



普通高等教育“十一五”计算机类规划教材

ATmega

系列单片机原理及应用 ——C语言教程



■ 李啸骢 龙军 骆武宁 副主编
■ 海 涛 主 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TP312/2671

2008

普通高等教育“十一五”计算机类规划教材

ATmega 系列单片机原理及应用

——C 语言教程

主 编 海 涛

副主编 李啸骢 龙 军 骆武宁

参 编 尚 磊 陈丽敏 曹岩炳

湛亮书 辛 鹏 齐红伟

郑燕芳 黄法源 高 翔

文志刚 刘 霞 辛 敏

机械工业出版社

全书共分9章,主要突出ATmega系列单片机C语言程序设计和应用技术两个方面的内容。具体内容包括:ATmega16的内部结构及接口特点、ATmega单片机的指令系统、中断系统及定时器、串行通信接口、模拟接口及使用方法、ATmega C语言设计方法、硬件和实用程序、仿真环境及附录。

本书可以作为计算机专业的本科教材,也可以作为自动化、仪器仪表、机电一体化等专业的本科生和研究生教材和相关技术人员的参考书。为方便教师教学,本书配有教学课件,欢迎选用本书作为教材的老师索取,索取邮箱:llm7785@sina.com。

图书在版编目(CIP)数据

ATmega系列单片机原理及应用——C语言教程/海涛主编. —北京:机械工业出版社, 2008.1

普通高等教育“十一五”计算机类规划教材

ISBN 978-7-111-22781-6

I. A… II. 海… III. C语言—程序设计—高等学校—教材 IV. TP312

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第174904号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:刘丽敏 责任校对:闫玥红

封面设计:张静 责任印制:李妍

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷

2008年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·21.5印张·532千字

标准书号:ISBN 978-7-111-22781-6

定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379727

封面无防伪标均为盗版

前 言

为适应我国计算机科学飞速发展的形势,进一步提高工科学生应用单片机的能力和水平,我们在认真总结多年教学、科研经验的基础上编写此教材。编写时,充分考虑了初学者的特点及认知规律,努力把科学性、实用性和易读性结合起来,力求内容新颖、重点突出、文字精炼、侧重应用;从实际出发,用读者容易理解的体系和叙述方法,深入浅出、循序渐进地帮助读者掌握本课程的基本内容,使从未学过微型计算机原理的读者,也能掌握单片机的知识。

ATmega 是 AVR 大系列单片机中的单片机系列之一,有很高的性价比。目前该单片机在著名的企业如海尔、科龙公司等都有广泛应用,其可靠性高、性能优越、市场占有率高,因此普及推广该系列单片机具有重要的意义。

ATmega 系列集 AD、定时器、看门狗、EE ROM、闪存、RAM 等于一体,功能很强、需要的外围电路少,有利于学习和开发产品。

本书重点介绍 ATmega16 单片机,实例也有 ATmega 其他单片机。全书内容共分 9 章,主要突出 ATmega 系列单片机 C 语言程序设计和应用技术两个方面的内容。第 1 章单片机综述。第 2 章 ATmega 的内部结构及接口特点。第 3 章 ATmega 单片机的指令系统。第 4 章 ATmega 单片机的中断系统及定时器。第 5 章 ATmega 单片机的串行通信接口。第 6 章 ATmega 单片机的模拟接口及使用方法。第 7 章 ATmega C 语言实用程序控制流。第 8 章 ATmega 硬件和实用程序。第 9 章编译器和集成开发环境,书末有附录。本书每章开头有内容提要,结尾有小结和习题,便于教学和自学。

本书由广西大学电气工程学院硕士生导师海涛高级工程师任主编,广西大学电气工程学院,博士生导师李啸骢教授、龙军教授以及南宁微控技术公司骆武宁副教授任副主编。参与本书编写工作的还有广西大学电气工程学院尚磊、陈丽敏、郑燕芳、谌亮书、辛鹏、黄法源,徐州师范大学齐红伟,兰州石化职业技术学院副教授曹岩炳,广西移动通讯公司高翔,广西中烟工业公司文志刚,郑州测绘学校刘霞,广西水利电力职业技术学校幸敏等。广西大学电气工程学院海涛高级工程师负责全书编写和统稿工作。

本书可作为计算机专业的本科教材,也可作为自动化、仪器仪表、机电一体化等专业本科生和硕士研究生及从事计算机开发应用工作的工程技术人员的参考书。

在本书的编写过程中,李骏、奚耀光、杨琦、王兮之、陈欢圆、王立元、闭耀宾、黄新迪、郑昌达、吴昊等人为本书的撰写做了很多工作,南宁微控技术有限公司对编撰此书也给予了大力支持和帮助,在此对他们的辛勤工作表示感谢。由于时间紧迫,编者水平有限,书中谬误之处在所难免,恳请读者批评指正。

E-mail: haitao@gxu.edu.cn

编 者

目 录

前言

第 1 章 单片机综述.....1

- 1.1 微机发展史简介.....1
- 1.2 单片机与微机.....1
- 1.3 嵌入式系统.....2
 - 1.3.1 嵌入式系统的定义与特点.....2
 - 1.3.2 嵌入式系统与单片机.....3
- 1.4 AVR 单片机简介.....4
 - 1.4.1 AVR 单片机的主要特点.....5
 - 1.4.2 AVR 单片机系列产品.....6
- 1.5 单片机的应用特点.....9
- 1.6 用 C 语言开发单片机的优势.....10
- 本章小结.....11
- 习题.....12

