

百例成才系列丛书

AVR 单片机C语言 应用100例

❖ 严雨廉洁 编著

基于ATmega128单片机+Proteus仿真



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

百例成才系列丛书

AVR 单片机 C 语言应用 100 例

严 雨 廉 洁 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书基于 Proteus 仿真和 C 语言由浅入深地介绍了 ATmega128 单片机的应用。所提供 100 个实例覆盖了整个单片机系统开发全过程,包括单片机开发环境、单片机的内部结构、C 语言基础,以及 ATmega128 单片机的内部资源应用。所涉及的 ATmega128 单片机的内部资源包括 I/O 引脚、外部中断、E²PROM、USART 模块、定时/计数器、TWI 接口、SPI 接口、模拟比较器、ADC 模块、看门狗等。

本书适合作为具有初步单片机基础的单片机工程师,以及高等院校电子类专业的学生和单片机爱好者的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

AVR 单片机 C 语言应用 100 例/严雨,廉洁编著. —北京:电子工业出版社,2012.2

(百例成才系列丛书)

ISBN 978-7-121-15608-3

I. ①A… II. ①严… ②廉… III. ①单片微型计算机—C 语言—程序设计 IV. ①TP368.1②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 272825 号

责任编辑:王敬栋(wangjd@phei.com.cn)

印 刷: 北京市李史山胶印厂

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:23.5 字数:602 千字

印 次:2012 年 2 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:58.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888

前 言

行业背景

ATmega128 单片机具有体积小、功能强、价格低、使用方法相对简单的特点，在工业控制、数据采集、智能仪表、机电一体化、家用电器等领域有着广泛的应用。其应用可以大大提高生产、生活的自动化水平。近年来，随着嵌入式的应用越来越广泛，ATmega128 单片机的开发也变得更加灵活和高效。ATmega128 单片机的开发和应用已经成为嵌入式应用领域的一个重大课题。

关于本书

本书是一本 ATmega128 单片机从入门到精通的教程。从 ATmega128 单片机的基础知识入手，主要介绍了 ATmega128 单片机的内部结构、指令系统、C 语言基础、开发环境，以及如何在 ATmega128 单片机的应用系统中使用其内部资源，包括 I/O 引脚、外部中断、E²PROM、USART 模块、定时/计数器、TWI 接口、SPI 接口、模拟比较器、ADC 模块、看门狗等。本书以 Proteus 硬件仿真环境为基础，提供了 100 个应用实例来介绍 ATmega128 单片机的使用方法。

