

高等院校信息技术规划教材

嵌入式系统设计原理及应用



符意德 编著



清华大学出版社

高等院校信息技术规划教材

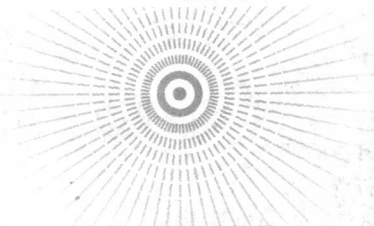
TP360.21
5

嵌入式系统设计原理及应用

北方工业大学图书馆



00566233



符意德 编著

清华大学出版社

北 京

575173/9

内 容 简 介

本书系统地描述了嵌入式系统设计原理及方法,对嵌入式系统的设计过程进行了完整地介绍。书中采用了自底向上的方法来介绍嵌入式系统,首先介绍了 ARM7 微处理器核这一典型的用于嵌入式系统开发的微处理器及嵌入式系统相关硬件平台,然后介绍了嵌入式系统设计原理及方法,以及嵌入式操作系统及嵌入式网络技术。

本书可作为计算机类、电子工程类、通信工程类等高年级本科生及研究生的相关课程教材,同时也可供相关工程技术人员参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式系统设计原理及应用/符意德编著. —北京:清华大学出版社,2004.11
(高等院校信息技术规划教材)

ISBN 7-302-09638-4

I. 嵌… II. 符… III. 微型计算机—系统设计—高等学校—教材 IV. TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 098181 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 王敏稚

文稿编辑: 霍志国

版式设计: 刘祎森

印 刷 者: 北京市世界知识印刷厂

装 订 者: 三河市化甲屯小学装订二厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 20.5 字数: 481 千字

版 次: 2004 年 11 月第 1 版 2004 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-09638-4/TP·6682

印 数: 1~4000

定 价: 26.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

编委会名单

主任：李文忠

副主任：王正洪 鲁宇红 焦金生

成员：（按拼音排序）

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 常晋义 | 邓凯 | 范新南 | 高佳琴 | 高玉寰 | 龚运新 |
| 顾建业 | 顾金海 | 林罡 | 刘训非 | 马正华 | 沈孟涛 |
| 王继水 | 王骏 | 王晴 | 王志立 | 吴访升 | 肖玉 |
| 杨长春 | 袁启昌 | 张旭翔 | 张燕 | 赵明生 | 郑成增 |
| 周凤石 | | | | | |

策划编辑：张龙

序

在科教兴国方针的指引下,我国高等教育进入了一个新的历史发展时期,招生规模和在校生数量都有了大幅度的增长。我们在进行着世界上规模最大的高等教育。与此同时,对于高等教育的研究和认识也在不断深化。高等学校要明确自己的办学方向和办学特色,这既是不断提高高等教育水平的必然要求,更是高校不断发展和壮大必须首先考虑的问题。

教育部领导明确提出要有相当部分的高校致力于培养应用型人才,此类院校在计算机教学中如何实现自己的培养目标,如何选择适用的应用型教材,已成为十分重要和迫切的任务。应用型人才的培养不能简单照搬研究型人才的培养方案,要在丰富的实践基础上认真总结,摸索新形势下的教学规律,在此基础上设计相关课程、改进教学方法,同时编写应用型教材。这一工作是非常艰巨的,也是非常有意义的。

在清华大学出版社的大力支持和配合下,于2003年成立了应用型教材编委会。编委会汇集了众多高校的实践经验,并经过集中讨论和专家评审,遴选了一批优秀教材,希望能够通过这套教材的出版和使用,促进应用型人才培养的发展,为建立新的人才培养模式作出贡献。

我们编写应用型教材的主要出发点是:

1. 适应教育部对高等教育的新要求,以及市场对应用型人才需求量的不断增加。
2. 计算机科学技术不断更新,发展速度加速,教材内容和教学方式将适时更新和改进。
3. 教育技术的发展,对教材建设提出了更高的要求,教材将呈现出纸介质出版物、电子课件以及网络学习环境等相互配合的立体化形态。



