

三、任务分解方案

(一) 任务分解情况

围绕项目目标，根据需要可对项目目标进行任务分解，并简要说明各任务在项目中的具体作用，相互之间的逻辑关系，建议用图表描述。限 2000 字以内。

针对指南中“研究构建巨型互联网星座电磁频谱数字仿真环境，支持动态模拟星座跳波束下的频谱感知、干扰规避和按需通信”的研究内容，项目可分为如下 4 个任务：

(1) 巨型互联网星座电磁频谱环境建模与生成；(2) 基于跳波束通感一体的电磁频谱实时感知与动态推演；(3) 基于电磁地图辅助的干扰规避与资源管理；(4) 巨型互联网星座电磁频谱数字仿真系统研制。如图 2 所示，任务 1 搭建电磁频谱模型，输出全局电磁频谱地图为任务 2 提供数据支撑；任务 2 在任务 1 的基础上，通过频谱感知、重构与推演得到频谱干扰态势信息，为任务 3 提供环境输入；任务 3 依托于任务 2 重构与推演的电磁干扰态势信息，实现干扰规避和多域资源配置；任务 4 支持任务 1 的电磁频谱动态生成与呈现、任务 2 和任务 3 的通感一体策略内置与外部方法集成，实现策略可视化与结果效能评估的快速执行。

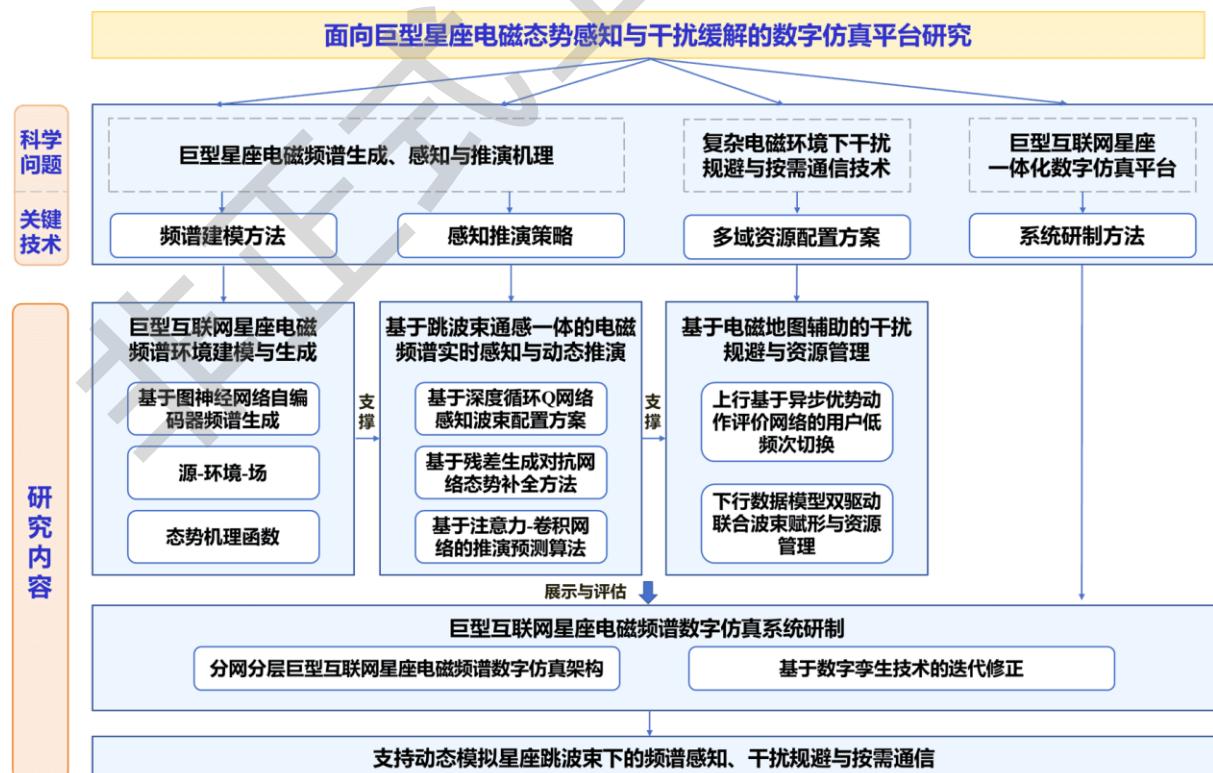
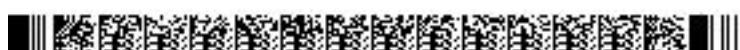


图 2 项目的任务分解

1.任务 1：巨型互联网星座电磁频谱环境建模与生成



- (1) 提出多域联合映射的电磁频谱态势建模方法，从辐射源信号属性与传播特性角度出发，围绕“源-环境-场”三要素挖掘典型场景下影响电磁频谱态势的关键参数；
- (2) 通过收集实际电磁数据，基于图神经网络去噪自编码器等算法，分析各参数之间的映射关系，给出系统、完备的复杂电磁环境频谱态势影响机理函数；
- (3) 构建灵活可配的电磁频谱数据生成与呈现体系，基于典型场景下内置或输入的电磁频谱模型，实现各类场景电磁频谱数据生成及态势地图呈现，为电磁频谱实时感知与动态推演提供支撑。

2.任务 2：基于跳波束通感一体的电磁频谱实时感知与动态推演

- (1) 针对巨星座跳波束通感一体系统，建立合理评价指标，构建分层分域的电磁频谱感知架构，利用深度循环 Q 网络等方法，探索通感平衡的电磁地图稀疏感知策略，确定多星通感波束资源最优分配方案；
- (2) 研究快速精准的电磁态势重构与推演方案，基于残差生成对抗网络、注意力机制与卷积神经网络，实现全局态势精准重构与快速推演，为干扰规避与按需通信提供输入。

