

单片机程序架构

DANPIANJI CHENGXU JIAGOU
ДАНПІАНДЖІ ЧЕНГХУ ІІАГОУ

孟洪兵 白铁成 著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

单片机程序架构

孟洪兵 白铁成 著

北京邮电大学出版社
· 北京 ·

内 容 提 要

本书共分8章。第1章介绍了当前主流单片机的发展历程及它们各自的特点,抛开单片机枯燥的知识,用尽可能少的篇幅,列出掌握单片机开发必备的软硬件知识点;第2章通过单片机常用的按键处理程序引入了程序实时性概念;第3章介绍了模块化编程和分层编程的思想,为后续章节打下基础;第4章重点介绍了单片机的各类程序架构,进行了特点分析,引入了单片机操作系统的概念;第5章通过多功能数字钟实例介绍了提高单片机实时性的方法;第6章介绍了51单片机操作系统开发入门;第7章介绍了C/C++语言编程规范,方便程序的交流和共享;第8章介绍了单片机项目开发流程和规范,在单片机的工程应用中具有较强的实用性。本书可以作为大专院校单片机课程教学实验的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机程序架构 / 孟洪兵, 白铁成著. — 北京: 北京邮电大学出版社, 2019. 5

ISBN 978-7-5635-5651-9

I. ①单… II. ①孟… ②白… III. ①单片微型计算机—程序设计 IV. ①TP368.1

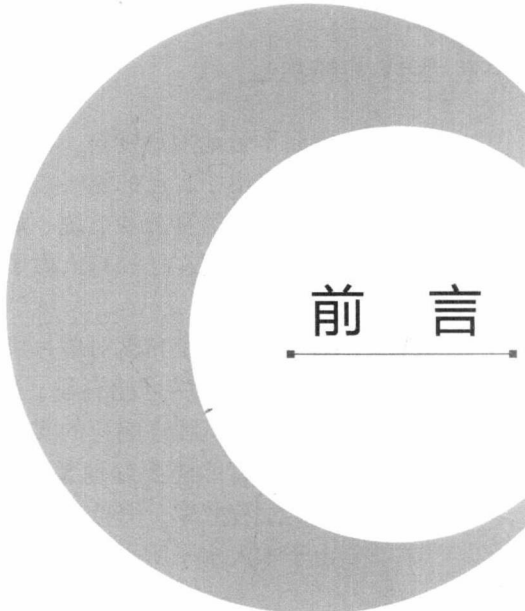
中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第289051号

-
- | | |
|------|--|
| 书 名 | 单片机程序架构 |
| 著 者 | 孟洪兵 白铁成 |
| 责任编辑 | 马 飞 |
| 出版发行 | 北京邮电大学出版社 |
| 社 址 | 北京市海淀区西土城路10号(100876) |
| 电话传真 | 010-82333010 62282185(发行部) 010-82333009 62283578(传真) |
| 网 址 | www. buptpress3. com |
| 电子信箱 | ctrld@ buptpress. com |
| 经 销 | 各地新华书店 |
| 印 刷 | 北京建宏印刷有限公司 |
| 开 本 | 787 mm×960 mm 1/16 |
| 印 张 | 15. 75 |
| 字 数 | 291 千字 |
| 版 次 | 2019年5月第1版 2019年5月第1次印刷 |
-

ISBN 978-7-5635-5651-9

定价: 89.00 元

如有质量问题请与发行部联系
版权所有 侵权必究



前言

随着科技的发展，单片机的应用越来越广泛，单片机的功能也越来越强大。当然，比起当前流行的 ARM、DSP、FPGA，单片机还显得不够“高档”，但其应用的广泛性却超过这三门技术的总和。

在学习单片机的过程中慢慢发现：能够从身边的书籍或网络中找到的大部分的单片机资料都差不多，或者说是只适合理论教学所需。铺天盖地的单片机资料中大部分是从流水灯讲起，止步于 LED、液晶，提供的例程都差不多。这些例程功能相对单一，每次完成一个任务都只是做功能性的演示。尽管已经问世了很多年，单片机技术的封锁依然很普遍，有价值的资料还是相当欠缺，大部分的资料都是止于入门阶段或者简单的演示实验，距离实际工程应用依然有一定的距离。

