**动态资源分配的多星协作分布式轨道边缘计算卸载**

系统建模

1. 网络模型

本文主要考虑偏远地区没有基站覆盖或者是特殊情况下基站不可用的分布式轨道边缘计算（Distributed Orbital Edge Computing,DOEC）网络，在所考虑的场景中，由于地面用户其有限的计算能力，不能执行大量计算任务，在这种情况下地面用户将生成的计算任务上传到卫星上进行处理，系统由低轨卫星星座和地面用户组成。LEOS边缘必须与每个地面用户协调，以协助地面用户的任务处理，例如全息视频监控。因此，每个地面用户可以以两种模式卸载其任务（1）本地计算（2）通过Ka波段上的无线电回程链路将任务卸载到LEOS边缘，在LEOS边缘进行计算后，通过Ka频段再将计算结果反馈给用户。

在我们的系统中，轨道边缘计算由低轨卫星星座完成，含有M颗低轨卫星，表示为，每颗卫星都有一个特定的覆盖区域，假设卫星的覆盖区域不重叠，覆盖区域是由卫星的轨道和通信范围决定的，根据用户的位置判断其是否在某颗卫星的覆盖区域内，覆盖区域内的唯一可接入卫星称为主卫星。每颗主卫星Si下分布着N个用户，表示为。

在一个计算卸载周期内对整个轨道边缘计算系统进行卸载和联合通信计算资源分配。用户生成的任务被建模成一个四元组，分别是生成的任务的数据量，单位是bit，任务的workload，单位是cycle/s，任务的时延容忍，单位是s，覆盖任务的主卫星表示为Si。在不失一般性的情况下，任务的输出数据与其输入数据相比非常小，因此，我们在返回的结果时忽略了传输延迟。

考虑任务可分割，用表示任务卸载到卫星的任务量，单位是bit, 应当注意当时，任务Aij被卸载到卫星计算，任务全部在本地处理 此外，表示卸载决策变量，表示用户生成的任务在主卫星Si上计算，表示通过主卫星Si分到邻近卫星计算。

1. 覆盖模型
2. 通信模型
3. 星地通信：

信道增益：

假设每个地面用户和低轨卫星采用正交频分多址接入方案（OFDMA），也就是说当用户接入卫星时，Ka频带频谱上的频率资源也被均匀地分配给将其任务卸载到LEOS边缘的地面用户，由于我们采用了OFDMA方案，因此不考虑干扰。为更有效的利用频谱资源，采用动态的资源分配方案，即如果一个用户的数据传输完成后，立即释放其带宽资源，将其所占据的带宽资源分给其他未完成传输的任务。因此每个任务分配到的带宽会动态的发生变化。那么用户Uij在接入Si后,在第k个任务状态的上行链路传输速率表示为：



其中，、pij和σ2分别表示卫星的总可用频谱带宽、地面用户Uij的上行链路发射功率和加性高斯白噪声（AWGN）功率，是卫星计算的总任务数，表示卫星在第k个任务节点上计算的总任务数。因此用户在其上行链路传输的过程中会有一个数据传输速率序列。

1. 星间通信：
2. 本地计算模型：

对于本地计算，用户Uij必须使用自己的计算资源来处理任务。端到端延迟只有计算时延，假设每个用户的计算能力相同且固定为（cycle/s），则决定在本地执行任务的时间为：



(为了描述本地执行任务的能耗，我们使用了广泛采用的每个计算周期的能耗模型，因此任务Ai本地计算产生的能耗为：



其中是取决于芯片架构的有效开关电容的能耗系数）

1. DOEC model：

任何两颗卫星都可以在具有ISL的DOEC网络中通过激光进行通信，而无需地面站的中继。因此，由于决策卫星卸载的差异，问题公式将分为两种形式。当在接入卫星处卸载任务时，不存在ISL传输。

对于向主卫星卸载任务并在主卫星完成计算的模式，端到端延时包括三个部分：传播延时、传输延时和计算延时。此时用户Uij卸载任务Aij到卫星Si的上行链路传输时延为：



其中，是在第k个任务状态节点时，用户Uij传输的数据量，并且。

用户卸载到主卫星后，任务采用并行的计算方式，即给每个任务分一定的计算资源后，多个任务同时计算，因此计算时延可以表示为：



其中是卫星Si分给用户Uij的计算资源。

因此，任务卸载到主卫星计算的总时延如下：



其中，dus是星地之间的距离，C为光速。

用户Uij将任务Aij卸载到卫星Si上计算过程中总共的传输能耗包括数据传输能耗和计算能耗，表示为：



其中，Pij是用户Uij的上行链路传输功率。

当任务在非接入卫星上卸载时，由接入卫星按照相应的比例分割任务，分别通过ISL将其传输到相邻的可见的四颗卫星进行并行计算。考虑到目前并不是所有的卫星星座都有星间链路甚至是激光星间链路，且虽然激光星间链路的可用频带更宽，星间传输速率可以达到10Gbps以上，但是激光的方向性更强波束更窄，会加剧原本就非常困难的星间链路建立，多条星间链路的建立和维护会增加星座系统建设的成本和复杂性，因此考虑一般性，主卫星与周围卫星通信时依次建立临时星间链路，即串行通信并行计算的模式。用户Uij卸载部分任务经过卫星Si分割后卸载到卫星Sm上的时延表示为:



其中表示卫星Sm的计算时延，表示卸载到Sm卫星上的任务量。

所以分割任务进行分布式星间协同计算任务Aij的总时延表示为：



能耗表示为：



其中表示第m个卫星给用户分配的计算资源。

卸载设计和问题公式化

Problem Formulation

根据DOEC不同的卸载决策，处理任务的端到端延迟和系统能耗分别表示为：



将多星协作分布式轨道边缘计算卸载系统的总时延定义为所有用户生成的任务时延之和，基于现在的卸载接入策略，我们的目标是通过联合优化卸载决策矩阵，卸载任务量矩阵，卫星MEC服务器计算资源分配矩阵,分布式计算分割任务量矩阵

因此问题建模成：



s.t. 







C5:卫星能耗约束