

陕西省自然科学奖公示信息

(2025年度)

一、项目基本情况

项目名称	无线内生物理层安全通信理论与方法
主要完成人	王慧明；王文杰；殷勤业
主要完成单位	西安交通大学

二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	陕西省教育厅	提名等级	<input checked="" type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖及以上
<p>提名意见：</p> <p>无线通信安全是国家在 5G 时代的信息部署中重要的一环，事关国家信息安全运行。项目针对无线通信安全中传输媒质开放性带来的问题，系统地提出了无线空口内生安全理论与方法，在理论研究、技术开发等方面取得了重大进展，弥补了无线通信的安全短板，在国内处于领先水平。</p> <p>项目紧密围绕空口内生安全通信理论与方法制定研究计划，针对内生安全调制信号设计和无线资源优化分配这一核心问题，系统地研究单用户、多用户以及多节点协作等应用中的无线内生安全通信理论与方法。项目共发表论文 100 余篇，被 SCI 检索 82 篇，均发表在国际权威 IEEE 期刊上，获得国际会议最佳论文奖两项。出版英文专著一部，参与编写由美国科学与工程院院士主编的英文专著一部。成果申请国家发明专利 25 项，授权 15 项，授权国际专利 3 项。</p> <p>项目对无线通信安全的增强具有重要的理论价值和技术实现指导。根据该项目所取得的理论技术成果，提名其申报陕西省自然科学一等奖。</p> <p>说明：省科学技术奖一、二等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。</p>			

二、提名意见（适用于专家提名）

姓 名			
专家类型	<input type="checkbox"/> 国家最高科学技术奖获得者 <input type="checkbox"/> 中国科学院院士 <input type="checkbox"/> 中国工程院院士 <input type="checkbox"/> 国家科学技术奖获奖项目第一完成人（需注明获奖等次） <input type="checkbox"/> 省最高科学技术奖获奖人（或 xxxx 年省科学技术最高成就奖、xxxx 年基础研究重大贡献奖获奖人） <input type="checkbox"/> Xxxx 年省科学技术奖第一完成人（需注明获奖等次）	提名等级	<input type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖及以上
责任专家	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
提名意见：			
说明：省科学技术奖一、二等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。			

三、项目简介

（限 2 页）

由于无线通信物理层媒质的开放性和电磁信号传播的广播特性，暴露在传播环境中的无线信号很容易被第三方截获和窃听，成为无线通信安全最主要的短板和瓶颈。近年来兴起的无线物理层安全通信理论是直接针对无线传输媒质开放性而提出的有效应对手段。不同于基于计算复杂度理论的加密技术，无线物理层安全通信从电磁波传播的自然规律入手，充分利用无线通信的内生安全属性，使目标接收机可靠地解调而潜在的窃听者无法正确解码信号，实现不依赖于保密参数或共享密钥而降低信息泄漏的风险，为增强无线通信中的信息安全开辟了新途径。

信息论的深入研究表明，多天线无线通信具备大幅增强物理层通信安全性的潜力。然而，如何设计多天线安全调制信号和优化分配无线资源以真正发挥其潜力，是这一研究领域面临的核心问题。本项目历时 8 年，在国家自然科学基金、863 项目等多项项目支持下，围绕多天线无线物理层增强安全通信理论与方法展开深入的研究，取得了如下创新成果：

成果一：发展完善了基于“信息论安全准则”的多天线物理层安全通信理论，提出了集中式和分布式多天线安全调制信号设计和无线资源分配联合优化方法，解决了以安全通信为目标的信号设计和资源分配问题。

成果二：建立了基于随机几何理论的多用户多天线传输安全性能评估体系，提出了编码、功率和谱效率联合自适应安全通信方案和接入策略，实现了无线网络安全吞吐量最大化。

成果三：创立了分布式协作“联合中继-阻塞”安全通信理论，系统地提出了联合协作波束形成和协作阻塞安全通信方法，相对于传统理论成倍提高了安全通信性能。

上述成果系统地解决了多天线无线物理层增强安全通信的问题，弥补了无线通信的安全短板。共发表论文 100 余篇，被 SCI 检索 82 篇，均发表在国际权威 IEEE 期刊上，获得 IEEE ICC'14 和 WCSP'11 最佳论文奖。出版英文专著一部，参与编写由美国科学与工程院院士主编的英文专著一部。成果申请国家发明专利 25 项，授权 15 项。

成果获得 Web of Science 引用 3707 余次，SCI 他引 3010 余次。包括美国科学与工程院、英国皇家工程院、加拿大工程院、中国科学院、中国工程院等 10 余位院士，以及 IEEE Trans. Com 主编、IEEE Trans. Wireless Com 主编、IEEE 信息论协会和 IEEE 通信协会主席等 30 余位 IEEE Fellow 对成果进行了正面引用和评价。项目第一完成人因上述贡献，担任 IEEE 旗舰期刊 IEEE Trans. Com 编委，并获得“IEEE 通信协会亚太最佳青年研究者奖（IEEE ComSoc Asia-Pacific Best Young Researcher Award）”（每年亚太区仅 1 人获奖）和“中国通信学会首届青年科技奖”。理论成果应用于 OPPO 广东移动通信有限公司、西安华讯天基通信技术有限公司、中国人民解放军 6905 厂等军民融合领域。