在实际工程应用中，要求单片机完成单个任务的时候很少，一般都要求同时完成多个任务，并且很多时候对任务的实时性也有一定的要求，这就不可避免地会遇到单片机软硬件资源的合理分配问题。这时可以选用高档单片机，因为高档单片机或者拥有丰富的硬件资源和库程序，或者支持操作系统。但是很多时候，高档芯片并不是唯一的选择。从软件上优化程序架构，充分利用现有资源，提升程序的运行效率，同样可以完成高档单片机才能完成的任务。

单片机的应用能力每提高一步，能够获取到的资料就越少一点，而解决某个技术问题需要付出的精力就更多。于是有些人选择了放弃，转移到了其他兴趣上，只有少部分人选择了继续摸索下去。他们首先结合市面上的书籍，然后在网

络上锲而不舍地搜集资料，再从高手的只言片语中去体会，不断地动手实践，慢慢地也摸索出了自己的路子。当然这个过程必然是艰辛的。

单片机各类资源缺乏统一规范，这也造成了其兼容性差，影响了各类资源的交流和共享。现在已经有人做了这方面的工作，但出于商业等原因，还没有一个统一的标准。

本书从另一个角度对单片机进行解读，对单片机原理教程进行补充。从工程应用的角度，用尽可能有趣、新颖的实例，对照讲解多任务下单片机程序的架构，提高单片机程序响应的实时性。书中程序尽量规范化、层次化、模块化，使单片机爱好者能够更好地整理已有程序，通过日积月累，不断丰富自己的库程序，提高编程效率，降低单片机工程的开发成本。

由于本人水平所限，书中错误难免，欢迎大家批评指正。

著 者

目 录

第1章 单片机基础知识 / 1

1.1 主流 MCU 及原始厂商 / 1

- 1.1.1 51 单片机 / 1
- 1.1.2 MSP430 单片机 / 2
- 1.1.3 TMS 单片机 / 3
- 1.1.4 STM32 单片机 / 4
- 1.1.5 PIC 单片机 / 4
- 1.1.6 AVR 单片机 / 5
- 1.1.7 STC 单片机 / 6
- 1.1.8 NXP 单片机 / 7
- 1.1.9 瑞萨单片机 / 8

1.2 单片机选型原则 / 8

- 1.2.1 性能 / 8
- 1.2.2 存储器 / 8
- 1.2.3 运行速度 / 9
- 1.2.4 I/O 口 / 9

1.2.5 定时/计数器 / 9

1.2.6 串行接口 / 10

1.2.7 模拟电路功能 / 10

1.2.8 工作电压、功耗 / 10

1.2.9 封装形式 / 11

1.2.10 抗干扰性能、保密性 / 11

1.2.11 单片机的可开发性 / 11

1.2.12 其他方面 / 12

1.3 51 单片机在国内的发展 / 12

1.4 单片机学习思路 / 14

1.4.1 C51 编程必备基础知识 / 14

1.4.2 单片机硬件必备基础知识 / 14

第2章 按键处理 / 16

2.1 按键识别处理 / 16

2.1.1 按键识别 / 16

- 2.1.2 按键处理流程 / 18
- 2.2 独立按键扫描程序 / 20
- 2.3 键盘的消抖处理程序 / 23
- 2.4 矩阵键盘的处理 / 25
- 2.5 旋转编码开关的处理 / 26
 - 2.5.1 旋转编码开关的工作原理 / 26
 - 2.5.2 旋转编码开关的使用 / 27
 - 2.5.3 旋转编码开关的识别程序 / 27

第3章 单片机模块化编程 / 29

- 3.1 模块化程序编程概述 / 29
 - 3.1.1 模块化的方法 / 29
 - 3.1.2 模块化程序设计的基本原则 / 30
 - 3.1.3 模块化程序设计的优缺点 / 31
 - 3.1.4 模块的功能划分 / 31
- 3.2 单片机模块化编程 / 31
 - 3.2.1 建立头文件步骤 / 33
 - 3.2.2 建立自己的工程模板 / 34
 - 3.2.3 模块化编程方法 / 35
- 3.3 模块化编程的实例 / 38
- 3.4 模块化程序的建议 / 53
- 3.5 分层编程的思想 / 55
 - 3.5.1 单片机的资源分层 / 55
 - 3.5.2 单片机程序分层设计 / 56

