



嵌入式系统与单片机系列丛书

基于 *MCS-51* 单片机的嵌入式 系统设计

李伯成 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

“十五”国家重点图书出版规划项目

嵌入式系统与单片机系列丛书

基于 MCS-51 单片机的 嵌入式系统设计

李伯成 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍嵌入式计算机系统的设计步骤,在国内应用广泛的 MCS-51 单片微型计算机的基础上,分别对构成系统的各组成部分的设计和技术问题进行详细说明,包括总线设计,内存设计,常用外设接口设计与实现输入输出的软件,嵌入式实时操作系统与用户程序设计,嵌入式计算机系统的可靠性设计及系统调试等有关问题。

书中所涉及到的内容以解决工程应用问题为目的。本书可作为工程技术人员的工作参考,也可作为高校高年级学生的学习参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

基于 MCS-51 单片机的嵌入式系统设计/李伯成编著. —北京:电子工业出版社,2004.7
(嵌入式系统与单片机系列丛书)

ISBN 7-5053-9959-4

I. 基… II. 李… III. 单片微型计算机, MCS-51—程序设计 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 063899 号

责任编辑:邓小瑜(dxyc@phei.com.cn)

印 刷:北京东光印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:455 千字

印 次:2004 年 7 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:26.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

计算机尤其是以微细加工技术支持的微型计算机技术飞速发展，其应用渗透到了各行各业。以单片机、嵌入式处理器、数字信号处理器（DSP）为核心的嵌入式计算机系统，以其软硬件可裁剪、高度的实时性、高度的可靠性、功能齐全、低功耗、适应面广等诸多优点而得到极为广泛的应用。而且，在新的世纪里，它们将以超过 CPU 增长的速度迅猛发展。可以预想，在今后的若干年里，一定是嵌入式计算机系统更加广泛深入应用的时期。

本书以国内应用广泛的 MCS-51 单片机为例，详细介绍嵌入式计算机系统的设计。选择 MCS-51 单片机是因为它比较简单，同时，也因为它在国内应用广泛。基本思路就是希望利用简单的单片机来说明复杂的嵌入式计算机系统的设计。通过书中的内容，读者可以看到，书中所描述的基本概念、基本思路和基本方法不仅可以用于基于 MCS-51 单片机的嵌入式系统设计，而且可以用于任何一种单片机、处理器的系统设计。

编写本书的目的在于，读者在掌握了书中的内容后，能够比较顺利地设计一个小的嵌入式计算机系统。为此，书中首先介绍嵌入式计算机系统的设计步骤，以便在开始的时候描述一个系统设计的概况，使读者了解到一个嵌入式计算机系统应当如何一步一步地设计出来。然后，按照嵌入式计算机系统的组成部分，逐章加以详细说明。主要包括单片机 MCS-51 的介绍，总线设计中的有关问题，内存储器的设计，各种常用外设的接口设计，操作系统及用户程序的设计，系统的可靠性设计，系统的调试等。

对于系统设计中遇到的一些重要概念和基本方法，书中将特别强调，如作者在过去的工程实践中所采用的技术和方法会出现在书中。同时，还会给出一些工程中的经验教训。

书中内容尽可能做到简单明了，提供有价值的实用技术。读者可以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。

在本书的编写过程中，得到柳宝堂、李锐和刘沁的帮助与支持。在此表示感谢！

尽管作者力图把书写得好一些，能对他人有更多的参考价值。但由于水平所限，不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

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
1.1.1 嵌入式计算机系统的定义	1
1.1.2 嵌入式计算机系统的构成	1
1.2 嵌入式计算机系统的设计要求和设计步骤	4
1.2.1 系统设计的基本要求	5
1.2.2 系统设计步骤	6
1.2.3 系统设计中应注意的问题	12
习题	14
第2章 MCS-51 单片机概述	15
2.1 MCS-51 单片机的结构	15
2.1.1 MCS-51 单片机的功能模块	15
2.1.2 MCS-51 单片机的外部引线	16
2.2 MCS-51 单片机的内部结构	17
2.2.1 MCS-51 单片机的 CPU	17
2.2.2 MCS-51 单片机的存储器组成	18
2.2.3 MCS-51 单片机的输入/输出接口	21
2.2.4 MCS-51 单片机的中断系统	23
2.2.5 MCS-51 单片机的定时/计数器	29
2.2.6 MCS-51 单片机的串行接口	33
2.3 MCS-51 单片机的工作时序	35
2.3.1 MCS-51 的三种周期	35
2.3.2 指令执行时序	36
2.4 MCS-51 单片机的相关问题	38
2.4.1 复位	38
2.4.2 时钟电路	39
2.4.3 编程和校验	39
习题	40
第3章 MCS-51 指令系统及汇编语言	41
3.1 概述	41
3.1.1 MCS-51 指令编码	41
3.1.2 指令系统中用到的符号	41
3.2 寻址方式	42
3.2.1 立即寻址	42
3.2.2 直接寻址	42

