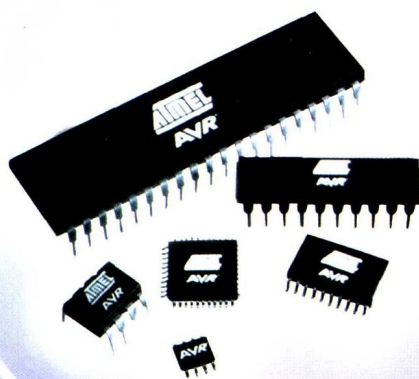




# AVR 单片机应用设计



68.1  
2

丁化成 耿德根 李君凯 编著



北京航空航天大学出版社

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

# AVR 单片机应用设计

丁化成 耿德根 李君凯 编著

北京航空航天大学出版社

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

## 内 容 简 介

AVR 单片机是美国 ATMEL 公司 1997 年推出的单片机系列。本书以其代表型号 AT90S8535 为主线,讲述该系列单片机的内部结构、开发工具、指令系统、各种接口及其应用程序举例和设计方法。学习了这种功能较全的单片机,对于 AVR 系列其他型号单片机的应用就可以举一反三。

AVR 单片机具有高速度、高保密性、低功耗的特点。AT90S8535 内含可反复编程的 Flash 程序存储器、SRAM 和 EEPROM 两种数据存储器、定时器/计数器、方向可定义的 I/O 口、同步串行口、异步串行口、A/D 转换器及 PWM 等丰富的内部资源。一般的应用系统只需此一块芯片即可实现智能化。

本书可作为大专院校的单片机教材和科技人员的单片机应用参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

AVR 单片机应用设计/丁化成等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2002.5

ISBN 7-81077-179-5

I. A… II. 丁… III. 单片微型计算机, AVR 程序设计 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 022097 号

## AVR 单片机应用设计

丁化成 耿德根 李君凯 编著

责任编辑 王 瑛

责任校对 戚 爽

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话(010)82317024 传真(010)82328026

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

E-mail: [pressell@publca.bj.cninfo.net](mailto:pressell@publca.bj.cninfo.net)

河北省涿州市新华印刷厂印制 各地书店经销

\*

开本:787×1092 1/16 印张:14.5 字数:371 千字

2002 年 5 月第 1 版 2003 年 3 月第 2 次印刷 印数:5 001~10 000 册

ISBN 7-81077-179-5/TP·100 定价:22.00 元

## 前 言

AVR 单片机是 ATMEEL 公司 1997 年推出的全新配置精简指令集(RISC)单片机系列。片内程序存储器采用 Flash 存储器,可反复编程修改上千次,便于新产品开发;程序高度保密,避免非法窃取;速度快,大多数指令仅用 1 个晶振周期,而 MCS-51 单片机单周期指令也需 12 个晶振周期;能采用 C 语言编程,从而能高效快速地开发出目标产品;CMOS 工艺生产,功耗低;有主电源 3 V 以下的品种,进一步降低功耗,一般只需几 mA;还有多种低功耗方式,在掉电方式下,工作电流小于 1  $\mu$ A。

AVR 单片机已形成系列产品,其中 ATtiny, AT90 及 ATmega 分别对应低、中、高档产品。根据用户的不同需要,现已推出了 30 多种型号,引脚为 8~64 脚,价格从几元到上百元人民币,内部配置也大不相同,但其基本结构和编程方法是一样的。

本书以 AT90S8535 单片机为主线讲述 AVR 单片机。AT90S8535 单片机是 AVR 单片机中内部接口丰富、功能比较全、性能价格比高的品种,特点如下。

- AT90S8535 片内有 4 K 字(8 KB)的 Flash 程序存储器,可擦写 1 000 次不损坏,且程序高度保密,避免非法窃取;

- 有 512 B 的 SRAM;

- 有 512 B 的 EEPROM(电擦写存储器),掉电不丢失信息,可在线擦写 100 000 次不损坏;

- 有 32 个 I/O 口,输入/输出的方向是可以定义的,输出口的驱动能力强,灌电流可达 40 mA,能直接驱动 LED、继电器等器件,省去驱动电路,输入口可以三态输入,也可带内部上拉电阻,省去外接上拉电阻;

- 有 2 个 8 位和 1 个 16 位的定时器/计数器,除定时计数功能外,有些还具有比较匹配输出和输入捕获功能;

- 有看门狗定时器,便于程序抗干扰,程序飞走进入死循环后,能自动复位重新启动;

- 有模拟比较器,便于发现输入模拟电压的变化;

- 有 8 路 10 位 ADC,可直接输入模拟电压信号;

- 有 2 路 10 位和 1 路 8 位的 PWM 脉宽调制输出,经滤波输出模拟电压信号,可作为 D/A 转换器,这种模拟量输出很容易与主机隔离;

- 有 UART 异步串行接口,便于实现 RS232-C 和 RS485 通信接口;