4. 突出应用,增强实训,根据不同的专业要求,加强针对性,使理论与实践紧密结合。

从上述各点出发,我们将努力建设一套全新的、有实用价值的应用型计算机教材。经过参编教师的努力,第一批教材已经面世。教材将滚动式地不断更新、修正、提高,逐渐树立起自己的品牌。希望使用本系列教材的广大师生不断反馈各类意见,逐步建设具有应用型特色的精品教材。

李文忠

2004年9月

前言

21世纪是嵌入式计算系统时代,人们日常生活和工作中所接触的仪器与设备中,都将嵌入具有强大计算能力的微处理器,微处理器技术的飞速发展使嵌入式计算成为一门学科。在嵌入式系统的早期阶段,所有基本硬件构件相对较小且简单,如8位的CPU、74系列的芯片及晶体管等,并且其应用要求相对也较简单,所以软件平台复杂度不高。今天的嵌入式系统基本硬件构件已很复杂,如32位CPU或特殊功能的微处理器、特定功能的集成芯片、FPGA或CPLD等,其应用需求也复杂得多,如希望支持多媒体信号的处理及可接入因特网,因而软件设计的复杂性成倍增加。

在嵌入式系统的设计要求越来越复杂的今天,设计的困难不在于硬件平台的构建,而是其软件系统的设计,传统的设计方法已不能满足快速、高效地设计复杂嵌入式系统的要求。因此,熟练地掌握并在设计中使用科学、有效的设计方法,特别是面向对象的设计方法对复杂嵌入式系统来说是至关重要的。本书即是从嵌入式系统设计一般性原理及方法的角度来介绍嵌入式系统的设计。

书中内容可分为两大部分,第1章到第4章,具体介绍了ARM7微处理器核及嵌入式系统的硬件平台相关知识;第5章到第8章,分层次、系统性地介绍了嵌入式系统设计原理及方法、嵌入式操作系统、嵌入式网络技术原理及应用,并通过几个设计实例对教材中涉及的原理及设计方法加以具体化。对于不同层次的学生,可选取不同章节的内容组合来重点介绍,如针对硬件基础不强的学生,可选取第2,3,4章及5.1节、8.2节等内容为组合重点介绍;对于有硬件基础的学生,则选取第5,6,7,8章等内容为组合重点介绍。

本书由符意德主编,王丽芳参加了本书第7章与第8章的编写工作。目前,嵌入式系统正处于一个快速发展的阶段,新的技术和

应用成果不断地涌现,囿于编者的水平,书中的疏漏和错误之处希望广大读者批评指正。

在本书的编写过程中,参考了许多专家学者的成果,在此向他们表示感谢!

感谢江苏省高校计算机基础教学工作委员会的支持和帮助!同时感谢本书责任编辑的支持!

感谢家人的关心和支持!

编 者

2004年6月 于紫金山麓

目录

| | |
|-----------------------------|-----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 什么是嵌入式系统 | 1 |
| 1.2 嵌入式计算的特点 | 2 |
| 1.3 嵌入式系统的设计过程 | 4 |
| 1.4 本书内容简介 | 8 |
| 第 2 章 ARM 体系结构 | 12 |
| 2.1 ARM 微处理器结构 | 12 |
| 2.2 ARM 处理模式和状态 | 22 |
| 2.3 ARM 存储器组织 | 23 |
| 2.4 异常 | 29 |
| 2.5 ARM 寻址方式 | 32 |
| 第 3 章 ARM 指令系统 | 35 |
| 3.1 ARM 指令集 | 35 |
| 3.2 Thumb 指令集 | 47 |
| 3.3 ARM 汇编程序设计 | 57 |
| 第 4 章 嵌入式计算平台 | 73 |
| 4.1 CPU 总线 | 73 |
| 4.2 存储器及存储系统机制 | 79 |
| 4.3 接口控制方式 | 86 |
| 4.4 I/O 设备 | 90 |
| 4.5 定时器和计数器 | 106 |



