

引用格式:王非非,杨占昕,吕锐.5G广播综述:标准化、实践与演进[J].中国传媒大学学报(自然科学版),2023,30(01):01-14+52.

文章编号:1673-4793(2023)01-0001-14

5G广播综述:标准化、实践与演进

王非非^{1,2},杨占昕^{1,2*},吕锐^{1,2}

(1. 媒体融合与传播国家重点实验室,北京 100024;

2. 中国传媒大学广播电视智能化工程研究中心,北京 100024)

摘要:5G广播采用点对多点传输方式,通过引入广播大塔,能够在移动通信网络提供线性电视、软件升级等不受终端数量限制的广播服务,与点对点传输模式形成优势互补,是未来广播技术发展最重要的方向。本文结合3GPP标准中广播多播技术的发展背景,梳理了从2G以来的广播多播服务的标准化过程,介绍5G广播标准发展重要阶段开展的试验和商用服务,并对未来5G广播发展的关键技术进行了探讨。

关键词:5G广播;地面电视广播;MBMS;FeMBMS;NR MBS

中图分类号:TN934.4 文献标识码:A

Standardization, trials and evolution: a survey of 5G broadcast

WANG Feifei^{1,2}, YANG Zhanxin^{1,2*}, LV Rui^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Media Convergence and Communication, Beijing 100024, China;

2. Intelligence Center of Digital Audio and Video, Communication University of China, Beijing 100024, China)

Abstract: 5G broadcast which adopts the point-to-multipoint transmission mode, by introducing TV towers, can provide linear TV, software upgrades and other broadcasting services to unlimited users over mobile networks. As a complementary with the point-to-point transmission mode, 5G broadcast is the most promising broadcasting technology in the future. This survey studies the standardization process of multicast and broadcast services since 2G era and introduces the most important experimental and commercial trials of each development stage. Based on the state-of-the-art, several research directions of key techniques are discussed.

Keywords: 5G broadcast; DTTB; MBMS; FeMBMS; NR MBS

1 引言

广播电视凭借受众门槛低,传播速度快、感染力强等优点,在其诞生之后便迅速成为20世纪最成功的新闻媒介。我国作为广播电视大国,一直以来重视广

播电视传输网络的建设,长期以来通过地面无线、卫星、有线等多种技术手段着力补盲点、通盲户,截至2021年底,全国广播电视节目的综合人口覆盖率分别达到了99.48%和99.66%^[1]。除提供高新视频以满足人民群众视听获得感之外,广播电视还承担着公共服

基金项目:国家重点研发计划(2022YFC3302101)

作者简介(*为通讯作者):王非非(1986-),男,博士研究生,副研究员,主要从事广播技术研究。Email:wangfeifei@cuc.edu.cn;杨占昕(1967-),男,博士,教授,主要从事广播技术研究。Email:yangzx@cuc.edu.cn

务的重要任务,如应急广播、“空中课堂”、服务“三农”等特色业务,在公共安全、民计民生等方面提供了有力保障。目前,广电总局正在推进广播电视“人人通”、“终端通”、“移动通”,以实现随时随地的高质量广播电视服务,而当前所面临最大的挑战是广播信号到达终端用户的“最后一公里”问题。传统广播电视的终端有一体化终端和机顶盒+播放设备两种主要形式,分别用于移动接收和固定接收,在互联网出现之前一直保持很高的市场占有率。在进入移动互联网时代以后,手机、Pad等移动终端迅速占领终端市场,工信部数据显示,截至2022年7月我国手机终端用户高达14.55亿户^[2],而原有广播电视终端,特别是移动终端的出货率、开机率呈逐年下降趋势。充分利用已经普及的手机终端,在不增加用户成本的情况下实现广播与通信网络的融合,是实现广播电视“人人通”、“终端通”、“移动通”的有效手段。

2017年,移动通信国际标准化组织3GPP冻结了4G的最后一个版本——Release 14,在以欧广联为主的各广播电视机构和组织的积极推动下,在该版本中形成了移动通信中第一个面向高塔高功率(High Power High Tower, HPHT)应用的多媒体广播多播标准FeMBMS(Further enhanced MBMS),将原有广播电视传输网络中的发射塔纳入到移动通信体系当中,作为一种特殊的基站,提供大范围的非线性广播内容服务。虽然FeMBMS基于LTE空口,但由于该版本正处于4G向5G过渡阶段,且广播标准也有明确的演进计划,因此,该标准以及后续基于NR空口的标准在业界都被统一称为“5G广播”。5G广播技术标准的形成是实现广播电视网络与移动通信网络融合的重要契机,有利于形成广播与通信双赢的局面。从广播电视的角度来说,是其占领用户终端的重要甚至是唯一快速途径,而对于移动通信而言,广播技术能够提供的峰值流量卸载,这是其保障高新视频、大规模数据分发等垂直服务质量的关键技术保障。如何充分利用现有的移动通信基础网络资源,实现广播电视与移动网络的互联互通,已经成为当前广播电视领域的一个热点研究内容。

本文梳理了5G广播的标准化过程,剖析其技术演进的外在动力与技术要求,结合目前已经开展的实践案例,分析当前5G广播技术演进所面临的技术挑战,并提出对未来演进的思考。由于5G广播涉及内容纷繁复杂,本文讨论范围主要包括系统架构、工作模式和物理层性能,其他方面的细节问题不作展开。

2 5G广播标准化

虽然5G广播这一概念是在3GPP Release 14冻结之后形成,但实际上5G广播的标准化工作可追溯到2004年。结合移动通信的发展阶段,本文将5G广播的标准化划分为4个过程:2G/3G时代的MBMS(Multimedia Broadcast Multicast Services,多媒体广播组播服务标准)、4G时代的eMBMS(enhanced MBMS)、4G/5G时代的FeMBMS(Further enhanced MBMS)、和5G时代的NR MBS(NR Multicast Broadcast Service)。

2.1 MBMS标准

在上世纪90年代移动通信步入2G时代后,移动网络服务不再满足于通讯所必须的语音和短信,开始尝试向多媒体内容服务扩展。在2G发展的后期,移动通信网络在覆盖良好的情况下,可以达到约100k bps的数据速率,能够提供基本的图片和文字传输服务,然而,相较当时广播电视能够提供的标清视频,还存在明显的差距。如图1所示,自2000年开始,在手机中集成广播电视接收芯片以使手机能够收看电视节目,成为当时一阵风潮,如欧洲的DVB-H、韩国的T-DMB、美国的MediaFLO以及我国的CMMB等,均在这一段时间内展开了广泛的产业化试点和推广。与此同时,在3GPP标准的研究中,如何利用移动通信自身网络,在网络带宽和速率受限的情况下,为更多的用户同时提供多媒体服务,也成为一技术重点。



图1 支持移动多媒体广播的2G/3G手机终端
(左上:DVB-H(Nokia N92);右上:CMMB(天语 V958);左下:MediaFLO(LG VX9400);右下:T-DMB(LG Shine DMB定制版))

2004年9月,在3GPP TSG-SA第25次会议上, WG4提交了MBMS的第一个版本^[3],标准号为TS

26.346,并随着Release 6的冻结而正式发布。该标准系统性地规定了MBMS服务的网络结构、传输过程、通信协议、数据格式等内容,并定义了数据下载和流媒体两类传输方法。与以往点对点(Point-to-Point, PTP)的传输方式不同,MBMS提供了点对多点(Point-to-Multipoint, PTM)传输服务,规定了广播和组播两种工作模式,二者的区别如表1所示。

表1 MBMS组播和广播模式区别

模式	广播	组播
服务域	广播服务域内的所有终端	组播服务域内订阅的所有终端
服务订阅	无需订阅	必须订阅
交互能力	无上行交互链路	支持交互
接收鉴权	无鉴权,免费	支持收费,可免费

一个完整的MBMS组播流程包括服务通知、服务

订阅、组播加入、数据传输、退出几个主要环节,而广播流程则只有服务通知和数据传输两个环节,因而广播模式无法保证终端在任何时刻接入都能够立刻获取服务通知,并且传输过程中的数据完整性也无法保证。为了更好地保证MBMS的服务质量,标准为广播组播增加了专用逻辑信道MCCH(MBMS PTM Control Channel)、MTCH(MBMS PTM Traffic Channel)和MSCH(MBMS PTM Scheduling Channel)^[4],分别用于传输控制信息、业务数据和调度信息。与广播电视网络不同,3GPP在设计MBMS的过程中尽可能地保留了资源配置的灵活性,如图2所示,MCCH的重复周期和调整周期均可根据不同的传输需求进行配置。为了尽可能地提升频谱使用的效率,MBMS中还加入了计数(Counting)机制,通过采集终端的接收兴趣,通过人为设置PTM触发门限,实现单播和组播、广播模式的动态切换。

