

# 基于工程化流程的一种嵌入式系统开发方法

杨 杰,刘 锋,张义超,王天生

(安徽大学 计算机学院,安徽 合肥 230039)

**摘 要:**嵌入式系统是包含硬件和软件的完整的专用计算机系统,设计者需要根据系统需求对所用的计算机系统进行裁剪。为了更好地指导嵌入式系统开发和保证工作的有效性和高效性,文中从嵌入式系统一般开发流程出发,在详细分析了基于嵌入式操作系统的程序设计方法和基础上,结合软件工程和硬件工程知识给出了一种面向嵌入式系统开发的工程化方法。长期研发实践证明,该方法对嵌入式系统开发具有很好的指导作用,可以很好地协调开发工程中的工作。

**关键词:**嵌入式系统;工程化思想;设计流程;方案

**中图分类号:**TP301

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2009)12-0105-03

## Embedded System Development Method Based on Engineering Conception

YANG Jie, LIU Feng, ZHANG Yi-chao, WANG Tian-sheng

(Institute of Computer Science and Technology, Anhui University, Hefei 230039, China)

**Abstract:** Embedded systems, containing hardware and software, is a complete computer system. Designers cut unnecessary parts according to system requirement. In order to better guide the development of embedded systems and guarantee the effectiveness of their work. Reference to the general development of embedded systems from the starting flow in a detailed analysis of the procedures and based on embedded operating system design methods, combination of software engineering and hardware engineering brings a development-oriented embedded systems engineering method. Practice has proved the method of embedded system development is an excellent role in guiding.

**Key words:** embedded system; engineering conception; design flow; plan

## 0 引 言

在信息技术高度发达的今天,计算机技术正在迎接新的挑战,那就是目前嵌入式技术的爆炸式发展。嵌入式系统每年带来的工业产值已经超过1万亿美元,成为IT产业价值的最重要组成部分。但是,由于嵌入式系统的设计与开发必须将所有的软件、硬件和人力资源等集中起来,并进行适当的组合以实现目前系统对需求的种种要求<sup>[1]</sup>,而目前对嵌入式系统的系统化开发方案还没有一套像软件工程标准化方案的完善指导体系。所以,一种有效的嵌入式工程化设计方法成为众多嵌入式工程师们迫切的需求,文中就是针对这种情况,结合作者的多年企业和科研项目研发经验,给出一种适合嵌入式系统工程化开发的模型。

根据IEEE定义,嵌入式系统被描述为“控制、监

视或者辅助设备、机器和车间运行的装置”。在中国普遍为人们接受的定义为:“以应用为中心,以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,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”。嵌入式系统的实现难点在于平台搭建和调试,在于怎样使得平台更加趋于稳定、可靠和高效,而这点需要有很好的系统设计方案。

## 1 嵌入式系统一般开发流程

嵌入式系统开发首先要做的事情就是对CPU进行选型,选型的主要两个参考目标是价值和效率,针对应用的需求,要选择对目前系统支持最合理的CPU,不能有太多的片上资源浪费,因为那样不但增加了设备的开发价值而且增大了系统在使用中的不必要功耗<sup>[2]</sup>。接下来的任务就是针对特定的CPU需要增加一些必要外围设备接口,同时结合具体应用的需要选择合适的嵌入式操作系统。下面的工作分成软件和硬件部分同步进行,软件这边需要开发出系统的板级支持包,主要包括BootLoader和设备驱动程序,并在此基

收稿日期:2009-02-21;修回日期:2009-05-15

基金项目:国家自然科学基金资助计划项目(60773114)

作者简介:杨 杰(1986-),男,安徽合肥人,硕士研究生,研究方向为软件工程;刘 锋,教授,硕士生导师,研究方向为软件工程与并行计算。

础上设计并开发基于操作系统的应用程序;硬件部分要进行必要的模拟电路设计和数字电路设计并制作 PCB 板,等这两部分工作都做好后需要综合调试,不符合要求的部分需要返回到上述相应的部分进行修改,直到嵌入式系统能稳定运行为止。图 1 为嵌入式系统开发流程图。