第 2 章 ATmega 的内部结构及接口

特点.....13

- 2.1 ATmega16 单片机综述.....13
 - 2.1.1 ATmega16 的主要特性.....13
 - 2.1.2 引脚配置.....13
 - 2.1.3 ATmega 单片机内部结构框图.....14
 - 2.1.4 引脚功能描述.....16
- 2.2 AVR CPU 内核.....17
 - 2.2.1 结构综述.....17
 - 2.2.2 ALU 算术逻辑单元.....18
 - 2.2.3 状态寄存器.....18
 - 2.2.4 通用寄存器文件.....19
 - 2.2.5 X、Y、Z 寄存器.....20
 - 2.2.6 堆栈指针.....20
 - 2.2.7 指令执行时序.....20
 - 2.2.8 中断与中断处理.....21
- 2.3 AVR ATmega16 的存储器.....22
 - 2.3.1 系统内可编程的 Flash 程序存储器.....22
 - 2.3.2 SRAM 数据存储器.....23
 - 2.3.3 数据存储器访问时序.....24

2.3.4 EEPROM 数据存储器.....24

2.3.5 I/O 存储器.....27

2.4 系统时钟及时钟选项.....27

- 2.4.1 时钟系统及其分配.....27
- 2.4.2 时钟源.....28
- 2.4.3 默认时钟源.....28
- 2.4.4 晶体振荡器.....28
- 2.4.5 低频晶体振荡器.....29
- 2.4.6 外部 RC 振荡器.....30
- 2.4.7 标定的片内 RC 振荡器.....31

2.5 电源管理及睡眠模式.....31

- 2.5.1 MCU 控制寄存器.....31
- 2.5.2 最小化功耗.....32

2.6 系统控制和复位.....32

- 2.6.1 复位 AVR.....32
- 2.6.2 片内基准电压.....34

2.7 看门狗定时器.....35

2.8 中断.....36

- 2.8.1 ATmega16 的中断向量.....36
- 2.8.2 通用中断控制寄存器 (GICR).....37

2.9 I/O 端口描述.....38

- 2.9.1 端口使用介绍.....38
- 2.9.2 作为通用数字 I/O 的端口.....39
- 2.9.3 配置引脚.....39
- 2.9.4 读取引脚上的数据.....40
- 2.9.5 未连接引脚的处理.....43

本章小结.....43

习题.....43

第 3 章 ATmega 单片机的指令系统.....45

3.1 ATmega 指令系统概述.....45

- 3.1.1 ATmega 指令系统的分类.....45
- 3.1.2 ATmega 指令系统的寻址方式和寻址空间.....45

3.2 ATmega 指令分类介绍.....49

3.2.1 算术和逻辑指令.....	49	5.3.1 USART 的主要特点.....	126
3.2.2 转移指令.....	54	5.3.2 AVR USART 和 AVR UART 的 兼容性.....	127
3.2.3 子程序调用和返回指令.....	60	5.3.3 时钟.....	128
3.2.4 数据传送指令.....	61	5.3.4 帧格式.....	130
3.2.5 位操作和位测试指令.....	65	5.3.5 USART 的初始化.....	130
3.2.6 MCU 控制指令.....	68	5.3.6 数据发送——USART 发送器.....	131
本章小结.....	69	5.3.7 数据接收——USART 接收器.....	132
习题.....	69	5.3.8 多处理器通信模式.....	136
第 4 章 ATmega 单片机的中断系统及 定时器.....	71	5.4 两线串行接口 TWI.....	143
4.1 ATmega 单片机的中断系统.....	71	5.4.1 TWI 的主要特点.....	143
4.1.1 中断处理.....	71	5.4.2 TWI 模块综述.....	147
4.1.2 外部中断.....	72	5.4.3 总线接口单元.....	148
4.1.3 中断响应.....	74	5.4.4 地址匹配单元.....	148
4.2 定时器/计数器的使用方法.....	76	5.4.5 控制单元.....	148
4.2.1 8 位定时器/计数器 0——T/C0.....	76	5.4.6 使用 TWI.....	151
4.2.2 16 位定时器/计数器 1——T/C1.....	78	本章小结.....	159
4.2.3 8 位定时器/计数器 2——T/C2.....	84	习题.....	160
4.3 T/C0 与 T/C1 共用的预分频器的使用 方法.....	88	第 6 章 ATmega 单片机的模拟接口及 使用方法.....	161
4.4 具有 PMW 功能与异步操作的定时器/ 计数器使用方法.....	89	6.1 模拟比较器.....	161
4.4.1 T/C1 的应用.....	89	6.2 模数转换器.....	163
4.4.2 T/C2 的应用.....	92	6.2.1 主要特点.....	163
4.4.3 T/C2 的异步操作方式.....	94	6.2.2 ADC 的工作原理.....	164
4.5 ATmega 单片机的时钟综合实例.....	96	6.2.3 启动 ADC 转换.....	165
本章小结.....	118	6.2.4 预分频及 ADC 转换时序.....	166
习题.....	118	6.2.5 差分增益信道.....	168
第 5 章 ATmega16 单片机的串行通信 接口.....	120	6.2.6 通道或基准源的选择.....	168
5.1 串行外设接口 SPI.....	120	6.2.7 ADC 输入通道.....	169
5.1.1 ATmega16 SPI 的特点.....	120	6.2.8 ADC 基准电压源.....	169
5.1.2 主机和从机之间的 SPI 连接.....	120	6.2.9 ADC 噪声抑制器.....	170
5.2 全双工的串行设备接口 SPI 的功能及 使用方法.....	123	6.2.10 模拟输入电路.....	170
5.2.1 从机模式.....	123	6.2.11 ADC 转换结果.....	171
5.2.2 主机模式.....	123	6.3 脉冲宽度调制输出 PWM (D/A) 功能 特点及功能.....	183
5.2.3 数据模式.....	124	6.4 数字滤波方法.....	185
5.3 USART 描述.....	126	本章小结.....	191
		习题.....	191



