

翻越“三座大山”，填补最后一块“拼图”

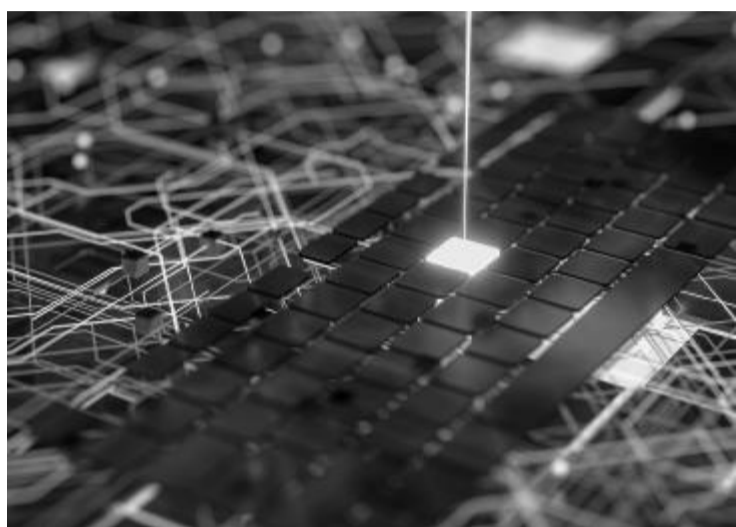
■本报记者 秦志伟

海域通信被称为空天地海一体化战略的最后一块“拼图”，是垂直行业专网无线通信应用场景之一。这些年来，越来越多的海上作业客户找到中国科学院上海高等研究院(以下简称上海高等院)研究员周婷，希望她及其团队能够帮忙打通海域专网覆盖广度与通信带宽难以兼得的技术瓶颈。

之所以有越来越多的人找到周婷，是因为她和团队对专网通信领域所面临的“三座大山”很熟悉，并且一直在想办法攻克它们。

功夫不负有心人。周婷带领团队最终成功翻越“三座大山”，不仅解决了海上作业客户的“头疼病”，还将相关技术应用于其他垂直行业，实现特定领域专网通信技术的跨越式发展。但这一翻越并不容易——他们走了10余年的艰苦之路。

在上海市近日公布的2020年度科学技术奖名单中，周婷团队的研究成果成功入围技术发明奖一等奖。



专网通信存在困扰业界的三大共性技术难题，也被称为“三座大山”。周婷团队一直在想办法攻克它们。图片来源：视觉中国

“三座大山”一直在

过去的半个多世纪，包括电缆和光缆等有线通信以及1G到6G的移动通信在内的现代通信技术层出不穷、迅速发展，广泛应用在人类社会的各行各业，成为社会信息化变革的重要支撑。

然而，现代通信技术的应用主要局限于陆地场景，在海洋上的应用和拓展不足，导致海洋通信的发展与陆地通信相比明显滞后。

中国工程院院士、中国电子科技集团有限公司首席科学家陆军等人将主要原因归于两点，一是21世纪前人类尚未开始对海洋的大规模开发利用，海洋上的人类活动有限，对通信网络的需求远不如陆地场景；二是在海洋上部署基础通信设施时设备选址受限、气象状况多变、海水运动频繁等复杂的环境因素给通信网络的部署和维护带来巨大挑战。

近年来，我国海洋活动愈发频繁，海洋业务种类愈加多样，海上运输、海洋渔业、气象监测、油气开采及海洋勘探等业务都在向更高效、更安全、更便捷的目标发展，全覆盖、高质量的海洋通信网络需求增加。

周婷向《中国科学报》介绍，目前陆地蜂窝网通信技术的速率、时延等网络性能基本上可以满足沿岸海事活动的需求，但单区覆盖最多十几公里；卫星通信覆盖广，但带宽有限且成本高。

