

主编 冀常鹏



AVR单片机 GSM/GPRS

AVR DANPIANJI
GSM/GPRS
YINGYONG JISHU

应用技术



国防工业出版社

National Defense Industry Press

AVR 单片机 GSM/GPRS 应用技术

主 编 冀常鹏

副主编 刘 超 刘建辉

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书从单片机无线嵌入式应用的角度出发,较为详细地介绍了 AVR 单片机的系统结构、ICCAVR 开发环境、使用方法和基于 GSM/GPRS 通信模块的 AVR 单片机无线嵌入式应用技术。书中通过若干典型案例给出了系统设计方法、硬件原理和程序代码。其过程具体,阐述清晰,以期提高读者的应用开发能力。

本书内容新颖、实例充分、代码丰富、详略得当,并兼顾了教学、科研和实际工程设计的需要,可操作性强。本书可作为高等学校计算机、自动化、电子及相关专业研究生和本科生的选修课教材,亦可供从事 AVR 单片机开发的科研设计人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

AVR 单片机 GSM/GPRS 应用技术/冀常鹏主编. —北京:
国防工业出版社, 2011. 7
ISBN 978-7-118-07560-1

I. ①A... II. ①冀... III. ①单片微型计算机, AVR
IV. ①TP368. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 145268 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 14½ 字数 332 千字

2011 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

追溯到 20 世纪 90 年代末,美国 Atmel 公司挪威设计中心的 Mr. A 和 Mr. V,利用 Atmel 公司的 Flash 新技术,共同研发了 RISC 高速 8 位单片机,简称 AVR。

AVR 单片机一经问世,以其高性能、高性价比的优势立刻风靡全球,由此引发了 AVR 应用的研究热潮。十几年来在各个领域不断应用渗透,持之以恒,热度不减。而在 AVR 单片机的诸多应用中,AVR 与 GSM/GPRS 移动通信的完美结合形成了如今的无线嵌入式应用技术。

嵌入式与无线通信相结合的技术是一门新兴技术,该项技术同时具备了嵌入式的低功耗和移动通信的便捷性,使之广泛地应用于远程数据采集传输、图像数据采集传输、集群车辆定位导航、防盗监控、水电流量监控等。该技术应用之广、领域之宽已远远超出了人们的想象,因此,将我们的工作与实践经验编写成书,献给读者,与大家分享。

本书力求深入浅出,注重实际。从应用的角度出发,以 AVR 单片机 ATmega8L 及 ATmega128L 为例详细地介绍了 AVR 系列 MCU 的内核结构,ICCAVR 集成开发环境,系统开发方法;GSM/GPRS 无线通信模块 CPU 硬件模块结构,接口原理以及 ATmega128L 与 TC35I、M590、GPRS 模块共同实现短信及 GPRS 数据的交换过程。

书中还较为详细地描述了 AVR 单片机在 GSM 电力设备防盗中的应用和 AVR 单片机 GPRS 电力负荷监控中的应用实例,主要包括系统构成、工作原理、M590 GSM/GPRS 模块相关内容与设计方法,同时,给出了 M590 GPRS-DTU 应用电路原理图及相应程序代码。最后,对上位机软件设计方法进行简单描述。

同时,书中还介绍了 AVR 单片机智能家居监控系统的结构和工作原理,并以一章的内容给出了 AVR 单片机嵌入式 Web 应用原理,主要包括系统构成、AVR 接口原理、RTL8019AS 网络模块、62556 外存模块、RS232 串行通信相关内容与设计方法,同时,还介绍了嵌入式 Web 服务器中 TCP/IP、Nut/OS RTOS 的相关内容。

最后,本书阐述了实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ RTOS 在 AVR 单片机上的应用设计,包括 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 内核在 AVR 单片机 ATmega128L 上的移植和 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 应用程序设计。

全书共分 10 章,由冀常鹏任主编,刘超、刘建辉任副主编。冀常鹏编写第 8、9 章,刘超编写第 4、7 章,刘建辉编写第 5 章,崔彩峰编写第 2、3 章,叶静编写第 1、6、10 章。最后,全书经刘建辉修改、定稿。

