

# 5G广播技术方案

WHITE PAPER V7.0 P  
2020.11



# 5G 广播技术方案

---

**Version 1**

**FuTURE Forum 5G Broadcast and Video WG**

**2020/11/27**

# 目录

1.	5G 广播摘要.....	1
2.	应用场景和需求.....	2
3.	总体方案和标准进展.....	4
3.1	基于 CDN 的单播、广播融合.....	4
3.2	标准进展.....	6
4.	协议栈设计.....	8
4.1	广播协议栈.....	8
4.2	单播协议栈.....	9
4.3	融合协议栈.....	10
5	广播.....	11
5.1	系统架构.....	11
5.1.1	架构.....	11
5.1.2	BM-SC.....	12
5.1.3	MBMS-GW.....	12
5.1.4	参考点、API.....	12
5.1.5	xMB.....	13
5.2	广播系统设置.....	13
5.2.1	流程.....	13
5.2.2	广播流程各步骤细节.....	14
5.2.3	TMGI [14].....	20
5.2.4	配置管理对象（Management Object）.....	21
5.2.5	5G 广播业务发现.....	22
5.3	发送端设置.....	22
5.3.1	帧结构和参数集.....	22
5.3.2	MBMS 传输.....	23

5.3.3	MAC 层 .....	23
5.3.4	RLC 层 .....	24
5.3.5	RRC layer .....	24
5.4	接收端设置 .....	24
5.4.1	介绍 .....	24
5.4.2	接入层 .....	25
5.4.3	MBMS 客户端 .....	26
<b>6.</b>	<b>5G 广播与其他广播方案比较 .....</b>	<b>27</b>
6.1	传统地面数字广播技术和 5G 地面广播技术的特点 .....	27
6.2	5G 地面广播技术的发展及与其他地面数字电视标准的比较 .....	30
6.2.1	频率带宽和带宽效率的比较 .....	32
6.2.2	峰值数据速率 (bits/s) 与峰值频谱效率 (bits/s/Hz) 的比较 .....	34
6.2.3	BICM 峰值频谱效率比较 .....	38
6.2.4	不同场景下 BICM 频谱效率与 CNR 的比较 .....	40
6.2.5	ISD (站点间距离) 比较 .....	42
6.3	小结 .....	43
<b>7.</b>	<b>5G 广播部署的思考 .....</b>	<b>44</b>
7.1	5G 地面数字广播技术综述与展望 .....	44
7.2	UHF 频段圆极化发射天线在 5G 广播应用的探讨 .....	44
7.3	测试的思考 .....	47
7.4	基于 CMAF 的统一封装格式 .....	48
	<b>Reference .....</b>	<b>51</b>
	<b>附件 1 .....</b>	<b>54</b>
	<b>附件 2 .....</b>	<b>57</b>
	<b>致谢 .....</b>	<b>59</b>

## 1. 5G 广播摘要

受益于移动通信的发展,4G LTE 极大地改善了在智能手机上观看视频内容的用户体验。现在,人们可以负担得起的费用来通过移动互联网观看实时视频内容,而无需等待 WiFi 或有线连接。智能手机具有数十兆比特每秒的用户体验速率,而 OTT 相应的提供了越来越有趣的实时视频流。

通过一些显着的变化,我们观察到实时视频观众在过去 15 年中迅速的增长。目前顶级节目的平均观众人数已达到 3000 万,这个数字已经达到了定级电视剧的收视率。值得重视的是,因为迎合了不同的观看需求和手机可随身携带,OTT 定级流量节目的数量远远大于传统定级电视剧。从 2006 年开始,OTT 通过互联网提供实时表演以吸引观众的眼球,人们接受了笔记本电脑和平板电脑作为电视以外的第二屏幕来观看实时视频节目。后来,电子竞技游戏直播开始流行,并将用户的屏幕扩展到智能手机。2018 年,OTT 提供的现场体育赛事(NBA,足球世界杯等)吸引了超过 5000 万实时观众。从 2019 年开始,在线实况购物秀也得了 1000 万现场观众的关注。总体而言,我们观察到了中国直播视频流的几个有趣趋势。研究机构 IIMEDIA 数据显示,现场视频观众的规模约为 5.04 亿,到 2020 年,这一数字将达到 5.26 亿。

5G 广播是 3GPP 开发的一项功能,被公认为是为智能手机用户提供实时视频的最佳解决方案。与传统广播相比,5G 广播可以通过融合广播和单播传输来提供无缝覆盖,通过部署大塔可以大大降低室外覆盖成本,而单播可以提供室内覆盖并实现交互式用户体验。同时,5G 广播通过统一的传输协议提供了足够的灵活性来支持不同格式的节目源。5G 广播支持无 SIM 卡接入,即用户无需预先订阅网络即可以接收广播信号,这一点对于公共服务尤为重要。在本白皮书的其余部分中,我们总结了 5G 广播技术解决方案,其中包括:

