

基于可执行模型的体系结构验证评估方法

罗爱民

(国防科技大学 C4ISR 技术国防科技重点实验室 长沙 410073)

摘 要 信息系统体系结构设计是系统开发过程中的一个关键环节,正确评估体系结构能够提高系统开发效率。基于可执行模型的体系结构验证评估方法是一种有效的验证体系结构评估方法。分析基于可执行模型的体系结构验证评估的特点,提出该方法的评估过程和评估内容。提出基于对象 Petri 网的可执行模型构建方法,并通过实例说明该方法的可行性。

关键词 体系结构,可执行模型,评估,Petri 网

Research on Information System Architecture Description Method Based on Multi-views

LUO Ai-min

(C4ISR Technology Defense Technical Key Lab, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract Architecture design is a key process in information systems development. Architecture assessment can improve the efficiency of system development. The architecture assessment method based on executable model is an effective method to verify and assess the architecture. The traits of architecture assessment method based on executable model were analyzed, and the content and process of assessment were provided in the paper. The method was discussed in which model executable model is based on Object Petri Net model, and the feasibility of the method was shown by an instance in the paper.

Keywords Architecture, Executable model, View, Petri net

1 引言

目前,信息系统体系结构设计多采用体系结构框架,如美国国防部体系结构框架^[1]、Zachman 框架^[2]等。体系结构框架能够使体系结构设计规范化,易理解和交流。但由于体系结构框架只是规范了体系结构的设计内容和形式,如何合理设计体系结构则主要依赖于设计人员的经验。对于复杂的信息系统来说,如 C4ISR 系统,由于其组成单元多、功能和结构复杂、动态过程和信息流复杂,仅靠设计人员个人的经验难以保证体系结构的质量,因此,必须在体系结构设计的基础上,验证评估体系结构,并根据评估结果不断优化体系结构,以保证体系结构设计的正确性、可行性,满足系统的军事需求,同时可以降低设计风险,减少开发费用。

体系结构验证评估的主要任务是检查体系结构设计的正确性,确定体系结构描述是否满足系统的功能需求和非功能需求及其满足程度。现有的信息系统体系结构验证评估方法主要包括专家评审法、可执行验证法和 ATAM(Architecture Tradeoff Analysis Method)系列方法。专家评审法和 ATAM 用于复杂大系统的体系结构有很大的主观性和局限性,而且不能验证和评估体系结构中定义动态特性。

目前,基于可执行模型的体系结构验证评估方法是研究的热点问题。可执行验证法最初是乔治·梅森大学系统体系结构实验室提出的。A. H. Levis 等人^[3,4]基于结构化分析和

面向对象思想,提出了相应的体系结构验证评估方法,并将有色 Petri 网模型作为可执行的目标模型,分别研究了根据结构化和基于 UML 的体系结构描述生成有色 Petri 网模型的方法。Pawlowski^[5,6]提出基于可执行体系结构的系统动态性能分析方法,该方法从体系结构中提取相关的产品数据,将它们作为中间工具 ICAMS(Integrated C4ISR Analysis and Management System)的输入,利用 ICAMS 将其转换为一定格式的数据形式,产生过程模型、通信网络模型,将过程模型和通信网络模型集成为作战仿真模型,利用相关的作战仿真软件系统进行仿真,实现系统的性能、效能和作战效能的评估。此外,一些商用软件,如 System Architect Tau G2 等,可将部分产品转换为可执行的模型,通过模型的执行来辅助产品设计。这些方法主要是针对一些特定的环境和工具研究可执行验证评估方法。本文分析可执行模型验证评估的特点和优势,研究并提出可执行模型验证内容和一般过程,并重点研究基于对象 Petri 网的可执行模型验证方法。

2 可执行模型验证评估的过程及内容

基于可执行模型的体系结构验证评估方法是利用体系结构数据,将其转换为可执行模型,通过分析可执行模型的执行过程和执行结果,验证评估体系结构的方法。

基于可执行模型的体系结构验证评估方法的本质是根据体系结构设计数据,建立体系结构的可执行模型,通过模型的

执行,全面反映体系结构的动态行为、特性以及效用,在此基础上,分析体系结构的时序关系、信息流关系、接口关系的合理性,验证系统功能是否满足需求、系统状态的变化是否正确等,通过收集、分析执行数据,评估系统的性能和效能。该方法覆盖了体系结构验证评估的关键内容,能支持定性与定量相结合的验证评估,是体系结构验证评估的一种有效方法。