3.2.3	寄存器寻址	42
3.2.4	寄存器间接寻址	42
3.2.5	相对寻址	43
3.2.6	基址加变址寻址	43
3.2.7	位寻址	43
3.3	MCS-51 的指令系统	43
3.3.1	传送指令	43
3.3.2	算术运算指令	45
3.3.3	逻辑及移位指令	47
3.3.4	控制指令	49
3.3.5	位操作指令	51
3.4	汇编语言程序设计	52
3.4.1	汇编语言的语句格式	52
3.4.2	伪指令	53
3.4.3	基本程序设计方法	55
3.4.4	汇编语言程序的开发过程	62
	习题	63
第 4 章	单片机嵌入式系统的部件设计	65
4.1	最小系统的实现	65
4.1.1	由 MCS-51 单片机直接构成最小系统	65
4.1.2	利用外接 ROM 构成最小系统	65
4.2	总线负载及总线扩展	66
4.2.1	总线竞争的概念	66
4.2.2	负载的计算	67
4.2.3	介绍几种芯片	68
4.2.4	MCS-51 的总线扩展	69
4.2.5	扩展总线上电路板的板内驱动	71
4.3	内存扩展及设计	73
4.3.1	RAM 的扩展	73
4.3.2	ROM 的扩展	78
4.3.3	内存连接举例	84
4.4	可编程并行接口 8255	86
4.4.1	概述	86
4.4.2	8255 的外部引线及功能	86
4.4.3	8255 的工作方式	87
4.4.4	内部控制字及状态字	91
4.4.5	寻址及连接	93
4.4.6	初始化	94
4.4.7	应用	94
4.5	键盘接口的设计	95
4.5.1	概述	95
4.5.2	简单的少量按键的接口设计	96

4.5.3 非编码矩阵键盘的结构	97
4.5.4 非编码矩阵键盘的接口设计	98
4.6 数码显示器接口设计	101
4.6.1 七段数码显示器	101
4.6.2 LED 接口	101
4.6.3 工程应用	102
4.7 光电隔离输入输出接口设计	104
4.7.1 隔离的概念及意义	104
4.7.2 光电耦合器件	105
4.7.3 光电耦合器件的应用	106
4.8 数/模 (D/A) 变换器接口设计	109
4.8.1 D/A 和 A/D 变换器在测控系统中的地位	109
4.8.2 D/A 变换器原理	110
4.8.3 典型的 D/A 变换器芯片举例	112
4.9 模/数 (A/D) 变换器接口设计	116
4.9.1 A/D 变换器的主要技术指标	116
4.9.2 典型 A/D 变换器芯片介绍	118
4.9.3 A/D 变换器应用实例	121
4.10 串行通信接口设计	126
4.10.1 硬件连接	126
4.10.2 设计要求	126
4.10.3 通信程序	127
4.11 步进电机接口设计	128
4.11.1 步进电机的基本工作原理	128
4.11.2 脉冲分配器及驱动放大电路	130
4.11.3 驱动电路	133
4.11.4 步进电机的速度控制	133
4.11.5 步进电机控制接口实例	134
习题	135
第 5 章 嵌入式系统的软件	137
5.1 嵌入式系统软件的开发	137
5.1.1 最小系统	137
5.1.2 驻留监控程序	138
5.1.3 嵌入式系统实时操作系统内核开发	139
5.2 用户程序的开发	154
5.2.1 用户程序的基本要求	155
5.2.2 用户程序的开发过程	156
5.2.3 高级语言与汇编语言混合编程	161
习题	171
第 6 章 嵌入式系统的可靠性设计	173
6.1 概述	173

