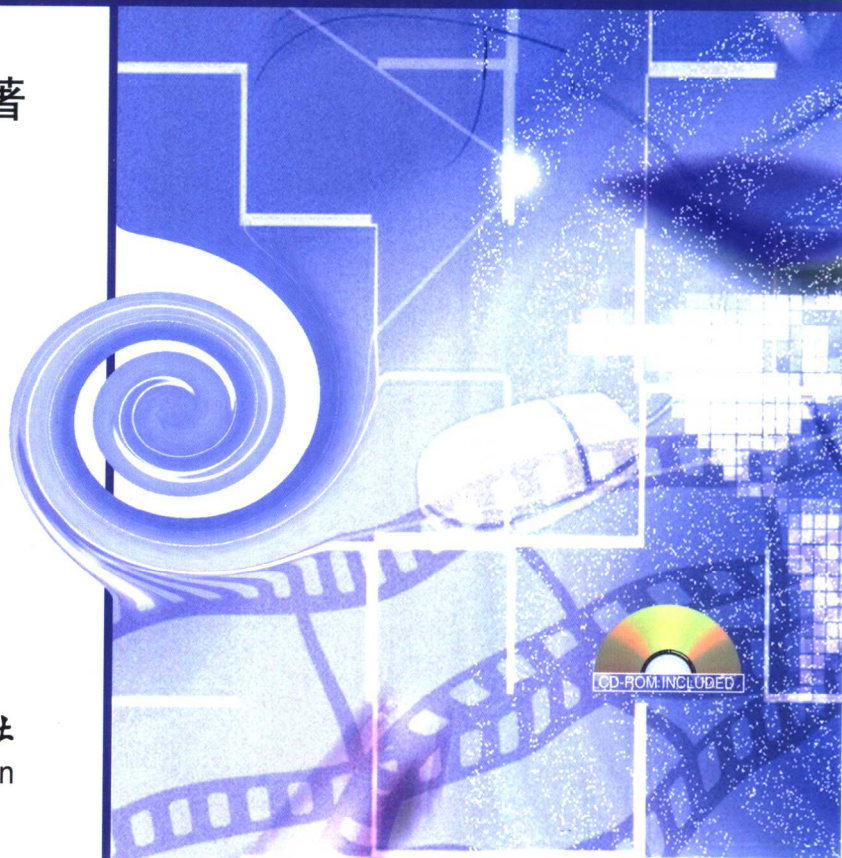




AVR

单片机 实用程序设计

张克彦 编著



北京航空航天大学出版社

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

AVR 单片机实用程序设计

张克彦 编著

北京航空航天大学出版社

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

内容简介

本书在介绍 AVR 单片机系统结构、运行原理和指令系统的基础上,给出众多实用程序的设计和用法并提供详细程序清单。它们有的结合 AVR 单片机的先进性和特点,如脉宽调制(PWM)输出,看门狗定时器,休眠模式(低功耗)的应用,片内 A/D 转换器(8535)的使用,异、同步串口通信,软件 DAA 等;有的属于对传统程序的优化,如对简易键盘 LED 显示管理,精确定时及对重装时间常数的修正,模拟半双工口,断电保护,带循环冗余检测(CRC)的异步串口通信,多机通信,定点、浮点运算以及并、串行时钟日历芯片和串行测温器件应用等。主要程序都附有流程图,所有程序都列出清单并带详细注释,且配备光盘。

本书还总结了对一般嵌入式系统应用程序都适用的程序设计和优化方法。书中提供了嵌入式系统完整的软件设计实例。

本书程序虽主要针对 8515/8535 单片机设计,但对升级型或高档的 MEGA 系列机,以及大部分低档机也是适用的。

本书可作为嵌入式系统应用工程技术人员的设计参考书,或作为大专院校的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

AVR 单片机实用程序设计 / 张克彦编著. — 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004. 2

ISBN 7-81077-416-6

I. A… II. 张… 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(2003)第 097012 号

AVR 单片机实用程序设计

张克彦 编著

责任编辑 胡晓柏

*

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:bhpress@263.net

河北省涿州市新华印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:25.5 字数:571 千字

2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-416-6 定价:39.00 元(含光盘)

