

基于 DoDAF 的顶层设计建模与验证

陈新中¹, 顾文¹, 李承延¹, 张杰²

(1. 中国电子科学研究院, 北京 100041; 2. 通信指挥学院, 武汉 430010)

摘要: 体系结构模型是顶层设计的重要方法之一, 是降低风险、缩短研制周期、保证系统满足军事需求的重要手段。针对体系结构建模和验证, 对综合电子信息系统(C⁴ISR)采用基于 DoDAF 进行顶层设计的方法, 以要地防空指控系统为实例, 展示建模与验证的过程, 结果证明了该方法的可行性。

关键词: 综合电子信息系统; 顶层设计; 模型验证

Modeling and Validation of Top-level Design Based on DoDAF

CHEN Xin-zhong¹, GU Wen¹, LI Cheng-yan¹, ZHANG Jie²

(1. China Academy of Electronics and Information Technology, Beijing 100041;
2. Communication and Command Academy, Wuhan 430010)

【Abstract】 As a typical open complexity system-of-systems, the openness and complexity of C⁴ISR determines that it must be developed by the direction of system engineering theory and method. System architecture modeling is one of the most important ways in top-level design, which can reduce the risk, shorten developing period and ensure to satisfy the military's requirements. Aiming at the system architecture modeling and validation, adopting the top-level design method based on DoDAF, this paper puts forward the specific process and takes the strategic location air-defense command and control system for an example, demonstrates the process of modeling and validation. The result proves that this method is practicable.

【Keywords】 C⁴ISR; top-level design; model validation

综合电子信息系统(C⁴ISR)作为典型的“开放复杂巨系统”,其开放性和复杂性决定了其必须在系统工程理论和方法指导下进行研制,以确保最终实现的系统能满足军事需求^[1]。为有效开发C⁴ISR,控制开发风险、注重顶层设计与验证其正确性已成为共识。在系统开始研制前,根据军事需求建立体系结构模型并对其进行验证和检验,对提高C⁴ISR的研发效率、缩短研制周期、降低研制风险具有重要意义。

1 基于DoDAF的顶层设计建模与验证

为适应C⁴ISR日益网络化的趋势,系统实现途径已经出现了重大的变革,由先期研制、后期集成逐步过渡到注重先期顶层设计与全系统验证。在系统设计技术方面,重视研究体系结构,规范系统设计方法,具体指导系统顶层设计与系统集成。

1.1 DoDAF简介

美国国防部根据国际系统工程领域的技术进展和美国最近20年来的军事系统研发经验,先后颁布了DoDAF v1.0和DoDAF v1.5作为指导所有军事工程项目研发的系统工程方法论。DoDAF提出体系结构描述的4个视图:全景视图,作战视图,系统视图,技术视图,并给出相应的26个描述性产品,分别从不同角度描述系统体系结构的构建和发展^[2-3]。但DoDAF只提出设计符合该框架的若干指导原则,并未提供开发体系结构产品的方法学和详细过程。

目前以体系结构框架为核心,使用国际对象管理组织OMG和国际工程协会INCOSE发布UML2.0^[4]和SysML,对C⁴ISR进行顶层设计建模和仿真的现代系统工程思想和方法学,已得到业界的广泛重视。

1.2 C⁴ISR顶层设计建模和验证

C⁴ISR的顶层设计是一个自顶向下、从抽象到具体的过程,应遵循现代系统工程思想和方法,基于模型驱动体系结构/模型驱动开发(MDA/MDD),按体系结构框架标准,使用UML2.0和SysML来建立系统的可执行模型,通过高层概念仿真来验证、校核模型与需求对应关系准确性、一致性,从而保证顶层设计的正确性。设计过程中首先是从作战概念设计出作战体系结构概念模型,在其基础上设计系统体系结构模型,包括功能部件的结构模型和信息流程和关系的对象模型,通过可执行模型的运行,进行逻辑上的体系结构评价和评估。从长期来看,由于需求的不稳定性,上述过程应该是持续、反复进行的,在某一阶段需求确定的前提下,进行迭代研究。基于DoDAF的顶层设计建模与验证大致分为3个阶段:作战体系结构设计阶段,系统体系结构设计阶段,体系结构模型验证阶段。

