

基于 DoDAF2.0 的多机协同探测系统体系结构设计

乔 心¹, 李永宾¹, 葛小凯^{1,2}

(1. 空军工程大学装备管理与安全工程学院,西安,710051;2. 93050 部队,辽宁丹东,118008)

摘要 为适应体系作战研究需要,对 DoDAF2.0 体系结构框架进行研究,分析了 DoDAF2.0 的元模型、各类视角与模型及其之间关系。基于数据为中心的核心思想、不同视角作用与不同模型的功能,给出了以元数据为核心的体系结构开发过程与具体实施步骤。以多机协同探测为例在 Rational Rhapsody 下进行了体系结构建模,并对体系结构中动态视图验证与分析进行了阐述,最后对 DoDAF2.0 在体系作战研究中的应用进行了展望。

关键词 DoDAF;数据为中心;体系结构开发;协同探测

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2017.01.004

中图分类号 V219;TP302 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2017)01-0020-07

Architecture Design of Multi-Aircraft Cooperative Detection System Based on DoDAF V2.0

QIAO Xin¹, LI Yongbin¹, GE Xiaokai^{1,2}

(1. Equipment Management & Safety Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China;2. Unit 93050, Dandong 118008, Liaoning, China)

Abstract: DoDAF2.0 architecture framework is researched to meet operational architecture problem study demands. Data center concepts of DM2 (DoDAF Meta-model), application of view points, functions of Views and the relation of them are analyzed. A data centric development approach and practical process is presented based on theses. And a multi-aircraft cooperative detection system is developed under Rational Rhapsody 7.6 to demonstrate the proposed methods. Finally the validation method of architecture and further discussion is given.

Key words: department of defense architecture framework; data-centric; architecture development; cooperative detection

信息化战争是交战双方体系与体系的对抗,体系作战能力逐渐成为战斗力的基本形态,它不仅取决于体系构成要素的强弱,更取决于各要素组合状态的优劣。体系结构方法作为一种科学方法论及作

战体系顶层设计的具体存在形式已经得到广泛认可^[1]。对于体系这一复杂系统,体系结构建模与分析是体系问题研究及体系建设早期获取设计、分析和论证等关键信息的重要手段^[2]。美国国防部体系

收稿日期:2016-03-11

基金项目:中国博士后科学基金(2016M592921)

作者简介:乔 心(1981—),女,陕西昔阳人,工程师,硕士生,主要从事军事装备学、装备体系设计研究。E-mail:joy-524@163.com

通信作者:葛小凯(1984—),男,陕西周至人,工程师,博士后,主要从事装备体系论证、体系设计与仿真方面、装备维修保障决策研究。E-mail:wjzaxian1984@163.com

引用格式:乔心,李永宾,葛小凯. 基于 DoDAF2.0 的多机协同探测系统体系结构设计[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2017,18(1):20-26. [J]. Journal of Air Force Engineering University(Natural Science Edition), 2017, 18(1): 20-26.

结构框架(DoDAF)是当前使用最广泛的体系结构框架,已成为系统体系结构设计标准,其中 2.0 版更强调使用体系结构数据来支撑分析和决策制定^[3-4],当且仅当有了适当的体系结构数据,依据各类模型创建的视图产品才有意义、更实用,进而才可能用易理解、更创新灵活的方式来展现体系结构数据。以数据为核心的体系结构思想,确保了跨体系结构视图之间的协调一致与互操作性,实现了体系结构相关信息的关联^[5]。

DoDAF2.0 体系结构框架对我军体系作战研究具有参考价值^[6-8]。但它作为一个顶层方法论框架,并没有给出具体实施办法,论文通过分析 DoDAF2.0 中关键的元数据、视角、模型之间关系,结合 DoDAF 六步开发过程^[3],给出了体系结构设计与开发的实施流程与步骤。最后以多机协同探测想定为对象,在 Rational Rhapsody 环境中进行了体系结构建模,并给出了体系结构验证过程。

1 DoDAF2.0 体系结构框架构成

随着体系结构框架研究、应用不断推广及信息技术发展,美军在 C⁴ISR 体系结构框架基础上,先后颁布了国防部体系结构框架 DoDAF1.0、1.5 和 2.0,用来指导国防指挥控制系统及商业运作过程的系统体系结构设计。DoDAF 是体系结构开发顶层的、全面的框架和概念模型^[9-10]。

