



# AVR 高速嵌入式单片机 原理与应用



---

## 内容简介

本书详细介绍了 ATMEL 公司开发的 AVR 高速嵌入式单片机的结构, 然后讲述 AVR 单片机的开发工具, 包括 AVR Studio 调试工具、单片机汇编器和 AVR 单片机串行下载实验, 学习指令系统时, 每条指令均有实例, 边学习边调试, 使学习者看得见指令流向及操作结果, 真正理解每条指令的功能及使用注意事项, 接着介绍 AT90S 系列多种单片机功能特点、实用程序设计及单片机的应用实例, 作为提高篇, 最后讲述简单易学适用 AVR 单片机的高级语言 BASCOM-AVR 及 IAR C 编译器。

本书每个实验应用程序是在 SL-AVR 开发编程实验器上, 由广州天河双龙电子有限公司的科技人员和华东师范大学电子工程系(ATMEL 实验室) 师生实验通过。源程序清单及硬件接线图, 系统工作软件, 可上网下载--<http://WWW.SL.COM.CN>。广州双龙电子公司还可提供图文并茂的相关工作软件和实验应用源程序的光盘, 作为本书的补充。

本书有较强的系统性和实用性, 可供高等院校自动化、计算机、电子等专业的教学参考及工程技术人员的实用参考, 亦可作为应用技术的培训教材。

## 前 言

### AVR 高速嵌入式单片机将领导世界单片机潮流

电子技术的迅猛发展, 尤其单片机更广泛地应用于军事、工业、家用电器、智能玩具、便携式智能仪表等领域, 使产品功能、精度和质量大幅度提高, 电路简单、故障率低、可靠性高且成本低廉。ATMEL 公司把 51 内核与其擅长的 FLASH 制造技术相结合, 推出可重复擦写 1000 次以上低功耗的 89C51/52/1051/2051 等产品, 取代其它 8751 系列, 称霸单片机市场数年。ATMEL 于 1997 年由 A 及 V 先生共同研发 RISC(Reduced Instruction Set CPU) 单片机, 简称 AVR。AVR 单片机吸取 PIC 及 8051 单片机的优点, 并作了重大改进, 做到你有我也有, 且比你更好, 而我有你却没有。

AVR AT90S 系列单片机的优点如下:

- (1) 价格低廉的可擦写 1000 次以上的 16(字)位指令(程序存储器数据为 16 位, 即 XXXX\*16, 也可理解为 8 位, 即 2\*XXXX\*8)FLASH 技术, 不再有报废品产生, 数据存储器为八位, AVR 还是属于八位单片机;
- (2) 高速度(50ns)、低功耗( $\mu$ A)! 具有 SLEEP(休眠)功能及 CMOS 技术, 每一指令执行速度可达 50ns(20MHZ), 而耗电则在 1mA~2.5mA 间(典型功耗, WDT 关闭时为 100nA)。AVR 运用 Harvard 结构概念(具有预取指令功能), 即对程序存储和数据带有不同的存储器和总线。当执行某一指令时, 下一指令被预先从程序存储器中取出, 这使得指令可以在每一个时钟周期内被执行;
- (3) 高度保密(LOCK)! 可多次烧写的 FLASH 且具有多重密码保护锁死(LOCK)功能, 因此可低价快速完成产品商品化, 且可多次更改程序(产品升级)而不必浪费 IC 或电路板, 大大提高产品质量及竞争力;
- (4) 工业级(WDT)产品! 具有大电流(灌电流)10~20mA 或 40mA(单一输出), 可直接驱动 SSR 或继电器, 有看门狗定时器(WDT), 安全保护, 防止程序走飞, 提高产品的抗干扰能力;
- (5) 超功能精简指令! 具有 32 个通用工作寄存器(相当于 8051 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)及 128-4KB 个 SRAM,可灵活使用指令运算并可用功能很强的 C 语言编程,易学、易写、易移植;
- (6)程序写入器件可以并行写入(用万用编程器),也可串行在线下载(ISP)擦写, 也就是说不必将 IC 拆下拿到万用编程器上烧录, 而可直接在电路板上进行程序修改、烧录等操作, 方便产品升级, 尤其是 SMD 封装, 更利于产品微型化;
  - (7)并行 I/O 口输入输出特性与 PIC 的 HI/LOW 输出及三态高阻抗 HI-Z 输入类同外,也可设定类同 8051 系列内部拉高电阻作输入端的功能,便于作各种应用特性所需(多功能 I/O 口), 只有 AVR 才是真正的 I/O 口, 能正确反映 I/O 口的输入/输出真实情况;
  - (8)单片机内有模拟比较器,I/O 口可作 A/D 转换用, 可组成廉价的 A/D 转换器;
  - (9)像 8051 一样,有多个固定中断向量入口地址可快速响应,而不会像 PIC 一样所有中断都在同一向量地址,需要以程序判别后才可响应,这实在是浪费且失去控制的最佳机会;
  - (10)同 PIC 一样可重设启动复位,AVR AT90S 系列也有内部电源开关启动计数器,可将低电平复位 (/RESET)直接接到 VCC 端,当电源开时,由于利用内部的 RC 看门狗定时器可延迟 MCU 启动执行程序,这种延时以使 I/O 口稳定后执行程序,提高单片机工作可靠性,同时也可节省外加复位延时电路;
  - (11)具有休眠省电功能(POWER DOWN)及闲置(IDLE)低功耗功能;
  - (12)AT90S1200 等部分 AVR 器件具有内部 RC 振荡器--1MHz 的工作频率,使该类单片机无需外加元器件即可工作,真是简单方便;
  - (13)计数器/定时器,C/T 有 8 位和 16 位,可作比较器,计数器外部中断和 PWM(也可当 D/A)用于控制输出;
  - (14)有串行异步通讯 UART,不占用定时器和 SPI 传输功能,因其高速故可以工作在一般标准整数频率,而波特率可达 576K;
  - (15)AT90S4414 及 AT90S8515 具有可扩展外部存储器达 64KB,它们的引脚排列及功能与 8051 相似,即可替代 8051 系列单片机(8751/8752)的应用系统,当然还在硬件、软件上带来很多优点 (WDT 看门狗,模拟比较器作 A/D,PWM 作 D/A 等);
  - (16)工作电压范围宽 2.7V~6.0V, 电源抗干扰性能强;
  - (17)还有多通道 10 位 A/D 及实时时钟 RTC,具有 8 路 10 位 A/D 器件有 AT90S4434/8535;具有 6 路 10 位 A/D 器件有 AT90S2333/4433;ATmega103(L)单片机更有 FLASH 128KB,E2PROM 4KB,RAM 4KB,I/O 端口 48 个,中断源 16 个,外部中断 8 个,SPI 1 个,UART 1 个,8 位定时器 2 个,16 位定时器 1 个,PWM(D/A) 4 个,有看门狗定时器,有实时时钟 RTC,模拟比较器,8 路 10 位 A/D,可在线编程 ISP,工作电压 2.7V~5.5V;
  - (18)AVR 由 FLASH 存储器构成,并具有较大容量、可擦写 100000 次的 E2PROM,对掉电后数据的保存带来方便,来电后能记住掉电时的工作状态;
  - (19)从高级语言 C 代码,看各种单片机性能比较表:

```

/*一个小 C 函数
/* Return the maximum value of a table of 16 integers */

int max(int *array)
{
    char a;
    int maximum=-32768;

    for (a=0;a<16;a++)
        if (array[a]>maximum)

```

```

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

```

**AVR 汇编输出: Code Size: 46 Bytes, Execution time: 335 cycles**

**C51 汇编输出: Code Size: 112 Bytes, Execution time: 9384 cycles**

**HC11 汇编输出: Code Size: 57 Bytes, Execution time: 5244 cycles**

**PIC16C74 汇编输出: Code Size: 87 Bytes, Execution time: 2492 cycles**

AT90S8515 8MHz /80C51 24MHz /68HC11A8 12MHz /PIC16C74 20MHz

	Code Size (Bytes)	Function Execution Time(μS)	Current Consumption (mA)	Executions /S/Mw
AT90S8515	46(1)	42(1)	11(1)	434(1)
80C51	112(2.4)	391(9)	16(1.5)	32(0.07)
68HC11	57(1.2)	437(10)	27(2.5)	17(0.04)
PIC16C74	87(1.9)	125(3)	13.5(1.2)	119(0.27)

结论:

- 8MHz AVR 等于 224MHz 80C51;
- 68HC11:代码效率高,但处理能力只有 AVR 的 1/10,功耗却高 2.5 倍;
- PIC 速度也比较快,但是在相同功耗下,AVR 性能比其高 3.5 倍;

