



5G 与 Wi-Fi 融合组网需求分析及关键技术研究^{*}

刘 明,张治中,程 方

(重庆邮电大学通信网与测试技术重庆市重点实验室 重庆 400065)

摘 要:第五代移动通信技术(5G)与 Wi-Fi(wireless fidelity, 无线保真)技术实现融合组网可以很好地解决 5G 中流量飞速增长和用户体验较差的难题。提出多 RAT(radio access technology, 无线接入技术)、多需求、多互联的融合将成为面向 2020 年的 5G 的必然趋势。总结了 5G 与 Wi-Fi 融合组网过程中,融合组网应用场景和融合组网技术路线是必然需求,提出了无感知认证、组网安全性、绿色通信等将成为其关键技术指标。

关键词: 5G; Wi-Fi; 融合; 无感知认证; 绿色通信

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.08.016

Analysis of Network Demand and Research on the Key Technology for Integration of 5G and Wi-Fi

Liu Ming, Zhang Zhizhong, Cheng Fang

(Chongqing Key Laboratory on Communication Networks and Testing Technology,
Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: The integration network of 5G and Wi-Fi can well solve the problem of rapid growing wireless traffic and user experience pursuit in 5G. Integration of multi-radio access technology, multiple needs and multiple internet were studied to become the inevitable trend for IMT 2020 (5G). In the networking of 5G and Wi-Fi, integration of network application scene and fusion networking technology were introduced to be the inevitable demand, no-sense authentication, network security, green communication were proposed to become the key technical indicators.

Key words: 5G, Wi-Fi, integration, no-sense authentication, green communication

1 引言

随着移动通信系统和互联网能力的不断提升,计算机技术与通信技术已逐步实现融合,无线接入技术也随之成熟并被大范围地使用。对于未来第五代移动通信技术(5G)来说,不能再单单用满足某项业务的能力或某个特定的技术指标来对其进行定义。随着对移动通信系统能力的迫切需求,与移动通信息息相关的产业环境也将发生巨

大变化,5G 不再是一种只拥有高速率、高能力、高效率的空口技术,而是一种能够应对不同业务需求并不断提高用户体验的智能网络。

面向 2020 年的 5G 时代将会是一个不同技术之间相辅相成的时代,5G 与其他先进技术之间的融合将会成为一种必然趋势。如何体现不同系统的优势将会是融合的核心所在,这需要它们能够相互协作,使良好的工作效率和用户体验能够得到满足。Wi-Fi(wireless fidelity, 无线保真)

^{*} 国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目“5G 移动通信系统总体技术研究”(No.2014AA01A706),国家科技重大专项基金资助项目(No.2012ZX03001021),重庆市 2013 年高校创新团队建设计划基金资助项目



可以作为运营商优先选择的异构网络进行部署,因为对于如今的移动终端来说,Wi-Fi已是智能终端的标准配置。同时,Wi-Fi还具有组网灵活、传输速率高、移动性强、成本低廉等优点。对于运营商来说,在热点区域实现Wi-Fi与5G融合组网将能更有效地起到对现有蜂窝网分流的作用,同时可以大幅提高用户体验。

2 5G 移动通信网络

移动通信系统的发展从第一代移动通信系统(1G)到第四代移动通信系统(4G),几乎每一代移动通信系统都具有其特定的业务需求和关键技术。例如:1G的模拟蜂窝技术;2G以TDMA(time division multiple access,时分多址)和FDMA(frequency division multiple access,频分多址)为主的数字蜂窝技术主要是电路域语音通信;3G以CDMA(code division multiple access,码分多址)为主要特征,支持数据和多媒体业务;4G以OFDM(orthogonal frequency division multiplex,正交频分复用)和MIMO(multiple-input multiple-output,多入多出)为主要特征,支持宽带数据和移动互联网业务^[1]。对于未来的5G来说,已经不能仅用特定的业务需求和关键技术对其进行衡量。图1为一个无线移动网络互操作模型的5G移动通信系统网络体系结构示意图。

