
让AI数据流适应太空“容器”：6G网络中的星地流体AI架构

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40015.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

让AI数据流适应太空“容器”：6G网络中的星地流体AI架构。香港大学陈倩、王占伟、陈先浩、黄凯斌联合西安电子科技大学文娟、周笛、姬思敬、盛敏在中国工程院院刊Engineering发表题为Space-Ground Fluid AI for 6G Edge Intelligence（面向6G边缘智能的星地流体AI）的观点与评论（Views Comments）文章。本文针对第六代（6G）移动网络中边缘人工智能（AI）与星地融合网络（SGINs）结合的发展趋势，提出了一种全新的星地流体AI架构。研究旨在利用卫星的可预测运动轨迹解决网络拓扑高动态变化与通信瓶颈带来的挑战，并提出了流体学习、流体推理与流体模型三项关键技术，为实现空间三维泛在计算平台提供了理论与技术指导。

6G星地融合网络面临的物理挑战

在6G移动网络的演进中，AI与通信融合及泛在连接成为核心应用场景。现代卫星具备强大的计算资源，例如单颗Starlink卫星的计算能力相当于60多台Linux计算机。因此，卫星不仅是通信节点，也可作为边缘计算服务器。然而，将边缘AI扩展至空间面临着显著的技术难题。一方面，卫星处于高速运动状态，地面用户与低轨卫星（LEO）网络连接时在几分钟内就会发生频繁的切换，这使得维持AI服务的连续性极为困难。另一方面，星地之间信号衰减严重且传播时延长，地面用户与LEO卫星连接时的平均往返时间约为50毫秒，这极大限制了低延迟、数据密集型边缘AI服务的开展。

流体AI：让AI数据流适应动态太空容器

为应对上述挑战，研究团队提出了星地流体AI框架。该框架的设计逻辑来源于流体的物理特性：高动态的卫星网络拓扑类似于形状不断变化的容器，而网络流量（如AI模型参数和数据特征）则像水一样，随着容器的变化在水平（空间节点间）和垂直（星地间）方向上持续流动。流体AI技术的核心在于将卫星的高移动性转化为系统优势。基于星地网络中信道条件可预测和卫星轨道运动周期性重复的特性，系统可以实现智能的任务与模型迁移管理，确保服务提供的稳健性与连续性。

流体AI的三大核心技术

为了实现这一架构，研究重点开发了三项核心技术。首先是星地流体学习。传统卫星联邦学习（FL）高度依赖地面站进行全局聚合，或依赖昂贵的星间链路（ISL）进行模型交换。流体学习提

出了一种无基础设施辅助的模型播撒方案，利用在轨卫星的存储-携带-转发能力，像动物传播种子一样，由卫星携带局部模型跨区域进行知识融合，以此避免长时间等待与高昂的通信成本（如图1所示）。

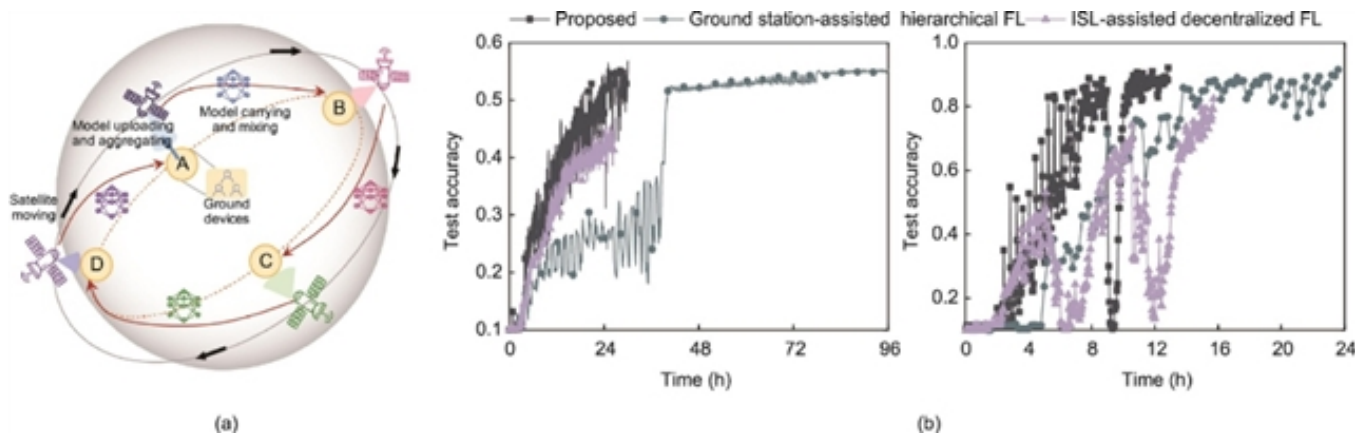


图1.无基础设施的模型播撒联邦学习方案

其次是星地流体推理。考虑到星地异构算力，系统将神经网络划分为级联的子模型。其中，提取底层特征的头部子模型部署在资源有限的终端，处理中等计算复杂度特征的中间子模型部署在卫星节点，负责高层特征提取的尾部子模型部署在云端数据中心。结合早退（early exiting）机制，推理任务可根据服务质量（QoS）要求由低复杂度的中间分类器提前输出结果，以此在推理准确率与端到端时延之间取得平衡（如图2所示）。

