



普通高等教育 电气工程 自动化 系列规划教材



浙江省重点教材

Principle and Application of
Single-chip Microcomputer

单片机原理 与应用

◎ 主编 项新建



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育电气工程/自动化系列规划教材
浙江省重点教材

单片机原理与应用

主编 项新建
参编 蔡炯炯 郑永平



机械工业出版社

本书为浙江省重点教材，以 80C51 系列单片机为主线，详细地介绍了单片机的组成、工作原理、应用技术、仿真方法和开发流程。内容有：单片机的定义和发展，单片机硬件（CPU、存储器、并行口、中断系统、定时器/计数器、串行口系统扩展接口以及 A-D/D-A 转换技术等），单片机软件（指令系统、汇编语言软件设计和 C 语言软件设计），单片机集成开发环境软件 Keil μ Vision5，单片机仿真软件 Proteus8，单片机应用系统实例等。

本书注重原理与应用紧密结合；突出单片机软硬件的基本原理，体系结构以及功能单元的完整性；以构建单片机应用系统为目标，重点介绍了系统扩展配置方法以及仿真开发流程。

本书主要作为高等院校电类专业单片机原理与应用类课程的教材，也可作为其他专业学生、从事单片机应用系统开发的工程技术人员以及单片机爱好者的自学与参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

单片机原理与应用/项新建主编. —北京：机械工业出版社，2017.8
普通高等教育电气工程/自动化系列规划教材 浙江省重点教材
ISBN 978-7-111-57268-8

I. ①单… II. ①项… 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（2017）第 160316 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：王雅新 责任编辑：王雅新 路乙达 刘丽敏
责任校对：肖琳 封面设计：张静
责任印制：孙炜
北京中兴印刷有限公司印刷
2017 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm·14.5 印张·351 千字
标准书号：ISBN 978-7-111-57268-8
定价：32.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

金书网：www.golden-book.com

前 言

20 世纪 70 年代，单片机的诞生标志着嵌入式计算机系统的出现。而作为最典型的嵌入式系统，它的成功应用推动了微控制器的发展。

单片机在我国大规模应用已有 30 余年历史，已成为电子系统智能化最普遍的应用手段。在全国高等院校工科专业中，已普遍开设了单片机及相关课程。课程设计、毕业设计、各种电子设计竞赛等实践环节，单片机系统也都有着广泛的应用。单片机已成为工科学生，特别是电类专业学生必须掌握的一门专业技术。因此，出版一本高等工科院校单片机及其相关课程的优秀教材具有十分重要的意义。

在品种众多的单片机中，80C51 系列单片机以其完整的系统结构、规范的特殊功能寄存器、强大的指令系统以及丰富的仿真和开发工具，成为单片机中的主流机型。因此，本书以它作为主线介绍单片机原理与应用。

全书共分 10 章，第 1 章介绍了单片机的基本概念，第 2 章介绍了 80C51 单片机基本原理与结构，第 3 章介绍了 80C51 单片机指令系统、汇编语言和 C51 语言程序设计，第 4 章介绍了 80C51 单片机集成开发环境 Keil 和仿真软件 Proteus，第 5 章介绍了 80C51 单片机基本输入输出接口，第 6 章介绍了 80C51 单片机的中断系统，第 7 章介绍了 80C51 单片机定时器/计数器，第 8 章介绍了 80C51 单片机串行接口，第 9~10 章介绍了单片机扩展接口技术和应用系统实例。

参加本书编写的教师有多年从事单片机原理与应用的教学以及科技开发的工作经历，积累了大量的理论与实践经验，为编写本书打下了坚实的基础。本书原理部分的叙述力求体现内容的系统性和完整性，同时简单明了、深入浅出、循序渐进；应用部分的介绍完全取材于工程实例，突出实用性和完整性，有较高的参考价值。

本书的编写得到了浙江省重点教材建设项目的资助，并参考了同行大量的研究成果，研究生施盛华、肖金辉、金玮、黄佩也做了大量的文稿整理工作，在此，一并表示衷心的感谢！

由于时间仓促，水平有限，书中错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2017 年 3 月，杭州

