



# AVR单片机原理 与GCC编程实践

## ——智能小车的系统开发

杭和平 邵明刚 杨 芳 编著

# AVR单片机原理 与GCC编程实践

## ——智能小车的系统开发

杭和平 邵明刚 杨 芳 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书以 ATmega16 单片机为蓝本, AVR Studio 4 和 WinAVR 为软件开发平台, 针对 AVR 单片机各个功能部件的原理和应用, 并结合 Sunny2.0 智能小车控制系统实例进行全面地讲解。全书的主要内容有: AVR 单片机概述、ATmega16 单片机结构、AVR 单片机开发环境、AVR 单片机的 GCC 程序设计、ATmega16 单片机系统的时钟与电源管理、ATmega16 单片机中断系统、ATmega16 单片机系统定时器及应用、AVR 单片机的串行接口与应用、AVR 单片机的 ADC 接口与应用、AVR 单片机 I/O 接口应用、AVR 单片机应用实践、AVR 单片机智能小车应用。每章节附有思考题, 以供读者练习。

本书配套光盘中有所有章节的源程序, 智能小车的电路原理图, 以及相关视频等内容。

本书适合作为普通高等学校的计算机、电气信息类专业的培训用书, 也可以作为相关专业工程技术人员的技术参考书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

AVR 单片机原理与 GCC 编程实践: 智能小车的系统开发 / 杭和平, 邵明刚, 杨芳编著. —北京: 中国电力出版社, 2012.6  
ISBN 978-7-5123-3179-2

I. ①A… II. ①杭… ②邵… ③杨… III. ①单片  
微型计算机—程序设计 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 128761 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2012 年 9 月第一版 2012 年 9 月北京第一次印刷

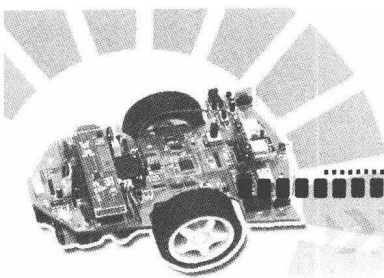
710 毫米×980 毫米 16 开本 21.5 印张 423 千字

印数 0001—3000 册 定价 45.00 元 (含 1CD)

## 敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



## 前 言

单片机技术是一种应用性技术，一般电子产品的设计过程包括：首先考虑如何应用单片机的硬件资源、内部功能模块实现产品的需求，或者设计外围电路实现需求；其次要仔细阅读单片机的技术手册、相关资料，了解如何实现这些需求，具体涉及单片机的哪些模块和寄存器、是否满足需求；然后编写代码（软件）完成这些功能，许多代码语句是对单片机寄存器的读写。正确理解单片机的功能模块和寄存器是编写软件的关键之一。

AVR 单片机内部集成了许多实用的功能模块，适合 C 语言编程，价格低廉，性价比高，目前在电子产品市场中占有重要地位，广泛应用于各种电子产品中。

无论是从掌握单片机原理，还是从提高学习兴趣、提高学习效率上，将学习的内容具体到一个综合的实际对象上都是十分有益的。为此，我们开发了基于 ATmega16 单片机的 Sunny2.0 智能小车，作为学习 ATmega16 单片机的综合载体。Sunny2.0 智能小车集成了多种检测和控制器件，几乎涉及 ATmega16 单片机的所有内部资源，是 AVR 单片机学习和开发的理想对象。

AVR 单片机中目前常用的有 ATmega 系列和 ATtiny 系列。ATtiny 内部资源和 I/O 引脚较少，在家用电器等行业用途广泛。ATmega 系列单片机内部集成了常用的功能模块，内部 ROM、RAM、EEPROM 选择空间大，价格低廉，是具有很好性价比的 8 位单片机产品系列。ATmega8 和 ATmega16 是 AVR ATmega 系列的早期的产品，也是其经典产品。但是，ATmega16 有更多的 I/O 引脚，适用于较多输入/输出的系统。另一方面，它具有 JTAG 调试接口，并有价格低廉的调试工具，适合开发需要。