3.任务 3：基于电磁地图辅助的干扰规避与资源管理

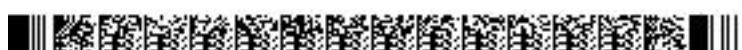
- (1) 面向拓扑快变的巨星座用户上行切换场景，探索低频次大容量的用户切换策略，引入异步优势行动者评论家架构求解切换策略，实现低切换频率、高通信质量的用户切换；
- (2) 面向复杂电磁环境卫星下行服务场景，探索高速率的联合波束赋形与功率控制方法，采用数据模型双驱动深度展开网络迭代优化多星协同波束赋形与发射功率结果，输出高传输速率的波束赋形与功率控制决策方案，实现干扰规避与按需通信。

4.任务 4：巨型互联网星座电磁频谱数字仿真系统研制

- (1) 提出分网分层的巨型互联网星座电磁频谱数字仿真架构，探索支持星座电磁频谱生成感知与推演、复杂电磁环境干扰规避与按需通信、结果快速展示与评估的平台搭建方法。
- (2) 基于数字孪生技术，建立与实物平台双向映射的巨型互联网星座电磁频谱数字仿真平台。

(二) 各任务内容

逐项分段说明各任务的研究目标、主要研究内容、拟解决的重大科学问题或关键技



术、考核指标及评测手段/方法等。每个任务限 1000 字以内。

1.任务 1：巨型互联网星座电磁频谱环境建模与生成

1.1 研究目标

本任务总体目标是构建高精度的巨型互联网星座电磁频谱模型，生成电磁态势地图，为频谱感知、干扰规避与按需通信提供环境输入，如图 3 所示。具体而言，研究多域联合映射的电磁频谱态势建模方法，支持各类场景电磁频谱环境构建；建立灵活可配的电磁频谱数据生成与呈现体系，实现高精度电磁频谱环境生成。

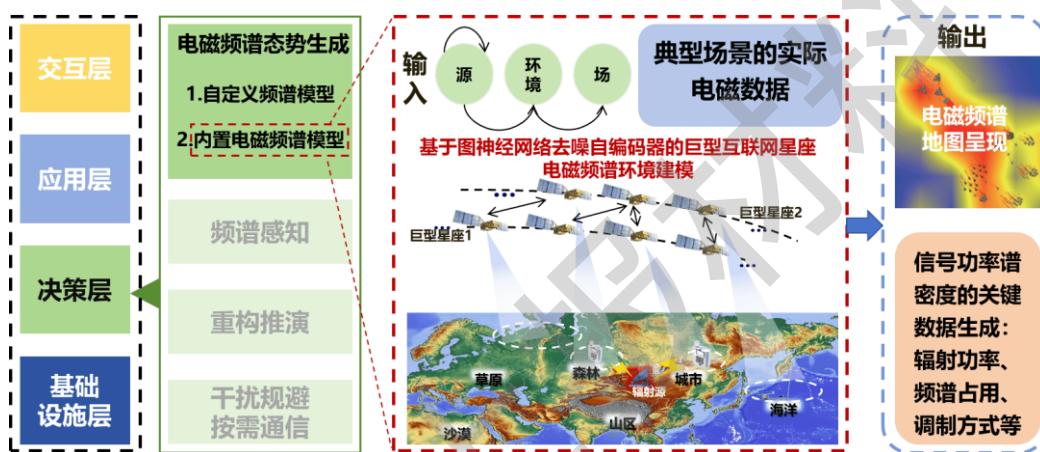


图 3 电磁频谱环境建模与生成架构图

1.2 主要研究内容

如图 4 所示，本任务分析影响电磁频谱环境的关键参数与其相互影响机理，形成灵活可配的电磁频谱模型与生成环境，综合输出电磁频谱态势地图，具体研究内容包括：

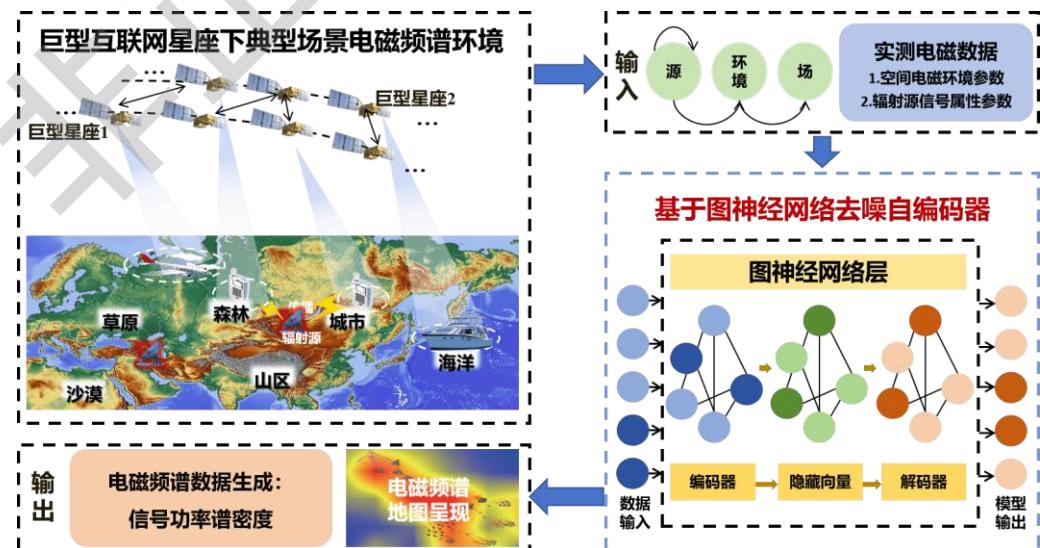
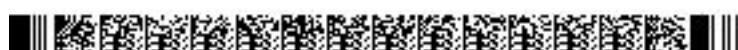


图 4 基于图神经网络去噪自编码器的电磁频谱模型构建

(1) 利用历史电磁频谱数据，获取频谱态势变化趋势和规律，围绕“源-环境-场”



三要素，关注辐射源、传播环境等方面，挖掘典型场景电磁频谱关键参数，将其分解到观测空间和参数空间。其中，观测空间涵盖城市、海洋等典型场景地理参数，以及频率、时间等非地理参数。参数空间包含信道传播特性和辐射源位置等空间电磁环境参数，以及功率谱密度、信号类型、天线方向等辐射源信号属性参数；