四、客观评价

【限 2 页。围绕科学发现点的原创性、公认度和科学价值进行客观、真实、准确评价。填写的评价内容要有客观依据，主要包括国内外同行在重要学术刊物（专著）和重要国际学术会议等公开发表的学术性评价意见，国内外重要科技奖励等，可在附件中提供证明材料。非公开资料（如私人信函等）不能作为评价依据。】

围绕项目主要创新成果的评价为：

成果一：

1，加拿大工程院院士、IEEE Transactions on Communications 前任主编、德国埃朗根纽伦堡大学 Robert Schober 教授，IEEE Transactions on Wireless Communications 前任主编、美国密苏里科技大学 Chengshan Xiao 教授和 IEEE 信息论协会前主席、美国南加州大学 Giuseppe Caire 教授等 3 位 IEEE Fellow 合作发表在 2016 年 7 月 IEEE Transactions on Information Theory 上的论文引用了 2 篇论文，指出“**提出了多天线安全传输技术透彻的(thorough)分析和优化框架**”。

2，英国皇家工程院院士、南安普顿大学 Lajos Hanzo 教授、IEEE Fellow、伦敦大学玛丽皇后学院 Arumugam Nallanathan 教授及合作者发表在 2017 年 12 月 Proceedings of the IEEE 上的长篇综述论文引用了 2 篇论文，指出“**最大化了安全需求和速率，并给出了最优功率分配的闭式解**”。

成果二：

1，IEEE 通信学会董事会前理事、IEEE Fellow 评审委员会前委员、美国里海大学、Chengshan Xiao 教授，IEEE 信息论协会前主席、美国南加州大学和德国柏林技术大学双聘教授 Giuseppe Caire，英国伦敦学院大学 Kai-Kit Wong 教授以及东南大学高西奇教授等四位 IEEE Fellow 合作发表在 2018 年 4 月 IEEE Journal on Selected Areas in Communications 的综述论文集中引用了 3 篇论文并进行了详细描述，指出我们“**分析并最大化整网安全吞吐量**”、“**基于随机几何框架，推导了保密中断概率，并提出了能够获得最大全网安全吞吐量的全双工接收机部署密度设计方案**”和“**提出了一种全/半双工接收机混合部署策略，并分别优化了网络安全连接数、安全吞吐量和安全能效**”。

2，美国科学与工程院两院院士、普林斯顿大学 H. Vincent Poor 教授和英国皇后大学、澳大利亚悉尼技术大学的合作者发表在 2017 年 11 月 IEEE Transactions on Communications 的论文引用了 2 篇论文，指出我们“**借助随机几何理论对窃听者的未知性进行了建模**”。

3，IEEE Fellow、美国德州奥斯汀大学 Robert Heath 教授，IEEE Fellow、英国伦敦学院大学 Kai-Kit Wong 教授及合作者发表在 2017 年 5 月 IEEE Transactions on Wireless Communications 的论文引用了 2 篇论文，指出“**为 K 层异构蜂窝网络提出了一种基于阈值的安全移动接入机制**”。

成果三：

1, 加拿大工程院院士、IEEE Life Fellow、加拿大滑铁卢大学教授 Jon W. Mark 和加拿大工程院院士、IEEE Fellow、Sherman Shen 教授团队在研究成果中多次引用和描述本研究成果, 其发表在 2013 年 11 月 IEEE Journal on Selected Areas in Communications 上的论文引用了所述成果, 指出我们利用分布式波束形成提高源节点的安全性, 并在该文中采用了本文提出的部分方法。发表在 2015 年 8 月 IEEE Transactions on Wireless Communications 上的论文进一步引用创新点 (3) 中的 3 篇论文, 指出我们的安全传输机制可以用来保护协作阶段的信号传输。Jon W. Mark 教授还将上述引用和评价写入其由 Springer 出版的著作《Security-aware Cooperation in Cognitive Radio Networks》第四章中。

2, IEEE Communications Letters 前主编、IEEE Fellow George K. Karagiannidis 教授及其合作者发表在 2014 年 9 月 IEEE Transactions on Communications 上的论文引用了 3 篇论文, 指出我们的工作“提出了联合波束形成阻塞方案, 是多天线协作传输系统物理层安全的一个**突破**

(breakthrough)”。其在 2016 年 1 月发表在 IEEE Transactions on Communications 上的论文再次引用了其中 4 篇论文作为协作物理层安全的代表性工作。

五、代表性论文专著目录
(不超过 8 条, 其中代表性论文不超过 5 篇, 代表性专著不超过 3 部)

