附件：

**推荐江苏省教育科学研究成果奖（高校自然科学类）公示**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 异构多天线无线信息传输理论、协议和技术 |
| 主要完成人 | 李春国、宋康 |
| 主要完成单位 | 东南大学 |
| 项目简介：存在通信干扰条件高效的无线信息传输已经成为我国经济社会发展的主要技术需求之一，无线通信系统中的强干扰信号的存在导致通信性能急剧恶化、服务半径明显缩小、用户关联困难、信道估计误差很大、集中式方式实现难等一系列技术难题，为突破这些技术难题，在多项国家自然科学基金支持下，充分挖掘中继辅助的旁听干扰新型传输协议潜在增益的理论分析和优化方法、最优化收发机联合设计，研究大规模多天线传输的导频设计和接收机信道估计技术，设计基于博弈论理论的异构无线通信网络的物理层收发技术的分布式实现方式，完成异构网络的干扰解决、携能信息传输的发送预处理方法设计，取得一系列原创性理论和技术成果，形成较为完整的异构多天线无线信息传输理论和系统架构系统。主要研究成果概述如下：1、针对无线信道的强干扰信号急剧恶化通信频谱效率和能量效率以及显著缩小小区覆盖半径的技术难题，充分挖掘空间自由度，成功设计出新型的中继辅助的多小区信号发射新协议，完成自适应非线性接收架构设计，优化多小区发射技术和自适应非线性接收技术联合调整，理论分析出最优能量效率和频谱效率性能，显著提升干扰条件下小区覆盖半径，突破干扰信号的无线传输效率低的技术难题。2、针对大规模多天线无线传输的信道估计难、用户关联性能差的技术难题，基于确定性等价原理重新设计出一套新型的导频序列，完成导频去污染技术设计，优化得到接收机信道估计的最优方法，提出适合快时变信道的基于流形的预编码设计方法，设计出高能效的用户关联新策略，满足上行链路和下行链路业务不对称的服务需求，完成大规模多天线在中继辅助下无线信息传输的频谱和能耗变化规律的理论分析，显著提升了大规模多天线信道估计精度，明显增加了大规模多天线用户关联的能效性能。3、研究了异构无线通信网络中干扰解决问题，提出面向分层异构通信网络的干扰对齐预编码方法，设计出面向设备到设备异构通信网络的资源最优化技术的分布式方式，并理论分析基于博弈论的分布式实现方式的收敛特性和最有特性，提出基于云无线接入网络架构的射频单元最优选择技术并完成相应的量化精度自适应记载优化设计，成功设计出无线充电和无线信息传输同时进行的新颖异构网络的协同预编码技术，有效抑制无线干扰信号，提升异构多天线无线传输能量效率性能和误码率性能。本项目在IEEE等国际刊物上发表核心SCI论文33篇，相关理论成果受到业内较为广泛的正面评价，被国际上若干知名学者引用。所发表论文共被他引102次，SCI他引68次，其中10篇代表作他引38次，SCI他引18次。多项成果开始被应用到新一代无线传输系统中。由于该领域的突出贡献，第一申报人应邀担任5个国际知名SCI期刊的编委。通过所承担的国家自然科学基金等项目的实施，成果显著提升异构多天线无线信息传输的频谱效率、能量效率和误码率性能，技术水平业内领先，为推进我国无线信息传输的技术研发做出了积极贡献。 |
| 客观评价和应用情况**创新成果1的学术评价与应用**印度学者H. Katiyar在2016年国际SCI期刊《International Journal of Electronics and Communications》认为我们设计的功率加载技术“确实实现了协作中继网络的最小能量消耗”，杭州电子科技大学章坚武教授在《研究与开放》期刊中评价我们的技术“有效完成信源和中继最优发射功率，并理论证明了最佳功率比例因子自适应于两跳信道的瞬时增益比”，意大利学者G. Nardini等人在2016年国际SCI期刊《Wireless Networks》评价我们的最大化能效的技术确实导致基站能耗最小(results in minimizing the energy consumed by the eNB)，印度工学院学者、IEEE高级会员A. K. Chaturvedi在2017年业内最高国际刊物之一《IEEE Transactions on Vehicular Technology》中多次引用我们的研究成果，我们的技术创新激发了他们的灵感，并在我们的研究成果基础上进行技术修改和再创新。加拿大知名学者、IEEE院士、新世纪中继无线通信的开辟者H. Yanikomeroglu在业内国际最高期刊之一《IEEE Transactions on Wireless Communications》认为我们的技术使得两个传输方向的链路可以配置任意多跟收发天线，土耳其学者、IEEE高级会员在2015年业内最高国际期刊之一《IEEE Transactions on Wireless》认为我们另辟蹊径设计出多天线协作网络的高能效功率分配方案，并完成多天线无线信道分解成几个单输入单输出子信道，加拿大学者、IEEE高级会员Jun Cai教授在2016年《IEEE Systems Journal》评价我们的技术确实提升系统频谱效率，香港城市大学Shu-Hung Leung在2015年业内最顶尖国际期刊之一《IEEE Transactions on Signal Processing》评价我们设计出的联合信源和中继最优预编码技术确实获得了单天线分布式协同中继的接收信噪比最优值。