CPU 的选型	
嵌入式操作系统	外围平台的搭建
板级支持包的开发	模拟设计和数字设计
基于操作系统的程序设计	PCB 的设计
综合调试	

图 1 嵌入式系统开发流程图

## 2 基于嵌入式操作系统的设计技术

传统的前后台系统由主程序和中断服务子程序组成,程序结构简单,由一个死循环主体和若干中断服务子程序组成。基于嵌入式操作系统的程序开发和传统的前后台程序开发有着完全不同的设计方法,设计的重点已经不是简单的模块化程序设计了,而是操作系统任务或者说进程和线程级别的组织方案。任务就是将可执行程序模块进行分类组合,使用每个组合都完成一些比较紧密相关的操作,这样的操作就被称为用户任务,它区别于操作系统本身的任务,即系统任务,系统任务是不需要去考虑的,所以下面说到的任务主要是指用户任务,简称为任务。

嵌入式操作系统的应用使得嵌入式系统的开发变得更加简单高效,进一步确保系统的稳定性和可靠性,充分发挥 MCU 执行多任务的潜力,便于系统的维护和拓展。比较著名的嵌入式操作系统有 Windows CE、Linux、VxWorks、 $\mu$ COS-II 等,多样性使其在不同领域得到广泛应用,而多任务设计成为嵌入式系统软件设计的主题。

任务的基本特征是具有动态性、独立性和并发性等<sup>[3]</sup>。任务的动态性指的是任务被操作系统所响应,总是处于运行态、等待态和就绪态等多种状态之间切换,在任何一个时刻只有一个任务占有 CPU 资源处于运行态,而且正在运行的任务可以被其他任务取代,这就是任务的可剥夺性。任务的独立性指的是任务可以被挂起或者说中止执行,但是任务本身的数据是不会被破坏的,任务的独立性表现为任务在逻辑上是平等的和在通讯上是异步的,每个任务都拥有自己的数据空间,执行的结果不会被其他的任务破坏,任务和任务之间是彼此独立的。任务的并发性是指从整体上看操作系统的每个任务都能被操作系统执行,好像每个任

务都占有 CPU 资源一样。

任务划分的目标是尽量满足实时性需要和数目要合理,满足系统实时性越好的就能让所有的请求都能得到合理的响应,给用户的感觉是操作系统可以满足用户的随时需求,任务的数目过多会导致 CPU 的利用率下降,所以数目需要有合理的分配。单调执行率调度法 RMS,用于分配任务优先级。使用该方法后 CPU 的使用率一般在 60%~70% 之间。RMS 作了如下假设:所有的任务都是周期性的,任务之间不需要同步,系统内核是可剥夺型的。RMS 的定理:

$$\sum_i \frac{E_i}{T_i} \leq n(2^{1/n} - 1)$$

上式中  $E_i$  是任务  $i$  最长执行时间,  $T_i$  是任务  $i$  的执行周期,  $E_i/T_i$  是任务  $i$  占用 CPU 时间,  $n$  是系统中的任务数。当  $n \rightarrow +\infty$  时,  $n(2^{1/n} - 1)$  约等于 0.693。

任务划分方法主要有:以硬件功能模块为对象<sup>[4]</sup>,将所有的 I/O 设备分配成独立的任务;以实时性为标准将重要操作和紧迫操作从模块中独立出来,当成一个优先级最高的独立任务处理,剩下的部分用另外一个任务实现,两者之间通过操作系统提供的通讯机制完成通讯;将耗时较多的而又不怎么重要的任务划分成低优先级任务;将关系密切的任务和固定顺序执行的任务划分成一个任务,节约任务之间的通讯时间;将由同一个时间触发的操作划分成一个任务,避免事件的分发机制。

## 3 工程化设计方案

嵌入式系统设计一般分为项目立项调研、用户需求分析、系统需求分析、系统设计、系统实现、系统测试和运行维护这几个阶段。另外,嵌入式系统开发过程中还需要制作规范化开发要求,对各个阶段的成果都要进行研究分析和测试<sup>[1]</sup>。开发过程是一个不断的反复直至完善的过程。图 2 为嵌入式系统开发流程图。