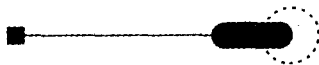
前言

高可靠性、功能强、高速度、低功耗和低价位,一直是衡量单片机性能的重要指标,也是单片机占领市场、赖以生存的必要条件。

回顾单片机发展史,我们看到,早期单片机主要由于工艺及设计水平不高、功耗高和抗干扰性能差等原因,所以采取稳妥方案:即采用较高的分频系数对时钟分频,使得指令周期长,执行速度慢。以后的 CMOS 单片机虽然采用提高时钟频率和缩小分频系数等措施,但这种状态并未被彻底改观;此间虽有某些精简指令集单片机(RISC)问世,但依然沿袭对时钟分频的作法。

AVR 单片机的推出,彻底打破这种旧设计格局,废除了机器周期,抛弃复杂指令计算机(CISC)追求指令完备的做法;采用精简指令集,以字作为指令长度单位,将内容丰富的操作数与操作码安排在一字之中(指令集中占大多数的单周期指令都是如此),取指周期短,又可预取指令,实现流水作业,故可高速执行指令。当然这种速度上的升跃,是以高可靠性为其后盾的。

AVR 单片机硬件结构采取 8 位机与 16 位机的折中策略,即采用局部寄存器存堆(32 个寄存器文件)和单体高速输入/输出的方案(即输入捕获寄存器、输出比较匹配寄存器及相应控制逻辑)。这样,既提高了指令执行速度(可在晶振采用 12 MHz,对 3 种单片机完成 16 位 $\times$ 16 位乘法运算做如下比较:MCS-51 单片机平均耗时 313 μ s,AVR 单片机则降为 13.6 μ s,而 MCS-96 单片机 16 位乘法指令执行时间为 6.25 μ s。AVR 单片机耗时为 MCS-96 单片机的 2 倍,却只有 MCS-51 单片机的 1/23),克服了瓶颈现象,增强了功能;又减少了对外设管理的开销,相对简化了硬件结构,降低了成本。故 AVR 单片机在软/硬件开销、速度、性能和成本诸多方面取得了优化平衡,是高性价比的单片机;而且 AVR 单片机定格在 8 位机,没必



要做得像 16 位机那样复杂。

AVR 单片机具有多达 10 位的预分频器,由软件设定分频系数,与 8/16 位定时器配合,可提供多种档次的定时时间。使用时可选取最接近的定时档次,即选 8/16 位定时器/计数器与分频系数的最优组合,减少了定时误差。AVR 单片机独有的“以定时器/计数器双向计数形成三角波再与输出比较匹配寄存器配合,生成占空比可变方波的设计方法(即脉宽调制输出 PWM)”更是令人耳目一新。

AVR 单片机高质量的 FLASH 寄存器,擦写方便,便于开发产品;长寿命的 EEPROM,可长期保存关键数据,避免断电丢失;内部 RAM,一般场合足够使用,并可像 MCS-51 单片机那样扩展外部 RAM(AT90S8515 等);增设高速同步串口,便于组成分布式网络;异步串口功能超过 MCS-51/96 单片机串口,加之 AVR 单片机高速,中断服务时间短,故可实现高波特率通讯。AVR 单片机具有 8/9 位数据通讯模式,也可实现多机通讯。AVR 单片机采用固定中断优先级,不需软件设定,简化了编程。AVR 单片机的 I/O 线驱动能力强,可省去功率驱动器件;且都可单独设定为输入/输出,故使 I/O 口资源灵活、充分利用。AVR 单片机功能强,独立的看门狗电路,并使复位源增加到 3 个(上下电、外部和看门狗),增强了嵌入式系统的可靠性。AVR 单片机具有多种省电休眠模式,且供电电压可降至 2.7 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,使开发掌上电脑、便携式仪器、仪表等低功耗领域,又增添了优选机型。AVR 单片机某些机型(如 AT90S8535)带 A/D 转换器件(最快转换速度 65 μ s/次);大部分机型都带模拟比较器,可进行模拟量采集,故 AVR 单片机是一个典型的高性能的模拟数字混合型通用 IC 器件。

综上所述,AVR 单片机博采众长,又具独特技术,不愧为 8 位机中的佼佼者。

AVR 单片机技术体现了单片机集多种器件(包括看门狗、FLASH 程序存储器、EEPROM、同/异步串行口、模数转换器、定时器/计数器等)和多

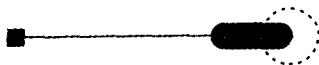
种功能(增强可靠性的复位系统、降低功耗抗干扰的休眠模式、品种多门类全的中断系统、具输入捕获和比较匹配输出等多样化功能的定时器/计数器、具替换功能的 I/O 端口……)于一身,从“片自为战”向片上系统过渡的发展方向。一般单片机应用中的接口技术以及软、硬件抗干扰设计技术,在 AVR 单片机应用设计中不再占据举足轻重的地位。