面向2020年及未来,超高清、3D和沉浸式视频的流行将会驱动数据速率大幅提升。增强现实、云桌面、在线游戏等业务,不仅对上下行数据传输速率提出挑战,同时也对时延提出了“无感知”的苛刻要求。未来人们对各种应用场景下的通信体验要求越来越高,用户希望能在体育场、露天集会、演唱会等超密集场景以及高铁、车载、地铁等高

速移动环境下也能获得一致的业务体验。

在网络建设和部署方面,5G需要提供更高的网络容量和更好的覆盖,同时降低网络部署尤其是超密集网络部署的复杂度和成本;5G需要具备灵活可扩展的网络架构以适应用户和业务的多样化需求;5G需要灵活高效地利用各类频谱,包括对称和非对称频段、重用频谱和新频谱、低频段和高频段、授权和非授权频段等;另外,5G需要具备更强的设备连接能力来应对海量物联网设备的接入。

在运营维护方面,5G需要改善网络能效和比特运维成本,以应对未来数据迅猛增长和各类业务应用的多样化需求;5G需要降低多制式共存、网络升级以及新功能引入等带来的复杂度,以提升用户体验;5G需要支持网络对用户行为和业务内容的智能感知并做出智能优化;同时,5G需要能提供多样化的网络安全解决方案,以满足各类移动互联网和物联网设备及业务的需求。

3 Wi-Fi 网络

Wi-Fi由AP(access point,接入点)和无线网卡所构成。Wi-Fi网络作为无线通信技术和计算机网络技术结合的产物,最开始是针对公司、校园、公寓等室内区域的无线网络覆盖,由于其带来的便利性,近年来已被广泛应用到各类公共区域。组网灵活、传输速率高、移动性强、成本低廉等都是Wi-Fi网络具有的优势。Wi-Fi网络的应用,给通信带来了移动化、高效化、简捷化的用户体验,成为对移动通信网络来说一种很好的网络补充,有利于移动通信网络的分流。以下是Wi-Fi网络的几个特点,这些特点都是促成5G与Wi-Fi融合组网的关键性因素。

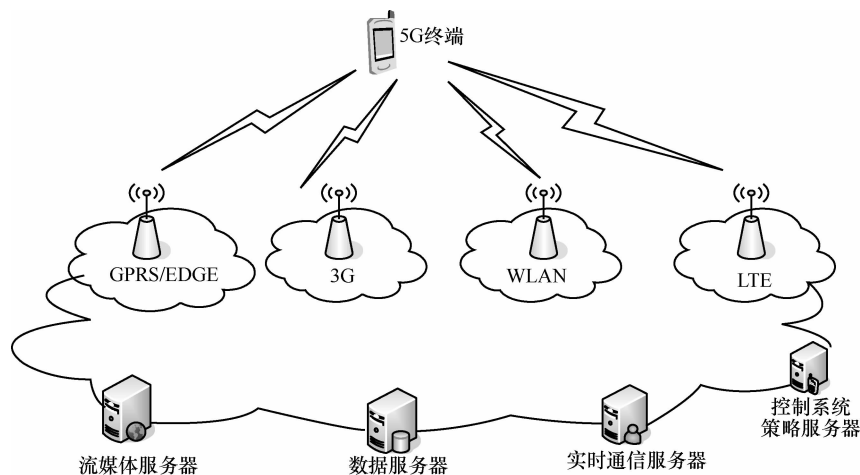


图1 5G移动通信系统网络体系结构

(1)组网简便

Wi-Fi 网络的组建相当简便,相比于有线网络来说,其对硬件和软件的要求都非常低。同时,随着终端能力的不断增强,支持 Wi-Fi 的终端早已在市场上得到普及,不同终端的 AP 以及运营商网络接口之间是可以实现互相协作的,这就意味着移动通信网络与 Wi-Fi 网络的融合组网可行度很高。对 Wi-Fi 网络的规划是随着用户量的增长而逐步增加,当有新加入的用户时,只需在原有设备基础上增加几个 AP 设备,不需要对其进行重新布线。与移动蜂窝网技术不同,Wi-Fi 具有全球统一的标准,不管 Wi-Fi 用户身在哪个国家,都可以享受到 Wi-Fi 带来的极强用户体验。

