

doi: 10.7690/bgzdh.2021.05.017

以数据为中心的武器装备体系结构开发方法

李志淮, 陆万宏, 朱 刚, 许道明

(空军预警学院雷达士官学校, 武汉 430345)

摘要: 针对武器装备体系建设中需重点解决的结构开发问题, 提出一种数据词典驱动的开发方法。采用 DoDAF V2.0 作为体系结构指导框架, 在分析其基本开发思想的基础上, 通过构建基本建模数据形成初始数据词典, 以驱动和引导体系结构的开发, 在开发过程中采用迭代方法逐步完善数据词典并完成整个体系结构的构建, 并通过实例进行验证。结果表明, 该方法能方便地开发出一个具体的复杂武器装备体系结构。

关键词: DoDAF; 武器装备体系结构; 以数据为中心; 体系结构开发; 数据词典

中图分类号: TP302.1; E917 **文献标志码:** A

Research on Data-centric Weapon Equipment Architecture Development Method

Li Zhihuai, Lu Wanhong, Zhu Gang, Xu Daoming

(Radar Sergeant School, Air Force Early Warning Academy, Wuhan 430345, China)

Abstract: Aiming at the main development problem of the weapon equipment architecture, a development method driving by data dictionary is proposed, which is based on the research of the basic idea of DoDAF V2.0. First, the initial data dictionary is given through the construction of the basic modeling data, and then this dictionary is used to drive and lead the process of the architecture development. The iterative method is used to perfect the data dictionary and solve the whole process of the architecture development, and verify it by example. The results show that this method can easily develop a specific complex weapon equipment architecture.

Keywords: DoDAF; weapon equipment architecture; data-centric; architecture development; data dictionary

0 引言

武器装备体系结构是指武器装备体系由各组成部分、各组成部分的层次结构、各组成部分之间的关系以及制约武器装备体系结构设计和发展的技术与指导原则^[1]。随着科技的发展, 武器装备智能化和信息化的程度越来越高, 武器装备体系的规模越来越庞大, 结构与关系也越来越复杂, 给武器装备体系建设中各组分系统的综合集成与互操作带来困难。目前, 常见的体系结构框架主要有美国国防部体系结构框架(DoDAF)、英国国防部体系结构框架(MODAF)、开放组织体系结构框架(TOGAF)以及北约体系结构框架(NAF)等。美军、英军和北约体系结构框架发展互相影响、互相促进, 并具有统一化的发展趋势^[2], 能够提供对国防工业系统工程的标准支持, 适用于各种复杂系统的建模, 对开发我军各系统的体系结构及其通用框架, 都具有重要的借鉴和参考价值。

以产品为中心是早期体系结构框架版本的思想, 体系结构开发研究多数也是针对如何构建产品来展开^[3-5]。该方法关注的是体系结构产品的表现形

式, 虽利于理解和接受, 但难以保证体系结构中产品数据一致性, 产品间关联性不强, 导致体系结构使用者难以从各产品中得到一致的信息, 也不利于集成开发的体系结构。在 DoDAF V2.0 版本中提出的以数据为中心的思想能较好地解决该问题, 但作为一种顶层的指导思想, 没有给出具体的开发方法。文献[6]对以数据为中心思想的体系结构开发方法进行了初步的理论探索。针对上述问题, 笔者提出一种数据词典驱动的武器装备体系结构开发方法。

1 以数据为中心的体系结构开发概念

DoDAF V2.0 在开发方法上呈现出很大变化, 其重点已不再是前几版所描述的特定产品, 而是体系结构数据。它以体系结构数据元模型(DM2)取代了核心体系结构数据模型(CADM), 把创建体系结构来支持决策放在第二位, 处于第一位的则是对高效决策所需数据的采集、存储和维护, 强调使用体系结构数据来支撑分析和决策制定, 大大扩展了可用于支撑决策活动的图形表示的种类。DoDAF V2.0 不规定任何特定模型, 而将重点放在开发体系结构

