

2019 年度国家技术发明奖提名公示

一、项目名称

面向物联网环境的虚拟协同网络关键技术及应用

二、提名者

提名者：工业和信息化部

提名意见：

南京邮电大学、清华大学、南京熊猫电子股份有限公司和中国信息通信研究院合作研发的“面向物联网环境的虚拟协同网络关键技术及应用”项目成果具有重大科技创新。该项目提出了在多个异构业务终端协同接入的物联网环境下能够满足复杂用户服务需求的虚拟化协同服务网络体系结构以及边缘无线网络柔性化协同组织技术方案，研制完成了实现网络边缘环境中多网络、多终端、多业务和多数据间可软件定义虚拟化动态交互的一种网络协同控制系统。所涉及关键技术多种通信系统和业务环境中得到了有效应用，强化了项目成果的竞争力。

项目获得授权发明专利 53 项；获得软件著作权 16 件；发表 SCI 收录学术论文 65 篇；向国际电信联盟（ITU）及中国通信标准化协会提交标准提案 32 项，其中形成国际标准 2 项，行业标准 10 项。

项目在虚拟可重构协同网络的理论及关键技术方面取得了一系列自主知识产权，所涉及关键技术成功应用于物联网环境下的通信网络产品中，有效提高了协同信息网络的性能和服务能力，相关产品近 3 年共创造直接经济效益超过 5 亿元，在智慧城市、轨道交通、环境监控、国防、应急通信等领域都发挥了重要作用，实现了显著的经济效益和社会效益，也为探索研究物联网环境下新一代新型无线网络的基础理论和关键技术作出重要贡献。

该项目相关成果曾经分别获得 2013 年中国电子学会科学技术奖一等奖和 2017 年江苏省科学技术奖一等奖。

经审查，该申报材料客观真实，提名申报国家技术发明奖二等奖。

三、项目简介

本项目在国家 973 计划、国家科技重大专项等科研项目资助下，提出了在多个异构业务终端协同接入的物联网环境下能够满足复杂用户服务需求的虚拟化协同服务网络体系结构以及边缘无线网络柔性化协同组织技术方案，研究解决了

基于异构网络虚拟融合和异构终端虚拟聚合的柔性可动态重构协同组网理论及其协同交互技术方法,突破了异构网络物理资源受限和信息终端服务能力受限的制约,研制完成了实现网络边缘环境中多网络、多终端、多业务和多数据间可软件定义虚拟化动态交互的一种网络协同控制系统。

本项目主要技术创新如下:

(1) 研究发明了面向物联网多终端接入环境的虚拟化协同服务网络体系架构及实现方法。研究提出了基于异构网络虚拟融合和异构终端虚拟聚合的柔性可动态重构协同组网方法,解决了多节点多终端间柔性化动态协同交互的关键技术;以用户需求为目标,构建了对无线网络环境物理资源的两级控制平台虚拟化协同组织模型,实现了无线网络资源面向服务特征可软件定义的智能化虚拟组网与动态重构;研制完成了实现多网络、多终端、多业务和多数据间可软件定义虚拟化动态交互的一种无线网络协同控制系统。

(2) 研究发明了多域异构网络资源间实现虚拟融合与动态重构的协同控制方法与技术。解决了多域网络资源环境下的异构无线网络间可以根据多种业务特性进行动态重构的虚拟协同组网问题;突破了异构网络物理资源受限和信息终端服务能力受限的制约,实现了多终端接入环境复杂业务需求与有限网络资源间的动态柔性优化适配。

(3) 研究发明了边缘环境多数据协同感知交互和多终端虚拟协同组织的方法与技术。解决了物联网环境下多个信息终端间面向多个业务动态需求进行系统性协同工作的可软件定义虚拟聚合和适时柔性协同组织问题;突破了单一信息终端服务能力受限的瓶颈,实现了物联网环境中基于多终端智能协同的服务能力大幅提升。

项目获得授权发明专利 53 项;获得软件著作权 16 件;发表 SCI 收录学术论文 65 篇;向国际电联 (ITU) 及中国通信标准化协会提交标准提案 32 项,其中形成国际标准 2 项,行业标准 10 项。

项目在虚拟可重构协同网络的理论方法及关键技术方面取得了一系列自主知识产权,所涉及关键技术成功应用于物联网环境下的通信网络产品中,在熊猫电子、泰通科技等企业的多种信息服务产品中得到规模化应用,提高了企业生产能力,增强了产品竞争力,有效提高了物联网环境下无线网络的动态接入效能和服务组织能力;相关产品近 3 年共创造直接经济效益超过 5 亿元,在智慧城市、

