

基于多模态观测需求信息的遥感星群任务智能规划机制

朱光熙¹, 王 港¹, 张 超^{1,2}, 柴英特¹, 付 伟^{1,2}, 郭争强¹

(1. 中国电子科技集团有限公司航天信息应用技术重点实验室, 河北 石家庄 050081;

2. 中国电子科技集团有限公司第五十四研究所, 河北 石家庄 050081)

摘 要: 结合星群观测任务快速智能规划需求和智能快速任务规划相关研究现状, 基于应急抢险提交上报过程中常见的语音、文本等多模态观测需求的特点, 设计基于多模态观测需求信息的星群观测任务快速智能规划机制。重点解决多模态需求信息的智能解译识别、区域观测任务全要素筹划和复杂应急任务动态高效规划3个面向未来应急抢险应用需求的关键问题, 充分利用深度学习的方法, 打通观测需求、资源筹划和任务规划3个主体间的自动化流程, 实现应急观测需求智能解译、资源智能决策、方案智能生成。最终实现快速协调调动航天观测资源, 并在指定时间内执行应急观测任务, 充分发挥天基信息资源综合效能的目标, 为联合应急抢险任务行动部署提供观测信息支撑。

关键词: 智能快速响应; 需求识别与理解; 资源筹划; 任务规划

中图分类号: V19

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2022028

Intelligent Planning Framework for Star-Walk Mission Based on Multimodal Observation Requirements Information

ZHU Guangxi¹, WANG Gang¹, ZHANG Chao^{1,2}, CHAI Yingte¹, FU Wei^{1,2}, GUO Zhengqiang¹

1. CETC Key Laboratory of Aerospace Information Applications, Shijiazhuang 050081, China

2. The 54th Research Institution of CETC, Shijiazhuang 050081, China

Abstract: Combined with the current requirement and research for rapid intelligent planning of star-walk observation mission, and a framework based on multimodal observation requirements such as voice and text was designed. The framework aimed to satisfied the requirements and focused on breaking through three key issues for future emergency rescue applications: multimodal requirement interpretation, full-elements resource coordination and complex emergency missions planning, and to open the automatic link between observation requirement, resource planning and mission planning by making full use of deep learning methods. On these bases, the framework had the ability to provided rapid remote sensing observation information with a specified time and made full play to the comprehensive effectiveness of remote sensing information resources.

Keywords: intelligent and rapid response, requirements interpretation, resource coordination, mission planning

0 引言

随着遥感卫星数量的增多, 观测能力的提升和用户观测需求的提高, 遥感对地观测在暴雨、地震、火山爆发和森林火灾等自然灾害的灾前预防和灾后救援等事件中扮演着越来越重要的角色^[1-3]。以遥感大数据为支

撑的应急抢险领域面临着新的技术革命, 在信息保障能力上提出了“快速、准确、全面、智能”的更高要求。在“观测需求—资源筹划—任务规划”的观测任务流程下, 由用户向运控系统提出任务观测需求, 运控系统根据用户提出的需求向测控网络提出测控申请, 最终测控

收稿日期: 2022-02-07; **修回日期:** 2022-06-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. U20B2064); 装备发展部资助项目 (No. FFX21629T016)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China(No.U20B2064), Equipment Development Department Foundation(No.FFX21629T016)

网络根据计算得到的任务工作计划才能进行测控。当前任务规划“先申请,后响应”的运用模式,在一定程度上延长了应急条件下的观测任务系统响应时间,已不再适用于快速应急任务。基于此现状,本文旨在针对观测需求、资源筹划和任务规划3个主体间的自动化流程,构建基于多模态观测需求信息的遥感星群任务智能规划机制,及时、快速地响应体系内各层级的应急灾害观测需求。当前上述3个主体间的自动化流程的主要研究进展如下。