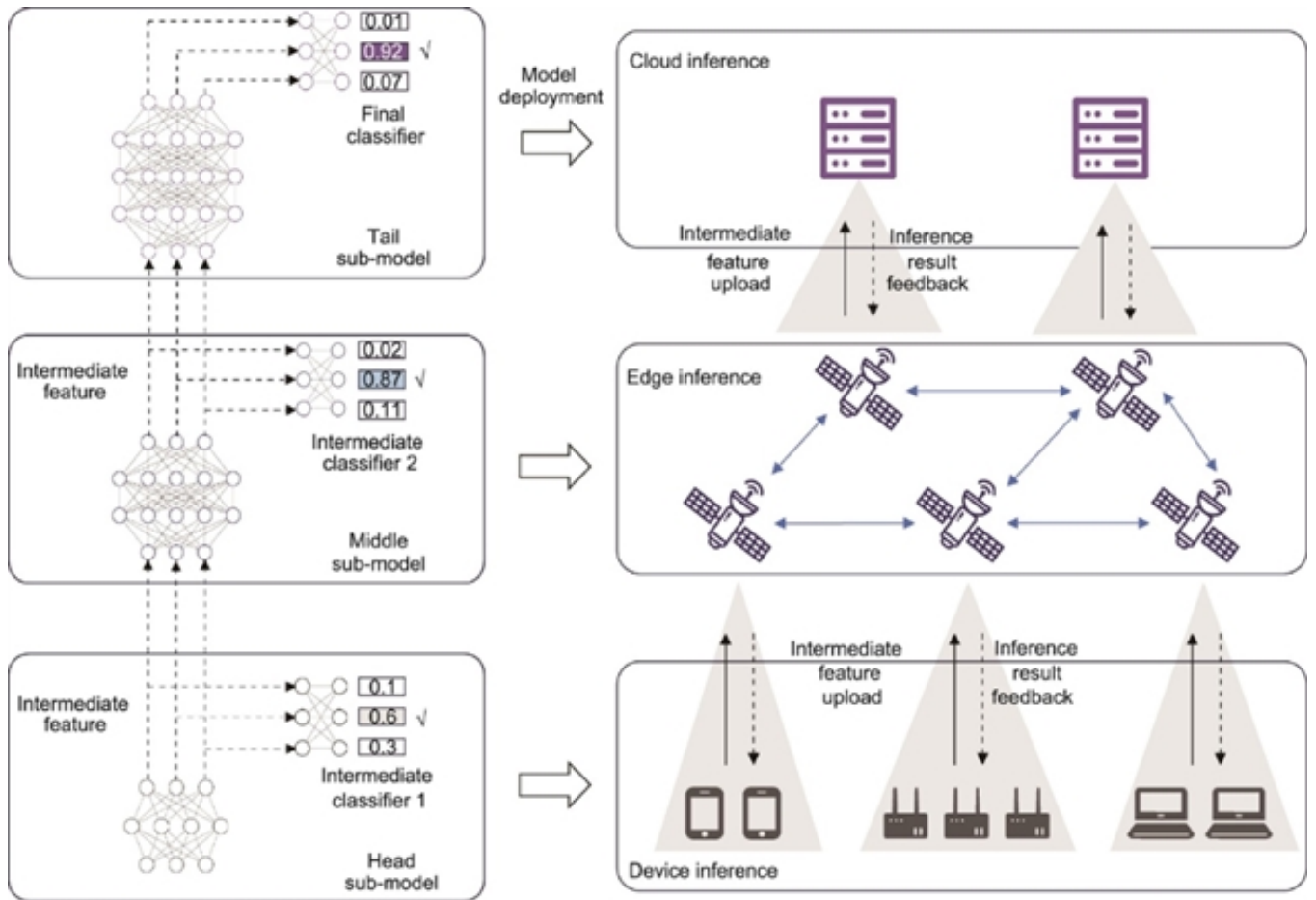


图2.流体AI系统中的级联推理框架

最后是星地流体模型。面对带宽受限的星地馈电链路，研究探索了神经网络中的知识复用机制。在缓存层面，系统采用参数共享缓存方案。当具有共享参数的多个AI模型存储在同一颗卫星时，这些模型可以共用相同的参数，从而提高存储效率。基于这一思想，卫星无需缓存每个模型的全部参数，而是可以仅缓存不同模型的部分参数块。当需要时，相邻卫星还可以通过激光星间链路（ISL）迁移参数，从而提高边缘缓存命中率（如图3所示）。在传输层面，采用参数共享多播技术，向多个地面设备同时分发可跨任务复用的模型参数，有效解决了单播模式下的大规模并发瓶颈。

