

自然科学奖公示信息模板

一、项目名称

非正交协作共生多址接入理论与方法

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省教育厅

提名意见：项目成果理论创新强，获陕西高等学校科学技术奖一等奖，成果发表于通信领域国际顶级期刊，获多位国内外院士等知名学者的高度认可，在多址接入技术领域产生了重要学术影响。项目成果应用背景明确，已应用于中国移动陕西有限公司、中电科二十二所、北京中兴协力等知名企业，具有重要的推广应用价值，已形成从基础理论、关键技术到初步应用的完整体系。提名该项目参评陕西省自然科学奖二等奖。

三、项目简介

项目组围绕国家重大需求及科技前沿，在国家 863 项目、国家科技重大专项、国家自然科学基金等支持下，针对传统正交多址接入系统“单域多址、分立交控”导致的通信节点间“竞争抗生、互扰互损”难题，发现了非正交协作共生接入机理，提出了多维资源协同互惠传输理论以及跨域资源动态博弈寻优方法，形成了从节点接入准则、到资源协同机制、再到业务需求与服务能力匹配范式的资源高效复用理论，实现了通信节点可靠非正交共生接入，倍增了有限资源的利用效率，为移动通信系统的节点互惠共存和资源互利共享，奠定了全新的基础理论框架与关键技术体系。主要科学发现及创新点如下：

1. 发现了非正交协作共生接入机理：针对时/频/空域正交多址接入资源利用维度单一，导致节点间资源竞争互扰、信号可达而信息不可达的问题，通过功率域非正交接入突破对资源的正交分配，厘清了多域资源服务能力融合与非正交共生机理；通过功率域边信息协作传输将“有害多址干扰”转化为“有利多径增益”，探明了协作共生节点间“化解干扰、利用干扰”的互惠作用机理，实现了从“抗干扰”到“用干扰”的资源互利共享范式革新。

2. 提出了多维资源协同互惠传输理论：针对时/频/空域正交多址接入系统多维资源能力扩展和协同利用机理认知不清晰，导致资源间协同效率低、资源可用而业务不可用的问题，利用功率域作为时间域、空间域资源能力的延伸媒介，提出了以功率域信息流叠加促进时间域融合、以功率域边信息协作激励空间域协同传输的互惠机制；通过业务驱动的信息流分层编码、节点间协同关系与信息传输模式选择，实现多维资源与差异化业务需求的弹性匹配，形成了多维资源协同互惠的共生传输新理论。

3. 提出了跨域资源动态博弈寻优方法：针对时/频/空域正交多址接入资源管控仅满足域内自治、难以完成资源跨域优化，导致系统资源占用冲突、覆盖可达而性能不可达的问题，构建了功率/时间/空间维度上的“尺度可伸缩、能力可置换”跨域资源优化框架；通过多维资源虚拟化映射与一体化表征，提出了跨域资源动态博弈与

适配方法，实现了从正交多址节点间“零和博弈”向非正交共生多址节点间“互利均衡”的资源管控范式转化，激励了节点性能的动态寻优，形成了共生系统的博弈进化新方法。

围绕以上科学发现，在移动通信资源共享新理论、新方法方面取得了一系列研究成果，形成了完备的非正交协作共生多址接入基础理论框架与关键技术体系。发表中科院一区/二区论文 68 篇，获得陕西高等学校科学研究优秀成果（陕西高等学校科学技术奖）一等奖、中国通信学会 ICCC 最佳论文奖、CENet 最佳论文奖、陕西省优秀博士学位论文奖等；授权国家发明专利 12 项；培养博士/硕士 15/69 名；项目完成人吕璐、叶迎晖、杨龙入选省部级人才；项目团队拟入选全国高校黄大年式教师团队。5 篇代表性论文 SCIE 被引 863 次、SCIE 他引 719 次，ESI 高被引论文 2 篇，单篇最高他引 183 次，获得张平院士、陆建华院士、H. V. Poor 院士等多位国内外知名学者的正面评价。项目成果已应用于中国移动通信集团陕西有限公司、中国电子科技集团公司第二十二研究所、北京中兴协力科技有限公司等知名企业，取得了良好的社会和经济效益。