1.1 DoDAF2.0 元模型

国防部体系结构框架用元模型(DoDAF Meta-Model,DM2)替代了早期版本的核心体系结构数据模型,DM2 包含概念数据模型(Conceptual Data Model,CDM)、逻辑数据模型(LDM,Logical Data Model)和物理交换规范(Physical Exchange Specification,PES),其中逻辑数据模型在 CDM 基础上增加了技术信息,是描述和构建 DoDAF 视图的基本词汇,也是形成物理交换规范的基础。它主要包括 12 个元模型类别的数据组^[3,9]:目标、能力、活动、执行者、服务、资源流、信息和数据、项目、训练/技能/交互、规则、测量、位置。

DM2 提供了体系结构描述中数据采集、组织和维护的高层视图,也为体系结构开发中数据重用提供了途径,是体系结构开发的基础模块,DoDAF2.0 给出了各元模型数据组与不同视角之间映射关系^[3,9],这也是论文实施体系结构开发步骤的重要依据。

1.2 DoDAF2.0 体系结构视角与模型

DoDAF2.0 从早期版本中的全视图、作战视图、系统视图、服务视图和技术标准视图(Views),改为

更具体的 8 个视角(ViewPoint),共包含 58 个模型,模型可看作一种模板,用来以易理解的格式来收集、组织并呈现数据,当模型填充了数据就成了视图,多个视图有机组合构成视角,各视角以适当的定义组合起来就构成了整个体系结构描述^[3]。

为更好地辅助决策者和过程执行者,DoDAF2.0 模型表现形式主要有表格型、结构型、行为型、映射型、本体型和图表面型等 7 个类型。不同表现形式反映了其表现功能的特点,如本体型与结构型,多为描述不同视角下元素之间静态组成或关系(CV-2 能力分类,CV-4 能力关系,OV-2 作战资源流,OV-4 组织关系图等)。行为型(OV-6a/b/c,SV-4,SV-10a/b/c)对不同视角内元素动态关系的进一步刻画,主要包括过程、状态转换及时序关系。映射型(CV-6, CV-7,SV-3,SV-5a,SV-5b)反映了能力、作战、系统之间的相互支撑关系。

2 以数据为中心的体系结构开发方法与步骤

根据 1.2 分析可知核心视图主要有静态、动态和映射 3 类,遵循自顶向下逐步细化原则,可按先静态后动态最后映射顺序开发。此外依照不同视角作用,作战视角描述指导作战所需的任务、活动及作战要素,能力视角描述体系能力需求,系统视角描述系统资源、作战能力需求相互关联下的系统构成关系,确定先作战后能力最后系统的开发顺序。

依据数据为中心的核心思想,同时兼顾不同视角与模型功能特点,可确定体系结构实施步骤如下:

Step1 确定体系结构的目标、意图和范围,形成初始 AV-1。

Step2 从疑问词入手,收集体系结构元数据,形成 AV-2 初始综合字典与 DIV-1 概念数据模型,当 AV-2 完善后对 AV-1 及 DIV-1 进一步细化。

Step3 依据 AV-2,采用自顶向下,从静态到动态,作战-能力-系统的原则,构建体系结构视图;

1) 依据 AV-2 构建概念与构想图:分析系统使命与作战领域信息,根据 AV-2 综合词典,确定体系结构中交互的外部系统、参与者或角色,从作战视角出发构建 OV-1 高级作战概念图,同时根据 AV-2 分析体系结构能力需求与目标,构建 CV-1 能力构想视图。

2) 构建作战活动相关视图:分析 OV-1 识别作战活动、作战节点,确定作战活动关系以及输入和输出信息,构建 OV-5 作战活动模型,建立影响活动的

运行规则(OV-6a),确定作战节点并构建作战节点连接描述(OV-2),定义作战节点交互消息(OV-3),在作战节点消息与作战活动关系基础上,构建作战交互的时序图(OV-6c事件跟踪视图),当OV-6c表现行为是事件驱动时,构建对应状态图(OV-6b),最后根据OV-2作战节点关系构建组织关系视图(OV-2)。这里根据事件跟踪视图创建所需数据支撑,创建DIV-2逻辑数据视图;

