面向领域的仿真设计建模工具 SMDEMO

温 玮 方 伟 黄晓冬 何 友

(海军航空工程学院 信息融合研究所, 烟台 264001)

摘 要: 讨论了面向领域的仿真设计建模工具 SMDEMO的设计和实现. 基于透明性、正交性、层次性的视图分解原理, 对处于不同阶段、面向不同用户、涉及不同方面的系统模型采用多视图进行分解, 建立了以多视图为核心理念的系统协同建模方法, 给出了该建模方法下建模所需遵循的过程指导. 针对领域模型描述、表示以及操作等多个方面对工具重构的需求, 研究得到了基于元对象反射模型的工具架构; 架构具有良好适应性, 使得工具重构更灵活、简捷. 对 SMDEMO的功能结构进行了简介, 给出了系统实现方案. 最后, 将 SMDEMO与典型同类工具作了比较.

关 键 词: 建模工具; 面向领域; 仿真; 多视图; 反射

中图分类号: TP 311

文献标识码: A 文 章 编 号: 1001-5965(2010) 08-0981-05

Domain-oriented simulation designing and modeling tool

Wen Wei Fang Wei Huang Xiaodong He You

(Research Institute of Information Fusion, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract The design and implementation of the domain-oriented designing and modeling tool, SMDEMO, were discussed. A cooperative modeling methodology supporting multi-views modeling was built by decomposing system models which involve various modeling stages, users, aspects into multi-views based on principles of transparency, orthogonality and hierarchy, and the guidelines for the modeling processes were also presented. In consideration of the different needs for the description, representation and operation of the models in different domains, a reflective architecture based on the meta-object model was built. The architecture has good adaptability, and can make the customization of the tool more flexible and concise. The system structure and functions were introduced briefly, and the software implementation was presented. At last, SMDEMO was compared with the similar representative tools.

Key words modeling-tool; domain-oriented; simulation; multi-views; reflection

模型驱动开发 (MDD, Model-Driven Development)已经成为当前主流的软件开发模式. 该模式的一个显著特点为, 软件系统的全生命周期, 即分析、设计、实现、验证与优化的各个阶段, 都辅以一系列自动化工具, 软件的质量和开发效率得到提升. 其中, 设计建模工具提供图形交互式手段支持系统分析和设计, 并将设计结果转化为软件制品, 是 MDD开发平台的核心部件.

当前, 针对用面向对象的方法开发软件, 流行围绕 UML标准研制和开发面向对象的软件建模工具, 国内外的典型产品包括 Rational Rose, Gdpro, Visual UML和 JBOO[1]等. UML概念丰富, 表达能力强, 为面向对象的软件建模树立了统一的旗帜. 但在实践中, 人们对 UML提出了一些批评: ①它包含的概念过于庞大和复杂, 用户很难全面、熟练的掌握它, 且许多概念在工程实践中很少应用; ②UML面向软件专业人士, 其它行业的领域专家无法运用它进行系统分析和设计; ③过于通

收稿日期: 2009-06-20

基金项目: 总装备部仿真预研资助项目 (513040301); 总装备部基金资助项目 (9140A04010209JB1406)

作者简介: 温 玮 (1979-), 男, 江西石城人, 讲师, diudiu0115@163.com.

用,无法直接捕获领域需求,描述领域模型.

鉴于此,一些面向领域的建模工具相继问世,如北京仿真中心的协同仿真平台 COSM,吉林大学计算机科学与技术学院的 GTM[2],海军航空工程学院的 SMDEMO.相对于面向对象的软件建模工具而言,领域建模工具提供了领域知识的描述和表示法,使得领域专家直接能够参与系统分析和设计,从而进一步提升了软件系统的开发效率和质量.

本文围绕面向领域的仿真设计建模工具 SMDEMO的研究与实现,详细阐述了 SMDEMO所支持的复杂系统多视图、多粒度建模规范,提出了一种支持跨领域复用、基于元对象反射模型的工具架构,对 SMDEMO的功能结构进行了简介,给出了系统实现方案.