领域专家解译向多元化、标准化的观测需求智能分析发展。对地观测需求具有多模态异构组织形式、空域时域频域覆盖宽广、信息冗余重叠等特点,传统需求分析通常依靠具有相关领域知识的专家进行解译。面对复杂环境观测条件时,往往不可避免地引入主观因素,进而出现判断偏差或失误,难以持续保障决策方案的准确性与统一性^[4]。因此,当前国内外围绕多元化、标准化的需求全流程智能分析的研究尚少,主要围绕信息关联和信息决策两个主题展开研究。在信息关联方面,采用聚类或语义分析,挖掘观测任务的地理属性和卫星资源间的关系,获得规范化的需求信息^[5-8]。在信息决策方面,基于大量的观测需求要素样本的强化学习技术,可实现需求信息的智能决策与快速补全^[9]。基于上述研究技术发展,本文设计了“需求提出—要素关联—需求融合—标准构建”的需求分析流程,通过对任务需求关联融合和智能分析,将观测需求信息智能解译并自动补全。

全局资源检索向分级分层快速检索发展。卫星任务筹划的目的是通过计算有效卫星观测条带,筛选出有执行观测任务能力的卫星资源。针对卫星轨道特点及卫星传感器能力,国内外学者为提高筹划效率提出了众多卫星筹划方法,如卫星覆盖计算、区域分解、访问分析^[10]等,明确了卫星筹划需要满足的最大覆盖面积、最小完工时间和最小覆盖成本3个基本约束条件^[11],构建全部卫星资源观测方案条带。当前,基于全部资源池的筹划计算方式已不适用于面向未来数量的卫星筹划,因此本文基于预加载理念^[12],借鉴知识图谱检索的网格金字塔构建方法,设计了大网格更新小网格插值、小网格更新大网格拟合、分层更新临近层插值拟合等多种策略^[13],将可见条带数据分级分层保存在数据库中备查,从而减少了全流程的计算时间,实现观测资源快速、高效筹划。

全局任务规划向实时任务动态插入重调度发展。对地观测卫星任务规划本质上是一个多目标在有限资源、时间、空间条件下的组合优化问题^[10]。针对不同对地观测卫星的种类、任务类型,需要建立不同的任务规划模型及相应的求解算法。从任务规划算法上看,目前国内外研究中最常用的是以蚁群优化、遗传、模拟退火等算

法为代表的亚启发式算法。该算法优化能力与求解速度均衡,实现了遥感卫星、测控及数据传输规划结果的快速解决方案^[14];但也存在对突发应急和多星观测任务规划能力有限^[15]的不足,涉及星载存储空间、星上资源消耗、侧摆角组合计算爆炸等缺点^[16-17]。从应急观测流程上看,其任务规划流程多是在牺牲常规任务完成度的情况下优先规划应急任务,对整体任务安排影响较大^[18]。因此本文在任务描述中以设计有向无环图(Directed Acyclic Graph, DAG)的方式,显式地表征任务间的关联关系,获得准确的、支持动态插入的星地元任务集。并将元任务集嵌入低维的特征向量,提取任务集特征,经过强化学习规划算法分析决策,最终给出综合规划方案。

综上所述,本文通过分析当前多源观测需求快速规划的实际应用需求,结合多源需求分析与任务管控系统的特点,梳理快速智能规划流程,构建基于多模态观测需求的快速任务规划机制,重点解决多模态需求信息的智能解译识别、区域观测任务全要素筹划和复杂应急任务动态高效规划3个关键问题,充分发挥天基信息资源的综合效能,为应急抢险任务快速行动提供观测信息。

1 遥感星群任务智能规划机制需求分析

1.1 多模态需求信息智能解译识别

应急灾害响应流程一般发起人为一线职能管理部门,通过逐级上报、逐层对形势研判后激活灾害应急响应及救援机制。随着互联网社交媒体的成熟和发展,应急灾害救援领域产生了新的响应和实施方式。当前抢险应急需求信息呈现出多样化、多模态、高时效、大数据量等特点。传统需求信息解译识别仍然面临多层级人工分析分解,存在因人员理解水平不足而产生的理解偏差、任务下达时间长等问题,给后续需求确定、协同规划及资源布局带来诸多困难。深度学习的优势是可以避免烦琐的特征选择过程,自动抽象特征,学习相应的参数,并捕获复杂特征^[19]。因此,为了快速、准确、智能理解和识别下达的应急任务需求,本文设计了多模态需求信息智能解译识别功能,重点理解视频、语音、文本信息等多模态应急观测需求,为快速、准确地明确应急观测需求提供稳定保障。