第 7 章 ATmega C 语言实用程序

控制流.....193

7.1 C 语言的结构化程序设计.....193

7.2 选择语句.....194

7.2.1 if 语句.....194

7.2.2 switch 分支.....197

7.2.3 选择语句的嵌套.....198

7.3 循环语句.....199

7.3.1 while 语句.....199

7.3.2 do while 语句.....200

7.3.3 for 语句.....200

7.3.4 循环语句嵌套.....201

7.3.5 break 语句和 continue 语句.....202

本章小结.....203

习题.....204

第 8 章 ATmega 硬件和实用程序.....205

8.1 ATmega I/O 接口实验.....205

8.2 数码管应用和部分元件介绍.....209

8.2.1 数码管公共端和接法的判断.....209

8.2.2 74HC595 描述.....210

8.2.3 光电隔离晶体管阵列及通信接口.....211

8.2.4 ATmega16 与数码管的连接.....214

8.3 基于 ATmega 的 12864LCD 液晶串行显示.....217

8.3.1 中文液晶显示模块功能描述.....217

8.3.2 ATmega 单片机与 12864LCD 液晶显示器的连接.....218

8.3.3 串行接口数据传输描述.....218

8.3.4 液晶串行接口数据传输程序.....220

8.4 单片机发送数据到上位机.....221

8.4.1 单片机发送数据到上位机原理图.....221

8.4.2 程序编写步骤.....223

8.5 RTC4553 时钟芯片在单片机 ATmega16 中的应用.....225

8.5.1 RTC4553 的内部结构.....225

8.5.2 RTC4553 的工作原理.....227

8.5.3 RTC4553 与单片机连接及编程.....228

8.6 DS1302 时钟芯片在 ATmega8 单片机中的应用.....231

8.6.1 DS1302 的主要功能.....231

8.6.2 DS1302 的工作原理.....231

8.6.3 DS1302 与单片机的接口电路及相关程序.....232

8.7 基于 ATmega8 TWI 访问程序在 24xx 中的应用.....236

8.8 ATmega 单片机测量并网前的相位差参数.....240

8.8.1 频率及相位差测量的电路原理图.....240

8.8.2 相位差的测量方法.....242

8.8.3 测量相位差的流程框图和软件.....243

8.9 多个 ATmega 单片机系统在电容分相补偿中的应用.....244

8.9.1 分相补偿技术要求.....244

8.9.2 系统硬件构成.....245

8.9.3 分相补偿多 CPU 通信软件组成.....245

8.10 ATmega 单片机在液位自动控制中的应用.....252

8.10.1 液位自动控制装置技术要求.....252

8.10.2 单片机控制原理图.....253

8.10.3 液位控制及远程控制程序.....253

8.11 ATmega 单片机在三相晶闸管触发电路中的应用.....268

8.11.1 三相半控桥的触发原理.....268

8.11.2 触发延时时间与电压的关系.....269

8.11.3 ATmega 单片机触发晶闸管电路原理图.....270

8.11.4 晶闸管触发主程序.....270

8.12 基于 ATmega 单片机的高精度三相电能测量系统.....276

8.12.1 ATT7022B 功能简要说明.....277

8.12.2 ATT7022B 的内部结构及封装形式.....277

8.12.3 串行 Flash 芯片 AT45DB161 功能简介.....279

8.12.4 ATmega 单片机和 ATT022B 电能芯片构成的高精度三相电能测量系统.....279

8.12.5 ATmega 和 ATT022B 电能芯片控制软件.....279



8.13 基于 MAX125 的多通道同步采样数据采集系统.....282	9.8.4 字符串函数.....312
8.13.1 ADC 转换器 MAX125 的工作原理.....282	9.8.5 存储器 API 函数.....312
8.13.2 系统结构及硬件、软件设计.....285	9.8.6 中断 API 函数.....313
8.14 基于 TEA1622P 的通用开关电源.....287	9.8.7 I/O API 函数.....313
本章小结.....290	9.8.8 看门狗 API 函数.....314
习题.....290	9.8.9 LCD 库函数.....314
第 9 章 编译器和集成开发环境.....292	9.8.10 其他函数.....315
9.1 单片机程序下载及集成开发环境.....292	9.9 单片机调试小工具.....315