本书在编写过程中得到了深圳有方科技公司蒲义康、马威的大力支持及电子与信息研究所湛美琼、高莱给予的无私帮助,谨此致谢。

限于作者水平,书中不当之处,望读者不吝赐教。

编 者

2011 年 5 月于葫芦岛

目 录

第 1 章 AVR 单片机无线嵌入式应用概述	1
1.1 AVR 单片机简介	1
1.2 GSM 移动通信网络	2
1.3 GPRS 移动通信网络	3
1.4 AVR 单片机无线嵌入式应用	4
第 2 章 AVR 单片机系统结构	5
2.1 AVR CPU 内核	5
2.1.1 ATmega8L CPU 内核	5
2.1.2 ATmega128L CPU 内核	6
2.2 AVR 存储器	6
2.2.1 ATmega8L 存储器	6
2.2.2 ATmega128L 存储器	10
2.3 系统时钟	12
2.3.1 ATmega8L 的系统时钟	12
2.3.2 ATmega128L 的系统时钟	16
2.4 电源管理及睡眠模式	16
2.4.1 ATmega8L 系统时钟	16
2.4.2 ATmega128L 系统时钟	19
2.5 系统控制与复位	19
2.5.1 ATmega8L 系统控制与复位	19
2.5.2 ATmega128L 系统控制与复位	21
2.6 系统中断	22
2.6.1 ATmega8L 系统中断	22
2.6.2 ATmega128L 系统中断	23
2.7 定时器与 USART	24
2.7.1 ATmega8L 定时器与 USART	24
2.7.2 ATmega128L 定时器与 USART	30
第 3 章 TC35I 无线 CPU 硬件结构	33
3.1 TC35I 概述	33
3.2 TC35I 应用接口	34
3.3 TC35I 电源管理	35

3.4	充电控制	35
3.5	节电控制	36
3.6	串口接口	36
3.7	SIM 卡接口	37
3.8	控制信号	38
3.9	RF 接口	40
第 4 章	ICCAVR 集成开发环境	41
4.1	集成开发环境 ICCAVR 简介	41
4.2	ICCAVR IDE 说明	46
4.2.1	菜单栏	46
4.2.2	工具栏	50
4.2.3	窗口区	51
4.3	ICCAVR 设置	52
4.4	创建一个工程项目	57
4.5	ICCAVR 库文件	60
4.5.1	寄存器头文件	60
4.5.2	字符头文件	60
4.5.3	宏定义头文件	62
4.5.4	标准输入/输出头文件	62
4.5.5	数学运算头文件	62
4.6	ICCAVR 硬件访问 C 编程	63
4.6.1	位操作	63
4.6.2	UART 操作	63
4.6.3	E ² PROM 操作	66
4.6.4	中断操作	66
第 5 章	AVR 单片机在 GSM 电力设备防盗中的应用	71
5.1	概述	71
5.2	系统构成及工作原理	71
5.2.1	系统构成	71
5.2.2	系统工作原理	72
5.3	GSM—DTU 硬件设计	74
5.3.1	电源电路设计	74
5.3.2	振动传感器电路设计	75
5.3.3	电压互感器及人体检测电路设计	76
5.3.4	时钟芯片电路设计	77
5.4	GSM—DTU 软件设计	78
5.4.1	短信收发控制软件设计	78