- 第 2 章:用例,部署方案和 KPI
- 第 3 章:概述和标准状态
- 第 4 章:融合的传输协议栈
- 第 5 章:系统架构,过程,传输和接收配置

- 第 6 章：5G 广播和其他广播解决方案的概况
- 第 7 章：5G 广播部署的思考

## 2. 应用场景和需求

如用例白皮书[1]所述，5G 广播的用例包括

- 电视直播，旨在将电视服务从大屏幕扩展到小屏幕，包括智能手机，平板电脑等；
- OTT 实时视频流，将流量从单播链接转移到广播链接以节省成本；
- 现场实时直播：为现场观众提供实时，交互式广播。示例性的用例是自由视角，低延迟回放等；
- 应急广播：作为公共服务向所有人传播紧急内容；
- 软件下载：为大型物联网或其他无线终端分发软件；
- 其他数据服务：广告、辅助信息等其他数据服务。

为了适应上述情况，我们可以进一步推导出以下要求，其中大多数要求已在 3GPP TR38.913 [2] 中进行了说明。

- 提供专门用于电视广播的网络。新的接入网必须支持组播、广播的静态和动态资源分配；新的接入网将允许支持 100% 的 DL 资源用于广播业务。
- 仅接收模式（Receive Only Mode） [3]：作为公共服务，应假定收听者没有运营商的 USIM 卡。终端配置允许终端仅接收 5G 广播广播服务，而无需访问提供广播服务的运营商并向其注册。被配置为以仅接收模式操作的终端仅在标准化的 TMGI 值范围上接收广播服务。终端使用获取的系统信息来接收广播。使用仅接收模式不需要终端使用 USIM。
- 覆盖范围广。新的接入网可以通过网络同步以单频网模式覆盖整个国家的地理区域，应允许最大 100 km 的小区半径。它还应容许不同的站点播出内容不同，以支持本地，区域和国家广播区域。

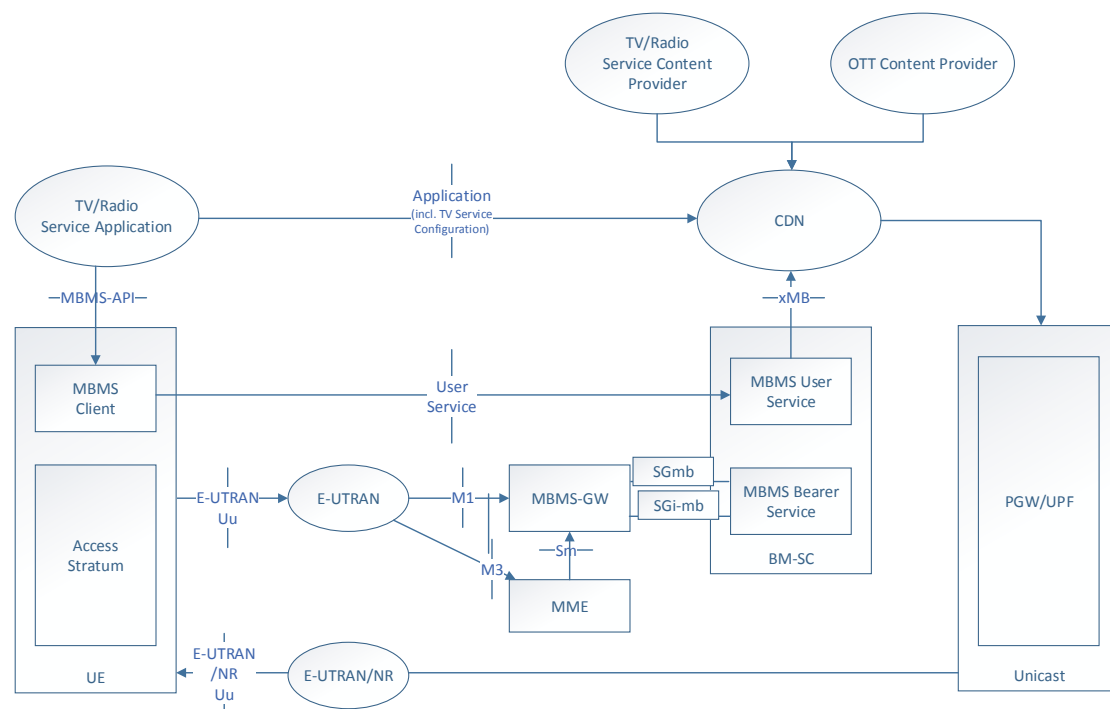
- 高移动性。启用车载，便携式和移动终端。终端最高时速可达 250 km / h。
- 灵活的内容：新的接入网需要支持基于用户分布或服务要求动态调整组播/广播区域。



### 3. 总体方案和标准进展

#### 3.1 基于 CDN 的单播、广播融合

CDN 作为单播、广播服务汇聚统一的锚点。广播服务通过 xMB 接口获取 CDN 上的内容，单播通过网络接口将 UPF/PGW 等网元和 CDN 相连。以 3GPP 为例，单播对应协议在 TS 23.501 [5]，广播协议为 TS 23.246 [3]和 TS 26.346 [2][4]。



图表 1 融合单播广播协议架构

CDN 作为单播、广播服务汇聚统一的锚点。广播服务通过 xMB 接口获取 CDN 上的内容，单播通过网络接口将 UPF/PGW 等网元和 CDN 相连。以 3GPP 为例，单播对应协议在 TS 23.501 [5]，广播协议为 TS 23.246 [3]和 TS 26.346 [2][4]。

