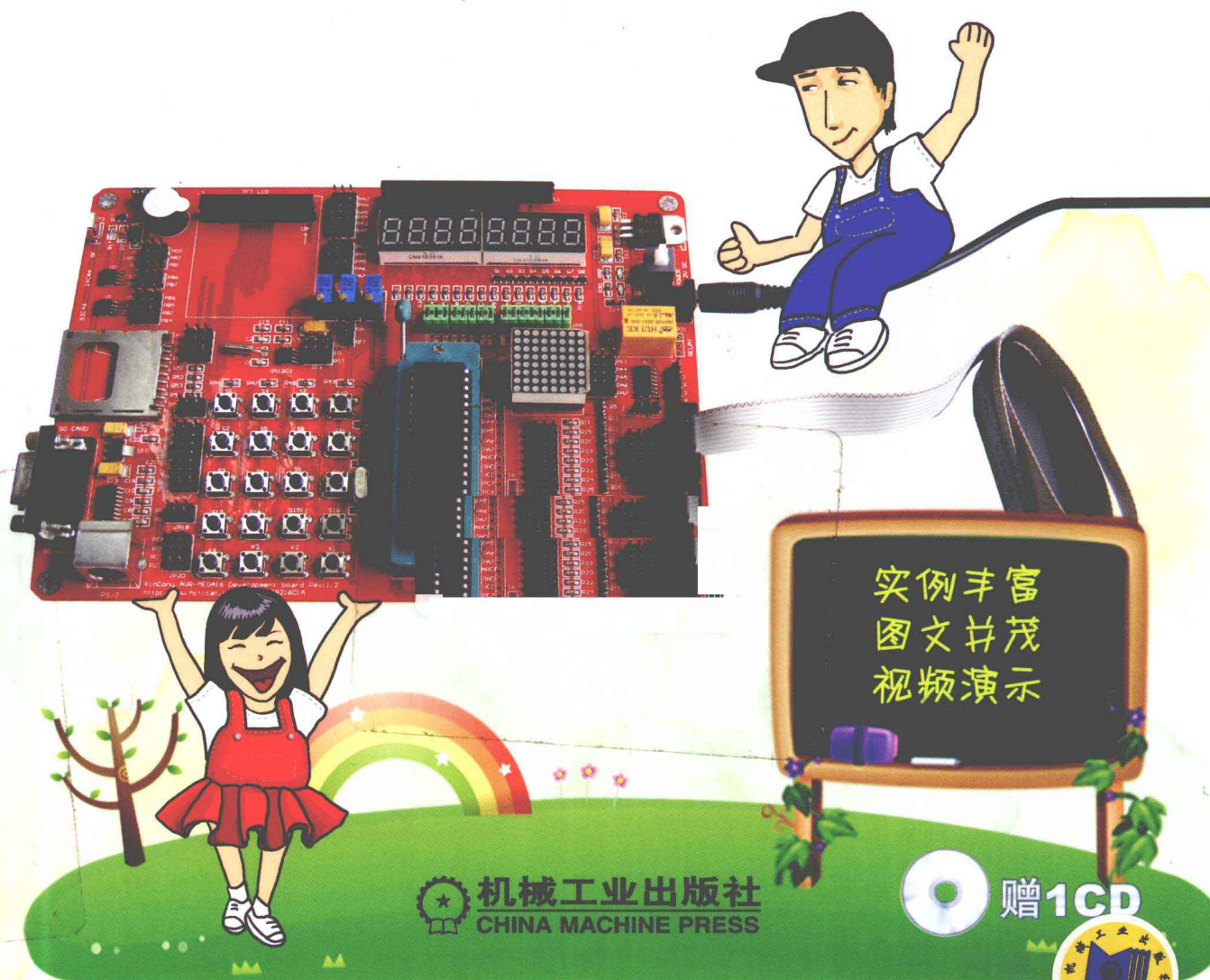


AVR单片机 快速入门

徐玮 沈建良 徐苏 安康◎等编著



实例丰富
图文并茂
视频演示

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

赠1CD



本书是以目前最为流行的 AVR 系列单片机为主体,使用 C 语言来进行描述。本书共分为五部分内容:单片机基础知识、C 程序设计知识、单片机入门基础实例、单片机高级应用实例、配套学习套件的使用说明。本书采用理论与实践相结合的方式进行讲解,避免了传统教科书给人枯燥、乏味的感觉。讲解风格通俗易懂,条理清晰,实例丰富,图文并茂,并带视频演示,即使是没有接触过单片机的读者,也可以通过本书的学习快速跨入单片机世界的大门。

作者为本书的出版开发了相应的单片机学习套件,以方便读者进行学习,同时以大量实例照片和视频录像记录了实验的全过程及现象,更加激发了读者对单片机的兴趣爱好,读者也可以在网站 <http://www.hificat.com> 进行单片机知识的学习与交流。

本书的配套光盘含有所有实验的源程序代码、一些常用的电子工具软件、芯片资料、实验过程照片以及实验演示视频录像。因此,有了本书,读者获得的是教程和学习平台的结合,不仅可以用来学习,还可以供工厂、企业的工程技术人员进行产品研发时参考。

本书适合从事单片机应用研发的技术人员和高校相关专业师生阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

AVR 单片机快速入门/徐玮等编著. —北京:机械工业出版社, 2011.11

ISBN 978-7-111-36320-0

I. ①A… II. ①徐… III. ①单片微型计算机 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 224041 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:林春泉 责任编辑:阎洪庆 版式设计:霍永明
责任校对:刘志文 封面设计:路恩中 责任印制:杨曦
保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2012 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 24.25 印张 · 614 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-36320-0

ISBN 978-7-89433-236-3 (光盘)

定价:68.00 元 (含 1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

当今世界科学技术飞速发展，以前需要花费大量的时间和精力来搭建一个模拟电路，同时大量的元器件也增加了产品的成本；而现在只需要一块小小的单片机芯片，写入相应功能的程序，便可以代替以前分立元器件组成的电路了。相信读者掌握了单片机技术后，无论是在产品开发还是工作上，都会有意想不到的惊喜。

本书作者着眼于快速入门、通俗易懂、趣味学习、学以致用为指导思想。以理论与实践相结合为主线，通过通俗易懂的讲解，丰富的实例，图文并茂的编排，以及配套光盘中各程序实例的视频演示录像，使读者能够轻松地掌握单片机的基础知识，并使读者具有初步开发、设计单片机产品的能力。相信读者通过本书的学习，即使是一位单片机的“门外汉”，也能运用单片机的知识来解决一些实际问题，将知识转化为生产力。