本书主要从应用角度向读者介绍各种程序的设计方法和使用方法。作者具有 20 余年智能仪器、仪表开发经验,且多数程序都由工程项目设计产生,具有一定的深度和难度。

本书对 AVR 单片机系统组成的先进性和运行特点(以 AT90S8515 和 8535 为代表)都有侧重说明,并配以相应的实用程序。除此之外,对单片机问世以来最基本的应用程序和流程序都进行了优化设计。本书提供众多实用程序,主要包括定点运算、浮点运算、数制转换、线性插值、数据表设计、键盘显示(带看门狗)管理、打印机使用、步进电机自动(或手动)正(或反)转控制、精确定时、脉宽调制(PWM)输出、异步/同步串口(带 CRC 检测)通讯、软件模拟半双工口、A/D 转换、休眠(省电)模式使用、多机通讯和断电保护等程序。若以本书中的模块化设计为 C 语言提供支持,可提高混合编程质量。

本书对 AVR 指令系统也作了详细说明,给出了算术、逻辑运算后状态寄存器 SREG 各标志位的布尔表达式解释。并以实例对比有符号数和无符号数算术运算对标志位影响的特点。调用本书提供的十进制加(减)法调整子程序,具有其他 8 位机 DAA 指令相同功能,从而实现实用的多字节压缩 BCD 码加减运算。书中提供键盘显示子程序带定时复位看门狗指令,如果调用该子程序作为应用系统的背景程序,则对看门狗初始化后不必再对其进行管理;对看门狗使用方法与注意事项、AVR 中断方式及特点、省电模式下工作特点、EEPROM 在线写入(AT90S8535)和多机通讯方法等也都进行了详细说明。

书中在介绍多种实用程序设计方法的基础上,总结了一般嵌入式系统



软件设计及优化方法。为使读者能对嵌入式系统软件总体设计有较全面了解,书中提供了完整的嵌入式系统软件设计实例,如 AVR 频率计程序(清单 96),计数器资源共享的输入捕获、比较匹配 PWM 输出和定时中断信号获取程序(清单 97)以及 DALLAS18B20 测温程序(清单 100)等。

书中还给出正确的由 R-2R 网络组成的数/模转换电路和数据转换公式,并解释其工作原理。

全书分为 5 章:第 1 章介绍 AVR 单片机硬件结构,分析它的运行原理;第 2 章介绍 AVR 单片机指令系统,详解其功能特点;第 3 章介绍定点运算及数制转换子程序的设计方法;第 4 章介绍各类实用程序(查表、外设管理、通讯、A/D 转换和定时器/计数器应用等)的设计使用方法,并对嵌入式系统程序优化方法进行总结;第 5 章介绍 AVR 单片机浮点程序库设计及其应用,包括介绍浮点数结构、基本运算、函数计算、浮点数制转换等子程序的设计方法、演示及应用。

本书成书过程中得到北京航空航天大学何立民教授的关照,并得到北京航空航天大学出版社以及珠海志美公司同事的大力支持和热心相助。在此表示感谢。

作 者

2003 年 7 月

电话:0431-4667215

通讯地址:长春市经济技术开发区

海口路 3 号(新华证券)

邮编:130031



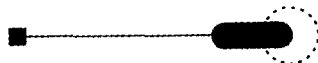
目 录

第 1 章 AVR 单片机硬件结构和运行原理

1.1 AVR 单片机的内部结构·····	3
1.2 存储器组织·····	5
1.3 定时器/计数器·····	9
1.4 AT90S8515/8535 单片机的 I/O 口·····	23
1.5 中断系统·····	26
1.6 复位系统·····	34
1.7 AT90S8535 单片机片内模数转换器·····	36
1.8 同步串行口 SPI·····	40
1.9 异步串行口 UART·····	46
1.10 模拟比较器·····	53
1.11 看门狗·····	55
1.12 EEPROM 的读/写·····	58
1.13 休眠方式·····	60

第 2 章 AVR 单片机指令系统

2.1 AVR 单片机汇编器编程规定·····	62
2.1.1 伪指令·····	62
2.1.2 表达式·····	65
2.2 操作数及指令所涉及的对象·····	67
2.2.1 状态寄存器 SREG·····	67
2.2.2 执行指令对标志位的影响·····	68
2.2.3 操作数寄存器和操作数·····	69
2.2.4 堆 栈·····	69
2.3 寻址方式·····	69

