

视觉中国供图

量子密钥分发的新纪录 让城市间量子通信网络又近一步

◎本报记者 吴长锋

近日,知名学术期刊《自然·光子学》在线发表了来自中国科学技术大学(以下简称中科大)的一项研究成果。中科大郭光灿院士团队的韩正甫教授及其合作者,近期实现了833公里光纤量子密钥分发,将量子密钥分发安全传输距离世界纪录提升了200余公里,向实现千公里陆基量子保密通信迈出重要一步。

信噪比和衰减决定传输距离

“光子量子密钥分发直接传输的安全距离逐步逼近1000公里级,为未来广域量子通信网奠定了很好的基础。”韩正甫向记者解释,将来构建的广域量子通信网,能够分布在多个城市,并且拥有城际骨干线路和具有城域网。“拥有这样的分层结构的量子通信网络,可为较多用户提供服务。”

韩正甫告诉记者,影响量子密钥分发传输距离的首要因素是信噪比。噪声包括信道扰动、探测器暗计数等。原则上只要充分抑制噪声就可以提升传输距离,“但是也不是说噪声为零,就可以传输无限远。”韩正甫进一步解释道,这是因为线路除了噪声还存在衰减,衰减会使密钥生成率降低,密钥率太低则无法满足任何实际应用需要,即使没有噪声,也失去了应用价值。因此决定传输距离的主要因素是信噪比和衰减。

突破双场协议理论

2018年,英国科学家提出的双场量子密钥分发协议突破了原有的理论极限,而且其对理论的完善和对实验技术的开拓极具挑战性。

“以前的协议一般是单光子协议,虽然也需要用到相干态,但是相干态是本地制备的,通过不等臂干涉,相位补偿也比较容易。”韩正甫说,双场协议不同于之前的协议,该协议主要基于可干涉的远程异地制备的相干态,这就对光源提出了非常苛刻的要求。不仅光源,双场协议还要求一对相干态经过不同的、远程信道传输后还可以实现接近完美的干涉,这意味着信道相位补偿也很有挑战性。

“总的来说,双场协议对实验技术提出了很

量子密钥分发基于量子物理的基本原理,在信息安全层面上提供了窃听可感知的密钥分发手段。光子是量子信息的天然载体,但线路中不可避免的损耗限制了量子密钥分发的安全距离,这也是制约广域量子保密通信网络部署和应用的关键因素之一。因此,如何延长光子密钥分发直接传输的安全距离,是当前极具挑战的难点和焦点之一。

那么,在833公里长的光纤上完成量子密钥分发,这个世界纪录是怎样创造出来的?

“我们团队一直致力于实现长距离量子密钥分发,2012年创造了206公里的纪录。2018年的时候我们在双场协议的理论和实验方面做出了一些关键性突破,实现了300公里光纤信道的双场实验,这是国际上首个在光纤信道中突破理论极限的实验。”韩正甫说,这些工作中,课题组发展了协议理论分析的方法,突破了光源相位锁定、信道相位补偿等几项关键技术,这为其实现833公里光子量子密钥分发奠定了基础。

“量子通信一直是竞争激烈的国际赛道。”韩正甫告诉记者,目前国际上比较有竞争力的团队是位于英国的东芝剑桥研究所,他们是双场协议原始理论提出者,实验上也实现了600公里的双场系统。此外,英国利兹大学、日本东京大学等在理论方面也有所造诣。

高的要求。在理论上,这个协议的安全性不是基于单光子描述的,因此较为复杂,所以理论上怎么证明安全性,怎么分析各种非完美特性也是必须要解决的问题。”韩正甫说。

经过一番认真的研究,韩正甫和他的团队认为,这个协议提出的主要目的是突破“密钥率—信道损耗”极限。国外也有理论物理学家证明,原则上任何端到端的协议都不能突破一个叫做线性界的极限,因此传输距离非常受限。“双场协议把测量装置挪到了信道中间,基于单光子干涉,从而绕开了线性界的束缚,开辟了新的研究方向,是一个创新性很强的工作。”韩正甫说。

不迷路的秘密,藏在脑海中的“屏幕”里

◎吴天一 本报记者 王春

问路时,我们要记住指路人给出的一系列方向指引;在学习新的舞蹈动作时,我们要记住老师演示的一连串动作模式。人脑在记忆时往往不仅要记住单个内容,还要记住内容之间的次序。那么这种记忆次序,也就是时序信息,在脑海中的呈现方式是什么样的?