开发工具的选择往往是学习 AVR 单片机面临的第一个问题。本书介绍了 AVR Studio 4.18 和 WinAVR（AVR GCC 编译器）。AVR Studio 是 ATMEL 公司官方的开发工具，完全免费，支持众多的调试下载工具，对 AVR 新器件的支持也是最及时的。

AVR GCC 是 AVR 单片机的 C/C++ 语言编译器，GCC（GNU Compiler Collection），即开源的 GNU 编译器集合。在开源免费的软件中，GCC 的编译器优化程度可以说是做得最好的，同时它的 bug 数量也是最少的。WinAVR 是基于 Windows 平台的免费 GCC 编译器。它可以与 AVR Stdio 无缝集成。

AVR Studio 配合 WinAVR，集编辑、下载、仿真调试于一身，功能强大，没有

代码量的限制，没有时间的限制，没有版权问题，是节约开发成本的首要选择。

2011年，ATMEL公司推出新型全集成开发平台AVR Studio 5，采用Microsoft Visual Studio Shell 构架，集成AVR Software Framework 源代码库、GNU C/C++编译器和功能强大的模拟器，支持所有8位和32位AVR单片机。目前AVR Studio 5还在发展完善中，考虑到普及性以及开发者使用习惯等因素，本书只对AVR Studio 5的使用做了简要说明。

本书基于Sunny2.0智能小车控制系统，对ATmega16单片机各个功能部件的原理和应用结合各种实例进行了叙述，所涉及内容涵盖了ATmega16单片机的所有功能。特别针对ATmega16单片机中的定时/计数器1、时钟和低功耗设计等内容作了专门的讲解。

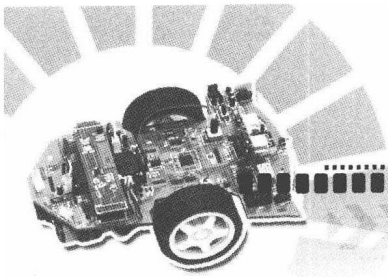
本书第1章由杭和平、杨芳共同编写，第2章、第5章、第7章由杭和平编写，第3章、第4章、第8章、第9章由邵明刚编写，第6章、第10章、第11章、第12章由杨芳编写。

在编写过程中，参考了有关书籍、资料，在此对有关作者一并表示感谢。

本书配套光盘包含了Sunny2.0智能小车的电路图、程序代码、演示视频，程序代码均在AVR Studio 4 + WinAVR上调试通过。作者已开通博客：<http://blog.sina.com.cn/u/2682300455>，将会定期解答读者的问题，不断添加智能小车的扩展电路图及程序代码，更好地和读者交流。

限于作者水平，书中难免存在错误和疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者



# 目 录

## 前言

<b>第1章 AVR 单片机概述</b> .....	1
1.1 单片机概述.....	1
1.1.1 单片机的结构与组成.....	1
1.1.2 单片机的分类和指标.....	3
1.1.3 AVR 单片机.....	4
1.1.4 其他常用单片机系列.....	6
1.2 单片机的数制与编码.....	7
1.2.1 进位计数制.....	8
1.2.2 进位计数制的相互转换.....	9
1.2.3 二进制和十六进制数的运算.....	10
1.2.4 数码和字符的代码表示.....	13
1.3 ATmega16 单片机的简单应用系统.....	17
1.3.1 单片机的 I/O 电平.....	17
1.3.2 单片机电路中三极管的应用.....	19
1.3.3 单片机的一个简单应用系统.....	19
1.4 基于 AVR 单片机的智能小车.....	20
1.4.1 概述.....	20
1.4.2 机械构造.....	20
1.4.3 设计原理.....	21
思考题.....	21
<b>第2章 ATmega16 单片机结构</b> .....	23
2.1 ATmega16 单片机内核结构.....	23
2.2 ATmega16 单片机特点.....	24
2.3 ATmega16 单片机引脚与封装.....	25