1.2.1 作战体系结构设计

作战体系结构设计任务是描述要系统支持的作战概念,包括完成作战任务的活动、作战要素、人员/组织之间的相关信息交换,定义交互信息的类型、频度、支持的作战活动以及信息种类,揭示作战能力和互操作性方面的需求。相应的产品有:高层作战概念OV-1,作战节点连接描述OV-2,作战信息交换矩阵OV-3,组织关系描述OV-4,作战活动描

作者简介: 陈新中(1964—),男,高级工程师、博士,主研方向: C⁴ISR 顶层设计;顾文,学士;李承延,高级工程师、硕士;张杰,硕士

收稿日期: 2009-01-28 **E-mail:** chenxinzhong@sina.com

述 OV-5, 作战规则描述 OV-6a, 作战状态转换描述 OV-6b, 作战事件跟踪描述 OV-6c, 逻辑数据模型 OV-7 等。作战体系结构设计具体步骤如下:

(1)OV-1 和 OV-4

OV-1 包括作战任务、使命、可用的资源和资产如何被使用和配置等作战概念的概要图形描述; OV-4 描述整个系统以及作战节点间的隶属关系、指挥层次等。

(2)OV-5 和 OV-7 及作战信息的定义

OV-5 是依据作战阶段和节点功能对整个作战过程进行分解, 描述作战活动的顺序和相互关系以及在作战活动中输入和输出的作战信息, 在确定作战信息的过程中会同时定义一些需要的数据模型, 这些数据模型组成了 OV-7, 作战信息是生成作战信息交互矩阵 OV-3 的基础。

(3)OV-6c 和 OV-6a

OV-6c 是对整个作战过程中作战任务和使命的进一步分析, 以事件发生的顺序描述各作战节点之间的动态交互关系和行为逻辑; OV-6a 描述整个作战过程中的作战规则, 如作战方案生成规则、战术决策规则、武器协同共用规则等。

(4)OV-2 和 OV-3

OV-2、OV-3 描述作战节点之间以及节点与外部的信息连接关系, 重点反映了作战体系结构的两种数据流关系: 指挥控制流和信息流。OV-2 以图形化的方式表达节点信息交互关系, 而 OV-3 是以矩阵形式表达的信息交互关系。

(5)OV-6b

OV-6b 描述每个作战节点的内部状态转换关系, 如状态的划分、状态变换的条件、状态内部活动及特征等, OV-6b 是生成可执行模型的关键。

在本阶段以 OV-1 驱动, OV-5 为过程, OV-2 为核心, OV-6c 提供验证机制, 根据内部逻辑关系逐步建立完善的作战体系模型, 这是一个反复迭代的过程。

1.2.2 系统体系结构设计

系统体系结构设计的主要任务是对支持或提供作战功能的各个系统内部结构和运行规则及其系统间互连和互操作关系的描述。与之对应的产品有系统接口描述 SV-1、系统通信描述 SV-2、系统关联矩阵 SV-3、系统功能描述 SV-4、作战活动和系统功能跟踪矩阵 SV-5、系统数据交互矩阵 SV-6、系统性能参数数据矩阵 SV-7、系统演化描述 SV-8、系统技术预测 SV-9、系统规则描述 SV-10a、系统状态转换描述 SV-10b、系统事件跟踪描述 SV-10c、物理数据描述 SV-11 等, 从上述 13 个方面来描述整个 DoDAF 系统的系统体系结构。系统体系结构设计的具体步骤如下:

(1)SV-4 和 SV-5

SV-4 主要是确定系统功能及其功能分解; SV-5 是描述各系统功能对作战活动 SV-5 的支持和实现情况。基于上一阶段的作战模型分析, 明确系统所需要的功能和数据流。确定子系统的功能分配及其与作战活动之间的对应关系。

