

面向战区联合作战的空需求响应任务规划

鲁 赢, 李 琳, 李翼鹏, 穆冠杰, 林文浩

(国防科学技术大学军政基础教育学院, 长沙, 410073)

摘要 针对战区联合作战中的空需求响应问题, 描述了面向战区联合作战的空需求响应任务规划的背景; 从空间资源能力、空需求响应机制、空需求响应效益和代价等方面, 分析了空需求响应任务规划所需考虑的主要因素; 定义并描述了任务规划模型, 设计了任务规划计算方法, 并结合战区联合作战实际进行了案例仿真与分析, 验证了模型和方法的有效性, 为战区联合作战中空需求的有效响应提供了理论和方法支撑。

关键词 战区; 联合作战; 空需求响应; 任务规划

DOI 10.3969/j.issn.2097-1915.2024.03.011

中图分类号 TP182; E917 **文献标志码** A **文章编号** 2097-1915(2024)03-0071-06

Being Geared to the Needs of Tasks Planning for Space Demand Response in War Zone

LU Ying, LI Lin, LI Yipeng, MU Guanjie, LIN Wenhao

(College of Military and Political Basic Education, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract In view of space demand response problems for war zone in joint operations, this paper describes the background of space demand response task planning for war zone in joint operations, analyzes the main factors in consideration of task planning in its aspects of space resources ability, space demand response mechanism, space demand response beneficial result, and cost, defines and describes a task planning model, designs a planning implementation method, and conducts case simulation based on the actual situation for war zone in joint operations. And the model and the method are verified. A certain theoretical and methodological support is provided for effective response to space requirements in joint operations in theater of war.

Key words war zone; joint operations; space demand response; mission planning

伴随着空间力量支援战区联合作战能力的不断增强, 在一定的联合作战背景下, 战区指挥机构和任务部队会根据作战行动要求不断提出空需求^[1], 主要包括空信息资源产品需求, 以及导航、定位、通信等持续性能力需求。如何根据战区联合作战中空需求响应的特点和条件约束, 尽可能最优地发挥现有空资源和能力的效能, 合理规划好空需求响应任务, 是空力量支援战区联合作战所必须解决的重要问题。

在以往空力量支援作战行动的过程中, 空力量的运用主要以空信息资源推送为主^[2], 空

任务规划主要以卫星任务计划为主^[3-6], 部队主动提报需求、直接与空力量部门进行需求协调的情况比较少。但是随着空能力的不断提升以及部队“知天”水平的提高, 实际联合作战行动中部队提报的需求将会越来越多^[7], 迫切需要立足于空需求对联合作战行动的影响来综合规划有效的需求响应任务。

1 问题描述

面向战区联合作战的空需求响应任务规划,

收稿日期: 2024-01-03

作者简介: 鲁 赢(1983—), 男, 湖南益阳人, 副教授, 研究方向为新兴领域指挥。E-mail: 122160005@qq.com

引用格式: 鲁赢, 李琳, 李翼鹏, 等. 面向战区联合作战的空需求响应任务规划[J]. 空军工程大学学报, 2024, 25(3): 71-76. LU Ying, LI Lin, LI Yipeng, et al. Being Geared to the Needs of Tasks Planning for Space Demand Response in War Zone[J]. Journal of Air Force Engineering University, 2024, 25(3): 71-76.

是指立足于战区空间需求,满足对联合作战行动的影响,在综合考虑现有空间资源和能力的背景下,结合空间需求响应活动的效益和代价因素,确定所需响应的战区空间需求任务清单的过程。

从战区联合作战的角度,空间力量支援战区联合作战的形式主要围绕面向战区联合作战部队的空间需求有效萃取、提报、响应来展开。从根本上讲,空间力量支援战区联合作战的效果主要通过响应更优的空间需求任务清单来体现。而空间需求响应任务清单的确定,则要求根据战区联合作战行动任务需求,结合现有空间资源产品、卫星操控能力、需求满足效益和代价等方面因素,进行综合任务规划。