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	通讯作者	第一作者	国内作者	他引总次数	检索数据库	知识产权是否归国内所有
1	Distributed beamforming for physical-layer security of two-way relay networks	IEEE Transactions on Signal Processing	Hui-Ming Wang, Qinye Yin, and X.-G. Xia	2012 年第 61 卷第 5 期 3532-3545 页	2012 年 7 月	Hui-Ming Wang	Hui-Ming Wang	王慧明, 殷勤业	136	SC I	是
2	Hybrid cooperative beamforming and jamming for physical-layer security of two-way relay networks	IEEE Transactions on Information Forensics & Security	Hui-Ming Wang, Miao Luo, Qinye Yin, and X.-G. Xia	2013 年第 8 卷第 12 期 2007-2020 页	2013 年 12 月	Hui-Ming Wang	Hui-Ming Wang	王慧明, 罗苗, 殷勤业	115	SC I	是
3	Secrecy sum rate maximization in non-orthogonal multiple access	IEEE Communications Letters	Y. Zhang, Hui-Ming Wang, Q. Yang and Z. Ding	2016 年第 20 卷第 5 期 930-933 页	2016 年 5 月	Hui-Ming Wang	Yi Zhang	张艺, 王慧明, 杨骞	118	SC I	是
4	Physical layer security in heterogeneous cellular networks	IEEE Transactions on Communications	Hui-Ming Wang, Tong-Xing Zheng, J. Yuan, D. Towsley, and M. H. Lee	2016 年第 64 卷第 3 期 1204-1219 页	2016 年 3 月	Hui-Ming Wang	Hui-Ming Wang	王慧明, 郑通兴	66	SC I	是

5	A Robust Generalized Chinese Remainder Theorem for Two Integers	IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY	Xiaoping Li, Xiang-Gen Xia, Wenjie Wang, and Wei Wang	2016 年第 62 卷第 12 期 7491-7504 页	2016 年 12 月	Wenjie Wang	Xiaoping Li	李小平, 王文杰, 王伟	13	SCI	是
6	Physical Layer Security in Random Cellular Networks	Springer	Hui-Ming Wang, Tong-Xing	专著	2016	王慧明	王慧明	王慧明, 郑通兴	-	-	是
7											
8											
合 计											
补充说明 (视情填写):											

六、主要完成人情况表

姓 名	王慧明	排 名	1
行政职务	教育部重点实验室副主任		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 项目主要完成人，全国百优、教育部新世纪、霍英东基金等多项支撑项目的支持人，6 篇代表性论文/专著的第一作者或通信作者。发展完善多天线物理层增强安全通信理论、研究基于随机几何理论的多小区多用户安全通信方法，提出“联合中继-阻塞”协作安全通信理论和方法，对成果全部创新点有重要贡献。			

姓 名	王文杰	排 名	2
行政职务	信通学院院长		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 支撑项目国家自然科学基金的主持人，1 篇代表性论文的第一作者和通信作者，参与研究多天线物理层增强安全通信理论和协作安全通信方法，提出基于中国余数定理的物理层安全通信方法，对成果一做出贡献。			

姓 名	殷勤业	排 名	3
行政职务			
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>教育部博士点基金主持人，3 篇代表性论文的共同作者。发展完善多天线物理层增强安全通信理论、提出多天线跳空安全通信方法，对成果一做出贡献。</p>			

七、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
对本项目主要学术贡献：	
本项目唯一支持完成单位。	

单位名称	
对本项目主要学术贡献:	

完成人合作关系说明

本成果 3 位完成人全部来自于西安交通大学同一课题组。团队 3 人具有多项国家和企业课题合作，具有坚实的合作基础。

2011-2013 年,国家自然科学基金面上项目“基于无线信道特征的物理层安全通信关键技术研究”，殷勤业、王慧明是主要完成人；

2023 年王慧明获得全国优秀博士学位论文，殷勤业是指导教师；

2012-2015 年,王文杰主持国家自然科学基金面上项目“基于鲁棒的中国余数定理的无线安全传输方法研究”，殷勤业是主要完成人；

2017.01-2020.12，王慧明主持国家自然科学基金面上项目“基于多节点协作的无线通信物理层安全传输关键技术研究”，王文杰是主要完成人。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果	证明材料
1	项目合作	殷勤业、王慧明	2011-2013	国家自然科学基金面上项目“基于无线信道特征的物理层安全通信关键技术研究”	附件
2	项目合作	王文杰、殷勤业	2012-2015	国家自然科学基金面上项目“基于鲁棒的中国余数定理的无线安全传输方法研究”	附件
3	项目合作	王慧明、王文杰、	2017-2020	国家自然科学基金面上项目“基于多节点协作的无线通信物理层安全传输关键技术研究”	附件
4	科技奖励	王慧明(1) 王文杰(2) 殷勤业(3)	2019	陕西高等学校科学技术奖励 多天线无线物理层增强安全通信理论与方法	附件
5	论文	王慧明(1) 殷勤业(3)	2012.07	“Distributed Beamforming Physical-Layer of Security Two-Way Relay Networks.” IEEE Transactions On Signal Processing, vol. 61, no.5, pp. 3532-3545, Jul. 2012.	代表性论文
6	论文	王慧明(1) 殷勤业(3)	2013.12	“Hybrid cooperative beamforming and jamming for physical-layer security of two-way relay networks,” IEEE Transactions on Information Forensics & Security, vol.8, no.12, pp.2007-2020, Dec2013.	代表性论文
(不限条目)					