



工业和信息化普通高等教育“十二五”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

——边学、边练、边用技术教程（第2版）

Principle and Application of Single Chip Microcomputer
——Learning, Practicing, Using Technology Tutorial

■ 孟祥莲 孙平 高洪志 编著

以“深入浅出”“学以致用”为指导思想

从应用需求出发，C语言与汇编语言并存

硬件与虚拟仿真结合，提升开发设计能力



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



工业和信息化普通高等教育“十二五”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

——边学、边练、边用技术教程(第2版)

Principle and Application of Single Chip Microcomputer
——Learning, Practicing, Using Technology Tutorial

■ 孟祥莲 孙平 高洪志 编著



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理及应用：边学、边练、边用技术教程 /
孟祥莲，孙平，高洪志编著. — 2版. — 北京：人民邮
电出版社，2015.9
21世纪高等教育计算机规划教材
ISBN 978-7-115-40106-9

I. ①单… II. ①孟… ②孙… ③高… III. ①单片微
型计算机—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第174151号

内 容 提 要

本书以 80C51 单片机为学习平台，从应用角度出发，系统地讲解了单片机的组成原理、各功能模块的使用方法及扩展方法。

全书共 9 章，其内容包括单片机概论、单片机系统开发环境、80C51 单片机的硬件结构、80C51 单片机指令系统与程序设计、单片机的 C 语言编程、80C51 单片机片内功能模块的使用、80C51 单片机接口技术应用、80C51 单片机的串行通信技术、单片机应用系统设计与调试。另外，本书还增加了阶段实践，结合 C 语言程序设计和 Proteus 仿真方法介绍了单片机开发的实例，同时增加了单片机课程设计的规范要求及实例。

本书可作为高等院校本科相关专业教材，也可供高职、高专相关专业学生使用。

-
- ◆ 编 著 孟祥莲 孙 平 高洪志
 - 责任编辑 武恩玉
 - 责任印制 沈 蓉 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>
 - 北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本：787×1092 1/16
 - 印张：18
 - 字数：475 千字
 - 2015 年 9 月第 2 版
 - 2015 年 9 月北京第 1 次印刷
-

定价：42.00 元

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

反盗版热线：(010)81055315

前言

随着电子技术与信息技术的发展,单片机应用的领域越来越广泛,几乎是无处不在。目前高等院校很多专业设置了单片机相关课程,但所开课程更多注重于单片机原理的讲解,而对其本身的应用性和实践性介绍较少。

本书特点如下所述。

(1) 工程性强:本书以“学以致用”为指导思想,重在实践,将工程与开发相统一。全书通过介绍大量的应用实例,培养读者初步开发、设计单片机的能力。

(2) C 语言与汇编语言相结合:本书介绍了两种编程语言,即汇编语言和 C 语言。

汇编语言:任何一个硬件电路都可用汇编语言描述,具有直观性。

C 语言:可读性好,用户可以不了解硬件资源分配情况,只需掌握一两个编程实例即可。读者据此就可仿效。

(3) 方便教学:本书适合作为高等院校相关专业的单片机课程教材。其中,第 1~5 章是必修内容,其他章节内容教师可根据专业、学时不同,自行选取、增删,学生可结合自身专业方向,自行选择学习。

(4) 实践性强:本书安排了两个实训。一是汇编语言的实训部分,由于章节所限,此部分程序可在人民邮电出版社教学服务与资源网(<http://www.ptpedu.com.cn>)免费下载;二是 C 语言和 Proteus 仿真实训,在阶段实践部分,能够让学生边学、边练单片机系统的设计,提高动手实践能力。

全书由孟祥莲、孙平、高洪志编著,由哈尔滨工业大学王文仲教授主审。本书在编写过程中,参阅借鉴了一些相关教材和文献,在此向其编著者表示谢意。

由于编者水平有限,书中错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

第 1 章 单片机概论	1	3.3 80C51 单片机存储器	45
1.1 单片机概述	1	3.3.1 片内 RAM 结构及其地址 空间分布	45
1.2 单片机的历史与发展	3	3.3.2 片外 RAM 的扩展	49
1.2.1 单片机的发展概况	3	3.3.3 程序存储器	49
1.2.2 单片机的发展趋势	4	3.4 时钟电路和复位电路	50
1.2.3 单片机产品近况	5	3.4.1 时钟电路	50
1.3 单片机的应用领域	7	3.4.2 复位电路	51
1.4 单片机中使用的数制及常用的语言	8	习题	52
习题	10	第 4 章 80C51 单片机指令系统与 程序设计	53
第 2 章 单片机系统开发环境	11	4.1 概述	53
2.1 Keil μ Vision3 C51 集成开发环境	11	4.1.1 机器码指令	53
2.1.1 Keil μ Vision3 C51 的安装	11	4.1.2 汇编语言指令	54
2.1.2 Keil μ Vision3 C51 的使用及调试	13	4.2 寻址方式	55
2.2 Proteus ISIS 单片机仿真软件操作	16	4.2.1 立即寻址	55
2.2.1 Proteus ISIS 软件环境	16	4.2.2 寄存器寻址	55
2.2.2 在 Proteus 中创建新的元件	23	4.2.3 RAM 寻址	56
2.2.3 Proteus 电路仿真	28	4.2.4 程序存储器中数据的寻址	56
2.2.4 Proteus ISIS 单片机仿真	33	4.2.5 I/O 端口中数据的寻址	57
2.3 Keil 与 Proteus 联合调试	36	4.2.6 程序的寻址	57
2.3.1 Keil 与 Proteus 接口	36	4.2.7 位寻址	58
2.3.2 Keil 与 Proteus 联合调试实例	37	4.3 指令系统	59
习题	39	4.3.1 数据传送类指令	59
第 3 章 80C51 单片机的 硬件结构	40	4.3.2 算术运算类指令	63
3.1 80C51 单片机的硬件组成	40	4.3.3 逻辑操作类指令	69
3.1.1 80C51 单片机硬件结构图	40	4.3.4 位操作类指令	72
3.1.2 80C51 单片机的引脚信号	41	4.4 汇编语言程序设计基础	73
3.2 80C51 单片机的微处理器	43	4.4.1 顺序程序设计	73
3.2.1 运算器	43	4.4.2 循环程序设计	75
3.2.2 控制器	44	4.4.3 分支程序设计	81
3.2.3 CPU 时序	44	4.4.4 子程序及其调用	88

