

单片机与嵌入式系统应用丛书

# ATmega 128

## 单片机应用与开发实例

刘兰香 张秋生 编著

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



单片机与嵌入式系统应用丛书

# ATmega128 单片机应用 与开发实例

刘兰香 张秋生 编著



机械工业出版社

本书以引导读者快速掌握对 ATmega128 单片机的编程为目的, 详细介绍了涉及编程的 ATmega128 单片机的内部结构和外围接口的特点和性能及其指令系统。在此基础上, 又介绍了 CodeVision AVR 编译器使用 C 语言的相关知识和集成开发环境, 以及 AVR Studio 调试环境。书中穿插大量的实用程序段, 并在最后一章系统地给出一些综合实例。

通过本书的学习, 读者也会对其他 AVR 系列高档单片机有一定的了解。本书既适合 AVR 单片机的初学者, 也适合有一定单片机嵌入式应用基础的电子工程技术人员, 也可作为高等院校电子信息、自动控制、计算机等专业大中专院校的教学和科研开发参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

ATmega128 单片机应用与开发实例/刘兰香, 张秋生  
编著. —北京: 机械工业出版社, 2006. 4  
(单片机与嵌入式系统应用丛书)  
ISBN 7-111-18996-5

I. A... II. ①刘... ②张... III. 单片微型计算机,  
ATmega128 IV. TP368. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 035466 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张俊红 责任编辑: 刘星宁 版式设计: 霍永明  
责任校对: 张晓蓉 封面设计: 马精明 责任印制: 李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006 年 6 月第 1 版第 1 次印刷  
184mm × 260mm · 22 印张 · 544 千字  
0001—4000 册  
定价: 35.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010)68326294  
编辑热线电话(010)88379768  
封面无防伪标均为盗版

# 丛 书 序

微处理器的快速发展使得数字信号处理(DSP)技术在通信、雷达、图像处理、生物医学、自动控制等领域中都得到了广泛的应用。本丛书就是为了满足这些领域的需求而进行编写的,主要涉及控制工程、电气工程与DSP、单片机等范畴。本丛书为读者提供了大量的设计实例,使读者能更加容易地理解和学习。

本丛书具有以下特点:

## 1. 内容全面,体系完备

丛书给出了控制工程、单片机等方面学习的全方位解决方案,从不同层面和角度介绍了运用相应工具进行实际应用开发的全过程,内容详实,覆盖面广。

## 2. 选题新颖,风格活泼

丛书所论述的内容都是控制工程、单片机等开发人员和爱好者最为关心、在这个行业中获得普遍认同的开发技术和开发方法;丛书中的每一本书既各有重点,又互相补充;论述时疏密结合,重点突出,不拘一格。

## 3. 实例典型,实践性强

丛书最大程度地强调了实践性,丛书中的所有实例都在实际工程内真正运用过,可以实现,并且具有代表性。读者可以通过实例对相应的技术有清晰且直观的了解,这使初学者更容易学习和运用,同时也为有关技术人员提供相应的参考。

## 4. 把握新知,结合实际

丛书是紧随时代的发展进行编写的,所讲解的都是最流行的、应用最广泛的芯片、单片机等,将它们的新知识、新特性融于具体实例中进行详细的介绍。丛书中涉及的技术都是作者在实际工作中大量应用的关键技术,是开发和应用经验的提炼和总结,相信一定会给读者带来很大的帮助。

相信通过对本丛书的学习,您定能对单片机与嵌入式系统有一个系统的、全面的、深入的理解,运用和开发出满足生活和工作需要的成果。

本丛书在编写过程中,得到了清华大学自动化系与SIM中心有关人员的大力帮助,在此表示衷心的感谢!

由于新技术发展十分迅速,加上作者水平所限,书中错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。电子信箱:doobook31@163.com。

丛书编委会  
2005年9月

# 前 言

单片机又称单片微控制器，其实质是把一个计算机系统集成到一个芯片上。它的优点是体积小、重量轻、价格便宜，为学习、应用和开发提供了便利条件。世界上各大芯片制造公司都推出了自己的单片机，现在通用的单片机按位数可分为4位机、8位机、16位机和32位机等。目前，我国常用的单片机有INTEL、ATMEL、MICROCHIP、MOTOROLA、ZILOG、PHILIPS、SIEMENS、NEC、EPSON等公司的产品。