基于可执行模型的验证评估方法的特点:

- 强调可执行性

基于可执行模型的验证评估方法与其他方法的主要区别是:该方法通过构建可执行模型,以可执行模型的执行过程、执行结果作为验证评估的依据。按照体系结构框架设计体系结构,是对体系结构的一种规范化的静态描述,对于体系结构的动态特性来说,这种描述和设计方法难以保证其动态变化过程中的有关设计的正确性。通过可执行模型的运行,使得这些特性充分表现。

- 强调体系结构数据的继承性

基于可执行模型的体系结构验证评估方法强调对体系结构数据的继承,即尽可能地直接利用体系结构设计数据,通过对产品数据的综合集成,生成可执行模型。这样不仅保持了可执行模型与体系结构设计数据的一致性,同时也提高了可执行模型的开发效率。

- 验证评估的量化

运行可执行模型可以得到体系结构的许多性能和效能参数的定量数值,这些定量的指标是进行体系结构验证评估的基础。

体系结构可执行模型的验证过程如图 1 所示。



图 1 体系结构可执行模型的验证评估过程

第一步,确定验证评估内容。用于不同目的的体系结构,其关心的问题不一样,体系结构设计内容也存在差别。因此,在开始验证时,首先应该根据体系结构的目的是所关心的问题,确定验证评估的目的。根据体系结构验证评估的目的和要求来确定体系结构验证评估的内容,同时分析评估内容的合理性,使各级评估人员对评估内容达成一致性理解。

第二步,确定可执行模型的类型。由于不同可执行模型构建所需要的信息不同,可执行模型执行的方式以及得到的结果也不同,因此,在构建可执行模型之前,应该根据确定的体系结构验证内容,选择可执行模型的类型,以保证需要验证的内容能够通过模型的执行得到验证,并能够用于评估。

第三步,建立可执行模型。根据确定的验证评估内容和选用的可执行模型类型,分析在可执行模型生成过程中体系结构产品的转换原则和转换要求,利用体系结构产品数据,生成可执行模型,并对可执行模型的合理性进行分析验证。

第四步,运行可执行模型。根据生成的可执行模型和验证评估的内容,配置可执行模型并设计可执行模型的运行方式和控制手段,通过模型运行获取验证评估数据,验证体系结构行为的正确性。

第五步,运行数据收集及分析。在运行过程中,收集相关数据。基于可执行模型运行的结果和体系结构验证评估的内容,采用合适的数据处理方法(线性回归、迭代等数学方法)和体系结构定量定性分析方法(数值对照、专家评审等),分析体

系结构设计结果与系统需求之间的差异,若满足系统需求,则完成体系结构的验证评估,否则修改体系结构设计,重新进行验证。

第六步,根据分析得到的验证结果,采用体系结构评估方法,评估体系结构。体系结构的评估方法可根据评估的要求,选用信息系统效能评估的方法。

基于可执行模型的验证评估主要用于逻辑合理性和效能评估等。主要包括:

- 规则合理性

针对体系结构中的规则模型,将规则模型如 DoDAF1.0 中的作战规则模型(OV-6a)和系统规则模型(SV-10a)转化为可执行模型来判断各自的正确性。例如,如果用 IDEF3 来描述规则模型,则可直接运行 IDEF3 模型来判断规则的正确性。

- 时序关系正确性

在体系结构框架中,有一些产品主要反映时间、活动之间的时序关系,如作战事件跟踪图(OV-6c)、系统事件跟踪图(SV-10c)等,将这些产品数据转换为可执行模型如 Petri 网模型。

- 状态可达性

体系结构产品,如作战状态转换描述(OV-6b)、系统状态转换描述(SV-10b)反映体系结构中各对象的状态变化过程和关系,可将其转化为可执行模型如 Petri 网模型来分析其状态的可达性、安全和有界性。

- 功能/过程正确

功能和过程设计是体系结构设计中的重要部分,也是影响其他内容的关键。通过对体系结构中设计的过程模型或功能模型的分析,可以判断过程或功能设计的正确性、是否按照设计人员设计的流程执行以及是否满足实际需求,如分析作战活动模型(OV-5)和系统功能模型(SV-4),可以验证和评估体系结构的功能模型。

