

5G与WiFi6的协同组网方案设计及应用



Design and Application on Collaborative Networking Scheme of 5G and WiFi6

李沸乐/LI Feile, 杨文聪/YANG Wencong,
张雪贝/ZHANG Xuebei

(中国联合网络通信有限公司研究院, 中国 北京 100048)
(The Research Institute of China Unicom, Beijing 100048, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202204003

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20220727.1906.002.html>

网络出版日期: 2022-07-28

收稿日期: 2022-06-05

摘要: 提出了一种5G+WiFi6协同组网方案。该方案设计了关键网元的软件架构和网络增强功能机制,并由专网试点完成了应用验证。该协同组网方案可在网络侧对通用WiFi用户和5G用户的统一管理进行调度,并利用WiFi6带宽资源弥补5G上行带宽的不足,大幅提升了上行带宽,提高了流量分担和无线资源使用的灵活性,节省了网络建设和终端改造成本。

关键词: 5G; WiFi6; 协同组网

Abstract: A 5G + WiFi6 collaborative networking scheme is proposed, in which the software architecture and network enhancement function mechanism of the key network elements are designed, and the application verification is completed by the private network pilot. The collaborative networking scheme can schedule the unified management of general WiFi users and 5G users on the network side, and use WiFi6 bandwidth resources to make up for the lack of 5G uplink bandwidth, which greatly improves the uplink bandwidth, and the flexibility of traffic sharing and wireless resource use, and saves the cost of network construction and terminal transformation.

Keywords: 5G; WiFi6; collaborative networking

长期以来,蜂窝网络和WiFi是移动设备的两大主流技术。5G网络有如下特点:传输速率高,理论带宽是4G的100倍;容量大,可同时容纳100万设备;时延低,网络时延从4G的20 ms降至1 ms;可靠性增强,通过波束赋形技术,可支持在500 km/h的高速运动场景下的稳定通信。但5G的应用和完善也面临着巨大挑战:(1)中国5G主流的3.5 GHz频段穿透能力较弱,信号在室内折损较大,且基站覆盖半径小。相比于4G网络,若要保证业务畅通,5G网络需要部署大量的基站,这导致短时间内5G信号覆盖率在社区、楼宇或家庭的最后百米内有所不足。(2)5G对终端设备的兼容性有一定要求,而各行业在用设备大多不具备5G接入能力,因此设备升级替换成本较高。(3)5G某些方面的能力离新场景下的新需求还有一定差距。例如,5G时代的个人业务由单向下载转为主动分享,行业业务需要大数据采集、智能监控、增强现实(AR)/虚拟现实(VR)视频直播等海量高清视频的并发回传。这导致上行速率大幅增加,对5G小区的上行容量是严峻的考验。

影响WiFi速率的四大主要因素为空间流、子载波数

量、信号传输时间和编码方式。WiFi6在这些关键技术上取得了突破性进展,因此性能得到极大提升,主要包括最高9.6 Gbit/s的传输速率、更高的并发能力、更低的业务延时、更大的覆盖范围和更低的终端功耗等^[1]。相比于5G技术,WiFi6仍具有一些局限性:(1)平均时延较高。不同于5G网络的端到端通信模式,WiFi6中间的传输环节更多一些,因此受设备数、节点的影响较大,远达不到5G在超可靠低时延通信(URLLC)场景下的低时延需求。(2)时钟精度、时间精度不足。WiFi6虽然采用上行正交频分多址(OFDMA)和多用户-多输入多输出(MU-MIMO)等技术,提供了多用户并发的能力,但和5G技术相比,它在时钟精度、时间精度上仍有不足。(3)WiFi6移动性相对较弱,跨区建立连接速度较慢,导致设备跨区网络无缝切换效果不如5G技术。

WiFi6和5G在2019年上市,并在2020年基本部署到位。两种技术将长期共存。5G技术和WiFi6技术协同将组成优势互补的融合网络。

1 协同组网的必要性和可行性

1.1 必要性分析

当前, WiFi6网络与5G网络的主要应用领域和场景各有侧重。WiFi6终端的连接范围有限, 主要的应用领域是局域网, 多部署于室内场所, 如小区、家庭等生活场景, 园区、大厦等办公场景, 车站、机场等交通枢纽场景, 商场、银行等商业场景。5G是广域网技术, 目前主要以室外覆盖为主, 兼顾部分室内浅层覆盖, 同时支持终端大规模的移动以及全球漫游和设备安全保障。5G与WiFi技术融合后, 二者在覆盖能力上形成互补, 将模糊无线和蜂窝连接之间的边界, 扩大网络覆盖范围, 减少甚至消除覆盖盲区。同时, 建设支持WiFi接入的移动5G网络的完整方案, 是提升公共热点服务质量的一个关键举措。该方案可通过5G新口空(NR)来保障关键人员和任务。作为补充, WiFi接入可以协助5G网络满足热点区域密集的终端设备通信需求。终端在5G和WiFi6网络中切换时, 无须反复登录认证或中断业务, 通过公共WiFi进行身份验证后便可连接到5G服务, 从而支持公共WiFi热点与5G网络之间的设备移动性和服务连续性。

