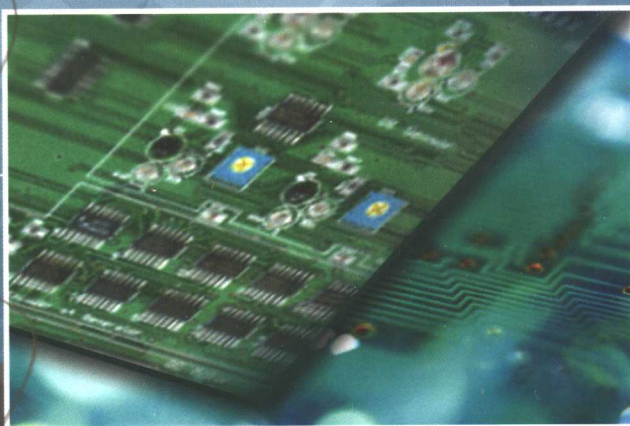


AVR

ATmega128单片机 C程序设计与实践

金钟夫 杜 刚 编著
王 群 徐宗完



TP368.1/388D

2008

Dr. Kim Robot Simulator 系列教程

AVR ATmega128 单片机 C 程序设计与实践

金钟夫 杜 刚 编著
王 群 徐宗完

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

以 ATmega128 单片机为主线,详细介绍 AVR 高档 MEGA 系列单片机的硬件结构、各种外围接口电路的特点和性能,并在此基础上介绍各种应用单元模块电路,如电动机模块、传感器模块、显示模块和音频输出模块等。重点介绍 ATmega128 单片机 C 程序设计方法,并将单片机的理论知识融合到实例应用中,便于初学者学习和实践。本书配光盘 1 张,包含书中实验程序的源代码以及一些相关的学习资料。

本书可作为单片机应用开发工程技术人员以及高校自动化、仪器仪表、电子、计算机等相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

AVR ATmega 128 单片机 C 程序设计与实践/金钟夫等编
著. —北京:北京航空航天大学出版社,2008. 1

ISBN 978 - 7 - 81124 - 245 - 4

I. A… II. 金… III. ①单片微型计算机, ATmega 128
②C 语言—程序设计 IV. TP368.1 TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 179589 号

© 2008,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书及其所附光盘内容。侵权必究。

AVR ATmega 128 单片机 C 程序设计与实践

金钟夫 杜 刚 编著

王 群 徐宗完

责任编辑 李 可

*

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

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:18 字数:403 千字

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978 - 7 - 81124 - 245 - 4 定价:29.00 元(含光盘 1 张)

前 言

本书总结了作者 25 年来在三星、LG 等大企业研究所及高校进行单片机、机器人研究及教学当中的丰富经验。以后作者还会陆续提供各种与单片机、机器人相关的图书及配套的实验设备,使读者能够学习到最为先进的技术。

AVR 单片机是 8 位 RISC 单片机,速度快,耗电少,种类繁多,可根据需要选择不同的型号,而且它具备 ISP 功能,可在系统内编程,使用方便。

AVR 单片机种类很多,本书重点讲述最新推出的、包含了 AVR 系列其他单片机大部分技术的高性能的 ATmega 128 单片机。通过学习本书,也可直接操作其他 AVR 单片机。

AVR 单片机普遍应用于 MP3、DMB(Digital Multimedia Broadcasting)、机器人等高端产品中。

与本书一同推出的“Dr. Kim Robot”品牌的教学设备已同时在中韩两国上市销售。我们与中韩双方的电子学会等机构合作,欲在两国各大院校进行有关单片机及机器人的教学项目且颁发资格证书。针对接受本课程教学的学生,将举办有关单片机及机器人的中韩电子设计大赛。最近俄罗斯、法国、英国、东南亚地区也对该项目有浓厚的兴趣并予以高度关注,相信短期内还会有新的合作项目。

在教学过程中,最困扰的应该是教材难度较大及应用性较差的问题。本书重点加强了程序说明,将难度系数较大的理论知识融合在实验及例题中,

便于学生学习和理解;并且附上实际的电路及图片使初学者更加易懂,更加轻松地运用到实际操作当中。通过本书可轻松地学习 AVR 单片机理论知识,想进一步深入研究的读者可利用“Dr. Kim ATmega 128 Training KIT 实验箱”或单元模块电路进行反复实验练习,获取实际应用操作能力。当然,即使没有 Training KIT 或模块,单凭本书也可进行充分的学习。

