

一种顺序图的形式化描述与推理过程^①

何 锋

(云南财经大学 信息学院, 昆明 650221)

摘 要: 以统一建模语言(UML, Unified Modeling Language)规范为基础, 给出 UML 顺序图的形式化定义和语法描述, 并进一步分析了对象消息发送和接收之间的一致性问题。最后, 通过对实例推理过程的分析, 对 UML 顺序图的特性作进一步的解释。这为基于 UML 顺序图的模型转换和模型验证提供了必要的前提条件, 可用于对软件系统结构的完备性理解和构造可视化建模工具。

关键词: 顺序图;形式化描述;推理证明过程

Sequence Diagram of the Formal Description and Reasoning

HE Feng

(Information College, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China)

Abstract: Based on UML sequence diagram of the Unified Modeling Language (UML, Unified Modeling Language) specification is given a formal definition and syntax descriptions, and further analysis of the object between the sending and receiving messages consistency. Finally, the analysis of case-based reasoning process, the characteristics of UML sequence diagrams for further explanation. This UML sequence diagram based model transformation and model validation provided the necessary precondition for the software system can be used to understand the completeness of the structure and construction of visual modeling tools.

Keywords: sequence diagram; the formal description; proof of reasoning

1 引言

面向对象软件的运行机制是通过对象以及对象之间的动态交互实现的。正如 Ivar Jacobson 所说“只有在所有的用例为所有事件进程建立了交互模型之后, 才可以确定已经发现系统所需要的每个对象所扮演的角色, 以及它们的责任^[1]。”因此, 交互建模在面向对象软件开发中越来越重要, 它表示瞬时的、行为化的系统的“控制”性质, 规定了对象模型中的对象的合法变化序列^[2]。而顺序图通常用于描述系统的行为, 它所表达的软件系统的动态特征是否能够满足系统的需求^[2,10], 动态模型对系统动态特征的描述是否满足一致性检查和正确性分析, 这需要给出准确的说明。

本文先给出顺序图的形式化描述, 然后以科研管理系统中的“科研登记”为例, 对顺序图的形式化方法进行推理, 从而实现系统的一致性检查和正确性验证。

2 UML顺序图的形式化描述

根据 UML2.0 规范及其产生的 XMI 格式^[3,9]的 UML 文档, 其中的形式化语法和语义可作如下定义:

2.1 形式化语法

定义 1. UML 顺序图可以表示为一个五元组 $SD = \langle Obj, Msg, Loc, Evn, F \rangle$, 其中^[1,6]:

- Obj 是顺序图中对象的集合, 可定义为 $Obj = \{Object \mid Object \text{ 是顺序图中的对象}\}$ 。

- Msg 是顺序图中消息的集合, 可定义为 $Msg = \{Message \mid Message \text{ 是顺序图中的消息}\}$ 。

其中: $Obj \cup Msg \neq \Delta$; $Obj \cap Msg = \Delta$; $Msg \subseteq Obj \times Obj$;

- Loc 是顺序图中位点的集合, 可定义为 $Loc = \{Location \mid Location \text{ 是一个事件所对应的活动点}\}$, 位点是对象的生命线上发送或接收消息的点。每个位点

^① 基金项目:云南省自然科学基金(2006F0047M)

收稿时间:2010-09-23;收到修改稿时间:2010-11-08

都形如: $\langle O_i, 1 \rangle$,其中 $O_i \in \text{Obj}$, 1 为对象 O_i 的位点。

• Evn 是顺序图中事件的集合,可定义为 $\text{Evn} = \{\text{Event} \mid \text{Event}$ 是一条消息所对应的事件 $\}$,在对象的激活期内,事件可以产生消息。

• $F: \text{Msg} \times \{s, r\} \rightarrow \text{Loc}$ 是顺序图中从消息到位点的一个函数关系。 s 表示消息的发送(send), r 表示消息的接收(receive)。

2.2 形式化语义

定义 2. $\forall O_i \in \text{Obj}$, X_i 为 O_i 所有状态的集合, $x_i \in X_i$, 称 $G(O_i, x_i)$ 为对象 O_i 的一个格局。令 GJ 为对象的格局集合, 则转换关系为 $T \subseteq GJ \times \text{Msg} \times GJ$ 。