| | |
|--------------------------------|-----|
| 第 5 章 系统设计和分析 | 108 |
| 5.1 系统设计的形式化方法 | 108 |
| 5.2 嵌入式系统设计范型 | 115 |
| 5.3 编程模型 | 117 |
| 5.4 程序执行时间的分析与优化 | 119 |
| 5.5 能量和功率的分析与优化 | 126 |
| 5.6 程序长度的分析与优化 | 128 |
| 第 6 章 嵌入式操作系统 | 131 |
| 6.1 嵌入式系统的进程 | 132 |
| 6.2 进程调度 | 135 |
| 6.3 进程间通信机制 | 145 |
| 6.4 嵌入式操作系统的其他功能 | 153 |
| 6.5 嵌入式操作系统 | 164 |
| 第 7 章 嵌入式网络技术 | 193 |
| 7.1 分布式嵌入体系结构 | 193 |
| 7.2 嵌入式系统网络 | 196 |
| 7.3 USB 网络 | 202 |
| 7.4 嵌入式 TCP/IP 技术 | 232 |
| 7.5 基于网络设计的性能分析 | 246 |
| 第 8 章 系统设计实例 | 253 |
| 8.1 实例一：数字式时钟 | 253 |
| 8.2 实例二：医用心电仪 | 259 |
| 8.3 实例三：嵌入式 Web 服务器 | 285 |
| 附录 A UML 元素、关系、符号 | 310 |
| 参考文献 | 315 |

第 1 章

chapter 1

绪 论

1.1 什么是嵌入式系统

21 世纪是嵌入式计算系统时代,人们日常生活和工作中所接触的仪器与设备中,都将嵌入具有强大计算能力的微处理器。据统计,目前每年只有 10%~20% 的微处理器芯片用于台式计算机或笔记本电脑,80% 左右的微处理器芯片是为嵌入式计算系统设计和制造的。嵌入式计算系统已广泛地应用到工业控制系统、信息家电、通信设备、医疗仪器、军事设备等众多领域中。尤其是最近几年,嵌入式计算系统不断进入到新的应用领域,如 PDA、手持设备、智能家庭设备、智能电话等。

那么,什么是嵌入式计算系统呢?它是任意包含一个可编程计算机的设备,但是这个设备不是作为通用计算机而设计的。即嵌入式计算系统是嵌入在其他设备中,起智能控制作用的专用计算机系统。一台通用个人电脑不能称为嵌入式计算系统,尽管有时会把它嵌入到某些设备中;而一台包含有微处理器的打印机、数码相机就可以算嵌入式计算系统。以后章节把嵌入式计算系统简称为嵌入式系统。

显而易见,嵌入式计算技术是一种十分实用的技术,它广泛应用于多种类型的产品设计中。针对如此巨大的市场,围绕嵌入式系统展开研究和开发也就成了计算机技术领域发展最活跃的方向之一。虽然微处理器的出现已有很长时间了,传统的嵌入式系统设计起源于 20 世纪 70 年代初,但是,嵌入式系统对信息技术(IT)产业产生强有力的影响还只是近几年的事。随着技术的发展,对嵌入式系统的设计要求也越来越复杂,传统的手工设计方法已不能满足快速、高效地设计复杂嵌入式系统的要求。

根据摩尔定律,微处理器飞速发展的结果是使嵌入式计算成为一门学科。在嵌入式系统的早期阶段,所有基本硬件构件相对较小也较简单,如 8 位的 CPU、74 系列的芯片及晶体管等,其软件子系统采用一体化的监控程序,不存在操作系统平台。目前组成嵌入式系统的基本硬件构件已较复杂,如 16 位、32 位 CPU 或特殊功能的微处理器、特定功能的集成芯片、FPGA 或 CPLD 等,其软件设计的复杂性成倍增长。因此研究嵌入式系统的设计原理及技术,提供系统的设计方法和开发工具是嵌入式计算学科的关键技术。

本书中仅介绍嵌入式系统本身。虽然设计嵌入式系统时,遇到的问题并不都是计算机技术方面的问题,还有机械或模拟电信号方面的问题,但本书仅关心嵌入式系统硬件和软件设计问题。

1.2 嵌入式计算的特点

嵌入式系统是以微处理器为核心的,嵌入在其他设备中的专用计算机系统。在设计中,面临的问题有许多是设计计算机系统中所面临的共性问题。由于嵌入式系统并不是独立的,它与所嵌入的设备紧密关联,因此,与通用台式计算机相比,它的设计还是具有许多特殊性。