第4章 单片机程序架构 / 59

- 4.1 主函数顺序调用 / 59
 - 4.1.1 主函数顺序调用的一般结构 / 60
 - 4.1.2 主函数顺序调用结构的特点 / 61

- 4.2 “界面函数”结构 / 62
 - 4.2.1 界面函数一般结构 / 63
 - 4.2.2 系统结构 / 65
- 4.3 定时器分配任务 / 67
 - 4.3.1 界面函数构成程序的基础框架 / 67
 - 4.3.2 结合定时器编程分析 / 69
 - 4.3.3 任务分割 / 71
 - 4.3.4 定时器分配任务程序结构总结 / 73
- 4.4 占用式与非占用式程序结构 / 75
 - 4.4.1 占用式程序 / 75
 - 4.4.2 占用式程序的缺点及改造 / 76
 - 4.4.3 改造的本质 / 79
 - 4.4.4 非占用式程序结构的优势 / 80
 - 4.4.5 非占用式程序的一般结构 / 81
- 4.5 定时器执行任务 / 82
 - 4.5.1 定时器执行任务的程序结构 / 82
 - 4.5.2 定时器中任务函数的特点 / 84
 - 4.5.3 过程任务的定时器化 / 85
 - 4.5.4 定时器执行任务程序结构总结 / 92
- 4.6 最终目标 / 92
- 4.7 操作系统调度架构 / 93

第5章 单片机的实时系统 / 97

- 5.1 单片机实时性特点 / 97
- 5.2 多个实时性任务调度方法 / 99
 - 5.2.1 单个任务的时间划分 / 99
 - 5.2.2 程序实时性 / 100
- 5.3 单片机实时性规划 / 102
 - 5.3.1 从释放 CPU 开始 / 102
 - 5.3.2 多任务规划 / 105

第6章 51 单片机操作系统开发 / 117

- 6.1 51 单片机操作系统开发问题 / 117
- 6.2 51 单片机操作系统开发思路 / 118
- 6.3 51 单片机操作系统示例 / 120

第7章 C/C++编程规范 / 128

- 7.1 程序的版式 / 128
- 7.2 注释 / 131
- 7.3 标识符命名规则 / 135
- 7.4 可读性 / 137
- 7.5 变量和结构 / 139
- 7.6 函数和过程 / 143
- 7.7 程序效率 / 149
- 7.8 质量保证 / 152
- 7.9 代码编辑、编译、审查 / 158
- 7.10 代码测试、维护 / 159
- 7.11 宏 / 160

第8章 单片机项目开发流程 / 162

- 8.1 项目评估论证阶段 / 162
 - 8.1.1 产品需求调研 / 162
 - 8.1.2 项目方案选择 / 162

- 8.1.3 项目方案论证 / 165
- 8.2 项目实施阶段 / 165
 - 8.2.1 项目方案设计 / 166
 - 8.2.2 项目设计实施 / 169
- 8.3 项目维护阶段 / 171
 - 8.3.1 硬件文档 / 171
 - 8.3.2 软件文档 / 172

附录1 完整的时钟温度计程序 / 173

附录2 C51 的模板化编程 / 201

- 2.1 通用编程模板 / 201
- 2.2 STC 单片机常用函数模板 / 205

附录3 Keil C51 编译器错误 / 225

- 3.1 致命错误 / 225
- 3.2 语法及语义错误 / 227
- 3.3 L51 连接定位器使用错误提示 / 237
 - 3.3.1 L51 警告 / 237
 - 3.3.2 L51 错误 / 238
 - 3.3.3 L51 致命错误 / 240
 - 3.3.4 异常信息 / 243
- 3.4 Keil C51 的极限值 / 243

参考文献 / 244

第 1 章 单片机基础知识

单片机，又称微控制器。由于体积小、使用灵活、成本低、易于产品化、抗干扰能力强、可在各种恶劣环境下可靠工作等特点，广泛应用于各个领域。

1.1 主流 MCU 及原始厂商

单片机诞生于 1971 年，经历了 SCM 即单片微型计算机（single chip micro-computer）阶段、MCU 即微控制器（micro controller unit）阶段、SoC 嵌入式系统（system on chip）的独立发展三大阶段。单片机也由以前的 4 位、8 位、16 位，发展到现在的 32 位甚至 64 位。

表 1-1 MCU 应用领域

4 位	计算器、车用仪表、车用防盗装置、呼叫器、无线电话、CD 播放器、LCD 驱动控制器、儿童玩具、磅秤、充电器、胎压计、温湿度计、遥控器等
8 位	电表、马达控制器、遥控器、传真机、键盘及 USB
16 位	移动电话、仪器仪表、数码相机及数码摄像机
32 位	智能家居、物联网、电机变频控制、安防控制、指纹识别、触摸控制、Modem、GPS、工作站、激光打印机、汽车电子等
64 位	高级工作站、多媒体互动系统、高级电视游乐器、高级终端机等

