

面向应急的航天对地观测资源联合任务规划算法架构研究

林晓勇, 王 港, 刘晓丽, 高朝晖

(中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北 石家庄 050081)

摘 要: 为实现面向应急突发事件的航天对地观测资源整合, 快速调动各类航天对地观测资源在指定时间内及时高效实施应急观测任务, 提出面向应急的航天对地观测资源联合任务规划算法架构。针对现有航天应急任务实施过程中存在的资源冲突、资源协调难、动态响应能力差等问题, 设计了资源透明共享、一键式快速任务规划的航天对地观测联合任务规划思路, 构建了灵活可扩展的统一调度控制运行架构, 实现资源监视、需求筹划、约束检验和快速响应。经过演习演练和实验分析, 算法经业务化部署与迭代优化后, 任务覆盖率提升到95%, 响应时间提升到15 min, 有效提升了各类航天对地观测资源的应急响应能力。

关键词: 应急任务; 需求筹划; 规划决策; 微服务+插件

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2025023

Research on Emergency-Oriented Joint Mission Planning Algorithm for Space Resources

LIN Xiaoyong, WANG Gang, LIU Xiaoli, GAO Zhaohui

The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang 050081, China

Abstract: To achieve the integration of space to ground observation resources for emergency situations, and to quickly mobilize various space to ground observation resources to implement emergency observation tasks in a timely and efficient manner within a specified time, a joint task planning algorithm architecture for emergency space resources is proposed. Aiming at the problems of resource conflicts, difficulty in resource coordination, and poor dynamic response capabilities in the implementation of existing aerospace emergency missions, a joint mission planning approach for space to earth observation is designed, which includes transparent resource sharing and one click rapid task planning. A flexible and scalable unified scheduling and control operation architecture is constructed to achieve resource monitoring, demand planning, constraint testing, and rapid response. After conducting exercises and experimental analysis, the algorithm has been deployed and iteratively optimized for business purposes, resulting in a task coverage rate of 95% and a response time of 15 minutes, effectively enhancing the emergency response capabilities of various aerospace earth observation resources.

Keywords: emergency task, requirement planning, constraint satisfaction, microservices+plugins

0 引言

航天对地观测系统是我国空间应急体系的重要组成部分, 是满足抢险救灾、国防安全、环境保护等应急信息保障需求的重要手段。针对航天应急观测任务中突发事件动

态性强、响应时效要求高的特点, 本文聚焦航天对地观测资源的快速调度与协同应用问题。通过系统分析当前航天应急响应体系中存在的资源壁垒、规划效率低、流程可视化不足等瓶颈, 提出了一种“三位一体”的应急观测解决方案: 一是建立跨机构的资源透明共享机制,

收稿日期: 2025-05-06; 修回日期: 2025-07-30

通信作者: 王港, cetc54_htwg@163.com

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.20B2064, No.U22B2011)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No. 20B2064, No.U22B2011)

破除数据孤岛；二是开发智能化一键任务规划系统，实现分钟级任务分配；三是构建全流程动态监控体系，确保任务执行可控。基于此实现的联合任务规划算法架构，可提升卫星响应时效和多星协同覆盖率，显著增强复杂应急场景下的天基信息支援能力。

1 相关工作

当前面向航天对地观测应急任务规划的研究大多专注于具体的应急任务规划算法方面，缺少对地观测全流程、体系化的解决方法。文献[1-3]局限于具体的任务规划算法，文献[4]研究了应急系统体系架构与模式等，但这些研究均没有考虑全流程、全类型、跨部门资源统一的调度控制。文献[5]研究了航天对地观测运行机制与快速响应系统，但其没有考虑测控与数传资源的应急规划决策，这就可能导致指令无法及时上注、数据无法及时下传。文献[6-7]研究了遥感卫星的应急与系统动态管控技术，提出了相关的流程和算法，但缺少对各类航天对地观测资源的统一规划调度。文献[9-10]提出了应急条件下以任务需求为主线，实现对卫星资源、测控资源及数传资源的统一规划与管理的思路，但其只关注资源的可视性，忽略了对资源可用状态的判断。

当前，运控系统初步实现了应急任务快速响应^[11]，现有系统运行控制模式如图 1 所示。

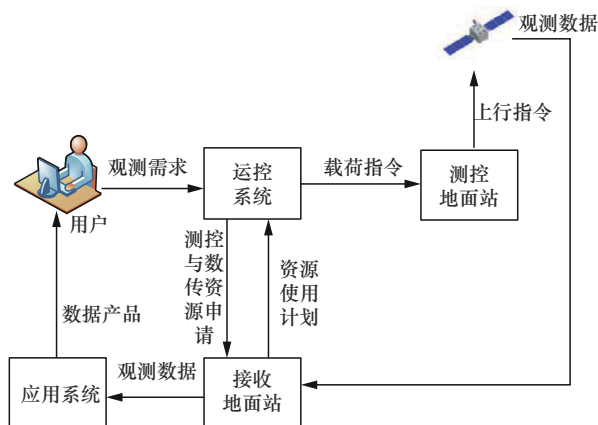


图 1 现有系统运行控制模式

现有系统在进行应急任务调整时，测控与数传资源需要预先申请协调，必要时需要人工参与并和管理方多轮沟通，不能集中自动化统一调度控制，时效性难以保证。当前系统没有引接各类资源计划与状态信息，不能全局掌握卫星以及接收资源状态，不能够有效监控应急任务的执行流程，无法实施快捷、精准、高效的应急调