目前,单片机应用技能在就业及工程师认证考试中占有非常重要的地位。但在教学过程中,却存在一些不足之处,如由于工具箱或模块价格较高,学生无法自行购买使用,学校也无法随时将实验设备更新换代;而且还存在如购买实验箱、工具箱之外的东西较难的问题。鉴于以上种种问题,我们开发了多种 ATmega 128 CPU 应用模块电路,以及低、中、高价位的 Training 工具箱及应用机器人等,大家可以根据不同的兴趣及水平自由选择。同时按照不同系列开发了多种产品,例如从 MCS-51 系列、ARM、CPLD 和 FPGA 等低价位模块到应用机器人,为学习嵌入式系统作前期准备。

最后衷心感谢本书的合作者中国地质大学(北京)的杜刚副教授、王群教授和韩国大宇电子(株)研究所的徐宗完博士。路得通(北京)科技有限公司的尹中弼总经理,权忠杰、吕明珠和张彬冰等工程师在出版此书的过程中给予了莫大帮助,另外,中国地质大学(北京)的卫晓娜、展中华、宿勇、张楠、宋明磊、任杰、钟柯佳、张亚南、王超、周浩民、王蕊等同学在书稿的编辑校对、实验程序的调试以及随书所配光盘资料的整理制作等方面也付出了辛勤的劳动,在此表示感谢!

金钟夫

2007 年 8 月

于韩国首尔仁德大学

目 录

第 1 章 AVR 单片机概述	1
1.1 AVR 单片机简介	1
1.2 哈佛结构与冯·诺伊曼结构	1
1.3 RISC 与 CISC	2
1.4 ISP 简介	2
第 2 章 ATmega 128 单片机概要	4
2.1 ATmega 128 单片机结构和主要性能	4
2.2 外部引脚	7
2.3 AVR 单片机 CPU 内核	8
2.4 ATmega 128 单片机的存储器	11
2.5 同步串行口——SPI	16
2.6 两线串行接口——TWI	20
第 3 章 系统时钟和系统控制	25
3.1 时钟选择	25
3.2 晶体振荡器	27
3.3 低频晶体振荡器	27
3.4 外部 RC 振荡器	28
3.5 标准的内部 RC 振荡器	28
3.6 外部时钟	29
3.7 定时器/计数器振荡器	29
3.8 系统控制和复位	29
3.9 看门狗定时器	31
第 4 章 ATmega 128 KIT 开发环境的设置	33
4.1 ATmega 128 KIT 的组成	33
4.2 编译器的下载及安装	40

目 录

4.3	AVR ISP 软件的下载及安装	45
4.4	PonyProg2000 的设置	48
第 5 章	I/O 端口	55
5.1	I/O 端口的结构及功能	55
5.2	与 I/O 端口相关的寄存器	58
5.3	编译和程序下载	59
5.4	硬件电路图	60
5.5	实验 1——LED 的移位	62
5.6	实验 2——逐个熄灭 LED	63
5.7	实验 3——7 段数码管显示数字	64
第 6 章	外部中断	65
6.1	中断概述	65
6.2	与中断相关的寄存器	65
6.3	硬件电路图	67
6.4	实验 4——7 段数码管显示数字	68
6.5	实验 5——没有防抖电路的 INTO	69
6.6	实验 6——使用中断标志	70
第 7 章	定时器/计数器	72
7.1	定时器/计数器简介	72
7.2	定时器/计数器 0(8 位)	72
7.3	定时器/计数器 1、3(16 位定时器/计数器)	77
7.4	定时器/计数器 2(8 位)	86
7.5	输出比较调制器(OCM1C2)	87
7.6	实验 7——计数(溢出中断)	89
7.7	实验 8——计数(溢出标志)	90
7.8	实验 9——定时器(溢出中断)	91
7.9	实验 10——定时器(溢出标志)	92
7.10	实验 11——定时器(比较 A 匹配)	93
第 8 章	7 段数码管和按键	95
8.1	7 段数码管和 82C55	95

