

星链故障连发,对中国卫星互联网有何启示

■谢鹰

今年7月以来,由埃隆·马斯克创立并运营的美国太空探索技术公司(SpaceX)旗下卫星互联网星链接连发生大规模网络故障,暴露了高速扩张过程中的技术与运营短板。作为全球最大的低轨卫星互联网服务商,覆盖140个国家、拥有600万用户的星链发生故障,不仅影响民生服务,也对军事通信和商业合作造成冲击,折射出巨型星座的“成长阵痛”。

近期,我国密集发射5批低轨道组网卫星,中国版“星链”建设也渐入高潮。那么,卫星互联网太空组网有哪些风险?应该如何做好保障、确保安全可靠?

星链故障追因:核心网软件问题“重复发作”

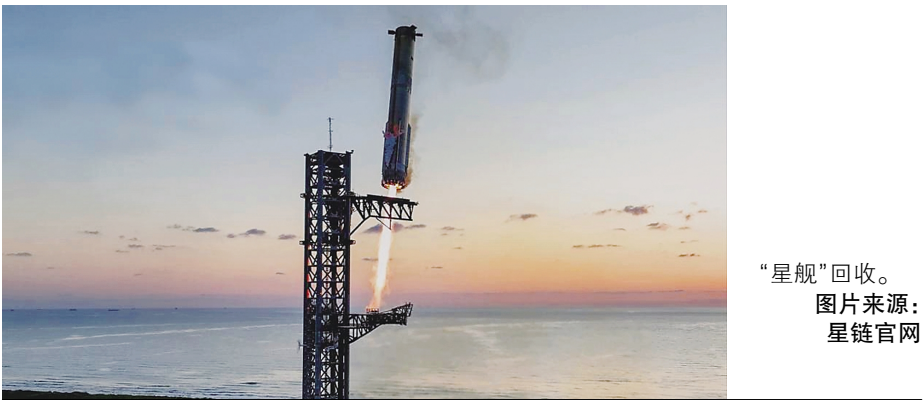
7月24日,星链因核心网络软件服务故障,导致美国、欧洲等全球6.1万用户断网2.5小时。星链官方承认系“内部关键软件故障”,马斯克致歉并承诺修复。

8月19日,全球服务中断信息聚合平台Downdetector记录到数千份中断报告,影响范围包括美国达拉斯、旧金山及南美、澳大利亚等地。此次故障恰逢T-Mobile推出“星链直连手机”服务次日,严重打击了新业务的市场信任。

星链采用“卫星—地面站—核心网”三级架构,7月故障根源在于“针对地面计算集群的软件升级程序”,因流量重分配过裁引发全网瘫痪。这一事件暴露了其核心网软件动态调度能力的不足——低轨卫星过网时间仅3至5分钟,需实时切换数千颗卫星,软件模块的耦合性缺陷极易引发连锁反应。

尽管星链未官方确认8月故障与7月故障的关联性,但从表象看,两次故障均发生在业务高峰期,凸显核心网对突发流量的容错设计存在缺陷。7月故障后,星链承诺进行“根因分析并修复”,但8月故障的重复发生,说明其软件架构未实现实质性解耦。

可以认为,8月故障是7月核心网软件问题的“重复发作”,暴露了星链在巨型星座调度中的软件架构缺陷。这提示我们,星链需从“航天快速迭代”模式转向“通信



“星舰”回收。
图片来源:星链官网

级可靠性设计”,才能真正达到电信级服务水平。

如何让中国版“星链”更安全

中国版“星链”的网络采用与星链相同的“卫星—地面站—核心网”三级架构,可通俗理解为一个三层协作的“太空信号系统”。卫星是“移动通信塔”(天基站+传输节点),既能发信号又能接力传数据;地面站是“超级中转站”(超级基站+智能网关),负责把卫星信号接到地面;核心网则是整个系统的“大脑中枢”,负责“谁能上网”“数据往哪里传”这些关键环节。“星链”的安全性,关键是要看核心网和地面站这两部分。