(2)SV10a 和 SV10c

系统规则模型 SV-10a 对应于作战体系结构中的 OV-6a, 主要描述系统的运行规则。SV-10c 对应于作战体系结构中的 OV-6c, 主要描述系统为完成一定的功能而交互的信息顺序。

(3)SV-1, SV-3, SV-6 和 SV-11

SV-1 依据各系统间的动态交互模型建立系统接口连接关系; SV-3 描述节点内系统和系统的互连关系; SV-6 以表格形式描述系统间的信息交换矩阵; SV-11 是系统间交互信息

的具体内容和数据模型。

(4)SV-2, SV-7, SV-8 和 SV-9

SV-2 描述系统的通信网络、配置细节、线路的物理特性等; SV-7 主要是描述系统的软、硬件特征和性能, 如时延、容量、处理周期、更新速率等; SV-8 是在其他产品的基础上, 规划本系统的研制进度, 明确系统开发过程和各阶段的主要工作和关键成果; SV-9 主要关注在现有技术和未来新兴技术对体系结构和系统研制的影响。

(5)SV-10b

SV-10b 对应于作战体系结构中的 OV-10b, 描述每个子系统的内部状态, 是系统体系结构模型验证的基础。

无论是作战体系结构模型还是系统体系结构模型, 在上述阶段的实际应用中具有典型的代表性, 但却不是每个阶段的模型都要全部创建, 要根据系统的规模和表现方面的具体情况而定。在实践中, 整个建模过程将呈现多次迭代。

1.2.3 体系结构模型验证

体系结构设计的正确与否, 直接影响到系统的设计和质量。模型验证提供了一种有效的手段来验证体系结构的设计成果, 在顶层设计和详细设计过程中结合完善的模型验证手段将在设计过程中及时发现和修正描述不一致、逻辑缺陷和流程错误。从顶层设计阶段开始, 在设计各个阶段、各个逻辑层次进行系统的验证, 与研制总要求紧密结合, 反复迭代地进行设计、验证过程, 不断优化系统设计, 尽早发现问题, 尽早排除缺陷和错误, 从而降低设计风险、提高设计质量、保证系统的研制进度。

体系结构模型验证就是根据 DoDAF 体系结构描述过程中形成的模型, 生成可执行模型, 然后将可执行模型的运行结果与动态模型进行比较、分析, 验证所设计系统的逻辑和行为是否符合预期的要求。

模型验证的主要内容包括: 验证体系结构设计的逻辑正确性; 验证体系结构描述中的功能是否按照预期的顺序执行、功能所需的数据是否能够及时提供; 验证体系结构的行为与系统用户期望的行为是否一致, 即系统功能是否满足系统规格说明书的要求; 验证依据该体系结构设计的系统的性能指标能否达到系统技术规格书的要求。

2 要地防空指控系统顶层设计建模与验证

要地防空指控系统要实现各兵种指挥系统和作战单元间的互连互通, 保证协同作战, 能进行多情报源融合, 识别目标, 判定威胁, 实时提供作战方案, 并实现全程的作战指挥控制等^[5]。

本例中展示了一个简单的作战场景: 防空雷达进行空中目标的监视及搜索, 发现目标, 进行敌我识别, 若为敌方目标, 则根据通信时延, 将目标信息发给指控中心分析处理后指挥战斗机进行作战, 或直接将目标信息发给战斗机来引导战机作战; 战斗机上配有有机载雷达, 在一定的范围内也可以探测到目标信息。

2.1 作战体系结构模型的建立

根据上述描述, 首先开发 OV-1, 确定作战任务、参与者及场景等, 如图 1 所示。然后确定 OV-4 组织关系, 同时分析出作战节点之间的关系, 如图 2 所示。接着对发生在整个作战过程中的作战活动进行分析, 重点关注作战活动之间的关系以及活动间的输入输出信息, 得到 OV-5 作战活动模型, 如图 3 所示。在分析作战活动模型的过程中, 会相应地定义逻辑变量, 也就是 OV-7 逻辑数据模型, 如图 4 所示。