1.2.1 嵌入式系统的要求

嵌入式计算技术面临的挑战源于基础技术的迅猛发展及用户需求的不断提高。在设计中,系统的功能性对于通用台式计算机系统和嵌入式系统来说都是非常重要的,但是,与通用台式计算机系统的设计相比,嵌入式系统的设计有很多特殊的要求,主要体现在以下方面:

(1) 实时性 多数嵌入式系统需要工作在实时方式下。如果数据或控制信息在某段时限内不能到达,系统将会引起错误。在某些嵌入式系统中,实时性能得不到满足是不能接受的,超过时限会引发危险甚至对生命造成伤害,如高速列车控制器,控制信息超时会引起列车运行故障,甚至翻车。在另一些嵌入式系统中,超过时限虽然不会引发危险,但也会引发一些事故,如打印机在打印时,控制信息的响应时间若超时,就会使打印机发生混乱。

(2) 多速率 多数嵌入式系统不仅有实时性要求,而且还需同时运行多个实时性任务,系统必须同时控制这些动作,虽然这些动作有些速度慢,有些速度快。多媒体应用系统就是多速率行为的典型例子,多媒体数据流的音频和视频部分以不同的速率播放,但是它们必须保持同步。只要音频数据或视频数据不能在有限时间内准备好,就会影响整体效果。

(3) 功耗 在通用台式计算机系统中,功耗已不是一个主要的考虑因素,但在嵌入式系统中,尤其是在用电池供电的嵌入式系统中,这是一个主要考虑的因素。大耗电量直接影响到硬件费用,并影响电源寿命以及带来散热问题。

(4) 低成本 多数情况下,嵌入式系统都希望是低成本的。制造成本由许多因素决定,其中包含硬件成本和软件成本。硬件成本主要决定于所使用的微处理器、所需的内存及相应的外围芯片;软件成本通常难于预测,但一个好的设计方法有利于降低软件成本。

(5) 环境相关性 嵌入式系统不是独立的,而是与其被嵌入的设备紧密关联。因此,嵌入式系统设计时,必须考虑模拟量信号、数字量信号及开关量信号的输入输出;系统抗干扰性;温度、湿度等。

1.2.2 为什么以微处理器为核心

嵌入式系统是以微处理器为核心的数字系统。设计一个数字系统可以用很多种方

法,如定制逻辑、现场可编程门阵列(FPGA)等,那么,为什么要用微处理器呢?这主要有两个原因:

(1) 用微处理器是实现数字系统一种十分便捷、有效的方法。

(2) 微处理器使设计不同价位、不同特性的产品系列变得容易,并容易扩充新功能以满足飞速变化的市场需求。

在数字电路设计方面,人们总是认为,微处理器取指令、译码以及执行指令的开销很大,因此,某功能用微处理器执行应用程序实现,比用定制的逻辑电路实现要慢。其实不然,有两个因素一起作用使基于微处理器的设计更快。首先,微处理器能非常高效地执行程序,现代 RISC 处理器在大多数情况下可用每个时钟周期执行一条指令,虽然取指令、解释指令必须有开销,但可以通过 CPU 内部并行、流水处理使这些开销降低。第二,微处理器制造商采用最先进的生产技术和工艺,并投入了相当大的财力和人力来优化微处理器电路,以使他们设计的微处理器具有高性能,能高速运行,同时通过大批量生产以降低成本。那些想自己设计定制逻辑电路的用户,首先必须掌握新的超大规模集成电路技术,然后才能定制逻辑电路。由于嵌入式系统设计团队往往是小规模的,甚至是一个人,他们对超大规模集成电路新技术的了解及电路的优化能力,比微处理器制造商相差甚远,因而建立在过时技术上的定制逻辑电路就不可能存在什么性能优势。

另外,人们通常还认为微处理器的通用性以及需要独立的存储器,会使得基于微处理器设计的嵌入式系统体积会比基于定制逻辑电路设计的体积要大得多。然而,在很多情况下就使用的逻辑门电路单元而言,微处理器的尺寸是比较小的。一个设计好的定制逻辑电路不能用于执行其他的功能,但微处理器却不是这样,只需要更换微处理器执行的程序就能让它完成不同的功能。由于现代的嵌入式系统需要复杂的算法和用户界面,因此如果是使用定制逻辑电路,就需要设计多个执行不同任务的逻辑电路,因此,系统的尺寸会变大。

