

2020 年度国家自然科学奖提名公示信息

项目名称	超蜂窝网络的能效理论及资源优化方法
提名者	中国通信学会
提名意见	<p>移动通信进一步的发展遇到了“能耗墙”，特别是在 5G 采用了大规模天线阵列和毫米波技术之后。该项目面向国家建设资源节约型和环境友好型社会的战略需求，在国家 973 计划和国家基金委的支持下，提出了一种基于控制信令覆盖与业务数据覆盖解耦的超蜂窝网络架构，使得业务基站在业务负载较轻时可以进入休眠状态，从而大幅度提高网络能效，属于移动网络架构的原始性创新。进一步地，针对超蜂窝网络，建立了网络能效与频谱效率、覆盖强度、业务分布与业务需求之间的理论关系，丰富了传统以谱效为中心的通信原理内涵，为移动通信向 5G 及其后续演进奠定了理论基础。</p> <p>该项目 8 篇代表性论文 Web-of-Science 他引 891 次，其中一篇 ESI 高被引论文，获得 IEEE 通信学会亚太区最佳论文奖。主要完成人获得国家自然科学基金杰出青年基金、973 项目首席科学家、IEEE 通信学会绿色通信与计算专委会杰出技术成就奖、IEEE 通信学会亚太区杰出青年学者，以及 IEEE Fellow 等称号。项目成果被 IEEE 通信学会的“Best Readings”评价为关于基站节能最早的研究，被 IEEE 信息论学会前主席 V. K. Bhargava 等评价为“具有前景的方案 (promising solution)”。</p> <p>该项目科学意义重大，研究成果丰富，促进了相关学科发展和行业领域技术进步。经以邬贺铨院士为组长的专家组评定，获得了 2019 年度中国通信学会科学技术（自然科学）一等奖。</p> <p>提名该项目为国家自然科学奖 二 等奖。</p>

<p>项目简介</p>	<p>该项目面向国家建设资源节约型、环境友好型社会的战略需求，针对无线数据、视频与物联网业务的飞速发展，及通信业务量的指数增长所带来的能耗瓶颈，研究并突破了可使无线通信系统的能量效率大幅度提高的理论与技术。在国家 973 计划和国家基金委的支持下，首先提出了一种原创的超蜂窝（Hyper Cellular）体系架构，它通过对永远在线的控制信令覆盖与按需部署的业务数据覆盖进行解耦，引入了网络的柔性（Agile）覆盖、资源的弹性（Elastic）接入、以及业务的匹配（Adaptive）服务新机制，使得网络能量消耗与业务需求和谐互动，从而实现了频谱效率和能量效率的联合优化，为未来移动通信系统的可持续发展奠定了技术基础。</p> <p>进一步地，针对超蜂窝网络，建立了网络能量效率与网络频谱效率、小区覆盖强度、业务聚集性和突发性、业务服务延时之间的理论关系，丰富了传统以频谱效率为中心的通信原理内涵，为移动通信向 5G 及其后续演进的可持续发展奠定了理论基础。同时给出了频谱与能量资源的优化方法，与传统蜂窝网络相比，具有提高 10 倍以上全网能量效率的潜力。主要科学发现点包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 打破了提高能量效率需要牺牲频谱效率的传统认知，揭示了网络能量效率与频谱效率、覆盖强度的“钟形(bell shape)”关系，即可通过优化系统参数（如发射功率、天线个数等）使网络能量效率与频谱效率取得共赢，从而在不牺牲频谱效率的前提下大幅提升网络能量效率；给出了在频谱效率约束下使能量效率最优的基站密度，发现适当密集部署反而会降低全网能耗。 2) 打破了负载均衡与负载平滑永远会提升网络性能的传统认知，揭示了业务需求的空间聚集性和时间突发性并非总是负面因素、而是有利于提升网络能量效率的规律，提出了基于负载聚集和基站动态休眠的高能效弹性接入机制。 3) 打破了能效与延时永远折中的传统认知，揭示了通过基站休眠控制可取得能效与延时共赢的规律，并发现：最优基站休眠控制策略具有多门限结构及观望（wait-and-see）特征，即基站的休眠与唤醒应更加保守、且门限值与观望时长均随业务到达突发性而变化，给出了能效与延时联合优化的最优基站休眠控制策略。 <p>上述成果共发表 50 余篇 IEEE 期刊论文，8 篇代表性论文 Web-of-Science 他引 891 次，其中一篇 ESI 高被引论文，获得 IEEE 通信学会亚太地区最佳论文奖。主要完成人获得了国家自然科学基金杰出青年基金、973 项目首席科学家、IEEE 通信学会绿色通信与计算专业委员会杰出技术成就奖、IEEE 通信学会亚太地区杰出青年学者，以及 IEEE Fellow 等称号。项目成果被 IEEE 通信学会的“Best Readings”评价为关于基站节能最早的研究，被 IEEE 信息论学会前主席 V. K. Bhargava 等评价为“具有前景的方案（promising solution）”。超蜂窝网络架构已经被国家 863 计划“5G 无线网络构架与关键技术研发”项目群所采用，并延伸出国家自然科学基金委与芬兰科学院的 5G 合作项目“面向 5G 网络绿色智能服务的软件定义超蜂窝架构”。获 2019 年中国通信学会科学技术（自然科学）一等奖。</p>
<p>主要完成人 (完成单位)</p>	<p>牛志升（清华大学）、周盛（清华大学）、杨晨阳（北京航空航天大学）、 张兴（北京邮电大学）</p>

