



卓越工程师培养计划

■ 单片机 ■

<http://www.phei.com.cn>



陈忠平 编著



ATmega16

单片机C语言 程序设计经典实例



电子工业出版社

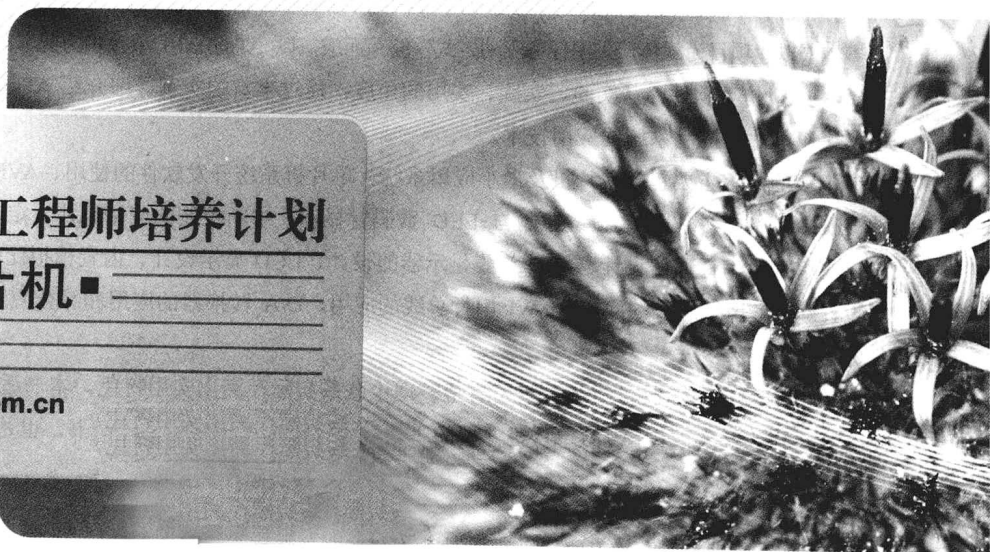
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY



卓越工程师培养计划

■ 单片机 ■

<http://www.phei.com.cn>



陈忠平 编著



ATmega16

单片机C语言 程序设计经典实例

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以“项目为载体,采用任务驱动方式”编写而成,以 ATmega16 单片机为蓝本,结合 CodeVisionAVR、Proteus 虚拟仿真软件,从实验、实践、实用的角度,通过丰富的实例详细介绍 ATmega16 单片机 C 语言程序设计和单片机控制系统的应用技术。

本书的内容主要包括单片机及最小应用系统、单片机系统开发软件的使用、AVR 单片机 C 语言编程基础、LED 广告灯的设计、按键控制与 LED 数码管显示、中断控制的应用设计、定时器/计数器控制的应用设计、单片机串行通信设计、LED 点阵显示器的设计、LCD 显示设计、内置模拟比较器和 A/D 转换器的应用设计、SPI 串行总线的应用、TWI 串行总线的应用、D/A 转换器的应用和综合应用设计 15 个项目 89 个任务。

本书内容全面,取材新颖,叙述清楚,理论联系实际,突出实用特色。本书适合单片机爱好者自学使用,也可作为高等院校 AVR 单片机课程的“教、学、做”一体化的教学用书,也是从事单片机应用研发人员的实用参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

ATmega16 单片机 C 语言程序设计经典实例 / 陈忠平编著. —北京: 电子工业出版社, 2013.6

(卓越工程师培养计划)

ISBN 978-7-121-20309-1

I. ①A… II. ①陈… III. ①单片微型计算机-C 语言-程序设计 IV. ①TP368.1 ②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 093612 号

责任编辑: 张剑(zhang@phei.com.cn)

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 33 字数: 845 千字

印 次: 2013 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 79.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

单片机又称为单片微型控制器，其实质是将一个计算机系统集成到一个芯片上。它具有体积小、质量轻、价格便宜、控制功能强等特点。现在单片机已经在很多领域中得到了广泛应用，但随着技术的进步和应用需求的不断发展，人们对控制器的综合性能要求也越来越高，也希望产品的性价比越来越高，特别是在一些中、低端应用领域，更期望通过集成度比较高，而且价格便宜的单片机来解决问题，主要体现在外设丰富、功能强大、运用灵活、速度快、功耗低、产品开发方便、容易升级等方面。

1997 年，由 Atmel 公司挪威设计中心的 A 先生与 V 先生利用 Atmel 公司的 Flash 新技术，共同研发出 RISC 精简指令集的高速 8 位 AVR 系列单片机。相对于出现较早也较为成熟的 51 系列单片机，AVR 系列单片机在功能、速度、功耗等方面具有独特的优势。

本书以 AVR 系列典型的 ATmega16 单片机为蓝本，结合 Proteus 仿真软件，以项目为载体，采用任务驱动方式的教学方法，通过丰富的 C 语言程序实例，由浅入深地介绍了 ATmega16 单片机的基础知识及各种应用开发技术。在编写过程中，编者注重题材的取舍，使本书具有以下 4 个特点。

【项目为载体，任务带动教学】本书以“项目为载体，采用任务驱动方式”编写，强调“教、学、做”一体，坚持理论知识够用的原则，并将知识点分散到多个任务中，使读者能够边学边做，轻松迈入单片机学习之旅。

【软件结合，虚拟仿真】沿用传统单片机学习与开发经验，通过相关编译软件（如 CVAVR）编写程序并生成*.Hex 与*.cof 文件，然后在 Proteus 中绘制好硬件电路图（这一过程相当于硬件电路的焊接），调用*.cof（或*.Hex）文件进行虚拟仿真（这一过程相当于硬件调试）。对于单片机初学者来讲，这样可以节约学习成本，提高学习积极性；对于单片机系统开发人员来讲，这样可以缩短开发时间，提高设计效率，降低开发成本。