不使用微处理器几乎没有优势,微处理器的优点使它在许多领域内成为首选。微处理器的可编程能力在嵌入式系统开发过程中是最宝贵的,它使程序设计可以与硬件系统的设计分开进行,当一组人员在设计包含微处理器、存储器、输入输出设备等的电路板时,另一组人员可以同时编写程序。同样重要地是,可编程能力使厂商可以很容易使自己的产品系列化,在许多情况下,高端产品设计可以在不改变原来硬件的情况下,仅仅通过升级软件来实现,这样可以降低生产成本。即使当硬件必须重新设计时,原有的一些软件也可重用,从而大大节约了时间和开销。

1.2.3 嵌入式系统设计所面临的问题

外部约束是嵌入式系统设计遇到困难的一个重要来源。下面列出了嵌入式系统设计过程中面临的一些主要问题。

(1) 需要多少硬件 在设计嵌入式系统时,不仅需考虑选择何种 CPU,同样需考虑存储器容量、I/O 设备及其他外围电路。在满足系统性能要求的前提下,满足系统经济性要求。即系统硬件太少,将不能达到性能要求;硬件太多,又会使产品变得过于昂贵,并降低了可靠性。

(2) 如何满足实时性 利用提高 CPU 速度的方法来使程序运行的速度加快,从而解决实时性问题的方法是不可取的。因为这会使系统的价格上升;同时,仅仅提高 CPU 的时钟频率有时并不能提高程序执行速度,因为程序执行速度还会受存储器速度的限制。因此应精确设计程序以满足实时性要求。

(3) 如何减少系统的功耗 对于电池供电的嵌入式系统而言,功耗是一个十分重要的问题。对于非电池供电的嵌入式系统而言,高功耗会带来高散热量。降低嵌入式系统功耗的一种方法就是降低它的运算速度。但是,单纯地降低运算速度会导致不满足实时性能,应认真设计,以便通过降低系统非关键部分的速度来降低系统功耗,而同时又能满足系统的实时性能。

(4) 如何保证系统可升级 系统的硬件平台可能使用几代,或者使用在同一代的不同级别的产品中,而这些仅仅只应做一些简单的改变。因此,希望通过修改软件来改变系统的功能。

(5) 系统调试复杂 调试嵌入式系统比调试通用台式计算机上的程序困难得多。通常需运行整套设备以产生测试数据,而数据产生的时间往往也是非常重要的。也就是说,不能离开嵌入式系统运行的整个环境来测试嵌入式系统。另外,嵌入式系统有时没有配备键盘和显示器,这导致无法了解系统的运行情况,也不能影响系统的运行,从而导致测试嵌入式系统困难。

(6) 开发环境受限 嵌入式系统的开发环境(用于开发硬件、软件的工具)比通用台式计算机或工作站上可用的环境要少。通常在台式计算机上将程序代码编译好,而后再将编译好的机器码下载到嵌入式系统中。为了调试这些代码,通常必须依靠运行在台式计算机上的程序来观察嵌入式系统的运行情况。

1.3 嵌入式系统的设计过程

一个好的设计方法是十分重要的,原因有 3 点:第一,它使人们对所做的工作的进度有清楚的了解,可以确保不遗漏其中的工作;第二,可以使整个开发过程分阶段进行,从而做到有条不紊地进行开发工作;第三,可以方便设计团队中的成员相互交流,相互配合以完成系统的设计目标。

图 1-1 给出了嵌入式系统设计的主要步骤。以自顶向下的角度来看,系统设计从系统需求分析开始;第二步是规格说明,这一步对需设计的系统功能进行更细致地描述,这些描述并不涉及系统的组成;第三步是系统结构设计,这一阶段以大的构件为单位设计系统内部详细构造,明确软、硬件功能的划分;第四步是构件设计,包括系统程序模块设计、专用硬件芯片选择及硬件电路

