

重点大学计算机教材

HZ BOOKS
华章教育

单片机系统设计与开发

基于Proteus单片机仿真和C语言编程

张 齐 朱宁西 编著
华南理工大学



为教师配有电子教案



机械工业出版社
China Machine Press

重点大学计算机教材

单片机系统设计与开发

基于Proteus单片机仿真和C语言编程

张齐 朱宁西 编著

华南理工大学



机械工业出版社
China Machine Press

本书从实用的角度介绍 80C51 系列单片机及其应用系统的构成和设计方法, 主要内容包括单片机高级语言 C51 及其相应开发工具 μ Vision3 IDE 软件的使用、单片机应用系统的 Proteus 设计与仿真、单片机软件和硬件基础知识、单片机内部资源应用与外部资源的扩展方法等。书中的示例多采用 C 语言作为编程语言, 实用性较强。全书的程序清单均配有相对应的 Proteus 格式的电路原理图, 并且 Keil μ Vision3 IDE 调试配合 Proteus 单片机仿真电路, 为单片机产品研发提供了一个快速、灵活、经济的设计方法。

本书可作为电子类及其相关专业的本科生教材, 也可作为从事单片机应用产品研发的科技人员及单片机技术爱好者的参考书, 还可作为全国单片机设计师考试、单片机等级考试、电子竞赛等的参考书。

版权所有, 侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机系统设计与开发: 基于 Proteus 单片机仿真和 C 语言编程/张齐, 朱宁西编著. —北京: 机械工业出版社, 2008. 8
(重点大学计算机教材)

ISBN 978-7-111-25046-3

I. 单… II. ①张… ②朱… III. 单片微型计算机—C 语言—程序设计—高等学校—教材 IV. TP368.1 TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 136663 号

机械工业出版社(北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王春华

北京慧美印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2008 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.75 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-25046-3

定价: 32.00 元

凡购本书, 如有倒页、脱页、缺页, 由本社发行部调换
本社购书热线: (010)68326294

前言

单片机系统的开发是硬件、软件相结合的过程。要完成单片机系统的开发,不仅需要掌握编程技术,还需要针对实际应用选择合理的单片机芯片和外围器件,在此基础上设计硬件电路。除此之外,还需要掌握相应的软件和硬件开发工具。本书针对上述知识点精心组织编排,从基础入手,深入浅出,循序渐进,便于读者理解和掌握相应内容。

本书共有7章,第1章概括介绍单片机的组成、分类、特点和应用,使读者对单片机有初步的认识。

第2章介绍单片机应用系统的设计与开发环境,通过示例说明单片机软件开发环境 μ Vision3 IDE 和单片机硬件仿真环境 Proteus VSM 的具体使用方法。Proteus VSM 和 μ Vision3 IDE 联调可以显著地提高单片机开发效率,对初学者来说,实现单片机系统的开发“零”成本。掌握本章内容后,读者就可以在 Proteus VSM 环境下设计简单的单片机系统,编写简单的单片机 I/O 口控制程序(如 LED、继电器),进行单片机系统的仿真实验。与其他教材相比,这是本书的一个显著特点。

第3章讲解 80C51 单片机硬件基础知识,包括芯片的外部引脚、内部组织和单片机最小系统构成。

第4章讲解 80C51 单片机软件基础知识,包括寻址方式、指令系统、汇编语言程序设计和 C 语言程序设计等。

第5章通过大量的应用示例阐述 80C51 单片机内部资源的组成及应用,包括中断系统、定时器/计数器和串行口的组成及应用。

第6章讲述单片机外部扩展资源和扩展编址技术,通过大量的应用示例展示外部 RAM/ROM、键盘、显示器、A/D 转换器、I/O 扩展、中断扩展、串行通信和总线驱动等一些最基本的模块,这些都是大多数单片机应用系统必不可少的关键部件。

第7章介绍将单片机用于可编程控制器的设计方法,贯穿了前面的知识。

本书是在单片机及其多种新技术的基础上,结合项目开发的实际经验而编写的,编写目标是“教材+设计范例”。读者可以方便地参考设计范例,许多范例稍加修改即可用于实际项目设计。

全书的程序均配有与之对应的 Proteus 格式的电路原理图,打开原理图文件,单击“运行”按钮可以看到该示例程序的仿真运行情况。Keil μ Vision3 IDE 调试配合 Proteus 单片机仿真电路,解决了以往单片机课堂教学无法现场演示的问题,将单片机实验室放到读者的电脑里。

为了方便教师备课和读者学习,本书提供电子教案及各章 Proteus 单片机仿真电路、相应源程序和工程文件,请登录华章网站(www.hzbook.com)下载。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免会有许多不足,甚至错误,请各位专家多多批评指正。感谢编写本书中共享软件的作者和各位参考文献的作者。由于有的资料来源于网上,使用的时间太长,无法查证作者,如果编者引用了您的观点,请联系,编者将尽快更正参考文献目录并表示感谢。