度控制，应急任务实施效果较差^[12-13]。

在任务规划算法研究方面，文献[14]系统回顾了基于代理模型的昂贵多目标进化算法（surrogate-based multi-objective evolutionary algorithm for expensive multi-objective optimization, SM-EMOEAs）的多卫星成像任务规划（multi-satellite imaging mission planning, MSIMP）研究进展。首先分析了 MSIMP 的分类、应用领域和约束条件，然后探讨了传统优化算法在 MSIMP 中的应用局限性，重点阐述了 SM-EMOEAs 在降低计算成本、提高收敛速度方面的优势，最后展望了该领域未来发展趋势，为多卫星协同观测任务规划提供了重要参考。

Zhao 等^[15]提出两阶段神经组合优化算法，第一阶段用强化学习训练策略网络生成初始解，第二阶段通过局部搜索优化解的质量，解决敏捷卫星任务调度问题。

Wei 等^[16]提出深度强化学习框架，通过策略迁移机制优化多目标（如观测收益、能耗、时间冲突等）的敏捷卫星任务调度问题，显著提升求解效率。

Li 等^[17]提出改进 SPEA2 算法（MODMSA），通过多目标优化同时处理观测收益最大化与扰动最小化，解决动态环境下敏捷卫星任务重调度问题。

综上所述，当前卫星对地观测任务规划研究呈现三大趋势：一是代理模型与进化算法融合显著降低计算成本；二是强化学习与局部搜索组合提升动态环境适应性；三是多目标优化兼顾收益与稳定性。因此，需加强算法在超多目标、动态约束及多模态场景的泛化能力，构建敏捷、透明、一键式的任务规划体系。

2 算法架构设计与实现

2.1 任务规划运行控制模式设计

基于上述分析，立足应急航天对地观测信息保障高时效性需求，从根本上解决体系和系统隔离的问题，设计了体系融合、自动快速的航天资源联合任务规划算法，算法运行控制流程如图 2 所示，主要设计思路如下。

（1）资源透明共享与态势综合

运控系统、测控地面站、接收地面站、应用系统等各分系统滚动刷新上报资源占用情况和任务等级以及任务计划安排情况，综合展示全网航天对地观测资源态势。

（2）资源统一调度、自主决策、一键式任务规划

系统统一受理各类应急观测任务需求，进行任务顶层统筹规划、统一决策调度，基于全网资源综合态势进

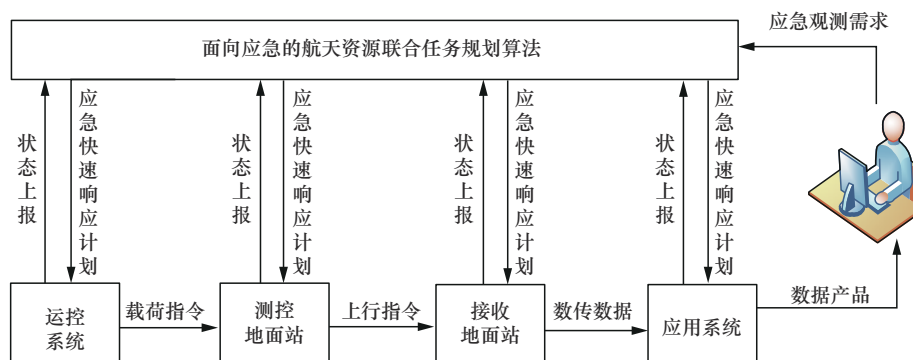


图2 算法运行控制流程

行自主分析决策, 不再进行资源预先申请协调, 一键式完成应急任务规划, 下达应急任务计划, 驱动应急任务全流程快速实施。

(3) 任务进程跟踪监视与异常检测

对应急任务全生命周期全流程进行闭环监控, 实时监测任务异常并报警。

该算法框架解决了“协调环节多、资源统筹难”的问题, 实现了各类航天对地观测资源应急由“多头协调、分段负责”向“集中筹划、联动实施”的转变, 大大提升了全链路应急观测执行时效性。

2.2 任务规划体系架构设计

为满足系统面向应急任务的敏捷使用要求, 充分集成原有卫星管控成果, 采用“平台+插件”技术体制^[18-21], 快速整合现有卫星的已有任务规划算法。同时面向未来发展趋势, 设计基于“微服务+插件”航天对地观测联合任务规划体系架构^[22]。通过微服务方式实现系统通用业务功能的封装与集成, 对原有各型号卫星的应急调整分析插件根据系统新要求要求进行改造集成, 新增卫星进行专用插件定制。

面向应急的航天资源联合任务规划算法体系架构如图3所示, 其包括以下几层。

展示层: 设计统一的集中显示操控平台, 具备实时监视应急任务流程的执行情况、资源状态监视与综合态势显示等能力, 并提供需求筹划与资源规划决策过程的人机交互能力。

应用层: 设计统一的系统流程控制平台, 在此基础上加载各种流程节点业务处理插件, 通过消息总线自动调度各节点的执行, 实现一键式响应流程。

服务层: 部署各种算法服务, 支撑系统高效计算与各环节快速响应, 同时集成各卫星应急调整可行性分析插件, 通过并行调度提供多星并行应急调整可行性分析

服务。

数据层: 提供各类数据存储管理服务, 为系统运行提供数据支持。这里将星地数据进行统一存储, 实现各型号卫星、各个地面站资源的双向透明, 确保任务规划与站网资源调度高效配合。