通常, UML 顺序图有 5 种基本交互事件的语义, 其他语义均可由如下这 5 条基本表示^[7,8]:

① 当 O_i 不执行任何消息的收发事件时, 有: $G(O_i, x_j) \wedge \text{NULL} \rightarrow G(O_i, x_j)$

即: 对象 O_i 不执行任何消息的收发事件时, 其状态不会发生任何改变。

② 当 O_i 执行消息 m_1 的发送事件时, 有: $G(O_i, x_j) \wedge m_1 \rightarrow G(O_i, x_j)$

即: 对象 O_i 执行消息的发送事件后, 其状态不会发生改变。

③ 当 O_i 执行消息 m_1 的接收事件时, 有: $G(O_i, x_j) \wedge m_1 \rightarrow G(O_i, x_k)$

即: 对象 O_i 执行消息的接收事件后, 其状态可能会发生改变。

④ 当 O_i 发送消息 m_1 到 O_n 时, 有: $G(O_i, x_j) \wedge m_1 \wedge G(O_n, x_p) \rightarrow G(O_n, x_q)$

即: 对象 O_i 发送消息到 O_n 后, O_i 的状态不会发生改变, O_n 的状态可能会发生改变。

⑤ 当 O_i 从 O_n 接收消息 m_1 时, 有: $G(O_n, x_p) \wedge m_1 \wedge G(O_i, x_j) \rightarrow G(O_i, x_k)$

即: 对象 O_i 从 O_n 接收消息后, O_i 的状态可能会发生改变, O_n 的状态不会发生改变。

3 实例分析

3.1 实例的形式化描述

本文以北京易普拉格公司推出的科研管理系统为例, 取其中的“科研成果登记”部分, 对顺序图的形式化方法进行推理, 从而实现一致性推理和正确性验证。

科研成果登记的整个过程为: 科研人员 (Researcher) 进入科研管理系统中登记自己的科研成果, 然后将科研成果的原件和实物送给所属院所的科研秘书 (Scientific Secretary) 进行审核, 科研秘书进行审核, 确认无误后, 进入科研管理系统中进行“确认通过”, 并把“确认通过”的消息通知给该科研人员。到了整个科研成果考核周期的最终, 科研处的工作人员 (Research Department staff) 进行统一的批量确认来进行“审核通过”, 各级领导 (Leaders at all levels) 可以通过各自的权限范围来掌握整个部门/单位的科研成果情况, 整个科研成果考核周期就此结束。

为了书写方便, 这里把顺序图中的对象 Researcher、Scientific Secretary、Research Department staff、Leaders at all levels、Interface、Related to the registration page、System server 分为记为 re、se、st、le、in、pa、sy。

$SD = \langle \text{Obj}, \text{Msg}, \text{Loc}, \text{Evn}, F \rangle$

$\text{Obj} = \{\text{re}, \text{se}, \text{st}, \text{le}, \text{in}, \text{pa}, \text{sy}\}$

$\text{Msg} = \{m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7, m_8, m_9, m_{10}, m_{11}, m_{12}, m_{13}, m_{14}, m_{15}, m_{16}, m_{17}, m_{18}, m_{19}, m_{20}, m_{21}, m_{22}, m_{23}, m_{24}\}$