编者

2008年6月于广州

目 录

前言	2.4.3 ProteusVSM 与 μ Vision3 IDE 的联调	41
第1章 单片机系统概述	本章小结	45
1.1 微处理器、微型计算机与单片机	习题2	46
1.2 单片机的结构与组成	第3章 80C51 单片机硬件基础知识	47
1.3 单片机的分类和指标	3.1 MCS-51 系列及 80C51 系列单片机简介	47
1.4 单片机的发展趋势	3.1.1 MCS-51 系列和 80C51 系列单片机	47
1.5 常用的单片机系列	3.1.2 80C51 系列单片机的命名规则	48
1.6 单片机的特点	3.1.3 80C51 系列单片机的选择特性	51
1.7 单片机应用系统	3.2 80C51 系列单片机外引脚功能	52
1.8 单片机的应用领域	3.3 80C51 单片机内部结构	55
本章小结	3.3.1 中央处理器 CPU	56
习题1	3.3.2 存储器组织	58
第2章 单片机应用系统的设计与开发环境	3.3.3 并行输入/输出端口结构	64
2.1 单片机应用系统的设计步骤和方法	3.3.4 时钟电路	70
2.1.1 总体设计	3.3.5 复位电路	72
2.1.2 硬件系统	3.4 低功耗运行方式	74
2.1.3 软件系统	3.4.1 电源控制寄存器 PCON	74
2.2 单片机应用系统开发的软硬件环境	3.4.2 待机方式	75
2.2.1 单片机应用系统开发的软硬件环境的构成	3.4.3 掉电方式	75
2.2.2 单片机应用系统开发工具选择原则	3.5 80C51 单片机最小系统	76
2.2.3 使用 JTAG 界面单片机仿真开发环境	本章小结	77
2.2.4 单片机的在线编程	习题3	78
2.3 Keil C51 高级语言集成开发环境 μ Vision3 IDE	第4章 80C51 单片机软件基础知识	79
2.3.1 μ Vision3 IDE 主要特性	4.1 80C51 单片机指令系统概述	79
2.3.2 μ Vision3 IDE 集成开发环境	4.1.1 指令的概念	79
2.3.3 μ Vision3 IDE 的使用	4.1.2 指令系统说明	80
2.4 基于 Proteus 的单片机系统仿真	4.1.3 80C51 指令系统助记符	80
2.4.1 Proteus 7 Professional 界面介绍	4.1.4 指令系统中的特殊符号	82
2.4.2 绘制电路原理图	4.2 80C51 单片机寻址方式	82
	4.2.1 寄存器寻址方式	82
	4.2.2 直接寻址方式	83
	4.2.3 寄存器间接寻址方式	83
	4.2.4 立即寻址方式	84

4.2.5 变址间接寻址方式	85	5.2.3 定时器/计数器对输入信号的要求	151
4.2.6 相对寻址方式	85	5.2.4 定时器/计数器 0、1 的编程和应用示例	152
4.2.7 位寻址方式	85	5.2.5 定时器/计数器 2	156
4.3 80C51 单片机指令系统	87	5.3 串行通信	159
4.3.1 数据传送类指令	87	5.3.1 串行通信基础知识	159
4.3.2 算术运算类指令	91	5.3.2 80C51 串行接口	161
4.3.3 逻辑运算类指令	93	5.3.3 应用示例	169
4.3.4 控制转移类指令	96	本章小结	174
4.3.5 位操作指令	99	习题 5	175
4.4 80C51 汇编语言程序设计	102	第 6 章 单片机外部扩展资源及应用	177
4.4.1 伪指令	103	6.1 单片机外部扩展资源和扩展编址技术概述	177
4.4.2 汇编语言程序设计举例	104	6.1.1 单片机外部扩展资源分类	177
4.5 80C51 单片机 C51 程序设计语言	105	6.1.2 单片机系统扩展结构与编址技术	178
4.5.1 C51 语言的标识符和关键字	106	6.1.3 单片机系统存储器扩展方法	180
4.5.2 C51 编译器能识别的数据类型	108	6.2 并行 I/O 口扩展	180
4.5.3 变量的存储种类和存储器类型	112	6.2.1 8255 可编程并行 I/O 接口芯片	180
4.5.4 绝对地址的访问	115	6.2.2 用 74HC 系列芯片扩展 I/O 接口	186
4.5.5 中断服务程序	118	6.3 大容量闪速存储器 Flash 的扩展	188
4.6 C51 语言的运算符和表达式	119	6.3.1 SuperFlash28SF040A 简介	188
4.6.1 赋值运算符	119	6.3.2 89C52 单片机和 28SF040A 接口方法	190
4.6.2 算术运算符	119	6.4 单片机系统中的键盘接口技术	192
4.6.3 关系运算符	120	6.4.1 键盘工作原理及消抖	193
4.6.4 逻辑运算符	120	6.4.2 独立式键盘工作原理	193
4.6.5 位运算符	120	6.4.3 行列式键盘工作原理	195
4.6.6 复合赋值运算符	121	6.4.4 键盘扫描的控制程序	196
4.6.7 指针和地址运算符	121	6.5 单片机系统中的 LED 数码显示器	199
4.7 C51 语言的库函数	122	6.5.1 LED 数码显示器的结构与原理	199
4.7.1 本征库函数和非本征库函数	122	6.5.2 静态显示	200
4.7.2 几类重要的库函数	122	6.5.3 动态扫描显示	201
4.8 C51 语言的应用技巧	126	6.6 单片机系统中的 LCD 液晶显示器	203
本章小结	129	6.6.1 字符型液晶显示模块的组成和基本特点	203
习题 4	131	6.6.2 LCD1602 模块接口引脚功能	204
第 5 章 80C51 单片机内部资源及应用	133	6.6.3 LCD1602 模块的操作命令	204
5.1 中断系统和外部中断	133		
5.1.1 中断技术概述	133		
5.1.2 80C51 单片机中断系统	135		
5.1.3 C51 语言中断服务函数	140		
5.1.4 外部中断的应用示例	142		
5.2 定时器/计数器	143		
5.2.1 定时器/计数器 0、1 的结构及工作原理	144		
5.2.2 定时器/计数器 0、1 的四种工作方式	146		

6.6.4 LCD1602 与 89C52 单片机接口与编程	208	6.10 RS-232C 和 RS-485/422 通信接口	242
6.7 日历时钟接口芯片及应用	211	本章小结	244
6.7.1 并行接口日历时钟芯片 DS12887	211	习题 6	245
6.7.2 串行接口日历时钟芯片 DS1302	216	第 7 章 单片机系统设计示例	247
6.8 单片机数据采集系统	222	7.1 可编程控制器的硬件组成	247
6.8.1 并行 A/D 转换器 ADC0809	222	7.2 可编程控制器的软件系统	253
6.8.2 通用串行输出 8 位 A/D 转换器 TLC549	225	7.3 可编程控制器 PC 机集成开发环境	254
6.9 I ² C 总线接口电路 EEPROM 及应用	229	7.4 可编程控制器监控程序 C51 语言部分源程序清单	256
6.9.1 串行 EEPROM 电路 CAT24WCXX 概述	230	本章小结	264
6.9.2 串行 EEPROM 芯片的操作	231	附录 A 单片机选型指南	265
6.9.3 串行 EEPROM 芯片与 89C52 的接口编程	233	附录 B 单片机及部分常用外围器件	268
		附录 C 指令速查表	271
		参考文献	276