1 复杂系统多视图建模规范

复杂系统,指的是一类具有"系统组成关系复杂、系统行为复杂、系统的子系统间以及系统与其环境之间交互关系复杂和能量交换复杂、总体行为具有涌现、非线性以及自组织、混沌等特点的系统"[3].复杂系统的特点决定了其不能简单地通过系统的局部特性去描述整个系统特性,需要从多个角度、多个视点去分析和建模;此外,在系统设计的不同阶段,面向不同角色的用户,需要提供具有专业特色的建模手段[4].

作为 SMDEMO的应用背景,虚拟样机、军事装备体系对抗、武器装备训练模拟器是仿真应用的 3大领域,并且均具有复杂系统的特点.本文经过多年来对复杂系统建模仿真方法研究成果的积累和实践的总结,制定出了一套复杂系统多视图、多粒度建模规范.

系统视图的分解方法如图 1所示.系统视图的分解主要基于关注点分离的思想,而这种思想体现为透明性、正交性和层次性 3个原理.

1) 透明性.透明性主要指用户关注点的透明性,该原理要求系统面向不同用户表现出来的特征仅为本类用户所关心,而隐藏其它用户不关心的成分.复杂仿真系统的开发过程中通常涉及 3类用户:①领域专家,运用业务知识参与系统分析和设计;②软件开发用户,基于面向对象的思想完成领域模型元素的封装与抽象;③系统实现用户,将软件系统分解为成员、组件 2个层次,将领域模型元素部署至相应的软件制品中.基于透明性原理,系统视图在顶层可划分为业务视图、软件开发视图和系统实现视图.

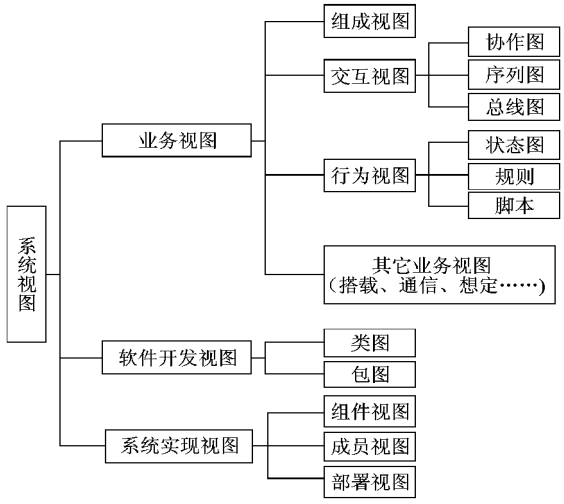


图 1 复杂系统的多视图分解

2) 正交性.正交性分割原理要求从不同角度、不同视点描述系统,以形成一个完备的系统模型,且各个视图具有相对的独立性和较少的耦合性;基于该原理,顶层视图可进一步进行分解.其中,业务视图所包含的内容及其表现形式会因领域而异,但一般包括组成视图、交互视图和行为视图;软件开发视图以及系统实现视图与一般的建模工具差别不大,并遵循相应的规范.

3) 层次性.层次性是复杂系统的基本特征,自顶向下也是降低、分解系统分析和设计复杂度的基本手段.该原理要求系统的某些视图(组成视图、交互视图、软件开发视图、系统实现视图)具有多粒度性,表达的模型信息具有复合、分解的能力.

基于 SMDEMO进行系统建模的过程指导如图 2所示,分为 3个阶段:①领域建模;②模型元素的封装与抽象;③系统分解与模型部署.在各个阶段,分别由不同角色的用户参与,并产生不同的制品.建模过程并非瀑布式的,即 3个阶段是可反复的.

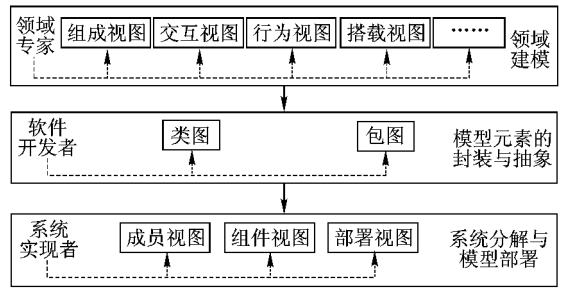


图 2 基于 SMDEMO建模的过程指导及产生的相应制品

2 基于元对象反射模型的工具架构

领域建模工具一般具有很强的业务针对性,

要求其中的模型关注点、模型的组织形式、知识的表示、操作模式等是为该领域设计和分析量身订做. 正因为如此, 针对领域建模的特点, 对建模工具进行重构是一个热点和难点问题.