技术支撑层: 采用“平台+插件”的技术体制, 基础平台按照“统一标准、统筹共性”的原则, 提供平台内核管理、基础核心和显示支撑能力, 还负责为系统提供基础软件支撑环境。

2.3 航天资源统筹规划决策模型

采用基于规则的分层分级快速决策方法, 顶层集中进行多星统筹资源预分配, 底层进行测控资源规划与数传资源规划。

(1) 顶层集中进行多星统筹资源预分配

对于应急任务观测资源集合, 基于观测与数传时效性、测控时机分析、资源状态与约束条件, 将应急任务集合中的任务优化分配给各具有测控可行性的最优时效卫星, 为底层的观测和数传资源规划提供输入。在协同分配过程中, 任务分配以卫星资源的能力与任务匹配为前提, 以观测可行性与测控可行性为基础, 保证分配给每颗卫星的任务可执行。

(2) 底层进行测控资源规划与数传资源规划

以应急任务观测时间为基础, 依据资源可用状态与任务时效性最优原则进行资源筛选与优化分配。规划决策流程如图4所示。

2.4 应急任务的优化目标定义

2.4.1 应急任务执行全流程时序

对观测开始及结束时间、测控开始及结束时间、接收开始及结束时间、当前时间的变量说明见表1。

单个任务执行上注、观测、接收的时序如图5所示。

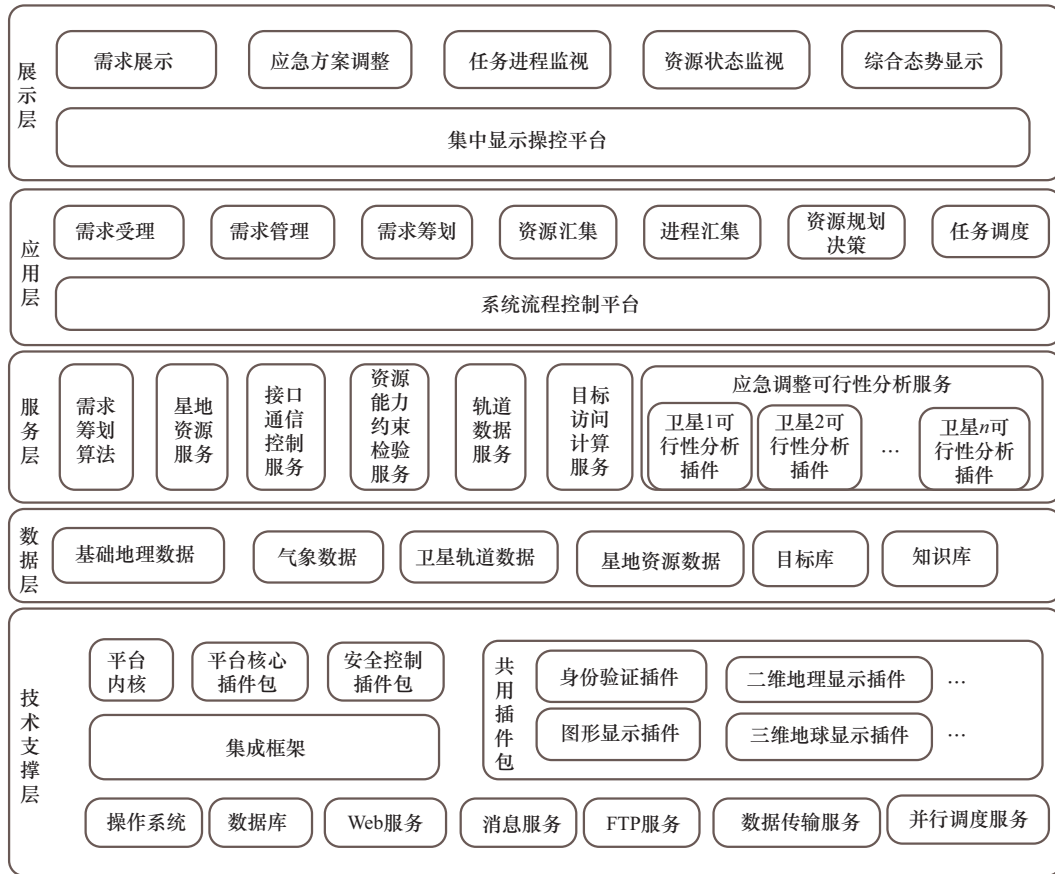


图3 面向应急的航天资源联合任务规划算法体系架构

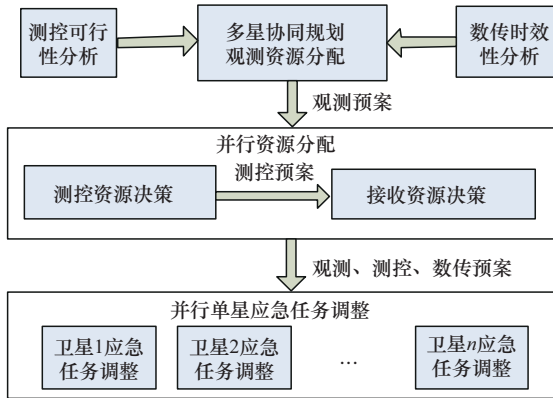


图4 规划决策流程

表1 变量说明

变量名称	变量描述
T_{zcs}	观测开始时间
T_{zce}	观测结束时间
T_{cks}	测控开始时间
T_{cke}	测控结束时间
T_{jss}	接收开始时间
T_{jse}	接收结束时间
T_0	当前时间

