
LTE 和 Wi-Fi 系统间灵活频谱使用关键技术

Key technologies for flexible spectrum usages between LTE and Wi-Fi

徐景/XU Jing²

杜金玲/DU Jinling²

杨旸/YANG Yang¹

(1. 上海科技大学信息学院, 上海 201210; 2. 上海无线通信研究中心, 上海 201210)

(1. School of Information Science and Technology, ShanghaiTech University, Shanghai 201210, China; 2. Shanghai Research Center for Wireless Communications, Shanghai 201210, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2015) 01-0000-00

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20141216.1814.011.html>

收稿日期: 2014-11-16

网络出版时间: 2014-12-16 18:05

基金项目:

相关基金项目请提供基金项目号

国家高技术研究发展(“863”)计划(5G 移动通信技术评估与测试验证技术研究)

示例: 国家高技术研究发展(“863”)计划(2006AA01Z257)

摘要:

针对授权辅助接入, 提出了一种适用于 LTE-U 与 Wi-Fi 使用免授权频段的方法, 该方法无需更改 Wi-Fi 协议就能实现 LTE-U 与 Wi-Fi 比例公平使用免授权频谱, 有效聚合授权频谱与免授权频谱, 提升频谱效率, 为用户提供更好的业务体验。进一步探讨了异运营商和(或)异构无线接入技术灵活使用免授权频谱导致的干扰问题。

关键词:

免授权频段; 授权辅助接入; 双连接; 无授权辅助接入; 共存

Abstract:

We propose a method to ensure coexistence between LTE and WiFi for the LAA scheme, which provides a proportional fair opportunity in accessing the unlicensed spectrum. The LAA scheme aggregates a licensed spectrum and unlicensed spectrum, which improves spectrum efficiency and provides better user experience without changing the Wi-Fi protocol. Finally, we analysis the challenges of the inter-RAT interference, inter-operator interference and global common solution for unlicensed spectrum usages.

Key words:

unlicensed bands; licensed assisted access; dual connectivity; standalone, coexistence

智能手机飞速发展、用户数量急剧增长、高清晰多媒体流业务不断涌现, 凸显出频谱匮乏与需求间的深刻矛盾。2014年2月, 思科发布报告^[1]预测至2018年, 移动设备和连接的数量将从2013年约30亿增长到100多亿; 移动连接的平均速度将从2013年1.4 Mbps提高到2.5Mbps, 几乎翻一番。为了缓解授权移动网络的流量压力, 许多运营商通过部署Wi-Fi网络来减轻无线网络的负担, 通过免授权频谱分流无线业务。在LTE网络覆盖的室内和公共热点区域, 由于授权频谱资源有限, 很容易达到网络容量极限, 造成网络拥塞。目前, 全球已经开放了大量免授权频谱, 在这种情况下, 以大量免授权频谱补充有限的LTE授权频谱, 增加可用频谱, 可有效扩充无线容量, 缓解移动网络的流量压力。

免授权频谱是指在满足政府部门(如国家无线电管理委员会)无线电管制下, 不需要政府授权就能直接使用的频谱资源,Wi-Fi是部署在免授权频段的典型技术。Wi-Fi通过载波监听和随机退避机制与其它无线接入技术(Radio Access Technology, RAT)友好共存于免授权频段。由于部署在免授权频段的Wi-Fi缺乏QoS保证机制, 遭受着潜在的不可控的干扰, 适合低速接入, 无法很好的支持高速移动业务, 而LTE部署到免授权频段, 在免授权频段上采用LTE空口协议完成通信, 简称为LTE-U, 可以借助集中调度, 干扰协调, 自适应重传请求(HARQ)等技术, 鲁棒性好, 可获得更高的吞吐量, 将提供更大的覆盖范围和更高的频谱效率。