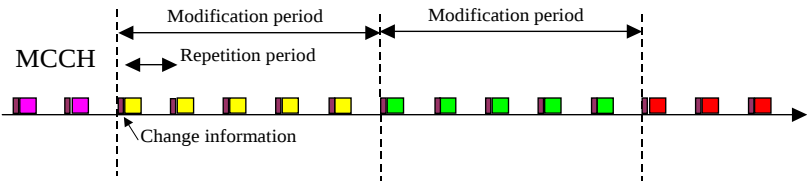


图2 MCCH信息调度示意

为了进一步提升MBMS的覆盖范围和传输效率,3GPP Release 7中提出了多种多基站联合覆盖的策略^[5],最主要的一种为MBMS单频网(MBMS over a Single Frequency Network, MBSFN),在形式上与地面广播电视网络非常相似。

在2G/3G时代,MBMS形成了一整套利用PTM传输方式提供高速率多媒体服务的完整架构和机制,是对标准中已经存在的、只能提供低数据率的小区广播服务(Cell Broadcast Service, CBS)的有力补充,使得移动通信网络具备了提供实时音视频直播服务的能力,为后续广播、组播功能的演进奠定了基础。

2.2 eMBMS标准

2008年12月,3GPP Release 8冻结,移动通信进入4G时代。在随后的Release 9中,关于MBMS继续演进的工作项MBMS_EPS(MBMS support in EPS, WI 400039)、MBMS_LTE(MBMS support in LTE, WI 430007)和MBMS_LTE-UEConTest(Conformance Test Aspects—MBMS support in LTE, WI 500024)正式立项,基于4G核心网和LTE空口框架的MBMS研究工作逐步展开,在后续版本中被称为eMBMS(en-

hanced MBMS)。

在核心网侧,基于4G EPS的eMBMS架构如图3所示,其延用了3G中的内容接入单元BM-SC(Broadcast-Multicast Service Centre),增加了业务网关(MBMS GateWay, MBMS GW)和多播协调实体(Multi-cell/multicast Coordination Entity, MCE),二者通过4G网络中的MME与核心网进行交互。MCE作为eMBMS最重要的网元,承担着协调4G基站使用统一资源组建MBSFN的功能,标准中给出了两种部署建议:一是直接通过软件升级部署到基站,二是作为独立的网元设备进行部署。前者无需额外硬件成本,但只有具有完整MCE功能的基站才能参与组建MBSFN,而后者则相对独立。

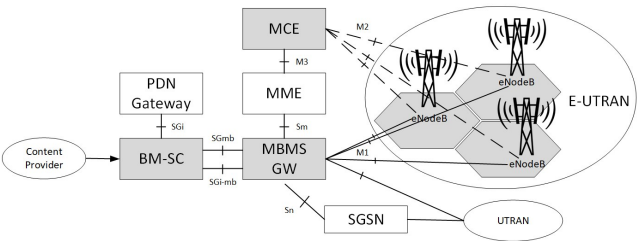


图3 eMBMS核心网架构

eMBMS 进一步梳理了 MBSFN 的功能和相关概念,给出了一系列更加明确的定义,如表 2 所示。相关概念中的“Area”包括多层含义,对于“Cell”(小区)来说,指地理空间,而对于 eNodeB(4G 基站)来说,则是设备的集合。

表 2 MBSFN 相关概念

定义	含义
MBMS Service Area, MBMS 服务域	提供 MBMS 服务的区域
MBSFN Synchronization Area, MBSFN 同步域	由时间同步的 eNodeB 组成的集合,是组成单频网的基础。与 MBMS Service Area 相互独立
MBSFN Area, MBSFN 域	由 MBSFN Synchronization Area 中的部分小区组成的可以提供单频网传输的区域
MBSFN Area Reserved Cell, MBSFN 域保留基站	在 MBSFN Area 中不参与单频网、允许其使用单频网相同的频率并限制功率提供其他服务的小区

除上述概念外,在 eMBMS 的制订过程中还曾提出过一种特殊的小区模式——“Transmitting-only Cell”对网络功能进一步细化。由于结构过于复杂,在 RAN2 第 66 次会议后^[6],该模式被取消,MBSFN 的结构得了简化。图 4 为前后两种 MBSFN 结构^[7]。

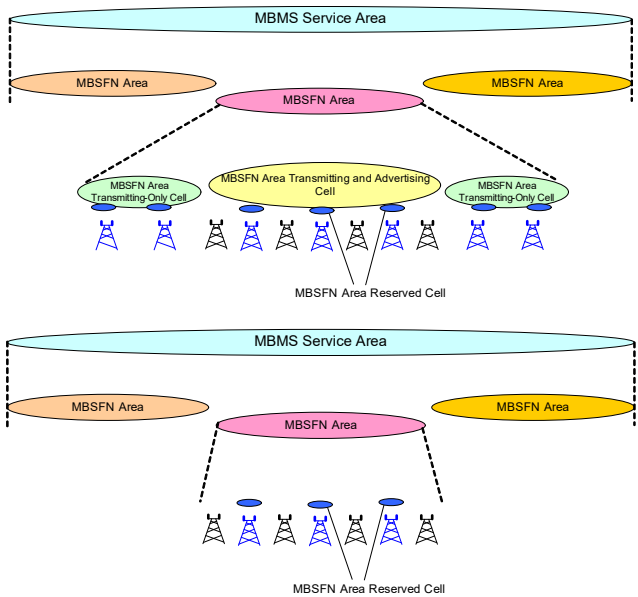


图 4 MBSFN 结构图(上:包含 Transmitting-only Cell;下:不包含 Transmitting-only Cell)

在接入网侧,LTE 根据 eMBMS 的需求对结构进行了调整,如图 5 所示,左侧浅色节点表示 LTE 中为 MBMS 增加的专用通道。逻辑信道 MTCH(Multicast Traffic Channel)和 MCCH(Multicast Control Channel)

分别承载 MBMS 业务数据和控制数据,映射到传输信道 MCH (Multicast Channel),再映射到物理信道 PMCH(Physical Multicast Channel)。

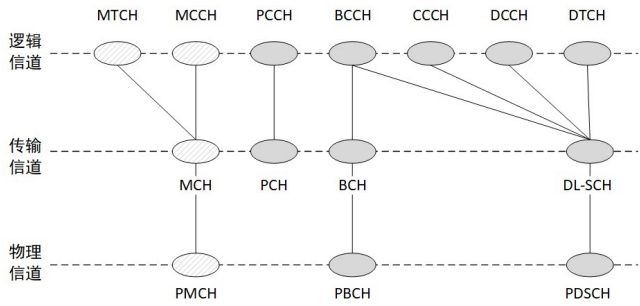


图 5 LTE 中的 eMBMS 信道结构

除了专用通道外,为进一步提高 MBSFN 的覆盖能力,LTE 还专门设计了新的循环前缀(Cyclic Prefix, CP)长度和子载波间隔(Sub-Carrier Spacing, SCS)。如表 3 所示,后两种配置模式为 MBSFN 所专用。

表 3 Release 9 中 LTE 的循环前缀和子载波间隔

配置模式	OFDM 符号数	子载波数	CP 长度(μs)
Normal CP SCS=15 kHz	7	12	第 1 个符号为 5.2, 其他符号为 4.7
Extended CP SCS=15 kHz	6	12	16.7
Extended CP SCS=7.5 kHz	3	24	33.3

此外,Release 9 标准中还规划了两种 MBMS 小区模式^[7],分别为只提供广播组播服务的 MBMS-dedicated Cell 和能同时提供单播和广播组播服务的 MBMS/Unicast-mixed cell,显然,前者的专用模式更加符合只提供下行信号的广播电视发射塔的工作习惯,但该模式一直到 Release 14 才被立项研究。但对于普通 4G 小区,通常需要工作在后一种混合模式下——即正常情况下提供单播服务,在有需要时分配部分资源提供广播组播服务。为了优先保证单播服务,Release 9 中限制了 MBMS 只能使用 1 个物理帧中的 6 个子帧,即能使用的最大资源为基站能力的 60%。

