

# 基于 UML 的软硬件协同设计方法

王建新, 姚放吾

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

**摘要:** 嵌入式系统软硬件协同设计中关键步骤之一是软硬件划分。文中通过介绍现有嵌入式系统的协同设计方法, 如: VULCAN, COSYMA 和 POLIS, 指出了现有方法的缺点, 提出了一种改进的基于 UML 的新方法。使用 UML 建立系统模型, 根据 UML 的图例, 采用二叉树的结构, 计算出每个步骤的成本; 采用改进的遗传算法, 加快收敛的速度, 提高解的质量。在算法库和成本库中对系统的软硬件进行划分, 通过协同综合, 达到协同仿真和验证的目的。

**关键词:** 嵌入式系统; 协同设计; UML

**中图分类号:** TP391.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3751(2006)01-0096-03

## Methodology of Hardware - Software Codesign Based on UML

WANG Jian-xin, YAO Fang-wu

(College of Computer Science, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** One of the most crucial steps in the hardware / software codesign of embedded system is hardware / software partitioning. This paper introduces the coordinated design methods of embedded system and points out defects of the existing typical methodologies, such as VULCAN, COSYMA and POLIS. It also puts forward a new promoted method based on UML. A system model is created and the cost of every step is calculated in binary tree structure by using UML and its case. An advanced inheritance algorithm is used to quicken the speed of constringency and improve the quality of resolution. The software and hardware of the system is partitioned in the algorithm library and cost library. The aim of coordinated emulation and coordinated validation is achieved by coordinated synthesis.

**Key words:** embedded system; codesign; UML

### 0 引言

在很长一段时间以来, 嵌入式系统设计方法经历了很大的变化。但不管是自上向下设计, 还是模块化设计, 都是一种重复试验方法。随着计算机的迅速发展, 嵌入式计算机已被广泛地应用于通信设备、工业控制等领域。在传统的嵌入式系统设计过程中, 系统的设计成败很大程度上取决于设计者的经验, 而且存在着开发周期长、开发成本高、设计效果优化困难, 甚至不能满足苛刻的设计要求的事实。针对这种情况, 提出了软、硬件统一的设计方法: 软硬件协同设计 (Software/Hardware Codesign) 或者协同设计 (Codesign)。

软硬件协同设计就是在设计时要求一同考虑软硬件, 从设计任务出发, 通过有效分析系统任务和资源需求, 最大限度地挖掘系统软硬件的潜能, 协同设计软硬件体系结构, 以使系统能够工作在最佳状态。按照某种方法, 自动生成符合要求的软件架构和硬件架构。硬件设计师和软件设计师相互协作, 并行地设计系统的硬件和软件, 并在

设计的全过程控制软硬件的一致性和系统的正确性。另外, 由于采用了统一的软硬件描述方法, 协同设计可以在系统设计的早期阶段对系统设计的正确性进行验证, 在系统设计的早期阶段发现一些设计错误。简单地说就是让软件和硬件体系作为一个整体并行设计, 找到软硬件的最佳结合点, 使它们能够以最有效的方式互相作用、互相结合。由于在设计软件的过程中, 充分考虑到硬件的设计, 可以预知设计过程中的问题, 所以这种设计方法使设计执行更加有效, 提高系统的性能、可靠性以及减少设计成本, 从而使系统高效工作, 以避免由于独立设计软硬件体系结构而带来的种种弊端, 协同设计的流程图见图 1<sup>[1]</sup>。