9.2 单片机编译器和集成环境的介绍.....296	本章小结.....316
9.3 ATMANAVR 编译器简介.....298	附录.....318
9.4 AVR 存储器的使用.....299	附录 A ATmega 指令纵览.....318
9.5 启动文件.....301	附录 B C 语言相关表格.....322
9.6 ATMANAVR 菜单解释.....302	附录 C ATmega 单片机部分寄存器.....324
9.7 工程的建立.....305	附录 C.1 ATmega I/O 寄存器描述.....324
9.8 ATMANAVR 5.8.1 支持的库函数介绍.....310	附录 C.2 ATmega 定时、中断寄存器描述.....325
9.8.1 C 标准库函数.....310	附录 C.3 ATmega 串行通信寄存器.....330
9.8.2 数学函数.....311	附录 C.4 ATmega 模拟比较器寄存器.....333
9.8.3 字符函数.....311	参考文献.....336

第 1 章 单片机综述

内容提要 使用 C 语言开发嵌入式系统是今后单片机发展的主要方向。本章对嵌入式系统从定义、特点、分类及其与单片机的关系等几个方面进行阐述,并介绍了 AVR 单片机的特点、系列产品和应用特点。

1.1 微机发展史简介

微机系统的核心部件为 CPU,从 CPU 的发展、演变过程可显现微机系统的发展过程。

第一代:4 位及低档 8 位微处理器(1971~1972 年),以 Intel4004 为代表。

第二代:中、低档 8 位微处理器(1973~1974 年),以 Intel8008 为代表。

第三代:高、中档 8 位微处理器(1975~1976 年),以 Intel8085 为代表。

第四代:16 及低档 32 位微处理器(1978~1992 年)

1978 年,Intel 首次推出 16 位处理器 8086。

1985 年,Intel 推出了 32 位处理器 80386(时钟频率为 20MHz)。

1989 年,Intel 推出了 80486(时钟频率为 30~40MHz),后期推出的 80486 DX2 首次引入了倍频的概念,有效缓解了外部设备的制造工艺跟不上 CPU 主频发展速度的矛盾。

第五代:高档 32 位微处理器(1993~1998 年)

1993 年,Intel 推出了新一代高性能处理器 Pentium(奔腾),1999 年推出了开发代号为 Coppermine 的 PIII,加强 CPU 在三维图像和浮点运算方面的能力。

第六代:Pentium II CPU

1998 年 Intel 推出了 Pentium II CPU,从此以后 CPU 的发展和竞争愈演愈烈,CPU 的类别和型号几乎是隔月就有新产品,其他公司也推出了相同档次的 CPU,如 K6、Athlon(K7)。以后 CPU 推出的速度越来越快。

我国于 1974 年开始研制微处理器。1977 年研制出 DSJ—050(INTEL8080),随后我国微机的研制和发展加快。1 位、4 位、16 位、32 位 CPU 相继涌现,目前已经有各种型号产品。

1.2 单片机与微机

计算机硬件由五部分组成:运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备。

微机的组成与计算机无本质区别。但因微机的发展与大规模集成电路(LSI)密切相连,故微机在组成方面有自己的特点:

- 1) 运算器和控制器集成在一个芯片上,称之为 CPU 芯片。
- 2) 存储器由半导体存储器芯片组成。
- 3) CPU、存储器、I/O 口通过 AB、DB、CB 三总线交换信息。



4) 外设通过 I/O 口芯片与机器内各部件交换信息。

单片机是集成了组成微机的 CPU、存储器、I/O 口以及其他辅助电路的大规模集成电路芯片。

按照计算机的体系结构、运算速度、结构规模、适用领域,将其分为大型计算机、中型机、小型机和微型计算机,并以此来组织学科和产业分工,这种分类沿袭了约 40 年。近 10 年来随着计算机技术的迅速发展,实际情况产生了根本性的变化。例如,20 世纪 70 年代末定义的微型计算机演变出来的个人计算机(PC),如今已经占据了全球计算机工业的 90% 市场,其处理速度也超过了当年大、中型计算机的定义。随着计算机技术和产品对其他行业的广泛渗透,以应用为中心的分类方法变得更为切合实际,也就是按计算机的嵌入式应用和非嵌入式应用将其分为嵌入式计算机和通用计算机。通用计算机具有计算机的标准形态,通过装配不同的应用软件,以类同面目出现并应用在社会的各个方面,其典型产品为 PC;而嵌入式计算机则是以嵌入式系统的形式隐藏在各种装置、产品和系统中。

1.3 嵌入式系统

从 1946 年电子计算机诞生之日起,在计算机的发展过程中,它主要是朝着大型和快速的方向发展。计算机功能的大致演变过程为:数值计算的人力替代——近代计算机的海量数值计算——过程的模拟仿真、分析和决策。在此期间,随着大规模集成电路技术的不断发展和人们需求的多样化,微型计算机异军突起,从而导致计算机向两个方向发展:一个是向高速度、高性能的通用计算机方向发展;另一个是向稳定可靠、小而价廉的嵌入式计算机或专用计算机方向发展。

