



编者按

高效绿色通信是第五代 (5G) 及后续 (B5G) 移动通信系统的核心技术之一, 并在近几年成为了学术界和工业界的研究热点. 作为我国首个绿色通信领域的国家重点基础研究计划 (“973 计划”) 项目, “能效与资源优化的超蜂窝移动通信系统基础研究” 于 2012 年启动, 并于 2016 年底顺利地通过了科技部组织的项目验收. 该项目汇聚了国内学术界和工业界在无线通信领域的骨干研究力量, 创新性地提出了一个 “超蜂窝” 网络新架构, 通过网络的柔性覆盖、资源的弹性接入和业务的匹配服务机制实现了能效与资源的联合优化, 为未来移动通信系统的可持续发展奠定了理论基础.

众所周知, 蜂窝架构是移动通信系统提高频谱效率最有效的手段, 通过不断地缩小蜂窝小区的大小或是小区分裂即可大幅度提高网络容量, 成功地支撑了过去 40 多年来移动通信的飞速发展. 但进一步地缩小蜂窝小区不仅会增加网络覆盖的成本, 而且也会引入严重的小区间干扰, 导致网络运行成本和能耗成本的大幅攀升. 与此同时, 未来 5G 及其后续演进还需要针对物联网应用提供超大链接和超低延时的服务, 现有硬性覆盖的蜂窝架构也是难以应对的. 因此, 如何将现有蜂窝架构改造得更加绿色和更加智能是移动通信可持续发展亟待解决的关键科学问题.

项目组在首席科学家牛志升教授的领导下, 提出了一种永远在线的控制覆盖与按需部署的业务覆盖分离、并可在时域和空域上独立进行动态调整的超蜂窝网络新架构, 它可以在保证蜂窝网络无缝覆盖和频谱效率的同时, 引入基站的动态休眠和资源调度, 从而大幅度降低整体能耗, 解决了传统蜂窝架构的绿色可持续发展问题. 这是移动通信网络架构在过去 40 多年来的第一次重大转变, 并有望成为 5G 及其后续演进的关键技术.

为反映我国在绿色通信领域的最新研究进展, 《中国科学: 信息科学》组织了 “基于超蜂窝架构的绿色通信” 专刊, 旨在全面展示国家 “973 计划” 项目的最新研究成果. 经过严格的同行评议, 专刊共收录了 10 篇论文. 这 10 篇论文均为总结性学术论文, 每篇文章代表了一个独立的亮点成果, 系围绕该成果的多篇学术论文的有机整合, 内容详实, 逻辑清晰, 有较强的系统性和概括性.

前两篇论文主要论述超蜂窝网络体系架构及其柔性覆盖机理, 其中论文 “超蜂窝网络分离方案设计与软件定义实现” (陈晟等), 在分析了 GSM 系统和 LTE 系统的主要信令流程及协议架构基础上, 提出了相应的超蜂窝网络设计方案, 实现了控制覆盖和业务覆盖的分离. 同时, 基于云计算和软件定义网路的思想, 提出了一种基于云化接入、前传网动态分组交换, 以及网络功能虚拟化的软件定义超蜂窝网络架构, 使得超蜂窝网络根据实际业务需求进行动态重构成为可能, 进一步提高了超蜂窝网络的灵活性和智能化水平. 紧接着论文 “超蜂窝网络柔性覆盖与控制” (毕文平等) 进一步地阐述了超蜂窝网络的柔性覆盖机理及其控制方法, 并提出了一种基于跳码稀疏码多址 (SCMA) 的非授权接入技术, 有效地解决了控制覆盖所需的大容量、低延时、高可靠短包接入问题.

