

电波飞驰

本报记者 李祺瑶

2024年12月4日,英国伯明翰,英国工程技术学会(IET)2024年度卓越与创新奖的聚光灯,照亮了北京交通大学自主研发的“融合三维空间感知的无线自治网络数字孪生”(TwinSWAN)项目。

中国高校斩获国际组别最高荣誉的创新成果,成为此奖项的重要里程碑。这背后,是北交大电子信息工程学院教授官科和团队十年磨一剑,取得的核心突破——高性能射线追踪技术。其创新性地将三维空间感知与无线自治网络数字孪生深度融合,为构建高精度、实时化的复杂无线环境模型提供了全新范式。

中国电波领域科研工作者亮相国际舞台,也在为接下来的一场重要会议积蓄力量。

2025年6月6日,瑞士日内瓦,国际电信联盟无线电通信部门(ITU-R)第三研究组会议落下帷幕,一场关乎全球通信产业未来的国际标准研讨尘埃落定。我国工信部高度评价:“我国牵头构建的空地路径地物损耗模型从多个竞争方案中脱颖而出,通过各国测量数据的严格验证,成为ITU-R P.2108-1地物损耗模型建议书的唯一候选模型,为全球电波传播模型研究贡献了中国智慧。”

经此一搏,中国科研人员稳稳地站到了世界舞台最中央。支撑这一“中国方案”的关键技术力量中,源自TwinSWAN项目的高性能射线追踪技术,提供了重要的理论支撑和仿真验证能力。

从世界级领奖台到国际标准制定的会场,一群科研人员不断攀登高峰,助力我国在无线电通信领域实现从“跟跑”到“领跑”。

官科作为中国代表团成员,出席国际电信联盟无线电通信部门第三研究组会议。

一场集体“接力”

国际标准的制定,是一场考验耐力与协作的“接力赛”。

“这次会议的会期只有两周,至少有5个代表团提出了自己的方案,竞争非常激烈。”回忆起日内瓦的激战,一位与会专家仍心潮澎湃。由北交大、北京邮电大学、西安电子科技大学、中国电波传播研究所、中兴通讯、华为等单位的专家组成的中国代表团,肩负重任。他们凭借扎实的研究积累与集体智慧结晶,站上了世界舞台的起跑线。

国际电信联盟无线电通信部门(ITU-R),是全球无线电频谱管理和无线通信标准的最高权威。此次会议聚焦涉及2027年世界无线电通信大会关键议题的空地传播模型标准,因其直接影响各国卫星与地面通信的核心利益,成为名副其实的“必争之地”。

会议期间,分秒必争。会上阐释方案,会后凝聚共识。

为了争取更多支持,中国代表团的专家们主动出击,与各国代表深入交流,解答技术疑问。“各国代表针对方案和模型的细节,提出一连串问题。我们需要做大量的实验,在短时间内拿出最有说服力的结果。”一位专家感慨,幸运的是,远在国内的强大后方团队,是他们最坚实的后盾——“那两周里,有一群年轻人全天候在线,跨越6个时区,过着‘欧洲时间’。”

那段时间,北交大等国内科研单位的实验室灯火常明。“代表团的专家在前方参会,我们会在线上旁听,根据会上提出的意见实时梳理对策。等前方会议结束,我们这边差不多就是晚上了。”北交大博士生安昊还记得,实验工作常常持续到深夜,“前方专家将最新情况整理拆分,我们在后方跑仿真、绘图标、出报告……争分夺秒,确保以最快速度呈现最新、最有力的结果。”

两周会议中间的周末,成为这场“接力赛”的关键节点。“经过前期研讨,一些国家已初步认同了中国方案。我们希望利用这两天的宝贵时间,团结各国代表,共同对模型进行深度优化与联合验证,为全球空地通信共存分析提供可靠依据。”中国代表团挑起重担,协调组织了多国专家进行技术攻关,探讨最终的融合方案。休息日的办公楼未开照明,一群人在昏暗的光线下埋头苦干,直至夜幕低垂才察觉时光飞逝。

那个周末的夜晚,也让后方团队印象深刻。“大家讨论到凌晨1点多。我们在实验室里紧张地调试代码、优化模型、重绘图表,

将中国方案的仿真结果与各国的实测数据进行细致比对,效果显著。”北交大硕士研究生刘则含说,方案打磨过程中也遭遇尖锐质疑,“但凭借中国代表团各家单位的共同智慧与紧密协作,我们拿出了有效的应对策略,成功化解了各方顾虑。”

接下来的周一,会议重启。大会主席的开场白,让中国代表们倍感温暖:“刚刚过去的周末,很多人都在享受日内瓦的阳光,还有一群人在阴暗的小屋里为共同的目标努力。下面,我们一起来分享他们的最新成果……”在决定空地通信干扰分析技术路线的关键环节,官科宣读了凝聚集体智慧与多国验证成果的空地路径地物损耗模型标准提案,并一一回应各国代表和相关机构专家的质询。

