

基于功能的武器装备体系结构描述方法

葛冰峰, 陈英武, 王军民, 赵 华

(国防科学技术大学信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 针对武器装备体系的特殊性, 提出了一个武器装备体系结构描述框架。在分析体系结构数据要素的语义关系基础上, 提出了基于功能的体系结构描述方法。该方法通过核心实体及其关系确定了产品集和描述内容, 并围绕对体系结构数据要素的创建与引用, 给出了一种武器装备体系结构系统视图产品的开发流程。以美军网络中心战的精确打击体系为例进行了实例研究, 验证了方法的可行性。

关键词: 武器装备体系; 体系结构描述; 功能语义; 体系结构数据要素

中图分类号: TP 302.1 **文献标志码:** A

Function-based approach for architecture description of weapons system-of-systems

GE Bing-feng, CHEN Ying-wu, WANG Jun-min, ZHAO Hua

(School of Information System and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: To develop the architecture of weapons system-of-systems, an architecture framework is presented according to its characteristics. After analyzing the semantic relationships of constituent architecture data elements, a function-based approach for architecture description is proposed. The set of products and their describing contents are identified based on the core entities and their associations. Then, according to the defining and referring of architecture data elements, a developing process of system view products is given. Finally, a precision engagement example of net-centric warfare is used to validate the feasibility of the approach.

Keywords: weapons system-of-systems; architecture description; function semantic; architecture data element

0 引 言

随着科学技术的日新月异, 武器装备智能化和信息化的程度越来越高, 战争形态也发生了变化, 强调体系与体系之间的对抗, 对组分系统之间的综合集成和互操作等提出了更高的要求。

体系结构是系统各部分的结构、它们之间的关系以及指导其设计和随时间演化的原则与指南^[1], 反映了体系的基本框架。体系结构描述通过一组视图和产品为武器装备体系建设绘制蓝图, 是体系顶层设计的一个重要组成部分, 是保证武器装备体系综合集成和可互操作的关键。目前, 比较典型的体系结构框架有 Zachman 框架、美军的 C⁴ISR 体系结构框架和 DoD 体系结构框架以及英军的 MOD 体系结构框架等。在现有体系结构框架中, 体系结构主要围绕以产品为中心和以数据为中心两种思想进行设计, 具体的描述方法有结构化方法^[2]、面向对象方法^[3]和形式化方

法^[4]。此外, 国外学者还提出了基于活动的方法论^[5]和体系结构规范模型^[6]等。然而针对武器装备体系结构, 现有的体系结构描述中存在着体系结构描述不规范、缺少对变化需求的响应以及体系结构数据不一致等问题。本文针对武器装备体系的特殊性以及体系结构描述中存在的上述问题, 提出了一个武器装备体系结构描述框架以及基于功能的体系结构描述方法。

1 武器装备体系结构描述框架

体系(system-of-systems, SoS)作为一类特殊的复杂巨系统, 其概念已经在各种学科中使用了很多年, 文献中最早可以追溯至 1964 年, 在讲述有关纽约市的《城市系统中的城市系统》中提到“Systems within Systems”^[7]。这些年来, 体系代表了一种用于提升现有系统能力的战略方法, 受到普遍重视。同时, 一门新的用于解决体系问题的工程学科——系统工程(system-of-systems engineering, SoSE)应运而生^[8]。

武器装备体系是指在国家安全和军事战略指导下,按照建设信息化军队、打赢信息化战争的总体要求,适应一体化联合作战的特点和规律,为发挥最佳的整体作战效能,由功能上相互联系、相互作用、性能上相互补充的各种武器装备系统,按一定结构综合集成的更高层次的武器装备系统。

可以看出,武器装备体系是为提供预期能力而组合在一起的相互依赖的武器装备系统集成,它不是系统的简单叠加,其能力超过所有组成部分的能力总和。任何一个组分系统的缺失都将可能降低整体的性能或能力。

Maier 给出了体系的五个主要特征:组分系统在运行上的独立性;组分系统在管理上的自主性;组分系统在地域上的分布性;涌现性和演化性^[9]。然而,武器装备体系作为一类特殊的体系,所面临的战场环境更加复杂,作战使命需求变化更快,层次结构和关系更加复杂。