可靠性高、功能强、速度快、功耗低和价位低，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。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，大多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，但是这种状态并未被彻底改观（如MCS51以及MCS51兼容机）。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，抛弃复杂指令集CPU（Complex Instruction Set CPU, CISC）追求指令完备的做法；采用精简指令集CPU（Reduced Instruction Set CPU, RISC），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。当然这种速度上的飞跃，是以高可靠性为其后盾的。

AVR单片机博采众长，又具独特技术，是8位机中的佼佼者。采用RISC结构，性能方面大大优于MCS51系列单片机。而ATmega128/128L单片机是带128KB Flash的在线可编程8位微控制器，是AVR单片机中功能最强的，也是性能最好的一款。若读者掌握了ATmega128单片机的性能和使用技巧，就可以很容易地了解 and 掌握其他AVR高档单片机。

本书分为5章。第1章简单介绍了ATmega128单片机的性能和特点。第2章主要以CodeVisionAVR C语言开发环境为主，介绍了ATmega128单片机的C语言开发环境，详细介绍了如何在CodeVisionAVR C语言开发环境中创建一个完整的工程。另外本章也对ICCAVR C语言开发环境进行简单介绍。第3章详细介绍了涉及编程的ATmega128单片机的内部结构和外围接口（如常用的USART接口、I<sup>2</sup>C接口、A/D转换等）的特点和性能，并穿插大量的实用程序段，以帮助读者理解和掌握。本章参考了ATmega128单片机的芯片手册。在CodeVision AVR C语言开发环境中编写的程序，要在AVR Studio中进行调试和仿真，下载到ATmega128单片机中。因此，第4章介绍了AVR Studio开发环境和仿真平台，及其熔丝位的编程等。第5章通过大量的综合实例，对ATmega128单片机的综合实用、通信协议、网络接口等的设计方法和应用做详细的介绍和分析。该章的一些设计思路和代码，读者可以直接使用，但是更希望它们能起到抛砖引玉的作用，使读者能更深入地理解和掌握ATmega128单片机及其他AVR单片机的特性，举一反三，从而设计出更灵活、更可靠的系统和方案。

本书非常适合于ATmega128单片机的初学者。并且由于本书还涉及了目前工程领域的相关内容，故也使本书成为AVR单片机应用领域工程技术人员非常有用的参考书。

本书第1、3章由刘兰香主笔；第4章由张秋生主笔；第2、5章由刘兰香和张秋生共同

完成。本书由刘秀文审阅和校订，在此表示深深的感谢！另外还要特别感谢北京邮电大学光通信中心的李玲教授、张阳安教授、黄照祥博士、周斌博士等对本书的支持和帮助。同时，张睿、黄志强、刘敬、李向阳、朱长才、吴旭清、胡昱、严喆、王栋、王艳、杨义军、吴鹏、俞亮等也为本书的出版做了大量工作，在此一并表示感谢。

由于作者的经验和水平有限，加上时间仓促，书中难免有错误和不足之处，敬请广大读者批评指正。

## 作 者

# 目 录

丛书序

前言

<b>第 1 章 AVR 单片机简介</b> .....	1
1.1 AVR 单片机微处理器介绍 .....	1
1.2 ATmega128 单片机简介 .....	8
<b>第 2 章 CodeVisionAVR C 语言开发环境</b> .....	14
2.1 CodeVisionAVR 编译器介绍 .....	14
2.2 建立一个多文件工程实例 .....	31
2.3 CodeVisionAVR 编译器常用库函数介绍 .....	50
2.4 ICCAVR C 语言开发环境介绍 .....	59
<b>第 3 章 用 CodeVision C 操作硬件资源</b> .....	75
3.1 外部存储器扩展 .....	75
3.2 I/O 端口 .....	80
3.3 外部中断 .....	83
3.4 定时器/计数器 .....	87
3.5 同步串行接口(SPI) .....	107
3.6 通用同步/异步串行接收器和发送器(USART) .....	117
3.7 两线串行接口 TWI(I <sup>2</sup> C)总线接口 .....	128
3.8 模/数转换器(ADC) .....	145
3.9 数据存储 EEPROM 的访问 .....	152
3.10 JTAG 接口和在线调试系统 .....	154
3.11 存储器编程 .....	165
<b>第 4 章 AVR Studio 汇编语言开发及仿真调试平台</b> .....	189
4.1 AVR Studio 集成开发环境介绍及安装 .....	189
4.2 使用 AVR Studio 进行汇编语言编程 .....	190
4.3 使用 AVR Studio 对程序进行仿真调试 .....	193
4.4 使用 AVR Studio 对单片机的熔丝位进行编程 .....	196
4.5 使用 AVR Studio 通过 JATG ICE 对单片机编程 .....	199
4.6 AVR Studio 其他用途 .....	200
4.7 ATmega128 单片机汇编语言介绍 .....	202
<b>第 5 章 ATmega128 单片机编程综合应用</b> .....	242
5.1 8 字循环程序 .....	242
5.2 USART 综合实例 .....	243
5.3 外部中断实例 .....	258