目 录

前 言	
第 1 章 绪论	1
1.1 单片机	1
1.1.1 单片机的定义	1
1.1.2 单片机的发展历程	1
1.1.3 80C51 系列单片机简介	4
1.1.4 单片机的应用	5
1.2 嵌入式系统	6
1.2.1 嵌入式系统与通用计算机	6
1.2.2 嵌入式系统与单片机	7
1.3 学习安排	8
本章小结	9
习题	9
第 2 章 80C51 单片机的基本结构与 工作原理	10
2.1 80C51 单片机的基本组成	10
2.2 80C51 单片机的基本特性与引脚 功能	12
2.2.1 80C51/80C52 的基本特性	12
2.2.2 引脚功能	12
2.3 80C51 单片机 CPU 的结构和时序	14
2.3.1 中央控制器	14
2.3.2 运算器	15
2.3.3 时钟电路及 CPU 的工作时序	17
2.4 80C51 单片机存储器结构和地址 空间	20
2.4.1 程序存储器	21
2.4.2 数据存储器	22
2.5 80C51 单片机布尔(位)处理器	25
2.6 80C51 单片机的工作方式	26
2.6.1 复位方式	26
2.6.2 低功耗工作方式	27
本章小结	28
习题	28
第 3 章 80C51 单片机指令系统、汇编 语言及 C51 程序设计	30
3.1 80C51 单片机程序设计概述	30
3.1.1 指令和指令系统的概念	30
3.1.2 80C51 汇编语言程序设计概述	30
3.1.3 Keil C51 语言程序设计概述	31
3.2 80C51 汇编语言指令系统与程序 设计	31
3.2.1 80C51 汇编语言指令格式	31
3.2.2 80C51 汇编语言指令系统	32
3.2.3 80C51 汇编语言程序设计	43
3.3 Keil C51 程序设计	50
3.3.1 Keil C51 基础	50
3.3.2 Keil C51 的运算符	55
3.3.3 Keil C51 程序设计	59
3.4 程序设计实例	67
本章小结	68
习题	69
第 4 章 开发环境 Keil μ Vision5 和 仿真软件 Proteus8.0	70
4.1 Keil μ Vision5 使用	70
4.2 Proteus 8.0 ISIS 使用	81
4.2.1 Proteus 8.0 ISIS 的基本性能 概述	81
4.2.2 Proteus8.0 ISIS 的编辑环境	82
4.2.3 Proteus8.0 电路原理图设计	83
4.3 Keil 和 Proteus 联调	90
4.3.1 Keil C 编程与编译	90
4.3.2 Proteus 仿真	91
4.3.3 Keil 大工程的建立	93
本章小结	96
习题	96

第 5 章 80C51 单片机基本输入输出接口	97	7.3 定时器/计数器 T2	133
5.1 输入输出端口基本原理	97	7.3.1 定时器/计数器 T2 中的特殊功能寄存器	134
5.1.1 P0 口	97	7.3.2 定时器/计数器 T2 的工作方式	135
5.1.2 P1 口	99	7.4 看门狗定时器	137
5.1.3 P2 口	99	7.5 定时器/计数器的编程基础	138
5.1.4 P3 口	100	7.5.1 定时器/计数器溢出率的计算	138
5.2 输出电路设计	101	7.5.2 定时器/计数器的编程基础	138
5.2.1 驱动 LED	101	7.6 定时器/计数器应用实例	138
5.2.2 驱动蜂鸣器	102	7.6.1 实例 1	138
5.2.3 驱动继电器	102	7.6.2 实例 2	140
5.2.4 驱动七段 LED 数码管	103	7.6.3 实例 3	141
5.2.5 多个七段数码管的应用	105	本章小结	145
5.3 输入电路设计	107	习题	145
5.3.1 输入设备和电路设计	107	第 8 章 80C51 单片机串行接口	146
5.3.2 抖动与去抖动	107	8.1 串行通信基本知识	146
5.3.3 矩阵键盘	108	8.1.1 数据通信	146
5.4 应用实例	110	8.1.2 串行通信的传输方式	146
5.4.1 蜂鸣器发声	110	8.1.3 异步通信和同步通信	147
5.4.2 单只数码管循环显示 0~9	111	8.1.4 通信协议和单机通信	148
5.4.3 左右流水灯实验	112	8.1.5 RS-232C	149
本章小结	115	8.2 80C51 单片机串行接口的结构和工作原理	150
习题	116	8.2.1 串行接口结构	150
第 6 章 80C51 单片机中断系统	117	8.2.2 传送过程工作原理	151
6.1 中断系统概念与原理	117	8.2.3 串行接口的控制寄存器	151
6.1.1 中断、中断源及中断优先权	117	8.2.4 串行接口的工作方式与编程基础	153
6.1.2 80C51 中断系统结构与控制	118	8.3 串行接口的应用实例	155
6.2 中断系统编程基础	121	8.3.1 实例 1	155
6.2.1 中断系统汇编语言编程基础	121	8.3.2 实例 2	158
6.2.2 中断系统 C51 语言编程基础	123	本章小结	161
6.3 中断系统应用实例	123	习题	161
6.3.1 外部中断实验	123	第 9 章 80C51 单片机系统扩展与接口技术	162
6.3.2 数码管计数实验	125	9.1 I ² C 总线接口扩展技术	162
本章小结	128	9.2 I ² C 总线扩展 E ² PROM AT24C02 技术	167
习题	128	9.2.1 AT24C02 简介	167
第 7 章 80C51 单片机定时器/计数器	129	9.2.2 AT24C02 的应用实例	170
7.1 定时器/计数器的基本原理和结构	129	9.3 SPI 总线接口扩展技术	176
7.2 定时器/计数器 T0/T1	130	9.3.1 SPI 总线简介	176
7.2.1 工作方式寄存器 TMOD	130		
7.2.2 控制寄存器 TCON	131		
7.2.3 4 种工作方式	131		