1.2 区域观测任务全要素筹划

当前我国构建了种类齐全、功能互补、尺度完整的卫星观测体系,空间、光谱、时间分辨率得到跨越式提升,已经具备全色、多光谱、高光谱、红外、SAR、视频和夜光多种观测能力^[20]。截至2021年10月,中国卫星资源中心承担我国29个陆地观测卫星的数据处理、存

档、分发、服务设施建设与运行管理等工作,原始数据存放量约34 PB,累计数据分发量5 400万余景^[21]。可用星地资源数量爆炸式增长将会导致进行观测目标可见性分析时计算量庞大、耗时长等问题。为了以智能化的方式解决此问题,需要形成该领域结构化知识^[22],因此快速智能规划机制中需要预先构建包括卫星观测能力、观测应用场景、用户需求要素和观测平台配置参数等观测全要素的知识图谱,为应急任务动态规划提供结构化信息查询服务。其次,由于知识图谱内的观测全要素内容和可见性分析结果对筹划时效性要求高,所以需要对观测全要素进行常态更新,实现任务筹划计算的分散与提前,从而克服筹划算法求解空间大、运算时间长、不易快速找到最优解等难题。

1.3 复杂应急任务动态高效规划

复杂应急任务发生时,遥感对地观测成为唯一及时可靠的观测工具^[23]。卫星敏捷机动性能的提高,给对地观测卫星带来了更高的访问能力和更长的目标访问窗口。因此,在资源与约束不变的前提下,卫星的资源增加以及有效载荷能力提高,带来了更多的用户需求和观测任务量^[24]。当前的对地观测具有信息有效获取率不高、资源整体利用率低、响应时间长等问题,已不适用于卫星技术发展新环境。本文通过研究复杂应急任务动态高效规划流程,生成复杂任务的结构化表示,充分显示其内部关联关系;然后对生成的任务集提取其内在特征进行感知,并基于任务感知进行任务规划,最大程度

发挥星地资源综合运用能力。

2 总体设计

2.1 遥感星群任务智能规划机制流程设计

在当前观测任务智能规划的研究现状与需求分析的背景下,本文梳理了基于多模态观测需求的应用流程。该快速智能规划流程中,多模态需求信息智能解译识别为任务受理阶段,明确观测目标;区域观测任务全要素筹划为资源整合阶段,明确观测目标的可用资源;复杂应急任务动态高效规划为任务安排阶段,明确观测目标的天基资源时间表。具体流程示意如图1所示。

主要步骤如下。

(1) 面对下达的多模态观测需求,需求信息智能解译识别通过数据的文本提取、关键要素抽取与事件检测、智能需求决策的方法,有效地获取各模态的文本信息,并提取多模态信息关键词,获得信息主题类别、事件类型以及相应事件元素关键词,进而生成满足智能筹划、规划系统可自动识别的标准化需求信息;然后与一线职能部门上报的观测需求一并提交至任务指挥中心,为后续多星协同任务筹划与调度提供可靠信息来源。

(2) 根据任务需求的紧急情况,一般任务指挥中心可参与需求的修正与手动提交,紧急任务系统自动将标准化需求作为输入参数,基于观测全要素知识图谱的资源筹划进行综合分析决策,依据有限资源制定局部最优的天基观测任务,最终给出明确的任务工作模式、载荷类型及工作模式、任务优先级等任务参数要求,产生卫