---

---

5.4 模/数(A/D)转换实例 .....	261
5.5 LCD 时钟程序 .....	265
5.6 使用 I <sup>2</sup> C 总线操作 AD7416 实例 .....	271
5.7 使用 I <sup>2</sup> C 总线操作 MAX5811 实例 .....	278
5.8 串口扩展实例 .....	285
5.9 电源管理及睡眠模式实例 .....	296
5.10 复位检测程序实例 .....	300
5.11 RTL8019AS 以太网芯片驱动程序综合开发实例 .....	303
<b>附录</b> .....	<b>317</b>
附录 A ATmega128 单片机的寄存器 .....	317
附录 B ATmega128 单片机的指令表 .....	320
附录 C “mega128.h” .....	325
<b>参考文献</b> .....	<b>344</b>



# 第1章 AVR 单片机简介

## 1.1 AVR 单片机微处理器介绍

AVR 单片机是 1997 年由 ATMEEL 公司研发出的增强型内置 Flash 程序存储器的精简指令集 CPU(Reduced Instruction Set CPU, RISC) 高速 8 位单片机。AVR 单片机可以广泛应用于计算机外部设备、工业实时控制、仪器仪表、通信设备、家用电器等各个领域。

可靠性高、功能强、速度快、功耗低和价位低, 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。

早期的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, 故采取稳妥方案: 采用较高的分频系数对时钟分频, 从而使得指令周期长, 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, 但是这种状态并未被彻底改观 (MCS51 以及 MCS51 兼容)。此间虽有某些精简指令集单片机问世, 但依然沿袭对时钟分频的做法。

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, 抛弃复杂指令集 CPU(Complex Instruction Set CPU, CISC) 追求指令完备的做法, 采用精简指令集 CPU(RISC), 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 单片机博采众长, 又具独特技术, 是 8 位机中的佼佼者。

### 1.1.1 AVR 单片机的特点

(1) 高性能, 采用精简指令集 CPU(RISC), 32 个通用工作寄存器, 克服了 8051 等 CISC 结构存在的指令系统不等长、指令数多、CPU 利用率低、执行速度慢等缺点。采用哈佛(Harvard)结构的流水线技术, 在执行一条指令时, 下一条指令已经被取出来, 所以说, 其机器周期等于时钟周期, 绝大部分指令为单周期指令。指令的执行速度可以达到 20MHz。

(2) 除了可以通过串行外设接口(SPI)和一般的编程器对单片机的 Flash 程序存储器和数据存储器 EEPROM 编程外, 绝大部分 AVR 单片机支持程序的在系统编程(ISP), ATmega 系列单片机还支持在应用编程(IAP); 同时 AVR 单片机采用了可擦写 1000 次的 Flash 程序存储器, 并有容量的可以擦写 100000 次的 EEPROM, 给用户的开发、生产和维护带来方便, 可以低价实现商用化, 提高了产品的质量和竞争力。

(3) AVR 单片机有丰富的外设, 如 I<sup>2</sup>C、SIP、EEPROM、RTC、WatchDog 定时器、A/D 转换器、PWM 和片内振荡器等, 可以真正地做到单片。

(4) AVR 单片机的工作电压范围宽, 工作电压在 1.8 ~ 6V 之间, 电源的抗干扰能力强。

(5) 低功耗, AVR 单片机具有 6 种休眠功能, 能够从低功耗模式迅速唤醒, 并且采用

可编程的频率选择和 CMOS 集成工艺。

(6) 编译好的目标程序可以通过在系统编程 (ISP) 直接写入 AVR 单片机芯片的 Flash 程序存储器, 而不需要把芯片从系统上拆下来使用专用编程器来写入程序。这极大地方便了程序的修改和烧写等操作, 方便产品升级, 尤其是 SMD 封装, 更利于产品微型化。

(7) 具有高代码效率, 能在 C 语言编译环境下编译, 有 32 个通用工作寄存器, 线性寻址。

(8) AVR 单片机的端口有较强的负载能力, 可以直接驱动 LED, 内置看门狗定时器, 可防止程序跑飞, 提高产品的抗干扰能力。

(9) 和 PIC 单片机一样, 可以重新设置启动复位。AVR 单片机内置电源上电复位 (POR) 和电源掉电检测 (BOD), 提高了单片机的可靠性, 不用外加复位延时电路。