8.2	硬件电路图	98
8.3	实验 12——7 段数码管循环显示 0~9	99
8.4	实验 13——用 7 段数码管/显示与被按下的按键相对应的数字	100
8.5	实验 14——7 段数码管 2 显示与被按下的按键相对应的数字	104
8.6	实验 15——7 段数码管 1 和 2 分别显示与被按下按键相对应的数字	108
第 9 章	LED 点阵	112
9.1	LED 点阵简介	112
9.2	LED 电光板	112
9.3	硬件电路图	114
9.4	实验 16——显示绿色、红色和橙色	115
9.5	实验 17——显示文字	116
9.6	实验 18——移动文字	118
第 10 章	TEXT LCD	122
10.1	Text LCD 简介	122
10.2	Text LCD 的种类	123
10.3	LCD 的结构和原理	123
10.4	Text LCD 模块的构成	124
10.5	硬件电路图	131
10.6	实验 19——显示一个个文字	131
10.7	实验 20——显示一行文字	133
10.8	实验 21——移动句子	135
第 11 章	步进电动机	139
11.1	步进电动机简介	139
11.2	步进电动机的分类	140
11.3	步进电动机的驱动	141
11.4	步进电动机驱动元件	148
11.5	步进电动机相关的用语	151
11.6	步进电动机的控制	153
11.7	硬件电路图	153
11.8	实验 22——步进电动机正向旋转	154
11.9	实验 23——步进电动机正向, 逆向旋转	155

目 录

11.10	实验 24——步进电动机和中断键	157
第 12 章	RC 伺服电动机	159
12.1	RC 伺服电动机简介	159
12.2	RC 伺服电动机的内部组成	159
12.3	RC 伺服电动机的控制	160
12.4	硬件电路图	161
12.5	实验 25——伺服电动机的正向旋转和逆向旋转	162
12.6	实验 26——伺服电动机旋转相应的角度	163
12.7	实验 27——伺服电动机速度控制	164
第 13 章	直流电动机	167
13.1	直流电动机简介	167
13.2	直流电动机的驱动	170
13.3	电动机旋转感应装置	177
13.4	编译计数器的设计	178
13.5	硬件电路图	183
13.6	基础控制理论	184
13.7	实验 28——电动机的正向旋转和逆向旋转	187
13.8	实验 29——电动机速度控制	188
13.9	实验 30——PWM 控制	190
第 14 章	A/D 转换器	192
14.1	A/D 转换器的结构及功能	192
14.2	与 A/D 转换器相关的寄存器	192
14.3	模拟比较器	196
14.4	硬件电路图	198
14.5	实验 31——用 7 段数码管显示温度值	199
14.6	实验 32——用 LCD 显示温度和 MIC 值	200
14.7	实验 33——10 位分辨率测试	203
14.8	实验 34——ADC 开关测试	206
第 15 章	红外线传感器	210
15.1	红外线传感器概要	210

15.2	硬件电路图	212
15.3	实验 35——中央测距传感器的测试	213
15.4	实验 36——通过传感器的输入使步进电动机旋转	215
15.5	实验 37——3 组测距传感器的检测	217
15.6	实验 38——光电传感器的 On - Off 测试	220
15.7	实验 39——光电传感器的光量测试	222
第 16 章	USART	227
16.1	USART 的结构及功能	227
16.2	与 USART 相关的寄存器	229
16.3	通信与超级终端的使用及 USB 驱动安装方法	232
16.4	实验 40——与 PC 的串行通信 1	238
16.5	实验 41——与 PC 的串行通信 2	242
16.6	实验 42——与 PC 的 USB 通信	253
第 17 章	音频输出	265
17.1	音频输出简介	265
17.2	硬件电路图	267
17.3	实验 43——输出声音	268
17.4	实验 44——利用定时器输出声音	269
17.5	建立 Voice 头文件	271
17.6	头文件的使用方法	275
参考文献	277

第 1 章

AVR 单片机概述

1.1 AVR 单片机简介

AVR 单片机是 1997 年由 ATMEL 公司研发的增强型内置 Flash 的 RISC(Reduced Instruction Set Computers)高速 8 位单片机。AVR 单片机的大部分指令可在一个时钟周期内完成。其 I/O 结构的设计使得外部电子元件数量可达到最小化。AVR 单片机有多种频率的内部 RC 振荡器、上电自动复位、看门狗、启动延时等功能,使得电路设计变得非常简单,并且内部资源丰富,一般都集成模/数转换器、数/模转换器、PWM、SPI、USART、TWI、I²C 通信口和丰富的中断源等。