习题	90	6.1.2 在 MOVX 指令下由系统总线	114
第 5 章 单片机的 C 语言编程	92	进行输入/输出的 P0 和 P2 口	114
5.1 单片机 C51 语言概述	92	6.1.3 具有特殊功能的 P3 口	116
5.1.1 C51 的数据类型	92	6.1.4 阶段实践	117
5.1.2 C51 对内部资源的定义	94	6.2 中断系统	122
5.1.3 常量与变量	95	6.2.1 中断系统的结构	122
5.1.4 C51 绝对地址访问	96	6.2.2 中断源和中断请求标志	123
5.2 运算符和表达式	97	6.2.3 系统对中断的管理	124
5.2.1 关系运算符与关系表达式	97	6.2.4 中断的响应过程	127
5.2.2 逻辑运算符与逻辑表达式	97	6.2.5 中断程序的编程方法	128
5.2.3 算术运算符与算术表达式	98	6.2.6 阶段实践	130
5.2.4 位运算符和复合赋值运算符	98	6.3 片内定时器/计数器	131
5.2.5 条件运算符和指针运算符	100	6.3.1 定时器/计数器的内部结构及	
5.2.6 表达式语句	100	工作原理	132
5.3 分支程序设计	100	6.3.2 定时器/计数器的工作方式	134
5.3.1 if 语句	101	6.3.3 定时器/计数器的应用设计	137
5.3.2 switch 语句	101	6.3.4 阶段实践	141
5.4 循环程序设计	102	6.4 串行接口	146
5.4.1 while 语句	102	6.4.1 串行口的内部结构	146
5.4.2 do-while 语句	103	6.4.2 串行口的工作方式	148
5.4.3 for 语句	103	6.4.3 串行口的波特率	150
5.4.4 break 与 continue 语句	104	6.4.4 SMOD 位对波特率的影响	151
5.5 函数	104	6.4.5 80C51 单片机串口通信应用	151
5.5.1 函数的定义	105	6.4.6 阶段实践	154
5.5.2 函数的调用	105	习题	163
5.5.3 中断函数	106	第 7 章 80C51 单片机接口	
5.6 数组及指针的使用	107	技术应用	165
5.6.1 数组的使用	107	7.1 LED 显示接口电路	165
5.6.2 指针的使用	108	7.1.1 LED 显示器和显示器接口	165
习题	110	7.1.2 LED 显示器接口技术	166
第 6 章 80C51 单片机片内功能		7.1.3 阶段实践	169
模块的使用	111	7.2 键盘接口电路	173
6.1 并行 I/O 接口的输入与输出	111	7.2.1 键盘的工作原理	173
6.1.1 在 MOV 指令下可直接输入/		7.2.2 独立式键盘	175
输出的 P1 口	112	7.2.3 矩阵式键盘	176
		7.2.4 键盘的编码	179

7.2.5 阶段实践	183	8.2.2 RS-449、RS-422A 及 RS-423A	231
7.3 LCD 显示接口电路	185	接口总线标准与应用	231
7.3.1 概述	185	8.2.3 RS-485 标准总线接口	233
7.3.2 组成结构图	186	8.2.4 20mA 电流环路串行接口	235
7.3.3 模块接口说明	187	8.3 I ² C 总线接口	236
7.3.4 模块的主要硬件构成	188	8.3.1 I ² C 总线的功能和特点	236
7.3.5 指令说明	189	8.3.2 I ² C 总线的构成及工作原理	236
7.3.6 读写时序图	191	8.3.3 I ² C 总线的工作方式	237
7.3.7 应用举例	192	8.3.4 I ² C 总线数据传输方式的模拟	238
7.3.8 阶段实践	195	8.3.5 阶段实践	238
7.4 D/A 转换接口电路	199	8.4 DS18B20 单线数字温度传感器	243
7.4.1 D/A 转换接口电路的基本原理	200	8.4.1 DS18B20 的特点	243
7.4.2 D/A 转换器的主要特点与		8.4.2 DS18B20 的内部结构	244
技术指标	201	8.4.3 DS18B20 的控制方法	245
7.4.3 DAC 0832 芯片	202	8.4.4 DS18B20 的工作时序	245
7.4.4 DAC 0832 与 80C51 的		8.4.5 阶段实践	247
接口设计	203	习题	252
7.4.5 阶段实践	204	第 9 章 单片机应用系统设计与	
7.5 A/D 转换接口电路	206	调试	253
7.5.1 A/D 转换接口电路的基本原理	206	9.1 单片机应用系统设计	253
7.5.2 A/D 转换器的主要技术指标	209	9.1.1 单片机应用系统设计步骤	253
7.5.3 ADC 0809 芯片	209	9.1.2 单片机应用系统硬件设计	255
7.5.4 阶段实践	211	9.1.3 单片机应用系统软件设计	255
习题	213	9.2 单片机应用系统的开发与调试	256
第 8 章 80C51 单片机的串行		9.2.1 单片机应用系统的开发	256
通信技术	215	9.2.2 单片机应用系统的调试	258
8.1 串行通信基础	215	9.3 单片机课程设计	260
8.1.1 串行通信分类	215	9.3.1 单片机课程设计规范	260
8.1.2 串行通信的制式	217	9.3.2 课程设计实例——电子	
8.1.3 接收/发送时钟	218	万年历设计	262
8.1.4 信号的调制与解调	220	习题	270
8.1.5 通信数据的检测和校正	221	附录 A 80C51 系列单片机指令表	271
8.1.6 串行通信接口电路 UART、USRT		附录 B ASCII 码表	275
和 USART	222	附录 C C51 库函数	276
8.2 串行通信总线标准	224	参考文献	282
8.2.1 RS-232C 总线标准与应用	225		

