

甘肃省大学生创新创业训练计划 项目申报表 (创新训练项目)

推 荐 学 校 : 西北师范大学

项 目 名 称 : 5G 异构网解耦级联方案研究

所属一级学科名称: 计算机科学与技术

项 目 负 责 人 : 纪澎善

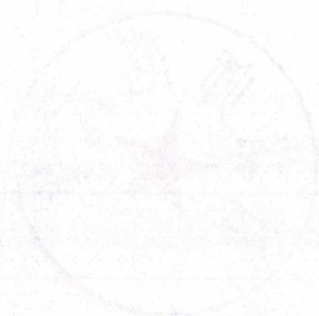
联 系 电 话 : 13038786785

指 导 教 师 : 贾向东 教授

联 系 电 话 : 18951650069

申 报 日 期 : 2018 年 4 月

甘肃省教育厅 制
二〇一八年四月



项目名称		5G 异构网解耦级联方案研究					
项目所属一级学科		计算机科学与技术					
项目实施时间		起始时间：2018 年 6 月 完成时间：2019 年 6 月					
项目简介 (100 字以内)		为了解决当前 4G 带来的“盲区”和“忙区”问题，项目拟对未来 5G 由多种小区所构成的 HetNets 进行研究。特别地，对于边缘用户的 UA 问题将变得至关重要。通过采用随机几何方法，项目拟研究上下行解耦链路的 HetNets 频谱效率、覆盖概率等性能，以此达到提升小区吞吐量、改善用户 QoS 的目的。					
申请人或申请团队		姓名	年级	学号	所在院系/专业	联系电话	E-mail
	主持人	纪澎善	2014 级	201471010313	计算机科学与工程学院/物联网工程	13038786785	1508567786@qq.com
	成员	胡海霞	2014 级	201471010311	计算机科学与工程学院/物联网工程	15769390917	939855314@qq.com
		路 艺	2014 级	1440740053	数学与信息技术学院/物联网工程	18761607989	465561937@qq.com
		范巧玲	2017 级	2017221668	计算机科学与工程学院/物联网工程	18194230655	965347284@qq.com
		陈玉宛	2017 级	2017221720	计算机科学与工程学院/物联网工程	15002576731	1256373765@qq.com
		徐文娟	2017 级	2017221695	计算机科学与工程学院/物联网工程	17393188189	1154987160@qq.com
		杨小蓉	2017 级	2017211656	计算机科学与工程学院/物联网工程	18194257354	954016199@qq.com
指导教师	第一指导教师	姓名	贾向东		单位	西北师范大学	
		年龄	47		专业技术职务	教授	
	主 要	一、 主持的科研项目 [1] 国家自然科学基金项目“面向无线传感器网络的源-信道-网络联合无线传输理论研究”，项目编号：61261015； [2] 国家自然科学基金项目“面向 5G 的毫米波 FDD 大规模 MIMO 系统信道估计方法和导频序列研究”，项目编号：61561043； [3] 甘肃省杰出青年基金项目“基于压缩感知和 LDPC 网络					