【C 语言编程，增强可读性】C 语言是一种编译型程序设计语言，它兼顾了多种高级语言的特点，并具备汇编语言的功能。用 C 语言来编写程序会大大缩短开发周期，且明显地增加程序的可读性，便于改进和扩充。采用 C 语言进行单片机程序设计是单片机开发与应用的必然趋势。在传统的单片机技术学习方法中，均先学习汇编语言，然后再学习用 C 语言编写单片机程序代码，经过这种学习历程的工程技术人员深深地感悟到汇编指令太枯燥，学习起来费时费力，用汇编语言编写或读懂一个程序不是一件容易的事情。在现代教学过程中，使用 C 语言进行编程，不必对单片机的硬件结构有很深入的了解，编写程序相对简单，且程序的可读性和可移植性均很强。

【兼顾原理，注重实用】基本原理、基本实例一直是学习和掌握单片机应用技术的基本要求。本书侧重于实际应用，因此很少讲解相关的理论知识，这样就避免了知识的重复性。为紧随技术的发展，在编写过程中还注重知识的新颖性和实用性，因此本书中在讲解 SPI 总线、TWI 总线时均讲解了相应的外扩芯片技术，使读者学习的知识能够紧随时代的发展。

参加本书编写工作的有湖南工程职业技术学院陈忠平、徐刚强、李锐敏、周少华、龙晓庆、龚亮，湖南涉外经济学院侯玉宝、高金定，衡阳技师学院胡彦伦，湖南航天诚远精密机械有限公司刘琼，湖南科技职业技术学院高见芳，湖南三一重工集团王汉其等。全书由湖南工程职业技术学院陈建忠教授主审。由于编著者知识水平和经验的局限性，书中难免有错漏之处，敬请广大读者批评指正。编著者 E-mail:czpmcu@126.com

编著者

目 录

项目一 单片机及最小应用系统	1
任务 1 认识单片机	1
任务 2 AVR 列单片机的识读	6
任务 3 单片机最小系统及系统控制	16
任务 4 自制下载线	23
项目二 单片机系统开发软件的应用	26
任务 1 CAVAVR 编译软件的使用	26
任务 2 AVR Studio 集成开发软件的使用	34
任务 3 PonyProg2000 下载软件的使用	39
任务 4 Proteus 7.10 仿真软件的使用	41
项目三 AVR 单片机 C 语言编程基础	50
任务 1 C 语言程序组成的识读	50
任务 2 运算符和表达式	60
任务 3 程序结构及流程控制	67
任务 4 数组与指针	77
任务 5 函数与编译预处理	84
项目四 LED 广告灯的设计	92
任务 1 LED 控制原理认知	92
任务 2 闪灯广告灯的设计	98
任务 3 流水广告灯的设计	102
任务 4 拉幕式与闭幕式广告灯的设计	106
任务 5 复杂广告灯的设计	110
项目五 按键控制与 LED 数码管显示	115
任务 1 按键控制原理认知	115
任务 2 LED 数码管显示原理认知	117
任务 3 单个 LED 数码管显示设计	121
任务 4 多个 LED 数码管显示设计	125
任务 5 条形 LED 花样选择显示	131
任务 6 查询式按键设计	134
任务 7 LED 数码管显示矩阵键盘按键的设计	137
任务 8 矩阵键盘按键控制 LED+条形 LED 的设计	144
任务 9 简单拨号键盘的设计	151
项目六 中断控制的应用设计	158
任务 1 中断控制原理	158
任务 2 带中断控制的 LED 花样灯	165

任务 3 采用外中断控制的条形 LED 彩灯设计	168
任务 4 采用两个外中断的条形 LED 彩灯控制	172
任务 5 采用两个外中断实现 LED 键控移位	176
任务 6 采用外中断实现计数	179
任务 7 采用外中断进行计数和清零控制	184
项目七 定时器/计数器控制的应用设计	189
任务 1 定时器/计数器控制原理认知	189
任务 2 用 T/C0 实现简单计数	205
任务 3 用 T/C0 实现流水灯控制	209
任务 4 用 T/C0 的 CTC 模式输出方波	212
任务 5 用 T/C0 的快速 PWM 模式实现调光控制	215
任务 6 用 T/C0 的相位修正 PWM 模式实现调光控制	220
任务 7 用 T/C1 计数功能实现数控分频	223
任务 8 用 T/C1 实现预置值计时器的设计	227
任务 9 用 T/C1 的 CTC 模式实现 LED 滚动闪烁控制	233
任务 10 用 T/C1 的快速 PWM 模式输出占空比可调方波	237
任务 11 用 T/C1 的相位修改 PWM 模式输出占空比可调方波	242
任务 12 用 T/C1 的输入捕捉模式测量低频脉冲周期	246
任务 13 用 T/C2 实现简单门铃控制	250
任务 14 用 T/C2 的异步计数功能实现 59s 计时器	254
项目八 单片机串行通信设计	260
任务 1 单片机串行通信原理认知	260
任务 2 甲机通过串口控制乙机 LED 显示状态	271
任务 3 甲机通过串口控制乙机计时	275
任务 4 单片机双机通信	283
任务 5 单片机自发自收数据	291
项目九 LED 点阵显示器的设计	298
任务 1 LED 点阵显示器控制原理认知	298
任务 2 一个 5×7 LED 点阵字符显示	300
任务 3 一个 8×8 LED 点阵字符串显示	303
任务 4 两个 8×8 LED 点阵字符串显示	310
任务 5 两个 8×8 LED 点阵滚动显示	317
任务 6 一个 16×16 LED 点阵汉字显示	321
任务 7 一个 16×16 LED 点阵汉字移位显示	327
任务 8 两个 16×16 LED 点阵汉字显示	330
任务 9 两个 16×16 LED 点阵汉字分批显示	336
任务 10 两个 16×16 LED 点阵汉字移位显示	340
项目十 LCD 显示设计	345
任务 1 LCD 显示原理认知	345
任务 2 字符式 LCD 显示字符串	351