第 1 章

单片机概论

1.1 单片机概述

单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer) 简称单片机, 其以体积小、质量轻、抗干扰能力强、对应用环境要求不高、价格低廉、维护简单、使用方便、稳定可靠、灵活性好、二次开发容易, 以及较高的性能价格比, 受到社会的重视和青睐。目前, 单片机应用领域从航空、航天、仪器、仪表、家用电器已经普及到国计民生的各个领域。单片机的应用标志着人类社会向自动控制领域前进了一大步。

1. 什么是单片机

单片机是在一个硅片上集成了中央处理器 (CPU)、只读存储器 (ROM)、随机存储器 (RAM) 和各种输入/输出接口、定时器/计数器、串行通信口及中断系统等多种资源的一个集成电路。它构成了一个完整的微型计算机。因为它的结构及功能是按照工业过程控制设计的, 所以单片机也被称为微控制器 (Microcontroller)。

在结构设计上, 单片机的硬、软件系统及 I/O 接口控制能力等方面都有独到之处, 具有很强的有效功能。从其组成、逻辑功能上来看, 单片机具备微型机系统的基本部件。但需要指出的是, 单片机毕竟只是一个芯片, 只有在配置了应用系统所需的接口芯片、输入/输出设备后, 才能构成实用的单片机应用系统。

由于大规模与超大规模集成电路技术的快速发展, 微型计算机技术形成了两大分支: 微处理器 (Micro Processor Unit, MPU) 和微控制器 (Micro Controller Unit, MCU)。

MPU 是微型计算机的核心部件, 它的性质决定了微型计算机的性能。通用的计算机已从早期的数值计算、数据处理发展到今天的人工智能阶段, 它不仅可以处理文字、字符、图形、图像等信息, 还可以处理语音、视频等信息, 并向多媒体、人工智能、虚拟现实、网络通信等方向发展。它的存储容量和运算速度正在以惊人的速度发展, 高性能的 32 位、64 位微型计算机系统正在向大、中型计算机发出挑战。

MCU 主要用于控制领域, 由它构成的检测控制系统具有实时、快速的外部响应功能, 能快速地采集大量数据, 在做出正确的逻辑推理和判断后实现对被控对象参数的调整与控制。

单片机的发展直接利用了 MPU 的成果, 也发展了 16 位、32 位、64 位的机型。但它的发展方向是高性能、高可靠性、低功耗、低电压、低噪声和低成本。目前, 单片机仍然处于以 8 位机为主, 16 位、32 位、64 位机并行发展的格局。单片机的发展主要表现在其接口和性能不断满足

多种被控对象的要求上,尤其在控制功能上,它可以构成各种专用的控制器和多机控制系统。

2. 单片机与嵌入式系统

面向检测控制对象,嵌入到应用系统中的计算机系统称为**嵌入式系统**。实时性是嵌入式系统的主要特征。此外,嵌入式系统对系统的物理尺寸、可靠性、重启动和故障恢复方面也有特殊的要求。由于被嵌入对象的系统结构、应用环境等的要求,嵌入式系统比通用的计算机系统设计更为复杂,涉及面也更为广泛。嵌入式系统从形式上可分为系统级、板级和芯片级。

系统级嵌入式系统为各种类型的工控机(包括用于进行机械加固和电气加固的通用计算机系统及各种以总线方式工作的工控机和由各种模块组成的工控机)。它们都有通用计算机组成的软件及外设的支持,具有很强的数据处理能力,应用软件的开发也很方便。但由于其体积庞大,一般适用于具有较大空间的嵌入式应用环境,如大型实验装置和船舶、分布式测控系统等。

板级嵌入式系统则是由带有 CPU 的主板及原始制造商(Original Equipment Manufacturer, OEM)的产品组成的系统。与系统级嵌入式系统相比,板级嵌入式系统体积较小,可以满足较小空间的嵌入式应用环境。

