

基于元模型的军事信息系统体系结构建模方法*

谢文才, 罗雪山, 罗爱民

(国防科技大学 信息系统工程重点实验室, 湖南 长沙 410073)

摘要: 为了实现不同体系结构框架方法论及体系结构工具下所开发体系结构的可理解、可比较、可交换, 促进体系结构数据的共享和重用, 提出了基于元模型的军事信息系统体系结构建模方法; 以模型驱动体系结构(MDA)思想为基础, 研究了体系结构元模型到支持体系结构建模语言的转换方法; 设计了元模型规范下的体系结构建模的实现方法; 以作战规则模型(OV-6a)的IDEFO建模为例分析了转换方法所涉及及核心规则的具体实现, 说明了该方法的可行性和有效性。

关键词: 体系结构; 体系结构建模; 元模型; 可扩展标记语言

中图分类号: TP303 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-2486(2012)01-0082-06

Meta-model based modeling of military information system architecture

XIE Wencai, LUO Xueshan, LUO Aimin

(Science and Technology on Information Systems Engineering Laboratory, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: In order to enhance the understanding, comparison and integration of architecture developed under different architecture frameworks and tools, and to promote the sharing and reuse of architecture data, a new method, named meta-model based methodology of architecture modeling, was proposed. Based on the idea of model driven architecture (MDA), this method presented a transformation approach from architecture meta-model to modeling languages with the extensible markup language (XML) format. On the other hand, the modeling method under the meta-model specification was proposed and three mapping specifications mentioned in the method were designed. To verify its feasibility, the IDEF3-based modeling methods of operation rule model was designed, and the main rule-named modeling primitives and patterns based transformation was analyzed.

Key words: architecture; architecture modeling; meta-model; extensible markup language

为保证体系结构开发的规范性, 实现体系结构的可比较、可集成, 各国先后提出用于指导军事信息系统开发的体系结构框架, 如 C4ISR 体系结构框架 2.0、美国国防部体系结构框架(DODAF 1.0, 1.5, 2.0 版)^[1-3]、英国国防部体系结构框架(MODAF 1.2 版)^[4]等。虽然体系结构产品的形式规范了体系结构设计, 并推荐了产品的描述形式, 但这些框架中定义的产品是非规范化的, 对同一系统中相同产品的描述, 设计人员仍根据自己对产品的理解, 选用不同的建模方法和工具设计出不同的内容, 如作战规则模型(OV-6a)产品可以选择 BPMN 或 IDEF3 建模, 由于建模方法没有提供体系结构数据的语义一致性基础, 使得设计内容、描述形式等都存在差别, 导致体系结构以及进一步开发的系统不可比较、不一致。

鉴于现有体系结构建模方法和工具存在难以

实现交互、重用及一致性理解的问题, 本文提出基于元模型的军事信息系统体系结构建模方法。该方法依托规范的体系结构元模型, 研究基于 XML 的体系结构元模型到不同建模方法之间的转换, 通过底层规范的体系结构数据来降解不同建模方法、工具之间设计语法和语义的冲突, 重点研究了基于建模语言原语-模式的映射规则, 提供了基于 XML 体系结构元模型与建模方法之间转换的理论依据, 最后以作战规则模型(OV-6a)的 IDEF3 建模为例分析了该方法的具体实现。

1 概念框架

以数据为中心已经成为了体系结构开发设计的一种主流思想^[5-6], 基于元模型的体系结构开发设计方法正是对于以数据为中心的体系结构开发策略的具体实现形式。体系结构元模型的初衷

* 收稿日期: 2011-09-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71171197); 国家部委资助项目

作者简介: 谢文才(1984—), 男, 湖南益阳人, 博士研究生, E-mail: xiewencai@sohu.com;