AVR 单片机采用了具有独立的数据总线和程序总线的哈佛(Harvard)结构。程序存储器中的指令通过一级流水线运行,CPU 在执行一条指令的同时读取下一条所要执行的指令,并使其处于等待状态,从而提高了指令执行效率。

AVR 单片机的指令是对 C 语言和汇编语言进行了优化后的指令。

AVR 单片机的 Flash 存储器和 E²PROM、SRAM 提供了便利的开发环境。在使用 AVR 单片机构成的系统中,无需配置 Flash 存储器、SRAM 和 E²PROM,简化了系统构成,使外围电路最小化。

1.2 哈佛结构与冯·诺伊曼结构

微控制器或处理器所采用的结构大致可分为哈佛(Harvard)结构和冯·诺伊曼(Von Neumann)结构。事实上,用于微控制器时多少要对它们进行变形。比如说 8051,虽然

第 1 章 AVR 单片机概述

片内的数据存储器、程序存储器和总线是独立的,但是与片外连接时,程序存储器、数据存储器的地址,以及数据总线采用多路传输,使用同一个外部引脚,这种结构叫做哈佛结构。程序存储器只存在于片内,与外部相连的地址、数据总线只与数据存储器相连,因此,芯片的内部和外部都采用了程序存储器、数据存储器及总线独立的哈佛结构。

哈佛结构主要用于 TI 公司的 DSP 产品、Intel 公司的 8051 等,而冯·诺伊曼结构则是大部分处理器和微控制器所采用的结构。关于这些结构的要点如下。

1. 哈佛结构

- 对于程序和数据,使用独立的存储器和总线;
- 由哈佛大学的物理学家 Howard Aiken 于 1930 年开发;
- 1943 年在 Harvard Mark 计算机上开始运行。

2. 冯·诺伊曼结构

- 指令和数据使用单一的存储器空间;
- 简化了计算机的设计;
- 一次只能访问指令和数据中的一个;
- 由 Pennsylvania 大学的 Von Neumann 在 1943—1944 年开发的 ENIAC 电子计算机首次使用该体系结构。

1.3 RISC 与 CISC

构成通用微控制器的要素有指令集、寄存器、存储器等。其中,指令集大致可分为 RISC (Reduced Instruction Set Computers) 和 CISC (Complex Instruction Set Computers)。CISC 是在为了便于进行软件制作,特别是编译,而将可能硬件化的部分都交给硬件处理的原则下设计的。

与 CISC 相比较,RISC 的特点是:第一,大部分指令可以在一个时钟周期内完成,且指令的长度是固定的。指令集是由简单的指令组成,如存储器只能用 Load/Store 指令来访问。第二,访问模式少,减少了依赖于处理器的控制,多使用硬布线逻辑。第三,汇编代码不易看懂,而且其中存在一部分为了有效使用多路传输而没有按时序排列,因此需要对编译器进行优化,如果不进行优化,则无法有效利用多路传输,采用 RISC 变得就没有意义。

1.4 ISP 简介

ISP(In-System Programming,在系统可编程)是指用户可以把未编程的器件安装到电

路板上,然后用在系统编程器通过编程接口写入用户代码,而不需要从电路板上取下器件来编程,并且已经编程的器件也可以用 ISP 方式擦除或再编程。

以前采用的是称为 ROM-Writer 的装备等将芯片夹在 ROM-Writer 后,编写程序或者读片内内容的方式。自从开发了 ISP 功能后,将芯片装在板子上,就可以直接进行读/写等行为,一般会用到时钟、数据输入、数据输出和使能等引脚;另外,还可缩小这些引脚,并采用两个信号线控制的方式。

第 2 章

ATmega128 单片机概要

2.1 ATmega128 单片机结构和主要性能

ATmega128 单片机是一款基于 AVR 内核的,采用 RISC 结构的增强型低功耗 CMOS 8 位微控制器。其内部结构框图如图 2.1 所示。它的大部分指令在一个时钟周期内完成,因此具有高达 1 MIPS/MHz 的数据吞吐率。其拥有优化的功率消耗结构,在功耗相对较少的情况下,可以进行复杂的处理。