因此,武器装备体系建设中需要重点解决的问题是:如何实现体系中组分系统的综合集成和互操作,让其表现为一个有机的整体;如何确保体系的性能一致地满足不断变化的能力需求。

本文借鉴现有体系结构框架的多视图理论,面向武器装备体系建设中需要重点解决的问题,强调对整个体系有宏观把握的同时使各个风险承担者可以关注于特定的方面,主要从能力需求、作战需求和应用、系统设计以及技术支持四个角度提出了一个武器装备体系结构描述框架,主要包括四个视图,即能力视图、作战视图、系统视图和技术视图,如图 1 所示。

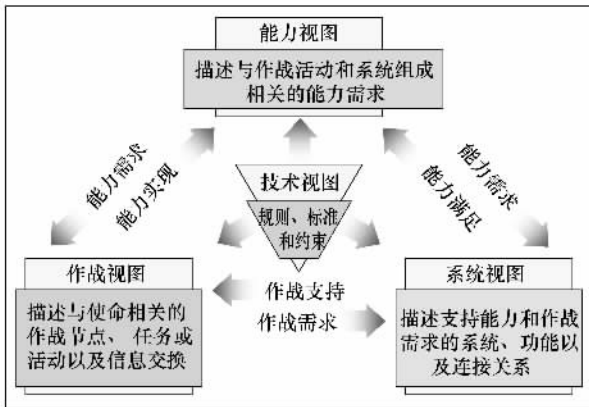


图 1 武器装备体系结构描述的总体框架

对于既定作战使命,可以利用一组能力视图产品描述与完成作战使命相关的能力需求。通过一组作战活动可以实现某种能力,从而可以用一组作战视图产品将能力需求转化为作战需求。在作战视图基础上,通过视图之间的关联关系,用一组系统视图产品表示体系中的组分系统及其系统功能是如何支持能力、作战活动以及信息交换等,从而

落实到如何利用系统去满足能力需求。技术视图提供适用于体系结构的标准、规则、政策和指南等。可以看出,系统视图能够有效地表现出体系的综合集成和互操作情况以及对能力需求的满足情况,是武器装备体系结构描述的重点。

2 基于功能的武器装备体系结构描述方法

2.1 基于功能的体系结构描述方法

体系结构描述过程中往往需要针对一系列“问题”进行设计与分析,这些“问题”从语义上通常可以归纳为“5W1H”,即 Why(规则)、What(产品)、Where(位置)、Who(主角)、When(事件)和 How(功能)^[6]。可以说,“5W1H”代表了体系结构描述时的六个不同方面,每个视图产品往往关注于其中一个方面,按照体系结构的设计原则,组成体系结构的体系结构数据要素可以根据“5W1H”进行组织,它们之间的关系如图 2 所示。

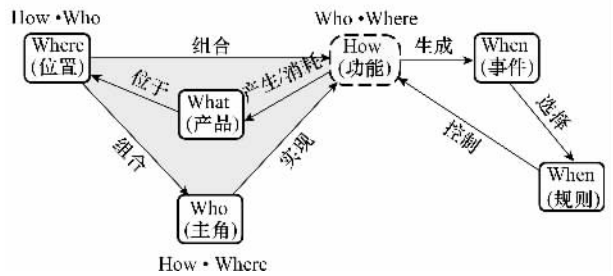


图 2 体系结构描述中的“5W1H”及其关系

可以看出,“How”处于“5W1H”的中心,是其他“5W”相互关联的枢纽以及进行体系结构产品开发的基础和关键。同时,“Where”、“Who”和“How”构成的三元关系代表了位置、主角和功能三方面语义的数据要素以及它们之间的关系,也是体系结构设计的核心内容,而“What”则是三元关系中数据要素之间相互作用过程的产物。因此,本文提出了基于功能的体系结构描述方法,并且“How”、“Where”、“Who”和“What”所代表语义上的数据实体及其关系和属性是进行体系结构描述的核心内容,构成了体系结构设计的基本建模元素。