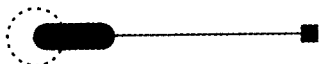




2.4 算术和逻辑运算指令	72
2.4.1 加法指令	73
2.4.2 减法指令	75
2.4.3 取反指令	77
2.4.4 取补指令	77
2.4.5 比较指令	77
2.4.6 逻辑与指令	78
2.4.7 逻辑或指令	79
2.4.8 逻辑异或指令	80
2.5 转移指令	80
2.5.1 无条件转移指令	82
2.5.2 条件转移指令	82
2.6 数据传输指令	90
2.6.1 直接寻址数据传输指令	92
2.6.2 间接寻址传输指令	92
2.6.3 I/O 口数据传送	94
2.6.4 堆栈操作指令	94
2.7 位操作及其他指令	95
2.7.1 移位指令	97
2.7.2 位操作指令	98
2.7.3 修改标志位指令	98
2.7.4 I/O 寄存器操作指令	100
2.7.5 其他指令	101

第3章 定点运算和定点数制转换

3.1 软件 DAA 的实现方法	102
3.1.1 实现加法 DAA 功能子程序 ADDAA 和 LSDAA 的设计方法	103
3.1.2 实现减法 DAA 功能子程序 SUDAA 的设计方法	104
3.1.3 实现右移 DAA 功能子程序 RSDAA 的设计方法	105
3.2 定点运算子程序	105
3.2.1 多字节压缩 BCD 码加法子程序 ADBCD ₄ 和 ADBCD	105
3.2.2 多字节压缩 BCD 码减法子程序 SUBCD ₄ 和 SUBCD	106
3.2.3 乘法子程序 MUL16	107
3.2.4 带舍入功能的乘法子程序 MUL165	108



3.2.5 整数除法子程序 DIV16	108
3.2.6 将最后余数舍入处理的除法子程序 DIV165	109
3.2.7 商为规格化浮点数的除法子程序 DIV16F	109
3.2.8 整数除法子程序 DIV24 和 DIV40	109
3.2.9 整数开方子程序 INTSQR	112
3.3 定点数制转换子程序	114

第4章 AVR 实用程序

4.1 查表(子)程序	120
4.1.1 线性内插计算子程序 CHETA	120
4.1.2 功能数据表格项目浏览、查找、修改程序	127
4.2 EEPROM 读/写子程序	137
4.2.1 EEPROM 读出子程序 REEP	137
4.2.2 EEPROM 写入子程序 WEEP	138
4.3 输入输出子程序	139
4.3.1 时钟日历芯片 OKI MSM 62×42×的读/写子程序	139
4.3.2 显示保护程序 DSPRV	143
4.3.3 键处理程序 DEALKY	145
4.3.4 计算键值——LED 显示管理子程序 DSPA 和 DSPY	148
4.3.5 键入数字序列左移处理子程序 LSDD8	155
4.3.6 双键浏览、修改数据子程序 KYIN2	158
4.3.7 通用宽行打印机检测及打印子程序 LPRNT	163
4.3.8 步进电机控制程序	167
4.4 精确定时及日历时钟走时程序(电脑钟)	175
4.4.1 MCU 主频 4 MHz 用 TCNT1 精确定时程序	176
4.4.2 MCU 主频 8 MHz 用 TCNT1 精确定时程序	178
4.4.3 MCU 主频 4 MHz 用 TCNT0 精确定时程序	180
4.4.4 以外部时钟(32 768 Hz)用 T/C2 定时直接产生秒号程序	181
4.4.5 时钟日历走时子程序 ACLK	182
4.5 通信程序	188
4.5.1 异步串行口中断接收和发送 ASCII 码字符串程序	188
4.5.2 用外部中断配合查询接收串行 ASCII 码字符串程序	193
4.5.3 以定时器和输出口配合用中断方式发送 ASCII 码字符串程序	200
4.5.4 以定时器和输入口配合用中断方式接收 ASCII 码字符串程序	205