因此,通过开展面向战区联合作战的空间需求响应任务规划,可以实现战区联合作战部队与空间力量部门(空间指挥机构、卫星应用中心等)的前后端规划协同(如图1所示),有助于将空间需求响应任务规划的基点聚焦到战区联合作战效益的提升上,从而实现战区联合作战部队和空间力量部门之间的有效协调,发挥空间力量对战区联合作战的更大增效作用。

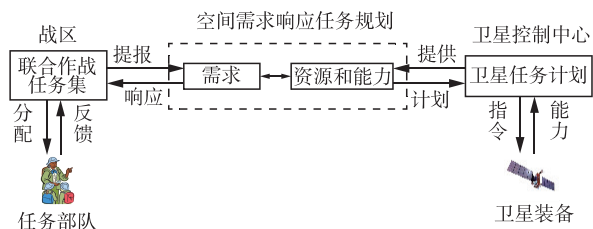


图1 战区联合作战空间需求响应前后端任务规划协同

2 规划需考虑的主要因素

面向战区联合作战的空间需求响应任务规划,需充分考虑空间资源和能力、空间需求响应机制、空间需求响应效益和代价的因素影响,规划得到较优的战区空间需求响应清单。

2.1 空间资源和能力

空间资源和能力是指空间力量部门所具有可满足空间需求的资源和能力,是进行空间需求响应任务规划的基础^[8]。各项空间需求的响应任务是否应该被安排,首先应以空间资源和能力能否满足该项需求为基本前提。如果空间资源和能力根本不具备满足该项空间需求的条件,那么即使这项需求的重要度最高、对联合作战的效益影响最大,也无法安排其相应的空间需求响应任务工作,即使安排了也得不到满足,并且会造成空间需求响应工作的浪费。

如果现有资源和能力能够满足某项空间需求,那么就需进一步权衡需求响应时间、需求响应效益、所需付出代价(时间消耗、任务负载等)是否值得响应,从而确定具体的空间需求响应清单。如果该项需求的满足需要耗费较大的代价(比如需要等待较

长时间、造成较大任务负载),那么就需要在是否应该满足这一需求和舍弃其他需求之间作出权衡。这主要通过不同需求满足方案获得效益和付出代价的多少来权衡,避免因优先度较高需求得到满足却造成综合效用更低的问题。如果某项空间需求确实很重要,甚至需要通过实施卫星装备的指令操控来生成新的资源和能力,那么此时也必须考虑因卫星操控所带来能力变化对总体空间需求响应代价和效益的综合影响。

2.2 需求响应机制

面向战区联合作战的空间需求响应任务规划,其根本目的是通过协调安排空间资源和能力,满足联合作战中提出的不同空间需求。因此,部队提报需求及响应需求的机制,直接影响着空间需求提报时效以及响应的路径节点情况。

一般情况下,空间需求的提报和响应都需遵循一定的规则。部队在提报需求时,应根据需求重要度提供一定的区分标识,代表对部队自身行动任务的影响;部队还需根据对作战行动发展的估计,提出一定的需求响应时限要求;按照统一汇总、分类提供的原则,部队空间需求一般需通过一定的信息渠道报送,在相关机构进行汇总、审核、筛选,再根据需求影响度重新审定优先级;最后再按照分类提供的原则与相应空间力量部门进行资源和能力协调,以满足具体的需求。在这期间,有的空间需求可依托现有空间资源(比如空间情报资源产品)满足,有的需要等待卫星完成预定计划行动才能满足,有的甚至还需要通过卫星操控才能满足。因此,在进行面向战区联合作战的空间需求响应任务规划时,应充分考虑空间需求响应机制不同对需求响应任务规划的影响。

