

从电波到激光 星间信号传输模式这样变

本报记者 张佳星

“星座中的卫星会组建‘星间互联网’，之前它们用无线电波‘对话’，现在升级为利用激光链路传递信息。”航天行云科技有限公司副总经理杜利近日接受科技日报记者采访时表示，通过携带能够发射和接收激光的载荷，星间通信将从“电波时代”跨入“激光时代”。

在电波时代，卫星之间的通讯信号发射犹如“小



视觉中国

李飞刀”，不断丢出信号包，刀刀命中，但数据量的传输体量有所限制。随着人们通讯需求的增加，很可能出现“拥堵”的情况，就如同一筐“飞刀”有发射需求，“小李”武功再高也很难通过传统模式完成。

星间激光通信给出了解决之道，它犹如动感超人发射的“动感光波”，速度极快能量更大。那么星间激光通信为什么能够满足更大的需求？具体是一个什么样的通信过程呢？实现星间激光通信的难点又在哪里？

又快又“重载”，激光传输好处数不胜数

随着卫星通信传输数据需求的增加，传输数据量剧增，传统的微波通信受到传输容量的限制，成为星间通信“瓶颈”。杜利认为，现代卫星通信在准确的基础上，需要量大、实时、传输距离远，这要求卫星通信具有更高的传输数据率。

既然传统模式难以完成，那么什么载体更能担当大任呢？人们想到了“光”，激光将以接近光速的速度传递信息，完成实时、快速的要求。

星间激光通信所利用的激光比微波频率高3—4个数量级。频率越高意味着它在同样的时间里变化越大，就如同一个弹簧的“压缩”，能够“压入”更大量的数据，实现对数据的“重载”。

选择激光作为载体，人们还得到了很多其他的便利。杜利解释：星间激光通信无需频率申请

许可，而传统的无线电波频段是战略资源，目前国际电联严格管控星载微波频段，很难申请大容量数据带宽，我国用户申请频率许可更是难上加难。激光通信意味着绕开了“管制空路”，获得了更广阔的便利空间。

此外，星间激光通信具有比微波更窄的波束，信号覆盖范围很小，因而具有很好的抗干扰和抗截获能力。犹如利剑直插，难以被阻挡或化解。在对基础设备的功耗方面，激光通信也更显“友好”。杜利解释，星间激光通信的能量聚集度很高，当链路所需数据率在Gbps以上时，星间激光通信在终端体积、重量和功耗方面具有明显优势，从而降低了对卫星平台的要求。

图片、语音、视频等)转换为原始电信号，称为消息信号，信号产生后会转换为适合在信道中搬移的类型，进入信道，在自由空间里“奔跑”，随后由接收设备接受，从带有干扰的接收信号中正确恢复出相应的原始信号，“挑拣出”正确信号，会留下到传输信息的“归宿地”，复原的原始信号转换成相应的信息。

星间激光通信与星间微波通信不同的是：前者的信息载体是光。“但由于器件所限，信号不能以全光形式发送和接收，需要在发送端将待传输的电信号转换为光信号，在接收端将光信号转换为电信号才能正确复原原始信息。”杜利解释，也

就是说要有一道“转换”手续，相应地有一道“转回”手续。

星间激光通信技术的通信过程为：A星的光发射机将原始信息的电信号转换为光信号，调制后的光束经由发射光路，以空间光的形式发射给

百公里“穿杨”之外，不掉线面临更大挑战

在茫茫太空中，距离遥远的一颗卫星发射的激光又如何能够抵达另一颗卫星的接收设备中呢？

“以行云天基物联网的星座为例，两颗星之间的距离平均为数千公里，并且会相对快速移动。”杜利说。想象一盏高瓦数、不发射的射灯，准确地射在几百公里外，穿进一枚铜币的中心，这枚铜币和射灯本身还在快速运行中，其难度基于“百米穿杨”千百倍。