4.5.5	主从多机通信程序	211
4.5.6	智能型 RS-232 与 RS-485 标准转换程序	216
4.5.7	高速同步串行口通信程序	218
4.5.8	模拟串行口配合 74164 驱动 LED 静态显示程序	221
4.6	脉宽调制(PWM)输出	223
4.6.1	精确定时输出占空比 1:1 秒号方波	224
4.6.2	用比较匹配达到时控制输出口的方法输出 PWM 波形	225
4.6.3	用比较匹配达到时求反输出口的方法输出 PWM 波形	227
4.7	模数转换	229
4.7.1	A/D 转换和自运行的 PWM 输出综合程序	229
4.7.2	利用模拟比较器进行 A/D 转换程序	232
4.8	可靠性程序	235
4.8.1	滑动平均子程序 SLPV	235
4.8.2	带外部 SRAM(不断电)的 8515 系统断电保护程序	240
4.8.3	AT90LS8535 工作于掉电模式下小系统的断电保护程序	249
4.8.4	循环冗余检测子程序 CRCST	255
4.8.5	循环冗余检测演示程序	259
4.9	码制转换	261
4.9.1	ASCII 码数据综合处理子程序	261
4.9.2	格雷(Gray)码与二进制数相互转换子程序	272
4.10	嵌入式系统软件设计方法	274
4.11	嵌入式系统常用优化设计方法	276

第 5 章 AVR 浮点程序库

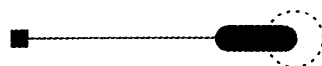
5.1	AVR 浮点程序库的特点	282
5.1.1	AVR 浮点程序库的设计特点	282
5.1.2	AVR 浮点程序库的优点	283
5.1.3	IEEE 浮点数格式	285
5.1.4	浮点数的规格化	287
5.1.5	对阶	288
5.2	基本运算符程序的设计方法	288
5.2.1	支持基本运算的辅助子程序	288
5.2.2	浮点数比较大小子程序 FPCP 的设计方法	289
5.2.3	浮点加法子程序 FPAD 的设计方法	290

5.2.4	浮点减法子程序 FPSU 的设计方法	291
5.2.5	浮点乘法子程序 FPMU 的设计方法	294
5.2.6	浮点除法子程序 FPD1 的设计方法	297
5.2.7	浮点数模拟手算开平方子程序 FPSQ 的设计方法	300
5.2.8	浮点数牛顿迭代开平方子程序 FSQR 的设计方法	304
5.2.9	基本运算子程序的演示程序	306
5.3	函数计算子程序的设计方法	308
5.3.1	函数计算子程序的设计总则	309
5.3.2	函数计算子程序的辅助子程序	309
5.3.3	用荷纳法计算多项式值子程序 FPLN1 和 FPLN2	315
5.3.4	对数函数 LNX 及其衍生函数子程序的设计方法	317
5.3.5	指数函数 EXP 及其衍生函数子程序的设计方法	322
5.3.6	正弦函数 $\sin x$ 及其衍生函数子程序的设计方法	327
5.3.7	反正弦函数 ASINX 及其衍生函数子程序的设计方法	330
5.3.8	函数计算子程序的演示程序	336
5.3.9	阶乘子程序 NP 的设计方法	337
5.3.10	浮点数制转换	338
5.4	浮点程序应用实例	349
5.4.1	拟合直线程序	349
5.4.2	模数转换器 AD7701 的应用	354

附录 实用程序的补充参考程序

后 记

参考文献



第1章

AVR 单片机硬件结构和运行原理

AVR 单片机是 ATMEL 公司推出的具有众多成员的单片机家族,主要包括 ATtiny、AT90 和 ATmega 三个系列,其硬件结构从相对简单到复杂,功能增强,而指令系统向上兼容。

与一般 8 位机相比,AVR 单片机的显著特点为高性能、高速度和低功耗。它是最先取消机器周期,以时钟周期为指令周期,实行流水作业,并首先采用寄存器文件和精简指令集的 8 位单片机。它具有高质量的 FLASH 程序存储器和 EEPROM 数据存储器、功能多样化的定时器/计数器、可靠的监视定时器、多渠道的复位电路以及多种选择的休眠方式等方面优势,使其功能、可靠性、速度、节电和价位等综合性指标在 8 位机中名列前茅,是 8 位嵌入式系统应用的首选机种。