在 Release 9 完成了 eMBMS 的基础框架设计后,随后的 Release 10-13 中又陆续设立了 MBMS_LTE_enh (Further enhancements to MBMS for LTE, WI 480027)、MBMS_LTE_SC (Service continuity improvements for MBMS for LTE, WI 480026)、MBMS_LTE_OS(Further MBMS operations support for E-UTRAN, WI 610024)、LTE_SC_PTM(Support of single-cell point-to-multipoint

transmission in LTE, WI 680064)等工作项,对eMBMS不断完善,其中最为重要的几项技术包括新的计数机制 MBMS Counting Report^[8]、多频率部署 Multi-frequency Deployments^[9]、按需广播机制 MooD(MBMS operation on Demand)^[10]和单小区广播 SC-PTM^[11],进一步提高了eMBMS的效率和服务连续性,使得该项技术具备了实际部署的条件,在2015年前后形成了一个商业实践的热潮。

2.3 FeMBMS标准

eMBMS在短暂的商用试验浪潮后,虽然吸引了以广播运营商和内容提供商为主的业界关注,但并未按照预期顺利成为一种与移动通信并存的常态化服务。参考广播产业化发展经验,其失败原因主要有两点,一是产业化支持力度不够,仅有高通研发出了支持eMBMS特性的商用芯片,终端普及率较低;二是垂直业务场景并没有按预期落地,与该项技术有较高契合度的广播电视业务,由于eMBMS缺少对广播电视高塔的支持,不具备以低成本完成大规模覆盖的能力。针对试验过程暴露出的问题,2014年,EBU发布了题为《Delivery of broadcast content over LTE networks》的研究报告^[12],从移动网络承载广播电视内容的需求出发,分析了eMBMS在广播(主要是线性电视)能力上的不足,并提出了eMBMS亟需解决的几个问题:(1)eMBMS不支持Free-to-air(FTA)模式,给广播内容提供商的业务部署带来了困难;(2)现有的CP长度不足以支撑大范围的单频网覆盖;(3)最高60%的小区频谱资源利用率限制了可部署的线性电视节目套数;(4)频谱利用率不足。在2015年12月3GPP TSG-SA第70次会议和2016年3月3GPP TSG-RAN第71次会议上,针对Release 14中MBMS的演进问题,EBU联合华为、爱立信、高通、诺基亚等发起了2个重要的工作项:Enhancement for TV

service(WI 700032, EnTV)^[13]和eMBMS enhancements for LTE(WI 710081, MBMS_LTE_enh2)^[14],梳理了移动网络中部署电视服务的需求和研究目标。表4总结了两个工作项中的重点内容。

2017年,3GPP Release 14版本发布了FeMBMS(也被称为enTV),相较eMBMS增加了以下新特性:(1)增加了无需SIM卡接收的ROM(Receive Only Mode,只接收模式),满足FTA接收需求;(2)提高单播和广播资源分配灵活度,广播小区可使用100%的资源;(3)增加了符合高塔高功率部署需求的参数集模式,包括200μs CP长度,1.25kHz SCS等,单站覆盖范围进一步提升;(4)MBMS可采用单下行网络独立组网;(5)增加了统一的广播业务接口以简化内容接入流程;(6)增加了不同运营商共享RAN提供广播服务的机制。在历经多个版本的迭代升级后,标准首次确定了MBMS-dedicated Cell的工作模式,并参考地面广播电视部署方式对高塔高功率进行了参数优化,为广播电视与移动通信网络的融合铺平了道路。在Release 16标准中,FeMBMS进一步提升了移动接收能力和支持的最大塔间距,增加了对屋顶固定接收的支持。为便于FeMBMS在原有广播电视频段的部署,Release 17中又增加了对6/7/8 MHz的带宽支持^[15]。

在FeMBMS标准的制订过程中,3GPP也在从4G向5G演进。在3GPP TSG-RAN #79会议上,关于MBMS如何向5G演进达成了初步共识^[16]:未来广播多播服务划分为基于LTE的地面广播模式(Terrestrial Broadcast)和基于NR的混合组播模式(Mixed Mode multicasting)两条技术路线。两种技术路线的特点对比如表5。截至目前,地面广播模式和混合组播模式的最新标准分别为FeMBMS和NR MBS。

此后,两条技术路线在后续标准中分别展开立项

表4 Release 14中的增强广播服务需求与实现策略

内容	需求	实现策略
业务模式	线性电视:单下行服务; 按需广播:上行交互	研究无需授权的终端接收方案
传输能力	单套广播业务码率高于20Mbps;码率为12 Mbps的10套以上高清节目同时播出;单播和广播灵活切换,支持0%~100%的资源分配;单播和广播可以同频、异频部署。	研究在15公里以上站间距条件下,实现超过2 bps/Hz的频谱利用率;广播信道占用全部子帧,实现100%资源占用
网络灵活性	开放广播资源分配,包括固定分配和动态分配,支持以1分钟为单位的时间周期;广播和单播动态切换以实现网络效率最大化。	增加新的服务接口和资源分配策略
部署模式	支持屋顶固定接收模式	研究新的参数集

表5 两种5G广播技术路线对比

内容	地面广播模式	混合组播模式
内涵	使用专用频率,以单下行传输方式,进行全国范围的大面积覆盖,提供电视类的内容服务	结合单播上下行传输,实现从单小区到一定规模覆盖的广播组播服务,并实现与单播的无感切换
演进基础	以LTE enTV为基础	参考MBMS混合模式演进至NR
工作模式	单广播、单下行	广播和单播切换、支持上行
覆盖范围	大面积、固定的覆盖范围	一定规模的、动态配置的覆盖范围
垂直服务	广播电视	IoT, V2X

研究, FeMBMS的研究项主要包括 LTE_terr_bcast (LTE-based 5G terrestrial broadcast, WI 830076)、LTE_terr_bcast_bands_part1 (New bands and bandwidth allocation for 5G terrestrial broadcast - part 1, WI 911020) 和 LTE_terr_bcast_bands_part2 (New bands and bandwidth allocation for 5G terrestrial broadcast - part 2, WI 920071)等。NR MBS的研究项主要包括 NR_MBS (NR multicast and broadcast services, WI 860048)、5MBS (Multicast-broadcast services in 5G, WI 900038)、NR_MBS_enh (Enhancements of NR Multicast and Broadcast Services, WI 940099)等。目前两条路线仍在继续演进中。

2.4 NR MBS标准

2022年6月, 3GPP Release 17标准冻结, 产生了NR MBS的第一个正式标准。与FeMBMS在全国范围内提供常态化广播电视服务的目标不同, NR MBS更加侧重于单个小区或者一定范围内的多个小区对热点内容采

用广播或组播方式进行流量卸载, 以缓解峰值流量压力。

NR MBS与Release 13中提出的SC-PTM非常类似, 从一定程度上可以认为是该技术的完善和升级。与FeMBMS为广播业务划分专用的物理信道不同, NR MBS采用SC-PTM中所提出的与单播动态共享下行链路信道和资源方式, 复用NR的DL-SCH和PDSCH信道进行广播数据传输。为了尽可能地提高混合模式的灵活性, NR MBS定义了广播和组播两种工作模式^[17], 其中组播模式要求终端工作在RRC_CONNECTED状态, 而广播场景则不做要求, 支持ROM接收。

NR MBS在核心网侧的架构如图6所示^[18], 图中以MB开头命名的深色方框为新增网元。根据5G网元命名规则易知MB-SMF和MB-UPF分别用于NR MBS的控制面和用户面数据处理, MBSF和MBSTF则更多地提供与内容服务的交互和功能增强。相应的, 原有AFM、SMF、UPF等网元也增加了对广播多播功能的支持。可以看出, NR MBS的设计尽可能地复用了原有网元结构和功能。