不只如此，仅仅完成建立联系的瞬间精准还只是第一步，稳定地在严苛的太空环境下保持均一、持续的联系，不掉线也对星间激光通信设备提出了更高要求。

杜利介绍，建立星间通信链路并保持链路稳定是一项关键技术。两颗卫星始终处于相对高速运动，要成功建链并保持稳定需要几大步骤，即瞄准、捕获和跟踪。

瞄准是指激光终端需要瞄着某个方向发射信号，以便对方接收。为了相互瞄准，A星和B星需要预先知道什么时刻开始瞄准，对方在什么时刻会出现在哪个空间位置，光束从己方射出到达对方需要多长时间，“它们约定某时刻开始工作后，双方需基于自身姿态控制、地面遥遥遥控和对方卫星轨道预报等信息，实时计算对方星体的相对位置(相对角度)，向对方所处区域发射信号光。当发射信号光不足以覆盖对方星体所处的不确定范围时，还需使用信标光束扫描该区域。”杜利解释。

信标光束犹如“信号弹”让彼此定位，如果入射的信标光均能进入A星和B星激光接收机的探测视场内，即实现了双向捕获。捕获过程会包括粗调，即接收系统将计算光斑质心与接收光学系统光轴标志点的脱靶量，驱动接收光学系统的粗瞄机构作偏转运动，使人射光斑质心向光轴标志

B星；B星的光接收机将光信号转换回电信号，并进行信号放大、判决和滤波等处理，恢复激光载波携带的原始信息。与此相比，星间微波通信的信息载体是无线电，无需进行发射端的光电转换和接收端的光电转换。

点方向运动。

跟踪则可视为“微调”“矫正”。当捕获模式中的光斑逐步接近标志点时，系统切换为跟踪模式，利用更小的窗口不断快速计算脱靶量，并实时反馈给跟踪执行机构，使人射光斑质心始终保持在光轴标志点附近。

“星间激光通信是极远距离、极弱信号的探测，其技术难点来自于超远的距离、链路的动态变化和复杂的空间环境。”杜利说，由于距离超远，星间激光通信技术要求发展同时具备功率大、功耗低、线宽窄和温度稳定性好的激光器模块，超高灵敏度的光电探测器，以及高速光电转换器。

也就是说，要实现星间激光通信，硬件的高灵敏、高精度是基础，而算法的迅速和准确是保障，经过软、硬件的协同发展和磨合将逐步提高星间激光通信技术的高反应速度和高精度，例如实现建链时间的秒量级，光束对准精度在几微弧度之内。以上仅仅是星间的“一对一”通信，对于星间激光组网而言，还需考虑多路接入、路由切换和空间网络交换等问题。

“对于商用激光通信星座而言，还需要考量性能和成本的协调发展，需要解决的将不仅是科学问题，还有与不同行业的匹配、兼容等问题。”杜利表示，星间激光通信作为一种高速数据传输手段，在需要快速回传卫星数据的场合，例如灾情采集、应急通信、敌情侦察、卫星导航等，激光链路可以提供很好的实时性；在需要传输大容量数据的场合，例如全球测绘、气象探测等，激光链路可以提供很好的稳定性。通过星间激光通信技术构建的星间通信骨干网，将有望变革未来空间通信技术，为未来高速、高通量天地一体化通信网络的建设奠定基础。

走近自然

重口味企鹅粪便 比你想象中更重要

本报记者 吴长锋

长期以来，研究南极的生物学家一直将研究重点放在了解生物体如何应对南极的严重干旱和寒冷等恶劣条件上。有一件事却被一直忽略，那就是企鹅和海豹们富含氮的粪便所能发挥的作用。

营养丰富的企鹅粪便

若是身在南极，你一定会感到崩溃——企鹅粪便实在太重口味。

企鹅的主要食物来源——南极磷虾，是生活在纯净南极的一种小型海洋甲壳类动物，是赫赫有名的小身材、大营养，被称为“蓝血贵族”。南极磷虾是已发现的蛋白质含量最高的生物，其体内蛋白质含量高达50%以上，一只南极磷虾(0.5克)所含的蛋白质相当于5克牛肉的蛋白质含量。