第1章 单片机系统概述

1.1 微处理器、微型计算机与单片机

典型的微型计算机包括运算器、控制器、存储器、输入/输出设备四个基本组成部分。如果把运算器与控制器封装在一小块芯片上,则称该芯片为**微处理器** (Micro Processing Unit, MPU) 或**中央处理器** (Central Processing Unit, CPU)。如果将它与大规模集成电路制成的存储器、输入/输出设备在印制电路板上用总线连接起来,就构成了微型计算机。显然,单硅片的中央处理器是微型计算机区别于大、中、小型计算机的主要结构特征。一个只集成了中央处理器的集成电路 (Integrate Circuit, IC) 封装,只是微型计算机的一个组成部分。

如果在一块芯片上,集成了一台微型计算机的四个基本组成部分,则这种芯片称为**单片微型计算机** (Single Chip Micro Computer),简称**单片机**。也就是说,单片机是一块芯片上的微型计算机。以单片机为核心的硬件电路称为**单片机系统**,单片机系统属于嵌入式系统的应用范畴。嵌入式系统一般指非 PC (Personal Computer) 系统,它包括硬件和软件两部分。硬件包括中央处理器、存储器、外设器件、I/O (输入/输出) 设备和图形控制器等。软件部分包括操作系统 (OS, 要求实时和多任务操作) 和应用程序,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作和行为,而操作系统控制应用程序与硬件的交互作用。

为了进一步突出单片机在嵌入式系统中的主导地位,许多半导体公司在单片机内部还集成了许多外围功能电路和外设接口,例如,中断、定时/计数、串行通信、模/数转换 (ADC)、脉冲宽度调制 (PWM) 等单元。这些单元突出了单片机的控制特性。一般来说,单片机利用大规模集成电路技术把中央处理器和数据存储器 (RAM)、程序存储器 (ROM) 及其他 I/O 通信口集成在一块芯片上,来构成一个最小的计算机系统。而现代的单片机则配置了中断单元、定时单元及 A/D 转换等更复杂、更完善的电路,使得单片机的功能越来越强大,应用越来越广泛。在国外,目前习惯称单片机为**微控制器** (Micro Control Unit, MCU),本书仍然沿用单片机一词。

20 世纪,微电子、IC 集成电路行业发展迅速,其中,单片机行业的发展最引人注目。单片机功能强大、价格便宜、使用灵活,在计算机应用领域中发挥着极其重要的作用。从 Intel 公司于 1971 年生产的第一片单片机 Intel-4004 开始,单片机开创了电子应用的智能化的新时代。单片机以其高性价比和灵活性的特点,牢固树立了其在嵌入式系统中的“霸主”地位,在 PC 机以 286、386、486、Pentium 高速更新换代的同时,单片机却“始终如一”地保持着旺盛的生命力。例如,80C51 系列单片机已有十多年的历史,如今仍保持着上升的趋势,这充分证明了这一点。

尽管单片机主要是为实现控制的目的而设计的,但它仍然具备微型计算机 (如 PC 机) 的全部特征,因此,单片机的功能部件和工作原理与微型计算机是基本相同的,可以通过参照微型计算机的基本组成和工作原理逐步了解单片机。

如图 1-1 所示为一台微型计算机的基本结构。由图 1-1 可知,一台微型计算机是由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五部分组成的。虽然微型计算机技术已经得到了充分的发展,但是微型计算机在体系结构上仍属于经典的计算机结构。这种结构是由“计算机之父”——数学家约翰·冯·诺依曼最先提出的,所以称之为冯·诺依曼计算机体系结构。至今为止,计算机的发展已经经历了 4 代,尚未走出冯·诺依曼体系。当前,市场上大多数常见的型号的单片机还遵循着冯·诺依曼体系的设计思路。

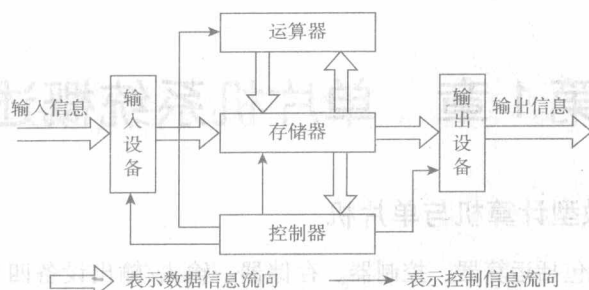


图 1-1 微型计算机的基本结构

下面介绍微型计算机各部分的作用和工作原理。如果要使微型计算机按照需要解决某个具体问题，人们并不是把这个问题直接让它去解决，而是要用它可以“理解”的语言（如 C、Pascal、Basic 和 PL/M 语言）编写出一系列解决这个问题的步骤并输入到计算机中去，命令它按照这些步骤顺序执行，从而使问题得以解决。编写解决问题的步骤，就是人们常说的编写程序（又叫做程序设计或软件开发）。计算机严格按照程序对各种数据或者输入信息进行自动加工处理，因此必须预先先把程序以及数据用输入设备送入微型计算机内部的存储器中，处理完成后还要把结果用输出设备输送出来，其中，运算器完成程序中规定的各种算术和逻辑运算操作，而为了使微型计算机的各部件有条不紊地工作，控制器必须理解程序的意图，并指挥各部件协调完成规定的任务。

1.2 单片机的结构与组成

单片机的一般结构可用图 1-2 所示的方框图描述。图 1-2 与图 1-1 的对应关系是：CPU 包含控制器和运算器；ROM 和 RAM 对应存储器，ROM 存放程序，RAM 存放数据；I/O 对应输入设备和输出设备。单片机通过总线实现 CPU、ROM、RAM 和 I/O 各模块之间的信息传递。如果具体到某一种型号的单片机，其芯片内部集成的程序存储器 ROM 和数据存储器 RAM 大小均可，I/O（输入/输出）口多少均可，但 CPU 只有一个。