9.3.2 接口定义	176	10.1.4 硬件设计	199
9.3.3 SPI 的主要特点	178	10.1.5 软件设计	199
9.4 SPI 总线扩展实时时钟电路 DS1302 技术	178	10.1.6 调试仿真	205
9.4.1 DS1302 简介	178	10.2 直流电动机单闭环调速控制系统 设计	205
9.4.2 DS1302 应用实例	180	10.2.1 设计目的	205
9.5 A-D 转换接口技术	184	10.2.2 设计说明	206
9.5.1 A-D 转换简介	184	10.2.3 设计方案	206
9.5.2 ADC0809 芯片基本原理与结构	185	10.2.4 硬件设计	207
9.5.3 A-D 转换器应用实例	186	10.2.5 软件设计	208
9.6 D-A 转换接口技术	190	10.2.6 实物调试	215
9.6.1 D-A 转换简介	190	本章小结	216
9.6.2 DAC0832 芯片基本原理与结构	190	习题	216
9.6.3 D-A 转换器应用实例	191	附录	217
本章小结	193	附录 A I ² C 程序	217
习题	193	A.1 I ² C 头文件 (i2c.h)	217
第 10 章 80C51 单片机应用系统		A.2 I ² C 源文件 (i2c.c)	217
实例	194	附录 B DS1302 程序	219
10.1 基于 DS18B20 的数字温度计设计	194	B.1 DS1302 头文件 (DS1302.h)	219
10.1.1 设计要求	194	B.2 DS1302 源文件 (DS1302.c)	220
10.1.2 设计说明	194	参考文献	223
10.1.3 设计方案	194		

第1章

绪 论

1.1 单片机

1.1.1 单片机的定义

单片机 (Micro Control Unit, MCU) 是早期 Single Chip Microcomputer 的直译, 它忠实地反映了早期单片微机的形态和本质。

随着大规模集成电路技术的发展, 可以将 CPU、RAM、ROM, 输入/输出接口 (并行 I/O、串行 I/O)、定时器/计数器、中断控制、系统时钟及总线等计算机的主要部件, 集成在一块集成电路芯片上这就组成了单片机, 如图 1-1 所示。

单片机从功能和形态来说都是作为控制领域应用的要求而诞生的, 按照面向对象突出控制的要求, 有的单片机在片内还会选择性地集成许多其他外围电路及外设接口, 这其中着力扩展各种控制功能, 如模数的相互转换 (A-D, D-A)、脉宽调制 (PWM)、计数器捕获/比较逻辑 (PCA)、高速 I/O 口、WDT 等, 这已经突破了传统意义上的单片机结构。所以国际上更准确地反映单片机本质的叫法应是微控制器 (Microcontroller)。



图 1-1 单片机

根据单片机的结构和微电子设计的特点, 许多应用系统中虽然往往是以单片机为核心, 但是它已完全融入应用系统之中, 故而也有将单片机称为嵌入式微控制器 (Embedded Microcontroller) 的。

单片机虽然只是一个芯片, 但从组成和功能上看, 它已具有了微机系统的含义, 是一个单片形态的微控制器。在我国, 因为单片机的叫法甚为普遍, 因此在本书中还是将其称为单片机。

1.1.2 单片机的发展历程

1976 年, Intel 公司研制出 MCS-48 系列 8 位单片机。MCS-48 系列单片机内部集成了 8 位 CPU、多个并行 I/O 口、8 位定时器/计数器、小容量的 RAM 和 ROM 等, 没有串行通信接口, 操作简单。它以体积小、功能全、价格低等特点, 赢得了广泛的应用, 为单片机的发

奠定了基础，成为单片机发展进程中的一个重要阶段。

在 MCS-48 成功刺激下，许多半导体公司和计算机公司争相研制和发展自己的单片机系列。其中有 Motorola 公司的 6801、6802，Zilog 公司的 Z-8 系列，Rockwell 公司的 6501、6502 等。此外日本的 NEC 公司，日立公司及 EPSON 公司等也都相继推出了各具特色的单片机品种。

1980 年，Intel 公司在 MCS-48 系列单片机的基础上，推出了 MCS-51 系列 8 位单片机，这就是大名鼎鼎的“51 单片机”的祖先。MCS-51 系列单片机比 MCS-48 系列单片机功能明显提高，内部增加了串行通信接口，具备多级中断处理系统，定时器/计数器由 8 位扩展为 16 位，扩大了 RAM 和 ROM 的容量。MCS-51 系列单片机因为性能可靠、简单实用、性价比高而深受欢迎，被誉为“最经典的单片机”。尽管目前单片机的品种很多，但直到现在，MCS-51 仍不失为单片机中的主流机型。国内尤以 MCS-51 系列单片机应用最广，各高校单片机教材都是以 MCS-51 系列 8 位单片机为内容教授单片机课程。

1983 年，16 位单片机 MCS-96 问世，MCS-96 不但字长增加一倍，而且还具有 4 路或 8 路的 10 位 A-D 转换功能，此外，在其他性能方面也有一定的提高，主要应用于比较复杂的控制系统以及早期嵌入式系统。但因为性价比不理想并未得到普及应用。

