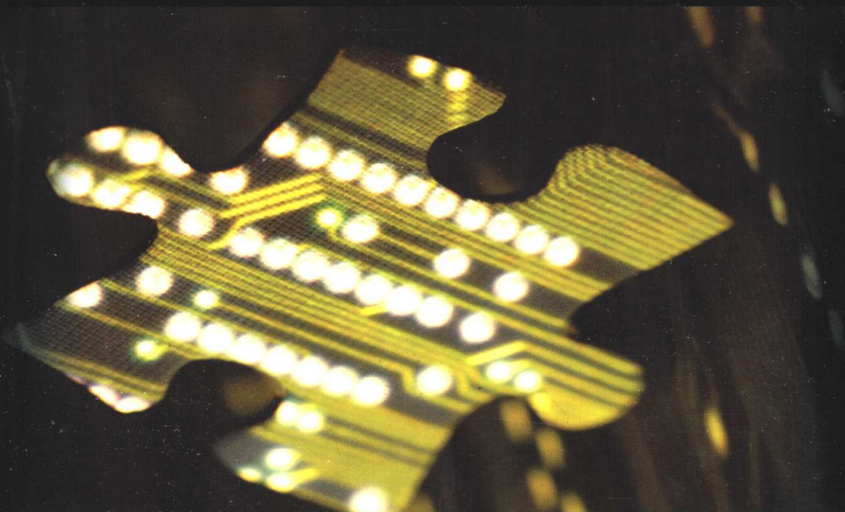


嵌入式系统与单片机系列丛书

“十五”国家重点图书出版规划项目

嵌入式系统 可靠性设计

李伯成 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

“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

嵌入式系统可靠性设计

李伯成 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书在介绍有关可靠性的基本概念的基础上,从可靠性工程的角度出发,描述在嵌入式系统设计的过程中,从硬件和软件设计方面应采取哪些措施,以提高系统可靠性。书中还重点介绍了作者在多年科研工作中总结出的提高可靠性的实用方法,对读者极具指导意义。该书可作为相关工程技术人员的参考用书,也可作为大学硕士研究生、高年级本科生的教学用书。

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

嵌入式系统可靠性设计/李伯成编著. —北京:电子工业出版社,2006.1
(嵌入式系统与单片机系列丛书)

ISBN 7-121-02123-4

I. 嵌… II. 李… III. 微型计算机—系统可靠性—系统设计 IV. TP360.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第148236号

策划编辑:赵丽松

责任编辑:张剑

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

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:16.5 字数:422千字

印 次:2006年1月第1次印刷

印 数:5000册 定价:28.00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 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

嵌入式系统与单片机系列丛书编委会

主任委员 沈绪榜（院士）

副主任委员 周利华 李凤华 朱铭皓

委员（按姓氏笔画为序）

王 泉	王军宁	车向泉	冯小平	刘 峥
刘书明	刘笃仁	刘晓滨	李龙海	李伯成
宋万杰	苏 涛	汪春梅	沈红卫	陈国先
吴自力	罗 丰	周佳社	周润景	郭万有
赵 勇	殷廷瑞	袁伟亭	游林儒	

前 言

嵌入式计算机系统是当前的热门课题。随着社会需求的不断增长, 各行各业对嵌入式系统的应用愈加广泛。嵌入式系统是一种专用的计算机系统, 它是一个具有许多特点的计算机系统, 其中最重要的是系统必须具有很高的可靠性。任何电子系统都应具备高的可靠性, 但由于嵌入式系统的工作环境及用途特殊性, 其对可靠性的要求更高。甚至可以这样认为: 可靠性是嵌入式系统的生命线, 是系统能否付诸应用的关键。

提高嵌入式系统的可靠性, 通俗地讲就是使系统尽可能地少出故障, 万一出现故障能在最短的时间里修复, 使系统投入正常工作。本书将从不同的侧面来说明如何达到这一目的。书中以嵌入式系统设计为主线, 在元器件选用、故障检测、电磁兼容设计、软件可靠性设计、总体可靠性设计及可维修性等方面, 详细地介绍了有关可靠性设计的问题, 以及一系列工程上的可靠性措施。