5.4.2	电压检测软件设计	84
5.4.3	外围传感器检测软件设计	102
5.4.4	时钟芯片操作软件设计	111
5.5	上位机系统设计	124
5.5.1	功能简介及开发环境	125
5.5.2	系统设计	125
5.6	上位机软件设计	126
第 6 章	MC39I 无线 CPU 硬件结构	127
6.1	MC39I 概述	127
6.2	MC39I 应用接口	128
6.3	MC39I 电源管理	129
6.4	节电控制	130
6.5	串口接口、SIM 卡接口、控制信号、RF 接口	130
第 7 章	AVR 单片机 GPRS 在电力负荷监控中的应用	131
7.1	概述	131
7.2	系统构成及工作原理	131
7.3	GPRS-DTU 设计	132
7.3.1	GPRS 模块选择与应用简介	132
7.3.2	M590 模块 GPRS 通信 AT 命令简介	135
7.4	GPRS-DTU 软件设计	139
7.5	上位机系统设计	162
第 8 章	AVR 单片机智能家居监控	163
8.1	概述	163
8.2	智能家居常用传感器	163
8.3	智能家居系统构成及工作原理	163
8.3.1	系统构成	163
8.3.2	系统工作原理	164
8.4	家居安防硬件设计	165
8.4.1	电源电路设计	165
8.4.2	红外传感器电路设计	165
8.4.3	CO 检测电路设计	165
8.4.4	时钟芯片电路设计	166
8.5	家居安防软件设计	166
8.5.1	红外、微波与 CO 传感器检测软件设计	166
8.5.2	时钟操作软件设计	166
8.5.3	短信收发软件设计	166
8.6	家居安防系统安装指南	166

第 9 章 AVR 单片机嵌入式 Web 应用	168
9.1 概述	168
9.2 嵌入式 Web 服务器硬件设计	169
9.2.1 单片机 ATmega128L	170
9.2.2 网络控制芯片 RTL8019AS	170
9.2.3 外部数据存储器 62256	171
9.2.4 ATmega128L 硬件电路设计	171
9.2.5 RTL8019AS 硬件电路设计	173
9.2.6 RS-232 串行通信接口	174
9.3 嵌入式 Web 服务器软件设计	175
9.3.1 TCP/IP 协议简介与实现	175
9.3.2 Nut/OS 实时操作系统	183
9.4 嵌入式 Web 服务器设计	188
9.4.1 RTL8019AS 驱动设计	188
9.4.2 HTTP 协议	192
9.4.3 HTML 语言	195
9.4.4 动态网页的实现	196
9.5 系统实现与验证	199
9.5.1 系统主程序的实现	199
9.5.2 系统测试	200
第 10 章 μC/OS-II RTOS 在 AVR 单片机上的应用	205
10.1 概述	205
10.2 μ C/OS-II 在 AVR 单片机上的移植	206
10.2.1 ATmega128L 内核结构	206
10.2.2 ATmega128L 存储器结构	207
10.2.3 μ C/OS-II 的移植	208
10.2.4 μ C/OS-II 应用程序设计	221
参考文献	224

第 1 章 AVR 单片机无线嵌入式应用概述

目前, 各行业对无线通信的需求越来越多, 能够无线接入互联网是最重要的需求之一。随着信息技术的飞速发展, 嵌入式系统也正在迅速、广泛地应用于工业、服务业和消费电子业。

AVR 单片机相比常用的 MCS51 系列单片机具备突出的优点, 使其在无线应用领域中异军突起。其公认优点可归纳为以下几点。

(1) 对外部时钟晶振不分频, 用一个时钟周期来执行一条指令, 指令执行速度可达 1MIPS/MHz。

(2) 采用哈佛总线结构, 处理器可直接访问全部程序存储器和数据存储器。

(3) 采用高密度、非易失性存储器及长寿命 E²PROM, 全部产品支持在系统编程 (In System Programming, ISP)。

(4) 集成 RC 内部振荡器、上电自动复位、看门狗、启动延时等功能器件, 零外围电路也可以工作。

(5) 每个 I/O 口内部全部带可设置的上拉电阻, 可以推挽驱动的方式输出高、低电平及高阻态, 驱动能力强。

(6) 具有五种省电休眠模式, 功耗极低, 且可宽电压运行 (2.7V~5V), 抗干扰能力强。

(7) 内部资源丰富, 一般都集成 A/D、D/A、PWM 控制器、SPI、USART、TWI、I²C 通信接口, 中断源丰富。

综上所述, AVR 单片机具备高可靠性、功能强、高速度、低功耗等特点, 非常适合用于对功耗和抗干扰有较高要求的无线嵌入式领域。

1.1 AVR 单片机简介

AVR 单片机是 Atmel 公司 1997 年推出的 RISC (精简指令系统计算机) 单片机。RISC 是相对于 CISC (复杂指令系统计算机) 而言的。AVR 单片机吸收了 DSP 双总线的特点, 采用 Harvard 总线结构, 因此, 单片机的程序存储器和数据存储器是分离的, 并且可对具有相同地址的程序存储器和数据存储器进行独立的寻址。