3)构建能力分析相关视图:根据能力构想及不同作战活动所需能力和相关约束以此构建能力视图,确定能力层次(CV-2能力分类视图),分析能力之间关系(CV-4能力关系视图),划分能力阶段(CV-3能力阶段视图)。

4)构建系统描述相关视图:根据作战活动包含的功能与数据流,分析并建立与作战活动视图对应的系统功能视图(SV-4),确定系统节点、系统、部件及其连接关系(SV-1),分析系统、部件及服务之间通信关系(SV-2),然后根据OV-6a/b/c转换依次构建系统规则(SV-10a)、系统状态转换视图(SV-10b)、系统事件跟踪视图(SV-10c)、系统信息交换矩阵(SV-6)及系统性能参数矩阵(SV-7)等状态转移相关动态视图,最后根据整个架构中系统与子系统之间关系产生SV-3系统矩阵,并设计物理数据模型(DIV-3)。

5)构建映射关系视图:根据能力与活动分析,描述能力到组织、活动与服务之间的映射(CV-5,CV-6,Cv-7),建立作战活动与实现它所需系统功能的映射(SV-5a,SV-5b)。在系统描述与实现视图基础上,可以描述系统演化或移植过程(SV-8),并预测技术对体系结构开发的影响(SV-9),进而列出体系结构的标准列表(StdV-1)和标准预测视图(StdV-2)。如果需要可根据实现系统所需服务,将系统功能映射到对应服务,构建SvcV-1到SvcV-10的服务视图。

Step4 创建系统集成视图。如果体系结构满足分析要求,则根据目标用户不同对不同视角的视图与数据进行集成展现,输出结果。否则返回Step2,反复迭代直到满足需要为止。

3 多机协同探测系统体系结构开发与验证

3.1 体系结构顶层设计与DM2数据收集

多机协同探测系统作战想定为:我方一架预警机与多架飞机在指定空域巡航,敌方飞机向我方进行机动,预警机作为指挥控制中心发射雷达波束,其

余飞机作为探测机(文中通指可以接收回波信号的其它参与协同探测的飞机)接收目标回波信号,对探测信息融合,在预警机指挥下进行分布式协同探测,实现对敌方飞机探测的目的。

根据想定可确定多机协同探测系统的参与者为预警机、探测机、目标机(形成初步AV-1)。然后根据第2节的步骤确定AV-2,这里简要给出确定的能力、活动与执行者内容:①系统必须具备主要能力有:协同探测能力(协同后整个体系的探测能力)、预警探测能力(预警平台固有探测能力)、侦察探测能力、通信能力、协同指控能力。②分析并分解上述能力对应的系统主要工作过程,得到协同探测系统主要活动有:发射雷达波束、接收回波信号、下达协同指令、产生回波、上报探测结果、探测结果融合、识别目标等。通过进一步分析活动产生的结果及作用对象可确定资源数据。③分析活动及资源数据可确定系统执行者有指挥中心、雷达发射机、雷达接收机、探测机、通信节点、数据融合节点等。

3.2 协同探测关键视图设计

根据初始AV-1与AV-2按照上述步骤和原则,在Rational Rhapsody^[11]环境下开发相应视图,首先构建CV-1对多机协同探测系统的能力构想进行描述,将作战想定文字内容进行直观描绘形成OV-1,作为进一步分析作战过程与参与者的基础。在OV-1基础上分析作战想定,根据作战阶段不同将体系分为“预警探测”、“协同探测”两个作战任务对象,对每个任务对象按照参与者、执行的活动、资源交互关系及内部状态转换的顺序依次创建OV-5b、OV-6c和OV-6b,以这3个视图为主线实现作战相关信息的收集并对其它作战视图完善。

3.2.1 作战视角开发

OV-5b作战活动图对任务对象包括的作战节点、作战活动、活动之间的关系进行描述。任务概念图的分析过程已经包含了OV-5b足够的信息,OV-5b与任务对象紧密关联,每个任务对象对应一个OV-5b。例如对于协同探测任务,作战节点包括指挥控制、数据融合、发射机、接收机、通信和探测机节点,通过分析该任务执行过程、作战节点在过程中所需进行的操作,创建协同探测任务的作战活动图见图1(图中省略通信与探测机节点)。