- 有 SPI 同步串行接口;

- 有独立振荡器的实时时钟,在省电模式的低功耗方式下,时钟正常工作;

- 有 16 种中断源,每种中断源在程序空间都有一个独立的中断向量作相应的中断入口地址;

- 工作电压范围宽(2.7~6.0 V),抗电源波动能力强;

- 有商用级产品(工作温度 0~70  $^{\circ}$ C)和工业级产品(工作温度 -40~85  $^{\circ}$ C)供用户选用。

AT90S8535 是 AVR 单片机中性能最强的品种之一。它与 AT90S8515 相比,增加了 8 路 10 位 ADC;增加了一个可用异步时钟源的 8 位定时器/计数器,该定时器能用作实时时钟;增

加了一种省电低功耗方式,在此省电方式下,实时时钟照常运行;中断源由 12 个增加到 16 个。

学习了 AT90S8535 单片机,在今后的设计中,若其中某些功能用不到,可选用 ATtinyXX 或 AT90XXXXX 少引脚、低价格的品种,指令系统基本相同;有些型号少几条指令,可用别的指令代替,程序略做修改即可。

而若 AT90S8535 满足不了系统的要求,须用容量更大的 Flash 程序存储器、或容量更大的 SRAM、或容量更大的 EEPROM、或更多的 I/O 口,或者须用乘法指令进行快速计算等等,可改用 ATmegaXXX 单片机;但这些单片机只是内部资源有量的变化,质的变化不大,I/O 寄存器的访问和系统编程方法是一样的。有些品种多了几条指令,熟悉了 AT90S8535 单片机,使用这些单片机也是很容易的。

AT90S8535 功能比 AT90S8515 强,价格与 AT90S8515 相近,却比 ATmegaXXX 低得多;而且 AT90S8535 具有 SDIP 封装,便于学生做实验。所以我们以 AT90S8535 单片机为主线讲述 AVR 单片机。其他型号的单片机,查一下资料就可以举一反三了。

本书共分 16 章。第 1 章,单片机概述;第 2 章,8535 单片机系统结构概况;第 3 章,AVR 单片机指令系统;第 4 章,定点数运算程序设计及数制转换;第 5 章,浮点数运算程序设计;第 6 章,8535 单片机 EEPROM 读/写访问;第 7 章,8535 单片机 I/O 端口及其应用;第 8 章,中断系统及应用;第 9 章,8535 单片机定时器/计数器及其应用;第 10 章,8535 单片机模拟量输入接口;第 11 章,AVR 单片机串行接口及应用;第 12 章,AVR 单片机存储器编程;第 13 章,AVR 的 C 语言 IccAVR 及应用;第 14 章,AVR 单片机开发工具及应用;第 15 章,AVR 单片机的最新发展;第 16 章,整机设计中几个问题的处理方法。书中所举硬件设计、软件设计实例均经实验通过。

采用上述顺序,是因为考虑到学生的学习规律,使初学者一步步掌握这种新型单片机。本书可作为测控技术、自动化、计算机应用、通信工程等专业本科或研究生单片机课程教材。若学时紧张,第 5 章、第 13 章可不讲。本书也可作为相关技术人员的参考书。

本书由丁化成主编(E-mail:ding\_new@sohu.com)。第 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,16 章由丁化成执笔;第 12,14,15 章由耿德根执笔;第 13 章由李君凯执笔。AVR 单片机开发实验设备由广州天河双龙电子有限公司提供。李青参加了第 4,5,6,13 章的编程实验工作,李立军参加了第 7,9,10,11 章的编程实验工作,以上程序均在双龙的 SL-AVRAD 开发实验器上验证通过。广州天河双龙电子有限公司提供 AVR 多媒体讲座及工作软件光盘,可作为本书的补充。

由于作者水平有限,加上时间仓促,书中错误疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

2002 年 2 月 2 日于安徽工业大学

---

本书配套光盘的邮购方法

邮购地址:(邮编 510630)广州天河龙口西路龙苑大厦 A3 座新赛格电子城 331 室

邮购费:10 元(平寄)

联系人:耿德根(电话:020-85510191 E-mail:SLLG@SL.COM.CN)

# 目 录

## 第 1 章 单片机概述

1.1 单片机及其发展 .....	1
1.2 单片机的应用领域 .....	1
1.3 AVR 系列单片机简介 .....	2
1.4 AT90S8535 单片机的特点 .....	5
1.5 以 AT90S8535 为主线讲述 AVR 单片机 .....	6