任务 3	字符式 LCD 显示汉字	354
任务 4	字符式 LCD 显示可调数字钟	360
任务 5	字符式 LCD 滚动显示	366
任务 6	字符式 LCD 移位显示	369
项目十一	内置模拟比较器和 A/D 转换器的应用设计	375
任务 1	内置模拟比较器和 A/D 转换器	375
任务 2	系统电源电压监测器的设计	385
任务 3	低压报警器的设计	388
任务 4	简易电压表的设计	391
任务 5	电压监控器的设计	396
项目十二	SPI 串行总线的应用	401
任务 1	SPI 总线基础知识认知	401
任务 2	74LS164 驱动数码管显示可调数字钟	405
任务 3	74HC595 驱动 1 位数码管显示	413
任务 4	74HC595 驱动数码管动态显示	416
任务 5	74HC595 驱动 8 位数码管静态显示	421
任务 6	MAX7219 驱动数码管动态显示	427
项目十三	I ² C 串行总线的应用	435
任务 1	I ² C 总线基础知识	435
任务 2	24C256 开启次数读/写控制	444
任务 3	PCF857 驱动 8 位数码管显示	451
项目十四	D/A 转换器的应用	456
任务 1	DAC0832 D/A 转换	456
任务 2	TLC5615 D/A 转换	461
任务 3	MAX515 D/A 转换	467
项目十五	综合应用设计	471
任务 1	篮球计分器的设计	471
任务 2	按键选播电子音乐	481
任务 3	DS1302 时钟日历的设计	489
附录 A	Proteus 常用快捷键	500
附录 B	CodeVisionAVR 编译器常用库函数简介	501
参考文献		518

项目一 单片机及最小应用系统

【知识目标】

- ☺ 了解单片机的定义、类型、应用领域及当前主流单片机;
- ☺ 了解 AVR 单片机命名规则、封装形式;
- ☺ 掌握 ATmega16 单片机各个引脚的功能;
- ☺ 掌握 ATmega16 单片机最小系统的组成及相关电路的工作原理;
- ☺ 掌握 ATmega16 单片机基本接口电路的组成及电路功能。

【能力目标】

- ☺ 认识 ATmega16 单片机、晶体振荡器、RS-232 串口及电阻、电容等元器件;
- ☺ 学会搭建单片机最小系统应用电路;
- ☺ 了解单片机应用系统的开发过程。



任务 1 认识单片机

微型化是计算机的主要发展方向之一。在微型计算机中,单片微型计算机(简称单片机)是其重要的组成部分。单片机依靠一定的硬件基础,根据特定环境,完成特定的需求。目前,单片机已经渗透到日常生活的各个领域,几乎很难找到哪个领域没有单片机的踪迹。例如,导弹的导航装置,飞机上各种仪器和仪表的控制,计算机的网络通信与数据传输,工业自动化过程的实时监控与数据处理,广泛使用的各种智能 IC 卡,民用豪华轿车的安全保障系统,摄像机、全自动洗衣机的控制,以及无线遥控玩具、电子宠物等,这些都离不开单片机。更不用说自动控制领域的机器人、智能仪表、医疗器械了。所以,认识单片机,学习单片机,掌握单片机的开发与应用,是电子信息、计算机应用、通信工程、自动控制等专业领域工程技术人员必备的技能。

1. 单片机的定义

单片机是单片微型计算机(Single Chip Microcomputer, SCM)的简称,它是在一块芯片上集成了中央处理部件(Central Processing Unit, CPU)、数据存储器(Random Access Memory, RAM)、程序存储器(Read Only Memory, ROM)定时器/计数器和多种输入/输出(I/O)接口等功能部件,片内各功能部件通过内部总线相互连接起来的微型计算机。

单片机特别适合于控制领域,因此国外大多数厂商、学者普遍将其称为微处理器(Micro Controller),缩写为 MCU(Micro Controller Unit),国内习惯性将其称为单片机。

2. 单片机的特点

- ☺ 性价比高;

- ☺ 控制功能强;
- ☺ 高集成度、高可靠性、体积小;
- ☺ 低电压、低功耗;
- ☺ 易扩展。

3. 单片机的应用领域

单片机已经渗透到人们生活的各个领域,在工业控制、智能仪表、家用电器、军事装置等方面都得到了极为广泛的应用。

【在智能仪器仪表中的应用】用单片机制作的仪器仪表,广泛应用于实验室、交通运输工具、计量等领域。能使仪器仪表数字化、智能化、多功能化,提高测试的自动化程度和精度,简化硬件结构,减少质量,缩小体积,便于携带和使用,同时降低成本,提高性能价格比。典型应用如数字式存储示波器、数字式 RLC 测量仪、智能转速表等。

【在工业控制方面的应用】在工业控制中,工作环境恶劣,各种干扰比较强,还需实时控制,这对控制设备的要求比较高。单片机由于集成度高、体积小、可靠性高、控制功能强,能对设备进行实时控制,所以被广泛应用于工业过程控制中,如电镀生产线、工业机器人、电动机控制、炼钢、化工等领域。

【在军事装置中的应用】利用单片机的可靠性高,适用温度范围宽,能工作在各种恶劣环境等特点,将其应用在航天航空导航系统、电子干扰系统、宇宙飞船等尖端武器、导弹控制、智能武器装置、鱼雷制导控制等方面。

【在民用电子产品中的应用】在民用电子产品中,目前单片机广泛应用于通信与各种家用电器,如手机、数码相机、MP3 播放机、智能空调等。

4. 单片机的发展

自从 1974 年美国仙童 (Fairchild) 公司运用计算机技术生产了世界上第一块单片机 (F8) 以来,在短短的数十年中,单片机的发展主要经历了以下 4 个阶段。

