

基于流程的作战任务规划作业体系 SysML 建模方法研究

姜俊 赵金超

(海军工程大学 湖北 武汉 430033)

摘 要: 针对目前作战任务规划在作战指挥保障运用和系统建设上的需要,以美军作战任务规划流程为基础,构建了作战任务规划作业体系的可视化模型。将 DoDAF 和 SysML 相结合,按照“使命任务—功能—作业活动”的层级分解逻辑,描述了作战任务规划作业体系的功能结构与相关业务活动、信息交互,设计了 DoDAF 框架下最小产品集的 SysML 模型,并验证了其正确性和动态性能,可为科学组织作战任务规划作业和支持系统设计开发提供一种一致的描述方法。

关键词: 作战任务规划; 作业体系; SysML; 可视化建模

中图分类号: E917 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-8211(2020)04-0060-08

1 引言

作战任务规划是指挥控制的核心工作之一。有效组织规划各个部门的资源调度和规范相关业务活动,合理设计必须协同的各个环节,优化作业流程,以便异构系统组成的网络化任务规划作业体系能高效实现从指挥员作战意图向具体作战方案计划的顺畅转化。因此,面向作战任务规划流程,科学构建作战任务规划作业体系框架,从而规范规划作业参与者的业务逻辑,明晰相关业务信息流转路径,解决作业组织及过程协同问题,无疑对规划系统建设和规划活动组织具有重要意义。

目前关于作战任务规划的研究主要集中在两个层面:一是面向武器平台运用的技战术层面,对导弹、无人机和卫星任务规划进行了较多的研究^[1-3];二是面向指挥保障的作战筹划层面,开展了作战任务规划的系统功能组成、关键技术支持、作业流程定义等方面的研究^[4-6]。但作为系统建模与设计的依据,关于作战任务规划作业体系的顶层设计还比较鲜见,而这对于涉及物理域、信息域

以及组织域的复杂系统而言,是影响体系集成和自适应的关键环节。

本文着眼作战指挥保障运用和系统综合集成需求,围绕作战任务规划作业体系设计,以确定的作战任务规划流程为活动主线,基于 DoDAF 视图,运用 SysML 方法进行可视化建模,构建其完整的静态和动态模型,用于指导作业活动组织的规范化和标准化,并为作战任务规划支持系统的设计开发提供一致的描述方法,以有效提升作业体系整体能力和指挥保障效能。

2 基于流程的作战任务规划作业体系 SysML 建模思路

2.1 DoDAF 框架和 SysML 建模语言

美军 2009 年推出的 DoDAF v2.0 以数据为中心,针对信息系统体系结构的流程、系统、服务和标准描述,定义了作战视图、系统视图等 8 类视图及其产品,并通过视图及其组合将数据、模型有机组织起来,实现对体系结构的顶层描述^[7]。

收稿日期: 2020-07-08; 修回日期: 2020-10-18

作者简介: 姜俊(1977—),男,讲师,博士,主要研究方向为系统工程、任务规划;赵金超(1969—),男,教授,博士,主要研究方向为系统工程、作战指挥。

DoDAF 复杂的开发过程高度依赖开发工具的支持。SysML 是一种基于 UML2.0 定义的系统工程标准建模语言,支持复杂系统描述、分析、设计和校验。SysML 定义了需求图、块图、活动图等 9 种图形元素,可对体系的结构、交互行为、元素映射和系统性能等可视化模块化建模^[8],从而能方便地描述系统间的连接与数据交换,并通过由上至下的系统功能单元分解,实现跨专业跨部门的沟通。

SysML 用 9 种模型图标准化呈现了这些视图,解决了 DoDAF 在结构分解、功能分析等系统工程特性描述上可视化建模的方法问题。

2.2 基于流程的作战任务规划作业体系集成模型

作战任务规划作业体系的复杂性体现在其边界的开放性和信息的不确定性。作业体系由业务单元构成,其功能实现依托分布的体系成员在统一的作战意图驱使下所完成的一系列活动。而这些活动的组织方式是基于一定的流程,将业务单元与信息资源有机组合,最终协同完成规划作业任务。因此,明确规划业务流程是建立其作业体系集成模型的核心内容之一。基于美海军作战条令 NWP5-01 对作战任务规划流程的划分^[9],按照任务分析、作战行动序列(COA)开发、COA 分析(兵棋推演)、COA 比较和决策、计划或指令开发等 6 个阶段给出基于流程的体系集成模型,如图 1 所示,其中虚线表示信息流,实线代表流程活动。