## 第 2 章 8535 单片机系统结构概况

2.1 AVR 单片机 AT90S8535 的总体结构 .....	7
2.1.1 AT90S8535 特点 .....	7
2.1.2 描 述 .....	8
2.1.3 引脚配置 .....	10
2.1.4 引脚定义 .....	10
2.2 AT90S8535 单片机的中央处理器 CPU .....	12
2.2.1 结构概述 .....	12
2.2.2 通用工作寄存器文件 .....	13
2.2.3 X, Y, Z 寄存器 .....	13
2.2.4 ALU 运算逻辑单元 .....	14
2.3 AT90S8535 单片机存储器组织 .....	14
2.3.1 在线可编程 Flash .....	14
2.3.2 内部 SRAM 数据存储器 .....	14
2.3.3 EEPROM 数据存储器 .....	15
2.3.4 I/O 寄存器 .....	15
2.4 AVR 单片机系统复位 .....	18
2.4.1 复位源 .....	18
2.4.2 上电复位 .....	19
2.4.3 外部复位 .....	20
2.4.4 看门狗复位 .....	20
2.4.5 MCU 状态寄存器 .....	21

## 第 3 章 AVR 单片机指令系统

3.1 指令格式 .....	27
----------------	----

*****	
3.1.1	汇编指令..... 27
3.1.2	汇编器伪指令..... 28
3.1.3	表达式..... 30
3.2	寻址方式..... 32
3.3	数据操作和指令类型..... 34
3.3.1	数据操作..... 34
3.3.2	指令类型..... 34
3.3.3	指令集名词..... 34
3.4	算术和逻辑指令..... 35
3.4.1	加法指令..... 35
3.4.2	减法指令..... 36
3.4.3	取反码指令..... 37
3.4.4	取补指令..... 37
3.4.5	比较指令..... 37
3.4.6	逻辑与指令..... 37
3.4.7	逻辑或指令..... 38
3.4.8	逻辑异或指令..... 39
3.5	转移指令..... 39
3.5.1	无条件转移指令..... 39
3.5.2	条件转移指令..... 40
3.6	数据传输指令..... 45
3.6.1	直接寻址数据传输指令..... 45
3.6.2	间接寻址数据传输指令..... 46
3.6.3	从程序存储器中取数装入寄存器指令..... 47
3.6.4	I/O 口数据传输..... 48
3.6.5	堆栈操作指令..... 48
3.7	位指令和位测试指令..... 48
3.7.1	带进位逻辑操作指令..... 49
3.7.2	位变量传输指令..... 49
3.7.3	位变量修改指令..... 50
3.7.4	其他指令..... 52

#### 第4章 定点数运算程序设计及数制转换

4.1	加减运算程序..... 54
4.2	乘除运算子程序..... 55
4.2.1	乘法运算子程序..... 55
4.2.2	除法运算子程序..... 59
4.3	数制转换子程序..... 67
4.3.1	“b16td5”——16 位二进制数转换成 BCD 码..... 67

*****	
4.3.2	“d5tb16”——5 位 BCD 码转换成 16 位二进制数 ..... 68
4.3.3	“yd5tb16”——5 位压缩 BCD 码转换成 16 位二进制数 ..... 69
4.4	开方运算程序..... 69
4.4.1	“kf16”——16 位开方运算 ..... 69
4.4.2	“kf32”——32 位开方运算 ..... 70
<b>第 5 章 浮点数运算程序设计</b>	
5.1	4 字节浮点格式 ..... 72
5.2	4 字节浮点运算子程序库——AVR32FP. INC ..... 73
5.3	应用举例..... 84
<b>第 6 章 8535 单片机 EEPROM 读/写访问</b>	
6.1	8535 单片机 EEPROM 读/写 ..... 87
6.1.1	概 述..... 87
6.1.2	有关的 I/O 寄存器 ..... 87
6.2	片内 EEPROM 读/写举例 ..... 89
<b>第 7 章 8535 单片机 I/O 端口及其应用</b>	
7.1	8535 的 I/O 口 ..... 92
7.1.1	有关 I/O 口的寄存器 ..... 92
7.1.2	I/O 口内部电路及工作原理 ..... 94
7.1.3	I/O 口的特点 ..... 96
7.2	I/O 口的应用 ..... 96
7.2.1	I/O 口使用注意事项 ..... 96
7.2.2	I/O 口应用举例 ..... 96
<b>第 8 章 中断系统及应用</b>	
8.1	中断源 ..... 100
8.2	中断处理 ..... 101
8.3	有关的 I/O 寄存器 ..... 101
8.4	外部中断 ..... 104
8.5	中断响应时间 ..... 104
8.6	MCU 控制寄存器——MCUCR ..... 104
8.7	中断应用举例——打印机接口设计 ..... 105
<b>第 9 章 8535 单片机定时器/计数器及其应用</b>	
9.1	定时器/计数器 0 和定时器/计数器 1 的预定比例器 ..... 109
9.2	定时器/计数器 0 ..... 109
9.2.1	定时器/计数器 0 的结构特点和作用..... 109