近年来，随着 ARM 处理器在全球范围的流行，以 STM32 为代表的 32 位微控制器已经开始成为中高端嵌入式应用和设计的主流。一方面，由于手机、数码相机等手持设备以及各种信息家电等有更高性能要求的嵌入式应用设备的推出，庞大的多媒体数据必然需要更大的存储空间。目前，许多 32 位微控制器都可以使用 SDRAM，因此可极大地降低使用更大容量数据存储器的成本。同时，有越来越多的传统应用也与时俱进地提出数字化和“硬件软化”的要求，它们对计算性能的要求也超出绝大多数 8 位或 16 位微控制器能提供的范围。此外，当前许多嵌入式应用系统需支持互联网接入的应用，在 MCU 上建立 RTOS 运行 TCP/IP 或其他通信协议成为一种现实需求，而只有 32 位微控制器可以完美支持 RTOS。另一方面，由于 IT 技术发展的推动，随着高端 32 位 CPU 价格的不断下降和开发环境的成熟，促使 32 位嵌入式处理器日益挤压原先由 8 位微控制器主导的应用空间，32 位 ARM 体系结构已经成为一种事实上的标准。有更多、更复杂特点和功能需求的便携式电子设备，正促使嵌入式系统工程考虑用 32 位 MCU 取代 8/16 位 MCU。再有，越来越多的设计师认识到，转用 32 位架构不仅能提升性能，还能降低相同成本下的系统功耗，并节约总成本以及缩短产品上市时间。这个转变为设计师提供了可随着产品的性能和需求不断扩展而升级的方案。

尽管由于市场对多功能产品需求的增加和 IT 技术的推动，32 位 MCU 产品日益成为市场的热点，但目前 8 位 MCU 仍然是技术市场的主流之一，并且还有相当广阔的应用空间和旺盛的生命力。

综观近 40 年单片机的发展历程，它正朝多核、多样、多功能、高速、低功耗、高存储容量及结构兼容方向发展。

1. 多核化

随着嵌入式应用的深入，特别是在数字通信和网络中的应用，对处理器提出了更高的要求。为适应这种情况，现在已出现多核结构的处理器。

Freescale 公司研发的 MPC8260 PowerQ*u*iCC II 融合了两个 CPU——嵌入式 PowerPC 内核和通信处理模块（CPM）。由于 CPM 分担了嵌入式 PowerPC 核的外围工作任务，这种双处

理器体系结构的功耗反而要低于传统体系结构的处理器。具有类似结构的还有 Hitachi 公司的 SH7410、SH7612 等，它们用于既需要 MCU 又需要 DSP (Digital Signal Processor) 功能的场合，比使用单独 MCU 和 DSP 的组合提供了更优越的性能。Infineon 公司推出的 TC10GP 和增强型 TC1130 则是三核 (TriCore) 结构的微处理器，它同时具备 RISC、CISC 和 DSP 功能，是一种建立在片上系统 (SoC) 概念上的结构。

2. 多样化

现在单片机的品种繁多，各具特色。兼容 89C51 结构和指令系统有 ATMEL、PHILIPS、Winbond 及 STC 系列单片机，而 Microchip 公司的 PIC 精简指令集 (RISC) 也有着强劲的发展势头。HOLTEK 公司近年的单片机产量与日俱增，由于低价质优而占据一定的市场份额。此外，还有 MSP430 系列、Motorola 公司的产品及日本几大公司的专用单片机。在一定的时期内，这种情形将得以延续，将不存在某个单片机一统天下的垄断局面，走的是依存互补、相辅相成、共同发展的道路。

3. 多功能化

MCU 已可集成越来越多的内置部件，成为名副其实的单片机。

1) 存储器类，包括程序存储器 MROM、OTP ROM、EPROM、E²PROM、FlashROM 和数据存储器 SRAM、SDRAM、SSRAM。

2) 串行接口类，包括 UART、SPI、I²C、CAN、IR、Ethernet、HDLC。

3) 并行接口类，包括 Centronics、PCI、IDE、GPIO 等。

4) 定时和时钟类，包括定时器/计数器、实时时钟 (RTC)、Watchdog、Clock out。

5) 专用和外围接口类，包括 Comparer (比较器)、ADC、DAC、LCD 控制器、DMA、PWM、PLL、MAC、温度传感器等。

有的 MCU，例如 NS 公司的 MCU，已把语音、图像部件也集成到单片机中。Cygnal 公司推出的 C8051F 系列 MCU 在一个芯片中集成了构成数据采集系统或控制系统所需要的几乎所有的数字和模拟外围接口和功能部件，这种混合信号芯片实质上已构成了片上系统 (SoC)。

4. 低功耗

现在推出的 MCU 功耗越来越低，很多 MCU 都有多种工作方式，包括等待、暂停、休眠、空闲、节电等工作方式。例如 PHILIPS 的 P87LPC762，空闲状态下的电流为 1.5mA，而在节电方式下电流只有 0.5mA。很多 MCU 还允许在低振荡频率下以极低的功耗工作。例如，P87LPC764 在 32.768kHz 低频下，正常工作电流 $I_{dd} = 16\mu\text{A}$ ($V_{dd} = 3.6\text{V}$)，空闲模式下 $I_{dd} = 7\mu\text{A}$ ($V_{dd} = 3.6\text{V}$)。

5. 更宽工作电压

扩大电源电压范围以及在较低电压下仍然能工作是现在新推出的 MCU 的一个特点。目前，一般 MCU 都可以在 3.3~5.5V 的范围内工作，有些产品则可以在 2.2~6V 的范围内工作。例如，TI 的 MSP430X11X 系列的工作电压可以低至 2.2V；Motorola 针对长时间处在待机模式的装置所设计的超省电 HCS08 系列 MCU，已经把可工作的最低电压降到了 1.8V。

