

# 将扩展 UML 与 Petri 网应用在嵌入式系统设计中的研究

刘 晋, 崔 健

(辽宁师范大学 计算机与信息技术学院, 辽宁 大连 116081)

**摘 要:** 随着嵌入式系统的不断发展,传统的嵌入式开发已经远远不能适应新的要求,需要借助 UML 强大的系统设计能力来解决效率低下的问题,但是标准 UML 在多系统级任务并发,任务之间同步、系统仿真以及实时性方面没有提供足够的支持,很难直接应用到嵌入式系统的设计中。本文研究了一种将时间约束 Petri 网和扩展 UML 相结合的方法,通过利用 Petri 描述异步性和并发性的能力来扩展 UML 的构造型和流程图,通过将 UML 转化为 Petri 图,进而可以利用 Petri 强大的理论体系来验证 UML 的正确性。

**关键词:** 嵌入式系统; UML; Petri 网

中图分类号: TP311

文献标识码: A

## Research of using extending UML and Petri net to design embedded system

LIU Jin, CUI Jian

(Computer and Information Technology Institute, Liaoning Normal University, Dalian 116081, China)

**Abstract:** With the continuous improvement of embedded system, the traditional embedded design approach can't adapt to the new request yet. In order to resolve the problem of poor efficiency, we must depend on the powerful systemic design capacity of UML. However there are difficulties to apply standard UML into embedded design directly for its deficient support in aspects of multi-system level tasks, synchronism, system simulate and real time nature. This paper will research a method of integration of the timing constraint Petri nets with extending UML. By making use of Petri's capacity to describe multiple tasks and synchronization to expand the UML structure and flow chart, and converting UML into Petri, verifies correctness of UML through Petri's powerful mathematical system.

**Key words:** embedded system; UML; Petri nets

嵌入式系统(embedded system)是嵌入到目标应用系统中的计算机系统,是集计算机技术、通信技术、半导体技术、传感器技术等先进技术为一体的后 PC 时代标志性的产物,存在于各种常见的电子设备、家用电器、通信设备以及医疗器械中,已成为国防、汽车、电力、制造业等各个行业不可缺少的科技力量。然而伴随着嵌入式应用的不断发展,嵌入式系统的复杂性、不确定性以及系统规模不断地扩大,传统的嵌入式开发和设计已经远远不能适应新的要求,各国的嵌入式系统设计专家也展开了各种各样的研究并已达成一个共识:复杂实时嵌入式系统设计需要充分利用面向对象技术的强大系统设计能力<sup>[1]</sup>。而面向对象的设计方法的典型代表是使用 UML

语言,进而将 UML 应用到嵌入式系统的设计领域。

UML,即统一建模语言,是面向对象和基于构件的软件系统建模工具语言,通过用例图、类图、对象图、时序图、协作图、活动图、状态图、组件图和配置图以不同的设计角度提供系统建模的完整细节。UML 的产生是为了解决 20 世纪六七十年代软件产业遇到的一次危机,危机原因就是软件越来越庞大和复杂,而软件的质量和生产率却越来越低。UML 标准的出现与发展,使得软件开发的规范化和效率都得到了很大提高。虽然 UML 的功能如此强大,在软件领域也取得了巨大的成就,但是标准 UML 却很难直接应用到嵌入式系统的设计中。UML 对多系统级任务并发,任务之间同步、系统

仿真以及实时性方面的描述都没有提供足够的支持,而这些内容恰恰是嵌入式系统最主要的特点,所以直接导致在实际的嵌入式系统中 UML 模型很难被构建。即使构建出模型,其正确性也很难得到验证和保证。