5G+WiFi6协同网络还能覆盖区内包含多种不同场景和应用需求的区域提供多层次的业务覆盖。一方面, 利用5G网络的mMTC、URLLC能力, 可以为具有海量机器类通信及低延迟高可靠性能要求的应用提供更出色的带宽体验和更好的无线连接, 满足个人用户和行业用户的通信需求; 另一方面, 同时使用5G频段和WiFi频段两部分频率资源, 可以提高流量分担和无线资源使用的灵活性, 例如可以在5G原有上下行容量基础上, 利用WiFi6频段上的带宽容量能力作为上行补充。

5G网络一直主打面向个人(ToC)宏网和面向企业(ToB)专网业务, 缺乏对家庭业务的支持, 如交互式网络电视(IPTV)等。WiFi6在网络的业务功能上也有所缺失, 如互联网协议(IP)多媒体系统(IMS)电话业务等。而5G+WiFi协同网络则可凭借优势, 实现丰富的网络业务功能, 从而满足用户的网络需求。

1.2 可行性分析

5G协议框架已经将异构网络的接入作为设计要点, 第3代合作伙伴计划(3GPP)R15定义了不授信非3GPP网络融合架构^[2]。无线局域网(WLAN)部署在不受运营商控制和管理的非信任域, 例如公共热点、家庭WiFi和企业WiFi等。用户终端(UE)连接到不受信任的非3GPP接入网络后再接入运营商的非3GPP互通功能(N3IWF)安全网关, 之后分

别通过N2和N3接口连接5G核心网控制面和用户面功能。3GPP R16中定义了授信非3GPP网络融合架构^[3]。其中, 信任域中WLAN的部署意味着运营商还负责运营和管理非3GPP接入。按终端设备是否具备5G接入能力(5GC-Enable)来划分, 此架构又分为授信Non-3GPP接入网络(TNAN)和授信Non-3GPP WiFi接入网络(TWAN)。5GC-Enable终端连接到信任域的非3GPP接入网后, 通过TNAN模块接入5G核心网。TNAN分为两部分: 授信非3GPP接入点功能(TNAP)和授信非3GPP网关功能(TNGF)。除了使用不加密的IPSec隧道以降低UE的中央处理器(CPU)负载, 并强制执行低层的WLAN安全机制以外, TNGF的功能类似于N3IWF。而信任域的非3GPP接入网内不支持接入常规WLAN终端, TNAP和TNGF的角色被授信WLAN接入点(TWAP)和授信WLAN互通功能(TWIF)所取代。3GPP同时还定义了一系列标准协议: 3GPP 22.234协议定义了WiFi与3GPP网络融合的一些功能需求^[4], 例如, 支持网络接入标识(NAI)和地址分配, 支持全球用户身份模块(USIM)和用户身份模块(SIM)的身份识别, 支持漫游、计费、订阅、紧急呼叫和WiFi和3GPP网络互连等功能。3GPP 33.234协议为3GPP 23.234协议中的I-WLAN系统定义了安全性要求^[5], 主要包括认证安全、机密性保护、完整性保护等内容。虽然许多细节和机制流程未定义, 但这些标准协议为5G+WiFi协同产品的研发部署提供了坚实的基础。

4G网络的核心网和无线接入网络节点(eNB)存在较大的耦合性和依赖性, 需要开发UE以支持多种网络方案, 因此3GPP中4G对WiFi接入的集成标准并没有得到大规模商业应用。得益于核心网络业务模块化架构和网络功能虚拟化技术, 5G已做到控制面和数据面分离、核心网和接入网分离。相比于4G, 5G与WiFi协同组网对接入终端的适配难度变低, 而且核心网网络单元和无线接入网络节点无须进行复杂的功能扩展, 因此更有可能为运营商和设备厂商提供高性价比的5G与WiFi协同网络投资方案。

2 协同组网方案设计

3GPP的TWAN方案尚存在不少需要优化和细化的问题, 例如, 未充分考虑多WiFi接入网络场景, 系统架构中只有接入点(AP)没有接入控制器(AC), 无法实现WiFi6接入网络间的无缝漫游; TWAN接入终端必须有客户识别模块(SIM)卡, 但现实场景中有绝大多数WiFi终端设备并不支持SIM卡, 这导致WiFi设备接入局限性大; TWAN现行标准方案未涉及异构接入的5G LAN组管理、融合网络的服务质量(QoS)管理功能。本文中, 我们在遵循3GPP标准的基

础上,针对这些问题进行创新,设计了一种5G与WiFi6协同组网方案,具体包括:引入授信WLAN接入控制器(TWAC)并通过无线接入点的控制和配置协议(CAPWAP)管理下挂的多个AP,以实现大型商用WiFi组网;额外提供无SIM卡终端的接入与鉴权功能;支持WiFi6终端与5G终端进行统一虚拟网络(VN)组的划分及管理,实现异构网络协同;TWIF增加QoS功能,支持5GC统一QoS管理,并实现对WiFi终端的带宽管理。