即使单播可以是 5G NR，LTE 或其他单播技术，我们也将以 5G NR 为例说明该协议。图表 2 提供了对 5G 参考架构（如 TS 23.501 中定义）的潜在扩展，具有与 CDN 边缘和源功能等媒体交付相关的功能。



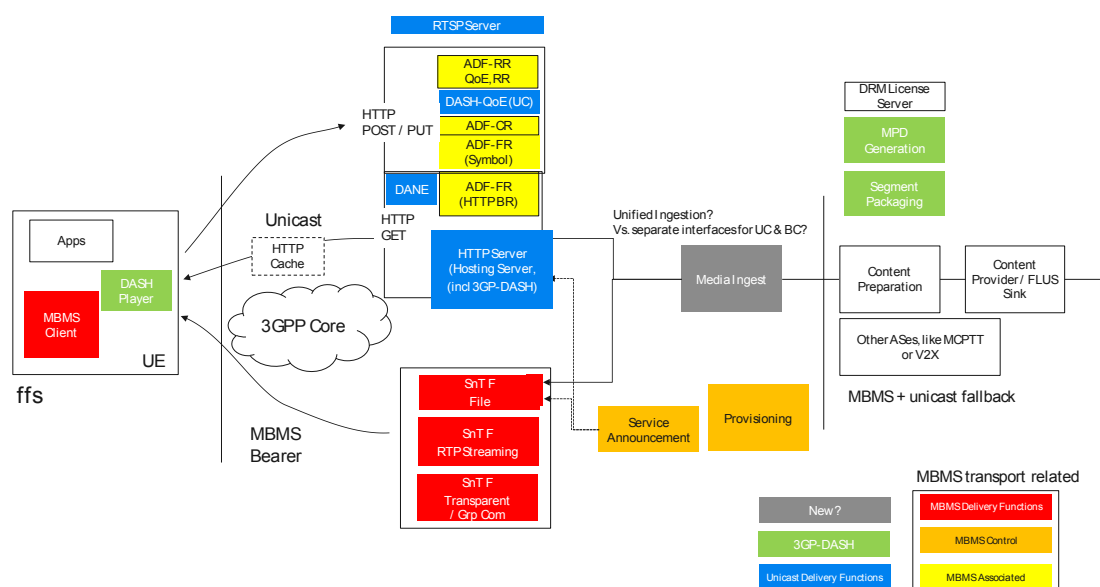


图 3 分解MBMS和PSS功能

与 MBMS 相关的传输功能以红色，橙色和黄色绘制。

xMB 参考点考虑了内容提供者方面的内容准备，因此内容提供者提供了 3GP DASH 格式的段和 MPD。在 PSS 中，PSS 服务器从内容准备功能接收 3GP-DASH 格式。

MBMS 和 PSS 支持 QoE 报告。对于 MBMS，QoE 报告是关联的传递功能（ADF）的一部分。

MBMS 支持将文件修复作为关联的传递功能（ADF-FR HTTP-BR）的一部分。这种功能可以与 3GP DASH 单播段和 MPD 一起托管在 HTTP 服务器上。

用于文件传递的单播和 MBMS 会话和传输功能（SnT F）可用于向客户端提供服务公告。

## 3.2 标准进展

大约 20 年前的 3G 时代，3GPP 就制定了移动广播的标准。LTE 在 Rel-9 设计了广播（eMBMS）业务的系统架构和接入网络。

- R9 是 LTE 广播的第一个版本，具有以下功能
  - 混合单播/ MBMS 运营模式

- 15 kHz 子载波
- 16.7 $\mu$ s 的扩展 CP
- 仅支持多小区传输 (MBSFN)
- MBSFN 传输最多占用 60% 的子帧
- R13, 设计单小区到多小区 (SC-PTM) 到小区域多播/广播方案, 包括以下功能
  - 单小区传输 (SC-PTM)
  - 在 PDSCH 上以新的组身份进行传输
  - 发送基站不需要同步
- R14, 传统广播公司的启用关键功能, 包括以下功能
  - > 30KM 站间距: 更长的循环前缀
  - 专用广播载波: 可设置全部资源用于 MBSFN 传输
  - ROM: 终端仅在标准化或配置的 TMGI 值范围内接收广播服务, 以获取系统信息。使用仅接收模式不需要终端使用 USIM。
  - 支持屋顶和车载天线, 手持接收器
- R16, 为移动终端提供更大的站间距和高移动性
  - 300 $\mu$ s CP 以支持 > 100Km 的单元半径
  - CP 为 100 $\mu$ s, 以支持高达 250m / h 的移动速度
  - CAS (控制) 增强的可靠性: 更高的 PDCCH 聚合级别, PBCH 重复等。

