

5-22-2023

Modeling and Simulation of Spaceborne, Near-Spaceborne, and Airborne Integrated Collaborative Remote Sensing System Based on DoDAF

Lili An

Beijing Orient Institute for Measurement & Test, Beijing 100086, China; myanlili@163.com

Tian Xia

Beijing Orient Institute for Measurement & Test, Beijing 100086, China;

Wenbin Yang

Beijing Orient Institute for Measurement & Test, Beijing 100086, China;

Xinbo Wu

Beijing Orient Institute for Measurement & Test, Beijing 100086, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Modeling and Simulation of Spaceborne, Near-Spaceborne, and Airborne Integrated Collaborative Remote Sensing System Based on DoDAF

Abstract

Abstract: Spaceborne, near-spaceborne, and airborne integrated collaborative remote sensing system (SNA-ICRSS) makes comprehensive use of modern information technology to aggregate multiple and heterogeneous data in spaceborne, near-spaceborne, and airborne domains, so as to realize accurate emergency service and command decision-making. SNA-ICRSS is huge and complex, and there is a lack of research on its architecture modeling and simulation. According to the architecture characteristics of the SNA-ICRSS, *the minimum prototype of the SNA-ICRSS is constructed; through the department of defense architecture framework (DoDAF) and activity based methodology (ABM) methods, the minimal prototype of the SNA-ICRSS is modeled, and the operational resource flow, information interaction mode, functional structure division, and system interface representation of the SNA-ICRSS are analyzed. In addition, the specific application of the SNA-ICRSS under emergency information support mode and conventional remote sensing observation mode is discussed.* The verification test results show that the model is reasonably constructed and can lay a foundation for integrated simulation and efficiency evaluation of the SNA-ICRSS. In addition, the model can provide a reference for the research and optimization design of the SNA-ICRSS.

Keywords

spaceborne, near-spaceborne, and airborne integrated collaborative remote sensing system (SNA-ICRSS), prototype system, modeling technology, department of defense architecture framework (DoDAF), activity based methodology (ABM)

Recommended Citation

Lili An, Tian Xia, Wenbin Yang, Xinbo Wu. Modeling and Simulation of Spaceborne, Near-Spaceborne, and Airborne Integrated Collaborative Remote Sensing System Based on DoDAF[J]. Journal of System Simulation, 2023, 35(5): 936-948.

基于 DoDAF 的天临空一体协同遥感体系结构建模与仿真

安丽丽, 夏天, 杨文彬, 武新波

(北京东方计量测试研究所, 北京 100086)

摘要: 天临空一体协同遥感体系综合利用现代信息技术, 聚合天、临、空各域多源异构数据, 实现精准应急服务与指挥决策, 系统庞大、结构复杂, 缺乏体系结构建模与仿真方面的研究。基于天临空一体协同遥感体系结构特点, 构建了体系最小原型系统; 借鉴 DoDAF(department of defense architecture framework)以及 ABM(activity based methodology)方法完成了最小原型系统结构建模, 分析了天临空一体协同遥感体系作战资源流程与信息交互方式、功能结构划分与系统接口表述以及在应急信息支援模式以及常规遥感观测模式下的具体应用。验证试验结果表明: 模型构建合理, 可为体系集成仿真与效能评估奠定基础, 为天临空一体协同遥感体系研究与优化设计提供参考。

关键词: 天临空一体协同遥感; 原型系统; 建模技术; DoDAF; ABM

中图分类号: N945.12; TP391.9 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X(2023)05-0936-13

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.21-1341

引用格式: 安丽丽, 夏天, 杨文彬, 等. 基于 DoDAF 的天临空一体协同遥感体系结构建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2023, 35(5): 936-948.

Reference format: An Lili, Xia Tian, Yang Wenbin, et al. Modeling and Simulation of Spaceborne, Near-Spaceborne, and Airborne Integrated Collaborative Remote Sensing System Based on DoDAF[J]. Journal of System Simulation, 2023, 35(5): 936-948.

Modeling and Simulation of Spaceborne, Near-Spaceborne, and Airborne Integrated Collaborative Remote Sensing System Based on DoDAF

An Lili, Xia Tian, Yang Wenbin, Wu Xinbo

(Beijing Orient Institute for Measurement & Test, Beijing 100086, China)

Abstract: Spaceborne, near-spaceborne, and airborne integrated collaborative remote sensing system (SNA-ICRSS) makes comprehensive use of modern information technology to aggregate multiple and heterogeneous data in spaceborne, near-spaceborne, and airborne domains, so as to realize accurate emergency service and command decision-making. SNA-ICRSS is huge and complex, and there is a lack of research on its architecture modeling and simulation. According to the architecture characteristics of the SNA-ICRSS, the minimum prototype of the SNA-ICRSS is constructed; through the department of defense architecture framework (DoDAF) and activity based methodology (ABM) methods, the minimal prototype of the SNA-ICRSS is modeled, and the operational resource flow, information interaction mode, functional structure division, and system interface representation of the SNA-ICRSS are analyzed. In addition, the specific application of the SNA-ICRSS under emergency information support mode and conventional remote sensing observation mode is discussed. The verification test results show that the model is reasonably constructed and can lay a foundation for integrated simulation and efficiency evaluation of the SNA-ICRSS. In addition, the model can provide a reference for the research and

optimization design of the SNA-ICRSS.

Keywords: spaceborne, near-spaceborne, and airborne integrated collaborative remote sensing system (SNA-ICRSS); prototype system; modeling technology; department of defense architecture framework (DoDAF); activity based methodology (ABM)

0 引言

天临空一体协同遥感体系是包含高中低轨道遥导各类卫星系统、平流层飞艇编队以及空域无人机编队为一体的立体化综合协同遥感体系, 具有覆盖范围广、定位精度高、重访周期短、响应速度快等特点, 可以为抗震救灾、资源普查、城市反恐、海上应急救援、重大活动安保、森林防火监测、城市消防应急以及军事侦察等领域提供全天时、全天候、高精度、多维度、高可靠应用数据服务。目前对体系的研究主要集中于解决跨域通信、多源数据在轨融合、数据广播分发以及智能服务等关键技术攻关与分系统研发阶段, 尚缺乏对体系进行系统级的建模技术研究与应用案例, 急需开展相关方面的研究, 从顶层设计的角度对体系资源结构、业务流程、应用模式和接口关系进行建模分析, 为集成仿真与效能评估奠定基础, 为体系未来的发展应用与规划建设提供理论参考^[1-2]。

我国对天临空一体协同遥感体系架构与核心技术进行了关键技术攻关与原理样机研制, 并组织开展了外场验证试验, 为系统工程建设与论证优化奠定了基础, 但是场景专用, 针对性强, 研究成果需要经过军民融合等一系列措施方能在民用领域得到应用。邵芸等围绕地震灾害、暴恐事件、冬奥会、电网应急保障四种应急服务需求, 以遥感技术为核心, 协同多种空间信息技术, 完成了“天空地协同遥感监测精准应急服务体系构建与示范”^[3], 相关研究成果是目前国内天空地协同遥感监测领域核心技术和应用系统的集大成者, 但该示范主要基于现有卫星针对四种应急场景展开应用研究与系统建设。本文以具有全球覆盖能

力的天临空一体协同观测体系为研究对象, 在上述研究理论及相关研究实践^[4-5]基础上, 对体系进行通用化抽象, 通过构建最小原型系统以及对最小原型系统进行建模分析, 间接实现对天临空一体协同遥感体系资源组成、业务流程、核心能力、应用模式、系统接口等的剖析, 研究成果对于体系研究、平台与载荷研制、集成试验以及体系建设实施都具有非常重要的意义。

