

基于 Petri 网的 UML 形式化建模应用分析

李龙澍^{1,2}, 胡正梁^{1,2}

(1. 安徽大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥 230039;

2. 安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘要: UML 是功能强大的图形化建模语言, 但存在缺乏精确的语义描述的特点, 因此 UML 形式化研究一直是一个热点。Petri 网既有直观的图形表示, 又有坚实的数学基础, 拥有许多成熟的分析方法可以直接用于分析模型的性能。结合一个图录编纂应用系统, 使用基于 Petri 网的建模方法, 对该系统的 UML 状态图和序列图进行了形式化分析。排除 UML 模型中的缺陷, 在软件设计阶段发现错误, 降低软件开发的花销, 最终达到提高了软件的质量的目的。

关键词: UML 形式化; 状态图; 序列图; Petri 网

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)04-0076-04

Application Analysis and Formal Modeling of UML Based on Petri Net

LI Long-shu^{1,2}, HU Zheng-liang^{1,2}

(1. School of Computer Science and Technology, Anhui University, Hefei 230039, China;

2. Ministry of Education Key Lab of IC & SP at Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: UML is a powerful graphical modeling language but there is a lack of precise semantics to describe the characteristics, so the formal study of UML has been a hot topic. Petri net both an intuitive graphical representation, has a solid mathematical foundation, with a number of sophisticated methods of analysis can be directly used to analyze the performance of the model. Combined with an application of picture compilation, use the UML state diagram and sequence diagram for formal analysis, with the method of Petri net-based modeling. Ruled out defects in UML models, errors were found in the software design stage, reducing software development spending, and ultimately achieving improved software quality purposes.

Key words: UML formalization; statechart diagram; sequence diagram; petri net

0 引言

面向对象的方法已经成为当前软件开发过程中的主流方法。UML(Unified Modeling Language)即统一建模语言以其标准的图形化,易于表达等优点在软件分析、设计和测试阶段得到广泛的运用,并已经成为事实上的工业标准。但 UML 是半形式化的建模语言,它缺乏精确的语义描述,因此 UML 的形式化研究一直是 UML 研究中的一个热点^[1,2]。UML 状态图是描述特定对象在其生命周期内的所有可能发生状态以及引起状态转移的事件,同样存在难以对其复杂模型

进行语义分析和验证的问题。

Petri 网作为一种系统模型,它不仅可以刻画系统的结构,而且可以描述系统的动态行为。Petri 网既有直观的图形表示,又有坚实的数学基础,拥有许多成熟的分析方法^[3]可以直接用于分析模型的性能。

1 UML 以及 Petri 网的基本定义

统一建模语言是在现有的面向对象如 Booch 方法、OMT 方法和 OOSE 方法的基础上修改完善而成的, UML 是一种采用图形表示形式的建模语言, UML 定义了 5 类不同的模型视图从不同的侧面对系统进行描述。每种视图由一种或多种 UML 图组成。

加权 Petri 网是在原型 Petri 网的基础上增加了两个函数得到的。它们是定义在库所集上的容量函数和定义在有向边集上的权函数。增加这两个函数对变迁和有向边加上了条件的约束,使建模者可以更容易握

收稿日期: 2009-08-07; 修回日期: 2009-11-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(60273043); 安徽省自然科学基金项目(050420204); 安徽省自然科学基金项目(2006KJ098B); 安徽省高校拔尖人才基金项目(05025102)

作者简介: 李龙澍(1965-), 男, 安徽亳州人, 教授, 博士生导师, 研究方向为智能软件、知识工程。

弃系统中的琐碎细节,抓住系统本质的行为特征,大大增强了对复杂系统的建模能力。

定义1 六元组 $\Sigma = (S, T, F, K, W, M)$ 称为一个库所/变迁系统(place/transition system),其中

1) (S, T, F) 是一个网。

S 是非空的库所元素集合;

T 是非空的变迁元素集合;

F 是一个有向边的集合, $F \subseteq (S \times T) \cup (T \times S)$, \times 为笛卡尔乘积;

$K: S \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ 称为容量函数;

$W: F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ 称为权函数;

$M: S \rightarrow \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ 是 Σ 的一个标识,满足条件 $\forall s \in S: M(s) \leq K(s)$ 。

