



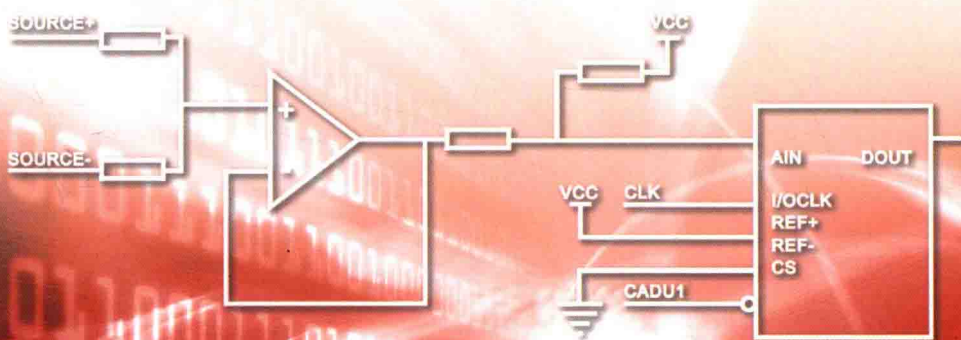
普通高等教育电子信息类专业“十三五”规划教材



西安交通大学 规划教材  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

# 嵌入式系统设计与应用

周秦武 编著



西安交通大学出版社  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



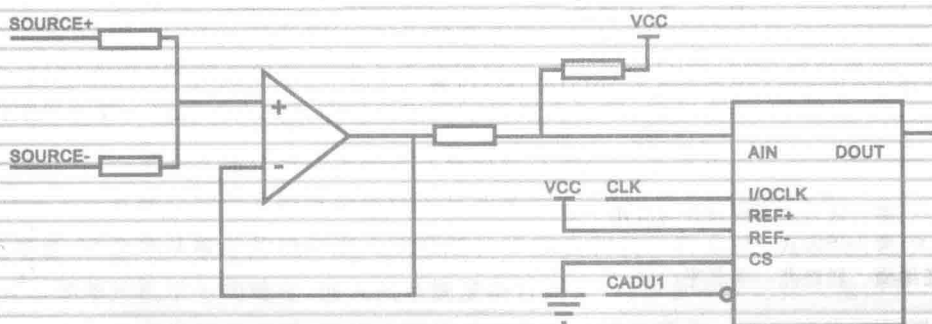
普通高等教育电子信息类专业“十三五”规划教材



西安交通大学 规划教材  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

# 嵌入式系统设计与应用

周秦武 编著



西安交通大学出版社  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

## 内容摘要

本书主要介绍了基于嵌入式系统和单片机的实际应用系统设计方法和相关的知识要点,以 MCS-51, MSP430, ARM, DSP 等为典型代表的 8/16/32 位单片机的内部结构和主要系统资源为切入点,详细介绍了嵌入式系统的存储器设计、I/O 接口设计、系统总线应用、可靠性设计、嵌入式实时操作系统设计,最后还给出了一些实际应用系统的设计实例。书中还配有大量的软硬件设计实例供读者参考。

本书读者应具有一定的计算机和 C 语言基础,还需要对单片机基础知识有一定的了解。

本书可作为高等学校计算机、电子、自动化、生物医学等专业的单片机课程或综合设计实验课程的教材,也可作为广大单片机技术开发者的应用系统设计参考书。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统设计与应用/周秦武编著. —西安:西安交通大学出版社,2015.9

ISBN 978-7-5605-7755-5

I. ①嵌… II. ①周… III. ①微型计算机—系统设计  
IV. ①TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 187419 号

---

书 名 嵌入式系统设计与应用  
编 著 周秦武  
责任编辑 屈晓燕 季苏平

出版发行 西安交通大学出版社  
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtupress.com>  
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)  
(029)82668315(总编办)

传 真 (029)82668280  
印 刷 陕西奇彩印务有限责任公司

---

开 本 787mm×1 092mm 1/16 印张 33.75 字数 827 千字  
版次印次 2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5605-7755-5/TP·685  
定 价 68.00 元

---

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82669097 QQ8377981

读者信箱:lg\_book@163.com

版权所有 侵权必究

# 前 言

嵌入式系统正越来越多地影响着人们的生活,基于嵌入式系统的产品已经发展出多种门类上千个系列。从智能装备、机电一体化设备、工业控制设备,到数码相机、智能手机、平板电脑,都依赖于嵌入式系统。

嵌入式系统设计主要包括硬件体系设计、软件系统设计和系统工程设计 3 部分。硬件系统包括单片机系统、外围存储器件、接口电路、传感驱动电路、网络产品等。软件系统包括早期的监控软件,现代的各种嵌入式操作系统,以及完成用户功能需求的用户软件。系统工程设计是指从应用系统设计入手,从基本功能、产品可靠性、运行安全性、用户体验等方面对产品进行全面的设计。