6.1.1 可靠性的基本指标	173
6.1.2 故障因素	175
6.2 故障检测技术	176
6.2.1 嵌入式系统的脱机自检	176
6.2.2 嵌入式系统的在线故障检测	184
6.3 硬件可靠性设计	201
6.3.1 硬件故障	201
6.3.2 影响硬件可靠性的因素	201
6.3.3 硬件可靠性措施	206
6.4 软件可靠性设计	213
6.4.1 软件故障的特点	213
6.4.2 软件可靠性指标	213
6.4.3 软件错误的来源	214
6.4.4 软件可靠性模型	216
6.4.5 提高软件可靠性的方法	217
6.5 系统的抗干扰设计	220
6.5.1 抗干扰的三要素	221
6.5.2 干扰的来源及耦合方式	221
6.5.3 系统的抗干扰措施	222
6.6 总线的有关问题	234
6.6.1 总线上的交叉串扰	234
6.6.2 总线的延时	235
6.6.3 总线上的反射与终端网络	236
6.7 可靠性的总体设计	239
6.7.1 设计过程	239
6.7.2 可靠性的分配方法	240
习题	244
第7章 系统调试与维修	246
7.1 测试仪器简介	246
7.1.1 静态测试仪器	246
7.1.2 动态测试仪器	248
7.2 传统的调试方法	256
7.2.1 静态调试	256
7.2.2 动态调试	257
7.3 系统故障的检测与维护	262
7.3.1 故障诊断方法概述	262
7.3.2 人工诊断	263
7.3.3 自动诊断	269
习题	273
参考文献	274

第1章 嵌入式计算机系统设计概述

在这一章里,首先说明嵌入式计算机系统的概念、组成及其特点。然后,说明嵌入式计算机系统的设计原则和设计步骤,力图在本书一开始为读者建立嵌入式计算机系统的组成和设计过程的概况。本书后面的所有章节都是详细说明本章所描述的各部分。因此,理解了本章的内容也就从总体上、从大的方面明确了嵌入式计算机系统的设计。

1.1 嵌入式计算机系统

1.1.1 嵌入式计算机系统的定义

随着计算机的发展,计算机已广泛应用于各行各业。而且,今后这些应用必将更加深入、更加普遍。在以往人们常根据计算机的性能和规模将它们分为微型、小型、中型、大型及巨型计算机,这种分类方法沿用至今。随着技术的发展,这种分类已变得模糊。今天的微型机与过去的小型、中型机都无法相比。

目前,以应用为主要出发点的分类方法更加切合实际。根据这种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。

嵌入式计算机系统的定义可表述如下:以应用为核心,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,适应对功能、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。

从上面的定义可以看出,嵌入式计算机系统实质上就是实现某些特定要求的计算机应用系统。可以想像,从军用到民用、从工业企业到家庭、从天上到地下再到海里,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极为广泛。现在每年有超过 40 亿套大小不一的嵌入式计算机系统投入使用,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

如同任何计算机系统,嵌入式计算机系统是由两大系统构成的,其作用相辅相成。这两大系统就是嵌入式计算机系统的硬件系统和软件系统。下面分别加以说明。

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主要由以下几个部分构成。

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,

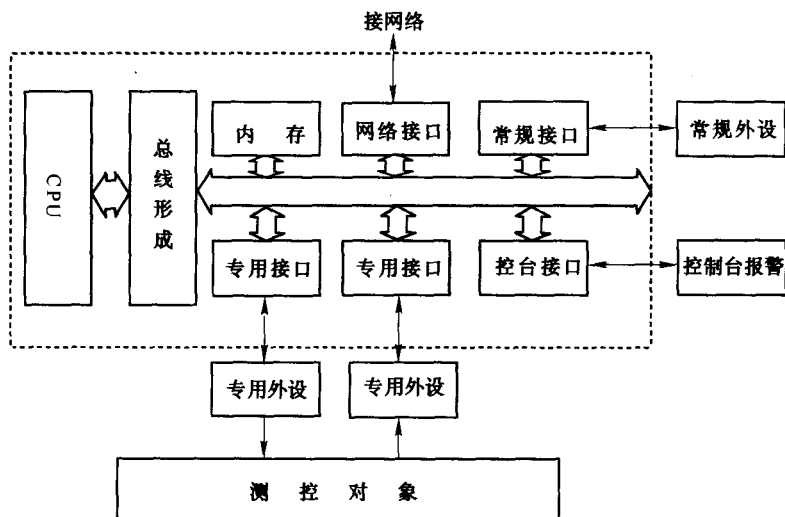


图 1-1 嵌入式计算机系统概念框图

并对这些信息进行计算、加工、分析和判断。而后做出相应的控制决策,通过专用接口传送给监控对象。

嵌入式处理器包括的处理器类型非常多。它可以是如图 1-1 所示的以 CPU 为核心,再加上内存、接口等部件构成的;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 构成。至于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,作为核心部件的处理器性能优劣将直接影响到整个系统的性能。