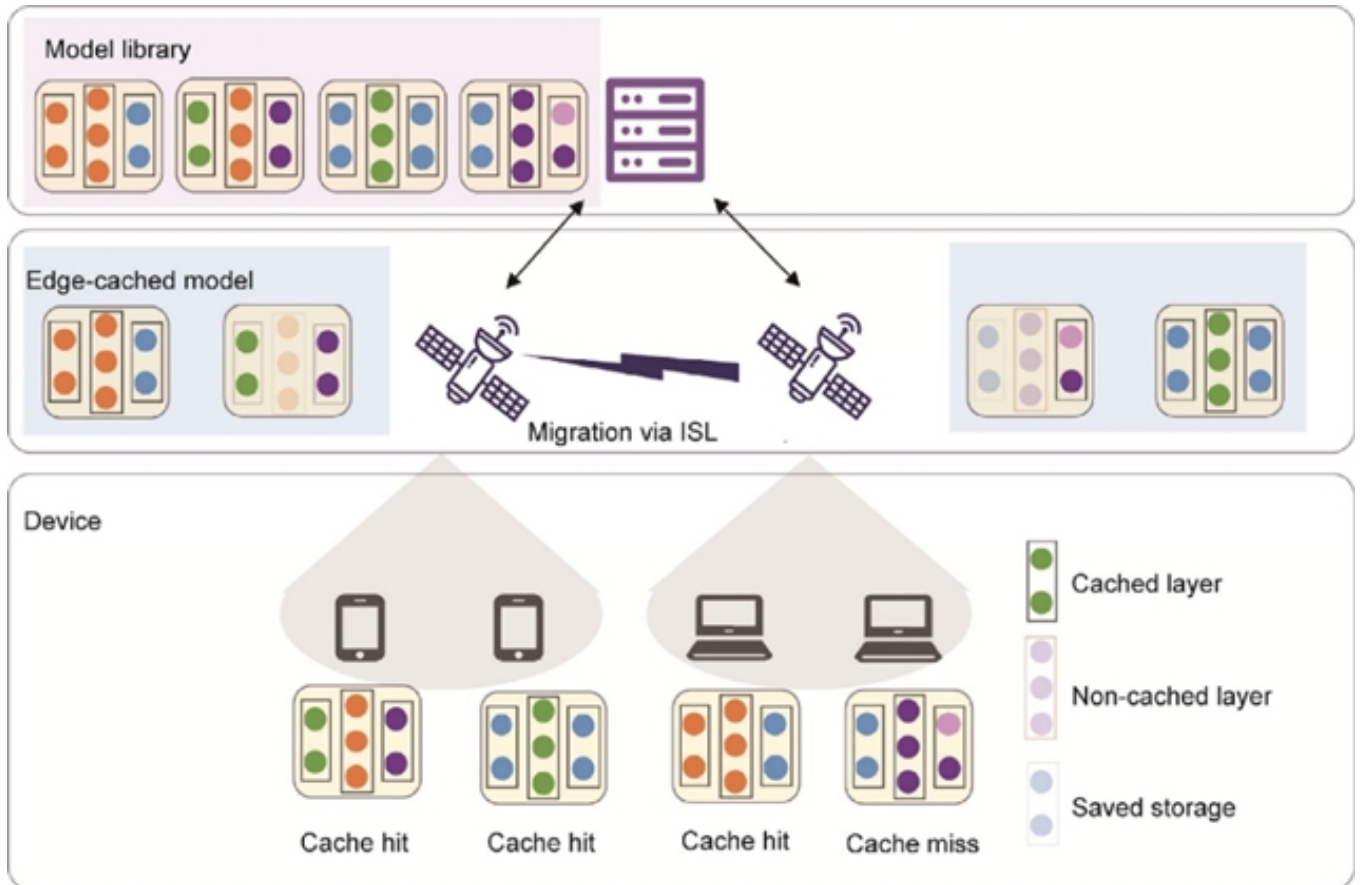


图3.流体AI系统中的参数共享缓存方案

部署考虑与未来方向

在实际部署层面，空间环境的物理条件对流体AI提出了具体约束。针对空间辐射引发的硬件退化和位翻转错误，卫星不仅需要抗辐射电子元件，还需采用三重模块冗余（TMR）等容错计算策略来保证模型输出的正确性。针对太阳能供电的间歇性特征，系统需实施能量感知的AI任务调度，将计算工作负载动态卸载至具有剩余能量的卫星节点。整体而言，本研究提出的流体AI为6G时代边缘AI与SGINs的深度融合提供了一种系统性架构。后续的研究可在能耗与时延之间的权衡、降低长距离星地信令时延，以及应对模型窃听攻击等方向展开进一步探索。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809925003054?via%3Dihub>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：陈倩等 来源：《工程》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发