(10) 有丰富的中断向量, 有 34 个中断源, 不同中断向量的入口地址不一样, 可以快速响应, 而不像 PIC 单片机那样, 所有的中断都占用同一个向量地址。

(11) 其 USART 不占用定时器, 而采用独特的波特率发生器。有 SPI 传输功能。因为高速传输, 所以晶振可以工作在一般标准整数频率, 而波特率可以达到 576kbit/s。

(12) 有 8 位和 16 位定时器/计数器, 可以作比较器、计数器、外部中断和 PWM (也可以作 D/A 转换器) 用于控制输出。

(13) 保密性强, Flash 程序存储器具有保密锁死 (Lock) 功能, 并且 Flash 程序存储器深藏在芯片内部, 可以通过自编程 (Self Programming) 方式远程下载被加密的更新代码。

(14) 电源的抗干扰能力很强。

(15) 多种封装形式, 可满足不同用户的需求。

(16) 完全免费的开发环境, 包括汇编器、支持汇编和高级语言源代码调试的模拟和仿真环境。

### 1.1.2 AVR 单片机的分类

为了满足不同客户的需求和应用, ATMEL 公司分别推出低档的 Tiny 系列、中档的 AT90 系列和高档的 ATmega 系列的产品。

(1) 低档的 T 个引脚系列: 是专门为需要小型微控制器的简单应用而优化设计的, 有很好的性价比, 主要有 8 个引脚的 Tiny11/12/15, 20 个引脚的 Tiny26 和 28 个引脚的 Tiny28。其中 Tiny15 和 Tiny26 有 10 位的 A/D 转换器, Tiny26 还有 128B 的 RAM, Tiny11 和 Tiny28 具有流水线特征。

(2) 中档的 AT90 系列: 主要有 20 个引脚的 AT90S1200/2313, 28 个引脚的 AT90S4433 AT90S8515/8535 等。其中 AT90S8515 和 MCS51 引脚兼容, 可以外扩 SRAM; AT90S1200/2313 和 AT89C2051 的引脚兼容; 而 AT90S4433 和 AT90S8535 有内部的 10 位 A/D 转换器, 但不可以外扩 SRAM。

(3) 高档的 ATmega 系列: 如果需要存储大量的代码, 就需要此系列了。ATmega 系列的 AVR 单片机能够提供充足的程序和数据存储器, 性能能达到 1MIPS/MHz, 并且具有为远端升级提供快速、安全的自编程能力。Boot 区有自编程功能的 Flash 程序存储器, 有高精度的 8 通道 10 位 A/D 转换器, 有 USART、API、TWI, 以及 IEEE 1149.1 标准的 JTAG 接口。

此系列主要有 28 个引脚的 ATmega8、40 个引脚的 ATmega161/163/323，以及 64 个引脚的 ATmega103/128。

表 1-1 列出了各种 AVR 单片机的参数性能。开发者可以根据工程需要选取适合的 AVR 单片机。

表 1-1 AVR 单片机的参数性能

类 型	Tiny11	Tiny12	Tiny13	Tiny15L	Tiny2313	Tiny26	Tiny26L	Tiny28L	Tiny28V	AT90S1200	AT90S2313
Flash 程序存储器容量/KB	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2
供电电压 VCC/V	4 ~ 5.5	4 ~ 5.5	1.8 ~ 5.5	2.7 ~ 5.5	1.8 ~ 5.5	4.5 ~ 5.5	2.7 ~ 5.5	2.7 ~ 5.5	1.8 ~ 5.5	2.7 ~ 6.0	2.7 ~ 6.0
EEPROM/KB		0.0625	0.064	0.0625	0.128	0.125	0.125			0.0625	0.125
快速寄存器 SRAM/B			64B + 32 registers		128	128	128	32	32		128
系统时钟/MHz	6	8	16	1.6	0.16	16	8	4	1	12	10
最大 I/O 数目	6	6	6	6	18	16	16	11	11	15	15
中断数	4	5	9	8	10	11	11	5	5	3	10
外部中断数	1	1	6	1(+5)		1	1	2(+8)	2(+8)	1	2
TWI											
16 位定时器					1						1
SPI					USI	USI	USI				
10 位 ADC			4	4		11	11				
在线编程 (ISP)		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes			Yes	Yes
UART					1						1
8 位定时器	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1
看门狗	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
PWM			2	1	4	2	2				1
RTC											
模拟比较器	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
掉电检测 (BOD)		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes				
硬件乘法			No								
片内振荡器	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
自编程 (SPM)			Yes		Yes						
封装形式	PDIP8、SOIC8	PDIP8、SOIC8	PDIP8、SOIC8	PDIP8、SOIC8	PDIP20、SOIC20、MLF32	PDIP20、SOIC20、MLF32	PDIP20、SOIC20、MLF32	PDIP28、TQFP32、MLF32	PDIP28、TQFP32、MLF32	PDIP20、SOIC20、SSOP20	PDIP20、SOIC20

