

支持动态建模与互操作的工作流元模型研究

刘博, 范玉顺

(清华大学自动化系 CIMS 工程研究中心, 北京 100084)

Research on Workflow Meta-Model Supporting Dynamic Modeling and Interoperation

LIU Bo, FAN Yu-shun

(CIMS Engineering Research Center, Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084)

摘要: 为了提高 workflow 系统的互操作性、可扩展性和柔性, 基于 OMG (对象管理组织) 发布的 MOF (元对象设施) 规范重新设计 workflow 元模型, 并在此基础上构建一套集成化企业建模工具, 以实现建模、仿真与 workflow 系统的良好集成。首先介绍了 MOF 的元数据结构, 接着论述了基于 MOF 的 workflow 元模型的设计原理, 重点分析了过程元模型及 workflow 性能。

关键词: workflow; 元模型; MOF; 柔性

中图分类号: TP311

文献标识码: A

Abstract: To improve the interoperability, expansibility, and flexibility of the workflow system, a new workflow meta-model was designed based on MOF (Meta Object Facility) specification issued by OMG (Object Management Group). Through utilizing this workflow meta-model, a set of integrated enterprise modeling tools was constructed to implement the integration of modeling system, simulation system and workflow system. In this paper, firstly the MOF metadata architecture is introduced based on which the design principle of workflow meta-model is described. Then the process meta-model and the performance of workflow system are analyzed in detail.

Key words: workflow; meta-model; MOF; flexibility

0 引言

workflow 系统的元模型是开发设计一个 workflow 管理系统的基础, 它描述了构成 workflow 管理系统的实体、实体之间的关系和属性。然而随着应用的深入发展, 现有的 workflow 元模型已显露出明显的不足: ①模型内容有限, 不能满足流程多样的要求; ②柔性差, 主要表现在流程定义缺乏柔性和流程执行缺乏柔性; ③易使用性、互操作性不高; ④可扩展性不高。

在动态 workflow 领域面临的主要挑战是: 业务过程无法事先给出每个活动的完整定义以及某些活动之间的逻辑关系, 只能在过程实例的运行中根据运行时的信息逐步完善; 同时, 过程实例的执行中常需要修改其相关属性。workflow 管理联盟 (WFMC) 虽然给出了基本的工作流参考模型和过程元模型, 但这个元模型并没有提到动态变化的诸多因素。

从互操作性考虑, 现有的 workflow 系统几乎彼此都不兼容。近年来的互操作标准中有不少对应 WFMC 参考模型接口^[1]的标准, 如 WPD L 和 XPDL、PIF、PSL 以及 UML 等。但由于缺少概念模型, 都没有提供设计阶段互操作问题的解决方案^[2]。元对象设施 MOF (Meta Model Facility)^[3]是 OMG 推出的一种元模型间的通用语言, 德国 Dresden 技术大学^[4]和法国的 TRIGONE 实验室^[5]已经尝试将 workflow 整合到 MOF 的 OMA 体系框架中来。但是他们的模型或是过于个性化或是作了太多修改, 均未得到广泛使用。

本文在前人的基础上提出一种基于 MOF 的 workflow 元模型, 它保证了模型语义的一致性, 可实现 workflow 模型与其他元模型的相互转换, 并提高了 workflow 系统的柔性及互操作性。

基金项目: 国家 863/CIMS 主题资助项目 (编号: 2005AA411910)。

Foundation item: Project supported by the National High-tech. R&D Program for CIMS, China (Grant No. 2005AA411910)

1 MOF：元建模机制

MOF是OMG于2002年推出的标准，它定义了一种描述、创建和管理与技术无关的元模型的抽象语言与框架^[3]。以MOF定义的面向对象元模型，可以通过交换元数据来实现互操作，元模型之间可以相互映射、相互交换元数据并相互理解。MOF的核心思想是四层元数据体系结构^[3]（图1），其中：

- M3层为元一元模型层，它作为整个框架的最高层，定义了最基本的类、关联等元素。
- M2层为元模型层，它是M3层的实例， workflows系统的元模型就定义在这一层。
- M1层为模型层，对应着用户使用建模软件所建立的模型。
- M0层为数据层（或称实例层），表示模型执行过程中所产生的实例。