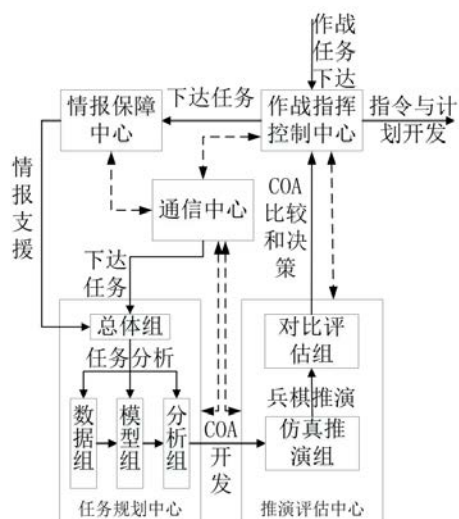


图 1 基于流程的作战任务规划作业体系集成模型

从图 1 可见,作战任务规划作业体系与其作战指挥保障运用场景密切相关,集成模型的核心要素

为作业参与单元、业务活动及其信息交互,故而其建模的基础是使命任务分解模型、活动模型、信息交互模型、组织关系模型。在建模顺序上,由于使命任务的完成需要若干功能的执行作保证,而每一功能的实现是通过系列具体的作业活动来实施的。因此,依据作战任务规划在指挥链中的组织角色,结合作业流程,按照“使命任务—功能—作业活动”的顺序进行自顶向下逐层分解,实现作业体系的可视化建模。

2.3 DoDAF 产品选择及其 SysML 建模思路

基于图 1 集成模型,按照 DoDAF 的适用性原则,选择作战视图建立分层的功能结构图。作战视图共包含 9 个产品,其中 OV-1 高级作战概念图、OV-2 作战资源流描述、OV-4 组织关系图和 OV-5 作战活动图为最小产品集,其他产品的构建以这 4 个产品为基础^[10]。作战任务规划作业体系设计可选取这 4 个产品作为结构化描述的核心。其中,OV-1 主要是对作战任务规划作业活动场景的描述,从便于规划作业参与者沟通和决策者管理的角度呈现体系的使命任务、作业节点部署和任务能力;OV-2、OV-4 主要从静态角度描述作战任务规划体系作业节点间的连接和面向数据流的信息交互,节点组织关系与资源需求;OV-5 主要从动态角度描述体系的任务、事件、活动与过程。

按照 SysML 建模机制与 DoDAF 产品集之间的映射关系,如图 2 所示^[10],相应选择用例图、块图和块活动图等可视化作战视图的 4 个产品。由于 SysML 建模过程是功能驱动,为保证体系结构数据的一致性和逻辑合理性,基于 DoDAF 框架的体系结构产品设计必须遵循一定的开发顺序:即先建立用例图,形式化其作业概念;再建立块定义图和块活动图,细化体系结构,在此基础上建立内部块图,描述作业活动,获得功能体系结构;最后再对所建立的模型进行静态语法和语义检验,确保模型的正确性、规范性和建模描述内容的完整性。

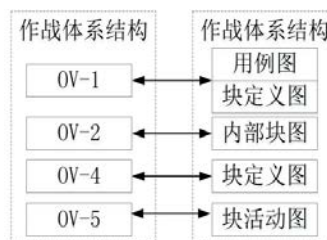


图 2 SysML 模型与 DoDAF 产品集的映射关系

3 基于 SysML 的作战任务规划作业体系结构设计

3.1 基于用例图的 OV-1 视图构建

用例图源于指挥保障需求和作战任务规划作业场景,采用“高聚合、低耦合”的思路,基于图 1 所示作业流程,在分析体系运作的功能需求和性能需

求分析的基础上,解析出态势、规划作业、指挥与控制、气象、目标与情报、数据与通信、推演与评估 6 个用例,表示被任务规划作业相关者感知的系统行为。人形标志代表作业参与角色,连线建立了相关角色之间的关联关系。图 3 是用 Visual Paradigm 软件给出的作战任务规划作业体系用例模型,它将驱动下一阶段功能结构体系的开发。