2) 常规外设及其接口

所谓常规外设就是指构成任何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最简单的按钮和显示器。

常规外设通常包括三类设备:

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、数字相机、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(U 盘)等。

将这些外设连接到计算机上,使外设的信息能够进入计算机,使计算机的信息能够输出到外设,通过接口可以达到此目的。

3) 专用外设及其接口

在嵌入式系统中,专用外设就是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,使外设的种类繁多。而且,不同的用户系统所用的外设大不相同。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。通过使用这些外设,使读者建立起基本概念,掌握基本方法。以后再遇到类似的问题也就容易解决了。

这里的专用外设是广义的,也就是将那些经接口与计算机相连接的部件均看成专用外设。例如,一个发光二极管,一个数码管,直流电机,步进电机,继电器,A/D,D/A,按钮等。

专用外设也需要通过接口与计算机相连接。由于外设的多样性和复杂性,使接口的设计更加复杂和困难。因此,在嵌入式系统设计中,接口设计占有重要的地位。

不管是常规外设还是专用外设,它们的接口功能都是一样的。它们可以提供计算机与外设间信息传送的通路。实现对外设状态的输入和对外设控制信息的输出。实现电平的转换、信号形式(数字信号与模拟信号)的转换,以及快速处理器与慢速外设的同步。

4) 操作控制台和报警设备

无论是大的嵌入式系统还是小的系统,操作控制台和报警设备通常是不可缺少的,用以实现人机交互。使操作人员的命令、初始化数据进入计算机;在系统工作过程中,系统的工作状态、运行数据需要进行显示、打印、绘图等输出。只是大的系统可能有较大的操作控制台,台上会有更多的设备,以便于对整个嵌入式系统进行操作。这样的操作控制台上一般都有一些常规外设,如显示器、键盘、打印机、绘图仪等。同时,控制台上还有一些应急按钮,以便在出现危机时使用。

当嵌入式系统规模很小时,可能没有操作控制台。但总会有一块小的操作面板。其上有最简单的显示和少量的按钮。以便于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。以往的嵌入式计算机系统中,经常使用声光报警。即一旦出现危机情况,扬声器发出十分响亮且刺耳的警告声音,同时闪烁红灯以示报警。一些很小的嵌入式系统甚至可以用最简单的发光二极管和蜂鸣器实现声光报警。

今天,已有许多系统采用语音报警,也就是直接用人的语言说明危机。有许多现成的语言芯片可供选用。若没有合适的现成芯片,也可以自己设计制作。

在图 1-1 中还画出了网络接口。它只是在多个嵌入式计算机构成网络时才需要。例如,在一个比较大的嵌入式控制系统中,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构成的嵌入式小系统,它们利用网络连在一起。在此情况下,硬件设备上应有网络接口。

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,两者相辅相成才能使整个嵌入式系统有效地工作。硬件系统就好像一个人的躯体,而软件则是这个人头脑中的知识。所以,人们常称只有硬件而不配置软件的计算机为裸机。它跟刚刚诞生的婴儿一样,什么都不懂,什么都不会做。只有给它灌输了一定的知识,它才可以做一定的工作。灌输的知识越多、越丰富,它就可以完成更多、更复杂的工作。因此,嵌入式计算机系统中必须配备软件系统,它是嵌入式计算机系统的另一大组成部分。

由于嵌入式计算机的应用领域极其广泛,用户的需求各不相同。因此,嵌入式计算机系统

的规模相差很多,有的系统很大而有的则很小。那么它们所配置的软件系统也会有很大的不同。通常包括如下部分。

1) 嵌入式操作系统

规模较大的嵌入式计算机系统一般都配有操作系统。而且,绝大多数嵌入式系统的应用环境要求实时性。实时性是嵌入式系统最重要的要求之一。同时,在需要较大规模的嵌入式系统的情况下,用户的需求也将是十分复杂的,经常需要多任务并行处理才可完成。