目前,已经有多家公司和研究机构向 3GPP 提出采用免授权频段部署 LTE 技术,来加速 LTE 室内传输。主要候选方案包括:授权辅助接入(Licensed-Assisted Access, LAA)、双连接(Dual Connectivity, DC)、无授权辅助接入 (Standalone)技术,作为下一代移动通信系统(5G)增强技术,吸引了世界范围内移动通信技术研究工作者的广泛关注^[2-6]。

LTE-U 通信的典型应用场景如图 1 所示,同一区域同时部署了不同无线网络(LTE 与 Wi-Fi),不同移动运营商的小基站(LTE 小基站 A 与 B)。当 LTE 网络负载过重,为了缓解流量压力,在免授权频段使用 LTE-U 技术传输数据,不仅可以实现无线资源的优化和不同接入网络间的负载均衡,为用户提供更好的业务体验,还能帮助移动运营商增大移动宽带网络容量和市场空间^[6-7]。

本文首先介绍了 LTE 部署免授权频段提出的背景。其次,简要介绍了灵活使用免授权频谱的几种技术方案。然后简要分析了未来 LTE-U 与 Wi-Fi 灵活使用免授权频谱面临的挑战。提出一种基于授权辅助接入技术,实现 LTE 与 Wi-Fi 公平使用免授权频谱的方法。最后总结全文。

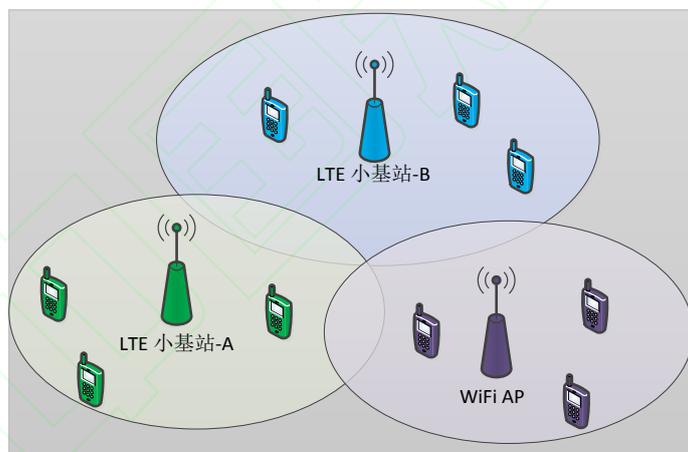


图 1 免授权频段部署 LTE-U 的典型应用场景

1 灵活使用免授权频谱的关键技术

与 Wi-Fi 相比, LTE 部署在免授权频段的优点如下,从用户角度看,数据速率更高、覆盖性能更好、可靠性更高,用户体验将得到明显提升;从移动运营商角度看,核心网同时适用于授权与非授权频段,可与现有 LTE 网络共同运营及管理。

1.1 授权辅助接入

LAA 是一种可以扩展 LTE 兼容频谱至未授权频段上的技术，用于增强 LTE 和 LTE-A，为 LTE 网络运营商提供补充接入。2014 年 9 月，3GPP 将 LAA 列为下一代 LTE 增强网络(R13)的重点研究项目^[8]。LAA 采用载波聚合技术，聚合授权频谱和免授权频谱，前者作为主载波单元(Primary Component Carrier, PCC)传送关键信息和保证 QoS，后者作为辅载波单元(Second Component Carrier, SCC)，可配置成下行补充链路或配置成上行和下行链路，提供额外的无线资源，如图 2 所示。免授权频谱资源由基站集中调度分配，通过 MAC 控制单元的激活/去激活操作控制免授权频谱资源的使用和释放，动态使用资源。当 LAA 基站激活免授权频谱资源时，LTE 在此频谱传输蜂窝数据；当 LAA 基站去激活或释放免授权频谱资源时，Wi-Fi 系统可基于竞争方式抢占并使用免授权频谱资源，从而实现灵活使用免授权频谱的目的。