第 1 ~ 4 章：ATmega128 单片机基础知识

第 1 章主要介绍 ATmega128 单片机的内核结构、时钟、指令系统、中断系统等。

第 2 章主要介绍 ATmega128 单片机的软件开发环境。

第 3 章主要介绍 ATmega128 单片机的硬件开发环境，以及如何用 Proteus 来仿真 ATmega128 的应用实例。

第 4 章主要介绍 ATmega128 单片机应用系统的开发流程。

第 5 ~ 6 章：ATmega128 单片机 C 语言基础

第 5 章主要介绍 ATmega128 单片机的 C 语言基础。

第 6 章主要介绍 ATmega128 单片机的 C 语言进阶知识。

第 7 ~ 16 章：ATmega128 单片机内部资源的应用

第 7 章主要介绍 ATmega128 单片机的 I/O 引脚的使用方法和应用实例，包括读/写操作、驱动外部键盘、数码管、继电器、步进电动机等。

第 8 章主要介绍了 ATmega128 单片机的外部中断的使用方法和应用实例。

第9章主要介绍了 ATmega128 单片机的内部 E²PROM 的使用方法和应用实例，包括 E²PROM 的读/写操作等。

第10章主要介绍了 ATmega128 单片机的两个 USART 串口通信模块的使用方法和应用实例，包括数据发送、数据接收、多机通信等。

第11章主要介绍了 ATmega128 单片机的定时/计数器模块的使用方法和应用实例，包括基础定时、PWM 输出等。

第12章主要介绍 ATmega128 单片机的 TWI (I²C) 总线接口模块的使用方法和应用实例，包括使用 TWI (I²C) 总线进行双机通信等。

第13章主要介绍了 ATmega128 单片机的 SPI 总线接口模块的使用方法和应用实例，包括使用 SPI 总线进行双机通信等。

第14章主要介绍 ATmega128 单片机的模拟比较器模块的使用方法和应用实例，包括模拟信号比较、将正弦波转换为方波等。

第15章主要介绍 ATmega128 单片机的 ADC 模块的使用方法和应用实例，包括模拟信号电压采集、差分信号输入采集、信号放大采集等。

第16章主要介绍 ATmega128 单片机的看门狗模块的使用方法和应用实例。

本书特色

- 按照由浅入深、循序渐进的原则覆盖 ATmega128 单片机开发全过程。
- 包含了 100 基于 Proteus 仿真的实例，每个实例都给出了仿真电路图和仿真代码。

作者介绍

本书由严雨和廉洁编著，参与本书编写的还有李若谷、刘洋洋、严安国、何世兰、李式琦、张为平、韩柯华、徐慧超、张玉梅、姚宗旭和王闯等。由于时间仓促，程序和图表较多，受学识水平所限，错误之处在所难免，请广大读者给予批评指正。

目 录

第 1 章	ATmega128 单片机基础	1
1.1	ATmega128 单片机介绍	1
1.2	ATmega128 单片机的结构	3
1.2.1	ATmega128 单片机的内核	4
1.2.2	ATmega128 单片机的存储器体系	8
1.2.3	ATmega128 单片机的系统时钟	9
1.2.4	ATmega128 单片机的电源管理	14
1.2.5	ATmega128 单片机的复位	16
1.2.6	ATmega128 单片机的中断系统	20
1.3	ATmega128 单片机的指令系统和寻址	22
第 2 章	ATmega128 单片机的软件开发环境	26
2.1	ICCAVR 软件开发环境	26
2.1.1	ICCAVR 软件安装	26
2.1.2	ICCAVR 菜单	29
2.1.3	ICCAVR 的常用文件类型	32
2.1.4	ICCAVR 的扩展关键字	33
2.1.5	ICCAVR 的启动文件	33
2.1.6	ICCAVR 的库函数	34
2.2	ICCAVR IDE 的使用	39
	应用实例 1——使用 ICCAVR IDE	39
第 3 章	ATmega128 单片机的开发环境	43
3.1	ATmega128 单片机开发常用的工具	43
3.1.1	ISP 编程器	43
3.1.2	数字万用表	44
3.1.3	数字示波器	44
3.2	Proteus 仿真软件的使用	44
	应用实例 2——使用 Proteus 仿真 ATmega128 单片机	44
3.3	Proteus 仿真软件的应用说明	46
3.3.1	运行、单步运行、暂停和停止运行	46
3.3.2	打开对应的观察窗口	47
第 4 章	ATmega128 单片机应用系统开发基础	48
4.1	ATmega128 单片机应用系统的构成	48

4.2	ATmega128 单片机应用系统开发流程	49
4.3	ATmega128 单片机应用系统的硬件设计	50
4.4	3 个微型 ATmega128 单片机应用系统	50
	应用实例 3——点亮 8 位 LED	51
	应用实例 4——驱动 7 位数码管	52
	应用实例 5——串口数据发送和接收	55
第 5 章	ATmega128 单片机 C 语言基础	59
5.1	ATmega128 单片机 C 语言的数据类型、运算符和表达式	59
5.1.1	ATmega128 单片机 C 语言的数据类型	60
5.1.2	ATmega128 单片机 C 语言的常量和变量	60
	应用实例 6——使用常量	61
	应用实例 7——使用变量	61
5.1.3	ATmega128 单片机 C 语言的算术运算、赋值运算、逻辑运算和关系运算	62
	应用实例 8——使用算术表达式	62
	应用实例 9——使用强制类型转换	63
	应用实例 10——逻辑运算应用	64
	应用实例 11——关系运算应用	65
5.1.4	ATmega128 单片机 C 语言的位操作	65
	应用实例 12——位逻辑运算：位与和位或	66
	应用实例 13——位逻辑运算：位异或和位取反	66
	应用实例 14——移位运算应用	66
	应用实例 15——自增减运算应用	68
	应用实例 16——复合运算应用	69
	应用实例 17——逗号运算应用	69
5.1.5	运算符的优先级	69
5.2	ATmega128 单片机 C 语言的结构语句	70
5.2.1	顺序结构	70
	应用实例 18——顺序结构语句应用	71
5.2.2	选择结构	71
	应用实例 19——if 语句的基本结构应用	73
	应用实例 20——switch 语句的应用	75
5.2.3	循环结构	75
	应用实例 21——while 语句的应用	76
	应用实例 22——do while 语句应用	77
	应用实例 23——for 语句的应用	78
	应用实例 24——循环语句的进阶用法	79
5.2.4	break 语句、continue 语句和 goto 语句	79
	应用实例 25——break 语句的应用	80