2.3.1	ATmega16 单片机的封装	25
2.3.2	AVR 单片机 I/O 端口的基本结构	29
2.3.3	ATmega16 单片机的 I/O 端口寄存器	30
2.3.4	Sunny2.0 智能小车 I/O 端口使用举例	33
2.4	ATmega16 单片机存储器结构与编程	36
2.4.1	ATmega16 单片机的程序存储空间	36
2.4.2	ATmega16 单片机的数据存储空间	37
2.4.3	ATmega16 单片机的 EEPROM 存储空间	38
2.5	ATmega16 单片机的熔丝位	41
	思考题	43
<b>第 3 章 AVR 单片机开发环境</b>		<b>45</b>
3.1	AVR 单片机软件开发工具	45
3.2	WinAVR 简介	46
3.3	ATmega16 JTAG 与 ISP 接口	47
3.3.1	JTAG 接口使用说明	48
3.3.2	ISP 接口使用说明	52
3.4	AVR Studio 4 使用简介	54
3.5	AVR Studio 5 使用简介	59
3.5.1	创建项目	60
3.5.2	调试项目	63
3.5.3	创建 ASF 示例项目	69
3.6	AVR GCC 的编译过程	71
	思考题	73
<b>第 4 章 AVR 单片机的 GCC 程序设计</b>		<b>74</b>
4.1	AVR GCC 基本语法介绍	74
4.1.1	AVR GCC 程序设计语言概述	74
4.1.2	AVR C 程序的基本结构	75
4.1.3	标识符和关键字	76
4.1.4	变量与数据类型	78
4.1.5	运算符和表达式	85
4.1.6	程序结构	91
4.1.7	数组、指针和结构体	96
4.1.8	函数	100

4.1.9	中断服务程序	102
4.1.10	预处理	104
4.1.11	在 C 代码中嵌入汇编语言	108
4.2	AVR Libc 库函数介绍	109
4.2.1	AVR Libc 中对位操作的支持	109
4.2.2	AVR Libc 对 Flash 访问的支持	111
4.2.3	AVR Libc 对 EEPROM 访问的支持	112
4.2.4	AVR Libc 对看门狗的支持	114
4.2.5	AVR Libc 的数学库	115
4.3	AVR GCC 段定义和使用	117
4.4	嵌入式 C 语言程序设计的注意事项	119
4.4.1	数据运算的溢出问题	119
4.4.2	数据类型转换问题	120
	思考题	121

## 第 5 章 ATmega16 单片机系统的时钟与电源管理 123

5.1	ATmega16 单片机的时钟	123
5.1.1	ATmega16 单片机的时钟结构	123
5.1.2	ATmega16 单片机的时钟源	125
5.2	ATmega16 单片机的复位	130
5.2.1	ATmega16 单片机复位概述	130
5.2.2	ATmega16 单片机的复位源与相关寄存器	131
5.3	ATmega16 单片机的低功耗设计——时钟与电源管理	135
	思考题	140

## 第 6 章 ATmega16 单片机的中断系统 141

6.1	中断的基本概念	141
6.1.1	中断的作用	141
6.1.2	中断系统的响应过程	142
6.1.3	中断系统的优先级	143
6.2	ATmega16 单片机的中断	143
6.2.1	ATmega16 中断源和中断向量	143
6.2.2	中断服务程序的编写	145
6.3	ATmega16 单片机的外部中断	145
6.4	ATmega16 外部中断应用	148