图5中出现的时序图符号定义和说明见表2。

2.4.2 观测任务可执行时间准则

应急任务距离当前时间特别近时，可以不考虑原有任务，只安排应急任务，这样指令包数较少，指令发送时间 ΔT_{fs} 和指令上注时间 ΔT_{sz} 均较短，此时定义指令发送时间和指令上注时间为 ΔT_{fsmin} 和 ΔT_{szmin} ；应急任务距离当前时间足够时，安排应急任务的前提下，尽量兼顾原有任务，这样指令包数较多，指令发送时间 ΔT_{fs} 和指令上注时间 ΔT_{sz} 均较长，此时定义指令发送时间和指令上注时间为 ΔT_{fsmax} 和 ΔT_{szmax} 。

判断观测任务理论上是否可执行时，需要判断观测任务距离当前时间是否满足观测任务能够执行的最少准备时间，即 $T_{zcs} - T_0 \geq \Delta T$ 是否成立。由于指令发送时间 ΔT_{fs} 和指令上注时间 ΔT_{sz} 均有最大最小值，因此 ΔT 也会有最大值 ΔT_{min} ，最小值 ΔT_{max} 。

$$\Delta T_{min} = \Delta T_{gh} + \Delta T_{bz} + \Delta T_{fsmin} + \Delta T_{zb} + \Delta T_{szmin} + \Delta T_{cl} \quad (1)$$

$$\Delta T_{max} = \Delta T_{gh} + \Delta T_{bz} + \Delta T_{fsmax} + \Delta T_{zb} + \Delta T_{szmax} + \Delta T_{cl} \quad (2)$$

当观测任务的开始时间与当前时间的间隔满足 $T_{zcs} - T_0 \geq \Delta T_{max}$ 时，在安排应急任务的前提下，尽量兼顾原有

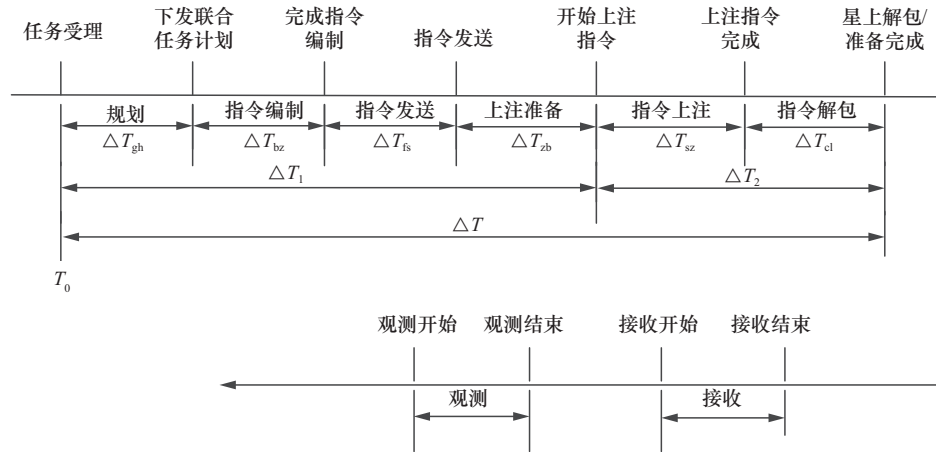


图5 任务执行时序

表2 时序图符号定义和说明

符号	名称	说明
ΔT_{gh}	应急规划时间	从收到任务到下达计划时间
ΔT_{bz}	编制指令时间	编制指令的耗时
ΔT_{fs}	指令发送时间	运控系统发送指令到测控地面站的耗时
ΔT_{zb}	测控准备时间约束	接收地面站接收到应急测控计划进行应急资源调度, 测控地面站进行测控准备, 到测控计划能够开始执行的时间
ΔT_{sz}	指令上注时间	测控设备向卫星上注指令全过程时间
ΔT_{cl}	星上指令上注提前时间	星上收到指令, 到指令包解包、姿态切换到位、开机准备完成, 可以执行观测的时间
ΔT	观测任务可执行的最少准备时间	$\Delta T_{gh} + \Delta T_{bz} + \Delta T_{fs} + \Delta T_{zb} + \Delta T_{sz} + \Delta T_{cl}$
ΔT_1	测控任务可执行的最少准备时间	$\Delta T_{gh} + \Delta T_{bz} + \Delta T_{fs} + \Delta T_{zb}$
ΔT_2	测控开始时间到观测任务执行的最小间隔时间	$\Delta T_{sz} + \Delta T_{cl}$
ΔT_{sz}	指令上注时间	测控设备向卫星上注指令全过程时间
ΔT_{cl}	星上指令上注提前时间	星上收到指令, 到指令包解包、姿态切换到位、开机准备完成, 可以执行观测的时间