ATmega128 单片机具有如下的特点。

1. 先进的 RISC 结构

- 133 条指令:大部分可以在一个时钟周期内完成。
- 32 个 8 位通用工作寄存器和外设控制寄存器。
- 全静态工作。
- 工作于 16 MHz 时,性能高达 16 MIPS。
- 只需 2 个时钟周期的硬件乘法器。

2. 非易失性的程序和数据存储器

- 128 KB 的系统内可编程 Flash 存储器。
 - 程序执行代码的存储区。
 - 10 000 次写/擦除周期的寿命。
- 4 KB 的 EEPROM。
 - 非易失性的数据存储区。
 - 100 000 次以上的写/擦除周期的寿命。
- 4 KB 内部 SRAM。

- 多达 64 KB 优化的外部存储器空间。
- 可以对锁定位进行编程以实现软件加密。
- 可以通过 SPI 接口实现系统内编程。

3. JTAG 接口(兼容 IEEE1149.1 标准)

- 具备 JTAG 标准的边界扫描功能(Boundary-Scan)。
- 支持在线仿真调试(Extensive On-chip Debug)。
- 支持对 Flash、E²PROM、芯片熔丝位和保密锁定位的编程。

4. 内置于 ATmega128 单片机的外设

- 2 个具有独立预分频器和比较器功能的 8 位定时器/计数器。
- 2 个具有独立预分频器、比较器功能和捕获功能的 16 位定时器/计数器。
- 具有独立预分频器的实时时钟计数器。
- 2 路 8 位 PWM。
- 6 路分辨率可编程的 PWM。
- 输出比较调节器。
- 8 路 10 位 ADC。
 - 8 个单端通道。
 - 7 个差分通道。
 - 2 个具有可编程增益(1×、10×或 200×)的差分通道。
- 面向字节的两线接口。
- 2 个可编程的 USART 串口。
- 可工作于主机/从机模式的 SPI 串行接口。
- 具有独立片内振荡器的可编程看门狗定时器。
- 片内模拟比较器。

5. 特殊的处理器性能

- 上电复位以及可编程的掉电检测。
- 片内经过标定的 RC 振荡器。
- 片内/片外中断源。
- 6 种休眠模式:空闲模式(Idle)、ADC 噪声抑制模式(ADC Noise Reduction)、省电模式(Power-save)、掉电模式(Power-down)、待机模式(Standby)、扩展待机模式(Extended Standby)。
- 可以通过软件选择时钟频率。
- 可以选择 ATmega103 单片机兼容模式。
- 具有全局上拉禁止功能。