为了培养读者的工程思维能力, 在系统地说明嵌入式系统可靠性设计的一系列重要的概念和基本方法后, 侧重于使读者能灵活地运用书中所给出的基本概念和具体措施, 提出解决工程问题的思路和方法, 具体地解决工程应用问题, 掌握分析具体工程问题和解决问题的能力。

本书的特点在于比较全面地描述可靠性工程而很少涉及可靠性理论。力图使读者能在实际的嵌入式系统设计中, 解决工程上的可靠性问题。同时, 书中所描述的许多可靠性的措施都是笔者在以往的嵌入式系统中实际使用过的, 是一些行之有效的方法。

在编写本书的过程中, 力求以简明扼要的语言, 重点突出地描述清楚基本概念。在本书的内容中, 融入了作者以往的教学经验和多次科研工作实例。尽管作者做了努力, 由于水平及时间上的限制, 错误、不当之处在所难免, 敬请读者批评指正。

编 著 者

目 录

第 1 章 嵌入式系统可靠性概述	(1)
1.1 可靠性工程的发展	(1)
1.1.1 可靠性研究的两个方面	(1)
1.1.2 国内现状	(1)
1.1.3 编写本书的目的	(1)
1.2 嵌入式系统简介	(2)
1.2.1 嵌入式系统的定义	(2)
1.2.2 嵌入式系统的构成	(2)
1.3 嵌入式系统的设计要求和设计步骤	(4)
1.3.1 系统设计的基本要求	(5)
1.3.2 系统设计的步骤	(6)
1.3.3 系统设计中应注意的问题	(12)
1.4 可靠性所涉及的性能指标与模型	(13)
1.4.1 可靠度	(13)
1.4.2 失效率(故障率)	(14)
1.4.3 平均故障间隔时间	(16)
1.4.4 平均修复时间	(17)
1.4.5 利用率	(17)
1.5 可靠性管理	(17)
1.5.1 可靠性管理的含义	(17)
1.5.2 可靠性管理的主要内容	(18)
习题	(19)
第 2 章 嵌入式系统电子元器件的可靠性	(20)
2.1 电子元器件的失效及分析	(20)
2.1.1 电子元器件的失效	(20)
2.1.2 电子元器件失效原因的分析	(20)
2.2 常用电子元器件的特点及选择	(25)
2.2.1 电子元器件的选择及使用概述	(25)
2.2.2 电阻器的选择及使用	(25)
2.2.3 电容器的选择及使用	(29)
2.2.4 半导体分立器件的选择及使用	(32)
2.2.5 数字集成电路的选择及使用	(35)
2.2.6 模拟集成电路的选择及使用	(40)

2.3	系统设计中电子元器件可靠性措施	(43)
2.3.1	元器件的选择	(43)
2.3.2	元器件的筛选	(43)
2.3.3	降额使用	(45)
2.3.4	容差与漂移设计	(46)
2.3.5	人为因素	(50)
	习题	(50)
第3章	故障检测技术	(52)
3.1	概述	(52)
3.1.1	有关故障的概念	(52)
3.1.2	故障检测的意义	(52)
3.1.3	故障因素	(53)
3.2	嵌入式系统的脱机自检	(54)
3.2.1	指令系统自检	(54)
3.2.2	RAM 的自检	(55)
3.2.3	只读存储器 ROM 自检	(58)
3.2.4	外设及接口的自检	(59)
3.3	嵌入式系统的在线故障检测	(62)
3.3.1	程序监视器	(63)
3.3.2	状态反馈	(65)
3.3.3	检错及纠错编码	(67)
3.3.4	超时故障检测	(72)
3.3.5	A/D 变换器的在线检测	(75)
3.3.6	直流电动机接口的在线检测	(81)
3.3.7	瞬时掉电保护	(84)
	习题	(89)
第4章	嵌入式系统的电磁兼容性设计	(92)
4.1	概述	(92)
4.1.1	电磁兼容性的定义	(92)
4.1.2	抗干扰的三要素	(92)
4.1.3	电磁干扰源	(93)
4.1.4	干扰的耦合方式	(95)
4.1.5	串模干扰与共模干扰	(96)
4.2	电源电路的抗干扰措施	(98)
4.2.1	电源中的干扰来源	(98)
4.2.2	电源中的抗干扰措施	(99)
4.3	设计抗干扰性能好的电路	(109)
4.3.1	计算机部分	(109)
4.3.2	数字电路部分	(125)