6. 更先进的工艺

现在 MCU 的封装水平已大大提高，有越来越多的 MCU 采用了各种贴片封装形式，以满足便携式手持设备的需要。Microchip 公司推出了目前世界上体积最小的 6 引脚

PIC10F2XX 系列 MCU, Microchip 的 MCU 灌电流可达 20~25mA。在过去一般 MCU 中,电源与地引脚是安排在芯片封装的对角上,即左上、右下或右上、左下位置上。这种安排会使电源噪声对 MCU 的内部电路造成的干扰相对较大。现在很多 MCU 都把电源和地引脚安排在两个相邻的引脚上。这样既降低了干扰,还便于在印制电路板上对去耦电容进行布线,降低系统的噪声。

1.1.3 80C51 系列单片机简介

80C51 系列单片机是新一代 51 单片机的代表,它以 CMOS 化为特色,以完善的单片机的控制功能为己任。其中 89C51 单片机为内含 E²PROM 的产品,89S51 为采用 Flash 存储器,能实现在系统编程的产品 (ISP);89A51 为采用 Flash 存储器、能实现在应用编程的产品 (IAP)。下面介绍 80C51 系列单片机主要特点。

1) 采用 8 位地址的片内数据存储器,寻址范围为 256B,其中 00H~7FH 为 128B 的内部 RAM,用来存放用户的随机数;在 80H~FFH 范围内,离散地分布着 21 个特殊功能寄存器,其中 11 个特殊功能寄存器具有位寻址能力。在内部 RAM 中,00H~1FH 可分为 4 个寄存器工作区,寄存器工作区由选择指令进行切换,从而有效地提高了 CPU 的现场保护能力和实时响应速度;20H~2FH 单元可进行位寻址。

2) 4 个 8 位并行 I/O 接口可用于地址和数据的传送,也可与 8243、8155 等连接,进行外部 I/O 接口的扩展。串行 I/O 接口是一个全双工串行通信口,可用于数据的串行接收和发送,这为构成串行通信网络提供了方便。

3) 两个定时器/计数器均为 16 位,且有 4 种工作方式,这样既提高了定时/计数范围,又使用户使用灵活方便。

4) 设置有 2 级中断优先级,可接收 5 个中断源的中断请求,中断优先级别可由用户定义,这样就使单片机很适合用于数据采集与处理、智能仪器仪表和工业过程控制中。

5) 有 111 条指令,可分为 4 大类,使用了 7 种寻址方式。这些指令中 44% 为单字节指令,41% 为双字节指令,15% 为三字节指令。若用 12MHz 的晶体频率,50% 的指令可在 1 μ s 内执行完毕,40% 的指令可在 2 μ s 内执行完毕。此外,还设有减法、比较和 8 位乘、除法指令。乘、除法指令的执行时间仅为 4 μ s,这样大大地提高了 CPU 的运算与数据处理能力。

6) 增设了颇具特色的布尔处理机:在指令系统中设置有位操作指令,可用于位寻址空间,这些位操作指令与位寻址空间一起构成布尔处理机。布尔处理机对于实时逻辑控制处理具有突出的优点。

7) 增设了两种可以用软件进行选择的低功耗工作方式:空闲方式和掉电方式。

80C51 系列单片机除了上述的结构特性外,其最主要技术特点是向外部接口电路扩展,以实现微控制器完善的控制功能。如:为单片机配置了芯片间的串行总线,PHILIPS 公司为 80C51 系列 8XC592 单片机引入了具有较强功能的设备间网络系统总线——CAN (Controller Area Network),另外在一些增强型产品中增加了一些外部接口功能单元如 A-D、PWM、WDT (监视定时器)、高速 I/O 口、PCA (可编程计数器阵列)、计数器的捕获/比较逻辑等。

在单片机硬件得到迅速发展的同时,开发单片机所用的语言也发生了变化。虽然用汇编语言编写开发软件有其本身的特点与优势,了解汇编语言也能加深对单片机底层硬件的理

解。但最近几年，随着 C 编译器效率和 MCU 性能的大幅度提高，用高级语言代替汇编语言已渐成趋势。典型的 MCU 都推出了自己的 C 编译器，其中 Keil C51 的编译效率已达到很高水平，经过优化的用 Keil C51 编写的程序编译后的运行效率甚至要高于普通开发者直接用汇编语言编写的程序。

若无特别说明，本书硬件将以 80C51 系列单片机为主，而在软件方面则是汇编与 C 语言并存，并以 Keil C51 为主。

1.1.4 单片机的应用

单片机应用系统结构分为单片机和单片机应用系统两种。单片机是应用系统的核心，通常是指芯片本身，集成的是一些基本组成部分。单片机应用系统中包括了满足对象要求的全部硬件电路和应用软件，在外部配置单片机运行所需要的时钟电路、复位电路等，就构成了单片机的最小应用系统。当单片机的最小应用系统不能满足嵌入对象功能要求时，需要在单片机片外扩展外围电路，如存储器、定时器/计数器、中断源等构成实际单片机应用系统。单片机的应用领域如图 1-2 所示。下面介绍一些典型的应用。