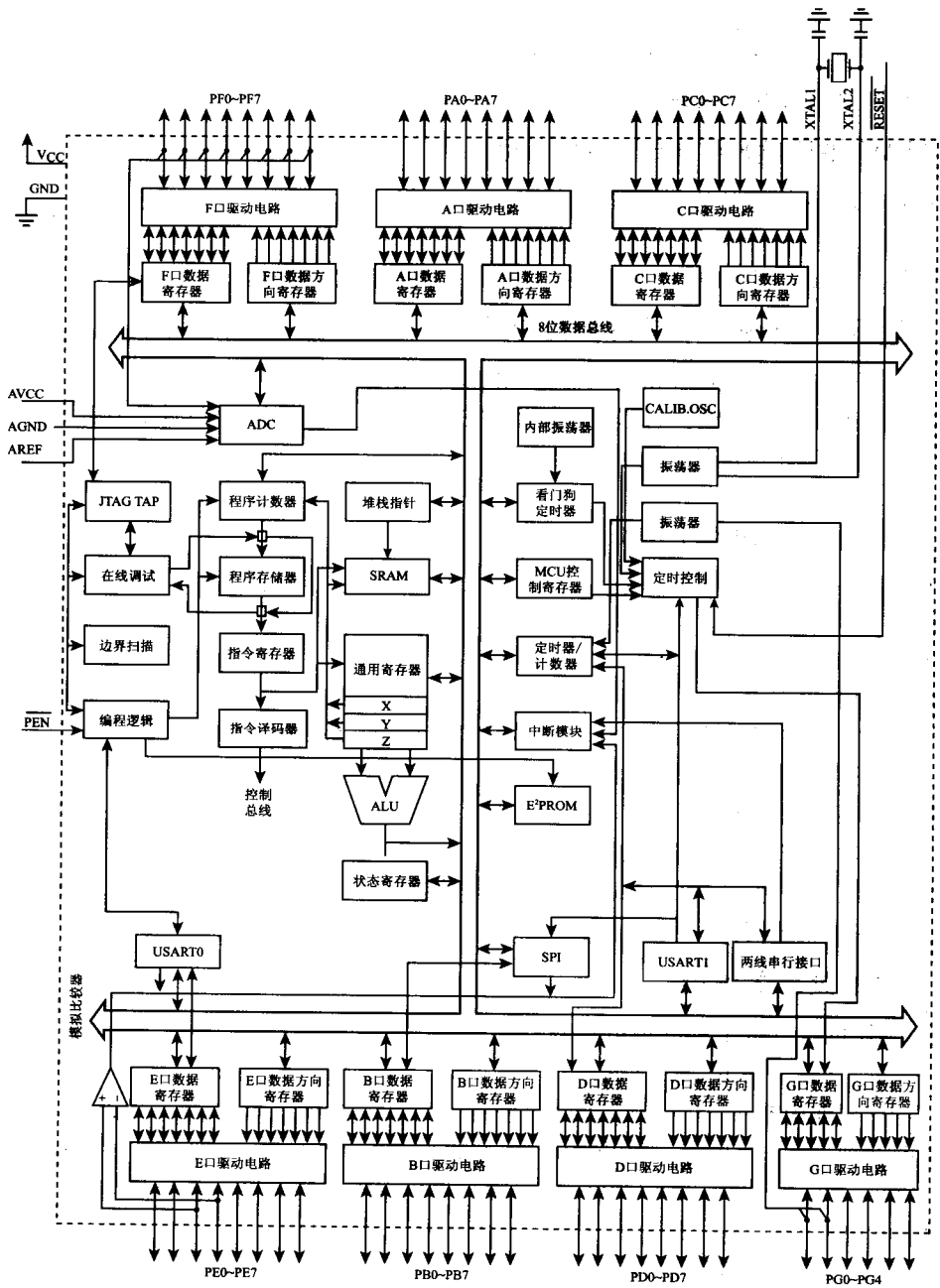


图 2.1 ATmega128 单片机的内部结构框图

6. I/O 口和封装

- 53 个可编程的 I/O 接口线。
- 64 引脚的 TQFP 封装与 64 引脚的 MLF 封装。

7. 工作电压

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

8. 工作频率

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

2.2 外部引脚

ATmega128 单片机的引脚排列如图 2.2 所示,共有 64 个引脚。其中,除了电源(VCC、AVCC、GND)和提供时钟的引脚(XTAL1、XTAL2)、复位(RESET)、程序使能引脚外,其他引脚都拥有一般的 I/O 性能和 ATmega128 单片机的内部特殊性能。 $\overline{\text{PEN}}$ 引脚在上电复位时,若保持低电平状态,将使器件进入 SPI 串行下载模式。在正常工作过程中,不使用 $\overline{\text{PEN}}$ 引脚。

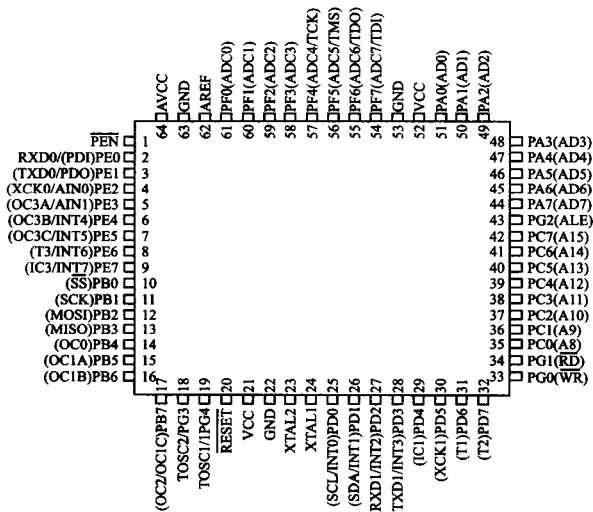


图 2.2 ATmega128 单片机的引脚排列图