运用开放实现原理设计的软件系统具有良好的适应性, 通过将基界面与元界面分离, 开放实现使得系统可以有针对地暴露接口改变内部的部分实现策略以及行为, 以满足不同应用环境下的功能需求[5]. 反射, 是系统的一种对自身进行推理和作用的能力[6], 是开放实现的一种行之有效的技术手段.

本文引入反射技术设计 SMDEMO的核心架构, 架构基于一种典型的元对象反射模型[7]实现, 如图 3所示.

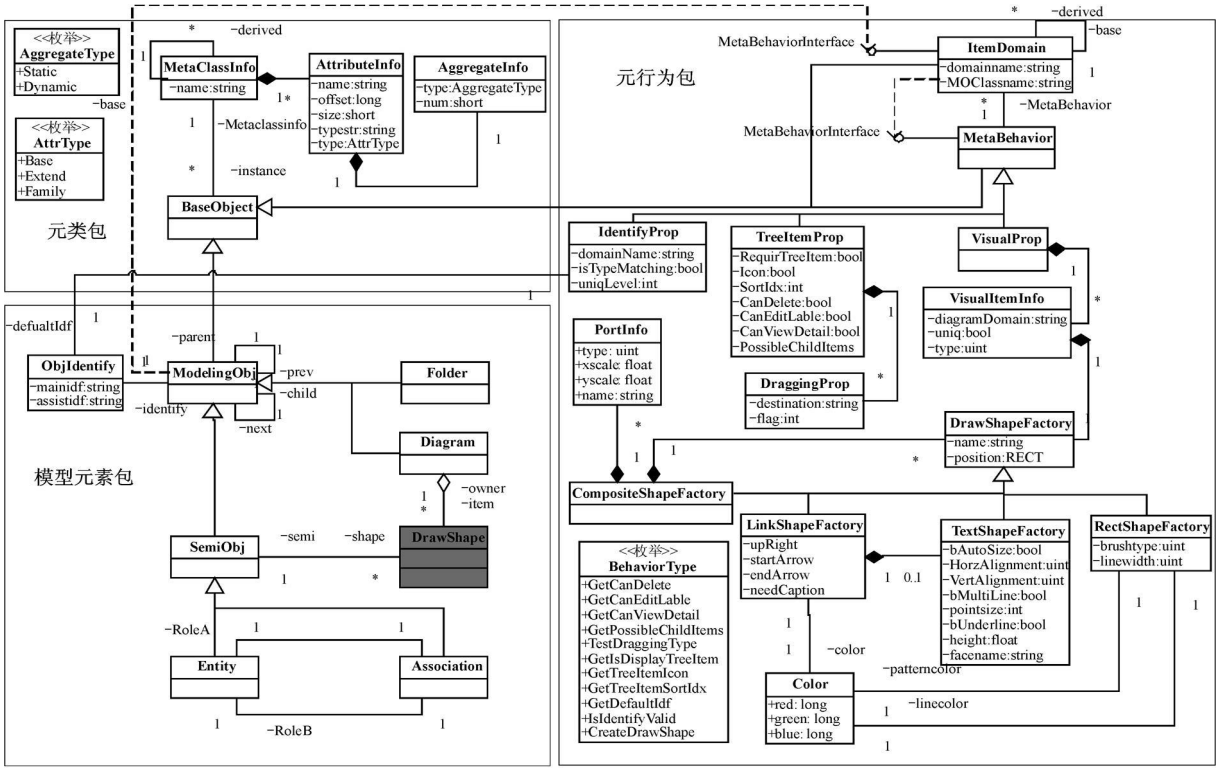


图 3　基于元对象反射模型的工具架构

1) 在基界面上, 形成一个高度抽象的核心概念系统, 用少量的、种类固定的模型元素类模版封装模型元素, 使它们具有自组织、可视化、响应用户操作的能力; 模型元素构成了工具的基对象集.