2) Σ 满足变迁发生的规则如下,其中 i 为 t 的前集或输入集, t' 为 t 的后集或输出集。

a) 对于 $t \in T, M[t \rightarrow]$ (变迁 t 在标识 M 有发生权) 的条件为:

$$\forall s \in i: M(s) \geq W(s, t)$$

$$\forall s \in t' - i: M(s) + W(t, s) \leq K(s)$$

$$\forall s \in i \cap t': M(s) + W(t, s) - W(s, t) \leq K(s)$$

$K(s)$

b) 若 $M[t \rightarrow] M'$, 则对 $\forall s \in S$,

$$M' =$$

$$\begin{cases} M(s) - W(s, t), & \text{若 } s \in i - t' \\ M(s) + W(t, s), & \text{若 } s \in t' - i \\ M(s) + W(t, s) - W(s, t), & \text{若 } s \in i \cap t' \\ M(s), & \text{其他} \end{cases}$$

在 P/T 系统中 $K = \infty$ 且 $W = 1$ 时通常称为 P/T 网。

2 对 UML 状态图和序列图的 Petri 网建模分析

UML 状态图描述了对象在其生命周期内在事件的驱动下状态转移的流程^[4]。状态图中的状态元素包含如下四部分内容:状态名、入口/出口操作、内部转移、子状态。状态图中的元素包含如下五部分的内容:源状态、触发事件、监护条件、动作、目标状态。

Petri 网适合于描述系统的动态特征和系统的资源约束条件,既有形式化描述,又可采用图形直观地表示^[5,6]。

Petri 网能很自然地描述妙想对象系统的行为特征:

(1) Petri 网的变迁序列可用来描述对象的行为和操作,对象状态的变化可由库所中托肯的得到和失去

表示。

(2) 用 Petri 网建立的系统模型可进行逐层抽象,具有较好的模块性,与面向对象技术的封装性相对应。

(3) 从本质上来讲 Petri 网的托肯驱动机制与面向对象的消息机制都是基于事件的驱动方法。

UML 状态图转换为对象 Petri 子网的步骤如下:

步骤 1、把每个对象的状态图转换为对应的对象 Petri 子网模型(Object Petri net Model), OPM 是描述系统中单个对象动态行为的,在文中,OPM 将是构成系统可执行模型的最基本的元素,除了模拟对象的动态行为特征,它也反应了对象和周围环境之间的接口。

对状态图的预操作:如果一个状态图中含有复合状态(状态中有嵌套的子状态),先转换为简单状态图。复合状态包含顺序复合状态和并发复合状态。

(1) 在顺序复合状态中所有的转移都被每个子状态所继承,所以任意一个子状态都可以发生于其他状态的转移,如图 1(上)所示。

(2) 在并发复合状态中所有的子状态必须完成,才能转移到其他状态,如图 1(下)所示。

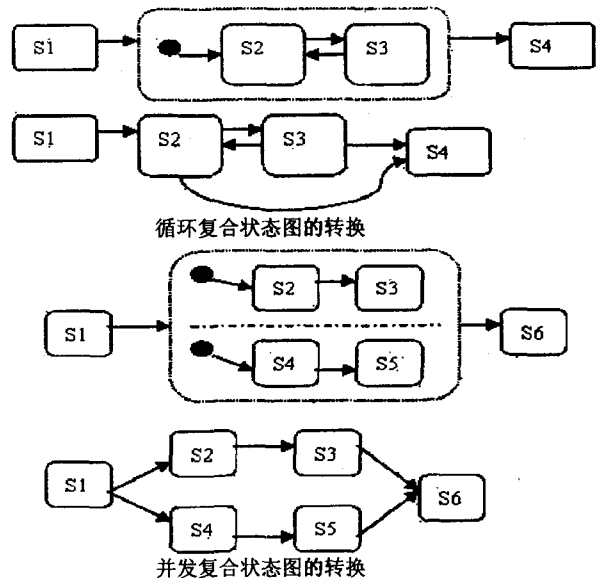


图1 循环复合状态图(上)和并发复合状态图(下)的转换

将转换后的简单状态图按如下规则映射为对象 Petri 子网模型。

(1) UML 状态图中状态映射为 OPM 的库所 p 来表示;

(2) UML 状态图中的转移由 OPM 中的变迁 t 来表示;

(3) 引发状态发生转变的触发事件、信息和监护条件映射为 OPM 中与之对应的库所和托肯,并发控制变迁 t 是否发生;