9.2.2	定时器/计数器 0 有关的 I/O 寄存器 .....	110
9.3	定时器/计数器 0 应用举例 .....	111
9.4	定时器/计数器 1 .....	115
9.4.1	定时器/计数器 1 的结构、特点及作用 .....	115
9.4.2	定时器/计数器 1 有关的 I/O 寄存器 .....	117
9.5	定时器/计数器 1 应用举例 .....	121
9.6	定时器/计数器 2 .....	128
9.6.1	定时器/计数器 2 的预分频器 .....	128
9.6.2	定时器/计数器 2 的结构、特点及作用 .....	129
9.6.3	定时器/计数器 2 有关的 I/O 寄存器 .....	130
9.6.4	PWM 模式下的 T/C2 .....	131
9.6.5	异步时钟信号的驱动 .....	132
9.7	定时器/计数器 2 应用举例 .....	134
9.8	看门狗定时器 .....	136
9.8.1	看门狗定时器的结构、特点及作用 .....	136
9.8.2	看门狗定时器控制寄存器——WDTCR .....	137
9.8.3	看门狗定时器应用编程 .....	138
<b>第 10 章 8535 单片机模拟量输入接口</b>		
10.1	模/数转换器 .....	140
10.2	模/数转换应用举例 .....	145
10.3	模拟比较器 .....	147
10.3.1	模拟比较器概述 .....	147
10.3.2	模拟比较器控制和状态寄存器——ACSR .....	148
10.4	模拟比较器应用举例 .....	149
<b>第 11 章 AVR 单片机串行接口及应用</b>		
11.1	通用串行接口 UART .....	151
11.1.1	数据传送 .....	151
11.1.2	数据接收 .....	152
11.1.3	UART 控制 .....	153
11.2	异步串行接口 UART 应用举例 .....	157
11.2.1	异步串行口应用 .....	157
11.2.2	串行口编程注意的问题 .....	157
11.2.3	UART 串行通信举例 .....	158
11.3	同步串行接口 SPI .....	162
11.4	同步串行接口 SPI 应用举例 .....	166

## 第 12 章 AVR 单片机存储器编程

12.1 AVR 单片机编程 .....	168
12.1.1 概 述 .....	168
12.1.2 ISP 串行下载编程接口 .....	168
12.1.3 ISP 串行下载编程操作 .....	168
12.1.4 并行下载编程接口电缆 .....	170
12.1.5 JTGA 下载编程操作 .....	171
12.1.6 并行编程(万用编程器) .....	171

## 第 13 章 AVR 的 C 语言 ICCAVR 及应用

13.1 简 介 .....	172
13.1.1 C 程序的剖析 .....	172
13.1.2 C 的运行结构 .....	173
13.2 AVR 硬件访问的编程 .....	175
13.2.1 位操作 .....	175
13.2.2 程序存储器和常量数据 .....	175
13.2.3 堆 栈 .....	176
13.2.4 在线汇编 .....	177
13.2.5 中断操作 .....	177
13.2.6 访问 UART .....	177
13.2.7 访问 EEPROM .....	178
13.3 常用库函数 .....	178
13.3.1 头文件 .....	178
13.3.2 字符类型库 .....	179
13.3.3 浮点类型库 .....	179
13.3.4 标准输入输出库 .....	180
13.3.5 标准库和内存分配函数 .....	181
13.3.6 字符串函数 .....	182
13.3.7 变量参数函数 .....	183
13.4 ICCAVR 的 IDE 环境 .....	183
13.5 实 例 .....	184

## 第 14 章 AVR 单片机开发工具及应用

14.1 AVR 的开发工具 .....	189
14.2 AVR 实时在线仿真器 ICE - 200 .....	189
14.3 JTGA ICE 仿真器 .....	190
14.4 开发下载实验器 SL - AVRAD .....	190
14.5 AVR 集成开发环境 .....	193

14.5.1	AVR Assembler 编译器 .....	194
14.5.2	AVR Studio .....	196
14.5.3	AVR Prog .....	198
<b>第 15 章 AVR 单片机的最新发展</b>		
15.1	AVR 发展方向 .....	200
15.1.1	ATmega 系列特点 .....	200
15.1.2	ATmega8/ATmega8L .....	200
15.1.3	ATmega16/ATmega16L .....	201
15.1.4	ATmega323/ATmega323L(兼容 ATmega32/L) .....	203
15.1.5	ATmega64/ATmega64L .....	204
15.1.6	ATmega128/ATmega128L .....	205
15.2	AT94K 系列现场可编程系统标准集成电路 .....	207
<b>第 16 章 整机设计中几个问题的处理方法</b>		
16.1	AVR 单片机的外围扩展 .....	210
16.2	低功耗设计 .....	212
16.2.1	低功耗设计方法概述 .....	212
16.2.2	AT90S8535 单片机的休眠状态 .....	212
16.3	数字滤波 .....	213
16.3.1	平滑滤波法 .....	213
16.3.2	中位值滤波法 .....	214
16.3.3	程序判断滤波法 .....	214
16.3.4	一阶滞后滤波法 .....	215
16.4	标度变换 .....	215
16.5	非线性关系的处理 .....	216
16.5.1	查表法 .....	216
16.5.2	查表加线性插值法 .....	217
16.5.3	用代数多项式近似非线性关系 .....	219
<b>参考文献</b> .....		220