4.3.3	模拟电路部分	(130)
4.4	克服信号传输过程中的干扰	(135)
4.4.1	减少串(差)模干扰	(136)
4.4.2	减少共模干扰	(139)
4.5	接地	(142)
4.5.1	接地的概念	(143)
4.5.2	信号地的接地方式	(143)
4.5.3	安全地	(147)
4.6	滤波、去耦及屏蔽	(147)
4.6.1	滤波	(147)
4.6.2	去耦	(148)
4.6.3	屏蔽	(148)
4.7	静电及其防护	(150)
4.7.1	静电的产生	(150)
4.7.2	静电的危害	(150)
4.7.3	静电的防护	(151)
	习题	(152)
第5章	嵌入式系统软件的可靠性设计	(153)
5.1	软件的可靠性	(153)
5.1.1	软件故障	(153)
5.1.2	软件可靠性指标	(155)
5.1.3	软件错误的来源	(155)
5.2	软件工程与管理	(158)
5.2.1	软件工程的开发模式	(158)
5.2.2	嵌入式系统的软件开发	(161)
5.2.3	软件可靠性管理	(171)
5.3	软件的可靠性设计	(173)
5.3.1	依据软件工程的规范要求开发软件	(173)
5.3.2	采用软件滤波方法	(176)
5.3.3	检错及纠错编码	(177)
5.3.4	软件容错技术	(179)
5.3.5	时间准则	(181)
5.3.6	容错算法上的考虑	(182)
5.3.7	其他措施	(183)
5.4	软件可维护性及软件可靠性模型	(183)
5.4.1	软件的可维护性设计	(183)
5.4.2	软件可靠性模型	(186)
	习题	(188)

第 6 章 嵌入式系统的可靠性总体设计	(189)
6.1 系统的可靠性模型	(189)
6.1.1 串联系统的可靠性模型	(189)
6.1.2 并联系统的可靠性模型	(190)
6.1.3 混合系统的可靠性模型	(191)
6.1.4 表决系统的可靠性模型	(192)
6.1.5 旁联系统的可靠性模型	(193)
6.2 可靠性预估与分配	(194)
6.2.1 可靠性设计过程	(194)
6.2.2 可靠性的预估	(196)
6.2.3 可靠性的分配	(199)
6.3 可靠性设计的具体措施	(205)
6.3.1 冗余设计	(205)
6.3.2 抗环境影响设计	(212)
习题	(216)
第 7 章 系统的维修性工程	(218)
7.1 维修性工程概述	(218)
7.1.1 维修性工作的意义与要求	(218)
7.1.2 维修性设计	(219)
7.2 测试仪器简介	(224)
7.2.1 静态测试仪器	(224)
7.2.2 动态测试仪器	(225)
7.3 系统的调试与测试	(234)
7.3.1 静态调试	(234)
7.3.2 动态调试	(235)
7.4 系统故障的检测与维修	(241)
7.4.1 故障的诊断方法概述	(241)
7.4.2 人工诊断	(242)
7.4.3 自动诊断	(248)
习题	(252)
参考文献	(253)