随后根据OV-1和OV-5b创建OV-2对作战节点间关系进行描述,定义各节点交互所需端口,并建立端口间需求关系(需求线),在创建OV-6c后,将会自动添加需求线信息。OV-5b也是开发OV-6c的基础,在确定了作战节点、操作和作战规则后对作战时序关系进行描述形成OV-6c,(见图2)。

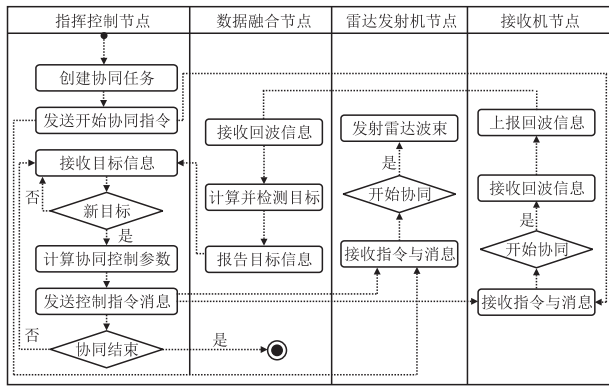


图 1 OV-5b 协同探测作战活动视图

Fig. 1 The operational activity model diagram of cooperation detection (OV-5b)

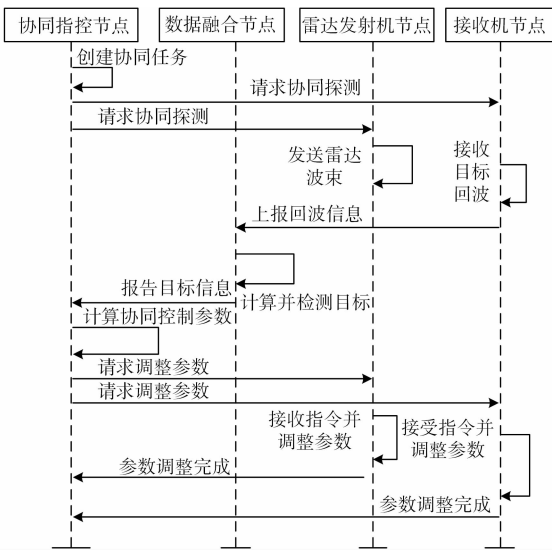


图 2 OV-6c 协同探测事件追踪描述视图

Fig. 2 The event trace descriptions diagram of cooperation detection (OV-6c)

不同于 OV-5b, OV-6c 更关注每个作战节点的个体操作,包括作战活动以及失败处理和意外等,并对作战节点需处理的事件及参数进行定义。

图中顶部表示各作战节点的时间线,各节点上有 2 类作战活动消息,用于表示不同节点及节点之间的作战活动关系。①作战节点自身执行的作战活动消息,如“创建协同任务”,发射机的“发送雷达波束”;②请求任务对象消息,表示不同节点之间有消息发送与接收。其中任务对象消息有 2 类:请求其它节点执行某一任务,如指挥控制节点向雷达发射机与雷达接收机发送的“请求协同探测”消息;用于通知其它节点任务已经完成的通知或报告消息,需要在消息中传递的内容以参数形式出现,如接收机节点向数据融合节点发送的“上报回波信息”,参数为“回波信息”。垂直方向表示不同事件执行顺序。

创建完 OV-5b 和 OV-6c 后为每个作战节点创建 OV-6b,描述作战节点内部执行过程,图 3 是数

据融合节点状态转换图。OV-6b 反映作战节点在多个任务对象之间的交互,突出节点对于 OV-6c 所定义事件的响应与转换过程。

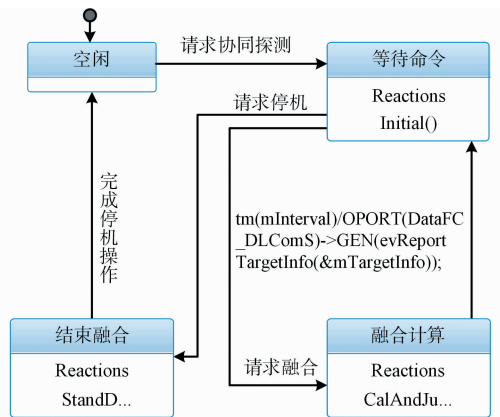


图 3 OV-6b 数据融合作战节点状态转移视图

Fig. 3 The operational state transition description diagram of data fusion operational node (OV-6b)