2) 在元界面上, 通过域描述机制描述模型元素在应用域中的具体类型, 从而使得模型元素种类的扩展可以不受限制; 通过具有不同功能职责的元行为执行体执行各种类型的元计算, 元计算的结果将作用到模型元素标识特性、组织特性、可视化特性以及操作模式, 元计算的执行参数来源于工具重配置文件; 域描述、元行为执行体构成了工具的元对象集.

3) 一个基对象需要绑定一个域描述, 一个域描述挂接多个元行为执行体, 从而实现基对象与元对象的关联; 关联关系于工具重配置文件中描述, 重配置文件描述了工具所支持的模型元素域类型以及其映射的元素类模版 (模型元素的载体)、元行为执行体, 当模型元素动态创建时, 通过查找映射建立关联; 为了便于扩展, 基对象与元对象之间的通信采用统一的接口形式.

4) 引入经典的元类机制支持元对象、基对象的类型识别、动态创建、复制、序列化等基础服务.

目前, 通过应用于多个领域的实践证明, 引入反射技术设计工具的核心架构, 并通过基于插件的扩展机制, 使得 SMDEMO能够快速重构, 并适应不同领域建模的需要.

3　系统功能结构

SMDEMO提供图形交互式手段进行系统建模, 并辅以软件制品的自动生成, 其功能结构如图 4所示. 其中, 可视化建模遵循 2 1节中给出的过程指导, 各个阶段涵盖了绘图、查询与导航、数据可视化、操作回溯、模型一致性维护等子功能; 且设计结果可序列化形成建模文档, 模型信息可导

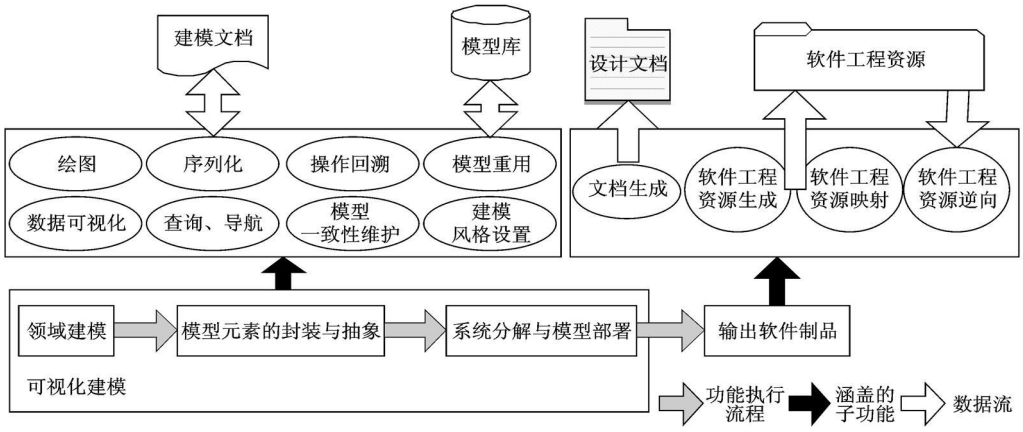


图 4 SMDEMO的功能结构

入模型库,以支持设计的复用. 生成的软件制品包括设计文档、软件工程资源,后者泛指可由模型信息映射产生,并支持软件制品编译运行的代码、软件工程配置、脚本等; 为了实现增量式开发,并复用遗产系统, SMDEMO提供了逆向功能.

1) 绘图: 可视化图符也是模型的一种存在形式,软件开发视图、系统实现视图中的图符遵循传统的 UML规范,业务视图中的图符可根据领域专家的习惯进行定制,工具的反射式架构为这种定制提供了强有力的支持.

2) 数据可视化: 该功能用于提供图符以外的其它手段显示模型的细节信息、统计信息,并维护数据与显示的一致性.

3) 查询与导航: 用于快速检索、查看、链接模型元素及其关联信息.

4) 模型一致性维护: 模型元素之间存在关联关系,某个模型元素的语义修改或者删除,会要求其关联者进行相应的信息更新. 该功能用于自动维护这种一致性.