AVR 单片机指令以字为单位,指令内容丰富,且大部分指令都为单周期指令;而单周期即可执行本指令功能,并完成读取下一指令的操作。

AVR 单片机采用 12 MHz 晶振时,执行速度可达 12 兆条单周期指令每秒(12 MIPS),是一般 MCS-51 单片机的 12 倍。若考虑到消除瓶颈现象等因素(算术运算、逻辑运算和移位操作都在寄存器文件中完成,寄存器文件之间、寄存器文件与 I/O 寄存器或与片内、外 SRAM 之间都可直接传送数据等),执行模块功能的总体速度还可在此基础上再翻一番。例如,其 16 位 $\times$ 16 位乘法子程序的速度为 MCS-51 单片机的 23 倍即是明证。

AVR 单片机的 FLASH 程序存储器可擦/写 1 000 次,对于需要频繁修改软件设计的开发项目也足够使用。EEPROM 数据存储器可擦/写 10 万次,可妥善保存仪器仪表的关键性数据。

AVR 单片机具有种类多样的中断源,便于设计实时、多功能、高效的应用系统。

AVR 单片机的 AT90S8535 等机型带 A/D 转换器,可实现多路模拟量连续快速转换,最高速度达 65 μ s/次。图 1.1 为 AT90S8515 单片机引脚配置图。

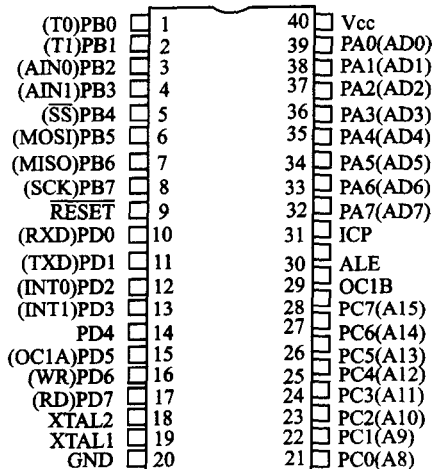
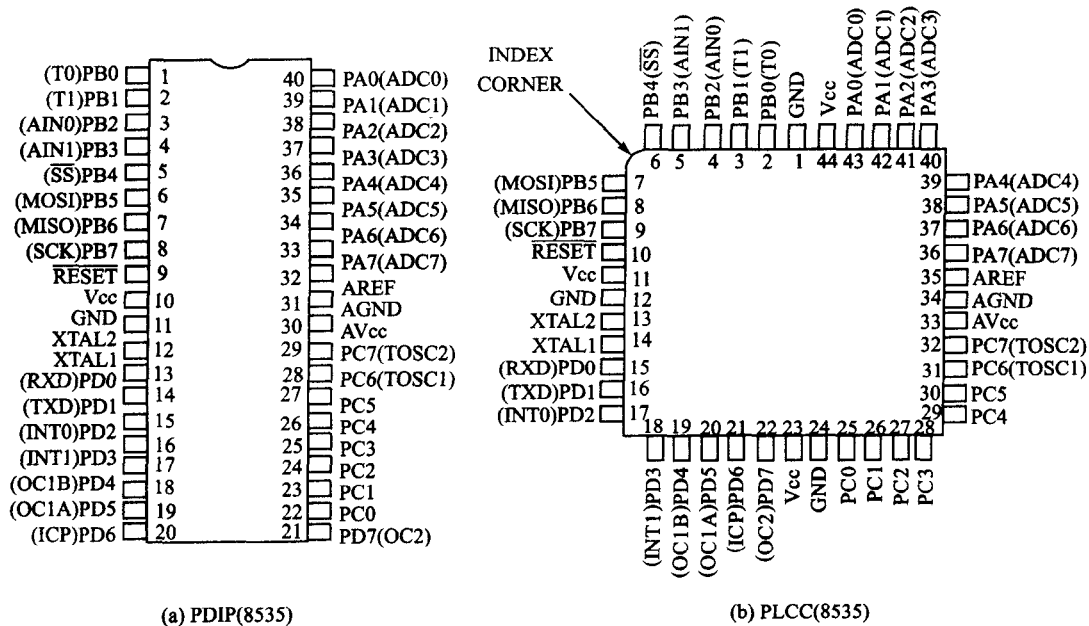


图 1.1 AT90S8515/8535 单片机引脚配置

AVR 单片机的异步串行口功能优于一般 8 位机,波特率设置得很高,且具有高速同步串行口,容易实现多机通信,规定多种通信协议。

AVR 单片机具有功能多样化的定时器/计数器,定时精度和定时档次可广泛选择,且具有输入捕获、脉宽调制输出等功能。

AVR 单片机具有多种类型休眠模式,可选择多种中断(包括复位)源唤醒 MCU,使设计低功耗嵌入式应用系统达到多样化。

休眠模式和多复位源的采用,增强了硬件抗干扰功能,减少了软件抗干扰设计的工作量,使 AVR 单片机性能跃升新高。

.....