罗雪山(通信作者), 男, 教授, 博士, 博士生导师, E-mail: luoxueshan@gmail.com

不是为了产生一种领域特定的建模语言以及相应的建模工具,而是更好地规范体系结构数据,提供严格的语义一致性基础,属于数据元模型的范畴。领域建模需求不同,其所采用的建模方法也不同,通过对体系结构元模型质量属性特点的分析(包括语义精确性、可扩展性、支持行为语义建模及模型复杂度低等),本文选择基于国际国防企业体系结构规范本体(IDEAS)的上层本体进行元模型的建模。

基于元模型的体系结构建模是体系结构开发设计的核心过程,基于元模型体系结构建模方法的定义如下:在基于以数据为中心的体系结构开发设计思想的指导下,严格采用元模型支持下的标准建模方法来收集、组织、存储体系结构数据,并能在元模型数据规范下灵活定制体系结构描述所需的视图模型来展现体系结构建模所收集的数据,提供对分析决策的支持,从而能实现严格的数据一致性基础,形成灵活、精确的体系结构描述。

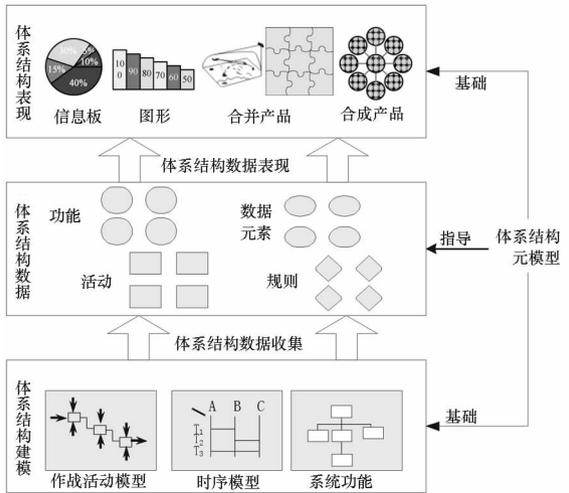


图 1 基于元模型的体系结构建模方法的概念框架

Fig. 1 The conception of meta-model based modeling method of architecture

基于元模型的体系结构建模方法的概念框架如图 1 所示,该方法依据体系结构元模型的数据规范,通过构建建模语言与体系结构元模型的转换规则,基于该规则能够运用多种建模方法有效、精确地收集体系结构数据,面向体系结构的决策目的将体系结构数据以一种决策者喜好的形式有效展现出来,并形成体系结构描述文档,以下将分别为概念框架中涉及的相关技术问题提供一种解决方案。

2 基于 XML 的模型转换

随着可扩展标记语言(XML)技术的广泛应用,XML 已成为不同体系结构框架方法论及数据模型之间数据交换的基础^[7-8]。基于 MDA 的思

想,本文依据 MOF 元建模规范(如图 2 所示),提出了基于 XML 的体系结构元模型到建模语言的模型转换方法。通过构建体系结构元模型到建模方法的映射规则,基于 XML 良好的数据互操作性可有效实现模型转换,并能规范体系结构数据的收集和重用。基于 XML 的体系结构元模型到建模语言的模型转换方法如图 3 所示。作战规则模型(OV-6a)的 XML 文件经过转换、映射为 IDEF3 的 XML 文件是一个可逆的过程,也可通过 IDEF3 建模 OV-6a 来生成 OV-6a 的 XML 文件。如果构建 OV-6a 的所有建模方法(如 IDEF3、BPMN 等)都是基于以上方法实现的,并能提供元模型数据规范的导入导出接口,那么体系结构数据就可以通过不同的建模工具和方法进行有效的组织、收集、存储,并能在不同的体系结构工具和建模方法中展现而不会引起语义丢失和引起歧义。以下分别对图 3 所示方法中涉及的相关转换作简单的分析说明。