来自电子科技大学的团队在AEU-International Journal of Electronics and Communications期刊发表论文同时引用了本项目2篇，将我们的工作作为半双工中继经典代表论文（regarded as a successful paradigm）、节点自干扰消除经典代表论文（antenna selection can be implemented in the INI suppression），这篇论文揭示了MIMO全双工放大转发网络中最优自干扰消除预编码矩阵设计及其所能达到的性能极限。来自南京理工大学的团队在ICCC会议论文中引用本项目论文作为协作中继系统经典论文（relaying is an effective technique for improving communication reliability as well as transmission range extension），这篇文章揭示了采用无人机移动通信系统的最优比特分配方案。韩国延世大学团队将我们的工作作为干扰消除经典文章（A variety of interference coordination schemes, such as … interference cancellation, have been investigated）,该论文揭示了异构MU-MIMO系统中未知干扰对于系统性能的影响。土耳其中东科技大学团队肯定了我们所做工作对于系统信干噪比性能的提升（higher signal-to-noise-plus-interferenceratios (SINR) can be achieved when interference cancellation and avoidance techniques are properly employed），该论文对基于密度感知的移动通信系统进行了综述。南京邮电大学校长杨震教授团队在国际期刊《International Journal of Communications Systems》中把我们的研究方法引入空分多址的高能效功率分配技术设计当中。 **创新成果2的学术评价与应用**加拿大学者、IEEE高级会员Wessam Ajib在2016年国际知名SCI期刊《IEEE ACCESS》中评价我们的技术完成了训练序列的时序时间、训练序列的发射功率以及数据发送功率的理论推导，最优化获得频分复用大规模多天线系统的能量效率性能最佳值。中国台湾学者在欧洲SCI期刊《Computers and Electrical Engineering》中认为我们的技术确实能够在频分复用大规模多天线系统的下行链路存在天线相关场景下有效工作。解放军理工大学在[2016年IEEE第16届国际会议International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)](https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=7736510)上评价我们的大规模天线的中继传输技术确实扩大了小区覆盖半径、提升了系统吞吐量，从而吸引了宽广的研究兴趣。桂林电子科技大学的学者在2017年国际期刊《Journal of Communications and Information Networks》多次引用我们的成功，并评价我们的大规模多天线用户关联和功率加载技术成功实现系统的高能量效率性能。土耳其学者F. D. Durand在2017年IEEE年会Wireless Communications and Networking Conference评价我们的多天线无线通信的导频设计方法保证了频分复用的下行链路的服务质量要求。印度学者Prasad Rayi在2017年国际会议IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Networking (ICSCN-2017)上评价我们的大规模多天线系统的功率分配技术提升了系统的能量效率和频谱效率，这是引人注目的(very attractive)。**创新成果3的学术评价与应用**华中科技大学的学者在2017年欧洲SCI期刊《Elsevier Future Generation Computer Systems》评价我们的技术有效节约了异构无线通信系统的能耗，华南大学在2016年国际会议IEEE International Conference on Internet of Things上评价我们的异构网络功率分配技术引人注目(An attractive approach)，美国普林斯顿大学、美国两院院士Vicent Poor教授在2017年国际知名期刊《IEEE Journal on Selected Areas in Communications》上评价我们的安全通信中无线充电技术解决了系统存在多个无线无线节点和一个窃听用户时的安全通信与无线信息传输问题，他的团队还在2017年业内最高国际期刊之一《IEEE Transactions on Wireless Communications》杂志上多处引用我们的无线携能与安全通信的异构网传输技术，认为我们的技术具备鲁邦特性，实现了异构通信的最高安全传输速率。