

体系结构关键技术研究发展综述^{*}

高 松^{1,2} 滕克难¹ 金 哲¹ 段 哲¹

(1. 海军航空大学 烟台 264001)(2. 91115 部队 舟山 316000)

摘 要 分析梳理了体系结构框架、设计方法、开发工具及综合评估方法等关键技术的国内外研究现状,并指出了我国在相应方面的不足,最后对我国体系结构关键技术研究方面给出了三点启示,为未来体系结构研究方向提供了思路。

关键词 体系结构;关键技术;发展现状;启示

中图分类号 TP302.1;E96 **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-9730.2020.03.001

A Review of the Research and Development of Architecture Key Technologies

GAO Song^{1,2} TENG Kenan¹ JIN Zhe¹ DUAN Zhe¹

(1. Naval Aviation University, Yantai 264001)(2. No.91115 Troops of PLA, Zhoushan 316000)

Abstract This paper analyzes and sorts out the research status of key technologies such as architecture framework, design method, development tool and comprehensive evaluation method at home and abroad, and points out the deficiencies in corresponding aspects in China. Finally, it gives three inspirations for the research of key technologies in China's architecture, and provides ideas for the future research direction of architecture.

Key Words architecture, key technology, state-of-the-art, enlightenment

Class Number TP302.1, E96

1 引言

体系结构(Architecture)一词发源于建筑领域,后被广泛用于武器装备系统、计算机软硬件、网络信息系统及系统工程等领域,并相继提出了装备体系结构、软件安全体系结构、作战体系结构等概念。在军事装备领域,借鉴美国国防部关于体系结构的定义,我们将体系结构定义为,对军事装备系统的组成、各组成单元之间的关系、系统与系统单元对环境的关系,以及制约并指导系统设计与演进的原则和指南^[1]。从概念分析来看,体系结构是客观存在且抽象的,需通过某种形式方法将其描述出来,以便实现具体化,方便沟通与交流。从抽象到具体的体系结构描述,需要相关关键技术来实现,主要包括体系结构框架、设计参考资源、设计方法及综合评估等四个方面的关键技术。本文主要从

体系结构框架标准、设计方法与开发工具、验证评估与效能评估的综合评估方法等三类关键技术进行综述分析,为我军事装备体系结构关键技术研究,提供整体发展思路与建议。

2 体系结构框架

体系结构框架是体系结构开发的顶层架构和概念模型,是构建和开发体系结构的统一方法和规则标准。它在体系结构设计中发挥着指导和规范作用,是体系结构研究和开发的前提条件。

2.1 国外体系结构框架研究现状

自海湾战争后,美军逐步认清建立统一的C4ISR系统体系结构框架的重要意义,并从1991年开始研究并制定体系结构框架标准,于1996年颁布C4ISR v1.0,截止到2009年已发展到DoDAF v2.0,并在DoDAF v2.0基础上进行革新。相继开发

^{*} 收稿日期:2019年9月9日,修回日期:2019年10月10日

作者简介:高松,男,硕士,助理工程师,研究方向:体系结构设计及评估。滕克难,男,博士,教授,研究方向:装备发展研究。金哲,男,硕士,高级工程师,研究方向:装备管理。段哲,女,硕士,讲师,研究方向:军事思想研究。

了针对元模型进行11类29项条目修改的DoDAF v2.02,提出DM2的Web本体语言(OWL)的DoDAF v2.03,增加加拿大国防体系结构安全视图的DoDAF/DNDAF v2.04以及实现与英国国防部体系结构框架MoDAF、北约体系结构框架NAF集成的统一国防部体系结构框架UDAF v2.05等4个版本,如图1所示。DoDAF经过20多年的不断应用与革新,已逐步形成了完善的体系结构框架标准,处于世界领先水平。

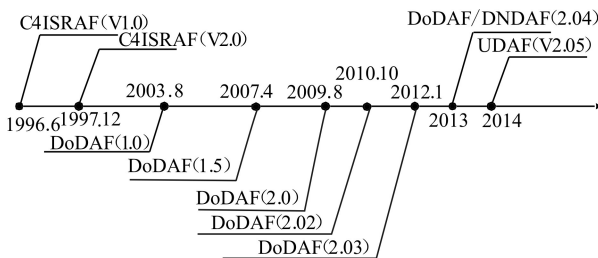


图1 DoDAF体系结构框架发展历程

挪威、北约、英国、澳大利亚等国家或组织在美国的影响下,结合自身实际,相继提出了符合自身需求的体系结构框架标准。挪威在1999年提出了名为MACCIS的体系结构框架;北约于2000年提出了C3系统体系结构框架并已发展到NAF 3.0版;英国于2005年颁布了MoDAF体系结构框架并已发展到MoDAF 1.2.004版;澳大利亚也在深入研究美军C4ISR体系结构框架基础上,基于Meta公司的企业体系结构战略EAS,颁布了澳大利亚体系结构框架DAF。