任务; 当观测任务的开始时间与当前时间的间隔满足 $\Delta T_{\min} \leq T_{zcs} - T_0 < \Delta T_{\max}$ 时, 不考虑原有任务, 只安排应急任务; 当观测任务的开始时间与当前时间的间隔满足 $T_{zcs} - T_0 < \Delta T_{\min}$ 时, 无法安排该观测任务。

2.4.3 测控开始执行时间准则

选择测控时段时需要满足以下条件。

① 测控开始时间和当前时间间隔需满足测控执行的最少准备时间: $T_{cks} - T_0 > \Delta T_1$ 。

② 测控开始时间和观测开始时间的间隔需满足测控开始时间到观测任务执行的最小间隔时间: $T_{zcs} - T_{cks} > \Delta T_2$ 。

③ 同样由于指令发送时间 ΔT_{fs} 和指令上注时间 ΔT_{sz} 均有最大最小值, 实际使用时 ΔT_1 也会有最大值 $\Delta T_{1\max}$, 最小值 $\Delta T_{1\min}$, 因此 ΔT_2 也会有最大值 $\Delta T_{2\max}$, 最小值

$\Delta T_{2\min}$ 。

$$\Delta T_{1\min} = \Delta T_{gh} + \Delta T_{bz} + \Delta T_{fs\min} + \Delta T_{zb} \quad (3)$$

$$\Delta T_{1\max} = \Delta T_{gh} + \Delta T_{bz} + \Delta T_{fs\max} + \Delta T_{zb} \quad (4)$$

$$\Delta T_{2\min} = \Delta T_{sz\min} + \Delta T_{cl} \quad (5)$$

$$\Delta T_{2\max} = \Delta T_{sz\max} + \Delta T_{cl} \quad (6)$$

④ 当测控的开始时间与当前时间的间隔满足 $T_{cks} - T_0 \geq \Delta T_{1\max}$ 且 $T_{zcs} - T_{cks} > \Delta T_{2\max}$ 时, 在安排应急任务的前提下, 尽量兼顾原有任务。

⑤ 当测控的开始时间与当前时间的间隔满足 $\Delta T_{1\min} \leq T_{cks} - T_0 < \Delta T_{1\max}$ 且 $\Delta T_{1\min} \leq T_{zcs} - T_{cks} < \Delta T_{1\max}$ 时, 不考虑原有任务, 只安排应急任务。

⑥ 当测控的开始时间与当前时间的间隔满足 $T_{cks} - T_0 < \Delta T_{1\min}$ 且 $\Delta T_{1\min} \leq T_{zcs} - T_{cks} < \Delta T_{1\max}$ 时, 无法安排该观测任务。

2.5 基于约束满足的卫星资源关联匹配

通过航天资源统筹模型得到可用的卫星资源,接下来需要从这些可用资源中找到符合任务需求的卫星资源,即对需求和卫星资源进行智能化匹配^[23-24]。卫星资源匹配问题实际上是一个约束满足问题 (constraint satisfaction problem, CSP), 搜索匹配资源的过程就是进行约束检查, 找到满足所有约束条件可行解的过程。

CSP是人工智能研究领域中的一个重要问题, 在资源规划调度问题中有着广泛应用。CSP包含一组变量和一组约束, 可抽象为 $CSP = \{V, C\}$, 其中 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$ 表示变量集合, $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 表示约束集合, 解决 CSP 就是找到所有变量的一个或多个赋值, 使其满足所有约束条件。

基于 CSP 的分析求解流程为: 首先针对卫星资源, 界定卫星资源变量的构成; 其次整理子需求中对卫星资源的一系列约束条件; 最后对需求和卫星资源进行关联匹配^[25]。

(1) 卫星资源变量集合

在卫星资源关联匹配问题中, 用户需求是一定的, 而卫星资源是可选的, 即针对一个特定的用户需求, 可以选择完成任务所需的卫星平台和传感器, 因此将卫星资源变量看作 CSP 中的变量集合。

卫星资源变量由两部分组成: 卫星, 选定的卫星平台; 传感器, 选定卫星平台中的传感器。

因此, 卫星资源变量是一个二维变量, 即 $V = \{\text{Sat}, \text{Sensor}\}$, 其中 Sat 表示卫星, 取值范围限定在候选卫星集合内, Sensor 表示传感器, 取值范围限定在指定卫星 Sat 所搭载的传感器集合内。

以上描述明确了卫星资源关联匹配问题中变量有哪些, 而对变量的具体描述参照卫星资源描述模型。

(2) 卫星资源约束集合

卫星资源约束可以看作由子需求中提取出的对卫星资源在某些参数指标上的要求。根据子需求的组成要素, 将子需求中对传感器的要求一一映射为约束条件, 构成卫星资源约束集合。卫星资源约束包括: 传感器类型约束, 即对传感器类型的要求, 包括可见光、红外、合成孔径雷达 (synthetic aperture radar, SAR)、天线传感器; 空域约束, 即对传感器空间分辨率的要求; 频谱约束, 即对传感器工作谱段的要求。