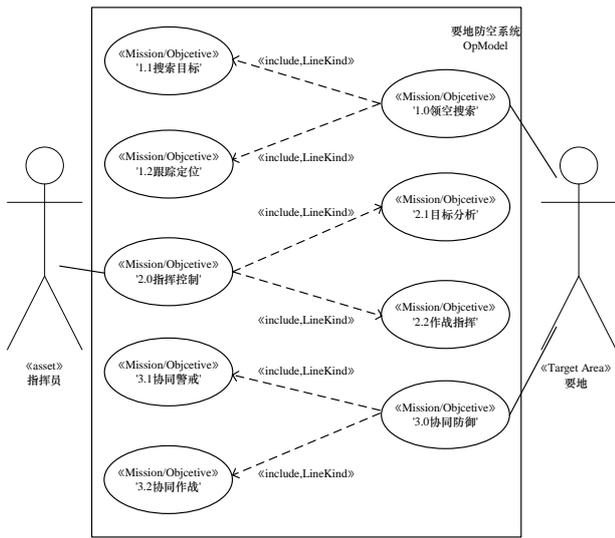


图 1 OV-1 高层作战概念

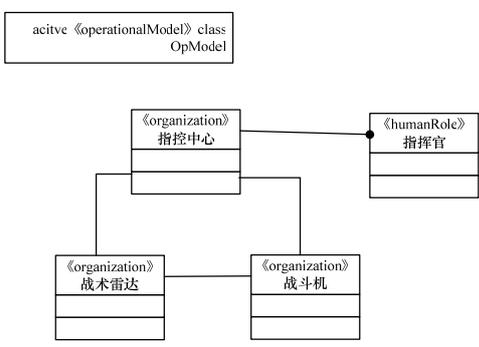


图 2 OV-4 组织关系

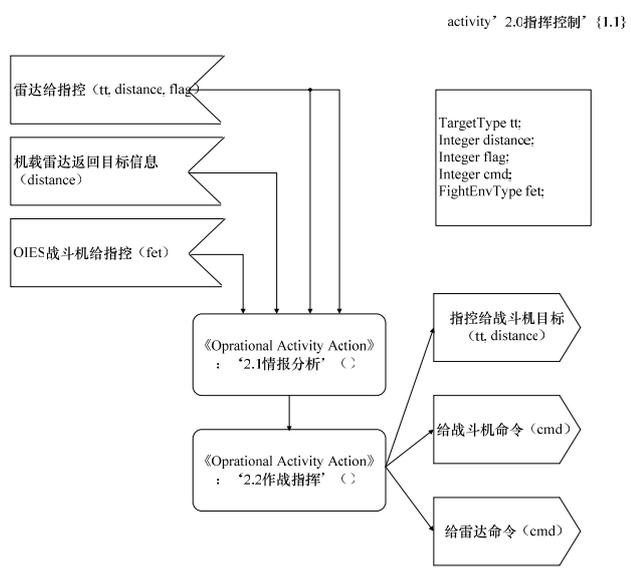


图 3 OV-5 作战活动模型

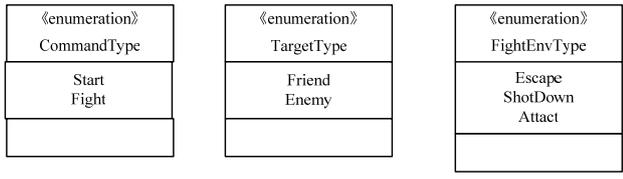


图 4 OV-7 逻辑数据模型

作战活动之间的输入输出信息，以及节点之间信息交互关系，这些都定义成作战信息元素，这是生成 OV-3 作战信息交互矩阵的基础。这些作战信息的定义过程中，会引用到上面定义的逻辑数据变量，如图 5 所示。从作战信息在作战节点之间交互的时间顺序角度来进一步描述作战任务，也就是 OV-6c 作战事件跟踪描述，如图 6 所示。描述作战节点之间的信息连接关系，以及和外界的连接关系，为作战信息交互确定相应的端口。也就是 OV-2 作战节点连接描述，如图 7 所示。最后描述每个作战节点的动态行为和状态改变，用状态图来描述，即 OV-6b 作战状态跟踪描述，如图 8 所示。