收稿日期: 2021-01-10; 修回日期: 2021-02-09

作者简介: 李志淮(1983—), 男, 福建人, 博士, 从事临近空间目标预警探测、雷达技术与运用等研究。E-mail: Lizhihuai1983@163.com。

的必要数据上，真正实现了以数据为中心。

以数据为中心的开发思想最早是在 DoDAF V1.0 中提出^[7]，并在 DoDAF V1.5 中得到了发展^[8]。DoDAF V2.0 对以数据为中心做了完善，并给出了一个有指导意义的顶层 6 步开发步骤^[9]。笔者基于 2.0 版本在以数据为中心思想介绍的基础上，把以数据为中心的开发方法描述如下：以用户需求为牵引，采用通用的数据元模型作为体系结构数据构造方式，以此收集和整理体系结构数据，形成数据词典，在数据词典引导下，开发体系结构模型，并进行相应的体系结构分析，最终达成体系结构目的。

2 基于数据词典驱动开发方法

2.1 由数据词典驱动体系结构开发

早期以产品为中心的开发思想中，数据词典 AV-2 是一个衍生的模型；而以数据为中心的开发思想要求将 AV-2 的构建贯穿于整个开发过程。为实现以数据为中心的开发思想，笔者采用数据词典驱动方式进行体系结构开发。开发方法如图 1 所示。

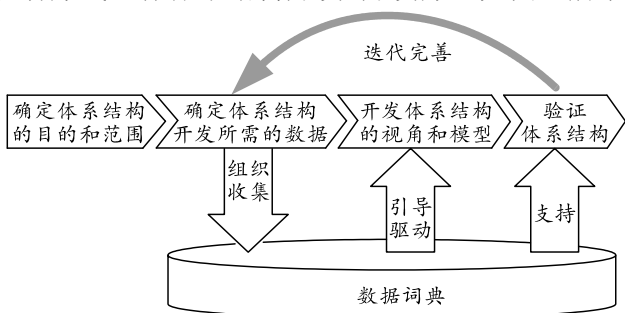


图 1 数据词典驱动开发方法

确定体系结构的目的和范围是体系结构开发的开始步骤，用于描述体系结构工作的预期用途、目的和范围，并形成 AV-1 模型。这些信息通常由体系结构的所有者通过描述他们职责范围内相关方面的内容来提供，意在确保最终的体系结构能够“符合意图”。

确定体系结构开发所需的数据是在完成概述和摘要信息描述的基础上，确定支持体系结构开发所需的数据。对于一个新建的武器装备体系结构，根据体系结构的设计方案，对现有的体系结构数据进行分析，确定哪些体系结构数据可以从现有数据中进行提取并重用，同时也要确定还需重新收集和 design 哪些数据。明确了武器装备体系结构开发所需的数据后，采用通用的数据元模型(如 DM2)提供的概念、属性和关系作为数据构造方式，收集和整理体系结构数据，形成数据词典并将其存储在数据仓库

中。需要说明的是，将数据词典存储于数据仓库中，不但有利于将来参考和复用，而且能够支持对体系结构的术语、定义和术语间的关系进行论证。

开发体系结构的视角和模型是指在所构建数据词典的驱动和引导下，依据数据词典中提供的概念模型和 DoDAF 视角及 DoDAF 模型的映射，对应所要开发构建的视角和模型，并利用相应的开发工具将这些所需的模型进行描述。

验证体系结构是在数据词典的支持下，完成体系结构数据与模型的完备性和一致性验证。如果不能满足数据的完备性、一致性以及用户意图，则循环到确定体系结构开发所需的数据进行反复迭代，直到满足要求。

数据词典驱动开发的关键是要构建出能够引导体系结构开发的 AV-2 数据词典，而构建 AV-2 的主要任务是在收集体系结构数据的基础上，组织数据并建立各数据对应的词条。在体系结构开发时，不可避免要先创建 AV-2 初始数据词典，最终的 AV-2 则是以这个初始版本为基准，通过反复迭代而逐步扩展和完善。