第 1 章 嵌入式系统可靠性概述

在本章中，首先以最简单的方式描述嵌入式系统的概念。在此基础上，对嵌入式系统中所涉及的有关可靠性的基本性能指标进行说明，为本书后面章节的叙述做准备。

1.1 可靠性工程的发展

1.1.1 可靠性研究的两个方面

从 20 世纪 40 年代开始，有关电子设备的可靠性问题引起了人们的重视。50 年代和 60 年代，对于可靠性的研究不断深入发展。到了 70 年代已步入成熟阶段，尤其是对电子设备的硬件可靠性问题，制定了一些有关可靠性的标准、规范及政策。自 80 年代以来，可靠性研究向着更加深入、更加广泛的方向发展。无论在民用设备、工业设备还是军事装备上，可靠性问题在设备的研发及应用中都被置于非常重要的地位。今天的电子设备，包括本书所要描述的嵌入式系统，可靠性可以被认为是它们的生命线，没有可靠性也就没有这些设备。特别是那些应用于恶劣环境之下的武器装备和工控设备，对可靠性的要求就更加严格。

可靠性研究包含两个方面：一部分科研人员专门从事可靠性理论研究，他们从数学理论出发，研究一系列的可靠性理论问题；另一部分科研人员则专门从事于可靠性工程的研究，研究装备或系统的可靠性在工程上的实现。

1.1.2 国内现状

目前，国外在可靠性、可维修性及保障性方面进行了全面的、综合性的研究，并取得了许多新成果。

国内有关可靠性方面的研究起步于 20 世纪 60 年代，但发展非常缓慢，没有引起足够的重视。从 80 年代开始，有关可靠性的研究及应用得到了迅速发展，各个应用领域均投入大量的人力和物力，从元器件的研制、生产，到设备及系统的开发研制，无不贯穿着可靠性的原则。在此期间制定了一系列的政策、法规及标准。现在，有关可靠性的研究及普及工作深入开展，所涉及的问题已不仅是某些研究所或学术会议所讨论的课题，而且已进入工科院校研究生及本科生的课堂。

随着科学技术的发展，新设备、新产品不断地涌现出来，它们的研制成功无一不包含可靠性设计。现在，可靠性、可维修性正处于热门研究阶段，每个工程技术人员和工科院校的毕业生都必须掌握有关可靠性的基础知识。

1.1.3 编写本书的目的

可靠性是一个非常大的课题，所涉及的内容非常多。本书将从工程角度出发描述有关嵌入式系统的可靠性工程问题。从构成嵌入式系统硬件、软件等不同的侧面介绍与可靠性有关

的问题。着重于介绍在工程上如何提高可靠性的措施和方法。

1.2 嵌入式系统简介

1.2.1 嵌入式系统的定义

随着计算机的发展，计算机已广泛应用于各行各业，而且这些应用必将更加深入、更加普遍。以往人们常根据计算机的性能和规模将它们分类为微型、小型、中型、大型及巨型计算机。随着技术的发展，这种分类已变得模糊。

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、实时性、可靠性、安全性、体积、重量、成本、功耗、环境，以及安装方式等方面严格要求的专用计算机系统。

从定义可以看出，嵌入式系统实质上就是实现某些特定要求的计算机应用系统。可以想象到，所有用于监测或控制的计算机应用系统均可纳入嵌入式系统的范畴。因此，嵌入式系统的应用极为广泛。