2.3 需求响应效益和代价

从支持战区联合作战行动的角度,不同空间需求的满足会对联合作战产生一定的影响,具体表现为需求满足对联合作战产生的增益效应和因响应活动所需付出的代价。对于战区联合作战指战员而言,部队提出空间需求、协调空间资源能力的根本目的是为了完成一定的联合作战使命,发挥空间力量对战区联合作战行动的增益作用。因此,需求响应效益是进行空间需求响应任务规划的首要因素^[9]。同时,每一项空间需求的响应和满足,也会要付出一定的代价。比如,空间需求的萃取、提报、空间资源能力的协调、空间需求的满足确认等,每一个过程节点都需要有一定的时间消耗,都需要不同的力量单元参与,都会产生相应的任务负载;此外,卫星装备在进行操控活动时,会改变其原有的计划能力,从而对之前的需求响应活动产生影响。因此,在进行面向战区联合作战的空间需求响应任务规划时,必须综合考虑需求响应效益和代价的分析,预估需求响

应时间、负载、卫星能力变化等因素,在综合考虑多种因素情况下得出需求响应较优方案。

3 面向战区联合作战的空间需求响应任务规划方法

根据空间需求响应流程和任务规划需考虑的主要因素,我们可以构建起面向战区联合作战的空间需求响应任务规划模型,并分析规划实施方法。

3.1 定义和描述

根据战区空间力量集成运用和需求响应任务的处理特点,我们可以作如下定义和假设。

定义 1 联合作战使命 M 。是上级赋予本级所需完成目标的总体宏观性描述,是作战任务分解的依据,也是战区联合作战中空间力量运用的根本目标。

定义 2 联合作战任务集 Mt 。是对联合作战使命的分解,是针对具体作战单元对所需执行工作的描述^[10]。一次联合作战行动可以描述为多个任务的集合,任务的基本属性包括任务处理的能力需求、任务处理的时间需求、任务的区域位置和任务的优先顺序等。利用分层任务网络(HTN)等方法,可以将一个作战使命 M 逐步分解为可具体执行的任务集合: $M \supseteq Mt = \{mt_0, mt_1, \dots, mt_k\}$,其中 k 为作战使命分解的作战任务数量^[11]。

定义 3 空间需求集 D 。是完成作战任务所需要的空间资源能力的集合。作战任务的执行需要多种能力来支撑,其中也包含空间资源和支持。根据每项作战任务的能力需求分解,我们可以萃取出支持联合作战行动开展的空间需求集 $D = \{D_{mt_1}, D_{mt_2}, \dots, D_{mt_k}\}$ 。

对于战区联合作战中的空间力量运用而言,联合作战任务 mt_x 对空间资源能力的需求,可以用该项作战任务对不同空间资源能力类型 $\{e_1, e_2, \dots, e_s\}$ (假设共 s 种)的指标需求进行表示,即对于任一空间需求 D_{mt_k} ,可以描述为 $D_{mt_x} = \{d_{mt_x}^{e_1}, d_{mt_x}^{e_2}, \dots, d_{mt_x}^{e_s}\}$,其中 $d_{mt_x}^{e_y}$ ($1 \leq y \leq s$) 表示对应于空间资源能力类型 e_y 所对应的指标需求。这样,我们就可以将空间需求集 D 表示为:

$$D = \bigcup_{x=1}^k \bigcup_{y=1}^s d_{mt_x}^{e_y} \quad (1)$$

定义 4 空间资源能力集 E 。是战区联合作战中可以提供支援的空间信息资源产品、空间支援能力(导航、定位、通信等持续性能)的区间数量化表征^[12]。空间资源能力对空间需求的满足情况判断,可以简化为在资源能力类型、特征参数、覆盖区域、响应时限等指标区间数的比对^[13]。即当某项空间需求指标 $d_\lambda = [e_\lambda^-, e_\lambda^+]$ 能够被对应的空间资源

能力 $E \ni e_\lambda = [e_\lambda^-, e_\lambda^+]$ 满足时,有 $[e_\lambda^-, e_\lambda^+] \subseteq [e_\lambda^-, e_\lambda^+]$,其中 $e_\lambda^-, e_\lambda^+, e_\lambda^-, e_\lambda^+$ 分别表示空间需求、空间资源能力指标的上下界。