2.1 系统架构设计

5G和WiFi6协同组网系统架构如图1所示。

相比于5G UE,无5G接入能力的WLAN(N5CW)为普通的WiFi终端设备,不支持在无线局域网(WLAN)承载5GC NAS信令消息。5G UE和N5CW分别通过无线接入网(RAN)和TWAN接入5GC控制面和用户面。TWAN包括WiFi6和TWIF两部分。WiFi6部分主要负责WiFi网络的接入,除了标准的TWAP负责提供WiFi接入锚点外,本方案还增加了TWAC模块。TWAC作为无线局域网接入控制设备统一管理接入的多个TWAP,同时还增加了与TWIF交互的功能。通过3GPP标准定义的N1/N2和N3接口,TWIF可与接入和移动性管理功能(AMF)、用户平面功能(UPF)进行交互。TWIF是将N5CW终端接入5GC的网关设备。

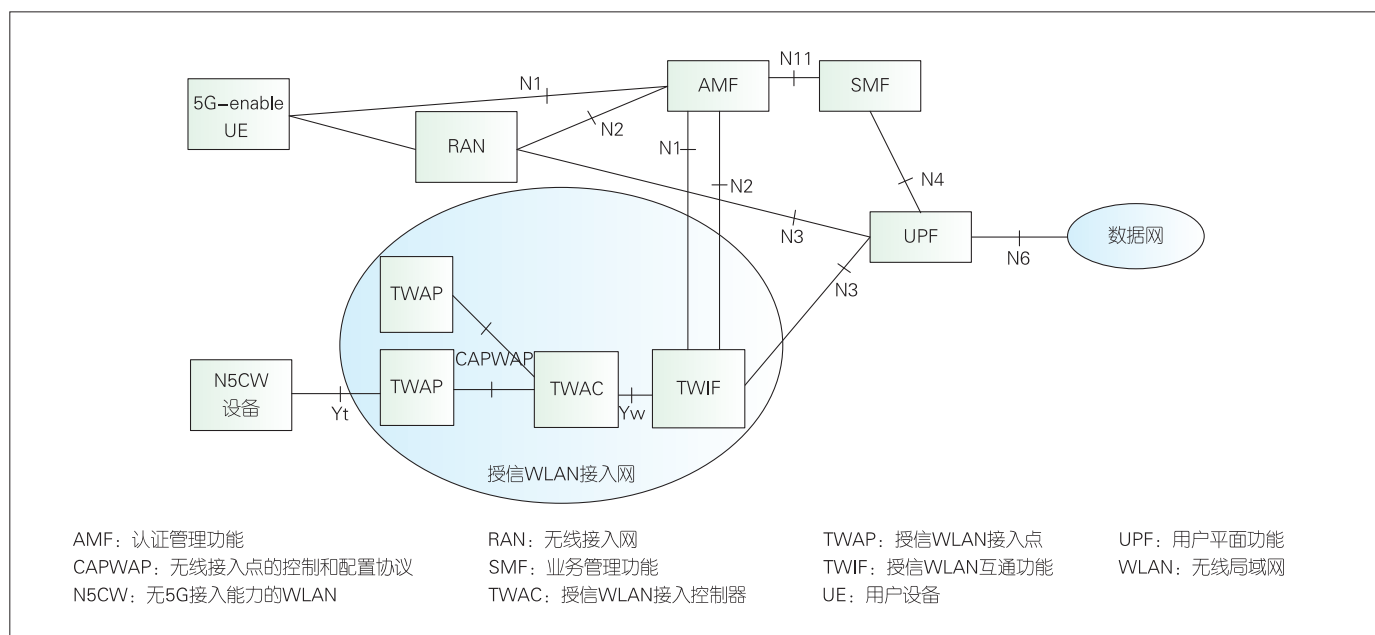
2.2 网元软件架构设计

5G与WiFi6协同组网方案中的融合核心网由TWAC与

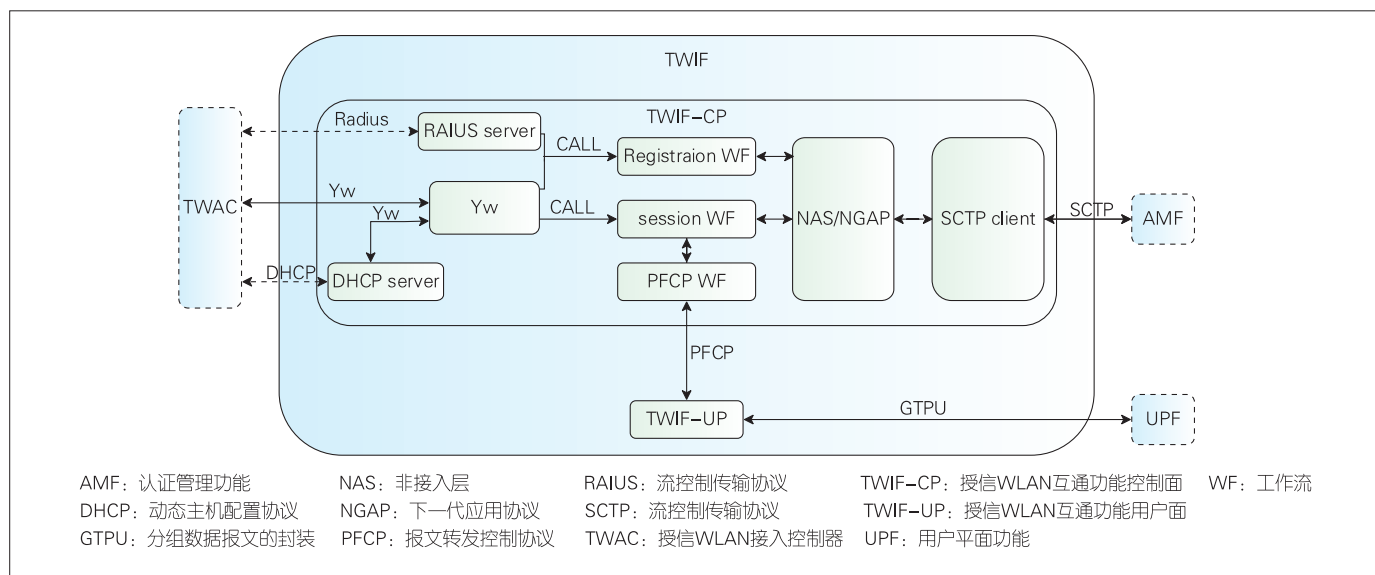
TWIF网元和标准5GC组成。TWIF和TWAC网元的软件架构设计如图2所示。

(1) TWIF

TWIF网元分为TWIF控制面(TWIF-CP)和TWIF用户面(TWIF-UP)两部分。TWIF-CP作为TWIF控制面,用于处理控制面的信令流程和用户信息管理,由8个模块组成:Yw模块用来处理与TWAC的Yw接口消息,不同的Yw消息可以触发不同的业务流程;Radius server模块用于收发、处理和TWAP之间的Radius消息,在接收到鉴权请求消息时,将Radius消息解码后调用Registration Workflow模块进行用户注册流程;动态主机配置协议(DHCP)server模块用于处理TWAP透传过来的DHCP消息,在收到DHCP请求后调用Session Workflow模块进行会话创建流程,核心网创建完会话后,将分配的IP传给DHCP模块,DHCP模块再使用核心网分配的UE IP回复DHCP响应;Registration Workflow模块用于处理与注册相关的流程,调用非接入层/下一代应用协议(NAS/NGAP)模块和流控制传输协议(SCTP)client模块的发送消息给认证管理功能(AMF)网元;Session Workflow模块用于处理会话相关的流程,在DHCP server模块收到DHCP请求后被调用,运行会话创建流程,再调用NAS/NGAP模块和SCTP模块发送消息给AMF;PFCP WF模块用于处理和TWIF-UP之间的报文转发控制协议(PFCP)消息,通过PFCP消息为TWIF-CP创建会话;NAS/NGAP模块用于NAS/NGAP消息的编解码和收发处理;SCTP client模块用于处理和AMF之间的SCTP消息,创建SCTP链接,保