20 世纪 90 年代后随着消费电子产品大发展，单片机技术得到了巨大提高，相继诞生了一批经过市场考验获得良好口碑的单片机制造厂商，下面是一些 MCU 芯片厂家及其产品介绍。

1.1.1 51 单片机

它来自英特尔公司（Intel Corporation）。它是应用最广泛的 8 位单片机，当

然也是初学者们最容易入门学习的单片机，最早由 Intel 推出。其典型的结构，完善的总线，专用寄存器的集中管理，众多的逻辑位操作功能及面向控制的丰富的指令系统，堪称一代“经典”，为以后其他单片机的发展奠定了基础。Intel 公司生产的 32 位 MCU 是行业中高性能和低功耗的代表产品。

优点：

(1) 从内部的硬件到软件有一套完整的按位操作系统，称作位处理器，处理对象不是字或字节而是位。51 单片机不但能对片内某些特殊功能寄存器的某位进行处理，如传送、置位、清零、测试等，还能进行位的逻辑运算，其功能十分完备，使用起来得心应手。

(2) 同时在片内随机存储器 (RAM) 区间还特别开辟了一个双重功能的地址区间，使用极为灵活，这一功能无疑给使用者提供了极大的方便。

(3) 乘法和除法指令，给编程也带来了便利。很多的八位单片机都不具备乘法功能，作乘法时还需要编上一段程序调用，十分不便。

缺点：

(1) 模数转换 (A/D)、电可擦可编程只读存储器 (EEPROM) 等功能需要靠扩展，加了硬件和软件的负担。

(2) 虽然 I/O 脚使用简单，但高电平时输出能力很弱，这也是 51 系列单片机的最大软肋。

(3) 运行速度过慢，特别是双数据指针，如果改进能给编程带来很大的便利。

(4) 51 系列单片机保护能力很差，很容易烧坏芯片。

应用范围：

目前在教学场合和对性能要求不高的场合被大量采用。

使用最多的器件：8051、89Cxx、89LP 系列。

1.1.2 MSP430 单片机

它来自德州仪器 (Texas Instruments, TI) 公司。德州仪器是全球领先的模拟及数字半导体集成电路 (IC) 设计制造公司。除了提供模拟技术、数字信号处理 (DSP) 以外，TI 在单片机领域也涉入较深，推出一系列的 32 位单片机，其中 Piccolo 系列微处理器最具代表性，号如 C2000 和 F28x 系列。TI 的 MCU 产品线很广，针对不同领域推出了很多系列的产品。

MSP430 系列单片机是德州仪器 1996 年开始推向市场的一种 16 位超低功耗的混合信号处理器，给人们留下的最大的亮点是低功耗而且速度快，汇编语言用起来很灵活，寻址方式很多，指令很少，容易入门。主要是由于针对实际应用需求，把许多模拟电路、数字电路和微处理器集成在一个芯片上，以提供“单

片”解决方案。其迅速发展和应用范围不断扩大，主要是因为有以下优点。

(1) 强大的处理能力。采用了精简指令集 (RISC) 结构，具有丰富的寻址方式 (7 种源操作数寻址、4 种目的操作数寻址)、简洁的 27 条内核指令以及大量的模拟指令；大量的寄存器以及片内数据存储器都可参加多种运算；还有高效的查表处理指令；有较高的处理速度。这些特点保证了可编制出高效率的代码。

(2) 运算速度快。能在 8 MHz 晶体的驱动下，实现 125 ns 的指令周期。16 位的数据宽度、125 ns 的指令周期以及多功能的硬件乘法器 (能实现乘加) 相配合，能实现数字信号处理的某些算法 [如快速傅氏变换 (FFT) 等]。

(3) 超低功耗。MSP430 单片机之所以有超低的功耗，是因为其在降低芯片的电源电压及灵活而可控的运行时钟方面都有其独到之处。电源采用的是 1.8~3.6 V 电压，因而可使其在 1 MHz 的时钟条件下运行时，芯片的电流在 200~400 μA 左右，时钟关断模式的最低电流只有 0.1 μA 。