(4) 忽略内部事件,由于内部事件仅对对象自身的

状态转移流程产生影响,因此为了简化模型的复杂度,可以选择性地忽略状态机中的内部事件;即当一个状态转移是有内部事件触发的时候,可认为该转移是不经事件触发而发生的自动转移;

(5)UML 状态图中状态间的转移对应库所 p 与变迁 t 之间的有向边。

根据上述规则,得到图 1 相对应的对象 Petri 子网模型,如图 2 所示。

序列图描述完成某个行为的对象及对象之间所传递的信息的时间顺序,序列图是一个二维图形,水平方向为对象维,垂直方向为时间维。对象之间的通信通过在对象生命线间用消息图标来表示。消息可以是信号或操作调用。当接收到信息时,接收对象立即开始执行活动,即对象被激活。

在序列图中,消息的序列号通常被省去,因为箭头实线的物理位置已经表明了相对的时间顺序。消息还可以带有条件表达式,表示分支或决定是否发送信息。如果用于表示分支,则每个分支是相互排斥的,即在某一时刻只有发送分支中的一个信息。而 Petri 网模型能够描述不同的对象之间的并发、冲突和同步现象。

步骤2、根据 UML 的序列图合成 Petri 网模型。

信息 Msg1 和 Msg2 是并发的序列图转化为并发 Petri 网,如图 3 所示。如果 Msg1 和 Msg2 只有一者发生转换为冲突 Petri 网,如图 4 所示。

如果信息是同步的序列图转换为同步 Petri 网,如图 5 所示。

3 Petri 网建模案例分析

笔者所在实验室长期从事智能软件系统的研制工作,文中选择其中的“清史图录编纂应用系统”中的状态图来讨论。“清史图录编纂平台”是一个复杂的分阶段的图像数据库管理系统,文中只对其中的特定两个对象状态图进行Petri网建模并进行分析。

图 6 中描述了系统中登陆对象的状态图和图像整理操作对象的状态图,当登陆成功后登陆对象向图像整理对象发送信息 Msg,根据上述映射规则,该信息转换为库所 p3。如图 6 中所示,当系统运行开始时要求输入登陆用户名,然后输入用户密码,如果密码不正确

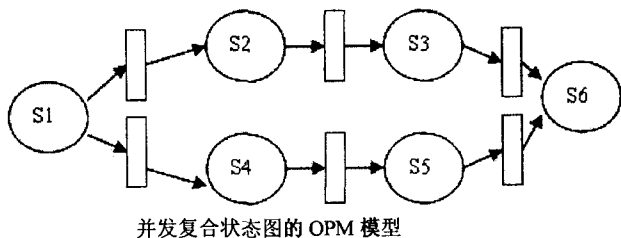
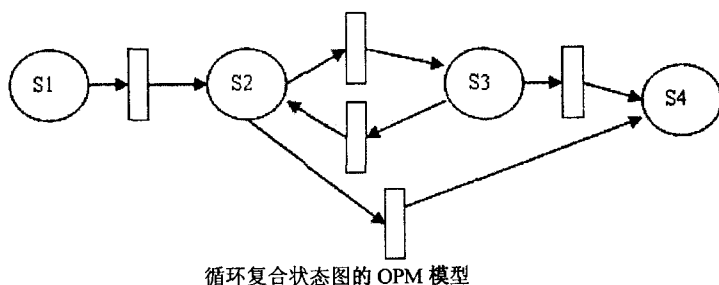