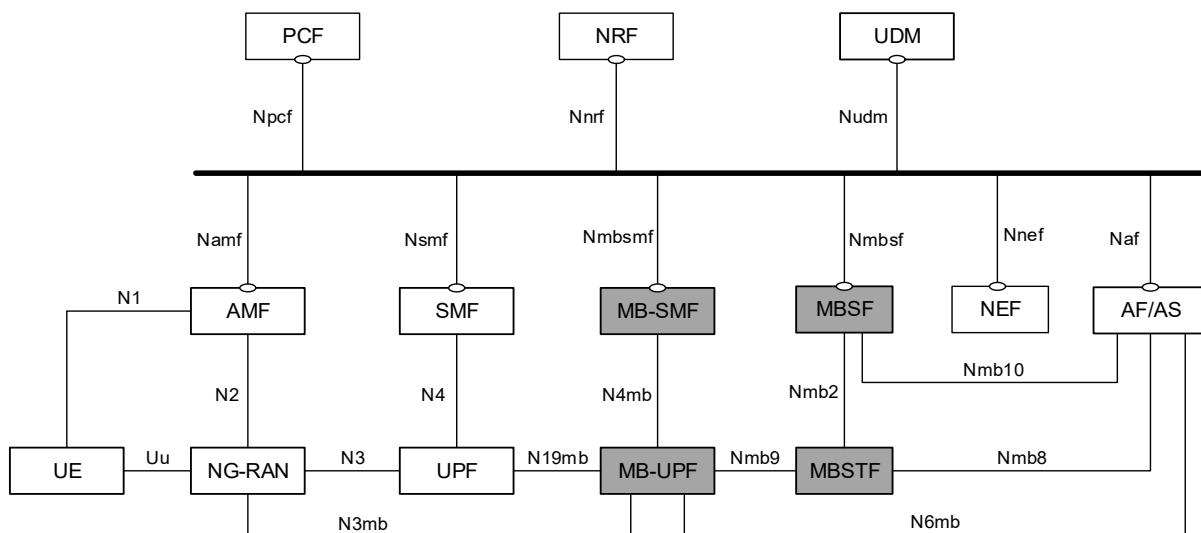


图6 NR MBS核心网架构

在接入网侧, NR MBS对于广播模式的处理流程与4G MBMS十分相似, 通过周期性广播新增的系统消息SIB20和SIB21, 通知终端广播时频资源位置, 控制广播传输流程。对于组播模式, NR MBS延续了SC-PTM单播与组播资源共用的结构, 并将单播和组播无感切换作为了一项研究重点。NR MBS中引入了两个重要的概念: 公共频率资源(Common Frequency Resource, CFR)和新的组播RNTI(Group-RNTI, G-RNTI)。CFR为物理时域资源上的一块连续pRB,

用于承载组播内容, G-RNTI则按照C-RNTI的工作方式用于对CFR进行标识。NR MBS的组播协议栈如图7所示, 图中灰色部分为组播流程。为了实现单播与组播的无感切换, 对于相同的内容采用同一个PD-CP实体, 分别通过单播和组播的处理流程, 在终端再以同一个PDCP实体完成接收。终端在正常接收状态下主要从组播通道接收, 而当组播出现丢包时, 终端会快速切换到单播通道继续接收。

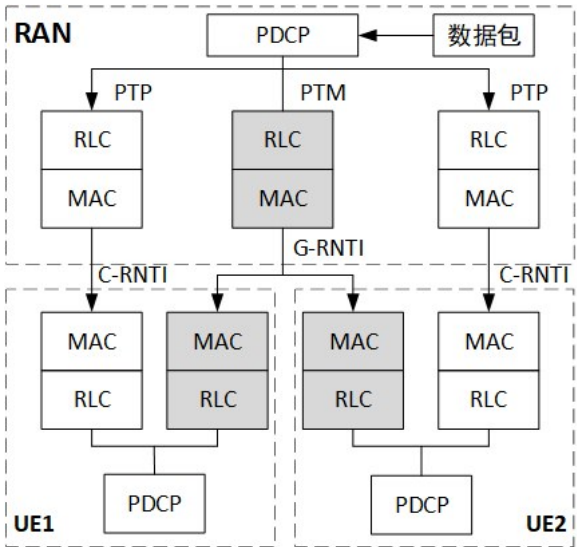


图7 NR MBS组播与单播协议栈

在完成了Release 17中的基本功能后,2021年12月,在3GPP TSG-RAN #94-e会议上,标准组又对广播多播服务在Release 18中的研究内容进行讨论^[19],关于NR MBS的主要争议包括:(1)是否增加组播模式对RRC_INACTIVE和RRC_IDLE状态的支持;(2)是否增加SFN支持以及采用何种参数集;(3)不同运营商如何共享接入网以提供相同的内容服务。经过三轮激烈讨论,最终决定^[20]:在Release 18中继续研究组播模式对RRC_INACTIVE和RRC_IDLE状态的支持以满足关键任务服务;基于现有参数集研究SFN对intra-CU和inter-DU的支持以减少SC-PTM在小区边缘的干扰并提高传输效率;研究RAN共享策略。

NR MBS与FeMBMS的关键参数对比如表6所示,可见由于缺少高塔高功率模式参数集支持,即便增加SFN支持,NR MBS也并不具备高塔高功率部署的条件。

表6 FeMBMS与NR MBS的主要技术参数对比

内容	FeMBMS (Release 17)	NR MBS (Release17)
工作模式	广播,MBSFN	广播/组播,SC-PTM
部署站间距	5, 10, 30, 60, 90 (km)	1.41 km
单频网	支持	不支持
子载波间隔	15, 7.5, 2.5, 1.25, 0.37 (kHz)	15 kHz
CP长度	16.7, 33.3, 100, 200, 300 (μs)	4.7 μs

3 5G广播实践

由于5G广播标准研究具有很强的应用和市场驱动力,因而在每项标准正式发布前后都会迅速掀起一阵外

场试验和商用服务部署的热潮。与第2节中介绍的标准相对应,本节将分别介绍eMBMS、FeMBMS、NR MBS三个阶段的实践情况。目前,参与5G广播的试验设备主要分为两类,一类是正式的产品,包括Rohde & Schwarz公司的FeMBMS发射机、华为公司的NR MBS基站和手机终端(固件版本不公开)、高通公司的手机终端(固件版本不公开);另一类是基于软件无线电研发平台的发射机/接收机。图8列举了部分目前公开的测试设备。



图8 5G广播设备(左一上:R&S BSCC 1.0/2.0 5G广播网关,左一下:高通工程手机;左二:R&S THU9evo 5G广播发射机;右二:中国传媒大学试验发射机;右一上:华为Mate40 Pro NR MBS手机(内部固件);右一下:OBECA SDR广播发射机)

3.1 eMBMS试验与商用服务

伴随着3GPP Release 13的发布,eMBMS在2013年开始全面进行商业推广,主要实践活动的具体情况如表7^[21]所示。

表7 eMBMS试验与商用服务情况

参与者	时间,国家与试验/服务内容	试验/服务细节
中国电信、中兴、华为、Expway	为青年奥林匹克运动会提供视频直播服务,所用终端为华为C8817(搭载高通骁龙400芯片),2014年,中国	在校园区域开展了2次部署试点;第一次是为南京青奥会村的18,000名志愿者提供试用。第二次是在无锡的三所大学进行试验。
EE、BBC、三星、高通	在足总杯决赛期间提供直播视频和增强内容服务,2014-2015年,英国	一共有30个试用者,提供3个视角的高清码流及回放内容,用户可以自由选择
Telstra、Channel 7、高通、爱立信、三星	2014,澳大利亚,赛马嘉年华的视频直播	3路视频直播流和2路数据流(包括赛事信息、竞猜结果等)
Verizon Wireless、爱立信、诺基亚	2016年4月起,美国,INDYCAR app	同时提供了iOS和安卓软件,但只有安卓用户可以接收广播流;提供高清、无缓冲、无延迟的直播服务,含有3个独家直播视频流和音频流
Korea Telecom	2015-2016年,韩国,为人流密集的城市场所提供电视直播服务	为首尔和釜山地铁提供移动电视服务;有1路直播视频流

eMBMS的试验所使用的网络设备主要由华为、中兴、爱立信、三星等移动通信网络厂商提供,终端设备主要由华为、三星、LG等终端厂商提供,搭载的芯片为高通的商用芯片,包括直接支持eMBMS功能的骁龙800芯片以及通过中间件增强的骁龙400芯片。部分终端设备如图9所示。



图9 eMBMS试验终端展示(左上:2014年青奥会;左下:2014年美国超级碗;右上:2013年WMC;右下:2015年英国足总杯)

上述服务和试验为移动通信中的广播服务积累了宝贵经验,证明了eMBMS技术无需对移动终端进行较大的升级改造即可高效提供交互式的广播服务,支持多种部署模式,具有极大的发展潜力。同时,试验中也暴露出传输速率、覆盖范围等指标进一步提升的需求,为后续标准演进提供了改进依据。

3.2 FeMBMS试验

2017年,德国“5G Today”项目组开展了全球首次基于Release 14 FeMBMS的高塔高功率5G广播试验,在随后的5年时间里,类似试验在全球范围内相继展开。当前FeMBMS广播试验主要集中在欧洲,韩国、巴西、哥伦比亚和我国也做过短期试验。与eMBMS以通信运营商为主体开展的试验不同,FeMBMS主要面向高塔高功率部署,EBU、5G-MAG以及我国的广科院等广播行业单位和组织深度参与其中。由于FeMBMS版本较多,本小节介绍的试验主要包括以下几类:

- Release 16 FeMBMS;
- Release 14 FeMBMS;
- 其他一些基于FeMBMS的预研技术。

此外,部分试验也同时进行了eMBMS试验,均一并介绍,不再做单独说明。

(1)德国: 5G Today^[22]

FeMBMS标准的正式发布极大提振了广播从业者的信心,同年,德国巴伐利亚研究基金会资助IRT、Kathrein和Rohde & Schwarz等单位成立了“5G Today”项目组,开展5G广播的研究和测试工作。该项目于2017年7月启动,并在2018年底和2019年初在南巴伐利亚地区陆续部署了两个支持Release 14 FeMBMS标准的高塔高功率5G广播基站,组建单频网。两个发射站点相距63公里,分别位于Wendelstein山顶1800米处和慕尼黑北部的Ismaning。由于FeMBMS不支持广播电视习惯的6/7/8MHz带宽模式,试验频率和带宽选用了56频道(750-758 MHz)中的5 MHz带宽,编码调制度为MCS 9 (QPSK),提供一路码率3Mbps的高清视频服务。由于该项目开展试验时,尚无手机终端支持新的标准,因此项目组采用基于移动通信开源项目OAI和SDR硬件USRP开发了5G广播接收机,并使用Kathrein公司提供的软件进行分析。图10为本次试验的发射站点和接收设备实物图。



图10 5G Today项目部署情况(左:发射点位置;右:接收设备实物图)

5G Today项目全球首次验证了FeMBMS在实际环境的接收能力,证明了该技术在高塔高功率部署模式下具备与原有广播电视网络相接近的覆盖效果。此外,该项目还采用了新型的圆形极化天线来提高手机终端的接收性能。

(2)英国: 5G RuralFirst^[23]

RuralFirst是由英国政府资助的联合创新项目,由BBC、思科牵头,目标是在奥克尼群岛、什罗普郡和萨默塞特的三个地方较为偏远的区域开展5G移动接入性试验,探索农村地区部署5G网络的方案,以及农业、旅游业、可再生能源和制造业等国家关键行业在农村环境中运营和发展的商业模式。作为该项目的一部分,5G广播试验包括两部分内容,一是基于商用4G手机进行Release 12 eMBMS接收测试,二是基于项目组研发的支

持Release 14/15 FeMBMS的非商用接收机。图11展示了项目组研发的5G广播发射机设备及输出的5MHz带宽的频谱。

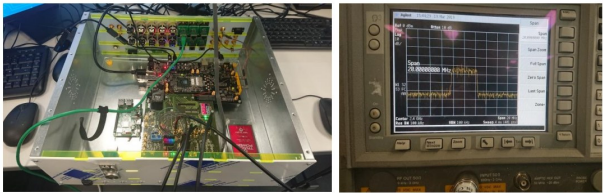


图11 5G RuralFirst开发的5G广播发射机设备(左)及输出频谱(右)

该项目设置了三个目标:(1)验证 eMBMS 和 FeMBMS 的实用性并探索其可扩展性;(2)实现广播和单播的切换以提高效率;(3)研究广播相关的业务接口。试验选用了3GPP n28 频段,带宽配置为5MHz,通过开发专用App“5G Radio”提供13套BBC音频直播节目。项目从2018年5月开始一直持续到2019年9月,其中包括含8个月供公众公开使用的服务期。项目周期内,试验系统整体运行良好,接收信号质量符合预定要求。试验还验证了采用软件无线电方法开发的设备具有很强的灵活性,可以快速响应标准中增加的新特性并开展试验。较为遗憾的是,由于时间原因,该试验并没有来得及完成广播和单播无缝切换的测试。

(3)奥地利: Vienna Field Trials^[24]

奥地利公共广播公司(ORF)的子公司奥地利广播服务公司(ORS)于2019年宣布开始在维也纳启动5G广播外场试验。试验划分为两个阶段,第一阶段持续到2021年,主要目的是分析比较5G广播与地面电视标准DVB-T2的性能差异。第二阶段试验侧重于探索5G广播的生态和商业模式。如图12所示,试验使用了一个高485米的高塔站点(WIEN 1)和一个高217米的中塔站点(WIEN 8),均部署 Rohde & Schwarz THU9 发射机,输出功率分别为3.4 kW和1 kW。该试验采用异频部署方式,两个发射点的中心频率分别为739 MHz和667MHz,根据工作项LTE_terr_bcst_bands中的提案内容,试验采用多种带宽配置模式,包括5/6/7/8/10 MHz。

作为本次试验的主要成果之一,项目给出了表8与DVB-T2的性能对比。结果表明采用高编码调制方案的FeMBMS能达到与DVB-T2相接近的频谱效率,但接收门限仍有一定差距,说明未来可以通过增加时域交织等方式进一步提升性能。

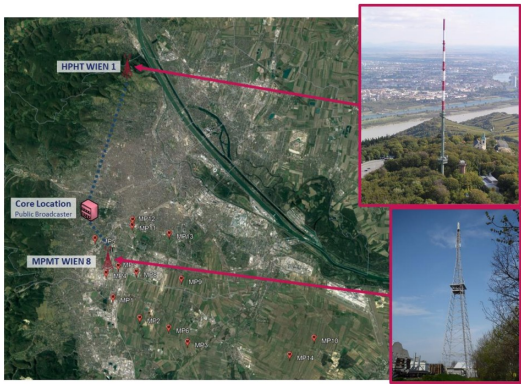


图12 维也纳外场测试区域与站点位置

表8 维也纳外场测试结果与DVB-T2的性能对比

系统	数据率(Mbps)	频谱效率 bps/Hz	接收门限(dB)
DVB-T2	27.7	3.5	18.1
FeMBMS, MCS16	15.4	1.5	17.4
FeMBMS, MCS26	30.7	3.1	24.1

此外,试验也验证了在不同的移动速度下(包括步行、30 km/h的低速行驶与110km/h的城市内部道路行驶),在维也纳城区均具有较为理想的接收效果。

(4)欧洲:5G Broadcast of the Eurovision Song Contest^[25]

2022年Eurovision Song Contest期间,EBU及其成员SWR、ORS Group、France Televisions和RAI在欧洲4个城市——斯图加特、维也纳、巴黎、都灵同时采用5G广播进行比赛现场的高清视频直播。信号由意大利广播公司RAI提供,先通过卫星传输到位于日内瓦的总部,再通过CDN网络分发到4个城市的发射站点,Ateme提供编码和流媒体,R&S公司提供广播发射设备,高通公司则提供了5G广播兼容的测试手机。试验采用FeMBMS Release 16标准,部署频率为600MHz频段,四个地点的具体频率有所差异。图13为本次试验传输系统的结构图。

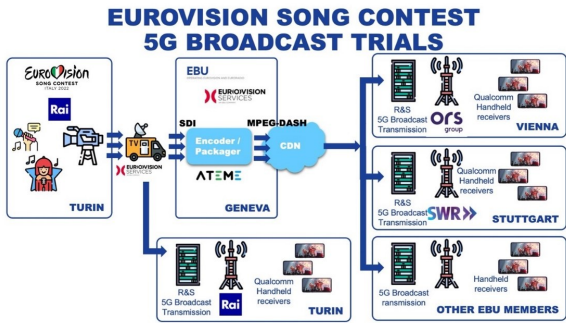


图13 Eurovision Song Contest 2022 5G广播部署结构

作为5G广播目前为止最大规模的一次多站点试验,本次试验在4个欧洲国家的重要城市同时部署,借助 Eurovision Song Contest 的热度,对5G广播的商业宣传和推广起到了非常积极的作用。

3.3 NR MBS 试验

虽然当前 Release 17 中的 NR MBS 目前尚未制订支持高塔高功率广播(包括单频网、符合广播需求的参数集等)的技术标准,但性能更加优异的 NR 空口技术代表着未来的发展方向。与欧洲不同,国内的5G广播试验以 NR 广播为主,在对 Release 17 NR MBS 进行验证的同时,探索未来 NR 广播在高塔高功率部署应用的可能性。

(1) 中国广电 NR MBS 北京广播试验^[26]