2.2 国内体系结构框架研究现状

我国在体系结构框架研究方面,主要是参考美军C4ISR及DoDAF体系结构框架标准,结合自身国情军情,吸取美军研究成果的经验教训,进行体系结构框架的修改、完善以及相应的扩充。我军于2001年构建了军事电子信息系统体系结构框架1.0,在2011年以国家军用标准GJB形式发布《军事电子信息系统体系结构设计指南》,填补了在体系结构框架研究方面的空白。国内学者刘斌等^[2]提出了基于DoDAF-ROD(DoDAF-Reliability Oriented Description)的装备体系建模研究方法,在已有的DoDAF体系构建上加入了任务可靠性ROD描述模型,对装备体系的ROD进行了规范化描述;赵振南等^[3]将DoDAF与RUP体系结构框架无缝结合,通过多层次体系结构模型对联合作战信息系统体系进行分析,按不同视角与不同级别对体系结构模型进行集成研究。目前对于体系结构框架的研究,大多是在对美国DoDAF体系结构框架构建方法上

的修正与扩充,没有形成规范统一的框架标准。

3 体系结构设计方法及工具

3.1 体系结构设计方法

3.1.1 国外体系结构设计方法研究现状

美国乔治梅森大学在2000年提出了面向过程和面向对象的体系结构设计方法。2004年美国国防部提出了基于能力的体系结构设计方法。2009年随着DoDAF v2.0颁布,体系结构设计从“以产品为中心”转向“以数据为中心”,美军开始了基于元模型的体系结构设计方法研究,并且借鉴DoDAF v2.0面向服务的建模思想,同时开展了面向服务的体系结构设计方法研究。总的来看,美军主要依托DoDAF体系结构框架标准,已形成了一套比较完善的体系结构设计方法,代表了当今世界研究的领先水平。其他国家如英国、澳大利亚、挪威等,在体系结构设计方法研究方面,参考美国提出的方法,结合自身实际进行运用与革新,也取得了一些应用成果。

3.1.2 国内体系结构设计方法研究现状

我国体系结构框架设计思想主要是跟踪美国体系结构设计方法的研究动向,并结合我国相关体系建设情况展开研究,运用面向过程、面向对象、面向服务、基于活动、基于能力、基于元模型等方法,取得了一定的研究进展与成果。

1)面向过程的方法也称结构化体系结构设计方法,目前该方法运用较为成熟,多运用在对数据、系统简单的小型体系进行构建,同时也开始研究该方法在大规模体系结构构建上的运用。Yang Mei等^[4]运用面向对象的方法,通过分层设计法构建了具有多级功能的军队联合作战指挥信息“超大系统”的体系架构。

2)面向对象的方法是以一种更接近人的思维,围绕真实世界的概念进行描述的体系结构设计方法。该方法研究较为成熟,且仅适用于面向单个任务,现主要是研究面向对象系统体系结构开发过程和建模的方法。廖晶静等^[5]运用UML技术,研究分析了面向对象的SoS体系结构的模型构建方法及过程。武利娟等^[6]运用面向对象的理论,通过对作战单位的静态描述与聚合得到的动态描述分析,给出了一种作战单位形式化描述的方法。

3)面向服务的方法是一种高层软件开发方法,基于面向服务的装备体系构建方法是利用面向服务的思想及其优势,对体系结构服务视角进行描述,从而有效处理原有体系构建方法中,军事装备

资源紧密耦合难以适应作战流程动态调整等问题的方法。罗雪山及其团队^[7-9]在此方面做了大量研究工作,引入服务视图对C4ISR体系结构进行模型构建,建立了服务视图与作战视图、系统视图之间的联系,并分析了构建的体系架构的执行过程,实现了资源动态集成过程描述,取得了很好的效果。