深圳大学学者、IEEE高级会员Bin Liao等人在2017年业内最高期刊之一《IEEE Transactions on Vehicular Technolgoy》上认为我们的无线充电与安全通信的技术全面的研究了无线携能的异构通信网的安全问题。芬兰学者在2017年国际SCI期刊《IEEE ACCESS》中评价我们的异构通信网的安全传输技术满足了系统无线能量收集最低需求和安全传输速率最小门限要求，实现了系统能耗最小的良好性能。英国学者Zheng Chu在2017年国际知名SCI期刊《IEEE Systems Journal》上评价我们的异构通信网的安全通信技术具有智能化的低复杂度良好特性，并能够有效对付信道状态信息具有误差的实际工程需求。广州大学的学者在2017年国际知名SCI期刊《IEEE Transactions on Communications》认为我们的异构通信的无线携能技术吸引了众多注意力(Attracted much attention)。加拿大知名学者、IEEE高级会员Yingjun Zhang和北京大学、国家杰青宋令阳团队联合团队在2018年国际知名投稿论文预发表网站arxiv.org上评价我们的异构通信网的超密集用户关联策略是最有效的技术措施之一(one of the most promising solutions)。南通大学的学者在2018年国内核心期刊《通信学报》中认为我们的异构通信网的高能量功率分配技术具有成本低、应用灵活方便的良好特点。巴基斯坦学者在2017年的土耳其英文SCI期刊《Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences》中评价我们提出的分层预编码的异构通信技术在多小区环境中确实实用。哈尔滨工程大学的学者在2018年国际期刊《International Journal of Distributed Sensor Networks》中评价我们的异构通信网的分层预编码方法在不干扰第一次用户的前提下为第二次用户有效提供了数据传输空间自由度。每个俄克拉荷马州立大学的学者在欧洲SCI期刊《Elsevier Physical Communications》杂志上评价我们的分层异构预编码发射技术是该领域的很早研究(earlier approach)。英国知名学者、IEEE院士L. Hanzo团队联合美国犹他州立大学团队预发表在arxiv公开学术网站上评价我们提出的协作机制和鲁邦的波束方案提高了异构通信网的安全性能。沙特阿拉伯学者在2018年欧洲Elsevier系列SCI期刊《Journal of Network and Computer Applications》上认为我们设计出的异构通信网中无线充电的安全通信的协作预编码技术是很好的最近研究成果(a promising recent work)。华南理工大学在2018年业内最高刊物之一《IEEE Transactions on Vehicular Technology》上认为我们提出的基于粒子群优化的多尺度稀疏信道参数估计技术以正交频分复用的方式实现了可靠的高数据传输速率(implement reliable high data rate communications)。美国弗吉尼亚工学院联合法国华为研究所在2018年国际知名论文预发表arxiv网站上认为我们的超密集异构通信网的以用户为中心的资源管理设计方法给该系统提供了研究框架(proposed a user-centric resource allocation framework for ultra-dense heterogeneous networks)。 |
| 论文、论著目录和（或）主要知识产权证明目录（按照推荐书表格列出主要内容，不需再做表格）1 Spectral-efficient cellular communications with coexistent one- and two-hop transmissions, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Chunguo Li, Peng Liu, Chao Zou, Fan Sun, John M. Cioffi, and Luxi Yang 2016年6５卷6765-6772页2 Overhearing protocol design exploiting inter-cell interference in cooperative green networks, IEEE Trans. Vehicular Technology, Chunguo Li, Shengli Zhang, Peng Liu, Fan Sun, John M. Cioffi and Luxi Yang, 2016年６５卷441-446页3 Multiuser overhearing for cooperative two-way multiantenna relays，IEEE Trans. Vehicular Technology, Chunguo Li, Hyun Jong Yang, Fan Sun, John M. Cioffi and Luxi Yang, 2016年65卷 3796-3802页4 Adaptive overhearing in two-way multi-antenna relay channels, IEEE Signal Processing