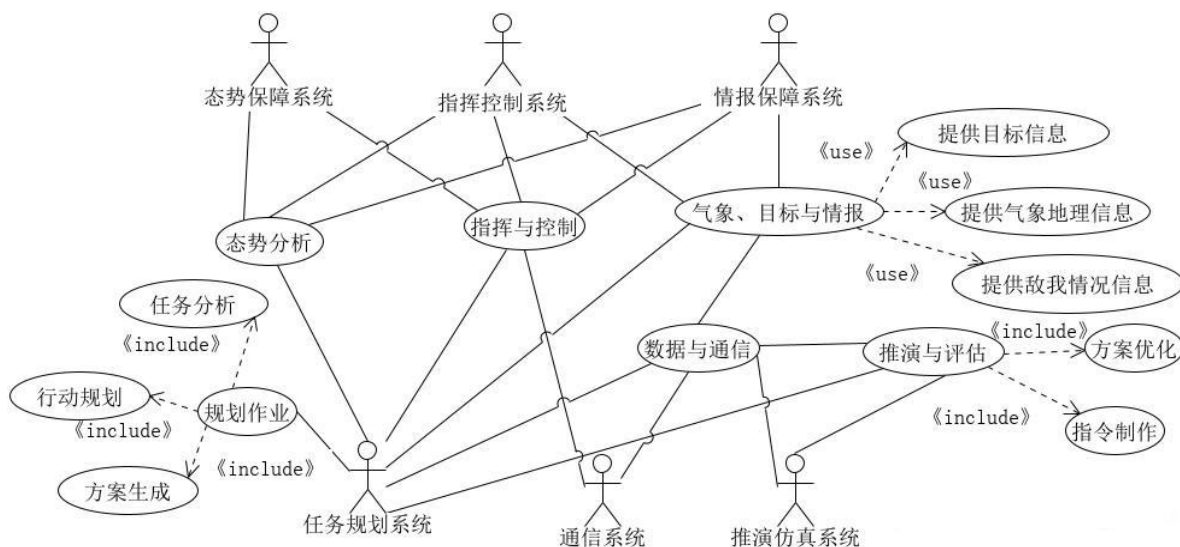


图 3 作战任务规划作业体系用例图

图 3 用例图中的情报保障系统、任务规划系统和推演仿真系统,可进一步划分为子用例。如任务规划系统可细分为任务分析、行动规划和方案生成三个子用例。最终,通过用例图实现对该体系功能需求的完整覆盖。其中,每一用例的实现过程都是通过一系列作业活动的执行来表示。例如,“任务分析”用例,可通过“领受上级任务指令—明确指挥员意图—确定任务—获取情报支援—分析作战资源—作战重心分析—初步风险评估—生成任务清单与任务分析简报”活动的执行来实现。

3.2 基于块定义图的 OV-4 视图构建

块(Block)是 SysML 的基本单元,可为系统内外任意一种感兴趣的实体类型创建模型。图 3 用例图中,功能的实现者是系统,由于聚合度高,系统还不是最基本的作业节点,也不显示功能实现的具体活动以及实施作业的任务实体,体系的组织结构呈现还需要将相关作业活动分配到作业实体中。与此对应, SysML 块元素可以表示任务实体,其属

性可以描述作业节点的结构参数、分配的具体业务活动和节点组成关系。

SysML 基于面向对象的思想还支持块的封装。例如,“任务分析”功能实现的主体是任务规划系统,可将前述实现“任务分析”功能的系列活动分配到聚合成任务规划系统的作战节点,包括隶属于任务规划中心总体室、数据室、模型室和分析室等子节点,并用块来描述这些节点。如此,通过对作战任务规划作业体系中各系统和功能的分解以及作业活动与作业节点的分配,从而可为体系提供完整的组织视图,如图 4 所示。