本书共分为五部分内容：单片机基础知识、C 程序设计知识、单片机入门基础实例、单片机高级应用实例、配套学习套件的使用说明。

单片机基础知识：介绍单片机的发展历史，揭开它的神秘之处。初学者最关心的一个实际问题是单片机到底能够做哪些事？这也是我们要学习单片机技术的理由之一。当我们明确了学习目标后，就需要做好学习实践平台的准备，在本书中将一一为读者进行讲解，如单片机学习的有效方法和途径，单片机的内部结构、引脚定义、存储器、寄存器、定时/计数器、中断系统、串行通信等相关知识，让读者对单片机有实质性的了解。

C 程序设计知识：经常会有人问，使用单片机用 C 语言好，还是用汇编语言好。这两种语言都有各自的特点。汇编语言的优点是比较灵活，但程序不易理解，对产品的升级、维护不太有利；而 C 语言已有了非常丰富的库函数供用户使用，因为它是高级语言，程序代码的编写也非常人性化，易于阅读、理解，C 语言已经成为一门在整个计算机业都普遍应用的语言。因此，本书也是以 C 语言来进行描述的，我们将会介绍 C 语言的数据类型、运算符、表达式，分支与循环控制语句，编译预处理与位运算，数组与函数，指针、结构体与共用体等知识，使读者具有 C 语言程序设计的能力。

单片机入门基础实例：前面几章讲的都是理论知识内容，由于单片机是一门实践性非常强的技术，即使有再多的理论基础，也必须通过较多的实践操作才能真正学好这门技术。因此，在这部分章节中，我们将为读者先引入一系列具有趣味性、简单易懂的基础实验实例，如点亮一个发光管，流水灯控制，按键、蜂鸣器、数码管、继电器的操作和使用，串行通信等。在此，我们暂时不求技术深，只求让读者明白单片机到底是如何来实现我们所需要的特定功能的，我们又是如何通过软件的程序来最终从硬件功能上反映出来的。

单片机高级应用实例：熟悉了前面介绍的基础实例，想必读者已经对单片机有了一定程度的认识，知道实现怎么样的功能，应该写怎么样的程序。在这部分内容中，我们将为读者做一些单片机高级应用实例的介绍，让读者从单片机知识学习的水平升华到产

品开发的程度。有液晶显示、步进电动机控制、I²C 总线原理、数字温度传感器应用、无线通信控制、SD 卡读写、PWM 应用、LED 点阵显示屏、红外线遥控的软件解码、模-数转换器应用实例、DS1302 时钟芯片的应用等。看完这部分内容，相信读者已经跨入了单片机世界的大门，并具有初步的产品开发能力了，剩下的是靠时间来积累实践经验了。

配套学习套件的使用说明：详细地介绍了与本书相配套的 AVR 单片机综合学习系统的原理与使用方法。“AVR 单片机综合学习系统”是综合多年经验开发出的多功能 AVR 单片机平台。集成常用的单片机外围硬件，提供 ISP 程序下载和 JTAG 仿真接口。系统附带众多 C 语言例子程序，可以让读者在最短的时间内，全面地了解掌握单片机编程技术，特别适合于单片机初学者、大中专院校学生、单片机工程师及实验室选用。这部分内容详细地介绍了如何使用 AVR 单片机综合学习系统来进行程序编写、开发、设计的全过程。

为了方便广大读者的学习交流，读者可以访问网站 <http://www.hificat.com> 来做互相交流。同时，如果读者对本书中所用到的学习器材、设备有兴趣的话，也可以访问我们的网站查询购买方法。当然，更新更详细的学习资料及内容，也都会定期地放到网上供读者使用。

参加本书编写的还有徐金林、卢水英、邵磊、邵晶晶、彭敏芳、戴婧、魏巍、韩珈骏、蔡东琦、孙燕、沈媛媛、徐富军、庄建清、王琴、杨青、杨丹枫、杨莺、许敏、卢剑、金向红等。我们衷心地希望本书能够对从事单片机技术工作的读者有所帮助。