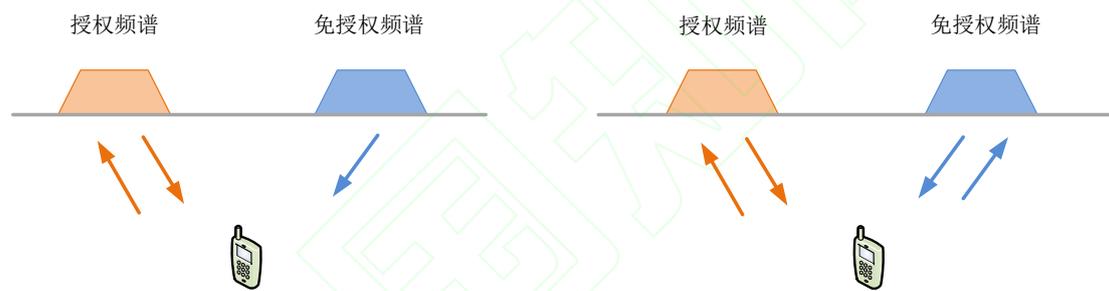


图 2 授权辅助接入示意图

1.2 双连接

双连接^[9]是指用户终端同时在授权频谱和免授权频谱上建立连接，其中授权频谱发送系统广播信息，用于实现控制平面的功能，包括连接管理和移动性管理，从而保证蜂窝通信的连续性。在数据平面，小基站数据业务可以在授权频谱发送、免授权频谱发送，或者两者都发送。从图 3 可以看出，双连接要求授权频谱和非授权频谱网络同步。通过双连接，核心网可以将数据直接卸载到免授权频段，实现数据无缝连接^[10]。通过双连接技术，使 LTE-U 小基站确保链路可靠性和移动鲁棒性^[11]，用户终端灵活在授权频谱和（或）免授权频谱资源上接收和发送数据，从而无缝组合两个频段的数据流，灵活使用免授权频谱资源。

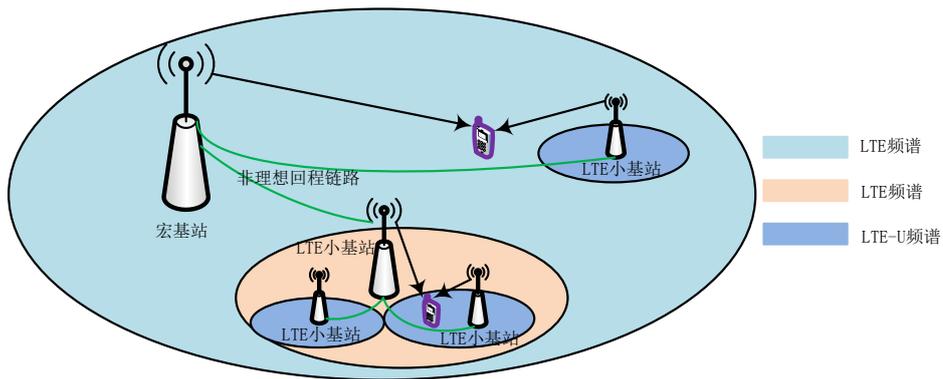


图 3 双连接示意图

1.3 无授权辅助接入

无授权辅助接入^[10-11]是指将 LTE 技术单独部署于免授权频段，不存在授权频段的连接链路，主要考虑用在授权频段无法覆盖的区域。无授权辅助接入不占用授权频段，因此不需要进行授权频谱与免授权频谱间的网络同步，缺点在于无法保证移动性鲁棒性和不易实现灵活流量控制，且对标准化影响较大。



图 4 无授权辅助接入示意图

2 LTE 与 Wi-Fi 灵活使用频谱面临的挑战

免授权频段部署 LTE 技术给蜂窝移动通信系统带来机遇的同时，更带来了更多全新的挑战。本章节首先重点分析授权辅助接入技术的频谱公平使用问题，并提出一种适用于 LTE-U 与 Wi-Fi 比例公平使用免授权频谱的方法，实现对免授权频谱资源的高效利用。其次，LTE-U 部署于免授权频段面临着复杂的干扰环境^[12-13]、LTE-U 还需满足通用空中接口的要求^[14-15]。