4)基于活动的方法是一种以数据为中心,与开发工具无关的、严格的结构化方法。罗爱民等^[10]提出了以活动为中心的体系结构设计方法及开发过程,定义了节点、信息、活动等体系结构的核心实体以及相互关系。刘金荣等^[11]运用基于活动的方法,对理想条件下主动防御作战行动对应的作战活动进行了分解和细化,得出了反导原型系统的逻辑连接设计,得到了很好的应用效果。

5)基于能力的方法是从网络中心作战支撑能力—体系能力最大化角度出发的一种体系结构设计方法。伍江华等^[12]运用该方法对C4ISR系统体系结构框架进行研究,增加系统能力视图及相关产品,并实现了能力视图和作战视图、系统视图、技术视图之间的映射关联关系。舒宇等^[13]运用基于能力的方法,构建了武器装备体系结构框架,设计开发了支持基于能力需求的建模描述产品并进行了应用研究。

6)基于元模型的方法是指基于规范的体系结构元模型,以其所表达的体系结构数据之间的关系为基础,并通过相关数据进行体系结构设计的方法。

Jiong Fu等^[14]采用基于UML的元模型方法对体系结构进行构建,解决了产品模型中存在的问题,同时便于获得模型工具。宛海宁^[15]、沈伟业^[16]分别提出基于元模型的体系结构开发方法,展现了元模型方法构建体系结构的优势。

3.2 体系结构设计工具

3.2.1 国外体系结构设计工具研究现状

目前,国外已有一些较成熟的支持体系结构框架产品开发的软件工具,如Computas AS公司的METIS、Proforma Corporation公司的ProVision Modeling Suite、I-Logix公司的Rhapsody、Teleogic公司的Tau G2、Logicon公司的JCAPS、Vitech公司的CORE、Ptech公司的Framework、Metastorm公司的ProVision及IBM公司的System Architect(SA)等软件工具^[17]。其中,工程中常用的体系结构开发平台是IBM公司的SA,C4ISR体系结构开发的专用软件是Logicon公司的JCAPS。

3.2.2 国内体系结构设计工具研究现状

国内主要以美军DoDAF体系结构设计思想为借鉴,以上述软件工具为参考,结合自身国情军情及技术条件研发的体系结构开发软件,如国防科技大学的C4ISR体系结构开发工具Archi Designer(AD),中国电科28所研发的军事信息系统体系结构开发环境MISADE,北京神州普惠研发的AM和AppAMS体系结构建模工具,北京凌瑞智同研发的TDCAP和TDMAP体系结构建模工具等。

表1 常用体系结构设计方法的比较分析

设计方法	方法来源	建模语言	优点	缺点
面向过程	系统工程	IDEF0、 IDEF1x、DFD	层次清晰、容易理解	分解过程可能会使系统特征丢失,造成理解偏差;模型变化需要大量维护工作
面向对象	软件工程	UML、SysML	更接近人类思维,使设计更直接地反映真实世界	仅适用面向单个任务,体系结构数据共享程度相对较低
面向服务	软件工程	XML	体系架构开放、敏捷、可联合、可扩展、可组合	不能满足动态环境要求
基于活动	体系工程	IDEF系列、 UML、SysML	能够层次分明地进行结构化分析,且能突出重点	对设计人员要求较高、设计过程复杂;修改维护工作量大
基于能力	系统工程 军事需求工程	UML、XML	改变基于威胁的方法的局限性,更利于决策定制和处理系统不确定性	设计及评估过程繁杂;修改维护工作量大
基于元模型	系统工程 DoDAF	IDEF0、 IDEF1x、 IDEF3、UML	获取体系结构数据更具灵活性,能确保可执行模型转换的一致性、促进体系结构数据的共享和重用	作用机理相对抽象;体系结构开发产品受到了弱化

4 体系结构综合评估方法

4.1 体系结构验证评估方法

4.1.1 国外体系结构验证评估方法研究现状

体系结构验证评估是体系结构设计的重要环节之一。美国国防部计划将体系结构验证评估方法写入 DoDAF 最新版本中,但由于包含信息量大、内容庞杂、指标甚多,目前仍处于研究阶段。在系统评估方法方面,国外提出了体系结构分析方法、基于过程模型和 xUML 的体系结构评估理论方法;在可操作评估手段上,国外主要通过体系结构开发工具 SA、体系结构验证与评估软件 CAESAR 等,进行模型转换生成可执行模型,进行完整性、一致性检验;此外,美国还开发了如 uRapid、xUML 等可执行体系结构定义语言,用于完成体系构建的自身评估。