	科 研 成 果	编码的无线传感器网络高效传输方案设计与分析”，项目编号：130RJDA007。 [4] 甘肃省高等学校基本科研业务费专项资金项目“面向 5G 的 Massive MIMO 毫米波段信道建模及其估计”。 二、 发表的学术论文(部分) [1] Xiangdong Jia, Mangang Xie, Meng Zhou, et al. D2D Underlay Massive MIMO Hybrid Networks with Improved Physical Layer Secrecy and Energy Efficiency[J]. <i>International Journal of Communication Systems</i>, 2017, 30 (13): e3272. (SCI) [2] Xiangdong Jia, Meng Zhou, Longxiang Yang, et al. Stochastic Geometry Based Asymptotic Analysis for Two-Tier HetNets with Massive MIMO Relay Employing MRC/MRT and ZF Processing[J]. <i>Transactions on Emerging Telecommunications Technologies</i>, 2017, 28: e3098. (SCI) [3] Xiangdong Jia, Meng Zhou, Mangang Xie, et al. Effect of Low-Resolution ADCs and Loop Interference on Multi-User Full-Duplex Massive MIMO Amplify-and-Forward Relaying Systems[J]. <i>IET Communications</i>, 2017, 11(5): 687-695. (SCI) [4] Xiangdong Jia, Mangang Xie, Meng Zhou, et al. Achievable Uplink Rate Analysis for Distributed Massive MIMO Systems with Interference from Adjacent Cells[J]. <i>China Communications</i>, 2017, 14(5):112-123. (SCI) [5] Xiangdong Jia, Pengfei Deng, Hongbo Zhu. Study on Cognitive DF Relaying Cooperation with the Mutual Interference Between Primary and Secondary Users over Nakagami-m Fading Channels[J]. <i>International Journal of Communication Systems</i>, 2016, 29(3): 579-601. (SCI) [6] Xiangdong Jia, Pengfei Deng, Longxiang Yang, et al. Spectrum and Energy Efficiencies for Multiuser Pairs Massive MIMO Systems With Full-Duplex Amplify-and-Forward Relay[J]. <i>IEEE Access</i>, 2015, 3:1907-1918. (SCI) 三、 指导学生参加的学术科研项目 ➤ 西北师范大学创新能力提升计划项目“面向毫米波大规模 MIMO 异构网络方案设计及性能分析”，项目编号：CX2018Y043。
--	-------------------------------------	---

一、申请理由（包括自身具备的知识条件、自己的特长、兴趣、已有的实践创新成果等）

1、申请人的知识条件专业基础、工作态度、及研究兴趣的评价

本人谦虚谨慎、勤奋好学，以高标准、严要求的工作态度要求自己，时刻保持一种积极向上的精神状态、保持一种谦虚、谨慎的工作作风。大学期间，注重理论知识的学习和实践能力的锻炼，更注重理论与实践的结合，能够创新性地将课堂所学的知识有效运用于实际的研究探索中。对于业务生疏的部分，能虚心向别人请教，而对于他人提出的意见与建议，能够虚心听取。学习成绩始终名列前茅，曾参与多种实践类竞赛，并多次荣获校、院级褒奖，深受师生的一致好评。

此外，本人还具有较强的求知欲，能够对问题进行仔细观察、独立思考和综合分析，能够灵活运用自己所学习的知识来解决实际遇到的问题；具有一定的开拓和创新精神，能创造性、建设性地独立开展工作；同时，本人还具有接受新事物快、涉猎面广等优势，经过多年的不断探索，初步形成了自己的思考方式。更重要的是，本人能够做到服从指挥，肯吃苦耐劳，愿意为团队的整体进步做出自己应有的义务。

2、对申请项目的价值、工作基础等方面的评价

该项目立足于当前的下一代移动通信系统 5G 的关键技术研发之际，以当前国内外研究热点异构网络(heterogeneous network, HetNets)为着力点，重点研究 HetNets 中用户级联(user-association, UA)问题，特别是上下行解耦的情况。不同于传统的单层网络，未来的 HetNets 将是由多种不同类型的小区所构成。特别地，当用户位于小区边缘时，对于该用户上下行所级联的基站将变得至关重要，这样严重影响系统的有效资源的使用效率。因此，项目拟对 HetNets 中上下行解耦链路的覆盖概率、UA 概率等性能进行研究。这对于未来能够有效地提升系统的吞吐量和 QoS 具有十分重要的研究意义。

该项目组的成员结构安排合理、知识层次得当，同时高年级成员范巧玲、陈玉宛、徐文娟、杨小蓉等在贾向东教授的指点下有过学术论文发表的宝贵经验¹。同时，该项目的研究目标明确，研究方法得当、新颖，项目成员学习努力，都有着较强的专业知识和创新能力，并且对 5G 的研究充满并始终保持着浓厚的兴趣。

相信本项目在以甘肃省杰出青年基金项目、江苏省优秀博士毕业论文、南京邮电大学优秀博士后获得者贾向东教授的指点迷津下，以西北师范大学计算机科学与工程学院开放实验室为依托、以甘肃省物联网工程研究中心为强大后盾、以南京邮电大学为技术支撑，本项目的研究工作一定能够按时圆满完成。

¹ 相关学术成果在本部分的第三节“部分前期研究成果”