轨道交通、环境监控、国防、应急通信等领域都发挥了重要作用，实现了显著的经济效益和社会效益，也为探索研究物联网环境下新一代新型无线网络的基础理论和关键技术作出重要贡献。

四、客观评价

(1) 2011年11月，朱洪波主持的国家973计划“多域协同宽带无线通信基础研究-认知协同与网络容量优化理论”(2007CB310607)通过了科技部组织的专家验收，综合评价为优秀。验收意见为：提出分布式协作机会调度策略、建立了动态基站协作框架及无线资源等效理论，为跨网跨层资源协作调度提供了优化方法，大大提高了系统容量。

(2) 2015年1月，朱洪波主持的国家科技重大专项“泛在网络下多终端协同的网络控制平台及关键技术”(2011ZX03005-004-03)项目通过了专项办组织的专家组验收，验收专家对取得的成果给予了充分肯定，验收意见为：完成了泛在网络下多终端协同的网络控制架构和控制机制研究，实现了多终端协同的网络控制平台1套；提出了以用户为中心的网络总体架构，可使用户获得良好的业务体验；提出的基于MTCP的多流并发传输控制方法、基于动态负载传递的呼叫接入控制算法、基于多门限预留机制的自适应带宽分配算法等技术具有创新性。

(3) 2014年4月由专项办指定的工信部研究所对本项目研制的基于多终端协同的网络控制平台进行了测试，结果如下：该平台能够实现多种网络的接入，支持多宿主多流并发场景传输控制，支持对网络及应用环境变化的多终端协同及重构机制，支持业务在不同的终端上进行迁移，在重构和迁移过程中可以保证业务的连续性。

(4) 2017年9月，朱洪波主持的国家973计划“智能协同宽带无线网络理论基础研究-智能协同移动服务模型”(2013CB329005)通过了科技部组织的专家验收，综合评价为优秀。验收意见为：提出了智能化可重构协同组网技术方案，提出多个无线网络的协同服务方法，提出多终端多业务协同服务方法，有效支持异构无线网络面向服务特征进行软件定义的智能化虚拟组网与资源动态重构。

(5) 论文代表性引用与评价如下：

(a) 项目组在IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN SIGNAL PROCESSING (IF=4.361)上发表论文“Power scaling of uplink massive MIMO systems with

arbitrary-rank channel means”，被美国科学院院士、美国工程院院士、IEEE Fellow 等学者共引用 211 次，为 ESI 高被引论文。其中 IEEE Fellow、美国罗格斯大学 Roy D. Yates 教授和 Narayan B. Mandayam 教授等在发表的论文中指出作者的工作发现了考虑空间相关性的上行分布式天线系统信干噪比的确定等效表达；美国科学院院士、工程院院士、IEEE Fellow、美国普林斯顿大学 H. Vincent Poor 教授等在其论文中评价申请人解决了考虑信道均值为任意秩的大规模 MIMO 系统发送功率缩放律以及渐进和速率分析问题；IEEE Transactions on Communications 前主编、IEEE Fellow、德国 Erlangen-Nuremberg 大学 Robert Schober 教授等在其论文中引用申请人的成果，并直接应用作为他们的研究基本模型。

(b) 项目组在 IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS (IF: 5.888) 上发表论文“Optimization of MAC Frame Structure for Opportunistic Spectrum Access”，被国际同行学者多次引用，该文提出的一种切换机制下的认知 MAC 帧结构优化方法不仅大大提升了认知网络的频谱效率，亦被英国学者应用到智能栅格网络中的认知机器-机器通信协议的优化设计中，大大提升了机器-机器通信的效率。

(c) 项目组在 IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY (IF=4.432) 上发表论文“Quality-optimized joint source selection and power control for wireless multimedia D2D communication using Stackelberg game” 被 IEEE Fellow、美国休斯顿大学 Zhu Han 教授，IEEE Fellow、英国伦敦大学学院 Kai-Kit Wong 教授等国际同行学者引用 52 次，该论文提出的基于博弈论的 D2D 资源分配模型被 IEEE Fellow、IEEE 通信学会前主席 Laurence B. Milstein 教授在 IEEE T WIREL COMMUN 上发表的论文“Subcarrier Assignment and Power Allocation……” 中和在 IEEE T COMMUN 上发表的论文“Resource Allocation for Multicarrier Device-to-Device……” 中均有引用，称论文从效益、传输容量、发送功率联合优化的角度建立了 D2D 多媒体传输的资源分配模型。

五、应用情况

基于本项目提出的多网络、多终端、多业务、多数据协同虚拟关键技术，解

决了目前多网络/多终端异构环境下的业务驱动的服务适配与质量保障问题，成功应用于物联网环境下的多种通信网络产品中，有效提高了系统性能，基于本项目技术的产品近3年共创造直接经济效益5亿元，在智慧城市、轨道交通、环境监测、国防、应急通信等领域都发挥了重要作用，实现了显著的经济效益和社会效益。