2.2 基于“W⁵H”的初始数据词典构建

怎样构建初始的数据词典是进行数据词典驱动开发的重点和难点。开发体系结构的目的是解决用户关心的普遍问题，即关于什么人(Who)、什么事(What)、什么时候(When)、什么地方(Where)、为什么(Why)以及怎么办(How)的问题。如果所收集的体系结构数据能够基本回答“W⁵H”的问题，那么这些数据也就构成了体系结构开发的基本建模数据，即形成了初始的数据词典。笔者提出了基于“W⁵H”的初始数据词典构建方法。

通过分析 DM2 概念数据、DoDAF 视角以及 DoDAF 模型，可以得到它们之间的关系如图 2 所示。图 2 不但给出了数据、视角、模型三者之间的关系，并通过他们回答了体系结构工作中的“W⁵H”问题。如果确定了资源、活动、能力、服务、位置、执行者、规则和目标 8 个关键概念所涉及的数据后，就能基本回答“What”“How”“Where”“Who”和“Why”这 5 个主要问题，而对于“When”问题的回答是贯穿于整个体系结构的运行过程。上述 8 个关键概念数据，构成了体系结构设计开发的基本建模数据，能够完成对一个体系结构的基本开发。通过收集和整理这些关键概念数据可以完成对初始数据词典的构建。

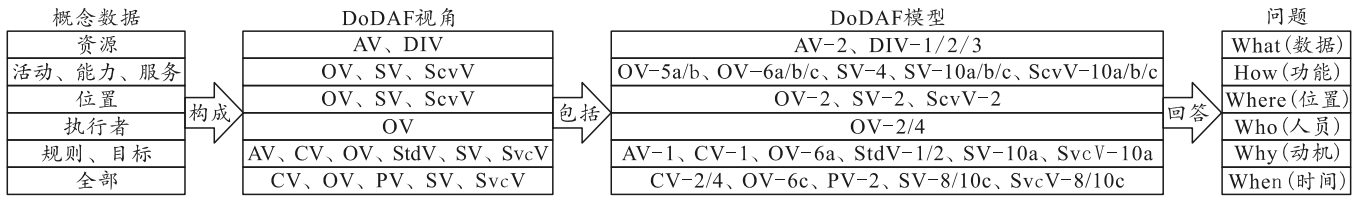


图 2 DM2 概念数据、DoDAF 视角以及 DoDAF 模型之间的关系

此外，经过分析上述 8 个关键概念，可以得到它们之间的关系如图 3 所示。由图 3 可以看出，能力、活动和执行者 3 个概念处于 8 个关键概念的中心，是其他关键概念的枢纽以及进行体系结构数据收集与整理的基础和关键。具体的关键概念数据收集方法可以描述为：1) 在分析所要开发系统的目标后，可以得到完成这些目标所需的所有能力；2) 在分析如何实现这些能力的基础上，识别出完成这些能力所需的所有活动；3) 在分析由谁来完成这些活动的基础上，识别出执行这些活动所需的所有执行者；4) 在分析完成这些活动时哪些资源将会产生或者被消耗的基础上，识别出完成这些活动将会产生和消耗的所有资源；5) 在分析执行这些活动所需遵照的规则基础上，识别出所有控制这些活动的规则；6) 在分析哪些服务将被用来支持这些执行者的基础上，识别出所有支持这些执行者的服务；7) 在得到执行者数据的前提下，分析这些执行者所处的位置，识别出所有存放这些数据的位置。

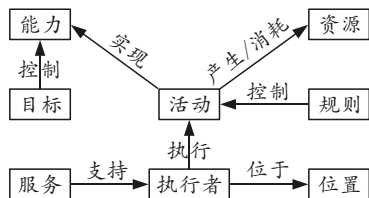


图 3 8 大关键概念之间关系

在完成初始数据词典构建后，可以利用所构建的初始数据词典驱动体系结构模型的开发，再采用迭代法逐步完善数据词典，并依次引导所需全部体系结构模型的开发。

2.3 具体开发步骤

综合前面分析，可得数据词典驱动开发方法的具体实施步骤如下：

1) 明确武器装备体系结构的预期用途、目标和范围，并形成 AV-1 模型。AV-1 模型描述了体系结构的构想、目的、目标、计划、活动、事件、条件、指标、结论以及成果等信息，为下一步确定支持体系结构开发所需的数据提供依据。

