



**Microcomputer
Embedded System Design**

微型计算机 嵌入式系统设计

李伯成 编著

*Specially Designed
for Engineers and Technicians of Electronics*



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

微型计算机嵌入式系统设计

李伯成 编著

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书在介绍嵌入式计算机系统设计步骤的基础上,分章节对系统各组成部分的设计及涉及到的技术问题进行了详细的说明。其中包括单片机、DSP 等嵌入式系统核心部件的选择,总线设计,内存设计,常用外设接口设计,嵌入式系统的软件设计,嵌入式系统的可靠性设计及系统调试等诸多问题进行了深入的讨论。

书中讨论的都是当前工程应用中经常遇到的问题,可作为一般工程技术人员的工作参考书,也可作为高等院校高年级学生的教材或学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

微型计算机嵌入式系统设计/李伯成编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2004.6

ISBN 7-5606-1377-2

I. 微… II. 李… III. 微型计算机—系统设计 IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 033618 号

策 划 陈宇光

责任编辑 陈宇光

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2004年6月第1版 2004年6月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 23.75

字 数 569千字

印 数 1~4000册

定 价 34.00元

ISBN 7-5606-1377-2/TP·0732

XDUP 1648001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

近年来,以单片机、数字信号处理器(DSP)为核心的嵌入式计算机系统,以其功能齐全、功耗低、可靠性高、适应面广等诸多优点得到了极为广泛的应用。可以预想,在今后的若干年,一定是嵌入式计算机系统得到更加广泛深入应用的时期。

编写本书的目的在于帮助读者迅速掌握嵌入式系统的基本设计方法。为此,书中首先介绍了系统的设计步骤,使读者了解一个嵌入式计算机系统如何一步一步地设计出来。而后,按照嵌入式计算机系统的各个组成部分,逐章加以详细说明,其中主要包括单片机、DSP的选择原则;总线设计中的有关问题;内存存储器的设计;各种常用外设的接口设计;系统的可靠性设计;系统的调试等。特别强调与系统设计有关的基本概念、基本思路和基本方法。读者在掌握了书中的内容后,能够比较顺利地设计一个小嵌入式计算机系统。

本书的内容起点略高一些。要求读者了解微型计算机(或单片机或DSP)的基本原理,熟悉一些常用的数字集成电路、常见的可编程接口芯片。这方面的内容,书中将直接引用,不再做出解释。本书力求达到下面的目的:

- 介绍计算机系统嵌入式设计的基本技术和方法,这些技术和方法可适用于各种CPU、单片机或DSP。

- 对于系统设计中所遇到的一些重要概念,书中将特别说明。同时,作者在多年工程实践中积累的经验教训以及所采用的技术和方法都将在书中出现。

- 作者力求书中内容尽可能简单明了,并为读者提供有价值的实用技术,方便读者根据书中所提到的工程实例举一反三地解决自己所遇到的工程技术问题。

尽管作者尽力想把书写得好一些,使本书有更多的参考价值,但由于水平所限,不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者
2004年2月

目 录

第 1 章 嵌入式计算机系统设计概述	1
1.1 嵌入式计算机系统	1
1.2 嵌入式计算机系统的设计要求和设计步骤	5
练习题	12
第 2 章 嵌入式处理器	14
2.1 嵌入式处理器简介.....	14
2.2 选择嵌入式处理器.....	36
练习题	39
第 3 章 总线设计	40
3.1 总线概述.....	40
3.2 内总线.....	43
3.3 外总线.....	60
3.4 总线驱动与控制.....	72
练习题	89
第 4 章 存储系统设计	90
4.1 存储系统设计概述.....	90
4.2 存储器地址译码方式及译码电路.....	94
4.3 RAM 的连接	100
4.4 EPROM 和 EEPROM	116
练习题.....	130
第 5 章 嵌入式系统常用接口	132
5.1 键盘接口	132
5.2 打印机接口	139
5.3 光电隔离输入/输出接口.....	147
5.4 数/模(D/A)变换器接口.....	152
5.5 模/数(A/D)变换器接口.....	163
5.6 显示器接口	179
5.7 步进电机与直流电机接口	193

5.8 中断的应用	202
练习题.....	209
第 6 章 用户程序开发	213
6.1 软件开发模式简述	213
6.2 用户程序的基本要求及开发过程	217
6.3 高级语言与汇编语言的接口	226
练习题.....	237
第 7 章 实时监控程序	238
7.1 概述	238
7.2 实时监控程序设计	239
练习题.....	265
第 8 章 嵌入式系统的可靠性设计	267
8.1 概述	267
8.2 故障检测技术	270
8.3 硬件可靠性设计	290
8.4 软件可靠性设计	303
8.5 系统的抗干扰设计	310
8.6 可靠性的总体考虑	339
练习题.....	344
第 9 章 系统调试与维修	346
9.1 测试仪器简介	346
9.2 嵌入式计算机系统的调试	355
9.3 系统故障的检测与维护	362
练习题.....	372
参考文献	374