# ATmega128 单片机应用与开发实例

(续)

类 型	M128	M128L	M16	M16L	M162	M162L	M162V	M169	M169L	M169V	M32	M32L
Flash 程序存储器容量/KB	128	128	16	16	16	16	16	16	16	16	32	32
供电电压 VCC/V	4.5 ~ 5.5	2.7 ~ 5.5	4.5 ~ 5.5	2.7 ~ 5.5	4.5 ~ 5.5	2.7 ~ 5.5	1.8 ~ 3.6	4.5 ~ 5.5	2.7 ~ 3.6	1.8 ~ 5.5	4.0 ~ 5.5	2.7 ~ 5.5
EEPROM/KB	4	4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1
快速寄存器 SRAM/B	4096	4096	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1024	2048	2048
系统时钟/MHz	16	8	16	8	16	8	1	16	8	1	16	8
最大 I/O 数目	53	53	32	32	35	35	35	54	54	54	32	32
中断数	34	34	20	20	28	28	28	23	23	23	19	19
外部中断数	8	8	2	3	3	3	3	17	17	17	3	3
TWI	Yes	Yes	Yes	Yes				Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
16 位定时器	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1
SPI	1	1	1	1	1	1	1	1 + USI	1 + USI	1 + USI	1	1
10 位 ADC	8	8	8	8				8	8	8	8	8
在线编程 (ISP)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
UART	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1
8 位定时器	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
看门狗	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
PWM	8	8	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
RTC	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
模拟比较器	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
掉电检测 (BOD)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
硬件乘法	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
片内振荡器	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
自编程 (SPM)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
封装形式	TQFP64	TQFP64	PDIP40、 TQFP44、 MLF44	PDIP40、 TQFP44	PDIP40、 TQFP44	PDIP40、 TQFP44	PDIP40、 TQFP44	TQFP64	TQFP64	TQFP64	PDIP40、 TQFP44、 MLF44	PDIP40、 TQFP44、 MLF44
类 型	M48	M88	M168	M64	M64L	M8	M8L	M8515	M8515L	M8535	M8535L	
Flash 程序存储器容量/KB	4	8	16	64	64	8	8	8	8	8	8	
供电电压 VCC/V	1.8 ~ 5.5	1.8 ~ 5.5	1.8 ~ 5.5	4.5 ~ 5.5	2.7 ~ 5.5	4.5 ~ 5.5	2.7 ~ 5.5	4.5 ~ 5.5	2.7 ~ 5.5	4.5 ~ 5.5	2.7 ~ 5.5	
EEPROM/KB	0.256	0.5	0.5	2	2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
快速寄存器 SRAM/B	512	1024	1024	4096	4096	1024	1024	512	512	512	512	

(续)

类 型	M48	M88	M168	M64	M64L	M8	M8L	M8515	M8515L	M8535	M8535L
系统时钟/MHz	24	24	24	16	8	16	8	16	8	16	8
最大 I/O 数目	23	23	23	53	53	23	23	35	35	32	32
中断数	26	26	26	34	34	18	18	16	16	20	20
外部中断数	26	26	26	8	8	2	2	3	3	3	3
TWI	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes			Yes	Yes
16 位定时器	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
SPI	1 + USART	1 + USART	1 + USART	1	1	1	1	1	1	1	1
10 位 ADC	8	8	16	8	8	8	8			8	8
在线编程 (ISP)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
UART	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
8 位定时器	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2
看门狗	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
PWM	3	3	3	8	8	3	3	3	3	4	4
RTC	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		Yes		Yes
模拟比较器	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes			Yes	Yes
掉电检测 (BOD)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
硬件乘法	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
片内振荡器	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
自编程 (SPM)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
封装形式	PDIP28、 TQFP32、 MLF32	PDIP28、 TQFP32、 MLF32	PDIP28、 TQFP32、 MLF32	TQFP64	TQFP64	PDIP28、 TQFP32、 MLF32	PDIP28、 TQFP32、 MLF32	PDIP40、 TQFP44	PDIP40、 TQFP44	PDIP40、 TQFP44	PDIP40、 TQFP44