基于功能的体系结构描述方法是一种以数据为中心的方法,它以体系结构数据要素中的功能语义(How)实体为主线,通过分析组成视图的核心实体以及它们之间的关系,为体系结构描述框架确定一组用于集成体系结构开发的产品集以及产品的描述内容。

因此,基于功能的体系结构描述方法主要遵循以下原则:

- (1) 坚持以数据为中心的设计思想,以开发集成体系结构(integrated architecture)为目标,强调视图和产品之间通过体系结构数据要素进行联系和集成,在产品开发时确

保体系结构数据要素唯一地被定义,并一致地应用于体系结构中的所有视图和产品。

(2) 能力视图中的能力实体、作战视图中的作战活动、作战节点、角色和信息等四个实体以及系统视图中的系统功能、系统节点、系统和数据等四个实体是体系结构设计中的核心实体。其中,能力、作战活动和系统功能这三个功能语义实体以及它们之间关系是进行体系结构设计的一条主线,并通过它们之间的映射关系实现系统对能力需求的支持描述。其他的一些体系结构数据要素(如属性、关系)可以从核心实体的关联关系中自动形成。

(3) 根据体系结构数据要素及其关系可以为体系结构描述框架确定一组用于集成体系结构开发的产品集以及产品的描述内容,并围绕对核心实体的创建与引用,确定武器装备体系结构视图产品的开发流程。

2.2 核心实体及其关系

以数据为中心的体系结构描述方法主要围绕体系结构数据要素及其关系进行体系结构设计,同时,体系结构产品开发也主要是在数据层和表现层上分别进行体系结构数据的建模和体系结构数据的表现,说明了找出体系结构数据要素的核心部分以及分析它们之间的关系和属性等对于体系结构描述极其重要。

组成体系结构的体系结构数据要素主要可以分成实体、关系、属性和规则四个对象类。实体是体系结构设计对象,表示设计时需要收集哪些体系结构数据;关系是实体之间的关联关系;属性是实体和关系所确定的特性;规则是指导系统设计和随时间演化的原则与指南等。体系结构数据要素分布在不同的视图和产品中,视图和产品通过体系结构数据要素相互关联和制约,从而共同构成对体系结构的描述。

对组成能力视图、作战视图和系统视图的体系结构数据实体及其关系和属性进行分析,可以得出主要的体系结构数据实体,它们构成了体系结构产品的主要内容,如图3

所示。作战视图和系统视图中存在着一组对称关联的体系结构数据要素^[5]。

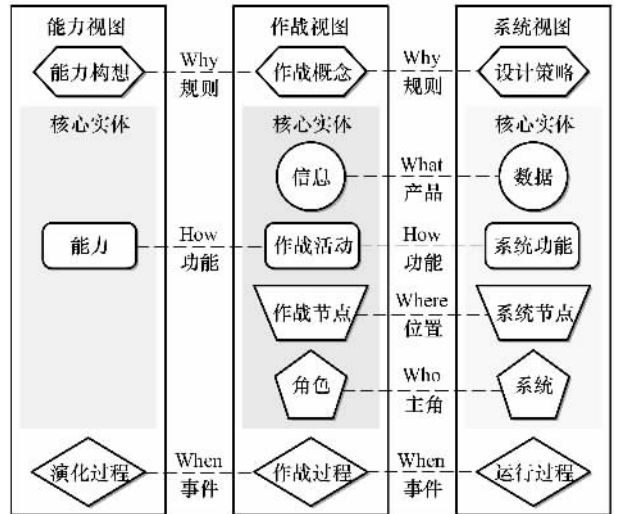


图 3 三个视图中主要的体系结构数据实体

在能力视图中,能力是核心实体。能力依赖表示能力实体之间的依赖关系。

在作战视图中,信息、作战活动、作战节点、角色是核心实体。需求线表示信息、作战活动和作战节点之间的关联关系,信息交换提供了需求线的属性。组织表示角色之间的关联关系。此外,角色还具有一定的知识、技能和本领。

在系统视图中,数据、系统功能、系统节点、系统是核心实体。接口表示数据、系统功能和系统节点之间的关联关系,数据交换提供了接口的属性。网络是系统之间的关联关系。此外,系统还具有一定的性能。