依据用例图描述的作战概念和块图表示的组织信息,可以确定作战任务规划作业体系结构所涉及的组织以及它们之间的关系,从而得到 OV-4 组织关系图,如图 5 所示。其中,块表示各组织机构,指挥、控制、协作等块间关联描述了组织机构之间的业务关系。这为体系的组织集成确定了管理关系。

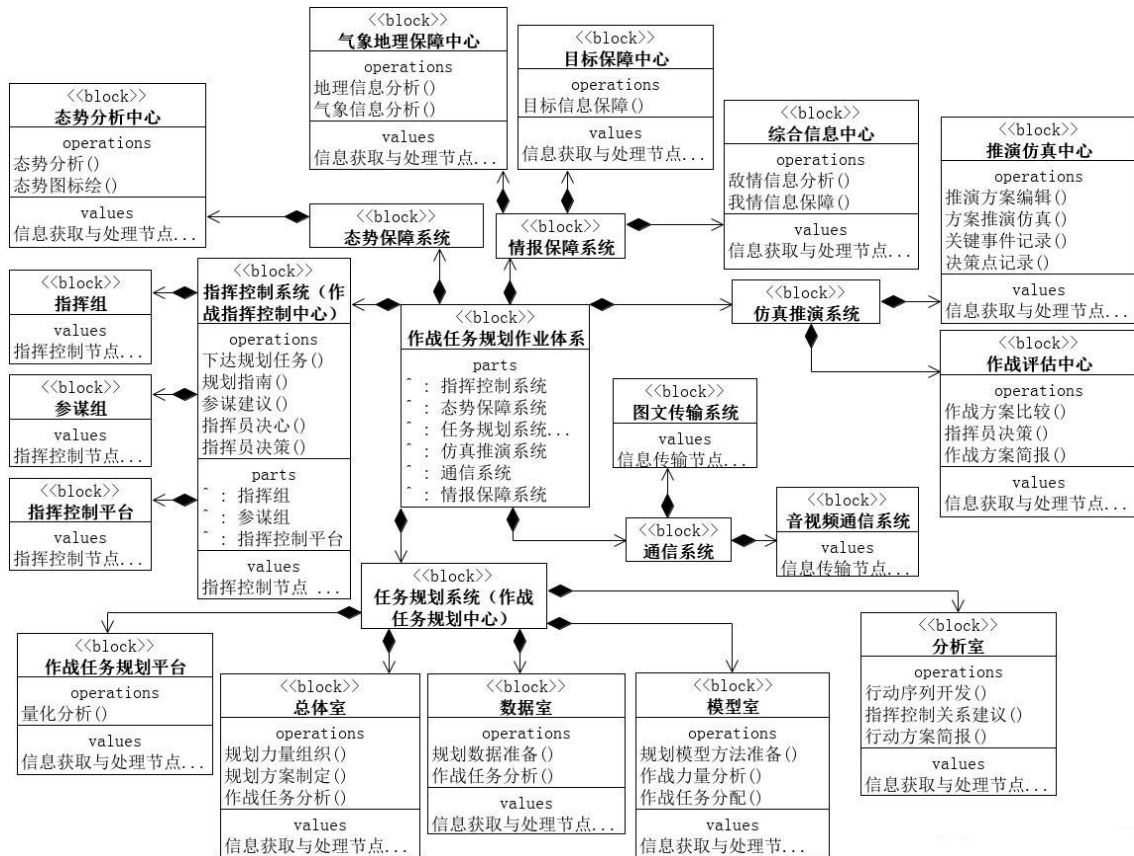


图4 作战任务规划作业体系组织视图

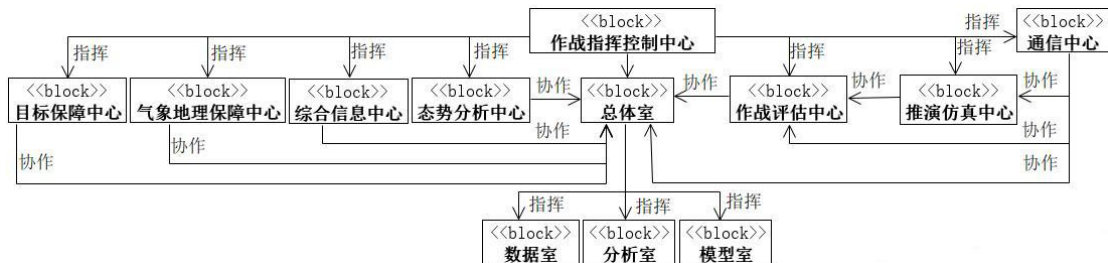


图5 作战任务规划作业体系的组织关系图

3.3 基于活动图的 OV-5 视图构建

作战任务规划作业体系的业务逻辑需要通过活动图描述。按照自顶向下的分解原则进行建模^[11],实现对作业活动的分层描述,建立完整的业务逻辑可视化模型,达到增进理解的效果。作业体系作业活动图如图6所示。