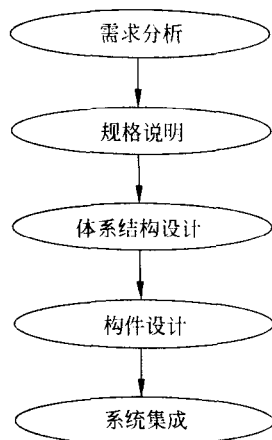


图 1-1 嵌入式系统设计过程的主要步骤

设计;第五步是系统集成,在完成所有构件设计的基础上进行系统集成,构造出所需的完整系统。

1.3.1 需求分析与规格说明

在设计之前,必须清楚要设计什么。在设计的最初阶段,应从客户那里收集系统功能的非形式描述,在此称其为需求;对需求进行提炼,以得到系统的规格说明,规格说明中应包含进行系统体系结构设计所需的足够信息。

在此把需求和规格说明区分开是必要的,因为嵌入式系统的用户不是专业人员,他们对系统的描述是建立在他们想象的、系统应具备的功能基础上,对系统可能有些不切实际的期望,表达要求时使用自己的话而不是专业术语。因而,必须将用户的描述转化为系统设计者的描述,从用户的需求中整理形成正式的规格说明。

用户需求通常包括功能部分和非功能部分。非功能部分需求主要包括性能、价格、尺寸和重量、功耗等。表 1-1 是一个在系统设计的初始阶段使用的需求说明表格样本,该表格用简炼、清晰的语句描述系统的基本需求。

表 1-1 需求表格样本

| 项 目 | 说 明 |
|-------|---------------------|
| 名称 | 为项目取一个名称 |
| 目的 | 描述系统需要满足的基本需求 |
| 输入 | 描述系统的输入 |
| 输出 | 描述系统的输出 |
| 功能 | 描述系统的工作 |
| 性能 | 描述系统的处理速度及系统所处的运行环境 |
| 生产成本 | 硬件构件的花费 |
| 功耗 | 描述系统的功耗 |
| 尺寸和重量 | 描述系统的物理尺寸和重量 |

(1) 名称 给该项工程取一个名称,可以使设计者和用户、设计者和设计者之间讨论这个项目时更方便,也可以使设计的目的更加明确。

(2) 目的 该项用一到两行的语言将系统需要满足的基本需求进行描述。如果不能一两句话来描述所设计的系统主要特性的话,说明还不是十分了解它。

(3) 输入和输出 这两项内容较复杂,对系统的输入和输出进行描述,其细节应包括:

- ① 数据类型。输入输出信号是模拟量信号、数字量信号或开关量信号。
- ② 数据特性。数据是周期性到达的还是随机到达的,每个数据多少位。
- ③ I/O 设备类型。什么类型的输入设备和输出设备。

(4) 功能 该项是对系统所做工作的更详细地描述。通常从系统的输入到系统的输出来进行描述:当系统接收到输入时,它执行哪些动作?用户通过界面输入的数据如何对系统产生影响?不同功能之间如何相互作用等。

(5) 性能 主要指系统的处理速度及系统所处的运行环境。对性能的要求必须近早地明确,以便设计时随时检查系统是否达到性能要求。

(6) 生产成本 主要指硬件构件的花费。如果不能确定将要花费在硬件构件上的确切费用,那么起码应对最终产品的价格有一个粗略的了解,因为价格最终会影响系统的体系结构。

(7) 功耗 对系统的功耗必须有一个粗略地了解,确认系统是靠电池供电还是通过墙上的插座供电是系统设计过程中的一个重大决定。靠电池供电的系统必须认真地对功耗问题进行考虑。

(8) 尺寸和重量 对系统的物理尺寸和重量的了解有助于系统体系结构的设计。某些嵌入式系统对尺寸和重量的要求是非常严格的。

下面以 GPS 移动地图为例来说明系统需求表的获得,如表 1-2 所示。

表 1-2 GPS 移动地图需求

| 项 目 | 说 明 |
|-------|--|
| 名称 | GPS 移动地图 |
| 目的 | 为司机等用户提供图状的移动地图 |
| 输入 | 一个电源开关、两个操作按钮、GPS 信号输入 |
| 输出 | LCD 显示器,分辨率为 400×600 |
| 功能 | 可接 5 种 GPS 接收器;3 种用户可选的地图比例;总是显示当前经纬度 |
| 性能 | 0.25s 内即可更新一次屏幕,常温下工作 |
| 生产成本 | 1500 元(人民币) |
| 功耗 | 4 节电池供电应连续工作 8h,功耗约 100mW |
| 尺寸和重量 | 尺寸不大于 $20\text{cm} \times 30\text{cm}$,重量不大于 0.25kg |