这些核心实体是相互关联的,在体系结构设计中,它们一般不能孤立地存在。核心实体及其关系构成了体系结构设计的基本语法规则,是确保体系结构产品满足语法规范性和数据完备性的基础,核心实体之间的关系如图4所示。

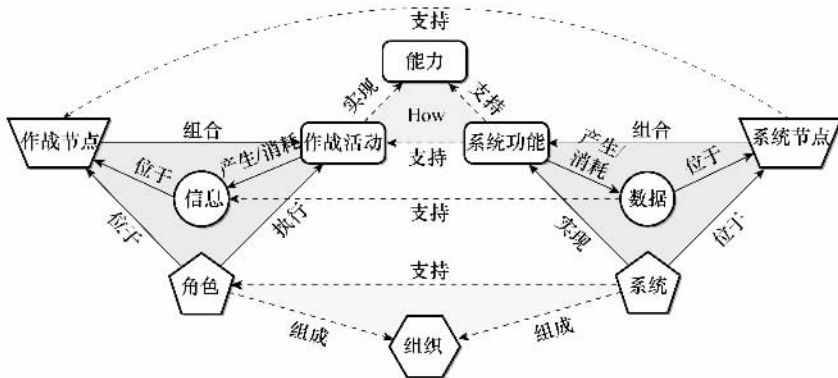


图 4 核心实体之间的关系

可以看出,核心实体之间的关系表现出四个三元关系:
(1) 能力、作战活动和系统功能构成的三元关系。能

力、作战活动和系统功能分别是能力视图、作战视图和系统视图中功能语义核心实体,它们构成的三元关系是本文基

于功能的体系结构描述方法的一条主线,也是三个视图之间相互关联和集成的关键和基础。

(2) 作战活动、作战节点和角色构成的三元关系。该三元关系加上信息是作战视图中“How”、“Where”、“Who”和“What”四个方面的内容,是作战视图产品设计的重要内容。

(3) 系统功能、系统节点和系统构成的三元关系。该三元关系加上数据是系统视图中“How”、“Where”、“Who”和“What”四个方面的内容,是系统视图产品设计的重要内容。

(4) 角色、系统和组织构成的三元关系。角色是体系中人的因素,系统是体系中物的因素。组织由角色和系统组成,体现了体系中人与物的结合,同时也是作战视图和系统视图之间关联的一个方面。

总的来说,系统视图中的核心实体是作战视图中核心

实体的实现,对其提供支持;而具备系统功能、支持作战活动的执行又要求有不同的系统组成和结构。

因此,根据上述核心实体及其关系可以给出一组用于集成体系结构开发的产品集。能力视图包括能力构想(CV-1)、能力列表(CV-2)、能力依赖图(CV-3)和能力到作战活动映射矩阵(CV-4),作战视图包括作战活动模型(OV-1)、作战节点连接描述(OV-2)、组织关系图(OV-3)和作战信息交换矩阵(OV-4);系统视图包括系统总体描述(SV-1)、系统功能描述(SV-2)、系统层次结构图(SV-3)、系统接口描述(SV-4a)、系统数据交换矩阵(SV-4b)、作战活动到系统功能映射矩阵(SV-5a)和能力到系统映射矩阵(SV-5b);技术视图包括技术标准轮廓(TV-1)和技术标准预测(TV-2)。通过分析这些产品及其包含的数据要素,可以得出它们通过数据要素关联在一起,共同构成集成体系结构,如图 5 所示。