# 第 1 章 单片机概述

## 1.1 单片机及其发展

所谓单片机,是指由一个芯片组成的微机系统。片内包括了 CPU、程序存储器、数据存储器、定时器/计数器及各种 I/O 口。

单片机又称微控制器(microcontroller),主要用于现代智能化产品的设计。由 20 世纪 70 年代初至今,单片机已有 30 多年的发展历史了。随着产品智能化的需要和微电子技术的不断进步,目前已有上百家厂商生产几千种型号的单片机。单片机正向着高速度、低功耗、低成本、多档次、使用方便及外围接口丰富等方向发展。

## 1.2 单片机的应用领域

单片机具有极为广阔的应用前景,其主要应用领域可概括为以下几个方面。

### 1. 自动控制

单片机已在工业过程控制、机床控制、机器人控制、汽车控制以及飞行器制导系统等方面得到广泛的应用。由于单片机提供了串行口,很容易建立双机或多机之间的通信联系,从而为建立分布式控制系统创造了十分有利的条件。目前已有多种分布式控制系统用于工业控制之中。

### 2. 智能仪器仪表

由于单片机具有超微型化的特点,并且有无可比拟的高性能价格比,从而为仪器仪表的智能化提供了可能。

大量的智能仪器仪表应运而生,如智能化示波器、智能化数字仪表等。

### 3. 数据采集系统

由于单片机可提供多路 A/D 输入通道,因此很适用于模拟量(温度、压力及流量等)输入采样系统。

### 4. 计算机外设控制器

计算机的外部设备五花八门,随着单片机的发展,很多外部设备都使用单片机作为控制器,使这些外部设备智能化。

智能化键盘、智能化显示器、智能化打印机、智能化软盘和硬盘驱动器、智能化磁带驱动器及智能化绘图仪等,均可用单片机作为控制器。

### 5. 家用电器

家用电器更是单片机芯片生产厂家竞争非常激烈的应用领域。这个领域的应用特点是,量大、面广,并且要求价格低廉。

电饭锅、电子游戏机、电视机、录音机、组合音响、录像机、洗衣机、电冰箱以及电子玩具等，都使用单片机进行控制。

总之，单片机由于体积小、价格低、性能优越、可靠性高，已广泛地渗透到社会、生产、服务等领域，其应用前景是无限光明的；所以，工程技术人员有必要很好地掌握单片机原理及系统设计技术。

### 1.3 AVR 系列单片机简介

AVR 单片机是 ATMEL 公司 1997 年推出的全新配置精简指令集(RISC)单片机。

精简指令集 RISC 结构是 20 世纪 90 年代开发出来的，是综合了半导体集成技术和软件性能的新结构。这种结构使得 AVR 单片机具有接近 1 MIPS/MHz 的高速处理能力。

为了加快进入市场和简化维护，对于单片机来说，用高级语言编程成为一种标准编程方法。

AVR 单片机的开发目的在于，能采用 C 语言编程，从而能高效地开发出目标产品。为了对目标代码大小、性能及功耗进行优化，AVR 单片机采用了大型快速存取寄存器文件和快速单周期指令。

快速存取 RISC 寄存器文件由 32 个通用工作寄存器组成。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输；在 AVR 单片机中，用 32 个通用工作寄存器代替累加器，从而可以避免传统的累加器和存储器之间的数据传输造成的瓶颈现象。

在 AVR 单片机中，运用 Harvard 结构，在前一条指令执行的时候，就取出现行的指令，然后以 1 个周期执行指令。

在其他的 CISC 以及类似的 RISC 结构中，外部振荡器的时钟被分频降低到传统的内部执行周期，这种分频最大达 12 倍。AVR 单片机是用 1 个时钟周期执行 1 条指令的，是在 8 位单片机中第一种真正的 RISC 单片机。

AVR 单片机有良好的性能价格比。这个系列有引脚少的器件，也有含较大容量存储器、引脚较多的器件。

由于 AVR 单片机是采用 Harvard 结构的，因此程序存储器和数据存储器是分开的。可直接访问全部程序存储器和数据存储器，寄存器文件被双向映射，并能被访问，如同片内允许快速上下转换的那部分 SRAM 存储器。

AVR 单片机采用低功率、非挥发的 CMOS 工艺制造，内载 Flash, EEPROM 及 SRAM 等不同用处的存储器。通过 SPI 口和一般的编程器，可对 AVR 单片机的 Flash 存储器进行编程。

AVR 单片机已形成系列产品，其中 ATtiny, AT90 及 ATmega 分别对应低、中、高档产品。根据用户的不同需要，现已推出了 30 多种型号，引脚为 8~64 脚，价格从几元到上百元人民币，内部配置也大不相同；但其基本结构和编程方法是一样的。表 1.1 为 AVR 系列单片机选型表。