3、部分前期研究成果

- [1] 徐文娟, 贾向东, 纪珊珊, 周猛. 中继协作异构网用户对级联方案及安全概率分析[J], 信号处理. (待刊)
- [2] 颢满刚, 贾向东, 杨小蓉, 韩聪慧. 双跳中继协作异构网络中断概率分析[J], 计算机工程, <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0050404>. (网络优先出版)
- [3] 纪珊珊, 贾向东, 徐文娟, 杨小蓉, 范巧玲, 陈玉宛. 面向多层异构网的最大和谐均值用户对级联方案[J], 计算机工程, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1289.TP.20180129.1543.003.html>. (网络优先出版)

二、项目方案

1、项目研究背景（国内外的研究现状及研究意义、项目已有的基础，与本项目有关的研究积累和已取得的成绩，已具备的条件，尚缺少的条件及方法等）

近年来，随着用户对高速率数据的需求，特别是指数型智能高端设备和物联网设备的接入，使得无线通信网络流量呈现爆炸式增长的趋势，同时也使无线频谱等稀缺资源变得更加紧缺。根据最新的思科报告^[1]，预计 2016 年至 2021 年间，全球移动设备数据业务量将增长 7 倍，全球每月移动数据流量将达到 49 艾比特，届时移动通信设备将达到 120 亿部，可穿戴设备数量将达到 9.29 亿，同时机器到机器(machine to machine, M2M)连接数也将增长到 33 亿。无线接入设备持续增加的趋势，对当前的 4G 移动通信基础设施带来了严峻的挑战。为了解决该问题，业界研究人员对 5G 提出了更为先进的新型蜂窝架构技术——异构网络。其中，不同类型的基站部署在一个多层分级的网络结构中，这将有效地提高网络的能量效率和频谱效率^{[1]-[3]}，也将极大地提升移动数据业务量。对于一个多层的 HetNets，它通常部署在常规的宏蜂窝中，宏蜂窝一般与小蜂窝、微蜂窝相结合^[4]。本质上讲，HetNets 是由空间密度、传输功率和路径损耗等不同参数的多层基站(base station, BS)组成，而由于不同 BS 发射功率和覆盖范围的不同，在 HetNets 宏蜂窝中，主要依赖密集的低功率小蜂窝进行广域覆盖。小蜂窝 BS 一般用于减轻宏基站负载，实现负载平衡并提高服务质量(quality of service, QoS)，它有更大的覆盖范围，能提供更好的用户数据体验速率以及更高效的频谱空间复用率。因此，HetNets 在未来的无线网络中十分重要。然而，为了充分利用它的潜力，还必须解决在这种异构部署中产生的一些问题^{[5]-[7]}，其中的一个挑战就是 UA 问题。

在 HetNets 中，如何将一个用户有效地链接到最佳的级联基站(或中继)，这对于系统资源最优化的配置至关重要。同时，这还会极大地影响其他用户的级联情况。此外，一旦用户级联的基站突然关闭，移动用户必须通过相应的级联规则进行重新的 BS 级联。因此，UA 问题的研究至关重要，这将严重影响系统资源的合理分配和极致的用户

体验。通常，下行链路的接收信号强度(received signal strength, RSS)和信噪比(signal-interference-noise ratio, SINR)是用户进行基站级联的重要衡量标准。

在传统的蜂窝网络中，如 4G 的 LTE 版本-8 中^[8]，下行链路 RSS 主要解决 UA 问题。同时，在文献[9]中应用了一个基于 SINR 的 UA 规则，相比于基于下行链路 RSS 的 UA 准则，该基于 SINR 的 UA 准则能得到较高的用户吞吐量。然而，这两种传统的 UA 方案并不适合于未来的 HetNets。其原因是在 HetNets 中，不同小区的发送功率不一样，小蜂窝通常被高功率宏蜂窝所覆盖，因此，尽管它们距离较低发射功率的小蜂窝基站更近，只有很少的用户设备能连接到小蜂窝，它们仍将会链接到距离更远的发射功率大的宏蜂窝基站。这种严重的负载不平衡将导致性能损失和不均衡的用户体验。显然，这两种传统的 UA 方案并不能实现系统最优的网络性能。