应用实例 26——continue 语句的应用	81
应用实例 27——goto 语句的应用	83
第 6 章 ATmega128 单片机高阶 C 语言	84
6.1 ATmega128 单片机 C 语言的函数	85
6.1.1 函数的分类	85
6.1.2 函数的定义	85
应用实例 28——无参函数的应用	87
应用实例 29——有参函数的应用	88
6.1.3 函数的调用	88
应用实例 30——函数的预先定义	89
应用实例 31——函数的后定义	89
应用实例 32——函数的递归调用	91
应用实例 33——函数的嵌套调用	92
6.1.4 内部函数和外部函数	92
6.1.5 变量类型	93
应用实例 34——静态局部变量应用	94
应用实例 35——全局变量应用	95
6.2 ATmega128 单片机 C 语言的数组和指针	96
6.2.1 数组	96
应用实例 36——一维数组的应用	97
应用实例 37——二维数组的应用	98
应用实例 38——字符数组的应用	99
6.2.2 指针	101
应用实例 39——指针的应用	102
6.2.3 数组和指针	103
应用实例 40——数组下标引用输出	103
应用实例 41——数组名作为地址输出	104
应用实例 42——指针引用数组输出	105
应用实例 43——使用指针运算引用数组输出	105
应用实例 44——数组下标引用二维数组的输出	106
应用实例 45——指针引用二维数组的输出	107
6.2.4 字符串和指针	108
应用实例 46——字符指针的字符数组输出	109
6.2.5 数组、指针和函数的联系	110
应用实例 47——数组作为函数参数的应用	110
应用实例 48——指针作为函数参数	111
应用实例 49——返回指针的函数	112
6.2.6 指针数组和指向指针的指针	113

应用实例 50——指向指针的指针应用	114
6.3 ATmega128 单片机 C 语言中的自定义数据类型	115
6.3.1 结构体	115
应用实例 51——结构体的应用	117
应用实例 52——结构体数组应用	117
应用实例 53——结构体变量指针	118
应用实例 54——结构体指针变量作为函数参数	119
6.3.2 联合体（共用体）	120
应用实例 55——结构体的应用	121
6.3.3 枚举	122
应用实例 56——枚举变量的应用	122
6.4 ATmega128 单片机 C 语言程序设计技巧	123
6.4.1 养成好的编程习惯	123
6.4.2 宏定义	125
应用实例 57——宏定义的应用	125
应用实例 58——参数宏定义的应用	126
6.4.3 条件编译	127
应用实例 59——条件编译	128
6.4.4 一些关键字的使用	129
第 7 章 ATmega128 单片机的 I/O 引脚应用实例	131
7.1 ATmega128 单片机的 I/O 引脚基础	131
7.1.1 ATmega128 单片机的 I/O 引脚配置	132
7.1.2 ATmega128 单片机读取引脚电平	134
7.1.3 ATmega128 单片机的 I/O 引脚低功耗处理	135
7.1.4 ATmega128 单片机的 I/O 引脚的第二功能	135
7.2 ATmega128 单片机扩展发光二极管（LED）	141
7.2.1 发光二极管（LED）基础	141
7.2.2 ATmega128 单片机扩展发光二极管（LED）应用实例	142
应用实例 60——使用 I/O 引脚驱动 LED 闪烁	142
应用实例 61——使用 I/O 引脚驱动流水灯	144
7.3 ATmega128 单片机扩展数码管	146
7.3.1 一位数码管基础	146
7.3.2 ATmega128 扩展一位数码管应用实例	148
应用实例 62——使用 I/O 引脚驱动数码管显示	148
7.3.3 多位数码管基础	150
7.3.4 ATmega128 单片机扩展多位数码管应用实例	151
应用实例 63——使用 I/O 引脚驱动多位数码管动态显示	151
7.4 ATmega128 单片机扩展按键、键盘和拨码开关	154