1.3.1 嵌入式系统的定义与特点

如果了解了嵌入式(计算机)系统的由来与发展,那么对嵌入式系统就不会产生过多的误解,而能历史地、本质地、普遍适用地定义嵌入式系统。

1. 嵌入式系统的定义

按照历史性、本质性、普遍性要求,嵌入式系统应定义为“嵌入到对象体系中的专用计算机系统”。嵌入性、专用性与计算机系统是嵌入式系统的 3 个基本要素。对象系统则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统。

2. 嵌入式系统的特点

嵌入式系统的特点与定义不同,它是由定义中的 3 个基本要素衍生出来的。对于不同的嵌入式系统,其特点会有所差异。

(1) 与嵌入性相关的特点 由于是嵌入到对象系统中,必须满足对象系统的环境要求,如物理环境(小型)、电气环境(可靠)、成本(价廉)等要求。

(2) 与专用性相关的特点 软、硬件的裁剪性。满足对象要求的最小软、硬件配置等。

(3) 与计算机系统相关的特点 嵌入式系统必须是能满足对象系统控制要求的计算机系统。与前面两个特点相呼应,这样的计算机必须配置与对象系统相适应的接口电路。

另外,在理解嵌入式系统定义时,不要与嵌入式设备相混淆。嵌入式设备是指内部有嵌入式系统的产品和设备,例如,内含单片机的家用电器、仪器仪表、工控单元、机器人、手

机、PDA 等。

3. 嵌入式系统的种类与发展

按照上述嵌入式系统的定义，只要是满足定义中三要素的计算机系统，都可称为嵌入式系统。嵌入式系统按形态可分为设备级（工控机）、板级（单板、模块）和芯片级（MCU、SoC）。

把嵌入式处理器当作嵌入式系统，是不准确的。按照定义，嵌入式系统必须是一个嵌入式计算机系统，因此，只有将嵌入式处理器构成一个计算机系统，并作为嵌入式应用时，这样的计算机系统才可称作嵌入式系统。

4. 嵌入式系统的定义

以应用为中心，以计算机技术为基础，软件、硬件可裁剪，适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

1.3.2 嵌入式系统与单片机

1. 嵌入式计算机

或者叫专用计算机，具有对象交互、嵌入式应用、I/O 管理的功能，如单片机、DSP 以及其他用于专门功能的计算机。

计算机由于大大提高了现场环境的可靠性，体积小型化，从而走出机房，迈入微型计算机时代；同时，微型计算机强化了 I/O 驱动功能，使外部的控制管理功能得以增强，将计算机嵌入到对象体系中完成对象的智能化控制要求，诞生了嵌入式计算机系统。

嵌入式应用对计算机系统的要求：①可靠性高：防止控制失误；②物理空间有限：要嵌入到对方体系中；③强大的 I/O 管理、驱动能力；④要和外围电路、功能单元打交道；⑤足够的应用软件：符合对象管理、控制要求的应用软件。

于是，人们在通用计算机无法满足广泛的电气智能化要求的情况下，按照嵌入式应用要求，设计出最底层要求的芯片级嵌入式计算机系统，它就是微小型化，低价位（芯片形态、芯片价）的嵌入式计算机系统。单片机就这样应运而生了。

2. 嵌入式系统

（1）概念 嵌入式系统是实现嵌入式应用、无通用计算机形态和功能的专用计算机系统。

嵌入式系统的特点是：嵌入性、专用性、计算机系统。

嵌入式系统的要求是：可靠性、微小型、经济性、智能性、实时性。

（2）嵌入式系统种类 按嵌入式系统存在的形态，可分为：

1) 系统级工控机。嵌入式系统的最早形态，它是将通用计算机加固而实现的，尚具有通用计算机的形态和操作系统，应用开发比较方便，但造价较高。

2) 板级。以各种通用微处理器为核心构成的功能模块或功能板。如一些通用 CPU 处理器生产厂家将在通用微处理器方面的技术和产品“移植”到嵌入式应用领域。

3) 芯片级。在功能和形态上真正具有“嵌入式”意义的嵌入式系统，如 MCU/EMPU/DSP 等。

3. 单片机与嵌入式系统

所谓单片机，就是把中央处理器 CPU（Central Processing Unit）、存储器（Memory）、定



时器、I/O (Input/Output) 接口电路等一些计算机的主要功能部件集成在一块集成电路芯片上的微型计算机。

虽然单片机只是一个芯片,但从组成和功能上看,它已具有了微型计算机系统的含义。中文“单片机”的称呼由英文名称“Single Chip Microcomputer”直接翻译而来。单片机的内部结构如图 1.1 所示。

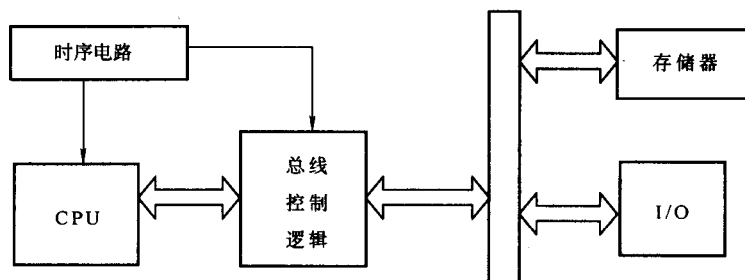


图 1.1 单片机的内部结构

1.4 AVR 单片机简介

ATMEL 公司是有名的生产高性能、低功耗、非易失性存储器和各种数字模拟 IC 芯片的半导体制造公司。在单片机做控制器方面,ATMEL 公司有 AT89、AT90 和 ARM 3 个系列单片机的产品。ATMEL 公司在其单片机产品中,融入了先进的 E²PROM 电可擦除和 Flash ROM 闪速存储器技术,使得该公司的单片机具备了优秀的品质,在结构、性能和功能等方面都有明显的优势。