第 1 章 嵌入式计算机系统设计概述

本章首先说明嵌入式计算机系统的概念、组成及其特点。然后,介绍嵌入式计算机系统的设计原则和设计步骤,以便在本书一开始就使读者对嵌入式计算机系统的组成和设计过程有一个基本的了解。实际上,本书后面的所有章节都是对本章所描述各部分的进一步介绍。因此,理解了本章的内容也就从总体上明确了嵌入式计算机系统的设计过程。

1.1 嵌入式计算机系统

1.1.1 嵌入式计算机系统的定义

长期以来,人们常根据性能和规模将计算机分为微型、小型、中型、大型及巨型机等,这种分类方法一直沿用至今。随着计算机技术的发展,这种分类方法的缺陷已越来越明显。今天的微型机与过去的小型、中型机相比,也许功能更强、性能更优。

实际上,以应用为主要出发点的分类方法更加切合实际。根据这种分类原则可将计算机分为嵌入式计算机和非嵌入的通用型计算机。

嵌入式计算机系统是指以应用为核心,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,可适应对功能、实时性、可靠性、安全性、体积、重量、成本、功耗、环境、安装方式等方面严格要求的专用计算机系统。

从上面的定义中可以看到,嵌入式计算机系统实质上就是用于实现某些特定要求的计算机应用系统。从军用到民用、从工业企业到家庭,从天上到地下直至海里,所有用于监测或控制的计算机应用系统均可纳入嵌入式计算机系统的范畴。因此,嵌入式计算机系统的应用领域极为广泛。现在每年有超过 30 亿套规模不一的嵌入式计算机系统投入使用,创造的工业年产值超过 1 万亿美元。

1.1.2 嵌入式计算机系统的构成

与其他计算机系统一样,嵌入式计算机系统也是由硬件和软件两大系统彼此结合,相辅相成所构成的。

1. 嵌入式计算机硬件系统

嵌入式计算机硬件系统的概念框图如图 1.1 所示。

由图 1.1 可以看到,嵌入式计算机系统的硬件系统是由嵌入式处理器、常规外设及其接口、专用外设及其接口、操作控制台及报警设备等几个主要部分构成的。

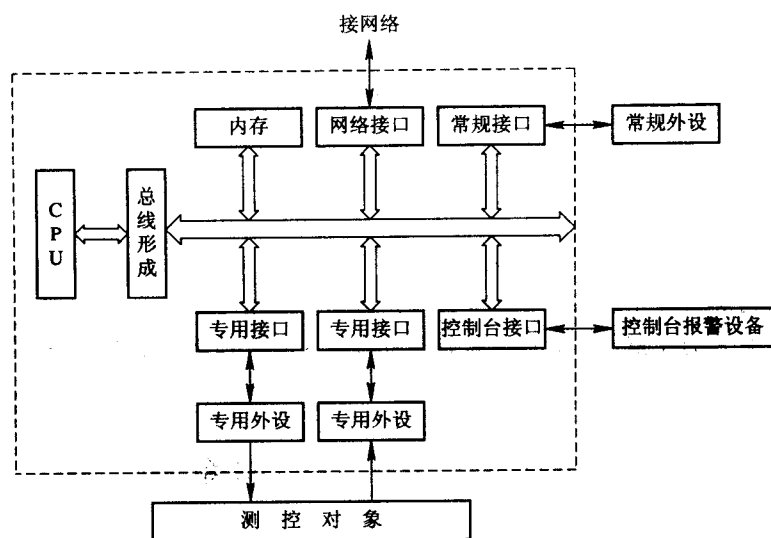


图 1.1 嵌入式计算机系统概念框图

1) 嵌入式处理器

嵌入式处理器是构成系统的核心部件，系统中的其他部件均在它的控制和调度下工作。

在实际的监控系统中，处理器能够通过专用接口获取监控对象的数据、状态等各种信息，并对这些信息进行计算、加工、分析和判断。而后作出相应的控制决策，再通过专用接口将控制信号传送给监控对象。

嵌入式处理器可以以 CPU 为核心，再加上内存、接口等部件构成(如图 1.1 所示)，可以在单片机的基础上扩展而成；可以以数字信号处理器(DSP)为核心构成；也可以用专用处理器芯片甚至用自己设计的 ASIC 来构成。采用什么样的处理器，主要取决于用户的需求。在嵌入式计算机系统中，处理器性能的优劣将直接影响整个系统，有关嵌入式处理器的细节将在第 2 章中予以说明。