(2) 通过收集历史电磁数据，基于图神经网络去噪自编码器等算法，简化损失函数，发挥小样本精准训练优势，以数据为驱动，训练得到各参数之间的映射关系与相互影响机理，给出系统、完备的电磁模型函数；

(3) 基于典型场景下电磁频谱模型，构建灵活可配的电磁频谱数据生成与呈现体系，面向典型场景与自定义场景，通过内置或输入的电磁频谱模型，根据场景叠加情况、参数值输入情况，综合叠加形成复杂场景接收端接收信号功率谱密度，对空时频等多维度电磁态势地图进行绘制呈现。

1.3 拟解决的重大科学问题或关键技术问题

拟解决的科学问题：瞄准广域覆盖巨型星座，分析电磁频谱信号及传播特性，揭示电磁频谱在时间、空间等特征之间的关系。

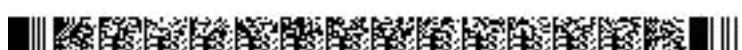
拟解决的关键技术问题：聚焦巨型互联网星座覆盖下的复杂电磁频谱环境，研究高精度的电磁频谱建模方法，挖掘典型地理场景电磁频谱态势的关键影响参数及其之间的映射关系，构建灵活可配的频谱数据生成与呈现体系，为电磁频谱实时感知与动态推演提供支撑。

1.4 考核指标及评测手段/方法

本任务研究的问题期望产物包括专利、论文等，整体的考核指标如表 5 所示。

表 5 巨型互联网星座电磁频谱环境建模与生成考核指标

指标名称	指标类型	考核指标		考核方式（方法）及评价手段
		中期指标值/状态	完成时指标值/状态	
巨型互联网星座电磁频谱环境建模与生成	新理论 新技术 新方法	基本完成设计方案	支持巨星座典型通信场景电磁频谱态势生成	仿真，实验
专利	专利	1 项	2 项	专利授权证书或受理通知书
论文	论文	1 篇	3 篇	论文录用通知书



1.5 参加单位任务分工

本任务的参与单位与任务分工情况如表 6 所示。

表 6 任务 1 参与单位与任务分工

参与单位	任务分工
北京邮电大学	研究多域联合映射的电磁频谱态势建模方法，建立灵活可配的电磁频谱数据生成与呈现体系
银河航天（西安）科技有限公司	提供电磁频谱实测数据，以支撑电磁频谱环境建模与生成

2.任务 2：基于跳波束通感一体的电磁频谱实时感知与动态推演

2.1 研究目标

本任务的总目标是设计感知精度与通信效率最优平衡的跳波束配置方案，实现全局态势动态稀疏感知与快速推演，支持数字仿真系统相关方法内置，如图 5 所示。具体而言，构建基于动态跳波束的通信感知一体化模型，提出感知精度与通信效率最优平衡的多星通感波束资源分配方法，实现全局电磁态势稀疏感知；研究快速精准的电磁态势重构与推演方法，为干扰规避与按需通信提供态势输入。

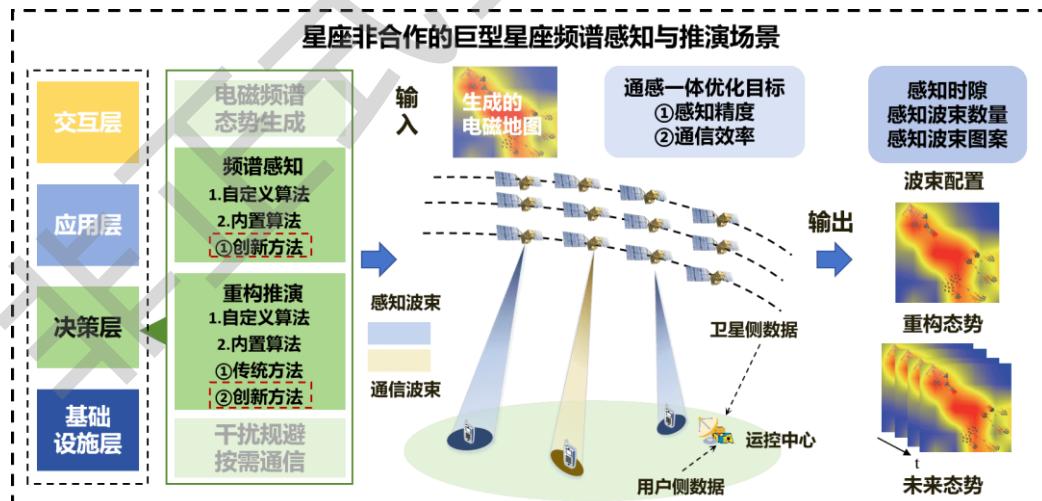
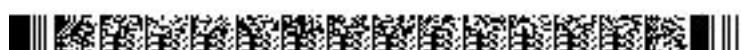


图 5 电磁频谱实时感知与动态推演架构图

2.2 主要研究内容

本任务从巨星座跳波束通信感知一体化方法入手，研究系统通感能性最优的波束配置方案与实时精准的电磁态势感知、重构和推演策略，支持数字仿真系统的频谱感知、重构与推演的内置方法设计。具体研究内容如下：



(1) 针对巨星座跳波束通感一体系统, 考虑感知均方误差、通信吞吐量等性能, 建立合理评价指标, 探索通感平衡的电磁地图稀疏感知策略, 构建分层分域的电磁频谱感知架构, 发挥高中低轨各层覆盖优势, 聚焦时空频等各域感知情况, 根据历史电磁态势信息, 通过约束频谱感知联合卫星数、时隙资源占比等条件, 以最大化通感一体性能为目标, 采用深度循环 Q 网络等方法确定多星波束资源最优分配方案, 输出感知时隙、感知波束、波束图案等结果, 如图 6 所示。