缺点：

(1) 个人感觉不容易入门，不适合初学者入门，资料相对比较少，只能到官网上去找。

(2) 占的指令空间较大，因为是 16 位单片机，程序以字为单位，有的指令竟然占 6 个字节。虽然程序从表面看简洁，但与 PIC 单片机相比较，空间占用很大。

应用范围：在低功耗及超低功耗的工业场合应用的比较多。

使用最多的器件：MSP430F 系列、MSP430G2 系列、MSP430L09 系列。

1.1.3 TMS 单片机

这里也介绍一下 TMS 系列单片机，虽它不算主流产品。由 TI 推出的 8 位互补金属氧化物半导体 (CMOS) 单片机，具有多种存储模式、外围接口模式，适用于复杂的实时控制场合。虽然它没有 STM32 那么优秀，也没 MSP430 那么张扬，但是 TMS370C 系列单片机提供了先进的外围功能模块及各种芯片的内存配置，具有高性价比的实时系统控制。同时它采用高性能硅栅 CMOS 可擦除可编程只读存储器 (EPROM) 和 EEPROM 技术。低工作功耗 CMOS 技术、宽工作温度范围、噪声抑制，再加上高性能和丰富的片上外设功能，使 TMS370C 系列单片机在汽车电子、工业电机控制、计算机、通信和其他消费领域具有一定的应用。

应用最多的器件：TMS370C256A。

1.1.4 STM32 单片机

意法半导体 (ST Microelectronics) 产品。意法半导体微控制器拥有一个强大的产品阵容, 从稳健的低功耗 8 位单片机 STM8 系列, 到基于各种 ARM Cortex-M0 和 Cortex-M0+、Cortex-M3、Cortex-M4、Cortex-M7 内核的 32 位闪存微控制器 STM32 家族, 为嵌入式产品开发人员提供了丰富的 MCU 选择。同时, 意法半导体还在不断扩大、拓展产品线, 其中包括各种超低功耗单片机系列。

由 ST 厂商推出的 STM32 系列单片机, 是一款性价比超高的系列单片机, 功能极其强大。其基于要求高性能、低成本、低功耗的嵌入式应用专门设计的 ARM Cortex-M 内核, 具有一流的外设: $1\ \mu\text{s}$ 的双 12 位 ADC, 4 Mbit/s 的通用异步通信 (UART), 18 Mbit/s 的串行外设接口 (SPI) 等。在功耗和集成度方面也有不俗的表现, 当然和 MSP430 的功耗比起来是稍微逊色一些的, 但这并不影响工程师们对它的热捧程度。由于其具有简单的结构、易用的工具、强大的功能, 它在行业中赫赫有名。其强大的功能主要表现为以下特点。

(1) 内核: ARM32 位 Cortex-M3 CPU, 最高工作频率为 72 MHz, 1.25 DMIPS (Dhrystone MIPS) /MHz, 单周期乘法和硬件除法。

(2) 存储器: 片上集成 32~512 KB 的 Flash 存储器。6~64 KB 的静态随机存取存储器 (SRAM) 存储器。

(3) 时钟、复位和电源管理: 2.0~3.6 V 的电源和输入输出 (I/O) 接口的驱动电压, 上电复位 (POR)、掉电复位 (PDR) 和可编程的电压探测器 (PVD), 4~16 MHz 的晶振, 内嵌出厂前调校的 8 MHz RC 振荡电路, 内部 40 kHz 的 RC 振荡电路, 用于中央处理器 (CPU) 时钟的锁相环 (PLL), 带校准用于实时时钟 (RTC) 的 32 kHz 的晶振。

(4) 调试模式: 串行调试 (SWD) 和联合测试 (JTAG) 接口, 最多高达 112 个的快速 I/O 端口、多达 11 个定时器和 13 个通信接口。

使用最多的器件: STM32F103 系列、STM32 L1 系列、STM32W 系列。

1.1.5 PIC 单片机

PIC 单片机是微芯科技 (Microchip) 加爱特梅尔 (Atmel) (后者被前者收购) 产品。微芯科技是全球领先的单片机和模拟半导体供应商, Microchip (微芯) 单片机是市场份额增长最快的单片机之一。它的主要产品是 16C 系列 8 位单片机, CPU 采用 RISC 结构, 仅 33 条指令, 运行速度快, 且以低价位著称, 一般单片机价格都在一美元以下。Microchip 单片机没有掩膜产品, 全都是一次性可