思考题 .....	150
<b>第7章 ATmega16 单片机系统定时器及应用 .....</b>	<b>151</b>
7.1 ATmega16 单片机的定时/计数器概述 .....	151
7.1.1 ATmega16 定时/计数器的相关引脚 .....	151
7.1.2 定时/计数器概念及小车应用 .....	152
7.2 ATmega16 单片机的定时/计数器 1 原理及应用 .....	153
7.2.1 ATmega16 单片机定时/计数器 1 (T/C1) 原理 .....	153
7.2.2 ATmega16 单片机定时/计数器 1 的 PWM 输出 .....	157
7.2.3 ATmega16 单片机定时/计数器 1 相关寄存器 .....	159
7.2.4 ATmega16 单片机定时/计数器 1 的工作模式 .....	163
7.2.5 ATmega16 单片机定时/计数器 1 的时序图 .....	167
7.3 ATmega16 单片机的定时/计数器 1 的应用 .....	168
7.3.1 T/C1 作为外部事件计数器的应用 .....	168
7.3.2 T/C1 作为普通定时器的应用 .....	170
7.3.3 T/C1 作为输入捕捉的应用 .....	173
7.3.4 T/C1 作为 PWM 输出的应用 .....	176
7.3.5 T/C1 应用小结 .....	178
7.4 ATmega16 单片机的定时/计数器 0 和 2 原理 .....	179
7.4.1 8 位定时/计数器的特性与结构 .....	179
7.4.2 8 位定时/计数器 T/C0 相关的寄存器 .....	181
7.4.3 8 位定时/计数器 T/C0 的工作模式 .....	184
7.4.4 8 位定时/计数器 T/C0 的应用 .....	186
7.4.5 8 位定时/计数器 T/C2 简介 .....	190
思考题 .....	193
<b>第8章 AVR 单片机串行接口与应用 .....</b>	<b>195</b>
8.1 串行通信基础知识 .....	195
8.1.1 并行通信和串行通信 .....	195
8.1.2 异步通信和同步通信 .....	196
8.1.3 单片机串行通信传输方式 .....	197
8.1.4 串行数据通信的传输速率 .....	198
8.2 ATmega16 的 USART 接口及应用 .....	198
8.2.1 USART 接口概述 .....	199
8.2.2 异步传输模式 .....	200

8.2.3	USART 寄存器说明	204
8.2.4	异步 USART 应用实例	209
8.2.5	单片机和 PC 机通信	212
8.3	ATmega16 的 SPI 接口及应用	217
8.3.1	SPI 串行总线介绍	217
8.3.2	ATmega16 的 SPI 接口概述	217
8.3.3	SPI 寄存器说明	219
8.3.4	SPI 的工作模式	221
8.3.5	SPI 应用实例	223
8.4	ATmega16 的 TWI 接口及应用	226
8.4.1	I <sup>2</sup> C 总线概述	226
8.4.2	TWI 概述及寄存器说明	229
8.4.3	TWI 的使用方法	232
8.4.4	TWI 应用实例	235
	思考题	240
<b>第 9 章 AVR 单片机 ADC 接口与应用</b>		241
9.1	ATmega16 的 ADC 概述	241
9.2	ATmega16 与 ADC 相关的寄存器	243
9.3	ADC 应用要点	247
9.4	ADC 应用举例	249
	思考题	253
<b>第 10 章 ATmega16 的 I/O 接口应用</b>		255
10.1	人机接口	255
10.1.1	LED 接口	255
10.1.2	LCD 接口	259
10.1.3	按键接口	267
10.2	数字 I/O 接口	272
10.2.1	光电隔离接口	272
10.2.2	蜂鸣器及其接口	273
10.2.3	功率输出(继电器)接口	274
	思考题	276
<b>第 11 章 AVR 单片机应用实践</b>		277
11.1	位置检测元件与应用	277

11.2	直流电动机的控制 .....	280
11.3	光敏电阻的应用 .....	285
11.4	热敏电阻的应用 .....	288
	思考题 .....	293
<b>第 12 章 AVR 单片机智能小车应用 .....</b>		<b>294</b>
12.1	单片机系统设计的步骤 .....	294
12.2	Sunny2.0 智能小车简介 .....	295
12.2.1	Sunny2.0 智能小车实物图 .....	295
12.2.2	功能说明 .....	296
12.2.3	系统结构框图 .....	297
12.3	智能小车硬件设计 .....	297
12.3.1	车体介绍 .....	297
12.3.2	单片机控制板 .....	297
12.3.3	系统扩展板 .....	298
12.3.4	Sunny2.0 小车 ATmega16 硬件资源分配 .....	298
12.4	智能小车控制板功能模块说明 .....	299
12.4.1	电源 .....	299
12.4.2	单片机电路及 JTAG 接口电路 .....	301
12.4.3	小车电动机驱动电路及控制编程 .....	302
12.4.4	多路模拟开关接口电路及编程 .....	305
12.4.5	智能小车测距 .....	309
12.4.6	智能小车障碍检测 .....	317
12.4.7	LED 数码管显示 .....	318
12.4.8	电池电压检测 .....	318
12.5	智能小车扩展板功能模块说明 .....	319
12.6	利用超声波传感器模块实现倒车功能例程 .....	322
	思考题 .....	329
附录 智能小车的电路原理图 .....		330
参考文献 .....		334