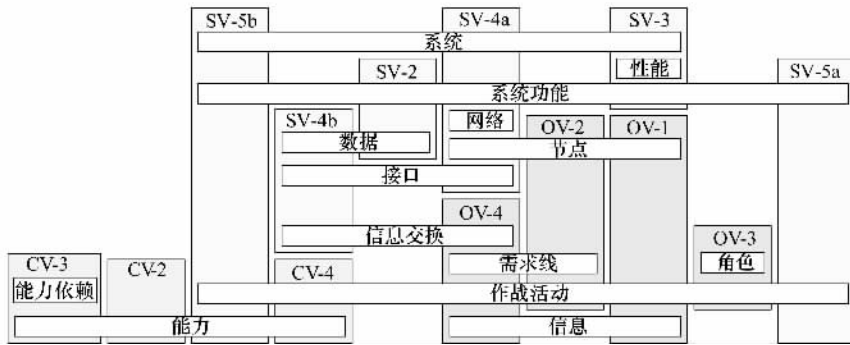


图 5 视图产品之间的关联关系

在确定体系结构所需的视图产品集后,需要明确每个产品的描述内容以及采取的表现形式。对于每一个产品,基于功能的方法首先利用核心体系结构数据模型^[10](CADM)对组成该产品的体系结构数据要素进行逻辑组织,再在保持与 CADM 模型一致的基础上选择图形、表格、文本等形式表现产品中的体系结构数据要素,从而实现分别在体系结构产品的数据层和表现层上进行体系结构数据的建模和表现。

2.3 系统视图产品的开发流程

在明确了体系结构设计所需的视图产品以及产品的描述内容之后,根据以数据为中心的设计思想和集成体系结构的要求,组成产品的体系结构数据要素在开发时应该唯一地被定义,并一致地应用于所有视图和产品。因此,视图产品之间通过底层的体系结构数据要素相互关联和影响的,这也暗示了在体系结构产品设计时,产品的设计顺序不是随意的,而是由产品设计内容及其关系决定的,即由组成产品的体系结构数据要素之间的关系所决定。本文对系统视图进行重点研究,通过分析核心实体以及它们之间的关系,提出了一种武器装备体系结构系统视图产品的开发流程,如图 6 所示。

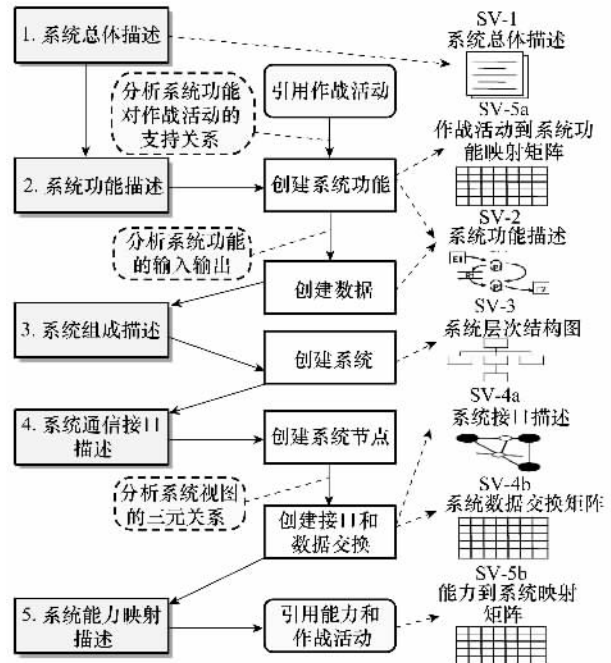


图 6 系统视图产品的开发流程

该开发流程根据武器装备体系结构的开发目的,主要分为五大步骤,在每一步中围绕对组成产品的核心实体及其关系和属性的创建与引用,设计相应的产品。在开发系统视图产品之前,假设能力视图中的能力实体和作战视图中的作战活动实体以及它们之间的关系是已知的,作为系统的能力需求和作战需求提供给系统视图产品。可以看出,该产品开发流程强调以体系结构数据要素为基础进行体系结构产品的设计。充分考虑产品之间的关联性,围绕系统视图中的核心实体及其关系和属性开发相应的产品,并且系统功能实体是系统视图与其他视图之间关联以及其他系统视图产品开发的基础,体现了基于功能的方法以数据为中心的思想,有利于产品之间的集成。

3 实例分析

以美军网络中心战的一个精确打击体系为例^[11]。该体系的基本作战想定为:在网络中心战背景下,联合部署智能支援系统(JDISS)指定情报采集需求,并通过“护栏”战术侦察机群和高空无人机对敌方指控中心实施侦察,并将获得的情报信息传回作战司令部,经过全源分析系统(ASAS)、战区作战管理中心系统(TBMCS)、全球指控系统(GCCS)和陆军野战炮兵战术数据系统(AFATDS)等对获得的情报数据分析处理后分发给各个作战单位,最终引导高级战术导弹系统(ATACMS)等对敌方指控中心实施精确打击,并对打击效果进行分析与评估。