由于本书程序实例和演示图表比较多，作者水平有限，难免会有错误与不妥之处，请广大读者批评指正。

作 者

2011 年 10 月

目 录

前言

第 1 章 单片机嵌入式系统概述 1

1.1 嵌入式系统简介 1

1.1.1 嵌入式计算机 1

1.1.2 单片机嵌入式系统 2

1.1.3 单片机的发展历史 2

1.1.4 单片机的发展趋势 3

1.2 单片机嵌入式系统的结构与应用领域 4

1.2.1 单片机嵌入式系统的结构 4

1.2.2 单片机嵌入式系统的应用领域 6

1.3 AVR 单片机简介 7

1.3.1 ATMEL 公司的单片机简介 7

1.3.2 AVR 单片机的主要特点 8

1.3.3 AVR 单片机最小系统 10

第 2 章 AVR 单片机的基本结构 11

2.1 单片机的基本组成 11

2.1.1 单片机的基本组成结构 11

2.1.2 单片机的基本单元与作用 11

2.2 ATmega16 单片机的组成 14

2.2.1 AVR 单片机的内核结构 14

2.2.2 ATmega16 的特点 16

2.2.3 ATmega16 的外部引脚与封装 17

2.3 ATmega16 单片机的内部结构 18

2.3.1 中央处理器 18

2.3.2 系统时钟部件 20

2.3.3 CPU 的工作时序 22

2.3.4 存储器 22

2.3.5 I/O 口 23

2.4 存储器结构和地址空间 23

2.4.1 支持 ISP 的 Flash 程序存储器 23

2.4.2 SRAM 数据存储器空间 24

2.4.3 内部 EEPROM 存储器 24

2.5 通用寄存器组与 I/O 寄存器 25

2.5.1 通用寄存器组 25

2.5.2 I/O 寄存器 26

2.5.3 状态寄存器和堆栈指针寄存器 27

2.6 ATmega16 单片机的工作状态 29

2.6.1 AVR 单片机最小系统 30

2.6.2 AVR 单片机的复位源和复位方式 31

2.6.3 对 AVR 单片机的编程下载 34

2.6.4 ATmega16 的熔丝位 35

2.6.5 AVR 单片机的工作状态 37

2.6.6 支持 ISP 编程的最小系统设计 38

2.7 AVR 单片机内部资源的扩展和删减 40

第 3 章 AVR 单片机开发工具安装及开发环境的使用 41

3.1 AVR Studio 集成开发环境简介及其安装 41

3.2 AVR Studio 集成开发环境的使用 43

3.2.1 建立一个新的工程项目管理文件 43

3.2.2 汇编源文件的建立 44

3.2.3 汇编源文件的编译 45

3.3 ICCAVR 集成开发环境简介 46

3.3.1 ICCAVR 编译器的安装 46

3.3.2 ICCAVR 中的文件类型及其扩展名 48

3.3.3 ICCAVR 的附注和扩充 49

3.3.4 ICCAVR 的代码转换 50

3.4 ICCAVR 向导 50

3.5 ICCAVR 的 IDE 环境 52

3.6 菜单解释 53

3.7 C 库函数与启动文件 56

3.8 访问 AVR 单片机硬件的编程 63

3.9 C 语言的运行结构 70

3.10 其他主流 AVR 单片机开发环境简介 72

3.10.1 GCCAVR 开发环境 72

3.10.2 CodeVision AVR 集成开发环境 72

3.10.3 IAR 集成开发环境 72

第 4 章 C 语言概论、数据类型、运算符与表达式 74

4.1 C 语言概论 74

4.1.1 C 语言的发展过程 74

4.1.2 C 语言的特点 74

4.1.3 C源程序的结构特点	74	7.3.3 字符数组的引用	129
4.1.4 C语言的字符集	75	7.3.4 字符串和字符串结束标志	129
4.1.5 C语言的词汇	76	7.4 函数概述	129
4.2 数据类型、运算符与表达式	77	7.4.1 函数定义的一般形式	130
4.2.1 C语言的数据类型	77	7.4.2 函数的参数和函数的值	131
4.2.2 算术运算符和算术表达式	84	7.4.3 函数的返回值	132
4.2.3 关系运算符和表达式	88	7.4.4 函数的调用	132
4.2.4 逻辑运算符和表达式	89	7.4.5 被调用函数的声明和函数原型	132
第5章 分支与循环控制	92	7.4.6 函数的嵌套调用	133
5.1 if语句	92	7.4.7 函数的递归调用	134
5.1.1 程序的3种基本结构	92	7.4.8 数组作为函数参数	135
5.1.2 if语句的3种形式	92	7.5 局部变量和全局变量	137
5.1.3 if语句的嵌套	96	7.5.1 局部变量	138
5.2 条件运算符和条件表达式	98	7.5.2 全局变量	139
5.3 switch语句	99	第8章 指针、结构体与共用体	141
5.4 循环控制	102	8.1 指针和地址	141
5.4.1 概述	102	8.2 指针变量和指针运算符	141
5.4.2 goto语句和if语句构成循环	103	8.3 指针与函数参数	145
5.4.3 while语句	103	8.4 指针、数组和字符串指针	146
5.4.4 do-while语句	105	8.5 指针数组	149
5.4.5 for语句	106	8.6 多级指针	151
5.4.6 循环的嵌套	108	8.7 返回指针的函数	152
5.4.7 break和continue语句	109	8.8 函数指针	153
第6章 编译预处理与位运算	112	8.9 结构与联合	154
6.1 概述	112	8.9.1 结构的定义	154
6.2 宏定义	112	8.9.2 结构数组	156
6.2.1 不带参数的宏定义	112	8.9.3 结构与函数	157
6.2.2 带参数的宏定义	114	8.9.4 结构的初始化	159
6.3 文件包含	115	8.9.5 联合	159
6.4 条件编译	116	第9章 AVR开发套件快速入门	161
6.5 位操作运算符	118	9.1 AVR单片机实验系统简介	161
第7章 数组与函数	121	9.2 建立第一个项目(软件操作指南)	164
7.1 一维数组的定义和引用	121	9.3 AVR单片机综合学习系统芯片烧写 操作指南	167
7.1.1 一维数组的定义方式	121	9.4 AVR ATmega16单片机引脚说明	170
7.1.2 一维数组元素的引用	122	第10章 ATmega16基础实例	173
7.1.3 一维数组的初始化	124	10.1 发光二极管闪动实验	173
7.1.4 一维数组程序举例	124	10.1.1 实例功能	173
7.2 二维数组的定义和引用	125	10.1.2 器件与原理	173
7.2.1 二维数组的定义	125	10.1.3 硬件电路	174
7.2.2 二维数组元素的引用	126	10.1.4 程序设计	175
7.2.3 二维数组的初始化	127	10.2 流水灯实验	176
7.3 字符数组	128	10.3 按键实验	180
7.3.1 字符数组的定义	128	10.3.1 实例功能	180
7.3.2 字符数组的初始化	128		

10.3.2 器件与原理	181	实例	254
10.3.3 程序设计	182	11.6 DS1302 时钟芯片应用实例	265
10.4 蜂鸣器实验	185	11.6.1 实时时钟 (RTC) 简介	265
10.4.1 实例功能	185	11.6.2 DS1302 的软硬件设计实例	268
10.4.2 器件与原理	185	11.7 ADC 应用实例	277
10.4.3 硬件电路	185	11.7.1 ATmega16 片内 ADC 内部	
10.4.4 程序设计	186	寄存器	277
10.5 继电器实验	188	11.7.2 ADC 软硬件设计实例	280
10.5.1 实例功能	188	11.8 1602 字符型 LCD 应用实例	284
10.5.2 器件与原理	188	11.8.1 液晶显示简介	284
10.5.3 硬件电路	189	11.8.2 1602 字符型 LCD 简介	285
10.5.4 程序设计	189	11.8.3 1602LCD 的软硬件设计实例	290
10.6 数码管实验	191	11.9 12864 点阵型 LCD 应用实例	294
10.6.1 实例功能	191	11.9.1 点阵 LCD 的显示原理	295
10.6.2 器件与原理	191	11.9.2 12864 点阵型 LCD 简介	295
10.6.3 硬件电路	194	11.9.3 12864 点阵型 LCD 软硬件设计	
10.6.4 程序设计	194	实例	300
10.7 串行口实验	196	11.10 红外遥控软件解码应用实例	312
10.7.1 实例功能	197	11.10.1 红外遥控概述	312
10.7.2 硬件电路	200	11.10.2 μ PD6121 红外接收的软件解码	
10.7.3 程序设计	202	应用实例	318
第 11 章 ATmega16 高级应用实例	206	11.10.3 μ PD6121 解码应用设计	318
11.1 矩阵键盘应用实例	206	11.11 无线通信模块应用实例	328
11.1.1 矩阵键盘简介	206	11.11.1 无线通信模块原理与分类	329
11.1.2 矩阵键盘的工作原理	206	11.11.2 无线通信模块主要技术指标	329
11.1.3 矩阵键盘软硬件设计实例	206	11.11.3 PT2262/PT2272 无线模块	
11.2 步进电动机应用实例	212	简介	330
11.2.1 步进电动机简介	212	11.11.4 无线通信模块的软硬件设计	
11.2.2 步进电动机的控制	219	应用	334
11.2.3 步进电动机的应用设计	221	11.12 PWM 应用实例	338
11.3 DS18B20 单总线数字温度传感器		11.12.1 PWM 的特点	338
应用实例	224	11.12.2 ATmega16 内部 PWM 简介	339
11.3.1 单总线技术简介	224	11.12.3 基于 ATmega16 的 PWM 应用	
11.3.2 DS18B20 单总线温度传感器		设计	346
简介	225	11.13 SD 卡读写实例	349
11.3.3 DS18B20 软硬件设计	230	11.13.1 SD 卡简介	349
11.4 I ² C 总线应用实例	236	11.13.2 SD 卡读写应用实例	362
11.4.1 I ² C 串行总线简介	237	11.14 LED 点阵显示屏的应用实例	374
11.4.2 I ² C 总线器件工作原理及时序	238	11.14.1 LED 点阵的种类及结构	374
11.4.3 AT24C 系列存储器的软硬件设计		11.14.2 8×8 单色点阵 LED 的工作	
实例	242	原理	374
11.5 93CXX 系列存储器应用实例	251	11.14.3 LED 点阵显示屏系统设计	375
11.5.1 SPI 总线简介	251	参考文献	379
11.5.2 93C46 存储器的软硬件设计			