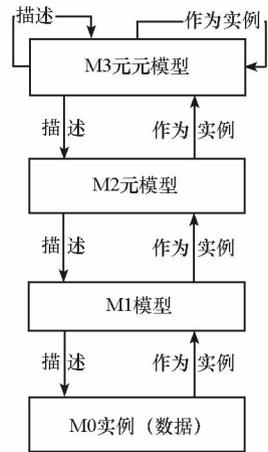


图 2 OMG 的 MOF 四元层规范

Fig. 2 The four layer of MOF

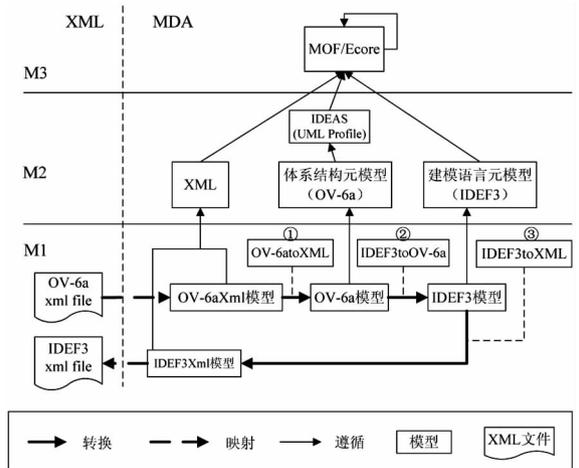


图 3 基于 XML 的体系结构元模型到建模语言的转换方法

Fig. 3 XML based transformation from architecture meta-model to modeling language

转换 1: OV - 6atoXML。依据 UML 建模规范,通过建立了 UML 的扩展文件来表达 IDEAS 的高层本体(如图 4 所示),为生成标准化的 XML Schema 提供了自动化实现的基础。该配置文件为 IDEAS 高层本体中的每个数据元素指定了一个类别模版,通过 XMI^[9](XML metadata interchange)技术来创建 XML Schema,有关 XMI 技术的详细介绍见文献[9 - 10]。这样不同的建模方法和开发工具只要依据 OV - 6a 的 XML Schema 规范,提供体系结构数据的 XML 导入导出接口,那么它们之间的体系结构数据是可以发现和重用的。

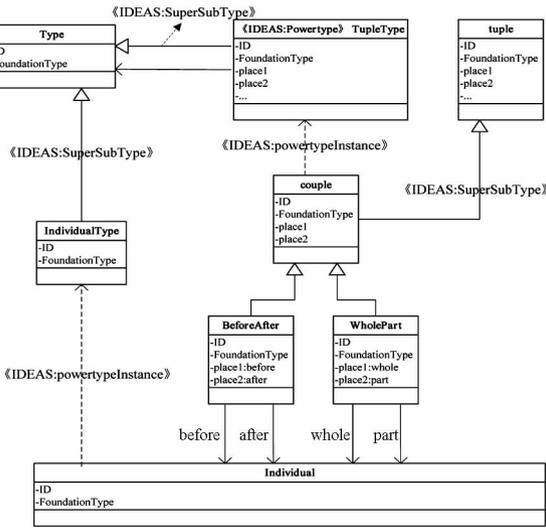


图 4 IDEAS 基础层本体元模型的 UML 描述

Fig. 4 The UML description of IDEAS foundation ontology meta-model

转换 2: IDEF3toOV - 6a。研究 IDEF3 到 OV - 6a 的映射关系,是实现 OV - 6a 的 IDEF3 建模方法的首要前提,是基于 IDEF3 来精确收集、存储及展现 OV - 6a 模型数据的基础,提供了以 XML 格式文件进行模型转换的映射规则。鉴于 OV - 6a 元模型的数据规模较小,可通过手工的方法来识别和构建 IDEF3 和 OV - 6a 元模型的语义映射关系,然后再将映射规则以形式化的方法进行描述。本文将基于原语 - 模式的方法来构建 IDEF3 到 OV - 6a 的映射规则,依据建模语言的原语和建模模式来分析其与 OV - 6a 元模型的映射关系。

转换 3: IDEF3toXML。研究将 IDEF3 模型转换为 XML 格式文件,是实现 OV - 6a 在 IDEF3 建模环境下导入导出相应的 XML Schema 文件的基础。在 IDEF3 建模环境下要生成 OV - 6a 的 XML 文件还需要依据转换 2 中提出的映射规则;如果其他建模语言和工具不是基于以上方法设计的,