于是，周婷团队瞄准了广域宽带专网通信，这是目前蜂窝网与卫星通信所无法支持的范畴。

然而，专网通信存在困扰业界的三大共性技术难题，也被称为“三座大山”。周婷介绍，一是跨海域无线通信环境复杂，大气波导突发性干扰影响可靠性；二是专网通信频谱资源受限，难以同时满足海量信息可靠传输与时延保障需求；三是专网基础设施资源有限，突发事件导致高可靠保障需求与布网基础设施成本之间存在矛盾。这“三座大山”因为海洋独特的自然条件而一直存在。

“三座大山”摆在眼前，周婷团队没有退路，只能逐一攻克。“每走一步，都需要理论与技术的突破创新。”周婷说。

“三对三”，成功翻越

应对由气象、地形因素造成的大气波导超远距离无线信号干扰，是周婷团队必须要迈出的重要一步。

“过去的电磁波双向抛物方程推导都是采用实数折射率，只表征了大气对电磁波的限获，且与实际存在一定误差。”周婷介绍，实际上，大气波导对电磁波除了具有限获效应外，还存在水气等引起的吸收效应。“频段越高吸收效应越强，模型的误差越大，所以原有模型只能支持到20GHz。”

研究人员还发现，即使在低频段，随着抛物方程推演的距离逐渐增加，在误差积累一定程度后也不再准确。

在国际上，公认的大气中电波传播抛物方程建模平台PETOOL支持800M至20G频段，实测验证距离160公里。“我们的思路是提出电磁波复数折射率，更精准刻画大气折射与吸收效应，将适用频段拓展至100G，创建海陆多种地形形态模型，支持海陆多场景，最终使首次试验验证距离达到253公里。”周婷说。

这是周婷团队第一个主要技术发明点，即建立了超远距离无线干扰建模技术。

接下来，他们要攻克专网现有通信范式难以同时满足广域和宽带“双高”需求的难题。“传统中继要么放大转发，但放大信号的同时也放大了噪声和干扰；要么译码转发，但万一发生误判将导致差错传播。”周婷解释道。

周婷团队不得不重新设计。他们反复试验、对比，最终建立了高可靠时延保障中继技术。而这也是周婷团队第二个主要技术发明点。

第三个主要技术发明点是他们建立的异构网络负载均衡能效优化技术。在这一过程中，研究人员在国际上首次提出基于空间投影约束的联合用户配对和功率分配方法。

“第一和第二个主要技术发明点是解决广域宽带专网通信‘能不能’的问题，而第三个主要技术发明点解决的是网络全局性能怎么更优、效率怎么更高的问题。”上海高等院研究员胡宏林介绍道。

不过他也指出，第三主要技术发明点虽然不是广域宽带的必要技术，但考虑到资源总是稀缺的，因此广域宽带不仅要能用，还要用得更高效率、全局更优。同时该技术发明点是通信网络的共性技术，能够适用不同特定场景的专网通信。

周婷坦言，这样的技术突破并不是集中攻

段，实测验证距离160公里。“我们的思路是提出电磁波复数折射率，更精准刻画大气折射与吸收效应，将适用频段拓展至100G，创建海陆多种地形形态模型，支持海陆多场景，最终使首次试验验证距离达到253公里。”周婷说。

这是周婷团队第一个主要技术发明点，即建立了超远距离无线干扰建模技术。

接下来，他们要攻克专网现有通信范式难以同时满足广域和宽带“双高”需求的难题。“传统中继要么放大转发，但放大信号的同时也放大了噪声和干扰；要么译码转发，但万一发生误判将导致差错传播。”周婷解释道。

周婷团队不得不重新设计。他们反复试验、对比，最终建立了高可靠时延保障中继技术。而这也是周婷团队第二个主要技术发明点。

第三个主要技术发明点是他们建立的异构网络负载均衡能效优化技术。在这一过程中，研究人员在国际上首次提出基于空间投影约束的联合用户配对和功率分配方法。

“第一和第二个主要技术发明点是解决广域宽带专网通信‘能不能’的问题，而第三个主要技术发明点解决的是网络全局性能怎么更优、效率怎么更高的问题。”上海高等院研究员胡宏林介绍道。