### 1.1.3 AVR 单片机的架构

(1) AVR 单片机采用 RISC 结构，程序 ROM 空间和数据 RAM 空间分离，取程序代码和操作数采用分离的数据总线和地址总线，同时指令译码采用流水作业，因而绝大部分指令是单周期指令，可以达到 1MIPS/MHz 的性能。

(2) AVR 单片机取指令的数据总线是 16 位宽度的，而取操作数的数据总线是 8 位宽度的。AVR 单片机的每一条指令都是 16bit，但不影响 ROM 中常量表的使用，即常量表仍然可以单个字节访问。

(3) AVR 单片机的 32 个通用寄存器 (R0 ~ R31) 没有 MCS51 单片机的单累加器的瓶颈限制。另外，32 个累加器中的最后 6 个寄存器可以组成 3 个 16 位的数据指针 X、Y 和 Z。这两个特点给使用 C 语言编程带来了很大的方便，也使 AVR 单片机具有较高的 C 语言密度。

(4) 存储器组织。AVR 单片机结构具有两个主存储器空间：数据存储器 and 程序存储

器。这两个区都有专门的锁定位以实现读和读/写保护。用于写应用程序区的 SPM 指令必须位于引导程序区。数据 SRAM 可以通过 5 种不同的寻址模式进行访问。AVR 单片机存储器空间为线性的平面结构。AVR 单片机具有单独的片内程序 ROM 空间,其架构最多可支持 8MB 的空间,目前生产的 AVR 单片机 MCU 最多支持 128KB。数据存储器空间片内片外统一编址,一般从 0x60 开始分配(ATmega128 单片机可以从 0x100 开始),直到 0xFFFF。通用工作寄存器 R0 ~ R31,同时映射为数据存储器空间的 0x00 ~ 0x1F 段。输入/输出寄存器空间(I/O 空间)有单独的 I/O 地址 0x00 ~ 0x3F,同时映射为数据存储器空间的 0x20 ~ 0x5F,两种不同方式的地址相差 0x20。通用工作寄存器和 I/O 地址的映射方式增加了使用的灵活性,即通用工作寄存器和 I/O 空间除了可以使用自己的访问指令外,也可以当作 RAM 来访问。和 MCS51 单片机不同,AVR 单片机访问片内和片外 RAM 的指令是相同的。当需要访问片外 RAM 时,需要设置寄存器 MCUCR 的 SRE 位,否则不能访问外部 RAM。

(5) 堆栈。堆栈主要用来保存临时数据、局部变量和中断服务函数与普通函数的返回地址。堆栈指针总是指向堆栈的顶部。AVR 单片机的堆栈是向下生长的,即新数据推入栈内时,堆栈指针的数值将减小,这和 MCS51 单片机相反。堆栈指针指向位于 SRAM 的函数及中断堆栈时,一定要进行初始化,否则子程序调用会出错。AVR 单片机的堆栈既可以放在片内 RAM,也可以放在片外 RAM 中,但建议一般情况下放在片内 RAM,这样可以加快程序执行的速度。

(6) 中断。AVR 单片机的中断系统形式多样,有不同的中断源。每个中断在程序空间都有一个独立的中断向量,所有的中断事件都有自己的使能位。当使能位置位,且状态寄存器的全局中断使能位 I 也置位时,中断可以发生。每个中断源都有自己单独的中断向量入口,分配一个中断优先级,向量所在的地址越低,优先级越高。AVR 单片机可以使用软件的方法来实现多个中断优先级的处理。其中断响应时间最少为 4 个时钟周期。4 个时钟周期后,程序跳转到实际的中断处理例程。AVR 单片机的中断源种类齐全,有外部中断、定时器溢出中断、捕捉和比较匹配中断、USART 的 RXC, UDRE 和 TXC 中断、A/D 转换器的完成中断、SPI 中断、I<sup>2</sup>C 中断、EEPROM 就绪中断等。

(7) 端口。作为通用数字 I/O 使用时,所有 AVR 单片机的 I/O 端口都具有真正的读-修改-写功能。每个端口都有 3 个 I/O 存储器地址:数据寄存器 PORTx、数据方向寄存器 DDRx (用以选择引脚的方向)、端口输入引脚 PINx (当读取端口引脚电平时,应该读取 PINx 而不是读取 PORTx)。数据寄存器和数据方向寄存器为读/写寄存器,而端口输入引脚为只读寄存器,小写的“x”表示端口的序号。除了一般的数字 I/O 之外,大多数端口引脚都具有第二功能。

