

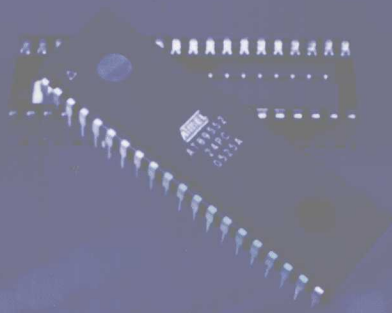


普通高等教育“十一五”国家级规划教材



系统可配置单片机 原理与应用

戴国骏 张翔 曾虹 等编著



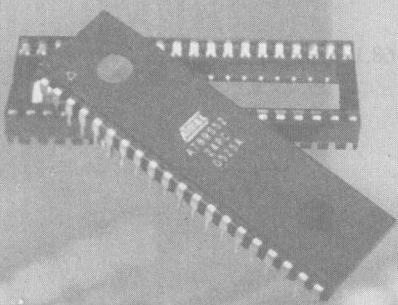
机械工业出版社
China Machine Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

系统可配置单片机 原理与应用

戴国骏 张翔 曾虹 等编著



机械工业出版社
China Machine Press

本书首先从系统结构的角度去把握PSoC单片机,详细阐述了其M8C内核,富有特色的可编程数字和模拟接口系统及相应的可编程互联总线、PSoC丰富的系统资源;从系统程序员角度介绍各种可配置数字、模拟及混合信号处理功能模块的API函数,同时介绍了PSoC丰富的开发手段,如汇编器、C编译器及集成开发环境,并通过实际案例的一步一步引导,牢固掌握PSoC单片机。

本书是一本较系统地介绍PSoC原理、结构、开发和应用的教材,强调通过实践来体会PSoC单片机的应用,可作为计算机科学与技术、电子科学与技术、信息与通信工程、仪器科学与技术、控制科学与工程等学科各相关专业的本科生及研究生的专业教材;也可作为从事嵌入式计算机系统的研究和应用的工程技术人员的参考书。

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

系统可配置单片机原理与应用/戴国骏等编著. —北京:机械工业出版社, 2009.4
(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 978-7-111-26727-0

I. 系… II. 戴… III. 单片微型计算机—高等学校—教材 IV. TP 368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第048724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:刘立卿

三河市明辉印装有限公司印刷

2009年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm · 18印张

标准书号:ISBN 978-7-111-26727-0

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

Intel公司于1980年在全面总结MCS-48系列单片机的基础上推出了MCS-51系列单片机,它具有系统结构新颖、灵活、功能强、指令丰富、体积小、可靠性高诸多特点。目前,单片机课程已逐渐成为高等学校工科相关专业的一门公共基础课程。随着VLSI技术的发展,MCS-51系列单片机的集成度、存储容量、功能的增强及扩展,运算速度有了显著提高,MCS-51成为8位机的主流。采用MCS-51单片机后,数字系统的设计方法发生了根本变化,应用不断深入。但是MCS-51单片机的体系结构至今并没发生革命性变化,它在某些场合,如多种接口功能系统、数模混合系统、多引脚重构系统等,越来越暴露出其固有的缺点,在接口灵活性、多样性及数模混合特性上满足不了现代数字系统设计的需求。与此对应的各高校单片机课程也基本没有什么变化,不能反映当前技术的发展水平。

近十几年来,以UDSM工艺、IP复用和软硬件协同设计为支持的SoC技术得到了很大的发展,使数字系统的设计方法发生了彻底的改变。在众多的SoC技术及产品中,美国Cypress公司的系统可配置单片机PSoC作为一种新型的片上可编程系统,片内集成了可配置的数字和模拟接口系统,可灵活配置成系统设计所需的各种用户功能模块,并随意适配各引脚,是业界第一款具有混合信号处理能力的系统可配置单片机芯片。本书作者从PSoC诞生之初就开始跟踪和研究这种全新概念的单片机并应用到当时所做的几个科研项目中,研发人员普遍反映PSoC结构设计巧妙,开发手段先进,彻底颠覆了传统单片机使用方法,在系统应用中特别灵活和方便。从2005年开始将其引入杭州电子科技大学硕士研究生工程训练和高年级本科生教育,使用过的学生都爱不释手。趁本书列选国家“十一五”规划教材之际,作者总结归纳了几年来教学、研发的实践经验,努力编写一本较系统地介绍PSoC原理、结构、开发和应用的教材,并自制了遵循DIY理念的StartKit,配合学习使用。我们坚信当你真正了解和掌握PSoC并将它应用到具体的数字系统设计中时,将永远不会再使用那些过时、枯燥的MCU进行设计工作。

本书共8章。第1、2章是PSoC单片机基本组成结构、功能原理和特点,总体把握这一新型单片机。第6、7章为PSoC富有特色的可编程数字和模块接口系统的结构、功能、配置方法、生成API函数,每个模块介绍时都配有例程,是全书的重点部分,必须认真学习,深入理解,为PSoC的开发、应用打下基础。第3、5章是PSoC单片机的汇编语言和C语言两种开发工具的语法特点、编译使用方法及混合编程。第4章是PSoC单片机集成开发环境PSoC Designer的安装、组成及有特色的三个管理器,并结合实际例子一步一步介绍,应熟练掌握。第8章是围绕PSoC单片机应用的几个实验例子,每个例子详细说明了实验目的、原理、电路原理、接口配置和编程方法,通过实践来真正体会使用PSoC单片机的乐趣。