为推动 NR MBS 的技术成熟,中国广电组织华为、中兴、爱立信等单位开发了 NR MBS 原型试验系统,并于2021年1-5月进行了NR组播广播电视塔部署外场测试。如图14所示,该测试将基站部署在北京中央广播电视塔,距离地面207m,部署华为商用5G基站。试验频率为3GPP n28 频段,使用定向天线,一根天线指向东,另一根天线指向南,在测试车辆上放置了四台终端,沿不同路线行驶。东线主要测试典型的城市场景中的覆盖。南线主要测试相对高速情况下的性能(80km/h)。测试的业务内容为1路标准视频,广播调制方式为MCS为4的QPSK,编码率0.301,频谱效率为0.6016(不考虑DMRS、控制信令等的开销)。测试结果表明,密集城区场景,距离基站10.8km范围内视频播放流畅,之后视频开始出现卡顿,直到14.3km后完全停止。另在距离电视塔16km处的无遮挡测试点,可接收流畅视频服务。结果表明,距离基站11.6km范围内视频传输流畅,

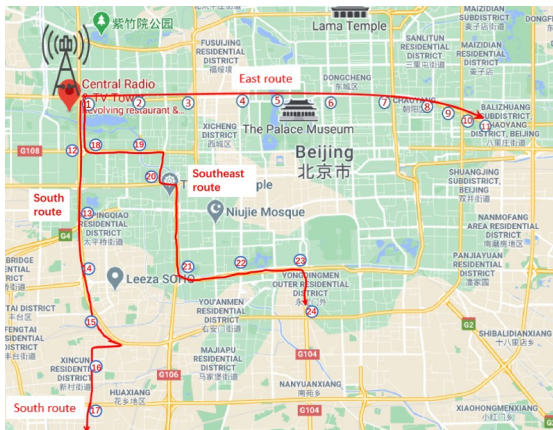


图14 中国广电 NR MBS 北京试验测试路线

5G NR 组播广播具有良好的移动性。试验结果表明采用广播方式占用的传输资源仅为原来的1/4-1/3,为未来为农村或偏远地区提供低成本高质量广播服务提供可能性。

(2) 中国广电 NR MBS 南京广播试验^[27]

为进一步验证 NR MBS 在高塔高功率广播的性能,中国广电在南京进行了外场试验,本次试验的目的是考察700MHz基站在5MHz带宽配置下室外空旷区域能够覆盖的最远距离。试验使用了两个塔,分别为南京电视塔(高塔)和江苏有线园区内基站(小塔)。试验分别测试了5MHz/10MHz带宽下 NR MBS 的覆盖范围和手机接收表现,并对两个站之间的信号切换进行了验证。

试验发射站点部署华为商用5G基站 Huawei 5900,提供2种格式的视频直播,分别为码率1.1Mbps的480P和1.5Mbps的1080P,接收终端为更新了试验固件的华为 Mate 40 Pro。如图15所示,在测试过程中,将测试手机1放置在测试车内离地约1.5m处,配置为播放接收到的广播视频。测试手机2放在手机1旁边并运行监控工具。测试车从基站出发,沿径向逐渐远离,直至最远可以正常接收的点。考虑到南京的地形,试验是在西北、西南、东南三个方向进行的。



图15 中国广电 NR MBS 南京试验车内的测试终端

本次试验得到了以下结论:(1)在相同的发射功率和MCS配置下,5MHz带宽最远覆盖11.1公里,视频播放12.5公里处停止;(2)在相同的测试区域内,车速越快,视频干扰越严重;(3)当终端在不同基站之间移动时,接收机可以自动切换不同基站和节目,切换后接收机可以继续正常播放。

(3) 中国传媒大学南宁外场测试^[28]

2021年3-4月,中国传媒大学媒体融合与传播国

重点实验室联合广西壮族自治区广播电视局,在南宁市区及周边正式启动 5G NR 广播外场测试工作。试验主要目标是分析 NR MBS 技术在高塔高功率部署时与我国地面电视标准 DTMB 的性能差异,验证基于 NR 空口技术的 5G 广播提供高清/超高清视频服务的可行性。试验发射站点部署在南宁人民公园,发射天线高度为 160 米,发射功率为 1kW,发射频点为 618MHz,带宽为 10MHz,所使用基站设备为中国传媒大学自主研制的 NR 高塔高功率原型系统。除了 NR MBS 标准中的参数集模式外,试验还增加了 1.25kHz 和 7.5kHz 两种适用于高塔高功率部署的子载波模式验证。此外,试验采用了较为灵活的播出视频配置方式,在试验过程中分别进行了标清、高清和超清视频的不同组合。为了验证未来高塔高功率,试验设置了如图 16 所示的市区、国道、山区、农村 4 个目标场景,图中方框为测试点位置,不同颜色代表能流畅播放视频的最大 MCS。

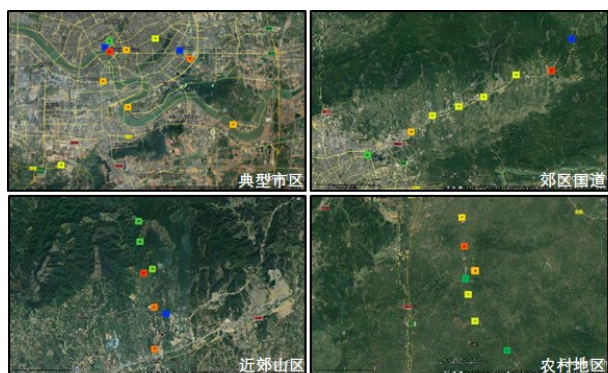


图 16 中国传媒大学南宁外场测试路线

本次试验验证了基于 NR 空口的 5G 广播信号和 DTMB 信号在覆盖场强上具有一致性,在城区附近或在开阔的农村区域,能够在 40km 范围内提供质量较高的广播信号。

4 5G 广播技术演进

从 5G 广播标准的发展不难看出,在频率资源稀缺和技术能力不足的移动通信发展早期,提供类似电视直播的高质量多媒体内容服务是研究移动通信网络广播技术的最初推动力,也促成了 MBMS 在标准中的顺利立项。4G 的成功动摇了广播电视在视频内容服务上的优势地位,随着流量不限和免流量等服务模式的出现,使用移动网络收看的视频节目质量与广播电视的差异在不断缩小。在尚能接受的基站承载能

力和 CDN 服务费用面前,PTP 传输方式已经能够满足绝大多数的应用场景,加之 eMBMS 商用失利,移动通信业界对于 PTM 技术的研究逐渐丧失热情,对商业应用也一直保持怀疑和观望态度。而在广播电视业界,高塔高功率模式的出现使广电从业者摆脱了移动通信标准纷繁复杂的协议,重新回归熟悉的部署方式,直接覆盖手机终端的巨大吸引力激发了广电业界的研究热情。

本文对未来 5G 广播技术演进基于以下基本判断:(1)广电从业者和移动通信从业者的视角中对 5G 广播有着截然不同的理解,前者希望提供常态化、全域的线性电视服务,而后者则更偏向于短时、范围可控的峰值流量卸载,二者在某些观看人数众多的重大活动或热点节目中的实现目标一致,但大多数情况下存在本质差异,未来技术演进需要同时兼顾广播方和通信方的需求。(2)线性电视、应急广播等传统的广播需求现实存在,并且出现了直播带货、元宇宙、车联网 V2X、基于位置/时间的广播、软件升级服务等新型应用场景。移动运营商对于广播技术的需求已经显现,对在 3GPP 标准中广播服务完善持开放态度。(3)虽然 5G 广播划分了两条技术路线,但基于 NR 的 5G 广播依然是未来的演进方向,完全基于 NR 空口实现大塔小塔融合、广播和通信融合将是效率最优的实现方式。

4.1 参数集扩充

参数集(Numerology)设计一直是 3GPP 标准制订的一项重要内容,主要考虑终端移动速度、部署站间距和频谱效率三个因素,涉及两个重要的参数——子载波间隔和 CP 长度,分别记为 Δf 和 T_{cp} 。一般来说,更大的 Δf 对应着更高的移动速度,更长的 T_{cp} 对应更大的部署站间距,而 $\Delta f \times T_{cp}$ 越小则说明 CP 长度占据的时间越小,频谱效率也就越高,三个因素相互制约。4G LTE 系统经过仔细的设计,采用了 $\Delta f=15\text{kHz}$, $T_{cp}=5.2/4.7\mu\text{s}$ 的基本参数集,能满足 350km/h 的移动接收,但只能支持约 1.4km ISD 的 MBSFN。随着不断扩充,目前 LTE 的参数集模式如表 9 所示,其中 $\Delta f=1.25\text{kHz}$ 和 $\Delta f \approx 0.37\text{kHz}$ 两种参数集为高塔高功率移动和固定接收的重要模式。而在 5G NR 中,除沿用了 $\Delta f=15\text{kHz}$, $T_{cp}=5.2/4.7\mu\text{s}$ 的基本参数集外,为了支持 uRLLC 和 mMTC 场景,将子载波间隔扩展至 30/60/120/240kHz,而并未保留 LTE 中为 MBSFN 设计的参数集,因此无法支持高塔高功率模式。