定义 5 空间需求响应清单 RD 。指经过空间需求响应任务规划后,所需确定响应的空间需求集。假设针对每项空间需求,经规划后得到的需要响应情况表示为 $R = \{r_{mt_1}^{e_1}, \dots, r_{mt_1}^{e_s}, \dots, r_{mt_k}^{e_1}, \dots, r_{mt_k}^{e_s}\}$,则空间需求响应清单为:

$$RD = D \times R \quad (2)$$

式中: $r_{mt_x}^{e_y}$ 表示针对空间需求 $d_{mt_x}^{e_y}$ ($1 \leq x \leq k, 1 \leq y \leq s$) 所需进行响应的结果。当 $d_{mt_x}^{e_y}$ 需要进行响应时 $r_{mt_x}^{e_y} = 1$,否则 $r_{mt_x}^{e_y} = 0$ 。

定义 6 空间需求响应效益 $\tau_{mt_x}^{e_y}$ 。指空间需求得到响应满足后对联合作战行动产生的效益影响。一般可以表征为需求提报单位在联合作战中的重要程度 ξ_{B_i} 、空间需求本身在机构中的重要度 $G_{mt_x}^{e_y}$ 的乘积,即 $\tau_{mt_x}^{e_y} = \xi_{B_i} \times G_{mt_x}^{e_y}$ 。在实际需求响应活动中,联合作战机构和部队的重要程度 ξ_{B_i} 往往由上级根据任务分配情况进行确定,空间需求的重要度 $G_{mt_x}^{e_y}$ 则由需求提报人员根据需求的重要性进行确定。

定义 7 空间需求响应时间 $Rt_{mt_x}^{e_y}$ 。指对应于空间需求 $d_{mt_x}^{e_y}$ 所消耗的总时间。空间需求的满足,需要经过多个力量单元(机构、人员、卫星装备)的处理,均需一定的时间消耗。因此对应于某项空间需求 $d_{mt_x}^{e_y}$,其需求响应时间,为所经历需求响应路径 $P_{d_{mt_x}^{e_y}}$ 上的不同节点的时间消耗之和,即:

$$Rt_{mt_x}^{e_y} = \sum_{i=1}^A t_{(u_i)_{mt_x}^{e_y}} \quad (3)$$

式中: $t_{(u_i)_{mt_x}^{e_y}}$ 为空间需求 $d_{mt_x}^{e_y}$ 在节点 u_i ($1 \leq i \leq A$) 上的响应处理时间, A 为节点数量。

此外,需求响应总时耗为 T ,为从第一项需求响应开始后,到最后一项需求响应结束之间的时间差,用以衡量不同需求响应清单情况下的需求响应任务完成的总体时间。即有:

$$T = \max(Rt_{mt_x}^{e_y}) \quad (4)$$

定义 8 力量任务负载 d 。指对应于某一空间需求响应清单,所产生的任务负载情况。空间需求的响应处理,均需一定的机构、人员、卫星装备等进行业务处理才能完成。而每项工作的处理,都会对力量单元造成一定的任务负载。负载约束一方面表现为力量单元的任务安排不能超过其最大可承受量(一般表现为当超过其最大可同时处理空间需求数时,会导致后续需求的排队响应^[14]),另一方面表现

为所有需求响应节点的任务负载不均衡度更低(即整体任务分配安排更加合理)。

其中,空间需求响应节点 u_i 在某阶段的任务负载可以表示为 $d_{(u_i)}$,其最大可承受负载可表示为 $d_{(u_i)}^{\max}$,两者之间的关系为:

$$d_{(u_i)} \leq d_{(u_i)}^{\max} \quad (5)$$

任务负载不均衡度 d_{avr} ,主要用来描述不同节点(需求响应单元)之间工作负载的差异程度,是衡量工作均衡度安排的重要指标。一般表示为所有节点响应时间对平均任务时间的标准方差^[15]。即:

$$d_{\text{avr}} = \sqrt{\frac{1}{A} \sum_{x=1}^k \sum_{y=1}^s \sum_{i=1}^A (t_{(u_i)}^{e_y} - \bar{t})^2} \quad (6)$$