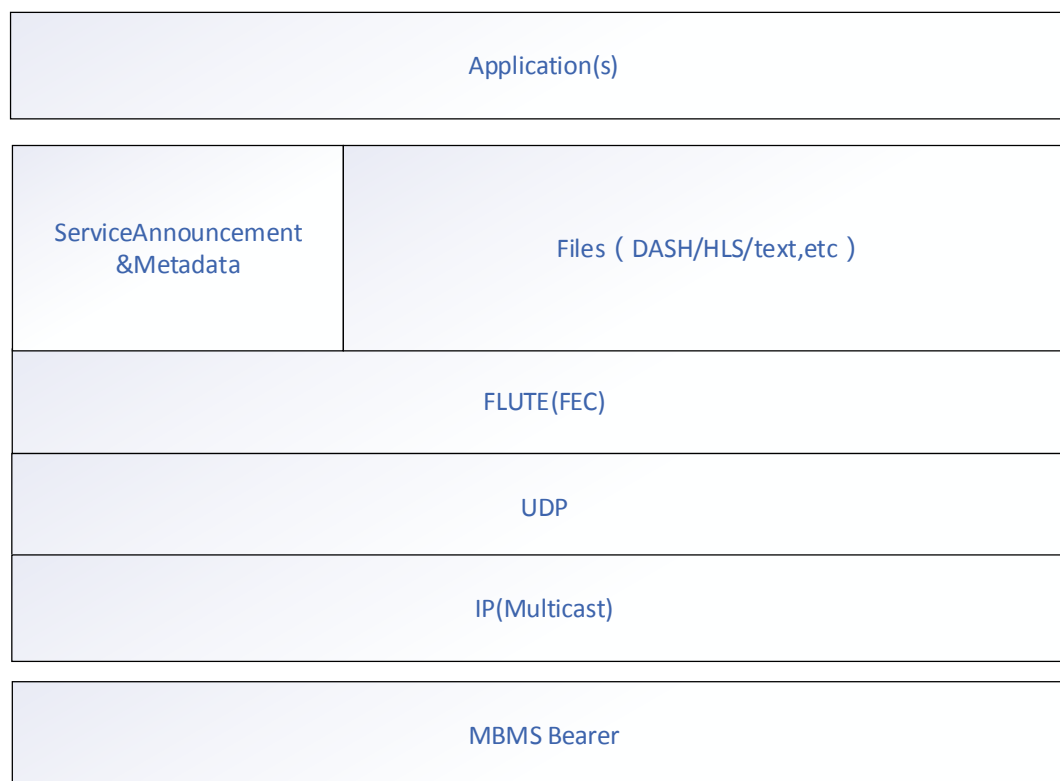
在 ITU-R WP5D # 35e 会议中, 作为完整提案的组成部分, 5G 广播 (又称 5G 地面广播) 作为 5G 解决方案被正式批准为 5G 技术方案的一部分。为了帮助广播运营公司和其他可能对技术需要深入研究的工程师, 3GPP 提供了一份技术报告, 简要总结了中的 5G 广播关键功能[19]。

## 4. 协议栈设计

5G 融合广播的核心部分是广播和单播的融合通信，本章的融合协议栈设计是融合技术的核心。本章将分别介绍广播、单播协议栈，并将二者合并成为融合协议栈。其中广播、单播协议栈都是来自 3GPP SA4 协议。

### 4.1 广播协议栈

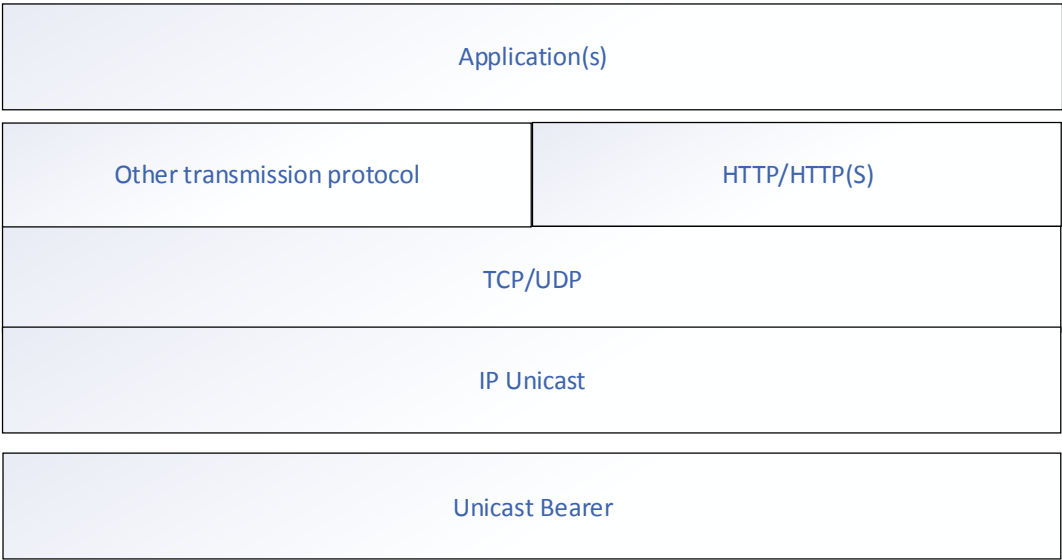
广播传输分发的内容可能是流媒体文件，也可能是数据类文件。主流广播网络通常采用统一的协议架构传输、分发不同的广播内容。流媒体文件分发需要媒体传输协议进行文件分片，再通过 FLUTE 协议传输。文本、软件或其他数据业务可以直接传输。广播协议通常用 UDP 协议传输，底层由 MBMS 广播类型承载。