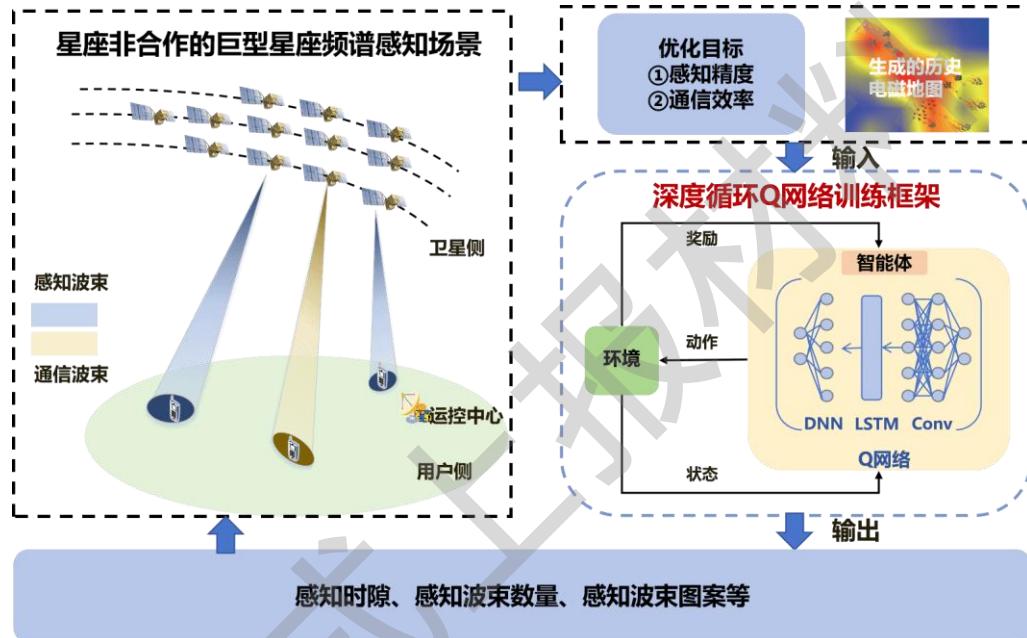


图 6 基于深度循环 Q 网络的电磁频谱实时感知

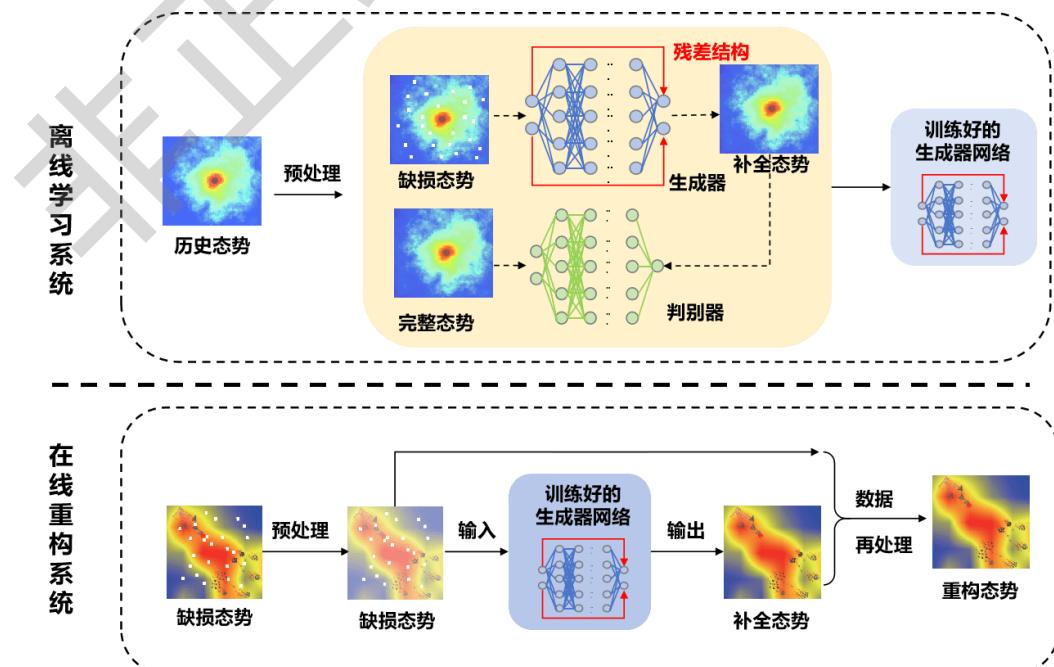
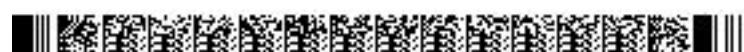


图 7 基于残差生成对抗网络的电磁频谱态势重构



(2) 基于用户侧与卫星侧感知的电磁信息, 突破快速精准的电磁态势重构与推演方案。如图 7 所示, 综合历史与当前态势, 采用基于残差的生成对抗网络, 提取电磁频谱关键特征, 提升算法执行速度, 在运控中心根据稀疏感知的频谱数据补全全局态势, 实现快速高精度电磁地图重构; 如图 8 所示, 利用注意力机制信息高效处理的优势, 把握推演关键信息, 结合卷积神经网络, 训练输出未来若干时间片的态势地图, 实现快速精准推演, 为干扰规避与按需通信提供态势输入。