Letters, Chunguo Li, Hyun Jong Yang, Fan Sun, John M. Cioffi, and Luxi Yang, 2016年23卷117-120页5 Interference-tolerating transmission protocol design for three-cell systems, Transactions on Emerging Telecommunications Technologies，Chunguo Li, Peng Wang, Fan Sun, John M. Cioffi, and Luxi Yang, 2016年27卷 474-483页6 Low computational complexity design over sparse channel estimator in underwater acoustic OFDM communication system, IET Communications, Chunguo Li, Kang Song, and Luxi Yang, 2017年11卷 1143-1151页7 Parameter estimation for multi-scale multi-lag underwater acoustic channels based on modified particle swarm optimization problem, IEEE ACCESS, Xing Zhang, Kang Song, Chunguo Li, and Luxi Yang, 2017年 5卷4808-4820页8 Antenna selection for two-way full duplex massive MIMO networks with amplify-and-forward relay, Science China Information Sciences, Kang Song, Chunguo Li, Yongming Huang, Luxi Yang, 2017年 60卷1-10页9 Performance Analysis of Heterogeneous Networks with Interference Cancellation, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Kang Song, Baofeng Ji, Yongming Huang, Ming Xiao, Luxi Yang, vol. 66, no. 8, pp. 6969-6981, Aug. 201710 Optimal remote radio head selection for cloud radio access networks, Science China Information Sciences, Chunguo Li, Kang Song, Dongming Wang, Fu-Chun Zheng, and Luxi Yang, vol. 59, no. 10, pp. 1-12, Oct. 2016 |
| 完成人情况： （摘自“完成人情况表”中的部分内容，公示姓名、排名、行政职务、技术职称、工作单位、完成单位、对本项目技术创造性贡献）样式如下：1. 姓名，排名1，主任，教授，工作单位：清华大学，完成单位：北京大学，是该项目主要负责人，对发现点1、2、3均有重要贡献，具体\*\*\*\*1. 李春国，排名1，无行政职务，教授，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，是该项目的主要负责人，对发现点1、2、3均有重要贡献，具体包括：代表论文[1-6、10]的第一作者，代表论文[7]的通信作者，代表论文[8]的共同作者。工作量占本人总工作量的70%。突破了干扰受限的多小区与多中继新型异构系统的发射协议设计和旁听干扰的预编码协同设计技术难题，提出了云接入异构网络的射频单元管理和前向回程链路比特自适应加载技术；理论分析出大规模多天线技术的最优导频设计、导频去污染优化以及信道估计设计方法；完成了异构无线能量和无线信息传输的协同预编码设计、功率加载、用户关联、干扰对齐等技术的最优化设计和理论性能分析，大幅提升了异构多天线无线通信系统的能量效率和频谱效率。
2. 宋康，排名2，无行政职务，讲师，工作单位：青岛大学，完成单位：东南大学，是该项目的主要完成人，第一个创新成果的主要贡献者之一，代表论文[8][9]的第一作者，代表论文[10]的共同作者。针对异构网络中宏跨层干扰这一技术难题，充分利用宏基站端天线资源，设计出一套基于宏基站端干扰消除的基带信号处理算法，显著降低小小区用户接收干扰水平，同时降低了系统的终端概率和平均误码率；针对多天线异构全双工网络中低复杂度的传输方案设计这一技术难题，设计出了一套基于天线选择的低复杂度传输方案，提出以最大接收信噪比为全双工网络中天线选择准则，充分利用网络中各个节点多天线所带来的分集增益实现满分集度传输，同时降低了传输方案的复杂度。
 |
| 合作关系证明（如有就提供） |

|  |
| --- |
| 知情同意证明（如有就提供）： （指未列入项目主要完成人的代表性论文（专著）第一作者及通讯作者出具的知情同意证明，扫描图片即可） |