

电子战场景下星链计划关键技术应用分析

文 | 张长生 冯词童

星链计划是马斯克旗下的太空探索技术公司于2015年提出的一个商业航天项目，其目标是在2027年前将42000颗卫星发射到距离地球表面约550公里至1200公里的低地球轨道（LEO），形成一个覆盖全球的卫星互联网网络，为地球上任何地方提供高速、低延迟、低成本的宽带接入服务。

星链为首的低轨卫星在军用和民用领域已经开始发挥重要的作用，本文主要以星链为例分析低轨卫星的关键技术，并分析其在战场中的应用场景，为服务决策提供支撑。

一、星链的关键技术分析

（一）低轨卫星组网技术

低轨卫星组网是一种利用运行轨道高度较低的卫星建立的网络体系。该组网体系可以通过星间链路或与高轨卫星混合组网的方式实现，从而形成多层空间网络。这种组网方式允许低轨卫星在不同层级之间进行通信和数据传输，实现全球范围的通信覆盖，并为各种应用提供高速宽带连接。当前主要有星座组网、交叉链接、地面站与卫星通信、自组织网络、频分多址等方式。星座组网方式涉及将多颗卫星分布在地球轨道上的不同位置，彼此之间相互通信和协作。在交叉链接组网方式中，卫星可以相互传递数据和信息，增强网络的覆盖范围和通信能力。在地面站与卫星通信中，地面站负责与卫星建立联系，接收和发送数据；卫星通过与地面站的通信来实现与用户终端之间的数据传输。自组织组网方式是指自主地建立和管理通信链路。频分多址是指低轨卫星网络中的不同卫星可以使用不同的频率进行通信，以避免频谱冲突。频分多址技术可以实现多个卫星同时进行通信而不互相干扰。

（二）低轨卫星定位技术

低轨卫星定位技术是星链的关键技术之一。主要定位技术包括全球定位系统、北斗导航系统和格洛纳斯系统等。

全球定位系统是一种基于卫星导航的定位技术，由美国政府开发和运营。通过接收来自多颗GPS卫星的信号，接收器可以计算出自身的位置、速度和时间。

北斗导航系统是中国自主研发的卫星导航系统，类似于GPS。北斗系统由一组地球同步卫星和一组倾斜地球同步卫星组成，提供全球定位、导航和时间服务。

格洛纳斯系统是俄罗斯开发和运营的卫星导航系统。类似于GPS，格洛纳斯通过一组卫星向接收器提供定位和导航信息。

在低轨卫星领域，GPS和北斗系统是最常用的定位技术。

（三）低轨卫星路由技术

主要包括存储转发路由、网状路由、分层路由、动态路由等。

存储转发路由：在存储转发路由中，卫星作为中继节点接收、存储和转发数据。当卫星与其他卫星或地面站之间建立连接时，数据会被传输并存储在卫星中，然后再根据路由算法转发到目标节点。这种路由技术适用于需要中转传输的场景，如远程地区通信或数据传输延迟较高的情况。

网状路由：网状路由是一种多跳的路由技术，其中卫星之间建立直接的链路进行通信。每个卫星都可以作为传输数据的中继节点，将数据从源节点传递到目标节点。这种路由技术具有较低的传输延迟和较高的灵活性，可以实现节点之间的动态路由和容错处理。

分层路由：分层路由将卫星网络划分为不同的层级或区域，并在每个层级中进行路由决策。卫星在同一层级内进行通信，并通过特定的卫星作为边界节点进行跨层级的路由转发。这种路由



技术可以提高网络的可扩展性和效率,并减少整体路由决策的复杂性。

动态路由:动态路由技术根据网络中节点和链路的状态信息来进行路由决策。卫星网络中的节点和链路状态可能会因为卫星位置、链路质量等因素发生变化,动态路由技术可以实时调整路由路径以适应网络变化。这种路由技术能够提高网络的适应性和健壮性。

这些路由技术可以根据低轨卫星网络的需求和特点进行选择 and 组合使用。在低轨卫星通信中,路由技术起着关键的作用,确保数据的可靠传输和网络的高效运行。

(四) 低轨卫星接入技术

低轨卫星接入技术主要包括以下地面站接入、用户终端接入、卫星间链路、中继接入等方式。

在地面站接入方式中,地面站是低轨卫星与地面通信的关键节点,用于与卫星建立连接并进行数据的接收和发送。地面站可以通过天线与卫星进行直接的无线通信,接收和发送信号。地面站可以根据卫星的位置和轨道来调整天线的指向,确保与卫星的通信质量。

在用户终端接入方式中,用户终端是最终用户与低轨卫星系统进行通信的接入点。用户终端可以是各种设备,如移动电话、无线终端、车载终端等。用户终端需要与地面站或卫星建立连接,通过卫星链路进行数据传输。这可能需要特定的硬件设备和协议支持,以实现与低轨卫星的接入。

在卫星间链路接入方式中,低轨卫星之间可以建立链路进行通信,实现卫星间的数据传输和协作。卫星间链路可以通过直接的无线通信方式进行,例如通过交叉链接来建立连接。卫星间链路的建立可以实现数据的中转和传递,增强网络的覆盖范围和通信能力。

在中继卫星接入方式中,中继卫星在低轨卫星网络中起到中继和转发数据的作用。中继卫星与地面站和其他卫星建立连接,并负责接收和转发数据。中继卫星可以扩展网络的覆盖范围,使数据可以在不同的卫星之间传输,提高网络的可靠性和容错性。