4.1.2 国内体系结构验证评估方法研究现状

国内主要从体系结构开发工具自身验证和验证评估方法两方面,对体系结构进行一致性、完整性的科学性检验。国内学者在验证评估方法方面取得了一定成果,如黄林鹏等^[18]发明了一种利用支持体系结构动态变化的 Breeze 图文法,来验证体系结构重配置前后一致性和完整性的方法。罗爱民^[19]提出了将体系结构数据转换为可执行模型进行验证评估体系的方法。吴海等^[20]给出了利用 UML 模型转 Petri 网模型的图文法进行体系结构验证的方法,有效验证了 UML 模型的正确性;软件开发工具进行自评估方面,主要有国防科技大学信息工程重点实验室研究的体系结构评估工具,但相对应用范围较窄。总的来说,相对国外在体系结构验证评估方面的研究,我国还有一定差距。

4.2 体系效能评估方法

4.2.1 国外体系效能评估方法研究现状

以美国为代表的国外体系效能评估方法,主要采用解析法与仿真法相结合的建模方法,对相关问题进行作战效能评估,以优化构建的武器装备体系结构。美军强调按照不同层次,采用费效分析、建模仿真、多目标规划、层次分析等方法,对构建体系进行综合评估^[21]。如美国的 RAND 公司研究的 RAND 战略评估方法,运用评估模型 RSAS 中的各种模块求得优化规划解,基于 RAND 战略评估方法,美军对网络中心战作战效能进行评估,给出了作战效能的评估框架与结果。

4.2.2 国内体系效能评估方法研究现状

国内对于体系效能评估的研究方法,主要是采

用专家调查法、试验统计法、解析方法、仿真方法和混合方法。罗鹏程等^[22]提出了一种装备体系作战效能评估聚合框架,该框架对装备体系从底层的装备性能参数/技战指标到顶层的体系作战能力逐层进行聚合。唐铁军等^[23]在进行体系效能评估研究时则采用矩阵形式的多元兰彻斯特方程,将任务完成率作为效能指标,分析了作战双方处于平方律和线性律等两种情况下的体系作战效能。

4.2.3 体系效能评估方法比较分析

从国内外体系效能评估方法及模型总体来看,可以分为试验统计法、作战模拟法和解析法三大类。

1) 解析法

解析法^[24]主要是运用数学方法构建指标体系的效能方程,并根据解析表达式对效能指标进行计算评估的方法。目前,基于解析的评估方法主要有可拓学物元分析理论(MEA)、网络层次分析法(ANP)、支持向量机(SVM)、数据包络法(DEA)、结构方程模型(SEM)、人工神经(BP)网络法、灰色综合评估法、粗糙集理论等,以及模型方法之间综合运用方法。

2) 作战模拟法

作战模拟法^[25]也叫仿真法,主要是以计算机模拟模型来进行作战仿真实验,在仿真环境中运用各类仿真信源、仿真模型对系统作战效能与影响因素及它们之间的协作进行仿真模拟,再通过统计运算关于作战进程和结果的实验数据,得到最终评估结果。主要仿真方法有 Agent 仿真模型、蒙特卡罗仿真评估等方法。

表2 体系效能评估方法比较

模型/方法	优点	缺点
解析法	直接通过数学模型进行仿真计算,简单容易	难以区分个体效能差异,不能反映诸多不确定因素的动态特征变化
作战模拟法	能够全面描述武器装备之间复杂的交互、协同作用等,特别适用武器装备作战效能的预测评估	仿真模型构建复杂,需要大量可靠的基础数据和原始资料,难以检验仿真的可信度
试验统计法	获得评估结果真实可靠	难以实现大量武器装备试验,数据量较少

3) 试验统计法

试验统计法是通过在规定的现场中观察武器装备性能效果,并收集相关数据,进而通过数据处理得到效能评估值的方法。这种方法是真实可

靠的,但由于很难保障大量的武器装备完成相关试验的物质基础,数据信息处于相对贫困状态。针对贫信息下武器装备作战效能评估困难的问题,目前主要有基于贝叶斯的小子样试验评估方法和灰色系统方法等。