数据融合节点共包含 4 个状态,各状态及转换规则如下:

1) 空闲:状态转换的起点,表示待机状态;

2) 等待命令:表示数据融合节点正常工作并待命的状态,该状态执行相关的初始化工作(图中 Initial()操作,如图 2 中的接收回波信息操作);

进入该状态包括 2 个转换:1 当收到“请求协同探测”消息后从空闲状态转入该状态;2 当完成一次融合后,从“融合计算”状态转入该状态。

3) 融合计算:当收到“请求融合”消息时转入此状态,该状态计算并检测目标,之后转入“等待命令”状态,在转换中执行“报告目标信息”操作(图中粗线条所表示转换执行的内容)。

OPORT(DataFC_CoCC)-> GEN(evReportTargetInfo(&mTargetInfo))表示在通信节点的 DataFC_CoCC 端口生成“报告目标信息”(evReportTargetInfo)消息并发送,参数是目标信息(mTargetInfo),这里的端口、消息与参数分别在 OV-2 和 OV-6c 中已经定义。

4) 结束融合:当收到请求停机消息后,转入“结束融合”状态并执行停机操作(图中 standDown()),之后转入“空闲”状态。

构建过程中 OV-1 是出发点,OV-5 是过程,OV-6 提供了验证途径,通过迭代不断完善 DM2 收集,并通过作战视角展现。

3.2.2 能力视角开发说明

能力视角可看作整个作战体系的用户需求,主要是通过能力分类来确定能力需求并将能力映射到作战活动或系统功能中,使得作战过程设计满足体系结

构的能力要求。对多机协同探测体系而言,设计的目的是通过体系分析过程明确作战场景、活动和需求,然后选择合适系统资源对其进行实现。在能力愿景(CV-1)下梳理需完成的能力并对能力分类分层,将子能力分配到作战节点。若不同时期或阶段需要达到不同的能力,可以对能力阶段进一步细分。

3.2.3 系统视角开发

系统视角描述实现体系结构所需的资源、资源功能、资源提供的接口、资源交互关系等。文中基于 XSim 仿真资源对多机协同探测体系进行仿真实

现。该平台主要分为实体和组件模型,实体模型由组件模型装配形成。组件模型主要有平台、装备和任务组件,其中平台组件是实体的基本载体和容器,装备组件是依附于平台上的其他装备,任务组件对仿真中动作、战术任务、规则和指挥决策准则等进行仿真。其中组件之间通过消息和控制指令进行交互,任务组件产生消息和控制指令,平台和任务组件处理消息,装备组件处理控制指令。

基于 XSim 平台资源和作战视角开发系统视角,图 4 是 SV-1 系统接口描述图的块定义图。

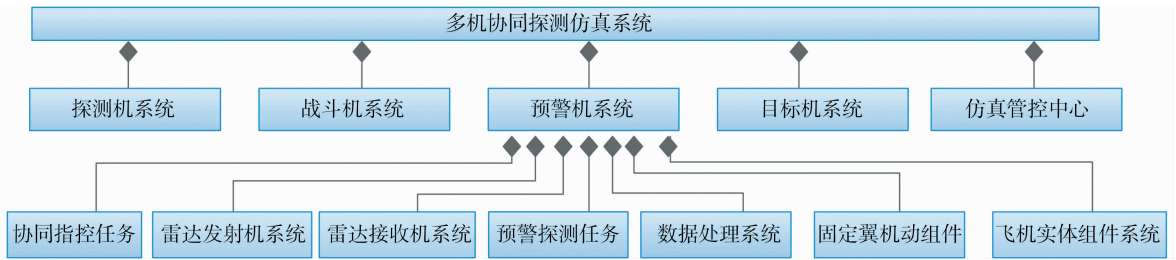


图 4 SV-1 系统接口描述块定义图

Fig. 4 The systems Interface description block definition diagram of cooperation detection (SV-1BDD)