# AVR 单片机概述

## 1.1 单片机概述

单片机称为单片微控制器 (Microcontroller), 又称 MCU (Micro Control Unit), 其结构是将微型计算机的中央处理机 (CPU)、存储器、输入/输出接口 (I/O 口)、定时器/计数器、中断系统等全部集成在一个半导体芯片上。

单片机结构上的设计, 在硬件、指令系统及 I/O 处理能力等方面都有独到之处, 具有较强的控制功能。虽然单片机只是一个芯片, 但无论从组成还是从其逻辑功能上来看, 都具有微机系统的含义。另一方面, 单片机毕竟是一个芯片, 只有外加所需的外部设备, 才可以构成实用的单片机应用系统。

### 1.1.1 单片机的结构与组成

#### 1. 单片机的结构

单片机的结构图如图 1-1 所示。CPU 包括控制器和运算器; ROM 和 RAM 是存储器, ROM 存放程序, RAM 存放数据; I/O 为输入设备和输出设备。单片机用片内总线实现 CPU、ROM、RAM、I/O 各模块之间的信息传递。具体到某一种型号的单片机, 其芯片内部集成的程序存储器 ROM 和数据存储器 RAM 大小不同, 输入和输出端口 I/O 也有多有少, 但 CPU 只有一个。

#### 2. 单片机的组成

**中央处理器 (CPU):** 单片机的核心单元。通常由算术逻辑运算部件 ALU 和控制部件构成。

**程序存储器 (ROM):** 用来存放用户程序。可分为 EPROM、Mask ROM、OTP ROM、Flash 存储器等。与 RAM 相比, 数据一旦写入 ROM 后, 即使断电, 信息也

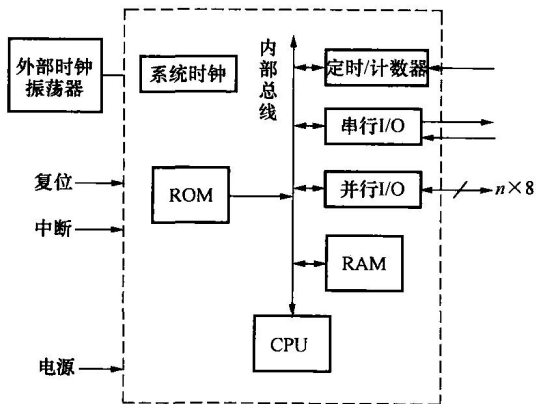


图 1-1 单片机的结构图



不会丢失。EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) 是一种用紫光擦除, 需外接高电压编程 (烧录) 的只读存储器。Mask ROM 又称为掩膜的只读存储器, 程序编写完毕, 确保无错误的情况下, 将程序交给 ROM 生产厂家写入, 不能再擦除重写。适合大批量稳定生产的产品, 当用量很大时, 单片的成本最低。OTP ROM (One Time Programmable ROM) 是一次性编程的只读存储器, 不能擦除重写, 这种程序存储器的单片机, 正在被 Flash 存储器的单片机所替代, 例如 OTP ROM 的单片机 PIC16C7x 系列被相同类别 flash 存储器的 PIC16F7x 替代。目前使用片内 Flash 程序存储器 (也称为“闪存”) 的单片机是使用的, 例如常用的 AT89C、AT89S、AVR 等系列的单片机, 这种 Flash 的程序存储器可以用电直接反复擦写, 使用方便。现在使用的 U 盘、MP3、数码相机用的 CF 卡等, 都是使用 Flash 作为存储介质的。