第 1 章 单片机嵌入式系统概述

1.1 嵌入式系统简介

嵌入式系统是以应用为中心，以计算机技术为基础，并且软硬件可裁剪，适用于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。它一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统以及用户的应用程序等 4 个部分组成，用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。图 1-1 所示为典型嵌入式系统框图。

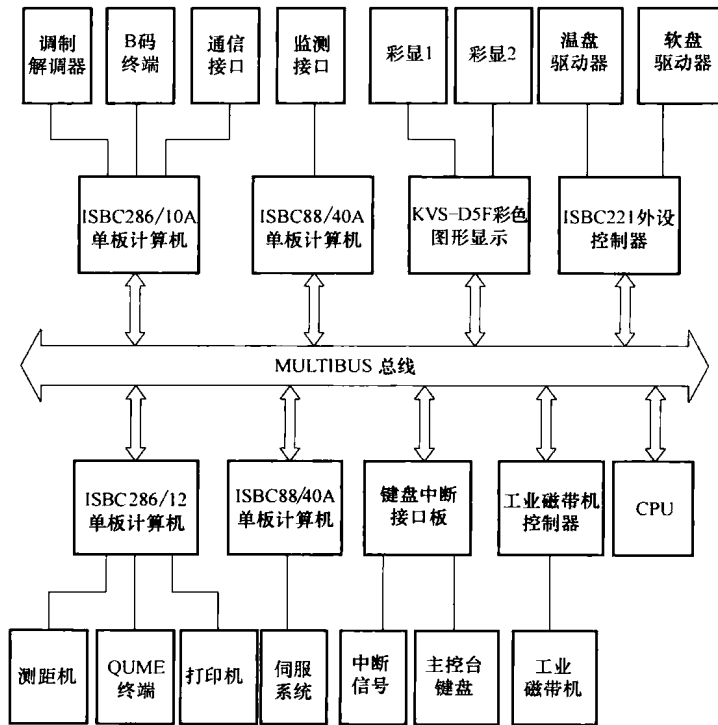


图 1-1 典型嵌入式系统框图

1.1.1 嵌入式计算机

嵌入式计算机在应用数量上远远超过了各种通用计算机，一台通用计算机的外部设备中就包含了 5~10 个嵌入式微处理器，键盘、鼠标、软驱、硬盘、显示卡、显示器、调制解调器、网卡、声卡、打印机、扫描仪、数码相机、USB 集线器等均是由嵌入式处理器控制的。在制造工业、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空、航天、军事装备、消费类产品等方面均是嵌入式计算机的应用领域。嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合后的产物，这一点就决定了它必然是一个技术密

集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。

1.1.2 单片机嵌入式系统

嵌入式系统一般指非 PC 系统，它包括硬件和软件两部分。硬件包括处理器/微处理器、存储器、外设器件、I/O 端口和图形控制器等。软件部分包括操作系统（OS）软件（要求实时和多任务操作）和应用程序编程。有时设计人员把这两种软件组合在一起。应用程序控制着系统的运行和行为，而操作系统控制着应用程序编程与硬件的交互作用。

嵌入式系统的核心是嵌入式微处理器。嵌入式微处理器一般具备以下 4 个特点：

1) 对实时多任务有很强的支持能力，能完成多任务，并且有较短的中断响应时间，从而使内部的代码和实时内核心的执行时间减少到最低限度。

2) 具有功能很强的存储区保护功能。这是由于嵌入式系统的软件结构已模块化，而为了避免在软件模块之间出现错误的交叉作用，需要设计强大的存储区保护功能，同时也有利于软件诊断。

3) 可扩展的处理器结构，能最迅速地开发出满足应用的最高性能的嵌入式微处理器。

4) 嵌入式微处理器必须功耗很低，尤其是用于便携式的无线及移动的计算和通信设备中靠电池供电的嵌入式系统更是如此，如需要功耗只有 mW 甚至 μ W 级。

由此可知，单片机与嵌入式系统是紧密相连、密不可分的。单片机系统与嵌入式系统相比具有开发周期短、成本低、使用灵活等特点，在中小系统设计中具有较强的优势。

1.1.3 单片机的发展历史

单片机诞生于 20 世纪 70 年代末，经历了 SCM、MCU、SoC 三大阶段。①SCM 即单片微型计算机（Single Chip Microcomputer）阶段，主要是寻求最佳的单片形态嵌入式系统的最佳体系结构。“创新模式”获得成功，奠定了 SCM 与通用计算机完全不同的发展道路。在开创嵌入式系统独立发展的道路上，Intel 公司功不可没。②MCU 即微控制器（Micro Controller Unit）阶段，主要的技术发展方向是：不断扩展满足嵌入式应用时对象系统要求的各种外围电路与接口电路，突显其对象的智能化控制能力。它所涉及的领域都与对象系统相关，因此发展 MCU 的重任不可避免地落在电气、电子技术厂商。从这一角度来看，Intel 公司逐渐淡出 MCU 的发展也有其客观因素。在发展 MCU 方面，最著名的厂商当数 Philips 公司。Philips 公司以其在嵌入式应用方面的巨大优势，将 MCS-51 从单片微型计算机迅速发展到了微控制器。因此，当回顾嵌入式系统发展道路时，不要忘记 Intel 公司和 Philips 公司的历史功绩。③单片机是嵌入式系统的独立发展之路，向 MCU 阶段发展的重要因素。就是寻求应用系统在芯片上的最大化解。因此，专用单片机的发展自然形成了 SoC（System on a Chip，系统级芯片）化趋势。随着微电子技术、IC 设计、EDA 工具的发展，基于 SoC 的单片机应用系统设计会有较大的发展。因此，对单片机的理解可以从单片微型计算机、单片微控制器延伸到单片应用系统。