不过他也指出，第三主要技术发明点虽然不是广域宽带的必要技术，但考虑到资源总是稀缺的，因此广域宽带不仅要能用，还要用得更高效率、全局更优。同时该技术发明点是通信网络的共性技术，能够适用不同特定场景的专网通信。

周婷坦言，这样的技术突破并不是集中攻

域名里的中国故事

■本报记者 倪思洁

“中国显然是将多语言互联网变为现实的领导者，我感谢你们的努力。请记住你们的工作很重要，并请继续做你们正在做的事。”

近日，在2021第四届中文域名创新应用论坛上，互联网名称与数字地址分配机构(ICANN)总裁兼首席执行官马跃然，以视频的方式向中国同行表达了自己内心的敬意。

27年前，中国接入国际互联网，成为这个大家庭中的第77名成员。从此，一群科技工作者默默组成了一支队伍，以域名为抓手，重塑网络根基。他们为中国互联网的发展拓荒、培土，守护中国互联网生根、发芽，助力国际互联网真正实现开放互联。

拓荒：.CN域名的诞生

“Across the Great Wall we can reach every corner in the world.”(越过长城，走向世界)

1987年，通过电子邮件，中国向世界发出声音，由此叩响国际互联网大门。

1990年，钱天白教授代表中国正式在国际互联网注册登记了我国的顶级域名CN。中国在国际互联网中获得了自己的名字——“.CN”。由于当时我国尚未与国际互联网实现全功能连接，.CN域名服务器暂设于德国卡尔斯鲁厄大学。

4年后，在中国科学院原副院长胡启恒院士、中国科学院钱华林研究员的努力下，中国全功能接入国际互联网。在钱天白和卡尔斯鲁厄大学的协助下，中科院仅用一个月，就把CN服务器搬回国内。

之所以行动迅速，是因为这件事关乎国家安全。如果与国计民生相关的重要网站都注册由国外管理的域名，将导致网站的最终通信控制权掌握在外国公司和政府手里。

顶级域名服务器搬回国内后，钱天白负责行政联络，钱华林负责技术联络。作为钱华林的研究员，毛伟也由此成为中国最早参与域名技术研发的科研人员之一。

1997年6月，国家授权中国科学院计算机网络信息中心(以下简称中科院网络中心)成立中国互联网络信息中心(CNNIC)，为国家顶级域名提供注册服务。刚毕业不久的毛伟，在通过胡启恒的面试选拔后，成为CNNIC第一任主任。

培土：从.COM到.CN再到中文域名

正当毛伟等人摩拳擦掌准备大干一番时，现实给了他们当头一击：从2000年起，互联网概念大规模普及，2000年到2002年，.COM域

名注册量超过80万个，而.CN域名始终在12万个徘徊，甚至出现了不增反减的情况。

面对当时的新兴热词“.COM经济”，毛伟心里清楚，再不努力，.CN域名就将沦为温水里煮的青蛙。可令人纳闷的是，为什么.CN域名会“主场落败”？

这个问题在.COM域名注册管理机构——美国网络解决方案公司(NSI)首席执行官访问CNNIC时解开了。当时，面对谁在客户服务部角落两人高的材料，毛伟向客人介绍：“这里是所有.CN域名的注册申请信息表。”没想到，对方一脸讶异。这个表情让毛伟恍然大悟：“当国际上通行的域名注册方式是联机注册时，我们还停留在书面申请时代。”

简化程序成为当务之急。2000年起，在原信息产业部的委托下，CNNIC启动域名注册管理政策的调研修订工作。两年后信息产业部颁布新修订的《中国互联网络域名管理办法》，域名注册手续实现简化、便捷、开放。

为了提高.CN域名的认知度，毛伟带领CNNIC开展了大量宣传普及工作。2006年，北京奥运会将官网从.COM域名更换为.CN域名。在他们的努力下，广州亚运会、上海世博会官网也相继转为.CN域名。到2008年，国内已有77%的网站建立在.CN域名之上，.CN注册保有量跃居国家顶级域名全球第一。