在 AVR 单片机中, CPU 执行当前指令时取出将要执行的下一条指令放入寄存器中, 从而可以避免传统 MCS51 系列单片机中多指令周期的出现。

传统的 MCS51 系列单片机所有的数据处理都是基于一个累加器的, 因此, 累加器与程序存储器、数据存储器之间的数据转换就成了单片机的瓶颈。在 AVR 单片机中, 寄存器由 32 个通用工作寄存器组成, 并且任何一个寄存器都可以充当累加器, 从而有效地避免了累加器的瓶颈效应, 提高了系统的性能。

AVR 单片机采用低功率、非挥发的 CMOS 工艺制造,除具有低功耗、高密度的特点外,还支持低电压的联机 Flash、E²PROM 写入功能。

目前,支持 AVR 单片机编译器的语言主要有汇编语言、C 语言、BASIC 语言等。其中汇编语言编译器主要是 Atmel 公司出品的 AVR studio 平台,其对汇编语言的支持和系统的调试功能有着出色的表现;同时,C 语言编译器主要有 CodeVisionAVR、AVRGCC、IAR、ICCAVR 等,C 语言编译器由于它具有功能强大、运用灵活、代码可读性好的优点,使得它在专业程序设计上具有不可代替的地位。对单片机用高级语言编程可很容易地实现系统移植,并加快软件的开发过程。

AVR 单片机系列齐全,可适用于各种不同场合的要求。AVR 单片机除了常用的 ATmega(高端)系列外,还有 ATtiny(低端)和 AT90(中端)系列产品。

1.2 GSM 移动通信网络

全球移动通信系统(Global System for Mobile Communication, GSM)移动通信网络是由欧洲的标准化委员会设计的,又称蜂窝移动通信,蜂窝移动通信采用蜂窝无线组网方式,在终端和网络设备之间通过无线通道连接起来,进而实现用户在活动中可相互通信。其主要特征是终端的移动性,并具有越区切换和跨本地网自动漫游功能。

蜂窝移动通信业务是指经过由基站子系统和移动交换子系统等设备组成蜂窝移动通信网提供的话音、数据等业务。

目前,用户使用较多的 GSM 网络有 900/1800MHz 频段,属于第二代数字蜂窝移动通信业务,与码分多址接入(Code Division Multiple Access, CDMA)网络属于同一代通信业务。主要用于提供语音和数据业务。GSM 移动通信系统的无线接口采用时分多址接入(Time Division Multiple Access, TDMA)技术,核心网移动性管理协议采用 MAP 协议。

因此,GSM 移动通信系统是一种典型的基于 TDMA 的数字蜂窝移动通信系统,GSM 系统总体结构由移动台、基站系统、交换系统、操作支持系统等功能单元组成(图 1-1)。