单片机作为微型计算机的一个重要分支，应用面很广，发展很快。自单片机诞生至今，已发展为上百种系列的近千个机种。如果将 8 位单片机的推出作为起点，那么单片机的发展历史大致可分为以下几个阶段：

1) 第一阶段（1976—1978）：单片机的探索阶段。以 Intel 公司的 MCS - 48 为代表。MCS - 48 的推出是在工控领域的探索，参与这一探索的公司还有 Motorola、Zilog 等，都取

得了满意的效果。这就是 SCM 的诞生年代，“单片机”一词即由此而来。

2) 第二阶段 (1978—1982): 单片机的完善阶段。Intel 公司在 MCS - 48 基础上推出了完善的、典型的单片机系列 MCS - 51。它在外总线完善、外围功能单元的集中管理、位地址空间及位操作方式、丰富和完善指令系统等几个方面奠定了典型的通用总线型单片机体系结构。

3) 第三阶段 (1982—1990): 8 位单片机的巩固发展及 16 位单片机的推出阶段, 也是单片机向微控制器发展的阶段。Intel 公司推出的 MCS-96 系列单片机, 将一些用于测控系统的 A/D 转换器、程序运行监视器、脉宽调制器等纳入片中, 体现了单片机的微控制器特征。随着 MCS - 51 系列的广泛应用, 许多电气厂商竞相使用 80C51 为内核, 将许多测控系统中使用的电路技术、接口技术、多通道 A/D 转换部件、可靠性技术等应用到单片机中, 增强了外围电路功能, 强化了智能控制的特征。

4) 第四阶段 (1990—至今): 微控制器的全面发展阶段。随着单片机在各个领域全面深入地发展和应用, 出现了高速、大寻址范围、强运算能力的 8 位/16 位/32 位通用型单片机, 以及小型廉价的专用型单片机。

1.1.4 单片机的发展趋势

目前, 单片机正朝着高性能和多品种方向的发展, 也就是进一步向着 CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, 互补金属氧化物半导体) 化、低功耗、小体积、大容量、高性能、低价格和外围电路内装化等几个方面发展。单片机的主要发展趋势为:

1) CMOS 化: 近年来, 由于 CHMOS (互补金属氧化物 HMOS) 技术的进步, 大大地促进了单片机的 CMOS 化。CMOS 芯片除了低功耗特性之外, 还具有功耗的可控性, 使单片机可以工作在功耗精细管理状态。这也是今后以 80C51 取代 8051 为标准 MCU 芯片的原因。单片机芯片多数是采用 CMOS (金属栅氧化物) 半导体工艺生产。CMOS 电路的特点是低功耗、高密度、低速度、低价格。采用双极型半导体工艺的 TTL 电路速度快, 但功耗和芯片面积较大。随着技术和工艺水平的提高, 又出现了 HMOS (高性能金属氧化物半导体) 和 CHMOS 工艺。CHMOS 工艺、CMOS 工艺和 HMOS 工艺的结合, 具有低功耗的特点。目前, 生产的 CHMOS 电路已达到 LSTTL (Low-power Schottky TTL, 低功耗肖特基 TTL) 的速度, 传输延迟时间小于 2ns, 它的综合优势已优于 TTL (Transistor-Transistor-Logic, 晶体管-晶体管逻辑电路) 电路。因而, 在单片机领域 CMOS 正在逐渐取代 TTL 电路。

2) 低功耗化: 单片机的功耗已降到 mA 级甚至 $1\mu\text{A}$ 以下, 使用电压在 3~6V 之间, 完全适应电池工作。低功耗还带来了产品的高可靠性、高抗干扰能力以及产品的便携化。

3) 低电压化: 几乎所有的单片机都有 WAIT、STOP 等省电运行方式。允许使用的电压范围越来越宽, 一般在 3~6V 范围内工作。低电压供电的单片机电源下限已可达 1~2V。目前采用 0.8V 供电的单片机已经问世。

4) 低噪声与高可靠性: 为提高单片机的抗电磁干扰能力, 使产品能适应恶劣的工作环境, 满足电磁兼容性方面更高标准的要求, 各单片机厂商在单片机内部电路中都采用了新的技术措施。

5) 大容量化: 以往单片机内的 ROM (Read Only Memory, 只读存储器) 为 1~4KB, RAM 为 64~128B。但在需要复杂控制的场合, 该存储容量是不够的, 必须进行外接扩充。为了适应这种领域的要求, 必须运用新的工艺, 使片内存储器大容量化。目前, 单片机内

ROM 最大可达 64KB, RAM 最大为 2KB。

6) 高性能化: 主要是指进一步改进 CPU 的性能, 加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性。采用精简指令集计算机 (Reduced Instruction Set Computer, RISC) 结构和流水线技术, 可以大幅度提高运行速度。现指令速度最高者已达 100MIPS (Million Instruction Per Second, 即每秒百万条指令), 并加强了位处理功能、中断和定时控制功能。这类单片机的运算速度比标准的单片机高出 10 倍以上。由于这类单片机有极高的指令速度, 就可以用软件模拟其 I/O 功能, 由此引入了虚拟外设的新概念。

7) 小容量、低价格化: 与上述相反, 以 4 位、8 位机为中心的小容量、低价格化也是发展动向之一。这类单片机的用途是把以往用数字逻辑集成电路组成的控制电路单片化, 可广泛用于家电产品。

8) 外围电路内装化: 这也是单片机发展的主要方向。随着集成度的不断提高, 有可能把众多的各种外围功能器件集成在片内。除了一般必须具有的 CPU、ROM、RAM、定时器/计数器等以外, 片内集成的部件还有 A/D 转换器、DMA (直接内存存取) 控制器、声音发生器、监视定时器、液晶显示驱动器、彩色电视机和录像机用的锁相电路等。