式中: $\bar{t}$ 为所有需求的平均响应时间。负载不均衡度越低,代表所有节点任务的工作负载越均衡,任务安排更加合理。

定义 9 空间需求响应时限 $Dt_{mt_x}^{e_y}$ 。指对应于空间需求 $d_{mt_x}^{e_y}$ 的响应时限要求。对于联合作战行动而言,每一个具体的作战任务完成都是有时间要求的。对应于任一空间需求,其需求响应时间不能超过需求响应时限,即:

$$Rt_{mt_x}^{e_y} \leq Dt_{mt_x}^{e_y} \quad (7)$$

定义 10 总体空间需求满足效益 FA 。指对应于空间需求集 D ,根据需求满足结果,所能获得的总体需求满足效益。可以表示为:

$$FA = \sum_{x=1}^k \sum_{y=1}^s (\xi_{B_i} G_{mt_x}^{e_y} r_{mt_x}^{e_y}) \quad (8)$$

3.2 规划方法

根据以上定义,战区联合作战背景下的空间需求响应任务规划,是根据需求响应效益和代价的权衡,所获取相对较优空间需求响应清单的过程。即在作战使命任务分解并萃取空间需求的基础上,通过计算每项需求的可满足情况以及需求响应效益和代价,得到最大效益、最小耗时、负载最均衡的需求响应清单。

可以表示为:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max FA \\ \min T \\ \min d_{\text{avr}} \\ \text{s. t. } \left\{ \begin{array}{l} \forall x, y, Rt_{mt_x}^{e_y} \leq Dt_{mt_x}^{e_y} \\ \forall i, d_{(u_i)} \leq d_{(u_i)}^{\max} \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (9)$$

进行计算处理的基本流程见图 2:

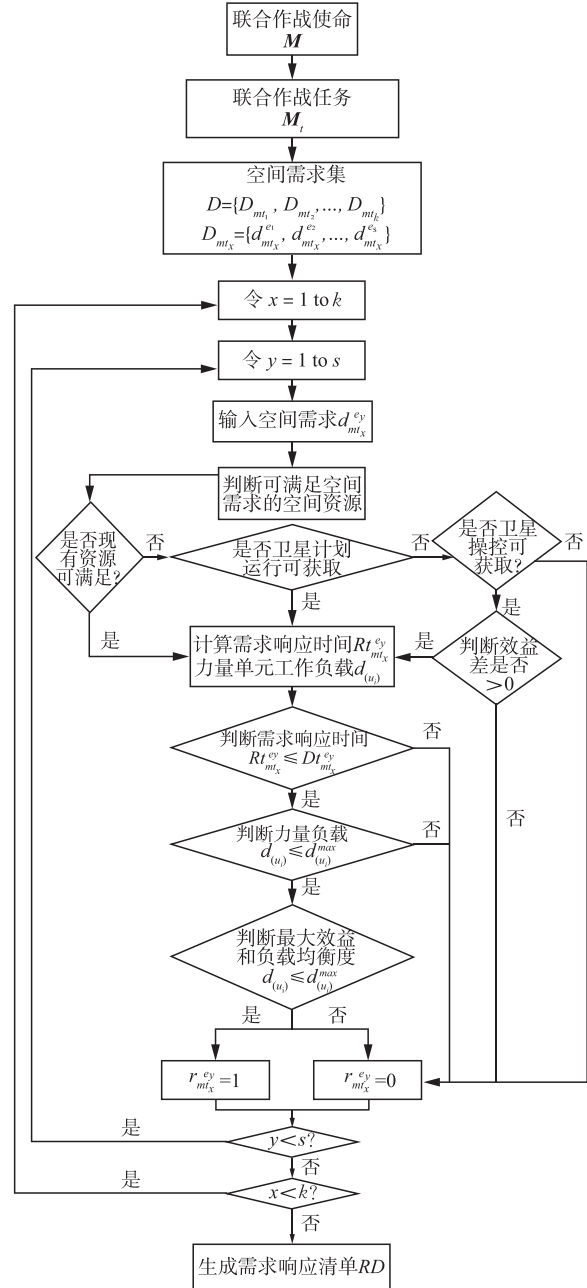


图 2 面向战区联合作战的空间需求响应任务规划流程

4 案例分析

在以上任务规划方法设计的基础上,以典型的战区联合作战中空间情报侦察需求响应为例,研究战区联合作战背景下的空间需求响应任务规划过程。

4.1 案例假设

假设某战区联合作战行动,在战区联指的指挥下由多军兵种联合任务部队共同完成。其中战区联指(表示为 B_1)分别下辖 3 个联合任务部队指挥中心($B_2 \sim B_4$),每个联合任务部队指挥中心又分别指挥 2 个专项任务部队($B_5 \sim B_{10}$),担任正面突击、左翼辅攻、右翼助攻的任务。

在战略支援部队授权下,空间指挥中心(K_{11})负责协调、处理战区提报的空间需求,并通过卫星控制中心($K_{11} \sim K_{18}$)和卫星装备(表示为 $Z_1 \sim Z_7$)获取相应情报侦察能力(表示为 $e_1 \sim e_7$),提供相应的空间支持。经授权,联合任务部队指挥中心 B_1 与卫星中心 K_{12} 之间,卫星中心 K_{14} 、 K_{18} 与地方空间部门 D_{19} 、 D_{20} 之间分别建立支援、协调关系,可直接获取相应空间资源和能力(比如为地方机构所积累的测绘、遥感等卫星侦察产品)^[16],以满足联合作战行动的需求。整个空间需求响应体系如图 3 所示。

各部门机构(包括 $B_1 \sim B_{10}$, $K_{11} \sim K_{18}$, $D_{19} \sim D_{20}$)在前期的工作过程中,往往也会积累一定的空间信息资源,可以满足一部分空间需求。

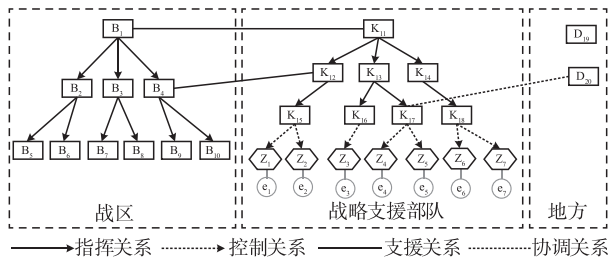


图 3 假设的战区空间需求响应体系

空间需求响应过程的仿真方法,以及空间需求集 D 、空间资源能力集 E 、需求提报单位重要度 ξ_{B_i} 、空间需求重要度 $G_{m_i}^{e_j}$ 、最大任务负载 $d_{(u_i)}^{\max}$ 等参数假设情况参照文献^[17]所示。

此外,假定地方机构拥有的资源能力区间如表

1 所示。

表 1 地方空间机构资源能力区间表

机构序号	资源能力类型	资源能力区间
D ₁₉	7	1, 651 011~7, 297 012
D ₂₀	1	1, 554 614~7, 284 323

假定各项空间需求的响应时限如表 2 所示。

表 2 空间需求响应时限表

需求序号	响应时限/h	需求序号	响应时限/h
B ₁ 1	33.111 05	B ₆ 6	65.821 52
B ₁ 2	31.991 79	B ₆ 7	50.581 46
B ₁ 3	32.286 81	B ₇ 1	65.063 85
B ₁ 4	45.374 77	B ₇ 2	47.151 57
B ₁ 5	70.456 60	B ₇ 3	9.491 808
B ₁ 6	62.800 96	B ₇ 4	5.282 042
B ₂ 1	32.534 97	B ₈ 1	41.867 37
B ₃ 1	1.236 423	B ₈ 2	44.300 75
B ₃ 2	30.757 94	B ₈ 3	49.066 45
B ₃ 3	52.317 33	B ₈ 4	2.309 245
B ₄ 1	66.693 19	B ₈ 5	23.489 61
B ₅ 1	4.028 582	B ₈ 6	65.935 13
B ₆ 1	56.509 53	B ₈ 7	5.055 374
B ₆ 2	45.320 43	B ₈ 8	17.126 55
B ₆ 3	37.453 70	B ₉ 1	10.642 85
B ₆ 4	59.197 12	B ₉ 2	46.838 20
B ₆ 5	57.330 57	B ₁₀ 1	47.281 97