### (1) 项目立项调研。

该阶段主要考虑的问题有两个:一个是经济问题,即市场的问题,一个不被用户所接受的产品是个失败的产品,一个生产成本高于出售价值的产品也是一个失败的产品,是没有必要去研究和开发的;另一个是技术问题,即可行性问题,如果所想要做的产品目前还得不到或者没有很好的相关技术的支持,这样就导致产品研发中断或者生产出的产品不能稳定可靠的运行,给生产或者消费者造成经济损失。项目立项调研主要是针对上述两个问题进行调查研究,只有满足上述两个要求的产品才值得人们去生产<sup>[2]</sup>。该阶段要给出《市场需求调研报告书》和《可行性分析报告书》。

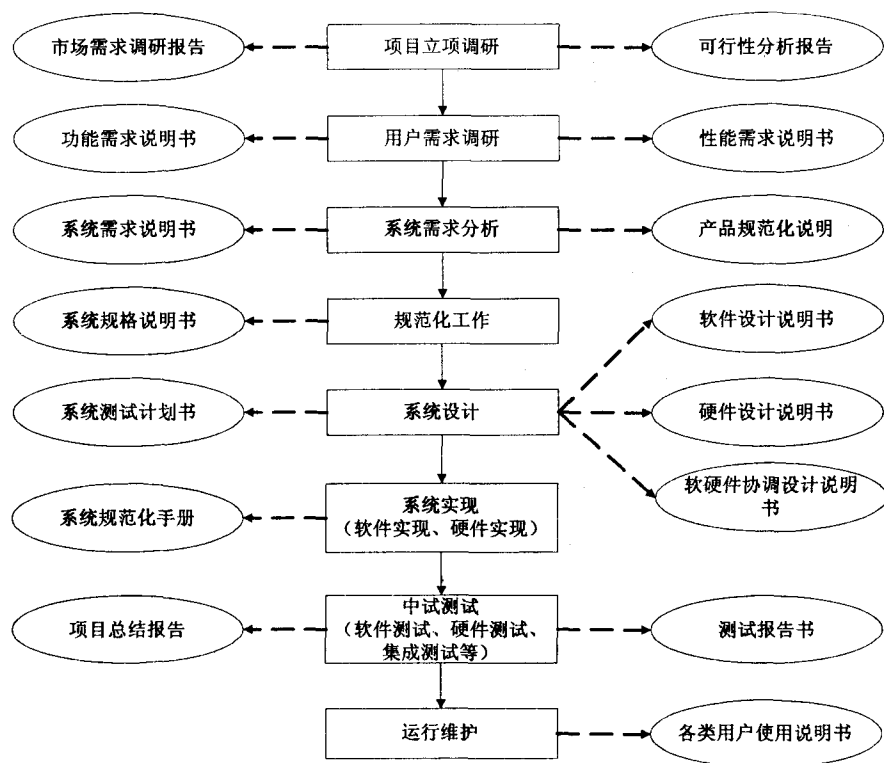


图 2 嵌入式系统开发流程图

## (2)系统分析。

正式立项后,要对项目进行分析,首先要做的是对用户对产品理解进行总结和归纳,编写《用户需求说明书》,主要描述系统对功能方面的要求和产品需要达到的目标等,编写的过程需要最终用户参与,并根据用户的意见反复修改直到用户满意,最终提交给系统分析员。系统分析员的任务是根据《用户需求说明书》编写产品开发设计人员能理解的《系统需求说明书》。