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到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。这对于嵌入式环境下工作的计算机系统尤其重要。因为在应用中,如果对某个事件的响应超时,那么意味着系统功能的失败,甚至导致严重的后果。

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,其工作量需要许多人花若干年。好在有一些软件公司已开发出了多套实时多任务操作系统可供选用。国内有许多厂家在研制开发他们的嵌入式计算机系统时都是花钱买现成的实时操作系统,将自己的用户程序挂在此操作系统下运行。

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。在这种情况下,用户可以开发一个简单的实时监控程序,即一个小的实时内核。利用实时监控程序对用户的任务进行管理,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,可以不去配置实时操作系统也不去配置实时监控程序。而是将系统的硬件资源的管理和对事件的实时响应全部归到用户程序,由用户程序直接进行管理和控制。

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去完成用户的功能要求。由于用户需求的多样性,用户程序在不同的用户之间存在着极大的差异。同时,由于用户需求的复杂性,用户程序的结构也相应会很复杂。甚至需多任务并行处理才能完成。同时还有可能采取多级中断。

到目前为止,尚没有用户程序的生成软件。因此,在系统设计中,用户程序的开发还需要由设计者自己动手完成开发工作。用户程序的核心问题就是实现用户的功能要求,而用户程序的优劣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。

另外,前面已经提到,在一些最简单的嵌入式系统中,不再配置实时操作系统或实时监控程序。在这样的系统中,系统的硬件资源要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功能的同时,还要实现对其资源的管理和利用。例如,对键盘、显示器、专用外设及 CPU 的管理等。

1.2 嵌入式计算机系统的设计要求和设计步骤

由于嵌入式计算机系统的应用环境和条件一般都比较恶劣,它们都是在这种环境下工作完成用户特定功能的专用计算机系统。因此,在设计要求上有许多共性的问题,这些要求在进

行系统设计时必须认真加以考虑。

1.2.1 系统设计的基本要求

1. 实现用户功能上的需求

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。用户利用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。所设计的系统首先是满足这些要求。若用户要求设计某种控制系统,则所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,用户在功能上的需求必须予以实现。

2. 系统的操作性能要好且便于使用

对于嵌入式计算机系统来说,与通用型计算机一样,希望人机界面友好,操作方便。从使用者的角度来说,系统的操作使用愈简单愈好。

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五十多个地址逐个输入初始化参数。这种工作十分烦琐且容易出错。每次都是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对事件做出实时响应和处理。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。尤其是当嵌入式系统比较复杂,要求实时响应的事件比较多时,设计者必须认真加以对待。

事件有随机出现的非周期性;也有的事件是周期性发生的。对前者,在系统设计时就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。对后者,在设计时就必须保证系统有足够的性能来响应它们。

4. 高度的可靠性和安全性

高可靠性和安全性是嵌入式系统的又一大特点。由于嵌入式系统工作在工业企业的现场(并用于军事装备)时,一旦出现故障,有可能使整个生产过程造成混乱,甚至产生更为严重的后果。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。可以这样说,可靠性是嵌入式计算机系统的生命线。

提高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

在这里同样要强调嵌入式系统的环境适应能力。这是因为,绝大多数嵌入式系统的工作环境都十分恶劣。军用系统自不待说,就是在工业系统中,温度、湿度、震动、粉尘、烟雾和各种电磁干扰等环境一般都很差,很恶劣。例如,八月份在大港油田做实验的仪器车内温度高达56℃。车开进井场时竟将仪器柜下的减震弹簧震断。

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. 设计周期短且价格便宜

由于计算机发展非常快,现在是先进的技术,也许只过了几年就落后了,甚至被淘汰了。因此,设计嵌入式系统必须使其设计周期尽可能短。以往的经验证明,凡是成功的系统都是时间比较短,许多人齐心协力、一气呵成的设计。若一个系统拖好几年还不能完成,则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、功耗、安装方式等提出严格要求。这会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. 通用性和可扩展性

前面已经提到,嵌入式计算机系统都是专用系统。每一个嵌入式系统都有它自己的强烈的个性,但它们都是计算机系统,又有共性。例如,用于电力计费系统 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。但在内部结构上却有许多相似之处。这种情况是很常见的。

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,若遇到后续的类似系统,则可在前面系统设计的基础上增加和减少某些部件,构成新的系统。这样做甚至可以把软件中的一些模块直接复制使用。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方式:元器件级上的系统设计和系统集成。下面首先来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用得更多一些。