图2 循环复合状态图(上)和并发复合状态图(下)的OPM模型

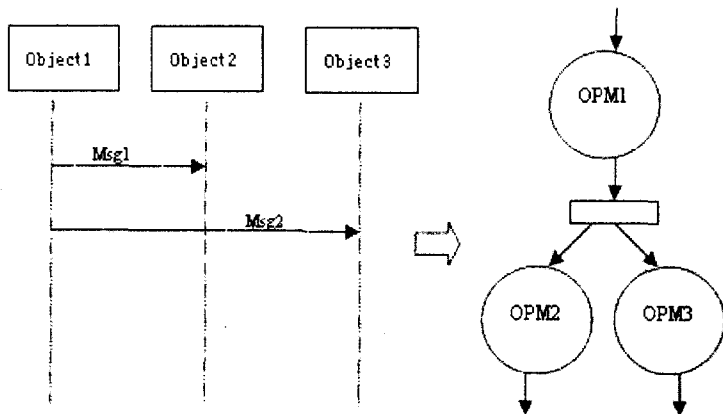


图 3 并发 Petri 网

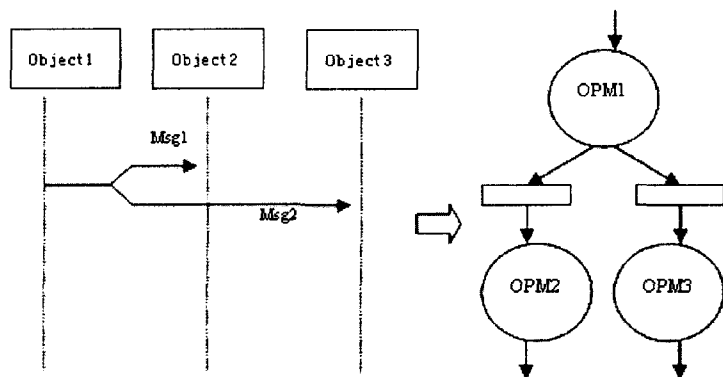


图4 Msg1和Msg2只有一者发生转换冲突 Petri网返回前一步,否则登陆状态完成。图像整理状态是并发复合状态,处于Interface(图像整理)状态时,即可能发生Choose Picture(选图状态)和Edit Picture(编辑图像),也可以发生Picture Categorize(图像分类)状态。由UML状态图和状态变换序列转换为图6中的Petri网模型,p0至p8为Petri网的库所,t0到t10为Petri网的变迁。

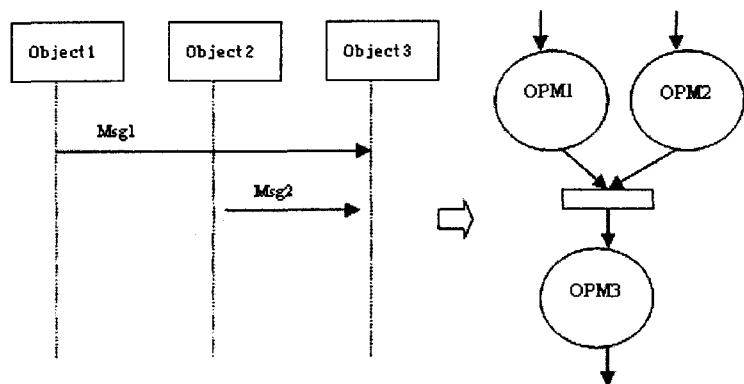
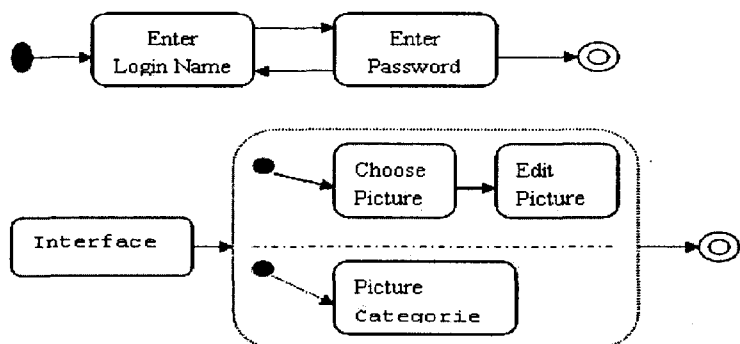
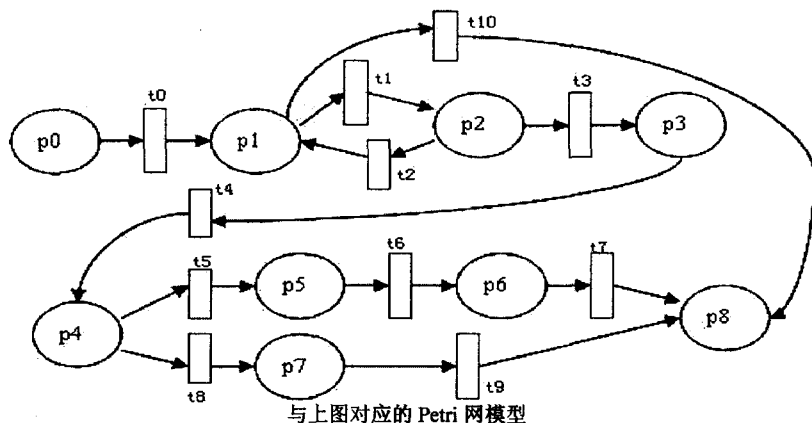