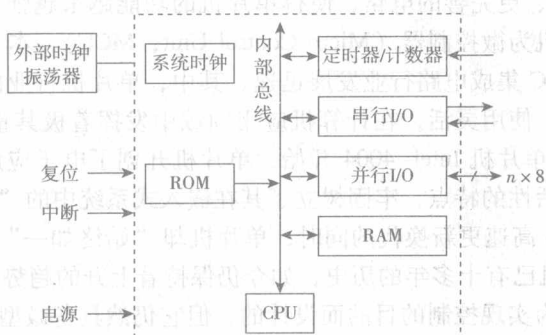


图 1-2 单片机的内部基本组成

首先介绍单片机内部各部分的功能。

- **程序存储器 (ROM)**：用来存放用户程序，可分为 EPROM、Mask ROM、OTP ROM 和 Flash ROM 等。利用 EPROM 型存储器编程（把程序代码通过一种算法写入程序存储器的操作）后，其内容可用紫外线擦除，用户可反复使用，故特别适用于开发过程，但 EPROM 型单片机价格很高。Mask ROM 型存储器的单片机价格最低，适用于大批量生产。由于 Mask ROM 型单片机的代码只能由生产厂商在制造芯片时写入，故用户更改程序代

码十分不便,在产品未成熟时选用此类型单片机风险较高。OTP ROM 型(一次可编程)单片机价格介于 EPROM 和 Mask ROM 型单片机之间,它允许用户对其编程,但只能写入一次。OTP ROM 型单片机生产多少完全由用户掌握,不存在 Mask ROM 型单片机有最小起订量和掩模费的问题。另外,该类单片机价格已同 Mask ROM 型十分接近,故特别受中小批量客户的欢迎。Flash ROM 型单片机可采用电擦除的方法修改其内容,允许用户使用编程工具或在系统中快速修改程序代码,且可反复使用,故该类型单片机一推出就受到广大用户的欢迎。Flash ROM 型单片机既可用于开发过程,也可用于批量生产。随着制造工艺的不断改进,价格的不断下降,Flash ROM 型单片机使用越来越普遍,已成为现代单片机的发展趋势。

- **中央处理器 (CPU):** 是单片机的核心单元,通常由算术逻辑运算部件 (ALU) 和控制部件构成。CPU 就像人的大脑一样,决定了单片机的运算能力和处理速度。
- **随机存储器 (RAM):** 用来存放程序运行时的工作变量和数据,由于 RAM 的制作工艺复杂,价格比 ROM 高得多,所以单片机的内部 RAM 非常宝贵,通常仅有几十到几百字节。RAM 的内容具有易失性 (又称为易挥发性),掉电后内容会丢失。最近出现了 EEPROM 或 Flash RAM 型的数据存储器,方便用户存放不经常改变的数据及其他重要信息。单片机通常还有特殊寄存器和通用寄存器,也属于 RAM,它们在单片机中存取数据速度很快。特殊寄存器还用于充分发挥单片机各种资源的功效,但这部分存储器占用存储空间更小。
- **并行输入/输出 (I/O) 口:** 通常为独立的双向 I/O 口,既可以用作输入,又可以用作输出,方式通过软件编程设定。现代单片机的 I/O 口有不同的功能,有的内部具有上拉或下拉电阻,有的是漏极开路输出,有的能提供足够的电流可以直接驱动外部设备。I/O 口是单片机的重要资源,也是衡量单片机功能的重要指标之一。
- **串行输入/输出 (I/O) 口:** 用于单片机和串行设备或其他单片机的通信。串行通信有同步和异步之分,这可以用硬件或通用串行收发器件实现。不同的单片机可能提供不同标准的串行通信接口,例如, UART、SPI、I²C 和 MicroWire 等。
- **定时器/计数器 (T/C):** 用于单片机内部精确定时或对外部事件 (输入信号,如脉冲) 进行计数,通常单片机内部有多个定时器/计数器。
- **系统时钟:** 通常需要外接石英晶体或其他振荡源提供时钟输入信号,有的使用内部 RC 振荡器。系统时钟相当于 PC 机中的主频。

以上只是单片机的基本构成,现代的单片机又加入了许多新的功能部件,例如,模/数转换器 (A/D)、数/模转换器 (D/A)、温度传感器、液晶 (LCD) 驱动电路、电压监控、看门狗 (WDT) 电路、低压检测 (LVD) 电路等。此时的单片机才属于真正的单片化,内部的 RAM 和 ROM 的容量也越来越大,ROM 寻址空间甚至可达 64KB,可以说,单片机发展到了一个新的阶段,应用领域更为广泛,许多家用电器均走向利用单片机控制的智能化发展道路。

1.3 单片机的分类和指标

单片机从用途上可分为专用型单片机和通用型单片机两大类。专用型单片机是为某种专门用途而设计的,例如,DVD 控制器和数码摄像机控制器芯片等。在用量不大的情况下,设计和制造这样的专用芯片成本很高,而且设计和制造的周期也很长。我们通常所用的都是通用型单片机,通用型单片机把所有资源 (如 ROM、I/O 等) 全部提供给用户使用。当今通用型单片机的生产厂家已不下几十家,种类有几百种之多。下面从单片机的几个重要指标进行介绍。

- **位数:** 单片机一次能够处理的数据的宽度,有 1 位机 (如 PD7502)、4 位机 (如

MSM64155A)、8 位机 (如 MCS-51)、16 位机 (如 MCS-96)、32 位机 (如 IMST414)。

- **存储器**: 包括程序存储器和数据存储器, 程序存储器空间较大, 字节数一般从几 KB 到几十 KB ($1\text{KB} = 2^{10}\text{B} = 1024\text{B}$)。另外还有不同的类型, 例如, ROM、EPROM、EEPROM、Flash ROM 和 OTP ROM 型。数据存储器的字节数通常为几十字节到几百字节之间。程序存储器的编程方式是用户选择的一个重要因素, 有的是串行编程, 有的是并行编程, 新一代的单片机有的还具有在系统编程 (In-System Programmable, ISP) 或在应用再编程 (In-Application re-Programmable, IAP) 功能, 有的还有专用的 ISP 编程接口——JTAG 口。