本书每章配有一定量的思考题,以巩固所学内容。学好单片机,实验环节是必不可少的,PSoC单片机也不例外。作者针对国内国际市场PSoC教育实验装置几乎为零的现状,与美国Cypress公司协商,专门研制了配合本教材的高性价比实验装置PSoC Start Kit(p),它由学习板和MiniPROG组成,非常适合自己“玩”单片机,体验作者倡导的DIY理念:随时随地随兴学习,而不受实验室开放时间的限制,同时也为参加全国大学生电子竞赛做准备。

本书由戴国骏统稿,其中第1、7章由戴国骏编写,第2章由冯建文编写,第3章由章复嘉编写,第4、8章由曾虹、李二涛编写,第5章由张翔编写,第6章由高申勇编写。非常感谢杭州电子科技大学计算机应用技术研究开所开拓者(GIDE)团队杨昆、韦学辉、高志刚、张建辉、何秀育、张颖、张芹、刘世杰、薛刚及各位研究生为本书的插图、校对、网站建设及实验装置研制所做的贡献。感谢杭州电子科技大学计算机应用技术研究开所计算机体系结构实验室主任申兴发和感知计算实验室主任周文晖的认真校稿。

本书承浙江大学计算机学院陈天洲教授认真审阅,提出了许多非常宝贵的意见,在此对陈教授的大力支持和帮助深表感谢!

尽管作者在编写的过程中,主观上尽了最大努力,但因水平有限和时间紧迫,加上PSoC单片机可参考的资料很少,书中可能仍有不少疏漏,甚至错误,恳请广大师生、读者批评指正。

作者

2008.10

目 录

前言	1
第1章 绪论	1
1.1 单片机的诞生、发展及应用	1
1.1.1 单片机的诞生	1
1.1.2 单片机的广泛应用	2
1.1.3 单片机的发展趋势	3
1.2 采用单片机的数字系统设计	5
1.2.1 数字系统	5
1.2.2 传统数字系统设计	7
1.2.3 采用单片机的数字系统设计	8
1.3 现代数字系统的设计	11
1.3.1 SoC设计方法	11
1.3.2 SoPC设计方法	13
1.3.3 系统可配置单片机	14
1.4 PSoC的结构	16
1.4.1 PSoC总体结构	16
1.4.2 PSoC特点	18
1.5 PSoC系列芯片介绍	19
1.5.1 PSoC系列芯片	19
1.5.2 PSoC典型应用	19
1.6 小结	21
思考题	21
第2章 PSoC的体系结构	22
2.1 PSoC的总体结构	22
2.1.1 PSoC内核	22
2.1.2 可配置数字接口系统	23
2.1.3 可配置模拟接口系统	24
2.1.4 系统资源	24
2.2 PSoC内核系统	24
2.2.1 M8C CPU内核	24
2.2.2 SRAM	26
2.2.3 SROM	30
2.2.4 中断控制器	35
2.2.5 通用输入输出端口	39
2.2.6 模拟输出驱动	43
2.2.7 PSoC内核的时钟系统	45
2.2.8 睡眠和看门狗	48
2.3 PSoC系统资源	49
2.3.1 数字时钟	50
2.3.2 乘法加法器	53
2.3.3 采样抽取器	55
2.3.4 I ² C单元	59
2.3.5 内部参考电压	62
2.3.6 系统复位	62
2.3.7 开关式升压泵	63
2.3.8 上电复位和低电压检测	63
2.3.9 I/O模拟多路复用器	64
2.3.10 全速USB	67
2.4 小结	70
思考题	71
第3章 PSoC的指令系统和汇编程序设计	72
3.1 寻址方式	72
3.2 算术运算类指令	74
3.3 逻辑运算类指令	78
3.4 移位类指令	81
3.5 数据传送类指令	85
3.6 转移控制类指令	89
3.7 处理器类指令	95
3.8 PSoC汇编语言程序设计基础	96
3.8.1 汇编语言文件分类	96
3.8.2 编译器伪指令系统	105
3.8.3 汇编编程	111
3.9 小结	112
思考题	112
第4章 PSoC集成开发环境	114
4.1 PSoC应用系统设计流程	114
4.2 集成开发环境PSoC Designer	116

4.2.1 PSoC Designer的安装	116	6.4.1 串行通信概述	176
4.2.2 PSoC Designer简介	116	6.4.2 SPI串行通信用户模块	178
4.2.3 PSoC Designer的使用	118	6.4.3 UART串行通信用户模块	182
4.3 简单人机接口应用系统的设计实例	133	6.4.4 串行IrDA通信用户模块	186
4.4 小结	136	6.4.5 循环冗余校验用户模块	190
思考题	136	6.5 其他数字用户模块	193
第5章 PSoC的C语言程序设计基础	137	6.5.1 伪随机序列发生器用户模块	193
5.1 简介	137	6.5.2 E ² PROM用户模块	194
5.2 PSoC程序结构	137	6.5.3 数字缓冲器用户模块	195
5.2.1 顺序结构	138	6.5.4 数字反相器用户模块	196
5.2.2 分支结构	138	6.5.5 LCD工具箱用户模块	196
5.2.3 循环结构	141	6.5.6 7段式LED控制器用户模块	197
5.3 PSoC C语法	143	6.5.7 LED用户模块	198
5.3.1 数据类型和运算符	144	6.5.8 休眠定时器用户模块	199
5.3.2 C语言的指针	146	6.5.9 SDCard用户模块	200
5.4 PSoC C程序设计	148	6.6 小结	201
5.4.1 预处理命令	148	思考题	201
5.4.2 PSoC应用程序举例	149	第7章 PSoC可配置模拟接口系统	202
5.5 小结	152	7.1 PSoC模拟接口系统体系结构	202
思考题	153	7.1.1 模拟接口	202
第6章 PSoC可配置数字接口系统	154	7.1.2 模拟阵列	203
6.1 PSoC数字接口系统体系结构	154	7.1.3 模拟接口系统输入及选择	203
6.1.1 全局数字接口系统互连	154	7.1.4 模拟输出驱动	205
6.1.2 行间数字阵列互连	158	7.1.5 模拟信号基准电压发生器	208
6.1.3 行内数字模块互连	158	7.1.6 基本模拟单元	208
6.1.4 基本数字单元	164	7.2 数模转换器用户模块	212
6.2 定时器和计数器用户模块	165	7.2.1 数模转换器用户模块简介	212
6.2.1 定时器和计数器简介	165	7.2.2 基本电压输出数模转换器用户 模块	212
6.2.2 TIMER8用户模块结构特性	167	7.2.3 四象限乘法电压输出数模转换器 用户模块	216
6.2.3 TIMER8用户模块配置和API 函数	167	7.3 模数转换器用户模块	219
6.2.4 COUNTER8用户模块配置和 API函数	171	7.3.1 模数转换器用户模块简介	219
6.2.5 TIMER8用户模块应用举例	172	7.3.2 逐次逼近模数转换器用户模块	220
6.3 数字脉宽调制模块	172	7.3.3 积分式模数转换器用户模块	222
6.3.1 脉宽调制模块简介	172	7.3.4 $\Delta-\Sigma$ 模数转换器用户模块	228
6.3.2 PWM8用户模块结构特性	173	7.4 放大器和比较器用户模块	234
6.3.3 PWM8用户模块配置与API函数	174	7.4.1 可编程增益放大器用户模块	234
6.3.4 PWM8用户模块应用举例	175	7.4.2 可编程增益反向放大器用户模块	236
6.4 数字通信用户模块	176	7.4.3 仪器放大器用户模块	238