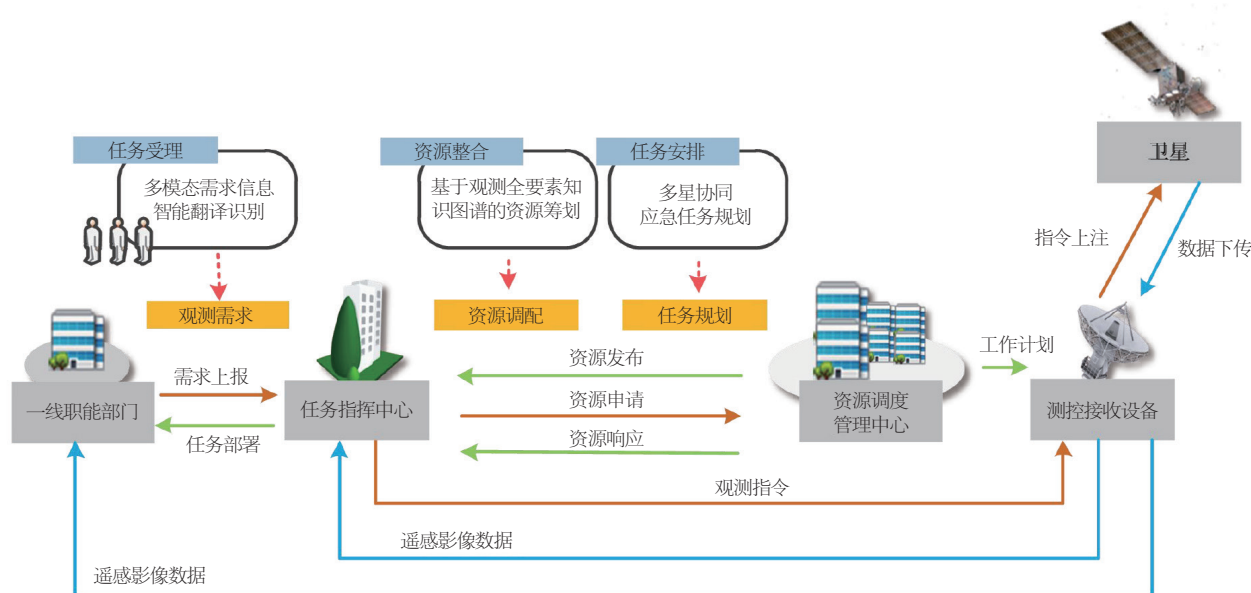


图1 遥感星群任务智能规划机制流程示意

星任务观测需求。

(3) 多星协同任务规划从任务快速响应和动态插入的角度出发,以资源筹划结果为业务输入,利用基于强化学习的任务动态规划思路,基于星地元任务实际数据进行样本制备和扩增,有效获取大量用于训练模型的样本数据。在任务描述中显式地表征任务间关联关系,获得准确的、支持动态插入的星地元任务集。将元任务集嵌入低维的特征向量,提取任务集特征,进行任务感知。并经过强化学习规划算法分析决策,给出包括观测、数据传输任务的执行时间、载荷类型、工作模式等信息的综合规划方案并提交给资源调度管理中心。

(4) 通过自动化/人工筛选的卫星任务规划结果,经测控接收设备上传至任务遥感卫星,遥感卫星执行观测任务,并通过地面站网将数据发送给一线职能部门和任务指挥中心等需求方。

2.2 遥感星群任务智能规划机制关键环节机制设计

2.2.1 多模态需求信息智能解译识别

信息智能解译识别是从数据源中识别并抽取结构化知识的过程,主要任务为实体识别和关系抽取。实体识别旨在识别出多模态需求信息中实体的命名性指称项,并标明其类别。关系抽取旨在根据给定的需求信息判断实体间的关系类别。传统基于规则的信息解译识别方法费时费力,容易出现冲突,而基于统计学的方法在数据稀疏的状态下效果不佳,对场景知识和决策规则知识抽取的相关研究比较匮乏。针对多模态需求信息智能化解译识别存在的上述问题,本文设计了多模态异构数据的文本提取、关键要素抽取与事件检测、智能需求决策的方法流程,可有效地获取各模态的文本信息,并提取多模态信息关键词,获得信息主题类别、事件类型以及相应事件元素关键词。依据有限资源制定局部最优的天基观测任务,为后续多星协同任务筹划与调度提供可靠信息来源。多模态需求信息智能解译识别关键环节流程设计如图2所示。

多模态需求信息智能解译识别详细路线如下。

(1) 多模态异构数据的文本提取

观测任务中,对同一个事件描述的观测需求场景可能同时会有不同来源的多种媒体数据。多模态数据的文本提取则通过视频、音频和图像等感知模态信息来解译

识别以获取其文本知识。多模态数据的文本提取包括视频、图像语义生成和语音识别。针对观测的任务指令视频和图像数据,解析视频的时间和空间特征,进而生成描述动态或静态画面的自然语言。本文针对音频专业名词识别率较低的难点,改进已有的深度学习模型,进一步提高语音识别准确率。