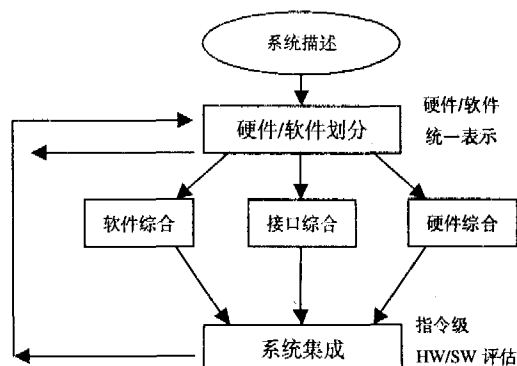


图 1 软硬件协同设计流程

收稿日期: 2005-04-07

**作者简介:** 王建新 (1975—), 男, 江苏盐城人, 硕士研究生, 研究领域为软硬件协同设计; 姚放吾, 教授, 研究方向为计算机系统结构、嵌入式系统。

## 1 几种协同设计方法

### 1.1 VULCAN

VULCAN 是 Stanford 大学开发的软硬件协同设计工具。系统基于高层综合工具 olympus 开发,采用类 C 语法的硬件描述语言 HardwareC 作为系统描述手段,并将 HardwareC 描述编译为控制/数据流图作为综合工具的内部表示。其设计目标是带有单一 DLX 处理器、单层次存储器、多个硬件单元、单总线的嵌入式系统。但实现软硬件协同综合方法较简单,采用贪婪算法将可变更为软件实现的部分从硬件描述中划分出来。VULCAN 可以看作是考虑了软件因素的高层综合工具<sup>[2]</sup>。

### 1.2 COSYMA

COSYMA 是由德国 Braunschweig 大学设计,主要是面向软件。目的是计算优化的软硬件划分以通过协处理器获得最大的加速比。在 COSYMA 中,它允许定义并发和时间约束。软硬件划分由基于使用估计调度时间的模拟退火算法自动实现。COSYMA 主要的缺点是处理器和协处理器不能并行工作。

### 1.3 POLIS 方法学

POLIS 是由美国 Berkeley 大学开发的,其系统的核心是 CFSM(Codesign Finite State Machine),它描述软硬件模块时没有差别,差别在于系统状态转换的延迟上。POLIS 采用 Esterel 作为系统输入语言,并采用扩展的有限状态自动机模型 CFSM 进行系统描述。POLIS 主要研究高级语言的转换、规则检查、软硬件界面综合等技术,软硬件划分算法和调度留给设计者手工进行。由于基于语义明确的形式化系统模型,POLIS 实现了划分后的软件、硬件以及软硬件接口的自动综合。POLIS 也采用 Ptolemy 进行协同仿真。由于采用有限状态自动机作为系统模型,POLIS 适合设计实时控制领域的嵌入式系统。其设计流程见图 2<sup>[3]</sup>。

### 1.4 VCC 和 N2C

Cadence 的 VCC 工具和欧洲 CoWare 公司的 N2C 工具中包含了交互式软硬件划分功能。CoWare N2C 工具强调支持开发人员进行系统设计空间探索,使用 N2C 工具,开发者将硬件-软件模块用 C/C++ 语言设计为行为级描述,然后通过几个层次:无时序模型、指令精确模型和总线周期精确模型的仿真来探究不同划分方案,仿真过程应用了指令集模拟器和硬件描述语言模拟器,最大的优点是支持在设计中集成 IP 核。