嵌入式系统随着半导体工艺、计算机技术的快速发展日新月异。单片机是嵌入式系统的核心,8 位 MCS-51 单片机是早期的主流型号,目前仍大行其道;TI 公司研发的以 MCS-96 系列单片机为始的 16 位 MSP430 系列单片机,正以其丰富的外设资源和低功耗性能得到越来越广泛的关注;32 位的 ARM 单片机是为嵌入式系统的高端应用设计的,可以提供更好的操作系统支持和硬件支撑。选择嵌入式系统时应以实际应用为标准,恰如其分,够用就好,不能一味追求高性能。另外,嵌入式操作系统是随着计算机硬件系统的复杂化而出现的辅助软件系统,是为复杂嵌入式系统应用开发提供的软件工具和平台,也要根据实际情况选用。

本书是笔者 30 余年从事单片机与嵌入式系统科研实践和教学的总结。在这些教学实践过程中,笔者深知单片机学习的难度,嵌入式系统复杂且庞大,初学者需要记忆大量信息,并且要会灵活运用,吃力而难以掌握精髓,但单片机的学习是有规律可循的。首先要从一种型号的单片机入手,了解它的基本功能、主要外设,特别要了解工作时序,这非常有助于掌握单片机内部工作原理和外设控制方法;其次,要了解单片机汇编语言结构特点,熟悉 C 语言编程方法;最后要了解外围接口电路的设计方法,接口的类型和电路形式千差万别,但大多数单片机接口都有固定形式,而且有大量设计实例可供参考,所以设计方法难度不大。

本书共包括 10 章内容,可分为 4 大部分:

第 1 部分包括第 1~5 章共 5 章内容:第 1 章概括描述了嵌入式系统基本构成和设计内容;第 2 章简要介绍了 MCS-51 8 位单片机的硬件结构和汇编语言特点;第 3 章介绍了 MSP430 系列 16 位单片机的内部结构和主要外设模块的结构和寄存器定义;第 4 章以 S3C2410X 和 LPC2000 两个系列的单片机为例,介绍了 32 位 ARM 单片机的体系结构和主要外设资源的结构特点和寄存器定义;第 5 章简要介绍了 TMS320 系列 DSP 器件的主要特点和应用领域,并给出了典型应用方法。

第 2 部分包括第 6 章内容:主要介绍了嵌入式实时操作系统的基本概念和主要产品特点,

深入描述了  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  操作系统的内核的主要组成和程序结构,论述了操作系统任务设计方法,并给出了典型任务的设计实例和基于 ARM 单片机的操作系统移植方法。

第 3 部分包括第 7~8 章共 2 章内容:其中,第 7 章介绍了嵌入式系统中使用的存储器的基本结构与应用设计方法;第 8 章介绍了嵌入式系统的接口设计方法,详细描述了接口的类型、功能和主要控制方式,介绍了常用并行接口、串行接口、现场总线、无线接口的主要应用方法,最后给出了嵌入式系统中各种接口的软硬件设计方法。

第 4 部分包括第 9~10 章共 2 章内容:其中,第 9 章介绍了现代电子系统设计时需要考虑和遵循的基本设计原则和可靠性设计方法;第 10 章给出了 4 个实际嵌入式系统设计实例,这些应用都是笔者长期科研实践的总结,可为嵌入式系统工程应用提供一些有益的参考。

本书可作为单片机与嵌入式系统相关课程的教材和教学参考。建议对于 32 课时的单片机类课程,可选择第 1 部分的 2~3 章内容(15 课时),第 3 部分的 2 章内容(14 课时),第 4 部分的 1~2 章内容(3 课时);对于 48 课时的单片机与嵌入式系统类课程,可对 4 部分分别设置 18,10,14,6 课时的教学计划;对于 64 课时的课程,则可以选择本书全部教学内容;对于以电子设计为主的专业综合设计类实验课程,则可以选择第 2~5 章中的 1 章、第 6 章、第 8 章、第 10 章为主,作为单片机电子系统设计的综合参考教辅书使用。

本书可以为学习或从事嵌入式系统设计的学生和工程技术人员提供一个有益的学习参考资料,书中提供了大量电路和程序设计案例,讲解了嵌入式系统设计中的关键问题和遵循原则,希望这本书能对读者有所帮助。

