

40万公里外“穿针”

我国首次实现地月双向高速激光通信

近日,我国地月激光通信试验任务取得重要突破,科研团队成功在超过40万公里的地月距离上建立起双向激光链路,首次实现地月双向高速激光通信。从月球传回一张8K分辨率的月面高清图像,以往用传统微波链路需要4分钟至5分钟,如今借助激光链路只需约12秒。这标志着我国空间激光通信正式从近地轨道迈入地月空间。

>>> 跨越地月,激光通信迈入新空间

地月平均距离约38万公里,此次激光通信试验的距离达到40.5万公里。这项试验由中国科学院空间应用工程与技术中心牵头,联合之江实验室、中国科学院云南天文台、中国科学院上海微系统与信息技术研究所等多家单位协同攻关,经过一年多在轨测试,在超过40万公里的地月距离上建立起双向激光通信链路。

空间激光通信是一种利用激光传输信息的通信方式。与传统微波通信相比,它速度更快、带宽更大、方向更准、保密性好,设备体积更小、重量更轻,可实现双向高速、收发自如。这次建立的双向激光链路,相当于在地球和月球之间架起一条稳定、高速的太空信息通道,为后续月球和深空探测等任务奠定了通信根基。两种通信方式的速度差距,

体现在一组对比上:同样传回一张8K月面高清图像,传统微波链路需要4分钟至5分钟,激光链路只需约12秒,速度提升数十倍。

不过,要把这些优势带到40万公里之外并不容易。距离越远,技术挑战越大。科研团队要在地月之间用上激光通信,必须闯过三道难关:光束对准难、传回信号弱、传输速度上不去。

>>> 万里“穿针”,如何瞄得准?

万里“穿针”,如何瞄得准?这是第一道技术难关。

地月间通信好比“万里穿针”:要在40万公里外,将一束极细的光线,精准穿过一个高速运动的“针孔”。激光束本身极窄,发射端哪怕出现极其微小的角度偏差,抵达目标附近时也会产生数公里的位置误差。中国科学院空间应用工程与技术中心研究员、激光通信试验科研团队负责人杨雷介绍,光的发射方向如果偏三千分之一度,在40万公里之外就要偏出2公里。更难的是,目标始终在运动,激光从地面发射到卫星接收,中间大约要

飞1.3秒,而这1.3秒里,卫星已经移动了数公里。“我们不是瞄准卫星现在的位置,而是瞄准它1.3秒后将要到达的位置。”杨雷说。

中国科学院云南天文台研究员李语强介绍,双方距离越远,卫星姿态的微小变化、机械振动及大气扰动,都会让光束漂移更大,地面站跟踪精度要求达到微弧度量级,“相当于从北京瞄准上海一个正在移动的乒乓球”。针对这一难题,科研团队创新提出了适用于超远距离、极微弱信号条件的双向捕获跟踪方案,把卫星轨道、望远镜安装

及形变误差、大气折射、激光飞行时间等多种因素纳入计算和系统校准,让天上的卫星与地面的望远镜在运动中始终对准。

这样的瞄准能力并非凭空而来。这次试验依托的,是运行在远距离逆行轨道(DRO)上的DRO-A卫星。DRO是地月空间中一类特殊的周期轨道,具有低能进入、长期稳定运行等特点。云南天文台则攻克了高精度多波束共口径同轴发射、高精度指向修正、双望远镜高精度联动等关键技术,为这枚“针”穿过“针孔”提供了稳定的轨道平台与地面支撑。

>>> 闹市“听针”,如何听得清?

“穿针”只是第一步。第二道技术难关是从极弱信号中“捞出”有效信息。激光跨越40万公里抵达目标附近时,有效信号已衰减至单光子级别,地面望远镜每次仅能接收到寥寥几个光子,月光、星光、城市灯光以及大气散射,还会形成大量背景噪声。“精准甄别信号,犹如在千里之外喧嚣嘈杂的闹市中,准确听清一根针落地的声音。”中国科学院上海微系统与信息技术研究所研究员李浩解释,“单光子是什么概念?普通手机闪光灯一

瞬间发出的光子数,比我们一分钟接收到的有效信号光子还要多出几个数量级。”