## (3)系统设计。

嵌入式系统的设计主要包括软件设计、硬件设计、软硬件协调设计和产品构架设计,最好对上述设计都给出相应的说明书<sup>[5]</sup>。

嵌入式系统软件设计和普通的程序设计最主要的区别在于其是基于嵌入式操作系统和具体硬件的。嵌入式系统软件设计的主要的工作有 BootLoader 操作系统引导程序、操作系统裁剪配置、基于进程和线程的任务调度设计与编写、基于特定芯片驱动程序、基于 TCP/IP 通讯设计和基于嵌入式 GUI 的图像界面设计等等,这些内容要在《软件设计说明书》中体现<sup>[6]</sup>。嵌入式硬件设计按步骤划分主要包括原理图设计和印刷电路板设计,按模块划分主要有核心板设计、电源设计和外围接口电路设计,在设计的过程中还有抗干扰因素等等,这些内容都要在《硬件设计说明书》中体现。为了更好的保证系统开发,有时候需要编写《软硬件协同设计说明书》和系统构架设计方案图,为后期的系统

集成提供解决方案。

## (4)系统实现。

系统实现主要由嵌入式系统软硬件工程师完成<sup>[7]</sup>,主要工作有硬件电路板的制作与测试、应用软件的开发与测试、协同设计与测试。需要注意的工作是在进行系统实现之前,需要制定组内统一的软硬件设计规范,保证系统的整体性和可读性;制定详细的测试计划和方案,保证系统的稳定性和可靠性。

软件开发过程如下所述,首先编写出系统的 C/C++ 与汇编源程序,然后通过汇编工具将程序编译成二进制代码,并在集成开发环境中对软件进行仿真测试,通过测试的程序需要使用 JTAG、USB、UART 等接口下载到芯片中,在芯片中进行实际运行测试。

同样,硬件的开发也有一个广为接受的流程,首先收集元器件材料,结合元器件电子特性进行原理图绘制,接下来对原理图进行测试和探讨,然后才开始制作 PCB 板,对实物进行的电路效果测试,看看是否能达到预期的效果,如果不行则要返回重做,只要通过测试的 PCB 才能上元器件并下载程序。

## (5)协调调试与运行。

接下来的工作就是对设计出来的嵌入式设备进行测试<sup>[8]</sup>,前面的测试工作主要是嵌入式系统工程师自己完成的,这部分的工作需要专业的测试人员来测试,测试的依据是前面所有的文档,其中最重要的是《用户需求说明书》。测试工作的重点为集成测试和可靠性测试,一般需要统计 3 个月的不间断运行数据。

## (6)系统追踪与维护。

通过专业人员测试的设备可以提交用户试用,这时候需要对用户进行追踪,这样不但可以完善本来的设备提供宝贵的资料,而且还可以为设备的升级提供较高的参考价值。对嵌入式设备进行维护是生产者应尽的义务。

## (7)其他辅助工作。

在项目结束的时候,项目开发人员需要对已经做过的工作进行归纳总结,编写《项目总结报告》。另外,需要为设备编写《用户手册》等。尤其在嵌入式系统构建的过程中,需要做好以下辅助工作:首先,获得比较

(下转第 112 页)