在线上,无形的支援网络同样高效运转。“在高强度的技术研讨中,我发现了一个技术细节上的小问题。官老师鼓励我直接在线发言,表达自己的观点。”安昊将这次经历视为珍贵的“高光时刻”,“虽然没有露脸,但能够代表中国的科研工作者,在如此高规格的国际平台上发声,我感到无比光荣。”

官科也欣慰地打趣:“在会议现场,我甚至没有我的学生们‘出名’。”随着会议深入,各国专家纷纷认可并请求这些年轻的中国科研人员协助验证、调参和优化提案,“这充分体现了各国对我国科研人员集体能力与贡献的高度认可。我在其中,更多的是发挥‘黏合剂’的作用,把大家‘黏’在一起。”

经过与美国、瑞典、韩国、日本等国家的实测数据对比验证,我国主导的模型在融合各方观点后最终脱颖而出。这不仅是中国在支撑无线电规则制定的核心电波传播领域赢得的重大国际话语权,为全球干扰兼容性分析提供了关键依据,更将有力捍卫我国在2027年世界无线电通信大会上的国家频谱利益。

从伯明翰的IET创新巅峰领奖台,到日内瓦的ITU-R标准制定核心会场,TwinSWAN项目凝聚着中国科研团队的智慧与力量,在国际通信版图刻下耀眼中国坐标。

在通信领域深耕十余年,官科将团队比作通信系统中的基站,希望将人才辐射到世界的每一个角落。

“我会尽可能为学生们创造条件,托举他们‘走出去’开阔眼界,再‘引进来’,得到科研能力的全面提升。”官科之所以会这样做,源于自己的求学经历。

2002年,在中国铁路通信专家、北大教授钟章队的主持下,北交大建立了国内首个铁路数字移动通信系统(GSM-R系统)应用模拟实验室,致力于推动我国铁路通信数字化、网络化、智能化发展。

正是在这一年,官科考入北交大,就读于电子信息工程学院通信工程专业,乘上了通信领域飞速发展的东风。硕士研究生阶段,他师从钟章队教授,进一步开展铁路数字移动通信系统的研究。

“钟老师非常开明,鼓励我们到国外学习先进技术和理念。”官科回忆,2009年,在导师的推荐下,他获得了一项欧洲奖学金项目的资助,到西班牙马德里理工大学做半年的访问学生。初次到国外的访学经历,为官科开启了拓宽视野、放眼世界的大门。

钟章队以身作则,周末坚持看书学习、做科研。他勉励学生们:“我们现在的目标是赶超世界一流技术水平,如果对方选手休息时,我们也休息,那么赶超从何谈起?”

到了欧洲,官科对导师的话有了更深刻的理解,他也是这么做的。“欧洲的小伙伴们习惯性地享受美好周末时,往往中国留学生还在研究所里继续努力。”

博士研究生阶段,钟章队又将

“一个强大的科研团队,一定要做到‘顶天立地’。”

导师钟章队的话,激励着官科在永攀科研高峰的道路上,步伐坚定。他解释,“顶天”指的是要面向科学前沿、世界一流,和全球优秀的科学家共话先进技术的未来;而“立地”就是要将论文写在祖国大地上,一定要到铁路现场去解决实际问题的。

从学生时代到当导师、带团队,官科和导师以及同事们一起,脚步踏遍了全国各地。在郑西高铁联调联试期间,北交大研究员丁建文带着一众学生几乎“住”在了测试车上;为了采集数据和验证模型,教授艾渤带领研究生们遍访全国的铁路设计院,高铁行程数千公里。在大兴安岭和哀牢山的密林里,天气多变,为了顺利开展应急通信电波传播和无线信道的测量,科研团队要赶“天时”,“花几天甚至一个月时间去准备,搭建实验设备,留给我们的只有宝贵的半小时测试时间。大家尽可能克服一切困难,获取更多的测量数据。”官科说。

这些其实都是一代代铁路人的必修课。

铺就“无限可能”

官科送至德国布伦瑞克工业大学、西班牙马德里理工大学开展访问研究。

“出去就是要学本领,而不是取证书。”钟章队的教导,官科至今犹在耳畔。博士期间,他本可继续在马德里攻读,获得双博士学位,但钟章队认为,“学本领就要到最前沿的地方,为了事业奋斗,而不是学历镀金。”在导师的建议下,官科选择到德国从事射线追踪技术的研究。