2) 常规外设及其接口

所谓常规外设是指构成一个计算机系统所必不可少的那些外设。例如，作为输入设备的键盘，作为输出设备的显示器等。即使最简单的、最小的嵌入式系统也会有简单的按键和显示装置。

常规外设通常包括以下三类设备：

① 输入设备，用于数据的输入。常见的输入设备有键盘、鼠标、触摸屏、扫描仪、数码相机、各种多媒体视频捕获卡等。

② 输出设备，用于数据的输出。常见的输出设备有各种显示器、各种打印机、绘图仪、各种声卡、音箱等。

③ 外存储设备，用于存储程序和数据。常见的外存储设备有硬盘、软盘、光盘设备、磁带机、存储卡等。

通过接口可以将外设连接到计算机上,使外设的信息能够输入到计算机,计算机的信息能够输出到外设。

3) 专用外设及其接口

在嵌入式系统中,专用外设是指那些为完成用户要求的功能而必须使用的外设。在实际应用中,由于用户功能要求的多样性,实现这些要求的技术途径的灵活性,使得专用外设的种类繁多,而且,不同的用户系统所用的专用外设也很不相同。在后面的章节中,将具体介绍一些最常见的外设及其连接和使用的例子。通过这些例子,可帮助读者建立起有关专用外设的基本概念以及使用专用外设的基本方法。

应指出的是,在这里专用外设是广义的,那些经接口与计算机相连接的部件均被看成是专用外设。例如,发光二极管、数码管、直流电机、步进电机、继电器、A/D器件、D/A器件、按键等都可以认为是专用外设。

专用外设也需要通过接口与计算机相连接。由于专用外设的多样性和复杂性,这类接口的设计更加复杂和困难。

不管是常规外设还是专用外设,它们的接口要完成的功能都是一样的。接口应该提供计算机与外设的信息传送的通路;实现外设状态的输入和对外设控制信息的输出;实现电平转换、信号形式(数字信号与模拟信号)的转换以及快速的处理器与慢速的外设间的同步。

4) 操作控制台及报警设备

嵌入式系统无论其规模的大小,操作控制台及报警设备通常都是不可缺少的。只有通过操作控制台和报警设备才能实现人一机交互,使得操作人员的命令或初始化数据进入计算机;并在工作过程中,把系统的工作状态、运行数据等按要求进行显示、打印、绘图等输出。当然,较大的系统可能拥有较大的操作控制台,控制台上会有更多的设备,以便对整个系统进行操作。这样的操作控制台上一一般都有一些常规外设,如显示器、键盘、打印机、绘图仪等等。同时,控制台上还有一些应急按钮,以便在出现危机时使用。

当系统规模很小时,一般不会设置操作控制台,但一块小的操作面板也是不可缺少的。在控制面板上应该有简单的显示器和少量的按钮,以便对系统的工作情况进行最简单的显示并可用最少的按钮对系统进行操作。

用于工业企业或国防的嵌入式计算机系统,通常都会有报警设备。以往的计算机嵌入式系统中,经常使用声光报警,即一旦出现危机情况,通过扬声器发出十分响亮且刺耳的警告声音,同时规定报警用的红灯闪烁。在一些很小的系统中,可以用简单的发光二极管和蜂鸣器来实现声光报警。

今天,许多系统都会采用语音报警,也就是直接用人的语音说明危机。市场上有许多现成的语言芯片可用于此用途。没有合适的现成芯片可供选用时,也可以自己设计制作这种芯片。

在图 1.1 中还画出了网络接口。网络接口并非嵌入式系统中必不可少的部件,只是在多个嵌入式计算机构成网络时才需要。例如,在比较大的嵌入式控制系统中,可采用集散式的结构。中央控制室里有一台超级微型机,而在距中央控制室几十米处的生产装置上有几十台单片微型机,它们利用网络连在一起。在此情况下,硬件设备上就应有网络接口。

2. 嵌入式计算机软件系统

要使嵌入式计算机系统工作,完成用户所要求的功能,只有上面提到的硬件系统是远远不够的,还必须配备相应的软件系统。只有在硬件系统和软件系统两者的共同作用下才能使整个嵌入式系统有效地工作。

由于嵌入式计算机的应用领域极其广泛,用户的需求各不一样。因此,嵌入式计算机系统的规模相差很多,所配置的软件系统也有很大的不同。不过,软件系统通常包括操作系统和用户程序两个部分。

1) 操作系统

规模较大的嵌入式计算机系统一般都配有操作系统。嵌入式系统的应用环境绝大多数都对实时性的要求很高。因此,实时性是嵌入式系统的最重要的要求之一。另外,在较大规模的嵌入式系统中,用户的需求也将是十分复杂的,经常需要具有多任务并行处理的能力。