图表 4 eMBMS服务的广播协议架构

4.2 单播协议栈

5G 应用的单播协议栈本身的结构比较直观，数据或视频传输基本沿用传统的 IP 传输即可，如下图。

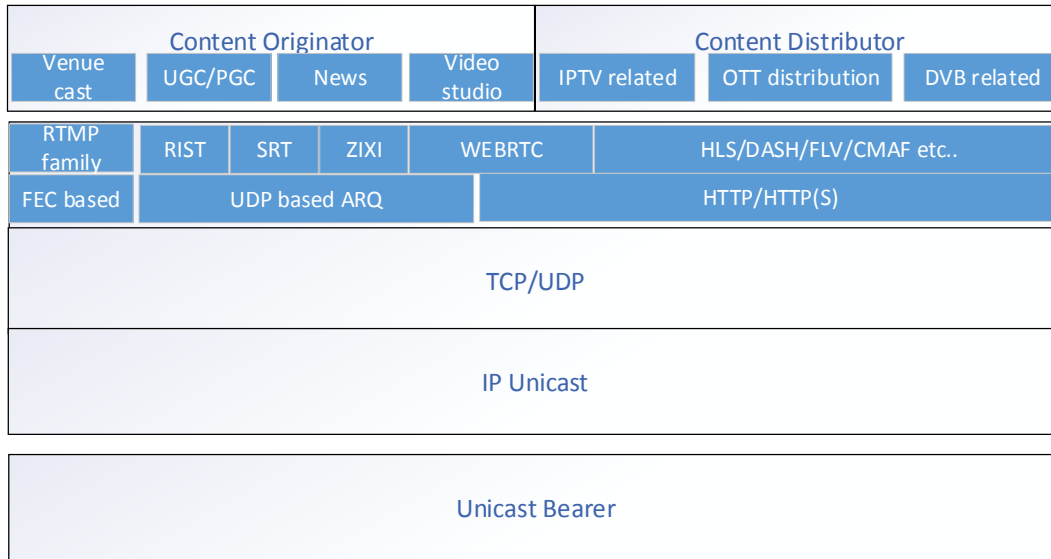


图表 5 用于视频传输的单播协议架构

由于覆盖了多种不同的业务，因此这里主要针对视频相关的业务划分为两种应用场景对上层的视频传输的协议栈进行分类：

- 内容生产/制作领域（上传为主）
- 分发/再分发领域（下载为主）

请见下图：



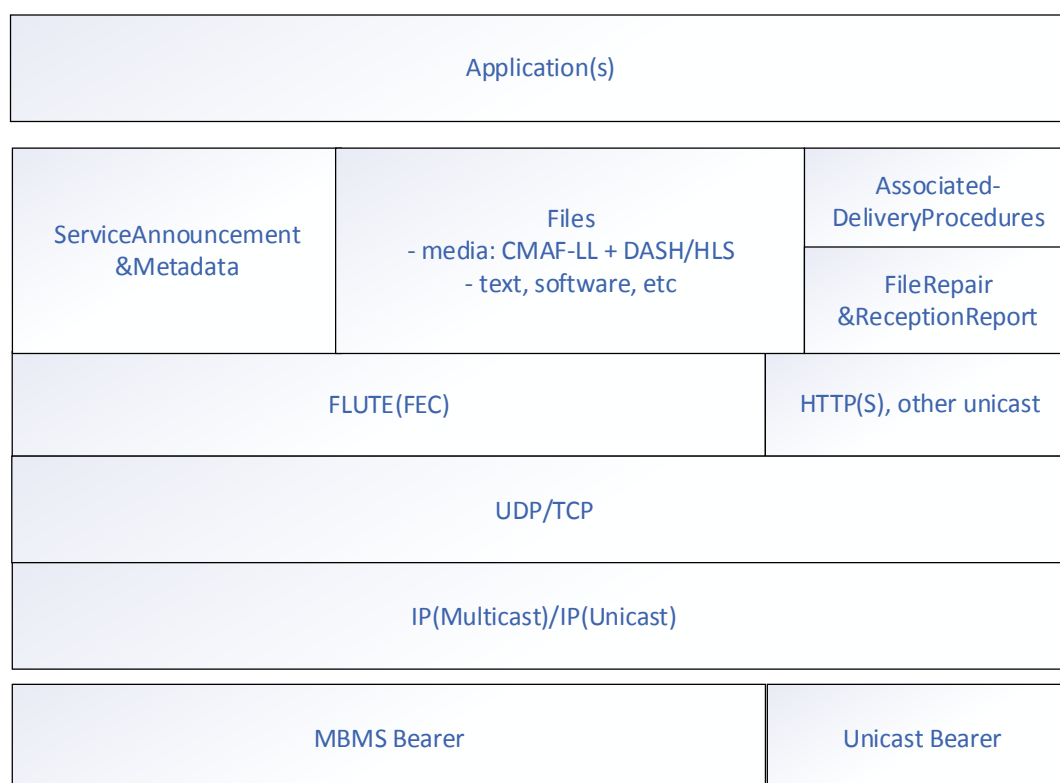
图表 6 不同业务和媒体协议示意图

所有的单播 IP 数据都在 5G 的单播业务承载之上，在传统的 TCP/UDP 协议之上，基于文件的视频应用将直接使用基于 HTTP/HTTPs 的数据业务进行数据的上传和分发，在此之上可以使用 FTP 或基于 S3/OBS/COS/OSS 等云服务厂商提供的传输协议对视频的大文件进行可靠高效传输。在直播业务上，主流的协议构成可以根据应用场景进行划分，如适用于直播制作回传的 RTMP、RIST、SRT、ZIXI 及 WEBRTC，或适用于分发/再分发应用场景的 HLS、DASH、CMAF（FLV 虽然已经逐渐被淘汰，但仍有不少使用）等。