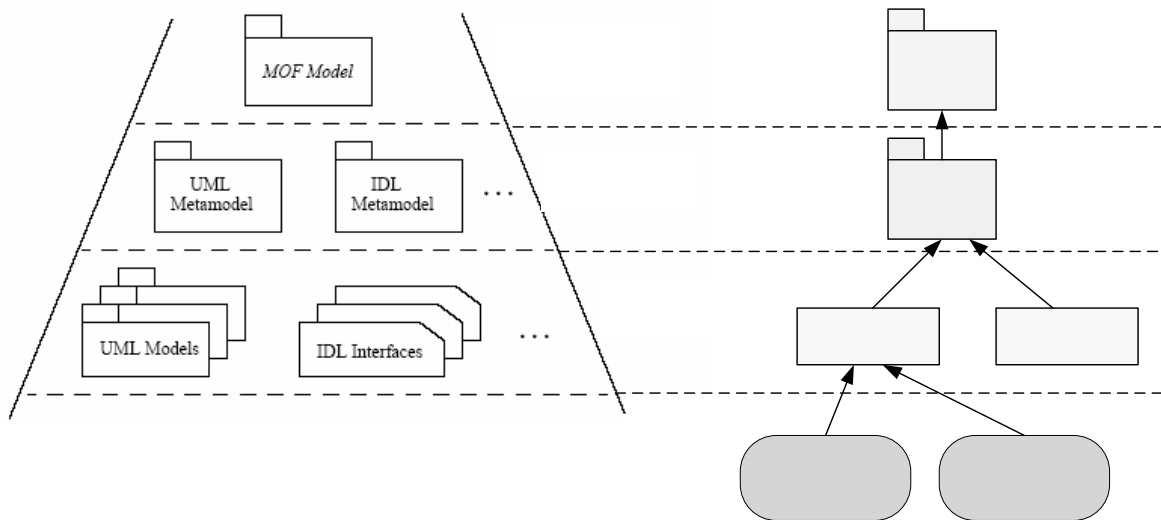


图1 MOF 的四层元数据结构

图1中还定义了MOF（M3层）对UML元模型、IDL元模型的指导关系，用户可以使用这些元构件元素设计各种领域的模型。图右边的示例说明了层与层之间的关系。

可见，采用MOF作为元一元模型丰富了模型元素及语义，基于MOF开发的元模型易于在扩展的同时维护模型整体的一致性。同时MOF已经构造了它与其它语言(或模型)之间的映射关系（如MOF-CORBA、MOF-Java）^[2]，这就实现了不同模型和应用之间的互操作。因此，在MOF的基础上定义 workflow 管理系统是合理并且可行的。

2 工作流元模型

在实际应用中，建模、仿真与 workflow 系统常常是紧密相关的，因此基于上述MOF的思想开发了一套集成化企业建模工具。它按照模型驱动(MDA)^[6]的思想，将建模、仿真、workflow 纳入一个统一的元建模框架，克服了这三个工具各自为政、最后不能兼容的问题。工作流元模型（见图2）采用Rose建模工具描述，由于篇幅所限，图中仅列出了部分类的属性。

最核心的两个类是 ModelElement 和 CIMFlowElement。CIMFlowElement 是系统元模型的公共基类，它包含三个子类：DiagramElement 用于描述企业模型显示的图形元素；ModelManagement 对模型进行管理、维护；ModelElement 用于描述与业务相关的元素。