在这种情况下,嵌入式计算机系统通常需配置实时多任务操作系统。这种操作系统与一般常见的分时操作系统不同,它必须对事件做出实时处理。而且,操作系统在处理它所管理下的各个事件时,必须在规定的时间内做出响应,这对嵌入式环境下工作的计算机系统非常重要。因为在应用中,如果对某个事件的响应超时,就意味着系统功能的失败,甚至可能导致严重的后果。

开发一个功能完善的实时多任务操作系统要付出巨大的代价,其工作量需要许多年。好在有一些软件公司已开发出了多种实时多任务操作系统可供选用。国内许多厂家在研制开发嵌入式计算机系统时都是采用购买现成的实时操作系统,然后,把自己的用户程序挂在此操作系统下运行的方法。

在规模较小或较简单的嵌入式计算机系统中,一般不需要一个功能完备的实时操作系统。这种情况下,用户可以开发一个简单的实时监控程序,利用实时监控程序对用户任务进行管理、对系统中的突发事件进行实时响应。

在最简单的嵌入式计算机系统中,可以不配置实时操作系统,也不配置实时监控程序,而直接由用户程序完成系统的硬件资源的管理和对事件的实时响应。

2) 用户程序

在嵌入式计算机系统中,对于每一个用户的需求都必须有相应的用户程序来实现。由于用户需求的多样性,在不同用户之间用户程序存在着极大的差异;由于用户需求的复杂性,用户程序的结构也相应会很复杂,有时甚至需多任务并行处理才能完成。有时还可能采取多级中断。

到目前为止,尚没有现成的用户程序的生成软件。因此,在系统设计中,还需由设计者自己动手完成用户程序的开发工作。用户程序的核心问题就是实现用户的功能要求,用户程序的优劣则会对整个系统的性能产生直接影响。因此,如何开发出性能优异的用户程序是嵌入式计算机系统设计的重点课题。

前面已经提到,在一些最简单的嵌入式系统中,不需要配置实时操作系统或实时监控程序,系统的硬件资源由用户程序进行管理。在这种情况下,用户程序在实现用户需求的功能的同时,还要实现对硬件资源的管理和利用功能。例如,对键盘、显示器、专用外设及CPU的管理等等。

1.2 嵌入式计算机系统的设计要求和设计步骤

与普通的计算机系统不同,嵌入式计算机系统的应用环境和条件一般都比较恶劣,因此,在设计上有许多共性的问题,在进行嵌入式系统设计时必须认真考虑这些问题。

1.2.1 系统设计的基本要求

1. 实现用户要求的功能

嵌入式计算机系统设计的出发点首先是满足用户功能的需求。如果用户要利用所设计的系统去测量某些特定的参数,达到某种精度、速度、显示、报警等诸多的要求,那么在设计系统时首先要考虑满足这些要求;若用户要求设计某种控制系统,则我们设计的系统就必须满足用户对系统的种种功能上的要求。用户的需求是系统设计的依据,用户功能上的需求必须保证予以实现。

2. 系统的操作性能好

与通用型计算机一样,嵌入式计算机系统也希望人一机界面友好、操作方便。从使用者的角度来说,系统的操作使用越简单越好。

作为系统设计者,在对系统进行硬件和软件设计时必须充分考虑到这种要求。例如,某生产过程的控制系統,在每次上电工作时首先要对 50 多个地址逐个输入初始化参数。这种工作十分繁琐且容易出错,每次都是由三个操作人员来做这项工作,十分不方便。从设计的角度而言,这种情况完全可以改变,使操作更加简便。

3. 实时性的要求

前面已经强调指出,嵌入式计算机系统的一大特点就是必须实时响应和处理事件。因为,在这样的系统中,经常对事件的响应提出规定的时限,要求刻不容缓地进行处理。当嵌入式系统比较复杂,要求实时响应的事件比较多时,设计者更应当认真考虑和处理有关实时性的问题。

现实中的事件有非周期性随机出现的,也有周期性发生的。对于前者,在系统设计时必须考虑到最坏的情况——即最大出现率的情况下,如何应付这种情况。对于后者,在设计时必须保证系统有足够的性能来响应它们。

4. 高度的可靠性、安全性

高可靠性和安全性是嵌入式系统的又一大特点。由于嵌入式系统多工作在工业企业的现场(甚至用于军事装备中),一旦出现故障,有可能造成整个生产过程的混乱,甚至造成更为严重的后果。因此,可靠性是嵌入式计算机系统最重要、最突出的基本要求。可以说,可靠性是嵌入式计算机系统的生命线。