2月11日,《科学》期刊发表了一项研究的研究论文,在该研究中,科学家训练猕猴记忆不同位置的点阵,并利用在体双光子钙成像技术记录猕猴大脑额叶皮层的神经活动。研究人员发现神经元以群体编码的形式表征了序列中的每一个空间位置,并在这些表征中发现了类似的环状几何结构。该研究为理解神经网络如何进行符号表征这一难题提供了新见解。

该研究由中国科学院脑科学与智能技术卓越创新中心(神经科学研究所)、中国科学院灵长类神经生物学重点实验室王立平研究组,上海脑科学与类脑研究中心副研究员闵斌和北京大学生命科学学院唐世明课题组合作完成。

从最像人的动物出发,研究脑海中的“屏幕”

人类大脑无时无刻不在处理序列信息,不论

是语言沟通、动作实施还是情景记忆,都涉及时序信息在脑中的呈现方式,也就是序列的表征。认知心理学家们早在19世纪初就开始思考序列信息的表征方式,但对于时序信息大脑神经是如何进行记忆的,我们仍知之甚少。

猕猴是演化上最接近人类的模式动物,其认知能力、大脑的结构与功能相比于其他模式动物更接近人类,是研究时间序列等复杂高级认知功能的最佳实验对象。因此,研究人员训练猕猴记忆由多个位置点组成的空间序列。

在任务中,猕猴面前的屏幕上会依次闪现3个不同的点,猕猴需要在几秒钟之后将这些点按之前呈现的顺序汇报出来。在汇报前的几秒钟内,这些点的位置组成的空间序列信息,就暂时储存在大脑中。

研究人员对工作记忆的大本营——外侧前额叶皮层进行了双光子钙信号成像。这样就可以记录由点的位置对应的空间信息和不同次序对应的时间信息所带来的大脑神经元群体活动状态。钙信号可反映神经元的脉冲放电活动,而序列信息表征的关键就在记忆期神经元群体的活动模式之中。

大脑如何在这一期间,同时对3次点的位置情况进行呈现呢?研究人员猜想猕猴的大脑中有一块“屏幕”,猕猴可以把出现过的点记在这个“屏幕”上。可如果3个点同时在记忆保



影响量子密钥分发传输距离的首要因素是信噪比。原则上只要充分抑制噪声就可以提升传输距离。但也不能说噪声为零,就可以传输无限远,这是因为线路除了噪声还存在衰减,衰减会使密钥生成率降低,密钥率太低则无法满足任何实际应用需要,即使没有噪声,也失去了应用价值。

韩正甫
中国科学技术大学教授

“但是双场协议刚提出时,其安全性证明并不完善,且实验上需要全局相位随机化,并在传输后,由用户筛选出相位匹配的情况才能产生密钥,这些步骤降低了密钥率,实验实现也比较复杂。因此,在理论和实验上,双场协议开辟了新

创立四相位调制双场协议新理论

“2018年,我们团队首次在理论上证明,双场协议的编码模式,可以不做相位随机化,也就不需要相位后选择,这样密钥率可以显著提高,实验也实现大幅度简化。”韩正甫告诉记者,他们的这个理论创新,当时令很多同行感到意外。因为之前学术界认为,全局随机化是安全性的必要保障。

免相位后选择协议的简洁性和高密钥率的优势,使得该协议成为量子通信领域竞相讨论的热点之一。“当然我们也注意到,我们的免相位后选择协议由于编码时完全丢弃了相位随机化,极限安全距离有些降低。后来我们想到,或许可以在编码时适当增加几个相位,这样可以进一步混淆窃听者的信息,从而延长安全距离。”韩正甫表示,他们设计出的四相位调制的双场协议,结合了免相位后选择协议和后选择协议的一些特点,在极限情况下有特别的优势。

经过2年多的探索,郭光灿、韩正甫团队提出了改进的四相位调制双场协议,并进一步提升了独立光源的锁相稳频技术、高带宽信道相位补偿技术、高信噪比的单光子探测信号甄别技术等

的方向,但也意味着需要解决很多问题。”韩正甫表示,创新有时必须先突破固有理论开始。

郭光灿、韩正甫研究组在2019年首先提出了免相位后选择的双场类协议,并首次在300公里光纤信道中验证了此类协议的可行性。

关键技术,将光纤双场量子密钥分发的安全传输距离延长至833公里。

大胆而严谨的理论创新,为中国量子通信在竞争激烈的国际赛道上又一次赢得优势。韩正甫团队的这项成果不仅将光子量子密钥分发距离从500多公里大幅提升至833公里,而且将安全码率提升了50—1000倍,在实现千公里量级陆基广域量子保密通信网络的道路上迈出重要一步。

“创新没有止境,未来量子密钥分发的极限传输距离还很难预测。但是基于目前的发展趋势,达到1000公里左右应该是把握较大的。”韩正甫告诉记者,基于双场类的协议,千公里的量子密钥分发(QKD)骨干线路可能实现。对于幅员辽阔的中国来说,实现大范围国家中心城市之间的量子通信网络有很大价值。

韩正甫也坦言,从根本上看,双场协议并不能改变密钥率随着距离指数衰减的事实,未来的洲际量子通信还是需要借助量子中继。“但是,量子中继真正实用可能还需要比较长的时间,双场协议可以解决当前的大部分问题。”韩正甫说。