(2)业务可集成性

Wi-Fi 网络与现有的以太网结构是完全一样的,也就是说,在现有的宽带网络中,Wi-Fi 业务可以在其基础上实现很好的集成,反过来宽带业务同样可以很好地集成在 Wi-Fi 网络中,从而实现两种业务互操作。同样地,可以利用 5G 网络中的有线接入资源,在 Wi-Fi 网络上对 5G 业务实施部署,实现对组网业务的融合。

(3)完全开放的频率使用段

无线局域网使用的 ISM(industrial scientific medical,工业、科学、医疗)频段是全球开放的频率使用段,使得用户端无需任何许可就可以自由使用该频段上的服务^[2]。

4 融合组网需求

4.1 融合应用场景

移动互联网业务和物联网业务将会是 5G 与 Wi-Fi 融合组网所面临的主要业务。移动互联网业务包括流量类业务和会话类业务,其中流量类业务由于其对用户体验速率的要求极高,将会是 5G 与 Wi-Fi 融合组网面临的巨大挑战。与此同时,交互类业务也在迅猛发展,据统计,Android 手机在 2013 年全年的应用下载量就占总下载量的 30%。快速响应能力是交互类业务最大的挑战,它要求实现对时延无感知的用户体验。

物联网采集类业务在 5G 时代的需求也会是空前巨大的。各节点间连接数量的成倍增长将会是无线通信技术面临的直接挑战。同时,物联网业务还要求其保证高可靠性,对时延敏感类业务甚至要求时延低于毫秒级。

针对这些 5G 与 Wi-Fi 融合组网的主要支撑类业务,需要一些相应的应用场景与之适应。融合组网的应用场景在原来的基础上将会有进一步的扩展,除了在原有的校

园、企业、车站等室内环境产生应用场景以外,还会将密集街区、密集公寓楼、体育场、无线社区、公共交通工具都列入其中。并考虑其在此类环境中高密度的使用情况。此外,还将聚焦于室外接入点和终端设备高度密集的复杂环境以及需求高吞吐量的应用场景。5G 与 Wi-Fi 融合组网的场景服务对象也将会由个人应用扩展至公众接入,同时会实现对蜂窝网的分流,还会涉及对吞吐量要求较高的应用领域,如超高清视频、远程医疗/手术、车载娱乐和比赛场馆视频拍摄等场景。5G 与 Wi-Fi 融合组网的应用场景见表 1。

表 1 5G 与 Wi-Fi 融合组网应用场景

序号	应用类型	典型场景
1	终端设备高密度场景	校园网络
		无线办公
		公共交通运输 自动化工业园区
2	终端设备在单个接入点 中低密度场景	无线社区
		高密度公寓
3	终端设备在单个接入点 中高度密集场景(室外)	超高密度城市社区
		macro cell 部署社区 pico cell 部署社区
4	吞吐量要求较高场景	远程医疗/手术
		车载娱乐
		场馆活动视频拍摄

4.2 融合组网技术路线

5G 与 Wi-Fi 的融合组网技术路线需要调研和参与国际国内相关技术标准进展,了解市场需求、产业发展以及相关政策,遵循移动通信系统对于 Wi-Fi 进行“吸收、融合并创新”的技术路线,如图 2 所示。从“无线以太网”与“移动通信网”两个体制的协同,发展成为从架构、接口、移动性、业务和应用层面上的全面“一体化”融合,即:将 Wi-Fi 作为一种无线技术融入移动通信网络,在多种蜂窝网相融合的场景下,与其他蜂窝技术共同实现核心网的多种接入模式,保证其资源统一调配、策略统一控制以及业务统一管理^[3]。