$\text{Loc} = \{\text{re} \wedge m_1, m_1 \wedge \text{in}, \text{in} \wedge m_2, m_2 \wedge \text{re}, \text{re} \wedge m_3, m_3 \wedge \text{in}, \text{in} \wedge m_4, m_4 \wedge \text{sy}, \text{sy} \wedge m_5, m_5 \wedge \text{in}, \text{in} \wedge m_6, m_6 \wedge \text{re}, \text{re} \wedge m_7, m_7 \wedge \text{pa}, \text{pa} \wedge m_8, m_8 \wedge \text{sy}, \text{sy} \wedge m_9, m_9 \wedge \text{pa}, \text{pa} \wedge m_{10}, m_{10} \wedge \text{re}, \text{re} \wedge m_{11}, m_{11} \wedge \text{se}, \text{se} \wedge m_{12}, m_{12} \wedge \text{pa}, \text{pa} \wedge m_{13}, m_{13} \wedge \text{sy}, \text{sy} \wedge m_{14}, m_{14} \wedge \text{pa}, \text{pa} \wedge m_{15}, m_{15} \wedge \text{se}, \text{se} \wedge m_{16}, m_{16} \wedge \text{re}, \text{st} \wedge m_{17}, m_{17} \wedge \text{in}, \text{in} \wedge m_{18}, m_{18} \wedge \text{sy}, \text{sy} \wedge m_{19}, m_{19} \wedge \text{pa}, \text{pa} \wedge m_{20}, m_{20} \wedge \text{st}, \text{le} \wedge m_{21}, m_{21} \wedge \text{in}, \text{in} \wedge m_{22}, m_{22} \wedge \text{sy}, \text{sy} \wedge m_{23}, m_{23} \wedge \text{pa}, \text{pa} \wedge m_{24}, m_{24} \wedge \text{le}\}$ 。其中, $m_1 m_2 m_3 = \{m_1 \wedge \text{in}, \text{in} \wedge m_2, m_2 \wedge \text{re}, \text{re} \wedge m_3\}$

$\text{Evn} = \{\text{send}, \text{receive}\}$

$F: \text{Msg} \times \{s, r\} \rightarrow \text{Loc}$ 是顺序图中从消息到位点的一个函数关系。 s 表示消息的发送(send), r 表示消息的接收(receive)。例如: $F(m_1, s) = \text{re} \wedge m_1, F(m_1, r) = m_1 \wedge \text{in}$ 。

在这里,为了便于描述推理过程,设置了一个对各个对象经过消息的发送(send)和接收(receive)后所产生的格局: $G(\text{Obj}, \text{Msg}, F)$ 。例如: $G(\text{re}, m1 \wedge m2 \wedge m3 \wedge m4 \wedge m5 \wedge m6, \text{in}(\text{landing-site}))$ 表示科研人员进行消息 $m1 \sim m6$ 后从首页登陆进入。

在科研成果登记的过程中应该满足如下约束条件:

① 如果科研人员不进行科研成果的登记,则科研秘书不给予“确认通过”,该科研人员所登记的科研成果也无法通过科研处的“审核通过”,该科研人员的科研成果就不给予承认;

$\exists (\text{researcher} \wedge \neg \text{achievements}) \rightarrow (\text{secretary} \wedge \neg \text{verify}), (\text{secretary} \wedge \neg \text{verify}) \rightarrow (\text{staff} \wedge \neg \text{audit}) \Rightarrow \exists (\text{researcher} \wedge \neg \text{acceptance})$, 其格局为:

$G(\text{re}, \neg m7, \text{pa}(\text{no-registration})) \rightarrow G(\text{re}, \neg \text{acceptance})$

② 如果科研人员所登记的科研成果与所提交的实物一致,则科研秘书给予“确认通过”,该科研人员所登记的科研成果也通过了科研处的“审核通过”,该科研人员的科研成果就给予承认;

$\forall ((\text{researcher} \wedge (\text{achievements} \leftrightarrow \text{material})) \leftrightarrow (\text{secretary} \wedge \text{verify}), (\text{secretary} \wedge \text{verify}) \rightarrow (\text{staff} \wedge \text{audit})) \Leftrightarrow \forall (\text{researcher} \wedge \text{acceptance})$, 其格局为:

$G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{register})) \wedge m11 \wedge G(\text{se}, m1 \sim m6 \wedge m12 \sim m16, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{verify})) \wedge G(\text{st}, m1 \sim m6 \wedge m17 \sim m20, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{audit})) \rightarrow G(\text{re}, \text{acceptance})$

③ 如果科研人员所登记的科研成果与所提交的实物不一致,则科研秘书不给予“确认通过”,该科研人员所登记的科研成果也无法通过科研处的“审核通过”,该科研人员的科研成果就不给予承认;