芯片级嵌入式系统是将单片机嵌入到对象的环境、结构体系中,作为一个智能化控制单元,是最典型的嵌入式计算机系统。它有唯一的专门为嵌入式应用而设计的体系结构和指令系统,加上它芯片级的体积和现场运行环境下的高可靠性,最能满足各种中、小型对象的嵌入式应用要求。但是一般的单片机目前还没有通用的系统管理软件或监控程序,只能放置用户调试好的应用程序。它本身不具备开发能力,需要专门的开发工具。

3. 单片机的特点

单片机与一般的微型计算机相比,由于其独特的结构决定了它具有如下特点。

(1) **集成度高,体积小** 在一块芯片上集成了构成一台微型计算机所需的 CPU、ROM、RAM、I/O 接口及定时器/计数器等部件,能满足很多应用领域对硬件的功能要求,因此由单片机组成的应用系统结构简单,体积特别小。

(2) **面向控制,功能强** 单片机面向控制,它的实时控制功能特别强大, CPU 可以直接对 I/O 接口进行各种操作,能有针对性地解决从简单到复杂的各种控制任务。

(3) **抗干扰能力强** 单片机内 CPU 访问存储器、I/O 接口的信息传输线(即总线)大多数在芯片内部,因此不易受外界的干扰。另外,由于单片机体积小,适应温度范围宽,在应用环境比较差的状况下,容易采取对系统进行电磁屏蔽等措施,在各种恶劣的环境下都能可靠地工作,所以单片机应用系统的可靠性比一般微型计算机系统高得多。

(4) **功耗低** 为了满足广泛使用于便携式系统的要求,许多单片机内的工作电压仅为 $1.8 \sim 3.6\text{V}$,而工作电流仅为数百微安。

(5) **使用方便** 因为单片机功能强,系统扩展方便,所以应用系统的硬件设计非常简单,又因为有多种多样的单片机开发工具,具有很强的软硬件调试功能和辅助设计的手段,使单片机的应用极为方便,缩短了系统研制的周期。另外,单片机还能方便地实现多机和分布式控制,使整个控制系统的效率和可靠性大为提高。

（6）性能价格比高

由于单片机价格便宜，其应用系统的印制电路板小，插插件少，安装调试简单，这一系列原因使得单片机应用系统的性能价格比高于一般的微型计算机系统。为了提高单片机的速度和运行效率，很多厂商已开始使用精简指令集计算机（Reduced Instruction Set Computer, RISC）流水线和数字信号处理（Digital Signal Processing, DSP）等技术。单片机应用广泛且市场竞争激烈，使其价格十分低廉，性能价格比极高。

（7）容易产品化

单片机以上的特性缩短了由单片机应用系统样机至正式产品的过渡过程，能够使科研成果迅速转化为生产力。

1.2 单片机的历史与发展

单片机自 20 世纪 70 年代诞生以来，发展十分迅速。从各种新型单片机的性能上看，单片机正朝着面向多层次用户的多品种、多规格方向发展。

1.2.1 单片机的发展概况

单片机的产生与发展和微处理器的产生与发展大体上同步，也经历了 4 个阶段。

第 1 阶段（1974—1976 年）：单片机初级阶段。1974 年，美国 Fairchild（仙童）公司研制出世界上第一台单片微型计算机 F8，深受家用电器和仪器仪表领域的欢迎和重视，从此拉开了研制单片机的序幕。这个时期生产的单片机特点是制造工艺落后，集成度低，而且采用双片结构。

第 2 阶段（1976 年～1978 年）：低性能单片机阶段。这一时期的单片机虽然已经能在单块芯片内集成 CPU、并行口、定时器、RAM 和 ROM 等功能芯片，但 CPU 功能还不太强，I/O 的种类和数量少，存储容量小，只能应用于比较简单的场合。例如，MCS-48 单片机是 Intel 公司的第一代 8 位单片机系列产品，集成了 8 位的 CPU、并行 I/O 接口、8 位定时器/计数器，寻址范围不大于 4KB，无串行接口。此阶段的很多产品（包括基本型 8048、8748 和 8035，强化型 8049、8039 和 8050、8040，简化型 8020、8021、8022，专用型 UPI-8041、8741 等）目前已被高档 8 位单片机所取代。

第 3 阶段（1978—1983 年）：高性能单片机阶段。这一阶段的单片机普遍带有串行接口，有多级中断处理系统和 16 位定时器/计数器，片内 RAM、ROM 容量加大，且寻址范围可达 64KB，有的片内还带有 A/D 转换接口。这类单片机有 Intel 公司的 MCS-51 及 Motorola 公司的 M6805 和 Zilog 公司的 Z8 等。由于其应用领域极其广泛，各公司正在不断地改进其结构与性能，所以，这个系列的各类产品仍是目前国内外同类产品的主流。其中，MCS-51 系列产品最为明显。

第 4 阶段（1983 年至今）：16 位以上的单片机和超 8 位单片机并行发展阶段。这一阶段的单片机的主要特征是，一方面发展 16 位及以上单片机和专用单片机；另一方面不断完善高档 8 位单片机，改善其结构，以满足不同用户的需要。自 1982 年 16 位单片机诞生以来，现在已有 Intel 公司的 MCS-96、Mostek 公司的 MK68200、NS 公司的 HPC16040、NEC 公司的 783xx 和 TI 公司的 TMS9940 及 9995 系列等。16 位单片机的特点是 CPU 是 16 位的，运算速度普遍高于 8 位机，有的单片机寻址可达 1MB，片内含有 A/D 和 D/A 转换电路，支持高级语言。16 位单片机主要用于过程控制、智能仪表、家用电器及计算机外部设备的控制器等。