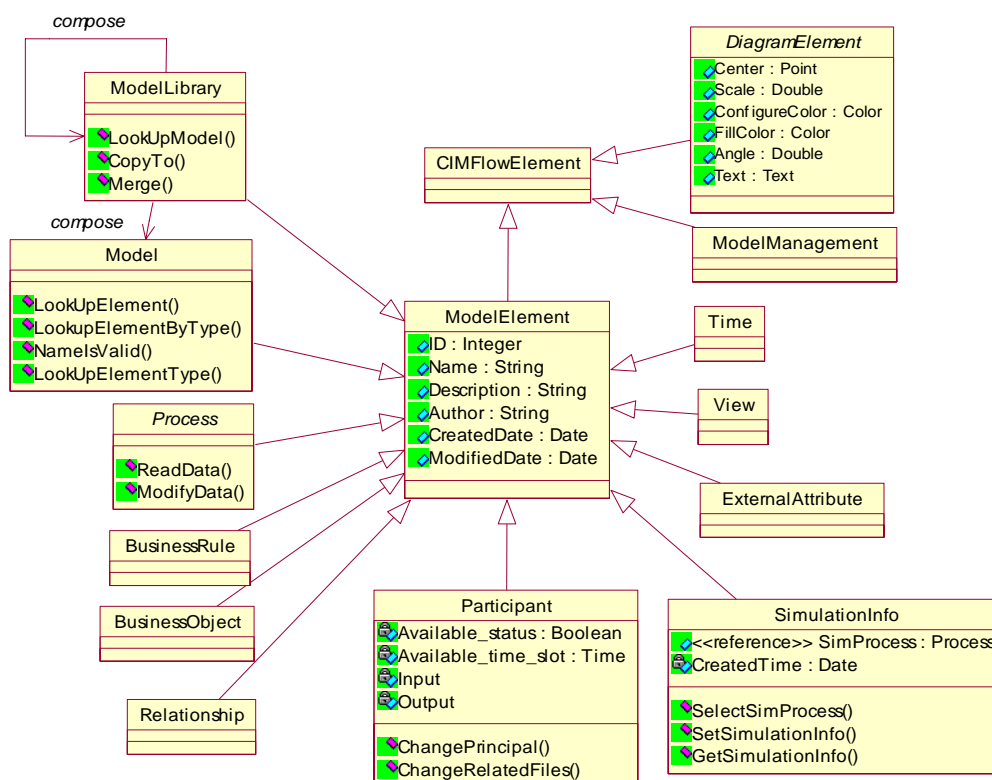


图2 工作流元模型

ModelElement（模型元素）又包含以下子类：**ModelLibrary**（模型库）用于组织和整理业务模型。**Model**表示一个完整的业务模型，包括过程模型、组织模型、功能模型等。**Process**是所有描述业务过程元素的基类。**Participant**是组织资源元素的基类，专门用于与组织资源相关的信息建模。**BusinessObject**（业务对象）是指在业务过程中需要处理和操作的各种数据对象，包括文档、表单、产品、数据域等几个子类。**BusinessRule**（业务规则）类用来表示业务过程中遵循的处理规则。**SimulationInfo**（仿真信息）类用于实现与仿真相关的信息建模。**Relationship**类用于表示关系（业务过程、组织资源、业务对象等两两之间的关系）。**View**是所有视图的基类，包括过程视图、组织视图、资源视图、信息视图、外部视图和模型元素池。**Time**是与时间管理相关的基类，便于模型中对时间的统一管理。**ExternalAttribute**用于建模用户自定义外部属性。

与普通工作流元模型相比，这一元模型扩充了模型维护管理、组织资源管理、仿真及时间管理的功能，同时为用户提供了自定义外部属性的机制。

3 过程元模型

上述的元模型框架涵盖面较广，以下重点讨论与过程模型相关的元模型部分，见图3。

Process类是所有过程模型元素的基类，它是一个抽象类，包括描述过程的基本属性(ProcID, ProcName等)和操作(保存数据、读取数据等)。

过程模型需要相应的功能对其模型元素进行管理、维护及扩展，这些功能是由**BusinessProcess**类来完成的。它是**Process**和**Model**类的子类，其属性**AccessLevel**表示该业务过程对其他过程的开放权限。同时过程中处理的数据要用到**RelatedData**关联。

过程模型的核心元素是活动(Activity)和变迁(Transition)。**Activity**用于描述与业务活动相关的元素，它又包括以下子类：连接符(Connector)、活动块(BlockActivity)、模块(Block)、调用活动(Subflow)、路由活动(Route)、自动应用(Application)和人工型活动(Implementation)。