那么通过获取相应建模方法的 XML 文件,对图 3 所示转换规则进行逆向执行同样是可以得到规范体系结构数据,并能依据转换 2 将数据在其他不同的建模语言及工具中展现,实现体系结构数据的共享和重用。关于 IDEF3 模型转换为 XML 的方法可参考文献[10]。

3 基于原语 - 模式的映射规则

建模原语 - 模式 (Modeling Primitives and Patterns, MPP)的映射方法是通过有效构建所采用建模语言的原语与体系结构元模型元素的语义映射关系,并对建模语言的建模模式进行最大化的裁剪定制以实现所建模型的使用目的,说明了映射关系中的 1 : 1、n : 1、m : n 规则,该方法的本体描述如图 5 所示。建模语言的原语是指建模的基本元素,如 IDEF3 中的行为单元、交汇点等;而模式反映了建模语言所面向领域的具体需求和规则,如流程建模中的合并、分叉、选择、循环等,不能通过简单的 1 : 1 映射规则进行转换,需要依据具体的模式来构建元模型与建模语言的映射。裁剪指的是集成该建模方法时屏蔽产品建模中不必要的相关建模模式。

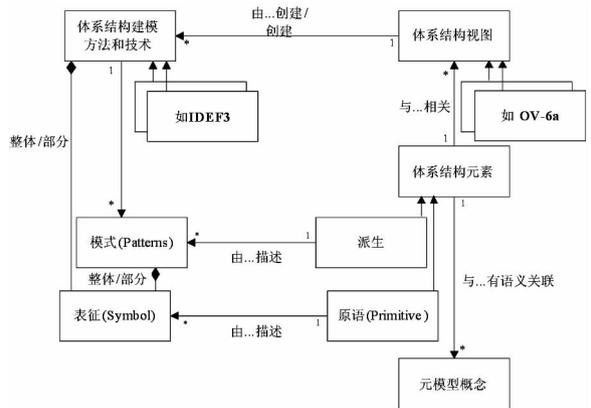


图 5 建模原语 - 模式语义映射方法的本体描述
Fig. 5 Ontology description of MPP mapping method

原语 (Primitives)建立了体系结构核心概念与它们相关联的体系结构模型之间、体系结构模型与不同的建模方法技术之间的关系,以及建模方法技术与体系结构概念标准化描述之间的关系,体系结构建模方法、工具与体系结构元模型的关系如图 6 所示。基于元模型的体系结构开发强调体系结构数据的灵活执行以满足不同决策者的分析所需。然而,不同建模方法的建模原语及建模模式(通常指的是建模语言的元模型)会有不同,所以需要建立不同建模方法与体系结构数据的严格对应关系并对建模模式进行有效裁剪,这

是实现体不同的组织团体对体系结构数据产生一致理解的基础,以及不同的体系结构建模方法之间实现数据交换的有效途径。

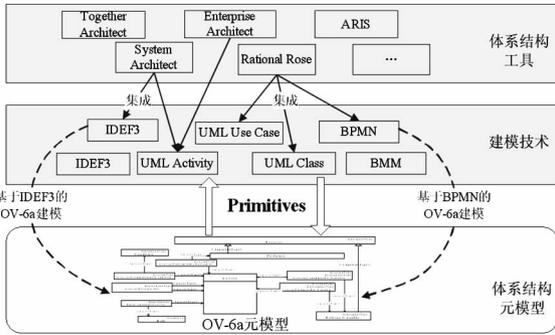


图 6 体系结构建模方法、工具与元模型的关系图
Fig. 6 Relationship between modeling methods, tools and meta-model

4 OV-6a 的 IDEF3 建模

作战规则模型(OV-6a)主要用来描述体系结构的规则、军事作战计划以及活动执行的条件、顺序等,而 IDEF3 过程模型提供了一种结构化的方法来描述系统所做的事情,获取系统受到的约束,以及获取活动的顺序执行等,能够满足 OV-6a 的建模需求^[12]。对于 OV-6a 产品的 IDEF3 建模,只需要 IDEF3 一些基本的建模模式