(3) 需求—卫星资源关联匹配

需求—卫星资源关联匹配需要在传感器类型约束、

空域约束、频谱约束上对卫星资源变量解空间进行搜索, 具体内容见表 3。

表 3 需求—卫星资源关联匹配内容

卫星资源约束	卫星资源
传感器类型约束	卫星搭载传感器集合 $O_s = \{S_p, S_r, S_s, S_a, \dots\}$
空域约束	传感器空间分辨率
频谱约束	传感器工作谱段

所有卫星候选资源构成卫星资源空间, 由于目前卫星群数量规模有限, 同时在卫星资源动态预处理中已对卫星资源空间进行了压缩, 因此卫星资源空间是一个小规模搜索空间。

采取分层次的搜索方式逐步对变量空间进行搜索的过程如下。

1 轮筛选: 基于传感器类型约束进行卫星资源筛选。

2 轮筛选: 基于空域约束进行卫星资源筛选。

3 轮筛选: 基于频谱约束进行卫星资源筛选。

在基于约束条件对变量空间进行搜索的同时, 构造一个动态的解空间, 可以向解空间中加入新的解或移出在解空间中已存在的解。

针对需求—卫星资源关联匹配问题, 提出分层次卫星资源匹配算法, 算法流程如图 6 所示, 算法描述如下。

算法 1: 分层次卫星资源匹配算法

输入: 子需求, 候选卫星资源。

输出: 卫星资源匹配方案。

步骤 1: 输入候选卫星资源, 初始化解空间为 $\emptyset$ 。

步骤 2: 依据传感器类型约束对候选卫星进行 1 轮筛选, 若卫星搭载了约束中要求类型的传感器, 则将该卫星加入解空间, 否则不加入。

步骤 3: 依据空域约束对解空间中的卫星搭载的传感器进行 2 轮筛选, 若卫星搭载的传感器满足空域约束要求, 则将该卫星保留在解空间中, 否则将该卫星从解空间中移出。

步骤 4: 依据频谱约束对解空间中的卫星搭载的传感器进行 3 轮筛选, 若卫星搭载的传感器满足频谱约束要求, 则将该卫星保留在解空间中, 否则将该卫星从解空间中移出。

步骤 5: 输出解空间, 得到可以满足需求、完成任务的卫星资源。

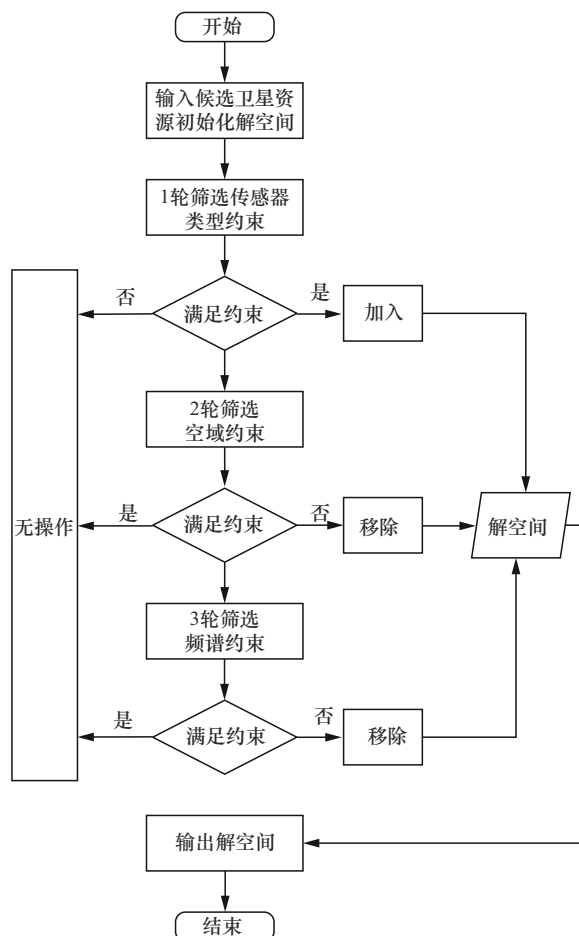


图6 分层次卫星资源匹配算法流程

3 算法效能评估与实验分析

针对本文所设计的应急算法框架开展实验分析。利用2024年1—6月的应急事件响应需求（演习）准备需求数据。对比的系统方法主要包括某应急任务规划系统算法^[10]、某星地资源联合管控系统算法^[21]、某分段分策略任务管控系统算法^[25]。

评价指标主要包括任务覆盖率和任务响应时效性。

任务覆盖率=规划任务数/总任务数；

任务响应时效性=Σ(规划方案生成时间-各需求提出时间)/总需求数。

结合某应急管控应急演练现场数据，开展多个算法效能的对比分析，具体见表4，可以看到本文系统算法在多星任务规划应急场景下的任务覆盖率较其他算法更高，且任务响应时间降低至15 min左右。

通过上述演练和实验分析可知，面向应急的航天资源联合任务规划算法架构构建后，航天应急效能提升体

表4 算法效能对比分析

系统/算法	任务覆盖率	任务响应时间/min
某应急任务规划系统算法	85%	33.23
某星地资源联合管控系统算法	90%	25.15
某分段分策略任务管控系统算法	80%	35.65
本文系统算法	95%	15.11