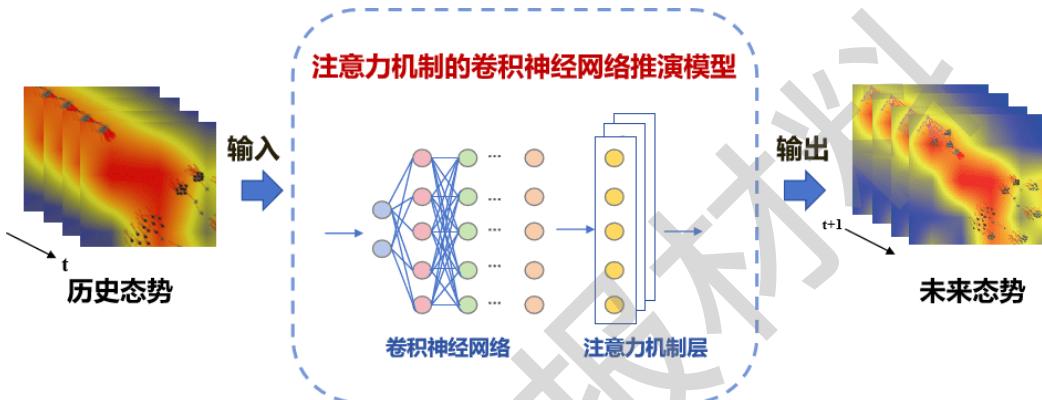


图 8 基于注意力机制的卷积神经网络电磁频谱态势推演

2.3 拟解决的重大科学问题或关键技术问题

拟解决的重大科学问题: 建立通感一体评价指标, 刻画波束配置机制与感知精度及通信效率之间的关系, 寻找电磁频谱稀疏感知与快速推演优化途径。

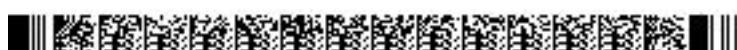
拟解决的关键技术问题: 基于动态跳波束的通信感知一体化体制, 建立通感一体评价指标, 利用历史电磁态势信息, 设计感知精度与通信效率最优平衡的多星通感波束资源分配方案, 基于感知的电磁信息, 探索快速精准的电磁态势重构与推演方案, 实现全局态势动态感知与快速推演, 以实现数字仿真系统相关内置方法设计。

2.4 考核指标及评测手段/方法

本任务研究的问题期望产物包括专利、论文等, 整体的考核指标如表 7 所示。

表 7 基于跳波束通感一体的电磁频谱实时感知与动态推演考核指标

指标名称	指标类型	考核指标		考核方式(方法)及评价手段
		中期指标值/状态	完成时指标值/状态	
基于跳波束通感一体的电磁频谱实时感知与动态推演	新技术新方法	基本完成设计方案	单颗卫星用于频谱感知的时隙资源不超过卫星总时隙资源的 20%; 联合多星稀疏	仿真, 实验



			感知数据实现电磁地图重构与预测，联合卫星数量≥10 颗，电磁地图重构与预测精度提升 30%以上，电磁地图重构与预测算法执行时间≤10s	
专利	专利	1 项	3 项	专利授权证书或受理通知书
论文	论文	2 篇	4 篇	论文录用通知书

2.5 参加单位任务分工

本任务的参与单位与任务分工情况如表 8 所示。

表 8 任务 2 参与单位与任务分工

参与单位	任务分工
北京邮电大学	研究数字仿真系统频谱感知、重构与推演的内置方法设计

3.任务 3：基于电磁地图辅助的干扰规避与资源管理

3.1 研究目标

本任务总体目标是探索高鲁棒性的时空频功轨多域资源配置方案，实现干扰规避与按需服务，支持数字仿真系统相关方法内置，如图 9 所示。具体而言，面向上行切换与下行通信场景，提出用户需求和同频干扰约束下的时空频功轨等多域资源管理方法，规避系统间干扰，提升信息传输速率。

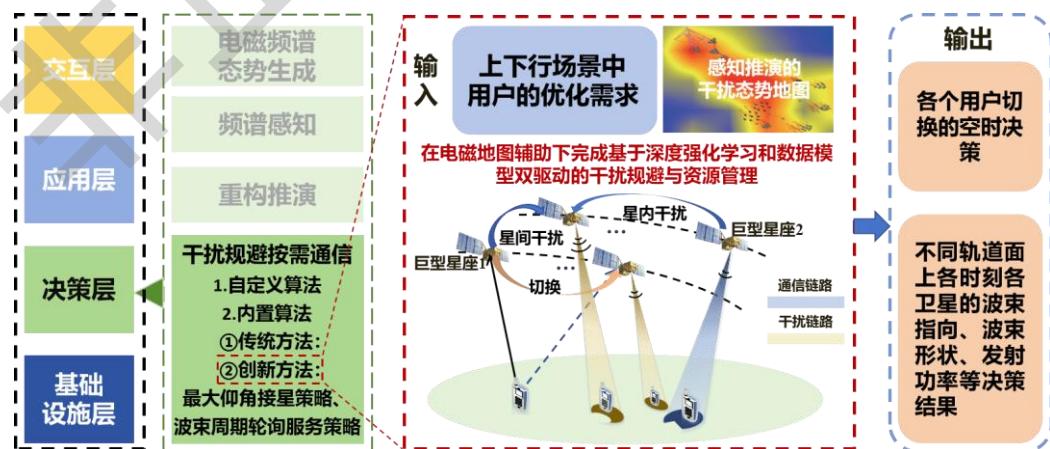
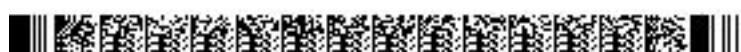


图 9 基于电磁地图辅助的干扰规避与资源管理架构

3.2 主要研究内容

本项目瞄向巨星座用户差异化需求和同频干扰约束，研究高鲁棒性的时空频功轨多



域资源协同管理策略，支持数字仿真系统干扰规避与按需通信的内置算法设计。

(1) 面向拓扑快变的巨星座用户上行切换场景，研究低频次大容量的用户切换策略，如图 10 所示，以感知推演的干扰态势图为输入，以降低平均切换频率、提升平均通信质量为目标，采用异步优势动作评价网络，进行异步平行的多动作训练，输出差异化用户在不同时间的切换决策结果，实现用户低频次切换。