### 1.5 目前方法的总结

目前包括国内的很多大学、研究机构和公司都在对嵌入式系统的软硬件协同设计方法进行研究 and 开发,但是目前还很少有一种方法能运用面向对象的概念来构造系统

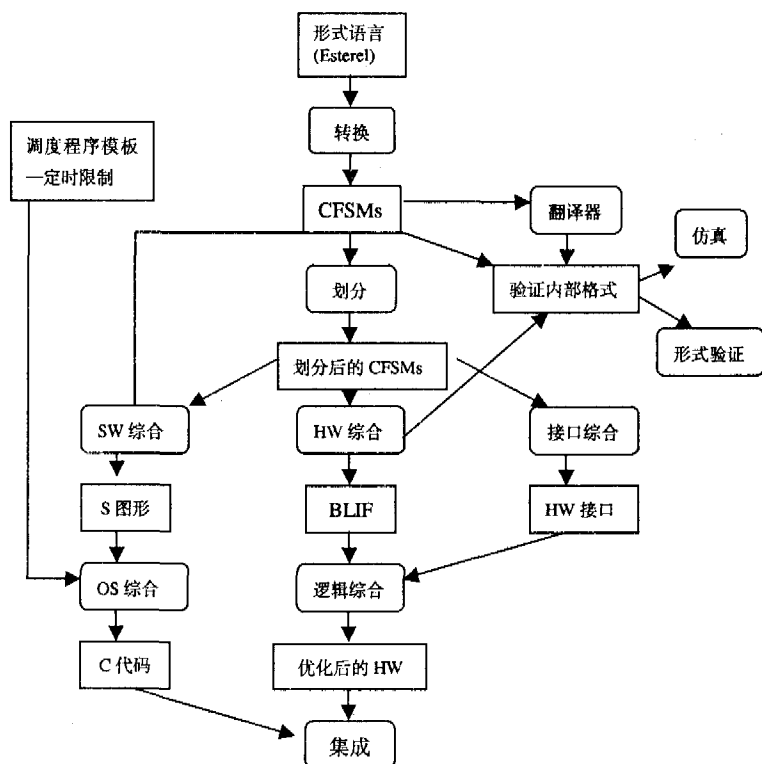


图2 POLIS的设计流程

模型;同时还没有建立起从概念模型直至可执行体之间明显的对应关系,换句话说,对于抽象模型和实物之间的差别,怎样建立两者之间的联系(关键是如何更好地评价划分和综合的性能);另外就是能否建立起一种任何机器都能适用的语言。

## 2 基于UML协同设计方法

### 2.1 标准建模语言UML简介

统一建模语言(UML)是一种表达复杂系统的结构和关系的语言。它最初是为了响应对象管理组(OMG)的意见请求书,作为一个面向对象的标准方法提出的。UML比其他的方法更完整,它支持复杂系统的建模,尤其适合嵌入式系统。在建模的不同阶段,UML提供了多种图形表达形式。其中的用例图和顺序图尤为重要。用例图主要用在早期分析中,它从用户的角度描述系统的功能并指出系统功能的操作者,展示的是系统提供的黑盒功能。其优点之一是:使用广泛视图描述系统主要功能的方法很容易被非技术用户理解。而使用UML的顺序图可以表达有序时间、相对时间和绝对时间,因此可以表达前后关系的时间需求<sup>[4]</sup>。

### 2.2 系统描述

物流公司车辆管理系统就是在每辆车内安装一个实时定位装置,它的应用对象是需要定位、调度的车队。车辆可以通过控制系统和GPS卫星进行实时、准确的定位,并通过无线通讯上报远程的控制中心。中心可以远程监视车行轨迹,甚至在特殊情况下通过终端控制车辆。同时,系统还可以起到车载电话的作用,并可在车辆遇险时

进行报警以及可以对车辆进行适当的调度。根据系统需求,对系统进行分析,系统的用例图见图 3。

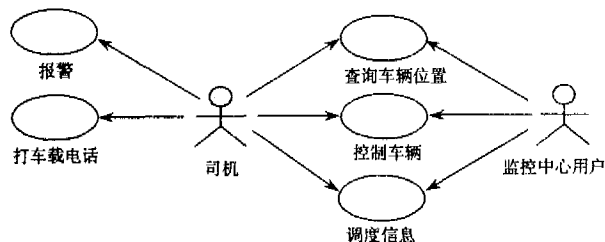


图 3 车辆终端用例图

通过用例图可以得到两个主要的角色、司机和监控中心用户,同时对该系统进行功能建模。为明确表示系统的流程时间,通过分析,可以得到本系统的顺序图见图 4。UML 通过这些图例,可以清楚地解决抽象模型到事物模型之间的对应关系,同时兼备有面向对象的特性,解决了现在的协同设计方法所不具备这些功能的问题。