四、客观评价

(1) 论文评价

[1] IEEE Fellow、IEEE 通信学会副主席、加拿大工程院院士、纽芬兰纪念大学 Octavia A. Dobre 教授在 IEEE TGCN 发文，高度评价了代表性论文 1 提出的 NOMA 辅助 CR 网络，认为该网络极大可能实现高效的频谱利用，极易满足 5G 大规模接入的频谱效率要求。

[2] IEEE Fellow、通信旗舰期刊 IEEE TCOM 主编 George K. Karagiannidis 教授和西南交通大学原副校长、国家 973 项目首席科学家、IEEE Fellow 范平志教授在 IEEE JSAC 中发文，对代表性论文 2 提出的基于协作多播的认知非正交多址接入方案进行了高度评价，称赞该方案能够有效提升授权用户传输的中断性能。

[3] 欧洲科学院院士、IEEE Life Fellow、南京邮电大学 Hikmet Sari 教授在 IEEE TVT 论文中充分肯定了代表性论文 4 提出的 NOMA 单多播系统，指出该系统可获得分集阶数等于多播用户的数量。

[4] IEEE/AAAS Fellow、休斯顿大学 Zhu Han 教授，IEEE Fellow、弗吉尼亚理工大学 Walid Saad 教授和 IEEE Fellow、IEEE Communications Surveys and Tutorials 期刊主编、南洋理工大学 Dusit Niyato 教授在 IEEE TMC 中高度评价了代表性论文 5 提出的新型信息中心异构网络框架，认为该框架下用户之间可以实现通信、计算和缓存资源的共享。

[5] 中国工程院院士、IEEE Fellow、北京邮电大学张平教授在 IEEE TVT 上发文，称赞代表性论文 3 从成功计算概率角度系统性的研究了 NOMA-MEC 的性能，并认为其所提的 NOMA 混合卸载策略能够降低计算卸载的中断概率。

(2) 科技查新

项目组委托冶金工业信息标准研究院对“非正交协作共生多址接入理论与方法”项目进行科技查新，该查新项目涉及的主要技术特征：1) 非正交协作共生接入机理；2) 多维资源协同互惠传输理论；3) 跨域资源动态博弈寻优方法。科技查新结论如下：在所查国内外文献中，可以看到项目所在单位及其合作单位技术人员发表了与非正交多址接入、虚拟化资源管控相关的文献，未见与所述“非正交协作共生多址接入理论与方法”内容相同的报道。该结论充分肯定了“非正交协作共生多址接入理论与方法”项目的先进性。

五、代表性论文专著目录

序号	论文（专著） 名称/刊名 /作者	年卷页码 （xx 年 xx 卷 xx 页）	发表 时间 （年 月 日）	国内 作者
1	Cognitive Non-Orthogonal Multiple Access with Cooperative Relaying: A New Wireless Frontier for 5G Spectrum Sharing/IEEE Communications Magazine/吕璐,陈 健,倪强,丁志国,江 海	2018 年 56 卷 188-195 页	2018 年 4 月 13 日	吕 璐 陈 健
2	Design of Cooperative Non-Orthogonal Multicast Cognitive Multiple Access for 5G Systems: User Scheduling and Performance Analysis/IEEE Transactions on Communications/吕 璐,陈健,倪强,丁志 国	2017 年 65 卷 2641-2656 页	2017 年 6 月 14 日	吕 璐 陈 健

3	<p>Secrecy-Enhancing Design for Cooperative Downlink and Uplink NOMA With an Untrusted Relay/IEEE Transactions on Communications/吕璐,江海,丁志国,杨龙,陈健</p>	<p>2020 年 68 卷 1698-1715 页</p>	<p>2020 年 3 月 18 日</p>	<p>吕璐 杨龙 陈健</p>
4	<p>Enhance Latency-Constrained Computation in MEC Networks Using Uplink NOMA/IEEE Transactions on Communications/叶迎晖,胡清阳,卢光跃,施丽琴</p>	<p>2020 年 68 卷 2409-2425 页</p>	<p>2020 年 4 月 16 日</p>	<p>叶迎晖 卢光跃 施丽琴</p>
5	<p>Resource Allocation for Information-Centric Virtualized Heterogeneous Networks with in-Network Caching and Mobile Edge Computing/IEEE Transactions on Vehicular Technology/周雨晨,于非,陈健,阔永红</p>	<p>2017 年 66 卷 11339-11351 页</p>	<p>2017 年 12 月 14 日</p>	<p>周雨晨 陈健 阔永红</p>