先说“大脑中枢”怎么保安全。一般来讲,核心网的安全秘诀是“多备份、能自愈”。就像给大脑装了“备用零件”,出问题能立刻补上。

一个做法是多地备份“分大脑”。核心网不是一个孤零零的“大脑”,而是拆成3至5个“分大脑”(区域节点)分管不同地区。它们之间可以用加密专线连起来,实时同步用户的上网信息。即使其中一个“分大脑”出故障,倘若毗邻的“分大脑”马上接手,就不至于全网瘫痪。“分大脑”下面还有“小大脑”(边缘核心节点)管着更小的区域。“小大脑”出故障,“分大脑”也能直接顶上,减少问题扩散。

另一做法是关键设备“一主一备”。核

心网里分管用户登录、数据路线的关键设备都要一主一备,两套设备实时同步信息。主用设备“宕机”,备用设备在100毫秒内就能接过来,用户根本感觉不到。此外,负责存储用户信息的数据库也要多处备份。

另外,核心网还要做到“智能规划路线,数据丢了能重传”。核心网会和卫星系统联动,提前预知卫星什么时候飞过、从哪里飞过,进而为设备规划最好的信号路线。要是某个“分大脑”太忙,可以自动把部分任务分给空闲节点,避免拥塞。同时,万一数据在传输中丢了或者被篡改,核心网也要抓住卫星飞过的短暂时间,让卫星重传一次,保证数据完整。

再看地面“超级中转站”怎么预防故障发生。地面站是信号从太空到地面的“第一道关口”,它的安全靠“多站点、多设备、多线路”来保障。具体而言有3条原则。一是一个区域建多个站,避开灾害区。同一个地区可建两三个地面站,分散在不同地方,可避免地震或台风等极端情况发生时全军覆没。另外,重要的“主中转站”要在不同大区域备份,小范围的“中转站”可以一个主用一个备用。

二是设备出现问题,备用的立刻顶上。地面站的天线、信号处理器这些关键设备都要有“备胎”。比如,主天线设备发生故障,备用天线很快就能自动启动;电源更要有正常电网、不间断电源、柴油发电机“三层保险”,就算停电也能保证至少72小时

设备不停机。

三是多条数据线,断一条换一条。地面站到核心网的数据线,至少接两条不同运营商的光纤。一条断了,10秒内能切换到另一条;两条都断了,也能靠微波、卫星传送信号,保证“路”永远通。

此外,系统要实时“盯着”地面站状态,哪个站太忙或者出现故障,就自动让卫星把信号转到附近站,避免卫星飞过的时候“没人接信号”。

总的来说,地面站靠“多地多设备备份”守住信号入口,核心网靠“多区域多备用”稳住全局调度,就像给网络装上“双保险”——前端关口断不了,后端大脑垮不了,共同织成一张“末梢抗断、中枢抗毁”的安全网,如此大家用中国版“星链”会更踏实。

从星链中汲取经验和教训

随着通信事业的飞速发展,我国网络人口覆盖率已超过98%,但网络的国土面积覆盖率据估测不超过40%,仍有大量山地、草原、高原、戈壁、沙漠没有网络覆盖。从1G模拟通信、2G数字通信、3G多媒体通信、4G宽带多媒体通信到5G拥有的高带宽、低时延、海量链接,6G需要解决的就是无所不在的覆盖问题。这个问题的最终答案,笔者认为“卫星互联网”。

2020年4月,国家发展改革委首次明确新型基础设施的范围,卫星互联网被纳入通信网络基础设施范畴。

此次SpaceX星链系统故障给我们不少启示。马斯克的航天实践堪称对传统思维的颠覆性突破,但面向6G天地一体化无线泛在网络,要提供电信级服务品质,星链在可靠性、稳定性等方面仍需补齐短板。

我国作为“追赶者”,既要深入汲取星链快速迭代、商业闭环的成功经验,也要针对性规避星链在网络安全、服务连续性等方面的教训,秉持成本与可靠性平衡原则,打造中国版“星链”,为我国下一代空天地网络及“一带一路”空天信息之路筑牢根基。

(作者系宇航学会卫星应用专委会委员、中讯邮电咨询设计院有限公司首席卫星专家)