2.1 LTE-U 和 Wi-Fi 公平使用免授权频段

公平接入免授权频段是确保 LTE-U 能与现有接入技术（如 Wi-Fi 系统）共存的重要因素。由于当前 LTE 系统是连续传输的，且排他性地使用授权频谱，不与其它运营商和无线接入技术共同使用。而免授权频谱是开放性资源，允许任何无线接入技术使用。如果 LTE 系统不作任何改变直接占用免授权频谱资源，将违背免授权频段的法规要求，对部署在公用免授权频段的其它无线接入系统也是不公平的。在这种情况下，本文提出一种基于 LAA 技术的比例公平使用免授权频段的方法。假设 LAA 基站可伪装成虚拟 Wi-Fi 设备，当系统满载运行于授权频段时，LAA 基站通过先听后说(Listen Before Talk, LBT)尝试竞争免授权频段(载波)，如果竞争成功，则将其作为辅成员载波；LAA 基站也可根据需要直接抢占免授权频段。

为兼顾频谱利用率及不同用户或不同系统公平使用频谱资源，定义比例公平吞吐量效用函数

为： $T_{PF} = \max \sum_i^M \log_2 \bar{R}_i(t)$ ， $\bar{R}_i(t)$ 表示运行在免授权频段的各个系统在 $[0,t]$ 时间段内的

平均速率， $r_i(t)$ 是在 t 时刻系统 i 内所有设备在免授权频段上的瞬时速率之和，依据比例公

平原则^[15]，具有最大优先级 $\frac{r_i(t)}{R_i(t)}$ 的系统可以优先使用免授权频段。例如，假设已知 Wi-Fi

和 LTE-U 将会在免授权频段上传输数据， $\bar{R}_{WiFi}(t)$ 和 $\bar{R}_{LTE-U}(t)$ 分别为 $[0,t]$ 时间段内 Wi-Fi

和 LTE-U 系统的平均传输速率，则 t 时刻的免授权频谱使用需要最大化效用

$(\log_2 \bar{R}_{WiFi}(t) + \log_2 \bar{R}_{LTE-U}(t))$ 。 $r_{WiFi}(t)$ 和 $r_{LTE-U}(t)$ 分别为 t 时刻 Wi-Fi 和 LTE-U 系统的

瞬时传输速率，为了最大化比例公平吞吐量效用函数，LTE-U 基站需要比较 $\frac{r_{WiFi}(t)}{R_{WiFi}(t)}$ 和

$\frac{r_{LTE-U}(t)}{R_{LTE-U}(t)}$ 的大小，如果 $\frac{r_{LTE-U}(t)}{R_{LTE-U}(t)} > \frac{r_{WiFi}(t)}{R_{WiFi}(t)}$ ，且 Wi-Fi 当前数据包传输结束，则 LTE-U

基站直接抢占免授权频段，采用 LTE-U 技术传输蜂窝数据；反之，LTE-U 基站暂停使用免授权频段，或者不抢占免授权频段，由 Wi-Fi 系统基于 LBT 方式传输数据。基于比例公平准则，LTE-U 基站能够适时暂停免授权频段上的数据传输，释放免授权频谱资源，从而实现 LTE 与 Wi-Fi 系统灵活公平使用频谱，提升频谱效率，具体流程见图 5。

该方法可以实现免授权频段 Wi-Fi 和 LTE-U 系统友好共存，达到不同系统比例公平使用免授权频段资源的目的。当 LTE-U 利用免授权频段传输蜂窝数据时，能公平地发挥 LTE-U 技