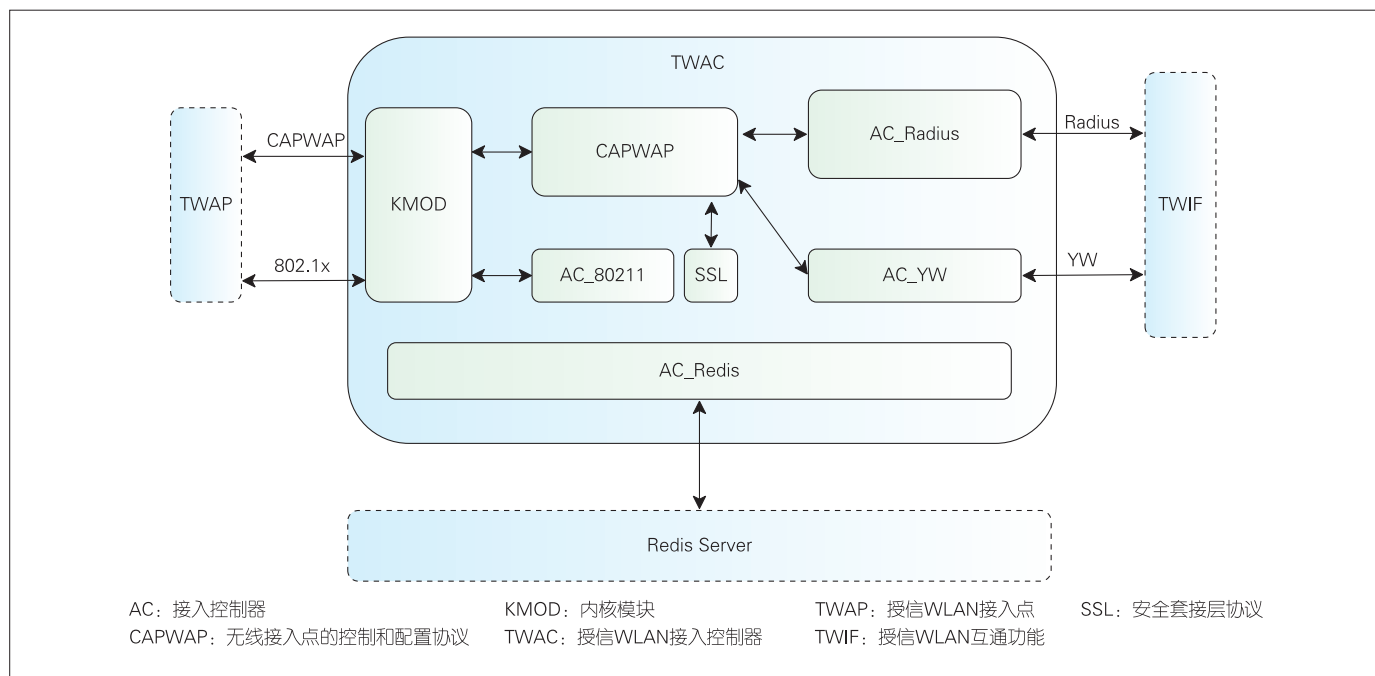
▲图1 5G和WiFi6协同组网系统架构



持心跳和 SCTP 消息收发处理。TWIF-UP 通过 N3 接口完成分组数据报文的封装 (GTPU) 协议与 UPF 进行用户面数据的转发, 与 TWIF-CP 通过 PFCP 消息进行交互。TWIF-UP 在收到上行业务包后根据 UE IP 匹配会话, 并根据会话信息添加对应的 GTPU 头, 再通过 N3 口发送给 UPF。TWIF-UP 收到下行包后根据隧道匹配会话, 并根据会话信息去掉 GTPU 头, 配置默认路由到 TWAP 上, 进而完成数据转发。

(2) TWAC

TWAC网元包括7个模块，具体如图3所示。AC_80211模块负责处理802.11相关的无线协议栈。无线接入点的CAPWAP模块负责处理CAPWAP协议，TWAC和TWAP之间使用标准CAPWAP协议。安全套接层协议（SSL）模块负责管理SSL数字证书。AC_Radius模块负责处理Radius消息协议栈。AC_YW模块负责处理TWAC端YW消息。AC_Redis模块负责处理本地数据库配置，实现与redis数据库之间的交互，系统启动时会通过AC_Redis模块在本地redis数据库



▲图3 TWAC网元软件架构

中添加默认配置,并可通过redis客户端命令行或提供的配置页面增加相应的配置。业务模块在业务处理过程中通过AC_Redis模块读取需要的配置信息,同时也会将一些AP信息、用户信息和过程数据存储在redis数据库中。AC引入redis数据库主要是为了代替原有本地配置文件的配置方式。通过redis数据库可以在标准化配置的同时提供远程配置能力。redis数据库中存储的数据大多是静态的配置信息,因此只占用少量内存;对于一些动态用户信息,redis数据库只存储少量用户标志信息,用于查询和观测使用,动态用户信息的存储空间有限制,超过存储空间条数限制后,新的数据将覆盖老的数据。内核模块(KMOD)负责处理内核间通信。TWAC通过KMOD模块在内核中进行消息接收;业务模块将要发送的消息放进KMOD的发送消息队列中,KMOD将不同类型消息发送到不同处理模块的消息队列中,将802.11、CAPWAP、数据包传输层安全性协议(DTL)相关消息分别发送到AC_80211、CAPWAP、SSL模块的消息队列中。每个业务模块拥有单独的线程,每次从自己的消息队列中取出一个消息进行处理。

2.3 增强功能设计

此协同网络除了支持5G UE的鉴权、VN组通信、流量管理等基本5G网络能力外,同时还可利用TWAN模块作为WLAN的代理节点,模拟5G UE在5GC的注册接入,并模拟基站作为协议接口的端节点来完成N5CW设备的注册、会话建立等。此外,为了提高网络的融合能力,提升用户使用体验,丰富网络使用场景,该融合网络还需实现5G+WiFi融合接入不同类型终端的统一鉴权管理、统一VN组管理和通信、统一流量管理等增强功能。下文中,我们将介绍该方案

下融合核心网增强功能的实现逻辑。

(1) 统一鉴权管理

各种N5CW终端将不再依靠WiFi接入点的认证,而是由融合核心网统一完成安全加密鉴权,如图4所示。

插SIM卡的WiFi终端采用基于认证和密钥协商机制的可扩展认证协议(EAP-AKA')鉴权,无须输入TWAP接入的用户认证密码即可直连5GC;无SIM卡终端采用设备标识+5G AKA鉴权,接入TWAP后,无须输入认证密码即可接入5GC。而园区访客、访问关键应用域等场景,还可激活二次鉴权功能,并通过会话管理功能(SMF)和认证、授权和计费(AAA)二次鉴权来保障网络安全可控。