1 最小原型系统构建

1.1 体系特点分析

天临空一体协同遥感体系是一个复杂的大系统工程, 通过规划高、中、低轨通信、遥感卫星, 平流层飞艇、无人机、系留气球、地面系统等, 整合各域可用资源形成一个无缝连接的整体, 通过地面跨域任务规划与管理、在轨自主任务规划等手段使各域资源物尽其用, 各取所长, 协同配合, 实现遥感信息的快速高效获取。体系具有全域协同、跨域组网、快速响应、智能服务等特点, 在结构上, 通过增加平流层飞艇, 实现了重点区域全天时凝视观测与目标区域精细详查, 弥补了天基卫星时间分辨率不高以及空基无人机飞行时间短的不足; 在组网方面, 各域资源通过域内组网, 实现同域各平台之间的控制指令与图像数据的共享传输, 通过各域簇首节点与其他域簇首节点的跨域组网, 实现域间信息共享与传输; 在应用流程上, 具备应急信息支援以及常规遥感观测两种工作模式, 既可满足灾害、暴恐等突发事件的紧急任务需求, 也可在平时执行常规遥感观测任务。

体系工作流程可以描述为地面跨域任务规划、

目标区域广域普查、重点区域精细详查、目标多维确认、图像产品在线生成与智能应用服务 6 个步骤。以森林火灾监测应用为例，首先地面跨域任务规划系统对天、临、空各域资源整合分析，动态规划完成任务可用的卫星、飞艇与无人机资源，生成相应平台的控制任务指令并通过测控链路或卫星中继链路上注至各平台；天基低分辨卫星接收到地面任务指令后，立即进行任务响应，采用星载遥感载荷对目标区域进行广域成像观测，初步确认火灾发生大致范围，并根据观测结果进行在轨二次任务规划生成精细详查指令，发送至域内高分辨卫星，高分辨卫星对着火点具体方位进行详细观测，与低分辨卫星影像进行在轨多源数据融合后，获取精细图像信息，确定着火点数量与具体位置；飞艇接收到地面任务指令后，控制相机开机对目标区域进行凝视观测，实时监测火势发展动态；无人机接收到地面任务指令后，对目标区域进行精确确认，获取人员伤亡等精确信息；卫星、无人机图像均按需上传至飞艇平台，进行艇上多源数据融合，获取目标区域高精度影像产品，为火势以及人员救援提供决策依据；各域在轨处理影像数据可以直接下发至前方一线指挥员，原始数据通过数传链路下发至地面数据处理中心，进行地面数据后处理与图像产品生产，为应急中心指挥人员提供高精度图像产品信息。

1.2 最小原型系统构建原则

天临空一体协同遥感体系最小原型系统构建应遵循以下原则：①目的性原则：天临空一体协同遥感体系系统庞大、结构复杂、新技术众多，通过构建最小原型系统对大体系关键技术和核心能力进行验证可有效减小复杂度，提高验证效率；②最简性原则：最小原型系统在保留原体系组成要素与不影响体系功能的基础上在结构上尽量简化；③全面性原则：最小原型系统应包含体系最全功能，不因结构的简化，丢失某些核心功能；④可行性原则：最小原型系统在结构以及业务流

程上应与原体系保持高度一致，且具有明确的定义，确保是可以实现的。

1.3 最小原型系统构建

通过对天临空一体协同遥感体系特点分析，在遵循最小原型系统构建原则的基础上，首先需要在结构上对体系进行简化，然后进行原型系统与大体系的符合性验证。下面首先从天基卫星、平流层飞艇、空基无人机与地面系统 4 个方面对体系结构进行简化，然后给出最小原型系统的结构设计，最后进行最小原型系统与大体系的一致性分析。

(1) 天基卫星：天临空一体协同遥感体系中卫星包含了通信、遥感以及导航类卫星，卫星轨道包含了高中低等各种高度：遥感卫星通过搭载不同分辨率、不同类型遥感载荷，协同组网观测，实现更宽覆盖范围、更短重访周期与更高定位精度，其中，覆盖范围指标主要取决于遥感载荷视角范围、成像模式、卫星组网星座设计等，重访周期指标取决于卫星轨道设计以及星座组网设计，定位精度指标取决于卫星轨道高度以及成像载荷特性，在最小原型系统中，为了使结构最简，暂不考虑大规模组网情况，将遥感卫星简化为两颗，一颗为低分辨卫星实现目标区域广域普查，一颗为高分辨卫星实现目标区域精细详查(本文研究重点为系统级设计，不具体给出卫星的分辨率及轨道根数等参数具体数值)；通信卫星主要作为中继节点，实现卫星、飞艇、无人机等信息中继功能，在最小原型系统中，通信卫星可以简化为一颗，既体现了体系中卫星中继的功能，又能满足最小系统功能验证需求；导航卫星主要为通信与遥感卫星、飞艇和无人机等平台提供高精度定位与授时信息，由于导航卫星主要为各平台提供支撑信息，不直接参与观测与通信，最小原型系统中不单独体现，此处不体现不意味着该功能不具备，各平台搭载接收机接收导航信号，实现各自平台的高精度定位与时统一一致性校正。

(2) 平流层飞艇：平流层飞艇由于部署快、能

耗低、驻空时间长,且可灵活搭载通信、遥感等各类载荷,可以获得比卫星更好的视角范围,比无人机更长的观测时间,实现对重点区域的长时间凝视观测与中继通信等功能,最小原型系统中,不重点考察飞艇编队能力,将飞艇简化为一艘,重点验证平台凝视观测以及与卫星、无人机进行信息共享传输等能力。

(3) 无人机:跟飞艇同理,无人机可以简化为一架。

(4) 地面系统:地面系统主要包括地面运控与遥感应用中心、地面测控中心、测控地面站、移动地面站、共享网络平台与用户中心等。

由此本文构建了一个包含两颗遥感卫星、一颗通信卫星、一艘飞艇、一架无人机和地面系统组成的天临空一体协同遥感体系最小原型系统。该原型系统基本保留了大体系所有组成要素以及载荷类别,通过对原型系统业务流程、功能、应用与接口的建模分析,基本可以反映大体系的相关能力,区别在于,原型系统简化了各域平台内部以及平台之间的组网规模与复杂度,仅对体系天临空跨域点对点通信协议进行了验证,各域网络的大规模组网通信路由协议验证这里无法完全包含,这一内容不属于本文讨论范围,不作展开。

下面首先对体系建模技术与美国国防部体系架构模型框架 DoDAF2.0(department of defense architecture framework 2.0)建模方法进行介绍,然后对最小原型系统进行建模。

2 体系结构建模技术概述

体系结构建模技术是体系工程理论的关键技术之一,与体系设计技术既相互对等又相互支撑,体系工程理论即通过系统集成、融合等手段将现有以及新研系统进行合理组织和管理,形成1+1>2的体系能力,体系工程的实现依赖于体系建模技术、体系设计与优化技术、体系试验与评估技术等,天临空一体协同遥感体系具有体系的融合性以及涌现

性,是体系工程理论的一个具体实现形式。体系设计主要是对体系顶层概念、体系结构、管理与运行方式等的顶层规划,该部分工作一般由总体单位完成,基于体系设计成果,需要进一步采用系统建模分析理论,实现对体系功能、结构、接口、行为和更多视图进行详细描述,通过体系建模可以进一步细化体系结构,分析和确定体系设计的不足与缺陷,进而为体系改进设计提供依据和参考。