2009年，中科院网络中心将市场化的内容分离出来，组建了互联网科技创新产业化平台——北龙中网(北京)科技有限责任公司(以下简称北龙中网)，专门负责中文域名推广和域名解析技术研发。毛伟和一批志同道合的同事离开CNNIC，成为北龙中网的创员工。

在.CN域名被接受的过程中，中文域名也逐渐发展起来。2009年，中文国家代码“.中国”正式启用。“中文域名更适合中国人使用，更能体现中国人的身份认同、语言认同、文化认同，中文域名的每一次输入，都是中华文化的一次彰显。因此，要尽快推动中文域名早日成为中国互联网的标配，成为我国网民的使用习惯。”毛伟说。

2011年，在北龙中网的推动下，“网址”被列入ICANN首批中文域名申请名录。时至今日，中文域名已经在全球多语种域名中担任领跑角色。2021年发布的《全球域名发展报告》显示，“.网址”已经成为全球新增多语种域名中保有量最大的顶级域，占全球新增多语种域名保有量的33.3%。

生根：根基系统国产化

“域名不只注册还要用，用就需要解析。”

毛伟说。

域名解析系统如同互联网上的导航系统，没有导航，就容易找不到北。毛伟至今记得，2009年5月，江苏、河北、山西、浙江等十几个省份曾出现大规模网络故障，大量网站无法访问，原因就是网站域名解析系统遭到了攻击。

这样的安全事故让毛伟等人清醒认识到核心技术的重要性，也更加坚定了他们“重塑网络根基”的信念。

“由于历史原因，美国在全球互联网治理体系中处于绝对优势地位，掌握着互联网域名系统‘根区管控权’，把控了主流的域名基础软件。重塑网络根基是应对当前国际形势必须采取的手段。”毛伟说，“同时，5G、物联网、人工智能、大数据等技术的广泛应用，对网络根基技术提出了更高要求。网络根基对我国互联网，因此国家发展，都将起到重要的支撑作用，因此重塑网络根基也是技术升级的必然选择。”

基于我国互联网发展的实际需求，2011年，北龙中网孵化出互联网域名系统北京市工程研究中心有限公司(ZDNS)，以开展互联网域名服务体系、IP地址服务体系的技术研究和创新。在自主创新方面，近10年来，ZDNS的研发团队编写了近20万行代码，研发打磨出具有完全自主知识产权的域名系统软件——红枫(Maple)，成为重塑互联网根基的重要抓手。

“与目前主流软件BIND相比，红枫系统在高性能解析、多线路智能调度、快速数据更新、扩展性等多方面大幅领先。例如BIND每秒可以处理5万次查询请求，红枫系统则可实现百万级查询能力。”ZDNS总经理邢志杰说。

此外，ZDNS研发出中国网络核心服务(DDI)设备。这些设备不仅服务我国国家域名系统，在企业域名系统建设中也广泛应用。尤其在金融行业，ZDNS的设备市场占有率超过50%，打破了国外品牌在这一领域的垄断地位。ZDNS还走出国门，对外输出域名领域的“中国方案”。例如，它联合中兴承接了埃塞俄比亚国家顶级域名建设项目。2019年，埃塞俄比亚国家顶级域名正式投入使用。

发芽：技术标准里的中国贡献

通常导致全网安全事故的，除了域名问题外，另一个原因就是路由问题。在互联网上，路由劫持事件时有发生，一些不法分子通过在互联网“广播”假IP地址，或者冒充他人IP地址，从而把互联网流量“劫持”到