在磷虾吃多了的情况下，企鹅的排泄物就变成粉色。正是磷虾身上的天然色素——虾青素，染红了企鹅们的粪便。于是，又腥又臭的企鹅屎味儿，几乎让每位踏上过南极的人永生难忘。

十多年前，中国科技大学孙立广教授独创了“企鹅考古法”，开拓了“全新世南极无冰区生态地质学”这一新的研究领域。“磷虾中有奇高的氟含量，使企鹅作为载体将海洋食物中的元素转移到粪便中，进而进入沉积土层中。”孙立广告诉科技日报记者。

滋润着贫瘠的南极大陆

谈到粪便，万变不离其宗的便是其作为“肥料”的用途。而企鹅的粪便，其实也滋养了整个贫瘠的南极大陆，养活了许多小动物。有了这些粪便，南极生物才能呈现出现在的多样性与活力。只是在过去，科学家都一直忽视了企鹅粪便的力量。最近一项研究发现，企鹅粪便对生物多样性的影响范围可达1000米。越靠近企鹅栖息地的区域，整个食物链就越充满活力。

企鹅是南极的头号营养师，其粪便真是“又臭又有用”。企鹅粪便里，蕴含着碳、氮和磷等各种丰富的养分。

其中，受益最大的是土壤。企鹅粪便部分蒸发成了氨，然后被风吹进土壤。这便为初级生产者提供了足够的氮。据研究人员统计，南极每平方米土壤中有数百万无脊椎动物。这里的物种丰富度，相当于其他区域的8倍。

南极的特殊植物苔藓的求生策略，却与别的生物有所不同。有学者研究发现，在南极洲的东部地区，生长着一片特殊的苔藓。由于这一片区域土地的物质基本上都是沙子与砾石，此处苔藓必须从其他地方通过其他途径获得稳定的营养资源，这对于苔藓来说，是一个巨大的挑战。

通过研究，南极苔藓的化学成分氮含量远远超过海藻、南极虾体内的水平，进一步研究发现，此类氮元素与企鹅粪便中的氮元素完全一样，也就是说，这里的苔藓几千年来都是依靠企鹅的粪便来维持生命的。

这些企鹅排泄物支撑着南极地区繁荣的苔藓和地衣群落，进而使许多微小的动物如春尾和螨存活下来，从而维持大量微生物的存在，创造南极的生态环境，对于南极洲的生态平衡发挥着极其重要的作用。

趣图

软萌可爱 圆明园又添黑天鹅宝宝



近日，有网友在圆明园拍摄到一群新生的黑天鹅宝宝跟着父母在水面上玩耍的图片。初夏时节，这群可爱的小家伙给公园带来了生机勃勃的景象，给游人带来了欢乐。黑天鹅是所有水禽中体型最大的，幼鸟呈灰褐色，羽毛颜色较浅。

(本版图片除标注外来源于网络)

有一种行走虽然随机，却也能走出精彩

第二看台

本报记者 吴长锋

中国科学技术大学潘建伟的超导量子实验团队近日再登《科学》杂志：他们联合中国科学院物理研究所范桁等，开创性地将超导量子比特应用到量子行走的研究中。而这项研究成果将对未来多体物理现象的模拟以及利用量子行走进行通用量子计算的研究产生重要影响。

那么，何为量子行走呢？它与我们的生活有着怎样的关联？

经典随机行走，粒子离开原点的距离等于步数的一半

说起随机行走，可能你并不陌生，中学时候一定学过一种物理现象——布朗运动。1827年英国植物学家布朗在花粉颗粒的水溶液中观察到花粉不停顿的无规则运动。花粉在水中，因为受到不同方向的力并不平衡，导致了它们的无规则运动，这是一种分子热运动的宏观表现。后来很多科学家研究过这种现象，1905年的时候，爱因斯坦就深入分析了布朗运动的理论，随机行走的物理现象开始被人们广泛接受。