9) 串行扩展技术: 在很长一段时间里, 通用型单片机通过三总线结构扩展外围器件成为单片机应用的主流结构。随着低价位 OTP (One Time Programmable, 一次性可编程) 及各种类型片内程序存储器的发展, 加之外围接口不断进入片内, 推动了单片机“单片”应用结构的发展。特别是 IC、SPI 等串行总线的引入, 可以使单片机的引脚设计得更少, 单片机系统结构更加简化及规范化。随着半导体集成工艺的不断发展和提高, 单片机的集成度将更高、体积将更小、功能将更强。在单片机家族中, 80C51 系列是其中的佼佼者, 加之 Intel 公司将其 MCS-51 系列中的 80C51 内核使用权以专利互换或出售的形式转让给全世界许多著名 IC 制造厂商, 如 Philips、NEC、ATMEL、AMD、华邦等, 这些公司都在保持与 80C51 单片机兼容的基础上改善了 80C51 的许多特性。这样, 80C51 就变成有众多制造厂商支持的、发展出上百个品种的大家族, 现统称为 80C51 系列。80C51 单片机已成为单片机发展的主流。专家认为, 虽然世界上的 MCU 品种繁多, 功能各异, 开发装置也互不兼容, 但是客观发展表明, 80C51 可能最终形成事实上的标准 MCU 芯片。

我国开始使用单片机是在 1982 年, 短短 5 年时间里发展极为迅速。1986 年在上海召开了全国首届单片机开发与应用交流会, 有的地区还成立了单片微型计算机应用协会, 那是全国形成的第一次高潮。目前, 单片机应用技术飞速发展, 我们上因特网输入一个“单片机”进行搜索, 将会看到上万个介绍单片机的网站, 这还不包括国外的。与它相应的专业杂志现在也有很多, 比如由单片机界的资深专家何立民主编的《单片机与嵌入式系统应用》杂志现已风靡电子界, 91student.com (中国研究生人才网) 曾在北京、上海、广州等大城市所做的一次专业人才需求报告中显示, 单片机人才的需求量位居第一。

1.2 单片机嵌入式系统的结构与应用领域

1.2.1 单片机嵌入式系统的结构

仅由一片单片机芯片是不能构成一个应用系统的。系统的核心控制芯片往往还需要与一些外围芯片、器件和控制电路机构有机地连接在一起, 才能构成一个实际的单片机系统, 进

而再嵌入到应用对象的环境体系中，作为其中的核心智能化控制单元而构成典型的单片嵌入式应用系统，如洗衣机、电视机、空调、智能仪器、智能仪表等。

单片机嵌入式系统的结构如图 1-2 所示，通常包括三大部分：能实现嵌入式对象各种应用要求的单片机、全部系统的硬件电路和应用软件。

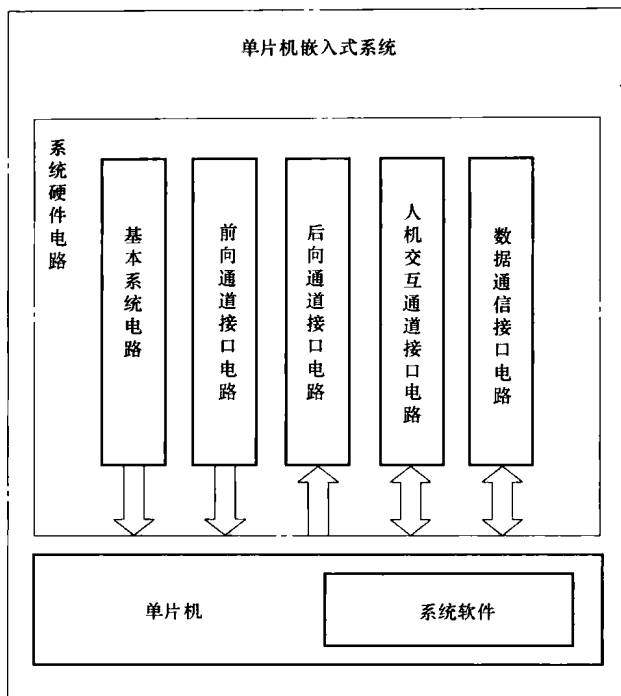


图 1-2 单片机嵌入式系统的结构

1. 单片机

单片机是单片机嵌入式系统的核心控制芯片，由它实现对控制对象的测控、系统运行管理控制和数据运算处理等功能。

2. 系统硬件电路

根据系统采用单片机的特性以及嵌入对象要实现的功能要求而配备的外围芯片、器件所构成的全部硬件电路。通常包括以下几部分：

1) 基本系统电路。提供和满足单片机系统运行所需要的时钟电路、复位电路、系统供电电路、驱动电路、扩展的存储器等。

2) 前向通道接口电路。这是应用系统面向对象的输入接口，通常是各种物理量的测量传感器、变换器输入通道。根据现实世界物理量转换成电量输出信号的类型，如模拟电压电流、开关信号、数字脉冲信号等的不同，接口电路也不同。常见的有传感器、信号调理器、A/D 转换器、开关信号输入、频率测量接口等。

3) 后向通道接口电路。这是应用系统面向对象的输出控制电路接口。根据应用对象伺服和控制要求，通常有 A/D 转换器、开关量输出、功率驱动接口、PWM 输出控制等。

4) 人机交互通道接口电路。人机交互通道接口电路是满足应用系统人机交互需要的电路，有键盘、拨动开关、LED 发光二极管、数码管、LCD 液晶显示器、打印机等多种输入

输出接口电路。

5) 数据通信接口电路。数据通信接口电路是满足远程数据通信或构成多机网络应用系统的接口。通常有 RS232、PSI、I²C、CAN 总线、USB 总线等通信接口电路。

3. 系统应用软件

系统应用软件的核心就是下载到单片机中的系统运行程序。整个嵌入式系统全部硬件的相互协调工作、智能管理和控制都由系统运行程序决定。它可认为是单片机嵌入式系统核心的核心。一个系统应用软件设计得好坏，往往也决定了整个系统性能的好坏。

系统软件是根据系统功能要求设计的，一个嵌入式系统的运行程序实际上就是该系统的监控与管理程序。对于小型系统的应用程序，一般采用汇编语言编写。而对于中型和大型系统的应用程序，往往采用高级程序设计语言（如 C 语言、Basic 语言）来编写。