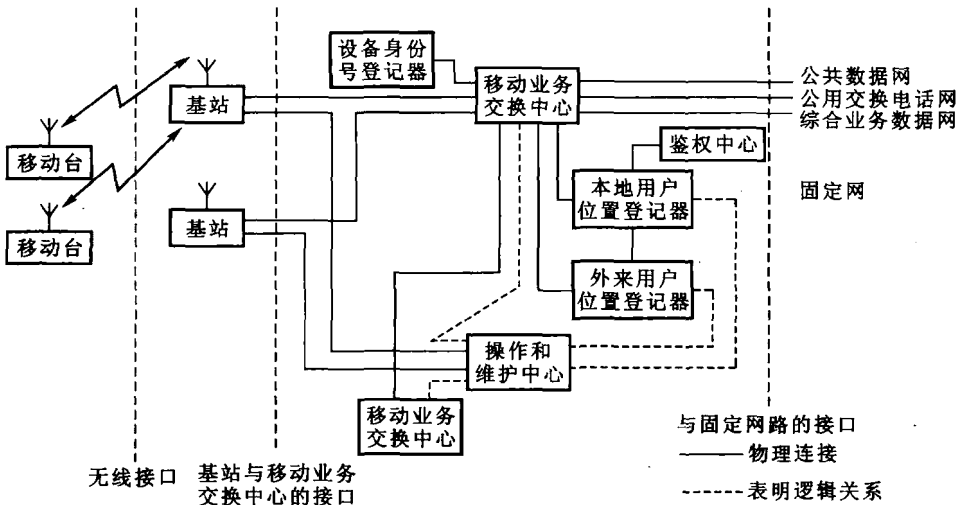


图 1-1 GSM 网络工作原理图

1. 移动台

它包括移动设备 (ME) 和用户识别模块 (SIM)。根据业务的状况, 移动设备可包括移动终端 (MT)、终端适配功能 (TAF) 和终端设备 (TE) 等功能部件, 根据携带方式不同可分为车载台、便携台和手持台等几类。

移动台设备本身由一个独特的国际移动设备身份号 (IMEI) 来区别。当移动台被一个用户使用, 它还有一个国际移动用户身份号 (IMSI)。

我们普遍使用的手机内部均带有 IMEI 号码, 感兴趣的读者可以拿出手机输入 “*#06#”, 即可看到手机的 IMEI 号码, 如果把手机电池拿出, 会看到手机被电池遮挡住的入网许可证标签上, 会标明一个 IMEI 号码, 手机显示的 IMEI 号码应与该号码及手机外包装箱标签上的 IMEI 号码完全一致。而 IMSI 号码一般是做在 SIM 模块即 SIM 卡内的。

2. 基站系统

它包含两部分: 基站控制器 (BSC) 和基站收发信机 (BTS)。通常交换系统中的一个移动业务交换中心监控一个或多个 BSC, 每个 BSC 控制多个 BTS。

BSC 主要负责系统与无线信道的切换、无线网络资源管理等。

BTS 包括无线传输所需的各种硬件和软件, 如发射机、接收机、天馈线等。

通俗地说, BTS 就是移动通信运营商所搭建的通信铁塔, BSC 就是铁塔下的那个控制房; 基站就是指的这两者。

3. 交换系统

该系统包括移动业务交换中心 (MSC)、归属位置寄存器 (HLR)、访问位置寄存器 (VLR)、设备身份寄存器 (EIR)、鉴权中心 (AUC) 及操作和维护中心 (OMC) 等部分。

MSC 对位于本身控制区域内的移动用户进行通信控制和管理; HLR 用于管理移动用户 (本地用户) 的主要数据库; VLR 用于存储用户 (漫游用户) 来访位置信息的数据库; EIR 利用设备身份寄存器防止非法使用未经许可的移动设备入网; AUC 与原位置寄存器连接在一起, 为 HLR 提供一个与用户有关的并用于安全方面的鉴别参数和加密密钥; OMC 对整个网络进行监控和操作。

综上所述, GSM 移动通信网络较为适合纯文本形式的无线嵌入式应用。

1.3 GPRS 移动通信网络

通用分组无线业务 (General Packet Radio Service, GPRS) 与 GSM 系统相比较有两个重要特点: 一是在 GPRS 系统中引入分组交换能力; 二是将传输速率提高到 100kb/s 以上, GPRS 的理论传输速率达 172kb/s 。它是基于 GSM 的移动分组数据业务, 面向用户提供移动分组的 IP 连接。因此, GPRS 技术也称二代半 (2.5G) 技术。

GPRS 系统相比 GSM 网络有着明显的优点。

1. 速率高

由于 GPRS 能够提供的理论传输速率可达 172kb/s , 这改变了传统的单一文本 (ASCII 和 UNICODE) 形式的数据传输, 使得话音、图片和视频等多媒体业务兴起, 可以进行各种娱乐休闲, 如移动 QQ、飞信、在线游戏、音乐下载等附加业务的出现, 极大

地提高了无线网络的利用率。

2. 永远在线

只要激活 GPRS 应用后, 将永远保持在线, 不存在掉线问题。

当 GPRS 设备访问互联网时, GPRS 设备就在无线信道上发送和接收数据。若没有数据传送时, 设备就进入休眠状态, 所在的无线信道会让给其他用户使用, 但 GPRS 设备与网络之间仍保持着逻辑连接, 一旦用户再次访问, GPRS 设备立即通过无线信令通道向网络请求可用信道, 由于采用分组服务, 不需要长时间建立连接过程, 登录快速, 不必像普通拨号上网那样断线及重新拨号上网。