32 位单片机的字长为 32 位, 具有极高的运算速度。近年来, 随着家用电子系统、多媒体技术和 Internet 技术的发展, 32 位甚至 64 位单片机的生产前景看好, 其典型产品有 Motorola 公司的 M68300 和 Hitachi 公司的 SH 系列等。第 4 阶段单片机的一个重要标志是, 超 8 位单片机的各档机型都增加了直接存储器存取 (DMA) 通道、特殊串行接口等。这些 8 位单片机主要有 Intel 公司的 8044、87C252、80C252、UPI-452、Zilog 公司的 Super8 和 Motorola 公司的 68HC11 等。

单片机从操作处理的数据位数来看, 有 4 位、8 位、16 位、32 位甚至 64 位单片机。从技术上看, 8 位、16 位、32 位及 64 位单片机将会越来越受到人们的重视, 今后其应用会越来越多。但是衡量单片机, 不仅要看其性能指标, 还要考虑价格和开发周期等综合效益。在许多场合, 4 位和 8 位单片机已经可以满足要求, 如果使用高档的 16 位及 32 位甚至 64 位单片机, 可能会延长开发周期, 增加开发费用。因此, 在今后相当长的一段时间, 16 位、32 位及 64 位单片机只能不断扩大其应用范围, 并不能完全代替 8 位机。另外, 因为 8 位单片机在性能价格比上占有优势, 而且 8 位增强型单片机在速度和功能上可向现在的 16 位单片机挑战, 所以, 8 位单片机仍将在今后的一段时间里占主流地位。

尽管目前单片机品种繁多, 但其中最为典型、销量最多的仍当属 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机。它的功能强大, 兼容性强, 软硬件资料丰富。近年来, Intel 公司及其他公司在提高该系列产品的性能方面做了很多工作, 如低功耗控制、高级语言编程, 同时将 MCS-96 系列中的一些高速输出、脉冲宽度调制 (PWM)、捕捉定时器/计数器功能移植进来了。直到现在, MCS-51 仍不失为单片机中的主流机型, 因此, 本书主要介绍 MCS-51 系列单片机。

1.2.2 单片机的发展趋势

近年来单片机的发展趋势正朝着大容量高性能化、小容量低价格比、外围电路内装化、多品种化及 I/O 接口功能的增强、功耗降低等方向发展。

(1) CPU 的发展

单片机内部 CPU 功能的增强集中体现在数据处理速度和精度的提高, 以及 I/O 处理能力的提高。通过其他 CPU 改进技术, 如采用双 CPU 结构、增加数据总线宽度、采用流水线结构, 来加快运算速度, 提高处理能力等。

(2) 单片机大容量化

现在单片机片内存储器容量日益扩大。早期单片机片内 ROM 为 1~8KB, 片内 RAM 为 64~256B, 现在片内 ROM 可达 64KB, 片内 RAM 可达 4KB, 并具有掉电保护功能, I/O 接口也无需外加扩展芯片。许多高性能的单片机不但扩大了内部存储器容量, 而且扩大了 CPU 的寻址范围, 提高了系统的扩展功能。随着单片机程序空间的扩大, 单片机的空余空间可以嵌入实时操作系统 RTOS 等软件。这些将大大提高产品的开发效率和单片机的性能。

(3) 单片机内部的资源增多

现在很多单片机内部集成了一些常用的 I/O 接口电路 (包括并行接口和串行接口、多路 A/D 转换器、定时器/计数器、定时输出和捕捉输入、系统故障监视器、DMA 通道、PWM、LED 和 LCD 驱动器, 以及 D/A 输出电路等), 大大减少了单片机的外接电路, 从而减小了控制系统的体积, 提高了工作的可靠性。

(4) 引脚 (引线) 的多功能化、发展串行总线

随着单片机内部资源的增多, 所需的引脚也相应增加, 为了减少引脚数量, 单片机中普遍使

用多功能引脚,即一个引脚具有几种功能供用户选择。单片机的扩展方式从并行总线发展出各种串行总线,并被工业界接受,形成一些工业标准,如 I²C (Inter Integrated Circuit) 总线、CAN (Controller Area Network) 总线、USB (Universal Serial Bus) 总线接口等。它们采用 3 条数据总线代替现行的 8 位数据总线,从而减少了单片机的引脚总数,降低了成本。

(5) 单片机低廉化、超微型化

为了适应各个领域的应用需要,单片机正在向多层次、多品种的纵深方向发展。价格低廉的 4 位、8 位机也是单片机的发展方向之一,其用途是把以往数字逻辑电路组成的控制电路单片化。同时,专用型的单片机将得到大力发展,专业单片机能最大限度地简化系统结构,提高可靠性,提高资源利用率,大批量使用,最能体现经济效益。

单片机的内部一般采用模块式结构,在内核 CPU 不变的情况下,根据应用目标的不同,增减一定的模块和引脚就可以得到一个新的产品,于是便出现了一种超微型化的单片机。这类单片机的体积小,价格低廉,特别适用于家用电器、玩具等领域的应用。

(6) 低功耗

目前单片机普遍采用 CMOS 制造工艺,非 CMOS 工艺的单片机逐步被淘汰,同时增加了软件激发的空闲(等待)方式和掉电(停机)方式,极大地降低了单片机的功耗。低功耗的单片机能用电池供电,对于野外作业等领域的应用具有特殊意义。低功耗的技术措施可提高可靠性,降低工作电压,使抗噪声和抗干扰等各种性能全面提高。