5 对我国装备体系结构关键技术发展的启示

5.1 开发适应我国装备发展需求的体系结构框架

跟踪国外体系结构技术前沿发展动态,借鉴体系结构框架成功经验,结合我军装备体系发展需求,对体系结构框架进行合理的剪裁、适当创新,有助于体系结构开发与现实需求有效对接,有助于尽快形成具有独创性的体系结构框架。一是要形成完整统一的框架标准,尽快形成完善的适合国情的体系结构国家军用标准;二是要形成一体化集成体系结构框架思想,消除军兵种间及科研院所等部门的异构性,加速一体化联合作战能力的发展;三是要注重开放式体系结构框架设计思想,形成具有可扩展性、可重组型、可互操作性、可维护性等灵活的装备体系结构。

5.2 强化我国体系结构设计及综合评估方法研究

一是在体系结构设计方面,要基于统一的体系结构框架标准,以数据为中心的思想,注重数据库的建立,开发简单高效的体系结构设计软件平台,研究具有兼容新技术介入等优点的开放式体系结构。二是在体系结构验证评估方面,重点将验证评估方法融合到体系结构开发软件平台中,使未来体系结构的验证可自动生成,简单高效。三是在体系效能评估方面,着重研究仿真实验方法,以最接近真实战场环境、最能反映作战效能的实验数据统计分析为主,尽量消除专家评判等主观影响因素,并结合验证评估方法,实现对构建的装备体系的综合评估。

5.3 加快推进体系结构军事应用与相应成果共享

构建的装备体系及体系结构相关技术的合理性、有效性要最终通过军事应用的检验,这也是有效发展体系结构相关技术的必由之路。在我国装备体系建设中,一是要进一步突显装备需求分析、作战概念顶层开发的重要作用,树立未来体系对抗作战的思想,有力推动构建的装备体系完成实际应用转化。二是要以法规制度有力推动,将体系结构应用到战略规划、能力管理、装备发展、作战方式等多领域。三是要着眼全局,有效推进装备体系相关成果的共享,使科研院所的成果与部队的实际需求

相对接,使各军兵种装备体系相融合,最终使得体系结构成果在全领域发挥作用。

6 结语

体系结构研究领域越来越被世界主要军事强国重视,在全面分析了体系结构关键技术的基础上,通过国内外研究现状的比较,可以看出我国在体系结构技术研究领域,与国外相比还有不小的差距。认清体系结构技术方面的不足,为更进一步借鉴国外先进技术,结合我国实际军事装备发展需求,形成完善体系框架标准和高效的体系结构设计及评估方法提供思路,为我国未来装备技术、作战思想发展给予参考借鉴。

参考文献

- [1] 2014-2015 指挥与控制学科发展报告[R]. 中国学技术协会,北京:中国科学技术出版社,2016:64-69.
 - [2] 刘斌. 基于 DoDAF 的装备体系的任务可靠性建模方法研究[D]. 长沙:国防科技大学,2015:48-51.
 - [3] 赵振南. 联合作战信息系统体系结构若干关键技术研究[D]. 南京:南京理工大学,2010:37-45.
 - [4] Yang Mei, Wang Minle. Architecture Design for Joint Operation and Command Information System-of-Systems [C]//The Fifth International Computational and Information Sciences (ICCIS), 2013:75-91.
 - [5] 廖晶静,卢晶,王治国. 面向对象的 SoS 体系结构建模方法及应用[J]. 中国舰船研究,2014,9(4):11-17.
 - [6] 武利娟,陈琳,刘西,等. 基于面向对象思想的作战单位形式化描述方法[J]. 现代防御技术,2015,43(6):223-229.
 - [7] 王磊,罗雪山,罗爱民. 基于 SOA 的 C4ISR 可执行体系结构[J]. 火力与指挥控制,2012,37(1):52-56.
 - [8] 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.
 - [9] 王磊,罗雪山,罗爱民. C4ISR 体系结构服务视图产品描述方法[J]. 火力与指挥控制,2011,36(11):5-10.
 - [10] 罗爱民,黄力,罗雪山. 以活动为中心的体系结构设计方法研究[J]. 系统工程与电子技术,2008,30(3):499-502.
 - [11] 刘金荣,罗伦,沈艳丽,等. 基于活动的反导体系结构模型[J]. 火力与指挥控制,2012,37(6):59-62.
 - [12] 伍江华. C4ISR 体系结构建模与设计技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2008:26-31.
 - [13] 舒宇. 基于能力需求的武器装备体系结构建模方法与应用研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2009:46-51.
 - [14] Jiong Fu, Aimin Luo, Xueshan Luo. An UML-Based
- (下转第 10 页)