(2) 统一VN组管理和通信

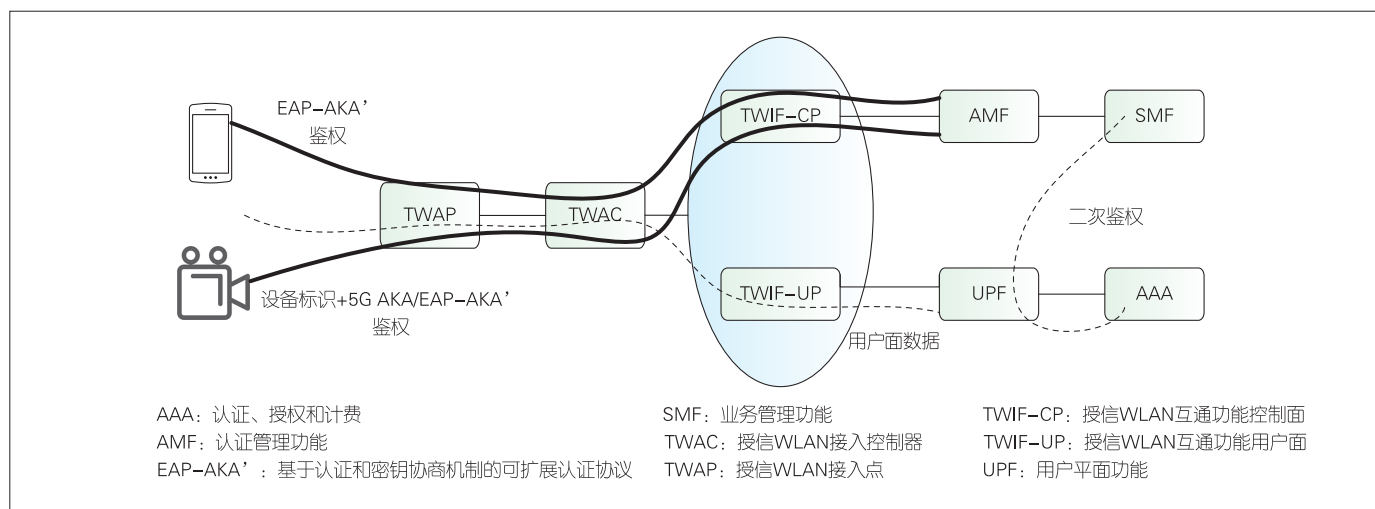
该协同网络支持局域网类型的网络覆盖。融合核心网可管理基于WiFi6终端和5G终端的局域网(LAN)组网和VN组成员互访,实现如图5所示的异构网络协同。

当TWAP接入用户和5G NR接入用户完成LAN区域内的L2/L3点对点通信时,网络管理员可以在统一数据管理功能(UDM)上提前配置这些用户所属的VN组,并可按需创建、更新、删除VN组和组成员。在会话创建过程中,融合核心网将根据用户所属VN组在UPF上创建5G LAN相关的会话。后续,一个VN组中的WiFi6终端和5G终端可进行协同通信,组内支持单播互访和组播,业务数据无须经由数据网络(DN),统一通过UPF以点对点/点对多点方式传输。