天临空一体协同遥感体系庞大、结构复杂,单一方法和视图很难全面描述体系各方面特性,需要统筹研究现有建模方法论、建模工具和建模框架,实现对体系结构、功能、接口、运行等的全面描述,建模方法论与建模框架和建模工具是体系建模的三个层次^[6-8]。

建模方法论主要解决建模阶段、任务、工具、方法技巧等问题,是以解决问题为目标的理论体系或系统,目前典型建模方法包括结构化分析建模、面向对象建模、基于 Agent 的建模、基于网络的建模以及基于 Petri 网的建模方法等。

建模框架是顶层的,全面完整的框架和概念模型,可以帮助各层次的人员更便利的使用开发工具开发体系结构,实现有组织的信息共享和更加有效的决策支持,常见的建模框架有美国国防部体系架构模型框架 DoDAF,以及借鉴 DoDAF 由其他西方国家建立的体系结构框架,如英国国防部体系架构模型框架 MoDAF(ministry of defense architecture framework)、北约体系结构框架 NAF(NATO architecture framework)、法国 AGATE(the France DGA architecture framework)、加拿大 DNDAF(department of national defence architecture framework)、意大利 MDAF(ministero defence architecture framework)、澳大利亚 AusDAF(Australia defense architecture framework)以及统一体系结构框架 UAF^[9](unified architecture framework)、使命和任务框架 MMF(missions and means framework)等。

建模工具用于实现模型概念的传递, 常见的体系结构建模工具有统一建模语言 UML(unified modeling language)、系统建模语言 SysML(systems modeling language)、集成计算机辅助制

造 IDEF(integrated computer aided manufacturing DEFinition)以及各类建模仿真系统等, 体系建模框架、建模工具与建模方法相互之间的支撑关系如图 1 所示。

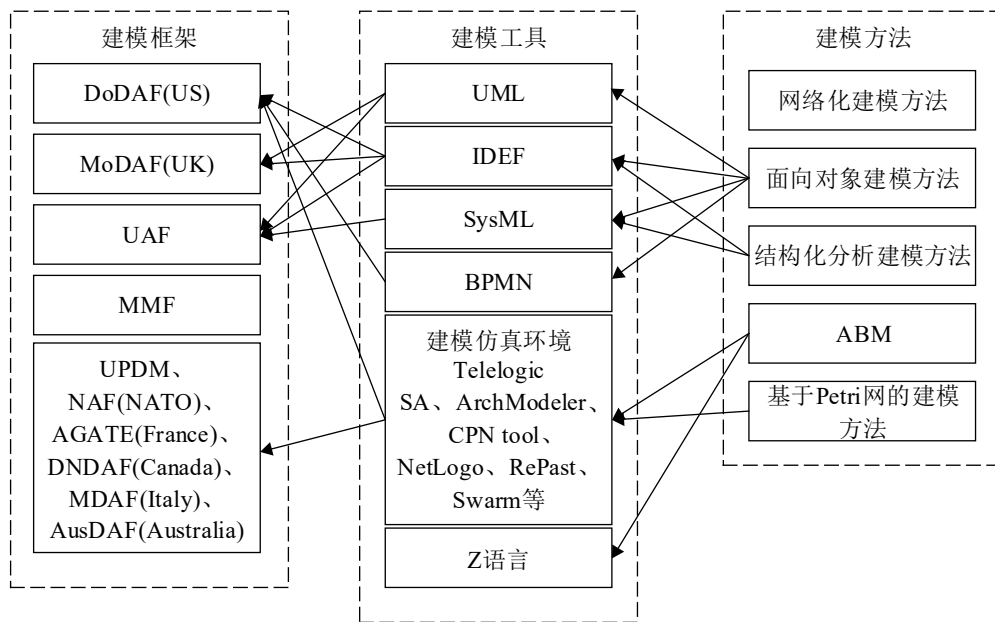


图 1 建模框架、建模工具、建模方法相互支撑关系

Fig. 1 Supporting relationship among modeling framework, modeling tools, and modeling methods

DoDAF 最早由 C4ISR 发展而来, 于 2004 年 9 月、2007 年 4 月和 2009 年 5 月先后发布了 1.0、1.5 和 2.0 三个版本^[10-12], 基于该框架发展出了其他各国本土框架以及 UAF 统一结构框架, DoDAF 是目前研究和应用最为成熟, 应用最为广泛的体系建模框架, 本文基于 DoDAF V2.0 建模框架, 将六步体系结构开发方法与基于活动的建模方法 ABM^[13] (activity based methodology) 相结合, 采用 ArchModeler 工具开展天临空一体协同遥感体系最小原型系统建模, 下面简要介绍六步体系结构开发方法与 ABM 方法。

3 DoDAF2.0 体系结构开发步骤

DoDAF 2.0 标准为描述系统体系结构定义了 8 种视点(也叫视图), 分别为全景视点(AV)、数据与数信视点(DIV)、标准视点(StdV)、能力视点(CV)、作战视点(OV)、系统视点(SV)、服务视点

(SvcV)、项目视点(PV), 每种视点都有若干个产品, 共产生 52 个模型产品, 这些产品由组成视点的数据元素集合通过图形, 图表或者文本来描述, 并通过核心体系结构数据模型 CADM(core architecture data model)定义体系结构数据元素的实体和关系模型, 视点描述如图 2 所示。

DoDAF 2.0 给出了一个高层的六步体系结构开发方法, 该方法以阐述体系结构内容中的数据关系和数据结构之间的支撑和依赖关系为核心, 为架构师提供了一个模型构建指导准则, 六步法体系结构开发方法如图 3 所示。由于 DoDAF 是为国防部内部使用和开发体系结构描述方法而定义的, 针对特定目的的专用 DoDAF 描述模型由流程主管自己指定, 并非必须创建所有的 DoDAF 模型, 对于设计开发人员无需构建所有的 8 类 52 个视图, 结合六步体系结构开发方法以及现有工程应用分类^[14-15], 本文给出六步开发中每一步需要构建的最大模型包络

范围, 以及各模型开发顺序, 如图 4 所示, 通过构建 5W1H(why, who, what, where, when, how)问题, 从而建立一个比较完整的体系结构。