即可满足建模需求,如顺序、分叉、合并等,而对于其他建模模式(见文献[11]),在引入该建模方法时可进行屏蔽。限于篇幅,本文只对转换 2 进行详细描述,而其他规则可依据文中所提出方法进行转换。

4.1 OV-6a 元模型的构建

IDEAS 的上层本体结构如图 4 所示,基于 IDEAS 上层本体构建产品 OV-6a 数据元模型如图 7 所示,其中主要分为概念类和关联类,概念类是对体系结构领域高层概念的抽象,继承于 IDEAS 中的实体类(IndividualType),关联类是对体系结构领域高层概念之间关系的抽象,继承于 IDEAS 中的元组类(Tuple),并分别对应于元组类中的通用模式(如 OverlapType, BeforeAfterType, WholePartType 等),有利于数据的追踪及规范的 XML Schema 生成。

为了更好地实现形式化的转换,提供自动化的处理基础,结合 IDEF3 建模方法的基本流程模式,本文为 OV-6a 元模型设计了活动执行规则类(ExecutedRule, 是一个枚举类型),ExecutedRule 派生于作战规则类(Rule),主要包括七种通用的流程执行模式^{[13][14]}:顺序、合并与、合并或、合并异或、分叉与、分叉或和分叉异或等。

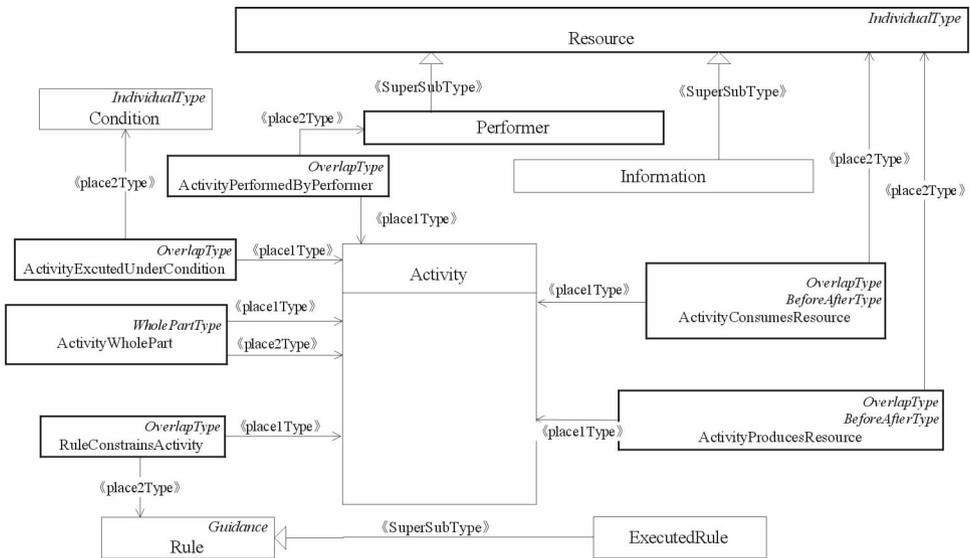


图 7 OV-6a 元模型
Fig. 7 Meta-model of OV-6a

4.2 主要流程模式的映射

根据交汇点的两种分类方法,可以将交汇点分为六种情况:合并与、合并或、合并异或、分叉与、分叉或、分叉异或。事实上,IDEF3 还可表示

时间上的同步或异步关系^[15],但是由于 OV-6a 是不依赖于具体想定的,所以只描述了动作之间的逻辑关系,并没有描述动作关于时间的信息,每个动作的时间分布信息是和具体想定相关的,应该在建立仿真模型时添加这些时间信息,所以对