5) 操作回溯: 实现建模操作 (可以是批量操作)的回溯和重做.

6) 序列化: 实现设计结果的格式化存储和恢复; 此外,为了防止异常引起的结果丢失,支持定时备份和恢复备份文档.

7) 模型重用: 为了实现模型的重用, SMDEMO可以连接模型库; 模型重用功能模块用于检入、检索、检出模型元素及其关联信息,并负责版本维护.

8) 建模风格设置: 根据用户的喜好,设置标识风格、元素排序规则、图形显示样式等.

9) 文档生成: 导入模型的语义、图符、统计信息,生成 WORD格式的系统设计文档; 文档的格式、内容是可以定制的.

10) 软件工程资源的生成、映射与逆向: 模型映射是 MDD中的核心部件; SMDEMO也提供了相应的功能模块实现平台无关模型 (PIM, Platform Independent Model)和平台相关模型 (PSM, Platform Specific Model)之间的映射. 软件工程资源的生成与映射均属于软件正向工程,区别在于前者用于产生资源框架,后者只是更新资源框架,而保留软件实现人员于软件细化过程中的编码、配置、脚本等; 软件工程资源的逆向属于软件逆向工程,需从资源中恢复出平台无关的模型信息. 目前, SMDEMO的应用领域均属于分布交互式仿真系统,涉及的互联、互操作中间件包括 HRFW[8]和 NavyCORBA, SMDEMO针对不同的仿真引擎,对模型映射功能模块进行了定制.

4 系统实现

图 5给出了 SMDEMO的软件实现框架,其体系结构基于 MVC(Model View, Controller)模式实现.

1) 数据模块: ①元类包 (MetaClass),用于实现软件对象的自描述; ②模型元素包 (ModelItem),基于黑箱实现原理,在基界面上对模型元素的特性和行为进行抽象; ③元行为包 (MetaBehavior),基于开放实现原理,在元界面上对模型元素的特性和行为进行抽象. 三者构成了基于元对象反射模型的工具核心架构.

2) 视图模块: ①人机界面框架 (GUIFramework),提供工具的界面框架,包括菜单、工具栏、模型资源树以及工具绘图区; ②模型信息显示与编辑界面 (DetailGUI),提供显示与编辑模型详细信息的属性页; ③图形包 (DrawShape),实现模型信息的可视化.

3) 控制模块: ①序列化包 (ModelArchive),实

现模型语义信息与图符信息的序列化; ②模型重用包 (ModelReuse), 连接模型库, 实现模型信息的检入、检索与检出; ③模型映射包 (ModelMapping), 实现模型至设计文档、软件工程资源的映射; ④建模操作包 (ModelingAction), 执行用户对模型的操作 (创建、删除、语义修改), 支持回溯与重做.

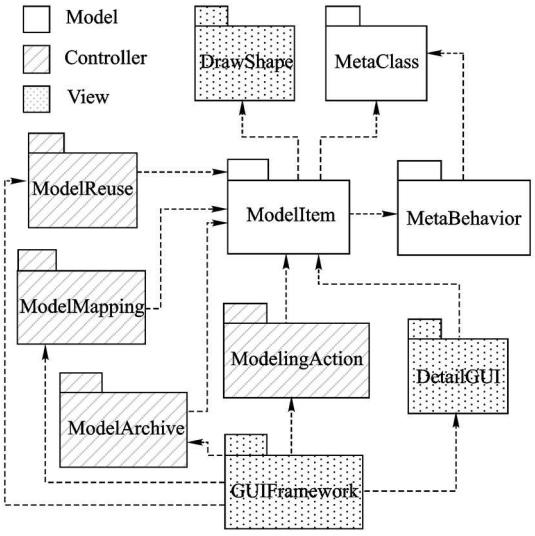


图 5　SMDEMO的软件框架

5 结束语

SMDEMO是支持 MDD的仿真系统快速开发平台 SMFaster[9]的一个子工具. SMFaster由仿真引擎和一系列自动化工具组成, 用于支撑仿真系统的设计建模、部署、互联与互操作、运行管理, 目前已成功应用于虚拟样机、体系对抗、武器装备训练模拟器的研制.