在详细设计阶段 SysML 使用序列图针对作业场景进行作业活动的精确说明或设计测试用例时,一般采用泳道技术(Swimlanes)组织序列图元素。从图6中可见,作战任务规划作业涉及的实体多,且关联关系复杂,导致泳道多且交互逻辑可读性

差。可利用 SysML 的构造型技术,对活动图的对象进行分类扩展^[12],减少实体类型。考虑到作战任务规划作业体系涉及大量的人员和组织机构,构造《Role》和《Organization》分别表示参与活动人员和组织机构两种角色,其对象流由对象指向活动,表示参与关系;构造《Equipment》表示业务活动调用的装备,如仿真推演系统、气象分析系统等。作战任务规划作业本质上是以指挥信息处理为核心的活动,构造《Info》表示所有活动输入或输出信息的对象。

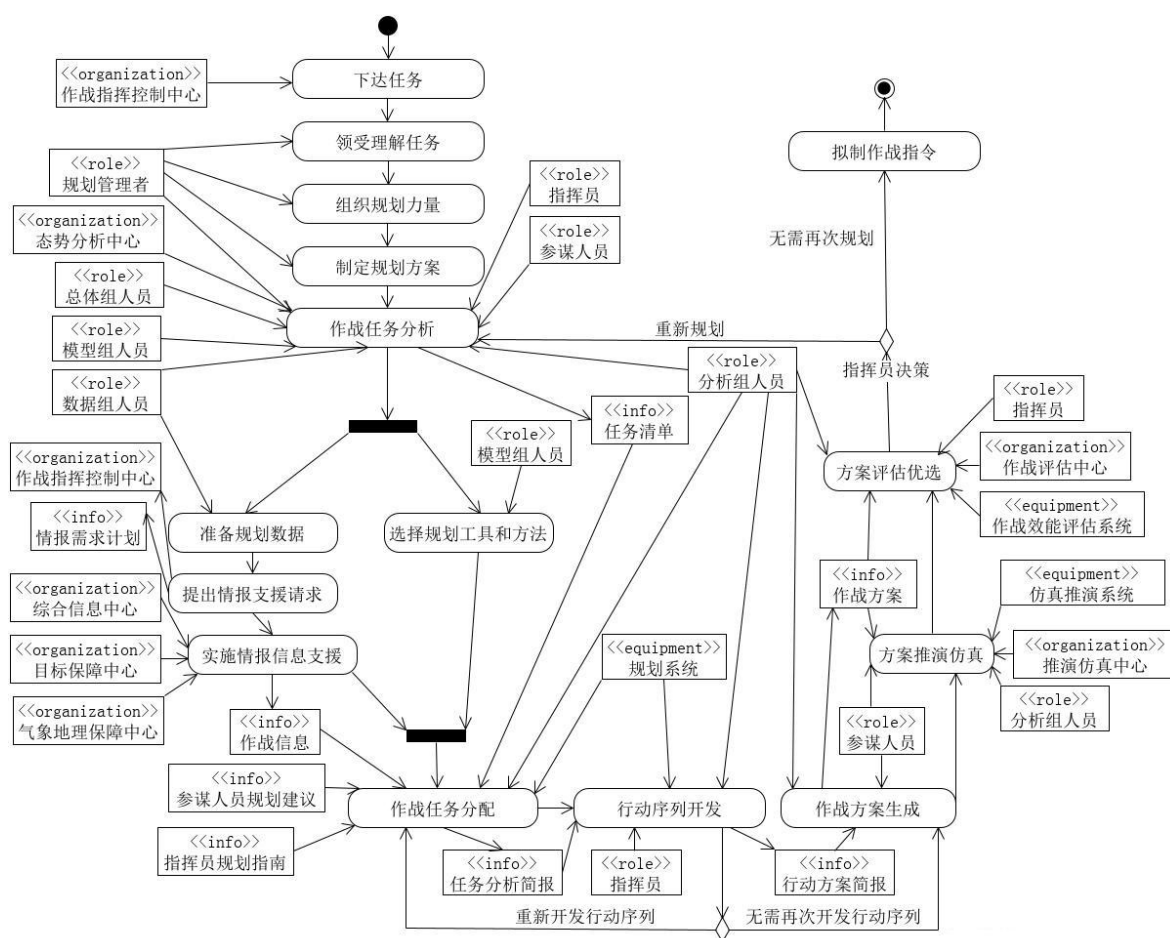


图 6 作战任务规划作业体系作业活动图

3.4 基于内部块图的 OV-2 视图构建

在复杂系统设计过程中, SysML 根据活动图提供的信息流, 采用内部块图与块定义图相补充的方法, 描述完整的系统静态结构。内部块图基于块定义图 OV-4 的组织关系和 OV-5 所定义的活动, 描述任务规划系统与仿真推演系统、情报保障系统、指挥控制系统、态势保障系统和通信系统等外部角色的接口关系, 各块之间信息交互流端口 (Flow Port) 表示方向和交互内容。