表 1.1 AVR 单片机选型表(摘自 2002 年 ATMEL 网站)

	Flash/KB	EEPROM/B	RAM/B	Instructions	I/O Pins	Interrupts	Ext. Interrupts	SPI	UART	TWI <sup>27</sup>	Hardware Multiplier	8-bit Timer	16-bit Timer	PWM	Watchdog Timer	RTC Timer	Analog Comp	10-bit A/D Channels	On Chip Oscillator	Brown Out Detector	In System Programming	Self Program Memory	V <sub>cc</sub> /V	Clock speed /MHz	Packages	Available		
ATtiny11L	1	-	-	90	6	4	1 <sup>1</sup>	-	-	-	1	-	-	Y	Y	Y	Y	Y	Y <sup>3</sup>	-	-	-	2.7~5.5	0~2	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	now		
ATtiny11	1	-	-	90	6	4	1 <sup>1</sup>	-	-	-	1	-	-	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y <sup>3</sup>	-	-	-	4.0~5.5	0~6	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	now	
ATtiny12V	1	64	-	90	6	5	1 <sup>1</sup>	-	-	-	1	-	-	Y	Y	Y	Y <sup>2</sup>	Y	Y	Y	-	-	-	1.8~5.5	0~1	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	now	
ATtiny12L	1	64	-	90	6	5	1 <sup>1</sup>	-	-	-	1	-	-	Y	Y	Y	Y <sup>2</sup>	Y	Y	Y	-	-	-	2.7~5.5	0~4	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	now	
ATtiny12	1	64	-	90	6	5	1 <sup>1</sup>	-	-	-	1	-	-	Y	Y	Y	Y <sup>2</sup>	Y	Y	Y	-	-	-	4.0~5.5	0~8	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	now	
ATtiny15L	1	64	-	90	6	8	1 <sup>1</sup>	-	-	-	2	-	1	Y	Y	Y	Y <sup>4</sup>	Y <sup>2</sup>	Y	Y	Y	-	-	-	2.7~5.5	1~6	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	now
ATtiny28V	2	-	-	90	20	5	2 <sup>6</sup>	-	-	-	1	-	-	Y	Y	Y	Y <sup>2</sup>	Y <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	1.8~5.5	0~1	28-Pin DIP 32-Pin MLF 32-Pin TQFP	now
ATtiny28L	2	-	-	90	20	5	2 <sup>6</sup>	-	-	-	1	-	-	Y	Y	Y	Y <sup>2</sup>	Y <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	2.7~5.5	0~4	28-Pin DIP 32-Pin MLF 32-Pin TQFP	now
AT90S1200	1	64	-	89	15	3	1	-	-	-	1	-	-	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	-	-	-	2.7~6.0	0~12	20-Pin DIP 20-Pin SOIC 20-Pin SSOP	now
AT90S2313	2	128	128	120	15	10	2	-	1	-	1	1	1	Y	Y	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	2.7~6.0	0~10	20-Pin DIP 20-Pin SOIC	now
AT90LS2323	2	128	128	120	3	2	1	-	-	-	1	-	-	Y	-	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	2.7~6.0	0~4	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	now
AT90S2323	2	128	128	120	3	2	1	-	-	-	1	-	-	Y	-	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	4.0~6.0	0~10	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	now
AT90LS2343	2	128	128	120	4	2	1	-	-	-	1	-	-	Y	-	-	Y	-	Y	-	-	-	-	-	2.7~6.0	0~1	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	now
AT90LS2343	2	128	128	120	4	2	1	-	-	-	1	-	-	Y	-	-	Y	-	Y	-	-	-	-	-	2.7~6.0	0~4	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	now
AT90S2343	2	128	128	120	4	2	1	-	-	-	1	-	-	Y	-	-	Y	-	Y	-	-	-	-	-	4.0~6.0	0~10	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	now
AT90LS4433	4	256	128	120	20	14	2	1	1	-	1	1	1	Y	Y	6	-	Y	Y	-	-	-	-	-	2.7~6.0	0~4	28-Pin DIP 32-Pin TQFP	now
AT90S4433	4	256	128	120	20	14	2	1	1	-	1	1	1	Y	Y	6	-	Y	Y	-	-	-	-	-	4.0~6.0	0~8	28-Pin DIP 32-Pin TQFP	now
AT90LS8515	8	512	512	120	32	11	2	1	1	-	1	1	2	Y	Y	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	2.7~6.0	0~4	40-Pin DIP 44-Pin PLCC 44-Pin TQFP	now
AT90S8515	8	512	512	120	32	11	2	1	1	-	1	1	2	Y	Y	-	-	-	Y	-	-	-	-	-	4.0~6.0	0~8	40-Pin DIP 44-Pin PLCC 44-Pin TQFP	now