自 1983 年 INTEL 公司推出 8051 单片机系列至今,ATMEL 公司把 8051 内核与其擅长的 Flash 制造技术相结合,推出了片内集成可重复擦写 1000 次以上 Flash 程序存储器、低功耗、8051 内核的 AT89 系列单片机。该系列的典型产品有 AT89C51、AT89C2051 等,在我国的单片机市场上占有相当大的份额,得到了广泛的使用。由于 8051 本身结构的先天性不足和近年来各种采用新型结构和新技术的单片机的不断涌现,现在的单片机市场是百花齐放。ATMEL 在这种强大市场压力下,发挥 Flash 存储器的技术特长,于 1997 年研发并推出了全新配置的、采用精简指令集 RISC (Reduced Instruction Set CPU) 结构的新型单片机,简称 AVR 单片机,ATmega 是其中高档单片机。

精简指令集 RISC 结构是 20 世纪 90 年代开发出来的,其综合了半导体集成技术和软件性能的新结构。AVR 单片机采用 RISC 结构,具有 1MIPS/MHz 的高速运行处理能力。

为了缩短产品进入市场的时间,简化系统的维护和支持,对于由单片机组成的嵌入式系统来说,用高级语言编程已成为一种标准编程方法。AVR 结构单片机的开发目的就在于能够更好地采用高级语言(例如 C 语言、BASIC 语言)来编写嵌入式系统的系统程序,从而能高效地开发出目标代码。为了对目标代码大小、性能及功耗进行优化,AVR 单片机的结构中采用了大型快速存取寄存器组和快速的单周期指令系统。

AVR 单片机运用 Harvard 结构,在前一条指令执行的时候就取出现行的指令,然后以一

个周期执行指令。在其他的 RISC 以及类似 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(8051)。AVR 单片机是用一个时钟周期执行一条指令的,它是 8 位单片机中第一个真正的 RISC 结构的单片机。

由于 AVR 单片机采用了 Harvard 结构,所以它的程序存储器和数据存储器是分开组织和寻址的。寻址空间分别为可直接访问 8MB 的程序存储器和 8MB 的数据存储器。同时,由 32 个通用工作寄存器所构成的寄存器组被双向映射,因此,可以采用读写寄存器和读写片内快速 SRAM 存储器两种方式访问 32 个通用工作寄存器。

AVR 单片机采用低功率、非挥发的 CMOS 工艺制造,内部分别集成 Flash、E²PROM 和 SRAM3 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 E²PROM 数据存储器进行编程外,绝大多数的 AVR 单片机还具有在线编程(ISP)的特点,这给学习和使用 AVR 单片机带来了极大的方便。

1.4.1 AVR 单片机的主要特点

AVR 单片机吸取了 PIC 及 8051 单片机的优点,同时还做了一些重大改进,其主要的优点如下:

1) 片内集成可擦写 10000 次以上的 Flash 程序存储器。

2) 高度保密(LOCK)。可多次擦写的 FLASH 具有多重密码保护锁死(LOCK)功能,并且 Flash 单元深藏于芯片内部,不像 Mask ROM 那样可通过电子显微镜破解,因此目前国内还无法破解 AVR 单片机,这有利于保护设计成果,并且 AVR 可以通过 Self Programming 方式远程下载加密的更新代码。因此可低成本高速度地完成产品商品化,并且可多次更改程序(产品升级)而不必浪费 IC 或电路板,大大提高了产品的质量及竞争力。

3) 工业级(WDT)产品。具有大电流(灌电流)10~20mA 或 40mA(单一输出)的特点,可直接驱动 SSR 或继电器。有看门狗定时器(WDT)安全保护,可防止程序走飞,提高产品的抗干扰能力。

4) 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,128B~4KB 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。

5) 程序写入器件可以并行写入(用编程器写入),也可使用串行在线编程(ISP)方法下载写入,也就是说不必将单片机芯片从系统上拆下,拿到万用编程器上烧写,而可直接在电路板上进行程序的修改、烧写等操作,方便产品升级,尤其是采用 SMD 封装,更利于产品微型化。

6) 除了并行 I/O 口输入/输出特性与 PIC 的 HI/LOW 输出及三态高阻抗 HI-Z 输入相同外,还设定了与 8051 系列内部有上拉电阻的输入端功能相似的功能,以便适应各种实际应用特性所需(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/输出的真实情况。

7) 单片机内集成了模拟比较器,I/O 口可作 A/D 转换用,组成廉价的 A/D 转换器。AVR 单片机有多个固定中断向量入口地址,可快速响应中断。

8) AVR 单片机可重新设置启动复位。AVR 也有内部电源上电启动计数器,可将低电平复位(RESET)直接接到 V_{cc} 端。当系统上电时,利用内部的 RC 看门狗定时器可延迟 MCU