这些接入技术的选择取决于低轨卫星系统的设计和应用需求。不同的接入技术可以满足不同的通信场景和需求,例如提供全球覆盖、高速数据传输或移动

通信等。

(五) 低轨卫星通信技术

通信技术主要包括频分多址、时分多址、码分多址、混合多址、自适应调制与编码、光通信等技术。

频分多址将可用频谱划分为不同的频带,每个用户或卫星使用不同的频带进行通信。时分多址将时间划分为不同的时隙,每个用户或卫星在不同的时隙中进行通信。码分多址通过应用不同的扩频码将数据进行编码和解码。每个用户或卫星使用不同的扩频码进行通信,相互之间可以共享同一频带。混合多址是将多个多址技术结合使用的通信技术。例如,将频分多址、时分多址和码分多址相结合,以提高通信系统的容量和效率。自适应调制与编码技术根据信道条件的变化选择合适的调制方式和编码方案。低轨卫星通信中,由于卫星与终端之间的链路质量可能不稳定,自适应调制与编码技术可以提高系统的性能和容错能力。光通信是利用光信号进行通信的技术。在低轨卫星通信中,光通信技术可以实现高速的数据传输和较低的传输延迟。光通信在卫星之间或卫星与地面站之间建立光链路,提供高带宽和低功耗的通信解决方案。

这些通信技术的选择取决于低轨卫星系统的设计和应用需求。不同的通信技术可以满足不同的通信要求,例如覆盖范围、频谱利用率、容量、抗干扰能力等。

二、星链在战场上的应用场景分析

(一) 通信保障

星链的主要目标是提供全球互联网接入服务。传统的互联网基础设施在偏远地区和发展中国家的覆盖存在挑战,而星链通过卫星网络实现了全球性的互联网接入,为偏远地区、海洋、乡村地区等人口稀少地区提供了高速、可靠的互联网连接。但是在战场上,星链在通信保障上能够发挥至关重要的作用。

在战争中,传统的通信基础设施可能会受到敌方破坏或干扰,导致通信中断或受限。星链的全球覆盖和自主通信网络可以为军队提供独立的通信保障,确保指挥、控制和情报信息的传输可靠性。星链的部署可以弥补传统通信系统的缺陷,提供军事部队在战场上的可靠通信支持。

(二) 情报侦察

星链卫星的布局和密集性使其能够实现对广泛地理区域的实时监视和情报收集。军事情报人员可以利用星链系统获取实时图像、视频和其他情报数据，以支持战场态势分析、目标识别和情报决策。这对于战争中的目标定位、敌情监控和战术规划具有重要意义。

星链的每一次发射，都可搭载侦察、导航、气象等载荷，从而在侦察遥感、通信中继、导航定位、打击碰撞、太空遮蔽等方面，大大增强美军作战能力。在战争状态下，“星链”可以给战场态势提供准确及时的情报支持。

(三) 导航和定位

星链属于低轨卫星，其导航和定位功能可以为军事部队提供精确的导航和定位服务。在战场环境中，准确的位置信息对于兵力调度、目标定位和战术行动至关重要。星链的定位系统可以提供高精度的位置信息，使军队能够更好地掌握自身位置、敌方位置和友军位置，从而增强作战效能。

(四) 精确打击与导弹防御

星链可以为精确打击和导弹防御系统提供数据支持。通过实时通信和数据传输，星链可以将目标信息、导航指令和控制信号传送到精确打击武器系统或导弹防御系统中。这有助于提高打击精确度、反导能力和军事行动的有效性。

三、结论

本文以星链为例分析低轨卫星的关键技术，包括低轨卫星组网技术、低轨卫星定位技术、低轨卫星路由技术、低轨卫星接入技术、低轨卫星通信技术等，并从通信保障、情报侦察、导航和定位、精确打击与导弹防御等方面分析了应用场景，为未来低轨卫星发展和布局提供决策和支撑。

作者简介：张长生 呼和浩特市燃气热力集团有限公司
冯词童 奇安信科技股份有限公司

(接上第17页)

六、组织实施

(十六) 加强统筹协调。强化部门间协同合作，推动形成工作合力，协调解决重大问题。加大对地方绿色低碳产业培育、技术改造升级、工业领域碳达峰等重点工作指导评估，鼓励结合实际创新支持政策，合理设置政策过渡期。有关行业协会、专业智库、第三方机构积极发挥桥梁纽带作用，促进绿色低碳技术、产品和服务推广，助力重点行业和重要领域绿色低碳发展。

(十七) 深化国际合作。利用现有双多边机制，加强绿色发展战略、规划、政策、标准和合格评定交流对接。深化与各国在绿色技术、绿色产品、绿色装备、绿色服务以及产品碳足迹管理等方面的交流与合作，推动我国新能源、新能源汽车、绿色环保等技术装备有序走出去，鼓励国内有条件的地方建设中外合作绿色工业园区，为全球绿色发展作出中国贡献。

(十八) 加强人才培养。支持高校和科研院所增设绿色低碳领域急需紧缺专业，鼓励企业与高校、科研院所开展人才“订单式”培养。依托制造业人才支持计划、卓越工程师薪火计划和各类高层次人才计划，引进和培育绿色低碳领域海内外高水平人才。支持地方面向绿色低碳领域开展职业技能培训。

(十九) 做好宣传引导。组织开展全国生态日、环境日、节能宣传周、低碳日、中国水周等活动，加强各类媒体、公益组织舆论引导，加大对制造业绿色化发展相关政策法规、先进技术、典型案例的宣介力度，推广一批可借鉴、可复制的先进经验和举措。

工业和信息化部、国家发展改革委、财政部
生态环境部、中国人民银行、国务院国资委、市场监管总局

2024年2月5日