表9 LTE 参数集与关键指标

CP 模式	Δf (kHz)	T_{cp} (μs)	T_u (μs)	ISD (km)	开销 (%)
Normal CP	15	5.2/ 4.7	66.7	1.4	5.6
Extended CP	15	16.7	66.7	5	20
	7.5	33.3	133.3	10	20
	2.5	100	400	30	20
	1.25	200	800	60	20
	≈ 0.37	300	2700	90	10

文献[29]中对5G广播和第二代地面数字电视标准的性能进行了比较,FeMBMS的峰值频谱效率和ISD略低于DTMB-A、ATSC 3.0和DVB-T2等标准,图17给出了几种标准在高斯信道下的频谱效率(包括保护间隔、频率保护带和参考信号引起的损耗等开销)比较,可以看出,FeMBMS与DVB-T2和ATSC3.0相比超过1bps/Hz的差距。EBU、BBC和IRT也于2018年针对Release 14 FeMBMS的CP长度对固定屋顶接收和移动接收的影响进行了分析并提出提案^[30],论证了引入类似地面广播电视的帧结构设计将会显著提高用户接收信噪比。

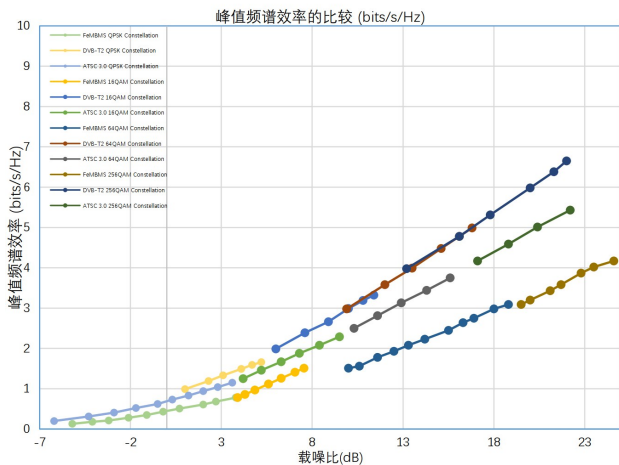


图17 高斯信道下的峰值频谱效率比较

高塔高功率参数集的设计难点在于要实现支持的移动接收速度、ISD和频谱效率三者的平衡。文献[31]对Release 19的需求进行了介绍,其中关于5G广播的要求主要包括不低于200km的ISD、支持最大500km/h的终端移动速度、单套节目200Mbps的传输速率和不低于15套20Mbps码率节目的同时播出等。从目前来看,上述要求具有较高的挑战,单纯依靠FeMBMS的继续升级很难实现。目前,国内外已经有科研团队投入到基于5G NR的高塔高功率参数集的研究和实践工作^{[28][32-36]},更多的研究成果将推动在Release 19中形成支持高塔高功率的参数集。

4.2 交织技术

交织(Interleaving)作为地面电视广播系统里最常用的技术手段,能有效抵抗实际环境中普遍存在的脉冲噪声、快衰落等突发干扰。其基本原理是按照一定的周期,打乱原有符号的顺序进行重新组合,使突发干扰造成的错误分散到不同的数据块。按照分块是在时间还是频率上进行,分为时域交织和频域交织,二者可同时使用。对于时域交织,由于需要将数据以固定的时间周期——称为交织深度——进行处理,会引入额外的传输时延。在第二代地面数字电视标准中,采用的时域交织深度大约在100ms至500ms区间,对于移动接收,时域交织深度均在300ms以上。

2019年TSG-RAN WG1 #99会议上提出了多份关于在FeMBMS中增加交织的提案^[37-40]。EBU、BBC和IRT在文献[37]中给出一种基于HARQ的时域交织方案,在5MHz带宽、PMCH MCS为6/8的条件下,给出了在终端移动速度为250km/h时采用所提出方案与没有交织方案的性能对比。如图18所示,增加交织方案的性能要比原方案提升了1bps/Hz的频谱效率(约30%)。基于此,EBU、BBC、高通、广科院等19家单位共同提交一份关于在FeMBMS中增加时域交织的提案^[38],给出在2.5kHz和0.37kHz两种参数集模式中增加基于HARQ的时域交织方案的具体配置建议。目前,尚无针对NR广播增加交织技术的提案,探索研究更先进、更均衡的技术方案将能够进一步提升5G广播性能。

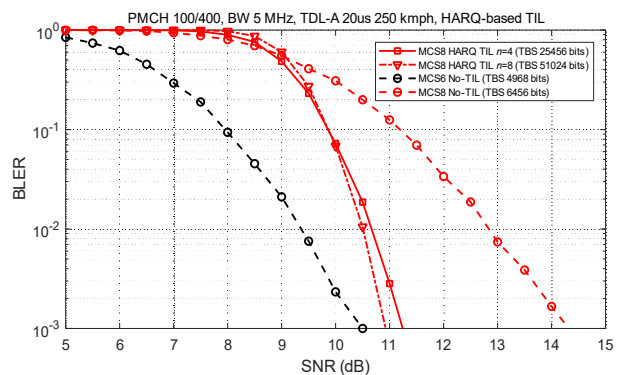


图18 基于HARQ的时域交织方案与无交织方案的性能对比

4.3 融合组网

5G广播两条技术路线的划分带来的额外问题是给基于LTE的高塔高功率广播与基于NR的基站组播/单播的融合带来了挑战。在基于NR空口的高塔高功率广播出现之前,实现如图19所示的广播、组播、单播融合服务

与无感切换应用场景需要FeMBMS(4G/LTE)和NR MBS(5G/NR)两套技术同时进行支撑。FeMBMS提供高塔高功率广播覆盖,能够以较低的成本满足90%以上室外环境的接收要求。而当终端进入室内时,阴影衰落导致信号质量迅速下降,影响用户收看,此时通过迅速切换到基站NR MBS组播或单播模式,将能够保证服务的连续性。采用两种方案融合组网的一个关键问题在于广播数据同源——即两种链路的传输数据要保持时间上的严格同步,这一目标的实现可以在移动通信网络的应用层、传输层、物理层等多个层次实现,越靠近下层数据的一致性越好,但两个系统的耦合程度就越大,需要升级相关基站设备。

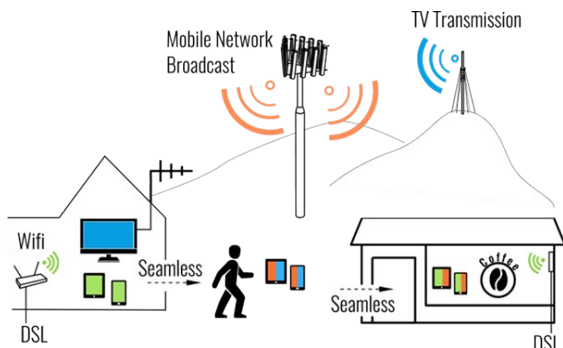


图19 5G广播、组播、单播融合服务场景

文献[18]给出了如图20所示的基于服务层的融合组网方案,黄色部分为统一的业务接入网元,采用NR MBS中的MBSF和MBSTF,增加对xMB-C/U接口的支持,同时支持BM-SC的功能。蓝色方框内为NR MBS侧的网络结构,加上黄色方框内网元即为完整的NR MBS核心网结构。绿色方框为FeMBMS侧网络结构,不再连接到BM-SC,而是通过原有的SGmb和SGi-mb接口连接到黄色方框部分的网元。可以看出,该方案保留了完整的NR MBS核心网结构和除BM-SC以外完整的FeMBMS核心网结构,通过对MBSF/MBSTF的扩展,在不改变任何接口的情况下实现了数据的融合,是标准中的推荐方案。