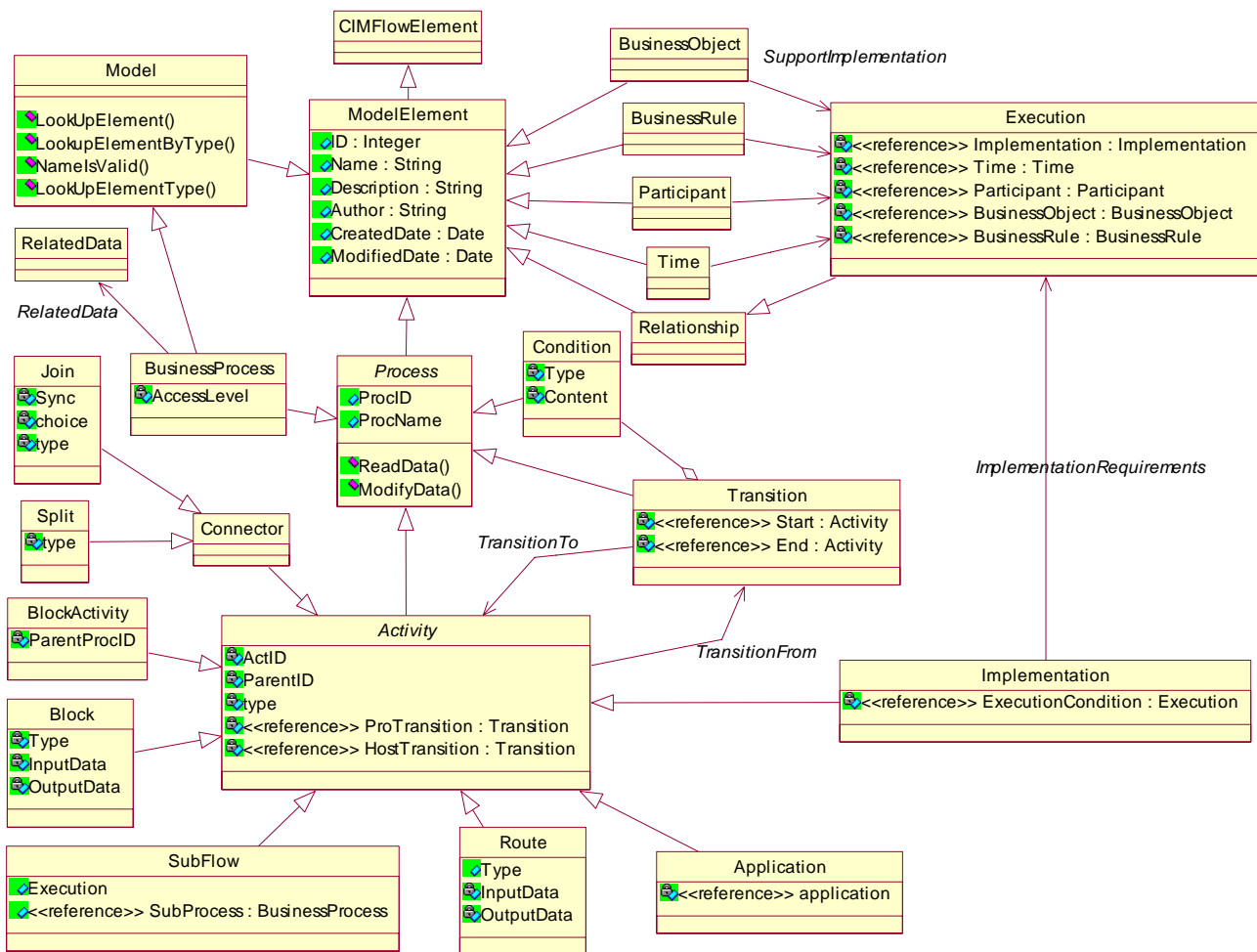


图3 过程元模型

在WPDL中，汇聚（join）、分支（split）结构和它们的约束（AND,OR,XOR）的说明是与活动集成在一起的，但是实际业务过程中常常需要对结构和约束进行动态的修改，这必然会引起活动定义的变化。本着软件工程中问题分离的原则，这里将汇聚、分支结构和它们的约束的说明用“Connector”封装起来，以使活动、转移、连接符互不影响，达到灵活与约束并存的目的。其中Join用于合并多条路径，Split定义流出转移的并发，其合并与分支方式都要根据type（AND,OR,XOR）属性来决定。连接符之间可以互连，从而组成更复杂的工作流模式^[7]。