的启动, 执行系统程序。这种延时可使 I/O 口稳定后再执行程序, 提高了单片机工作的可靠性, 同时也省略了外加的复位延时电路。

9) 具有休眠省电功能 (POWER DOWN) 及闲置 (IDLE) 低功耗功能的工作方式。

10) ATmega 单片机具有内部的 RC 振荡器, 提供 1~8MHz 的工作时钟, 使该类单片机无需外加晶振等时钟电路元器件即可工作, 简单方便。

11) 有 8 位和 16 位的计数器/定时器 (C/T), 可作为比较器、计数器、外部中断和 PWM (也可作 D/A), 用于控制输出。

12) 有串行异步通信 UART 硬件接口电路, 采用单独的波特率发生器, 并不占用定时器。还有 SPI 传输功能。因其高速, 故可以在一般标准整数频率下工作, 而波特率可达 576Kbit/s。

13) 工作电压范围为 2.7~6.0V, 电源抗干扰性能强。

14) 多通道的 10 位 A/D 及实时时钟 (RTC)。特别是 ATmega128 单片机更有 128KB Flash, 4KB EEPROM, 4KB RAM, 多达 48 个 I/O 端口, 34 个不同的中断源, 以及 ISP 下载及 JTAG 仿真等功能。

高档 AVR 单片机 MEGA 系列的性能更加强大。如 ATmega128 有更大容量的存储器 (Flash 128KB、EEPROM 4KB、RAM 4KB), I/O 端口 53 个、中断源 34 个、外部中断 8 个、SPI 接口 1 个、SUART 接口 1 个、I²C 接口 1 个、8 位定时器 2 个、16 位定时器 2 个、PWM 接口 8 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) 和在应用自编程 (IAP), 片内有 RC 振荡器、上电复位延时电路和可编程的欠电压检测电路, 工作电压为 2.7~5.5V。

AVR 单片机还在片内集成了可擦写 100000 次的 E2PROM 数据存储器, 等于又增加了一个芯片, 可用于保存系统的设定参数、固定表格和掉电后的数据保存, 既方便了使用, 减小了系统的空间, 又大大提高了系统的保密性。

进入门槛低, 可以通过自制下载线 (最简单的并行下载线仅需 4 个电阻), 利用 ATMEL 提供的汇编和仿真软件即可以进行开发。

1.4.2 AVR 单片机系列产品

AVR 单片机已形成一个系列。为满足不同需求和应用, ATMEL 公司对 AVR 单片机的内部资源进行了相应的扩展和删减, 推出了 ATtiny、AT90 和 ATmega 分别对应低、中和高 3 个不同档次的 50 多种型号的产品。它们的引脚数从 8~64, 价格从几元到上百元, 用户可以根据需要选择。由于 ATmega 功能强大, 本书主要介绍其家族中的 ATmega16 单片机。

尽管 AVR 单片机产品的功能和内部配置不同, 但其基本结构是一样的, 指令系统是兼容的。表 1.1、表 1.2 和表 1.3 为部分 AVR 系列单片机的选型表。

表 1.1 部分 AVR 系列单片机选型表 (一)

内部资源	ATtin y11L	ATtin y11	ATtin y12V	ATtin y12L	ATtin y12	ATtin y15L	ATtin y26L	ATtin y26	ATtin y28V	ATtin y28L
Flash (KB)	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
EEPROM (B)			64	64	64	64	128	128		
RAM (B)	0	0	0	0	0	0	128	128	0	0
快速寄存器	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32

(续)

内部资源	ATtin y11L	ATtin y11	ATtin y12V	ATtin y12L	ATtin y12	ATtin y15L	ATtin y26L	ATtin y26	ATtin y28V	ATtin y28L
指令条数	90	90	90	90	90	90	128	128	90	90
I/O Pins	6	6	6	6	6	6	16	16	20	20
中断数	4	4	5	5	5	8	11	11	5	5
外部中断数 ¹	1 (+5)	1 (+5)	1 (+5)	1 (+5)	1 (+5)	1 (+5)	1 (+8)	1 (+8)	1 (+8)	1 (+8)
SPI							1 ⁶	1 ⁶		
UART							1 ⁵	1 ⁵		
TWI ⁴							1 ⁴	1 ⁴		
硬件乘法器										
8 位定时器	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1
16 位定时器										
PWM						1	4	4		
看门狗定时器	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
实时时钟										
模拟比较器	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
10 位 A/D 通道						4	11	11		
片内振荡器	Y	Y	Y ²	Y ²	Y ²	Y ²	Y ²	Y ²	Y ²	Y ²
BOD			Y	Y	Y	Y	Y	Y		
在线编程 (ISP)	Y ³	Y ³	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y ³	Y ³
自编程 (SPM)										
V _{cc} (最低)	2.7	4.0	1.8	2.7	4.0	2.7	2.7	4.5	1.8	2.7
(最高)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
系统时钟/MHz	2	6	1	4	8	6	8	16	1	4
封装形式	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	8-Pin DIP 8-Pin SOIC	20-Pin DIP 32-Pin MLF	20-Pin DIP 32-Pin MLF	28-Pin DIP 32-Pin TQFP MLF	28-Pin DIP 32-Pin TQFP MLF

表 1.2 部分 AVR 系列单片机选型表 (二)