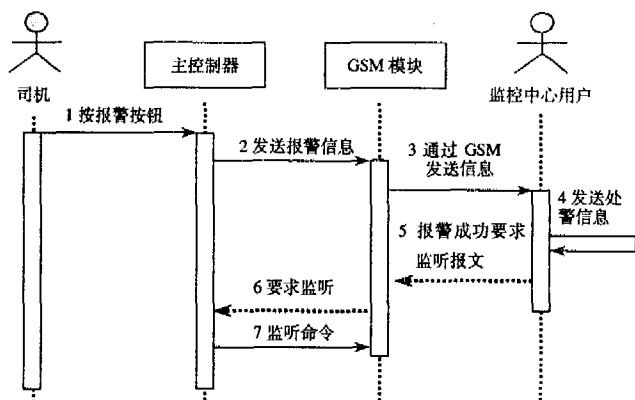


图 4 车辆终端顺序图

### 2.3 软硬件划分

理想的软硬件划分工具应该能够在较短的时间内自动生成一套高质量的划分方案,并且计算时间可以预知。在划分的时候必须考虑的因素之一就是优化算法。目前的划分算法主要是启发式的,并不精确。我们建立了一个算法库,根据 UML 的图例,采用二叉树的结构,计算出每个步骤的成本;采用改进的遗传算法——免疫遗传算法,加快收敛的速度,提高解的质量。

### 2.4 工作流程

使用 UML 建立系统模型,在算法库和成本库中对系统的软硬件进行划分,通过协同综合(硬件部分使用 VHDL 实现,软件部分使用 C++ 描述)达到协同仿真和

验证的目的,从而可以预知系统的一些问题和缺陷。该方法的流程图见图 5<sup>[5]</sup>。

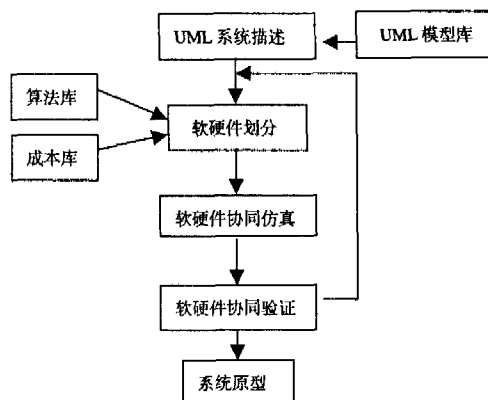


图 5 使用 UM 的设计流程

## 3 结束语

由于 UML 已经被 OMG 组织强烈推荐为面向对象的标准建模语言,同时 UML 是一种图形化的建模语言,“用例”等概念给系统的需求分析带来便利,而合作图、顺序图、活动图等概念给系统的设计带来便利,因此在协同设计中引入 UML 语言可以大大改进传统的嵌入式设计方法,缩短开发周期<sup>[6]</sup>。目前,软硬件协同综合还存在不少问题,有待进一步去研究。

### 参考文献:

- [1] Kumar S, Aylor J H, Johnson B W, et al. THE CODESIGN OF EMBEDDED SYSTEMS[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [2] 张鲁峰. 软硬件协同综合及虚拟微处理器技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学研究生院, 2002.
- [3] 姚放吾. 嵌入式系统的硬件/软件协同设计[J]. 微计算机信息, 2001, 17(3): 1-3.
- [4] Douglass B P. Real - Time UML—Developing Efficient Objects for Embedded Systems[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [5] 赵川, 徐淘, 孙晓光. 软硬件协同设计方法的研究[J]. 计算机工程与设计, 2003, 24(7): 7-10.
- [6] 陈思功, 秦晓, 章恒. 基于 UML 的软硬件协同设计的模型分析方法[J]. 软件学报, 2003, 14(1): 103-108.

(上接第 95 页)

- [2] 都志辉, 陈渝, 刘鹏. 网格计算[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [3] Manola F, Thompson C. Characterizing the Agent Grid (final draft) for: Bradshaw's Handbook of Agent Technology[EB/OL]. <http://www.objs.com/agility/tech-reports/000304-characterizing-the-agent-grid.do>, 2001.
- [4] 徐志伟, 冯百明, 李伟. 网格计算技术[M]. 北京: 电子工

业出版社, 2004.

- [5] Parastatidis S. Web and Grid Services: Architectures and Technologies[EB/OL]. <http://www.neresc.ac.uk>, 2004.
- [6] Foster I, Kesselman C, Nick J, et al. The Physiology of the Grid: An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration[DB/OL]. <http://www.globus.org/research/papers/-ogsa.pdf>, 2002-01.