虚拟协同网络关键技术在南京熊猫电子股份有限公司的通信产品中得到了广泛应用，产品具有多种异构网络协同工作的能力，可以根据不同业务的需求自适应地分配资源，以灵活适应差异性很大的各种业务。与单网络设备相比，明显提高了传输速率和接入能力，同时降低了业务的中断概率。支持语音、数据、视频等多种业务，处理能力强，集成度高，具有易安装、易管理、移动性高、抗干扰能力强等特点。产品已经在城市安全管理、环境监测、抢险救灾等方面都发挥了重要作用，经济、社会效益显著。

南京泰通公司的专网通信产品和物联网产品中采用了本项目研发的协同网络技术，应用于我国轨道交通领域的指挥调度、安全生产、视频监控等方面，有效支持了我国铁路建设与运维管理的信息化建设，具有显著的经济和社会效益。

中科晶上（苏州）信息技术有限公司使用了南京熊猫电子股份有限公司的通信设备，该设备采用了由南京邮电大学、熊猫电子的虚拟协同网络技术。该设备可以智能发现节点，自动做路径规划，支持语音、数据、视频等多种业务，具有自主程度高、集成度高、传输效率高等特点，为即时通信组网提供了有力的手段。该设备已经成功应用于煤矿企业、国家安全部门的专用通信领域，在应急通信和国防安全等方面都发挥了重要作用，取得了显著的社会和经济效益，应用前景广阔。

六、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
发明专利	一种基于软件定义的物联网智慧服务系统	中国	ZL 201510334645.3	20180605	2950733	南京邮电大学	朱洪波;杨龙祥;朱琦;程崇虎;张登银;朱晓荣;金石;吕	有效

							文俊;郭永安	
发明专利	一种基于多立方体映射的网络功能虚拟化资源分配方法	中国	ZL 2015103 76844.0	20180 824	3045546	南京邮电大学	朱洪波 ; 王涛 ; 朱晓荣 ;	有效
发明专利	一种无线异构网络中终端聚合与重构方法	中国	ZL 2014106 61068.4	20171 114	2696492	南京邮电大学	朱琦, 陈晶晶, 朱洪波, 杨龙祥,	有效
发明专利	泛在无线网络下基于协同优化的多域资源分配方法	中国	ZL 2012103 87470.9	20150 617	1700722	南京邮电大学	朱晓荣, 严伟, 夏正炎, 邵世祥, 朱洪波	有效
发明专利	一种超宽带传感器网络传输方法和系统	中国	ZL 2010106 14424.9	20131 211	1317994	清华大学	葛宁;耿春华;裴玉奎;朱亮	有效
发明专利	一种基于Android的多指标实时环境监测终端系统和方法	中国	ZL 2015103 69747.9	20180 306	2835924	南京邮电大学	朱洪波 郭永安 肖彦均 苏世旭	有效
发明专利	智慧服务商店的应用方法	中国	ZL 2011102 65520.1	20160 601	2095219	南京邮电大学	朱洪波, 杨龙祥, 卢捍华, 韩雅良, 朱晓荣, 张登银, 程崇虎	有效
发明专利	用于无线通信系统基站中减小系统干扰的无线资源配置方法	中国	ZL 2011101 62364.6	20131 204	1313798	南京熊猫电子股份有限公司	牟中平,赵新胜,陈基建,张春,李跃进,任伟	有效
发明专利	一种基于协同学原理的异构网络多属性决策方法	中国	ZL2013 1051812 3.X	20170 405	2438932	南京邮电大学	朱琦, 张丽娜	有效
通信行业标准	物联网总体框架与技术要求	中国	YD/T 2437-20 12	20121 228	工业和信息化部	工业和信息化部电信研究院、中国联通网络通信集团有限公司、中国移动通信集	续合元、李海花、贾雪琴、王红梅、王艺	有效

						团公司、中国电信集团公司。		
--	--	--	--	--	--	---------------	--	--

七、主要完成人情况

1、朱洪波，（排名 1），物联网研究院院长，教授，工作单位和完成单位均为南京邮电大学，作为项目第一完成人，全面负责项目的技术创新和系统应用，对发明点 1、2、3 均做出了创新性贡献。提出了由感知层、泛在网络层、融合信息层和智慧服务层组成的面向物联网环境的智慧服务系统（3S）体系架构；提出了由服务应用平台、数据集成平台、传输网络平台、多源感知平台组成的大规模智能信息处理系统实体架构；提出了一系列针对物联网环境的多终端协同、多网络协同和多业务协同的关键技术，可软件定义虚拟化网络协同控制系统的研制及其产业化应用等方面均作出了突出贡献。