与传统的面向对象建模工具不同, SMDEMO构建的多视图、多粒度建模规范, 将描述领域知识的业务视图纳入系统视图, 使得领域专家可直接参与系统分析和设计; 同时摒弃了一些 UML中的复杂概念, 简化了建模过程.

针对领域建模的特点, 对建模工具进行重构是一个热点和难点问题. 文献 [2, 10-11]基于元建模技术进行了积极的尝试, 通过规范元建模语言、生成工具代码框架、集成插件等技术支持工具的重构, 但均变现为工具重构过程复杂, 且重构过程中代码维护、开发成本较高. 本文基于反射技术构建工具的核心架构, 使得架构仅通过重配置就能适应领域建模的需求变化, 为实现建模工具的重构提供了一种新的可行方案.

目前, 支持模型的动态执行、验证与结果可视化, 是 SMDEMO下一步的研究方向.

参考文献 (References)

[1] 麻志毅, 赵俊峰, 孟祥文, 等. 青鸟面向对象软件建模工具的研究与实现[J]. 软件学报, 2003, 14(1): 97-102
Ma Zhiyi, Zhao Junfeng, Meng Xiangwen, et al. Research and implementation of jade bird object-oriented software modeling tool [J]. Journal of Software, 2003, 14(1): 97-102 (in Chinese)

[2] 庞世春, 刘淑芬. 一种领域建模工具的研究与实现[J]. 计算机工程, 2007, 33(18): 270-272
Pang Shichun, Liu Shufen. Research and implementation of specific domain modeling tool[J]. Computer Engineering, 2007, 33(18): 270-272 (in Chinese)

[3] 刘兴堂, 梁炳成, 刘力, 等. 复杂系统建模理论、方法与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 6
Liu Xingtang, Liang Bingcheng, Liu Li, et al. Modeling theory, measure and technology for complex system [M]. Beijing: Science Press, 2008: 6 (in Chinese)

[4] 黄晓冬. 复杂系统多视图多粒度建模仿真方法研究及应用[D]. 北京: 北京航空航天大学自动化学院, 2008
Huang Xiaodong. Research on multi-views multi-granularities modeling and simulation for complex system with application [D]. Beijing: School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008 (in Chinese)

[5] Kiczales G. Beyond the black box: Open implementation [J]. IEEE Software, 1996, 13(1): 8

[6] Smith B C. Reflection and semantics in lisp[C]//Proceedings of the 1984 ACM Principles of Programming Language Conference. New York: ACM, 1984: 23-25

[7] Cazzola W. Evaluation of object-oriented reflective model[C]// Proceedings of ECOOP Workshop on Reflective Object-Oriented Programming and Systems. Brussels: Springer, 1998: 386-387

[8] 黄晓冬, 李伯虎, 柴旭东, 等. 基于反射的分布交互仿真软件框架[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(8): 994-999
Huang Xiaodong, Li Bohu, Chai Xudong, et al. Reflection based distributed interactive simulation framework[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007, 33(8): 994-999 (in Chinese)

[9] Wen Wei, He You, Huang Xiaodong, et al. The design & simulation platform for the C2 system of fleet[C]//Proceedings of the International Conference on Information Computing and Automation. Sinapore: World Scientific, 2007: 1503-1505

[10] 李晓春, 刘淑芬, 于卓尔. 一种基于 MOF的两级建模工具的设计与实现[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(3): 6-8
Li Xiaochun, Liu Shufen, Yu Zhuoer. Design and implementation of a two-level modeling tool based on MOF[J]. Computer Applications and Software, 2008, 25(3): 6-8 (in Chinese)

[11] 马浩海, 谢冰, 麻志毅, 等. PKUMoDEL: 模型驱动的开发和语言家族支持环境[J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(4): 686-692
Ma Haohai, Xie Bing, Ma Zhiyi, et al. PKUMoDEL: A model-driven development environment for languages family[J]. Journal of Computer Research and Development, 2007, 44(4): 686-692 (in Chinese)

(编　辑: 文丽芳)