**AVR 的两种开发工具:**

广州市天河双龙电子有限公司为了使 AVR 单片机在我国迅速



得到应用,及时引进美国原装 **AVR 实时在线仿真器 ICE-200**,推广价定位在国人能承受的价格,它可仿真 AVR 的器件有 ATtiny10/11/12(V/L)、AT90S1200/2313、AT90(L)S2333/4433、AT90S4414/8515、AT90(L)S4434/8535,由于仿真器的电源不对外,所以 ICE200 也支持低电压器件。

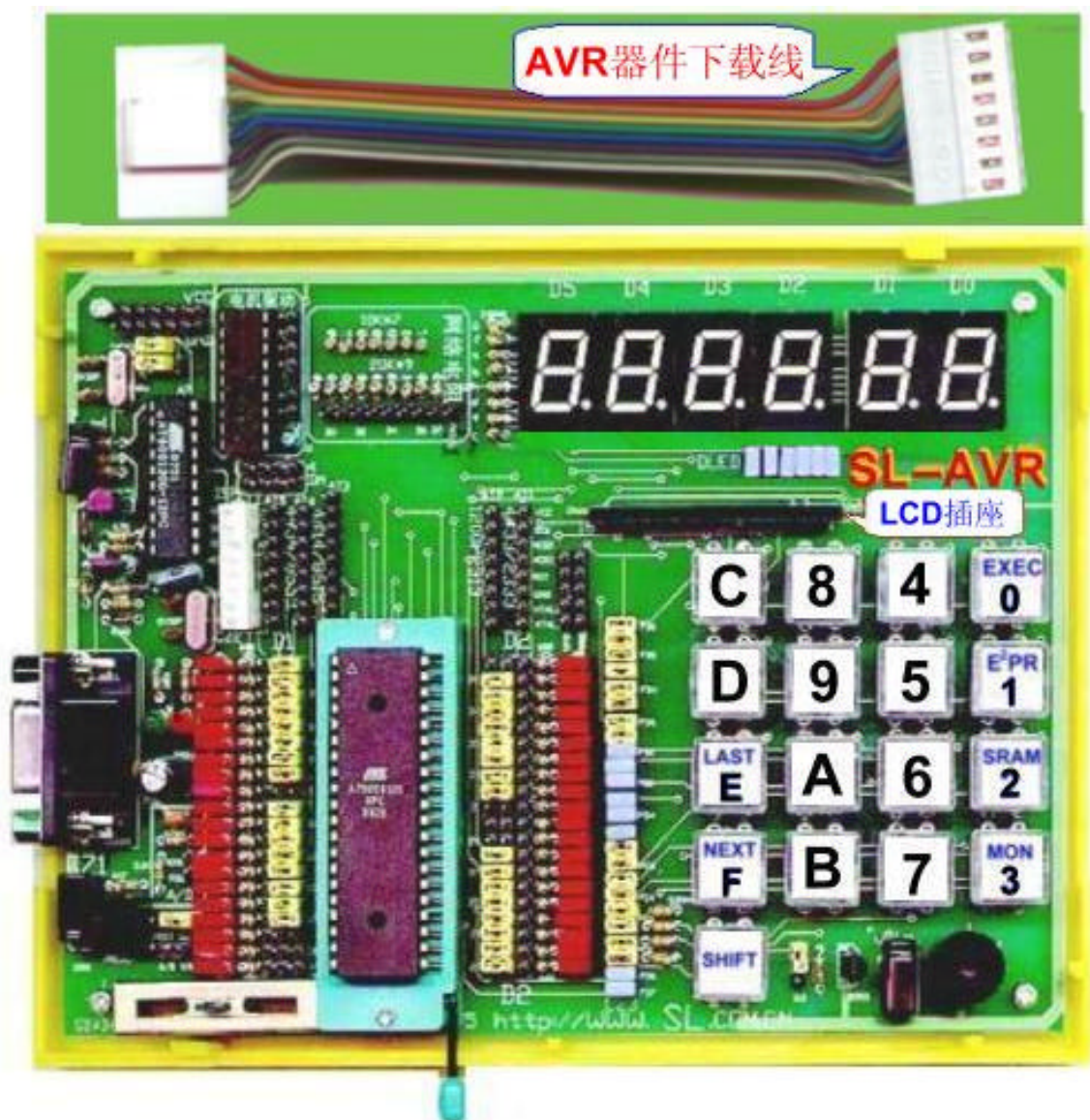
ICE200 采用 AVR 专用仿真 CPU 与监控 CPU 独立设计的方案,充分提供各种调试手段,真实再现被仿 AVR 的各种特性。