术优势，提升频谱利用率，为用户提供更好的业务体验，同时帮助运营商扩大移动宽带网络容量和市场空间。

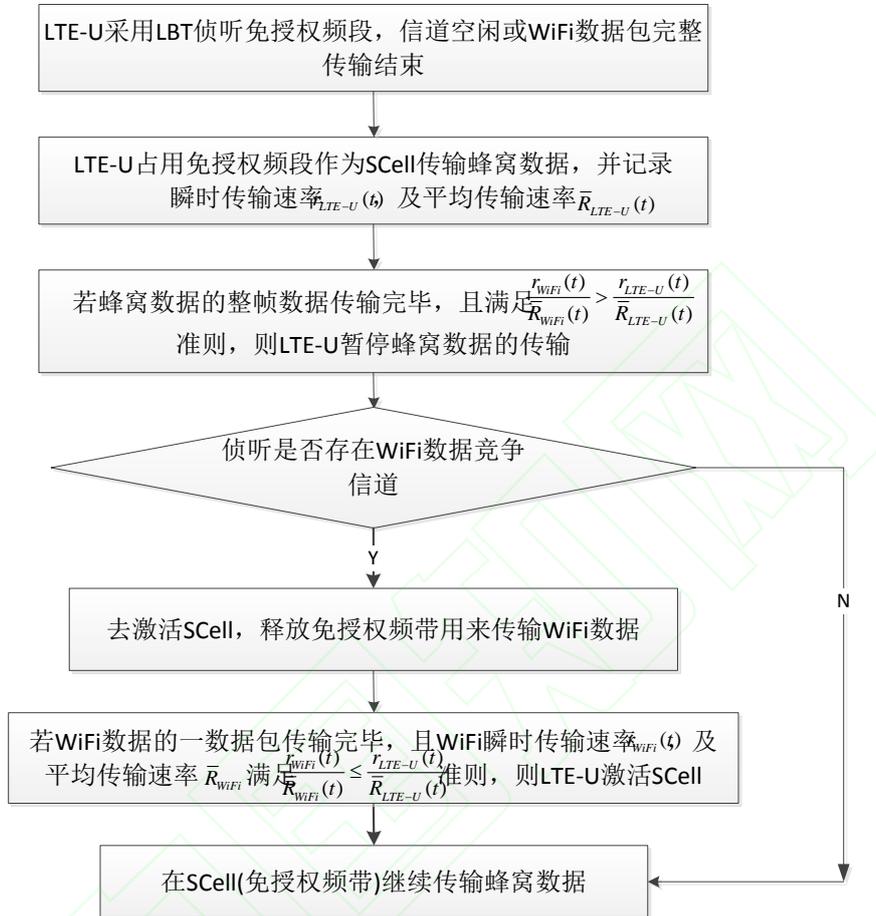


图 5 LTE-U 与 Wi-Fi 比例公平分配免授权频谱资源

2.2 免授权频段干扰协调与管理

免授权频段是开放式接入频谱资源，只要工作在免授权频段上的无线设备满足国家或区域规定要求，无需认证过程，任何 RAT，任何用户终端或设备均可接入免授权频段，任何无线接入技术都可以部署该频段。这就意味着免授权频带不会限制运营商的数量和类型，同区域同信道免授权频段上可能同时存在多 RAT 系统发射数据的情况。如果 LTE-U 部署在免授权频段，那么就需要考虑不同运营商间的干扰，密集部署网络的干扰情况将更加复杂严重。自适应进行异构系统间和（或）异运营商间的干扰补偿，可以降低干扰和提升无线网络的鲁棒性。

2.3 LTE-U 空中接口设计

LTE-U 部署在免授权频段时，一方面需要满足某些国家或地区规定使用免授权频段需符合的诸如发送功率控制(TPC)，先侦听后传输(LBT)，动态频率选择(DFS)^[17]等要求；另一方面，应尽量继承和保留 LTE 协议基本原理和设计理念，继承 LTE 空口链路协议的鲁棒性和卓越的系统性能。为了公平有效使用免授权频谱，同时保持或增强 LTE 系统优势，LTE 可能需要对空中接口作必要改变，以实现多 RAT 共存于免授权频段，最大化频谱效率，形成一个具有全球通用的无线移动通信网络。同时，还可能需标准化组织 3GPP 和 IEEE 共同进行 LTE-U 空口传输协议的标准制订。