编程 (OTP) 器件 (近年已推出 FLASH 型单片机)。Microchip 强调节约成本的最优化设计, 使用量大、档次低、价格敏感的产品。Microchip 公司的 PIC 单片机产品, 其突出的特点是体积小, 功耗低, 精简指令集, 抗干扰性好, 可靠性高, 有较强的模拟接口, 代码保密性好, 大部分芯片有其兼容的 FLASH 程序存储器的芯片。PIC 单片机共分三个级别, 即基本级、中级、高级, 采用哈佛 (Harvard) 双总线结构, 运行速度快, 它能使程序存储器的访问和数据存储器的访问并行处理, 这种指令流水线结构在一个周期内完成两部分工作, 一是执行指令, 二是从程序存储器取出下一条指令。这样总的看来每条指令只需一个周期, 这也是高效率运行的原因之一。此外, PIC 单片机之所以成为一时非常火热的单片机, 是因为它有以下几点。

(1) 具有低工作电压、低功耗、驱动能力强等特点。PIC 系列单片机的 I/O 口是双向的, 其输出电路为 CMOS 互补推挽输出电路。I/O 脚增加了用于设置输入或输出状态的方向寄存器, 从而解决了 51 系列 I/O 脚为高电平时同为输入和输出的状态。

(2) 当置位 1 时为输入状态, 且不管该脚呈高电平或低电平, 对外均呈高阻状态; 置位 0 时为输出状态, 不管该脚为何种电平, 均呈低阻状态, 有相当的驱动能力, 低电平吸入电流达 25 mA, 高电平输出电流可达 20 mA。相对于 51 系列而言, 这是一个很大的优点。

(3) 它可以直接驱动数码管显示, 且外电路简单。它的 A/D 为 10 位, 能满足一般精度要求, 具有在线调试及编程 (ISP) 功能。

但是, PIC 单片机的专用寄存器 (SFR) 并不像 51 系列那样都集中在一个固定的地址区间内 (80~FFH), 而是分散在 4 个地址区间内。只有 5 个专用寄存器 PCL、STATUS、FSR、PCLATH、INTCON 在 4 个存储体内同时出现, 但是在编程过程中, 少不了要与专用寄存器打交道, 需要反复地选择对应的存储体, 也要对状态寄存器 STATUS 的第 6 位 (RP1) 和第 5 位 (RP0) 置位或清零。数据的传送和逻辑运算基本上都需要通过工作寄存器 W (相当于 51 系列的累加器 A) 来进行, 而 51 系列还可以通过寄存器相互之间直接传送, 因而 PIC 单片机的瓶颈现象比 51 系列还要严重。

使用最多的器件是 PIC16F873、PIC16F877。

1.1.6 AVR 单片机

AVR 单片机是 Atmel 公司推出的较为新颖的单片机, 其显著的特点为高性能、高速度、低功耗。它取消机器周期, 以时钟周期为指令周期, 实行流水作业。AVR 单片机指令以字为单位, 且大部分指令都为单周期指令。而单周期既

可执行本指令功能，同时还可完成下一条指令的读取。通常时钟频率用 4~8 MHz，故最短指令执行时间为 250~125 ns。AVR 单片机仍然能够成为最近比较火热的单片机主要是因为以下优点。

(1) AVR 系列没有类似累加器 A 的结构，它主要通过 R16~R31 寄存器来实现累加器 A 的功能。在 AVR 中，没有像 51 系列的数据指针 DPTR，而是由 X（由 R26、R27 组成）、Y（由 R28、R29 组成）、Z（由 R30、R31 组成）三个 16 位的寄存器来完成数据指针的功能（相当于有三组 DPTR），而且还能作后增量或先减量等的运行。而在 51 系列中，所有的逻辑运算都必须在累加器 A 中进行，而 AVR 却可以在任意两个寄存器之间进行，省去了在累加器 A 中的来回折腾，这些都要比 51 系列出色。

(2) AVR 的专用寄存器集中在 00~3F 地址区间，无须像 PIC 那样先进行选存储体的过程，使用起来比 PIC 方便。AVR 的片内 RAM 的地址区间为 0~00DF（AT90S213）和 0060~025F（AT90S8515、AT90S8535），它们占用的是数据空间的地址，这些片内 RAM 仅仅是用来存储数据的，通常不具备通用寄存器的功能。当程序复杂时，通用寄存器 R0~R31 就显得不够用，而 51 系列的通用寄存器多达 128 个（为 AVR 的 4 倍），编程时就不会有这种感觉。

