mu\text{s}$,显然适应不了高速运行的需要。Winbond 公司在提高 MCS-51 系列单片机运行速度上做出了贡献。其生产的产品型号为 W77 和 W78 系列 8 位单片机,W77、W78 系列的脚位和指令集与 8051 兼容,其中 W78 系列与 AT89C 系列完全兼容。W77 系列为增强型,对原有的 8051 的时序做了改进,每个机器周期从 12 个时钟周期改为 4 个时钟周期,使速度提高了三倍,同时,晶振频率最高可达 40MHz。W77 系列还增加了看门狗 (Watchdog)、两组 UART、两组 DPTR 数据指针、ISP 等多种功能。

5. STC 单片机

中国宏晶科技公司推出的高性价比的 STC89 系列单片机,增加了大量的新功能,提高了 51 单片机的性能。STC89 系列单片机是 MCS-51 系列单片机的派生产品。它们在指令系统、

硬件结构和片内资源上与标准 8051 单片机完全兼容，DIP40 封装系列与 8051 的引脚兼容。STC89 系列单片机高速（最高时钟频率 90MHz），低功耗，在系统/在应用可编程（ISP/IAP），不占用用户资源。STC89 系列单片机按芯片型号分别有 64/32/16/8KB 片内 Flash，分为 2 个 Flash 存储块：Block0 和 Block1。2 个 Flash 存储块在物理结构上 Block0 在前，Block1 在后。通过 REMAP（地址重置）功能可以将 Flash 存储块重定位。

STC89 系列单片机 ISP 和一般 MCS-51 系列的单片机如 AT89S 系列的 ISP 有所不同。ISP 主要应用于在线（或远程）升级，通过执行 ISP 引导码改写用户程序，无需编程器，不需要亲临现场。STC89 系列单片机在出厂时，片内已经烧录有 ISP 引导码，占用 Block1 的程序空间前 2KB，并设置为从 Block1 启动。启动时，首先执行 ISP 引导码，确认是程序下载，还是正常启动。无论是程序下载还是正常启动，ISP 引导码最后总是将 REMAP 取消，恢复 Block0 在前 8KB 的地址空间，进而执行 Block0 中的用户程序，即用户程序总是放在 Block0 的 00H 开始的单元，除非用户自行修改了 ISP 引导码。

IAP 功能是在应用可编程，利用该功能，可将本不具有 EEPROM 的单片机具有相当于 EEPROM 的功能，而且存储空间远大于 EEPROM。IAP 不能对自身所在的 Block 编程，即当程序运行在 Block0 时，可编程的是 Block1，当程序运行在 Block1 时，可编程的是 Block0。根据这个特点，通过 REMAP 功能可设置在应用编程的 Flash 的大小。

6. SST 单片机

SST89 系列单片机是美国 SST 公司推出的高可靠、小扇区结构的 51 内核单片机，特别是所有产品均带有 IAP（在应用可编程）和 ISP（在系统可编程）功能，不占用用户资源，通过串行口即可在系统仿真和编程，无须专用仿真开发设备，3~5V 工作电压，低价格，在市场竞争中占有较强的优势。

SST89 系列的 Flash 存储器使用 SST 专有的专利技术 CMOS SuperFlash E²PROM 工艺，内部 Flash 擦写次数达 1 万次以上，程序保存时间可达到 100 年。片内的 SuperFlash 存储器分为两个独立的程序存储块。主 SuperFlash 存储块（Block0）大小为 64KB/32KB，从存储块（Block1）大小为 8KB。从存储块的 8KB 可以映射到 64KB/32KB 地址空间的最低位位置；也可从被程序计数器隐藏，映射到数据空间，作为一个独立的 EEPROM 数据存储器。