图5 同步 Petri 网



图录编纂应用系统中的登陆状态图和图像整理状态图



与上图对应的 Petri 网模型

图6 图录编纂应用系统中的登陆状态图
和图像整理状态图的 Petri 网模型

得到由 Petri 网表示的系统模型后,就可以利用它来分析系统体系结果的模型设计。模型分析的主要内容是验证系统的逻辑行为特征是否满足笔者的需求,并依次为凭据对系统的 UML 模型进行修正。

Petri 网模型建立后,一般需要验证是否满足以下一些特性:

(1)可达性是 Petri 网的最基本的动态性质,其余各种性质都要通过可达行来定义。

定义2 设 $\Sigma = (S, T; F, M)$ 为一个 Petri 网。

如果存在 $t \in T, M[t \rightarrow M']$, 则称 M' 为从 M 直接可达的。如果存在变迁序列 t_1, t_2, \dots, t_k 和标识序列 M_1, M_2, \dots, M_k 使得 $M[t_1 \rightarrow M_1[t_2 \rightarrow M_2 \dots M_{k-1}[t_k \rightarrow M_k]$, 则称 M_k 为从 M 可达的。从 M 可达的一切标

识的集合记为 $R(M)$ 。分析上面的图中的模型是可达的。

(2)有界性:Petri 网模型中的库所的空间是有限的,图中 Petri 网系统运行中,每个库所最多能得到一个托肯,因此满足有界性。

(3)Petri 网活性概念的提出源于对实际运行中是否会出现死锁的探索需要。系统的运行过程中由于调度错误,导致系统不能在正确的输入下得到相应的输出,进入互相等待或盲等的状态,从而出现死锁。对于图中的 Petri 网,通过分析它的运行不难发现,网中每个变迁都有可能获得发生权。这表明该网系统中每个变迁都是活的,从而整个 Petri 网系统也是活的。

运用上述手段除了可以对整个系统的 Petri 网模型进行分析,还可以对单个的对象 Petri 子网模型进行分析;这不但使得分析和查找复杂系统结构设计中的错误变得更加容易,也充分体现了单个的对象 Petri 子网模型所具备的模块化、可复用性的特点。对复杂 Petri 网模型系统进行分析可以通过编写软件自动化实现。

4 结束语

文中讨论的基于 Petri 网的 UML 建模应用分析,能够利用 Petri 网已经有的许多成熟的分析方法对 UML 状态图进行分析和验证,排除 UML 状态图中的缺陷。在软件设计阶段发现错误,降低软件开发的花销,最终达到提高了软件的质量的目的。

基于对象 Petri 子网通过 UML 序列图的消息机制构造整个系统的 Petri 网,较传统方法更能体现软件的模块化、可复用性的特点。较高级 Petri 网模型^[7,8],在系统分析方面要简单一些,但是在空间和时间上开销将有所增大。在以后研究中还需要完善对复杂系统进行 Petri 网建模的方法,同时完善对构造出来的 Petri 网模型进行有效的分析验证方法。通过分析验证的结果完善 UML 模型,提高软件质量。

参考文献:

- [1] Bouabana T T, Belmesk M. Formalization of UML object dy-

(下转第 83 页)

进行了对比(结果见图4)。对于每种检测器都调整参数使其检测结果力争达到最好——既要检测出最多的真正角点,又要尽量避免伪角点的产生。实验表明,我们的算法在上述两个方面都达到了最佳的检测效果。图4a、b、c和e分别是Harris、SUSAN、Kitchen/Rosenfeld和Yeh作用于房屋图像的检测结果,显然它们均遗漏了较多的角点,并且检测出相当多的伪角点。图4d是最常用的CSS角点检测器的检测结果,虽然检测出了大部分真正的角点,但也存在较多的伪角点。图4f是文中的算法检测出来的效果,真正的角点大部分被检测出来了,并且错误的角点明显减少。可见文中提出的算法的优越性较为突出。