由于时间仓促,作者水平有限,作为抛砖引玉之作,书中难免有错误和不足之处,敬请广大读者批评指正。

周秦武

2015 年 5 月于西安交通大学

# 目 录

第 1 章 嵌入式系统概述	(1)
1.1 嵌入式系统及其硬件体系概述	(1)
1.2 嵌入式硬件体系构成	(5)
1.3 嵌入式硬件系统设计	(5)
第 2 章 MCS-51 系列单片机结构	(10)
2.1 8 位单片机简介	(10)
2.2 MCS-51 系列单片机主要结构与外设资源	(11)
2.2.1 MCS-51 单片机的结构	(11)
2.2.2 MCS-51 单片机的中断系统	(18)
2.2.3 MCS-51 单片机的工作时序	(31)
2.2.4 MCS-51 单片机应用	(33)
2.3 MCS-51 系列单片机汇编语言特点	(35)
2.3.1 概述	(35)
2.3.2 MCS-51 的指令系统	(37)
2.4 本章小结	(40)
第 3 章 MSP430 系列单片机结构	(41)
3.1 低功耗 MSP430 系列单片机简介	(41)
3.1.1 MSP430 单片机特点	(41)
3.1.2 MSP430 单片机外设概述	(43)
3.1.3 MSP430 单片机选型	(44)
3.2 MSP430 单片机主要结构特点	(46)
3.2.1 MSP430 结构概述	(46)
3.2.2 MSP430 CPU 的功能特点	(47)
3.2.3 MSP430 存储器的结构和地址空间	(50)
3.2.4 MSP430 的功耗管理模块	(56)
3.3 MSP430 单片机外设资源	(60)
3.3.1 基础时钟与低功耗	(60)
3.3.2 I/O 端口	(63)

3.3.3	定时器	(65)
3.3.4	比较器	(76)
3.3.5	FLASH 模块	(78)
3.3.6	USART 模块	(81)
3.3.7	ADC 模块	(84)
3.4	本章小结	(90)
<b>第4章</b>	<b>ARM 单片机系列结构</b>	<b>(91)</b>
4.1	ARM 的体系结构	(91)
4.1.1	ARM 简介	(91)
4.1.2	ARM 系列微处理器	(91)
4.1.3	ARM 芯片的选择	(94)
4.2	基于 ARM920T 核微处理器	(95)
4.2.1	ARM920T 简介	(95)
4.2.2	三星 S3C2410X 处理器详解	(104)
4.3	LPC2000 系列 ARM 硬件结构	(116)
4.3.1	LPC2000 系列简介	(116)
4.3.2	系统控制模块	(119)
4.3.3	外部存储器控制器	(123)
4.3.4	向量中断控制器	(128)
4.3.5	GPIO	(131)
4.3.6	UART0/1	(132)
4.3.7	I <sup>2</sup> C 接口	(134)
4.3.8	SPI 接口 SPI0/1	(137)
4.3.9	定时器 0/1	(140)
4.3.10	脉宽调制器 PWM	(142)
4.3.11	A/D 转换器	(145)
4.3.12	实时时钟	(147)
4.3.13	看门狗 WATCHDOG	(149)
4.4	本章小结	(150)
<b>第5章</b>	<b>TI 系列的 DSP 概述</b>	<b>(151)</b>
5.1	通用 DSP 处理器简介	(151)
5.2	常用的 TI-DSPs 的特点与应用	(153)
5.2.1	TMS320C2000 系列 TI-DSPs	(153)
5.2.2	TMS320C5000 系列 TI-DSPs	(155)
5.2.3	TMS320C6000 系列 TI-DSPs	(159)



5.2.4	TMS320C8x 多 DSP 核 TI-DSPs .....	(163)
5.3	DSP 硬件系统应用 .....	(164)
5.3.1	主机接口 .....	(164)
5.3.2	DSP 最小系统设计 .....	(168)
5.4	本章小结 .....	(173)
<b>第 6 章</b>	<b>嵌入式实时操作系统</b> .....	<b>(174)</b>
6.1	嵌入式操作系统简介 .....	(174)
6.1.1	嵌入式操作系统概况 .....	(174)
6.1.2	实时操作系统的基本概念 .....	(176)
6.1.3	主流嵌入式操作系统简介 .....	(180)
6.1.4	智能手机操作系统 .....	(184)
6.2	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的内核 .....	(189)
6.3	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 中的任务设计 .....	(210)
6.3.1	任务的特性 .....	(210)
6.3.2	任务划分的方法 .....	(211)
6.3.3	操作系统中任务函数的结构 .....	(212)
6.3.4	任务优先级安排 .....	(215)
6.3.5	任务的数据结构设计 .....	(216)
6.3.6	任务设计中的问题 .....	(217)
6.3.7	任务的代码设计过程 .....	(218)
6.3.8	任务的创建 .....	(218)
6.3.9	任务的挂起和恢复 .....	(221)
6.3.10	任务管理函数 .....	(221)
6.3.11	任务堆栈 .....	(222)
6.4	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 中的中断和时钟 .....	(224)
6.4.1	中断优先级安排 .....	(224)
6.4.2	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的中断 .....	(225)
6.4.3	时钟控制与管理 .....	(239)
6.5	事件控制块与任务同步 .....	(247)
6.5.1	事件控制块 .....	(247)
6.5.2	任务间的同步 .....	(253)
6.6	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 采样任务设计 .....	(272)
6.7	$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 键盘任务设计 .....	(275)
6.8	在 ARM7 上移植 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ .....	(279)
6.8.1	移植规划 .....	(279)
6.8.2	移植 .....	(280)