SST 单片机有一个比较好的地方在于它具有 SoftICE（Software In Circuit Emulator）在线仿真功能，只需占用单片机的串口即可实现在 Keil 下的实时在线仿真功能，同时还可以实现 ISP 在线编程功能。SST 公司为部分 SST89 系列单片机提供了仿真监控程序，把仿真监控程序固化到单片机内部 Flash 存储器的 Block1 中就可实现仿真功能。因此我们用一颗 SST89 系列单片机的芯片，如 SST89C58 或 SST89E564RD/516RD 等，加上串口电平转换电路就可以做成一个 51 单片机的仿真器。

1.6 单片机应用系统开发过程简介

1.6.1 单片机项目开发流程

单片机应用系统的开发过程主要包括 4 个部分：硬件系统的设计与调试、单片机应用程

序设计、应用程序的仿真调试、系统调试。

1. 硬件系统的设计与调试

硬件系统的设计包括系统硬件电路原理图的设计、印制电路板 (PCB) 的设计与制作、元器件的安装与焊接。完成硬件系统的设计后,应采用适当的手段对硬件系统进行测试,测试合格后,硬件系统的设计与调试完毕。所获得的硬件系统一般称为单片机目标板。

2. 单片机应用程序设计

单片机应用程序按系统软件功能可划分为不同的子功能模块和子程序。无论子功能模块还是子程序,都要在单片机应用系统开发环境的编辑软件支持下,先编写好源程序,并且在汇编器/编译器的支持下,通过汇编/编译来检查源程序中的语法错误。只有通过汇编/编译且没有语法错误后,才能进入应用程序的仿真调试。目前编写应用程序时,主要使用汇编语言和 C 语言。编写较大的应用程序时,使用 C 语言编程会更加方便。无论使用汇编语言,还是 C 语言编写的程序,都必须通过工具软件转变成 CPU 可以执行的机器码才能供单片机运行。目标文件的格式一般为 .hex 或 .bin。对于 8051 系列单片机来说,Keil C51 开发系统具有编辑、编译、模拟单片机 C 语言程序的功能,也能编辑、编译、模拟汇编语言程序;对于初学者,开始编写的程序难免出现语法错误或其他不规范的语句,由于 Keil C51 编译时对错误语句有明确的提示,因此,十分方便程序的修改和维护。

3. 应用程序的仿真调试

应用程序仿真调试的目的是:检查应用程序是否有逻辑错误,是否符合软件功能要求,纠正错误并完善应用程序。应用程序的仿真调试一般分为硬件仿真和软件仿真两种。

硬件仿真是通过仿真器(仿真机)与目标样机进行实时在线仿真,如图 1-1 所示。

一块单片机应用电路板包括单片机部分及为达到使用目的而设计的应用电路。硬件仿真就是利用仿真器来代替应用电路板(称目标样机)的单片机部分,由仿真器向目标样机的应用电路部分提供各种信号、数据进行测试、调试的方法。这种仿真可以通过单步执行、连续执行等多种方式来运行程序,并能观察到单片机内部的变化,便于修改程序中的错误。图 1-1 中,将仿真头插到电路板上的单片机插座上,此时可将仿真器看作是一个独立的单片机,通过运行 PC 上的仿真软件(如 Keil C51 软件),使目标机处于一个真实的工作环境之中,可模拟开发单片机的各种功能。显然,这种仿真因为需要仿真器、电路板等硬件装置,因而投资较大。

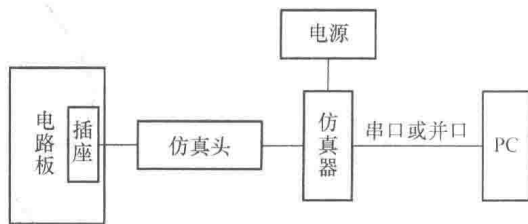


图 1-1 硬件仿真连接图

软件仿真是指在 PC 上运行仿真软件来实现对单片机的硬件模拟、指令模拟和运行状态模拟,故这种仿真方法又称为软件(程序)模拟调试。它不需要硬件,简单易行,可采用 Keil、MedWin 或 8051DEBUG 等软件进行模拟调试。软件仿真的缺点是不适用于实时性很强的单片机应用系统的调试,在实时性要求不高的场合,软件仿真已被广泛使用。