1. 元器件级上的系统设计步骤

1) 评估用户的需求采用计算机的必要性

用户的需求采用计算机的必要性从两个侧面来考虑。

其一是经济效益。就是说仔细分析,当用户采用了这样的嵌入式计算机系统后,提高了产品的产量,提高了质量,降低了成本和能耗等,这些情况最终可以折算出使用计算机后一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,则采用方案就是必要和值得的。

其二是社会效益。就是说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,那么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,采用计算机可以提高精度,提高反应速度,增强战斗力。这些情况下采用计算机也是必要的。

就以往的情况来说,还没有遇到不必要的情况。尤其是现在的单片机、DSP 等构成嵌入

式计算机系统的核心部件,价格愈来愈便宜且功能愈来愈强,今后的应用会更加广泛。

2) 用户需求调查与分析

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地调查和分析。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。用户的需求没有做到,则设计一定是失败的;用户没有要求的功能在设计中做了,有可能是锦上添花,也可能是画蛇添足。因此,最重要的在于满足用户的需求。

用户的需求调查一定要仔细进行,全面详细地了解要求,仔细地倾听用户的解释。经分析以文字的形式写出来并形成文档。而且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,还要对用户使用嵌入式系统的环境进行调查。这些内容也许用户没有意识到它们的重要性,但系统设计者必须予以高度重视。

一般都将形成文档的用户需求报告作为系统开发研制合同的附件。因为它既是开发的依据,又可在出现争议时备查。

3) 选择处理器

在用户需求调查清楚的基础上,再仔细进行分析。理解满足用户需求所需什么样的速度、什么样的精度、什么样规模的嵌入式系统可以实现用户的需求。

在此基础上首先确定作为系统的核心部件的处理器。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,以及缩短开发周期都是十分重要的。选择处理器可从如下几个方面来考虑。

(1) 字长

字长是处理器一次存取或处理数据的位数。目前嵌入式系统常用的有8位、16位,有时也用到32位的处理器。

一般来说,字长愈长的处理器其功能也愈强,指令愈丰富,寻址方式更多,处理速度也会更快。在具体选用时主要是根据需求来选择,并不是字长愈长就愈好。应当是够用且留有一定裕量就好,性能好、价格便宜就好。因此,在选用时应折中考虑。

(2) 速度

不同的用户对处理器的速度快慢要求不一样。用于一般工业控制或测量系统,一般对速度的要求不苛刻。而用于多媒体信息处理的系统对速度的要求就非常高。

另一方面,厂家为用户提供了各种处理速度的处理器供选择。对设计者来说,关键问题是选择速度合适且性能价格比高的处理器。

(3) 中断能力

嵌入式系统一般对处理器的中断能力要求较高,它在工作过程中经常要处理多种突发事件,并对这些事件做出实时响应。如果选用的处理器本身就具有等于或多于要求的中断源,那将使外部中断源处理设计简单方便。否则,设计者必须花许多精力去解决硬件中断控制器的连接与应用问题。

(4) 环境的适应能力

前面已经提到,嵌入式系统一般都工作在环境十分恶劣的情况下。在选择处理器时必须认真考虑这些情况。如果忽视了环境,也许嵌入式系统还未到达使用现场或在现场仅工作了一小会儿,便出现故障。

(5) 硬件和软件的支持能力

选择处理器之后,必须再配上合适的硬件和软件才能真正构成嵌入式系统。目前国内的硬件和软件的支持,不同的处理器是不一样的。若选了硬软件支持很少的处理器,则后面的设计就会更困难。这无疑是自己给自己找麻烦。

(6) 开发和调试手段

不同的处理器有其专用的开发设备。例如,每一种处理器都有其在线仿真器,这对开发和调试该处理器构成的嵌入式系统是至关重要的。如果所选的处理器其在线仿真器不易买到,则将来系统开发和调试必将遇到困难。

(7) 选择何种类型的处理器

适合作为嵌入式系统处理器的器件有多种可供选择。

● 以单独的 CPU 作为嵌入式系统的处理器

许多厂家,生产了各种性能的 CPU。从 4 位、8 位、16 位、32 位直到 64 位均有。可以选择 CPU 再配上其他硬件和软件构成系统。

● 单片机

有多种字长、多种型号的单片机供选择。单片机结构简单,使用方便,价格便宜。特别适用于对处理速度要求不很高的应用。目前,单片机是构成嵌入式系统的首选部件。

● 数字信号处理器(DSP)