(7) 单片机开发方式大为进步

现在单片机应用系统的开发方式走出了以功能实现为目标的初级阶段,进入全面解决系统可靠性的综合开发阶段,即从器件选择、硬件结构设计、电路板图设计、软件设计等各方面综合解决系统的可靠性。

另外,由于单片机片内 Flash ROM 的使用,替代了过去的片内掩膜 ROM,使得开发单片机应用不再需要仿真器。如今单片机的片内 Flash ROM 都可以在线编程,即在线写入、擦除、下载程序。Flash ROM 的写入、擦除次数可达 10 万次以上,故开发过程中可不必顾及寿命问题。在目标板的单片机中直接运行应用程序,是在真实的硬件环境下运行,比在使用仿真器的单片机上运行效果要真实得多。

(8) 多机与网络系统的支持技术日益成熟

近年来推出的网络系统总线体现了单片机现场控制网络总线的特点,它与芯片间串行总线相配合,能灵活方便地构成各种规模的多机系统和网络系统。

1.2.3 单片机产品近况

目前主要的单片机供应商有美国的 Intel、Motorola (Freescale)、Zilog、NS、Microchip、Atmel 和 TI,荷兰的 Philip,德国的 Siemens,日本的 NEC、Hitachi、Toshiba 和 Fujitsu,韩国的 LG 及中国台湾地区的凌阳等公司。对于 8 位、16 位和 32 位单片机,各大公司有很多不同的系列,每个系列又有繁多的品种。随着技术的发展,单片机可实现的功能会越来越多,也会不断地有新的单片机产品问世。下面对部分常用的单片机系列产品加以介绍。

MCS-51 系列单片机是 Intel 公司在总结 MCS-48 系列单片机的基础上于 20 世纪 80 年代初推出的高性能 8 位单片机。表 1-1 所示为 MCS-51 系列单片机的特性。

表 1-1 MCS-51 系列单片机常用产品特性一览表

型号	片内存储器		I/O 接口线	定时器/ 计数器	中断源	串行接口	A/D 转换器	PWM
	程序存储器	数据存储器						
8031		128B	32	2×16 位	5	UART		
8051	4KB ROM	128B	32	2×16 位	5	UART		
8751	4KB EPROM	128B	32	2×16 位	5	UART		
80C31		128B	32	2×16 位	5	UART		
80C51	4KB ROM	128B	32	2×16 位	5	UART		
87C51	4KB EPROM	128B	32	2×16 位	5	UART		
8032		256B	32	2×16 位	6	UART		
8052	8KB ROM	256B	32	3×16 位	6	UART		
8752	8KB EPROM	256B	32	3×16 位	6	UART		
80C232		256B	32	3×16 位	7	UART		
80C252	8KB ROM	256B	32	3×16 位	7	UART		
87C252	8KB EPROM	256B	32	3×16 位	7	UART		
80C552		256B	40	3×16+WDT	15	UART, I ² C	8×10 位	2×8 位
83C552	8KB ROM	256B	40	3×16+WDT	15	UART, I ² C	8×10 位	2×8 位
87C552	8KB EPROM	256B	40	3×16+WDT	15	UART, I ² C	8×10 位	2×8 位
80C592		512B	40	3×16+WDT	15	UART, CAN	8×10 位	2×8 位
83C592	16KB ROM	512B	40	3×16+WDT	15	UART, CAN	8×10 位	2×8 位
87C592	16KB EPROM	512B	40	3×16+WDT	15	UART, CAN	8×10 位	2×8 位

MCS-51 系列单片机按片内有无程序存储器，分为 3 种基本品种：8051、8751 和 8031。这 3 种基本产品采用 HMOS 工艺，即高速度、高密度、短沟道 MOS 工艺。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，适合于大批量的产品。8751 单片机片内含有 4KB 的 EPROM，单片机应用开发人员可以把编好的程序用开发机和编程器写入其中，需要修改时，可以先用紫外线擦除器擦除，然后再写入新的程序。8031 单片机片内没有程序存储器，当在单片机芯片外扩展 EPROM 后，就相当于一片 8751，此种应用方式方便、灵活。这 3 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。

8xC51 系列单片机是 MCS-51 中的一个子系列，是一组高性能兼容型单片机。其中，x 规定为程序存储器的配置：0 表示无片内 ROM，3 表示片内为掩膜 ROM，7 表示片内为 EPROM/OTP ROM，9 表示片内为 Flash ROM。自从 Intel 公司对 MCS-51 系列单片机实行技术开放政策后，许多公司如（Philips、Siemens、Atmel 和 Fujitsu 等）都在 80C51 的基础上推出了与 80C51 兼容的新型单片机，通称为 80C51 系列。因此，现在的 80C51 系列已不局限于 Intel 公司一家。其中，Philips 公司的 80C51 系列单片机性能卓著，产品齐全，最具有代表性。此系列的典型产品还有 80C552，它与 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机完全兼容，具有相同的指令系统、地址空间和寻址方式，采用模块化的系统结构。