7.4.4 比较器用户模块	242	8.4.4 PSoC接口配置	265
7.5 有源滤波器用户模块	245	8.4.5 PSoC软件设计	267
7.5.1 有源滤波器概述	245	8.4.6 拓展实验	267
7.5.2 双极点带通滤波器用户模块	248	8.5 PWM控制蜂鸣器实验	268
7.5.3 双极点低通滤波器用户模块	250	8.5.1 目的	268
7.6 小结	253	8.5.2 要求	268
思考题	253	8.5.3 PWM控制蜂鸣器音量原理	268
第8章 PSoC实验	255	8.5.4 PSoC接口配置	269
8.1 PSoC StartKit学习板简介	255	8.5.5 PSoC软件设计	270
8.2 八段数码管动态显示实验	256	8.5.6 拓展实验	271
8.2.1 目的	256	8.6 UART通信实验	271
8.2.2 要求	256	8.6.1 目的	271
8.2.3 八段数码管扫描显示原理	256	8.6.2 要求	271
8.2.4 PSoC接口配置	257	8.6.3 UART串口通信原理	271
8.2.5 PSoC软件设计	258	8.6.4 PSoC接口配置	272
8.2.6 拓展实验	260	8.6.5 PSoC软件设计	273
8.3 4×3矩阵数字键盘设计实验	260	8.6.6 拓展实验	273
8.3.1 目的	260	8.7 USB通信实验	274
8.3.2 要求	260	8.7.1 目的	274
8.3.3 矩阵数字键盘扫描原理	260	8.7.2 要求	274
8.3.4 PSoC接口配置	261	8.7.3 USB通信原理	274
8.3.5 PSoC软件设计	263	8.7.4 PSoC接口配置	275
8.3.6 拓展实验	264	8.7.5 PSoC软件设计	276
8.4 模数转换实验	264	8.7.6 拓展实验	276
8.4.1 目的	264	8.8 小结	276
8.4.2 要求	264	思考题	277
8.4.3 A/D转换原理	264	参考文献	278

第1章 绪 论

本章简述单片机的诞生、发展与应用,使读者了解单片机发展的历史过程及其广泛应用。单片机在数字系统中的应用曾使数字系统设计进入了一个全新阶段,但现有单片机固有点也暴露出其越来越不适应现代数字系统的要求,如数模混合系统,接口多样性等,因此出现了基于EDA技术的SoC/SoPC的现代数字系统设计方法和系统可配置的单片机。PSoC是一种可以构建小规模数模混合系统的系统可配置单片机,其可编程的数字接口系统和模拟接口系统具有传统单片机无可比拟的灵活性。本章在简单比较了PSoC和MCS-51单片机后,介绍了PSoC的系列芯片和一些典型应用,使大家了解PSoC特点及适用范围,对PSoC有一个总体把握。

1.1 单片机的诞生、发展及应用

1.1.1 单片机的诞生

20世纪70年代中期是8位微型计算机发展的鼎盛时期,大规模集成电路技术飞速发展。为满足更广泛的实时应用的需要,从微型计算机家族中诞生出新的一员,形成了一个新的发展分支——单片微型计算机,简称单片机。它主要应用于测控系统,所以又称微控制器(MCU)。它以体积小、价格低廉、功能完善、面向实时测控为特征,在一块单晶芯片上集成了一台计算机构成的主要部件:中央处理器(CPU)、运算器(ALU)、存储器(RAM、ROM)、I/O口及其他功能部件。这样一块单晶芯片就构成了一台具有一定功能的计算机,故称为单晶芯片微型计算机,统称单片机。

1976年9月美国Intel公司的MCS-48单片机问世,成为跨时代的里程碑。它标志着大规模集成电路技术和计算机技术相融合的伟大成就,首次实现在一块单晶芯片上集成了一台微型计算机。针对不同应用领域的需要,其后又研制出多种机型,形成了MCS-48系列单片机。MCS-48系列单片机的出现,轰动了全世界的半导体业,美国等各大半导体厂商纷纷推出自己的单片机,各种型号的单片机纷纷应运而生。