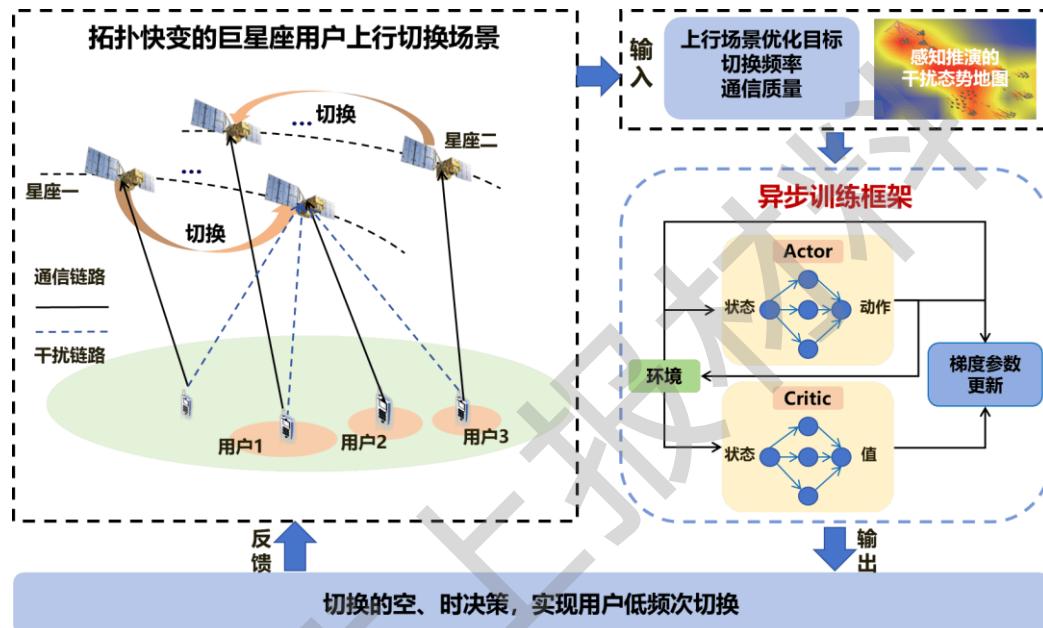


图 10 基于异步训练框架的低频次切换策略

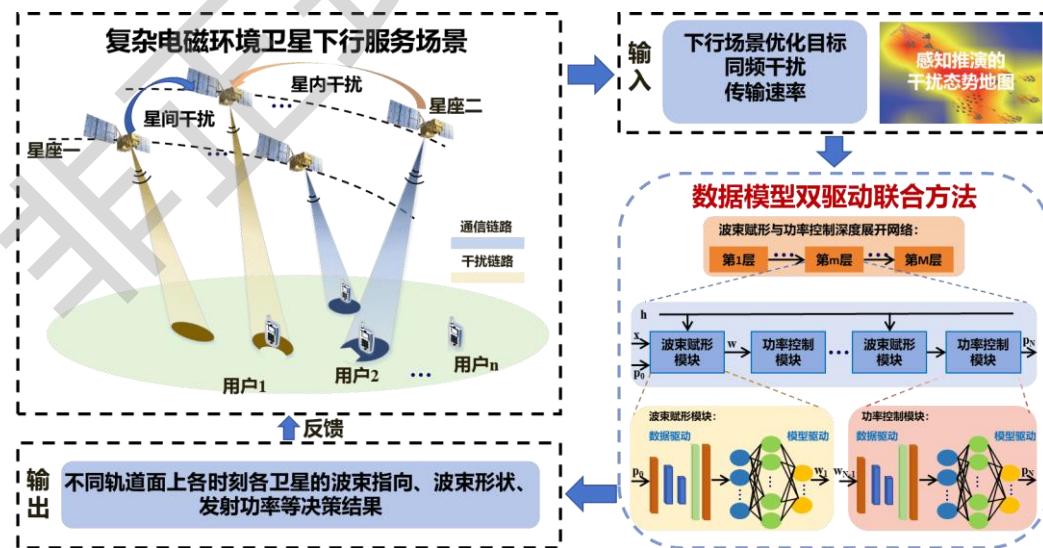
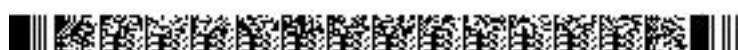


图 11 基于数据模型双驱动的波束赋形与功率控制

(2) 面向复杂电磁环境卫星下行服务场景，研究高速率的联合波束赋形与功率控制方法，如图 11 所示，以感知推演的干扰态势图为输入，以降低同频干扰、提升传输



速率为目 标，采用数据模型双驱动的深度展开网络，完成波束赋形与功率控制的交替迭代训练，联合优化多星协同的波束赋形与发射功率结果，输出不同轨道面上各时刻各卫星的波束指向、波束形状、发射功率等决策结果，提升频谱资源利用率与网络吞吐率。

3.3 拟解决的重大科学问题或关键技术问题

拟解决的重大科学问题：研究同频干扰、通信效率约束下的资源配置模型，揭示用户需求及干扰环境对通信性能的影响机理，确定多域资源划分、调度、协同方法，寻找高鲁棒性的配置方案。

拟解决的关键技术问题：研究巨星座间同频干扰和用户需求约束下的资源配置模型，以用户及多星感知推演的电磁干扰态势信息为输入，探索高鲁棒性的时空频功轨多域资源配置方案，实现干扰规避与按需通信，以支撑数字仿真系统相关内置方法设计。

3.4 考核指标及评测手段/方法

本任务研究的问题期望产物包括专利、论文等，整体的考核指标如表 9 所示。

表 9 基于电磁地图辅助的干扰规避与资源管理考核指标

指标名称	指标类型	考核指标		考核方式 (方法) 及 评价手段
		中期指标值/ 状态	完成时指标值/ 状态	
基于电磁地图 辅助的干扰规 避与资源管 理	新技术 新方法	基本完成设计 方案	与用户采用最大仰角接星策略、卫星采用波束周期轮询服务策略相比，所提星座多域资源管理方法降低用户发生星间切换的次数降低 30%以上，本系统干噪比 I/N 在 99% 时间内不高于-12.2dB	仿真，实验
专利	专利	1 项	3 项	专利授权证 书或受理通 知书
论文	论文	2 篇	5 篇	论文录用通 知书

3.5 参加单位任务分工

本任务的参与单位与任务分工情况如表 10 所示。

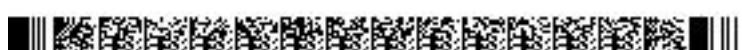


表 10 任务 3 参与单位与任务分工

参与单位	任务分工
北京邮电大学	研究数字仿真系统干扰规避与按需通信的内置算法设计

4.任务 4：巨型互联网星座电磁频谱数字仿真系统研制

4.1 研究目标

本任务总体目标是搭建实时映射真实星座通信环境的仿真平台，具备星座电磁频谱生成、频谱感知、重构与推演、干扰规避与按需通信、结果快速展示与评估等功能。具体而言，构建分网分层数字仿真系统架构，探索支持星座电磁频谱生成感知与推演、复杂电磁环境干扰规避与按需通信、结果快速展示与评估的平台搭建方法；利用数字孪生技术，建立与实物平台双向映射的数字仿真平台，通过持续的迭代与修正，不断提高数字仿真模型的准确性和可靠性；形成巨型互联网星座电磁频谱数字仿真平台，支持动态模拟星座跳波束下的频谱感知、干扰规避和按需通信。