$\exists (\text{researcher} \wedge \neg (\text{achievements} \leftrightarrow \text{material})) \rightarrow (\text{secretary} \wedge \neg \text{verify}), (\text{secretary} \wedge \neg \text{verify}) \rightarrow (\text{staff} \wedge \neg \text{audit})(\text{researcher} \wedge \neg \text{acceptance})$, 其格局为:

$G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{register})) \wedge m11 \wedge G(\text{se}, m1 \sim m6 \wedge m12 \sim m16, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\neg \text{verify})) \wedge G(\text{st}, m1 \sim m6 \wedge m17 \sim m20, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\neg \text{audit})) \rightarrow G(\text{re}, \neg \text{acceptance})$

④ 如果科研处认为某科研人员的科研成果虽然已被科研秘书“确认通过”但仍未达到某些硬性标准

(如刊物级别登记时填写得过高,收录和转载情况有所夸大等等),则该科研人员所登记的科研成果也无法通过科研处的“审核通过”,该科研人员的科研成果就不给予承认。

$\exists (\text{researcher} \wedge \text{achievements}) \rightarrow (\text{secretary} \wedge \text{verify}), (\text{secretary} \wedge \text{verify}) \wedge (\text{staff} \wedge \neg \text{audit}) \Rightarrow \exists (\text{researcher} \wedge \neg \text{acceptance})$, 其格局为:

$G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{register})) \wedge m11 \wedge G(\text{se}, m1 \sim m6 \wedge m12 \sim m16, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{verify})) \wedge G(\text{st}, m1 \sim m6 \wedge m17 \sim m20, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\neg \text{audit})) \rightarrow G(\text{re}, \neg \text{acceptance})$

则科研成果登记的整个过程可描述为:

$\forall ((\text{researcher} \wedge (\text{achieve} \leftrightarrow \text{mentsmaterial})) \leftrightarrow (\text{secretary} \wedge \text{verify}), (\text{secretary} \wedge \text{verify}) \rightarrow (\text{staff} \wedge \text{audit}), (\text{staff} \wedge \text{audit}) \rightarrow (\text{leaders} \wedge \text{consent})) \Leftrightarrow \forall (\text{researcher} \wedge \text{acceptance})$, 其格局为:

$G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{register})) \wedge m11 \wedge G(\text{se}, m1 \sim m6 \wedge m12 \sim m16, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{verify})) \wedge G(\text{st}, m1 \sim m6 \wedge m17 \sim m20, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{audit})) \wedge G(\text{le}, m1 \sim m6 \wedge m21 \sim m24, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{consent})) \rightarrow G(\text{re}, \text{acceptance})$

3.2 实例的形式化推理

现在,结合上述约束条件和科研成果登记的整个过程,对两个结论的有效性进行形式化的推理和证明:

如果科研人员进行了科研成果的登记,那么本学院(或本部门)的科研秘书就会进行“确认通过”的相关操作;如果科研秘书进行了“确认通过”的相关操作,那么科研处就会进行“审核通过”的相关操作;如果进行了“审核通过”的相关操作,那么科研人员的科研成果就给予承认;只有科研成果的登记与所提交的实物相一致,科研人员的科研成果就给予承认;如果所登记的科研成果未达到某些硬性标准(如刊物级别登记时填写得过高,收录和转载情况有所夸大等等),则科研处就不会进行“审核通过”的相关操作;科研人员的科研成果不给予承认是因为:要么是没有进行登记、要么是科研成果的登记与所提交的实物不一致、或者是要么科研处认为未达到某些硬性标准;无论科研人员是否进行了科研成果的登记、科研秘书是否进行了“确认通过”、还是科研处是否进行“审核

通过”，各级领导可以通过各自的权限范围来掌握整个部门/单位的科研成果情况。

结论 1：如果某位科研人员的科研成果与所提交的实物一致、且不被夸大其词、且进行了网上登记，那么该科研人员的科研成果就给予承认。

结论 2：如果某位科研人员的科研成果进行了登记，那么领导可以通过自己的权限范围来知道该科研人员的科研成果情况。

其形式化描述为：

$G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{register})) \leftrightarrow G(\text{se}, m1 \sim m6 \wedge m12 \sim m16, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{verify}))$;