因此，为了克服这个问题，文献[10]-[15]提出了小区范围扩展(cell range expansion, CRE)的概念，并且在 3GPP-10 版本中被采用^[16]。其基本思想是通过人为的增加偏置，来提高小蜂窝用户的接收功率，进而实现最近小区的 UA，以减轻宏蜂窝的负载，该方案也称为平均偏置接收功率(average biased received power, ABRP)方案。因为小蜂窝通常由于有限地覆盖区域，且有着较小的负载，因此，小蜂窝基站能够为其级联到的用户提供更高的用户数据速率^{[17]-[19]}。然而，偏置 UA 的缺点是小区用户由于附加偏置而被强制的与小蜂窝用户相级联，这将受到附近宏蜂窝信号的强烈干扰^[20]。在这种情况下，小蜂窝从宏蜂窝分流负载获得的改进可能被强烈的干扰所抵消。因此，网络负载平衡和网络吞吐量之间的权衡严格依赖于所选择的偏置值。为了最大化系统网络利用率^[21]，必须对偏置因子进行深度优化。在文献[22]中，Q-算法被用于最优化偏置，以此来最小化系统中断用户的数量。同时，为了解决基于偏置的 UA 问题，提出了基于资源划分的干扰抑制方案。例如，在 3GPP-10 中，已经应用于 4G 的增强的小区干扰协调(enhanced inter-cell interference coordination, eICIC)方案。eICIC 的一个典型解决方案是宏基站在“几乎空白子帧”期间周期性消失，以减轻对小蜂窝用户的信号干扰^{[23]-[26]}。

2、项目研究目标及主要内容

在传统的 UA 标准中，当采用 RSS 接入规则时，UA 的选择取决于下行链路的接收信号，并且该基站级联用户的上/下行链路均接入相同 BS 时，该 UA 方案通常被称为耦合 UA 模式。然而，对于未来的 HetNets，由于网络的配置变得非常复杂，特别是在上行和下行链路流量的巨大非对称性，这对传统基于下行链路设计的 RSS 耦合 UA 方案带来了严峻的挑战。

为了解决该问题，并实现系统最佳的负载和最大吞吐量，项目首先拟对基于解耦

的 UA 模式(即上行和下行链路分别采用不同的基站)进行深入研究;其次,对于特定的小区用户,其还可能多个基站进行级联的双链接(dual connectivity, DC),即同时进行信息传递。这将极大地确保系统的健壮性和可靠性。

3、项目创新特色概述

(1) 首先,项目拟提出基于上下行解耦 UA 的 HetNets 模型,通过获得特定用户的 SINR,同时采用随机几何方法,来研究上下行解耦链路 HetNets 的解耦概率、覆盖概率、频谱效率等系统性能,同时深入研究系统参数对于系统性能的影响。

(2) 考虑到未来可能的 DC 模式,其次项目拟对 HetNets 跨层解耦链路传输模型进行研究,通过相应的 UA 规则,来选择最优的级联基站,以此来研究用户级联概率和中断概率等,同时来获取相应的统计描述特性。

(3) 此外,针对传统单跳网络最大 RSS 的 UA 方案,同时结合 ABRP 的技术优势,项目拟提出基于双跳 HetNets 的 MM-UPA 解耦方案,通过获得任一给定用户级联到 k 层网络的 UA 概率,对中继协同双跳 HetNets 的物理层安全性能进行研究,并给出相关系统参数对于双跳 HetNets 的 MM-UPA 解耦系统的影响。