1980年在总结MCS-48系列单片机成功基础上,Intel公司推出了功能及技术更趋完善的8位高档MCS-51系列单片机。MCS-51系列单片机在工艺、结构、功能上都有了很大的提高。例如应用上具有很好的灵活性,既可单片应用,又可进行外部功能扩展,从而满足不同应用领域的需要。

单片机深受广大用户的欢迎,现已渗透到各个应用领域,具有广阔的市场应用前景。国际上很多公司已经相继推出各有特色的全新结构高档8位单片机,其中最具有影响的有Motorola(现为Freescale)、Zilog、ATMEL、Microchip、TI、Philips、HITACHI、SIEMENS(现为Infineon)、NEC、LG等公司的产品。现在市场上推出的各种类型单片机有上百余种,其中大部分专用于某一应用领域,只有MCS-51系列单片机适用领域最为广泛。

为了能满足高层次应用的需要,Intel公司于1983年推出了功能更强的16位MCS-96系列单片机,由于内部结构存在某种不足,市场并不看好,因此在20世纪90年代中期已停止生产。在MCS-96系列停产之后,又推出了高性能的16位MCS-196单片机,它是MCS-96系列中的

一个分支,性能上与MCS-96系列相兼容。目前,往往利用MCS-196系列取代MCS-96 (98)系列单片机作为主机,由于两种系列的兼容性,使得不需过多改动原设计就能适应新的要求,弥补了因MCS-96系列的停产而造成的损失。MCS-196系列单片机是16位工业标准的嵌入式MCU,它与MCS-96系列的指令系统、外部结构相兼容,内部结构做了改进,增加了许多新的功能,使数据处理速度加快,输入/输出操作方便。MCS-196系列中的主要产品型号为8XCI96KB、KC、KD、KQ、KT和8XCI96NQ、NT、MC等。多种机型中有ROM型、无ROM型和EPROM型,用户可根据实际需要选型。Intel公司又推出了与MCS-51相兼容的8位和16位的新型MCS-251单片机,其功能有了较大的扩展。它有如下特征:

- 1) 24位(即16MB)线性寻址能力;
- 2) 寄存器化的CPU,即可按字节、字、双字对寄存器进行访问;
- 3) 采用页面方式加速了外部指令的提取;
- 4) 指令流水作业。

紧随其后,各大公司如Fresscale、Zilog、Infineon等纷纷推出各具特色的16位高档单片机系列,这正反映了单片机技术的自身发展的规律特征。20世纪末,各大公司又先后推出更高档的32位单片机系列,其功能更强,主要应用于复杂的高层次系统。

近几年,ARM公司又推出ARM (Advanced RISC Machines)微控制器,它是一家知名的微处理器企业,设计了大量适用于多种领域、高性能、价廉、低功耗的RISC处理器和相关软件。ARM本身不生产微控制器芯片,而是将其设计技术授权于许多著名的半导体、软件和OEM厂商,每个厂商都获得一套独一无二的ARM相关技术及服务。各厂商利用这种合伙关系,再生产出具有自己特点的ARM微控制器。综上所述,ARM是一家国际微控制器技术设计公司,专门为各厂商提供ARM微控制器内核技术设计。到目前为止,国际上已有上百家厂商与ARM签订了技术合作协议,将先后生产出各具特色的ARM微控制器。

ARM的设计实现了内核极小但功能极强的微控制器结构,且具有以下特点:

- 1) 功耗非常低,采用RISC指令集;
- 2) 具有一个大的、统一的寄存器文件;
- 3) 加载/存储结构,数据处理操作只针对寄存器内容,而不直接对存储器进行操作;
- 4) 支持字节、半字、字的数据结构;
- 5) 具有高的指令吞吐量、出色的实时中断等;
- 6) 采用流水技术增加指令流的速度。

尽管单片机技术发展很快,先后推出了高档的16位、32位及ARM等多种单片机,但就绝大部分的实时测控等应用领域而言,8位字长的单片机足以满足实际需要,所以8位单片机的市场需求将经久不衰。

1.1.2 单片机的广泛应用

单片机以其独特的卓越性能,得到了极其广泛的应用,已深入到各个应用领域,几乎无所不及。在实际应用中,单片机呈现出如下主要特点:

- 1) 小巧灵活、成本低、易于产品化。它能极方便地嵌入到各种自动化、智能化的测控系统中。
- 2) 可靠性高,适应环境温度宽。单片机芯片本身是按工业测控环境要求设计的,能适应各种恶劣环境,它与典型微机具有极大的不同。一般单片机具有以下三级产品:民用品级为

0℃~70℃；工业品级为-40℃~85℃；军用品级为-65℃~125℃。实际应用中，可根据具体要求选用。

3) 结构灵活。易于外部功能扩展，以满足各种规模的应用要求。

4) 串行通信功能强。可以很方便地实现多机、上位机与前端机或分布式测控与管理系统之间的通信。

5) 开发、设计、研制周期短。

鉴于以上诸多独特优点，其在以下几个方面得到广泛的应用：

(1) 工业自动化

在工业自动化技术中，如在过程控制技术、数据采集技术、测控技术，以及机电一体化等方面，单片机的应用都发挥着越来越重要的作用。

(2) 仪表智能化

随着单片机的广泛应用，各类仪器、仪表自动化和智能程度的提高，这些都将有利于提高仪器、仪表的精度和准确性，简化结构，缩小体积，降低成本，方便携带，使单片机应用迅速向数字化、智能化、多功能化、快速化等方向发展。