由于 80C51 已经成为目前主要单片机流行系列，因而本书主要以 80C51 为例介绍单片机的原理及系统设计方法。

1.3 单片机的应用领域

单片机的应用十分广泛,具体包括以下领域。

1. 自动化过程控制

由于单片机的 I/O 接口线多,位操作指令丰富,逻辑操作功能强,所以特别适用于工业自动化过程控制,可构成各种工业控制系统、自适应控制系统、数据采集系统等。单片机既可以作为主机控制,也可以作为分布式控制系统的前端。在作为主机使用的系统中,单片机作为核心控制部件,用来完成模拟量和开关量的采集、处理和计算(包括逻辑运算),然后输出控制信号。另外,因为单片机有丰富的逻辑判断和位操作指令,所以广泛应用于开关量控制、顺序控制及逻辑控制系统,如锅炉控制、电机控制、机器人控制、交通信号灯控制、浓度控制、数控机床控制及汽车点火、变速、防滑制动、引擎控制等系统。

2. 智能化仪器仪表

单片机的广泛应用使仪器仪表智能化,提高了测量速度和测量精度,加强了控制功能,简化了仪器仪表的硬件结构,便于使用、维修和改进,促进仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化、柔性化发展。例如,温度、压力、流量、浓度显示、控制仪表等系统中,通常采用单片机软件编程技术,使长期以来测量仪表中的误差修正、非线性化处理等难题迎刃而解。单片机在仪器仪表中的应用非常广泛,例如,数字温度控制仪、智能流量计、红外线气体分析仪、激光测距仪、数字万能表、智能电表及各种医疗器械、电子秤等。同时,在许多传感器中也安装了单片机,即智能传感器,对各种被测参数进行现场处理。

3. 机电一体化产品

单片机使传统的机械产品结构简化,控制智能化,构成新一代的机电一体化产品(机电一体化产品是指集机械技术、微电子技术、自动化技术和计算机技术于一体,具有智能化特征的机电产品,是机械工业发展的方向)。单片机作为机电产品中的控制器,能充分发挥其体积小、可靠性高、功能强、安装方便等优点,大大强化了机器的功能,提高了机器的自动化、智能化程度。例如,在电传打字机的设计中,由于采用了单片机,取代了近千个机械部件;在数控机床的简易控制机中,采用单片机可提高可靠性及增强功能,降低控制机的成本。

4. 家用电器设备

由于单片机的价格低廉,体积小,逻辑判断、控制功能强,并且内部具有定时器/计数器,所以广泛用于家电设备,例如,空调器、电冰箱、电视机、音响设备、VCD/DVD 机、微波炉、高级智能玩具、IC 卡、手机、电子门锁、防盗报警器等。由于家用电器涉及千家万户,生产规模大,配上单片机后深受用户的欢迎,因此它的应用前途十分广阔。

5. 智能化接口

现在通用计算机外部设备上已实现了单片机的键盘管理、打印机、绘图仪控制、磁盘驱动器控制等,并实现了图形终端和智能终端。还有许多用于外部通信、数据采集、多路分配管理、驱动控制等的接口,如果这些外部设备和接口全部由主机管理,会造成主机负担过重,运行速度降低,影响各种接口的功能。采用单片机专用接口设备进行控制和管理,使主机和单片机能并行工作,不仅大大提高了系统的运算速度,而且通过单片机还可以对接口信息进行预处理,如数字滤波、线性化处理、误差修正等,减少主机和接口界面的通信密度,极大地提高了接口控制功能。

例如，在通信接口中采用单片机可以对数据进行编码/译码、分配管理、接收/发送控制等处理。

6. 军用单片机

一般微处理器和有关元器件分为军用和民用两级，民用产品主要用于办公室及机房环境，工作温度在 $0^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ ；军用产品要求在恶劣环境条件下稳定工作，工作温度在 $-65^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ ，主要用于雷达、火炮、控制、航天导航系统和鱼雷制导系统通信、舰载机、弹道飞行控制等。

1.4 单片机中使用的数制及常用的语言

1. 单片机中使用的数制

计算机数据信息通常是以数字、字符、符号、表达式等方式出现的。1940年，现代著名数学家、控制学者罗伯特·维纳（Norbert Wiener，美国，1894年~1964年）首先倡导使用二进制编码形式，解决了数据在计算机中的表示，保证了计算机的可靠性、稳定性和高速性。单片机中常用的数制还有八进制和十六进制等。

二进制（Binary）是用“0”和“1”两个数字及其组合来表示任何数，其进位规则是“逢2进1”。它简单方便，易于电子方式实现，例如，用高电平表示“1”，用低电平表示“0”。计算机中全部采用的是二进制数。

2. 单片机中使用的BCD码和ASCII码

除了数值外，英文字母、符号、汉字、声音、图像等数据在计算机内部也采用二进制数的形式来编码。常见的编码有BCD码、ASCII码等。

（1）BCD码

因为二进制数不符合人们的使用习惯，所以在计算机输入/输出时通常使用十进制数表示，这就需要实现十进制数和二进制数之间的转换。通常采用二进制编码十进制数，简称为BCD码（Binary Coded Decimal）。

BCD码是用4位二进制数表示1位十进制数，只要将每位十进制数用适当的4位二进制码代替即可。BCD码的表示方法有很多种，最常用的是标准的8421码，其码位的权值自左向右依次为8、4、2、1，故而得名；另外还有代码变换连续的格雷码，以及用8421码加上0011H得到的余三码等。表1-2给出了10个十进制数字的3种编码。