AVR 嵌入式应用系统的优点,还可列举出很多。

本书主要讲述 AVR 中档机 AT90 系列的 AT90S8515/8535 单片机。AT90S8515 单片机的特点是其引脚与 MCS-51 单片机完全兼容,可外扩 SRAM 或扩展外设。但外扩占用了 A 口、C 口和 $\overline{RD}$ 、 $\overline{WD}$ 等控制端口,主要适合于较大的应用系统。AT90S8535 单片机带 8 路 10 位 A/D 转换器,但它不便外扩 SRAM 或扩展外设,故适合真正意义的单片机应用场合。

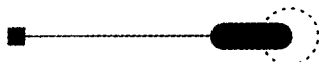
AT90S8515 与 AT90S8535 单片机的 FLASH 存储器、片内 SRAM 和 EEPROM 的容量完全相同,分别为 4K 字、512B 和 512B。AT90S8535 单片机还扩展了定时器/计数器 T/C2,主要作为实时钟或应用于休眠模式。

1.1 AVR 单片机的内部结构

麻雀虽小,五脏俱全。AVR 单片机也具有一般计算机的基本组成部分,其中最重要的是控制器和计算器,称为 CPU。AVR 单片机结构框图如图 1.2 所示。AVR 单片机通过 32 个通用寄存器文件与算术逻辑单元 ALU 构成计算器。在进行算术、逻辑运算时,源寄存器和目的寄存器便切换接通 ALU;计算完毕后,ALU 再与别的寄存器切换。这样以一条单周期指令即完成一般 8 位机必须用指令实现运算和进、出累加器的操作;在数据传送方面也省去用累加器做中转,故进一步节省时间,实现了高速。计算产生的“副产品”——标志位送到状态寄存器 SREG。

AVR 单片机的控制寄存器主要由程序计数器、指令寄存器、指令译码器、定时控制部件等组成。程序放在 FLASH 程序存储器内,CPU 从这里按程序计数器内容将指令读出到指令寄存器,再由指令译码器完成译码,按译码结果由定时控制部件发出一系列操作信号,控制、完成指令规定的全部操作。