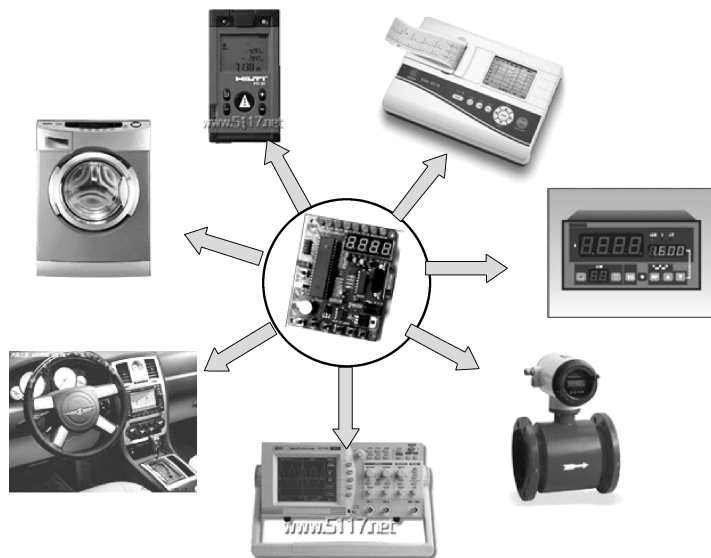


图 1-2 单片机的应用领域

1. 信息家电

信息家电是单片机的最大的应用领域，如洗衣机、电冰箱、空调机、微波炉、电饭煲、电视机、录像机等，在这些设备中，单片机将大有用武之地。加入单片机后智能化、网络化的信息家电将引领人们的生活步入一个崭新的空间，比如即使你不在家里，也可以通过电话线、网络进行远程控制。

2. 办公自动化

现代办公室中所使用的大量通信、信息产品多数都采用了单片机，如通用计算机系统键盘译码、磁盘驱动、打印机、绘图仪、复印机、电话、传真机、考勤机等。

3. 商业营销

在商业营销系统中已广泛使用的电子秤、收款机、条形码阅读器、仓储安全监测系统、

商场保安系统、空气调节系统、冷冻保鲜系统等均采用单片机构成专用系统，主要是因为这种系统有明显的抗病菌侵害、抗电磁干扰等高可靠性的保证。

4. 工业自动化

工业过程控制、数字机床、电力系统、石油化工系统等都是由单片机为核心的单机或多机网络系统。如工业机器人的控制系统是由中央控制器、感觉系统、行走系统、驱动系统等节点构成的多机网络系统。

将单片机与传感器相结合可以构成新一代的智能传感器，它将传感器初级变换后的电量作进一步的变换、处理，输出能满足远距离传送且能与微机接口的数字信号。各种变送器、测量仪表普遍采用单片机应用系统替代传统的测量系统，使测量系统具有各种智能化功能，如存储、数据处理、查找、判断、联网和语音功能等。

5. 汽车与航空航天电子系统

在这些电子系统中的集中显示、动力监测控制、自动驾驭、通信以及运行监视器（黑匣子）等都采用单片机构成冗余的网络系统。

1.2 嵌入式系统

1.2.1 嵌入式系统与通用计算机

嵌入式系统（Embedded System），是一种“完全嵌入受控器件内部，为特定应用而设计的专用计算机系统”。国内普遍认同的嵌入式系统定义为：以应用为中心，以计算机技术为基础，软硬件可裁剪，适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统。嵌入式系统主要由嵌入式处理器、存储器及外设器件和 I/O 端口、图形控制器等相关支撑硬件、嵌入式操作系统及应用系统等软件组成。

嵌入式系统几乎包括了生活中的所有电器设备，如掌上 PDA、移动计算设备、电视机顶盒、手机上网、数字电视、多媒体、汽车、微波炉、数字相机、家庭自动化系统、电梯、空调、安全系统、自动售货机、蜂窝式电话、消费电子设备、工业自动化仪表与医疗仪器等。

与个人计算机这样的通用计算机系统不同，嵌入式系统通常执行的是带有特定要求的预先定义的任务。核心是由一个或几个预先编程好以用来执行少数几项任务的微处理器或者单片机组成。与通用计算机能够运行用户选择的软件不同，嵌入式系统上的软件通常是暂时不变的，所以经常称为“固件”。由于嵌入式系统只针对一项特殊的任务，设计人员能够对它进行优化，减小尺寸降低成本。嵌入式系统通常进行大量生产，所以单个的成本节约能够随着产量进行成百上千的放大。

由于在应用中对嵌入式计算机系统与通用计算机系统提出了完全不同的技术要求，因此它们的技术发展方向也完全不同。

1) 对通用计算机系统的技术要求是高速、海量的数值计算，因此其技术发展方向是总线速度的无限提升，存储容量的无限扩大。

2) 对嵌入式计算机系统的技术要求是对对象的智能化的管理和控制能力，因此其技术发展方向是与对象系统密切相关的嵌入性能、控制能力与控制的可靠性。

3) 嵌入式系统的核心部件是各种类型的嵌入式处理器。嵌入式处理器可以分为三类：嵌入式微处理器、嵌入式微控制器、嵌入式 DSP (Digital Signal Processor)。