☺ 初级阶段 (1974—1976 年): 此阶段的单片机结构比较简单,控制功能比较单一。例如,仙童公司的 F8 系列单片机,只包含了中央处理器 CPU、64Kbit 的 RAM 和两个并行口,还需外接具有 ROM、定时器/计数器、并行接口的芯片。

☺ 低性能阶段 (1976—1978 年): 以 Intel 公司的 MCS-48 系列为代表,其特点是采用专门的结构设计,但内部资源不够丰富。该系列的单片机片内集成了 8 位 CPU、并行 I/O 端口、8 位定时器/计数器、RAM、ROM 等。无串行 I/O 口,中断处理系统也比较简单,片内 RAM、ROM 容量较小,且寻址范围小于 4KB (B 为 Byte,即字节)。

☺ 高性能阶段 (1978—1983 年): 以 Intel 公司的 MCS-51 系列为代表,它完善了外部总线,丰富了内部资源,并确立了单片机的控制功能。采用 16 位的外部并行地址总线,能对外部 64KB 的程序存储器和数据存储器空间进行寻址;还有 8 位数据总线及相应的控制总线,形成完整的并行三总线结构。同时还提供了多机通信功能的串行 I/O 端口,具有多级中断处理,16 位的定时器/计数器,片内的 RAM 和 ROM 容量增大,寻址范围可达 64KB。有的单片机片内还带有 A/D 转换接口、DMA 接口、PSW 等功能模块。

在 MCS-51 单片机指令系统中,增加了大量的功能指令,如在基本控制功能方面设置了大量的位操作指令,使它和片内的位地址空间构成了单片机所独有的布尔逻辑操作系统,增

强了单片机的位操作控制功能；还有许多条件跳转、无条件跳转指令，从而增强了指令系统的控制功能。在单片机的片内设置了特殊功能寄存器（Special Function Register, SFR），为外围功能电路的集中管理提供了方便。

◎ 8 位超高性能单片机的巩固发展及 16 位、32 位、64 位单片机的推出与发展阶段（1983 年至今）：超 8 位单片机增加了 DMA（Direct Memory Access）直接数据存取通道、特殊串行接口等。16 位单片机的 CPU 为 16 位，片内 RAM 和 ROM 的容量进一步增大，片内 RAM 为 232B，ROM 为 8KB，片内带有高速 I/O 部件，多通道 10 位 A/D 转换器，8 级中断处理功能，实时处理能力更强，并开发了片内带 FLASH 程序存储器（Flash Memory）等功能。

5. 单片机的系列

按指令集的不同，单片机主要有复杂指令集（Complex Instruction Set Computing, CISC）结构和精简指令集（Reduced Instruction Set Computing, RISC）结构两大类。

采用 CISC 结构的单片机，其指令丰富，功能较强，但取指令和取数据不能同时进行，速度受限，价格偏高。

采用 RISC 结构的单片机，取指令和取数据能够同时进行，便于采用流水线操作，且大部分指令为单指令周期，运行速度快；同时，程序存储器的空间利用率高，有利于实现超小型化。

CISC 结构的单片机有 Intel MCS-51 系列、Motorola M68HC 系列、Atmel AT89 系列、STC89 系列、华邦公司的 W77/W78 系列等；RISC 结构的单片机有 Microchip PIC 系列、韩国三星 KS57C 系列 4 位单片机、中国台湾义隆 EM-78 系列、Atmel AVR 系列、NXP（原 Philips）P89LPC90 系列等。一般在控制关系较简单的小家电中可以采用 RISC 结构单片机；在控制关系复杂的场合应采用 CISC 结构单片机。

6. 市场上的主流单片机

【80C51 单片机】应用最广泛的 8 位单片机首推 Intel 的 MCS-51 系列。因其硬件结构合理，指令系统规范，加之生产历史“悠久”，有先入为主的优势。由于 Intel 公司在嵌入式应用方面将重点放在 x86、奔腾等与 PC 类兼容的高档芯片的开发上，所以 Intel 公司以专利互换和专利出售的方式将 80C51 内核授权给其他多家集成电路制造商，如 Philips、NEC、Atmel、AMD、华邦公司等。拿到该授权的厂商，在原有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，直到现在仍在不断翻新，把单片机世界炒得沸沸扬扬。这样，80C51 单片机就变成了众多芯片制造厂商支持的大家族，统称为 80C51 单片机，有时也简称 51 系列单片机。客观事实证明，80C51 已成为 8 位单片机的主流，成了事实上的标准 MCU 芯片。目前国内许多学校仍以它作为典型机来进行单片机的教学。

【NXP 单片机】2007 年 Philips 半导体公司更名为 NXP，在我国又称为恩智浦。NXP 公司的单片机是基于 80C51 内核的单片机，嵌入了掉电检测、模拟及片内 RC 振荡器等功能。与标准 8051 单片机相比，它还增加了一个定时器/计数器并提供两种工作模式，有些型号的单片机还提供了 I²C 或 SPI 串行接口。NXP 单片机具有集成度高、成本低、低功耗等特点，在应用设计中可以满足多方面的性能要求。

【Motorola 单片机】Motorola 是世界上最大的单片机厂商，该公司生产的单片机品种

全、选择余地大、新产品多。从 M6800 开始,开发了众多的品种,4 位、8 位、16 位和 32 位的单片机都能生产。在 8 位机方面,有 M68HC05 系列和升级产品 M68HC08、M68HC11、M68HC12,其中 M68HC05 有 30 多个系列、200 多个品种,产量已超过 20 亿片。16 位机 M68HC16 也有 10 多个品种,32 位机 M683XX 也有数十个品种。Motorola 单片机的特点之一是在同样单片机种类的速度下所用的时钟频率较 Intel 类单片机低得多,因而使得高频噪声低、抗干扰能力强,更适合于工控领域及恶劣的环境。