7.4.1	独立按键基础	154
7.4.2	ATmega128 单片机扩展独立按键应用实例	155
	应用实例 64——使用 I/O 引脚扩展独立按键	155
7.4.3	行列扫描键盘基础	158
7.4.4	ATmega128 单片机扩展行列扫描键盘应用实例	159
	应用实例 65——使用 I/O 引脚扩展行列扫描键盘	159
7.4.5	拨码开关基础	161
7.4.6	ATmega128 单片机扩展拨码开关应用实例	162
	应用实例 66——使用 I/O 引脚扩展拨码开关	162
7.5	ATmega128 单片机扩展继电器	164
7.5.1	继电器基础	164
7.5.2	功率驱动器件基础	165
7.5.3	ATmega128 单片机扩展继电器应用实例	168
	应用实例 67——使用 I/O 引脚扩展继电器	168
7.6	ATmega128 单片机扩展蜂鸣器	170
7.6.1	蜂鸣器基础	170
7.6.2	ATmega128 单片机扩展蜂鸣器应用实例	171
	应用实例 68——使用 I/O 引脚扩展蜂鸣器	171
7.7	ATmega128 单片机扩展电动机	174
7.7.1	直流电动机基础	174
7.7.2	ATmega128 单片机扩展直流电动机的应用实例	175
	应用实例 69——使用 I/O 引脚扩展直流电动机	175
7.7.3	步进电动机基础	177
7.7.4	ATmega128 单片机扩展步进电动机的应用实例	178
	应用实例 70——使用 I/O 引脚扩展步进电动机	178
第 8 章	ATmega128 单片机的外部中断应用实例	182
8.1	ATmega128 单片机的外部中断基础	182
8.1.1	外部中断控制寄存器 A (EICRA)	182
8.1.2	外部中断控制寄存器 B (EICRB)	183
8.1.3	外部中断屏蔽寄存器 (EIMSK)	183
8.1.4	外部中断标志寄存器 (EIFR)	184
8.2	ATmega128 单片机的外部中断应用实例	184
	应用实例 71——外部中断 7 脉冲计数	184
	应用实例 72——外部中断控制 LED	186
	应用实例 73——多个外部中断联合计数	188
第 9 章	ATmega128 单片机的内部 E²PROM 应用实例	192
9.1	E ² PROM 基础	192

9.1.1	地址寄存器 EEARH 和 EEARL	192
9.1.2	数据寄存器 EEDR	192
9.1.3	控制寄存器 EECR	193
9.1.4	E ² PROM 的操作时间	193
9.1.5	E ² PROM 的写操作	194
9.1.6	E ² PROM 的读操作	195
9.1.7	E ² PROM 的掉电处理	195
9.2	ATmega128 单片机的 E ² PROM 应用实例	195
	应用实例 74——用 E ² PROM 保存用户数据	195
	应用实例 75——E ² PROM 的数据写入和读出	198
第 10 章	ATmega128 单片机的 USART 模块应用实例	203
10.1	USART 模块应用基础	203
10.1.1	USART 的相关寄存器	205
10.1.2	USART 的时钟发生器	208
10.1.3	USART 的数据帧格式	210
10.1.4	USART 的使用方法	211
10.2	ATmega128 单片机的 USART 应用实例	216
	应用实例 76——USART0 的数据发送	216
	应用实例 77——USART1 的数据发送	219
	应用实例 78——Proteus 中的虚拟串口调试	222
	应用实例 79——使用 USART0 和计算机进行双向数据通信	224
	应用实例 80——综合使用 USART0 和 USART1	228
	应用实例 81——使用单片机 A 控制单片机 B	231
第 11 章	ATmega128 单片机的定时/计数器模块应用实例	236
11.1	定时/计数器 T/C0 基础	236
11.1.1	定时/计数器 T/C0 的工作模式	236
11.1.2	T/C0 的相关寄存器	240
11.2	定时/计数器 T/C1 和 T/C3 基础	243
11.2.1	T/C1 和 T/C3 的工作模式	243
11.2.2	T/C1 和 T/C3 的相关寄存器	247
11.3	定时/计数器 T/C2 基础	253
11.3.1	T/C2 的工作模式	253
11.3.2	T/C2 的相关寄存器	254
11.4	定时/计数器模块应用实例	256
	应用实例 82——T/C0 控制 LED 闪烁	256
	应用实例 83——T/C1 控制 LED 闪烁	259
	应用实例 84——T/C2 脉冲计数	261