编写嵌入式系统应用程序与编写其他类型的软件程序（如基于 PC 的应用软件设计开发）有很大的不同，嵌入式系统应用程序更加面向硬件低层和控制，而且还要面对有限的资源（如有限的 RAM）。因为嵌入式系统的应用软件不仅要直接面对单片机以及与它连接的各种不同种类和设计的外围硬件电路编程，还要面对系统的具体应用和功能编程。整个运行程序常常是输入输出接口、存储器、外围芯片、中断处理等多项功能交织在一起。因此，除了硬件系统的设计，系统应用软件的设计也是嵌入式系统开发研制过程中重要和困难的任务。需要强调说明的是，针对单片机嵌入式系统的硬件设计和软件设计两者之间的关系是十分紧密，互相依赖和制约的。因此，通常要求嵌入式系统的开发人员既要具备扎实的硬件设计能力，同时也要具备相当优秀的软件程序设计能力。

1.2.2 单片机嵌入式系统的应用领域

以单片机为核心构成的单片机嵌入式系统已成为现代电子系统中最重要的组成部分。在现代的数字化世界中，单片机嵌入式系统已经大量地渗透到我们生活的各个领域，几乎很难找到哪个领域没有单片机的踪迹。导弹的导航装置、飞机上各种仪表的控制、计算机的网络通信与数据传输、工业自动化过程的实时控制和数据处理、生产流水线上的机器人、医院里先进的医疗器械和仪器、广泛使用的各种智能 IC 卡、小朋友的程控玩具和电子宠物都是典型的单片机嵌入式系统应用。

由于单片机芯片的微小体积、极低的成本和面向控制的设计，使得它作为智能控制的核心器件被广泛地用于嵌入到工业控制、智能仪器仪表、家用电器、电子通信产品等各个领域的电子设备和电子产品中，主要的应用领域有以下几个方面。

1) 智能家用电器。俗称带“电脑”的家用电器，如电冰箱、空调、微波炉、电饭锅、电视机、洗衣机等。传统的家用电器中嵌入了单片机系统后使产品的性能特点都得到很大的改善，实现了运行智能化、温度的自动控制和调节、节约电能等。

2) 智能机电一体化产品。单片机嵌入式系统与传统的机械产品相结合，使传统的机械产品结构简化，控制智能化，构成新一代的机电一体化产品。这些产品已在纺织、机械、化工、食品等工业生产中发挥出巨大的作用。

3) 智能仪器仪表。用单片机嵌入式系统改造原有的测量、控制仪器和仪表，能促使仪器仪表向数字化、智能化、多功能化、综合化、柔性化发展。由单片机系统构成的智能仪器

仪表可以集测量、处理、控制功能于一体，赋予传统的仪器仪表以崭新的面貌。

4) 测控系统。用单片机嵌入式系统可以构成各种工业控制系统、适应控制系统、数据采集系统等。例如，温室人工气候控制、汽车数据采集与自动控制系统。

1.3 AVR 单片机简介

1.3.1 ATMEL 公司的单片机简介

ATMEL 公司是世界上著名的生产高性能、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。在单片微控制器方面，ATMEL 公司有基于 8051 内核、基于 AVR 内核和基于 ARM 内核的三大系列单片机产品（确切地讲，最后一款应称为嵌入式微处理器）。ATMEL 公司在它的单片机产品中，融入了先进的 EEPROM（Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory，电可擦可编程只读存储器）和 Flash ROM（Flash Read-Only Memory，闪存存储器）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。

ATMEL 公司把 8051 内核与其擅长的 Flash 存储器技术相结合，是国际上最早推出片内集成可重复擦写 1000 次以上 Flash 程序存储器、采用低功耗 CMOS 工艺的 8051 兼容单片机的生产商之一。市场上家喻户晓的 AT89C51、AT89C52、AT89C1051、AT89C2051 就是 ATMEL 公司生产的基于 8051 内核系列单片机中的典型产品（现在已升级换代为 AT89S × × 系列），采用 ISP（在线编程）技术。该系列单片机一直在我国的单片机市场上占有相当大的份额。

8051 结构的单片机采用 CISC（Complex Instruction Set Computer，复杂指令系统计算机）体系。由于 CISC 结构存在指令系统不等长、指令数多、CPU 利用效率低、执行速度慢等缺陷，已不能满足和适应设计中高档电子产品和嵌入式系统应用的需要。ATMEL 公司发挥其 Flash 存储器技术的特长，于 1997 年研发和推出了全新配置采用 RISC（Reduced Instruction Set Computer，精简指令集计算机）结构的新型单片机，简称 AVR 单片机（由 ATMEL 公司挪威设计中心的 A 先生与 V 先生利用 ATMEL 公司的 Flash 新技术共同研发出 RISC 结构的高速 8 位单片机）。

RISC 结构是 20 世纪 90 年代开发出来的一种综合了半导体集成技术和提高软件性能的新结构，是为了提高 CPU 运行的速度而设计的芯片体系。它的关键技术在于采用流水线操作（Pipelining）和等长指令体系结构，使一条指令可以在一个单独操作中完成，从而实现在一个时钟周期里完成一条或多条指令。同时 RISC 体系还采用了通用快速寄存器组的结构，大量使用寄存器之间的操作，简化了 CPU 中处理器、控制器和其他功能单元的设计。因此，RISC 的特点就是通过简化 CPU 的指令功能，使指令的平均执行时间减少，从而提高 CPU 的性能和速度。在使用相同的晶片技术和相同的运行时钟条件下，RISC 系统的运行速度是 CISC 的 2~4 倍。正由于 RISC 体系所具有的优势，使得它在高端系统得到了广泛的应用。例如，ARM 以及大多数 32 位的处理器都采用 RISC 体系结构。

ATMEL 公司的 AVR 单片机是 8 位单片机中第一个真正的 RISC 结构的单片机。它采用了大型快速存取寄存器组、快速的单周期指令系统以及单级流水线等先进技术，使得 AVR

单片机具有高达 1MIPS/MHz 的高速运行处理能力。

AVR 单片机采用流水线技术，在前一条指令执行时，就取出现行的指令，然后以一个周期执行指令，大大提高了 CPU 的运行速度。而在其他的 CISC 以及类似的 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)。

另外，传统的基于累加器的结构单片机（如 8051），需要大量的程序代码来完成和实现在累加器和存储器之间的数据传送。而在 AVR 单片机中，由于采用 32 个通用工作寄存器构成快速存取寄存器组，用 32 个通用工作寄存器代替了累加器，从而避免了在传统结构中累加器和存储器之间数据传送造成的瓶颈现象，进一步提高了指令的运行效率和速度。

随着电子产品更新换代的周期缩短以及不断向高端发展，为了加快产品进入市场的时间和简化系统的设计、开发、维护和支持，对于以单片机为核心所组成的高端嵌入式系统来说，用高级语言编程已成为一种标准设计方法。AVR 单片机采用 RISC 结构，其目的就是在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。