(3) AVR 的 I/O 脚类似 PIC，它也有用来控制输入或输出的方向寄存器，在输出状态下，高电平输出的电流在 10 mA 左右，低电平吸入电流为 20 mA。这点虽不如 PIC，但比 51 系列优秀。

缺点：

(1) 没有位操作，都是以字节形式来控制 and 判断相关寄存器位。

(2) C 语言与 51 的 C 语言在写法上存在很大的差异，这让从 51 单片机开始学习的朋友很不习惯。

(3) 通用寄存器一共有 32 个（R0~R31），前 16 个寄存器（R0~R15）都不能直接与立即数打交道，因而通用性有所下降。而在 51 系列中，它所有的通用寄存器（地址 00~7FH）均可以直接与立即数打交道，显然要优于前者。

使用最多的器件：ATUC64L3U、ATxmega64A1U、AT90S8515。

1.1.7 STC 单片机

STC 单片机是宏晶生产的单时钟/机器周期（1T）的单片机，结合了 51 和 AVR 的优点，虽然功能不及 AVR 那么强大，但是 AVR 具有的功能，STC 基本上具有，同时 STC 单片机是 51 内核，这给以 51 单片机为基础的工程师们提供了极大的方便，省去了学习 AVR 的时间，同时也不失 AVR 的各种功能。

STC 单片机是高速、低功耗、超强抗干扰的新一代 8051 单片机，指令代码

完全兼容传统 8051, 但速度快 8~12 倍, 内部集成 MAX810 专用复位电路, 4 路 PWM, 8 路高速、10 位 A/D 转换, 针对高可靠、低功率, 强干扰场合, 成为继 51 单片机后一个全新系列的单片机。

特点:

(1) 下载烧录程序用串口方便好用, 容易入门, 拥有大量的学习资料及视频, 最著名的是杜老师的那个视频, 好多对单片机有兴趣的朋友都是通过这个视频入门的, 同时具有宽电压 5.5~3.8 V、2.4~3.8 V、低功耗设计, 具有空闲模式、掉电模式(可由外部中断唤醒)。

(2) STC 单片机具有应用编程调试比较方便的特点, 带有 10 位 A/D、内部 EEPROM, 可在 1T/机器周期下工作, 速度是传统 51 单片机的 8~12 倍, 价格也较便宜。

(3) 通道捕获/比较单元。STC12C2052AD 系列为 2 通道, 也可用来再实现 4 个定时器或 4 个外部中断。2 个硬件 16 位定时器, 兼容普通 8051 的定时器。4 路 PCA 还可再实现 4 个定时器。具有硬件看门狗、高速 SPI 通信端口、全双工异步串行口, 兼容普通 8051 的串口。同时还具有先进的指令集结构, 兼容普通 8051 的指令集。

使用最多的器件是 STC12C 系列。

1.1.8 NXP 单片机

恩智浦(NXP)和飞思卡尔(Freescale)(被前者收购)公司的单片机是基于 80C51 内核的单片机, 嵌入了掉电检测、模拟以及片内 RC 振荡器等功能, 这使 51LPC 在高集成度、低成本、低功耗的应用设计中可以满足多方面的性能要求。NXP 的 MCU 几乎都是采用 Cortex-M 系列架构。

Freescale 系列单片机采用哈佛结构和流水线指令结构, 在许多领域内都表现出低成本, 高性能的特点, 它的体系结构为产品的开发节省了大量时间。此外, Freescale 提供了多种集成模块和总线接口, 可以在不同的系统中更灵活地发挥作用。

特点:

(1) 全系列。从低端到高端, 从 8 位到 32 位全系列应有尽有, 其推出的 8 位/32 位管脚兼容的 QE128, 可以从 8 位直接移植到 32 位, 弥补单片机业界 8/32 位兼容架构中缺失的一环。

(2) 多种系统时钟模块, 3 种模块, 7 种工作模式。多种时钟源输入选项, 不同的 MCU 具有不同的时钟产生机制, 可以是 RC 振荡器, 外部时钟或晶振, 也可以是内部时钟, 多数 CPU 同时具有上述 3 种模块。可以运行 FEI、FEE、FBI、FBILP、FBE、FBELP、STOP 这 7 种工作模式。

(3) 多种通信模块接口。Freescale 单片机几乎在内部集成各种通信接口模块, 包括串行通信接口模块(SCI), 多主集成电路(I²C)总线模块, 串行外围