现在以下3个方面。

(1) 提升航天资源应急观测能力。改善了航天应急任务测控、运控分段规划、接收资源分头协调的局面，建立了从需求分析、需求筹划、任务规划到接收资源协调与调度等环节的一体化、自动化体系，减少了人工协调与交互环节，显著提升了航天对地观测应急能力。

(2) 围绕航天对地观测应急任务，打破原有各个独立的卫星系统的边界，将各卫星、地面站等资源的状态、进程等多源信息透明化、集中式呈现，形成了任务与资源整体态势，可有力支撑航天应急任务资源整合。

(3) 增强航天应急响应时效性。通过智能算法实现任务优先级动态评估与资源自动匹配，将传统多层级审批流程优化为实时决策机制，缩短了应急任务从接收到执行的周期，显著提升突发事件的太空响应速度。

4 结束语

航天应急资源联合任务规划算法架构解决了资源不透明、流程环节多等问题，实现了对多颗对地观测卫星的协同任务调度以及突发事件的快速响应，任务覆盖率和响应时效性均显著提升，增强了全系统在时效性需求下的多星联动观测能力。然而，该架构在自动化决策水平、智能算法应用及人机交互友好度等方面仍需进一步改进。后续研究将聚焦于应急联合规划技术的深度优化，通过强化动态任务分配算法和智能决策模型，推动响应效率的持续升级，最终建立支持异构卫星常态化协同作业的一体化规划体系。

参考文献

- [1] 王建江, 朱晓敏, 吴朝波, 等. 面向应急条件的多星动态调度方法[J]. 航空学报, 2013, 34(5): 1151-1164.
WANG J J, ZHU X M, WU C B, et al. Multi-satellite dynamic scheduling method for emergencies[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2013, 34(5): 1151-1164.
- [2] 郭超, 熊伟, 刘呈祥. 基于优先级与时间裕度的卫星应急观测任务规划[J]. 电讯技术, 2016, 56(7): 744-749.
GUO C, XIONG W, LIU C X. Mission planning of satellite emer-

- gency observations based on priority and time margin degree[J]. Telecommunication Engineering, 2016, 56(7): 744-749.
- [3] 贺川, 邱涤珊, 朱晓敏, 等. 基于滚动优化策略的成像侦察卫星应急调度方法[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(10): 2685-2694.
HE C, QIU D S, ZHU X M, et al. Emergency scheduling method for imaging reconnaissance satellites based on rolling horizon optimization strategy[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2013, 33(10): 2685-2694.
- [4] 柴英特, 王港, 张超, 等. 巨型感知星座星地一体智能化资源管控体系架构[J]. 天地一体化信息网络, 2022, 3(3): 13-22.
CHAI Y T, WANG G, ZHANG C, et al. Satellite-earth integration intelligent resource management and control architecture of giant sensing constellation[J]. Space-Integrated-Ground Information Networks, 2022, 3(3): 13-22.
- [5] 陈金勇. 航天对地观测运行机制与快速响应系统研究[J]. 无线电工程, 2017, 47(2): 1-6.
CHEN J Y. Research on operating mechanism and fast response system of space earth observation system[J]. Radio Engineering, 2017, 47(2): 1-6.
- [6] 刘晓丽, 杨斌, 高朝晖, 等. 遥感卫星滚动式动态任务规划技术[J]. 无线电工程, 2017, 47(9): 68-72.
LIU X L, YANG B, GAO Z H, et al. Rolling dynamic task planning technology for remote-sensing satellites[J]. Radio Engineering, 2017, 47(9): 68-72.
- [7] 刘晓丽, 白晶, 高朝晖. 基于 HTN 与 MAS 的遥感卫星应急响应决策技术[C]//第十六届全国遥感遥测遥控学术年会, 2018.
LIU X L, BAI J, GAO Z H. Hierarchical task network (HTN) and multi-agent system (MAS) based emergency response decision technology for remote sensing satellites core technologies[C]//The 16th National Academic Conference on Remote Sensing, Telemetry and Telecontrol, 2018.
- [8] 王鹏, 刘晓东, 郭建恩, 等. 面向突发事件的遥感卫星动态管控模式[J]. 无线电工程, 2015, 45(11): 60-63.
WANG P, LIU X D, GUO J E, et al. Dynamic control mode of remote sensing satellites for emergencies[J]. Radio Engineering, 2015, 45(11): 60-63.
- [9] 杨正磊, 张海威, 王瑞花, 等. 应急条件下星地资源综合运用模式研究[J]. 航天器工程, 2017, 26(1): 6-11.
YANG Z L, ZHANG H W, WANG R H, et al. Research on integrated handling mode of satellite and station resources under emergency conditions[J]. Spacecraft Engineering, 2017, 26(1): 6-11.
- [10] 杨正磊, 钟文冬, 席涛, 等. 面向应急需求的成像卫星单任务综合规划[J]. 系统工程与电子技术, 2018, 40(9): 2000-2006.
YANG Z L, ZHONG W D, XI T, et al. Imaging reconnaissance satellites single mission integrated scheduling for emergency requirements[J]. Systems Engineering and Electronics, 2018, 40(9): 2000-2006.
- [11] 张超. 星地一体智能任务规划与管控技术研究[D]. 北京: 中国电子科技集团公司电子科学研究院, 2023.
ZHANG C. Research on intelligent task planning and control technology for satellite earth integration[D]. Beijing: China Academy of Electronics and Information Technology, 2023.
- [12] 张学庆, 马万权, 高朝晖, 等. 卫星管理控制体系结构研究[J]. 无线电工程, 2006, 36(5): 36-38.
ZHANG X Q, MA W Q, GAO Z H, et al. Research on resource satellite mission control system architecture[J]. Radio Engineering of China, 2006, 36(5): 36-38.
- [13] 刘洪刚. 基于 SOA 的卫星地面管控系统设计[J]. 计算机与网络, 2014, 40(13): 49-51.
LIU H G. Design on satellite ground control system based on SOA[J]. Computer & Network, 2014, 40(13): 49-51.
- [14] YANG X Y, HU M, HUANG G, et al. A review of multi-satellite imaging mission planning based on surrogate model expensive multi-objective evolutionary algorithms: the latest developments and future trends[J]. Aerospace, 2024, 11(10): 793.
- [15] ZHAO X X, WANG Z K, ZHENG G T. Two-phase neural combinatorial optimization with reinforcement learning for agile satellite scheduling[J]. Journal of Aerospace Information Systems, 2020, 17(7): 346-357.
- [16] WEI L N, CHEN Y N, CHEN M, et al. Deep reinforcement learning and parameter transfer based approach for the multi-objective agile earth observation satellite scheduling problem[J]. Applied Soft Computing, 2021, 110: 107607.
- [17] LI H, LI Y J, LIU Y H, et al. A multi-objective dynamic mission-scheduling algorithm considering perturbations for earth observation satellites[J]. Aerospace, 2024, 11(8): 643.
- [18] 王士成. 卫星运行控制系统混合模式架构研究[J]. 无线电工程, 2013, 43(3): 1-23.
WANG S C. Research on hybrid architecture of satellite planning and controlling system[J]. Radio Engineering, 2013, 43(3): 1-23.
- [19] 高朝晖, 张琦, 陈金勇, 等. 支持插件扩展的卫星任务管控平台研究[J]. 无线电工程, 2015, 45(3): 41-44.
GAO Z H, ZHANG Q, CHEN J Y, et al. Supporting plugin-based extension for satellite mission control platform[J]. Radio Engineering, 2015, 45(3): 41-44.
- [20] 刘洪霞. 平台+插件技术在有效载荷监视系统中的应用研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2007.
LIU H X. Research on the application of platform + plugin technol-