(1)融合网络架构

目前业界普遍使用的 Wi-Fi 与移动蜂窝网融合的方案有两种:以 UMA(unlicensed mobile access,非授权移动接入)为代表的 Wi-Fi 与 3G 融合实现方法;基于 3GPP2 的 PDIF(packet data interworking function,分组数据互通功能)固定移动网络实现方案。对于现有 LTE 网络来说,其演进方案可以把 EPC(evolved packet core,分组核心演进)通过 S2a/S2b/S2c 接口顺利接入^[4],以此为基础来搭建

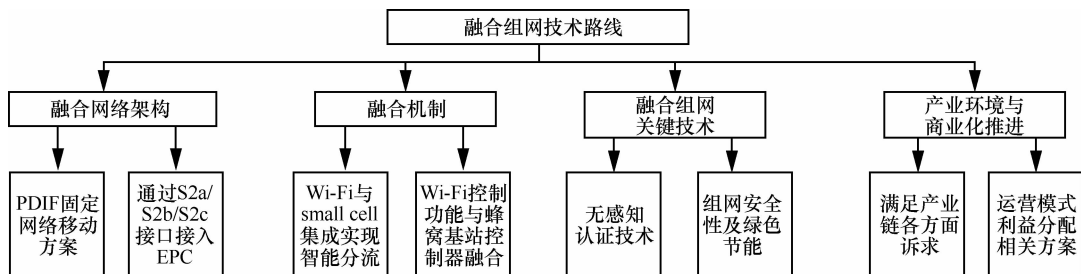


图2 融合组网技术路线

Wi-Fi 与 5G 移动通信网络演进的网络融合架构。

(2) 融合机制

首先是接入认证融合,融合后的 Wi-Fi 认证机制可以提供给用户不一样的接入体验,包括自适应的统一认证接入、无时延的用户感知;让 Wi-Fi 与 small cell 能够实现集成,有利于蜂窝网智能分流。同时可以使 Wi-Fi 和蜂窝网控制系统完成深度融合,以便对 Wi-Fi 基站和 small cell 进行统一管理,对不同业务实现智能分流。发展 Wi-Fi 终端无缝漫游技术,使 Wi-Fi 和移动通信网能够相互协作,根据不同的业务需求智能地在 Wi-Fi 和 5G 中进行选择,移动终端在移动通信网及 Wi-Fi 间实现无缝漫游,使业务层面的用户体验大幅提高。

(3) 融合组网关键技术

调研国内外移动通信网与 Wi-Fi 融合技术的进展与趋势,其中包括空口能力扩展、无感知认证技术、Wi-Fi 与蜂窝网自适应配置、组网安全、绿色通信、无缝平滑切换、干扰抑制、数据流量动态均衡、鉴权、认证与计费机制等发展路径,5G 与 Wi-Fi 融合组网关键技术指标极有可能诞生于其中,需要对其进行总结和分析。

(4) 产业环境和商业化推进

融合组网的目标是实现产业化和商业化,需要调研国内外专利和标准以及相关产业发展的状况,研究规避和发展方案,维护国家利益,满足产业链各方合理诉求,从运营模式、利益分配、政策措施等方面提出相关方案。

5 融合组网关键技术

5.1 融合组网技术难点

5G 与 Wi-Fi 的融合组网的目标是获得较高的网络利用率、尽可能低的时延、更好的 QoS(quality of service,服务质量)以及用户体验,重点解决以下技术难点:

- 在多业务环境下的基于终端位置、移动速度、方位角等的无缝切换技术,保障业务负载均衡、服务质

量、能效与时效;

- 干扰抑制技术,解决 femtocell 的广泛应用和 Wi-Fi 热点 AP 数量的激增,导致的愈加严重的共存干扰问题;
- 根据网络和业务情况进行动态调整的自适应技术,通过网络的自发现选择、自组织和自配置,优势互补,扬长避短,实现资源共享与优化;
- Wi-Fi 频段开放,搭建 Wi-Fi 的 AP 简单低价,信息和密码易被窃取是需要主要解决的安全问题;解决离开了运营商的物理性隔离保护,黑客通过 femtocell 可以不受监控地入侵移动核心网的问题,解决在移动通信网和 Wi-Fi 融合过程中安全协议的无缝对接问题等。