### 1 当前几种研究方法的优缺点

针对以上问题,各国的专家都通过研究提出了自己的解决方法和思路<sup>[2]</sup>,例如 IBM Rational 的 Rose/RT,它从 ROOM 继承了重新定义接口、简单操作、状态图,还定义了结构图,非常适用于面向组件的建模,但对数据驱动计算和实时性支持不够;I-Logix 推出了 Rhapsody,它仍然使用标准的 UML,但是对状态图的实现却提供了非常强大的功能,并且基于一个内置实时系统软件框架 OXF,更接近于 UML 的标准,包含 UML 状态图对应的元素,所以支持对时间和数据驱动计算建模,但不支持对系统级任务并发的建模;Telelogix 将 UML 和国际电信联盟(ITU)标准化的规格与描述语言 SDL 结合起来,称为 UML+SDL,该方法有利于与现有的系统和工具兼容,但是模型之间的转换很容易产生误差和信息丢失,两种语言之间的转换开销也很大。以上这些扩展方法均不能对上文提出的问题给予完全的支持,而且目前也都不是 OMG 标准的一部分,因此,基于 UML 扩展到嵌入式系统设计的研究具有重大的现实意义和学术价值。

## 2 时间约束 Petri 网和扩展 UML 相结合

### 2.1 利用 Petri 网扩展 UML 构造型

本文将研究一种将时间约束 Petri 网<sup>[3]</sup>和扩展 UML 相结合并应用到嵌入式系统设计的方法。它主要包括两个方面,一是利用 Petri 描述异步和并发性的能力来扩展 UML 的构造型和流程图,另一方面是将 UML 转化为 Petri 图,进而可以利用 Petri 强大的数学理论体系来验证 UML 的正确性。

Petri 网是对离散并行系统的数学表示,适合于描述异步的、并发的计算机系统模型。Petri 网有严格的定义、数学表述式及一整套严谨的理论体系,为计算机科学提供坚实的概念基础,也为利用 Petri 网的特性来扩展 UML 提供了可能。利用 Petri 网库所和变迁的性质,可以很好地扩展和描述 UML 的状态和事件;利用多个变迁都有被允许的可能,但同一时刻只能有一个变迁发生,来对应和描述 UML 中的并发性;利用令牌的转移来描述系统的动态特性。为了更准确地描述嵌入式系统的时间特性,在传统 Petri 网的基础上再引入时间因子,进而可以支持系统对实时性的要求。

根据对 Petri 以上特性的研究,本文利用 UML 的扩展机制,扩展了 UML 的构造型元素:描述并发机制的消息队列、控制共享资源和任务同步的信号量、描述任务之间关系的关联标志、描述任务之间实时性的时间约束。

如图 1 所示。



图 1 构造型元素图标

(1)消息队列。用于任务和中断服务程序发送和接收消息的建模。消息队列可以实现带数据的通信和同步,暂时保持来自一个发送者的消息,直到有意的接受者准备读这些消息。消息队列把发送任务和接收任务分隔开,同时释放发送和接收消息的任务。

(2)信号量。用于控制共享资源的使用权、两个任务的行为同步以及事件的发生的建模。信号量可以控制多个任务行为同步。

(3)关系标志。用于控制任务与多个事件同步的建模。关系标志有两种类型:独立型和关联型。独立型用于任务与任何事件之一发生同步的建模,在图标中用“OR”标识,关联型在图标中用“AND”标识,用于任务与若干事件都发生了同步的建模。

(4)时间约束。用于系统实时性的建模。规定对一个任务输入消息的时间与输出消息的时间的差值满足预订的要求,并且可以描述不同任务之间对同步的特殊要求。

利用以上构造的模型元素,可以设计系统的 UML 状态图,准确地描述嵌入式实时系统任务间并发执行的动态关系,进而完成系统设计的各个细节。

### 2.2 UML 向 Petri 网的转化

通过以上扩展的构造型可以设计系统的 UML 状态图,但 UML 不能提供模型验证,而 Petri 网已经有一套完整的体系包括公式、数学模型、分析模型来验证所建造的模型,通过将 UML 模型转化为 Petri 网模型,然后对 Petri 网模型的分析验证,可以找出系统设计的缺陷,提高系统的正确性和安全性。因而可以将 UML 图转化成 Petri 网来进行模型验证,进而进一步修改和完善 UML 图。