- **I/O 口**: 输入/输出口, 一般有几个到几十个, 用户可以根据需要进行选择。

- **速度**: 指的是 CPU 的处理速度, 以每秒执行多少条指令来衡量, 常用单位是 MIPS (百万条指令每秒), 目前最快的单片机可达到 100MIPS。单片机的速度通常是和系统时钟 (相当于 PC 机的主频) 相联系的, 但并不是频率高的处理速度就一定快。对于同一种型号的单片机来说, 采用频率高的时钟一般比频率低的速度要快。

- **工作电压**: 通常工作电压是 5V, 范围是 $\pm 5\%$ 或 $\pm 10\%$, 也有 3/3.3V 电压的产品, 更低的可在 1.5V 工作。现代单片机又出现了宽电压范围型, 即在 2.5 ~ 6.5V 内都可正常工作。

- **功耗**: 低功耗是现代单片机所追求的一个目标, 目前低功耗单片机的静态电流可以低至 μA (微安, 10^{-6}A) 或 nA (纳安, 10^{-9}A) 级。有的单片机还具有等待、关断、睡眠等多种工作模式, 以此来降低功耗。

- **温度**: 单片机根据工作温度可分为民用级 (商业级)、工业级和军用级三种。民用级的温度范围是 0 ~ 70℃, 工业级是 -40 ~ 85℃, 军用级是 -55 ~ 125℃ (不同厂家的划分标准可能不同)。

- **附加功能**: 有的单片机有更多的功能, 用户可根据自己的需要选择最适合自己的产品。例如, 有的单片机内部有 A/D 转换器、D/A 转换器、串口和 LCD 驱动等, 使用这种单片机可减少外部器件, 提高系统的可靠性。

1.4 单片机的发展趋势

近几年来, 单片机的发展速度很快, 纵观各个系列单片机产品的特性, 可以看出单片机正朝着高性能化、存储器大容量化和外围电路内装化等几个方面发展。

1. 单片机的高性能化

单片机的高性能化主要是指进一步改进 CPU 的性能, 增加 CPU 的字长或提高时钟频率均可提高 CPU 的数据处理能力和运算速度。CPU 的字长有 8 位、16 位和 32 位。时钟频率高达 40MHz 的单片机也已出现。加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性, 并加强了位处理功能、中断和定时控制功能; 采用流水线结构, 指令以队列形式出现在 CPU 中, 从而产生很高的运算速度。有的单片机采用了多流水线结构, 这类单片机的运算速度要比标准的单片机高出 10 倍以上。单片机内部采用双 CPU 结构也能大大提高处理能力, 例如, Rockwell 公司的 R6500/21 和 R65C29 单片机。由于片内有两个 CPU 同时工作, 可以更好地处理外围设备的中断请求, 克服了单 CPU 在多重高速中断响应时的失效问题。同时, 由于双 CPU 可以共享存储器和 I/O 口的资源, 因此, 还可更好地解决信息通信问题。如 Intel 公司的 8044, 它的内部实际上是由 8051 和 SIU 通信处理机组成, 由 SIU 来管理 SDLC 的通信。这样既加快了通信的速度, 同时还减轻了 8051 的处理负担。

2. 存储器大容量化

以往单片机内部的 ROM 为 1~4KB, RAM 为 64~128 字节。因此在某些复杂的应用上,存储器容量不够,不得不外接扩充。为了适应这个领域的要求,运用新的工艺,使片内存储器大容量化。目前,单片机的 ROM 多达 64KB, RAM 为 2K 字节。

另外,片内 EPROM 开始向 EEPROM 或 FLASH ROM 化发展。早期单片机内 ROM 有的采用可擦式的只读存储器 EPROM,然而 EPROM 必须要高压编程,紫外线擦除,给使用带来不便。近年来,推出的电擦除可编程只读存储器 EEPROM 或 FLASH ROM 可在正常工作电压下进行读写,并能在断电的情况下,保持信息不丢失。使用 EEPROM 或 FLASH ROM 的单片机采用在系统编程技术大大方便了系统的调试及应用程序的升级。

3. 更多的外围电路内部嵌入化

加强片内输入/输出接口的种类和功能,这是单片机发展的主要趋势。最初的单片机,片内只有并行输入/输出接口、定时器/计数器。在实际应用中往往还要外接特殊的接口以扩展系统功能,增加了应用系统结构的复杂性。随着集成度的不断提高,有可能把更多的外围功能器件集成在片内。这不仅大大提高了单片机的功能,使应用系统的总体结构大大简化,而且提高了系统的可靠性,降低了系统的成本。例如,有些单片机的并行 I/O 口,能直接输出大电流和高电压,可直接用以驱动荧光显示管(VFD)、液晶显示管(LCD)和七段码显示管(LED)等。这样减少了应用系统中的驱动器。再如,有些单片机片内含有 A/D 转换器,则在实时控制系统中可省掉外部 A/D 转换器。目前,在单片机中已出现的各类新型接口有数十种,例如,A/D 转换器、D/A 转换器、DMA 控制器、CRT 控制器、LCD 驱动器、LED 驱动器、正弦波发生器、声音发生器、字符发生器、波特率发生器、锁相环、频率合成器和脉宽调制器等。

单片机的另一个发展趋势是加强 I/O 的驱动能力。有的单片机可输出大电流和高电压、直接驱动荧光显示管(VFD)、液晶显示管(LCD)和七段数码显示管(LED)等;对于片内的定时器/计数器,有些增加了时间监视器(Watchdog)功能;还有的单片机具有锁相环(PLL)控制、正弦波发生器和发声等特殊功能,例如,Motorola 公司的 6805T2 带有 PLL 逻辑;GI 公司的 PIC1600 系列内部含有 8 位实时时钟计数器和 Watchdog 定时器。

4. 单片机在制造工艺上的提高

单片机的制造工艺直接影响其性能。早期的单片机采用 PMOS 工艺,随后逐渐采用 NMOS、HMOS 和 CMOS 工艺。目前,8 位单片机产品基本上全部 CMOS 化,16 位单片机已开始推出 CMOS 型产品。例如,68HC200 和 80C196 等。为了进一步降低功耗,日立公司的 HD63705 和 RCA 公司的 CDP6805E2 设有等待(Wait)和停止(Stop)两种工作方式。当处于等待方式时,振荡器工作,CPU 停止,存储器的内容则不变。当处于停止方式时,振荡器和 CPU 都停止工作,存储器和寄存器内容保持不变。当处于等待方式时,由于 CPU 停止工作,使单片机的总功耗大为下降。当处于停止方式时,则单片机的功耗为最小,例如,RCA 公司的 CDP8605E2,在 5V 工作电压下,正常功耗为 35 mW,当处于等待和停止方式时,功耗分别仅为 5mW 和 5 μ W。用电池供电的低电压工作、低功耗单片机非常适合野外作业的工控设备。