面对极弱信号,科研团队突破了高速超导单光子探测技术。中国科学院上海微系统与信息技术研究所依托多年超导探测技术积淀,自主研发了超导纳米线单光子探测器阵列。据李浩介绍,这种探测器工作在接近绝对零度的极低温环境下,一根纳米线的宽度只有头发丝的千分之一,光子打上去,纳米线局部瞬间升温、失去超导态,产

生一个可被识别的电脉冲。

硬件之外,还需要算法从噪声中把信号“捞”出来。杨雷打了一个比方:“探测器把光子一个个数出来,但这些光子绝大多数是背景噪声。我们的算法要做的,就是在成千上万个无关光子中,找出那少数几个按约定‘暗号’到达的光子,拼出真正携带的信息。”探测硬件与信号算法协同发力,解决了地月超远距离激光信号探测这一核心难题。



地月双向激光通信示意图

>>> 与时间赛跑,如何传得快?

信号接收难题解决后,能否“传得快”成为第三道难关。地月距离极远,信号信噪比极低,传输速率长期难以提升。杨雷解释其中的技术逻辑:“光子到达时间是随机的,噪声光子会严重干扰有效信号的时序判断。”针对这一难题,团队突破了皮秒级时间识别技术(1皮秒相当于一万亿分之一秒),能够在极短的时间窗口内精确判定光子到达时刻,从而在极低信噪比条件下实现高码率数据传输。团队同时采用高阶脉冲位置调制和高可靠信号处理方案,通过强纠错编码策略对抗噪声干扰,确保海量探测数据能够以高速度、低误码率传回

地面。

从“瞄不准”到“瞄得准”,从“听不见”到“听得清”,从“传得慢”到“传得快”——这三道难关,科研团队整整走了5年。试验中,中国科学院空间应用工程与技术中心联合之江实验室研制了DRO-A卫星激光通信试验载荷,联合中国科学院云南天文台和上海微系统与信息技术研究所研制建设了地面激光通信系统。

如今,这条跨越40万公里“信息高速路”终于打通,但它通往的不只是月球,更是中国深空探测走向更远宇宙的未来。

>>> 拓展深空,打开信息传输新空间

本次试验初步实现上行1.25Mbps(兆比特每秒)、下行100Mbps的双向通信速率,为后续持续提升通信速率奠定了基础。上下行速率差别明显,杨雷介绍,卫星上获取了大量科学数据,需要传回地面,所以从卫星到地面要求速率快;上行主要传送遥控指令,信息量少,速率自然较低。

激光通信的潜力还不止于此。在卫星通信设备的体积、重量、功耗给定的情况下,激光通信终端的速率可以比传统微波通信提高10倍到100倍。

随着载人登月、月球科研站建设提上日程,月球探测将产生海量观测图像和科学数据,传统通信带宽已经难以满足需求,地月空间即将迎来一场“数据大爆炸”。专家指出,我国以往在月球探测中使用微波通信技术,传输速度相对较慢;即使探测器再先进,采集的数据如果不能及时传回地球,也会错过宝贵的观测时机,难以开展高效、精准的科学分析。

“未来如果传输月球科研

站的高清视频、科学实验数据流,传统微波链路的带宽瓶颈会立刻显现,激光通信的价值就在于把瓶颈变成通途。”杨雷说。在他看来,科学数据的回传速度,很大程度上决定了获得原创性科学成果的水平和质量。

这项技术的意义,远不止于月球。中国科学院空间应用工程与技术中心副主任王强表示,构建国际月球科研站,要在上面开展很多种类的科学实验,会产生海量的数据;这项技术突破,对打破数据传输瓶颈具有非常重要的意义,甚至对未来人类走向火星、太阳系等更远的深空,具有更加重要的意义。

“目前地月之间的‘信息高速路’已经打通,未来我们将会获取到更多、更有原创价值的科学数据。”杨雷说。相关技术形成的地月空间轻量化、小尺寸、低功耗、高速率的信息传输能力,也将为我国载人登月、月球科研站建设和深空探测提供高速信息传输新手段。

文字综合报道:周帅
图文素材来源:新华社、央视新闻、中国科学院空间应用工程与技术中心、《人民日报》