3 结束语

将 LTE 部署到免授权频段进行业务传输，可以满足公众对高带宽无线业务爆发式增长需求，提升免授权频谱效率，为下一代移动通信系统（5G）奠定坚实基础，促进宽带移动通信技术发展。授权辅助接入、双连接和无授权辅助接入等技术方案为不同无线接入技术，异运营商共享免授权频谱提供了解决思路。基于授权频谱接入技术，本文提出一种 LTE 与 Wi-Fi 网络公平使用免授权频谱的机制。

参考文献

- [1] Cisco. Visual networking index, 2014, <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service-provider/visual-networking-index-vni/index.html>.
- [2] Ericsson, Qualcomm, Huawei, Alcatel-Lucent. RP-141664: RAN1 SI on licensed assisted access v11 [C], 3GPP RAN meeting#65, 2014.
- [3] Qualcomm, Ericsson. RP-131635: Introducing LTE in unlicensed spectrum [C], 3GPP RAN meeting #62, 2013.
- [4] Verizon. RP-131680. New band for LTE deployment as supplemental downlink in unlicensed 5.8 GHz in USA [C], 3GPP RAN meeting #62, 2013.
- [5] Ericsson, Qualcomm. RP-131788: Study on LTE evolution for unlicensed spectrum deployments [C], 3GPP RAN meeting #62, 2013.
- [6] T-MOBILE. RWS-140007: View on LTE carrier aggregation with unlicensed spectrum [C], 3GPP workshop on LTE in unlicensed spectrum, 2014.
- [7] Huawei. U-LTE: Unlicensed Spectrum Utilization of LTE [R], http://www.huawei.com/ve/others/index-cdf_en_group_white_book.htm.
- [8] FLORE D, Initial priorities for the evolution of LTE in Release-13 [R], 2014. <http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1628-rel13>
- [9] ZTE, Qualcomm. RP-141470: Supporting dual connectivity in LTE-U [C], 3GPP TSG RAN meeting #65, 2014.

-
- [10] Hitachi Ltd. RWS-140017: Hitachi perspectives on LTE-U [C], 3GPP workshop on LTE in unlicensed spectrum, 2014.
- [11] NTT DoCoMo. RWS-140026: Views on LAA for unlicensed spectrum – scenarios and initial evaluation results [C], 3GPP workshop on LTE in unlicensed spectrum, 2014.
- [12] ANDREWS J, BUZZI S, et al. What will 5G be? [J], IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2014, 32(6):1065-1082.
- [13] RAHMAN M, BEHRAMAN A, et al. License-exempt LTE systems for secondary spectrum usage: scenarios and first assessment[C], IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), Bellevue, 2011, 5: 349-358.
- [14] MEDEISIS A, SYDOR J, et al. ISM-Advanced: improved access rules for unlicensed spectrum[C], IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), McLean, 2014, 5: 194-205.
- [15] KANG D, SUNG K, ZANDER J. The validity of unlicensed spectrum for future local high capacity services[C], the 24 European Regional ITS Conference, Florence, 2013, 10: 1-15.
- [16] LIU E, LEUNG K. Expected throughput of the proportional fair scheduling over rayleigh fading channels [J]. IEEE Communications Letters, 2010, 14(6): 515-517.
- [17] ETSI EN 301 893 V1.7.1 Broadband Radio Access Networks (BRAN); 5 GHz high performance RLAN; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive BRAN [S], 2012.

徐景，上海无线通信研究中心研究员；研究方向为新一代移动通信系统和 Wi-Fi；已发表学术论文 30 余篇。

杜金玲，上海无线通信研究中心助理研究员；研究方向为异构无线网络融合与共存；已发表学术论文 3 篇。

杨昶，上海无线通信研究中心主任，上海科技大学信息学院教授；研究方向为新一代移动通信系统、无线传感器网络、无线新技术测试验证平台开发等；已发表学术论文 100 余篇。