

UML-RT 到一个实时多任务执行模型的转换^{*}

刘晓燕¹ 字天文¹ 张云生¹ J-J. Schwarz² 李俊昌¹

(昆明理工大学信息工程与自动化学院 昆明 650011)¹

(LIRIS, UCB Lyon1, IUT A, 69622 Villeurbanne Cedex France)²

摘要 为解决把 UML-RT 行为建模模型平滑过渡到实时多任务系统的图形化软件设计开发环境的过程设计模型中,本文提出了把 UML-RT 状态图行为模型转换到该环境下的执行模型的方法。首先介绍 UML-RT 状态图建模的概念及笔者研制的设计环境,其次给出从 UML-RT 状态图转换到该设计环境可执行模型的具体方法,最后以一个实例说明了转换方法。

关键词 UML-RT, 实时系统, 状态图, 行为建模, 执行模型, 转换方法。

Translation UML-RT into a Real-time Multitasking Execution Model

LIU Xiao-Yan¹ ZI Tian-Wen¹ ZHANG Yun-Sheng¹ J-J. Schwarz² LI Jun-Chang¹

(School of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming)¹

(LIRIS, UCB Lyon1, IUT A, 69622 Villeurbanne Cedex France)²

Abstract Introduces guidelines of translation UML-RT behavior model of State Diagram into execution model of a graphical design environment component-based for real-time multitasking system in order to overcome easy transformation UML-RT behavior model into the procedural design model of this environment. First, concepts of UML-RT State Diagram modeling and the design environment are presented. Second, specific guidelines of translation UML-RT State Diagram into the execution model of the design environment are proposed. Finally, an example is given to illustrate mapping methods between them.

Keywords UML-RT, Real-time system, State diagram, Behavior modeling, Execution model, Translation guidelines

1 引言

为了更好地为实时系统建模, Rational 公司结合了 ROOM(Real-Time Object-Oriented modeling)^[2]的概念,作为 UML 的扩展,推出了 CASE 工具 UML for RealTime,称为 UML-RT。UML-RT 为实时系统的面向对象的分析和设计提供了一组图形符号,以图形化的形式支持面向对象的实时系统的静态结构和动态行为的建模,应用于电信、航天、航空、国防、嵌入式实时系统和工业控制等复杂实时系统领域,描述系统的结构模型和行为模型^[1]。

笔者研制了一个基于实时多任务操作系统的、图形化的分布式实时软件设计开发环境 DRSCDE(Distributed Real-time Software Component Development Environment),用于为分布式的具有客户/服务器(Client/Server)结构的实时应用系统建模。DRSCDE 提供了一组图形符号,支持实时软件的结构建模以及基于实时多任务操作系统的行为建模^[8~11]。

鉴于 UML-RT 应用于复杂实时系统的日益广泛性,为解决把 UML-RT 行为建模模型平滑过渡到实时多任务操作系统的图形化的软件设计开发环境 DESCDE 的过程设计模型中,本文提出了从 UML-RT 状态图行为模型转换到 DRSCDE 的执行模型的方法,以解决两个模型之间行为设计的映射。文中首先介绍 UML-RT 状态图及 DRSCDE 设计环境

的相关概念,其次给出从 UML-RT 状态图映射到 DRSCDE 执行模型的具体方法,最后用一个具体实例说明了转换方法。

2 UML-RT 状态图

UML-RT 状态图表示实时系统、封装对象(Capsules)、用例及协议的行为,是标准 UML 状态图的扩展^[3,4]。UML-RT 状态图中的一些基本建模元素和 UML 相同。如一个状态图有有限个状态,有初始和终止状态、链接状态(Chain State)、选择状态(Choice State)及历史态等。状态之间的迁移由触发事件、监护条件及动作引起。UML-RT 状态图做了如下一些扩展:

(1)UML-RT 状态图可以挂接在类下,也可以挂接在结构模型中的封装下,与封装的终止端口连接。该状态图被看作是封装对象行为实现的封装,即屏蔽了封装对象自身操作行为实现的细节。外部环境或其它的封装对象的状态图可以使用协议通过终止端口发送和接收信号,和挂接在此终止端口的状态机实现通讯。

(2)UML-RT 的封装是为了更好地表示活动对象而引入的,其状态图没有终止状态。

UML-RT 状态图各建模元素如图 1 所示。图中展示了 UML-RT 中的主要建模元素:初始态、终止态、选择点、链接态、历史态。其中 S2 状态内部图标表示其内部定义了入口动