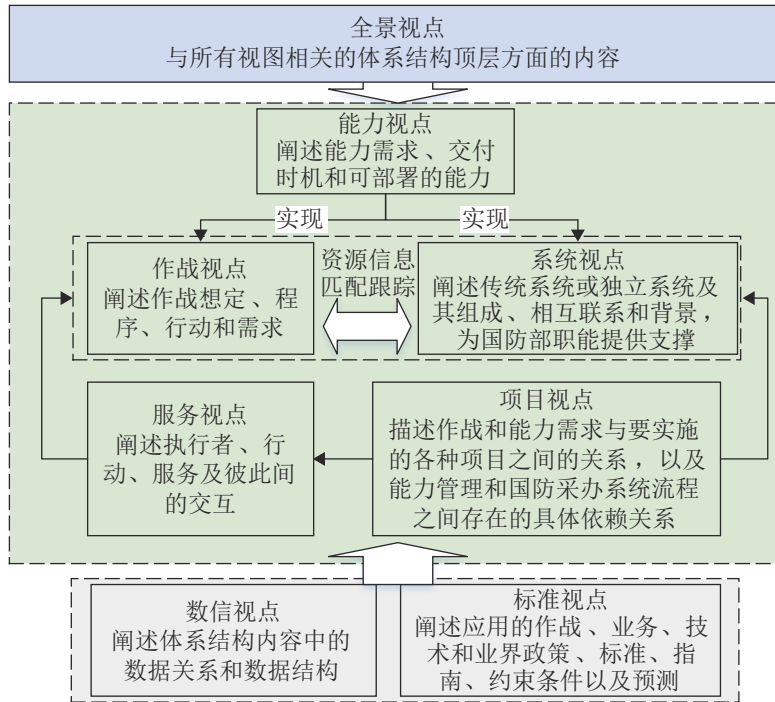


图 2 DoDAF V2.0 视点描述
Fig. 2 DoDAF V2.0 viewpoint description

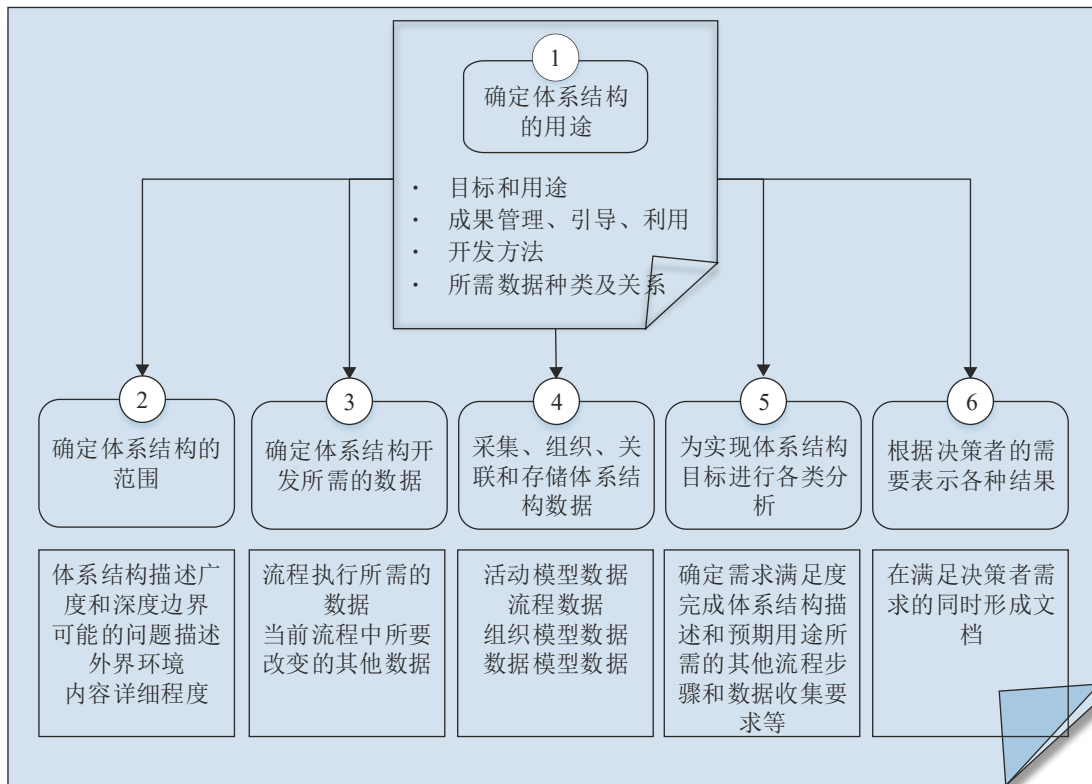


图 3 六步体系结构开发方法
Fig. 3 Six-step architecture development method

<http://www.china-simulation.com>

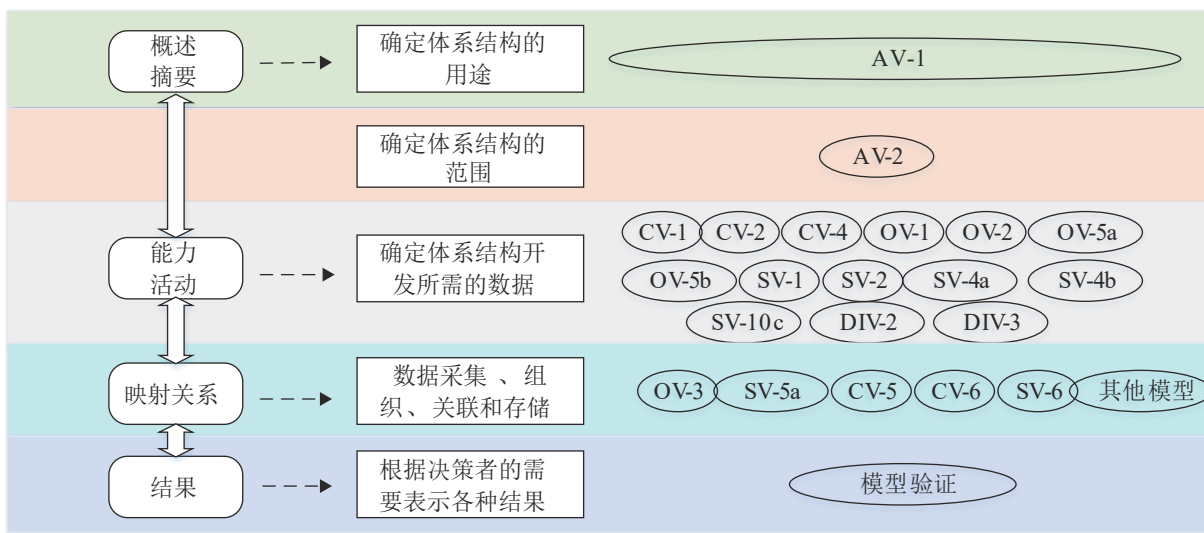


图 4 六步法体系结构模型开发顺序
Fig. 4 Six-step architecture model development sequence

DoDAF 产品众多，六步法给出了一种较为全面的复杂体系结构建模选用产品的建议，但在实际开发中模型产品仍然较多，产品之间的资源、信息、组织关系复杂，给开发人员创建复杂模型带来困难，为了减少设计人员开发难度，可以结合基于活动的建模方法 ABM，该方法以数据为中心，通过构建体系结构核心集合的跨产品关系，可自动生成部分体系结构对象，进而大大减少建

模复杂度，提高建模效率，ABM 作战视点和系统视点建模步骤如图 5 所示。

本文基于上述 DoDAF 六步法开发方法完成天临空一体协同遥感体系最小原型系统 AV、CV、OV、SV、DIV 5 类共 15 个视点模型构建，其中 OV-3、SV-6、SV-1、CV-6 模型基于 ABM 方法自动生成，由于篇幅受限，本文给出部分建模结果。