(2) 基于多模态信息的关键词提取

文本信息中含有大量人名、机构名和灾害救援信息以及时间、地点、事件名称等要素。神经网络使用多模态数据文本提取结果作为信息关键要素抽取输入,构建分析语义信息的模型。引入注意力机制对特征进行加权,输入已完成关键要素—关键词实体关系配对的注意力机制和双向语言模型的应急事件检测模块,从而确定信息主题类别以及所包含的事件关键词群,自动化地输出文本信息中的关键要素信息,免去人工从事烦琐复杂的工程,实现从应急信息中抽取事件类型以及相应事件元素。

(3) 基于深度强化学习的卫星智能需求决策

关键要素信息符合卫星智能任务需求决策要求后,输入智能需求决策强化学习模型,输出各种任务指标决策指令。强化学习的方法可直接根据多模态信息的关键词(卫星观测条件评估、星座观测条件评估、空间环境条件、观测目标状态及背景信息等),计算当前状态下执行动作后的累计回报来指导动作选择,从而实现对任务决策策略的学习,实现多模态信息的关键词综合决策分析,给出明确的任务工作模式、载荷类型及工作模式、任务优先级等任务参数要求,产生标准化观测任务需求清单。

2.2.2 区域观测任务全要素筹划

区域观测任务全要素筹划是以航天观测的任务标准化需求为输入数据,以对地筹划方案为输出的业务流程,如图3所示。该业务流程通过梳理、分析观测任务的全要素含义、内容及知识结构关系,确定观测全要素分级分类,并针对知识图谱构建、知识图谱查询、区域目标分解及多星协同筹划等业务流程,以任务区域观测的全要素解为研究对象,快速生成并求出大区域的对地观测备选条带最优解,同时对筹划结果进行评估并供任务规划参考。

区域观测任务全要素筹划详细路线如下。

(1) 观测任务全要素知识图谱构建

智能规划框架内掌握着观测所需要的所有星地资源



图2 多模态需求信息智能解译识别关键环节流程设计

状态以及各级产品信息。知识图谱的构建需要从大量、多源、复杂的观测任务数据源、星地资源数据源中挖掘出数据间隐含的关联性和事件之间的依赖关系或者关联程度的有效信息。通过在时间、空间等维度梳理卫星与可见性分析观测任务各要素的分级分类关联关系,统计卫星、任务及观测能力金字塔网格信息,分析其与数据传输资源的可见性,匹配相应的数据传输资源,完成观测任务到数据传输接收的闭环,实现任务、星地资源综合信息的多维关联。

(2) 任务区域目标网络快速目标访问分析

获取观测任务标准化需求主要包括观测的卫星需求、观测的时间段需求以及观测的目标需求。基于全球网格的可见性分析,根据卫星幅宽、对应比例尺网格大小、卫星轨道高度、最大侧摆角和最大俯仰角,计算卫星对地面的最大覆盖距离。结合基于大区域目标分解与多星协同动态筹划,分解不同比例尺下大区域对地观测任务需求,进行卫星访问计算,快速生成大区域的对地观测备选条带,求出最优航天观测的任务筹划方案,同时对筹划方案进行评估。

2.2.3 复杂应急任务动态高效规划

观测任务规划框架在满足多颗成像卫星资源约束及任务需求的条件下,为点目标和区域目标观测任务分配卫星资源和时间,在此基础上合成、优化观测任务,最

终确定满足最大化任务观测收益的观测方案。针对现有卫星管控业务系统中卫星任务规划结果星地资源利用率低,且无法应对高动态到达的应急任务的问题,本框架设计了复杂应急任务动态高效规划机制,如图4所示。从任务快速响应和动态插入规划角度出发,以资源筹划结果为业务输入,利用基于强化学习的任务动态规划思路,基于星地元任务实际数据进行样本制备和扩增,有效获取大量用于训练模型的样本数据。在任务描述中显式地表征任务间关联关系,获得准确的、支持动态插入的星地元任务集。将元任务集嵌入低维的特征向量,提取任务集特征,进行任务感知。并经过强化学习规划算法分析决策,给出包括观测、数据传输任务的执行时间、载荷类型、工作模式等信息的综合规划方案。