- 性能和效能指标

体系结构的性能和效能指标是体系结构设计最核心的内容,也是体系结构是否满足需求的最直接的体现。和其它验证评估方法不同的是可执行模型能够在模型的执行过程中,统计分析执行结果,评估性能和效能指标是否满足要求。

基于可执行模型的验证评估方法在具体使用中,可与其它方法相结合,如 ATAM 方法,把执行得到的量化的结果作为其它评估方法的数据来源。

3 基于对象 Petri 网可执行模型的构建

在基于可执行模型的体系结构验证评估中,可执行模型的构建是关键。选择合适的可执行模型不仅影响验证评估的过程和内容,而且影响验证评估的效率。目前,可执行模型构建的基本方法是根据体系结构数据建立体系结构仿真模型。选择的仿真平台或系统不同,构建可执行模型的方法就不同。最一般的方法是由建模人员在充分理解体系结构的基础上,以人工方式构建可执行模型。这种方法不仅使建模的效率低,而且难以保证可执行模型与体系结构数据的一致性。因此,本文选择构建以对象 Petri 网模型^[7]为基础的可执行模型。对象 Petri 网是一种有效的 C4ISR 系统建模语言,由于其语法规则,能较易建立建模对象与体系结构数据之间的关

系,因此,能够自动完成部分对象 Petri 网模型的建模工作。这样不仅能够提高建模效率,同时更有利于保持模型之间的一致性。

根据对象 Petri 网特点和建模过程,建立对象 Petri 网建模元素与体系结构数据之间的关系,如表 1 所列。对象 Petri 网可执行模型的一般构建过程如图 2 所示。

表 1 对象 Petri 网建模元素与体系结构数据之间的关系

对象 Petri 网建模元素	对应的体系结构产品数据
对象 Petri 网结构模型	含模型结构信息的产品
对象模型	含最底层模型逻辑细节的产品
转移的初始标识、动作函数、事件函数	状态转换和运行规则相关产品
转移的执行延时	含系统性能信息的产品
转移事件函数中 Token 的结构	信息/数据交换细节相关产品

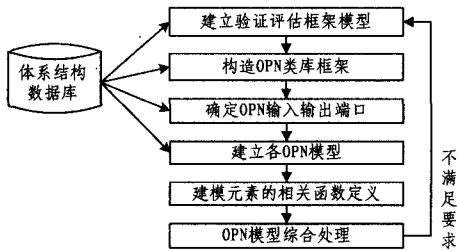


图 2 对象 Petri 网可执行模型的一般构建过程

(1) 建立可执行模型的框架模型

利用描述体系结构整体活动/功能的体系结构数据,构建对象 Petri 网框架模型。在具体建模中,可考虑采用作战活动模型(OV-5)或系统功能描述(SV-4)的数据来构建。

(2) 构造 OPN 类库框架

针对框架模型中定义的对象,构建相应的 OPN 类库模型。如根据系统接口描述(SV-1)中的描述,对同一个或同一类对象进行合并、抽象,提取出相应的 OPN 模型类,分析 OPN 模型类之间的关系,构造 OPN 类库框架。

(3) 确定输入输出端口

根据信息或数据交换数据,确定不同类之间的交互关系,明确交互信息的种类、格式等特征,确定 OPN 模型框架的输入输出端口。

(4) 建立 OPN 模型

根据体系结构数据,对各对象 Petri 网模型进行细化,生成各模型的子网,并建立它们与输入端口、输出端口之间的连接关系。具体建模时,可利用动态特性描述产品的数据。

(5) 建模元素相关函数的定义

对对象、转移等模型进行相关处理函数的定义。如利用系统性能参数描述(SV-7)对系统性能参数的描述,结合 SV-10b, SV-10c 对运行过程的描述,添加 OPN 框架模型中的脚本函数,包括动作函数、延时函数、事件处理函数,实现各模型的相关功能。

(6) OPN 模型综合处理

根据确定的验证评估内容和指标,在 OPN 模型中添加相关的指标数据采集脚本,完成 OPN 模型。

在此基础上,添加初始化函数、实例化后函数,实例化各顶层节点模型,生成总体执行案例。根据评估需求,设计仿真实验,配置模型进行仿真。处理采集到的仿真数据,与评估指标对应起来,按照事先确定的评估模型实施对系统体系结构的评估分析。