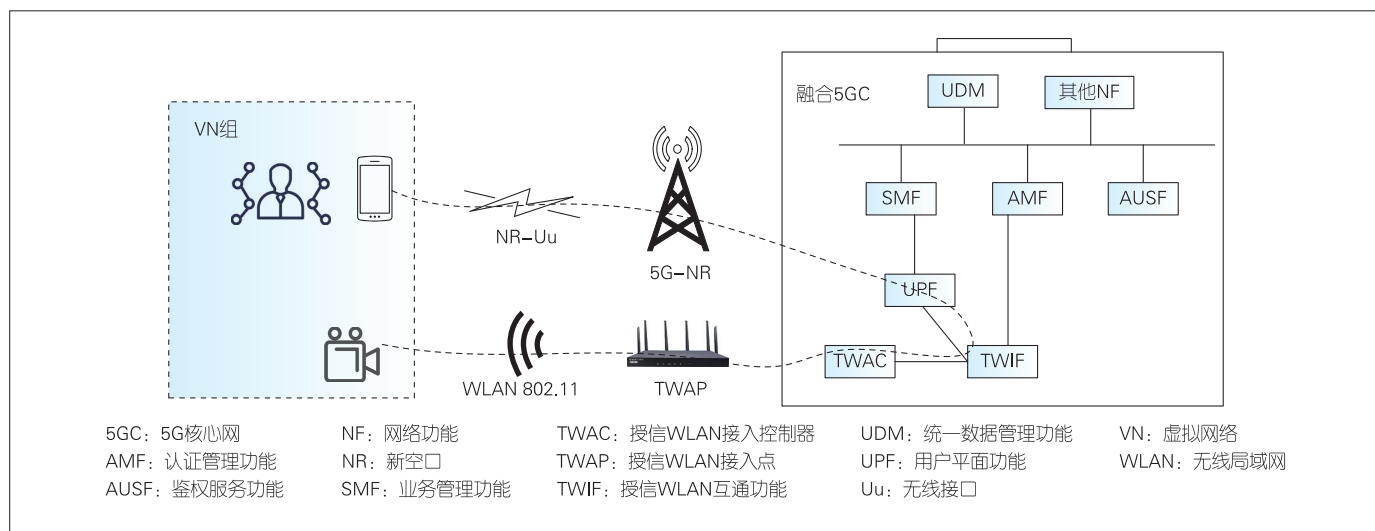
(3) 统一流量管理

该融合核心网可实现对多接入协同网络的带宽控制管理能力,以及5G和WiFi业务的优先级区分管理。

如图6所示,5GC基于Yw接口,通过TWIF和TWAC的带宽管理机制,实现WiFi终端的流量带宽管理;通过标准



▲图4 统一鉴权管理功能



▲图5 统一-VN组管理和通信

3GPP QoS 机制来实现对 5G 终端的流量带宽控制以及关键任务的特殊保障。

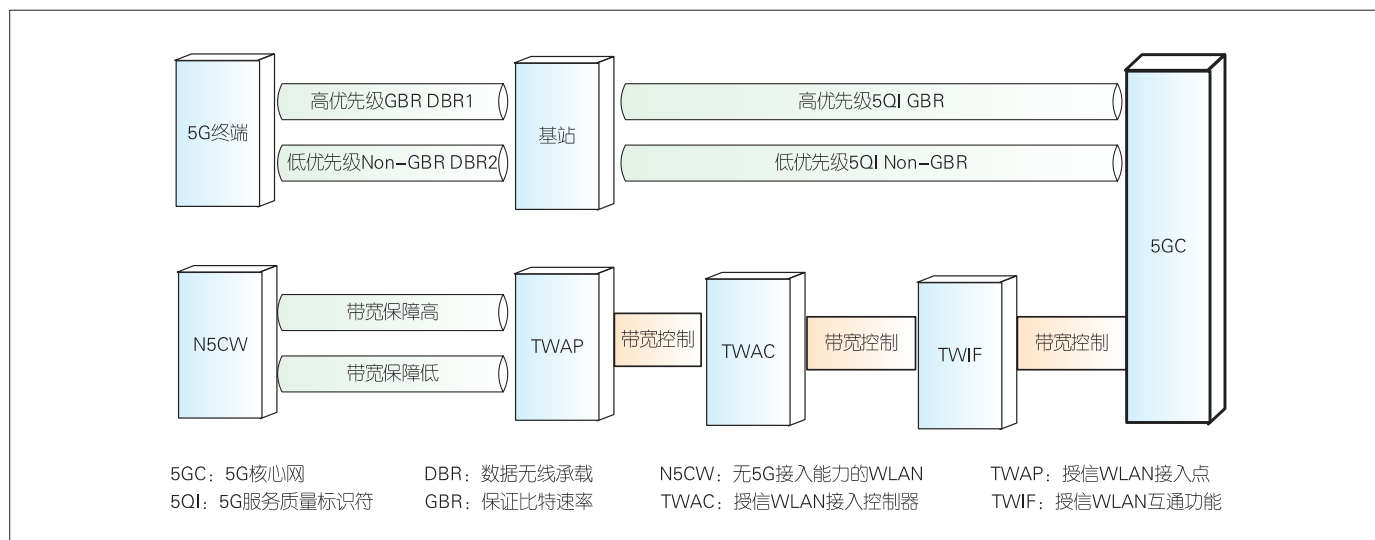