应用实例 85——T/C1 实现频率计	265
应用实例 86——T/C1 实现占空比可调 PWM 输出	268
应用实例 87——T/C0 的秒定时	271
应用实例 88——频率可调的 PWM 信号输出	274
第 12 章 ATmega128 单片机的 TWI (I²C) 接口总线模块应用实例	279
12.1 TWI (I ² C) 总线基础	279
12.1.1 TWI (I ² C) 接口总线的一些术语	280
12.1.2 TWI (I ² C) 接口总线的数据传输过程和帧格式	280
12.1.3 TWI (I ² C) 总线器件的地址	282
12.2 ATmega128 单片机的 TWI (I ² C) 接口总线模块应用基础	282
12.2.1 ATmega128 单片机的 TWI (I ² C) 接口总线模块构成	283
12.2.2 ATmega128 单片机的 TWI (I ² C) 接口总线模块寄存器	284
12.2.3 ATmega128 单片机的 TWI (I ² C) 接口总线模块的工作模式	287
12.2.4 ATmega128 单片机的 TWI (I ² C) 接口总线模块的使用	294
12.3 ATmega128 单片机的 TWI (I ² C) 接口总线模块应用实例	296
应用实例 89——使用 TWI (I ² C) 总线进行双机通信	296
第 13 章 ATmega128 单片机的 SPI 接口总线模块应用实例	303
13.1 SPI 总线基础	303
13.1.1 SPI 总线的结构	303
13.1.2 SPI 总线的时序	304
13.2 ATmega128 单片机的 SPI 接口总线模块应用基础	305
13.2.1 ATmega128 单片机的 SPI 接口总线模块的寄存器	305
13.2.2 ATmega128 单片机的 SPI 接口总线模块的工作模式	307
13.3 ATmega128 单片机的 SPI 接口总线模块应用实例	309
应用实例 90——使用 SPI 总线接口进行双机通信	309
第 14 章 ATmega128 单片机的模拟比较器模块应用实例	316
14.1 ATmega128 单片机的模拟比较器模块应用基础	316
14.1.1 ATmega128 单片机模拟比较器模块的寄存器	316
14.1.2 ATmega128 单片机模拟比较器模块输入通道	318
14.2 ATmega128 单片机的模拟比较器模块应用实例	318
应用实例 91——使用比较器模块比较两个模拟信号	318
应用实例 92——使用比较器模块将正弦波信号转换为方波信号	321
应用实例 93——多通道模拟信号电压比较	324
第 15 章 ATmega128 单片机的 ADC 模块应用实例	328
15.1 ADC 基础知识	328
15.2 ATmega128 单片机的 ADC 模块应用基础	330
15.2.1 ATmega128 单片机的 ADC 模块的相关寄存器	330

15.2.2	ATmega128 单片机的 ADC 模块的使用	334
15.3	ATmega128 单片机的 ADC 模块应用实例	339
	应用实例 94——单通道 A/D 采样	339
	应用实例 95——多通道 A/D 采样	342
	应用实例 96——差分输入 A/D 采样	345
	应用实例 97——增益放大 A/D 采样	349
	应用实例 98——定时器控制 A/D 采样	352
	应用实例 99——多通道电压比较和 A/D 采样	356
第 16 章	ATmega128 单片机的看门狗模块应用实例	360
16.1	ATmega128 单片机看门狗模块应用基础	360
16.2	ATmega128 单片机看门狗模块应用实例	361
	应用实例 100——ATmega128 单片机看门狗模块工作状态测试	361

第1章 ATmega128 单片机基础

ATmega128 是 ATMEL 公司研发的增强型内置 Flash 的 RISC 精简指令集高速 8 位单片机 (AVR) 中性能最高的型号, 本章将详细介绍 ATmega128 单片机的特点、内核构成及指令系统等基础知识。