ogy in the effective load monitoring system[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2017.

- [21] 孔庆玲, 韩续, 张莹, 等. 基于插件的星地资源管理系统的设计与实现[J]. 无线电工程, 2017, 47(11): 27-30.
KONG Q L, HAN X, ZHANG Y, et al. Design and implementation of satellite-station resource management system based on plug-in [J]. Radio Engineering, 2017, 47(11): 27-30.
- [22] 陈浩, 景宁, 李军, 等. 基于外包合同网的自治电磁探测卫星群任务规划[J]. 宇航学报, 2009, 30(6): 2285-2291.
CHEN H, JING N, LI J, et al. An approach for autonomous electromagnetic detection satellite constellation scheduling based on outsourcing contract net[J]. Journal of Astronautics, 2009, 30(6): 2285-2291.
- [23] 张永强, 徐锡杰, 阎梅芝, 等. 观测卫星集群协同模式与任务规划研究[J]. 上海航天(中英文), 2024, 41 (6): 106-115.
ZHANG Y Q, XU X J, YAN M Z, et al. Study on cooperative model and mission planning of observation satellite cluster[J]. Aerospace Shanghai, 2024, 41(6): 106-115.
- [24] 韩湘, 董涛, 殷杰, 等. 星地融合网络管控架构设计[J]. 天地一体化信息网络, 2024, 5(2): 23-33.
HAN X, DONG T, YIN J, et al. Design of management architecture for satellite-terrestrial integrated networks[J]. Space-Integrated-Ground Information Networks, 2024, 5(2): 23-33.
- [25] 岳群彬, 尚希杰, 林晓勇, 等. 分段分策略调度的遥感卫星任务规划架构[J]. 天地一体化信息网络, 2024, 5(2): 63-69.
YUE Q B, SHANG X J, LIN X Y, et al. Task scheduling framework of multi-stage and multi-strategy for remote sensing satellites [J]. Space-Integrated-Ground Information Networks, 2024, 5(2): 63-69.

[作者简介]



林晓勇 (1985-), 男, 中国电子科技集团公司第五十四研究所高级工程师, 主要研究方向为系统总体设计、云+网+端体系架构设计、管控业务中台设计等。



王港 (1990-), 男, 中国电子科技集团公司第五十四研究所高级工程师, 主要研究方向为遥感智能处理、卫星任务规划、航天地面系统等。



刘晓丽 (1976-), 女, 中国电子科技集团公司第五十四研究所教授级高级工程师, 主要研究方向为卫星任务规划。



高朝晖 (1972-), 男, 中国电子科技集团公司第五十四研究所副总工程师, 教授级高级工程师, 主要研究方向为航天测控及应用领域系统总体设计、工程研发与项目管理。