针对以上 5G 与 Wi-Fi 融合组网的技术难点,主要提出了 3 种关键技术指标以解决以上问题,分别为:无感知认证、组网安全性、绿色节能。下面将会对这 3 种关键技术进行详细的介绍。

5.2 无感知认证技术

在未来的 5G 网络中,对用户体验“无感知”的要求是相当苛刻的。作为与 5G 共同融合组网的 Wi-Fi 网络,同样需要具备这样的特性。Wi-Fi 无感知业务认证技术能够让终端智能接入认证,无需用户进行多余操作。基于 IEEE 802.1x/EAP 的 Wi-Fi 无感知认证系统可以对消息进行统一处理,其消息传递机制为 EAP 认证体系。IEEE 802.1x 是一种以端口为主的网络接入控制协议,对接入用户的认证和鉴权给出了指定的标准化流程,主要实现用户终端与网络接口的认证与鉴权功能^[9]。

PEAP、EAP-SIM/AKA 及 MAC 地址认证方式是当今业界比较成熟的 3 种无感知认证方式。随着智能终端的不断发展,越来越多的终端都可以通过以上 3 种方式完成认证过程并自动接入 Wi-Fi 网络,这避免了用户进行多余的繁琐操作,用户业务体验得到有效提高。

(1)PEAP 认证技术

Wi-Fi 终端、Wi-Fi 路由器、AAA(authentication, authorization and accounting, 认证、授权和计费)服务器是 PEAP 认证系统的主要构成部分。PEAP 认证技术主要采用的是 EAP 认证协议框架, 在用户使用 Wi-Fi 时对用户名和证书同时进行接入认证鉴权。在网络与终端连通后, 会首先对网络侧身份进行认证, 随后通过刚建立的 TLS (transport layer security, 传输层安全) 协议隧道, 向网络侧发送准备好的用户名和密码, 与用户身份进行比对, 在通过认证后用户终端会获得接入控制器分配的 IP 地址, 至此便可访问互联网。

(2)EAP-SIM 认证技术

EAP-SIM 认证技术原理: Wi-Fi 终端、Wi-Fi 路由器、AAA 服务器以及 HLR 系统是 EAP-SIM 认证系统的主要组成部分。与 PEAP 认证技术相同, 它同样是采用 EAP 认证协议框架, 但其接入认证鉴权是通过 SIM 卡的认证密钥来实现。终端首次连入网络时, SIM 卡的 IMSI 信息会被 AAA 服务器获取, 在 AAA 服务器中最后的认证完成需要对 SIM 卡信息进行核对并对 HLR 进行鉴权。当以后用户终端再次连入时, 只需要使用网络分配的伪标识就能完成认证。在通过认证后用户终端会获得接入控制器分配的 IP 地址获得互联网访问权。

(3)MAC 地址认证技术

Wi-Fi 终端、Wi-Fi 路由器、MAC 绑定服务器、AAA 服务器、短信网关构成了 MAC 地址认证系统。同样是采用 EAP 认证协议框架, 其接入认证鉴权方式是通过对 MAC 地址和用户名、密码同时进行验证来实现。当用户首次通过 Web 认证后, 网络侧会对终端网卡 MAC 地址与手机号码进行绑定。当用户再次接入相同 Wi-Fi, 不必重复登录, 认证服务器会根据保存的信息, 让用户自动接入 Wi-Fi, 并可以通过短信的方式提醒用户。

表 2 分别列出了这几种认证协议在用户操作和安全性的具体优点。3 种认证方式中, EAP-SIM 和 PEAP 认证方式都是由后台自行处理, 用户体验度较高。MAC 地址认证方式同样具有很好用户体验, 其对无线网卡地址和用户

名的绑定也是完全自动生成的。在安全性方面, 采用 SIM 卡鉴权认证的 EAP-SIM 认证方式安全性最高, 而 MAC 地址认证方式由于其信息的半公开性, 较易被窃取并伪造, 其安全性能最低。