### 1.1.4 AVR 单片机的外设介绍

#### 1. 内部有 EEPROM

绝大部分的 AVR 单片机内部集成了 EEPROM,方便用户保存一些重要参数。AVR 单片机内部的 EEPROM 采用了单独的总线结构,有较快的访问速度和较短的工作代码。在程序中访问 EEPROM 是通过 I/O 空间的寄存器实现的。在程序访问 EEPROM 时通过 3 个寄存器 EEAR、EECR 和 EEDR 进行,地址寄存器 EEAR 决定访问 EEPROM 的地址;控制寄存器

EECR 控制 EEPROM 的读写；数据寄存器 EEDR 存放访问 EEPROM 的数据。

### 2. 内部有 UART 或 USART

AVR 单片机的 UART 或 USART 是一个全双工的部件，有单独的波特率发生器，可以用较低的晶振频率产生较高的波特率，支持 9 位工作方式和多机通信。

部分 AVR 单片机只具有 UART，只可以异步方式工作，不可以工作在同步方式；而新款 AVR 单片机的 USART，不仅可以异步工作，还可以全双工地以同步方式工作，在同步方式工作时可以有很高的通信速率。

部分没有 UART 的低档 AVR 单片机，由于 AVR 单片机的高速度，可以用软件来模拟 UART 的运行。

### 3. 串行外设接口(SPI)

AVR 单片机的 SPI 在程序下载时可以用于控制对 AVR 单片机芯片的编程，在程序运行时是一个双工的 SPI，既可以 SPI 主方式运行，也可以 SPI 从方式运行，支持中断方式工作，比软件模拟 SPI 有更快的速度、更小的代码和更好的实时性。

### 4. 以字节为单位进行处理的两线总线(I<sup>2</sup>C)接口

部分 AVR 单片机有两线总线 I<sup>2</sup>C 接口，可以作为主器件或从器件运行。AVR 单片机的 I<sup>2</sup>C 接口以字节为单位进行数据处理，支持中断方式，使用比较方便和灵活，比软件模拟 I<sup>2</sup>C 接口有更小的代码。

### 5. 带比较、捕捉和 PWM 功能的定时/计数器

AVR 单片机具有功能很强的定时器/计数器，除了基本的定时计数功能外，还可用于捕捉、比较匹配或 PWM(8 位、9 位或 10 位)方式。

### 6. A/D 转换器

部分 AVR 单片机有多通道的 10 位逐次比较式 A/D 转换器，支持内部或外部基准。部分型号只支持模拟电压信号的单端方式输入，还有一部分型号除支持单端输入外，还支持模拟电压的差分输入和内部程控放大。

### 7. 看门狗(WatchDog)定时器

AVR 单片机均支持片内 WatchDog 定时器，在满足用户需求的同时可以降低用户的成本，部分型号的看门狗定时器(WDT)可以通过编程熔丝位使能。

### 8. 实时时钟(RTC)

部分 AVR 单片机支持 RTC，此时可以外接一个 32.768kHz 的晶振，以产生时间基准信号。注意：AVR 单片机的 RTC 在使用时将占用一个 8 位的定时器。

### 9. 模拟量比较器

可以产生中断、触发定时器的捕捉功能，在检测电压和一些低成本的 A/D 转换方案中获得良好的应用。

### 10. 内部上电复位(POR)和掉电检测(BOD)复位电路

AVR 单片机均具有 POR 电路，部分型号还具有可编程的 BOD 复位功能。

### 11. 丰富的振荡器工作方式

AVR 单片机支持多种时钟方式，有外部晶振、外部 RC 振荡、外部时钟和内部 RC 振荡四种，AVR 单片机的片内 RC 振荡器的工作频率可以校正到 1% 的精度。

## 1.2 ATmega128 单片机简介

ATmega128/128L 单片机是带 128KB Flash 程序存储器的在线可编程 8 位微控制器，是 AVR 单片机中目前功能最强的单片机，掌握了 ATmega128 单片机的开发应用，对其他 AVR 单片机的开发应用就非常容易掌握了。

### 1.2.1 特点

#### 1. 先进的 RISC 结构

- (1) 高性能、低功耗的 8 位 AVR 单片机微控制器。
- (2) 133 条功能强大的指令大部分为单时钟周期指令。
- (3) 32 个 8 位通用工作寄存器和外设 I/O 端口控制寄存器。
- (4) 全静态操作。
- (5) 工作在频率为 16MHz 的情况下，具有 16MIPS 的性能。
- (6) 片内带有执行时间为两个时钟周期的硬件乘法器。