【Atmel 单片机】Atmel 公司生产的单片机主要有两大类,即 CISC 架构的 AT89 系列和 RISC 架构的 AVR 系列单片机。

AT89 系列单片机是 Atmel 公司基于 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机研发出来的与 MCS-51 兼容但性能高于 MCS-51 的单片机。它一问世就以其优良的性能和实惠的价格赢得了国内研究人员的广泛欢迎。

AVR 系列单片机是增强型 RISC 架构、内置 Flash 存储器的单片机,具有高速处理能力,在一个时钟周期内可执行复杂的指令,每 MHz 可实现 1 MIPS (Million Instructions Per Second, 每秒处理的百万级的机器语言指令数)的处理能力。AVR 单片机工作电压为 2.7~6.0V,可以实现耗电最优化。AVR 单片机广泛应用于计算机外部设备、工业实时控制、仪器仪表、通信设备、家用电器、宇航设备等各个领域。

【STC 单片机】STC89 系列单片机是 MCS-51 系列单片机的派生产品。它在指令系统、硬件结构和片内资源上与标准 8052 单片机完全兼容。STC89 系列单片机具有高速(最高时钟频率 90MHz)运行、低功耗、在系统 (In-System Program, ISP)/在应用可编程 (In-Application Program, IAP)、不占用户资源等特点。与 AT89 系列单片机相比,二者的主要区别是:①下载方式不同,AT89 系列(如 AT89S51/S52)主要是并行下载方式,而 STC89C51/52 采用串口下载方式;②内存大小有所不同,AT89S51/52 的片内 RAM 为 128/256B,而 STC89C51/52 片内 RAM 为 512B;③部分特殊功能寄存器不同;④STC 单片机相对执行速度更快,功能更加强大。

【华邦 (Winbond) 单片机】W77/W78 系列 8 位单片机是华邦公司推出 CMOS 型单片机,其引脚和指令集与 8051 兼容,但每个指令周期只需要 4 个时钟周期,速度提高了 3 倍,工作频率最高可达 40MHz。同时增加了 Watch Dog Timer、6 组外部中断源、2 组 UART、2 组 Data Pointer 及 Wait State Control Pin。W77/W78 系列单片机具有性价比高、功能强、型号多,可以满足各种不同应用场合等特点。

【Microchip 单片机】Microchip 单片机是市场份额增长较快的单片机,主要产品是 PIC 16C 系列和 PIC 17C 系列 8 位单片机。CPU 采用 RISC 结构,PIC 16C 系列仅有 33 条指令,采用 Harvard 双总线结构,具有运行速度快、低工作电压、低功耗、较大的 I/O 直接驱动能力、价格低、一次性编程、体积小等特点,适用于用量大、档次低、价格便宜的产品,在办公自动化设备、消费电子产品、电讯通信、智能仪器仪表、汽车电子、金融电子、工业控制等领域都有广泛的应用。

【NEC 单片机】NEC 单片机自成体系,以 8 位单片机 78K 系列产量最高,也有 16 位、32 位单片机。其单片机内置高精度的环形振荡器,在 -40~85℃ 时精度可达 0.1%,并且还内置上电复位清零电路、低电压侦测电路和独立源看门狗电路。16 位以上单片机采用内部倍频技术,以降低外时钟频率。有的单片机采用内置操作系统。

【东芝单片机】东芝单片机从 4 位机到 64 位机,门类齐全。4 位机在家电领域有很大市

场; 8 位机主要有 870 系列和 90 系列等, 该类单片机允许使用慢模式, 采用 32kHz 时钟时, 功耗降至 $10\mu\text{A}$ 数量级。CPU 内部多组寄存器的使用, 使得中断响应与处理更加快捷。东芝的 32 位单片机采用 MIPS 3000A RISC 的 CPU 结构, 面向 DVD、数码相机、图像处理等市场。

【富士通单片机】为满足对灵活性日益增长的需求, 富士通不仅提供 8 位和 16 位的单片机, 同时还提供高性能的 32 位 RISC 控制器。8 位机使用的是 16 位机的 CPU 内核, 也就是说 8 位机与 16 位机所用的指令相同, 使得开发比较容易。8 位单片机有著名的 MB8900 系列, 16 位机有 MB90 系列。富士通单片机具有加密性强、快捷的运算能力、强大的抗电磁干扰能力、在线烧录和在线调试等特点, 主要应用于汽车、工业、通信、消费电子和计算机外围设备。

【LG 公司的 GMS90 系列单片机】LG 公司生产的 GMS90 系列单片机与 Intel MCS-51 系列, Atmel 89C51/52、AT89C2051 等单片机兼容, 采用 CMOS 技术, 高达 40MHz 的时钟频率, 应用于多功能电话、智能传感器、电表、工业控制、防盗报警装置、计费器、IC 卡装置、DVD、VCD、CD-ROM 等。

【凌阳 16 位单片机 SPCE】中国台湾凌阳公司推出的内核为 16 位微处理器的芯片, 即 SPCE 系列单片机。该系列主要有集成度高、体积小、可靠性高、低功耗、低电压、性价比高、适合各种控制应用等特点。如 SPCE061A 型单片机, 内嵌 32KB 的 Flash 存储器, 具有 DPS 功能, 有很强的信息处理能力, 最高时钟可达 49MHz, 尤其适用于数字语音播报与识别等应用领域, 是数字语音识别与语音信息处理的理想产品。

【Scenix 单片机】Scenix 公司推出的 8 位 RISC 结构 SX 系列单片机在技术上有其独到之处。SX 系列单片机只有双时钟设置, 指令运行速度可达 50/75/100MIPS; 具有虚拟外设功能, 柔性化 I/O 端口, 所有 I/O 端口都可单独编程设定, 提供各种 I/O 的库函数, 用于实现各种 I/O 模块的功能, 如多路 UART、多路 A/D、PWM、SPI、DTMF、FS、LCD 驱动等。采用 E²PROM/Flash 程序存储器, 可以实现在线系统编程。通过计算机 RS-232C 接口, 采用专用串行电缆, 即可对目标系统进行在线实时仿真。

【EPSON 单片机】EPSON 单片机以低电压、低功耗和内置 LCD 驱动器等特点著称, 尤其是 LCD 驱动部分做得很好, 广泛用于工业控制、医疗设备、家用电器、仪器仪表、通信设备和手持式消费类产品等领域。目前, EPSON 已推出 4 位单片机 SMC62 系列、SMC63 系列、SMC60 系列和 8 位单片机 SMC88 系列。

【三星单片机】三星单片机有 KS51 和 KS57 系列 4 位单片机、KS86 和 KS88 系列 8 位单片机、KS17 系列 16 位单片机和 KS32 系列 32 位单片机。三星单片机为 OTP 型 (One Time Programmable, 一次性可编程) ISP 在片编程功能。三星公司在单片机技术上以引进消化发达国家的技术、生产与之兼容的产品, 然后以价格优势取胜。例如, 在 4 位机上采用 NEC 的技术, 8 位机上引进 Zilog 公司 Z8 的技术, 在 32 位机上购买了 ARM7 内核, 还有 DEC 的技术、东芝的技术等。

【MSP430 单片机】MSP430 系列单片机是美国德州仪器公司 (TI) 1996 年开始推向市场的一种 16 位超低功耗、具有精简指令集 (RISC) 的混合信号处理器 (Mixed Signal Processor)。该系列单片机多应用于需要电池供电的便携式仪器仪表中。

7. 学习单片机的方法

【熟悉和了解单片机的内部和外部资源】因为单片机芯片的内部及外部资源都需要开发者自己管理, 且在开发过程中, 根据实际需求, 开发者还得自己设计单片机外围电路, 所以

需要熟悉和了解一定的硬件知识。

【了解并掌握单片机指令系统】开发者是通过程序对单片机进行相应的控制，而这些程序是通过相应的指令来编写的。单片机的指令系统主要有汇编语言或单片机 C 语言，开发者可以只使用其中一种，或者使用这两种语言进行程序的编写。由于单片机 C 语言具有编程和调试灵活方便，生成的代码编译效率高，完全模块化，可移植性好，便于项目维护管理，可以直接操作单片机硬件等特点，所以现在许多单片机程序开发者均采用单片机 C 语言进行单片机系统的开发。

【了解并熟练掌握常用软件的使用方法】进行单片机系统开发时，需要用到许多软件，不要求开发者对每个软件都很熟悉，但对于常用软件的使用应该特别熟悉。例如，使用 Keil C51 进行源程序的编译与调试，使用 Proteus 软件进行硬件仿真，单片机的程序固化软件的使用等。

【坚持手、脑并用的原则】在单片机的学习过程中，一定要坚持手、脑并用的原则，多做、多看、多想，先看别人编写的程序，再学习修改别人的程序并仿写类似的程序，最后自己设计、编写程序，也就是“看程序→仿程序→写程序”的过程，做到“实践、实践、再实践”。



任务 2 AVR 列单片机的识读

基于 8051 内核的微控制器采用了复杂指令系统 CISC (Complex Instruction Set Computing) 体系。CISC 结构的单片机是传统的冯·诺依曼 (Von-Neumann) 结构，这种结构又称为普林斯顿 (Princeton) 体系结构，其片内程序空间和数据空间合在一起，取指令和操作数都是通过同一簇总线分时进行的。当高速运算时，取指令和操作数不能同时进行，否则将会造成传输通道上的瓶颈现象。

1997 年，Atmel 公司挪威设计中心的 A 先生和 V 先生出于市场需求的考虑，推出了增强型内置 Flash 的 8 位精简指令集微处理器 (Reduced Instruction Set CPU, RISC)，并将其命名为 AVR。

RISC 结构的 AVR 单片机是新型的哈佛 (Harvard) 结构，采用双总线结构。AVR 单片机的快速存取寄存器文件由 32 个通用寄存器组成。传统的基于累加器的结构需要大量的程序代码，以实现累加器和存储器之间的数据传送。在 AVR 单片机中，32 个寄存器全部直接与运算逻辑单元 (ALU) 相连，每个通用工作寄存器都代替了累加器。这就使微处理器在前一条指令执行时，就取出现行的指令，从而可以避免传统 CISC 单片机的累加器和存储器之间数据传送时的瓶颈现象，提高了系统的性能。

1. AVR 单片机的主要特征

【内嵌高质量的 Flash 存储器，并具有高保密性】AVR 单片机内嵌高质量的 Flash 程序存储器，擦写方便，支持 ISP 和 IAP，便于产品的调试、开发、生产和更新。片内含有长寿命的 E²PROM，可长期保存关键数据，避免断电丢失。片内大容量的 RAM 不仅能满足一般场合的使用，同时也能更有效地支持使用高级语言开发系统程序，并可像 MCS-51 单片机那样扩展外部 RAM。

Flash 程序存储器具有保密锁死 (Lock) 功能，并且 Flash 程序存储器深藏于芯片内

部, 可以通过自编程 (Self Programming) 方式远程下载被加密的更新代码。

【具有真正的 I/O 端口, 能正确反映 I/O 真实情况】AVR 单片机通用数字 I/O 端口的 I/O 特性与 PIC 单片机的 HI/LOW 输出及三态高阻抗 HI-Z 输入相似, 同时可设定类似于 8051 单片机内部有上拉电阻的输入端功能。AVR 的 I/O 端口是真正的 I/O 端口, 能正确反映 I/O 的真实情况。AVR 的 I/O 端口资源灵活、功能强大, 可以单独设定为输入/输出, 也可以设定 (初始) 高阻输入, 具有驱动能力强 (可省去功率驱动器件) 等特性。