5.3 组网安全性

(1)安全机制

5G 与 Wi-Fi 融合组网过程中, 其必将脱离运营商的物理隔离保护模式, 黑客可以轻易地通过 femtocell 入侵移动核心网。同时还将面临组网过程中信息和密码被窃取或丢失等安全性问题, 这些问题都是亟待解决的。可靠性、保密性及完整性是融合组网安全机制的 3 个重要组成部分, 下面将对其进行介绍。融合组网安全机制示意如图 3 所示。

- 可靠性。所谓可靠性即组网完成后, 用户无论在何时何地都可以随心所欲地使用这个网络。当然, 要达到这样的程度具有一定难度。其根本原因主要有 3 点: 首先融合网络在组网过程中对外部网络的干扰抵抗力极低, 其次是融合网络完成后其可用性易受到各方面因素的制约, 就算外部环境发生极细微变化, 其性能也会受到影响; 最后是由于融合组网技术的稳定性依赖于 5G 与 Wi-Fi 之间的相互协作, 两者各方面条件必须达到高度契合。
- 保密性。保密性是把融合网络间的数据保护起来, 不被窃取。5G 与 Wi-Fi 融合组网后, 其传输速率大幅提升, 对数据安全性的威胁也会大幅提高。融合网络若想对这些高速传输的数据加以保护, 必须在传输之前就对数据内容本身进行加密。
- 完整性。所谓完整性即在融合网络中, 不管以何种方式对数据进行传输, 它的内容完整性必须得到保证。在 5G 与 Wi-Fi 的融合网络中, 数据的完整性极易遭到破坏, 只需窃取网络接入密钥, 便可完成对融合网络的攻击。此外, 融合网络在传输过程中依旧具有局限性, 数据在传递过程中由于设备之间的不断切换有可能会丢失一部分。所以要做到融合网络的完整性, 重点在于如何提高传输过程完整度。

表 2 无感知认证方式的优点对比

认证方式	EAP-SIM	PEAP	MAC 地址
认证机制	使用 SIM 卡身份认证	基于证书、用户名和密码实现身份认证	使用 MAC 地址身份认证
用户操作	认证过程完全由后台自行处理, 用户体验度高	认证过程完全由后台自行处理, 用户体验度高	服务器上的用户无线网卡物理地址和用户名绑定完全自动生成
安全性	用户 SIM 卡信息固定且唯一	访问点会在终端和 RADIUS 服务器之间转发消息	绑定结果通过短信告知用户

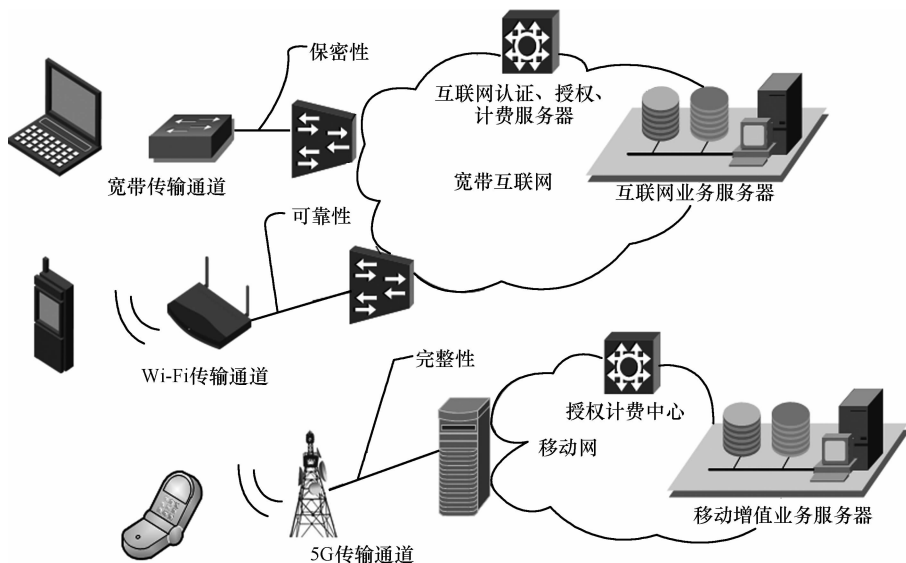


图3 融合组网安全机制示意

(2)安全策略

对于 5G 与 Wi-Fi 融合组网的安全机制来说,要使其的 3 个特性尽可能地完善,必须找到相应的安全策略。下面介绍的加密模式主要针对融合网络中 Wi-Fi 侧的安全保护。