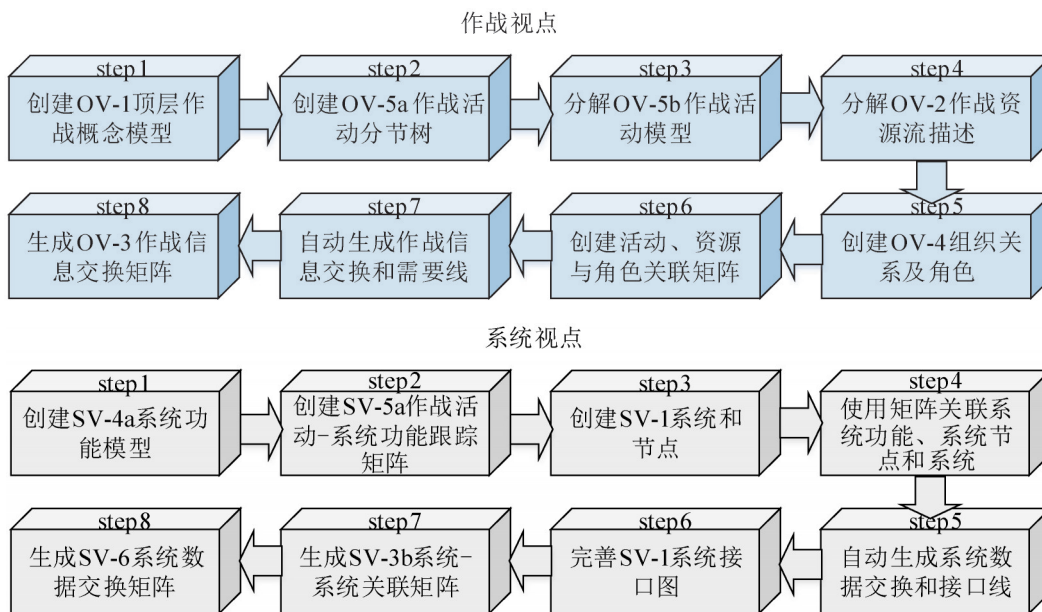


图 5 ABM 作战视点和系统视点建模步骤
Fig. 5 Modeling steps of ABM operational and architecture viewpoints

4 天临空一体协同遥感体系建模

4.1 顶层概念模型 OV-1

OV-1主要描述使命任务及想定, 展现系统主要作战概念和独特的作战情况, 描述主体架构和其环境间的相互作用, 以及体系结构和外部系统的相互作用, 意在表示高层决策者的想法, 天临空一体协同遥感体系最小原型系统由两颗遥感卫星、一颗中继卫星、一艘平流层飞艇、一架无人机以及地面系统组成, 系统顶层概念模型如图6所示。

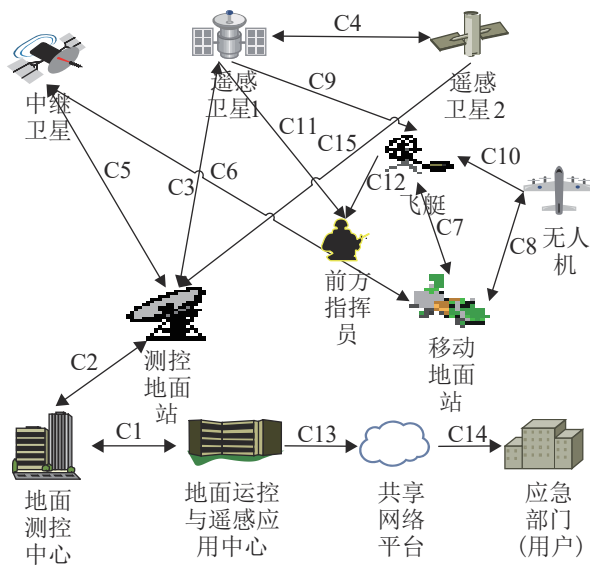


图6 系统顶层概念模型 OV-1

Fig. 6 Top level conceptual model OV-1

4.2 作战资源流描述模型 OV-2

OV-2表明了资源交换的需求, 描述了作战需要线, 不仅展示信息流、资源流, 也可展示作战设施或者区域的地理位置, 并且能可选的注解作战活动之间的信息、人员和资源流, 如图7所示。

该模型直观体现了最小原型系统结构以及所覆盖的地理位置。从作战资源流建模可以看到, 天临空一体协同遥感体系有应急信息支援模式以及常规遥感观测两种模式, 应急模式下,

卫星及飞艇平台可快速完成产品在线生产, 并且可以直接分发至前方一线决策指挥员, 此时由于星上、艇上计算资源有限, 图像产品均为图像切片; 常规观测模式下, 各域图像传输至地面进行后处理, 地面处理资源丰富, 通过对原始数据进行处理可以获取比应急模式下更高精度的图像产品。

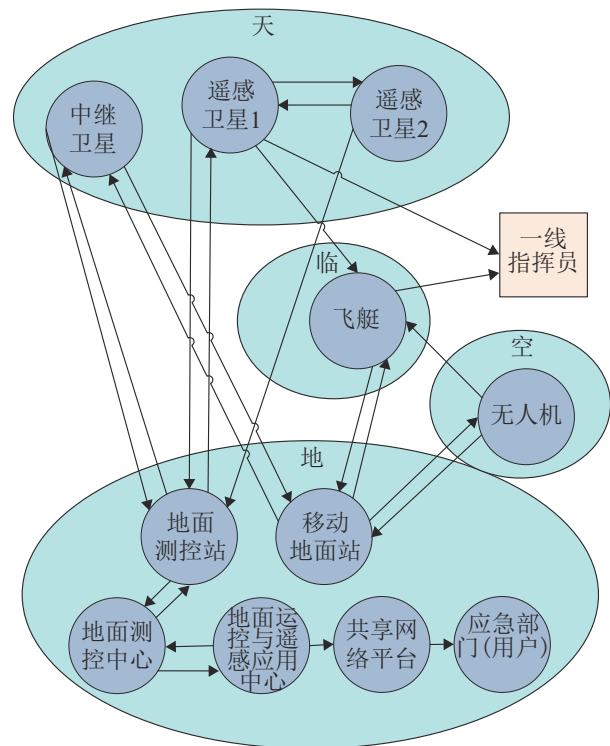


图7 作战资源流描述模型 OV-2

Fig. 7 Operational resource flow description model OV-2

系统作战资源流可以描述为: 地面运控与遥感应用中心发起观测需求, 转发至地面测控中心, 地面测控中心根据用户需求进行任务规划、调度和控制, 生成卫星、飞艇、无人机观测任务; 然后, 卫星观测任务直接上注至遥感卫星, 飞艇及无人机观测任务经中继卫星转发后发送至飞艇及无人机平台; 遥感卫星1为低分辨遥感卫星, 主要执行目标广域普查任务, 在接收到地面观测任务后, 即控制星上遥感载荷(SAR)进行目标广域普查, 根据普查结果确定目标所在区域范围, 然后开展星上二次任务规划, 调度遥感卫星2进行精

细详查，遥感卫星 2 为高分辨遥感卫星，搭载高分辨可见光相机，接到详查任务指令后即控制星上相机进行目标区域精细详查，并将观测结果在线生成图像切片传送至遥感卫星 1 进行星上多源数据融合与产品生产，该产品在应急支援模式下可以直接通过星上通信链路转发至地面一线指挥员供前方决策，同时下传至飞艇平台，进行进一步图像融合处理。飞艇平台接收地面观测任务后，开启目标区域长时间凝视观测功能，实时跟踪目标动态，另外，飞艇平台通过接收遥感卫星 1 发送的星上多源融合图像切片，与无人机拍摄的精确确认图片，结合自身凝视图像进行多域跨平台多源数据融合，进一步提高产品分辨率和目标定位精度，生成多维目标图像产品，该产品在应急支援模式下通过艇上数传单元直接转发至一线指挥员供前方决策。在常规观测模式下，卫星、飞艇、无人机遥感图像原始数据及各类在轨图像产