6.8.3	嵌入式操作系统的剪裁 .....	(291)
6.8.4	移植 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 到 LPC2000 .....	(295)
6.9	本章小结 .....	(298)
<b>第7章</b>	<b>嵌入式系统存储器结构与设计</b> .....	(299)
7.1	常用存储器概述 .....	(299)
7.2	常用存储器件特性与选择 .....	(301)
7.2.1	常用存储器件特性 .....	(301)
7.2.2	存储器选择 .....	(307)
7.3	嵌入式存储器应用设计 .....	(310)
7.3.1	存储器工作时序 .....	(310)
7.3.2	存储器系统设计 .....	(310)
7.3.3	Nand Flash 接口设计实例 .....	(318)
7.4	本章小结 .....	(325)
<b>第8章</b>	<b>嵌入式系统接口电路设计</b> .....	(326)
8.1	嵌入式系统接口概述 .....	(326)
8.1.1	嵌入式系统接口的类型划分 .....	(326)
8.1.2	嵌入式系统接口的功能描述 .....	(327)
8.1.3	嵌入式系统接口的控制方式 .....	(328)
8.2	嵌入式系统常用接口技术 .....	(328)
8.2.1	并行接口 .....	(329)
8.2.2	串行通信基础 .....	(331)
8.2.3	常用串行通信总线 .....	(338)
8.2.4	常用无线通信接口 .....	(344)
8.2.5	现场总线接口 .....	(349)
8.3	嵌入式系统接口电路设计 .....	(362)
8.3.1	单片机测控电路设计 .....	(362)
8.3.2	常用外围接口电路 .....	(367)
8.3.3	模拟信号的 I/O 口设计 .....	(404)
8.3.4	模/数(A/D)变换器接口电路设计 .....	(413)
8.3.5	数/模(D/A)变换器接口电路设计 .....	(422)
8.4	本章小结 .....	(426)
<b>第9章</b>	<b>嵌入式系统可靠性设计</b> .....	(428)
9.1	现代电子系统的可靠性 .....	(428)
9.2	电子系统硬件的可靠性设计 .....	(428)

9.2.1	电磁兼容性概述 .....	(429)
9.2.2	电子设备硬件抗电磁干扰技术 .....	(431)
9.2.3	电路设计与印制电路板(PCB)设计 .....	(440)
9.3	电子系统软件的可靠性设计 .....	(444)
9.4	本章小结 .....	(447)
<b>第 10 章</b>	<b>嵌入式系统应用设计 .....</b>	<b>(448)</b>
10.1	智能点火控制器系统设计 .....	(448)
10.2	超声加速溶解系统设计 .....	(453)
10.3	便携式监护终端的设计 .....	(458)
10.4	PC 机与多台 8051 单片机间的多机通信 .....	(476)
<b>附录</b>	<b>.....</b>	<b>(485)</b>
附录 A	.....	(485)
附录 B	.....	(494)
附录 C	.....	(519)
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>(530)</b>

# 第 1 章 嵌入式系统概述

## 1.1 嵌入式系统及其硬件体系概述

### 1. 嵌入式系统概念

简单地说,嵌入式系统是一个包括硬件和软件的完整的计算机系统。根据实际应用的需要,设计者可以选择和剪裁所用计算机系统的硬件和软件。嵌入式系统本身是一个相对模糊的概念。随着嵌入式系统在日常生产生活各个方面的渗透,和在工业、服务业、消费电子等领域应用的不断扩大,使得人们更难以给“嵌入式系统”一个确切的定义。关于嵌入式系统的概念,不同的专家、学者、协会有不同的定义和理解。

国际电气和电子工程师学会 IEEE 的定义是:嵌入式系统是控制、监视或辅助设备、机器和车间运行的装置(devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants)。

目前我国对嵌入式系统的定义从技术上讲是以应用为中心,以计算机技术为基础,软件硬件可裁剪,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。从系统角度讲是设计完成复杂功能的硬件和软件,并使其紧密耦合在一起的计算机系统。

因此嵌入式系统是先进的计算机技术与半导体技术、电子技术以及各个行业具体应用相结合的产物,所用的计算机是嵌入到被控对象中的专用微处理器。与通用计算机必须适合被嵌入对象的工作环境不同,嵌入式系统可以根据实际需要剪裁所用的软硬件,它是面向用户、面向应用、面向产品的。

从上述概念中可以看出,相对于通用计算机系统,嵌入式系统具有如表 1-1 所示的诸多特点:

表 1-1 嵌入式系统特点

特点	通用计算机	嵌入式系统
相同点	对存储的程序进行有序存取而工作	
不同点	内核(CPU)加芯片外部的应用设备	大部分依靠内核加内部的外部设备模块,需要扩展时才有芯片外部设备
	无需关心硬件底层的事件	必须关心硬件底层的事件
	网络系统已经很成熟	正在向网络化方向发展
	软件版本升级快,但硬件环境相对不变,系统软件规模基本固定,功能也基本相似	因嵌入环境不同,差别很大,很少有各种嵌入式系统的统一模式
	系统生命周期短,升级换代快	系统生命周期长,升级换代慢
	有计算机就可以进行应用开发	芯片本身不具备开发功能,必须有一套开发工具和软件

续表 1-1

特点	通用计算机	嵌入式系统
嵌入式系统特点	一般分四大类:微控制器(MC)、微处理器(MP)、数字信号处理器(DSP)和片上系统(SOC)	
	开发人员更注意与其他专业人员进行合作	
	通常使用在特定领域,功能是专用的	
	是计算机技术、半导体技术、电子技术与各行各业相结合的产物	
	系统软件、应用软件固件化,对软件要求质量高,并有相应的实时处理功能	
	很难大集体产业化,一般由少数工程师的个体劳动和个体活动来完成。嵌入式系统一般分为硬件、软件,可由不同人开发。由于软件与硬件、软件与软件之间关联较多,多人开发效率不高	

在充满机遇和挑战的后 PC 时代,形式多样的数字化智能产品应运而生,并且成为替代通用 PC 机进行信息处理的主要部件,在这些部件中都嵌入了各种类型的嵌入式系统。

## 2. 嵌入式系统的发展历史

嵌入式系统在硬件方面的发展过程也是嵌入式系统中内部计算机的发展过程,这种专用计算机在嵌入系统中应用的历史几乎与计算机自身的历史一样长,如图 1-1 所示。

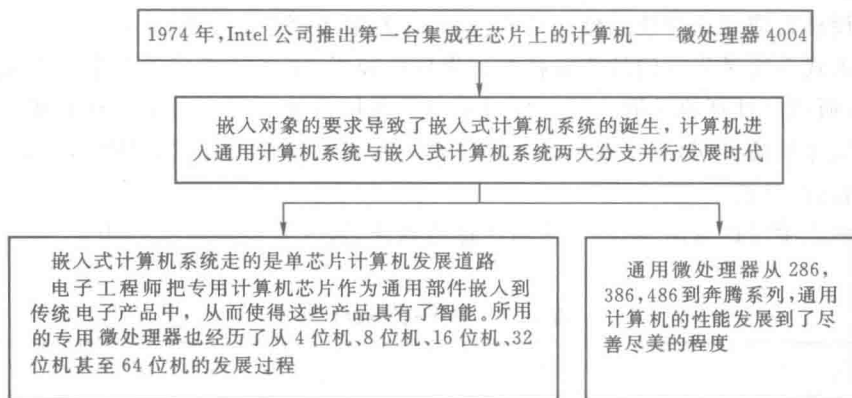


图 1-1 嵌入式系统发展历史

嵌入式系统的发展日新月异,随着嵌入式产品竞争的进一步加剧,产品更新周期将越来越短。残酷的竞争对产品的更新时间要求十分苛刻,且要求技术十分前沿。为满足要求,商家将一块块复杂的 IP 核堆积起来,实现复杂的功能。在如此复杂的系统中,操作系统是必不可少的,否则软件将变得不可思议的复杂。嵌入式系统软件发展过程如图 1-2 所示。

## 3. 嵌入式系统的构成

一个完整的嵌入式系统主要由硬件体系、软件程序和系统工程三部分组成,其构成如图 1-3 所示。

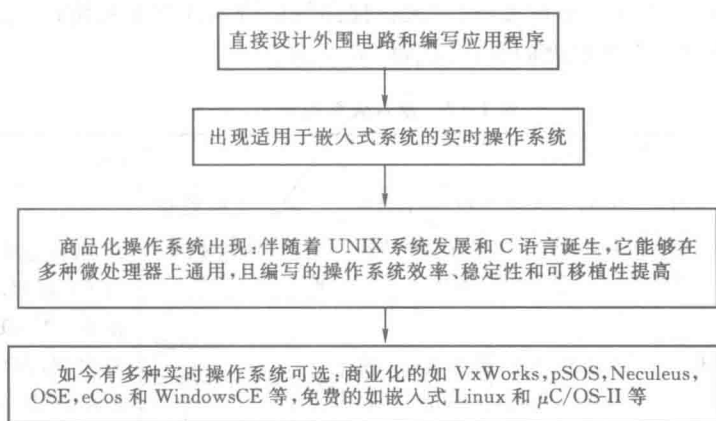


图 1-2 嵌入式系统软件发展

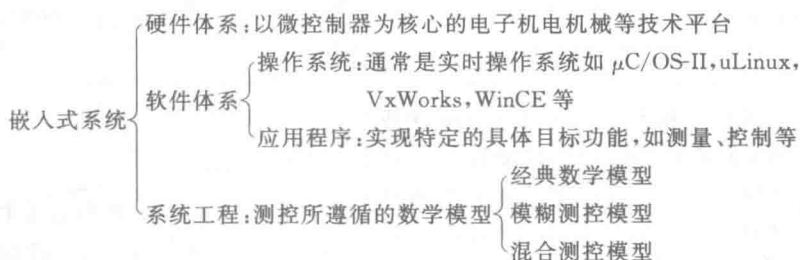


图 1-3 嵌入式系统构成

嵌入式硬件体系是整个嵌入式系统的构建基础,是系统工程方案和软件程序赖以存在的根基。它的设计优劣直接影响着整个嵌入式系统的稳定可靠程度、工作性能的实现和成本价格等方面。嵌入式硬件体系涉及模拟电路、数字电路、现代电子电路和电子技术、微电子技术、微计算机技术、传感测量变换技术、机电传动控制技术等等。其核心是微控制器,还有存储器、各类接口、测量/控制电路等组成部分。

嵌入式系统的操作系统通常指的是实时多任务操作系统(Real Time Operate System, RTOS),有  $\mu\text{C}/\text{OS}$ ,  $\mu\text{Linux}$ , VxWorks, DSP/BIOS, EmbeddedWinCE 等。常根据代码的大小、实时多任务调度的能力等去衡量和选择一个实时操作系统。应用程序实现具体的目标系统功能,可以构建在某一实时操作系统之上,也可根据所选择的微控制器的结构和应用特点独立构造。通常选择一种适合实际需要的实时多任务操作系统为基础构造应用程序。

#### 4. 嵌入式系统的种类

嵌入式系统根据其复杂程度可分为四类,如表 1-2 所示。

#### 5. 嵌入式系统产品的应用和设计目标

在当今数字信息技术、网络技术高速发展的时代,嵌入式系统已经广泛地渗透到方方面面。从家用洗衣机、电冰箱,到作为交通工具的自行车、小汽车,再到办公室里的远程会议系统等,都是可以使用嵌入式技术开发和改造的产品。未来社会,使用嵌入式系统的情形会越来越多,嵌入式系统存在于生活的各个角落:与网络相连,管理家里的所有家电的嵌入式控制系统;

通过卫星定位系统判断当前汽车位置,得到最快捷路线的嵌入式智能系统;通过选择和控制仪器,提高手术的成功率和方便程度的设备仪器嵌入式系统等。

表 1-2 嵌入式系统分类

类别	特点	构成	
单片微处理器	本身包括 ROM, RAM, I/O, A/D, D/A。只要一片就组成一个嵌入式系统。这类占整个嵌入式系统的大多数	嵌入式微处理器,以及复位、时钟、电源部分	主要包括 MCS-51/96 系列, Philips51 系列, ATMEL51/89/90 系列, ADI 公司的 ADUC812, 816, 824 系列, Motorola 公司的 68HCxx 系列, Zilog 公司的 Z8/Z80 系列, Microchip 的 PIC 系列等
可扩展的单片计算机系统	外部三总线(地址总线、数据总线、控制总线)。一般可以从内部 ROM 中取指令,也可以从外部 ROM 中取指令,寻址空间一般在 1MB 以内。外部可以增加一些系统所必须的 I/O 芯片、A/D 芯片等	除第一类功能外,主要有外部三总线,它们与外部 RAM, ROM, I/O, A/D, D/A, 并行接口, 串行接口相连接	
复杂的嵌入式系统	以 16 位和 32 位 CPU 为主,装有多任务实时操作系统,内存 1MB 以上,并有多重接口。可接 LCD 彩色显示屏,可有各种总线如 LAN, CAN, FPC, RS232 以及以太网接口等	主要以 16 位机和 32 位机为主,包括 80C51XA(Philips), ATMELAT90 系列,在 Intel486 基础上开发的 80C186/196 (由通用微处理器进行改造而成的嵌入式微处理器),以及 AMD 公司开发的 x86 嵌入式微处理器。另外还有 Motorola 公司的 mpc555, 700, 3000 系列; ARM 系列等	
形成网络化的嵌入式控制系统	把多个嵌入式系统用高速、低速网连接起来。解决总线、网络的冲突同步问题。主嵌入式系统一定是实时多任务操作系统。这类系统主要用于生产过程控制、大型远程监控系统、复杂的远程控制系统。每一个嵌入式系统都有操作系统或监控系统		