对于脚本不易实现的复杂功能,可以采用 VC 编制动态链接库算法,并在 OPN 模型中加以调用。

4 案例

下面用一个简单的例子来说明活动模型(IDEF0 模型)转换成对象 Petri 模型的基本过程。这是一个简单反空袭信息系统的作战活动模型。该作战活动模型共分为两层,分别是顶层图(A-0 分解图)和 A0 分解图,如图 3 和图 4 所示。该活动模型表示的是“防空作战”这个作战概念。它在交战规则的控制下,对外来威胁和歼击机报告进行处理,生成命令发送给歼击机。

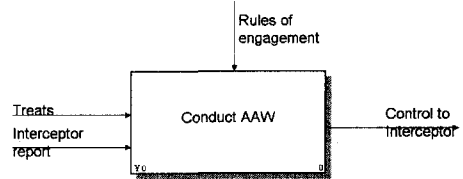


图 3 反空袭作战顶层图

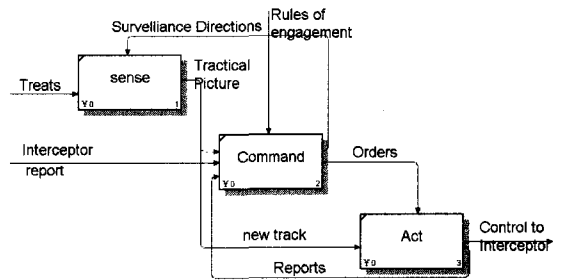


图 4 反空袭作战 A0 分解图

根据活动模型向对象 Petri 网模型转换的规则^[8],转换成相应的对象 Petri 网框架模型,图 3 中的活动方框 A0: Conduct AAW 存在子图,所以转换成图 5 中由类 ClassA0Conduct AAW 实例化得到的对象 ObjectA0。图 4 中的活动方框 A1: Sense, A2: Command, A3: Act 都不存在子图,所以分别转换成图 6 中的转移 TA1Sense, TA2Command, TA3Act。

根据图中输入输出箭头,确定弧、位置以及输入输出端口。

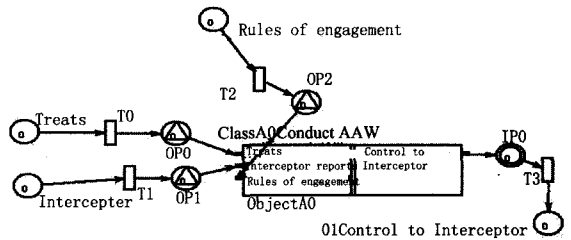


图 5 空袭作战顶层图转换结果

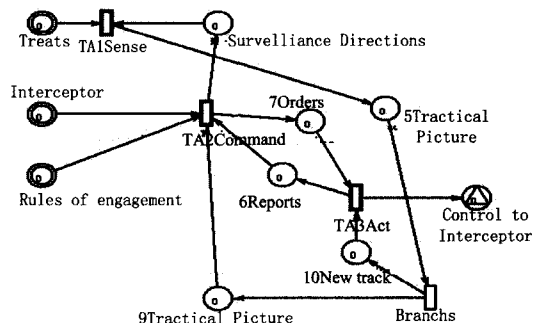


图 6 反空袭作战 A0 分解图转换结果

经过上述转换,得到可执行模型 OPN。要保证 OPN 模型可执行,还必须对图 5 和图 6 中的转移、位置以及对象进行详细的描述,如转移的动作函数(可根据作战规则模型细化)、各种令牌的传递(可根据信息交换关系细化)等。按照 OPN 建模要求完成相关细节建模后,就可以利用对象 Petri 网仿真环境执行 OPN 模型,进行体系结构的验证评估。

结束语 基于可执行模型的体系结构验证评估可以通过执行来分析验证执行流程,可以分析执行中的相关数据来评估体系结构对需求的满足程度。可执行模型的构建是该验证评估方法的关键。在具体建模中,要根据可执行模型的建模特点和元素,建立体系结构数据与它们之间的关系。因此,选择不同的可执行模型,其建模过程也有所不同。

为了更好地评估体系结构,该方法最好与体系结构综合评估的方法配合使用,综合评估方法,确定评估内容和评估指标,基于可执行模型的验证评估方法分析过程和收集各评估指标的数据,最后利用综合评估方法评估体系结构。