^{*} 云南省教育厅科学研究基金项目(04Y467D)、云南省应用基础研究基金重点项目(2000F0004Z)。刘晓燕 副教授,硕士生导师,博士生,主要研究方向为软件工程及软件开发环境;字天文 硕士生,主要研究方向为软件工程及软件开发环境;张云生 教授,博士生导师,主要研究方向为计算机控制及实时软件开发环境;J. -J. Schwarz 教授,博士生导师,主要研究方向为软件工程及实时软件开发环境。

触发一个转换前或延迟被解除前,这类事件被保存起来)。如果多个事件同时发生,每次只处理一个。

因此根据事件触发迁移的语义,一般而言,把触发事件转换为 DRSCDE 的消息表示,当有多个事件时用消息池表示事件。触发迁移的 DRSCDE 执行模型为创建消息或消息池对象,将消息或消息池用发送原语发送至邮箱保存。当任务有时间处理该事件时,从邮箱中取出消息进行处理,处理完后将该消息删去。这组执行语句称为触发器原语。如果有多个事件同时发生,为保证每次只处理一个的语义,转换为 DRSCDE 的信号量表示,用信号量的发送原语和读取原语表示同步互斥关系。处理完一个事件后,再从邮箱中读取下一个事件进行处理。

若触发事件为表示时间间隔的延迟事件,转换为 DRSCDE 中的延迟(Delay)原语来实现时间限制的设置,用 Delay 原语中指定的时间值来判断是否超时,以激发动作的执行及任务的调度。

若触发事件为外部设备的中断信号,则转换为中断对象调用。

若触发事件为报警,转换为 DRSCDE 中的报警(Alarm)过程调用原语。若其后紧接着报警动作,将其忽略,用同一个报警过程调用表示即可。

初始迁移是指初始点到初始态的迁移,只有动作而无事件触发及监护条件,因而其转换方法和动作的转换方法相同。

4.2.2 动作

当迁移被引起时,执行动作。动作在它的控制线程中原子性的,一般是一个简短的计算处理过程。动作也可以是一个动作序列,即一系列简单的动作。动作或动作序列的执行不会被同时发生的其他动作影响或终止。DRSCDE 中的过程调用原语的执行具有不可中断性。因此,动作转换为 DRSCDE 中的过程调用原语,其参数转换为相应过程调用的参数。动作序列转换为过程调用原语系列。

若是报警动作并且无报警触发器,则转换为 DRSCDE 中的报警(Alarm)过程调用原语。若前有报警触发器,则略去该动作。


4.2.3 完成迁移

没有标明触发器的迁移是由状态中活动的完成引起的,称为完成迁移。完成迁移也可以带一个监护条件,其值在状态中的活动完成时被赋值。因此完成迁移只视为在 DRSCDE 任务执行栏上一个顺序执行点。而带监护条件的完成迁移转换方法见下节。

4.2.4 监护条件

UML-RT 触发器可能具有一个监护条件,监护条件是一个布尔表达式。在迁移被触发前,计算监护条件的值。如果为真,那么触发事件引起迁移;如果为假,则不引起迁移。

根据监护条件的语义,其应转换为 DRSCDE 算法形式中的条件原语或循环原语的判定式(condition)。DRSCDE 算法形式有 forever, if (condition), while (condition), repeat-until (condition), switch (variable), procedure call 等语句形式,放置在任务进程条上表示任务的执行流程。将带监护条件的迁移翻译为 DRSCDE 的具体算法形式不容易实现,对状态图结构进行遍历分析以确定具体的算法形式是必要的。为简化该工作,定义如下一些术语。

1)伪状态:包括选择点,链接态和初始点、UML-RT 状态图中的选择点  是状态迁移中的节点,用于条件判断和状态的选择迁移,包括一个输入口和两个输出口。其中一个输

出口是当条件为真时输出,另一个是当条件为假时输出。链接态代表状态间的链接。

2)路径:状态图中任何状态的序列及状态间的迁移称为路径。路径起始于状态 S_a 并终止于状态 S_b ,其中 S_a, S_b 属于状态图的所有状态的集合并且是从初始状态可达的。

3)初始路径:从状态 S 出发,经过任何状态序列及状态间的迁移又返回到初始状态的路径称为初始路径。

4)重复路径:起始于状态 S、具有迁移 $t[g]/a$ 经过任何状态序列及状态间的迁移又返回到相同的状态 S 的所有路径称为重复路径。其中 S 既不是伪状态,也不是初始状态,并且不在初始路径上。UML-RT 的自迁移是重复路径中的特例。

根据对状态图结构的有限遍历分析得出如下主要转换规则:

- 如果状态 S 是终止态或者只有流入迁移而没有流出迁移,那么状态 S 的分析完成。

- 状态 S 是初始状态,有无监护条件的流出迁移,除了初始迁移之外至少存在一个流入迁移,则 FOREVER 算法放在任务进程条的起始点,紧接唤醒原语 RESUME,唤醒任务自身。位于起始于初始状态并终止于初始状态的路径上的所有状态为其循环体。