通过以上提到的传输协议，内容生产厂商可以利用 5G 网络的大带宽及低时延特性将视频及时发出，而服务分发商则可以快速将内容交付给 5G 用户，同时，5G 也可以作为现有 IPTV 或 DVB 业务的补充。

### 4.3 融合协议栈

从智能手机等终端来看，应用层数据可能会根据传输类型分别由单播、广播通道传输。数据在底层通过不同的协议和承载传输，最终在应用层汇聚。



图表 7 融合的单播广播协议架构

上图为融合的单播和广播协议栈。相比于广播协议栈，融合协议栈支持基于 CMAF 的低时延封装。文件修复在协议层还是通过 HTTP、QUIC 或其他单播协议进行，底层可以通过单播承载传输。业务宣告（service announcement）可以通过广播带内发送，也可以通过单播发送。

## 5 广播

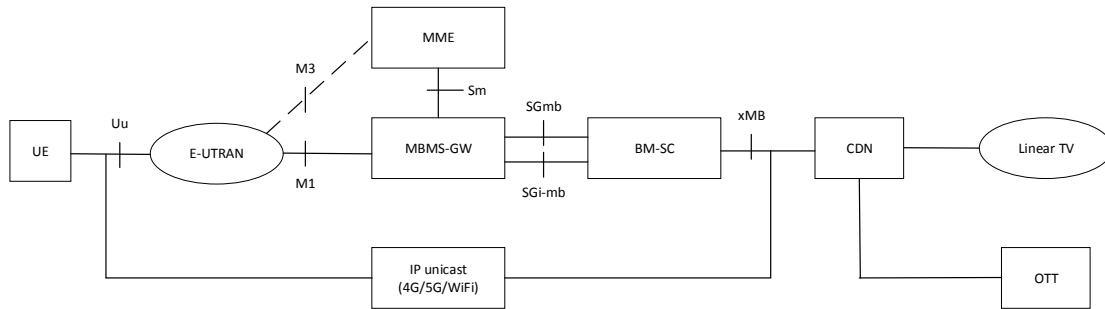
### 5.1 系统架构

#### 5.1.1 架构

这里的融合架构包括传输侧的广播和单播链接。CDN 作为锚点，提供了很大的灵活性，单播链接可以是 4G，5G 甚至是 WiFi。

内容提供商方面可以是传统广播电视或者 OTT，接收到的内容在 CDN 处聚合，以通过广播和/或单播进一步流式传输。





图表 8 融合的系统架构

### 5.1.2 BM-SC

用于线性电视和广播服务的 5G 广播系统的 BM-SC 应提供以下功能：

- 在 TS 26.348 [7]中定义了 xMB 参考点上用于多媒体广播/多播服务（MBMS）的北向应用程序编程接口（API），其细节如第 5.1.5 节所述。
- MBMS 用户服务接口，其细节在第 5.1.4 节中。
- 第 5.2.1 节中定义的 EPS MBMS 流程。

### 5.1.3 MBMS-GW

MBMS GW 是用于广播的功能实体。它通过 SGi-mb（用户平面）参考点和 SGmb（控制平面）参考点为使用 MBMS 承载的实体提供接口，分配 IP 多播地址，以及将 MBMS 用户面数据的 IP 多播分配给 RAN。TS 23.246 [4]中指定了用于广播电视的 5G 广播系统中 MBMS-GW 的详细功能。

### 5.1.4 参考点、API

TS 26.346 [x26.346]中记录了 MBMS 用户服务协议和编解码器，并定义了 BM-SC（MBMS 用户服务的来源）和 MBMS 客户端之间的参考点。5G 广播服务使用了 MBMS 用户服务协议和功能子集。

为了支持 5G 广播 SA 和用户服务，在 TS 26.346 [4]的附件 L 中定义了用于 MBMS 用户服务的 MBMS 配置文件。

业务宣告应使用 TS 26.346 [4]附件 L.3 条中记录的 MBMS 用户服务发现/公告配置文件 1b。

对于文件传递或分段流模式，应使用 TS 26.346 [4] 第 L.4 条中所述的 MBMS 下载配置文件方式。

对于仅传输模式应使用 TS 26.346 [4] 8B 中定义的透明传递方法。

### 5.1.5 xMB

TS 26.348 [7] 和 TS 29.116 [8] 中定义了 xMB 参考点处的多媒体广播/多播服务(MBMS)的北向应用程序编程接口 (API)。有关功能和相关过程的更多详细信息，请参阅规范。