1.2.2 嵌入式系统的构成

如同任何计算机系统一样，嵌入式系统是由硬件和软件两大系统结合在一起，相辅相成所构成的。

1. 嵌入式计算机硬件系统

嵌入式系统硬件组成框图如图 1-1 所示。

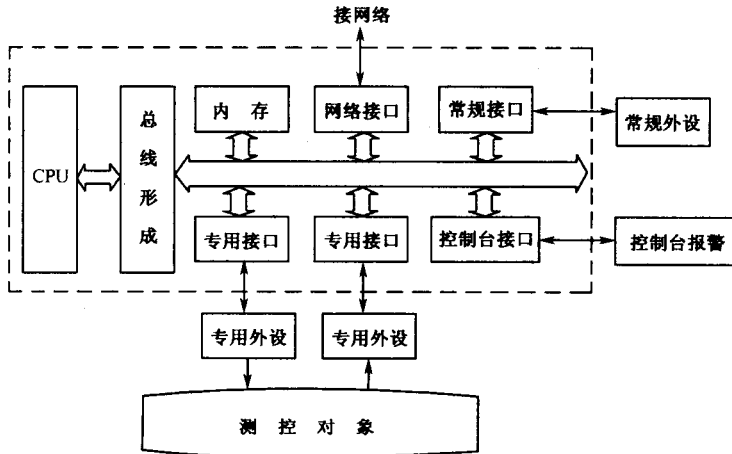


图 1-1 嵌入式系统硬件组成框图

由图 1-1 可以看到，嵌入式系统的硬件系统是由如下几个主要部分构成的。

(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。

在实际的测控系统中，处理器能够通过专用接口获取测控对象的数据、状态等各种信息，并对这些信息进行计算、加工、分析和判断，而后做出相应的控制决策，通过专用接口传送给测控对象。

嵌入式处理器类型非常多。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；也可以在单片机的基础上扩展而成；还可以以数字信号处理器（DSP）、专用处理器芯片甚至用自己设计的 ASIC 来构成。至于采用什么样的处理器，主要取决于用户的需求。在嵌入式系统中，作为核心部件的處理器的性能优劣将直接影响整个系统的性能。

(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。即使是最简单的、最小的嵌入式系统也会有最简单的键盘和显示器。

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、数码相机及多媒体视频捕获卡等。

② 输出设备。用于数据的输出。常见的输出设备有显示器、打印机、绘图仪、声卡及音箱等。

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、磁带机、存储卡（U 盘）等。

将这些外设连接到计算机上，通过接口可以使外设的信息能够进入计算机，或使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，专用外设就是那些为完成用户所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及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也不相同。

可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，发光二极管、数码管、直流电机、步进电机、继电器、A/D、D/A、按钮等。

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，即提供计算机与外设的信息传送通路，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，以及快速的处理器与慢速外设的同步。

(4) 操作控制台及报警设备 操作控制台及报警设备通常是不可少的，它用以实现人机交互，例如操作人员的命令、初始化数据进入计算机，以及在系统工作过程中，系统的工作状态、运行数据的显示、打印、绘图等。较大的系统可能有较大的操作控制台，台上会有更多的设备，便于对整个嵌入式系统进行操作。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、打印机和绘图仪等。同时，控制台上还有一些应急按钮，以便在危机出现时使用。

当嵌入式系统规模很小时，也许没有操作控制台，但会有一块小的操作面板。操作面板上有最简单的显示和少量的按钮，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系统，通常都有报警设备。以往的嵌入式系统中，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，同时报警用的红灯闪烁。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来实现声光报警。

现在，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情况。有许多现成的语言芯片可供选用。若没有合适的现成芯片可供选用时，也可以自己设计制作。

在图 1-1 中还画出了网络接口，它只是在由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计算机，而在距中央控制室几十米处的生产装置上有几十台由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，硬件设备上就应有网络接口。

2. 嵌入式计算机软件系统

要使嵌入式系统工作，完成用户所要求的功能，仅有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。

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。通常可包括如下部分。

(1) 嵌入式操作系统 在规模较大的嵌入式系统中一般都有操作系统。嵌入式系统的应用环境绝大多数都要求具有很高的实时性，因此实时性的要求是嵌入式系统的最重要的特征之一。同时，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，经常需要在实时操作系统管理下，通过多任务并行处理才可完成。在这种情况下，嵌入式系统需配置实时多任务操作系统，这种操作系统与一般的分时操作系统不同，它必须对事件做出实时处理。

在规模较小或较简单的嵌入式系统中，一般不需要有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，即一个较小的实时内核。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。