(3) 各种机器人

近年来，各种机器人发展迅速，特别是工业机器人，而指挥、控制机器人协调工作的核心、中枢是单片机。

(4) 民用消费类电子产品

由于单片机的诸多特点，特别是价廉的特点，使之越来越广泛地应用于民用消费类电子产品中，如家用电器、电子玩具、字典、记事簿、照相机、高级游戏机、防盗控制、IC卡等。产品智能化水平越来越高，操作越来越方便。

(5) 汽车、航空、导航与武器装备

汽车中的点火装置、变速器、计价器，民航飞机中的航空仪表及其管理、武器装备等，都普遍应用各类单片机，以迅速提高自动化、智能化、快速化的能力。

(6) 数据处理及终端设备

计算机网络终端、银行终端，以及计算机外部设备、图文传真机、硬盘驱动器、打印机等，都选用单片机进行管理与控制。

(7) 电信技术

调制解调、程控交换、智能线路运行控制、各类通信设备等，都选用单片机实现数字化、自动化、智能化。

1.1.3 单片机的发展趋势

随着科学技术的进步和发展，单片机将按其自身规律向高速、高性能化、大容量、外电路内装化、SoC等方向飞速发展。今后一段时期内，单片机的发展趋势将具有以下一些特点：

(1) 不断推出高档、高性能的新型单片机

单片机作为计算机技术的一个分支，必然按其自身的发展规律，不断沿着新的方向飞速前进。如前所述，有8位、16位、32位、ARM等，从根本上改变传统控制器的面貌，大大拓宽新的、更高层次的应用领域。

例如，美国Intel公司推出的32位MCS-80960系列单片机，设有80960KB、KA、MC、CA四档机型，采用SumCHMOS工艺，新型RISC结构，主频可达33MHz，运算速度达20MIPS，

设有DMA总线、中断控制器(32级256个中断矢量)、1KB的高速缓冲器、4个80位浮点寄存器、多端口寄存器阵列、多重并行执行单元、多重内部总线、浮点运算器等。

美国Freescale公司推出具有极高集成度的32位MC68H332单片机系列,亦采用RISC结构,由5大模块组成:

- 1) 指令系统进一步优化了的68020 CPU;
- 2) 基于RISC结构的专用定时、事件控制单元(TPU);
- 3) 可完成同步/异步通信的专用模块(QSM);
- 4) 减少系统外部逻辑元件及提供片内系统排错能力的集成模块(SIM);
- 5) 2KB高速静态RAM。

其中CPU和TPU各自独立,TPU RISC指令可同时处理16个定时事件而无需CPU干预。CPU与68000兼容,具有虚拟支持,循环方式操作先行指令栈等32位运算,具有极强的寻址功能,增强的高级语言编译器,运算速度可动态改变。

新近推出的ARM,可以认为是这类微控制器的通称,因为其内核技术基本相同,只是各厂商融入了自己的技术、功能特点,推出各不相同的微控制器。ARM内核微处理器的特点是:

- 1) 采用RISC架构;
- 2) 体积小、低功耗、低成本、高性能;
- 3) 支持Thumb(16位)/ARM(32位)双指令集,能很好地兼容8位/16位器件;
- 4) 大量使用寄存器,指令执行速度更快;
- 5) 大多数数据操作都在寄存器中完成;
- 6) 寻址方式简单灵活,执行效率高;
- 7) 指令长度固定。

由此可见,ARM内核在结构上有了很大的改进,而且体积小,功耗低,所以其适用领域极广。

随着超大规模集成技术的发展,以及市场需要的推动,还将不断研制出越来越新型、先进的单片机,不断拓宽新的、更高层的应用领域。

(2) 高新技术下移,不断提高8位机的性能

尽管新的单片机(16位,32位)不断涌现,但就整个市场需求而言,8位字长的单片机基本能满足大量的实时测控系统的需要,且技术成熟,成本低,研制周期短。因此,8位机市场占有率最大,竞争最激烈。8位机在功能上、技术上也不是停滞不前的,而是不断采用新的技术,增加了新的功能,推陈出新,重点发展。最显著的是将在微型机、16位/32位单片机等已成熟的先进技术,下移到8位机上,不断推动8位单片机技术、性能的发展。例如:

- 1) RISC结构,简化指令集,使应用程序的设计简单、方便;
- 2) 读指令的流水线技术,节省取指令时间,提高运算速度;
- 3) 虚拟结构,扩大存储器容量,I/O口连接;
- 4) 配置高级(C)语言,提高编程效率,缩短编程周期;
- 5) 改进串行总线结构,如I²C、CAN总线等,大大提高串行通信能力;
- 6) 采用双CPU结构,以提高处理能力。

另外,随着超大规模集成技术的飞速发展,不断将原属外围功能的器件集装到芯片内部。例如:加大存储器容量,片内ROM可达4~16KB,有的甚至高达64KB, RAM为256B~2KB。片内EPROM改用EEPROM或Flash存储器,实现快速和联机编程或修改,使得保存重要数据

更方便。片内集成10位或12位A/D转换器、看门狗(Watchdog)、DMA、相关的放大电路等。

随着硅片面积的增大,集成度的不断提高,逐步实现真正意义上的单片机。

(3) 不断采用新工艺,实现低功耗、宽电压、高速、高可靠性

随着单片机应用领域的不断扩展,低功耗要求日显突出,所以将采用更新的工艺。目前,单片机的功耗已降到 μA 级,今后还将更低;主频从4MHz、8MHz、12MHz,发展到24MHz、33MHz,大大提高了单片机的运算速度;不断拓宽供电范围,从原来的 $5\text{V} \pm 10\%$,发展到 $2.1 \sim +7\text{V}$,在很宽的范围内均能正常工作。今后功耗还将降得更低、供电范围更宽,特别便于电池供电的需要;为满足实时应用中高可靠性的要求,采取了很多提高可靠性的措施,设置了多种监视功能,以防止主机死机;加宽了工作环境温度,一般可在 $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ 范围内正常工作。除此之外,今后还将采用更多措施,以保证数字系统的高可靠性。