复杂应急任务动态高效规划机制详细路径如下。

(1) 星地多元任务样本制备

为使强化学习规划模型能够收敛,根据真实卫星成像元任务数据进行样本制备和扩增,用于规划模型训练。卫星成像元任务一般包括目标名称、目标位置、访问开始时间、访问结束时间、优先级、卫星代号、传感器要求、工作模式等内容。样本扩充算法主要包含生成器G和判别器D两个网络。生成器G网络的输入为随机噪声,输出为生成的目标信息一元任务属性样本对;判别器D网络的输入为真实样本信息或是由生成器G生成的样

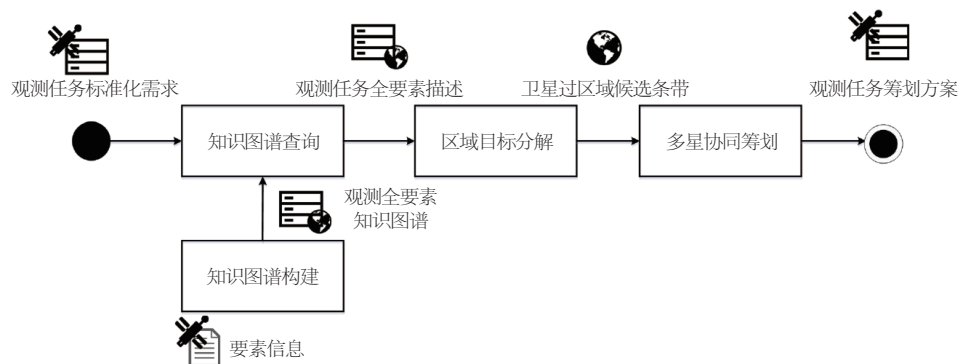


图3 区域观测任务全要素筹划关键环节流程设计

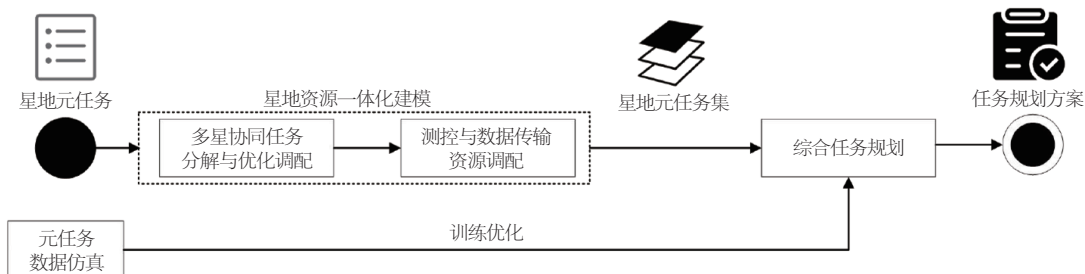


图4 复杂应急任务动态高效规划机制关键环节流程设计

本数据,输出为判断输入样本为专家样例而不是生成器G生成的样本的概率。利用真实数据生成和扩增样本,支撑模型的训练优化。

(2) 基于图结构的星地任务描述

为了解决在卫星观测任务描述过程中面临的多类型任务间任务约束复杂、互相影响、隐式关联,难以描述任务之间相互约束关系的难点,模型内构建卫星观测任务的DAG,将卫星数据传输任务整合进DAG,作为DAG节点,输出星地任务DAG集,实现星地元任务的时序建模和多类型任务间关联关系的显式表示。

(3) 基于图神经网络的星地任务感知

基于图结构的任务描述结果作为感知对象进行DAG嵌入,通过单节点—单DAG—DAG集3个层次的嵌入过程,感知后续任务对当前任务的影响、当前状态下任务间的影响以及不同任务集之间的影响,提取DAG集特征。

(4) 基于强化学习的星地任务规划

任务规划模型利用强化学习方法,提高对星地元任务规划的泛化能力,降低对标签数据的依赖性,自主学习星地元任务隐藏的启发式规则;赋予综合任务规划算法动态规划能力,每次给出新任务后,都将当前任务节点从星地任务DAG集中删除,更新星地任务DAG集,进行新一轮的规划。当应急任务到来时,只要将应急任务动态插入当前星地任务DAG集,更新DAG集即可在下一轮规划中加入应急任务的规划,实现规划系统对应急任务规划的支持,快速完成任务的规划,保证规划方案的可行性和总体效益。