随机存储器 (RAM): 断电后信息会丢失的存储器。这种存储器可以快速反复修改信息, 用来存放程序运行时的工作变量和数据。

为了叙述的方便, 把单片机的程序存储器统称为 ROM; 将单片机的数据存储器统称为 RAM。

并行输入/输出 (I/O) 端口: 通常为独立的双向 I/O 口, 它既可以用作输入方式, 又可以用作输出方式, 通过软件编程设定。I/O 是单片机的重要资源, 也是衡量单片机功能的重要指标之一。单片机的 I/O 口通常还可以进行“位”操作, 即对每一位进行读或写操作。

串行输入/输出口: 用于单片机和串行设备或其他单片机的通信。串行通信是单片机与其他设备进行信息交换最简单的方式。比如 SPI、UART 和 I<sup>2</sup>C 等都是常用的串行通信接口。

定时器/计数器 (T/C): 用于单片机内部精确定时或对外部事件 (如输入的脉冲信号) 进行计数。

系统时钟: 通常需要外接石英晶体或其他振荡源提供时钟信号输入, 也有的使用内部 RC 振荡器, 如 AVR 系列单片机。系统时钟类似于 PC 机中的主频, 是反映单片机运行速度的重要指标。

以上只是单片机的基本构成, 现代的单片机又加入了许多新的功能部件, 如 EEPROM、模拟/数字转换器、数字/模拟转换器、温度传感器、液晶驱动电路、电压监控、看门狗电路、低压检测电路等。

### 3. 单片机的特点

(1) 具有较高的性价比。其应用系统具有印制板小、接插件少、安装调试简单方便等特点。

(2) 体积小, 可靠性高。由单片机组成的应用系统结构简单, 其体积特别小, 极易对系统进行电磁屏蔽等抗干扰措施。另一方面, 单片机不易受外界的干扰。

(3) 控制功能强。单片机采用面向控制的指令系统, 实时控制功能特别强。CPU

可以直接对 I/O 口进行输入、输出操作及逻辑运算，并且具有很强的位处理能力，能有针对性解决由简单到复杂的各类控制任务。

(4) 使用方便、容易产品化。由于单片机具有体积小、功能强、性能价格比较高、系统扩展方便、硬件设计简单等优点，而且单片机开发工具具有很强的软、硬件调试功能，使研制单片机应用系统极为方便，加之现场运行环境的可靠性，因此使单片机能满足许多小型对象的嵌入式应用要求。

#### 4. 单片机的应用领域

在智能化、高档电子玩具产品中也大量采用单片机作为核心控制部件，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。

### 1.1.2 单片机的分类和指标

单片机从用途上可分成专用型单片机和通用型单片机两大类。专用型单片机是为某种专门用途而设计的单片机，如具有影像解码硬件的 DVD 专用控制芯片、具有 MP3 音频解码的专用控制芯片。通常所说的单片机是指通用型单片机。

单片机的性能有以下重要指标：

(1) 位数：是单片机能够一次处理的数据的宽度，常用的有 8 位机（如 MCS-51、ATmega16）、16 位机（如 MC9S12 系列）、32 位机（NEC 的 V850 系列）等。目前使用最广泛的是 8 位机。

(2) 存储器：包括程序存储器（ROM）和数据存储器（RAM），程序存储器空间较大，字节数一般从几 KB 到几十 KB（ $1\text{KB}=2^{10}\text{B}=1024\text{B}$ ），甚至上百 KB（如 ATmega128），另外还有不同的类型，如 ROM、EPROM、Flash ROM 和 OTP ROM 型。数据存储器的字节数则通常为几十字节到几百字节，甚至上千字节之间。程序存储器的编程方式也是用户选择的一个重要因素，有的是串行编程，有的是并行编程，新一代的单片机有的还具有在系统编程（In-System-Programmable, ISP）或在应用编程（In-Application re-Programmable, IAP）功能，有的还有专用的 ISP 编程接口或 JTAG 调试编程接口。

(3) I/O 口：即输入/输出口，一般有几个到几十个，用户可以根据自己的需要进行选择。I/O 口的驱动能力也是一个选择指标，新一代的单片机有的可以具有 40mA 的驱动能力，可以直接驱动 LED 发光二极管。