4、项目研究技术路线

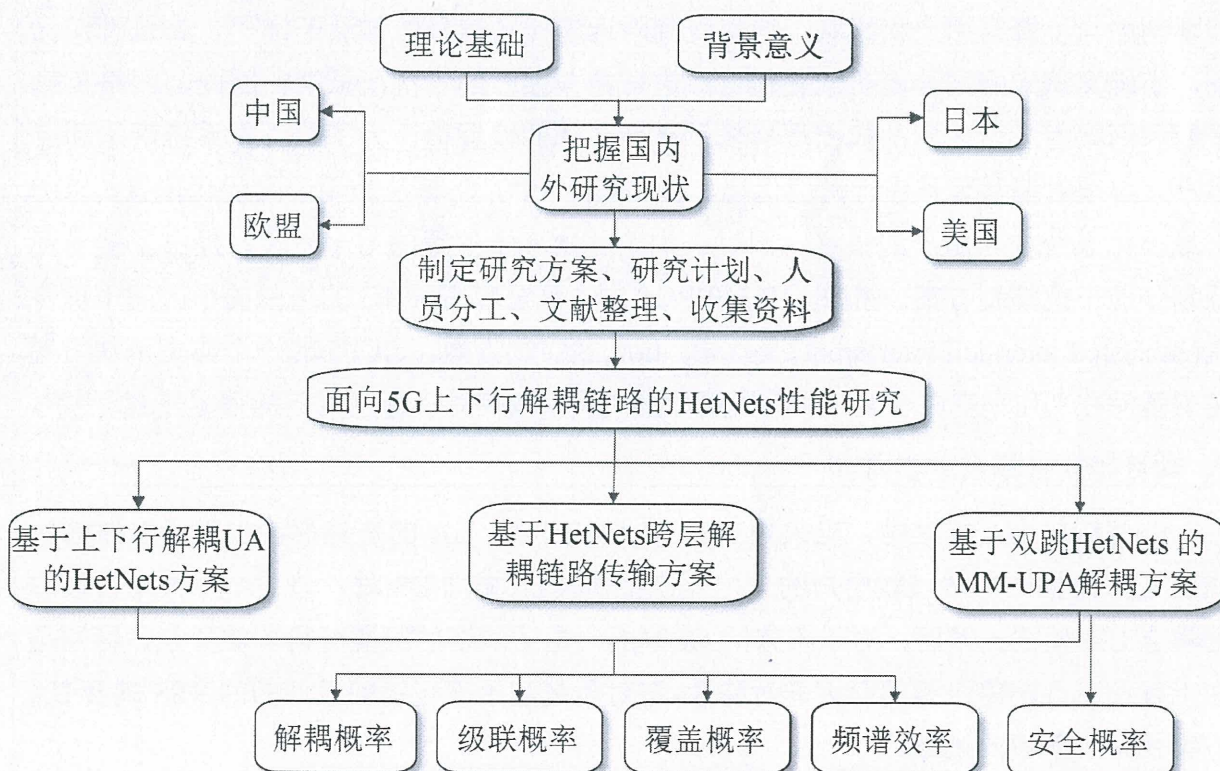


图 1 项目技术路线

项目的总体技术路线如上图 1 所示，该项目拟沿着“基础理论研究——系统模型规划——系统功能设计——定义每个功能模块所要解决问题的任务——分步完成每一功能模块”的总体路线，逐步完成对研究内容的探讨。其中，基础理论部分将采用条件假设、从“特例到一般”、“从易到难”的研究路线。

5、研究进度安排

第一阶段(2018. 6-2018. 8) 从国内外的 HetNets 研究热点入手，深入了解对上下行解耦链路 UA 的研究跟踪工作，初步确立研究方案。

第二阶段(2018. 8-2018. 10) 完成“基于上下行解耦 UA 的 HetNets 方案”研究工作，并对系统的解耦概率、级联概率进行研究。

第三阶段(2018. 10-2018. 12) 完成“基于 HetNets 跨层解耦链路的传输方案”研究工作，并对系统的覆盖概率、频谱效率、级联概率进行研究。

第四阶段(2018. 12-2019. 2) 完成“基于双跳 HetNets 的 MM-UPA 解耦方案”研究工作，并对系统的级联概率、安全概率、覆盖概率进行研究，并深入探讨系统参数对于系统安全性能的影响。

第五阶段(2019. 2-2019. 5) 完成成果的发表工作，并撰写项目结项报告。

第六阶段(2019. 5-2019. 6) 结项和答辩。

6、项目组成员分工

为了便于项目的管理与执行，经过项目成员的协商，决定由胡海霞和陈玉宛负责项目的“基于上下行解耦 UA 的 HetNets 方案研究”、由路艺和范巧玲负责“基于 HetNets 跨层解耦链路传输方案”、由徐文娟和杨小蓉负责“基于双跳 HetNets 的 MM-UPA 方案”，由项目负责人纪澎善完成整个项目的理论研究工作。