为了简单地理解经典随机行走，我们可以想象

一个一维的格子。

假设一个粒子本来待在坐标0点处，每过一个单位时间，它就会走一步——但是它走得很随机，一半概率向左走，一半概率向右走。当它到了下个点之后，接下来的走法还是如此——一半概率向左走，一半概率向右走。

当然，数学家早就算好了接下来所有的可能性，而且，在这个模型里，粒子离开原点距离的期望值等于步数的一半。这确乎在告诉人们，一个人拼命往一个方向走，离开原点的距离就等于步数；要是走得太随机，就只能走步数的一半了。但是，有一种行走虽然随机，却也可以走出精彩，这就是——量子行走。

量子随机行走中，粒子可同时既往左又往右

如果把上面的一维行走放到量子世界里，情况就会变得更奇异。因为量子世界里的粒子遵循量子叠加、量子干涉等规律，它们的行为会变得很复杂。比如，在量子随机行走中，粒子可以同时既往左边走又往右边走，形成鬼魅的“分身”，而且往两边走的概率可以相同，也可以不同，粒子的“分身”之间彼此还可以相互干涉。

如果这个一维的格子有不止一个粒子，彼此之间叠加和干涉，随着时间的演化，会形成更加复

杂的行为。此外，粒子种类不同，相互作用方式也不同，那么在晶格上的量子行为会大相径庭。这些都吸引了科学家的研究兴趣。许多学者认为，在量子处理器上进行量子行走的演示，是实现量子计算的一条重要途径。

但是，在量子系统中演示量子行走不是容易实现的。时间上，要做到能保持长的相干时间，空间上也要保证不同格点上的粒子“分身”有很好的耦合。整个系统还要能被有效、精确的控制，并且可以扩展。

近年来，离子阱系统、光学系统都在量子行走演示上做出过一定尝试。

在一维方向上，光子呈现出有趣的波动舞蹈

这次研究中，科学家们建造了一个12比特的超导处理器。他们将12个超导量子线路排成一维的晶格。这些量子比特可以看做一种人工原子，像天然原子一样激发出准粒子。这些超导量子比特具有较长的寿命，即退相干时间较长，而且还可以被精确地操作，及时地读出。

在这个实验中，光子的量子行走是在一维阵列上进行，光子是玻色子。玻色子在一维的相互作用，可以根据Bose-Hubbard模型进行描述。科学家们想看看，光子在这个阵列上的行走，是不是真

的符合Bose-Hubbard模型。

首先，科学家观察单个光子的量子行走。一维阵列编号从Q1—Q11(11比特)。这个光子初始位置被安排在最中间的Q6。随着时间演化，科学家观察了不同时刻、不同格点位置上的光子密度分布，和Bose-Hubbard模型很好的吻合。后来，光子初始位置被安排在两边的Q1和Q11，情况也与理论相符。有趣的是，光子在一维阵列上开始变得活泼起来，它舞动着手中的绸布，利用干涉和反射作用，变化出主波、次级波和回波，在一维方向上，光子密度呈现出有趣的波动舞蹈。

随后，科学家又在阵列上加了一个光子。他们这次想看看两个光子又能如何变化多端。这次的一维晶格有12位，编号为Q1—Q12，两个光子先是被分别放在了最中间的Q6点和Q7点。由于光子之间的强关联作用，神奇的事情出现了：与自由光子行为明显不同，两个光子的空间密度呈现反相关性，好像一种类似费米子的行为。这种反聚集效应，与理论预言完全相符了！

这样的成果不只是让量子计算离我们更近了一步。生活中，可不止布朗的花粉随机行走，许多生物过程、化学反应都离不开量子行走的模拟计算。甚至，经济学中很多理论基础就来源于随机行走，比如，基于随机行走思想的Black-Scholes期权定价理论，就获得了1997年诺贝尔经济学奖。



扫一扫
欢迎关注
共享科学之美
微信公众号