随机存储器 SRAM 主要用于存储原始数据、中间处理乃至最终处理结果。



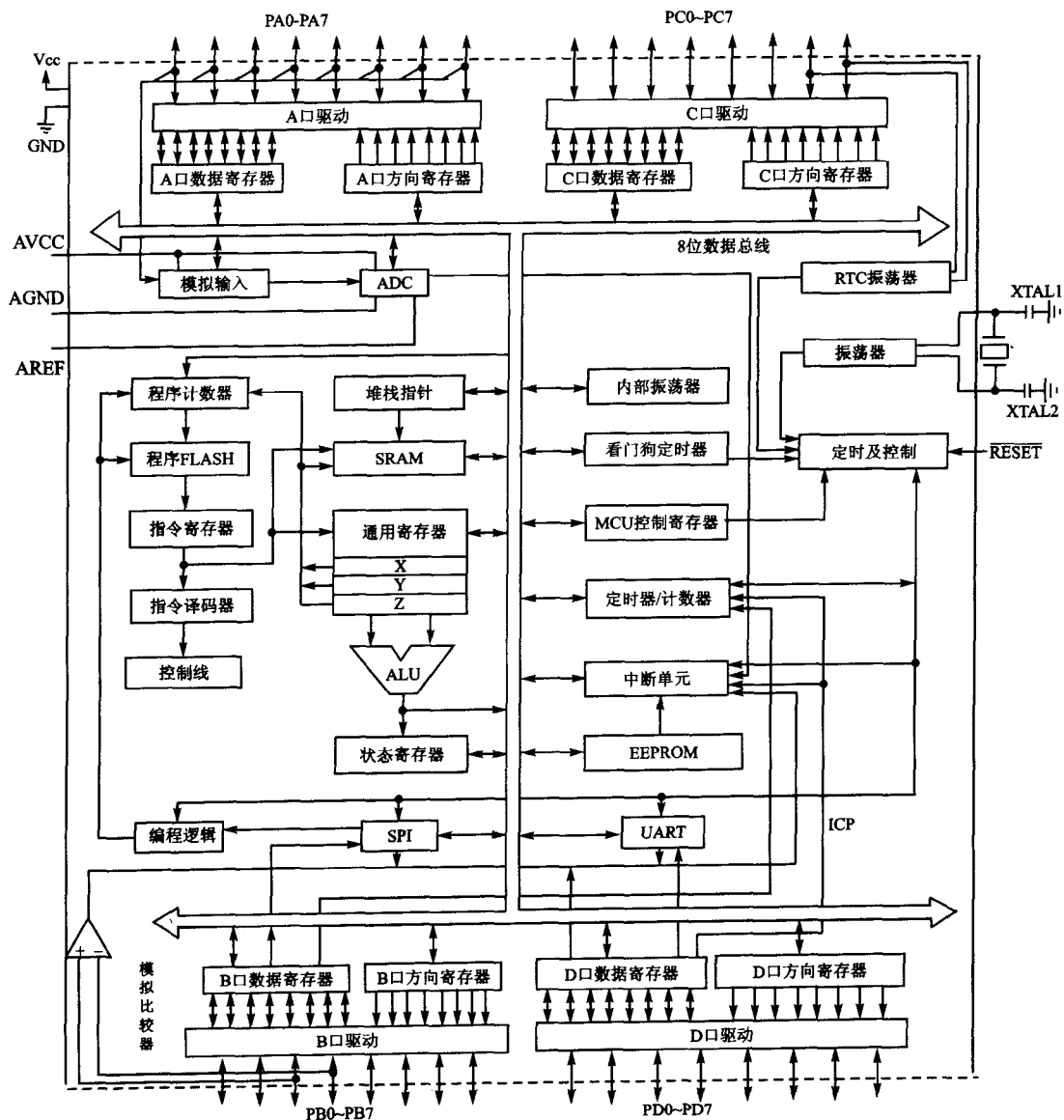


图 1.2 AVR 单片机结构框图

电可擦、可改写的 EEPROM 数据存储单元主要用于保存系统的关键数据和常用数据等,断电后不会丢失。

定时器/计数器可用以建立系统的工作秩序,产生各种定时信号,记录输入事件,处理输出事件等。

AVR 单片机与外部联系主要靠同、异步串行口和并行口进行。同、异步串行口用于与其他嵌入式系统或上位机进行通信;并行口可设定为输入、输出,用以读入外部并行数据或输出并行数据。另外,还有中断信号输入、模拟量输入、对外部事件计数、记录外部事件发生时刻以及脉宽调制输出等联系手段。

AVR 单片机中设有 32 个通用寄存器文件,除通用功能外,个别寄存器还具有特殊功能。例如,R26~R31 中每两个相邻的寄存器组成 3 个数据指针 X、Y、Z,用于间址寻址(简称间址)。R0 作为寻址 ROM 表格指令(LPM),专门用于存放数据寄存器。高端寄存器 R16~R31 可涉及立即数操作,而低端 16 个寄存器文件涉及立即数的操作必须通过高端寄存器媒介进行。

寄存器 R0~R31,也是内部 RAM 的一部分;占据 \$00~\$1F 空间,对内部 RAM 寻址指令也适用于寄存器文件。

AVR 单片机指令中有 4 类涉及到寄存器直接寻址:① 指令中有 11 位操作码,其余 5 位操作数给出寄存器地址 0~31;② 指令中有 6 位操作码,其余 10 位操作数中的 5 位指定源寄存器,另 5 位指定目的寄存器;③ 当涉及立即数操作时,指令中只有 4 位操作数给出 R16~R31 的地址等。

1.2 存储器组织

AVR 单片机的存储器包括 FLASH 程序存储器,SRAM 和 EEPROM 数据存储单元。

1. FLASH 程序存储器

AT90S8515/8535 单片机有 4K 字的 FLASH,空间为 \$000~\$FFF,为独立空间,可并行编程写入,也可由上位机串行下载。

2. SRAM 数据存储单元

AT90S8515/8535 单片机片内共有 \$260(608)\$ 个 SRAM 单元,如图 1.3 所示,前 32 个为寄存器文件(\$000~\$01F),之后的 64 个单元为 I/O 空间地址(\$020~\$05F),包括状态寄存器 SREG、堆栈指针 SP、中断控制寄存器、定时器/计数器、CPU 控制寄存器、I/O 输入/输出口等。而从 \$060 开始到 \$25F 才为真正的片内随机读/写 SRAM 数据存储单元。