2) 在完成概述和摘要信息描述的基础上，确定

体系结构开发所需的数据。根据体系结构的设计方案，对现有的体系结构数据进行分析，明确哪些数据可以从现有的数据中提取重用，同时也要确定还需要对哪些数据进行重新收集和设计。

3) 得到武器装备体系结构开发所需的数据后，采用基于“W⁵H”的初始数据词典构建方法进行数据的收集和整理，并将形成的初始数据词典存储于数据仓库中；不但有利于将来的数据参考和复用，而且能够支持对体系结构的术语、定义和术语间的关系进行论证。

4) 在所构建初始数据词典的驱动和引导下，依据数据词典中提供的概念模型和 DoDAF 视角及 DoDAF 模型的映射关系，利用体系结构开发工具构建所需的视角和模型。

5) 在数据词典的支持下，为实现体系结构的目标，采用各种方法对所构建的体系结构数据、模型和视角进行分析验证。如果不能满足数据的完备性、一致性以及用户意图，则循环到步骤 2) 进行反复迭代，直到符合需求。

6) 完成各种数据、模型以及视角的构建后，根据用户的需要，以“适合用途”的方式对结果进行表示并提供给用户。

上述步骤的具体流程如图 4 所示，可以看出该流程与以数据为中心的思想一致。

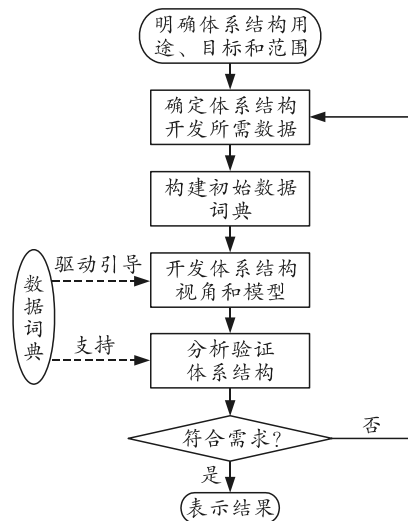


图 4 数据词典驱动的体系结构开发流程

3 开发实例

以阻击式防空武器装备体系为例^[10]，基本想定为：当我方预警雷达或预警机发现且识别目标后，利用数据链和无线电通信链路向指挥控制中心传输目标信息，指挥控制中心对获得的信息进行处理。一方面进行态势评估，生成作战命令；另一方面控制中远程防空导弹武器系统的指控雷达系统对目标进行定位，等待作战命令准备对目标进行锁定射击拦截。获得打击命令后，对目标实施射击拦截，拦截后生成拦截报告传给指挥控制中心供态势评估所用，作出下一步作战指示。

笔者采用基于数据词典驱动的词汇表驱动开发方法，进行具体的体系结构开发，模型构建采用 SySML 语言^[11]，开发工具为 Enterprise Architect。

3.1 构建初始词汇表

采用基于“W⁵H”的初始数据词典构建方法进行资源、活动、能力、服务、位置、执行者、规则和目标 8 个关键概念数据的收集和整理。其中，阻击式防空武器装备体系结构的目标是该体系结构的想定。

得到目标数据后，通过分析完成该系统目标所需的能力，可得能力数据主要包括指挥控制能力、预警能力、通信传输能力和拦截打击能力等。

得到能力数据后，通过分析完成这些能力所需的活动，可得活动数据主要包括发现目标、识别目

标、传输通信、目标信息处理、战场态势评估、作战方案决策、发布作战命令、导弹发射控制、导弹拦截、生成拦截报告、信息处理和定位目标等。

得到活动数据后，通过分析执行这些活动所需的执行者，可得执行者数据主要包括指挥控制中心、防空导弹武器系统、指控雷达系统、预警雷达、预警机、数据链和无线电通信链路等。