3 结束语

随着天基信息获取的便捷性与使用的普遍性进一步提升,航天观测信息在应急任务建设中发挥着越来越重要的作用。本文综合了近年在用户需求智能化管理、卫星组网统筹规划、大规模求解理论领域的研究成果及面向未来观测任务逐渐向多部门协调联合实施的新发展趋势,设计多模态观测需求信息的遥感星群任务智能规划机制。该机制可快速协调,调动遥感观测资源在指定时间内执行应急观测的任务,实现“任务智能理解、反应快速敏捷、任务规划高质”的智能应急救援任务规划要求,为联合任务部署、减灾救灾和区域可持续发展等应用场景提供快速遥感观测的信息保障和创新驱动,提升航天资源应用的广度、深度、频度。

参考文献:

[1] XIANG M S, DENG Q C, DUAN L S, et al. Dynamic monitoring and analysis of the earthquake Worst-hit area based on remote sensing[J].

Alexandria Engineering Journal, 2022, 61(11): 8691-8702.

[2] SHAN Z R, AN Y H, XU L, et al. High-temperature disaster risk assessment for urban communities: a case study in Wuhan, China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 19(1): 183.

[3] NIU X N, TANG H, WU L X. Satellite scheduling of large areal tasks for rapid response to natural disaster using a multi-objective genetic algorithm[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2018, 28: 813-825.

[4] 许宇栋, 周敬博, 尹嘉昭, 等. 对地观测卫星任务规划策略及应用研究综述[J]. 无线电工程, 2021, 51(8): 681-690.

XU Y D, ZHOU J B, YIN J Z, et al. Review of mission planning strategies and applications of earth observation satellites[J]. Radio Engineering, 2021, 51(8): 681-690.

[5] 姜维, 郝会成, 李一军. 对地观测卫星任务规划问题研究述评[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(9): 1878-1885.

JIANG W, HAO H C, LI Y J. Review of task scheduling research for the Earth observing satellites[J]. Systems Engineering and Electronics, 2013, 35(9): 1878-1885.

[6] 陈勇. 对地观测用户需求智能融合处理技术[J]. 无线电工程, 2019, 49(7): 551-556.

CHEN Y. Intelligent merging processing technology for earth-observation user requirements[J]. Radio Engineering, 2019, 49(7): 551-556.

[7] 崔锦甜, 张新, 程博, 等. 基于对地观测需求分析的多星协同任务规划研究[J]. 传感技术学报, 2020, 33(3): 380-387.

CUI J T, ZHANG X, CHENG B, et al. A study of multi-satellite cooperative mission planning based on analysis of earth observation requirements[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2020, 33(3): 380-387.

[8] 马东锋. 一种卫星对地观测需求分析方法[J]. 航天器工程, 2021, 30(1): 38-43.

MA D F. A method of earth observation requirements analysis for satellite[J]. Spacecraft Engineering, 2021, 30(1): 38-43.

[9] 马悦, 吴琳, 许霄, 等. 智能化作战任务规划需求分析[J]. 指挥控制与仿真, 2021, 43(4): 61-67.

MA Y, WU L, XU X, et al. Requirement analysis of intelligent operation task planning[J]. Command Control & Simulation, 2021, 43(4): 61-67.

[10] 胡笑旋. 成像卫星任务规划理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2021.

HU X X. Theory and method of imaging satellite mission planning[M]. Beijing: Science Press, 2021.