续表 1.1

	Flash/KB	EEPROM/B	RAM/B	Instructions	I/O Pins	Interrupts	Ext. Interrupts	SPI	UART	TWI <sup>1)</sup>	Hardware Multiplier	8-bit Timer	16-bit Timer	PWM	Watchdog Timer	RTC Timer	Analog Comp	10-bit A/D Channels	On-Chip Oscillator	Brown Out Detector	In System Programming	Self Program Memory	V <sub>cc</sub> /V	Clock speed /MHz	Packages	Available
AT90LS8535	8	512	512	12120	32	15	2	1	1	-	-	2	1	3	Y	Y	Y	8	-	-	Y	-	2.7~6.0	0~4	40-Pin DIP	now
																									44-Pin PLCC	
																									44-Pin TQFP	
AT90S8535	8	512	512	12120	32	15	2	1	1	-	-	2	1	3	Y	Y	Y	8	-	-	Y	-	4.0~6.0	0~8	40-Pin DIP	now
																									44-Pin PLCC	
																									44-Pin TQFP	
ATmega8L	8	512	1K	130	23	16	2	1	1 <sup>5)</sup>	1	Y	2	1	3	Y	Y	Y	8	Y <sup>2)</sup>	Y	Y	Y	2.7~5.5	0~8	28-Pin DIP	Q102
																									32-Pin MLF	
																									32-Pin TQFP	
ATmega8	8	512	1K	130	23	16	2	1	1 <sup>5)</sup>	1	Y	2	1	3	Y	Y	Y	8	Y <sup>2)</sup>	Y	Y	Y	4.0~5.5	0~16	28-Pin DIP	Q102
																									32-Pin MLF	
																									32-Pin TQFP	
ATmega161L	16	512	1K	130	35	20	3	1	2	-	Y	2	1	4	Y	Y	Y	-	-	Y	Y	Y	2.7~5.5	0~4	40-Pin DIP	now
																									44-Pin TQFP	
ATmega161	16	512	1K	130	35	20	3	1	2	-	Y	2	1	4	Y	Y	Y	-	-	Y	Y	Y	4.0~5.5	0~8	40-Pin DIP	now
																									44-Pin TQFP	
ATmega163L	16	512	1K	130	32	17	2	1	1	1	Y	2	1	3	Y	Y	Y	8	Y <sup>2)</sup>	Y	Y	Y	2.7~5.5	0~4	40-Pin DIP	now
																									44-Pin TQFP	
ATmega163	16	512	1K	130	32	17	2	1	1	1	Y	2	1	3	Y	Y	Y	8	Y <sup>2)</sup>	Y	Y	Y	4.0~5.5	0~8	40-Pin DIP	now
																									44-Pin TQFP	
ATmega16L	16	512	1K	130	32	17	3	1	1 <sup>5)</sup>	1	Y	2	1	3	Y	Y	Y	8	Y <sup>2)</sup>	Y	Y	Y	2.7~5.5	0~8	40-Pin DIP	Q102
																									44-Pin TQFP	
ATmega16	16	512	1K	130	32	17	3	1	1 <sup>5)</sup>	1	Y	2	1	3	Y	Y	Y	8	Y <sup>2)</sup>	Y	Y	Y	4.0~5.5	0~16	40-Pin DIP	Q102
																									44-Pin TQFP	
ATmega323L	32	1K	2K	130	32	19	3	1	1	1	Y	2	1	4	Y	Y	Y	8	Y <sup>2)</sup>	Y	Y	Y	2.7~5.5	0~4	40-Pin DIP	now
																									44-Pin TQFP	
ATmega323	32	1K	2K	130	32	19	3	1	1	1	Y	2	1	4	Y	Y	Y	8	Y <sup>2)</sup>	Y	Y	Y	4.0~5.5	0~8	40-Pin DIP	now
																									44-Pin TQFP	
ATmega103L	128	4K	4K	121	48	16	8	1	1	-	-	2	1	4	Y	Y	Y	8	-	-	Y	-	2.7~3.6	0~4	64-Pin TQFP	now
ATmega103	128	4K	4K	121	48	16	8	1	1	-	-	2	1	4	Y	Y	Y	8	-	-	Y	-	4.0~5.5	0~6	64-Pin TQFP	now
ATmega128L	128	4K	4K	133	48	27	8	1	2 <sup>5)</sup>	1	Y	2	2	6+2	Y	Y	Y	8	Y <sup>2)</sup>	Y	Y	Y	2.7~5.5	0~8	64-Pin TQFP	Eng. Samples Q4
ATmega128	128	4K	4K	133	48	27	8	1	2 <sup>5)</sup>	1	Y	2	2	6+2	Y	Y	Y	8	Y <sup>2)</sup>	Y	Y	Y	4.0~5.5	0~16	64-Pin TQFP	Eng. Samples Q4