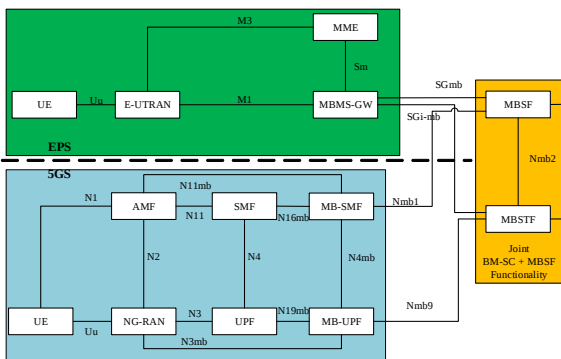


图20 基于服务层的融合组网方案

高通公司和SWR在文献[41]中发起了enTV接入5G核心网的提案,并给出了如图21所示的两种方案。一种保留完整的enTV RAN和M1/M3接口,MB-UPF和MB-SMF/AMF分别增加对M1和M3接口的支持。另外一种方案则需要在enTV RAN中扩展N2/N3接口,以接入MB-UPF和AMF/MB-SMF。该提案所提出的方法能够实现FeMBMS和NR MBS在传输层的融合。

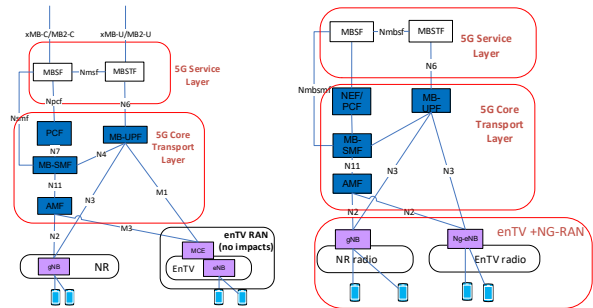


图21 enTV接入5GC方案
(左:enTV RAN;右:enTV+NG-RAN)

上述方案目前均缺少实际系统验证。而在其他方面,5G广播的主要研究组织之一5G-MAG在2022世界广播大会上展示了基于应用层的5G广播与CDN的无感切换系统^[42],是目前为止针对融合服务的最成功的案例。进一步研究FeMBMS与NR MBS的融合组网方案,提高广播服务质量,是5G广播应用落地的重要保障,也是未来的一个研究重点。

5 结论

从Release 6 MBMS发布至今,5G广播技术在近20年间已历经10余个版本的更迭。与此同时,移动通信网络从无法承载视频服务发展到现在视频质量已接近广播电视信号,网络容量的快速增长使其对广播技术的需求不断下降。由于缺乏通信芯片厂商的广泛支持,5G广播始终停留在试验和小范围商用的阶段。当前,3GPP已经进入到5G-Advanced的研究阶段,随着对5G网络的进一步完善,高新视频、车联网、元宇宙等应用将会真正进入人们的日常生活,而5G广播作为峰值流量卸载的重要技术手段,需要发挥更加重要的作用。正如全球未来广播电视高峰论坛发布的《地面电视倡议谅解备忘录》声明内容,“地面广播有着不可替代的重要地位,……具有向潜在海量接收机无线发送媒体内容的特性,这让其成为世界范围内的一大关键技术。事实上,就用于向公众发送实时和基于文件的媒体内容的无线发送方式而言,广播

具有最高的频谱效率”。作为一种重要的信息传递方式,广播具有不可忽视的重要价值,通过未来与移动通信网络的深度融合,将为人们提供更加低成本、高质量的公共广播服务。

参考文献(References):

- [1] 光明日报.这十年,文艺这样见证新时代新征程[EB/OL]. [2022-08-30]. https://news.gmw.cn/2022-08/19/content_35963467.htm
- [2] 工业和信息化部.2022年1-7月通信业主要指标完成情况(二)[EB/OL]. [2022-08-22]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/yxj/xxfb/art/2022/art_7930cbfc44c341608521cbcb14c9.
- [3] 3GPP SP-040632. Presentation of TS 26.346-100[C]. TSGS-SA #25, Palm Springs, USA, 2004.
- [4] 3GPP TS 23.236 V6.13.0 (2008-03). Introduction of the Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN). Stage 2 (Release 6).
- [5] 3GPP TS 25.346 V7.7.0 (2008-03). (MBMS) in the Radio Access Network (RAN). Stage 2 (Release 7).
- [6] 3GPP R2-093533. MBMS baseline for Rel-9[C]. TSG-RAN WG2 #66, San Francisco, USA, 2009.
- [7] 3GPP TS 36.300 V9.0.0 (2009-06). Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description. Stage 2(Release 9).
- [8] 3GPP R2-106958. Support of MBMS Service Counting Report procedure[C]. TSG-RAN WG2 Meeting #72, Jacksonville (FL), USA, 2010.
- [9] 3GPP R2-123190. Introduction of service continuity improvements for MBMS on LTE[C]. TSG-RAN WG2 Meeting #78, Prague, Czech Republic, 2012.
- [10] 3GPP TR 26.849 v12.1.0 (2015-06). Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) improvements. MBMS operation on demand (Release 12).
- [11] 3GPP RP-152080. Introduction of Support of single-cell point-to-multipoint transmission in LTE[C]. TSG-RAN #70, Sitges, Spain, 2015.
- [12] EBU.Delivery of broadcast content over LTE networks [M]. 2014.
- [13] 3GPP SP-150756.3GPP Enhancement for TV service[C]. TSG-SA #70, Sitges, Spain, 2015.
- [14] 3GPP RP-160675.eMBMS enhancements for LTE[C]. TSG-RAN #71, Goteborg, Sweden, 2016.
- [15] 3GPP RP-212975.Introduction of new bandwidths for LTE-based 5G terrestrial broadcast[C]. TSG-RAN #94-e, 2021.
- [16] 3GPP RP-180499.Interim report from email discussion on 5G Broadcast evolution[C]. TSG-RAN #79, Chennai, India, 2018.
- [17] 3GPP TS 38.300 V17.2.0 (2022-09).NR, NR and NG-RAN Overall Description. Stage 2 (Release 17).
- [18] 3GPP TS 23.247 V17.4.0 (2022-09).Architectural enhancements for 5G multicast-broadcast services. Stage 2 (Release 17).
- [19] 3GPP RP-212674. Evolution for broadcast and multicast services - Version 0.0.6 RAN[C]. TSG-RAN #94-e, 2021.
- [20] 3GPP RP-212714. Enhancement of NR Multicast and Broadcast Services[C]. TSG-RAN #94-e, 2021.
- [21] LTE Broadcast Alliance. LTE Broadcast - Lessons Learned from Trials and Early Deployments [M]. 2016.
- [22] Aneta Baier. 5G Broadcast trial using FeMBMS[C]. EBU/ASBU Week of Technology 2019, 2019.
- [23] Andrew Murphy, Raj Khokhar, Simon Chirgwin. BBC Research & Development White Paper WHP 368: 5G Rural First: Broadcast Radio Use Case Completion Reports [M]. 2019.
- [24] ORS. Technical implementation status of 5G Broadcast: Vienna Field Trial[EB/OL]. 2021.
- [25] Gino Alberico. Eurovision Song Contest 5G Broadcast Trials 2022[C]. EBU 28th Technical Assembly, Montpellier, France, 2022.
- [26] 曾庆军,李爽. 5G NR组播广播技术(一)——中国广电引领世界5G广播[J]. 广播与电视技术,2021,48(8):13-19.
- [27] Draft new report ITU-R BT. [TRIALS-NEW-TMMB]: The 5G NR MBS Trial in Nanjing[M]. 2022.
- [28] 吕锐,杨占昕,徐伟掌,等. 5G NR高塔高功率广播系统研发与外场测试[J]. 广播与电视技术,2021,48(9):12-16.
- [29] 未来移动通信论坛. 5G广播技术方案白皮书v7.0P [M]. 世界5G大会, 2020-11.
- [30] 3GPP R1-1812430. Evaluation Results for LTE-Based 5G Terrestrial Broadcast[C]. TSG-RAN WG1 #95, Spokane, USA, 2018.
- [31] 3GPP TS 22.261 V19.0.0 (2022-09). Service requirements for the 5G system, Stage 1 (Release 19).
- [32] J J Gimenez et al. 5G New Radio for Terrestrial Broadcast: A Forward-Looking Approach for NR-MBMS [C]. in IEEE Transactions on Broadcasting, 2019, 65(2):356-368.
- [33] S K Ahn, H Jung and S I Park. Performance evaluation of terrestrial broadcasting based on 5G NR [C]. 2020 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2020:1-3.
- [34] M. Nouri and H. Behrooz. Increase Spectral and Energy Efficiency with Multi-Objective Optimization for 5G-NR Terrestrial Broadcasting [C]. 2020 10th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE),