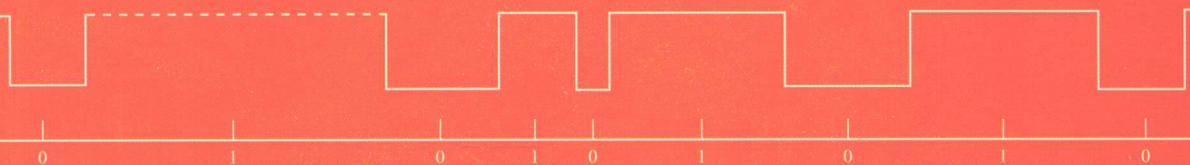


零基础学 AVR单片机

基于ATmega16、汇编及C语言

徐益民 范红刚 苏凤武◎编著



| 从学生到工程师的良师益友 |



机械工业出版社
China Machine Press

零基础学

AVR单片机

基于ATmega16、汇编及C语言

徐益民 范红刚 苏凤武◎编著



机械工业出版社
China Machine Press

本书主要内容包括 15 章: 单片机概述、AVR 单片机的开发工具、AVR 单片机 C 语言、ATmega16 单片机基本结构、AVR 的指令系统与汇编系统、ATmega16 的 I/O 端口、ATmega16 的中断系统、ATmega16 的复位系统及睡眠模式的设置、定时器/计数器 0、定时器/计数器 1、A/D 转换器、同步串行 SPI 接口、USART 串行口的应用、TWI 接口的应用、综合设计实例等。

全书重点突出, 层次分明, 注重知识的系统性、针对性和先进性; 注重理论与实践联系, 培养工程应用能力。另外, 本书还配有部分实验的视频录像。

本书可作为普通高等院校自动化、电气工程、测控技术与仪器、电子科学与技术、微电子学以及光信息科学与技术等专业的本科生教材, 也可作为相关工程技术人员的学习参考用书。

封底无防伪标均为盗版

版权所有, 侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目 (CIP) 数据

零基础学 AVR 单片机: 基于 ATmega16、汇编及 C 语言 / 徐益民, 范红刚, 苏凤武编著.
—北京: 机械工业出版社, 2011. 1

ISBN 978-7-111-32293-1

I. 零… II. ①徐… ②范… ③苏… III. ①单片微型计算机, ATmega16 ②单片微型计算机—汇编语言—程序设计 ③单片微型计算机—C 语言—程序设计 IV. ①TP368.1 ②TP31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 204455 号

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 张少波

三河市明辉印装有限公司印刷

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

185mm × 260mm · 16.5 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-32293-1

ISBN 978-7-89451-736-4 (光盘)

定价: 39.00 元 (附光盘)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991; 88361066

购书热线: (010) 68326294; 88379649; 68995259

投稿热线: (010) 88379604

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

AVR 单片机是 ATMEL 公司推出的新型高速 8 位单片机，运行速度高达 1MIPS。AVR 单片机的片上资源非常丰富，性价比很高。可用于工业实时控制、仪器仪表、家用电器等领域。

本书非常适合初学者，从入门开始，详细讲解了 AVR 单片机内部的各个外设的使用方法，一步一步实现独立设计程序，直到最后设计一个综合的产品。实现了从入门到精通。

本书特点

本书主要有以下特点。

1. 循序渐进，由浅入深

为了方便读者学习，本书在介绍了什么是单片机、单片机的应用领域以及单片机的开发环境之后，从最基本的 I/O 口的使用讲起，分别介绍了 LED 小灯闪烁、LED 数码管的使用。然后分别介绍了单片机的内部外设的使用，并结合实例分析讲解。最后，通过综合设计实例的讲解让读者系统地应用前文中的各个知识点。真正实现了由浅入深、理论与实践相结合。

2. 技术全面，内容充实

本书所讲的内容在保证实用的前提下，详细分析讲解了 AVR 单片机的全部资源的工作原理和使用方法，并且结合实例，不但硬件电路图设计完整、程序代码完整，而且电路图和程序代码均通过调试，具有一定的工程参考价值，所举实例均与工程实践有关，内容充实。

3. 举一反三，理解深刻

很多章节都有实例分析，以求理论与实践相结合。此外，还在每章的“实践拓展”内容中简单讲解一些与本章主要知识点相关的内容，使读者可以前后联系，自行分析，达到举一反三的效果，从而进一步加深理解。

4. 分析原理，步骤清晰

每一部分的原理都分析得非常透彻，并且用比较清晰的步骤进行讲解，使读者不但掌握相关章节的知识点，同时也掌握设计的一般步骤。

5. 代码完整，讲解详尽

书中的每个知识点都有相应的实例代码，并对关键的代码部分进行了注释说明。大部分程序代码的执行过程都录制了实验视频，读者可以参照运行结果阅读源程序，以便加深理解。

主要内容

本书分为 4 篇，共 15 章。各章的主要内容如下。

第一篇 开发基础

第 1 章主要让初学者了解何为单片机、单片机的应用领域以及 AVR 单片机都有哪些型号，最后主要讲解单片机 ATmega16 的主要性能指标和引脚分配情况等。

第 2 章介绍了 AVR 单片机的开发工具，包括编程环境的安装与使用、下载软件的简介和使用、下载线和实验设备的介绍，并在最后“实践拓展”部分介绍了其他开发环境与本书中所介

绍的环境有何区别及如何使用。

第二篇 结构与编程

第3章介绍了C语言的基础知识。这一章不是单纯地讲解C语言，而是结合单片机讲解C语言的应用，使初学者很快能够掌握C语言编程。

第4章介绍了ATmega16单片机的内部基本结构、时钟电路、复位电路，并介绍了状态寄存器。在“实践拓展”部分介绍了单片机最小系统的设计。

第5章系统地讲解了AVR单片机的指令系统与汇编系统。从指令格式、指令的分类、寻址方式等几个方面讲解了AVR的指令系统。并在本章的最后给出了一个综合的用汇编指令编写的程序，便于读者综合练习。

第6章介绍了单片机I/O端口的使用，并结合LED流水灯、独立按键以及液晶屏的外部元件进一步练习I/O端口的应用。

第7章介绍了外部中断的工作原理和使用方法，详细讲解了各个相关功能寄存器的设置方法，并结合LED数码管完成了两个综合实验，帮助加深对外部中断的理解。

第8章介绍了单片机的复位系统、看门狗定时器的工作原理和使用方法以及电源管理和睡眠模式的设置等。

第三篇 模块功能

第9章介绍了定时器/计数器0的工作原理和使用方法，并且结合实际例程分别介绍了定时器/计数器0的普通工作模式、快速PWM模式、相位修正PWM模式和CTC模式等。

第10章介绍了定时器/计数器1的工作原理和使用方法，并且结合实际例程分别介绍了定时器/计数器1的普通工作模式、CTC模式、快速PWM模式、相位修正PWM模式和相位与频率修正PWM模式等。

第11章介绍了AVR单片机内部A/D转换器的工作原理和相关寄存器的设置方法，最后利用A/D转换器完成了简易电压表的设计和两路模拟信号的数据采集。

第12章介绍了同步串行SPI接口的通信原理和设置方法，并结合实例进一步分析了SPI接口的应用。

第13章介绍了USART串行口的工作原理和相关寄存器的设置方法，并通过实际设计编程练习了两片单片机之间通信和单片机与PC机之间通信。

第14章分析了TWI接口的工作原理和相关寄存器的设计方法。通过两个单片机之间通信实现了练习TWI接口的目的，从而加深了对TWI接口原理的理解。

第四篇 综合设计

第15章通过调光灯和电能质量监测系统两个综合实例的设计，达到对单片机控制系统的设计过程及电路设计、调试和软件流程的设计、程序代码的编写等内容的掌握，并把单片机内部各个外设进行了混合应用。

读者对象

- AVR单片机设计爱好者
- 高等院校的学生
- 社会培训班的学生
- 电子工程师

本书光盘

- 视频教学：集成开发环境的使用方法，部分实例的实验现象等。
- 实例源代码：书中实例和综合实例的完整代码文档。

- 拓展资源：包括部分常用元器件资料、常用嵌入式网址等。

本书主要由徐益民、范红刚、苏凤武编著，其他参与资料整理的人员有宋一兵、管殿柱、赵景波、付本国、张轩、赵景伟、赵秋玲、张忠林、王献红、王臣业、张洪信、李文秋、初航、谈世哲等。

感谢您选择了本书，希望我们的努力对您的工作和学习有所帮助，也希望您把对本书的意见和建议告诉我们。

作者联系方式：gdz_zero@126.com

编辑联系方式：sdl@hzbook.com

作者

2010年8月

目 录 CONTENTS

前言

第一篇 开发基础 1

第 1 章 单片机概述 1

1.1 什么是单片机 1

1.2 单片机的应用 2

1.3 ATMEL 的 AVR 单片机 2

1.4 AVR 单片机的家族成员 2

1.4.1 AVR 单片机的型号 3

1.4.2 AVR 单片机的选型 4

1.5 ATmega16 单片机概述 5

1.5.1 ATmega16 单片机的主要性能 5

1.5.2 ATmega16 单片机的引脚说明 7

1.6 实践拓展 7

1.7 思考与练习 8

第 2 章 AVR 单片机的开发工具 ... 9

2.1 AVR 单片机程序开发环境 9

2.1.1 GCCAVR 开发环境的安装 ... 9

2.1.2 智峰下载软件 11

2.2 AVR 单片机的开发语言 11

2.3 实验设备 12

2.3.1 本书所用的实验开发板 ... 12

2.3.2 下载线 12

2.4 LED 小灯闪烁实验过程演示 ... 13

2.5 实践拓展 20

2.6 思考与练习 21

第二篇 结构与编程 22

第 3 章 AVR 单片机 C 语言 22

3.1 C 语言的结构 22

3.2 C 语言的基本字符、标识符和关键字 23

3.3 C 语言的基本数据类型 24

3.4 函数 25

3.4.1 系统库函数 25

3.4.2 用户自定义函数 25

3.5 数组 27

3.5.1 一维数组 27

3.5.2 二维数组 28

3.6 指针 28

3.7 结构体 30

3.7.1 结构体类型的声明和变量的定义 30

3.7.2 结构体变量的初始化 32

3.7.3 对结构体各成员的访问与使用 32

3.8 共用体 33

3.9 实践拓展	33	5.4.1 加法指令	57
3.10 思考与练习	35	5.4.2 减法指令	58
第4章 ATmega16 单片机基本 结构	36	5.4.3 取反码指令	59
4.1 ATmega16 的内部结构	36	5.4.4 取补码指令	59
4.2 ATmega16 的存储器结构	37	5.4.5 比较指令	59
4.2.1 ATmega16 的程序存储器	37	5.4.6 逻辑“与”指令	60
4.2.2 ATmega16 的数据存储器	37	5.4.7 逻辑“或”指令	61
4.3 状态寄存器——SREG	40	5.4.8 逻辑“异或”指令	61
4.4 ATmega16 的封装和引脚功能	41	5.4.9 乘法指令	62
4.5 ATmega16 的电源电路和复位 电路	43	5.5 转移指令	63
4.6 ATmega16 的时钟电路	43	5.5.1 无条件转移指令	63
4.7 实践拓展——最小系统设计	44	5.5.2 条件转移指令	64
4.8 思考与练习	44	5.5.3 子程序调用和返回指令	69
第5章 AVR 的指令系统与汇编 系统	45	5.6 位操作和位测试指令	70
5.1 ATmega16 指令概述	45	5.6.1 带进位逻辑操作指令	70
5.1.1 指令格式	45	5.6.2 位变量传送指令	71
5.1.2 指令的表示形式	45	5.6.3 位变量修改指令	71
5.1.3 指令的分类	46	5.7 MCU 控制指令	74
5.1.4 AVR 指令系统中的名词	46	5.8 汇编伪指令及表达式	75
5.1.5 AVR 汇编语言系统	47	5.8.1 伪指令	75
5.2 AVR 指令系统的寻址方式	48	5.8.2 表达式	79
5.3 数据传送指令	52	5.8.3 器件定义头文件 m16def.inc	80
5.3.1 直接寻址数据传送指令	52	5.9 编程实例	80
5.3.2 间接寻址数据传送指令	53	5.10 实践拓展	82
5.3.3 从程序存储器中取数装入 寄存器指令	55	5.11 思考与练习	84
5.3.4 写程序存储器指令	56	第6章 ATmega16 的 I/O 端口	85
5.3.5 I/O 口数据传送	56	6.1 I/O 端口的结构和功能	85
5.3.6 堆栈操作指令	57	6.1.1 I/O 端口的内部结构	85
5.4 算术和逻辑指令	57	6.1.2 I/O 端口的相关寄存器	86
		6.2 I/O 端口的应用举例	87
		6.2.1 LED 流水灯设计	87
		6.2.2 独立式按键设计	89
		6.2.3 单片机与液晶显示模块的 接口设计	93
		6.3 实践拓展	98

6.4 思考与练习	99	8.5 思考与练习	133
第7章 ATmega16 的中断系统 ..	100	第三篇 模块功能	134
7.1 概述	100	第9章 定时器/计数器0	134
7.2 中断源和中断向量	101	9.1 定时器/计数器的基本功能 ..	134
7.2.1 中断源	101	9.2 定时器/计数器0的特点及 内部结构	134
7.2.2 中断向量	102	9.3 预分频器	136
7.3 相关寄存器	103	9.4 输出比较单元和比较匹配 输出单元	137
7.3.1 状态寄存器	103	9.4.1 输出比较单元	137
7.3.2 通用中断控制寄存器	103	9.4.2 比较匹配输出单元	138
7.4 外部中断	104	9.5 定时器/计数器0的相关 寄存器	138
7.4.1 外部中断相关寄存器	104	9.6 定时器/计数器0的工作模式 ..	141
7.4.2 实例:一位LED数码管 显示系统设计	107	9.6.1 普通模式	142
7.4.3 实例:药片装瓶监控系统 设计	110	9.6.2 快速PWM模式	142
7.5 实践拓展	115	9.6.3 相位修正PWM模式	143
7.6 思考与练习	115	9.6.4 CTC模式	144
第8章 复位系统及睡眠模式的 设置	116	9.7 定时器/计数器0应用举例 ..	145
8.1 ATmega16 的复位系统	116	9.7.1 定时器控制LED闪烁	145
8.1.1 几种复位方式	116	9.7.2 定时器控制PWM输出 ..	147
8.1.2 复位系统硬件电路	116	9.8 实践拓展	149
8.1.3 复位的操作处理	116	9.9 思考与练习	150
8.2 看门狗定时器	120	第10章 定时器/计数器1	151
8.2.1 看门狗电路的结构	120	10.1 定时器/计数器1的内部 结构	151
8.2.2 看门狗电路的工作原理 ..	120	10.2 计数器单元	152
8.2.3 看门狗电路的相关寄存器 ..	120	10.3 输入捕捉单元	153
8.2.4 看门狗的应用	121	10.4 输出比较单元	154
8.3 睡眠模式的设置	124	10.5 比较匹配输出单元	155
8.3.1 MCUCR	125	10.6 访问16位寄存器	156
8.3.2 睡眠模式	125		
8.3.3 系统功耗最小化方法	126		
8.3.4 睡眠功能应用实例	127		
8.4 实践拓展	131		

10.7	定时器/计数器1的相关寄存器	156	11.7	思考与练习	191
10.8	定时器/计数器1的工作模式	161	第12章	同步串行SPI接口	192
10.8.1	普通模式	161	12.1	同步串行通信基础	192
10.8.2	CTC模式	162	12.2	主机和从机的连接	193
10.8.3	快速PWM模式	162	12.3	相关寄存器设置	194
10.8.4	相位修正PWM模式	164	12.3.1	SPI控制寄存器(SPCR)	194
10.8.5	相位与频率修正PWM模式	165	12.3.2	SPI状态寄存器(SPSR)	195
10.9	定时器/计数器1应用举例	167	12.3.3	SPI数据寄存器(SPDR)	196
10.9.1	PWM控制电机转速	167	12.4	数据模式	196
10.9.2	用计数器制作频率检测仪	169	12.5	同步串行口应用举例	197
10.10	实践拓展	172	12.6	实践拓展	200
10.11	思考与练习	174	12.7	思考与练习	204
第11章	A/D转换器	175	第13章	USART串行口的应用	205
11.1	A/D转换单元结构	175	13.1	串行口工作原理	205
11.1.1	A/D转换器内部结构	175	13.2	相关寄存器设置	209
11.1.2	ADC预分频器	175	13.2.1	USART数据寄存器(UDR)	209
11.2	相关寄存器设置	177	13.2.2	USART控制和状态寄存器A(UCSRA)	209
11.2.1	特殊功能I/O寄存器(SFIOR)	177	13.2.3	USART控制和状态寄存器B(UCSRB)	210
11.2.2	A/D控制和状态寄存器A(ADCSRA)	177	13.2.4	USART控制和状态寄存器C(UCSRC)	211
11.2.3	A/D数据寄存器(ADCH及ADCL)	178	13.2.5	USART波特率寄存器(UBRRL和UBRRH)	212
11.2.4	A/D多工选择寄存器(ADMUX)	179	13.3	USART串行口应用举例	212
11.3	ADC工作原理	180	13.3.1	两片单片机之间串行通信	213
11.4	ADC转换时序	181	13.3.2	单片机给PC机上传数据	216
11.5	A/D转换应用实例	183	13.4	实践拓展	218
11.5.1	实例:对输入的电压进行A/D转换	183			
11.5.2	实例:对输入的两路模拟电压进行A/D转换	185			
11.6	实践拓展	190			

13.5 思考与练习	219	14.5 思考与练习	229
第14章 TWI 接口的应用	220	第四篇 综合设计	230
14.1 TWI 通信原理	220	第15章 综合设计实例	230
14.2 相关寄存器设置	222	15.1 调光灯的设计	230
14.2.1 TWI 比特率寄存器		15.1.1 任务要求与方案设计 ..	230
TWBR	222	15.1.2 硬件电路设计	231
14.2.2 TWI 控制寄存器		15.1.3 软件设计	232
TWCR	222	15.2 电能质量检测系统设计	239
14.2.3 TWI 状态寄存器		15.2.1 任务分析	240
TWSR	223	15.2.2 硬件电路设计	240
14.2.4 TWI 数据寄存器		15.2.3 软件设计	243
TWDR	223	15.3 实践拓展	249
14.2.5 TWI (从机) 地址寄存器		15.4 思考与练习	251
TWAR	224	参考文献	252
14.3 TWI 接口应用举例	224		
14.4 实践拓展	228		

第1章 单片机概述

随着电子技术的发展，单片机更广泛地应用于工业、军事、通信、家用电器、玩具等现代化领域。高性能、高可靠性技术在单片机生产中的应用，形成了性能更好的系列单片机。这一章是写给初学者的，帮助初学者弄清什么是单片机、学单片机有什么用、在众多单片机中为什么要学习 AVR 单片机、如何选择 AVR 单片机的型号等问题。

1.1 什么是单片机

单片机是微型计算机的一个分支，它是在一块芯片上集成了由 CPU、内存（RAM）、程序存储器（ROM）、输入/输出接口等构成的微型计算机。目前，大部分单片机还集成诸如通信接口、定时器、A/D 等外围设备。而现在最强大的单片机系统甚至可以将声音、图像、网络及复杂的输入/输出系统集成在一块芯片上。

早期的单片机都是 8 位或 4 位的。其中最成功的是 INTEL 的 8031，因为简单可靠且性能不错获得了很多的好评。此后在 8031 上发展出了 MCS51 系列单片机系统。基于这一系统的单片机直到现在还在广泛使用。随着工业控制领域要求的提高，开始出现了 16 位单片机，但因为性价比不理想并未得到很广泛的应用。20 世纪 90 年代后，随着消费电子产品的大发展，单片机技术得到了巨大的提高。随着 INTEL 的 i960 系列特别是后来的 ARM 系列的广泛应用，32 位单片机迅速取代 16 位单片机的高端地位，并且进入主流市场。而传统的 8 位单片机的性能也得到了飞速提高，处理能力比起 80 年代提高了数百倍。

目前，高端的 32 位单片机主频已经超过 300MHz，性能直追 90 年代中期的专用处理器，而且价格也比较便宜。当代单片机系统已经不只在裸机环境下开发和使用了，大量专用的嵌入式操作系统被广泛应用在全系列的单片机上。而在作为掌上电脑和手机核心处理器的高端单片机甚至可以直接使用专用的 Windows 和 Linux 操作系统。

ATMEL 公司将其 EEPROM 电可擦除技术、Flash 闪速存储器技术等应用于单片机的生产中，使单片机具有优秀的品质，在结构、性能和功能等方面有着明显的优势，形成 AVR 单片机。

1.2 单片机的应用

单片机都能用来干什么？许多初学者会有这样的问题。单片机以其高可靠性、高性价比、低电压、低功耗等一系列优点，近几年得到迅猛发展和大范围推广，具体应用领域如图 1-1 所示。单片机广泛应用于工业控制系统、数据采集系统、智能化仪器仪表、通信设备、商业营销设备、医疗电子设备、日常消费类产品、玩具及汽车电子产品等。并且已经深入到工业生产的各个环节以及人们生活的各个层次中。汽车上一般配备几十个单片机，复杂的工业控制系统上甚至可能有数百个单片机在同时工作！单片机的数量不仅远超过 PC 机，甚至比人类的数量还要多。



1.3 ATMELE 的 AVR 单片机

AVR 单片机是 1997 年由 ATMELE 公司研发出的增强型内置 Flash 的 RISC 精简指令集高速 8 位单片机。AVR 单片机有多种频率的内部 RC 振荡器、上电自动复位、看门狗、启动延时等功能，使得电路设计变得非常简单，并且内部资源丰富，一般都集成模/数转换器、SPI、PWM、USART、TWI 通信口和丰富的中断源等。其特性简介如下：

1) AVR 单片机采用了具有独立的数据总线和程序总线的哈佛结构，采用流水线方式执行，大大提高了指令的执行效率，大部分指令可在一个时钟周期内完成。理论上，其执行速度是传统的 80C51 单片机的 12 倍，实际上在 10 倍左右。

2) AVR 单片机 I/O 结构的设计使得外部电子元件数量可达到最小化，其 I/O 线具有可设置的上拉电阻、可单独设定为输入或输出、可设定（初始）高阻输入、驱动能力强（输入/输出可达 20mA）等特性，可直接驱动数码管、LED、小型继电器等。

3) AVR 单片机内嵌高质量的 Flash 程序存储器，擦写方便，可反复擦写 1000 ~ 10000 次，支持 ISP 和 IAP，便于产品的调试、开发、生产、更新。内嵌长寿命的 EEPROM 可长期保存关键数据，避免断电丢失。片内大容量的 RAM 有效支持使用高级语言开发的系统程序。

4) AVR 单片机片内具有多种独立的时钟分频器，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/计数器可双向计数产生三角波，再与输出比较匹配寄存器，产生占空比可变、频率可变、相位可变的脉冲调制输出 PWM。

5) 片内有多通道 10 位 A/D 转换器，处理模拟量时得心应手；串行异步通信 USART 不占用定时器和 SPI 传输功能；具有多个固定的中断向量入口，因此可快速响应中断。

经过多年的发展，AVR 单片机已经推出了 ATiny、AT90、ATmega，分别对应低、中、高三个不同档次的多种型号的产品。它们的引脚数从 8 到 64，价格从几元到上百元。

AVR 单片机功能相当强大，当我们一起学到后续章节的具体内容时会更加清楚地体会到。初学者如果对部分术语不清楚，请先忽略它。

1.4 AVR 单片机的家族成员

AVR 单片机的家族成员相当多，主要包括 TinyAVR、MegaAVR、LCD AVR、USB AVR、DVDAVR、RFAVR、SecureAVR、FPGA AVR 等类别，可适用于各种不同场合的要求。

1.4.1 AVR单片机的型号

表 1-1 中列出了 AVR 单片机的型号和相应的参数，进行 AVR 单片机选择时，可通过此表查找和比较，从而根据各个单片机的特点选择一款适合的。

表 1-1 AVR 单片机具体型号

Device	Flash	EEPROM	SRAM	Max I/O Pins	F	16T	8T	PWM	SPI	UART	I ² C	A/D
AT90CAN128	128	4	4096	53	16	2	2	8	Yes	2	—	8
AT90PWM1	8	0.5	512	19	16	1	1	7	1	No	—	8
AT90PWM2	8	0.5	512	19	16	1	1	7	1	Yes	—	8
AT90PWM3	8	0.5	512	27	16	1	1	10	1	Yes	—	11
ATmega128	128	4	4096	53	16	2	2	8	1	2	Yes	8
ATmega1280	128	4	8192	86	16	4	2	16	1 + USART	4	Yes	16
ATmega1281	128	4	8192	54	16	4	2	9	1 + USART	2	Yes	8
ATmega128RZA	128	4	8192	54	16	4	2	9	1 + USART	2	Yes	8
ATmega128RZB	128	4	8192	86	16	4	2	16	1 + USART	4	Yes	16
ATmega16	16	0.5	1024	32	16	1	2	4	1	1	Yes	8
ATmega162	16	0.5	1024	35	16	2	2	6	1	2	—	—
ATmega164P	16	0.512	1024	32	20	1	2	6	1 + USART	2	Yes	8
ATmega165	16	0.5	1024	54	16	1	2	4	1 + USI	1	USI	8
ATmega165P	16	0.5	1024	54	16	1	2	4	1 + USI	1	USI	8
ATmega168	16	0.5	1024	23	20	1	2	6	1 + USART	1	Yes	8
ATmega169	16	0.5	1024	54	16	1	2	4	1 + USI	1	USI	8
ATmega169P	16	0.5	1024	54	16	1	2	4	1 + USI	1	USI	8
ATmega2560	256	4	8192	86	16	4	2	16	1 + USART	4	Yes	16
ATmega2561	256	4	8192	54	16	4	2	9	1 + USART	2	Yes	8
ATmega256RZA	256	4	8192	54	16	4	2	9	1 + USART	2	Yes	8
ATmega256RZB	256	4	8192	86	16	4	2	16	1 + USART	4	Yes	16
ATmega32	32	1	2048	32	16	1	2	4	1	1	Yes	8
ATmega324P	32	1	2048	32	20	1	2	6	1 + USART	2	Yes	8
ATmega325	32	1	2048	54	16	1	2	4	1 + USI	1	USI	8
ATmega3250	32	1	2048	69	16	1	2	4	1 + USI	1	USI	8
ATmega329	32	1	2048	54	16	1	2	4	1 + USI	1	USI	8
ATmega3290	32	1	2048	69	16	1	2	4	1 + USI	1	USI	8
ATmega406	40	0.512	2048	18	1	1	1	1	—	—	Yes	—
ATmega48	4	0.256	512	23	20	1	2	6	1 + USART	1	Yes	8
ATmega64	64	2	4096	54	16	2	2	8	1	2	Yes	8
ATmega640	64	4	8192	86	16	4	2	16	1 + USART	4	Yes	16
ATmega644	64	2	4096	32	20	1	2	6	1 + USART	1	Yes	8
ATmega644P	64	2	4096	32	20	1	2	6	1 + USART	1	Yes	8
ATmega645	64	2	4096	54	16	1	2	4	1 + USI	1	USI	8
ATmega6450	64	2	4096	69	16	1	2	4	1 + USI	1	USI	8
ATmega649	64	2	4096	54	16	1	2	4	1 + USI	1	USI	8
ATmega6490	64	2	4096	69	16	1	2	4	1 + USI	1	USI	8
ATmega64RZA	64	2	4096	32	20	1	2	6	1 + USART	1	Yes	8
ATmega8	8	0.5	1024	23	16	1	2	3	1	1	Yes	8

(续)

Device	Flash	EEPROM	SRAM	Max I/O Pins	F	16T	8T	PWM	SPI	UART	TWI	A/D
ATmega8515	8	0.5	512	35	16	1	1	3	1	1	—	—
ATmega8535	8	0.5	512	32	16	1	2	4	1	1	Yes	8
ATmega88	8	0.5	1024	23	20	1	2	6	1 + USART	1	Yes	8
ATtiny11	1	—	—	6	6	—	1	—	—	—	—	—
ATtiny12	1	0.064	—	6	8	—	1	—	—	—	—	—
ATtiny13	1	0.064	64B + 32reg	6	20	—	1	2	—	—	—	4
ATtiny15L	1	0.0625	—	6	1.6	—	2	1	—	—	—	4
ATtiny2313	2	0.128	128	18	20	1	1	4	USI	1	USI	—
ATtiny24	2	0.128	128	12	20	1	1	4	USI	—	USI	8
ATtiny25	2	0.128	128	6	20	—	2	4	USI	—	USI	4
ATtiny26	2	0.125	128	16	16	—	2	2	USI	—	USI	11
ATtiny261	2	0.128	128	16	20	1	2	2	Yes	—	USI	11
ATtiny28L	2	—	32	11	4	—	1	—	—	—	—	—
ATtiny44	4	0.256	256	12	20	1	1	4	USI	—	USI	8
ATtiny45	4	0.256	256	6	20	—	2	4	USI	—	USI	4
ATtiny461	4	0.256	256	16	20	1	2	2	Yes	—	USI	11
ATtiny84	8	0.512	512	12	20	1	1	4	USI	—	USI	8
ATtiny85	8	0.512	512	6	20	—	2	4	USI	—	USI	4
ATtiny861	8	0.512	512	16	20	1	2	2	Yes	—	USI	11

TinyAVR 系列的典型芯片如 Tiny11、Tiny12 和 Tiny13 等，该类型单片机的特点是把价格、性能和灵活性很好地结合在一起，典型的应用包括锂电池充电器、冰箱控制和门禁系统等。

MegaAVR 系列的典型芯片如 ATmega8、ATmega16、ATmega128 等，该类型单片机的特点是带有具可自编程能力的程序存储器，可以通过 SPI、USART 和二线制接口 (I²C) 编程，适合于需要远程编程和现场升级的应用领域；同时该类型单片机具有很全的外围设备，适合于多种应用。

此外，还有一些增加了面向应用的特殊功能。例如，LCD AVR 单片机 ATmega169 集成了 LCD 驱动器，能够驱动 4 × 25 段的 LCD；USB AVR 单片机 AT43USB351M 集成了 USB 的物理层和数据链路层的硬件协议，同时由 AVR 核通过编程实现传输层；DVD AVR 单片机 AT78C1501 内部通过 AVR 核实现内部数据通道核缓存的控制；RF AVR 单片机 AT86F401 可以实现无线射频数据传输；FPGA AVR 单片机 AT594K05A 内部集成有 FPGA。

1.4.2 AVR 单片机的选型

AVR 单片机已经发展成为一个庞大的家族，包含了很多型号，它们各自的特点不尽相同。TinyAVR 是一个 AVR 单片机的简化版，MegaAVR 属于功能比较多的类型，其他系列都有面向专门应用的功能。那么，面对如此多的 AVR 单片机，用户该如何选择呢？一般来说，选择单片机要考虑以下几个方面，当然这都是在系统功能确定的情况下才能确定。

- 1) I/O 个数。根据所控制的外围设备及需要的 I/O 个数来选择单片机型号。
- 2) 程序空间的大小。根据程序的大小选择单片机型号，但是在没有编程之前是无法确

定的。需要提醒的是，如果要用到可以处理浮点数格式化输出的 `printf()` 函数，那么就要注意选一个具有 8KB 以上程序存储空间的单片机。

3) RAM 的大小。是否需要缓存处理大量数据？当然，AVR 系列的许多型号的 RAM 已经比一般的单片机的 RAM 大多了，但是若要处理大量数据还是要注意。此外，当用 AVR 单片机运行实时操作系统时，操作系统会占用很多的 RAM，因此要注意选择。

4) EEPROM 的大小。掉电时数据也需要保存吗？需要存储多少数据？这些决定了是否需要 EEPROM，以及选择一个带有多大 EEPROM 的单片机。

5) 外围设备。比如 A/D、通信接口 (SPI、USART 等)、PWM 输出等。是否需要这些功能，如果需要，对其有何要求？

除了上面提到的几个方面以外，还有很多因素，比如封装、功耗、速度、供电电压等。总之，需要考虑的因素很多，在各个因素中做选择和折中实在不是件容易的事。幸好，所有 AVR 单片机的内核都是兼容的，指令也基本兼容，如果用 C 语言编程，在各个型号之间移植是比较容易的。

下面举几个典型的例子，仅供参考，在实际项目设计中还要根据具体需要综合考虑各种因素进行选择。

- 基本要求：4KB Flash ROM，8 个以上 I/O 口，8 路 A/D 转换器，6 路 PWM，10 个外部中断；
推荐：ATmega48V、ATmega48。
- 基本要求：16KB Flash ROM，50 个以上 I/O 口，超低功耗；
推荐：ATmega169PV、ATmega169P。
- 基本要求：64KB Flash ROM，50 个以上 I/O 口，4KB EEPROM，8 路 A/D 转换器、I²C、SPI、WDT；
推荐：ATmega64L、ATmega64。
- 基本要求：引脚兼容 AT89S51/S52，16KB Flash ROM，1KB EEPROM，WDT、2 路 USART；
推荐：ATmega162V、ATmega162。
- 基本要求：引脚兼容 AT89C2051，2KB Flash ROM，128BIT EEPROM，WDT；
推荐：ATtiny2313V、ATtiny2313。

1.5 ATmega16 单片机概述

ATmega16 是 ATmega 系列的主流产品，功能比较强大，也是应用广泛的器件，本书将以 ATmega16 为主线讲述 AVR 单片机。这一节介绍 ATmega16 单片机的主要特点和引脚功能。

1.5.1 ATmega16 单片机的主要性能

高性能、低功耗的 ATmega16 单片机主要特点如下。

(1) 先进的 RISC 结构

- 131 条指令：大多数可以在一个时钟周期内完成。
- 32 个 8 位通用工作寄存器和外设控制寄存器。
- 工作于 16MHz 时，性能高达 16MIPS。
- 只需两个时钟周期的硬件乘法器。

(2) 非易失性的程序和数据存储器

- 16K 字节的系统内可编程 Flash。

10 000 次写/擦除周期的寿命。

具有独立锁定位、可选择的启动代码区。

通过片内的启动程序实现系统内编程。

- 512 字节的 EEPROM。

100 000 次写/擦除周期的寿命。

- 1K 字节的内部 SRAM。

可以对锁定位进行编程以实现软件加密。

可以通过 SPI 实现系统内编程。

(3) JTAG 接口 (与 IEEE 1149.1 标准兼容)

- 遵循 JTAG 标准的边界扫描功能。

- 支持扩展的片内调试。

- 通过 JTAG 接口实现对 Flash、EEPROM、熔丝位和锁定位的编程。

(4) 外设特点

- 两个具有独立的预分频器和比较器功能的 8 位定时器/计数器。

- 两个具有预分频器、比较功能和捕捉功能的 16 位定时器/计数器。

- 具有独立预分频器的实时时钟计数器。

- 两路 8 位 PWM。

- 4 路分辨率可编程 (2 ~ 16 位) 的 PWM。

- 输出比较调制器。

- 8 路 10 位 ADC。

8 个单端通道

7 个差分通道

2 个具有可编程增益 (1x、10x 或 200x) 的差分通道

- 面向字节的两线接口 I²C 总线。

- 两个可编程的串行 USART。

- 可工作于主机/从机模式的 SPI 串行接口。

- 具有独立片内振荡器的可编程看门狗定时器。

- 片内模拟比较器。

(5) 特殊的处理器特点

- 上电复位以及可编程的掉电检测。

- 片内经过标定的 RC 振荡器。

- 片内/片外中断源。

- 6 种睡眠模式: 空闲模式、ADC 噪声抑制模式、省电模式、掉电模式、Standby 模式以及扩展的 Standby 模式。

- 可以通过软件进行选择时钟频率。

- 通过熔丝位可以选择 ATmega103 兼容模式。

- 全局上拉禁止功能。

(6) I/O 和封装

- 32 个可编程 I/O 口。

- 40 引脚 PDIP 封装、44 引脚 TQFP 封装、44 引脚 MLF 封装。

(7) 工作电压

- 2.7 ~ 5.5V ATmega16L

- 4.5 ~ 5.5V ATmega16