参考文献

- [1] Sowa J F, Zachman J A. Extending and Formalizing the Framework for Information Systems Architecture[J]. IBM Systems Journal, 1992, 31(3): 590-616
- [2] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architec-

ture Framework Version 1. 0 [R]. U. S. : Department of Defense, 2003

- [3] Wagenhals L W, Shin I, Kim D, et al. C4ISR Architectures; II. A Structured Analysis Approach for Architecture Design [J]. Systems Engineering, 2000, 3(4): 248-287
- [4] Wagenhals L W, Haider S, Levis A H. Synthesizing Executable Models of Object Oriented Architectures [C] // Workshop on Formal Methods Applied to Defence Systems. Adelaide, Australia, 2002
- [5] Pawlowski T, Barr P C, Ring S J. Applying Executable Architectures to Support Dynamic Analysis of C2 Systems [C] // 2004 Command and Control Research and Technology Symposium. www. dodccrp. org
- [6] Ring S J. An Activity-Based Methodology for Development and Analysis of Integrated DoD Architectures—"The Art of Architecture" [C] // 2004 Command and Control Research and Technology Symposium The Power of Information Age Concepts and Technologies
- [7] 罗雪山, 等. C3I 系统理论及其 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2001
- [8] 修胜龙, 罗雪山, 罗爱民, 等. C4ISR 体系结构描述的逻辑和行为验证 [J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(2): 275-279

(上接第 228 页)

参考文献

- [1] 张学工. 关于统计学习理论与支持向量机 [J]. 自动化学报, 2000, 26(1): 32-42
- [2] Vapnik V. The nature of statistical learning theory [M]. John Wiley & Sons, New York, USA, 1995
- [3] Cao L J, Tay F E H. Support vector machine with adaptive parameters in financial time series forecasting [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2003, 14(6): 1506-1518
- [4] Burges C J C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition [J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 1998, 2(2): 955-974
- [5] Huber P J. Robust Statistics [M]. John Wiley & Sons Inc., 1981
- [6] Chirstmann A, Messem A V. Bouligand Derivatives and Robustness of Support Vector Machines for Regression [J]. Journal of Machine Learning Research, 2008, 9: 915-936
- [7] Smola A J, Scholkopf B. A Tutorial on Support Vector Regression [J]. Statistics and computing, 2004, 3(14): 199-222
- [8] Steinwart I, Christmann A. How SVMs can Estimate Quantiles and the Median [C] // Advances in Neural Information Processing Systems 2007. 2008: 305-312
- [9] Suykens J A K, Vandewa J. Least Squares Support Vector Machine Classifiers [J]. Neural Processing Letters, 1999, 9: 293-300
- [10] Suykens J A K, Brabanter J D, Lukas L, et al. Weighted Least Squares Support Vector Machines; Robustness and Sparse Ap-

proximation [J]. Neurocomputing, 2002, 48: 85-105

- [11] Weisberg S. Applied Linear Regression [M]. 王静龙, 梁小筠, 李宝慧, 译. 应用线性回归. 中国统计出版社, 1998: 113-121
- [12] Bates D M, Donald G W. Nonlinear Regression Analysis and Its Applications [M]. 韦博成, 万方焕, 朱宏图, 译. 北京: 中国统计出版社, 1996
- [13] Chuang C C, Su S F, Jeng J T, et al. Robust Support Vector Regression Networks for Function Approximation with Outliers [J]. IEEE Trans. on Neural Networks, 2002, 13(6): 1322-1330
- [14] Zhang J S, Guo G. Reweighted Robust Support Vector Regression Method [J]. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(7): 1171-1178
- [15] Ljung L. System Identification: Theory for the User (2nd Edition). (影印版) [M]. 北京: 清华大学, 2002
- [16] Kutner M, Nachtsheim C, Neter J. Applied Linear Regression Models (The fourth edition) [M]. McGraw-Hill Higher Education, 2004: 437-445
- [17] Rousseeuw P J, Leroy A. Robust Regression and Outlier Detection [J]. John & Wiley Inc., New York, 1987: 9-11
- [18] Chang C C, Lin C J. LIBSVM: a library for support vector machines, 2001. Software [OL]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>
- [19] Boston Housing Data Set [OL]. <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Housing>
- [20] Abalone Data set [OL]. <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Abalone>