ICE200 的仿真软件最新版为 STUDIO3 .X,在支持以上 11 种 AVR 以外,还可模拟其它 AVR 器件的运行,支持汇编及 C 高级语言。其中汇编级编译器免费提供,C 编译器只提供 Image Craft Inc. 的 30 天免费试用版 IccAVR demo,该软件及其升级版均可从互联网([www.imagecraft.com](http://www.imagecraft.com))上免费获得。

ICE200 包括一个仿真器主板、一个 POD 板(AtadapEM04,有仿真 CPU)、五块适配器板(适合 DIP8/20/28/40 封装 AVR CPU)、一块诊断保护板(ATadap4000)、两根柔性印刷电缆、一根 9 针串行通讯电缆、一个 9V 直流电源(赠送)、一份工作光盘(含 ICE200 中文使用手册)、一份 ICE200 简介。



为配合<< AVR 高速嵌入式单片机原理与应用>>一书的出版,在 ATMELE 北京与香港办事处及华东师范大学电子科学技术系 ATMELE 实验室的大力协助下,广州双龙电子公司开发出经济普及型 AVR 串行下载开发实验器 SL-AVR (等于 AVR 编程器+模拟仿真器+实验器), SL-AVR 开发实验器硬件采用模块化设计,便于用户灵活组成你的科研项目所需的各种硬件结构。硬件有 RS232 通信接口;串行下载监控;DIP8/20/28/40 通用锁紧插座,DIP40 端口用短路块连接作输出,用 LED 发光二极管显示器件引脚高低电平,也可用短路块断开,作输入或其它用途;有 6 位 LED 数目管作显示;有 2X16 点阵 LCD 液晶显示器;有 17 键的键盘;有网络电阻作高精度 A/D 转换;有步进电机驱动电路模块;模拟比较输入电路;音响电路;复位电路;模拟电压输入电路等,随机附 120X170mm 万通实验板及一片 AT90S8515 器件。SL-AVR 适用于所有具有串行下载编程功能的 AVR 单片机,用户板上的 AVR 器件无需拆下即可编程,同时还可做 AVR 单片机的 I/O 口、A/D、D/A、LED、LCD、键盘输入、步进电机控制、音频输出、模拟比较等开发实验;提供功能强大的 WIN 版汇编级编译器 WAVRASM、模拟仿真调试软件 AVRStudio3.X 及串行下载软件 AVR PROG,同时也提供限时版的 C(IAR、Icc)编译器,不限时的(限 2KB)BASCOM-AVR 编译器;对初学 AVR 单片机的设计者,可暂时节省购买较昂贵的实时仿真器及万用编程器的费用。SL-AVR 开发实验器提供的几十个实用实验程序,你也可改变硬件接口,修改程序,实现原程序的功能;这尤其对大专院校学生发挥其创造性思维及动手能力的培养特别有用,可改变我国传统教育下的“高分低能”的弊病。本开发实验器也可当科研样机



使用。

我们的目标是在中国推广普及 AVR 单片机!今后我们还将不断提供 AVR 单片机的应用资料,“AVR 电子书光盘”也可作为<< AVR 高速嵌入式单片机原理与应用>>一书的补充,“AVR 电子书光盘”,提供 AVR 单片机全套开发软件及相关中、英文资料。由于时间及水平有限,本书中定有不妥及错误,望读者、用户批评指正!以便修改!

耿德根

2000 年 11 月于广州

## AVR 高速嵌入式单片机原理与应用

0.1 前言.....	
0.2 目录.....	
<b>第一章 单片机简介</b> .....	<b>1-1</b>
1.1 ATMEL 公司特点 .....	
1.3 AT90 系列单片机简介 .....	
<b>第二章 AVR 单片机总体结构</b> .....	<b>2-1</b>
2.1 AVR 单片机总体结构 .....	
2.2 AVR 单片机中央处理器 CPU .....	
2.3 AVR 单片机存储器组织 .....	
2.4 AVR 单片机系统复位 .....	
2.5 AVR 单片机中断系统 .....	
2.6 AVR 单片机的节电方式 .....	
2.7 AVR 单片机定时器/计数器 .....	
2.8 AVR 单片机 E2PROK 读/写访问 .....	
2.9 AVR 单片机串行接口 .....	
2.10 AVR 单片机模拟比较器 .....	
2.11 AVR 单片机 I/O 端口 .....	
2.12 AVR 单片机存储器编程 .....	
<b>第三章 AVR 单片机开发工具</b> .....	<b>3-1</b>
3.1 AVR 单片机的编辑、编译 .....	
3.2 模拟调试窗口 .....	
3.3 AVR 单片机开发下载实验器 SL-AVR .....	
3.4 AVR 单片机串行下载操作 .....	
3.5 SLAVR*.ASM 综合程序简介 .....	
<b>第四章 AVR 单片机指令系统</b> .....	<b>4-1</b>
4.1 指令格式 .....	