4.2 主要研究内容

本任务从仿真架构与搭建方法入手，研发巨型互联网星座电磁频谱数字仿真系统，构建分网分层数字仿真架构，每个星座作为独立网络具体仿真系统，如图 12 所示，其中前端利用 Cesium、Vue.js 等技术搭建交互、应用等层级，后端利用 Docker 容器、Linux 虚拟网络设备搭建决策、基础设施等层级。各层级的功能、关系如下：

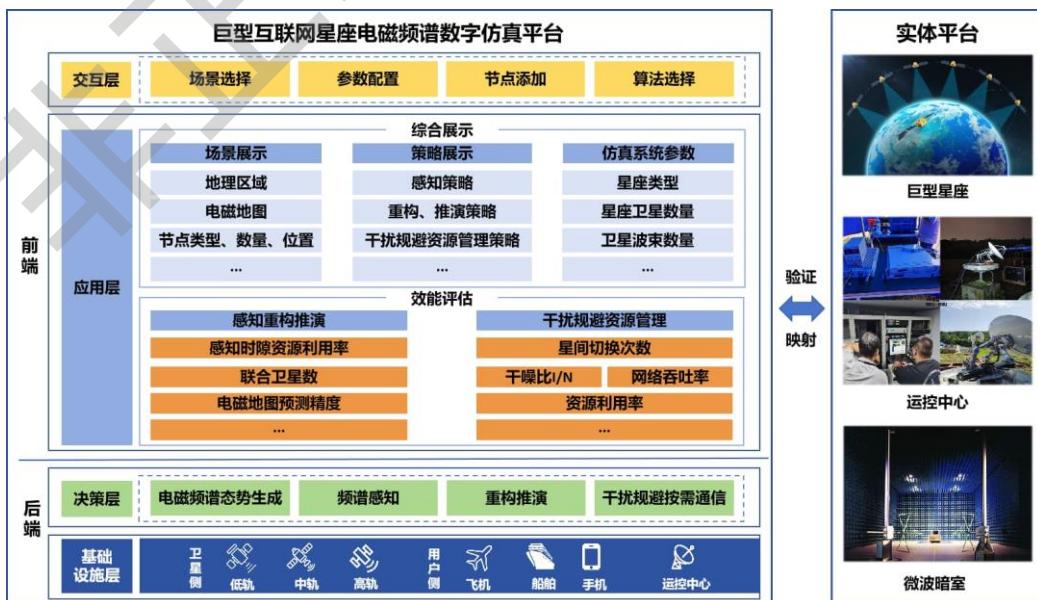
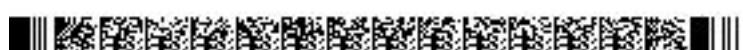


图 12 巨型互联网星座电磁频谱数字仿真架构



(1) 交互层：支持仿真场景选择，用户、卫星、运控中心等节点添加，星座规模、波束带宽、波束数量等参数配置以及感知通信等算法选择，综合配置信息输入到应用层；

(2) 应用层：支持所选场景、策略、参数等的综合展示以及频谱感知时隙资源利用率、电磁地图预测精度、星间切换次数等各类评估指标的展示。应用层根据交互层输出的配置信息，进行已选场景、算法等的展示；

(3) 决策层：根据前端配置信息，利用内置的传统方法、创新方法以及外部集成的若干方法，支持电磁频谱生成感知与推演、干扰规避与按需通信等算法执行；

(4) 基础设施层：利用 Docker 容器模拟卫星及用户节点，嵌入决策层频谱感知算法模块；利用 Linux 虚拟网络设备模拟运控中心，嵌入决策层推演、干扰规避与按需通信算法模块，快速执行算法并输出反馈到应用层进行策略展示与效能评估。

此外，基于数字孪生技术，建立一个与实物平台双向映射的巨型互联网星座电磁频谱数字仿真平台，通过持续的迭代与修正，不断提高数字仿真模型的准确性和可靠性。

巨型互联网星座电磁频谱数字仿真平台

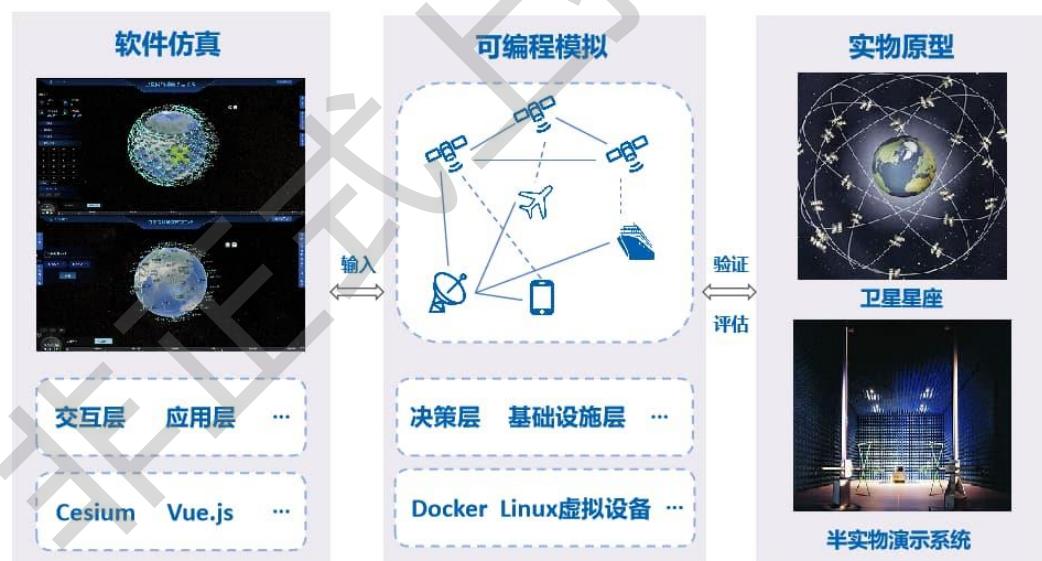
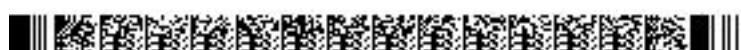