(4) 速度：指的是 CPU 的处理速度，以每秒执行多少条指令衡量，常用单位是 MIPS（百万条指令/秒），目前最快的单片机可达到 100MIPS。单片机的速度通常是和系统时钟相联系的，但并不是频率高的处理速度就一定快，不能仅仅从单片机时钟频率的快慢，判断单片机的处理速度，对于同一种型号的单片机来说，采用频率



高的时钟比频率低的速度要快。

(5) 工作电压：通常工作电压是 5V，也有 3.3V 电压的产品，更低的可在 1.5V 工作。现代单片机又出现了宽电压范围型，即在 1.8~6.5V 内都可正常工作。

(6) 功耗：低功耗是现代单片机所追求的一个目标，目前低功耗单片机的静态电流可以低至  $\mu\text{A}$ （微安， $10^{-6}\text{A}$ ）或  $\text{nA}$ （纳安， $10^{-9}\text{A}$ ）级。有的单片机还具有等待、关断、睡眠等多种工作模式，以此来降低功耗。例如：AVR 单片机 ATmega16L 在 1MHz，3V，25℃ 时的静态电流是：正常模式为 1.1mA；空闲模式为 0.35mA；掉电模式为小于  $1\mu\text{A}$ 。

(7) 使用温度：单片机根据工作温度可分为民用级（商业级）、工业级、汽车级和军用级等。民用级的温度范围是 0~70℃，工业级是 -40~+85℃，军用级是 -55~+125℃。

### 1.1.3 AVR 单片机

#### 1. AVR 单片机分类

1997 年 Atmel 公司推出了全新配置的、采用精简指令 RISC (Reduced Instruction Set CPU) 结构的 AVR 单片机，为满足不同需求和应用，共有 ATtiny、AT90S 与 ATmega 三个系列，分别对应低、中、高三个不同档次的数十种型号的产品。其分类可参见表 1-1。

表 1-1 AVR 单片机分类表

8 位 AVR 单片机 RISC 结构		存储器配备		
系列	封装	Flash	SRAM	EEPROM
ATtiny AVR	8~32 脚	1~8KB	可达 512 字节	可达 512 字节
AT90S AVR	8~44 脚	1~8KB	可达 1KB	可达 512 字节
ATmega AVR	28~100 脚	4~256KB	可达 8KB	可达 4KB

这三个系列的 AVR 单片机，内核相同，指令系统兼容，只是在内部资源的配备（存储器容量的大小等）及片内集成的外围接口数量和功能上不同。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 AT90S 系列的生产，而采用性能更加优越的 ATmega 系列代替。目前 ATtiny AVR 和 ATmega AVR 系列的单片机已成为了 AVR 的主流。AVR 单片机采用的 RISC 结构，能够更好地采用 C 语言来编写程序，从而能高效地开发出目标代码。

#### 2. AVR 单片机特点

大多数 AVR 单片机除了具有 8051 单片机的基本功能，如定时/计数器、中断、串行通信等外，还具有以下的特点。

AVR 单片机在一个时钟周期内执行一条指令，在 1MHz 时钟频率时，处理速度大约为 1MIPS。它的结构设计和指令设计特别适合 C 语言的应用，并且是 GCC 开发工具唯一支持的 8 位单片机。

大多数 AVR 单片机支持包括休眠在内的 5 种节电模式，在休眠状态下，最小的静态电流可低至 0.5 $\mu$ A。

AVR 的单片机产品系列已经有数十种之多。高档产品 ATmega128 在片内具有 128KB 的 Flash 存储器，4KB 的 EEPROM 和 4KB 的 RAM，已在数据采集系统、医疗仪器等复杂的单片机系统中得到很好的应用。

传统的基于累加器结构的单片机，如 8051 单片机，需要大量的程序代码，以实现在累加器和存储器之间的数据传送，而在 AVR 单片机中，采用 32 个通用的工作寄存器组成快速存取寄存器组，从而替代了累加器，避免了在传统结构中累加器和存储器之间数据传送造成的瓶颈现象。

为了获得最高的性能以及并行性，AVR 单片机采用了 Harvard 结构，具有独立的数据和程序总线。程序存储器里的指令通过一级流水线运行。CPU 在执行一条指令的同时读取下一条指令。这个概念实现了指令的单时钟周期运行。在其他的 CISC 以及类似的 RISC 结构的单片机中，外部振荡器的时钟被分频降低到传统的内部指令执行周期，这种分频最大达 12 倍，如 MCS-51 单片机。