3. 按流量计费

只有产生通信流量时才计费, 是一种面向使用的计费, 计费方式更加科学合理。只要用户不在网络之间传输数据, 即使一直“在线”, 也不需要付费。

因此, GPRS 移动通信网络较为适合多媒体形式即视、音频结合的无线嵌入式应用。

同时, 作为由 2.5G 移动通信到 3G (第 3 代) 移动通信的过渡性技术方案, GSM 增强数据率演进版本 (Enhanced Data rates for GSM Evolution, EDGE) 技术的应用使得人们对多媒体数据的传输有了更多的选择, 这种技术能够充分利用现有的 GSM 资源。它除了使用现有的 GSM 频率外, 还利用大部分现有的 GSM 设备, 只需要对网络软件及硬件做一些较小的改动, 就可使运营商向移动用户提供互联网浏览、高速 E-mail 及数据下载等无线多媒体服务。由于 EDGE 是一种介于现有的第二代移动网络与第三代移动网络之间的过渡技术, 性能比 2.5G 的 GPRS 更加优良, 因此 EDGE 网络称为 2.75G 技术。目前, EDGE 数据传输设备也逐渐地出现在市场上, 为无线嵌入式应用提供了一个较为高端的平台。

1.4 AVR 单片机无线嵌入式应用

无线嵌入式应用主要指基于无线传输方式的嵌入式应用, 包括无线数据传输系统、无线传感器网络及目前较为流行的无线智能家居系统。

由于 AVR 单片机具备高可靠性、功能强、高速度、低功耗等特点, 较为适合无线嵌入式应用系统。

目前, 众多的无线嵌入式应用系统均采用 AVR 单片机作为其控制芯片, 基于 Zigbee 的数据传输系统、智能家居的各分控制器、无线传感器网络的节点控制器等都会见到 AVR 的身影。

本书将以 AVR 系列单片机为例, 展示一个基于 GSM 和 GPRS 的产品及其研发的全过程。

第2章 AVR 单片机系统结构

AVR 单片机品种多样, 使用灵活, 较为常用的 AVR 单片机以 ATmega 系列居多, ATmega 单片机片上资源丰富, 使用方便, 无外围器件也可运行, 大大缩短了开发周期, 价格相对适中。本章以 ATmega8L 及 ATmega128L 为例, 介绍 AVR 单片机的系统结构。