4.2 结果分析

根据空间需求响应任务规划方法,通过编制 Matlab 程序,可以得到任务规划结果,如图 4 所示。

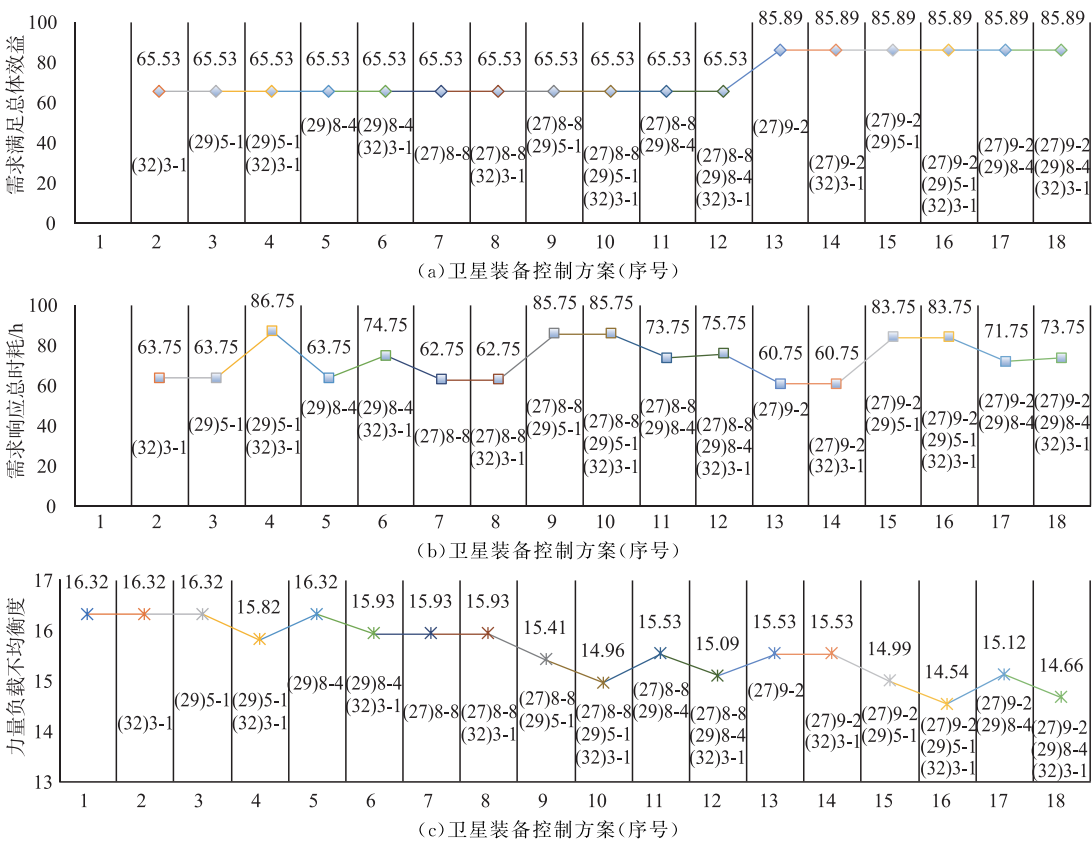


图 4 空间需求响应任务规划仿真结果

图 4 中:横坐标序号表示不同卫星装备控制方案;纵坐标的数值表示该方案下的需求满足总体效益、总时耗、任务负载不均衡度;纵坐标线上类似“(32)3-1”的文字表示该方案所能额外满足的需求序号,比如“(32)3-1”表示控制 Z_2 卫星装备并获取能力 e_2 (表示为节点 32),可以满足序号为“3-1”(即节点 3 机构 B_3 提出的第 1 条)的空间需求。通过以上仿真,可以快速得出相对较优的需求响应清单方案。