- 如果状态 S 在初始路径上,则其流出迁移或其后选择点的监护条件 g 转换为 IF (g) THEN ... ELSE ... END-IF 的算法形式。

- 如果状态 S 有自迁移,映射为条件语句形式,则在 THEN 子句中加上恢复原语,激活相应任务;在 ELSE 子句中加上挂起原语,挂起相应任务。

- 如果状态 S 不是伪状态,只有一个无监护条件的流出迁移,至少存在一个带监护条件的流入迁移,并且状态 S 不在初始路径上,那么流入迁移的监护条件转换为 REPEAT ... UNTIL (condition) 结构中的条件判定式,REPEAT 语句放在进程条上。

- 如果状态 S 有带两个监护条件 g 的流出变换或者 S 后紧跟选择点,且 S 有重复路径,那么 WHILE (g) ... END-WHILE 以及 WHILE ($\neg g$) ... END-WHILE 的算法形式用于进程条的执行路径中。

- 如果状态 S 有带监护条件 g 的重复路径,则将其转换为 WHILE (g) ... END-WHILE 的算法形式。

- 如果状态 S 没有重复路径,要么其后紧跟选择点,则监护条件 g 转换为 IF (g) THEN ... ELSE ... END-IF 的算法形式。

- 如果状态 S 引出多个迁移,触发事件相同,监护条件不同,则转换为多分支选择 switch (variable) 语句形式。

- 如果状态 S 是链接态,其语义是将在该状态上的流入迁移和流出迁移连接成一次完成的迁移,因此将两个监护条件转换为判定式的与关系。

- 若监护条件为时间表达式且有时间触发事件,则转换为相应的算法形式;若无时间触发事件,转换为带时间参数的时间延迟原语 Delay 加上相应的算法形式。

- 如果状态 S 引出多个迁移,触发事件不同,监护条件不同,则根据上述转换规则依次分析每个迁移,直至每个迁移分析完毕。

5 举例说明

为了说明转换方法,我们以一个已开发的某钢铁企业分

布式实时数据采集及监控系统为例。该应用软件系统的主要功能是由若干台传感器进行分布式数据采集,实时数据入库及实时传输到监控中心。监控中心对数据进行综合分析处理,送给控制中心实施相应的控制。本文重点讨论六高炉温度数据分析的封装对象 DataAnalysis 的状态图转换到 DR-SCDE 过程设计层可执行模型的方法。DataAnalysis 的具体行为是:周期性地获取温度传感器的数据 Tem,对数据进行分析。若时间超过 60ms,则进入错误处理状态,否则分析数据取值。若 Tem 正常,进入正常状态 NormalTem;若 Tem 不正常,迁移到不正常状态 AbnTem。不正常情况发出警报声,送给控制封装实施相应的控制。分析完后又重新获取 Tem 值。其 UML-RT 的行为模型状态图如图 2 所示。