如何设计稳定可靠、简洁便利、经济实用的嵌入式硬件体系产品和构造嵌入式系统产品坚实的基础平台尤为重要。嵌入式系统产品实现的主要功能有物理量测量、执行控制、音像处理、跟踪监视、通信传输、移动通信等。设计嵌入式系统产品,需要达到以下设计目标:

(1) 稳定可靠。硬件体系工作稳定可靠,抗干扰性强,免维护,功耗低,软件代码小,异常处理能力强。

(2) 简洁便利。硬件体系构造简单,软件代码小,响应快,实时性强;系统体积小,重量轻,便携,便升级。

(3) 经济实用。系统成本低,开发周期短,环境适应性强,升级换代及其兼容性优良。

## 1.2 嵌入式硬件体系构成

嵌入式硬件体系大致可划分为三类组成部件,其基本构成框图如图 1-4 所示。

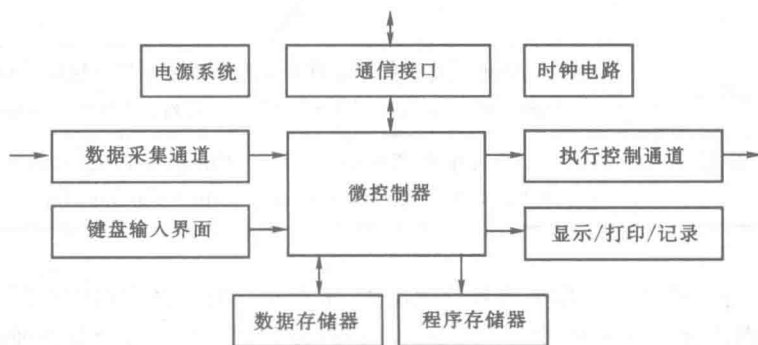


图 1-4 嵌入式硬件体系的基本构成框图

核心部件:主要是微控制器(Micro Controller)、时钟电路。

主要部件:主要是存储器件、测控通道器件、人机接口/通信接口器件。

基础部件:主要是电源供电电路,还有电路监控电路、复位电路、电磁兼容与干扰抑制电路等。

嵌入式硬件体系的核心部分是微控制器,基础构成部分是时钟电路和电源系统。数据存储器 and 程序存储器进行智能控制和实现具体测量控制、监视。键盘输入和显示/打印/记录部分是重要的人机界面接口。数据采集通道和执行控制通道是测量和控制的主要途径。通信接口(并行/串行、有线/无线)是嵌入式系统和外界进行数据交流联系的信息通道。

微控制器、时钟电路和电源电路三位一体,可以构成一个最简单的嵌入式系统,这三部分是构成嵌入式系统必不可少的。数据和程序存储器使嵌入式系统具有了较为高级的人工智能。其他部分可以根据构成嵌入式系统的简繁灵活地选择使用。

## 1.3 嵌入式硬件系统设计

嵌入式硬件体系设计工作可划分为两部分:直接相关部分设计和间接相关部分设计。直接相关部分设计是根据实际应用需求直接选择合适的组成器件设计相应模块电路。间接相关部分设计是把各个直接相关部分设计构成一个整体,并进行模拟仿真分析和硬件体系调试。

### 1. 直接相关部分设计

#### 1) 微控制器及其选择

嵌入式系统中的微控制器主要是单片机、数字信号处理器 DSP 和大规模可编程逻辑器件,如表 1-3 所示。



表 1-3 微控制器组成

通用单片机	主要有 8 位、16 位或 32 位单片机,如 MCS-51 单片机、PIC 系列单片机、可编程片上系统 SOPC(System on Programmable Chip)单片机、MCS-96 单片机、80C166 系列单片机、MSP430 系列单片机、ARM 系列单片机等
数字信号处理器	主要是能够进行复杂数学运算和数据处理分析的通用可编程 DSP,如 TI 的 TMS320C2000 系列、TMS320C5000 系列、TMS320C6000 系列等
大规模可编程逻辑器件	主要是复杂可编程逻辑器件 CPLD(Complex Programmable Logical Device)和现场可编程逻辑器件 FPGA(Field Programmable Gate Array)

现代使用的各类单片机或数字信号处理器内,常常集成有各种常用的外部设备,如通用异步收发 UART 模块、模/数转换 ADC 等,统称片内外设。选用具有片内外设的微控制器,可以有效减少系统器件的外部扩展。

为某一嵌入式硬件体系选择微控制器时需要考虑的因素:CPU 速度及其匹配,数据总线宽度,片内外设,输入/输出 I/O 口的特点与数量,开发工具及其简繁程度,成本等。

#### 2) 存储器及其选择

存储器用于存储数据或程序代码。现在使用的很多微控制器内部都含有一定数量的数据存储单元和程序存储单元,微控制器所含存储容量不能满足需要或没有存储器的微控制器均须外扩存储器件。