品均下发至地面，经测控站预处理后发回地面运控与遥感应用中心，在地面采用原始数据进行高精度多源遥感图像产品生产。地面图像产品经过网络平台发送至各用户单位为决策人员决策提供依据。

4.3 作战活动分解树 OV-5a

OV-5a 描述为完成一项任务采取的作战活动，它描述了作战活动之间的输入、输出流以及体系结构描述范围之外的进出活动，通过该模型可以发现不必要的作战活动，作出关于简化、合并和取消活动的决定，定义或标记需要进一步细查的问题、时机、作战活动以及它们的交互作用。天临空一体协同遥感体系可分解为任务规划与管控、天临空协同观测、目标数据处理、数据分发与应用四类作战活动，OV-5a 建模结果如图 8 所示。

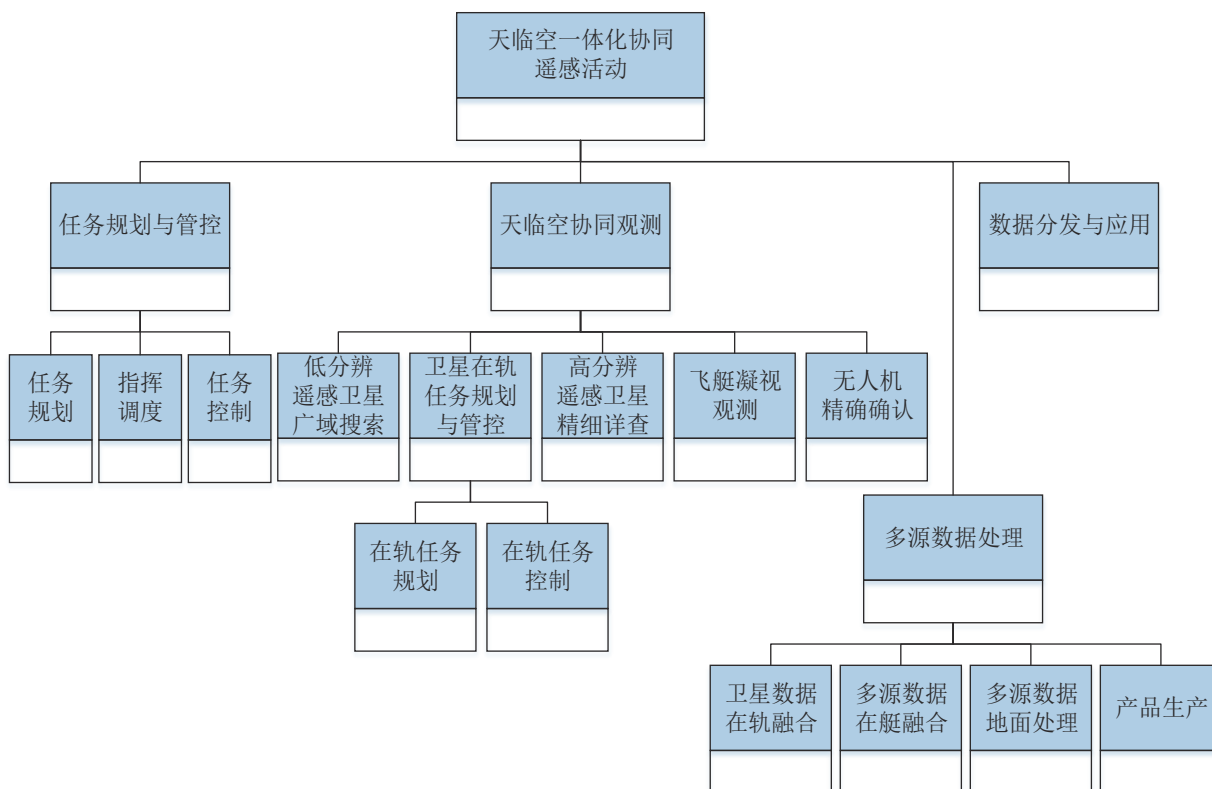


图 8 作战活动分解树 OV-5a
Fig. 8 Operational activity decomposition tree OV-5a

4.4 系统功能描述SV-4

SV-4模型关注人员和系统的功能性, 给出每个资源输入和输出的必须的数据流的清晰描述, 确保功能分解达到合适的细化程度, 功能连通性完整以及资源的输入需求全部被满足。天临空一体化协同遥感体系功能分解为跨域任务规划、低分辨率卫星广域普查、高分辨卫星精细详查、飞艇重点区域凝视观测、无人机精确确认观测、地面多源数据处理、数据推送七大功能, SV-4模型如图9所示。

4.5 系统接口表述模型SV-1

SV-1描述系统和子系统以及它们之间的相互关系, 并且标识它们之间的资源流, 通过描述资源如何结构化和相互作用, 把作战和系统体系结

构模型联系起来, SV-1如图10所示, 该模型给出了卫星、飞艇、无人机及地面各系统的分系统组成以及各系统和分系统之间的接口关系, 每一条系统接口线均包含数据对象、系统端口、系统资源流、数据内容等属性, 根据该接口表述模型可以协助完成分系统接口物理层与链路层协议制定与开发。

4.6 系统事件跟踪描述SV-10c

SV-10c一般包括功能性资源、系统端口、拥有型执行者以及处于生命线主角的端口等组件, 用于分析影响运作的资源事件、行为分析以及确定非功能性系统需求, 描述资源流要素在资源或系统端口上下文中的交换顺序以及提供对功能性资源之间交互的时序检查, 如图11所示。