(4) 日趋单片化应用

随着超大规模集成技术的发展,逐步把所需功能部、器件集成在芯片内,不需外部功能扩展,实现一块芯片(单片机)就构成一个完整的数字系统。为满足不同应用的需要,同一系列均生产有十多种,乃至几十种机型,以满足用户的最佳选择。这样可简化数字系统硬件设计,缩小体积,降低成本,提高可靠性。最具典型的是美国Motorola公司的68HC05系列和Microchip公司的PIC系列,今后各家公司都将推出类似产品。

(5) SoC嵌入式系统

随着集成技术的发展,单片机将进一步发展成SoC嵌入式系统,即一块芯片就是一个完整的以单片机为内核的嵌入式应用系统。这个数字系统是具有明确的应用对象的系统,其中包括含传感器在内的所有硬件组织和全部应用软件。例如,某种类型的空调、冰箱或手机等,只需配上对应的SoC芯片,即可构成完整的应用系统。这样的系统,体积更小,可靠性更高。

目前,国内外正加大投入研究、开发SoC系统芯片。最近,国内已开发出包括温度传感器在内的较简单的SoC数字系统芯片。

(6) 单片机应用网络化

近几年来网络技术的发展突飞猛进,已有很多单片机应用产品网络化,即借助网络技术实现更广泛的通信。例如,智能家庭、智能楼宇,应用领域实现大范围的多机网络测控与管理等。这样,可以通过网络查询相关信息,调度、控制和管理有关仪器、设备、家电等。

由于单片机极适合我国的国情和需要,所以,尽管单片机在我国开发、应用仅20余年的历史,但应用却已极为广泛,已渗透到多个领域,成绩十分显著,并已形成了一支具有相当规模的单片机开发、应用的高科技队伍,各大中专院校都纷纷开设单片机原理及其应用课程,不断培养出大批新生力量,为我国科技和经济建设服务。

1.2 采用单片机的数字系统设计

1.2.1 数字系统

数字系统是对数字信息进行存储、传输、处理的电子系统,如图1-1所示,其输入量 X 和输出量 Z 均为数字量。

数字系统可以是一个独立的实用装置,例如一块数字表,一个数字钟,一台数字频率计,甚至是一台大型数字计算机等;也可以是一个具有特定性能的逻辑部件,

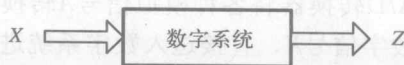


图1-1 数字系统示意图

例如频率计中的测试板, 数字电路板中的主控板, 计算机中的内存板等。但不论它们的复杂程度如何, 规模大小怎样, 就其实质而言仍是逻辑问题, 即对数字量的存储、传输和处理; 就其组成而言都是由许多能够进行各种逻辑操作的功能部件组成的。这类功能部件, 可以是SSI逻辑门, 也可以是各种MSI、LSI逻辑功能部件电路, 甚至可以是相当复杂的CPU芯片。正是由于各功能部件之间的有机配合, 协调工作, 才使数字系统成为统一的数字信息处理“机体”。

组成数字系统的各个功能部件的作用往往比较单一, 总要配置一个控制部件来统一指挥, 使它们按一定程序有规则地各司其职, 实现整个系统的复杂功能。此外, 某些功能部件本身也是一个具有“小”控制部件的、担负局部任务的“小”系统, 常称作子系统。由若干子系统合并组成“大”系统时, 也必须有一个总的控制部件来统一协调和管理各子系统的工作。因此, 往往用有没有控制部件作为区分数字系统和逻辑功能部件的重要标志。

与数字系统相对应的是模拟系统, 它是一个对模拟信号进行变换和处理的电子系统, 如图1-2所示, 其输入量 A 和输出量 B 均为模拟量。

与模拟系统相比, 数字系统具有如下特点:

(1) 稳定性

数字系统所加工和处理的对象是具有离散电平(具体地说仅有高、低电平)的数字量, 构成系统的电子元器件仅需对高、低电平的信号进行判别和变换, 从而能以较低的元件质量(元件参数的漂移、参数准确度、对电源电压等因素的敏感性等)获得较高的工作稳定性, 即能以较低的硬件开销获取较高的性能。

(2) 精确性

数字系统中, 可以通过增加并行数据的位数或串行数据的长度来提高数据处理和传输的精确度。

(3) 可靠性

数字系统中, 可采用检错、纠错和编码等信息冗余技术, 利用多机并行工作等硬件冗余技术来提高系统的可靠性。

(4) 模块化

由于数字系统中用高低电平来表示信息, 因此可以把任何复杂的信息处理分解为大量的基本算术运算和逻辑操作。按一定规律完成这些操作, 就可以实现预定的逻辑功能, 因而可以用许多通用的模块来构成系统, 从而使系统的设计、试制、生产、调试和维护都十分方便。

在现实生活中, 许多物理量都是模拟量, 如压力、温度、流量、文字、图像、音乐等。但考虑到数字系统具有上述许多优点, 因此人们正在或已经把很多本应由模拟系统完成的信息处理任务改由数字系统来完成。例如, 电视技术是一种传统的模拟系统, 目前也在向数字电视过渡。与现有的经典的电视系统相比, 新一代数字电视技术将具有更优良的性能和更低廉的生产成本。

把模拟物理量的处理改由数字系统来完成的方法如图1-3所示。通过A/D转换器将各种模拟信号 A 转换为数字信号 X , 直接送入数字系统进行处理和存储, D/A转换器又将数字系统输出的信息 Z 再转换为模拟信号 B 。