阶段就是在相互匹配的端点之间建立发布和订阅通信。

4 结语

本文针对战术末端环境下,军事信息系统提供高效、稳定的信息服务保障问题,对战术云体系架构以及分散式系统架构进行研究,将云计算技术与战术末端环境相结合,构建基于战术微云的分散式系统架构,为战术末端作战用户节点提供一个相对完备、稳定的体系性战术云信息服务环境。通过利用分散的计算系统资源,将分散于战术末端环境中的作战单位、末端设备、武器等战术资源以及计算、存储、通信等基础资源相互链接而形成的一个高效作战的微云网络,协调所有可用的战场资源为战术边缘的数据传递、计算存储、资源共享、指挥与控制服务以及各类战术服务提供支撑能力,提高战术末端环境下信息服务保障能力。

参考文献

- [1] 周虎. 战术云在战术边缘的应用研究[J]. 现代导航, 2018(2):153-156.
- [2] 程赛先. 美军战术云计算应用研究[J]. 指挥控制与仿真, 2017(6):134-142.
- [3] 吴华鹏,刘渊,陈飞等. 资源有限的微云服务模型研究[J]. 计算机工程, 2017(12):25-29.
- [4] 赵伟峰,杨秋松,李梅,等. 交互感知应用微云服务框架[J]. 计算机系统应用, 2016(10):180-185.
- [5] 赵星宇. 移动协作微云计算中的资源分配研究[D]. 南京:东南大学, 2016:13-16.
- [6] 张佳乐. 无线协作微云的计算资源调配方法[D]. 南京:东南大学, 2017:15-25.
- [7] 赵昱,惠晓滨,高杨军,等. 基于改进 QPSO 算法的云计算资源调度策略研究[J]. 火力与指挥控制, 2017(4):14-17.
- [8] 姚慧峰. 移动云计算环境下任务分配问题的研究[D]. 南京:南京邮电大学, 2014:23-25.
- [9] 战非,张少茹. 基于混沌蚁群算法的云计算应用优化研究[J]. 火力与指挥控制, 2017(7):25-28.
- [10] 周莹. 受限带宽环境下实时数据分发服务传输优化技术研究[D]. 北京:中国舰船研究院, 2016:8-12.
- [11] 董龙明,高天成,邱瑞波,等. 基于语义发布订阅系统的战场态势实时分发技术[J]. 火力与指挥控制, 2017(4):110-113.
- [12] 邹歌,刘云飞等. 实时数据分发服务的自动发现技术[J]. 计算机技术与发展, 2017(1):25-29.
- [13] 周虎. 战术云在战术边缘的应用研究[J]. 现代导航, 2018(2):153-156.
- [14] 程赛先. 美军战术云计算应用研究[J]. 指挥控制与仿真, 2017(6):134-142.
- [15] 宛海宁,舒振,黄力,等. 元模型理论及其在企业体系结构开发设计中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2012,32(4):847-853.
- [16] 沈伟业. 基于元模型的C4ISR系统需求建模描述方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2012:34-39.
- [17] 徐斌. 基于体系结构方法的建模工具扩展研究[D]. 成都:电子科技大学, 2010:50-56.
- [18] 黄林鹏,李晨,陈璐希,等. 利用支持体系结构动态变化的图文法验证体系结构的方法[P]. 中国:CN104793934A, 2015:10-15.
- [19] 罗爱民. 基于可执行模型的体系结构验证评估方法[J]. 计算机科学, 2010,37(8):294-297.
- [20] 吴海,孙永雄,付庆兴,等. UML图转有色 Petri 网图文法[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2011, 29(4):357-265.
- [21] Yang J B, Liu J, Xu D L. et al. Optimization models for training belief-rule-based systems [J]. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics-part A: systems and humans, 2007, 37(4):569-585.
- [22] 罗鹏程,付攀峰,周经纶. 武器装备体系作战能力评估框架[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(1):72-75.
- [23] 唐铁军,徐浩军. 应用兰彻斯特法进行体系对抗效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2007, 32(8):52-54.
- [24] 袁宏皓,袁成. 体系效能评估技术发展综述[J/OL]. 飞航导弹. <https://doi.org/10.16338/j.issn.1009-1319.20190809>.
- [25] 刘德胜,付东. 作战体系评估及评估方法研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2018, 32(3):14-17.