1.5 常用的单片机系列

1. MCS-51 系列及与之兼容的 80C51 系列单片机

由于历史的原因,Intel 公司的 MCS-51 及与之兼容的 80C51 系列单片机(以下统称为 80C51 系列单片机)是国内应用最为广泛的单片机,也是被最多电子设计工程师掌握的单片机。市面上关于单片机的书籍资料有很大一部分是基于 80C51 系列的,各种 80C51 系列单片机的开发工

具(如汇编器、编译器、仿真器和编程器等)很容易找到。另外除了 Intel 公司,还有 Atmel、Winbond、Philips、TEMIC、ISSI 和 LG 等公司都生产兼容 80C51 系列单片机的产品。因此用户在采购时有广泛的选择余地,而且由于激烈竞争的关系,各兼容生产厂家不断推出性价比更高的产品,选用该系列的用户就能获得更大的价值。大量熟练的用户群、充足的支持工具、充沛的货源,是 80C51 兼容系列单片机的市场优势。所以自从 80C51 系列单片机推出以来,虽然其他的公司也推出许多新的单片机系列,但是 80C51 系列单片机及其兼容产品仍然占据了国内市场的很大份额。

2. TI 公司的超低功耗 Flash 型 MSP430 系列单片机

关于超低功耗单片机,有业界最佳“绿色微控制器 (Green MCUs)”称号的 TI 公司的 MSP430 Flash 系列单片机,是目前业界所有内部集成闪速存储器 (Flash ROM) 产品中功耗最低的,消耗功率仅为其他闪速微控制器 (Flash MCUs) 的 1/5。在 3V 工作电压下,其耗电电流低于 $350\mu\text{A}/\text{MHz}$,待机模式仅为 $1.5\mu\text{A}/\text{MHz}$,具有 5 种节能模式。该系列产品的工作温度范围为 $-40\sim 85^\circ\text{C}$,可满足工业应用要求。MSP430 微控制器可广泛地应用于煤气表、水表、电子电表、医疗仪器、火警智能探头、通信产品、家庭自动化产品、便携式监视器及其他低耗能产品。由于 MSP430 微控制器的功耗极低,可设计出只需一块电池就可以使用长达 10 年的仪表应用产品。MSP430 Flash 系列单片机的确是不可多得的高性价比单片机。

3. OKI 低电压低功耗单片机

OKI 公司的高性价比 4 位机 MSM64K 系列也是低功耗低电压的微控制器,其工作电压可低至 1.25V,使用 32KHz 的工作频率,典型工作电流可低至 $3\sim 5\mu\text{A}$,HALT (关断) 模式下小于 $1\mu\text{A}$,而其功能却并不逊色,片内集成了 LCD (液晶显示器) 驱动器,可方便地与液晶显示器接口,具有片内掩模 (Mask) 的程序存储器,有些型号还带有串口、RC 振荡器、看门狗、ADC (模数转换器) 和 PWM (脉宽调制) 等,几乎不需要外扩芯片即可满足应用,工作温度范围可达 $-40\sim 85^\circ\text{C}$,提供 PGA 封装和裸片。该系列微控制器应用广泛,适用于使用 LCD 显示、电池供电的设备,例如,掌上游戏机、便携式仪表 (体温计、湿度计)、智能探头和定时器 (时钟) 等低成本、低功耗的产品。

4. ST 公司的 ST62 系列单片机

美国 ST 微电子公司是一家独立的全球性公司,专门从事应用于半导体集成电路的设计、生产、制造和销售,以及生产各种微电子应用中的分立器件。应用领域涉及电子通信系统、计算机系统、消费类产品、汽车应用、工业自动化和控制系统等。ST 公司可提供满足各种场合的单片机或微控制器,其中 ST62 系列 8 位单片机以其简单、灵活、低价格等特点,特别适用于汽车、工业、消费领域的嵌入式微控制系统。ST62 系列提供多种不同规格的单片机以满足各种需要,存储器从 1KB 到 8KB,有 ROM、OTP、EPROM、EEPROM 和 Flash EEPROM, I/O 口从 9 个到 22 个,引脚从 16 个到 42 个,还有 ADC、LCD 驱动、看门狗、定时器、串行口、电压监控等部件。ST62 单片机采用独特的制造工艺和技术,大大提高了抗干扰能力,能适应各种恶劣环境。

5. AD 公司的带 A/D 与 D/A 转换器的单片机

AD μ C812 是 AD 公司推出的全集成 12 位数据采集系统,片内集成了 8 路 12 位高性能的自校准 ADC、2 路 12 位 DAC 和与 80C51 指令兼容的 8 位 MCU。AD 公司最近又推出了 16 位和 24 位 ADC 的 AD μ C816 和 AD μ C824,其他性能特性与 AD μ C812 基本相同。

AD μ C812 MCU 包括 8KB 的 Flash 程序存储器、640B 的 Flash 数据存储器、256B 的 RAM 和与 80C51 兼容的内核。并且具有看门狗定时器、电源监视器以及 ADC DMA 功能,32 个可编程 I/O 口、I²C/SPI 兼容和标准 UART 串行通信接口。芯片具有正常、空闲和掉电三种工作模式,