AVR 单片机采用低功率的 CMOS 工艺制造，内部分别集成 Flash、EEPROM 和 SRAM 三种不同性能和用途的存储器，除了可以通过 SPI 口和一般的编程器对 AVR 单片机的 Flash 程序存储器和 EEPROM 数据存储进行编程外，绝大多数的 AVR 单片机还具有在线编程 (ISP) 的特点，这给 AVR 单片机的使用带来了极大的方便。

ATmega16 单片机具有三个主要的存储器空间：程序存储器空间、数据存储器空间和 EEPROM 存储器。其程序存储器是 16K 字节的在线编程 Flash，用于存放程序指令代码。因为所有的 AVR 指令为 16 位或 32 位，故而 Flash 被组织成 8K $\times$ 16 位的形式。ATmega16 的程序计数器为 13 位，正好满足了对片内 16K 字节的 Flash 程序存储器空间直接寻址的需要，因此也不支持外部扩展程序存储器。ATmega16 包含 512 字节的 EEPROM 数据存储器。它是作为一个独立的数据空间而存在的，可以按字节读写。

为比较 AVR 单片机的运算速度，Atmel 公司给出了如下一段示例的 C 代码，这段代码可以在多种不同的处理器上编译运行：

```
int max(int *array)
{
    char a;
    int maximum = -32768;
    for (a = 0; a < 16; a++)
        if (array[a] > maximum)
```





```

        maximum = array[a];
    return (maximum);
}

```

程序的运行结果见表 1-2。

**表 1-2 几种处理器执行速度与效率的比较**

处 理 器	编译代码的大小 (字节)	执行时间 (周期)
AVR 单片机	46	335
8051 单片机	112	9384
PIC16C74 单片机	87	2492
68HC11 单片机	57	5244

从上表可以看到,以相同时钟频率运行时,AVR 单片机的执行速度是 PIC16 单片机的 7 倍,是 68HC11 单片机的 15 倍,是 8051 单片机的 28 倍之多!换句话说,如果 8051 单片机要达到频率为 8MHz 的 AVR 单片机的速度,那么它的时钟频率至少是 224MHz。尽管结果会由于选用的编译器不同而不同,也和选用测试的源代码有关,但从实际使用 AVR 单片机的经验来看,AVR 单片机程序执行确实要快于 8051 单片机和 PIC16C7X 单片机,而且代码也更紧凑。

### 1.1.4 其他常用单片机系列

单片机的发展极为迅速,特别是很多单片机将许多的功能集成到片内,大大方便了系统的设计,简化了硬件电路,加快了系统开发的速度。

#### 1. MCS-51 系列单片机

MCS 是 Intel 公司单片机系列的符号。Intel 公司推出有 MCS-48、MCS-51、MCS-96 系列单片机。其中,目前最常用的是 MCS-51 系列。

除 Intel 公司的 MCS-51 外,还有许多以 MCS-51 为内核的单片机,可以看作是 MCS-51 单片机的兼容机型。其中在国内使用最为广泛的是 Atmel 公司的 AT89C51 和 AT89C52。AT89C51 除了片内使用的程序存储器为 Flash 存储器外,其他的与 Intel 的 8751 相同,由于 Flash 存储器编程的方便性,新开发的基于 51 系列的单片机系统,几乎均选用 AT89C51。Atmel 公司近期又推出 AT89S51 (和 AT89S52) 单片机,带有 ISP 串行编程功能,其他功能与 AT89C51 相同,使用更加方便。AT89C55 与 AT89C52 封装相同,指令兼容,只是将片内的 Flash ROM 扩大到 20KB,增加了片内的看门狗功能。

#### 2. Microchip 公司的 PIC 系列单片机

PIC (Periphery Interface Chip) 单片机是美国 Microchip 公司生产的,PIC 系列单片机的硬件系统设计简洁,指令系统设计精炼。Microchip 公司是世界上最早生产