接口模块 (SPI), MSCAN08 控制器模块, 通用串行总线模块 (USB/PS2)。

(4) 具有更多的可选模块。具有液晶显示 (LCD) 驱动模块, 带有温度传感器, 具有超高频发送模块, 含有同步处理器模块, 含有同步处理器的 MCU 还具有屏幕显示模块 (OSD), 还有少数的 MCU 具有响铃检测模块 RING 和双音多频/音调发生器 DMG 模块。

(5) 可靠性高, 抗干扰性强, 多种引脚数和封装选择。

(6) 低功耗。也许 Freescale 系列单片机的功耗没有 MSP430 的低, 但是它具有全静态的“等待”和“停止”两种模式, 从总体上降低了产品功耗。新近推出的几款超低功耗已经与 MSP430 的不相上下。

使用最多的器件: MC9S12G 系列。

1.1.9 瑞萨单片机

瑞萨电子 (Renesas Electronics) 是 MCU 领域的王者, 绝对的领头羊, 它是由瑞萨、NEC、三菱这三家公司组成的 MCU 巨无霸, 在车载电子行业拥有第一的市场份额。它们获得了 ARM 的授权, 不过不是用来做 MCU 的, 而是用来做处理器的, MCU 都是用瑞萨自己的架构, 指令采用哈佛结构。

特点: 低功耗设计, 外国电路少, 安全性高, 高可靠 FLASH 设计, ON-chip 调试。

使用最多的器件: R8C 系列、RL78 系列、H8S 系列、V850 系列。

1.2 单片机选型原则

由于单片机种类繁多, 各种型号都有其一定的应用环境, 因此在选用时要多加比较, 合理选择, 以期获得最佳的性价比。

1.2.1 性能

首先也是最重要的一点就是考虑功能要求, 根据设计任务的复杂程度来选择单片机。

1.2.2 存储器

单片机的存储器可分为程序存储器 (ROM) 和数据存储器 (RAM)。程序存

存储器是专门用来存放程序和常数的，有 MASK（掩模）ROM、OTPROM（一次编程只读内存）、EPROM、FlashROM（快闪存储器）等类型。掩模这种形式的程序存储器适合于成熟的和大批量生产的产品。采用 EPROM 的单片机具有可以灵活修改程序的优点，但存在需要紫外线擦除、较费时间的缺点。在自己做试验或样机的研发阶段，推荐使用 Flash 单片机，它有电写入、电擦除的优点，使得修改程序很方便，可以提高开发速度。对于初具规模的产品可选用 OTP 单片机，它不但能免去较长的产品掩模时间，加快产品的上市时间，而且方便程序的修改，能够对产品进行及时的调整和升级。

程序存储器的容量可根据程序的大小确定。对于 8 位单片机片内程序存储器的最大容量能达到 64 KB。程序存储器的容量只要够用就行了，不然会增加成本。

数据存储器是程序在运行中存放临时数据的，掉电后数据即丢失，现在有些型号的单片机提供了 EEPROM，可用来存储掉电后需要保护的关键数据，如系统的一些设置参数。

1.2.3 运行速度

单片机的运行速度首先看时钟频率，一般情况对于同一种结构的单片机，时钟频率越高则速度越快。其次看单片机 CPU 的结构，采用 CISC 结构（集中指令集）比采用 RISC 结构（精简指令集）的速度要慢。

在选用单片机时要根据需要选择速度，不要片面追求高速度，单片机的稳定性、抗干扰性等参数基本上是跟速度成反比的，另外速度快功耗也大。

1.2.4 I/O 口

I/O（输入/输出）口的数量和功能是选用单片机时首先要考虑的问题之一，要根据实际需要确定 I/O 口的数量，I/O 口多余了不仅芯片的体积增大，也增加成本。

选用时还要考虑 I/O 口的驱动能力，驱动电流大的单片机可以简化外围电路。51 系列的单片机下拉（输出低电平）时驱动电流大，但上拉（输出高电平）时驱动电流很小。而 PIC 和 AVR 系列的单片机每个 I/O 口都可以设置方向，当输出口使用时以推挽驱动的方式输出高、低电平，驱动能力强，也使得 I/O 口资源灵活、功能强大，可充分利用。

1.2.5 定时/计数器

大部分单片机提供 2~3 个定时/计数器，还具有输入捕获、输出比较和