转化的方法要从状态图和 Petri 网的构成元素着手。状态图包括状态和迁移<sup>[4]</sup>。状态的主要要素为:在进入和退出状态时所执行的操作;在不使状态发生变更的情况下进行的转移,称为内部转移;状态的嵌套结构,称为子状态;延迟的事件,是指未在该状态中处理但被延迟处理的一系列事件。转移的要素为:源状态,指转移所影响的状态;事件触发器,即使转移满足触发条件的事件;警戒条件,一种布尔表达式,在接收到事件触发器而触发转移时,将对该表达式求值;操作,指可执行的、不可分割的计算过程,该计算可能直接作用于拥有状态机的对象,也可能间接作用于该对象可见的其他对象;目标状态,完成转移后被激活的状态。Petri 网的基本构成元素是库所、变迁、有向弧和令牌,一个流程有当前状态、可达状态、不可达状态。定义时间 Petri

网为五元组  $Z=(P, T, F, Mo, I)$ 。其中,  $(P, T, F, Mo)$  是一个 Petri 网, 称为  $Z$  的源网。  $I$  是  $Z$  的时间函数,  $t \in T$ , 有  $I(t)=[a(t), b(t)]$ ,  $a(t) \leq b(t)$ ,  $a(t)$  和  $b(t)$  分别称作  $t$  的最早发生时间和最晚发生时间<sup>[5-6]</sup>。将 UML 转换为 Petri 网时, 状态图的状态对应 Petri 网的库所, 状态图的迁移对应 Petri 的变迁, 迁移的警戒条件对应变迁的发生条件。设置发送消息的库所 INP、接受消息的库所 OUTP、控制处理事件的库所 CEP, 入口操作、出口操作和操作都各自产生一个事件发送给控制处理事件的库所。内部迁移和延迟事件不会导致状态的迁移, 所以忽略处理。

### 3 应用实例

现在以一个智能生化分析系统为例来说明利用这种扩展 UML 来设计系统, 并将设计好的 UML 图转化成 Petri 网的过程。智能生化分析系统可以管理被分析对象的样体和各种测定用标准样体的所有配置, 并可完成自动分析过程。其 UML 设计如图 2 所示。

分析测定之前要进行标准样体的配置, 根据其配置进行标准样体的校正处理, 而接受被分析对象和测定设置的工作也可同步进行, 但是校正分析和接受样体的处理需要受到实时性制约, 然后进行分析测定, 最后输出分析结果。本系统可以同时检测多个样品, 所以可以使用消息队列来进行信号的传递。整个处理过程中, 每个处理的发生和停止需要控制信号的控制, 该信号为互斥性同步信号, 用信号量来传递。同时任何处理出现异常或错误都会要求整个系统停止运行, 所以采用独立型关系标志进行标识。

图 3 是 UML 转化的 Petri 网, 状态对应 Petri 网的库所, 迁移对应 Petri 的变迁。发送消息的库所 INP 控制所有入口库所, 接受消息的库所 OUTP 被结果输出库所控制, 入口操作、出口操作和操作都各自产生一个事件发送给控制处理事件的库所 CEP。

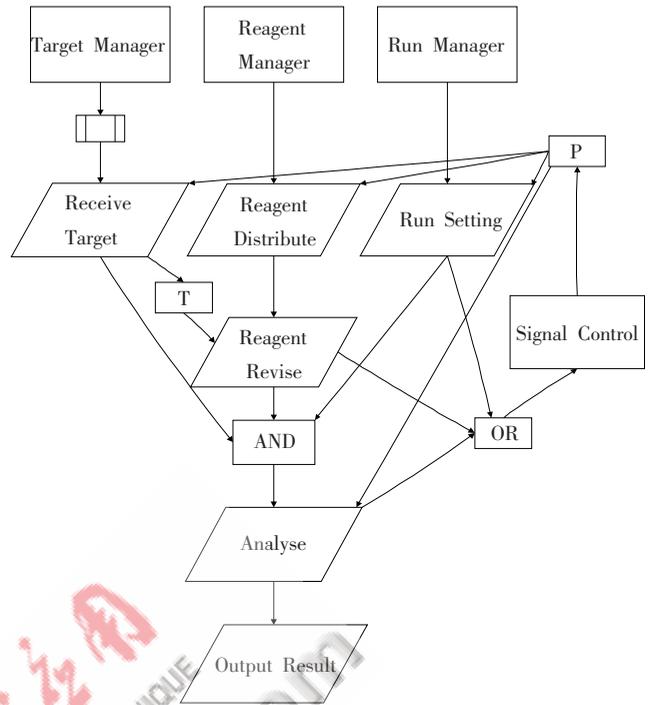


图 2 UML 图

本文提出方法的基本思想如图 4 所示。在 Petri 网和 UML 的结合上, 一方面通过借鉴 Petri 的特性来构造扩展 UML, 使之能够更加符合嵌入式系统的设计要求, 另一方面转化 UML 为 Petri 来分析验证模型, 得以确保模型的正确性, 从而吸取 UML 和 Petri 网各自的优点共同来完成嵌入式系统的设计。