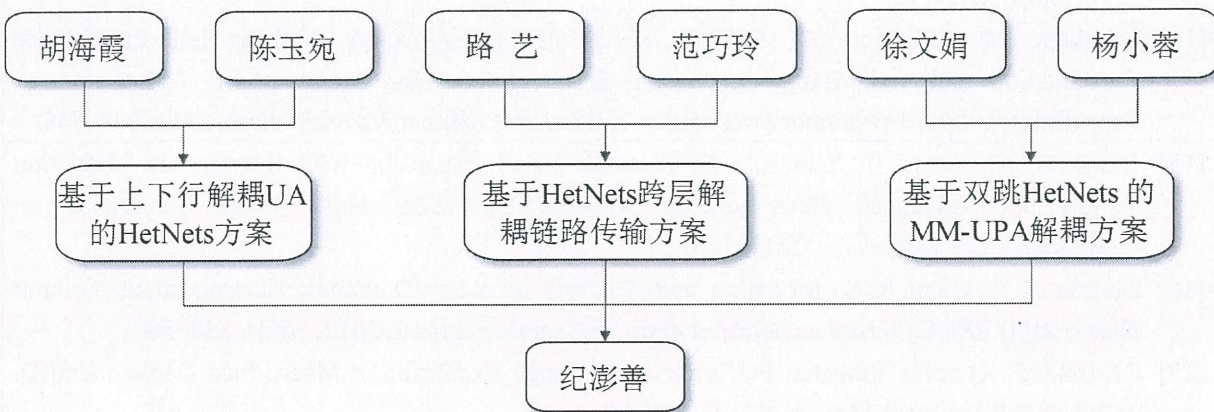


图 2 成员分工

7、主要参考文献:

- [1] Cisco, Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2016-2021[R]. *Cisco Publication Information*, 2017.
- [2] Hao P, Yan X, Yu-Ngok R, et al. Ultra Dense Network: Challenges, Enabling Technologies and New Trends[J]. *China Communications*, 2016,13(2): 30-40.
- [3] Kamel M, Hamouda W, Youssef A. Ultra-Dense Networks: a Survey[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2016,18(4): 2522-2545.
- [4] 俞鹤伟, 梁根, 秦勇. 异构无线网络多链路接入动态资源分配算法[J]. *电子与信息学报*, 2017, 39(4): 817-824.
- [5] Chen X, Wu J, Cai Y, et al. Energy-Efficiency Oriented Traffic Offloading in Wireless Networks: a Brief Survey and a Learning Approach for Heterogeneous Cellular Networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2015, 33(4): 627-640.
- [6] Andrews J G, Buzzi S, Choi W, et al. What Will 5G be[J]? *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2014, 32(6): 1065-1082.
- [7] 王振朝, 杨小龙, 薛文玲. 异构网络中基于能量感知的并行多径传输方案[J]. *小型微型计算机系统*, 2016, 37(3): 526-530.
- [8] Andrews J G, Singh S, Ye Q, et al. An Overview of Load Balancing in HetNets: Old Myths and Open Problems[J]. *IEEE Wireless Communications*, 2014, 21(2): 18-25.
- [9] 3GPP TR 36.912 V2.0.0. Technical Specification Group Radio Access Network; Feasibility Study for Further Advancements for E-UTRA (Release 9)[R]. Aug. 2009.
- [10] Aamod K, Naga B, Ji T, et al. LTE-Advanced: Heterogeneous Networks[C]. 2010 Wireless Conference (EW), 2010: 978-982.
- [11] Parkvall S, Furuskar A, Dahlman E. Evolution of LTE Toward IMT-advanced[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2011, 49(2): 84-91.
- [12] Jo H S, Sang Y, Xia P, et al. Heterogeneous Cellular Networks with Flexible Cell Association: a Comprehensive Downlink SINR Analysis[J]. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2012, 11(10): 3484-3495.
- [13] 余萍, 杨俊. 基于路径损耗的无线异构网络多用户分簇方法[J]. *科学技术与工程*, 2016,16(16): 212-215.
- [14] Shirakabe M, Morimoto A, Miki N. Performance Evaluation of Inter-Cell Interference Coordination and Cell Range Expansion in Heterogeneous Networks for LTE-Advanced Downlink[C]. *8th International Symposium on Wireless Communication Systems*, 2011: 844-848.
- [15] Okino K, Nakayama T, Yamazaki C. Picocell Range Expansion with Interference Mitigation Toward LTE-Advanced Heterogeneous Networks[C]. *IEEE International Conference on Communications Workshops*, 2011: 1-5.
- [16] Dhillon H S, Ganti R K. Modeling and Analysis of K-tier Downlink Heterogeneous Cellular Networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2012, 30(3): 550-560.
- [17] R1-104355. Kyocera. Potential Performance of Range Expansion in Macro-Pico Deployment[R]. 3GPP TSG RAN WG1 Meeting-62, Aug. 2010.
- [18] 邵鸿翔, 赵杭生, 孙有铭. 面向分层异构网络的资源分配: 一种稳健分层博弈学习方案[J]. *电*