[11] WANG X W, WU G H, XING L N, et al. Agile earth observation

- satellite scheduling over 20 years: formulations, methods, and future directions[J]. IEEE Systems Journal, 2021, 15(3): 3881-3892.
- [12] 宋世杰, 刘晓丽, 高朝晖, 等. 基于统计学习的卫星接收资源规划方法[J]. 无线电工程, 2021, 51(1): 32-37.
SONG S J, LIU X L, GAO Z H, et al. Satellite receiving resource pre-planning method based on statistical learning[J]. Radio Engineering, 2021, 51(1): 32-37.
- [13] 张玮, 王守斌, 程承旗, 等. 一种基于网格的卫星访问区域目标的时间窗口快速计算方法[J]. 地理信息世界, 2018, 25(6): 5-11.
ZHANG W, WANG S B, CHENG C Q, et al. An efficient method for time window of satellite access area target based on subdivision grids[J]. Geomatics World, 2018, 25(6): 5-11.
- [14] 王涛, 喻韬. 一种基于遗传模拟退火算法的通信卫星资源规划方法[J]. 无线电工程, 2021, 51(8): 767-772.
WANG T, YU T. A communication satellite resource planning method based on genetic simulated annealing algorithm[J]. Radio Engineering, 2021, 51(8): 767-772.
- [15] HUANG H, SUN C Y, HU J X, et al. Optimization design of response satellite deployment for regional target emergency observation[C]//Advances in Guidance, Navigation and Control. Singapore: Springer Singapore, 2022: 579-591.
- [16] 罗棕, 杜春, 陈浩, 等. 基于Transformer层次预测的多星应急观测任务规划方法[J]. 航空学报, 2021, 42(4): 464-475.
LUO Z, DU C, CHEN H, et al. Multi-satellite scheduling approach for emergency scenarios based on hierarchical forecasting with Transformer network[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2021, 42(4): 464-475.
- [17] 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.
- [18] 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. Research on rolling dynamic mission scheduling technique for remote sensing satellites[J]. Radio Engineering, 2017, 47(9): 68-72.
- [19] 刘颖, 王哲, 房杰, 等. 基于图文融合的多模态舆情分析[J]. 计算机科学与探索, 2022, 16(6): 1260-1278.
LIU Y, WANG Z, FANG J, et al. Multi-modal public opinion analysis based on image and text fusion[J]. Journal of Frontiers of Computer Science and Technology, 2022, 16(6): 1260-1278.
- [20] 王静巧, 易维, 陈卫荣. 我国陆地观测卫星综合运控浅析[J]. 卫星应用, 2019(5): 21-25.
WANG J Q, YI W, CHEN W R. Analysis on comprehensive operation and control of my country's land observation satellites[J]. Satellite Application, 2019(5): 21-25.
- [21] 梁思, 厉芳婷, 谢宝发, 等. 浅谈自然资源卫星应用技术现状与发展[J]. 地理空间信息, 2021, 19(9): 38-40.
LIANG S, LI F T, XIE B F, et al. Brief discussion on the present situation and development of natural resource satellite application technology[J]. Geospatial Information, 2021, 19(9): 38-40.
- [22] 王琦, 张蔚, 余晓刚, 等. 人工智能在遥感对地观测需求自主筹划中的应用[C]//第七届高分辨率对地观测学术年会. [出版地不详: 出版社不详], 2020: 33-48.
WANG Q, ZHANG W, YU X G, et al. The application of artificial intelligence in the independent planning of remote sensing earth observation needs[C]//The 7th High-resolution Earth Observation Academic Annual Conference. [S.l.:s.n.], 2020: 33-48.
- [23] ZHANG Z M, LIN M X, XING X F, et al. Dynamic mission planning technology of remote sensing satellite for disaster surveillance[Z]. 2010.
- [24] 邱虎, 刘明亮, 李紫未. 高分多模卫星启发式调度模型任务规划系统实现[J]. 航天器工程, 2021, 30(3): 206-211.
QIU H, LIU M L, LI Z W. Mission scheduling for GFDM-1 satellite based on agile earth observation heuristic optimization algorithm[J]. Spacecraft Engineering, 2021, 30(3): 206-211.

作者简介



朱光熙 (1994-), 男, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为卫星管控、遥感信息应用。

王港 (1990-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为多源遥感信息处理、目标伪装检测评估。

张超 (1986-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为航天任务管控技术。

柴英特 (1993-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为遥感卫星智能管控、遥感信息智能处理。

付伟 (1986-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为航天任务管控与规划技术。

郭争强 (1993-), 男, 助理工程师, 主要研究方向为遥感影像智能解译、卫星任务管控。