根据基于功能的体系结构描述方法的设计原则,在假设能力及其与作战活动之间关系已知情况下,按照上述开发流程进行系统视图产品的开发,依次创建组成系统视图

产品的系统功能、数据、系统、系统节点、接口和数据交换等核心实体及其关系和属性,同时设计相应的产品,最终得到能力到系统映射矩阵。由于篇幅有限,本文中只给出系统接口描述(SV-4a)和能力到系统映射矩阵(SV-5b),分别如图 7 和表 1 所示。

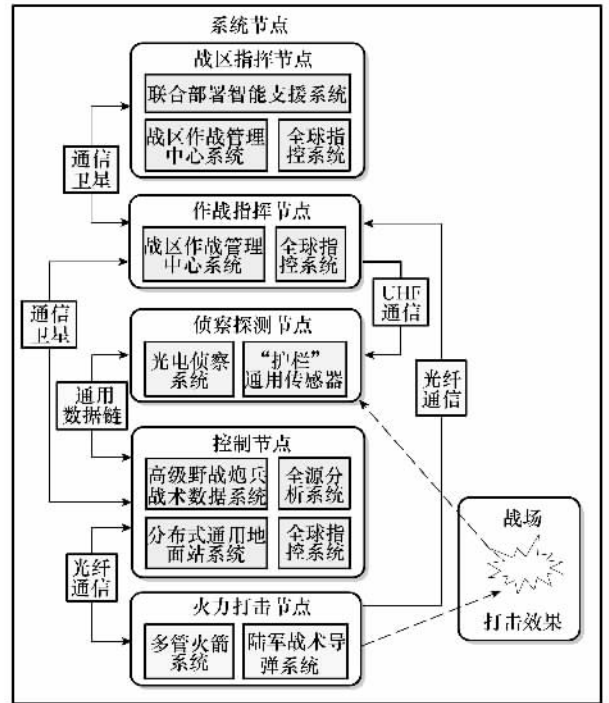


图 7 系统接口描述(SV-4a)

表 1 能力到系统映射矩阵(SV-5b)

系统	系统功能	战区指挥		作战指挥			侦察探测			控制			火力打击		
		发布任务命令和指导	更新任务计划	避免空中冲突	授权打击	搜索	侦察目标	侦察环境	识别目标	地理定位目标	指定目标	发布打击命令	执行打击命令	发射武器	
联合部署智能支援系统	部署传感器	✓													
	决策规划	✓													
战区作战管理中心系统	更新任务计划	✓	✓												
	空情图集成			✓											
全球指控系统	更新任务计划	✓	✓												
	采集规划		✓												
	武器目标关联		✓												
全源分析系统	任务执行				✓					✓	✓	✓			
	数据融合								✓	✓	✓	✓			
陆军野战炮兵战术数据系统	目标特征提取							✓							
	发布打击命令											✓			
分布式地面站系统	武器准备与发射												✓	✓	
	采集执行							✓	✓	✓	✓				
多管火箭系统	采集执行												✓	✓	
高级战术导弹系统	武器准备与发射													✓	
	武器准备与发射													✓	
高空无人机	单传感器侦察					✓	✓	✓							
	‘护栏’侦察机					✓	✓	✓							
地面站模块	单传感器侦察					✓	✓	✓							
	采集执行								✓	✓	✓	✓			
	数据融合								✓	✓					

通过系统视图产品可以对整个精确打击体系有一个宏观的把握,可以比较直观地了解体系的总体情况、功能组成、系统组成、系统间的通信接口关系以及将体系的能力需求映射到系统需求等。对于武器装备体系建设中需要重点解决的问题,可以利用 SV-4a 和 SV-4b 建立组分系统之间的可达性矩阵,在此基础上分析体系的综合集成和互操作情况;利用 SV-5b 分析组分系统所具有的系统功能对能力的满足情况,以便体系能够响应变化的能力需求,并分析其中可能存在的差距和冗余。