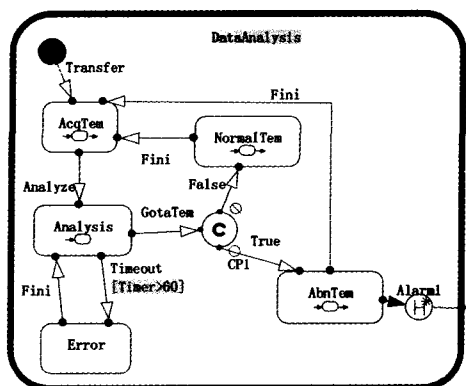


图 2 DataAnalysis 的 UML-RT 状态图

转换后的 DataAnalysis 的 DRSCDE 执行模型如图 3 所示。状态 AcqTem 是初始状态,有无监护条件的流出迁移 Analyze 触发器,除了初始迁移之外还有三个流入迁移且在初始路径上,则 FOREVER 算法放在 DRSCDE 任务 DataAnalysis 进度条的起始点,在初始路径上的状态为其循环体(本例中的所有状态)。把触发事件 Analyze 及 GotaTem 分别转换为 DRSCDE 的消息表示 Ana-MSG 和 Tem-MSG,首先创建邮箱对象 Tem-MBX 及消息对象 Ana-MSG 和 Tem-MSG,用发送原语将消息发送至邮箱保存。当任务有时间处理该事件时,从邮箱中取出消息进行处理。状态 Analysis 有流入迁移,其迁移路径 TimeOut 到 Fini 不在初始路径上,因而监护条件 Timer>60 转换为 DRSCDE 的 WHILE 循环判定式,TimeOut 触发器转换为时间延迟原语 Delay(60)。错误处理状态 Error,由于其不可中断性,转换为过程调用 Error。状态 Analysis 的迁移 GotaTem 后紧跟选择点 CP1 且不在重复路径上,则选择点的监护条件 C (Tem<>Nor)转换为 DRSCDE 的 IF <C> THEN ... ELSE ... END-IF 算法形式的判定式。状态 NormalTem 在 ELSE 子句里,转换为过程调用原语 NormalTem;状态 AbnTem 在 THEN 子句里,其迁移 Alarml 有报警动作(Beep,迁移箭头是实心表示),转换为 DRSCDE 的报警过程调用原语 Alarm。由于 Alarml 迁移到历史态,因而转换为恢复原语,唤醒代表历史态的相应任务控制封装;拥有历史态的任务 DataAnalysis 被挂起,转换为挂起原语。传送给其它任务的事件和消息,则转换为 DRSCDE 的示出原语,表示消息 Tem-MSG 发送至邮箱对象 Out-MBX,通过端口 Out-EPT 输出给控制封装任务,处理完

后将该消息删去。由于篇幅所限,没有给出恢复任务控制封装的原语。Fini 是完成迁移的注释,返回初始态转换为唤醒原语。

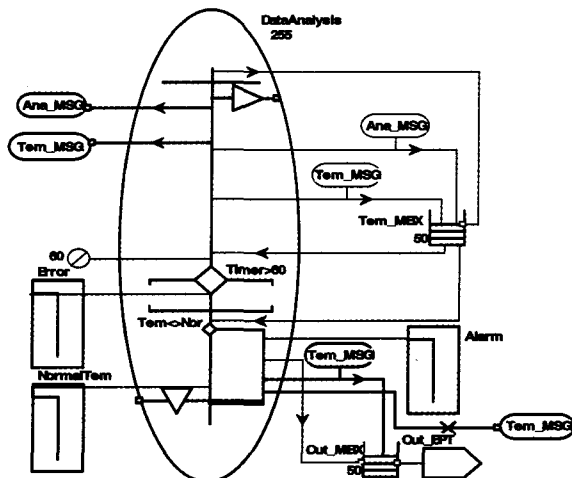


图 3 DataAnalysis 的 DRSCDE 执行模型

结束语 本文提出了从 UML-RT 的行为模型状态图转换到 DRSCDE 的过程设计层可执行模型的方法及一些主要原则,以解决两个模型之间行为设计的转换。通过一个实例说明了转换的具体方法。今后要做的研究工作是实现从 UML-RT 状态图到 DRSCDE 执行模型的自动生成工具。

参考文献

- 1 Selic B, Rumbaugh J. Using UML for modeling complex real-time systems. March 1998. <http://www-128.ibm.com/developerworks/rational/library/content/03July/1000/1155/1155-uml-modeling.pdf>
- 2 Lyons A. UML for real-time overview. April 1998. <http://www.uml.org.cn/UMLApplication/pdf/umlrt-overview.pdf>
- 3 Rational software Corporation. Rational Rose RealTime 2003. <http://www.rational.com/product/rosert>
- 4 Rational software Corporation. Modeling Language Guide. <http://www.rational.com/rosert-modeling-language.pdf>
- 5 Rational software Corporation. Model Examples. <http://www.rational.com/rosert-model-examples.pdf>
- 6 Rational Software Corporation. Tutorials. <http://www.rational.com/rosert-tutorials-guide.pdf>
- 7 Rational Software Corporation. Orientation Manual-Rational Rose Real Time 2003 Enterprise Edition. <http://www.rational.com/RationalRealTimeOrientation03.pdf>
- 8 刘晓燕,张云生,等.复杂实时系统软件对象设计.计算机工程与应用,2003,39(31):119~121
- 9 刘晓燕,张云生,等.基于构件的分布式实时系统架构图形化建模.计算机应用研究,2005(增刊),52~53
- 10 Schwarz J J, Skubich J J. Graphical Programming for Real Time Systems. Control Eng Practice, 1993, 1(1): 43~49
- 11 Schwarz J J, Skubich J J, et al. Real Time Multitasking Design with a Graphical Tool. IEEE RTAW, May 1993
- 12 Schwarz J J, Jelemenska, et al. From CRSM specification to a real-time multitasking execution model. In: Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE '99, Bled-Slovenia, July 1999
- 13 Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I. UML 参考手册.姚淑珍,等译.北京:机械工业出版社,2001
- 14 刘晓燕,张云生,等. UML-RT 到一个图形设计环境体系结构的映射.计算机科学,2006,33(6):280~283