【高速度、低功耗, 具有省电休眠 (SLEEP) 功能】AVR 单片机一条指令的执行速度可达 50ns (20MHz), 而耗电则在 $1\mu\text{A} \sim 2.5\text{mA}$ 之间。由于它采用新型的哈佛 (Harvard) 结构, 具有一级流水线的预取指令功能, 即对程序的读取和数据的操作使用不同的数据总线, 因此当执行某一指令时, 下一指令被预先从程序存储器中取出, 使得指令可以在每一个时钟周期内被执行。AVR 单片机具有多种省电休眠模式, 且可宽电压运行 ($2.7 \sim 5.5\text{V}$), 抗干扰能力强, 可降低一般 8 位机中的软件抗干扰设计工作量和硬件的使用量。AVR 单片机具有 6 种休眠功能, 能够从低功耗模式迅速唤醒。

【具有多种独立的时钟分频器】AVR 单片机片内具备多种独立的时钟分频器, 分别供 URAT、 I^2C 、SPI 使用。其中与 8/16 位定时器配合的具有多达 10 位的预分频器, 可通过软件设定分频系数, 提供多种档次的定时时间。AVR 单片机中的定时器/计数器 (单) 可双向计数形成三角波, 再与输出比较匹配寄存器配合, 生成占空比可变、频率可变、相位可变的方波的设计方法 (即脉宽调制输出 PWM), 令人耳目一新。

【定位于工业级产品】AVR 单片机具有大电流 $10 \sim 20\text{mA}$ (输出电流) 或 40mA (吸收电流), 可直接驱动 LED、SSR 或继电器。具有看门狗定时器 (WDT) 安全保护功能, 可防止程序跑飞, 以提高产品的抗干扰能力。

【具有超功能精简指令】AVR 单片机具有 32 个通用工作寄存器, 相当于 8051 单片机中的 32 个累加器, 克服了单一累加器数据处理造成的瓶颈现象。片内含有 $128\text{B} \sim 8\text{KB}$ 个 SRAM, 可灵活使用指令运算, 适合用 C 语言进行程序开发, 易学、易写、易移植, 并且具有很高的代码效率。

【通信方便、快捷、可靠, 支持多机通信】其增强性的高速同/异步串口, 具有硬件产生校验码、硬件检测和校验帧错、两级接收缓冲、波特率自动调整定位 (接收时)、屏蔽数据帧等功能, 提高了通信的可靠性, 方便程序编写, 更便于组成分布式网络和实现多机通信系统的复杂应用。其串口功能大大超过 MCS-51/96 单片机的串口, 加之 AVR 单片机高速, 中断服务时间短, 故可实现高波特率通信。

【面向字节的高速硬件串行接口 TWI、SPI】TWI 与 I^2C 接口兼容, 具备 ACK 信号硬件发送与识别、地址识别、总线仲裁等功能, 能实现主/从机的收/发全部 4 种组合的多机通信。SPI 支持主/从机等 4 种组合的多机通信。

【增强嵌入式系统的可靠性】AVR 单片机有自动上电复位电路、独立的看门狗电路、低电压检测电路 BOD, 多个复位源 (自动上/下电复位、外部复位、看门狗复位、BOD 复位), 可设置的启动后延时运行程序, 增强了嵌入式系统的可靠性。

AVR 单片机技术体现了单片机集多种器件 (包括 Flash 程序存储器、看门狗、 E^2PROM 、同/异步串行口、TWI、SPI、A/D 模数转换器、定时器/计数器等) 和多种功能 (增强可靠性的复位系统、降低功耗抗干扰的休眠模式、品种多门类全的中断系统、具有输入捕获和比较匹配输出等多样化功能的定时器/计数器、具有替换功能的 I/O 端口……) 于

一身，充分体现了单片机技术的从“片自为战”向“片上系统（SoC）”过渡的发展方向。

2. AVR 单片机的分类及主要性能

AVR 单片机系列齐全，可适用于各种不同场合的要求。它主要有低档的 Tiny 系列、中档的 AT90 系列和高档的 ATmega 系列的产品。

【低档的 Tiny 系列】低档的 Tiny 系列 AVR 单片机是专门为需要小型微控制的简单应用优化设计的，具有很高的性价比，主要有 8 个引脚的 Tiny11/12/13/15/45/85，14 个引脚的 Tiny24/44/84，20 个引脚的 Tiny26/261/461/861/2313 等。

【中档的 AT90 系列】中档的 AT90 系列 AVR 单片机主要有 20 个引脚的 AT90S1200/2313/2323/2343，28 个引脚的 AT90S4433，40 个引脚的 AT90S4414/4434/8515/8535 等。

【高档的 ATmega 系列】高档的 ATmega 系列 AVR 单片机主要有 28 个引脚的 ATmega8/48/88/168，40 个引脚的 ATmega16/32/162/644/8535，64 个引脚的 ATmega128/165/325/64/645/1281/2561，100 个引脚的 ATmega3250/6450/640/1280/2560 等。

AVR 单片机从 8 脚到 100 脚，还有各种不同封装供用户选择，表 1-1~表 1-3 列出了目前主流 AVR 单片机的各系列性能参数。

自 2002 年以来，Atmel 公司对 AVR 单片机产品线进行了调整，逐步停止了性能重叠的中档低功耗 AVR 单片机中 AT90 系列的单片机。目前，AT90 系列某些型号的单片机已经被性能更加优越的 Tiny 系列或 ATmega 系列相应的 AVR 单片机替代（见表 1-4），所以在实际开发中建议不要再使用该系列的单片机。