新知

云南高黎贡山 发现捻翅目昆虫新种

科技日报讯(记者赵汉斌)记者2月13日从中国科学院昆明动物研究所获悉,研究人员近期在云南高黎贡山发现了一个捻翅目昆虫新种,并将其命名为杨氏胡蜂螋。

高黎贡山是全球生物多样性热点地区,也是众多珍稀昆虫和具有特殊演化地位的昆虫的栖息地。捻翅目是一类具有特殊演化地位的昆虫,其从形态、行为、生物学习到遗传基础方面都展现了特殊的特征。捻翅虫在演化上与鞘翅目甲虫的关系较近,但两者的形态特征截然不同。雄性捻翅虫具有树莓状复眼,前翅退化为平衡棒状,后翅扇形膜质;雌性捻翅虫则为无翅的幼虫形。捻翅虫为寄生性昆虫,我国已报道的捻翅虫约有30种。

胡蜂螋属是捻翅目胡蜂螋科主要寄生于社会性胡蜂的一类捻翅虫,全世界共有41种,中国已报道5种,而云南仅记录过1种。寄生胡蜂的蜂蛹营养丰富,因此胡蜂养殖也是云南的重要产业之一。昆明动物研究所进化基因组学与基因起源研究组长期特别关注高黎贡山昆虫多样性,近期从栖息于高黎贡山的两种常见食用胡蜂黄脚胡蜂和黑盾胡蜂体内采集到诸多不同虫态的捻翅虫。

借助分子数据,中国科学院昆明动物研究所实验师董志巍、副研究员李学燕及中国农业大学教授刘星月等人确定,寄生于这两种胡蜂体内的捻翅虫为同一物种。通过形态观察,研究人员确定其为胡蜂螋属的种。进一步与该属已知种进行形态比较并结合分子数据证明,该种为胡蜂螋属的一个新物种。为了纪念我国最早研究捻翅目的昆虫学家杨集昆先生,该新物种被命名为杨氏胡蜂螋。这一新物种的发现,提示了在云南特别是高黎贡山存在非常丰富的捻翅目及其它昆虫物种多样性。研究结果发表在国际期刊《动物分类学》上。

7万年前逃过“灭顶之灾” 百兽之王如今面临何种威胁

◎新华社记者 王珏玢

今天已是百兽之王的老虎,7万多年前遭遇过什么?现代虎的各个亚种怎样演化出了今天的模样?近百年间,人类活动让虎的领地“缩水”、种群数量锐减,如何保护老虎,让老虎再“生威”?

国家动物博物馆副馆长张劲硕介绍,尽管老虎存在的时间很长,但现代遗传多样性的研究表明,现代虎的祖先最多只有十几万年历史。有观点认为,这可能与7万多年前苏门答腊岛托巴火山大爆发有关。这次火山爆发导致地球陷入长达数年的冬天,包括老虎在内的很多动物遭受重创,所幸仍有极小规模的老虎种群残留。

现代虎的各个亚种是怎样演化出来的?中科院古脊椎动物与古人类研究所副研究员孙博阳说,根据最新的DNA分子演化研究结果,现代虎各个亚种当中,最先分化出来的是苏门答腊虎,于6.7万年前与其他亚种分离。此后,孟加拉虎于约5.2万年前分化。在约4.5万年前出现了两个分支,一个分支于约2.7万年前分为印度支那虎和马来亚虎,另一个分支在约3.3万年前分为东北虎和华南虎。

几万年前的自然界的“灭顶之灾”没有让虎消失,但人类活动却日益侵占虎的生存领域,急剧压缩了它们的生存空间,让虎不再“生威”。近百年来,多个虎亚种数量锐减,虎已被世界自然保护联盟濒危物种红色名录列为濒危物种。

在我国,华南虎在野外已基本绝迹,现存的240多只华南虎均由人工饲养;东北虎曾在整个东北地区分布较多,但由于栖息地破坏等原因,数量急剧下降,1974年至1976年黑龙江省珍贵野生动物资源调查显示,东北虎已在大兴安岭地区绝迹。

如何让老虎再“生威”?重庆市地勘局正高级工程师、古生物学博士张锋认为,对老虎的保护,既刻不容缓又任重道远。一只华南虎的领地至少需要8千米见方的森林,领地内还要有200只梅花鹿、300只野羊和150只野猪等。如果要恢复1000只成年华南虎种群,仅考虑需要恢复的森林面积一项,就有很大的难度。

“保护虎需要从保护虎的多样性、保护虎的栖息地和弘扬虎文化三方面着手。如今人们把每年的7月29日确立为‘全球老虎日’,虎的保护已初见成效。”张锋说。

目前,我国森林覆盖率由20世纪80年代初的12%提高到23.04%,森林蓄积量超过175亿立方米。森林资源的持续增长,为野生动物提供了更充足的栖息空间。

2021年10月,我国正式设立包括东北虎豹国家公园在内的第一批国家公园。当月发布的数据显示,东北虎豹国家公园内野生东北虎数量已由2017年试点之初的27只增长至50只。就在今年春节前夕,时隔数十年后,野生东北虎踪迹重现大兴安岭。



视觉中国供图