接下来，分析完成这些活动所产生或将被消耗的资源，可得资源数据主要包括目标信息、目标及环境信息、拦截状态报告、作战命令、目标汇总信息、战场及目标特征信息和武器目标规划等。

通过分析执行这些活动所需遵照的规则，可得所有规则数据包括控制这些活动的标准、协议和约束条件等。

在分析哪些服务将被用来支持这些执行者的基础上，可得服务数据主要包括搜索目标服务、识别目标服务、定位目标服务、通信传输服务、指挥决策服务和打击拦截服务等。

在获得执行者数据的基础上，分析这些数据所处的位置，可得位置词汇主要包括侦察监视节点、通信节点、指挥控制节点和打击拦截节点等。

完成上述 8 个关键概念词汇的收集后，在定义关键概念词汇术语的基础上，将其导入 AV-2 模板，形成 AV-2 的初始版本。AV-2 初始词汇表如图 5 所示，图中还给出了对应 DM2 概念和 DoDAF 模型，有利于后续的数据完备性验证。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z		
1	AV-2: 综合数据词典																											
2	术语	缩略语	别名	定义	DM2概念								DODAF模型															
3					目标	规则	能力	活动	执行者	资源	服务	位置	AV-1	AV-2	CV-1	CV-2	CV-4	OV-2	OV-4	OV-5a	OV-5t	OV-6a	OV-6t	OV-6c	SV-2	SV-4		
4	指挥控制能力						✓						o		n	n	n											
5	预警能力						✓						o		n	n	n											
6	通信传输能力						✓						o		n	n	n											
7	...																											
8	发现目标							✓												n	n	o	n	o				
9	识别目标							✓												n	n	o	n	o				
10	传输目标							✓												n	n	o	n	o				
11	...																											
12	指挥控制中心								✓				o						n							n		
13	防空导弹武器系统								✓				o						n							n		
14	指挥雷达								✓				o						n							n		
15	...																											
16	目标及环境信息										✓							n			o				n	n		
17	拦截状态报告										✓							n			o				n	n		
18	作战命令										✓							n			o				n	n		
19	...																											