4) 嵌入式微处理器就是和通用计算机的微处理器对应的 CPU。在应用中，一般是将微处理器装配在专门设计的电路板上，在母板上只保留和嵌入式相关的功能即可，这样可以满足嵌入式系统体积小和功耗低的要求。目前的嵌入式处理器主要包括：PowerPC、Motorola 68000、ARM 系列等。嵌入式微控制器又称为单片机，它将 CPU、存储器（少量的 RAM、ROM 或两者都有）和其他外设封装在同一片集成电路里，常见的有 80C51。嵌入式 DSP 专门用来对离散时间信号进行极快的处理计算，提高编译效率和执行速度。在数字滤波、FFT、谱分析、图像处理的分析等领域，DSP 正在大量进入嵌入式市场。

软件部分包括操作系统软件，要求实时和多任务操作和应用程序编程。应用程序控制着系统的运作和行为，而操作系统则控制着应用程序编程与硬件的交互作用。

1970 年左右出现嵌入式系统的概念时，嵌入式系统很多都不采用操作系统，它们只是为了实现某个控制功能，使用一个简单的循环控制对外界的控制请求进行处理。当应用系统越来越复杂、应用的范围越来越广泛的时候，每添加一项新的功能，都可能需要从头开始设计，没有操作系统已成为一个最大的缺点。

C 语言的出现使操作系统开发变得简单。从 20 世纪 80 年代开始，出现了各种各样的商用嵌入式操作系统百家争鸣的局面，比较著名的有 VxWorks、pSOS 和 Windows CE 等，这些操作系统大部分是为专有系统而开发的。另外，源代码开放的嵌入式 Linux 由于其强大的网络功能和低成本，近来也得到了越来越多的应用。

1.2.2 嵌入式系统与单片机

嵌入式系统的发展和单片机的发展是紧密相连的。如果将所有实现嵌入式应用的不同形式的计算机系统统称为嵌入式系统，那么，嵌入式系统就是一个庞大的家族。嵌入式系统可分为设备级、模块级、芯片级 (MCU、SoC) 三种形态。

1. 设备级

工控机是嵌入式计算机系统设备级最典型的代表，大多由通用计算机系统进行机械加固、电气加固后构成，以满足应用系统的环境要求。工控机有通用计算机丰富的软件及周边外设支持，有很强的数据处理能力，应用软件开发十分方便。但由于体积庞大，适用于具有大空间嵌入应用的环境中，如舰船、大型试验装置、分布式测控系统等。

2. 模块级

模块是由通用 CPU 构成的各种形式的主机板系统、各种类型的带 CPU 的主板及 OEM 产品。与工控机相比，模块体积较小，可以满足较小空间的嵌入应用环境。为了满足工控测控对象的要求，在模块上常常会设置一些接口电路。由于模块具有较强的数据处理能力，借助通用计算机系统可方便地开发应用软件。模块常用在需要大量数据处理和逻辑判断的系统中，如大中型试验系统、收银机等。

3. 芯片级

嵌入式微处理器是在通用微处理器 (MPU) 的基核上，添加 MPU 外围单元和满足对象测控要求的外围接口电路，构成一个嵌入式应用的单芯片形态计算机系统。如早期 Intel 公司将通用微处理器 80386 与定时器/计数器、DMA、中断系统、串行接口、并行口、WDT 及

MMU 部件集成在一个芯片上，构成的 386EX 就是典型的嵌入式微处理器。

芯片级以 MCU 最为典型。在几种嵌入式系统中，单片机有唯一的专门为嵌入式应用设计的体系结构与指令系统，因此，它最能满足嵌入式的应用要求。目前，国内外公认的标准体系结构是 Intel 的 MCS-51 系列，其中 8051 已被许多厂家作为基核，发展了许多兼容系列，所有这些系列都统称为 80C51 系列。单片机是完全按嵌入式系统要求设计的单芯片形态的嵌入式系统，它最广泛地应用中、小型工控领域，是电子系统智能化的最重要工具。嵌入式微控制器则是嵌入式系统概念广泛使用后，给传统单片机定位的称呼。

从上述的叙述中，可以看出，在嵌入式计算机系统的发展过程时，对于嵌入式 CPU 曾出现过两种模式，即“加减模式”与“创新模式”。

1) 所谓“加减模式”，本质上是通用计算机直接芯片化的模式。它将通用计算机系统的基本单元进行裁剪后集成在一个芯片上，构成所谓的嵌入式微处理器。

2) 所谓“创新模式”，则完全按嵌入式应用的要求设计全新的、满足嵌入式应用要求的体系结构、指令系统、总线方式、管理模式等，构成所谓的嵌入式微控制器。

从嵌入式计算机系统的角度来看，单片机的技术发展经历了 SCM、MCU、SoC 三大阶段。

1) SCM 即单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer) 阶段，主要是寻求最佳的单片形态嵌入式系统的最佳体系结构。“创新模式”获得成功，奠定了 SCM 与通用计算机完全不同的发展道路。

2) MCU 即微控制器 (Micro Controller Unit) 阶段，主要的技术发展方向是：不断扩展满足嵌入式应用系统过程中，发展了对象系统要求的各种外围电路与接口电路，突出其对象的智能化控制能力。