1.1 ATmega128 单片机介绍

ATmega128 是基于 RISC 结构的 8 位高性能、低功耗的处理器, 是 AVR 单片机系列中整体性能最强的一款, 其主要特点如下:

- 支持 131 条 AVR 指令, 其中大多数指令执行时间为单个时钟周期, 执行速度快。
- 内部有 32 个 8 位通用工作寄存器, 硬件乘法器只需两个时钟周期, 当工作频率为 16MHz 时性能高达 16MIPS (Million Instructions Per Second, 每秒处理的百万级的机器语言指令数)。
- 内置 4KB 片内 SRAM, 128KB 系统内可编程 Flash, 4KB E²PROM。
- 内置具有独立锁定位的可选 Boot 代码区, 并且可以通过片上 Boot 程序实现系统内编程。
- 内置 4 个灵活的具有比较模式和 PWM 功能的定时计数器 T/C 和 1 个实时时钟 RTC。
- 内置 8 通道 10 位 ADC (模拟/数字转换器), 可以组合为 8 个单端通道或 7 组差分通道, 其中有 2 个具有可编程增益 (1×、10×或 200×) 的差分通道。
- 内置片内模拟比较器。
- 内置具有独立片内振荡器的可编程看门狗定时器。
- 内置多种串行通信接口, 包括 TWI (I²C) 两线接口、两路可编程 USART 和可工作于主机/从机模式的 SPI 串行接口。
- 提供 53 个可编程的 I/O 端口、64 引脚 TQFP 封装和 64 引脚 MLF 封装。
- 支持符合 JTAG 标准的边界扫描, 提供和 IEEE 1149.1 标准兼容的 JTAG 硬件接口。
- 支持 2.7~5.5V (ATmega128L) 和 4.5~5.5V (ATmega128) 工作电压, 前者工作频率为 0~8MHz, 后者为 0~16MHz。

图 1.1 所示为 TQFP/MLF 封装的 ATmega128 单片机的引脚图。

ATmega128 单片机的各个引脚功能说明如下:

- VCC: 电源正输入引脚。
- GND: 地。
- PA7~PA0: I/O 端口 PORTA, 8 位双向 I/O 端口, 具有可编程的内部上拉电阻, 内部输出缓冲器具有对称的驱动特性, 可以输出和吸收较大电流; 当作为输入使用时, 若内部上拉电阻使能, 端口被外部电路拉低时将输出电流; 在 ATmega128 的复位过程