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)	通讯作者 (含共同)	第一作者 (含共同)	国内作者	他引总次数	检索数据库	论文署名单位是否包含国外单位
1	Cell zooming for cost-efficient green cellular networks/IEEE Communications Magazine/Z. Niu, Y. Wu, J. Gong, Z. Yang	2010年48卷11期, 74-79页	2010年11月1日	Zhisheng Niu	Zhisheng Niu	牛志升, 吴艺群, 龚杰, 杨泽曦	453	Web of Science 核心合集	否
2	Green mobile access network with dynamic base station energy saving/ACM Mobicom 2009 Poster/S. Zhou, J. Gong, Z. Yang, Z. Niu, P. Yang	会议论文	2009年9月25日	无	Sheng Zhou	周盛, 龚杰, 杨泽曦, 牛志升, 杨鹏	118	Web of Science 核心合集	否
3	TANGO: Traffic-aware network planning and green operation/IEEE Wireless Communications/Z. Niu	2011年18卷5期, 56-61页	2011年10月1日	Zhisheng Niu	Zhisheng Niu	牛志升	110	Web of Science 核心合集	否
4	Optimal Combination of Base Station Densities for Energy-Efficient Two-Tier Heterogeneous Cellular Networks/ IEEE Transactions on Wireless Communications/ D. Cao, S. Zhou, Z. Niu	2013年12卷9期, 4350-4362页	2013年9月1日	Sheng Zhou	Dongxu Cao	曹东旭, 周盛, 牛志升	95	Web of Science 核心合集	否
5	Characterizing energy - delay tradeoff in hyper-cellular networks with base station sleeping control/ IEEE Journal on Selected Areas in Communications/Z. Niu, X. Guo, S. Zhou, P.R. Kumar	2015年33卷4期, 641-650页	2015年4月17日	Sheng Zhou	Zhisheng Niu	牛志升, 郭雪莹, 周盛	34	Web of Science 核心合集	是
6	Energy-Efficient Design in Heterogeneous Cellular	2014年13卷9期, 4746-4757页	2014年9月8日	Yu Huang	Yu Huang	黄宇, 张兴, 张佳鑫, 苏卓文,	31	Web of Science 核心合集	是

	Networks Based on Large-Scale User Behavior Constraints/IEEE Transactions on Wireless Communications/ Y. Huang, X. Zhang, J. Zhang, J. Tang, Z. Su and W. Wang					王文博			
7	Energy-efficient configuration of spatial and frequency resources in MIMO-OFDMA systems/IEEE Transactions on Communications/ Z. Xu, C. Yang, G. Y. Li, S. Zhang, Y. Chen and S. Xu	2013年61卷2期, 564-575页	2013年2月1日	Zhikun Xu	Zhikun Xu	徐志昆, 杨晨阳, 张舜卿, 陈雁, 徐树公	43	Web of Science 核心合集	是
8	能效与资源化的超蜂窝移动通信系统新架构及其技术挑战/中国科学: 信息科学/牛志升, 周盛, 周世东, 钟晓峰, 王京	2012年42卷1191-1203页	2012年10月1日	牛志升	牛志升	牛志升, 周盛, 周世东, 钟晓峰, 王京	7	Web of Science 核心合集	否
合 计							891		