提高嵌入式系统可靠性的方法和措施是多方面的,在后面的有关章节中将做详细说明。

5. 适应环境要求

除了可靠性和安全性外,嵌入式系统的环境适应能力也是极为重要的。这是因为,绝

大多数嵌入式系统工作环境都十分恶劣。军用系统自不待说,就是工业系统,其工作场合的温度、湿度、振动、粉尘、烟雾、各种电磁干扰等环境一般都很差、很恶劣。例如,笔者某年8月份在大港油田做实验时,仪器车内温度高达56℃,车开进井场时竟将仪器柜下的减振弹簧振断。

因此,要求嵌入式系统必须适应用户环境的要求,才能保证系统长期稳定、可靠地工作。

6. 设计周期短、价格便宜

由于计算机发展非常快,现在的先进技术也许只过了几年就落后甚至淘汰了。因此,嵌入式系统的设计周期应尽可能短。以往的经验证明,凡是成功的系统都是设计时间比较短,许多人齐心协力、一气呵成的。如果一个系统拖了好几年还不能完成,那么这个系统肯定结果不好,甚至完全失去了应用价值。

降低系统的成本,使系统具有尽可能高的性能价格比,这是每一个设计者所追求的目标。

7. 体积、重量及安装方式

在一些特殊的应用中,会对嵌入式系统的体积、重量、安装方式等提出严格要求。这可能给系统设计者造成更大的困难。遇到此类问题,必须认真对待。

8. 通用性、可扩展性

前面已经提到,嵌入式计算机系统都是专用系统,但它们都是计算机系统。每一个嵌入式系统都有自己强烈的个性,但又有共性。例如,用于电力计费系统的MCS-51单片机系统与用于家庭安全防卫的MCS-51单片机系统在功能上有着很大的差异,但在内部结构上却可能有许多相似之处。

因此,在系统设计时要充分注意到这种情况,在进行系统设计时尽量做到通用性好、便于扩展。当某一个系统设计投入使用后,若遇到后续的类型系统,则可在前面系统设计的基础上通过增加和减少某些部件来构成新的系统,甚至可以把软件中的一些模块直接拷贝使用。通过这样的工作,往往会收到事半功倍的效果。

1.2.2 系统设计步骤

当前嵌入式计算机系统设计通常有两种形式:元器件级的系统设计和系统集成。下面先介绍元器件级上的系统设计方法。由于嵌入式系统是具有上述诸原则(特点)的专用系统,经常在体积、重量等诸多方面有特殊的要求。因此,元器件级上的系统设计应用是比较多的。

1. 元器件级上的系统设计步骤

1) 评估采用计算机系统的必要性

采用计算机系统的必要性从两个侧面来考虑。其一是经济效益。通过仔细分析用户采用嵌入式计算机系统后,在提高产品的产量、提高质量、降低成本和能耗等方面所获得的效益,最终可以折算出使用了计算机每年可获取多少经济效益。若三年的经济效益可以收回采用计算机系统的成本,则采用就是必要的、值得的。

其二是社会效益。在有些情况下采用计算机没有明显的经济效益,但是有很好的社会

效益,则采用计算机也是必要的。比如,有的地方环境十分恶劣(例如,高温、高湿、腐蚀、粉尘、污染、危险等),不适合人在那里工作,则可采用计算机去代替人的工作。在军事上,如果采用计算机提高了精度、提高了反应速度、增强了战斗力,那么采用计算机也是必要的。

由于单片机、DSP 等构成嵌入式计算机系统的核心部件的价格越来越便宜且功能越来越强,今后嵌入式计算机系统的应用领域将更加广泛。

2) 用户需求调查

当确定要为用户设计开发嵌入式计算机系统后,接下来重要的一步就是对用户的需求进行认真仔细的调查和分析。这一步极为重要,因为此后系统设计的所有工作都是以用户的需求为依据的。用户的需求没有调查清楚,则设计一定会失败;用户没有要求的内容在设计中做了,可能是锦上添花,也可能是画蛇添足。

用户需求调查一定要认真。在全面详细地了解要求、仔细地倾听用户解释的基础上,经分析并形成文档。注意,应使设计者的理解与用户的解释完全一致,不能存在二义性。

在需求调查时,除了仔细了解用户的需求外,还要对用户的使用环境进行调查。也许用户没有意识到使用环境调查的重要性,但系统设计者必须对此予以高度重视。

通过调查形成的用户需求报告一般都作为系统开发研制合同的附件,这既是开发的依据也可作为解决争议的依据。

3) 选择处理器

在用户需求调查的基础上,通过仔细进行分析,理解为满足用户需求需要什么样的速度、精度、什么样规模的嵌入式系统。

处理器是嵌入式系统的核心部件。选择合适的处理器对实现用户需求、提高系统性能、降低系统成本和缩短开发周期都是十分重要的。

本书的第2章专门讨论嵌入式系统中处理器的选择问题。

4) 制定系统方案

在系统的核心部件——处理器确定后,便可以根据需求制定系统的总体方案,包括硬件方案和软件方案。

在制定硬件系统方案时,可以分别从总线、内存、外设等方面加以考虑:

① 确定系统总线。系统总线可以选用前人制定的标准总线,也可以自行定义专用系统总线。两者各有优缺点,可根据具体情况考虑选用。

② 确定系统所需内存。嵌入式系统的内存一般由 RAM 和 ROM 构成。在设计嵌入式系统方案时,要考虑的是 ROM 及 RAM 的数量及其地址的设置。一般,有一定经验的技术人员都能根据用户的需求估计出系统的规模,也就能估计出系统所需 RAM 的数量。选用时应该留有一定的余量。在嵌入式系统中,程序及不变信息一般常放在 ROM 中,这样做可以提高系统的可靠性。根据用户的需求、系统的规模可以估计存储系统程序(目的码)所需 ROM 的数量,再加上系统中存储不变的信息所需的 ROM,最终决定内存 ROM 大小及其在内存中的地址。应当将 ROM 置于最便于访问的地址中。

③ 确定常规外设。根据用户的需求决定选用哪些常规外设,这些外设各用什么接口接到系统总线上,并确定它们的接口地址。

④ 确定专用外设。按照用户的需求确定采用的专用外设及每个专用外设的接口和接

口地址。在确定专用外设时必须认真进行分析和对比,找出最佳的方案。例如,进行温度控制,就需考虑采集多少个温度点、采用什么样的温度传感器、其精度为多少,在传感器后面是否接放大器、是否要隔离、放大倍数多少、稳定性如何要求,放大器的后面是否要滤波器、用什么样的滤波器、其后用什么样的模拟门,具体指标是否符合用户的需求。还要考虑采用多少位的 A/D 变换器,其速度、精度等指标必须满足用户的需求, A/D 变换器用什么样的接口接到系统总线上,并确定该接口的接口地址。以上仅以对温度测量为例进行了说明,其他专用外设不再进一步说明。

⑤ 确定操作控制台及报警设备。实际上,操作控制台及报警设备也是一种外设,它们在嵌入式系统中的作用十分重要。根据用户需求、操作控制台的配置及报警的要求决定了它们的接口及其接口地址。

⑥ 确定电源系统。根据上述硬件系统的规模、内存、接口及外设的要求,可以知道构成该嵌入式系统需要几组电源,每组电源的大致容量及其他技术指标要求。设计时,对电源的要求应逐一进行说明。

⑦ 确定其他部件。确定其他部件的设计要求,机箱、机架、机柜的大小,形状、安装方式以至信号线、电源线的走线方式均应加以考虑并进行说明。

在分析、比较并最后确定上述所有硬件后,应以文字及图形方式形成详细的文档,这些文档组成了整个硬件系统的总体方案。在这些文档中应对选用的每一种硬件说明选取的理由。

在确定硬件系统方案的同时,也要考虑软件系统的方案,因为两者联系十分紧密。在制定软件系统方案时,主要考虑:

① 系统是否配置实时操作系统或实时监控程序。若配置实时操作系统或实时监控程序,就要考虑购买现成产品还是自行研制。在自行研制时,需考虑该操作系统或监控程序应包括的主要功能,如何实现这些功能,这些功能的详细说明及流程图。

② 用户程序及其实现方案。仔细考虑用户程序的结构,确定用户程序的主框架并画出主程序的流程图。另外,还要确定主要的子程序模块及其功能的实现,确定哪些功能必须用中断来实现,这些中断的优先级如何分配并画出中断服务程序的流程图。

有关软件系统设计的思路、各软件模块的详细说明、各软件模块的流程图等内容均应以文档的形式给出。

在系统的软硬件方案确定后,可邀请有关专家对总体方案进行评审。以保证方案是合理的、经过努力是可以实现的。

5) 硬、软件分别设计

稍具规模的嵌入式系统设计都需要几个人年的工作量,而且往往都是系统性的工程,需多个技术人员齐心协力共同实现。单靠一个人,即使有能力解决所有问题,所需的时间也往往比较长,可能一个系统设计做出来就需好多年。当几年后系统完成时也就落后了。

系统设计时应先进行模块划分,在便于分割的地方将硬件分割成若干模块,对于软件,同样在好分割、界面比较简单的地方分割成若干模块,而后将硬件模块和软件模块分别交给不同的技术人员同时进行设计。