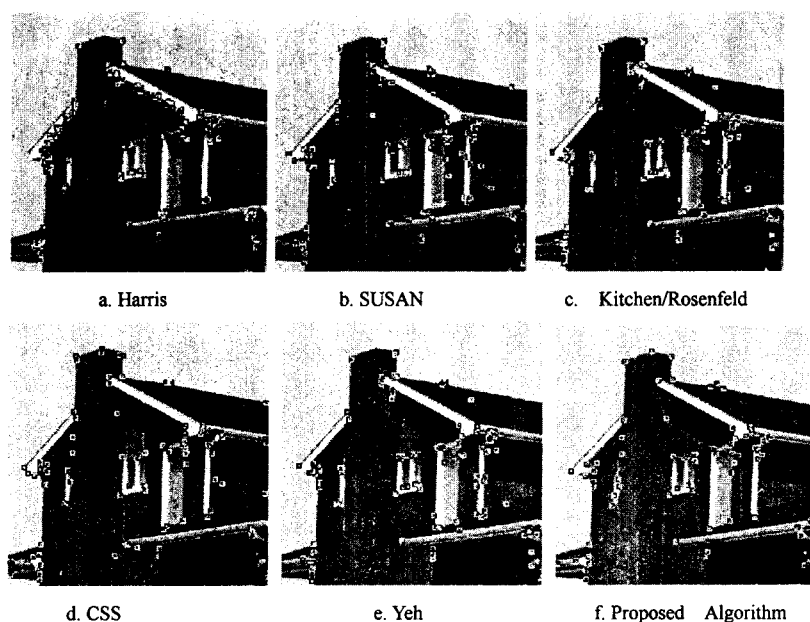


图4 对比实验结果图

3 结束语

轮廓曲线的结构张量及其特征值、行列式能够很好地反映平面曲线的局部变化特性,同时引入B-样条尺度空间,并计算曲线结构张量在各个尺度下的行列式,将其乘积定义为角点的响应函数,从而提出新的

角点检测算法。最后由实验结果可以看出,文中所提出算法与其他的经典角点检测器相比具有很强的优越性,而且其本身也具有好的旋转和尺度不变性及对噪声的鲁棒性。

参考文献:

- [1] 杨丹,孙向南,张小洪.一种分层渐进匹配的鲁棒估计算法[J].计算机技术与发展,2009,19(6):36-42.
- [2] Zhang Xiaohong, Wang Hongxing, Hong Mingjian, et al. Robust image corner detection based on scale evolution difference of planar curves[J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30:449-455.
- [3] Rattarangsi A, Chin R T. Scale-based detection of corners of planar curves[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(4):430-449.
- [4] Zhang Xiaohong, Lei Ming, Yang Dan, et al. Multi-scale curvature product for robust image corner detection in curvature scale space[J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28: 545-554.
- [5] Mokhtarian F, Suomela R. Robust image corner detection through curvature scale space[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(12):1376-1381.
- [6] Smith S, Brady M. SUSAN: A new approach to low-level image processing[J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 23(1):45-48.
- [7] 毛雁明,兰美辉,王运琼,等.一种改进的基于Harris的角点检测算法[J].计算机技术与发展,2009,19(5):130-133.
- [8] 郑钰辉,潘瑜,王平安,等.基于迹的非线性结构张量[J].计算机辅助设计与图像学报,2008(2):259-266.

(上接第79页)

- namics and behavior[C]//2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Hague: IEEE, 2004: 4971-4976.
- [2] Mellor S J, Balcer M J. Executable UML: A foundation for model-driven architecture[M]. Boston: Addison-Wesley, 2002.
- [3] 袁崇义. Petri网原理与应用[M].北京:电子工业出版社, 2005:213-225.
- [4] 卢冰原,李龙澍. UML建模技术在智能软件开发中的应用

- [J]. 计算机应用研究, 2001(11):37-39.
- [5] Murata T. Petri Nets: properties, analysis and applications[J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77(4):541-580.
- [6] 姚淑珍,金茂忠. UML状态图的形式化建模及其分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(4):472-476.
- [7] 朱悠悠,董路明. 着色Petri网在UML建模中的应用[J]. 现代图书情报技术, 2004(2):37-41.
- [8] 刘乐,陈俊杰. 基于UML的CPN模型在软件测试中的应用[J]. 计算机工程, 2008, 34(3):119-121.