3) SoC 即片上系统 (System on Chip) 阶段，寻求应用系统在芯片上的最大化解决方案 (片上系统) 是嵌入式系统的终极追求，因此嵌入式单片机自然形成了 SoC 化趋势。随着微电子技术、IC 设计和 EDA 工具的发展，基于 SoC 的单片机应用系统设计会有较大的突破。

由于“单片机”是典型的、独立发展起来的嵌入式系统，从学科建设的角度出发，也应该把它统一到“嵌入式系统”中。考虑到原来单片机的应用特点，可以把嵌入式系统应用分成高端与低端，把原来的单片机应用可理解成嵌入式系统的低端应用。

1.3 学习安排

单片机系列品种繁多，广泛应用于各行各业。因此，在应用中需要设计者对各种单片机都有所了解，以便确定最佳的性能价格比，也就是说要能应用各种单片机进行设计。然而，同时学习各种单片机的软硬件知识不仅难度较大而且没有必要。通常的方法是学习一种典型的单片机系列，掌握好其硬件结构和软件知识，在应用中，如果需要用到其他系列的单片机时，只需将这两种系列的不同特点及软硬件上的不同之处稍加分析即可。

与其他单片机相比较，MCS-51 系列单片机硬件结构简洁明了，特殊功能寄存器功能规范和软件指令系统易于掌握，是一种既便于讲授又便于学习、理解和掌握的单片机。加之，这种单片机在国内介绍较多，资料比较齐全，其本身性能价格比较高，供应渠道也很多，所以一般学习单片机均以此系列为典型范例。本书以 89S51 系列为例，来介绍单片机知识。掌

握了 89S51 系列单片机后，如果开发增强型的 51 系列或其他系列的单片机应用系统，读者只需用很短时间即可掌握相应单片机的特性和特点，并用它来开发产品。

学习与应用 80C51，就必须掌握其软、硬件知识。所谓软件知识是指寻址方式、指令系统以及它的汇编语言和 C 语言等；硬件知识则是指硬件资源，如存储器容量、I/O 口数量、定时器/计数器、串行口以及中断系统等。

本书是以大学本科和专科单片机教学为目的编写的，参考教学学时为 48 学时。使用时希望读者已经学过标准 C 语言、电子学和微机原理等基础课程。

本章小结

本章主要介绍单片机的定义、发展和应用，对 80C51 系列单片机作了简介，也讲了嵌入式系统的特点和发展，为读者后续的学习打下基础。

习题

1. 简述单片机的定义及其发展历史。
2. 单片机主要应用在哪些领域？
3. 嵌入式系统的含义是什么？按形态可分为哪些？
4. 嵌入式计算机系统同通用型计算机系统相比具有哪些特点？

第2章

80C51单片机的基本结构与工作原理

2.1 80C51 单片机的基本组成

80C51 单片机的基本组成结构如图 2-1 所示。

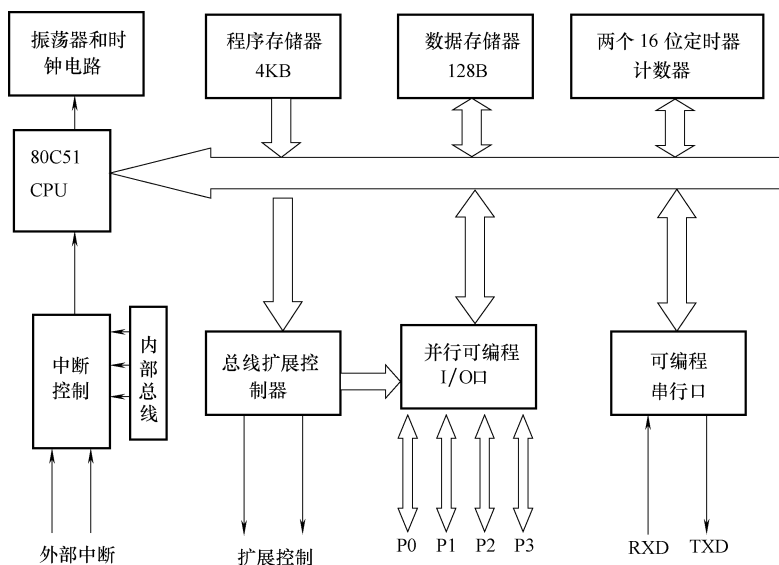


图 2-1 80C51 单片机的基本组成结构

1. 中央处理器

中央处理器（CPU）主要包括控制器、运算器和工作寄存器及时序电路。80C51 单片机中的中央处理器和通用微处理器基本相同，只是增设了“面向控制”的处理功能，例如：位处理、状态检测、中断处理等，增强了实时性。

2. 存储器

单片机的存储器有两种基本结构：一种是在通用计算机中采用的将程序和数据合用一个存储器空间的结构，称为普林斯顿（Princeton）结构；另一种是将程序存储器和数据存储器分开，分别寻址的结构，称为哈佛（Harvard）结构。由于单片机“面向控制”的应用特点，一般需要较大的程序存储器，因此，大多单片机以采用程序存储器和数据存储器分开的结构，80C51 系列单片机就是如此。

(1) 程序存储器