图 13 巨型互联网星座电磁频谱数字仿真平台

4.3 拟解决的重大科学问题或关键技术问题

拟解决的重大科学问题：开发精确映射巨星座的数字仿真系统，研制支持星座电磁频谱生成感知与推演、复杂电磁环境干扰规避与按需通信、结果快速展示与评估的数字仿真平台，形成高保真快刷新的数字仿真环境。

拟解决的关键技术问题：研制巨型互联网星座电磁频谱数字仿真系统研制，根据星



座部署、星地链路和波束宽度等巨星座通信环境与配置参数，实时仿真高动态拓扑变化巨星座，支持电磁频谱动态生成与呈现、通感一体策略内置与外部方法动态配置，实现策略可视化与效能评估。

4.4 考核指标及评测手段/方法

本任务研究的问题期望产物包括验证系统、专利、论文等，整体的考核指标分别如表 11 所示。

表 11 巨型互联网星座电磁频谱数字仿真系统研制考核指标

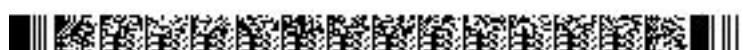
指标名称	指标类型	考核指标		考核方式（方法）及评价手段
		中期指标值/状态	完成时指标值/状态	
巨型互联网星座电磁频谱数字仿真系统	新技术新方法实验装置/系统	基本完成设计方案	支持星座类型≥2 种，单个星座的卫星数量≥5000 颗，每颗卫星的点波束数量≥8 个，卫星跳波束速率≥1000 跳/秒，星座采用 Ku/Ka 频段，波束带宽≥500MHz，卫星波束支持频谱感知与按需通信时分复用；支持巨星座频谱感知、干扰规避与按需通信技术内置与外置方法的展示与评估	第三方测试报告
专利	专利	1 项	2 项	专利授权证书或受理通知书
论文	论文	1 篇	3 篇	论文录用通知书

4.5 参加单位任务分工

本任务的参与单位与任务分工情况如表 12 所示。

表 12 任务 4 参与单位与任务分工

参与单位	任务分工
北京邮电大学	设计巨型互联网星座电磁频谱数字仿真系统架构与体系，联合搭建数字仿真平台
银河航天（西安）科技有限公司	搭建支持频谱感知、干扰规避与按需通信的电磁频谱数字仿真平台



四、主要创新点

围绕基础前沿、共性关键技术或应用示范等层面，简述项目的主要创新点。每项创新点的描述限 500 字以内。

1. 创新点 1：高精度的巨型互联网星座电磁频谱模型构建

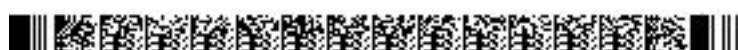
针对巨星座电磁频谱环境日益复杂的问题，本项目创新性地提出基于图神经网络去噪自编码器等算法，精确把握实际电磁数据中各参数之间的映射关系，给出系统、完备的复杂电磁环境频谱态势机理函数，构建高精度的电磁频谱态势模型。与传统电磁频谱建模方法相比，本项目所提方法简化了损失函数，大幅度降低计算复杂度，加快了训练速度；适应在小样本数据集训练，能够灵活调整映射空间以适应不同场景电磁数据输入，对时变复杂电磁环境具有一定鲁棒性，增加了泛化能力，实现高精度、高效率的电磁频谱态势建模。

2. 创新点 2：快速精准的电磁频谱实时感知与动态推演

针对复杂电磁环境下巨型互联网星座缺乏高效的电磁态势感知、重构和推演策略的问题，本项目创新性地采用深度循环 Q 网络、基于残差的生成对抗网络、基于注意力机制的卷积神经网络等方法，融合多源数据，综合历史与当前态势，通过约束频谱感知联合卫星数、时隙资源占比等条件，设计感知精度与通信效率最优平衡的多星协同跳波束配置方案，探索快速精准的电磁态势重构与推演策略。与传统电磁态势感知、重构和推演策略相比，本项目所提方法可根据相关资源约束，进行稀疏精准感知；有效把握关键特征，降低计算量，提高重构与预测速度。相关研究可支撑数字仿真系统的频谱感知与推演的内置方法设计，可解决现有传统模式感知、重构、推演工作粒度较粗的问题，提高感知重构精度，同时减少计算量，实现快速推演。

3. 创新点 3：高稳定大容量的干扰规避与资源管理

针对复杂电磁环境下巨型互联网星座缺乏高鲁棒性的时空频功轨多域资源管理方法的问题，本项目创新地采用异步优势动作评价网络、数据模型双驱动的深度展开网络等方法，输出用户差异化需求和同频干扰约束条件下的多域协同资源管理策略。与传统策略相比，本项目面向不同用户需求实现低频次切换，有效提升用户体验满意度；灵活调整波束方向和发射功率，支持动态复杂环境下的多维资源有效分配。相关研究可支撑数字仿真系统的干扰规避与按需通信内置方法设计，可解决传统方法同频干扰与通信需求不平衡的问题，提高巨星座多维资源规划能力。



4. 创新点 4：高保真快刷新的巨型互联网星座电磁频谱数字仿真系统

针对数字仿真平台难以实时精确呈现巨星座复杂电磁频谱与感知通信技术的问题，本项目创新性地基于数字孪生方法构建频谱态势生成、频谱感知、干扰规避、按需通信功能于一体的可动态配置的数字仿真平台。构建分网分层仿真架构，利用 Cesium、Vue.js 等技术，搭建支持电磁频谱动态快速生成与呈现、通感一体策略内置与外部方法集成的仿真系统，实现了策略实时可视化与结果效能评估；支持与实物平台实时交互验证，使得系统能够快速响应和调整，提高数字仿真的准确性和可靠性。相较于现有功能单一、实时性差、精度低的仿真系统，本仿真平台可操作性强、仿真精度高、功能完备，具有较强的应用价值。