### 参考文献

- [1] SELIC B. The Real-time UML Standard: Definition and Application[C]. Proceedings of the 2002 Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition (DATE.02), 2002.

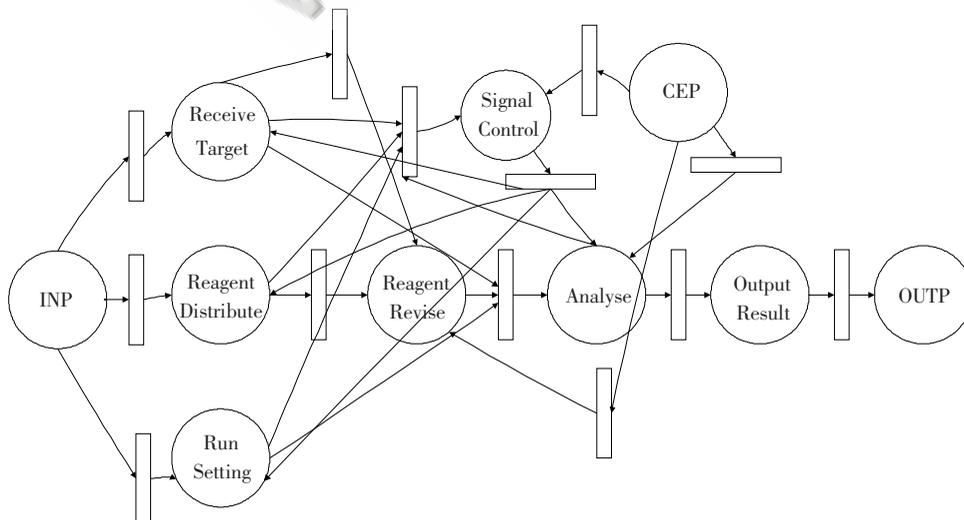


图 3 Petri 网

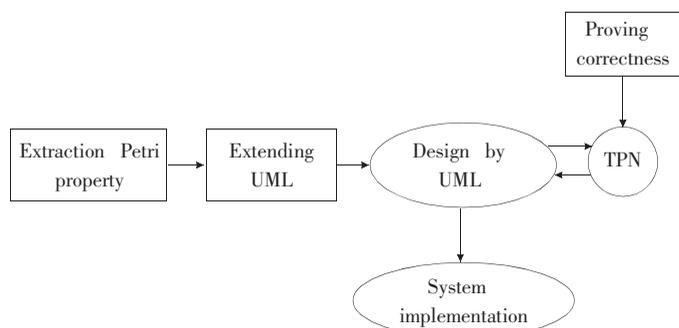


图4 基本思想

[2] SELIC B. The emerging real-time standard [Z]. Rational Software, Inc, 2001.

[3] ROUBTSOVA1E E, VAN KATWIJK J, DE ROOIJ R C M,

et al. Transformation of UML Specification to XTG [C]. PSI 2001, LNCS 2244, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001: 247-254.

[4] HERRMANN P, GRAW G, KRUMM H. Compositional Specification and Structured Verification of Hybrid Systems in cTLA [C]. LST IEEE International Symposium on Object-oriented Real-time Distributed, 1998: 335-340.

[5] MARTIN G. UML for Embedded Systems Specification and Design: Motivation and Overview [C]. Proceedings of the 2002 Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition (DATE02), 2002: 773-775.

[6] 李卫忠. 嵌入高端技术引领产业升级 [J]. 微型机与应用, 2006(7).

(收稿日期: 2008-12-18)

电子技术应用  
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE  
www.chinaaet.com