于 OV - 6a 的 IDEF3 建模只需要考虑这基本模式的映射规则,这也是对文中第 3 节建模模式最大化裁剪定制的有效实现。

(1)“合并与”模式。其语义为交汇点前的所有行为单元都执行完成后,交汇点后的行为单元

才开始执行,并且该行为单元的执行需求交汇点前所有行为单元执行后所产生的信息资源。“合并与”模式关联 OV - 6a 元模型的执行规则类 (ExecutedRule, value = “合并与”),该模式映射的其他元模型中数据元素如图 8 所示。

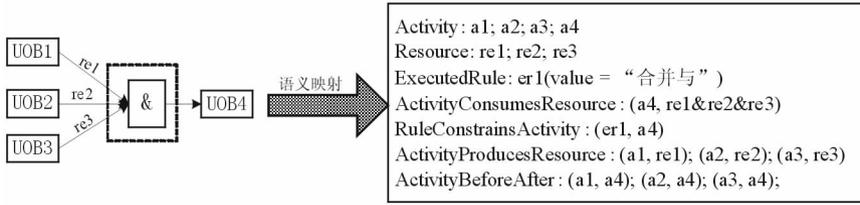


图 8 “合并与”模式
Fig. 8 AND fan-in pattern

(2)“合并或”模式。其语义为交汇点前的行为单元可以有一个或多个执行,交汇点后的行为单元只执行一次,判断依据为交汇点前的行为单元执行后所产生的资源 (Resource),“合并或”模式关联 OV - 6a 元模型的执行规则类 (ExecutedRule, value = “合并或”),该模式映射的其他元模型中数据元素如图 9 所示。

行为单元只能有一个执行,由每个行为单元的执行条件来控制,交汇点后的行为单元只接收交汇点前一个行为单元执行产生的信息资源,如果接收到来自两个或多个行为单元所产生的信息资源,则认为语义逻辑错误。“合并异或”模式关联 OV - 6a 元模型的执行规则类 (ExecutedRule, value = “合并异或”),该模式映射的其他元模型中数据元素如图 10 所示。

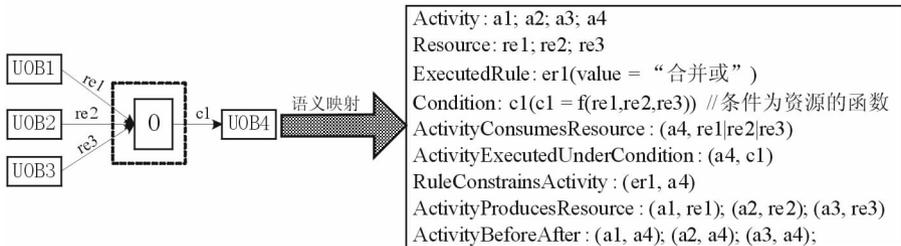


图 9 “合并或”模式
Fig. 9 OR fan-in pattern

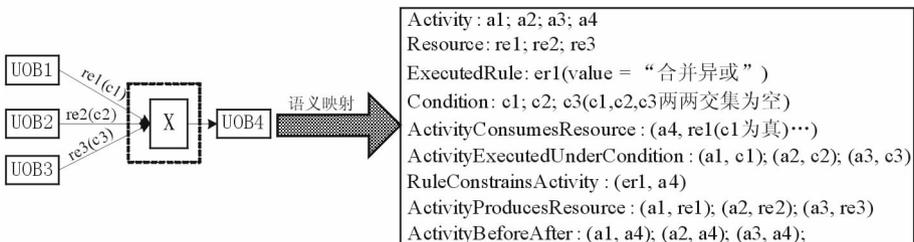


图 10 “合并异或”模式
Fig. 10 XOR fan-in pattern

关于分叉与、分叉或、分叉异或三种模式的映射规则可基于相应的语义,依据以上方法来构建。简单通过构建建模语言原语与元模型元素的映射关系无法表达精确的语义,而需要有效识别建模语言不同的模式与元模型元素精确的映射关系,