嵌入式系统中使用的存储器,有程序存储器和数据存储器之分、同步/异步工作之分、串行接口/并行接口之分。对于数据存储器,还有很多各类非易失存储器件,对程序存储器有电擦除存储器、闪存等多种类型。嵌入式系统中使用的存储介质有 IC 卡、CF 卡、电子盘等。这些存储介质多是由有特定接口和数字逻辑的各类存储器件构成的。

为某一嵌入式硬件体系选择存储器时需要考虑的因素有存储器的类型、读/写访问的速度、存储器的容量、访问的简繁程度、电源供应、成本等。

#### 3) 人机接口/通信接口的设计

嵌入式系统中的人机接口主要是各种类型的键盘输入接口、LED 数码显示/LCD 液晶显示接口,以及微型打印、记录仪、语音报警等。

嵌入式系统中的通信接口主要是一些总线接口、串行传输接口、远距离数据传输接口、无线通信接口等。这些接口中,有串行数据传输的,有并行数据传输的,也有差分数据传输的。常见的接口形式有 UART 接口、USB 接口、1394 接口、PCI 总线接口、485 总线接口、IrDA 红外传输接口和以太网接口等。

#### 4) 信号采集与控制通道的设计

信号采集通道用于收集外部需要测量的信号,这些信号通常可以分为两类:开关量信号和模拟量信号。开关量信号即是外界目标的通断等可以用二值表示的状态;模拟量信号即是通过传感变换得到的微变电信号。现代很多传感器内部含有微控制器,自成体系,构成一体化模块,可以直接对外送出数字信号。这类传感器使用方便,直接与设计系统的主控制器相应接口

相连即可。

开关量信号通道相对简单,设计相应的电平变换和隔离形式即可。模拟量信号通道设计环节较多,一般含有隔离、放大、滤波、模/数变换、多路切换等诸多环节。

### 5) 基础电路的设计

嵌入式系统的基础电路包括供电电路、系统监控电路、复位电路、时钟电路、EMC/EMI 电路等。现代嵌入式系统对低功耗要求严格,供电电路常常是多电源制,有 5V, 3.3V, 2.5V, 1.8V 等电源设计,涉及升压、降压、稳压等。一些手持设备还常常要求电路监控、电量计量等,需要设计特定的电路监控电路。复位电路和时钟电路直接影响着系统的工作性能,需要设计特定合理的相应规格电路,对电磁兼容要求严格场合使用的嵌入式系统产品,还要在系统中进行 EMC/EMI 电路设计。

## 2. 间接相关部分设计

间接相关部分设计主要包括系统的原理设计、PCB 制板和体系调试三部分。

### 1) 系统原理设计与 PCB 制板

确定好相关硬件体系器件后,就可以着手进行系统原理设计和 PCB 制板设计。可以选择 Prote, PowerLogic/PCB 或 OrCAD 等电子设计自动化 EDA 工具绘制电路原理图,进行 PCB 制板;还可以在原理图设计和 PCB 制板设计完成后,使用相关模拟仿真工具进行所设计硬件体系的信号分析和实用模拟试运行分析,查找问题,找出解决办法,在设计阶段进一步完善电路。

系统原理设计与 PCB 制板是嵌入式系统设计方案得以实施的重要环节。

### 2) 硬件体系的调试

嵌入式硬件体系调试包括测试、调试和恶劣环境实验 3 个时期。测试主要包括初期板级测试、基础电路测试、各个组成模块电路测试和系统整体测试等。调试主要是软硬件结合的模拟与仿真及其测量分析。恶劣环境实验用以验证产品在极端情形下承受能力,包括极限温度实验、抗干扰实验、振动实验等。

嵌入式硬件体系调试是嵌入式系统产品开发生产、走出实验室进入应用的必备环节。

## 3. 单片机开发系统

不同的嵌入式微处理器所使用的单片机开发不同,没有单片机仿真器就无法开发单片机系统。因为在调试嵌入式 MCU 应用程序时会出现如编程错误、硬件错误、接口驱动错误、数据格式错误等各种错误。其中语法错误,在编译时可以被发现并纠正;而非语法错误,只有在调试目标系统时才能被确认、定位、改正,如 I/O 定义和使用错误、逻辑顺序错误、硬件接口及可编程控制字错误等。所以,开发单片机系统时一定要仿真器。

单片机的开发需要有 PC 机作为开发机,来对目标板系统进行开发调试。开发机和目标机处于不同的机器中,程序在开发机即 PC 机上进行编辑、交叉编译、连接定位,然后下载到单片机系统中进行运行和调试。

为解决调试开发嵌入式系统中遇到的各种问题,仿真器必须具有一些基本的功能:仿真器中至少有一个与被调试嵌入式系统相同的微处理器;具有与 PC 通信的接口和相应的交叉编译、编辑及调试界面;具有调试单片机 ROM 的功能;具有单步、多步、设置和取消断点、运行、