2.1 AVR CPU 内核

2.1.1 ATmega8L CPU 内核

CPU 的主要任务是保证程序的正确执行，因此，它必须能够访问存储器、执行运算、控制外设及处理中断。

如图 2-1 所示, 为了获得最高的性能以及并行性, AVR 采用了 Harvard 结构, 具有

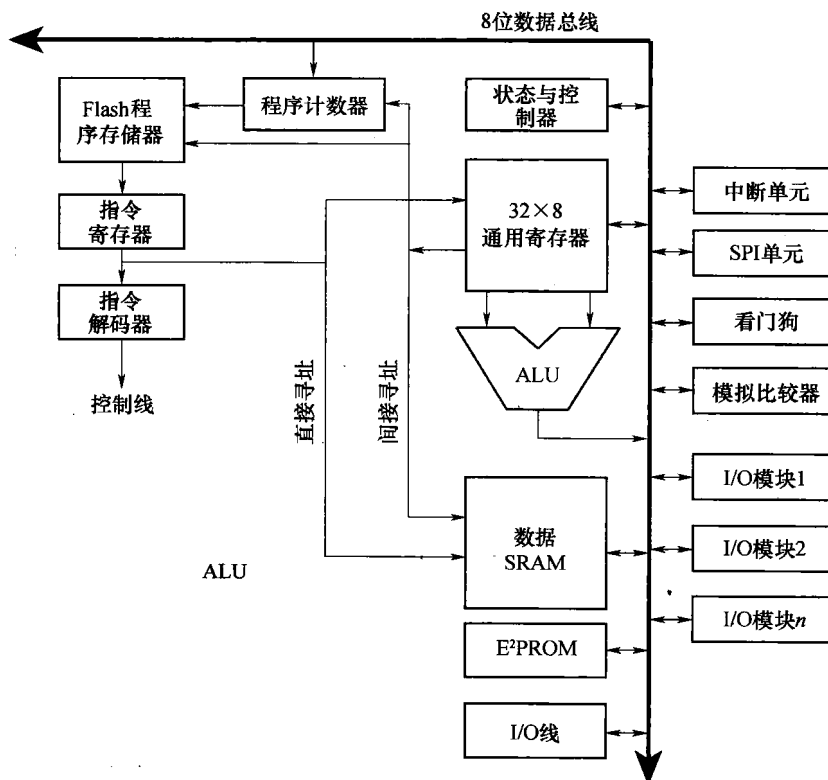


图 2-1 ATmega8L CPU 结构的方框图

独立的数据和程序总线。程序存储器里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指令（本书称为预取）。这个概念实现了指令的单时钟周期运行。程序存储器是可以在线编程的 Flash。快速访问寄存器文件包括 32 个 8 位通用工作寄存器，访问时间为一个时钟周期。从而实现了单时钟周期的算术逻辑单元（ALU）操作。在典型的 ALU 操作中，两个位于寄存器文件中的操作数同时被访问，然后执行运算，结果再被送回到寄存器文件。整个过程仅需一个时钟周期。寄存器文件里有 6 个寄存器可以用来做 3 个 16 位的间接寻址寄存器指针以寻址数据空间，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。这些附加的功能寄存器即为 16 位的 X、Y、Z 寄存器。

ALU 支持寄存器之间及寄存器和常数之间的算术和逻辑运算。ALU 也可以执行单寄存器操作。运算完成之后状态寄存器的内容得到更新以反映操作结果。程序流程通过有/无条件的跳转指令和调用指令来控制，从而直接寻址整个地址空间。大多数指令长度为 16 位，亦即每个程序存储器地址都包含一条 16 位或 32 位的指令。

程序存储器空间分为两个区：引导程序区（Boot 区）和应用程序区。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。

在中断和调用子程序时返回地址的程序计数器（PC）保存于堆栈之中。堆栈位于通用数据 SRAM，因此，其深度仅受限于 SRAM 的大小。在复位程序里，用户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。数据 SRAM 可以通过 5 种不同的寻址模式进行访问。

AVR 存储器空间为线性的平面结构。

AVR 有一个灵活的中断模块。控制寄存器位于 I/O 空间。状态寄存器里有全局中断使能位。

每个中断在中断向量表里都有独立的中断向量。各个中断的优先级与其在中断向量表的位置有关，中断向量地址越低，优先级越高。

I/O 存储器空间包含 64 个可以直接寻址的地址，作为 CPU 外设的控制寄存器、SPI 及其他 I/O 功能。映射到数据空间即为寄存器文件之后的地址 0x20~0x5F。

2.1.2 ATmega128L CPU 内核

ATmega128L CPU 内核基本结构与 ATmega8L CPU 内核基本相同。与 ATmega8L 不同的是，ATmega128L 的 I/O 空间包含 64 个可以直接寻址的地址。映射到数据空间即为寄存器文件之后的地址 \$20~\$5F。此外，ATmega128L 在 SRAM 里还有扩展的 I/O 空间，位于地址 \$60~\$FF。但是只能使用 ST/STS/STD 和 LD/LDS/LDD 指令。

2.2 AVR 存储器

2.2.1 ATmega8L 存储器

AVR 结构具有两个主要的存储器空间：数据存储器空间和程序存储器空间。此外，

ATmega8L 还有 E²PROM 存储器以保存数据。这三个存储器空间都为线性的平面结构。

1. Flash 程序存储器

ATmega8L 具有 8KB 的在线编程 Flash（程序存储器映像如图 2-2 所示），用于存放程序指令代码。因为所有的 AVR 指令为 16 位或 32 位，故而 Flash 组织成 4K×16 位的形式。用户程序的安全性要根据 Flash 程序存储器的两个区：引导程序区（Boot 区）和应用程序区，分开来考虑。