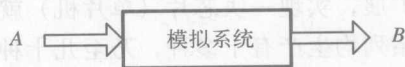


图1-2 模拟系统示意图

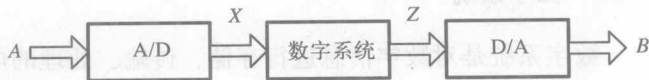


图1-3 典型的模拟信息数字化处理系统

1.2.2 传统数字系统设计

用状态转换图、状态转换表、状态方程组、输出方程组、时序图、真值表、卡诺图等描述工具可以建立数字系统的动态模型。这种方法适用于相对简单的系统，系统的输入、输出变量以及系统的状态都比较少，所需要的寄存器也比较少。

某数字系统DS的示意图如图1-4a所示。该系统输入为 X ，输出为 Z ，它们都是时间的函数，时钟信号为 CP ，各信号相互关系如图1-4b所示。

图1-4b显示，该系统属于同步时序系统的范畴，输出函数仅在同步时钟 CP 所规定的离散时刻（这里响应 CP 的上升沿）才能发生变化。因此，连续时间变量被取值为0, 1, 2, 3...的整数时间变量所代替。输入、输出也只能取得对应时间变量的有限数目的离散值。

上述同步系统，在时刻 t 的输出 $Z(t)$ 不仅是当前输入 $X(t)$ 的函数，而且是过去的 $X(0)$ 、 $X(1)$ 、...、 $X(t-1)$ 的函数，通常可用状态变量 $S(t)$ 来记录并表示 X 过去的有效输入，该状态变量也是时间的函数。现在，系统可以用两个方程来统一描述：

$$Z(t) = F_1[X(t), S(t)] \quad (1-1)$$

$$S(t+1) = F_2[X(t), S(t)] \quad (1-2)$$

式(1-1)称为输出函数方程，式(1-2)称为状态转换方程，又称次态方程。

分析图1-4b，可得出时钟 CP 、输入 X 序列、相应的 Z 输出序列如下：

CP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...
X	1	0	0	1	1	1	0	1	1	...
Z	0	1	0	1	0	0	1	1	0	...

根据“数字电路”课程中的同步时序电路分析方法，不难得到该系统的状态转换图和状态转换表如图1-5a、b所示。其中状态 S_0 表示系统收到过一个0；而状态 S_1 ，表示收到过一个1。

按照图1-4b给定的 X 序列又可以得到 $X(t)$ 、 $S(t)$ 和 $Z(t)$ 的相对关系如下所示：

$X(t)$	1	0	0	1	1	1	0	1	1	...
$S(t)$	S_1	S_0	S_0	S_1	S_1	S_1	S_0	S_1	S_1	...
$Z(t)$	0	1	0	1	0	0	1	1	0	...

由此，不难归纳出它是一个检测串行输入 X 的系统，当 X 发生变化时，输出 Z 为1，否则 Z 为0，即：

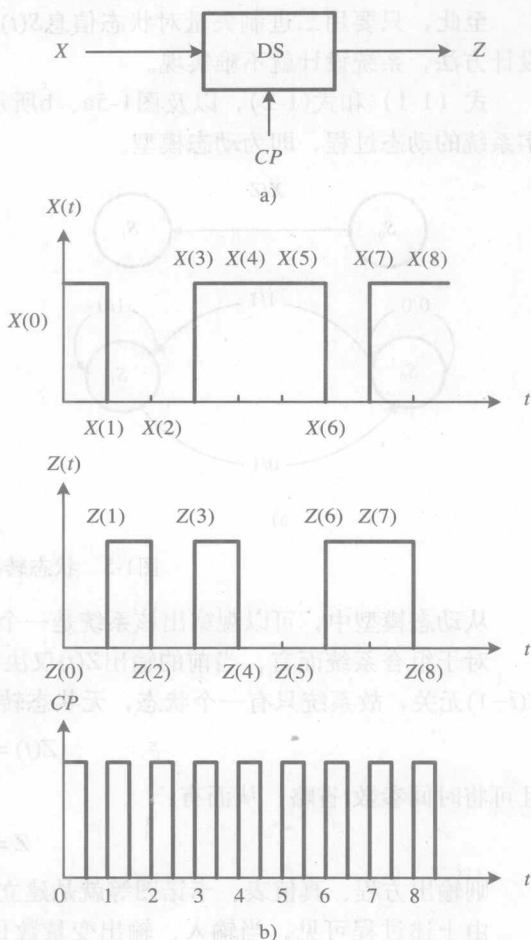
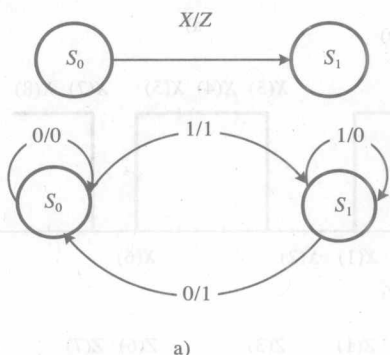


图1-4 某数字系统示意图和输入 X 、输出 Z 及时钟 CP 波形图

$$Z(t) = \begin{cases} 1 & \text{若 } X(t-1) \text{ 到 } X(t) \text{ 发生 } 0 \rightarrow 1 \text{ 或 } 1 \rightarrow 0 \text{ 变化} \\ 0 & \text{其余情况} \end{cases} \quad (1-3)$$