自己的服务器上，实现对特定网站、服务器的网络攻击。

2018年4月24日，国际电商亚马逊的权威域名服务器遭遇劫持攻击。这样的问题推动了国际机构对路由认证机制的探索。从2012年开始，国际互联网工程任务组(IETF)推出了一系列互联网号码资源公钥基础设施(RPKI)技术标准，通过IP地址认证解决网络劫持问题。“全球范围内开展的RPKI部署应用，是一次触及互联网‘互联互通根基’的安全升级进程，是互联网由‘可用’向‘可信’演进的新阶段，其重要性和价值不亚于域名根，我们不能缺席。”毛伟说。

就在亚马逊遭遇攻击后，2018年8月7日，由ZDNS首席研究员马迪为第一作者者的RPKI本地化控制机制标准——IETF RFC 8416作为国际标准正式发布，这不仅对解决国外的“网络劫持”意义重大，而且对解决国内互联网巨头“出海”遭遇“网络劫持”的问题也有重要价值。作为IETF RPKI系列标准的最后一个标准，IETF RFC 8416给此次安全升级标准制定工作画上了圆满的句号。

除了IETF RFC 8416外，ZDNS还完成了RPKI数据安全威胁模型标准(IETF RFC 8211, RPKI验证系统技术要求标准) IETF RFC 8997。中国的技术人员持续推动这一领域的国际标准，让世界享用以中国的技术成果。

胡启恒曾说：“如果把互联网比作一艘大船，我们中国作为后来者，不能只是坐享其成，更应该有所贡献。”这句话，被毛伟等人铭记于心，落地于行。

“我国正在从网络大国迈向网络强国。网络强国不能只有模式创新、商业创新，更需要技术创新，尤其是底层技术的创新，并在国际互联网社群有所贡献。”毛伟说。时至今日，“网络根基，中国贡献”成为他们的座右铭。对于这群网络根基守护者来说，重塑网络根基这条路还很长，但出发了就绝不会停下。

速递

中国电子学会智能人机交互专家委员会成立

本报讯 近日，由中国电子学会主办、天津(滨海)人工智能创新中心承办的中国电子学会智能人机交互专家委员会成立大会在天津市召开。

中国电子学会智能人机交互专家委员会旨在汇聚该领域核心专家资源，深入探讨智能人机交互技术的国内外最新研究进展、科研成果、产业发展的动态和需求，有效整合智能人机交互等多个交叉学科领域的技术及行业资源，促进科研人员及相关从业人员的学术交流，进一步推动相关“高精尖”智能化技术的创新发展，助推各科研团队、企事业单位和个人的创新应用成果转化落地。(卜叶)

2021长三角(上海)区块链应用创新大赛举行

本报讯 日前，“融合技术，赋能产业”2021长三角(上海)区块链应用创新大赛决赛暨颁奖典礼在上海举行。本届大赛以“融合技术，赋能产业”为主题，参考经济数字化、生活数字化、治理数字化三大方向，在金融、司法、知识产权、航运、医疗大健康、农业、文旅等领域，围绕区块链技术、区块链产业规划布局、区块链应用案例等方面综合展开。本次大赛共有116个区块链应用项目，整个赛事全程使用区块链，运用区块链技术进行链上报名、确权 and 评审。

此外，建立全国区块链社会组织联席会议是此次活动的重要环节，首届联席会议由上海区块链行业协会发起倡议，共有11家社团组织参加。(黄辛)

发布“沧海”“百舸”百度智能云升级

本报讯 日前，百度云峰会智能计算峰会在北京召开，百度“沧海”存储技术与百度“百舸”AI异构计算平台两大新品牌首次亮相。

百度智能云同时发布和升级了一系列AI原生云产品，包括百度“太行”弹性裸金属服务器3.0、百度“沧海”并行文件存储PFS、第五代云服务器实例、智感超清一体机等八大新品，并对八大产品进行全新升级，这将为企业带来更高性能、更高性价比、更安全的智能云计算服务。

据介绍，百度“沧海”是百度智能云的存储产品体系，拥有存算一体、软硬一体、云边一体的技术优势；百度“百舸”是AI异构计算平台，由AI计算、AI存储、AI容器三大部分组成，具有高性能、高弹性、高速互联等能力。(赵广立)