在最简单的嵌入式系统中，可以不配置实时操作系统或实时监控程序。

(2) 用户程序 在嵌入式系统中，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，用户程序的结构也很复杂，甚至需要多任务并行处理才能完成。有时还要采取多级中断。

在最简单的嵌入式系统中，只配置用户程序。用户程序除完成用户功能之外，还包括对系统的简单外设进行管理。在这种情况下，系统加电后就直接进入用户程序。

1.3 嵌入式系统的设计要求和设计步骤

嵌入式系统的应用环境和条件一般都比较恶劣，因此，在设计要求上有许多共性的问题需要在进行系统设计时认真加以考虑。

1.3.1 系统设计的基本要求

1. 实现用户功能上的需求

嵌入式系统设计，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，要求达到某种精度、速度，以及显示、报警等诸多的要求，因此所设计的系统首先是要满足这些要求。用户的需求是系统设计的依据，用户的功能上的需求必须予以实现。

2. 系统操作性能的要求

对于嵌入式系统来说，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统，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。每次都需要由 3 名操作人员来完成这项工作，十分不便。从设计的角度来看，这种情况完全可以改变，使操作更加简便。

3. 实时性的要求

嵌入式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，如何应对这种情况；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. 可靠性和安全性的要求

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于工业企业的现场（或用于军事装备），一旦出现故障，有可能造成整个生产过程混乱，甚至产生更严重的后果。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，可靠性是嵌入式系统的生命线。

5. 适应环境要求

嵌入式系统的环境适应能力也是极为重要的。这是因为，绝大多数的嵌入式系统工作环境都十分恶劣。嵌入式系统必须适应用户环境的要求，只有这样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，因此，嵌入式系统设计必须使其设计周期尽可能短。以往的经验证明，若一个系统拖好多年还不能完成设计，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,对嵌入式系统的体积、重量、功耗、安装方式等方面也有严格要求。这会给系统设计造成更大的困难,必须认真对待。

8. 通用性、可扩展性

嵌入式计算机系统都是专用系统。例如,用于电力计费的 MCS—51 单片机系统与用于家庭安全防卫的 MCS—51 单片机系统尽管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。因此,在进行系统设计时应尽量做到通用性好、便于扩展。当某一个系统设计投入使用后,若以后设计类似系统时,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。甚至可以把软件中的一些模块直接复制使用。通过这样的借鉴工作,往往会收到事半功倍的效果。

1.3.2 系统设计的步骤

嵌入式计算机系统设计通常有两种方式,即元器件级上的系统设计和系统集成。由于嵌入式系统是具有上述诸原则(特点)的专用系统,通常在体积、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) 评估采用计算机的必要性 评估采用计算机的必要性从两个方面来考虑。其一是经济效益,即当用户采用了这样的嵌入式计算机系统后,提高了产品的产量和质量、降低了成本和能耗等,这些情况最终可以折算出使用了计算机后一年可获取多少经济效益。若三年获取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,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,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完成相应的工作;在军事上,采用计算机可以提高精度和反应速度,增强战斗力。这一切均可说明采用计算机是必要的。

现在,单片机、DSP 等构成嵌入式系统的核心部件,价格愈来愈便宜且功能愈来愈强,因此应用将更加广泛。

(2) 用户需求调查与分析 当确定要为用户设计开发嵌入式系统后,接下来的重要一步就是对用户的需求进行认真仔细的调查和分析。系统设计的所有工作都是以用户的需求为依据的。若用户需求的调查与分析没有做到,则设计一定是失败的;用户没有要求的设计中做了,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,包括功能上和性能上的要求。在性能要求中,一定会有对实时性、可靠性方面的具体要求。

用户需求的调查一定要仔细地进行。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。设计者的理解与用户的解释要完全一致,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,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。它既是开发的依据,又可在出现争议时备查。