4.2 寻址方式.....	
4.3 数据操作和指令类型.....	
4.4 算术和逻辑指令.....	
4.5 转移指令.....	
4.6 数据传送指令.....	
4.7 位指令和位测试指令.....	
4.8 新增指令.....	
<b>第五章 AVR 单片机 AT90 系列介绍.....</b>	<b>5-1</b>
5.1 AT90S1200.....	
5.2 AT90S2313.....	
5.3AT90S2323/2324.....	
5.4 AT90S2333/4433.....	
5.5 AT90S4414/8515.....	
5.6 AT90S4434/8535.....	
5.7 ATmega83/163.....	
5.8 Attiny10/11/12.....	
5.9 Attiny15.....	
5.10 ATmega603/103.....	
5.11 ATmega161.....	6-1
<b>第六章 实用程序设计.....</b>	
6.1 程序设计方法.....	
6.2 应用程序举例.....	
<b>第七章单片机的应用.....</b>	<b>7-1</b>
7.1 通用延时子程序.....	
7.2 简单 I/O 口输出实验.....	
(1) 测试验证 DIP20 AVR 单片机 B 口、D 口引脚输出.....	
(2) 测试验证 AVR DIP40 引脚输出.....	
(3) 测试验证 AVR DIP40 引脚输出.....	
(4) AVR 的 I/O 口发出音符声.....	
(5) I/O 口输出报警声.....	
(6) PA 口使用建表方式的 LED 广告灯程序.....	
(7) LED 发光二极管加 1 计数程序.....	
7.3 综合程序.....	
7.3.A LED/LCE/键盘扫描综合程序.....	
7.3.B LED 键盘扫描综合程序.....	
7.3.1 LED 的 8 循环移位显示程序.....	
7.3.2 电脑放音机.....	
7.3.3 键盘扫描程序说明.....	
7.3.4 十进制计数显示.....	
7.3.5 廉价的 A/D 转换器.....	
7.3.6 高精度廉价的 A/D 转换器.....	
7.3.7 星星灯.....	
7.3.8 按钮猜数程序.....	
7.3.9 汉字的输入.....	

---

7.4.1	10 位 A/D 转换	8-1
7.4.2	步进电机控制程序	
7.4.3	测脉冲宽度	
7.4.4	LCD 显示 8 字循环	
7.4.5	LED 电脑时钟	8-1
7.4.6	测频率	
7.4.7	测转速	
7.4.8	AT90S8535 的 0-7 通道 A/D 转换	
<b>第八章 BASCOM-AVR 的应用</b>		
8.1	BASCOM-AVR 的 单片微控制器开发平台	
8.2	BASCOM-AVR 软件平台的安装与使用	
8.3	AVR 输入输出 I/O 口的应用	
8.3.1	LED 发光二极管的控制	
8.3.2	简易手控广告灯	
8.3.3	简易电脑音乐放音机	
8.4	LCD 显示器	
8.4.2	简单游戏机-按钮猜数	
8.5	串口通信 UART	
8.5.2	PC 控制的简易广告灯	
8.6	单总线(1-Wire)接口和温度计	
8.7	I2C 总线接口和简易 IC 卡读写器	
<b>第九章 AVR C 语言的应用</b>		
9-1		9-1
9.1	AVR - 支持 C 和高级语言编程的结构	
9.2	C 编译的介绍	
9.3	测试应用程序	
9.3.1	读/写口	
9.3.2	延时函数	
9.3.3	读/写 E2PROM	
9.3.4	AVR 的 PB 口变速移位	
9.3.5	4 个口 LED 亮灯变速移位	
9.3.6	音符声程序	
9.3.7	LED 的 8 字循环移位显示程序	
9.3.8	按键(SHIFT)计数显示程序	
<b>附录 1: ATMEL 89 系列单片机简介</b>		
<b>附录 2: ATMEL 91 系列单片机简介</b>		
<b>附录 3: ATMEL 94k 系列单片机简介</b>		
<b>附录 4: AVR 简便指令手册</b>		