考虑到某些特殊流程的需要，专门设置了模块这个类。模块的概念与子过程相似，可以视作不能重用的子过程，其实现机制在后文详述。

变迁（Transition）规定了活动之间的流转，这里的活动是指 Activity 类的所有子类。一般而言，变迁是以连接符为中心的，如果是两个同类活动之间的变迁，则可直接看作顺序流转。活动和变迁之间存在着关联关系，即 Activity 与 Transition 之间的 TransitionTo/TransitionFrom 关联。变迁与条件（Condition）又存在着包含关系，它们都是 Process 的子类。

活动的执行需要相应的资源支持，比如时间、人员、设备等，这就需要在活动和其他所需的资源之间建立相应的关联。比如图3中的调用活动（Subflow）引用子过程(SubProcess)；Implementation 与其所需的 Time、BusinessRule、BusinessObject 以及 Participant 之间建立的 Execution 关联类。

4 工作流性能分析

4.1 可扩展性分析

可扩展性是评价 workflow 管理系统的一个重要因素，上述元模型对于 workflow 可扩展性的提高主要体现在两个方面：

一是在模型层上，External Attribute (ModelElement 的子类，可以为建模元素自定义属性) 和 External View (View 的子类，可以自定义视图) 的引入使用户可以对相应的模型元素进行扩展，由用户自己定制模型元素。二是在元模型层上，基于共同的 MOF 元-元模型，用户可以为非抽象类元素添加继承元素，起到用户自定义模板的效果。例如为“自动应用”添加一种继承元素“Email”，则可以在用户建模的模型中重用此类自动应用。

4.2 柔性分析

工作流的柔性和动态性主要表现为：建立阶段能够动态修改模型，运行阶段能够实时控制并根据需求在线修改模型。在上述过程元模型中，变迁、条件与连接符是彼此分离的，这就为建模人员提供了很大的灵活性，它体现了建立阶段的柔性。

运行阶段的柔性体现在以下两方面：

1、参考文献[8]中的思想，对Join元素设置Sync属性与choice属性。Sync属性用于定义同步合并模式，当Join所定义的多条路径汇聚到中心任务时，如果只有一条任务是活动的，那么中心任务将被执行。如果不只一条路径是活动的，进入中心任务的多条路径将被同步。choice属性用于定义一个或多个分支到达即执行任务，从而忽略其他分支的到达，这就实现了路径鉴别器和n/m合并模式^[8]。

2、模块元素的引入。

定义 1 模块可形式化表示为：

$Block = \langle BlkID, ProcID, Type, InputData, OutputData, State, Participant \rangle$

其中，BlkID 是模块 ID；ProcID 是过程 ID；Type 是模块的类型，分为 normal（普通模块）、cycle（循环模块）和 MultiInst（多实例模块）；InputData 和 OutputData 是模块的输入/输出数据列表；State 是模块的状态，分为运行、等待、完成、中止等；Participant 是模块的参与者集合。

普通模块相当于不能重用的子过程，type=normal，InputData 和 OutputData 可根据实际需要设置。

循环模块用于描述需要反复执行的多个活动实例。为了区分多个活动实例的执行数据及相关信息，又为每个活动实例添加“活动实例执行次数 ActInstnum”这个属性，从而避免了活动执行数据的重写和覆盖。循环模块在普通模块定义基础上，加入了 Do-While 循环条件，以动态决定内部过程的运行次数。例如一个文档审批过程，文档初稿作为输入数据，经过不断的审查、修改最后形成正式文档。运行时循环模块创建一个文档作为全局数据，它对于所有的内部模块实例都是可读可修改的，直到 Do-While 条件满足为止。

多实例模块用于一个活动需要同时启动多个实例的情况，这是 workflow 进行任务分配时经常遇到的问题。例如审批普通文档时需三位领导通过，则要启动三个审批活动，而审批重要文档时需五位领导通过，则启动五个审批活动。活动数目可以由系统根据前面活动中的数据或条件判断决定，也可由用户在执行到此环节时人为指定。每一位评审员的评审都是这个活动的一个实例，有时不要求所有评审员都返回意见，只要返回的意见数达到一个阈值（小于等于总人数）就可以结束该评审活动。