WPA-PSK(TKIP)加密模式,是目前 Wi-Fi 业界公认较成熟的加密模式。暂时密钥集成协议是 TKIP 的定义。RC4 算法是 TKIP 中主要采用的算法,相比于从前的 WEP 密码认证设备,它增加了“信息包单加密功能”、“信息监测”、“具有序列功能的初始向量”和“密钥生成功能”等算法。

TKIP 就好比于在 WEP 密码的外面加入了一层保护层,这种加密方式的优点在于它不仅使 WEP 算法得到充分发挥,同时能够克服 WEP 带来的弊端。WEP 安全漏洞是其主要针对的问题,能极大程度地提升无线数据的保密性和完整性。与 WEP 加密模式相比,在 5G 与 Wi-Fi 的融合网络中 TKIP 模式会更加适用。

5.4 绿色通信

在蜂窝网络设备中,各种基站所占用的能源是最多的;尤其是从耗电的角度来看,基站的耗电量在运营商耗电总量中占据绝大部分,所以如何对基站进行节能将会是未来移动通信网亟待解决的问题。在 5G 与 Wi-Fi 融合网络中,绿色通信是必然趋势,如何降低基站能耗是重中之重。下面将列出在 5G 与 Wi-Fi 融合网络中极可能用到的节能解决方案。

(1)灵活多样的基站形态

在现有的移动通信网基站中,DAS (direct attached

storage,直连式存储)分布系统是广泛使用的一种系统。缺点是其射频线缆在对各节点进行合路的同时会造成很大的能耗,而且使用得越久,这种损耗就会越大。而且它无法支持在 5G 中会用到的 MIMO 技术,因为它本身就是单路的,容量方面会出现不足。small cell 具有功率小、能效高等优势,且能支持 MIMO 技术,在 5G 移动通信网络中是不可或缺的,与 DAS 系统相比,不管是覆盖效果还是能量效率都远超前于后者。

另外,在 5G 与 Wi-Fi 组网过程中可以采用智能化的网络优化方案,在覆盖量相同的情况下只采用最少的基站,最好是能用低能耗的节点进行覆盖补充,在降低融合网络整体能耗方面会有巨大帮助。

(2)智能基站功放关断

5G 网络中对各类业务的需求将会成倍增长,这些业务类型可以分为两类:一种是基站持续发送的业务类型,另外一种就是间歇性地发送,例如微信、QQ、微博等业务。恰恰是这些没有发送业务的时间段,基站的功放也是照常开放的,这样就会产生不必要的能耗。在 5G 与 Wi-Fi 的融合网络中,可以在不发送业务的时间段通过智能 OFDM 来关断功放,以此实现对基站多余能耗的控制。这种关断技术可以无感知地关断不发送业务的基站,且不会影响其他功能,可以很好地节省融合网络功放的能耗。

在 5G 与 Wi-Fi 融合组网的区域,还可以根据运营商相关关断策略,对 5G 或 Wi-Fi 网络进行选择性的关断,在保证业务数据高效性的同时,也能达到节约能耗的目的。