(3) 选择处理器 在调查清楚用户需求的基础上,再仔细进行分析何种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、降低系统成本和缩短开发周期都是十分重要的。选择处理器可从以下几个方面来考虑。

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

一般地说,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。在具体选用时主要考虑的是满足需要,不是字长愈长就愈好。应当是够用且留有一定裕量、性能好、价格便宜。因此,在选用时应折中考虑。

2) 速度。不同的用户需求对处理器的速度快慢要求也不一样。用于一般工业控制或测量的系统,通常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,要对这些事件做出实时响应。如果选用的处理器本身就具有或多于所要求的中断源,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。

4) 环境的适应能力。嵌入式系统一般都工作在十分恶劣的环境下,在选择处理器时必须认真考虑到这些情况。如果忽视了这种环境状况,也许嵌入式系统还未到达使用现场或在现场仅工作了很短时间就会出现故障。

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。若选择的是硬、软件支持很少的处理器,则后续的系统设计就会更困难。

6) 开发及调试手段。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,这对开发及调试该处理器构成的嵌入式系统是至关重要的。如果所选处理器的在线仿真器不易买到,将给系统开发和调试带来许多困难。

7) 选择何种类型的处理器。适合于作为嵌入式系统处理器的器件有多种可供选择。

① 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。

② 单片机。有多种字长、多种型号的单片机可供选择。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。

单片机有 4 位、8 位、16 位、32 位的,可供设计者选择,不同厂家、不同型号的单片机

品种繁多，其中有人熟悉的 MCS—51、ARM 等。

③ 数字信号处理器 (DSP)。DSP 以高速度见长，特别适用于多媒体信息处理。同样，DSP 有多个厂家生产了多个系列的产品供选用。

④ 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。常见的是用一台高档计算机作为上位 (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了多种型号的 PLC，供使用者选择。

⑤ 复杂的可编程逻辑器件 (CPLD)。随着微细加工技术的发展，CPLD 的集成度已经达到在一片内可集成 1000 万个器件、1000 条引脚。通过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，可以用它来作为嵌入式系统中的专用处理器。

⑥ 自行开发专用处理器 (ASIC)。利用厂家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所需要的处理器。用该技术可以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。

⑦ 片上系统 (SOC)。目前，已有许多厂家为设计者提供片上系统 (SOC)，它的主要特点是将计算机、存储器、数字接口、模拟接口集成在一块芯片中。在进行片上系统 (SOC) 设计时，已充分考虑到接口的驱动能力。因此，片上系统 (SOC) 可以直接接上外设从而构成一个小的嵌入式系统。这也是片上系统 (SOC) 的来历。

有的片上系统 (SOC) 还允许设计者编程指定其功能，这种芯片称为可编程片上系统 (SPOC)。还有的厂家为设计者提供功能更强的多核片上系统 (SOC)。例如，在一块芯片中集成了 ARM 和 DSP 等。

(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。它包括两个方面。

1) 硬件系统方案。在选择了处理器后，要确定将采用的系统总线。可以选用已制订标准的标准总线，也可以自行定义专用系统总线。二者各有优缺点，应根据具体情况考虑选用。

其次要确定系统所需内存，包括 RAM 容量、内存地址空间分配等。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，就一定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大容量 RAM。选用时应留有一定的裕量。内存的另一部分是系统的 ROM。在嵌入式系统中，程序及不变信息一般存储在 ROM 中，这样可以提高系统的可靠性。根据用户的需求及系统的规模估计系统的程序 (目的码) 和不变的信息的多少，最终确定内存的 ROM 大小及其在内存中的地址。应将它们放在最方便的地址上。

根据用户的需求确定选用哪些常规外设，确定每个常规外设的接口并分配它们的接口地址。

按照用户的需求，确定将采用的专用外设。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，进行温度控制时，就需要考虑采集多少个温度点、用什么样的温度传感器、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接滤波器，选用什么样的才合适；其后用什么样的模拟门电路，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。总之，应对专用外设及接口一一加以