如此, 不仅可以进一步得到作战任务规划作业的信息流程, 还可以按照“自顶向下分解”原则, 逐层规范信息交互。首先构建顶层黑盒模型, 如图 7 所示。

以此为基础, 通过系统的组成分解、功能分配、任务和接口下发等功能, 逐步细化, 将黑盒模型白盒化, 进而展现出作战任务规划作业体系信息流程的全貌。鉴于篇幅, 仅对任务规划系统进行了白盒

描述, 如图 8 所示。

3.5 模型校验与动态行为仿真验证

作战任务规划系统的详细设计、实现以及作业的高效管理均与体系结构设计结果密切相关, 需要检查验证体系结构模型设计的正确性, 确定体系结构描述是否满足系统的功能需求, 并依据体系结构设计符合军事需求的系统。由于上述可视化产品是基于 Visual Paradigm 工具开发的, 该平台的实时语法约束功能为产品的语法正确性检查提供了保证, 并可通过语义和关联判断出模型中的矛盾之处。基于该功能, 在由顶向下逐层构建作业体系活动图模型的过程中, 顶层设计如果指定态势分析中心参与任务分配活动, 将与下层任务分析活动图构建相矛盾, 顶层活动图中就会自动体现出这一冲突。根据 SysML 设计的流程模型映射到可执行的 Petri 网, 如图 9 所示, 黑色实心矩形表示瞬时变迁,