$G(\text{se}, m1 \sim m6 \wedge m12 \sim m16, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{verify})) \rightarrow G(\text{st}, m1 \sim m6 \wedge m17 \sim m20, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{audit}))$;

$G(\text{st}, m1 \sim m6 \wedge m17 \sim m20, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{audit})) \rightarrow G(\text{re}, \text{acceptance})$;

$G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{register})) \wedge m11 \rightarrow G(\text{re}, \text{acceptance})$;

$G(\text{st}, m1 \sim m6 \wedge m17 \sim m20, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\neg \text{audit})) \rightarrow G(\text{re}, \neg \text{acceptance})$;

$G(\text{re}, \neg \text{acceptance}) \rightarrow G(\text{re}, m7, \text{pa}(\text{no-registration})) \vee \neg m11 \vee G(\text{st}, m1 \sim m6 \wedge m17 \sim m20, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\neg \text{audit}))$;

$G(\text{le}, m1 \sim m6 \wedge m21 \sim m24, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{consent})) \rightarrow (G(\text{re}, \text{acceptance})$;

$G(\text{le}, m1 \sim m6 \wedge m21 \sim m24, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{consent})) \rightarrow G(\text{re}, \neg \text{acceptance})$);

$\Rightarrow G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{register})) \wedge m11 \wedge G(\text{st}, m1 \sim m6 \wedge m17 \sim m20, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{audit})) \rightarrow G(\text{re}, \text{acceptance})$

$\Rightarrow G(\text{le}, m1 \sim m6 \wedge m21 \sim m24, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{consent})) \rightarrow G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{register}))$

使用附加前提证明法^[8]，则推理证明过程如下：

结论 1 的推理证明过程：

① $G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{register})) \wedge m11 \wedge G(\text{st}, m1 \sim m6 \wedge m17 \sim m20, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{audit}))$ 附加前提引入

② $G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}),$

$\text{pa}(\text{register})) \wedge m11$ ①化简律

③ $G(\text{st}, m1 \sim m6 \wedge m17 \sim m20, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{audit}))$ ①化简律

④ $G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{register})) \wedge m11 \rightarrow G(\text{re}, \text{acceptance})$ 前提引入

⑤ $G(\text{st}, m1 \sim m6 \wedge m17 \sim m20, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{audit})) \rightarrow G(\text{re}, \text{acceptance})$ 前提引入

⑥ $G(\text{re}, \text{acceptance})$

②④或者③⑤的假言推理

结论 2 的推理证明过程：

① $G(\text{le}, m1 \sim m6 \wedge m21 \sim m24, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{consent}))$ 附加前提引入

② $G(\text{le}, m1 \sim m6 \wedge m21 \sim m24, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{consent})) \rightarrow G(\text{re}, \neg \text{acceptance})$ 前提引入

③ $G(\text{re}, \neg \text{acceptance})$ ①②假言推理

④ $G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{register})) \leftrightarrow G(\text{se}, m1 \sim m6 \wedge m12 \sim m16, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{verify}))$ 前提引入

⑤ $G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{register})) \rightarrow G(\text{se}, m1 \sim m6 \wedge m12 \sim m16, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{verify}))$ ④等价等值式和化简律

⑥ $G(\text{se}, m1 \sim m6 \wedge m12 \sim m16, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{verify})) \rightarrow G(\text{st}, m1 \sim m6 \wedge m17 \sim m20, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{audit}))$ 前提引入

⑦ $G(\text{st}, m1 \sim m6 \wedge m17 \sim m20, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{audit})) \rightarrow G(\text{re}, \text{acceptance})$ 前提引入

⑧ $G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{register})) \rightarrow G(\text{re}, \text{acceptance})$ ⑤⑥⑦假言三段论

⑨ $G(\text{re}, m1 \sim m6 \wedge m7 \sim m10, \text{in}(\text{landing-site}), \text{pa}(\text{register}))$ ③⑧析取三段论