内部资源	AT 90LS 1200	AT 90S 1200	AT 90LS 2313	AT 90S 2313	AT 90LS 2323	AT 90S 2323	AT 90LS 2343	AT 90S 2343	AT 90LS 4433	AT 90S 2323
Flash (KB)	1	1	2	2	2	2	2	2	4	4
EEPROM (B)	64	64	128	128	128	128	128	128	256	256
RAM (B)	0	0	128	128	128	128	128	128	128	128
快速寄存器	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
指令条数	89	89	120	120	120	120	120	120	120	120



(续)

内部资源	AT 90LS 1200	AT 90S 1200	AT 90LS 2313	AT 90S 2313	AT 90LS 2323	AT 90S 2323	AT 90LS 2343	AT 90S 2343	AT 90LS 4433	AT 90S 2323
I/O Pins	15	15	15	15	3	3	5	5	20	20
中断数	3	3	10	10	2	2	2	2	14	14
外部中断数 ¹	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
SPI									1	1
UART			1	1					1	1
I ² C										
硬件乘法器										
8 位定时器	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16 位定时器			1	1					1	1
PWM			1	1					1	1
看门狗定时器	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
实时时钟										
模拟比较器	Y	Y	Y	Y					Y	Y
10 位 A/D 通道									6	6
片内振荡器	Y	Y					Y	Y		
BOD									Y	Y
在线编程 (ISP)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
自编程 (SPM)										
V _{cc} (最低)	2.7	4.0	2.7	4.0	2.7	4.0	2.7	4.0	2.7	4.0
(最高)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
系统时钟 (MHz)	4	12	4	10	4	10	4	10	4	8
封装形式	20-Pin	20-Pin	20-Pin	20-Pin	8-Pin	8-Pin	8-Pin	8-Pin	28-Pin	28-Pin
	DIP	DIP	DIP	DIP	DIP	DIP	DIP	DIP	DIP	DIP
	SOIC	SOIC	SOIC	SOIC	SOIC	SOIC	SOIC	SOIC	32-Pin	32-Pin
	SSOP	SSOP							TQFP	TQFP

表 1.3 部分 AVR 系列单片机选型表 (三)

内部资源	AT 90LS 8515	AT 90S 8515	AT 90LS 8535	AT 90S 8538	AT mega 8L	AT mega 8	AT mega 16	AT mega 32	AT mega 64	AT mega 128
Flash (KB)	8	8	8	8	8	8	16	32	64	128
EEPROM (B)	512	512	512	512	512	512	512	1K	2K	4K
RAM (B) 快速	512	512	512	512	1K	1K	1K	2K	4K	4K
寄存器	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
指令条数	120	120	120	120	130	130	130	130	133	133

(续)

内部资源	AT 90LS 8515	AT 90S 8515	AT 90LS 8535	AT 90S 8538	AT mega 8L	AT mega 8	AT mega 16	AT mega 32	AT mega 64	AT mega 128
I/O Pins	32	32	32	32	23	23	32	32	53	53
中断数	12	12	16	16	18	18	20	20	34	34
外部中断数 ¹	2	2	2	2	2	2	3	3	8	8
SPI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UART	1	1	1	1	1 ⁵	1 ⁵	1 ⁵	1 ⁵	2 ⁵	2 ⁵
TWI ⁴					1	1	1	1	1	1
硬件乘法器						Y	Y	Y	Y	Y
8 位定时器	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
16 位定时器	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
PWM	2	2	3	3	3	3	4	4	6+2	6+2
看门狗定时器	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
实时时钟			Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
模拟比较器	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
10 位 A/D 通道			8	8	6/8	6/8	8	8	8	8
片内振荡器					Y ²	Y ²	Y ²	Y ²	Y ²	Y ²
BOD					Y	Y	Y	Y	Y	Y
在线编程 (ISP)	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
自编程 (SPM)					Y	Y	Y	Y	Y	Y
V _{cc} (最低)	2.7	4.0	2.7	4.0	2.7	4.5	4.5	4.5	4.5	4.0
(最高)	6.0	6.0	6.0	6.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
系统时钟 /MHz	4	8	4	8	8	16	16	16	16	16
封装形式	40-Pin	40-Pin	40-Pin	40-Pin	28-Pin	28-Pin	40-Pin	40-Pin	64-Pin	64-Pin
	DIP	DIP	DIP	DIP	DIP	DIP	DIP	DIP	TQFP	TQFP
	44-Pin	44-Pin	44-Pin	44-Pin	32-Pin	32-Pin	44-Pin	44-Pin	MLF	MLF
	PLCC	PLCC	PLCC	PLCC	MLF	MLF	MLF	MLF		
	TQFP	TQFP	TQFP	TQFP	TQFP	TQFP	TQFP	TQFP		

注：该表为 ATMEL 网站 2002 年 7 月刊登。

- 1. 高精度（5%）可编程的内部 RC 振荡器。
- 2. 兼容 I²C。
- 3. 可编程串行 USART。
- 4. 通过 USI（Universal Serial Interface）实现。

1.5 单片机的应用特点

在相当长的时间里，计算机作为科学工具，在科学计算的神圣殿堂里默默地工作，而工业现场的测控领域并没有得到真正的实惠，只有在具有体积小、功能强、用途广、使用灵活、