图 5 AV-2 初始数据词典

3.2 构建体系结构模型

根据初始数据词典中提供的映射关系，逐一开发出各关键概念数据对应的模型。图 6 是阻击式防

空武器装备体系能力分类法模型图 CV-2，图中很好地描述了能力间的层次关系，且单一分支内上下层作战能力间的关系也得到了明确。

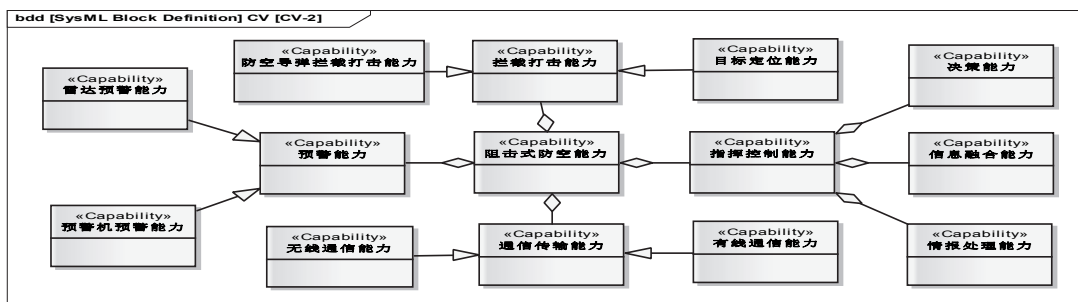


图 6 CV-2 能力分类法模型

图 7 是阻击式防空武器装备体系作战资源流描述 OV-2。从图中可知，该体系中的每一条信息交换中所包含的信息要素，而且还可以清楚地了解到

它是由哪一个作战节点上所执行的作战活动发出的，将被哪个作战节点上所执行的何种作战活动所接收。

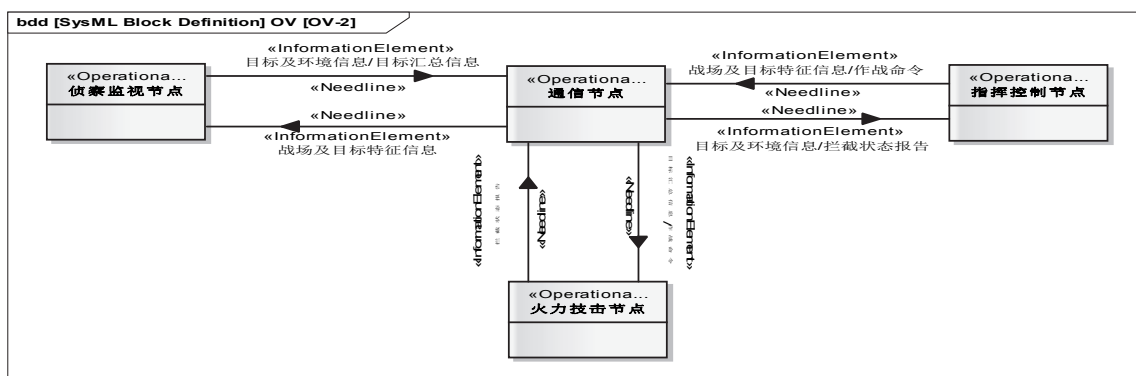


图 7 OV-2 作战资源流描述

完成体系结构的初步设计后，接下来进行体系结构的分析验证，检查体系结构设计正确性，确定体系结构描述是否符合系统的需求。体系结构的分析验证可从语法、语义和语用 3 个层次进行。体系结构验证的过程也是数据迭代的过程，来不断完善所构建的体系结构模型。

4 结束语

笔者提出以数据为中心的武器装备体系结构开发方法，通过构建初始数据词典来驱动和引导体系结构的开发，突出以数据为中心思想。实例结果表明：该方法思路清晰，能够方便地开发出一个具体的复杂武器装备体系结构，为我军各武器装备体系结构的开发提供一定的参考。

参考文献：

[1] 陆法, 孙文虎, 贾鹏. 基于 SysML 的模型驱动武器装备体系结构设计与分析[J]. 指挥控制与仿真, 2017, 39(1): 44-47.
 [2] 刘俊先, 罗爱民, 罗雪山, 等. 外军架构框架发展趋势分析[J]. 指挥与控制学报, 2018, 4(1): 1-7.
 [3] 吕迎迎, 王欢, 齐庆玺, 等. 基于 DoDAF+STK 的集群协同探测功能架构建模与仿真[J]. 火力与指挥控制, 2020, 45(2): 64-70.

2020, 45(2): 64-70.
 [4] 杨娟, 罗小明, 王洪. 基于 SysML 的反卫作战体系可视化模型[J]. 兵工自动化, 2010, 29(11): 27-31.
 [5] 刘翔宇, 姜海洋, 赵洪利, 等. 基于 DoDAF-OODA 的天基信息支援作战视图研究[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(2): 33-38.
 [6] 高波, 孙剑玮, 贾成功, 等. 基于 DoDAF2.0 的电子自卫防御体系结构建模方法研究[J]. 光电技术应用, 2019, 34(6): 59-63.
 [7] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 1.0 Volume 1: Definitions and Guidelines[R]. U.S.: Department of Defense, 2003.
 [8] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 1.5 Volume 1: Definitions and Guidelines[R]. U.S.: Department of Defense, 2007.
 [9] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 2.0 Volume 1: Introduction, Overview, and Concepts[R]. U.S.: Department of Defense, 2009.
 [10] 王栋. 基于 SysML 的武器装备体系结构建模与仿真方法研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2009: 54-55.
 [11] 陈蕊蕊. 基于 SysML 的多域机电产品系统架构建模与校验研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018: 2-4.