发现·进展

中国科学院南海海洋研究所

揭示马尾藻场碳汇形成机制及碳封存能力

本报讯(记者朱汉斌 通讯员谢文燕)近日,中国科学院南海海洋研究所研究员胡超群团队在大型海藻惰性溶解有机碳(RDOC)形成机制及碳封存能力精确测算方面取得重要进展。相关成果发表于《环境科学与技术》。

温室气体的持续排放加剧了全球气候变暖,海洋碳汇因其巨大的碳封存潜力,被视为缓解气候变化的重要负碳排放途径。长期以来,大型海藻生态系统由于碳汇机制研究有限、碳汇贡献量化困难,未被纳入海洋碳汇的评估范畴。

研究团队以珊瑚岛马尾藻场为研究对象,采用野外监测与室内实验相结合的方法,调查了马尾藻整个生命周期的生物量变化,首次开展了南海马尾藻场RDOC形成机制及碳封存能力研究。结果表明,RDOC是海洋长期碳封存的重要载体,马尾藻通过自身代

谢及微生物作用可向海域输送RDOC,其中马尾藻的代谢活动在RDOC形成过程中占据主导地位。马尾藻通过代谢活动向水体释放的溶解有机碳约占藻体碳储量的17.95%,其中高达64.29%的溶解有机碳最终转化为RDOC。

同时,研究建立了精准的马尾藻RDOC碳封存量的估算方法,估算出珊瑚岛马尾藻场RDOC的碳封存量约为9.17gC·m²·yr⁻¹,并利用傅里叶变换离子回旋共振质谱技术、三维荧光光谱技术,在分子层面进一步揭示了马尾藻释放的溶解有机碳成分及其稳定性。

该研究成果不仅揭示了大型海藻在碳封存中的重要作用,而且为大型海藻碳封存的定量评估提供了新思路与方法。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1021/acsc.5c02913>

南方科技大学等

提出生成式人工智能预报洪水新方法

本报讯(记者刁雯璿)近日,南方科技大学教授郑一团队与中国科学院大气物理研究所等多家单位合作,提出了生成式人工智能预报洪水的新方法,不仅为洪水预报技术带来了新思路,也为水文学乃至整个地球系统科学领域的人工智能应用探索了新路径。相关研究成果发表于《地球物理研究快报》。

研究团队提出了基于扩散模型的DRUM方法,利用深度神经网络训练径流数据的噪声模型,并使用该模型进行多步去噪操作,生成径流的集合预报数据。DRUM无需预定义径流的概率分布形式,直接从数据中学习概率分布,能完成多尺度任务分解,将复杂的洪水预报任务分解为一系列相对简单的子问题,具有灵活的条件生成机制。这些特点使DRUM能有效处理洪水预报中的非线性、多尺度和高不确定性特征。

研究团队基于CAMELS数据集,在美国531个代表性流域对DRUM的性能进行了检验,并与现有深度学习标杆模

型进行对比。短临预报(0天预见期)实验结果表明,DRUM提高预报准确性的幅度随洪水量级的增加而增大。在72.3%的研究流域中,DRUM对最极端洪水的短临预报能力超越了标杆模型。此外,在8个超出历史数据极大值的极端洪水事件中,DRUM在洪水概率预报方面的优势进一步凸显。

研究团队进一步使用欧洲中期天气预报中心综合预报系统的降水预报数据驱动模型,将短临预报扩展到业务预报(7天预见期)。结果显示,DRUM在各种洪水量级和不同预见期上始终优于标杆方法。DRUM还表现出更优的洪水提前预警能力,特别是对极端事件,将平均预警提前期从约0.2天延长至约1.2天。

该研究成果充分展示了利用生成式人工智能进行业务化洪水预报的广阔前景,对于全球洪水风险评估、预警及应急响应具有重要意义。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1029/2025GL115705>

中南林业科技大学等

研发石细胞高精度图像分割新模型

本报讯(记者王昊昊 实习生袁浩燃)近日,中南林业科技大学教授周国雄团队与中国热带农业科学院橡胶研究所副研究员张源源团队,提出了一种名为CGWO-LWNNet的新模型,可有效分割橡胶树皮石细胞。相关研究成果发表于《植物杂志》。