1 1个外部中断和唤醒引脚变化(所有 I/O 引脚)。

2 高精度(5%)可编程内部 RC 振荡器。

3 编程时需在 RESET 脚提供 12 V 信号。

4 兼容 I<sup>2</sup>C。

5 可编程串行 USART。

6 8个引脚可低电平中断。

## 1.4 AT90S8535 单片机的特点

AT90S8535 单片机是 AVR 单片机中内部接口丰富、功能比较全、性能价格比高的品种,特点如下。

(1) AT90S8535 片内有 4 K 字(8 KB)的 Flash 程序存储器。

程序存储器一次读取一个字(16 位),速度加快了;可反复擦写、修改程序 1 000 次以上不损坏,便于新产品开发。

(2) 高速度。每个时钟周期执行一条指令,当主频 8 MHz 时,大多数指令仅需 125 ns。AVR 运用了 Harvard 结构概念,对程序和数据存储使用不同的存储器和总线,具有预取指令功能。当执行某一指令时,下一条指令被预先从程序存储器中取出,这样可以在每一个时钟周期内都执行指令。

(3) 高度保密性。可多次烧写的 Flash 具有多重密码保护、锁死(lock)功能。保密位在芯片底部,无法用电子显微镜看到。程序高度保密,避免非法窃取。

(4) 超功能精简指令。具有 32 个通用工作寄存器(均可作累加器,克服了单一累加器造成的瓶颈现象)及 512 字节的 SRAM,可灵活使用指令寻址运算。

(5) 低功耗。在主频 4 MHz,3 V 供电条件下,AT90LS8535 工作模式只需 6.4 mA 的供电电流,具有空闲、省电、掉电 3 种低功耗方式。掉电模式下工作电流小于 1  $\mu$ A。

(6) 工作电压范围宽(2.7~6.0 V),抗电源波动能力强。

(7) 有 512 B 的 EEPROM(电擦写存储器),掉电不丢失信息,可在线改写。

(8) 有 32 个 I/O 口,输入/输出的方向是可以定义的。输出口的驱动能力强,灌电流可达 40 mA,能直接驱动 LED、继电器等器件,省去驱动电路;输入口可以三态输入,也可带内部上拉电阻,省去外接上拉电阻。

(9) 有 2 个 8 位和 1 个 16 位的定时器/计数器,除定时、计数功能外,有些还具有比较匹配输出和输入捕获功能。

(10) 有看门狗定时器,便于程序抗干扰。程序飞走进入死循环后,能自动复位,重新启动。

(11) 有模拟比较器,便于发现输入模拟电压的变化。

(12) 有 8 路 10 位 ADC,可直接输入模拟电压信号。

(13) 有 2 路 10 位和 1 路 8 位的 PWM 脉宽调制输出,经滤波输出模拟电压信号,可作为 D/A 转换器。这种模拟量输出很容易与主机隔离。

(14) 有 UART 异步串行接口,便于实现 RS232-C 和 RS485 通信接口。

(15) 有 SPI 同步串行接口。

(16) 有独立振荡器的实时时钟。在省电模式的低功耗方式下,时钟正常工作。

(17) 有 16 种中断源。每种中断源在程序空间都有一个独立的中断向量作相应的中断入口地址。

(18) 除用汇编语言外,还可使用 C 语言编程,易学、易写、易移植。

(19) 有商用级产品(工作温度 0~70  $^{\circ}$ C)和工业级产品(工作温度 -40~85  $^{\circ}$ C)供用户选用。

(20) 有 PDIP 40 脚、PLCC 44 脚及 TQFP 44 脚封装供用户选择。





## 1.5 以 AT90S8535 为主线讲述 AVR 单片机

AT90S8535 是 AVR 单片机中档产品中性能最强的品种。它与 AT90S8515 相比,增加了 8 路 10 位 ADC;增加了一个可用异步时钟源的 8 位定时器/计数器,该定时器能用作实时时钟;增加了一种省电低功耗方式,在此省电方式下,实时时钟照常运行;中断源由 12 个增加到 16 个。

学习了 AT90S8535 单片机,在今后的设计中,若其中某些功能用不到,可选用 ATtinyXX 或 AT90XXXX 少引脚、低价格的品种,指令系统基本相同;有些型号少几条指令,可用别的指令代替,程序略做修改即可。

而若 AT90S8535 满足不了系统的要求,需要用容量更大的 Flash 程序存储器、或容量更大的 SRAM、或容量更大的 EEPROM、或更多的 I/O 口、或用乘法指令进行快速计算等等,可改用 ATmegaXXX 单片机;但这些单片机只是内部资源有量的变化,质的变化不大,I/O 寄存器的访问和系统编程方法是一样的。有些品种多了几条指令,熟悉了 AT90S8535 单片机,使用这些单片机也是很容易的。

AT90S8535 功能比 AT90S8515 强,价格与 AT90S8515 相近、比 ATmegaXXX 低得多;而且 AT90S8535 具有 SDIP 封装,便于学生做实验。

所以我们以 AT90S8535 单片机为主线讲述 AVR 单片机。其他型号的单片机,查一下资料就可以举一反三了。