表 1-2

10个十进制数字的3种编码

十 进 制 数	8421 码	格 雷 码	余 三 码
0	0000	0000	0011
1	0001	0001	0100
2	0010	0011	0101
3	0011	0010	0110
4	0100	0110	0111
5	0101	0111	1000
6	0110	0101	1001
7	0111	0100	1010
8	1000	1100	1011
9	1001	1101	1100

(2) ASCII 码

计算机有时需要处理字符或字符串,因此计算机必须能用二进制数来表示字符。

计算机普遍采用的字符编码是美国标准信息编码(American Standard Coded for Information Interchange, ASCII)。ASCII 码是一种 8 位代码,其最高位一般用于奇偶校验,其余 7 位用于对 128 个字符进行编码。附录 B 中列出了 ASCII 码表。

汉字在计算机内部也是以二进制数代码形式表示的。1981 年,我国制定了国家标准 GB2312—80(信息交换用汉字编码字符集——基本集),为 6763 个常用汉字规定了代码,规定每个汉字占两个字节,每个字节用 8 位二进制数来表示。1995 年又颁布了《汉字编码扩展规范》(GBK)。GBK 与 GB2312—80 所对应的内容标准兼容,同时,在字汇一级支持 ISO/IEC10646—1 和 GB13000—1 的全部中、日、韩(CJK)统一汉字字符,共计 20902 字,把文字、图形、图像、声音、动画等信息变成按一定规则编码的二进制数。

3. 单片机中常用的语言

单片机中常用的语言包括机器语言、汇编语言和高级语言。

(1) 机器语言

机器语言是用二进制代码表示的计算机能够直接识别和执行的一种机器指令的集合。通常由操作码和操作数两部分组成。其格式如下:

操作码	操作数
-----	-----

其中,操作码指出计算机所执行的是何种操作,是该指令的功能;操作数则指出在指令操作过程中所需的操作数据,即操作对象。例如,下面是一条 MCS-51 的机器指令:

01110100 00000101 (74H、05H)

指令的前 8 位是操作码部分,要求计算机将指令后面的 8 位数 05H 送入累加器 A。

对于某种特定的计算机而言,其所有机器指令的集合称为该计算机的机器指令系统。机器指令系统及其使用规则构成这种计算机的机器语言。完成特定功能的一系列机器指令的有序集合称为机器语言程序。综上所述,机器语言具有以下特征:

- ① 它是唯一能被计算机直接识别并执行的计算机语言;
- ② 它是由“0”“1”代码构成的语言,和自然语言相差甚远,不便于阅读和理解;
- ③ 它是面向机器的语言(低级语言)。

单片机的机器指令见附录 A。

(2) 汇编语言

为了克服机器语言难以掌握和编程的缺点,一般采用容易记忆的助记符来表示指令、数据及地址,例如,用 ADD、SUB、JMP 等英文或其缩写取代原来的二进制操作码,来表示加、减、转移等操作。这种用助记符来表示的机器指令,称为汇编指令,又称为符号指令,是机器指令符号化的表示。前面所列举的传送指令,若用汇编指令书写应为

MOV A, #05H

其中,MOV 为传送指令操作码的助记符,A 是目的操作数,#05H 是源操作数,指令的功能是将数 05H 传送到累加器 A 中。

按照严格的语法规则用汇编语言编写的程序又称汇编语言源程序。由于计算机不能直接识别和执行汇编语言源程序,必须把源程序翻译成机器语言程序才能执行。这种将汇编语言源程序翻译成目标程序的语言加工程序称为汇编程序。使用汇编程序进行翻译的过程称作汇编。汇编程序将源程序翻译成机器语言后,计算机系统才能执行。其过程如图 1-1 所示。

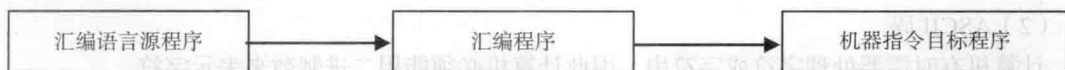


图 1-1 源程序转换成目标

综上所述，汇编语言具有以下特征：

- ① 在机器指令中使用助记符，较为接近自然语言，容易编程、阅读和记忆；
- ② 汇编程序是一对一的转换，生成的目标代码效率高（时空性能好）；
- ③ 适合于在硬件层次上开发程序。

（3）高级语言

汇编语言仍然烦琐、难懂。高级程序设计语言则更接近人类自然语言的语法习惯，与计算机硬件无关，用户易于掌握和使用。目前应用的高级语言主要有 C、C++ 等。使用高级语言书写的源程序也必须翻译成机器指令目标程序。完成此翻译任务的程序称为编译程序。编译程序和汇编程序的区别为，汇编程序是一对一的转换，而编译程序则是一对多的转换。综上所述，高级语言具有如下特征：

- ① 更接近自然语言，编程、阅读更容易；
- ② 与计算机硬件无关，机器是否支持该高级语言，取决于有无相应的编译软件；
- ③ 生成的目标代码效率低。

习 题

1. 微处理器、微型计算机、微处理机、CPU、单片机之间有何区别？
2. 单片机除了这一名称之外，还可以被称为什么？
3. 单片机主要应用在哪些领域？
4. 8051 和 8751 单片机的主要区别是什么？
5. 单片机根据其基本操作处理的位数可分为哪几种类型？
6. 单片机的发展大致分为哪几个阶段？
7. MCS-51 系列单片机的基本型芯片分为哪几种？它们的差别是什么？
8. MCS-51 系列单片机与 80C51 系列单片机的异同点是什么？