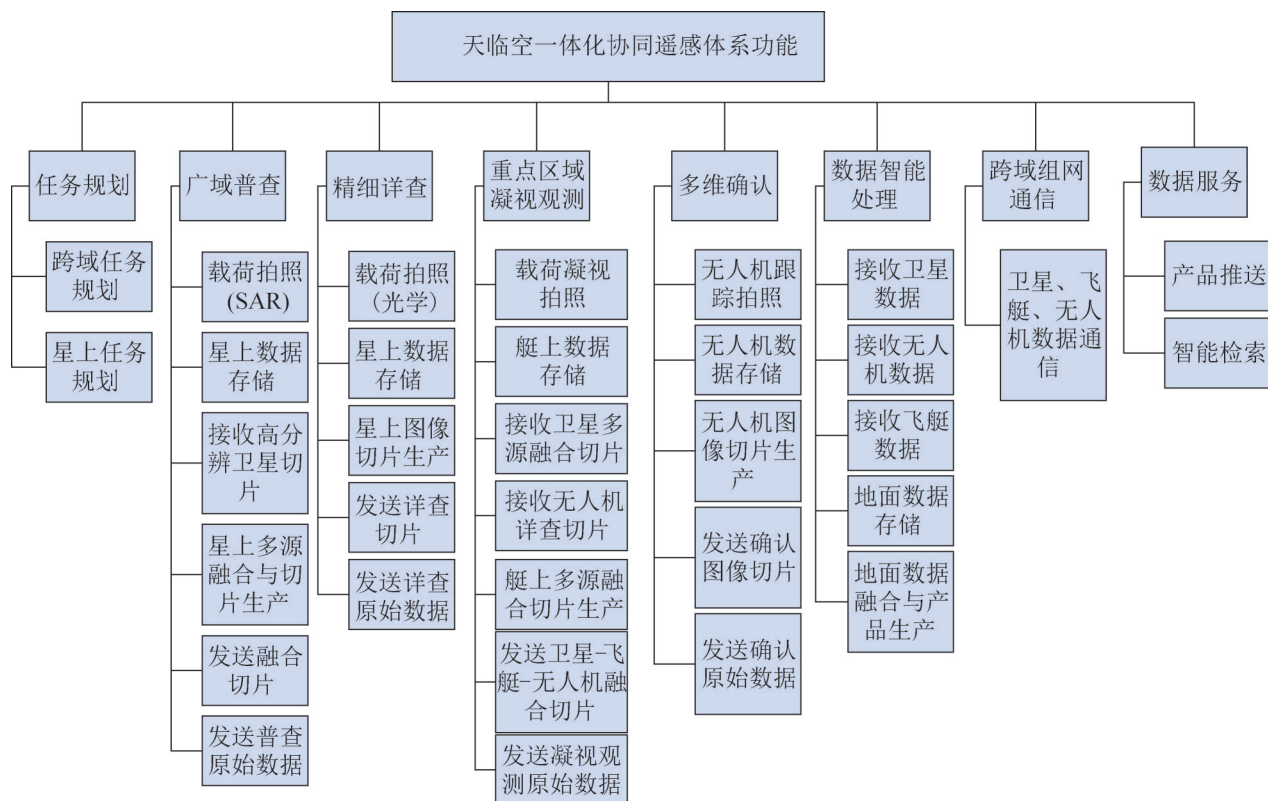


图9 系统功能描述SV-4

Fig. 9 System function description SV-4

4.7 模型验证

在某项目中，基于本文构建的 SV-1、SV-2、CV-4 等模型，开展了系统载荷原理样机接口 IDS 表设计以及载荷间链路层以及物理层通信协议制定，根据制定的接口与协议各载荷单位完成了原理样机研制；根据 OV-2、OV-5、SV-4、SV-10c 等模型完成了验证试验系统方案、系统业务流程与试验科目设计，并在室内和外场分别开展了系

系统集成验证试验，一方面通过贯通体系业务流程验证了体系作战资源流、功能与接口、事件跟踪等模型的正确性，另一方面全面验证了原型系统关键技术与核心能力可行性；最后，获取了验证试验数据，基于试验数据完成了验证试验效能评估，试验结果表明系统综合效能良好，载荷样机的成功研制与验证试验的顺利实施和取得的良好效果充分验证了本文构建模型的合理性。