子信息学报, 2017, 39(1): 38-44.

- [19] Lopez-Perez D, Chu X, Guvenc İ. On the Expanded Region of Picocells in Heterogeneous Networks[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 2012, 6(3): 281-294.
- [20] Guvenc I. Capacity and Fairness Analysis of Heterogeneous Networks with Range Expansion and Interference Coordination[J]. *IEEE Communications Letters*, 2011, 15(10): 1084-1087.
- [21] Jo H S, Sang Y J, Xia P, et al. Outage Probability for Heterogeneous Cellular Networks with Biased Cell Association[A]. *Global Telecommunications Conference [C]*. Houston, USA: IEEE, 2011: 1-5.
- [22] Hossain E, Rasti M, Tabassum H, et al. Evolution Toward 5G Multi-Tier Cellular Wireless Networks: an Interference Management Perspective[J]. *IEEE Wireless Communications*, 2014, 21(3): 118-127.
- [23] Jha SC, Sivanesan K, Vannithamby R, Koc AT. Dual Connectivity in LTE Small Cell Networks[J]. *IEEE Globecom Workshops*, 2014: 1205-1210.
- [24] Sekander S, Tabassum H, Hossain E. Decoupled Uplink-Downlink User Association in Multi-Tier Full-Duplex Cellular Networks: a Two-Sided Matching Game[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2016, PP(99): 1-1.
- [25] Smiljkovic K, Popovski P, Gavrilovska L. Analysis of the Decoupled Access for Downlink and Uplink in Wireless Heterogeneous Networks[J]. *IEEE Wireless Communication Letters*, 2015, 4(2): 173-176.
- [26] Lema MA, Pardo E, Galinina O, et al. Flexible Dual-Connectivity Spectrum Aggregation for Decoupled Uplink and Downlink Access in 5G Heterogeneous Systems[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2016, 34(11): 2851-2865.

三、学校提供条件（包括项目开展所需的实验实训情况、配套经费、相关扶持政策等）

项目以西北师范大学计算机科学与工程学院开放实验室为依托、以甘肃省物联网工程研究中心为强大后盾，同时项目组指导教师贾向东教授还与南京邮电大学保持着密切合作，这些都保证了项目的持续、稳定进行。

四、预期成果

- 1、完成 2~3 篇学术论文；
- 2、完成 3~5 项软件著作权。

五、经费预算

总经费（元）	25000	财政拨款（元）	20000	学校拨款（元）	5000
注：总经费、财政拨款、学校拨款由学校按照有关规定核定数目进行填写					

具体包括:

- 1、调研、差旅费: 5000 元;
- 2、用于项目研发的元器件、软硬件测试、小型硬件购置费等: 5000 元;
- 3、资料购置、打印、复印、印刷等费用: 3000 元;
- 4、学生撰写与项目有关的论文版面费、申请专利费等: 12000 元。

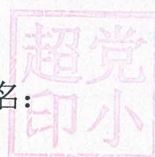
六、导师推荐意见

异构网是下一代5G网络的关键技术,亟需对其级联进行研究,
选题新颖,理论联系实际,具有可操作性。 签名: 贾向东
同意推荐 2018 年4月26日

七、院系推荐意见



院系负责人签名:



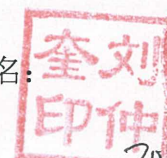
学院盖章:

2018 年4月27日

八、学校推荐意见:



学校负责人签名:



学校公章

2018 年4月28日