以更好地实现规范的模型转换。

5 结束语

由于当前体系结构建模方法和工具之间大多不是基于统一的元模型数据规范,对相关产品的

建模也不是基于统一的建模方法,给体系结构的一致理解及体系结构数据的重用、交换带来很大的困难。本文基于以上问题,依托规范的体系结构元模型,提出基于元模型的信息系统体系结构建模方法,研究基于XML的元模型到建模语言的模型转换方法以及方法中涉及的三种转换规则,以OV-6a的IDEF3建模为例,重点对建模原语-模式的语义映射方法进行了详细研究,为体系结构建模方法的具体实现提供了理论和方法支持。基于本文所设计的方法执行体系结构建模,能有效地收集体系结构产品数据,实现以数据为中心的体系结构开发策略,有利于体系结构数据的重用和交换,并能灵活地支持数据在不同建模环境的展现,更好地促进体系结构决策分析。

参考文献 (References)

- [1] DoD Architecture Framework Working Group. DoD architecture framework version 1.0 volume I: definitions and guidelines [R]. U. S. : Department of Defense, 2003.
- [2] DoD Architecture Framework Working Group. DoD architecture framework version 1.5 volume I: definitions and guidelines[R]. U. S. : Department of Defense, 2007.
- [3] DoD Architecture Framework Working Group. DoD architecture framework version 2.0 [R]. U. S. : Department of Defense, 2009.
- [4] UK Ministry of Defense. UK ministry of defense architectural framework (MODAF) v1.2.004 [R]. UK Ministry of Defense, 2010.
- [5] 罗爱民. 信息系统体系结构设计中系统内聚度分析方法[J]. 国防科技大学学报,2010, 32(5): 118-122.
LUO Aimin. System cohesion analysis method on information systems architecture [J]. Journal of National University of Defense Technology, 2010, 32(5): 118-122. (in Chinese)
- [6] 王磊,罗雪山,舒振. C⁴ISR 体系结构服务视图及其演化的形式化描述方法[J]. 国防科技大学学报,2011, 33(3): 134-139.
WANG Lei, LUO Xueshan, SU Zhen. Formalized description of service view and evolution within C⁴ISR architecture [J]. 2011, 33(3): 134-139. (in Chinese)
- [7] Stahl T, Völter M. Model-driven software development: technology, engineering, management [M]. Wiley, 2006.
- [8] Vailey I, Partridge C. Working with extensional ontology for defence applications [C]//Proceedings of Ontology in Intelligence Conference 2009.
- [9] OMG. OMG XML metadata interchange (XMI) specification version 2.1 [EB/OL]. 2005-09-01. <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal.pdf>.
- [10] 李清,李伟明,徐大丰. 基于元模型的企业模型表达[J]. 清华大学学报,2008, 48(7): 1209-1212.
LI Qing, LI Weiming, XU Dafeng. Meta-model-based enterprise model expression [J]. Journal of Tsinghua Univ (Sci & Tech), 2008, 48(7): 1209-1212. (in Chinese)
- [11] Vander Aalst W, Ter Hofstede A. Workflow patterns: On the expressive power of (petri-net-based) workflow languages [C]// Proceedings of the Fourth Workshop on the Practical Use of Colored Petri Nets and CPN Tools. 2002.
- [12] 罗雪山,罗爱民,张耀鸿. 军事信息系统体系结构技术[M]. 北京:国防工业出版社,2010.
LUO Xueshan, LUO Aimin, ZHANG Yaohong. Architecture technology of military information system [M]. Beijing: Publisher of National Defense Industry, 2010.
- [13] Ouyang C, Vander Aalst W, Ter Hofstede A. Translating BPMN to BPEL [R]. Technical Report BPM-06-02, BPMcenter.org, January 2006.
- [14] Wagenhals L W, Levis A H. Toward executable architectures to support evaluation [C]// International Symposium on Collaborative Technologies and Systems, 2009:502-511.
- [15] Clarke S. IDEF3 process modelling notation [R]. The Steve Clarke Consultancy Ltd, 2005.