4 结束语

本文针对武器装备体系建设中需要重点解决的问题和体系结构描述中存在的问题,对武器装备体系结构描述的相关内容进行了研究,提出了一个武器装备体系结构描述框架以及基于功能的体系结构描述方法。首先通过分析组成视图的核心实体及其关系和属性确定体系结构描述框架的产品集以及产品的描述内容;然后再利用 CADM 模型对产品的体系结构数据要素进行逻辑组织,在此基础上选择合适的形式将体系结构数据可视化地表现出来;此外,围绕对体系结构数据要素的创建与引用,给出了一种系统视图产品的开发流程;通过实例分析,表明基于功能的体系结构描述方法对于武器装备体系结构描述是可行的。

参考文献:

- [1] DoD Architecture Framework Working Group. DoD architecture framework version 1.5[R]. U. S., Department of Defense, 2007.
- [2] 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.
- [3] Bienvenu M P, Shin I, Levis A H. C⁴ISR architectures: III. An object-oriented approach for architecture design[J]. *Systems Engineering*, 2000, 3(4):288-312.
- [4] 罗爱民, 黄力, 罗雪山. C⁴ISR 体系结构产品设计研究[J]. 国防科技大学学报, 2006,28(5):133-136.
- [5] Ring S J, Nicholson D, Thilenius J, et al. 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, 2004.
- [6] Ang H W, Nicholson D, Mercer B. Improving the practice of DoD architecting with the architecture specification model[OL]. http://www.mitre.org/work/tech_papers_05/05_0423/05_0423.pdf, 2005.
- [7] Lane J A, Valerdi R. Synthesizing SoS concepts for use in cost modeling[J]. *Systems Engineering*, 2007,10(4):297-308.
- [8] Sousa-Poza A, Kovacic S, Keating C. System of systems engineering: an emerging multidiscipline[J]. *International Journal of System of Systems Engineering*, 2008,1(1/2):1-17.
- [9] Maier M W. Architecting principles for systems-of-systems[C]// The Proc. of the Symposium of the International Council on Systems Engineering, 1996.
- [10] 姜志平, 罗爱民, 陈洪辉, 等. 核心体系结构数据模型的设计思想[J]. 火力与指挥控制, 2008,33(3):84-87.
- [11] Dickerson C E, Soules S M, Sabins M R, et al. Using architectures for research, development, and acquisition[R]. Washington, D. C.: Office of the Assistant Secretary of the Navy (Research Development and Acquisition), 2004.
- [12] 葛冰峰, 王超, 王超. 基于功能的武器装备体系结构描述方法[J]. *European Journal of Operational Research*, 2008,185(1):159-169.
- [7] Benkherouf L. On a stochastic inventory model with a generalized holding costs [J]. *European Journal of Operational Research*, 2007,182(2):730-737.
- [8] Solis A O, Schmidt C P. Stochastic lead times in a one-warehouse, N-retailer inventory system with the warehouse not carrying stock [J]. *European Journal of Operational Research*, 2007,181(2):1004-1013.
- [9] Dutta P, Chakraborty D, Roy A R. Continuous review inventory model in mixed fuzzy and stochastic environment [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2007, 188(1): 970-980.
- [10] Ouyang L Y, Yao J S. A minima distribution free procedure for mixed inventory model involving variable lead time with fuzzy demand [J]. *Computers and Operations Research*, 2002, 29(5):471-487.
- [11] Maiti M K, Maiti M. Two-storage inventory model with lot-size dependent fuzzy lead time under possibility constraints via genetic algorithm [J]. *European Journal of Operational Research*, 2007,179(2):352-371.
- [12] Dutta P, Chakraborty D, Roy A R. An inventory model for single-period products with reordering opportunities under fuzzy demand [J]. *Computers and Mathematics with Applications*, 2007,53(10):1502-1517.
- [13] Liu B. Theory and practice of uncertain programming [M]. *Heidelberg, Physica-Verlag*, 2002:78-105.

(上接第 85 页)