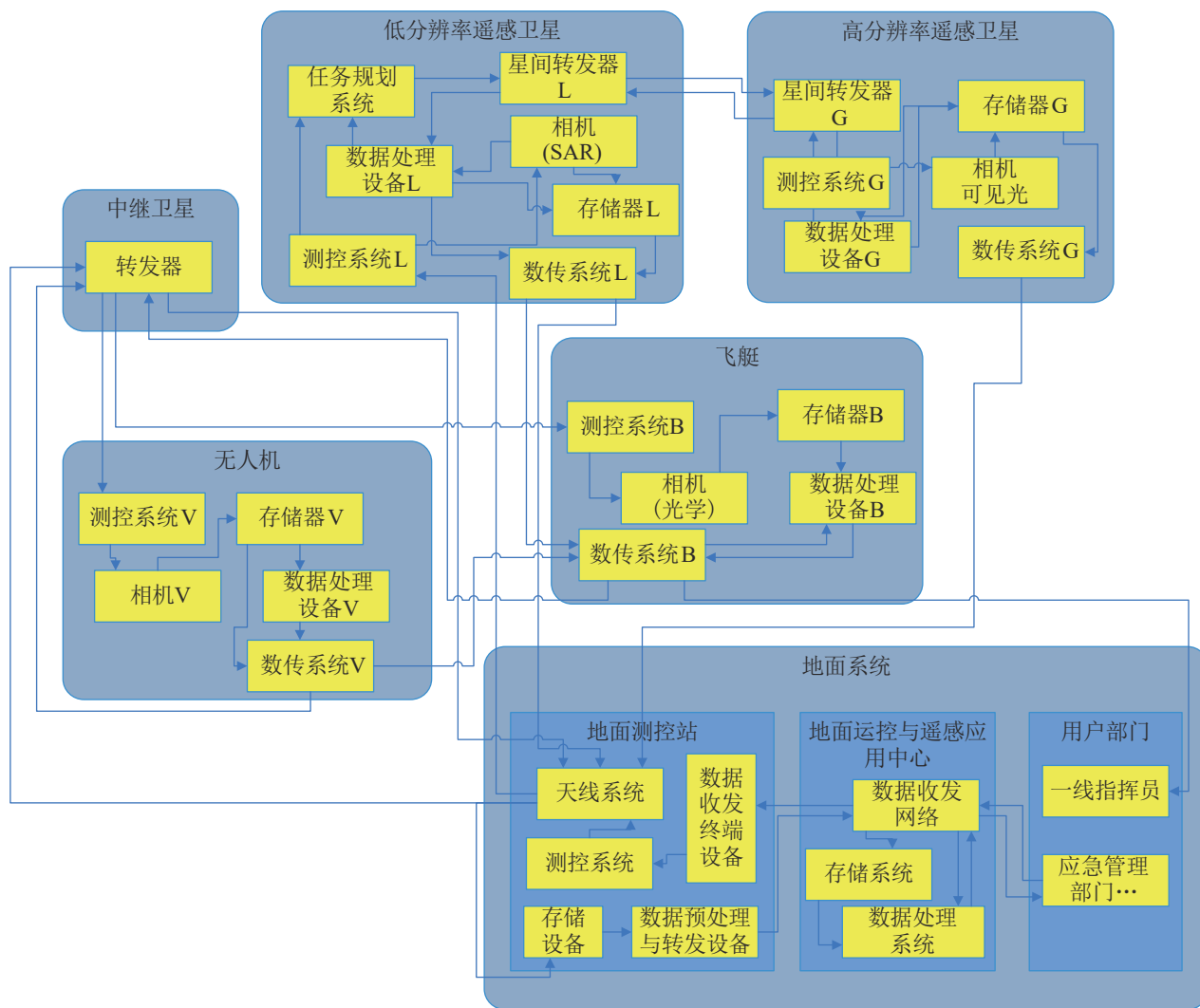


图 10 系统接口表述模型 SV-1
Fig. 10 System interface representation model SV-1

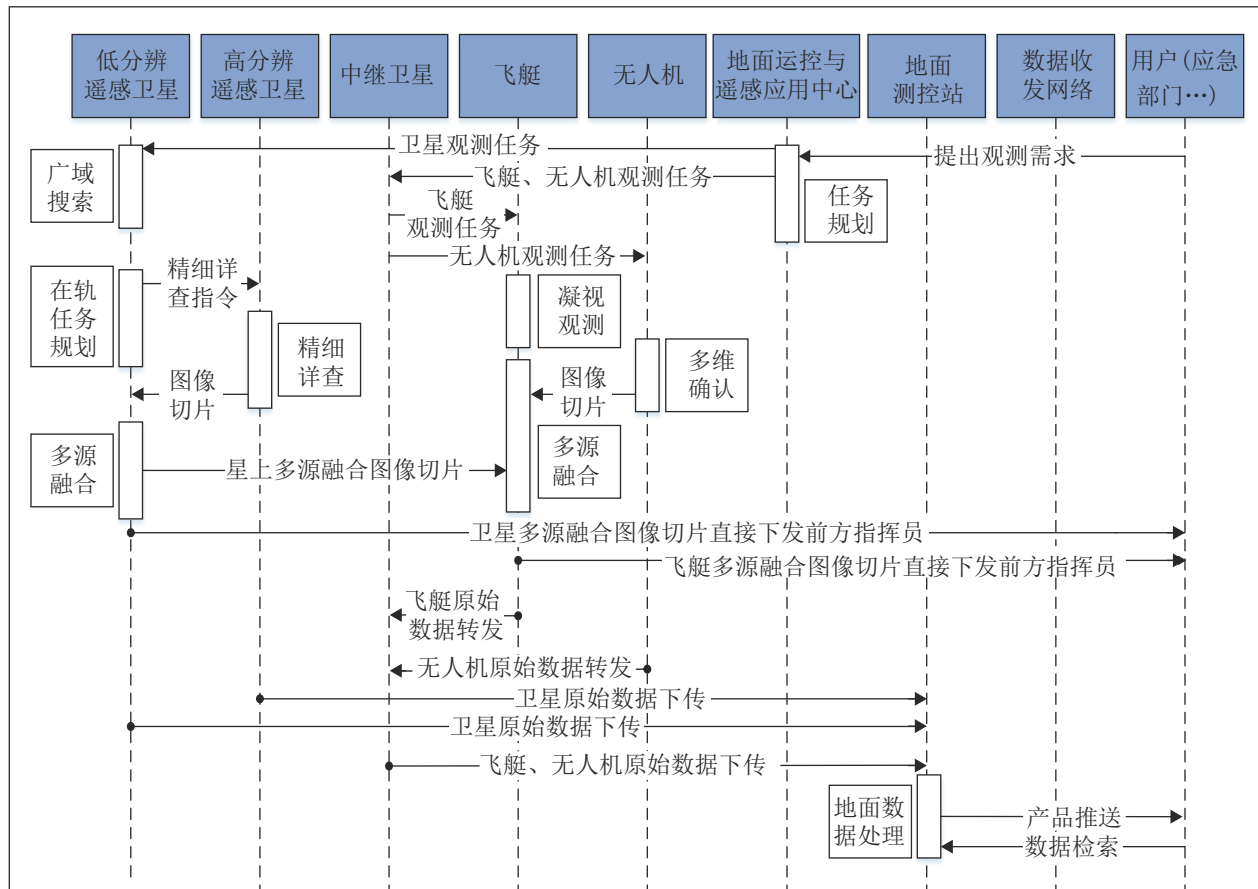


图11 系统事件跟踪描述SV-10c

Fig. 11 System event tracking description SV-10c

5 结论

本文通过对天临空一体协同遥感体系结构特点研究, 构建了体系最小原型系统; 分析了体系结构建模技术, 采用DoDAF六步法与ABM方法相结合的手段完成了体系全景视点(AV)、能力视点(CV)、作战视点(OV)、系统视点(SV)、数据与信息视点(DIV)5类共15个模型构建, 全面分析了天临空一体协同遥感体系作战资源流程、信息交互、功能依赖与接口关系, 以及在应急信息支援模式以及常规遥感观测模式下的具体应用; 所构建模型完成验证试验, 结果表明了构建模型的合理性, 能够为进一步完成体系集成仿真与效能评估奠定基础, 为天临空一体协同遥感体系研究建设与优化设计提供参考。

参考文献:

- [1] 张灏龙, 谢平, 赵院. 体系对抗仿真面临的挑战与关键技术研究[J]. 计算机仿真, 2019, 36(5): 1-5.
Zhang Haolong, Xie Ping, Zhao Yuan. Challenge of System of System Countermeasure Simulation and Research of Key Technologies[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 36(5): 1-5.
- [2] 万明杰. 国家空天防御面临的十大威胁[J]. 国防科技, 2019, 40(5): 1-5.
Wang Mingjie. Ten Major Threats to National Aerospace Defense[J]. National Defense Technology, 2019, 40(5): 1-5.
- [3] 邵芸, 赵忠明, 黄富祥, 等. 天空地协同遥感监测精准应急服务体系构建与示范[J]. 遥感学报, 2016, 20(6): 1485-1490.
Shao Yun, Zhao Zhongming, Huang Fuxiang, et al. Precise Emergency Service System Construction and Demonstration Through Synergy Observation of Spaceborne, Airborne, and Ground Remote Sensing[J].

- National Remote Sensing Bulletin, 2016, 20(6): 1485-1490.
- [4] 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.
Lü Yingying, Wang Huan, Qi Qingxi, et al. Modeling and Simulation of Cluster Collaborative Detection Function Architecture Based on DoDAF+STK[J]. Fire Control and Command Control, 2020, 45(2): 64-70.
- [5] 梁桂林, 周晓纪, 王亚琼. 基于DoDAF的遥感卫星地面系统体系结构建模与仿真[J]. 指挥控制与仿真, 2017, 39(2): 105-117.
Liang Guilin, Zhou Xiaoji, Wang Yaqiong. Architecture Modeling and Simulation for Ground System of Remote Sensing Satellite Based on DoDAF[J]. Command Control & Simulation, 2017, 39(2): 105-117.
- [6] 吕昭, 邓锦洲, 梁东晨. 作战体系的结构建模与应用研究[J]. 战术导弹技术, 2021(3): 109-118.
Lü Zhao, Deng Jingzhou, Liang Dongchen. Study of Operation SoS Architecture Modeling and Application [J]. Tactical Missile Technology, 2021(3): 109-118.
- [7] 刘德胜, 马宝林, 葛亚维. 作战体系建模方法与应用[J]. 指挥控制与仿真, 2020, 42(5): 1-6.
Liu Desheng, Ma Baolin, Ge Yawei. Modeling Method and Application of Combat System of Systems[J]. Command Control & Simulation, 2020, 42(5): 1-6.
- [8] 高松, 滕克难, 金哲, 等. 体系结构关键技术研究发展综述[J]. 舰船电子工程, 2020, 40(3): 1-5, 10.
Gao Song, Teng Kenan, Jin Zhe, et al. A Review of Research and Development of Key Architecture Technologies[J]. Ship Electronic Engineering, 2020, 40(3): 1-5, 10.
- [9] 郑朔昉, 何瑞恒, 任文明. 基于UAF建模的装备标准集生成技术研究[J]. 系统仿真学报, 2021, 33(7): 1534-1541.
Zheng Shuofang, He Ruiheng, Ren Wenming. Research on Generating Technology for Equipment Standard Set Based on UAF Modeling[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(7): 1534-1541.
- [10] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 1.0[R]. U S: Department of Defense, 2004.
- [11] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 1.5[R]. U S: Department of Defense, 2007.
- [12] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 2.0[R]. U S: Department of Defense, 2009.
- [13] 赵煦, 梁涛. 基于活动方法论的复杂系统体系结构建模[J]. 科学技术与工程, 2010(33): 8277-8281.
Zhao Xu, Liang Tao. Research on Activity: Based Methodology of Modeling Complex System Architecture[J]. Science Technology and Engineering, 2010(33): 8277-8281.
- [14] 吕卫民, 张天琦, 臧恒波, 等. DoDAF建模与效能评估综述[J]. 兵器装备工程学报, 2021, 42(9): 26-33.
Lü Weimin, Zhang Tianqi, Zang Hengbo, et al. Research Progress on DoDAF Modeling and Effectiveness Evaluation[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2021, 42(9): 26-33.
- [15] 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.
Gao Bo, Sun Jianwei, Jia Chenggong, et al. Research on Modeling Method of Electronic Self-Defense Architecture Based on DoDAF2.0[J]. Electro-Optic Technology Application, 2019, 34(6): 59-63.