非常适合低功耗应用的电源管理方案,例如,智能传感器、电池供电系统(可移动PC、手持仪器和终端)、瞬时捕捉系统、DAS和通信系统等。

6. 基于 ARM 核的 32 位单片机

ARM (Advanced RISC Machine) 是一种通用的 32 位 RISC 处理器,32 位是指处理器的外部数据总线是 32 位的,相比 8 位和 16 位的相同主频处理器性能更强大。ARM 是一种功耗很低的高性能处理器,例如,ARM7TDMI 具有每瓦产生 690MIPS (百万条指令/秒) 的能力,已证明在工业界处于领先水平。ARM 公司并不生产芯片,而是将 ARM 的技术授权其他公司生产。ARM 本质上并不是一种芯片,而是一种芯片结构技术,不涉及芯片生产工艺。授权生产 ARM 结构芯片的公司采用不同的半导体技术,面对不同的应用进行扩展和集成,标有不同系列号。目前可以提供含 ARM 核 CPU 芯片的著名欧美半导体公司有:英特尔、德州仪器、三星半导体、摩托罗拉、飞利浦半导体、意法半导体、亿恒半导体、科胜讯、ADI 公司、安捷伦、高通公司、Atmel、Intersil、Alcatel、Altera、Cirrus Logic、Linkup、Parthus、LSI Logic、Micronas、Silicon Wave、Virata、Portalplayer inc.、NetSilicon 和 Parthus。ARM 的应用范围非常广泛,例如,嵌入式控制——汽车、电子设备、保安设备、大容量存储器、调制解调器和打印机;数字消费产品——数码相机、数字式电视机、游戏机、GPS 和机顶盒;便携式产品——手提式计算机、移动电话、PDA 和灵巧电话。

1.6 单片机的特点

单片机除了具有体积小、价格低、性能强大、速度快、用途广、灵活性强、可靠性高等优点外,它与通用微型计算机相比,在硬件结构和指令设置上还具有以下独特之处。

(1) 存储器 ROM 和 RAM 是严格分工的。ROM 用作程序存储器,只存放程序、常数和数据表格,而 RAM 用作数据存储器,存放临时数据和变量。这样的设计方案使单片机更适用于实时控制(又称现场控制或过程控制)系统。配置较大的程序存储空间 ROM,将已调试好的程序固化(即对 ROM 编程,又称烧录或者烧写),这样不仅掉电时程序不丢失,还避免了程序被破坏,从而确保了程序的安全性。实时控制仅需容量较小的 RAM,用于存放少量随机数据,这样有利于提高单片机的操作速度。

(2) 采用面向控制的指令系统。在实时控制方面,尤其是在位操作方面,单片机有着不俗的表现。

(3) 输入/输出(I/O) 端口引脚通常设计多种功能。在设计时,究竟使用多功能引脚的哪一种功能,则可以由用户编程确定。

(4) 品种规格的系列化。属于同一个产品系列、不同型号的单片机,通常具有相同的内核、相同或兼容的指令系统。其主要的差别仅在于片内配置了一些不同种类或不同数量的功能部件,以适用不同的被控对象。

(5) 单片机的硬件功能具有广泛的通用性。同一种单片机可以用在不同的控制系统中,只是其中所配置的软件不同而已。换言之,给单片机固化上不同的软件,便可形成作用不同的专用智能芯片。有时将这种芯片称为固件(Firmware)。

1.7 单片机应用系统

单片机应用系统是以单片机为核心构成的智能化产品。其智能化体现在以单片机为核心构成的微型计算机系统,它保证了产品的智能化处理与智能化控制能力。单片机智能化产品包括智能仪表、可编程控制器、空调控制器、全自动洗衣机控制器、DVD 控制器、数据采集系统、金融 POS 机和移动电话机芯等。这些单片机智能化产品中以单片机为核心构成的硬件电路,统

称为单片机系统。

为了实现产品的智能化处理与智能化控制,还要嵌入相应的控制程序,称之为单片机应用软件。

嵌入了应用软件的单片机系统称为单片机应用系统。

单片机是单片机系统中的一个器件,单片机系统是构成某一单片机应用系统的全部硬件电路,单片机应用系统是单片机系统和应用软件相结合的产物。

1.8 单片机的应用领域

单片机由于其体积小、功耗低、价格低廉,且具有逻辑判断、定时计数、程序控制等多种功能,广泛应用于仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天、专用设备的智能化管理及过程控制等领域。下面简单介绍一下它的典型应用。

1. 单片机在智能仪表中的应用

单片机具有体积小、功耗低、控制功能强、扩展灵活、微型化和使用方便等优点,广泛应用于仪器仪表中,结合不同类型的传感器,可用于诸如电压、功率、频率、湿度、温度、流量、速度、厚度、角度、长度、硬度和压力等物理量的测量。采用单片机控制使得仪器仪表数字化、智能化、微型化,且功能比采用电子或数字电路更加强大,提高了其性价比,例如,精密的测量设备功率计、示波器和各种分析仪等。

2. 单片机在机电一体化中的应用

机电一体化是机械工业发展的方向。机电一体化产品是指集机械技术、微电子技术、计算机技术、传感器技术于一体,具有智能化特征的机电产品,例如,微机控制的车床、钻床等。单片机作为产品中的控制器,能充分发挥它体积小、可靠性高、功能强等优点,可大大提高机器的自动化、智能化程度。可编程顺序控制器是一个典型的机电控制器,其核心常常就是由一个单片机构成的。

3. 单片机在实时控制中的应用

单片机广泛地应用于各种实时控制系统中。例如,在工业测控、航空航天、尖端武器等各种实时控制系统中,都可以用单片机作为控制器。单片机的实时数据处理能力和控制功能,能使系统保持在最佳工作状态,提高系统的工作效率和产品质量。例如,机器人的每个关节或动作部位都是一个单片机实时控制系统。

4. 单片机在分布式多机系统中的应用

在比较复杂的系统中,常采用分布式多机系统。多机系统一般由若干台功能各异的单片机应用系统组成,各自完成特定的任务,它们通过串行通信相互联系、协调工作。单片机在这种系统中往往作为一个终端机,安装在系统的某些节点上,对现场信息进行实时测量和控制。单片机的高可靠性和强抗干扰能力,使它可以置于恶劣环境的前端工作。

5. 消费类电子产品控制

消费类电子产品控制主要应用在家电领域,例如,洗衣机、空调器、汽车电子与保安系统、电视机、录像机、DVD机、音响设备、电子秤、IC卡、手机和BP机等。在这些设备中,使用单片机机芯之后,其控制功能和性能大大提高,并实现了智能化、最优化控制。