通过分析以上仿真结果,可以发现方案 13 至 18 可以获得相对最大需求满足效益,方案 13、14 可以获得相对最小需求响应耗时、负载不均衡度,但是由于方案 14 相比方案 13 需要操控更多的卫星数量(方案 14 需要操控 Z_2 、 Z_7 ,方案 13 只需要操控 Z_2),所以方案 13 为相对最优方案,如表 3 所示。

表 3 卫星装备控制建议

方案序号	卫星序号	需求满足	序号	总体效益	建议方案
方案 13	Z_2	B_3	2	85.888 2	✓
方案 14	Z_2	B_3	2	85.888 2	
	Z_7	B_3	1	85.888 2	

此时的空间需求响应清单如表 4 所示。

表 4 空间需求响应清单

响应任务	响应路径节点						响应结果
1-4	1	11	13				✓
6-2	6	2	1	11	13	19	✓
6-3	6	2	1				✓
6-4	6	2	1				✓
6-6	6	2	1				✓
7-2	7	3	1	11	13	17	✓
9-2	9	4	12	15	Z_2		✓
10-1	10	4	12	15			✓

5 结语

本文从空间力量支援战区联合作战的角度,立足于不同空间需求响应方案对联合作战行动的影响,描述了面向战区联合作战的空间需求响应任务规划问题。构建了任务规划模型,设计了规划方法,并进行了案例仿真与计算。

通过研究和分析,本方法可以为空间力量部门

在快速变化的联合作战环境下,如何有效规划所需响应的空间需求提供一定的方法支撑;也可以为联合作战机构和部队,更加合理地判断需求可响应情况及其对联合作战行动可能产生的影响,提供一定的理论和方法指导;还有助于进一步加强战区指挥机构、任务部队与军地空间力量之间的协调,促进不同空间资源和能力共享,从而形成针对联合作战行动的空间支援体系集成能力,实现有限空间资源和能力对战区联合作战行动的更大效能支持。

参考文献

[1] 侯迎春,崔巍巍. 太空信息支援联合作战“四链”探析[J]. 国防科技, 2022,43(3):49-56.

[2] 胡敏,张锐,徐灿. 太空信息支援发展现状及趋势分析[J]. 中国电子科学研究院学报,2023,18(3):270-273.

[3] 王静巧,杨磊,庄超然,等. 面向应急事件的卫星任务规划技术[J]. 航天返回与遥感, 2022, 43(3): 105-112.

[4] FENG X E, LI Y Q, XU M Q. Multi-Satellite Cooperative Scheduling Method For Large-Scale Tasks Based on Hybrid Graph Neural Network and Metaheuristic Algorithm [EB/OL]. (2024-01-25)[2024-03-26]. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102362>.

[5] LU Z Z, SHEN X, LI D R, et al. Multiple Super-Agile Satellite Collaborative Mission Planning for Area Target Imaging[EB/OL]. (2023-02-03)[2024-03-26]. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103211>.

[6] 唐一强,杨霄鹏,肖楠,等. 基于深度强化学习的卫星信道动态分配算法[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2022,23(2):61-67.

[7] 路威,赵丽君,王彬. 美国地理空间情报技术变革及陆战场作战支援研究[J]. 地理空间信息, 2021,19(8): 23-26.

[8] 李帅,申志强,侯宇葵,等. 我国空间应用发展总体构想[J]. 中国工程科学, 2023,25(2):67-78.

[9] 张力菠,陈昌奇,支若楠,等. 综合需求响应主体效益的系统思考及动力学仿真[J]. 系统科学学报, 2023, 31(3):127-132.

[10] 赵宇飞. 基于属性提取的作战任务建模方法[J]. 舰船电子工程, 2021,41(4):74-78.

[11] 杜伟伟,陈小伟. 作战任务层次化分解方法[J]. 兵工学报, 2021,42(12):2772-2782.