DSP 以其高速度见长,特别适用于多媒体信息处理。同样,DSP 有多个厂家的多个系列的产品供选用。

● 可编程逻辑控制器(PLC)

可编程逻辑控制器特别适用于工业上的过程控制。经常见到用一台高档微型机作为上位(主控)机,经网络连接若干个 PLC(下位机)构成嵌入式系统。许多厂家为系统设计者提供多种型号的 PLC,供使用者选择。

● 复杂的可编程逻辑器件(CPLD)

随着微细加工技术的发展,CPLD 的集成度已经达到一片内集成 1000 万个器件、1000 条引脚。对其编程可以实现各种接口、内存、CPU 等功能,也可以实现单片机的功能。因此,可以用它来实现嵌入式系统中的专用处理器。

● 自行开发专用处理器(ASIC)

利用厂家为我们提供的硬件描述语言(VHDL),系统设计者完全可以自行设计、开发专为自己的嵌入式系统使用的处理器。用该技术进行设计并且可用其支持软件进行仿真。设计好后,由专门的工厂加工出产品。

4) 制订系统方案

在系统的核心部件处理器确定后,便可以根据需求来制订系统的总体方案。这包括两个方面。

(1) 硬件系统方案

在选择处理器后,决定采用的系统总线。可以选用前人制定的标准,也可以自行定义专用系统总线。它们各有优缺点,可以根据具体情况考虑选用。

决定系统所需内存:其中 RAM 需要多少,放在内存地址空间的什么位置上,即决定内存 RAM 的地址。只要是曾经设计过嵌入式系统的人,也就是有一定经验的技术人员应该能根据

用户的需求估计出系统的规模。也就能估计出系统用多少 RAM 就够了。选用时留有一定的余量。内存的另一部分是系统的 ROM 需要多少。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。根据用户的需求和系统的规模估计系统的程序(目的码)需要多少 ROM 就够了,系统中不变的信息需要多少 ROM。最终决定内存的 ROM 大小及其在内存中的地址。将它们放在最方便的地址上。

根据用户的需求决定选用哪些、什么样的常规外设。这些外设各用什么样的接口接到系统总线上。确定每一个常规外设,确定外设的接口及分配它们的接口地址。

按照用户的需求,决定采用的专用外设。确定每个专用外设的接口及其接口地址。在确定它们时必须认真仔细地进行分析 and 对比,找出最佳的方案。例如,对于温度控制,就需考虑采集多少个温度点,用什么样的温度传感器,以及其精度为多少。在它的后面是否要接放大器,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,使用什么样的才合适。其后用什么样的模拟门,具体指标是否符合用户的需求。采用多少位的 A/D 变换器,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,赋予该接口的接口地址也必须同时确定。以上仅说明对温度进行测量,其他专用外设不再说明。

总之,应对专用外设及接口一一加以确定。

确定操作控制台及报警设备。根据用户的需求确定它们的规模和方式。实际上,这两个部件也是一种外设,只是在嵌入式系统中它们显得十分重要。根据用户需求,操作控制台上的配置及报警的要求决定它们的接口及其接口地址。

决定采用的电源。根据上面硬件系统的规模、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,每组电源的容量大致有多大,其他技术指标都有哪些等。对电源的要求逐一进行说明。

其他部件,如机箱、机架、机柜的大小、形状、安装方式,以及信号线、电源线如何走线均应加以考虑并进行说明。

上述所有硬件在分析、比较并最后确定后,均应将各部分以文字及图形方式形成文档。详细文档组成了整个硬件系统的总体方案。在此文档中应当做到对选用的每一种硬件均能说明选用它的理由。

(2) 软件系统方案

在进行硬件系统方案确定的同时,要考虑软件系统的方案。因为两者联系十分紧密。主要考虑以下方面。

系统可否配置实时操作系统或实时监控程序。若需要就要考虑是购买现成产品还是自行研制。如果自行研制,那么需考虑该操作系统或监控程序所包括的主要功能,这些功能如何实现,它们的详细说明及流程图。

用户程序及其实现方案。仔细地考虑用户程序的结构,确定用户程序的主框架。画出主程序的流程图。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,画出中断服务程序的流程图。

上述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。

(3) 对总体方案进行评审

在方案确定后,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。