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、EEPROM 和 SRAM（Static Random Access Memory，静态随机存取存储器）三种不同性能和用途的存储器。除了可以通过使用一般的编程器（并行高压方式）对 AVR 单片机的 Flash 程序存储器和 EEPROM 数据存储器进行编程外，大多数的 AVR 单片机还具有 ISP（在线可编程）的特点以及 IAP（在应用编程）的特点。这些优点为使用 AVR 单片机开发设计和生产产品提供了极大的方便。在产品的设计生产中，可以“先装配后编程”，从而缩短了研发周期、工艺流程，并且还可以节约购买开发仿真编程器的费用。同样，对于学习和使用 AVR 单片机的用户来说，也不必购买昂贵的开发仿真硬件设备，只需要具备一套好的 AVR 开发软件平台，就可以从事 AVR 单片机系统的学习、设计和开发工作了。

1.3.2 AVR 单片机的主要特点

AVR 单片机吸取了 PIC 及 8051 等单片机的优点，同时在内部结构上还作了一些重大改进，其主要的优点如下：

1) 程序存储器为价格低廉、可擦写 1 万次以上、指令长度单元为 16 位（字）的 Flash ROM（即程序存储器宽度为 16 位，按 8 位字节计算时应乘 2）。而数据存储器为 8 位。因此，AVR 单片机还是属于 8 位单片机。

2) 采用 CMOS 技术和 RISC 架构，实现高速（50ns）、低功耗（ μA ）、具有 SLEEP（休眠）功能。AVR 单片机的一条指令执行速度可达 50ns（20MHz），而耗电则在 $1\mu\text{A} \sim 2.5\text{mA}$ 之间。AVR 单片机采用 Harvard 结构，以及一级流水线的预取指令功能，即对程序的读取和数据的操作使用不同的数据总线，因此，当执行某一指令时，下一指令被预先从程序存储器中取出，这使得指令可以在每一个时钟周期内被执行。

3) 高度保密。可多次烧写的 Flash 具有多重密码保护锁定（LOCK）功能，因此可低价快速完成产品商品化，且可多次更改程序（产品升级），方便了系统调试，而且不必浪费 IC 或电路板，大大提高了产品质量及竞争力。

4) 工业级产品。具有大电流 10 ~ 20mA (输出电流) 或 40mA (吸电流) 的特点, 可直接驱动 LED、SSR 或继电器。有看门狗定时器 (WDT) 安全保护, 可防止程序跑飞, 提高产品的抗干扰能力。

5) 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。片内含有 128 ~ 4KB SRAM, 可灵活使用指令运算, 适合使用功能很强的 C 语言编程, 易学、易写、易移植。

6) 程序写入器件时, 可以使用并行方式写入 (用编程器写入), 也可使用串行在线下载 (ISP)、在应用下载 (IAP) 方法下载写入。也就是说, 不必将单片机芯片从系统板上拆下拿到万用编程器上烧录, 而可直接在电路板上进行程序的修改、烧录等操作, 方便产品升级, 尤其是对于使用 SMD (Surface Mounted Devices, 表贴封装器件), 更利于产品微型化。

7) 通用数字 I/O 口的输入输出特性与 PIC 单片机的 HI/LOW 输出及三态高阻抗 HI-Z 输入类似, 同时可设定类似于 8051 结构内部有上拉电阻的输入端功能, 便于为各种应用特性所需 (多功能 I/O 口), AVR 单片机的 I/O 口是真正的 I/O 口, 能正确地反映 I/O 口的输入/输出的真实情况。

8) 单片机内集成有模拟比较器, 可组成廉价的 A/D 转换器。

9) 像 8051 一样, 有多个固定中断向量入口地址, 可快速地响应中断, 而不是像 PIC 一样所有中断都在同一向量地址, 需要通过程序判别后才可响应, 这会浪费且失去最佳控制时机。

10) 与 PIC 单片机一样, 带有可设置的启动复位延时计数器。AVR 单片机内部有电源上电启动计数器, 当系统 RESET 复位上电后, 利用内部的 RC 看门狗定时器, 可延迟 MCU 正式开始读取指令执行程序的时间。这种延时启动的特性, 可使 MCU 在系统电源、外部电路达到稳定后再正式开始执行程序, 提高了系统工作的可靠性, 同时也可节省外加的复位延时电路。

11) 具有多种不同方式的休眠省电功能和低功耗的工作方式。

12) 许多 AVR 单片机具有内部的 RC 振荡器, 提供 1MHz/2MHz/4MHz/8MHz 的工作时钟, 使该类单片机无需外加时钟电路元器件即可工作, 非常简单和方便。

13) 有多个带预分频器的 8 位和 16 位功能强大的计数器/定时器 (C/T), 除了实现普通的定时和计数功能外, 还具有输入捕获、产生 PWM 输出等更多的功能。

14) 性能优良的串行同步/异步通信 USART 口, 不占用定时器, 可实现高速同步/异步通信。

15) MEGA 8515 及 MEGA 128 等芯片具有可并行扩展的外部接口, 扩展能力达 64KB。

16) 工作电压范围宽 (2.7 ~ 6.0)V, 具有系统电源低电压检测功能, 电源抗干扰性能强。

17) 有多通道的 10 位 A/D 接口及实时时钟 (RTC)。许多 AVR 芯片内部集成了 8 路 10 位 A/D 接口, 如 MEGA 8、MEGA 16、MEGA 8535 等。

AVR 单片机还在片内集成了可擦写 10 万次的 EEPROM 数据存储单元, 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。

1.3.3 AVR 单片机最小系统

学过 MCS-51 系列单片机的读者应该知道，要使单片机工作则必须保证单片机自身最小系统电路的完整。以大家熟知的 MCS-51 系列单片机为例，它的硬件最小系统包括：电源、晶振、复位电路，有了这些硬件电路支持，单片机才有可能正常运行，甚至 MCS-51 系列单片机要使用 P0 口时还要外接上拉电阻。相比之下，AVR 系列单片机比 MCS-51 则要简单得多，因为 AVR 系列单片机有完善的内部模块电路及熔丝。AVR 系列单片机内部都有复位电路、RC 振荡电路，因此在一般使用中最小系统基本不用外围电路，只要给它供电就能独立工作。AVR 单片机内部 RC 振荡器可以给系统提供时钟信号，且这个振荡频率可以通过修改熔丝位来改变频率高低，一般 AVR 系列单片机在出厂时把熔丝位统一设成内部 1MHz 的 RC 振荡。由此可知，在实验中 AVR 单片机的硬件最小系统基本不用再加其他硬件电路。