根据这一思想设计的多实例模块（见图 4）主要有两个输入参数： m 表示启动活动实例的总数， j 表示结束条件（阈值）。即如果活动的全部 m 个实例有 j 个（ $1 \leq j \leq m$ ）完成后，该活动就执行完毕，继续对后继活动进行实例化。对于那些没有完成的活动实例，由系统通知活动执行者结束或者强制结束。

基于上述的工作流元模型所构建的 workflow 管理系统可以实现 21 种 workflow 模式^[7]中所有的基本控制模式及高级分支与同步模式，另外采用多实例模块可以实现多实例模式中的“具有先验设计时知识的多实例”和“具有先验运行时知识的多实例”，采用循环模块可以实现加限制的循环模式。

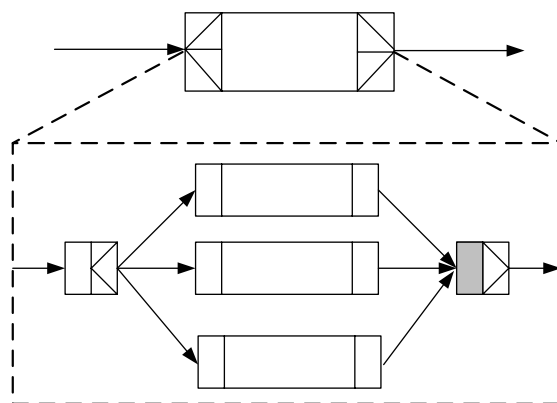


图 4 多实例模块

5 结束语

本文在比较分析各种工作流元模型的基础上,提出一种基于 MOF 的工作流元模型,它具有良好的柔性、可扩展性和互操作性,并能够实现多种工作流处理模式。这一元模型被应用于作者所在研究组正在开发的集成化企业建模工具中,它将建模、仿真和工作流纳入统一的元建模框架,从而实现三者的良好集成。当然在设计中还有很多不完善的地方,MOF 规范虽然提供了模型转换的机制,但是具体的转换规则还有待进一步的工作。

参考文献

- [1] Workflow Management Coalition. Workflow process definition interface—XML process definition language[DB/OL],2002-10. [2005-04-08] http://www.wfmc.org/standards/docs/TC-1025_10_xpdl_102502.pdf.
- [2] 魏歌. 工作流互操作问题的元模型“活动”包研究[J]. 航空计算技术, 2005,35(2): 83-86.
- [3] Object Management Group. Meta Object Facility(MOF) Specification[S]. USA:OMG Press, 2002-04.
- [4] Schulze W. Fitting the Workflow Management Facility into the Object Management Architecture [M]. OOPSLA97 Atlanta, 1997.
- [5] Xavier L P, Thomas V. A cooperative workflow management system with the Meta-Object Facility [A] . Proceedings of Fifth IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC01) [C]. Washington, D. C. , USA: Enterprise Distributed Object Computing, IEEE, 2001: 273-280.
- [6] OMG/ORMSC. Model Driven Architecture. OMG Document Ormsc[EB/OL]. www.omg.org, 2001-07-01.
- [7] van der Aalst WMP. Workflow patterns. Technical report[EB/OL]. Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2002. [2005-05-20] <http://is.tm.tue.nl/research/patterns/download/wfs-pat-2002.pdf>.
- [8]任洪涛,齐璇,柳军飞. 工作流过程元模型研究[J]. 计算机工程与设计, 2003,24(8):18-21.

作者简介: 刘博 (1981—), 女 (汉族), 河北涿州人, 清华大学自动化系系统集成研究所, 博士研究生, 研究方向为企业建模、工作流等。E-mail: liubo03@mails.tsinghua.edu.cn。

范玉顺 (1962—), 男 (汉族), 江苏扬州人, 清华大学自动化系系统集成研究所, 博士生导师, 研究方向为企业建模与诊断、工作流管理与企业经营过程重组、网络化制造、集成平台、Petri网等。E-mail: fanyus@tsinghua.edu.cn。

附: 联系电话: 010—62791396, 010—62789635(1070), 13717677910

通信地址: 北京市海淀区清华大学自动化系 CIMS 工程研究中心 刘博 100084