## 5.2 广播系统设置

5G 广播协议同时支持 OTT 广播内容传输和传统的电视广播。

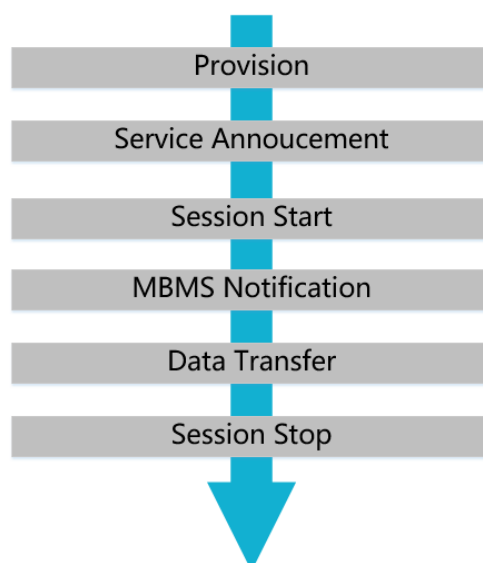
互联网广播最大的特点是 OTT 等内容服务商可以通过 APP 来触发单播和广播的切换，切换条件可以基于网络测量结果、用户所处的地理区域、播放内容等。

APP 触发通常可以通过网络配置广播网络信息，包含 TMGI 等关键信息。同时手机端的 APP 可以按照下文定义的方式，发起 HTTP Get 指令获取 Service Announcement 信息。

传统电视广播在智能终端的呈现方式也被认为是基于操作系统的一个 APP，与 OTT 直播并没有本质区别，只是可能会根据传统的观看习惯设计 APP 界面，尽量还原用户在传统电视的使用体验。

### 5.2.1 流程

5G 广播协议支持多播和广播业务，本文仅介绍广播业务相关流程，整体流程如下：



图表 9 广播业务流程

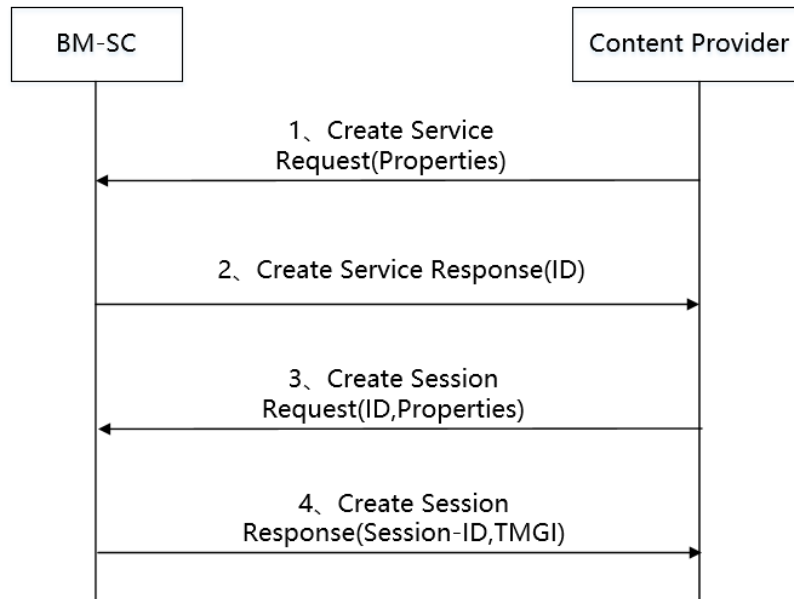
上图描述了广播业务不同步骤之间的严格顺序关系。实际应用中，为了保证新用户接收广播业务，Service Announcement 和 MBMS Notification 需要多次执行：Service Announcement 在 Provision 和 Session Stop 之间多次执行；MBMS Notification 在 Session Start 和 Session Stop 之间多次执行，详情参见 3GPP TS23.246。

## 5.2.2 广播流程各步骤细节

### 5.2.2.1 配置

为了满足不同区域、不同时间段、不同接入制式等场景下推送不同质量的不同内容的需求，广播内容提供商需要提前把这些信息配置到 BM-SC。

内容提供商与 BM-SC 基于 Rest 接口进行通讯，采用两个步骤进行广播配置：Service 和 Session。



图表 10 参数配置流程

内容提供商首先创建服务。内容提供商发送 Create Service Request 消息到 BM-SC，包含信息：Service Class、Service Languages、Service Name、Service Announcement Mode、Consumption Reporting Configuration、Push Notification URL、Push Notification Configuration 等信息。Service Announcement Mode 包含两种类型：SACH 和 Content Provider。具体信息描述参见 26.348 [7]。

BM-SC 返回成功响应，包含信息：ID 等。BM-SC 为每一个服务生成唯一 ID，保证不重复。

内容提供商可以对服务进行创建、删除、查询、修改等操作。除了创建请求，内容提供商都使用 ID 作为服务的唯一标识。

成功创建服务之后，内容提供商开始创建会话。内容提供商发送 Create Session Request 消息到 BM-SC，包含信息：ID（服务）、Start Time、End Time、Max Bitrate、Max Delay、Announcement Start Time、Geographical Area、QoE Reporting、QoE Report URL、Session Type、FEC 等。Session Type 包含四种类型：Streaming, Files, Application, Transport-Mode。一旦设定会话类型为 Transport-Mode，则还需要包含：Delivery Mode Configuration for user plane 等信息。Delivery Mode 包含两种模式：Proxy 和 Forward-only。具体信息描述参见 3GPP TS26.348。[7]