6. 终端及外部设备控制

计算机网络终端设备,例如,银行终端、商业POS机(自动收款机)和复印机等,以及计算机外部设备,例如,打印机、绘图机、传真机、键盘和通信终端等。在这些设备中使用单片机,使其具有计算、存储、显示和输入等功能,具有和计算机连接的接口,使计算机的能力及应

用范围大大提高,更好地发挥了计算机的性能。

可以毫不夸张地说,凡是能想到的地方,单片机都可以用得上。全世界单片机的年产量数以亿计,应用范围之广,花样之多,一时难以详述。单片机应用的意义不仅在于它的广阔应用范围以及所带来的经济效益,更重要的还在于从根本上改变了传统的控制系统设计思想和设计方法。以前必须由模拟电路或数字电路实现的大部分控制功能,现在可以使用单片机通过软件方法来实现。这种以软件取代硬件并能提高系统性能的控制技术称为微控制技术。微控制技术标志着一种全新概念的诞生,随着单片机的推广普及,微控制技术必将不断发展和日趋完善,而单片机的应用必将更加深入、更加广泛。

单片机与常用的 TTL、CMOS 数字集成电路相比,掌握起来不容易,问题在于单片机具有智能化功能,不仅要学习其硬件还要学习其软件,而软件设计需有一定的创造性。这虽然给学习者带来一定难度,但这也正是它的迷人之处。一个普通的消毒碗柜配上装有专用软件的单片机,虽然成本增加 10 余元,但市场售价可高出 300 余元。原因在于它的技术含量高,其中的软件凝聚着开发者的智慧。

由此可见,单片机技术无疑将是 21 世纪最为活跃的新一代电子应用技术。随着微控制技术(以软件代替硬件的高性能控制技术)的发展,单片机的应用必将导致传统控制技术发生巨大变革。换言之,单片机的应用是对传统控制技术的一场革命。因此,学习单片机的原理,掌握单片机应用系统设计技术,具有划时代的意义。

本章小结

如果在一块芯片中包含了微型计算机的 4 个基本组成部分:运算器、控制器、存储器和输入/输出设备,我们称此芯片为单片机。为了增加单片机的控制特性,许多半导体公司在单片机内部又增加了许多新的功能部件,例如,模/数转换器(A/D)、数/模转换器(D/A)、温度传感器、液晶(LCD)驱动电路、电压监控、看门狗(WDT)电路、低压检测(LVD)电路等,使得单片机更接近“单片化”。

从用途上来分,单片机可分成专用型单片机和通用型单片机两大类,本书中以通用型单片机为背景介绍。从数据总线的宽度上来分,单片机可分为 1 位机、4 位机、8 位机、16 位机和 32 位机。在通用型单片机中,由于 8 位机的生产厂家最多,故其性价比最高。

以单片机为核心的全部硬件电路称为单片机系统,为了使单片机系统具有智能化处理与智能化控制的能力,还要嵌入单片机应用软件。嵌入了应用软件的单片机系统称为单片机应用系统。

单片机由于其体积小、功耗低、价格低廉,且具有逻辑判断、定时计数、程序控制等多种功能,广泛应用于仪器仪表、家用电器、医用设备、航空航天、专用设备的智能化管理及过程控制等领域。

习题 1

- 1.1 简述微型计算机的基本组成。
- 1.2 简述单片机的基本含义及应用领域。
- 1.3 单片机的主要特点是什么?
- 1.4 单片机的分类及主要指标是什么?
- 1.5 简述微型计算机与单片机的异同。
- 1.6 简述单片机、单片机系统、单片机应用系统之间的异同。

第2章 单片机应用系统的设计与开发环境

2.1 单片机应用系统的设计步骤和方法

单片机应用系统随其用途不同，其硬件和软件也不相同。单片机最初的选型很重要，原则上是选择高性价比的单片机。硬件软件化是提高系统性价比的有效方法，尽量减少硬件成本，多用软件实现相同的功能，这样可以大大提高系统的可靠性。

虽然单片机的硬件选型不尽相同，软件编写也千差万别，但单片机应用系统的研制步骤和方法是基本一致的，一般分为总体设计、硬件电路的构思设计、软件的编制和仿真调试四个阶段。单片机应用系统的研制流程如图 2-1 所示。

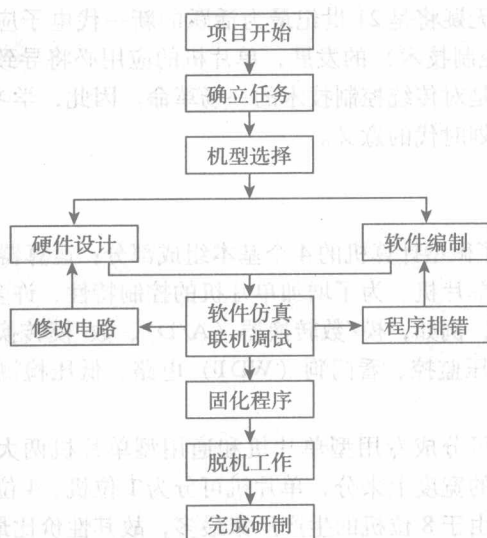


图 2-1 单片机应用系统的研制流程

2.1.1 总体设计

1. 确立功能特性指标

不管是设计工程控制系统还是智能仪器仪表，都必须先分析和了解项目的总体要求、输入信号的类型和数量、输出控制的对象及数量、辅助外设的种类及要求、使用的环境及工作电源要求、产品的成本、可靠性要求和可维护性及经济效益等因素，必要时可参考同类产品的技术资料，制定出可行的性能指标。

2. 单片机的选型

现在的单片机品种繁多，包括各种专用功能的单片机，这给用户选型带来了许多好处，节约了很多外接扩展器件。单片机的选型很重要，选择时需考虑其功能是否满足全部的设计要求，包括控制速度、精度、控制端口的数量、驱动外设的能力、存储器的大小、软件编写的难易程度和开发工具的支持程度等。例如，要驱动 LED 显示器，可选用多端口的单片机直接驱动，还可以利用端口较少的单片机加扩展电路构成，这就要具体分析选用何种器件有利于降低成本、电路