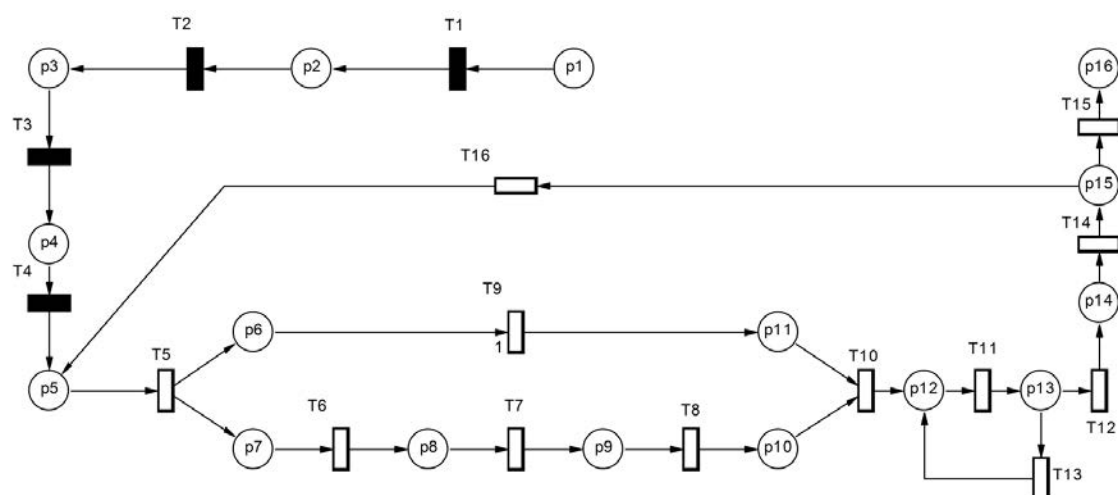


图 9 作战任务规划作业体系的顶层 Petri 网模型

表 1 给出了图 9 中变迁的延时时间和分支选择概率。

变迁	时间延迟(min)	选择概率
T_5	15	1
T_6	5	1
T_7	6	1
T_8	10	1
T_9	15	1
T_{10}	10	1
T_{11}	20	1
T_{12}	15	0.7
T_{13}	10	0.3
T_{14}	20	1
T_{15}	2	0.6
T_{16}	10	0.4

在各资源受约束的时间变迁中,设定 T_8 的可用资源数目为 5,其余均为 3,表示变迁信息处理能力。在时间延迟不变的情况下,将情报支援环节的活动调整为与任务理解环节并行,对比调整前后作战任务规划体系中服务资源利用率^[13],如图 10 所示。可见,调整前模型资源利用率较之调整后模型更为均衡,主要是因为情报支援目的性强,与任务分析结合更紧密,这同经验认知是一致的,也证明了所建立模型的合理和可靠。

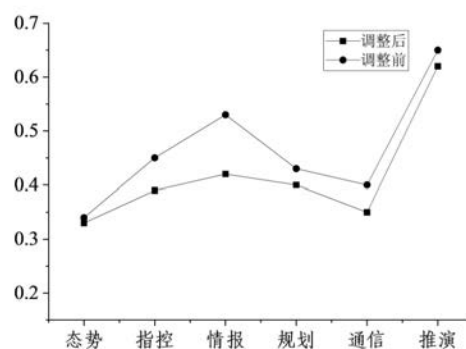


图 10 作业系统资源利用率

假设在分支选择变迁处最多发生 2 次循环,计算流程可能的响应时间和概率分布情况^[14],如图 11 所示,作业系统平均响应时间为 145min。

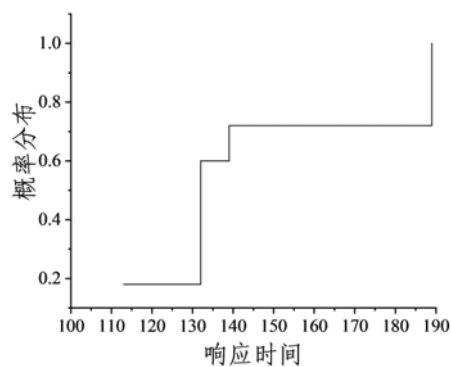


图 11 作业系统响应时间分布图

4 结束语

作战任务规划作业体系作为一个复杂的大系统,是系统工程技术和军事运用的紧密结合体^[15]。SysML 作为一种通用的、功能强大的系统工程建模语言,非常适合体系结构的可视化描述,如何为作战任务规划系统建设和规划组织协同运行提供一致的理解。由于 SysML 本身并不具备可执行性,如何通过活动模型、数据模型和规则模型,结合 Petri 网工具,采用自顶向下的分层的方法对其进行更加细化的分析和评价,得出设计系统的多维性能参数,以便更加有效地发挥其技术指导作用,是需进一步深入探讨和研究的问题。