图中顶层表示多机协同探测仿真系统,根据作战视角分析,第 2 层表示仿真系统所涉及的实体(根据仿真需要增加了战斗机实体)。第 3 层是根据 XSim 模型构成,从平台、装备、任务上对实体的进一步分解。图中只给出预警机系统的 7 个子系统构成。其中最底层两个蓝色子系统“飞机实体组件”和“固定翼机动组件”,为各飞机系统的基本构成单元。通信系统可直接由管控中心实现。

图 5 是对预警机子系统内部接口关系的进一步描述,其中 EWP_SCC 和 EWP_TF 分别表示预警机子系统与探测机、目标机系统的交互端口,红色连线(1)和(2)分别为预警探测任务、协同探测任务与探测机的资源线,(3)和(4)分别为雷达发射机、接收机与目标机系统资源线,资源线上的箭头及名称分别表示之间资源流动方向和交互内容,如雷达发射机通过端口 EWP-TF 向目标机系统发送“雷达信号”数据。SV-1IBD 是 OV-2 作战节点连接关系在系统层的对应。

在系统接口描述对系统构成与接口关系明确后,结合图 1(OV-5b),根据系统构成对系统功能及各子系统功能的交互关系与过程进行描述进而形成 SV-4,SV-4 可看作是对 OV-2 在系统实现上的一个映射,与图 1 不同的是在 SV-4 中每个泳道为各子系统,此处省略。

对系统视角而言作战视角相当于其开发需求,SV-5 描述作战活动到系统及系统功能的映射关系。SV-5 创建时直接拖入之前创建好的功能与活动,然

后在 SV-5 中创建功能与活动之间的映射关系,标明作战活动由哪个功能来完成,通过构建 SV-5 将作战过程一一映射到系统实现层面。

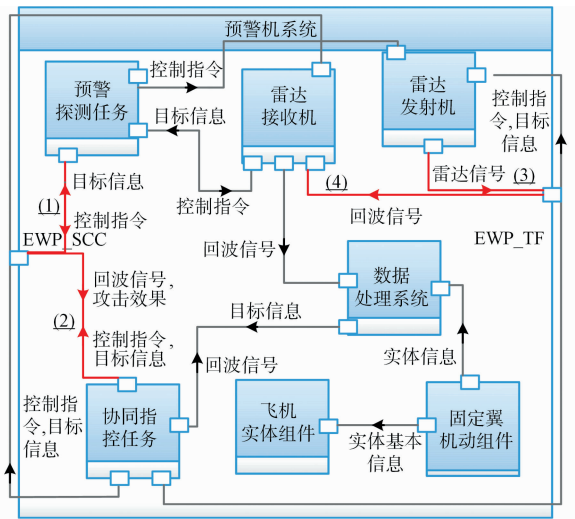


图 5 SV-1 预警机子系统内部块图

Fig. 5 The systems Interface description internal block diagram of early warning sub-system (SV-1 IBD)

当完成所有系统、子系统的 SV-5 设计后,会自动形成 SV-5a 和 SV-5b 视图,以表格形式对系统与作战活动间追踪映射关系进行汇总。SV-5a、SV-5b 与 SV-5 同时使用提供了作战活动需求到系统开发需求的完整映射,可用于识别重复与检查遗漏。

此外,根据适用原则可抽取 OV-2 与 SV-1IBD

参考文献(References):