石细胞是树皮中具有代表性的机械组织。分割技术对准确识别石细胞并提取结构参数具有重要意义,当前橡胶树皮石细胞的图像分割任务仍面临挑战。

CGWO-LWNNet模型有3个创新:首先提出低秩可加核网络模块,用于学习输入与输出数据的复杂映射关系。该模块通过可学习的权重与偏置自适应调节,显著提升对石细胞复杂边缘结构的建模能力。其次引入小波增强注意力机制,在空间与通道两个维度上对图像进行高低频分解,实现多分辨率特征表达。最后设计约束灰度灰化算法,在提高训练收敛速度的同时

增强模型稳定性,有效避免陷入局部最优。

研究团队基于中国热带农业科学院采集的石细胞切片图像,构建了一个包含1084张橡胶树皮石细胞图像的高质量数据集,并在此基础上开展建模与评估实验。结果表明,CGWO-LWNNet模型对图像分割准确度达到了较高水平,平均有69.1%的区域和真实结果完全重合,形状匹配程度达到81.7%,找出的目标占实际目标的80.4%,总体效果比目前常用的分割方法好。在石细胞识别准确率方面,CGWO-LWNNet模型达到97.8%,表现出更高的精度和鲁棒性。

该模型可作为石细胞高精度图像分割的有效工具,支持大规模、自动化的橡胶树性状提取与分析,有助于深入开展石细胞形成机制、乳胶产量影响及对树皮结构稳定性与胁迫

响应能力的研究。
相关论文信息:
<https://doi.org/10.1111/tp.j.70371>

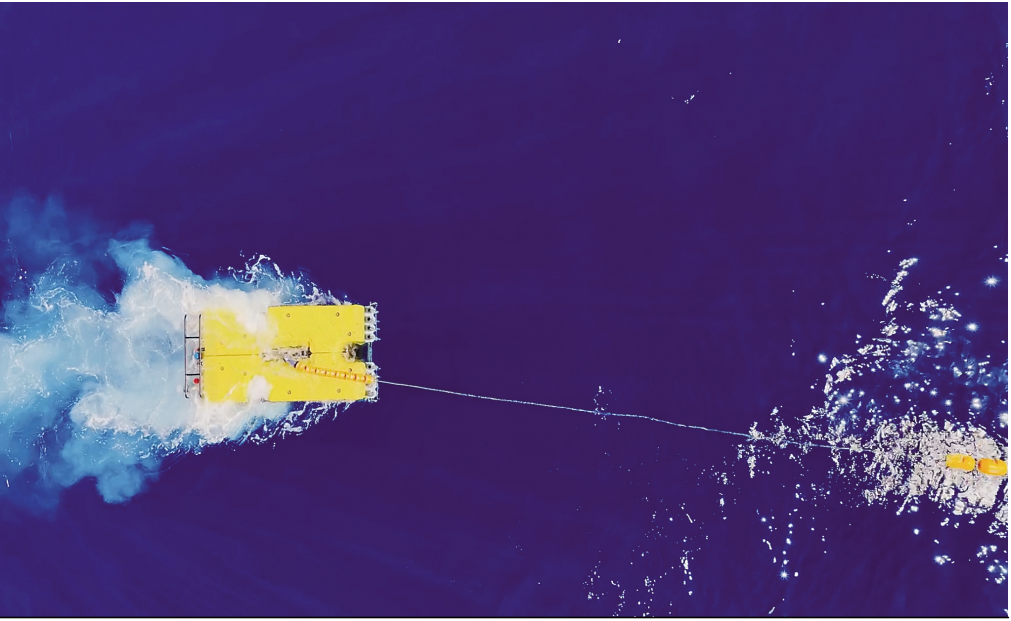
6000 米级深海无人遥控潜水器“海琴”号成功海试

近日,在南海中沙海域的“中山大学”号海洋综合科考实习船上,我国自主研制的6000米级深海无人遥控潜水器(ROV)“海琴”号完成首次深海试验,全面验证了整机系统的功能和主要性能指标。“中山大学”号正式跨入我国拥有6000米级深海ROV的科考船行列。