六、主要完成人情况

姓 名	吕璐	性别	男	排 名	1	国 籍	中国
通讯地址	陕西省西安市雁塔区太白南路 2 号					邮政编码	710071
工作单位	西安电子科技大学					行政职务	无

姓 名	叶迎晖	性别	男	排 名	2	国 籍	中国
通讯地址	陕西省西安市长安区西长安街 618 号					邮政编码	710121
工作单位	西安邮电大学					行政职务	无

姓 名	杨龙	性别	男	排 名	3	国 籍	中国
通讯地址	陕西省西安市雁塔区太白南路 2 号					邮政编码	710071
工作单位	西安电子科技大学					行政职务	研究生院副院长（挂职）

姓 名	卢光跃	性别	男	排 名	4	国 籍	中国
通讯地址	陕西省西安市长安区西长安街 618 号					邮政编码	710121
工作单位	西安邮电大学					行政职务	校长

姓 名	周雨晨	性别	女	排 名	5	国 籍	中国
通讯地址	陕西省西安市雁塔区太白南路 2 号					邮政编码	710071
工作单位	西安电子科技大学					行政职务	无

姓 名	陈健	性别	男	排 名	6	国 籍	中国
通讯地址	陕西省西安市雁塔区太白南路 2 号					邮政编码	710071
工作单位	西安电子科技大学					行政职务	系副主任

七、主要完成单位情况

单位名称	西安电子科技大学				
排 名	1	法定代表人	高新波	所 在 地	陕西西安
单位性质	高等院校			邮政编码	710126
通讯地址	陕西省西安市长安区西沣路兴隆段 266 号				

单位名称	西安邮电大学				
排 名	2	法定代表人	卢光跃	所 在 地	陕西西安
单位性质	高等院校			邮政编码	710121
通讯地址	陕西省西安市长安区西长安街 618 号				

八、完成人合作关系说明

西安电子科技大学和西安邮电大学分工明确、优势互补、联合攻关，基于非正交协作共生接入机理、多维资源协同互惠传输理论和跨域资源动态博弈寻优方法，在移动通信资源共享新理论、新方法方面进行了深入研究和广泛的实践，合作提出了多项创新技术和成果。

本项目完成人之间在该领域开展了长期深入的合作，吕璐和陈健合著论文《Cognitive Non-Orthogonal Multiple Access with Cooperative Relaying: A New Wireless Frontier for 5G Spectrum Sharing》、《Design of Cooperative Non-Orthogonal Multicast Cognitive Multiple Access for 5G Systems: User Scheduling and Performance Analysis》；叶迎晖和卢光跃合著论文《Enhance Latency-Constrained Computation in MEC

Networks Using Uplink NOMA》；吕璐、杨龙和陈健合著论文《Secrecy-Enhancing Design for Cooperative Downlink and Uplink NOMA With an Untrusted Relay》；周雨晨和陈健合著论文《Resource Allocation for Information-Centric Virtualized Heterogeneous Networks with in-Network Caching and Mobile Edge Computing》；吕璐、叶迎晖、卢光跃合作推进本项目成果在中国移动通信集团陕西有限公司、北京中兴协力科技有限公司的推广应用工作；吕璐、杨龙、陈健、周雨晨合作推进本项目成果在西安旭彤电子科技股份有限公司、中国电子科技集团公司第二十二研究所的推广应用工作。叶迎晖于2013年至2016年期间在西安邮电大学攻读硕士学位，指导教师为卢光跃教授，2016年毕业之后在西安电子科技大学攻读博士学位，指导教师为王勇超教授和李勇朝教授。吕璐、杨龙、周雨晨、陈健、王勇超及李勇朝均隶属西安电子科技大学空天地一体化综合业务网（ISN）全国重点实验室，在ISN全国重点实验室的统一安排下共同研究无线通信多址接入技术，在此期间，叶迎晖作为学生参与项目研究，并与卢光跃教授保持密切合作与交流，共同探讨多址接入技术领域潜在科学问题。叶迎晖于2020年6月获得博士学位，并于当年加入西安邮电大学，联合卢光跃教授丰富、完善之前的科研成果，并在中国移动通信集团陕西有限公司和北京中兴协力科技有限公司进行推广应用。