3 协同组网方案应用

支持 WiFi 接入的 5G 移动网络适应于公共服务、智慧家庭、工业互联网、远程医疗、视频制播等多种场景。根据上述设计，基于 5G 与 WiFi6 协同网络系统，我们研发并实现了 TWAN 设备，在长沙马栏山文创产业园部署了节目录制专网，组网架构如图 7 所示。

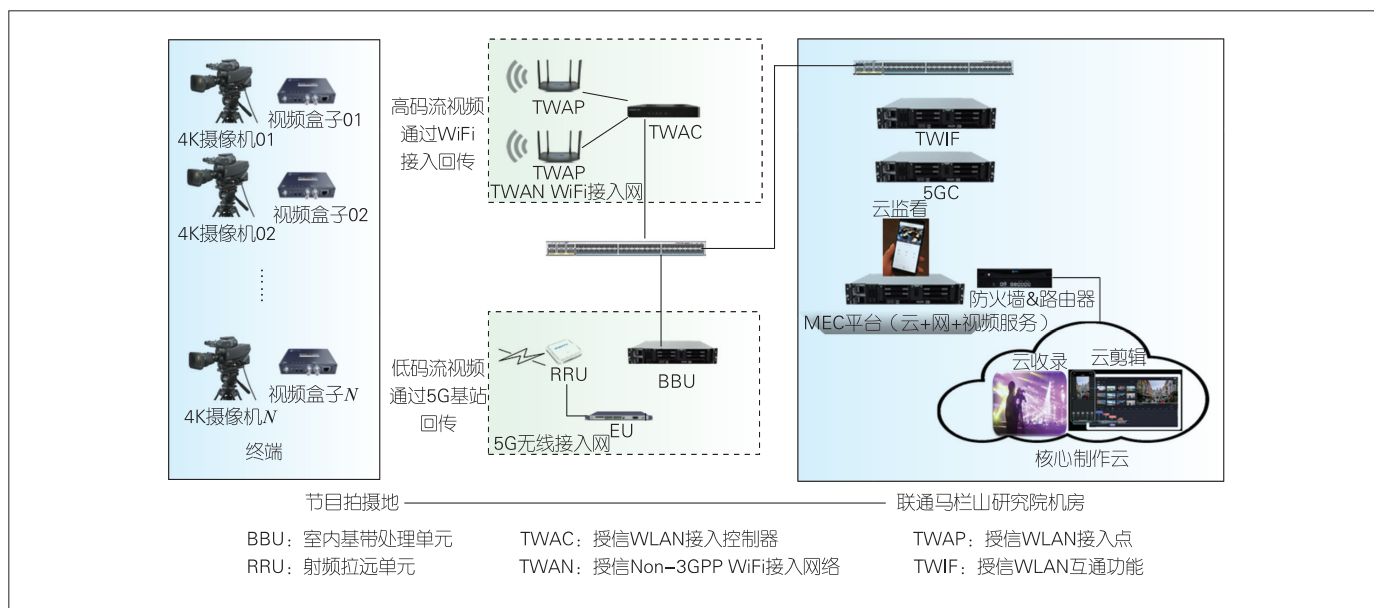
融合核心网和多接入边缘计算（MEC）平台部署在联通马栏山研究院机房，TWAC 采用虚机的方式部署在端计算盒子，TWIF、轻量化 5GC 采用虚机的方式分别部署在两台通