“海琴”号由上海交通大学自主研发,是为“中山大学”号海洋综合科考实习船量身定制的新型高效深海电动

ROV,具备自动定向、悬停定位和自动巡线等功能,装备高清摄像机、多功能机械手、高分辨率侧扫声呐、探测传感器及各类作业工具,可完成深海和海底的高清观察及生物、地质样品采集等任务。在该航次中,“海琴”号完成多个潜次试验,最大下潜深度达到4140米,开展了多项科考试验。

图为“海琴”号完成海试后出水。
本报记者朱汉斌 通讯员郑钰报道
中山大学供图



100 小时完成测年！这个团队揭秘月背火山活动

■本报记者 胡琅琦

2004年,我国嫦娥探月工程正式立项。到今年,该工程实施正好迈过21个年头。

嫦娥工程在20年里完成了“绕”“落”“回”三步走的壮举,2024年6月,嫦娥六号带着1935.3克月背样品返回地球,是人类探月迈出的全新一步,也是我国建设航天强国、科技强国取得的又一标志性成果。

当时,中国科学院院士、中国科学院广州地球化学研究所(以下简称广州地化所)研究员徐义刚带领30多个平均年龄30岁出头的年轻人,接过其中3.5克月壤,开始了一次与时间赛跑的历程。最近,探寻月背火山活动奥秘的徐义刚团队接受了《中国科学报》采访。

定年是首要任务

对年轻人来说,第一次拿到月背样品的感觉就像触电一样刺激。月背样品对于所有人来说都是全新且未知的,而给样品定年是所有研究工作的起点。

嫦娥六号探测器在月球背面的南极—艾特肯盆地着陆,这里是月球最大、最深且最古老的盆地。该区域地质结构复杂,样品种类多样,是研究月球火山活动的天然实验场。而同时,复杂的来源与成因对分析测试手段提出了新挑战。

对任何一个未知的地质样品,确定形

成时代(即年龄)和组成特征(相当于基因)是首要任务。徐义刚团队成立了4个小组,24小时轮班接力,经过100小时完成了这项工作。他们采用了超高空间分辨率“铅—铅”同位素定年技术,对样品中大小约3微米的含锆矿物进行了测年,同时将原位微区“铪—铪”同位素定年技术用于月球样品的定年工作。两种技术最终一致标定嫦娥六号低钛玄武岩的喷发年龄为28.3亿年。

这是来自月背的第一个确切年代学数据。徐义刚解释,美国阿波罗计划和苏联月球计划带回的正面火山岩样品年龄都在30亿年以前,而嫦娥五号返回月样将这一年龄推后到了20亿年前。月背样品的测年填补了中间长达10亿年的空白,也意味着月球背面同样存在年轻的火山活动。

月球上的玄武岩直接反映了月球过去活跃的岩浆活动,为了解月球内部结构及热演化历史提供了重要线索。通过分析嫦娥六号月壤样本中的玄武岩成分,研究团队发现其由极度亏损的铈—钕—钡同位素组成。

传统观点认为,月球背面的月壳较厚,抑制了月海玄武岩喷发,从而导致月球正面和背面的月海分布不对称。然而,月背南极—艾特肯盆地的月壳很薄,月海玄武岩

依然稀少,这一问题始终无法解答。

徐义刚介绍,这一新发现说明,月球岩浆活动除了受月壳厚度影响外,月幔源区的物质组成也是非常重要的控制因素。尽管南极—艾特肯盆地具有薄月壳,但该盆地之下极度亏损的月幔难以发生显著规模的熔融,这就导致盆地内缺乏大规模的月海玄武岩喷发,为月球正面与背面月海玄武岩分布的二分性提供了新认知。

与时间“赛跑”

让人难以想象的是,团队完成上述一系列精确测年及分析研究工作用时竟不到20天。

月背样品于2024年8月24日19时抵达广州地化所,8月25日团队完成样品前处理,8月26日进行图像学处理,找到目标分析对象。一周内完成所有微区的数据采集工作。9月9日,他们向国家航天局探月中心提交研究报告。

值得一提的是,广州地化所与中国科学院地质与地球物理研究所在同一时间接到了研究任务,采取“背靠背”模式,各自独立开展相关研究,最终在同样高效的情况下,获得了一致的可靠数据。两个团队在9月先后将研究成果投到《自然》和《科学》,并于11月15日同时在线发表,展示了中