在设计过程中,限定时间将各自的模块设计并调试出来。在此过程中,对出现的问题要进行协调。若有方案上的变更,要以文字的形式通告各设计人员。

各设计人员在设计和调试自己的模块时,要做必要的记录。

6) 实验室联调

硬、软件各模块都设计调试完成后,便可在实验室进行联调。联调时,逐块加入硬件模块,逐块调试,直到所有硬件模块调试完成,证明可以工作。同时,对各自设计的软件模块逐块进行连接并调试,证明软件系统可以工作。

将硬软件结合在一起,对整个系统进行调试,并在实验室里模拟试运行。在实验室模拟试运行中,如果需要,可在实验室里产生模拟信号。例如,称重传感器提供 $0\sim 20\text{ mV}$ 的称重信号,也许实验室里没有称重传感器,但实验室里一定可以产生 $0\sim 20\text{ mV}$ 的信号代替传感器的输出。同样,实验室里可能没有需要 $0\sim 5\text{ V}$ 的执行机构,但用万用表便可测量出系统硬件是否能够输出执行机构所需要的 $0\sim 5\text{ V}$ 的信号。

经过不断地模拟试运行,仔细观察并分析出现的现象和状态,判断系统工作是否正常。联调中,决不要放过任何的异常,对出现的问题随时加以解决。

由于用户需求的复杂性、多样性,系统硬件和软件也会变得复杂多样。因此,在实验室里进行模拟试运行时,一定要想办法使用户程序的每一条路径都应走到,即要试遍用户程序的各种可能。同时,要使系统连续运行较长时间,以便发现可能隐藏的硬、软件故障。

7) 现场调试、试运行

实验室模拟试运行确认系统工作正常的情况下,便可将系统运往用户现场,在现场进行安装、调试。这时,系统所连接的专用外设都是系统真正要使用的。在调试时,也应逐个外设连接、逐个进行调试。

在调试正确后即可使系统开始试运行。在试运行的过程中一定要密切注视系统运行的状态,对系统运行的状态和数据进行详细记录。如果出现问题,应立即予以解决。应使系统无故障地、正常运行半年或更长的时间。

如果可能,最好多做几套样机,将它们安装在不同的场合上,并进行半年或更长时间的试运行,以便确定系统的工作性能。

8) 鉴定或验收

在嵌入式系统正常运行半年或更长的时间,并且用户对系统感到满意后即可鉴定或验收。在系统试运行期间要准备多种必要的文件(诸如研制报告、使用报告、硬件图纸及说明、软件流程图及程序清单、例行试验报告、用户使用报告等等)。鉴定时,要邀请有关方面的专家,在有关部门主持下,对系统进行鉴定或验收,对所研制的嵌入式计算机系统的技术水平、应用前景等给出某种评价。

2. 系统集成

嵌入式计算机系统是一种专用的系统,其体积、重量、安装方式等方面会有一些特殊要求,因此,常采用上面提到的元器件级上的系统设计方法。如果用户的需求对体积、外形、重量、安装方式没有很严格的限制,则系统设计可采用系统集成的方式来实现。

所谓系统集成就是利用厂家为我们提供的板卡、部件、组件和设备,依据用户所提出的需求,将有关板卡、部件、设备等集成为一套嵌入式计算机系统。

系统集成的系统设计步骤与上述元器件级上的系统设计基本上是一样的。不同之处仅仅表现在第 5) 步上。在系统集成的第 5) 步中要从两个方面做工作。

1) 集成硬件系统

根据系统设计方案,选择厂家提供的各组成硬件:包括适合使用的具有一定插槽数的主机箱、合适的总线、合适的各插件电路板卡、电源部件、各常规外设及其接口、各专用外设及其接口、合适的标准机架、控制台及报警设备。原则上讲,所有嵌入式系统所要求的部件基本上都是可以选购的。

在硬件系统集成过程中一定要以用户需求和系统方案为依据,满足用户在功能及性能上的要求,同时要考虑使硬件系统结构简单、使用方便、安全可靠且价格便宜。

在选购各部件后,必须分配专人对每一个部件、板卡进行分析研究,弄清楚它们的工作原理,达到完全掌握并能灵活使用,一旦发生故障能够分析和排除故障。

在硬件集成过程中,也可能有个别部件是买不到的,这可指派专人进行设计。

2) 软件系统集成

软件系统集成只能部分地进行。这是因为嵌入式计算机系统用户需求的多样性和复杂性,没有厂家能够事先为设计者提供用户程序。因此,用户程序需要自己开发研制或委托有关软件公司研制。