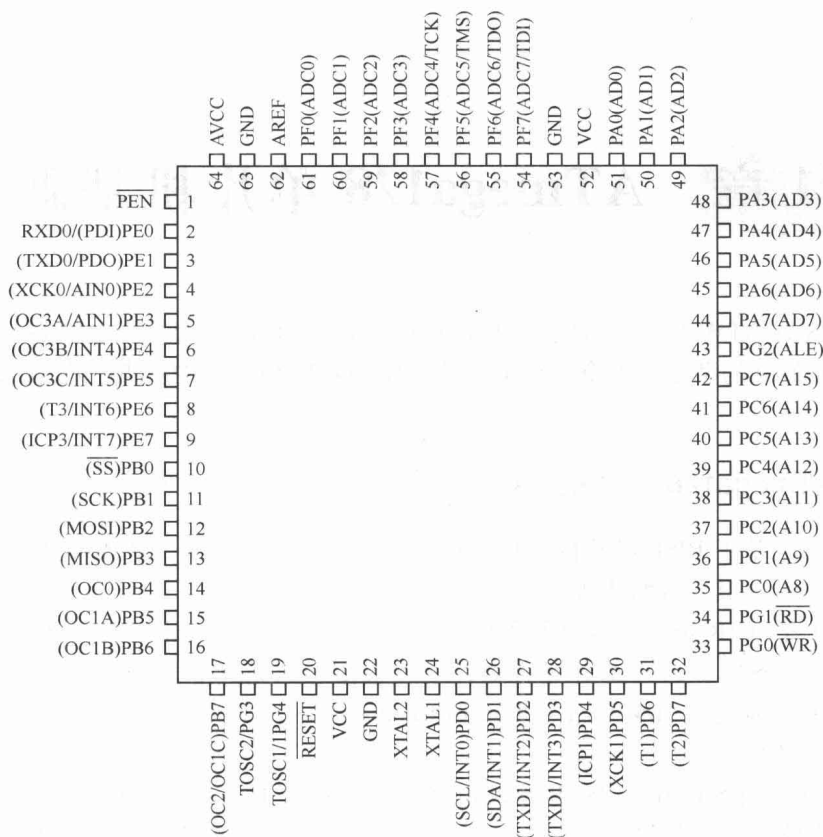


图 1.1 ATmega128 单片机的引脚图

中，即使系统时钟还未起振，PORTA 也处于高阻状态；其第二功能为外部存储器的低字节地址总线和数据接口。

- PB7 ~ PB0: I/O 端口 PORTB, 8 位双向 I/O 端口，其特点和 PORTA 类似；PORTB 的第二功能参考第 7 章内容。
- PC7 ~ PC0: I/O 端口 PORTC, 8 位双向 I/O 端口，其特点也和 PORTA 类似；PORTC 的第二功能是外部存储器的高字节地址引脚。
- PD7 ~ PD0: I/O 端口 PORTD, 其功能和特点可以参考 PORTA ~ PORTC, 其第二功能参考第 7 章内容。
- PE7 ~ PE0: I/O 端口 PORTE, 其功能和特点可以参考 PORTA ~ PORTD, 其第二功能参考第 7 章内容。
- PF7 ~ PF0: I/O 端口 PORTF, 其功能和特点可以参考 PORTA ~ PORTE, 其第二功能是 ATmega128 的 ADC 模块采样输入引脚。
- PG4 ~ PG0, I/O 端口 PORTG, 其功能和特点可以参考 PORTA ~ PORTF, 其第二功能参考第 7 章内容。
- RESET: 复位输入引脚。如果外加一个足够长的低电平，将引起 ATmega128 复位。
- XTAL1: 反向振荡放大器与片内时钟操作电路的输入端。

- XTAL2: 反向振荡放大器的输出端。
- AVCC: 内置 ADC 参考电源。不使用 ADC 时, 该引脚应直接与 VCC 连接; 当使用 ADC 时, 该引脚应该通过一个低通滤波电路与 VCC 连接。
- AREF: ADC 模拟基准输入引脚。



1.2 ATmega128 单片机的结构

ATmega128 内核采用了哈佛 (Harvard) 结构, 如图 1.2 所示。它具有独立的数据和程序总线, 程序指令通过流水线运行, 在执行一条指令的同时读取下一条指令, 这种方式实现了指令的单时钟周期运行。

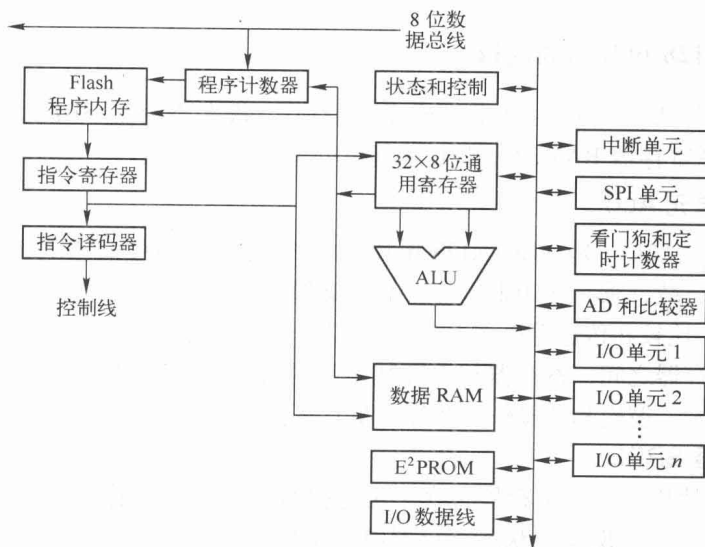


图 1.2 ATmega128 单片机内核的结构

ATmega128 单片机的程序存储器是可以在线编程的 Flash 内存, 其快速访问寄存器由 32 个 8 位通用寄存器组成, 访问时间为一个时钟周期。因此, ATmega128 单片机可以实现单时钟周期的运算器操作。在典型的运算器操作中, 两个分别位于不同通用寄存器中的操作数被同时访问, 然后执行运算, 结果再被送回到通用寄存器, 整个指令执行过程仅需一个时钟周期。