用 X86 服务器上，WiFi6 和 5G 无线网直接部署在拍摄地。节目拍摄现场部署两台 TWAP 以满足 WiFi6 信号覆盖，同时使用 10 台移动摄像机，通过接入融合核心网进行传输。每台摄像机接入一个专用视频盒子后，无线实时回传一路 100 Mbit/s 的超高清高码率视频、一路压缩后的 5 Mbit/s 低码率视频。低码流和高码流分别选择 5G 和 WiFi 接入网传送，并汇集到融合核心网处。MEC 平台上部署了云监看应用，导演、编剧等可随时随地利用边缘云上部署的云监看软件来监看和编排拍摄情况。融合核心网连接了马栏山核心制作云，云上运营了云收录和云剪辑应用，后期制作人员在云上对高码流进行收录、存储、文档管理和视频剪辑等。

节目拍摄前，工作人员对网络进行业务测试：每台



▲图6 统一流量管理



▲图7 节目录制5G与WiFi6协同专网方案

TWAP上行可支持800 Mbit/s的带宽，视频盒子到MEC平台的平均时延为50 ms，平均丢包率不超过0.01%；基站上行可支持270 Mbit/s的带宽，平均时延25 ms，平均丢包率不超过0.01%。该系统在实际使用过程中，现场拍摄效果反馈良好，视频画质清晰，时延可控，回传稳定。借助WiFi6技术和非授权频段资源，网络上行带宽明显大于纯5G网络，能满足10路超高清视频同时上传所需的大带宽。5G网络还可满足低码流对端到端网络时延和网络稳定性的高要求。本文提出的5G与WiFi6协同专网项目成功突破技术壁垒，在业内首次实现多路视频编码无线回传，可助力节目视频内容录制生产模式的数字化转型，提升企业经营效率和竞争力。

4 结束语

5G和WiFi6这两种通信技术紧密融合后，其所具备的各种特性能优化整个网络通信能力，更好地满足新型业务需求。本文设计研发了TWAN设备和5G与WiFi6协同网络系统，实现了在5G专网中融合WiFi终端接入，使N5CW用户统一认证、管理、服务需求快速落地。同时，该系统还大幅提升了上行大带宽，节省了网络建设和终端改造成本。但5G移动网络与WiFi6无线网络的协同在无缝漫游、网络安全保障等方面还需进一步研讨，相关规范也需要进一步完善。未来，期待产业界各方一起，共同推进5G与WiFi6协同组网的成熟完善。

参考文献

[1] 成刚.Wi-Fi标准IEEE 802.11ax关键技术[J].电子技术与软件工程, 2019, (14):

15-18

- [2] 3GPP. Technical specification group services and system aspects, system architecture for the 5G system, stage 2: 3GPP TS 23.501 V16.1.0 [S]. 3GPP, 2019
- [3] 3GPP. Study on the wireless and wireline convergence for the 5G system architecture: 3GPP TS 23.716 [S]. 2019
- [4] 3GPP. Requirements on 3GPP system to wireless local area network (WLAN) interworking: 3GPP TS 22.234 V13.1.0 [S]. 2016
- [5] 3GPP. Wireless local area network (WLAN) interworking security: 3GPP TS 33.234 [S]. 2016

作者简介



李沸乐，中国联通研究院工程师；研究方向为5G/6G/WiFi6网络架构和关键技术、5G专网新技术等。



杨文聪，中国联通研究院高级工程师，核心网团队负责人；从事移动通信新技术研究工作。



张雪贝，中国联通研究院工程师；研究方向为5G/6G网络架构、关键技术，面向行业的5G专网及边缘UPF关键技术及解决方案等。