- [1] 国防科学技术大学信息系统与管理学院. 体系结构研究[M]. 北京:军事科学出版社,2011.
National University of Defense Technology and School of Management Information System. Architecture Research[M]. Beijing: Military Medical Science Press, 2011. (in Chinese)
- [2] 王雪峥,许雪梅. 基于 DoDAF 的靶场体系结构设计[J]. 系统工程理论与实践, 2013,33(1): 249-254.
WANG X Z, XU X M. Architecture Design of Test Range Based on DoDAF[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2013, 33(1): 249-254. (in Chinese)
- [3] DoD Architecture Frameworking Group. DoD Architecture Framework Version 2.0 Volume I: Architectural Data and Models [S]. Washington DC: US Department of Defense, 2009.
- [4] DoD Architecture Frameworking Group. DoD Architecture Framework Version 2.0 Volume II: Architectural Data and Models [S]. Washington DC: US Department of Defense, 2009.
- [5] 熊伟,简平. 以数据为中心的天基预警系统视图模型研究[J]. 指挥控制与仿真,2013,35(5): 11-16.
XIONG W, JIAN P. Research on System View Models of Space-Based Early Warning System Based on Data-Centered Method[J]. Command Control & Simulation, 2013, 35(5): 11-16. (in Chinese)
- [6] 罗爱民,姜军,罗雪山. C⁴ISR 体系结构产品实体关系一致性分析方法[J]. 计算机应用,2008,28(1): 224-225.
LUO A M, JIANG J, LUO X S. Consistency Analysis Method of Entity Relationship of C⁴ISR Architecture Products [J]. Computer Applications, 2008, 28(1): 224-225. (in Chinese)
- [7] 陈岩,李志淮,谭贤四,等. 基于 xUML 的 DoDAF 可执行体系结构开发与验证[J]. 系统仿真学报,2014, 26(1): 152-158.
CHEN Y, LI Z H, TAN X S, et al. Design and Validation for DoDAF Executable Architecture Based on xUML[J]. Journal of System Simulation, 2014, 26(1): 152-158. (in Chinese)
- [8] 姚延军,王红,谭贤四,等. 基于 DoDAF2.0 的体系结构开发方法[J]. 火力与指挥控制, 2013,38(3): 103-107.
YAO Y J, WANG H, TAN X S, et al. An Approach to Architecture Development Based on DoDAF2.0[J]. Fire Control & Command Control, 2013, 38(3): 103-107. (in Chinese)
- [9] Object Management Group. Unified Profile for DoDAF and Modaf(UPDM)[R]. OMG, 2013.
- [10] Department of Defense. Department of Defense Information Enterprise Architecture(DoD IEA) Version2.0[R], U. S: Department of Defense,2012.
- [11] Hans Peter Hoffmann. Model based systems engineering with rational rhapsody and rational harmony for systems engineering [M]. USA: IBM Corporation,2011.
- [12] IBM. IBM Rational Rhapsody Help [EB/OL]. (2013-02-01). <http://www.ibm.com/software/awdtools/rhapsody/>.
- [13] WANGENHALS L W, LEVIS A H. Service Oriented Architectures, the DoD Architecture Framework, and Executable Architectures[J]. System Engineering, 2009, 4(12): 56-72.
- [14] GIACHETTI R E. A Flexible Approach to Realize an Enterprise Architecture[J]. Procedia Computer Science, 2012, 8(15): 147-152.
- [15] BOONMAP, SUZUKI J. Moppet: A Model-Driven Performance Engineering Framework for Wireless Sensor Networks [J]. The Computer Journal, 2010, 53(10): 1674-1690, 2010.
- [16] FONTUGNE R, ORTIZ J, TREMBLAY N, et al. Strip, Bind, and Search: a Method for Identifying Abnormal Energy Consumption in Buildings[C]//International Conference on Information Processing in Sensor Networks. ACM/IEEE, 2013: 129-140.
- [17] DARIO J D, RODIRGO T S, Ricardo L V. Develop an Executable Architecture for a System of Systems: a Teaching Management Model[J]. Procedia Computer Science, 2014, 36: 80-86.
- [18] DJENANA C. Establishing and Maintaining Trust for an Airborne Network Search and Rescue Enterprise: Security Assessment Report. AFRL-RY-WP-TR-2014-0251 [R]. Washington D C: KDMAnalytics Inc, 2014.
- [19] SARFARAZ M, SAUSER B J, Bauer E W. Using System Architecture Maturity Artifacts to Improve Technology Maturity Assessment[J]. Procedia Computer Science 2012, 8(8): 165-170.
- [20] BUENO A, CARRENO L T, DELGADO D J, et al. Executable Architecture Based on System Dynamics: an Integrated Methodology Composed by Standard System Dynamics Modeling and DoDAF Operational View Models[J]. Procedia Computer Science, 2014, 36: 87-92.

(编辑:徐楠楠)