但软件系统的某些部分还是可以集成的。例如操作系统,可以购买适用的集成于系统之中。一些专用的软件、各种编码,如果系统中用到也可选购集成于系统中。

自行研制开发的用户程序需分派专人予以开发。当用户程序开发调试出来后,设计人员应能提供详细文档并对该软件十分熟悉。

选购的软件,同样需要专人进行分析和掌握,以保证以后能够熟练地使用它们。

系统集成的优点在于可以加快工作进度、缩短研制周期。由于采用的部件都是厂家批量生产的并经过使用的,其质量和可靠性也较容易保证。若某一部件、板卡或设备出现故障,更换也较容易。其缺点就是价格会比自行研制高一些。

1.2.3 系统设计中应注意的问题

在嵌入式计算机系统设计中应注意到如下几个问题。

1. 贯彻“一慢一快”的原则

所谓“一慢一快”是指在用户需求调查,特别是在制定方案时,必须认真仔细、周到全面。

在制定方案时一定要小心、仔细、慎重地比较并选择可行的方案。无论是硬件还是软件,所选择的方案一定要是合理、可行、经过艰苦的工作可以实现的。每一个元器件、每一个部件、每一套组件都应这样考虑。

如果草率制定了一个方案,而它又是存在着重大缺陷或错误而不能实现的,那么在此方案下后续工作做得愈多、花的时间愈长,损失也就愈大,甚至使设计者信誉扫地。过去的工作中,已有实例证明了这一点。这些情况充分说明认真地制定一个合理的方案是多么重要,这就是“一慢”原则的含义。

“一快”原则的含义是指一旦正确的方案确定后,要调动所有系统研制人员的积极性、以最快的速度将系统研制出来。这时,总体设计人员划分好各部分工作的时间下限,例如硬、软件各部分设计、调试出来最长多少天,实验室联调最长多少天等等。所有研制人员必须按照要求去完成每一步工作。

以往的经验已经证明,在方案确定之后,全体设计人员必须齐心协力,一气呵成。凡是这样做的项目,都完成得比较好,用户和设计者也较满意。凡是没有按此原则去做,或由于客观原因无法这样做的,最终结果都不好,或者就没有结果。这对设计人员来说是十分不利的。

2. 在设计阶段考虑调试问题

在制定方案时,系统的总体设计者就要想到在系统实验室联调时应如何进行,采用什么样的步骤和顺序进行调试能很快地调试成功,并使系统进入正常工作。同时,还必须考虑在系统调试时必须具备的信号源和各种测试设备。这些必备的仪器、仪表、测试设备必须在进入调试阶段之前就准备好。需要自行研制的信号源、测试设备要安排专人进行研制。

在硬、软件分别设计阶段,各硬件部件的设计者在制定方案、选择元器件的同时也要考虑到将来自己的电路板(部件)设计安装好后,如何保证它能正常工作,如何说明它已正常工作。若不能正常工作又该采取什么手段使它正常工作。显然,这是很重要的,并将在本书后面的章节中做详细描述。

同样,在软件开发过程中,调试是至关重要的。在方案设计及后面的工作中都要事先想到。大的软件系统(或模块)一次编写出来就没有错误、没有漏洞,一次成功几乎是不可能的。必须事先想到如何调试,甚至派专人研制调试程序以便于软件的调试。

3. 硬件与软件的折中应用

在进行系统设计时,用户需求的某些功能若用硬件实现可能很复杂、很烦琐。这时,可以考虑用软件来实现是否可行。在以往的工作中,确实遇到过利用软件很容易实现,用硬件却不易实现的功能的情况。

同样,现在微电子、微细加工技术的发展极其迅猛。除了 CPLD、FPGA 之外,许多厂家提供了许多新的功能强大的专用集成电路。而且,今后还会不断涌现出新的专用集成电路。因此,在系统设计中,有的用户的需求用软件实现起来很复杂、难度很大时,可以考虑利用硬件来实现该功能。

总之,系统设计者首先要了解硬件发展的现状和最新推出的专用集成电路,必要时利用 EDA(电子设计自动化)手段自行设计专用的集成电路。其次要了解软件开发的进展情况,应用软件为我们开发用户程序提供了越来越大的支持,选择新的适合于开发用户程序的软件自然也是很重要的。

4. 设计中的每一步都必须想到需求

前面已经强调,系统设计的依据就是用户的需求。在进行系统设计的过程中,每一步都要考虑到用户的需求是否得到满足。除有用户所要求的功能外,还必须考虑到诸如实时性、可靠性等那些最能代表嵌入式系统特征的性能。只有这样,在系统设计完成时,所设计的系统才能真正满足用户的需求,成为一套可以实际应用的系统。

1.2.4 对嵌入式微系统设计人员的要求

作为嵌入式系统的设计者必须具备一定的思想素质和技术素质,才能做好工作,设计出尽量完美的嵌入式系统。