此外,基站和各节点工作量的降低对设备温度的影响也会随之下降,无需再采用制冷措施对其实施降温,耗电量问题得到很好解决。

6 结束语

面向 2020 年的 5G 移动通信时代已逐渐临近,高流量、高智能、低时延、低能耗是 5G 无线技术研究即将面临的巨大挑战。Wi-Fi 的优势在于可以灵活地接入,具有较低成本且容易组网和维护。而移动通信系统的长处是覆盖面广,传输效率高,具有较高 QoS,管理控制方便。Wi-Fi 网络作为移动通信网的一种补充,可以与 5G 网络进行融合组网以解决上述难题。本文从 5G 与 Wi-Fi 融合组网需求出发,对融合组网应用场景与融合组网技术路线进行了分析。提出了融合组网的技术难点,并讨论了无感知认证技术、组网安全性和绿色通信技术的研究进展,认为它们会成为 5G 与 Wi-Fi 融合组网中的关键技术指标。

参考文献

- 1 大唐电信 5G 白皮书. <http://wenku.baidu.com/view/9ab6b8254431b90d6c85c7e5.html>, 2014
- 2 盛蕾. Wi-Fi 网络研究及基于 Linux 的测试平台的实现. 同济大学硕士学位论文, 2007
- 3 王仙平, 赵明刚. 移动互联网时代的 Wi-Fi 位置与融合方向. 通信世界, 2012(35)
- 4 辛冰, 周远明, 罗伟民. WLAN 和 2G/3G 网络融合方案的问题浅析. 广东通信技术, 2013, 33(1): 53~58
- 5 刘长瑞, 聂明. 无感知 WLAN 业务认证方式的分析. 电信工程技术与标准化, 2012, 25(8): 25~29
- 6 3GPP, ITU, WRC, APK, CJK, China IMT2020. Roadmap and Work Plan on Future Technologies (2020), 2013
- 7 Demestichas P, Georgakopoulos A, Karvounas, *et al.* 5G on the horizon: key challenges for the radio-access network. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2013, 8(3)
- 8 Kishiyama Y, Benjebbour A, Nakamura T, *et al.* Future steps of LTE-A: evolution toward integration of local area and wide area systems. IEEE Wireless Communications, 2013, 20(1): 12~18
- 9 Ishii H, Kishiyama Y, Takahashi H. A novel architecture for LTE-B: C-plane/U-plane split and phantom cell concept. Proceedings of 2012 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Anaheim, USA, 2012
- 10 Chih-Lin I, Rowell C, Han S, *et al.* Toward green and soft: a 5G perspective. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(2): 66~73
- 11 Naik G I. LTE WLAN interworking for Wi-Fi hotspots. Proceedings of the 2nd International Conference on Communication Systems and Networks, IEEE Press, Bangalore, India, 2010: 462~463
- 12 Kim H, Kim L, Kunz A. Enhanced 3GPP system interworking with fixed broadband access network. IEEE Communications Magazine, 2013, 51(3): 88~95
- 13 Wang H, Laurenson D I, Hillston J. A general performance evaluation framework for network selection strategies in 3G-WLAN interworking networks. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2013, 12(5): 868~884
- 14 Yoon W, Jang B. Enhanced non-seamless offload for LTE and WLAN networks. Communications Letters, 2013(10)
- 15 Li X, Bao F, Li S, *et al.* FLAP: an efficient WLAN initial access authentication protocol. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2014, 25(2): 488~497
- 16 Chin K W. A green scheduler for enterprise WLANs. Proceedings of Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC'11), Piscataway, USA, 2011
- 17 Ezri D, Shilo S. Green cellular-optimizing the cellular network for minimal emission from mobile stations. Proceedings of IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronics Systems, COMCAS 2009, Tel Aviv, Israel, 2009
- 18 Chen T, Yang Y, Zhang H, *et al.* Network energy saving technologies for green wireless access networks. IEEE Wireless Communications, 2011, 18(5): 30~38

[作者简介]



刘明,男,重庆邮电大学硕士生,主要研究方向为 5G 移动通信系统总体技术、通信网测试技术。



张治中,男,重庆邮电大学教授、博士生导师,主要研究方向为 5G 移动通信系统总体技术、通信网测试技术、宽带信息网络、NGN 等。



程方,女,重庆邮电大学教授、硕士生导师,主要研究方向为 TD-LTE、宽带信息网、泛在网、NGN 等通信网测试方法与标准、信令监测技术。

(收稿日期:2014-06-22)