3. AVR 单片机的命名规则

下面以 ATmega48V-10A 为例，介绍 AVR 单片机型号的命名规则。ATmega48V-10A 型号标志说明如下。

◎ “V”代表低/宽电压版本，以新推出的 AVR（如 ATmega48/88/168，Tiny13/2313 等）产品来说，带“V”表示工作电压为 1.8~5.5V 范围；不带“V”表示工作电压为 2.7~5.5V 范围。对于一些较老型号的 AVR 的单片机而言，有用“L”来表示的，“L”是“Low”的缩写，带“L”表示它可以支持低电压，它支持的电压范围为 2.7~5.5V；不带“L”的则表示支持的电压范围为 4.5~5.5V。

◎ 后缀的数字部分代表单片机可以支持的最高系统时钟，如 ATmega48V-10A 指的是可以支持到 10MHz 的系统时钟，ATmega64-16AU 及 ATmega64-16AI 指的是可以支持到 16MHz 的系统时钟。

◎ 后缀的第 1 个字母代表单片机的封装形式，“P”表示 DIP 封装；“A”表示 TQFP 封装；“S”表示 SOIC 封装；“M”表示 MLF 封装。如 ATmega48V-10A，说明它是 TQFP 封装。

◎ 后缀的第 2 个字母代表单片机的应用级别，“C”表示商业级；“I”表示工业级；“A”表示汽车级；“E”表示扩展级（温度范围为-40~105℃）；“U”表示工业级，符合 ROHS。如 ATmega64L-8AC 带“C”为商业级，ATmega64L-8AI 带“I”为工业级。

说明：

由于现欧美要求使用无铅 IC，所以 ATMEL 未来将只推出带“U”的 AVR MCU，它将取代原来带“I”的型号，如 ATmge8L-8AU 将取代原来的 ATmega64L-8AI。

表 1-1 Tiny 系列 AVR 单片机的性能

型号	Flash/KB	E ² PRO M/B	SRAM/B	最大 I/O 数	系统 时钟 /MHz	电压 范围/V	8 位定 时器	16 位 定 时器	PWM	SPI	US-ART	TWI	在线 编程 ISP	10 位 A/D 通道	模 拟 比 较 器	看 门 狗	片 内 振 荡 器	中 断 数	外 部 中 断 数	自 编 程	普通封装形式	绿色封装形式
Tiny11	1	—	—	6	6	2.7~5.5	1	—	—	—	—	—	有	—	有	有	有	4	1	—	PDIP8,SOIC8	PDIP8,SOIC8
Tiny12	1	64	—	6	8	1.8~5.5	1	—	—	—	—	—	有	—	有	有	有	5	1	—	PDIP8,SOIC8	PDIP8,SOIC8
Tiny13	1	64	64	6	20	1.8~5.5	1	—	2	—	—	—	有	4	有	有	有	9	6	有	PDIP8,SOIC8, SSOIC8,MLF20	PDIP8,SOIC8, SSOIC8,MLF20
Tiny15L	1	64	—	6	1.6	2.7~5.5	2	—	1	—	—	—	有	4	有	有	有	8	1	—	PDIP8,SOIC8	PDIP8,SOIC8
Tiny25	2	128	128	6	20	1.8~5.5	2	—	4	USI	—	USI	有	4	有	有	有	15	7	有	PDIP8,SOIC8,MLF20	PDIP8,SOIC8,MLF20
Tiny45	4	256	256	6	20	1.8~5.5	2	—	4	USI	—	USI	有	4	有	有	有	15	7	有	PDIP8,SOIC8,MLF20	PDIP8,SOIC8,MLF20
Tiny85	8	512	512	6	20	1.8~5.5	2	—	4	USI	—	USI	有	4	有	有	有	15	7	有	PDIP8,SOIC8,MLF20	PDIP8,SOIC8,MLF20
Tiny28L	2	—	—	11	4	1.8~5.5	1	—	—	—	—	—	有	—	有	有	有	5	2	—	PDIP28,MLF32,TQFP32	PDIP28,MLF32,TQFP32
Tiny24	2	128	128	12	20	1.8~5.5	1	1	4	USI	—	USI	有	8	有	有	有	17	12	有	PDIP14,SOIC14,MLF20	PDIP14,SOIC14,MLF20
Tiny44	4	256	256	12	20	1.8~5.5	1	1	4	USI	—	USI	有	8	有	有	有	17	12	有	PDIP14,SOIC14,MLF20	PDIP14,SOIC14,MLF20
Tiny84	8	512	512	12	20	1.8~5.5	1	1	4	USI	—	USI	有	8	有	有	有	17	12	有	PDIP14,MLF20	PDIP14,MLF20
Tiny26	2	128	128	16	16	2.7~5.5	2	—	2	USI	—	USI	有	11	有	有	有	11	1	—	PDIP20,MLF32,SOIC20	PDIP20,MLF32,SOIC20
Tiny261	2	128	128	16	20	1.8~5.5	1	1	5	USI	—	USI	有	11	有	有	有	19	18	有	PDIP20,MLF32,SOIC20	PDIP20,MLF32,SOIC20
Tiny461	4	256	256	16	20	1.8~5.5	1	1	5	USI	—	USI	有	11	有	有	有	19	18	有	PDIP20,MLF32,SOIC20	PDIP20,MLF32,SOIC20
Tiny861	8	512	512	16	20	1.8~5.5	1	1	5	USI	—	USI	有	11	有	有	有	19	18	有	PDIP20,MLF32,SOIC20	PDIP20,MLF32,SOIC20
Tiny2313	2	128	128	18	20	1.8~5.5	1	1	4	USI	1	USI	有	—	有	有	有	8	2	有	PDIP20,MLF20,SOIC20	PDIP20,MLF20,SOIC20