#### 2. 非易失性程序与数据存储器和数据存储器及工作存储器

- (1) 128KB 在线可重复编程 Flash 程序存储器，可擦写次数为 1000 次。
- (2) Boot 区具有独立的加密位，可通过 Boot 区内的引导程序区(用户自己写入)实现在系统编程，写操作时真正可读。

- (3) 4KB EEPROM，擦写次数为 100000 次。

- (4) 4KB 内部 SRAM。

- (5) 最大 64KB 可选外部存储器空间。

- (6) 可编程的程序加密位。

- (7) 在线可编程 SPI。

#### 3. JTAG (兼容 IEEE 1149.1 标准) 接口

- (1) 符合 JTAG 标准的边界扫描能力。

- (2) 支持片内 Debug。

- (3) 通过 JTAG 接口能够对 Flash 程序存储器、EEPROM、熔丝位和锁定位编程。

#### 4. 外设特征

- (1) 两个独立的带有预分频器和比较模式的 8 位定时器/计数器。

- (2) 两个扩展的带有独立的预分频器、比较模式和捕获模式的 16 位定时器/计数器。

- (3) 带有独立振荡器的实时计数器。

- (4) 2 个 8 位 PWM 通道。

- (5) 6 个 2 ~ 16 位精度 PWM 通道。

- (6) 输出比较调节器。

- (7) 8 通道 10 位 A/D 转换：

- 1) 8 个单端通道；

- 2) 7 个差分通道；

- 3) 2 个可编程增益为 1x、10x 或 200x 的差分通道。



- (8) 面向字节的两线总线(I<sup>2</sup>C)接口。
- (9) 2个可编程 USART 接口。
- (10) 主/从串行外设接口(SPI)。
- (11) 带片内振荡器的可编程看门狗定时器(WDT)。
- (12) 片内模拟比较器。

#### 5. 独特的微控制器特点

- (1) 上电复位和可编程的低电压检测。
- (2) 内部可校准的 RC 振荡器。
- (3) 外部和内部的中断源。
- (4) 6种睡眠模式: 空闲模式、ADC 噪声抑制模式、省电模式、掉电模式、备用模式和扩展备用模式。

- (5) 软件可选的时钟频率。
- (6) 通过熔丝选定 ATmega103 单片机兼容模式。
- (7) 全局上拉禁止。

#### 6. I/O 端口和封装

- (1) 53个可编程的 I/O 端口。
- (2) 64个引脚的 TQFP 和 MLF 封装。

#### 7. 工作电压

- (1) 2.7~5.5V(ATmega128L 单片机)。
- (2) 4.5~5.5V(ATmega128 单片机)。

#### 8. 速率等级

- (1) 0~8MHz(ATmega128L 单片机)。
- (2) 0~16MHz(ATmega128 单片机)。

### 1.2.2 描述

ATmega128 单片机是一款基于 AVR 单片机增强型 RISC 结构的低功耗 CMOS 8 位微控制器,其结构框图如图 1-1 所示。通过在一个时钟周期内执行强大的指令,ATmega128 单片机可以取得接近 1MIPS/MHz 的性能,从而使得系统设计者可以在功耗和处理速度之间取得平衡。

AVR 单片机将丰富的指令集和 32 个通用寄存器结合在一起,所有的工作寄存器都直接与算术逻辑单元(ALU)相连,允许在一个时钟周期内执行的单条指令中两个独立的寄存器同时被访问,这种结构提高了代码效率,比普通 CISC 结构单片机要快将近 10 倍。

ATmega128 单片机具有以下特征: 128KB 可同时读写的系统可编程 Flash 程序存储器; 4KB EEPROM; 4KB SRAM; 53 个通用功能 I/O 端口; 32 个通用工作寄存器; 实时时钟(RTC 振荡器); 4 个具有比较模式和 PWM 的灵活的定时器/计数器; 2 个 USART(USART0 和 USART1); 面向字节的两线总线(I<sup>2</sup>C)接口; 一个 8 通道、具有可选增益的差分输入的 10 位 A/D 转换器; 一个带内部振荡器的可编程看门狗定时器(WDT); 一个 SPI; 一个符合 IEEE 1149.1 标准的 JTAG 接口,也可用于访问片内调试系统和编程; 6 种软件可选的省电模式。工作于空闲模式时,停止 CPU 运行,SRAM 定时器/计数器 SPI 和中断系统继续工作;