3.3 消息的覆盖性分析

在上述的形式化描述和推理过程中，所涉及到的需求有：所有人员的“系统登陆”、科研人员的“科研登记”、科研秘书的“确认通过”、科研处的“审核通过”、以及各级领导的“查询统计”等。这些功能需求所涉及到的消息分别是： $m1m2m3m4m5m6$ 、 $m7m8m9m10$ 、 $m12m13m14m15$ 、 $m17m18m19m20$ 、 $m21m22m23m24$ 。从以上分析中可以看出各个功能需求都被相应的消息操作所覆盖到。

(下转第 29 页)

语来获取网络中输入、输出簇匹配设备的网络地址。当网络中存在多于一个的簇匹配的设备时,用户可以通过设置设备描述信息匹配,筛选出目标设备地址。当获取目标网络地址并存储后,需求响应终端设备通过调用应用层数据请求指令便可获取用户智能电表节点的数据。为了确保需求响应终端的正确寻址,智能电表节点网络地址发生改变时,通知对应的需求响应终端,需求响应终端重启绑定流程。

3 结论

经过测试,本论文所设计的基于 ZigBee 的需求响应系统能够实现快速、实时的双向通信。需求响应终端能显示实时电价及用电信息,提醒用户节电,达到削峰平谷的目的;并能通过外接控制端子,根据用户的设置,实现对用户电器的供电的自动控制。本系统实现了电网与用户侧的交互,在智能建筑的建设中,可基于本系统实现电力需求侧能源管理,并能与智能

家居系统结合,让用户在享受舒适便利的家庭智能化的同时还能节省能耗开支。随着智能电网的建设及节能减排的实施,此系统具有很好的应用前景。

参考文献

- 1 牛东晓,陈志强.电力市场下的需求响应研究.华东电力,2008,36(9):37-40.
- 2 李扬,王治华.峰谷分时电价的实施及大工业用户的响应.电力系统自动化,2001,25(8):50-53.
- 3 Texas Instruments Incorporated.CC2430 Data Sheet, 2007, 1-10.
- 4 DL/T 645-2007,多功能电能表通信协议.
- 5 高守玮,吴灿阳.ZigBee 技术实践教程—基于 CC2430/31 的无线传感器网络解决方案.北京:北京航空航天大学出版社,2009.

(上接第 55 页)

4 结束语

复杂系统的建模往往通过严格的语义分析和表达的精确性,以便于对模型进行求精和验证。本文以“科研登记”为例,定义了顺序图的一种形式化描述,这有助于对顺序图进行严格的语义分析,并为对其有效性进行形式化的推理和证明提供了基础。

在后续研究工作中,将进一步分析顺序图和其它的 UML 图形的形式化语义推理和验证方法,以及研究不同层面和不同角度的 UML 行为模型的正确性、一致性和可达性问题。

参考文献

- 1 黄陇,于洪敏,陈致明.UML 顺序图的结构化操作语义研究.计算机应用,2005,25(2):359-361.
- 2 张海藩.软件工程.第 2 版.北京:人民邮电出版社,2009. 164-165.
- 3 OMG. OMG XML metadata interchange (XMI) specification

version 2.1.(2005-09-01).http://www.omg.org/cgi-bin/doc formal/2005-09-01.pdf.

- 4 屈婉玲,耿素云,张立昂.离散数学.北京:高等教育出版社,2008.
- 5 Cardoso J, Sibertin-Blanc C. An operational semantics for UML interaction:Sequencing of actions and local control. European Journal of Automated Systems,2002:1015-1028.
- 6 李晓丽,龙翔,包晓露,李虎.UML 顺序图的形式化定义与特性分析.北京航空航天大学学报,2010,(3):350-352.
- 7 郭峰,张萌.UML2.0 顺序图的形式化研究.计算机工程与设计,2009,30(24):5646-5649.
- 8 张姝,张广泉.UML 顺序图的一种形式化描述方法.重庆师范大学学报(自然科学版),2007,24(3):42-45.
- 9 OMG. UML 2.0 superstructure.http://www.omg.org/cgi-bin/doc formal/05-07-04,2005.
- 10 冀振燕.UML 系统分析与设计教程.北京:人民邮电出版社,2009.