至此, 只要用二进制矢量对状态信息 $S(t)$ 和输入信息 $X(t)$ 进行编码, 采用常规的时序电路设计方法, 系统设计就不难实现。

式 (1-1) 和式 (1-2), 以及图 1-5a、b 所示状态转换图和状态转换表都完整地描述了该数字系统的动态过程, 即为动态模型。



现态 $S(t)$	当前输入 $X(t)$	
	0	1
S_0	$S_0/0$	$S_1/1$
S_1	$S_0/1$	$S_1/0$

次态 $S(t+1)$ / 输出 $Z(t)$

图1-5 状态转换图和状态转换表

从动态模型中, 可以观察出该系统是一个检测串行输入序列 X 有否变化的序列检测系统。

对于组合系统而言, 当前的输出 $Z(t)$ 仅决定于当前的输入 $X(t)$, 与过去的 $X(0)$ 、 $X(1)$ 、 $\dots$ 、 $X(t-1)$ 无关, 故系统只有一个状态, 无状态转换可言, 为此, 仅用输出函数方程描述, 记作:

$$Z(t) = F[X(t)] \quad (1-4)$$

且可将时间参数 t 省略, 从而有:

$$Z = F(X) \quad (1-5)$$

则输出方程、真值表、卡诺图等就是建立组合系统动态模型的工具。

由上述过程可见, 当输入、输出变量数目增加, 中间状态复杂时, 传统的数字系统设计方法遇到挑战。

1.2.3 采用单片机的数字系统设计

当数字系统的功能增加, 输入、输出变量增多, 状态很多时, 传统的数字系统动态模型很难进行描述。单片机的出现为复杂数字系统设计开辟了一条全新的途径, 整个数字系统的功能由硬件和软件共同完成。

一个内置单片机的数字系统的研制, 从提出任务到定型生产或投入使用, 其流程大致如图 1-6 所示。它应包括总体论证、系统设计、软硬件开发和联机调试等几个步骤。

含单片机数字系统的设计包含系统硬件和软件的综合设计。一般都具有以下的内容和步骤: 总体论证、系统功能划分、指标分配和框图构成。

1. 总体论证

在开始对一个系统或产品进行设计之前, 一般需要对构成该系统的总体方案进行选择和论证。它通常包括系统性能指标和系统组成两个方面。

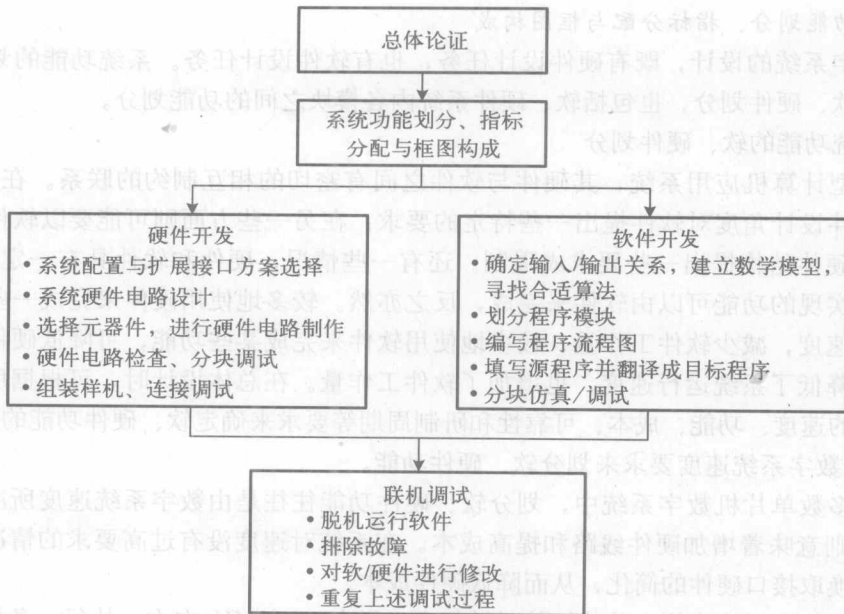


图1-6 单片机数字系统设计流程图

(1) 性能指标

要确定产品的性能指标，需要进行一定的调查研究，对产品功能的先进性、可靠性、可维护性以及性能价格比进行综合考虑，如有可能，还需要参考同类产品的性能，提出自己的产品应具有的功能、性能指标、工作环境、外形尺寸和重量等。对于一个数字系统来讲，一般情况下，用户首先给出若干基本性能指标，同时设计人员必须深入调查了解待设计的系统，与客户共同补充确定其他必需的指标，为选择总体方案提供必要条件。

(2) 系统组成

确定系统的组成应在系统性能指标已经明确的基础上进行。作为一个智能型电子系统或微型计算机应用系统，在系统组成上，首先应考虑采用哪一种计算机机型和选用哪些类型的元器件。

目前，由于国际市场微型计算机和单片机的种类繁多，性能、价格差别较大，因此在择机选型时必须考虑以下几方面问题：

1) 机型的选择应适应系统的应用类型和功能要求。一般通用型计算机系统适用于数据处理型应用场合，专用计算机系统适用于检测、控制型应用场合，混合型计算机系统适用于混合型应用场合。另外，无论通用型计算机系统还是专用型计算机系统，计算机的系列与品种也有许多，选择时应根据对系统的功能要求，选择最易实现的产品，满足系统技术指标。

2) 要有性能良好的开发工具。微型计算机系统一般有自开发和编程能力，但不同的系统可能提供了不同性能的开发工具。单片机自身无开发和编程能力，必须借助开发工具来开发。没有开发工具的帮助，则无法完成对系统的设计开发工作。

3) 选择设计人员最熟悉的机型，以利于缩短研制周期。

4) 选择的机型应有充分的市场货源。

在进行元器件的选择时，应根据系统技术指标，对这些元器件提出具体的性能要求，同时也应考虑诸如成本、使用方便性及市场供货方面的因素。