分析了该模型的查准率、查全率和时间性能,该模型在保证查准率的基础上提高了服务发现的查找速度。

#### 参考文献:

- [1] Sivashanmugam K, Verma K, Sheth A, et al. Adding semantics to Web services standards[C]//In: Proceedings of the 1st International Conference on Web Services (ICWS'03). Las Vegas, Nevada: [s. n.], 2003: 395-401.
- [2] Luc C, Andrew H, von Claus R, et al. UDDI Version 3.0.2 [EB/OL]. 2004-10. <http://www.uddi.org/pubs/uddi-v3.htm>.
- [3] 付燕宁,金英,刘磊,等.基于语义的 Web 服务体系结构[J].计算机技术与发展,2008,18(3):28-31.
- [4] Banaei-Kashani F, Chen C C, Shahabi C. WSPDS: web services peer-to-peer discovery service[C]//International Symposium on Web Services and Applications. Nevada, USA: [s. n.], 2004: 733-743.
- [5] 吴健,吴朝晖,李莹,等.基于本体论和词汇语义相似度的 Web 服务发现[J].计算机学报,2005,28(4):595-602.
- [6] Liu Jie, Zhuang Hai. A semantic-link-based infrastructure for web service discovery in P2P networks[C]//Proceedings of International World Wide Web Conference. Chiba, Japan: [s. n.], 2005: 940-941.
- [7] Koller D, Sahami M. Toward optimal feature selection[C]//Proceedings of International Conference on Machine Learning. Bari: Morgan Kaufmann, 1996: 284-292.
- [8] 胡建强.服务发现若干关键技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2005.
- [9] 张孝国,黄广君,郭洪涛.基于本体的 Web 服务描述与发现机制研究[J].计算机工程与应用,2008,44(16):148-150.
- [10] 刘志忠,王怀民,周斌.一种双层 P2P 结构的语义服务发现模型[J].软件学报,2007,18(8):1922-1932.
- [11] Euzenat J, Bach T L, Barrasa J, et al. D2.2.3: State of the art on ontology alignment[EB/OL]. 2004. <http://www.starlab.vub.ac.be/publications/kweb-223.pdf>.
- [12] Paolucci M, Kawamura T, Payne T R, et al. Importing the semanticweb in UDDI[C]//Computer Science. Proceedings of Web Services, E-Business and Semantic Web Workshop. London: Springer-Verlag, 2002: 225-236.
- [13] 陈德伟,许斌,蔡月茹,等.服务部署与发布绑定的基于 P2P 网络的 Web 服务发现机制[J].计算机学报,2005,28(4):615-626.
- [14] 郭得科,任彦,陈洪辉,等.一种 QoS 有保障的 Web 服务分布式发现模型[J].软件学报,2006,17(11):2324-2334.

(上接第 107 页)

成熟的软件模块并对它进行修改,使之符合已经指定的规范,在系统的开发工程中,工作人员需要广泛的参考其他比较成熟的模型资料,一般硬件和软件的厂商都会提供几个开发样板资料,还有一些开源项目也为极具参考价值,工作人员需要对这些资源进行合理的利用;其次,指定标准的 API 接口函数,符合统一的编程规范,制作的过程同上面一样,需要广泛的参考既定的标准,这样就可以使系统开发工作具有更好的可操作性;再次,需要适当地扩充自己的软件模块,并与前面的标准相互补充,在系统中,不可行别人的所有的一切都可以拿来直接使用,这样需要编写自己的模块。

## 4 结束语

文中的重点工作包含两项,一是如何更好地进行嵌入式系统开发,嵌入式系统开发流程是首先对微处理器进行选型,接下来对软件部分和硬件部分协调设计与实现,完成后需要综合测试,直到嵌入式系统能稳定运行为止。二是如何进行嵌入式系统开发和设计,嵌入式系统设计一般分为项目立项调研、用户需求分析、系统需求分析、系统设计、系统实现、系统测试和运行维护这几个阶段。文中提出的工程化思想对实际工

程研发具有很好的参考和借鉴价值。

#### 参考文献:

- [1] McUmber W E, Cheng B H C. UML Based Analysis of Embedded Systems Using a Mapping to VHDL[J]. IEEE High Assurance Software Engineering, 1999(11):56-63.
- [2] 李炜,张义超,卢英,等.基于 GPRS 环境与安全监测终端设计与实现[J].计算机技术与发展,2008,18(9):232-234.
- [3] 怯肇乾.嵌入式系统硬件体系设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [4] 李光成,褚伟.基于  $\mu C/O S-II$  嵌入式实时系统的优先级倒置分析[J].计算机技术与发展,2007,17(7):98-101.
- [5] Labrosse J J. 嵌入式实时操作系统  $\mu C/O S-II$  [M]. 第 2 版.邵贝贝等译.北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [6] 程广河,郝凤琦,张让勇,等.嵌入式环境中的软件构件化研究[J].计算机技术与发展,2007,17(9):139-141.
- [7] Konrad S, Cheng B H C, Campbell L A. Object Analysis Patterns for Embedded Systems[J]. IEEE Trans on Software Engineering, 2004,30(12):970-992.
- [8] Gajski D D. 嵌入式系统的描述与设计[M].边计年,吴为民,等译.北京:机械工业出版社,2005.