参考文献

- [1] 林福良,宋颖,工建宏,等.多弹联合快速任务规划系统设计[J].指挥控制与仿真,2015(1):89-97.
- [2] 张丽秋.侦察卫星引导式协同任务规划模型与算法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2015.
- [3] 邓道靖,马云红,龚洁,等.基于并行 GAPSO 算法的多无人机协同任务规划[J].电光与控制,2016(11):18-22.
- [4] 王伟,刘付显.基于任务关系矩阵的作战任务分解优化[J].军事运筹与系统工程,2017,31(4):9-14.
- [5] 刘新艳,黄显林,吴强.对地攻击任务规划系统的功能体系框架设计[J].哈尔滨工业大学学报,2007(7):1013-1016.
- [6] 曾鹏,刘耿,李顺民.一种编队作战任务规划方法及关键技术研究[C].第三届中国指挥控制大会论文集,2015.
- [7] 高昂,王增福,赵慧波,等.DoDAF 体系结构分析[J].中国电子科学研究院学报,2011(5):461-466.
- [8] 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.
- [9] Department of The Navy Office of the Chief of Naval Operations. Navy Warfare Publication Navy Planning NWP5-01 [EB/OL]. (2011-03-11) [2015-02-26].[https://www.usnwc.edu/getattachment/171afb3-a1e2-46b3-b1e9-d1fa4b0fec5a/5-01_\(Dec_2013\)_\(NWP\)-\(Promulgated\).aspx](https://www.usnwc.edu/getattachment/171afb3-a1e2-46b3-b1e9-d1fa4b0fec5a/5-01_(Dec_2013)_(NWP)-(Promulgated).aspx).
- [10] 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(11):27-31.
- [11] 陆敏,黄湘鹏,施未来.军事信息系统体系结构框架研究进展[J].通信技术,2011,44(3):77-79.
- [12] 德里吉提.SysML 精粹[M].侯伯薇,朱艳兰,译.北京:机械工业出版社,2015.
- [13] 姜浩,董逸生.一种基于扩展时间 Petri 网的工作流时间性能评价方法[J].计算机研究与发展,2005(5):849-855.
- [14] 孟庆海.受资源约束的工作流时间特性研究[D].大连:大连理工大学,2006.
- [15] 胡晓峰,荣明.关于联合作战规划系统的几个问题[J].指挥与控制学报,2017(4):273-280.
- [11] 田园.基于 PCA-KLD 与深度学习的供输弹系统故障预示研究[D].太原:中北大学,2017.
- [12] 刘爽,吕永波,张仲义.基于 AHP 和 PCA 的多指标评价建模方法及应用[J].信息与控制,2015,44(4):416-421.
- [13] SHERRY, CHRISTOPHER W. A regression-based training algorithm for multilayer neural networks[D]. Rochester: Rochester Institute of Technology, 2014.
- [14] HOYEOP LEEA, BYEONG JU CHOIA, CHANG OUK KIMA, et al. Threat evaluation of enemy air fighters via neural network-based Markov chain modeling [J]. Knowledge-Based Systems, 2017, 116 (Complete): 49-57.
- [15] ZHAO J P, GUO W W, ZHANG Z H, et al. A coupled convolutional neural network for small and densely clustered ship detection in SAR images [J]. Science China (Information Sciences), 2019, 62(4): 111-126.
- [16] SASIREKHA K, THANGAVEL K. A novel fingerprint classification system using BPNN with local binary pattern and weighted PCA [J]. International Journal of Biometrics, 2018, 10(1): 77-104.
- [17] SAVCHENKO A V, BELOVA NS, SAWHENKO L V. Fuzzy analysis and deep convolution neural network in still-to-video recognition [J]. Optical Memory and Neural Network, 2018, 27(1): 23-32.
- [18] TURNER, JEFFREY T. Time series analysis using deep forward neural networks[D]. City of College Park: University of Maryland, 2014.
- [19] 刘国强,陈维义,程晗,等.基于 BP 神经网络的炮光集成武器系统作战效能评估与预测[J].海军工程大学学报,2019, 31(3): 55-59.
- [20] 郑国杰,任吉,李泽鹏.基于改进的 BP 神经网络模型的雷达网效能评估[J].空军预警学院学报,2019(2): 116-120.
- [21] 马拴柱,刘飞.地空导弹射击学[M].西安:西北工业大学出版社,2012(1): 38-45.
- [22] 沈培志,杨历彪,王培源.多火力单元部署的地空导弹防空体系作战效能研究[J].火力与指挥控制,2020,45(1): 1-6.
- [23] 毕义明.导弹生存能力运筹分析[M].北京:国防工业出版社,2011.
- [24] 吴鹏,诸德放,戎韬玉.基于 PCA-SOM 神经网络的反舰导弹作战目标分类模型[J].装备制造技术,2018(8): 35-37, 47.

(上接第 43 页)