接下来的 4 篇论文主要论述超蜂窝网络的弹性接入机理与资源协作方法, 其中论文 “超蜂窝网络架构下的高效资源优化和传输机制” (韩圣千等) 系统性地研究了能效 - 谱效之间的理论关系及其与时间、频率、天线和存储等物理资源之间的内在联系, 并给出了面向信道和业务需求动态变化的资

引用格式: 牛志升, 郑福春, 杨晨阳, 等. 基于超蜂窝架构的绿色通信专刊编者按. 中国科学: 信息科学, 2017, 47: 527-528, doi: 10.1360/N112017-00079

源弹性接入方法. 其中一个重要的发现是: 谱效优先的传输策略往往会导致能效的大幅下降, 而能效优先传输策略的谱效损失一般较小, 因此实际系统中宜采用能效优先的传输策略. 论文“超蜂窝网络资源动态调度与优化方法”(钟祎等)研究了超蜂窝架构下最优基站部署和基站随业务波动自适应休眠策略, 推导了业务波动、用户密度与基站休眠策略的闭式表达, 并给出了能效和时延同时优化的协作策略和资源分配方案. 论文“分布式天线系统: 资源分配与能效优化”(何春龙等)特别针对分布式天线系统给出了高能效功率分配准则和低复杂度 OFDM 子载波分配算法. 论文“无线网络能效-服务质量的基本关系及应用”(余昌洋等)针对不同类型的业务给出了不同的资源弹性匹配方法, 包括: 1) 对于延时敏感的实时业务, 系统需要根据队列长度实时地调整资源配置; 对于延时可容忍的非实时业务, 系统则可利用预测信息进行资源规划和提前推送. 其中一个重要发现是能效-延时的非折中区、以及延时与传输资源的定量折中关系, 为在保证服务质量需求前提下高效地匹配传输资源提供了理论依据.

后 4 篇论文主要论述超蜂窝网络的用户群体行为分析及其匹配服务机理, 其中论文“移动用户群体聚集行为模型及其高能效资源配置方法”(杨坤等)基于移动运营商的大量现网实测数据, 分析了用户行为和业务特征在时域、空域和内容等多维度上的群体聚集特征, 发现了业务流量在空间上符合对数正态分布的规律, 并由此给出了高能效的资源配置、传输控制和基站分级休眠的策略. 论文“移动业务特征认知及其分布模型: 以即时消息为例”(李荣鹏等)则以越来越流行的即时短消息业务为例, 揭示了该业务在统计规律上的重尾特征, 并通过数据拟合等工具证明了 α -稳定分布的最优性. 论文“蜂窝网络中基站关系与业务关系网络与应用”(张佳鑫等)则通过无线大数据和社会网络分析方法, 实现了典型无线网络场景的识别, 通过 8% 的重要基站即可实现对其他基站业务流量的预测, 从而指导超蜂窝网络的内容缓存和资源配置策略. 论文“超蜂窝网络基于用户行为预测的软实时服务机制与能效优化”(钟晓峰等)分别基于公网和专网信息服务的大数据分析, 提出了一种新颖的以用户为中心、具有数据业务内容动态感知能力的软实时服务机制, 通过对业务内容流行度和用户访问行为的预测动态构建多播小区与内容推送算法, 在降低无线蜂窝网络传输能耗和无线资源消耗的同时, 大大提升了移动用户体验的服务质量.

由于篇幅所限, 除了上述成果之外, 本项目组还有许多研究成果未能在本专刊中予以发表, 包括: 超蜂窝网络能效延时理论关系及最优基站休眠控制、软件定义超蜂窝网络中的通信与计算协同优化、超蜂窝网络的高能效基站部署及其动态控制、超蜂窝架构下基于跳码的 SCMA 控制信道接入设计、利用信道学习获取超蜂窝网络休眠基站的信道信息等, 感兴趣的读者可继续关注本期刊的后续论文.

最后对本专刊从筹划、征稿、评审到出版过程中给予大力支持的“973”项目组全体成员以及所有匿名评审人, 特别是编辑部的冯景博士表示衷心的感谢, 同时对“973”项目顾问邬贺铨院士、周炳琨院士、陆建华院士、尤肖虎教授, 以及项目专家李少谦教授、沈连丰教授、马建峰教授、曹志刚教授、谈振辉教授、毕光国教授、朱近康教授、朱洪波教授、李少谦教授和王京教授对本项目的指导表示诚挚的谢意.

特约编辑: 牛志升 清华大学
郑福春 哈尔滨工业大学/东南大学
杨晨阳 北京航空航天大学
王文博 北京邮电大学
张宏纲 浙江大学