Flash 存储器至少可以擦写 10000 次。ATmega8L 的程序计数器（PC）为 12 位，因此可以寻址 4KB 的程序存储器空间。

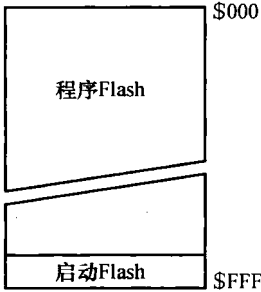


图 2-2 程序存储器映像

2. SRAM 数据存储器

SRAM 数据存储器如图 2-3 所示。

前 1120 个数据存储器包括寄存器文件、I/O 存储器及内部数据 SRAM。起始的 96 个地址为寄存器文件与 I/O 存储器，接着是 1024B 的内部数据 SRAM。



图 2-3 数据存储器映像

数据存储器的寻址方式分为 5 种：直接寻址、带偏移量的间接寻址、间接寻址、带预减量的间接寻址和带后增量的间接寻址。寄存器文件中的寄存器 R26~R31 为间接寻址的指针寄存器。

直接寻址范围可达整个数据区。带偏移量的间接寻址模式能够寻址到由寄存器 Y 和 Z 给定的基址附近的 63 个地址。在自动预减和后加的间接寻址模式中，寄存器 X、Y 和 Z 自动增加或减少。

ATmega8L 的全部 32 个通用寄存器、64 个 I/O 寄存器及 1024B 的内部数据 SRAM，可以通过所有上述的寻址模式进行访问。对偏上 SRAM 的访问时序如图 2-4 所示。

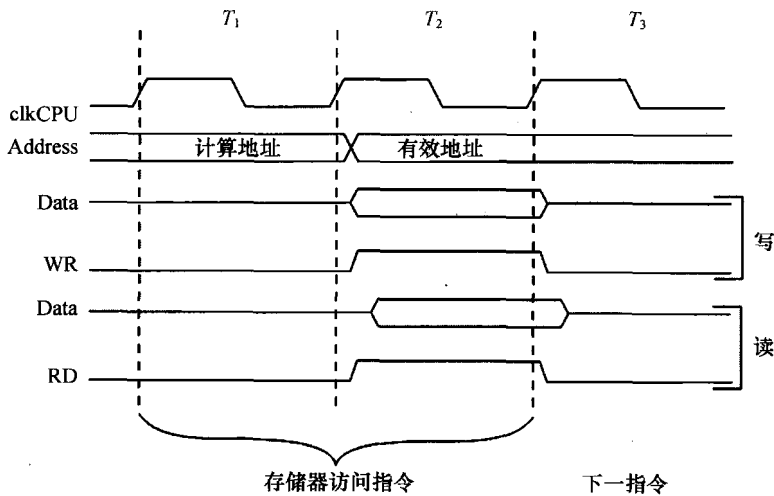


图 2-4 偏上 SRAM 的访问时序

3. E²PROM 数据存储器

ATmega8L 包含 512B 的 E²PROM 数据存储器。它是作为一个独立的数据空间而存在的，可以按字节读写。E²PROM 的寿命至少为 100000 次擦除周期。E²PROM 的访问由地址寄存器、数据寄存器和控制寄存器决定。

1) E²PROM 读/写访问

E²PROM 的访问寄存器位于 I/O 空间。

E²PROM 的写访问时间由表 2-1 给出。自定时功能可以让用户软件监测何时可以开始写下一字节。用户操作 E²PROM 需要注意如下问题：在电源滤波时间常数比较大的电路中，上电/下电时 V_{CC} 上升/下降速度会比较慢。此时 CPU 可能工作于低于晶振所要求的电源电压。

为了防止无意间对 E²PROM 的写操作，需要执行一个特定的写时序。具体设置参见下面 E²PROM 控制寄存器的内容。

执行 E²PROM 读操作时，CPU 会停止工作 4 个周期，然后再执行后续指令；执行 E²PROM 写操作时，CPU 会停止工作 2 个周期，然后再执行后续指令。