正是这次际遇,为他日后和在团队的同事们攻克铁路通信领域关键技术奠定了基础。

官科介绍,铁路移动通信系统是保障铁路运输调度指挥、安全运行以及信息化服务的重要支撑技术。然而,铁路场景复杂多变,电力牵引架、路堑、横跨桥等结构,都会使电波在传播中受到损耗或衰落。“这导致传统的经验模型难以准确‘描绘’铁路场景的电波传播特性,也是制约铁路移动通信系统高质量发展的技术瓶颈。”他解读,射线追踪技术可以准确模拟电磁波在环境中的直射、反射、绕射、透射等各种电波传播机理,从而精准“描绘”出复杂铁路场景中的多径信道特性。

有了在国外访学的研究基础,2014年,官科博士毕业后加入北交大“轨道交通控制与安全”国家重点实验室,聚焦毫米波与太赫兹通信、轨道交通移动通信系统及射线追踪技术等,重点从事无线通信物理层关键技术研究。

为解决传统铁路网络规划优化中存在的痛点问题,顺应铁路数字化转型建设运维趋势,官科在钟

章队教授、艾渤教授的带领下,利用地理信息系统和建筑信息建模,建立了准确的铁路场景三维模型,自主研发了兼具稳定性、高效性的高性能射线追踪仿真算法,实现高精度的铁路场景无线覆盖预测。

高性能射线追踪仿真技术领域获得突破,团队自主研发了具有自主知识产权的高性能射线追踪平台——CloudRT。该平台拥有场景模型库、材料参数模型库、天线模型库等关键模型,支持5G以及未来6G毫米波与太赫兹无线通信系统的设计、研发与评估。

“平台能够搭建高精度的传播预测模型库,准确度较传统的经验模型有显著提升。”官科介绍,目前,该平台已有广泛应用——由国家铁路局用于边境地区无线覆盖与干扰分析,维护了我国铁路专用频率的国际用频权益;由中国移动用于上海、西安、广州等全国主要城市的5G无线网络规划,打破了国外商业软件长期的技术垄断;北京全路通信信号研究设计院将其用于京沈高铁等多条重要线路的无线网络优化中,有力保障了智能自动驾驶系统试验等高速铁路智能关键技术综合试验的开展……

2018年7月,CloudRT平台上线,目前全球已有超过100个国家和地区,1万多家知名企业、高校和科研院所使用。斩获IET卓越与创新奖的TwinSWAN项目,正是基于该平台研发。奖励委员会的颁奖词,道出了该成果的无限可能:“它的影响为未来无线通信在诸如智慧城市、智能交通系统等众多不同应用领域的进步铺平了道路。”

团队“顶天立地”

“20多年前,钟老师带领团队,在青藏铁路上一呆就是一年,克服了高原缺氧的困难,给包含500公里冻土的铁路装上了新型移动通信系统。我看过他们披着军大衣、在冰天雪地里吃盒饭的影像。”如今,追随着导师和前辈们的足迹,官科和同事们也传承了现代通信研究所的精神:能打硬仗,干起活来不讲条件。

在他们的科研工作中,成功不过一瞬,为了这一瞬,需要经历成千上万次的失败,以及成千上万次失败后的调整、优化。

官科和同事们正在为了提速“一瞬”而努力。

2019年9月,京雄城际铁路(北京段)进入试运营阶段前,中国铁建电气化局找到团队,希望把高性能射线追踪技术应用在京雄高铁的智能网络优化上。团队联合相关单位,将京雄高铁沿线的地理信息与无线电波信号,以数据形式建立建筑信息模型,首次把铁路联调联试从线下搬到线上。

“之前测试一条新线的通信信号,需要加装各种设备的轨道车,全线来回测试3个月。”团队成员弓子悦说,团队根据射线追踪仿真的

数据,对天线高度、天线下倾角与水平方位角、发射功率等无线空口参数进行数字化快速优化,施工过程中直接按照最优角度进行安装,大幅降低了后期调整和乘车测试的频率,仅用5天就完成了新建高铁的通信GSM-R测试。

更多的“中国速度”正在创造。今年夏天,北交大现代通信研究所深度参与合肥至新沂铁路安徽段——世界首条5G-R(新一代铁路5G专网)试验线的建设。团队采用基于高性能射线追踪技术构建的5G-R轨道交通电磁环境数字孪生系统,将铁路沿线地物、建筑、轨旁基站等实物高精度孪生到数字空间,实现对物理网络的精确映射与实时仿真,为试验段建设提供强大支撑。

这条具有里程碑意义的试验段铁路将于今年底开通。未来,5G-R网络技术有望在全国16万公里的铁路网络铺开,引领世界铁路通信新一轮变革。这将是中国又一次“领跑”世界的壮举。

“要成为领域内的行家。”这也是钟老师叮嘱官科的话。做“顶天立地”的行家,道路还很长,他和团队不会停下探索的脚步。