GPS 移动地图系统 GPS 移动地图是一种手持设备,该设备为用户(如汽车驾驶员)显示他当前所处位置周围的地图;显示的地图内容应随用户以及该设备所处位置的改变而改变。该设备从 GPS 上得到其位置信息,移动地图的显示看起来应类似纸张上的地图。针对用户的初步要求,编写出如表 1-2 所示的系统需求表。

规格说明应更精确地反映用户的需求,设计者在设计时必须明确遵循。规格说明应小心编写,描述应足够清晰,不能有歧义,以便别人可以通过它来验证设计是否达到要求。规格说明中通常只描述系统应做什么,而不描述系统该怎么做。

描述规格说明的工具可采用统一建模语言(UML)。UML 是一种面向对象的建模语言,它是软件工程课程中详细讲解的内容,本书附录 A 中简要地介绍了它的概念和图形工具。

1.3.2 体系结构设计

系统结构设计的目的是描述系统如何实现系统的功能,它是系统整体结构的一个计划。下面以一个具体实例的系统结构设计来理解如何描述体系结构。

图 1-2 以框图的形式描述了移动地图的体系结构,图中展示了移动地图的主要操作

和其间的数据流。框图仍然很抽象,还没有规定软件完成什么,专用硬件完成什么等。但该图还是清楚地描述了许多功能,如搜索地形图数据库、显示地图、接收 GPS 信号等。

只有在设计了一个并未涉及太多具体实现细节的初始体系结构后,才可能把系统框图再分成两部分框图:一部分是针对硬件,另一部分是针对软件。图 1-2 细分成硬件、软件两部分后如图 1-3 所示。

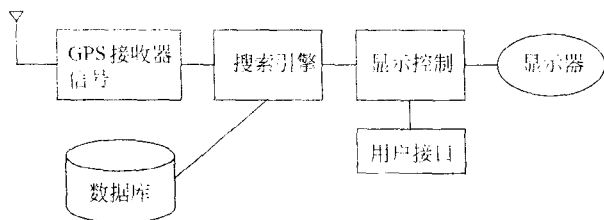


图 1-2 移动地图的体系结构框图

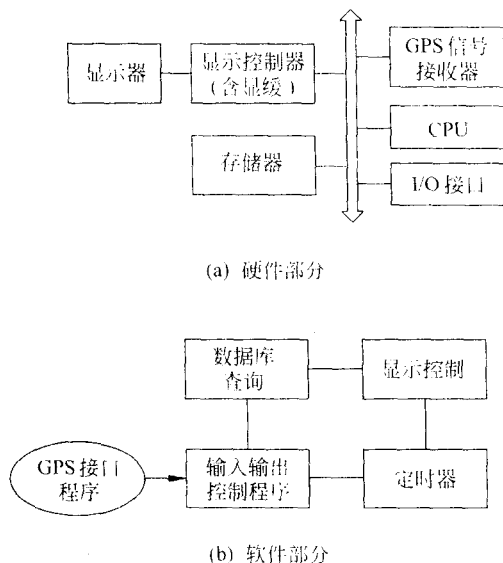


图 1-3 移动地图的硬件和软件系统结构

系统结构描述必须同时满足功能上和非功能上的需求,不仅需求的功能要体现,而且必须符合成本、速度、功率和其他功能上的约束。首先从系统体系结构开始,逐步把这一结构细化为硬件和软件体系结构是确保系统符合规格说明的一种好方法,即首先集中考虑系统中的功能元素,然后在建造硬件和软件结构时考虑非功能约束。

1.3.3 构件设计

体系结构设计中告诉人们需要什么样的构件,而构件设计中就是设计或选择符合体系结构和规格说明中所需求的构件。构件通常既包括硬件,如 FPGA、电路板等,也包括