2、裴玉奎，（排名 2），副研究员，工作单位和完成单位均为清华大学，对发明点 3 做出了创新性贡献。提出了用户侧智能信息感知处理方法，利用精确位置信息辅助判断各种物联网设备的类型及组网方式，有效解决了大规模信息终端和用户设备间面向服务需求进行系统性协同工作的自适应自组织问题，实现在多终端多业务用户服务环境中进行计算处理和多终端智能协同工作以满足各类服务需求。

3、朱琦，（排名 3），物联网研究院副院长，教授，工作单位和完成单位均为南京邮电大学，对发明点 2、3 做出了创新性贡献。提出了面向物联网环境的异构网络多用户多接入视频通信的自适应带宽分配方法，提出了一种基于协同学原理的虚拟网络多属性决策方法，提出了一种基于协同优化的异构网络多域资源分配方法，满足泛在接入的不同等级用户的服务需求，实现网络的资源优化和能效最优。

4、牟中平，（排名 4），副总工程师，研究员级高级工程师，工作单位和完成单位均为南京熊猫电子股份有限公司，对发明点 2 做出了创新性贡献。提出了一种异构网络中用于减小系统干扰的无线资源配置方法，通过频点选择和功率控制抑制同频干扰和邻频干扰，实现在物联网的系统设备中进行无线资源自配置和自优化，完成在不同物联网环境下的虚拟网络协同控制系统的测试与集成应用。

5、续合元，（排名 5），副总工程师，教授级高级工程师，工作单位为中国信息通信研究院（原工业和信息化部电信研究院），完成单位为工业和信息化部电信研究院，对发明点 1 做

出了创新性贡献。提出了全球广泛共识的物联网定义及其系统架构标准，提出了物联网环境下由设备提供者、网络提供者、平台提供者、应用提供者、用户及其关系构成的物联网生态系统模型，建立了“物联网”、“物”、“设备”的通用物联网参考模型，推动了物联网的智慧服务系统架构的国内外标准的制定和应用。

6、杨龙祥，（排名 6），物联网研究院常务副院长，教授，工作单位和完成单位均为南京邮电大学，对发明点 2 做出了创新性贡献。提出了一种基于软件定义的网络功能虚拟化控制技术，利用物联网的通信、计算、存储等多维度资源进行联合优化，建立了以用户为中心的多属性决策与网络选择，实现物联网环境下的海量终端与异构网络的最佳接入与资源适配。

八、完成人合作关系说明

南京邮电大学研究团队自 2006 年以来，一直致力于通信网络虚拟协同关键技术的研究，2007 年，南京邮电大学与清华大学等团队联合，共同争取到国家 973 项目立项支持，开展面向高效无线资源利用的多域协同宽带无线通信理论基础研究。2011 年，南京邮电大学与南京熊猫电子股份有限公司等团队联合，承担了国家科技重大专项项目，针对多终端的网络协同和多业务的资源聚合问题进行关键技术攻关，研发了面向物联网环境的可软件定义的多域虚拟化网络协同控制系统，实现了技术成果的推广应用。2013 年，南京邮电大学与中国信息通信研究院等单位合作，联合建立了江苏省物联网技术与应用协同创新中心，共同开展物联网的技术框架与技术标准体系的制定和推广。

完成人具体合作关系如下：

1、朱洪波与裴玉奎的合作方式为共同项目立项及合作研究，合作时间自 2007 年至今，主要合作内容包括国家重点基础研究发展计划（973 计划）“多域协同宽带无线通信基础研究”项目（2007CB310600）等。

2、朱洪波与朱琦为同一科研团队，合作方式为共同项目立项、合作研究及共同知识产权，合作时间自 2007 年至今，主要合作成果包括发明专利“一种基于软件定义的物联网智慧服务系统”和“一种无线异构网络中终端聚合与重构方法”等。

3、朱洪波与牟中平的合作方式为共同项目立项及合作研究，合作时间自 2011 年至今，主要合作内容包括国家科技重大专项“新一代宽带无线移动通信网-泛在网络下多终端协同的网络控制平台及关键技术”项目（2011ZX03005-004-03）等。

4、朱洪波与续合元的合作方式为共同项目立项及标准制定，合作时间为 2012 年至今，主要合作内容包括科技创新项目“物联网技术标准研究制定”。

5、朱洪波与杨龙祥为同一科研团队，合作方式为共同项目立项、合作研究及共同知识产权，合作时间自 2007 年至今，主要合作成果包括发明专利“一种基于软件定义的物联网智慧服务系统”、“一种无线异构网络中终端聚合与重构方法”和“智慧服务商店的应用方法”等。