ATmega128 单片机的 32 个通用寄存器里有 6 个寄存器可以联合起来构成 3 个 16 位的 X、Y、Z 间接寻址寄存器, 可以用来寻址数据空间以实现高效的地址运算, 其中一个指针还可以作为程序存储器查询表的地址指针。

ATmega128 单片机的算术与逻辑运算器 (ALU) 支持通用寄存器之间及通用寄存器和常数之间的算术与逻辑运算, ALU 也可以执行单寄存器操作, 当运算完成之后更新相应的状态寄存器的内容, 以反映操作结果。ATmega128 单片机通过有条件或无条件的跳转指令和调用指令来控制程序的工作流程, 从而可以直接寻址整个地址空间。

ATmega128 单片机的存储器空间为线性的平面结构, 其程序存储器空间分为两个区: 引导程序区和应用程序区。其 I/O 存储器空间中包含 64 个可以直接寻址的地址, 作为



ATmega128 单片机外部设备的控制寄存器、SPI 和其他 I/O 功能的控制地址，映射到数据空间，即寄存器文件之后的地址为 $0x20 \sim 0x5F$ ；另外，ATmega128 单片机在 SRAM 中还有可扩展的 I/O 空间，对应的地址为 $0x60 \sim 0xFF$ 。

在 ATmega128 单片机响应中断时间和进入中断服务子程序时，其返回地址的程序计数器（PC）被保存于堆栈之中，堆栈位于通用数据 SRAM 中，因此其深度受限于 SRAM 的大小。在复位相关代码中，首先要初始化堆栈指针 SP，这个指针位于 I/O 空间，可以进行读/写访问。ATmega128 可以通过 5 种不同的寻址方式访问数据 SRAM。

ATmega128 单片机内置一个灵活的中断模块，其控制寄存器位于 I/O 空间内，并且有一个位于状态寄存器 SREG 中的全局中断使能位。每个中断在中断向量表里都有独立的中断向量，其优先级与该中断向量在中断向量表的位置有关，中断向量地址越低，其优先级越高。

1.2.1 ATmega128 单片机的内核

ATmega128 单片机的内核由算术逻辑单元 ALU、状态寄存器 SREG、通用寄存器、堆栈、RAM 页码选择寄存器 RAMPZ、中断和复位处理模块等构成。

1. 算术逻辑单元 ALU

算术逻辑单元（ALU）是 ATmega128 单片机内核中执行各种算术和逻辑运算操作的部件，其基本操作包括加、减、乘、除四则运算（算术运算），与、或、非、异或等逻辑操作（逻辑预算），以及移位、比较和传送等操作。ALU 与 32 个通用工作寄存器直接相连，ATmega128 单片机的寄存器与寄存器之间、寄存器与立即数之间的 ALU 运算只需要一个时钟周期。ALU 的操作分为 3 类：算术、逻辑和位操作。此外，ALU 还能支持有符号数和分数乘法。

2. 状态寄存器 SREG

ATmega128 单片机的状态寄存器包含了最近执行的算术指令的相关结果信息，用户可以根据这些信息来实现条件操作，状态寄存器内部结构如表 1.1 所示。



注意

在进入中断服务程序时，状态寄存器不会自动保存；在中断返回时，也不会自动恢复，这些工作需要中断服务子程序的用户代码来处理。

表 1.1 ATmega128 单片机状态寄存器 SREG 的内部结构

BIT	I	T	H	S	V	N	Z	C
读/写	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
初始值	0	0	0	0	0	0	0	0

- I：全局中断使能位。当 I 被置位时，使能全局中断，单独的中断使能由其他独立的控制寄存器控制；如果 I 被清零，则不论单独中断标志置位与否，都不会产生中断。任意一个中断发生后，I 将被清零。而执行 RETI（中断服务程序退出）指令后，I 恢复置位，以使能中断。I 也可以通过 SEI（置位全局中断使能位）和 CLI（清除全局中断使能位）指令来置位和清零。
- T：位复制存储位。位复制指令 BLD 和 BST 利用 T 作为目的地址或源地址，BST 指令