图 5 作战信息元素

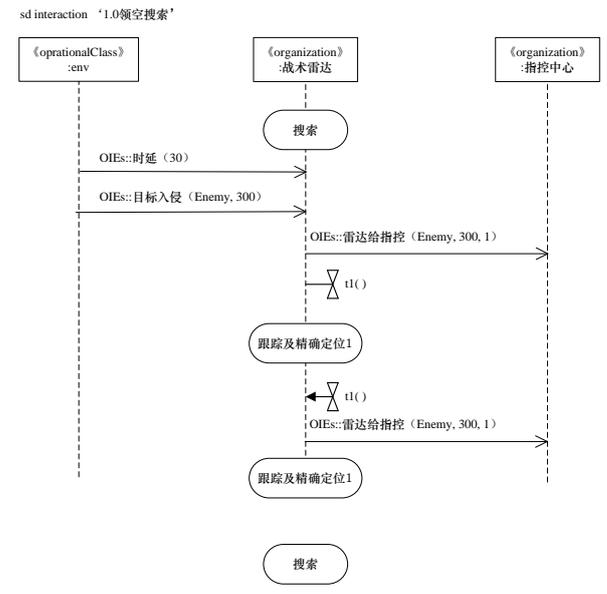


图 6 OV-6c 作战事件跟踪描述

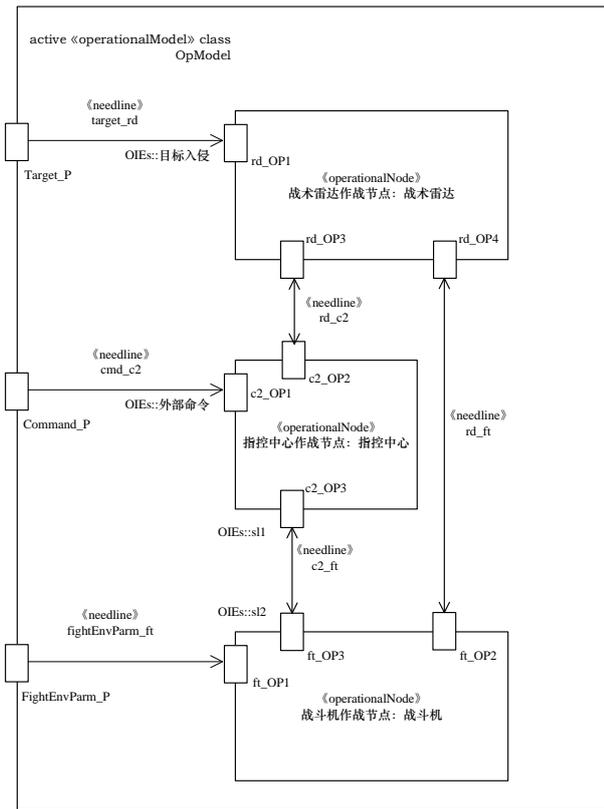


图7 OV-2 作战节点连接描述

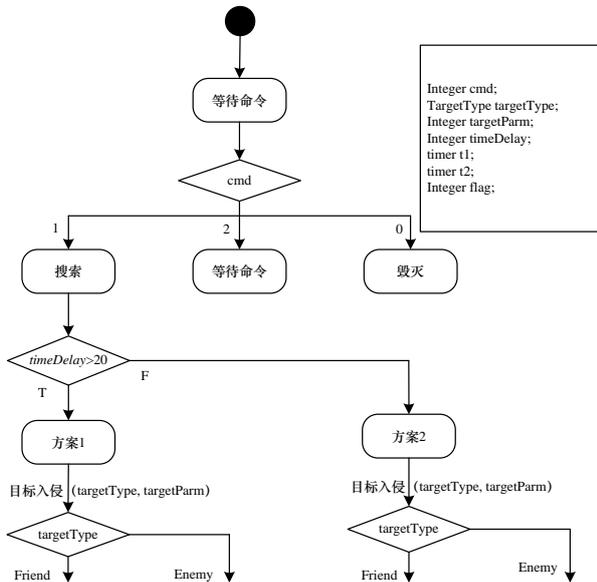


图8 OV-6b 作战状态跟踪描述

2.2 作战体系结构模型验证

检查设计模型无误后,即可验证模型,通过发送消息或信号对系统进行仿真,期待系统去处理这个信息并在必要时反馈回一个信息,从而检验设计的正确性,如图9所示。

	Sender	Signal	Channel	Receiver	Parameters
1	env[1]	::MyArchitecture...	unspecified	unspecified	Start
2	env[1]	::MyArchitecture...	unspecified	unspecified	Enemy 300
3	env[1]	::MyArchitecture...	unspecified	unspecified	ShoDown
...					

图9 消息或信号定义及发送窗口

随后执行模型,系统接收受发送的信息,并开始运行模型。从顺序图上获得系统运行时所发生的情况:围绕模型的传递信息和生成结果、发生的不同动作,模型验证执行结果见图10。

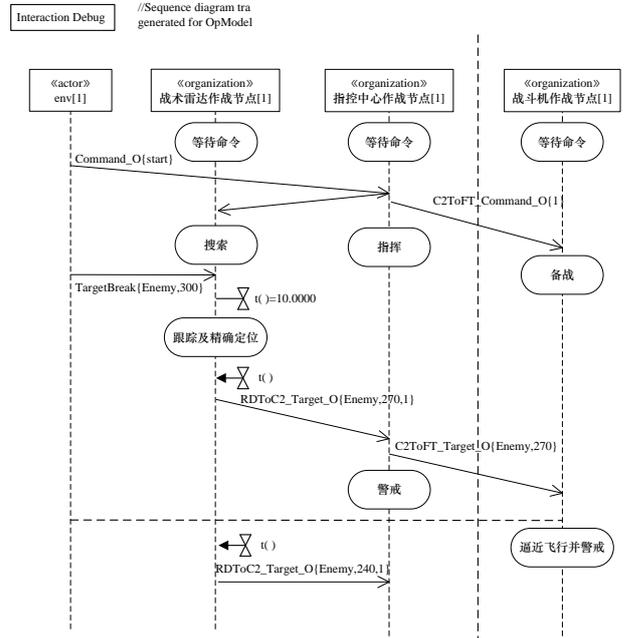


图10 模型验证执行结果

2.3 系统体系结构模型的建立

对系统体系模型,首先通过上面的经过验证的作战体系结构模型,得出系统应该具有的功能,即SV-4系统功能描述,进而编制SV-5作战活动到系统功能跟踪矩阵。然后做系统节点和系统之间连接描述,确实系统、子系统之间的及系统与外界之间的接口关系及交互的数据。其他SV产品和系统体系结构模型验证本文不再详述。

3 结束语

大型综合电子信息系统结构复杂,研制周期长、成本高,在系统开发之前进行体系结构设计并对其进行仿真实验,不仅能增强军事人员和系统开发人员之间的理解一致性,也是降低研制风险、保证研制进度的必要手段。本文通过一个基于DoDAF的顶层设计建模与验证的例子进行研究探讨,提出简单明晰的设计方法和步骤,并且描述模型验证的过程与结果,证明该方法在复杂综合电子信息系统的开发中是合理的、可行的。

参考文献

- [1] 童志鹏,刘兴.综合电子信息系统[M].2版.北京:国防工业出版社,2008.
- [2] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 1.0 Volume II[Z]. 2004-02-09.
- [3] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 1.5Volume II[Z]. 2007-04-23.
- [4] Fujitsu Limited Inc.. UML2.0 Superstructure[EB/OL]. (2001-02-13). <http://www.omg.org>.
- [5] 刘兴.防空防天信息系统及其一体化技术[M].北京:国防工业出版社,2009.

编辑 金胡考