BM-SC 返回成功响应，包含信息：Session-ID、TMGI 等。仅当 Service Announcement Mode 为 Content Provider 时，BM-SC 才返回 TMGI。

内容提供商可以对会话进行创建、删除、查询、修改等操作。除了创建请求，内容提供商都使用 Session-ID 作为会话的唯一标识。一个服务可以对应多个会话。

#### 5.2.2.2 业务声明和发现[3]

服务声明/发现是终端/用户发现可用广播服务的一种机制，该机制可以为用户被动通知，也可以为用户主动查询。通过服务声明/发现机制，用户能够获得广播服务的调度参数（起始时间等）、服务激活参数（如 TMGI、多播地址）等。只有成功接收到服务声明信息，用户才能正确的接收和播放广播内容。

实现服务声明/发现有多种方式，详情参见 3GPP TS26.346[4]。推荐实现方式描述如下（包括但不限于）：

- Content Provider
- MBMS Bearer
- Interactive Announcement Function
- Point2Point Push Bear

下文分别介绍了这四种方式的特点

- By Content Provider

服务描述文件由内容提供商生成和提供，用户通常采用 http 方式主动获取，通讯网络不感知服务声明过程。用户使用 App 访问门户网站获得服务声明的 URL。

- Over MBMS Bearer

服务描述文件由 BM-SC 生成和提供，用户利用下载会话进行下载，下载会话由 BM-SC 定义。为了完成下载，用户需要先获得下载会话参数。通常有如下几种方式获取下载会话参数：终端预置；App 预置；短消息推送；通过 URL 获取参数，URL 格式建议如下：

`http://mbmsbs.mnc<MNC>.mcc<MCC>.pub.3gppnetwork.org/bootstrap.multipart`

一旦获取到下载会话参数，用户即可利用下载会话获取到服务描述文件，然后根据文件内容正确地接收广播流。

- Using Interactive Announcement Function

服务描述文件由 BM-SC 生成和提供，用户采用 `http` 方式主动获取。通常有如下几种方式获取对应的 URL：终端预置；App 预置；短消息推送；FQDN，FQDN 建议如下：  
`mbmsbs.mnc<MNC>.mcc<MCC>.pub.3gppnetwork.org`，对应 URL 为  
`http://mbmsbs.mnc<MNC>.mcc<MCC>.pub.3gppnetwork.org/unicastUSD`。

`unicastUSD` 对应的文件为完整的服务描述文件，不仅仅包含下载会话参数，还包含服务的描述信息、调度参数、反馈信息等。

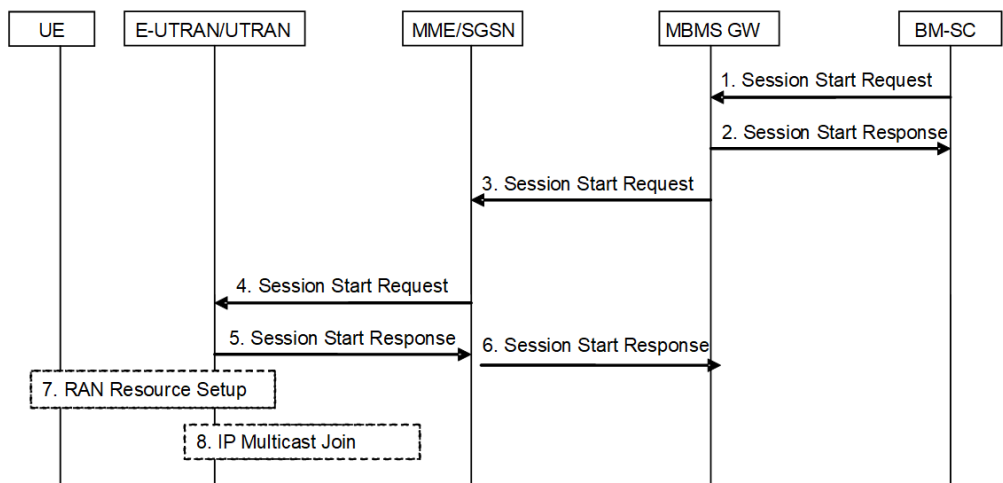
- Over Point2point Push Bearer

服务描述文件由 BM-SC 生成和提供，通讯网络基于用户位置利用 Push Bearer 推送服务描述信息。

### 5.2.2.3 进程开始

BM-SC 发送广播流之前，需要先通知网络预留资源。BM-SC 按照配置的时间发送 Session Start 消息，网元如 MME、MBMS GW 等接收到该消息，建立承载上下文，为广播业务预留资源。

一个广播业务可以对应多个承载业务，由多个承载业务完成广播流的发送。此时，BM-SC 需要对每一个承载业务发送 Session Start，终端需要从每个承载业务接收广播流。



图表 11 广播进程启动(摘自3GPP TS23.246)

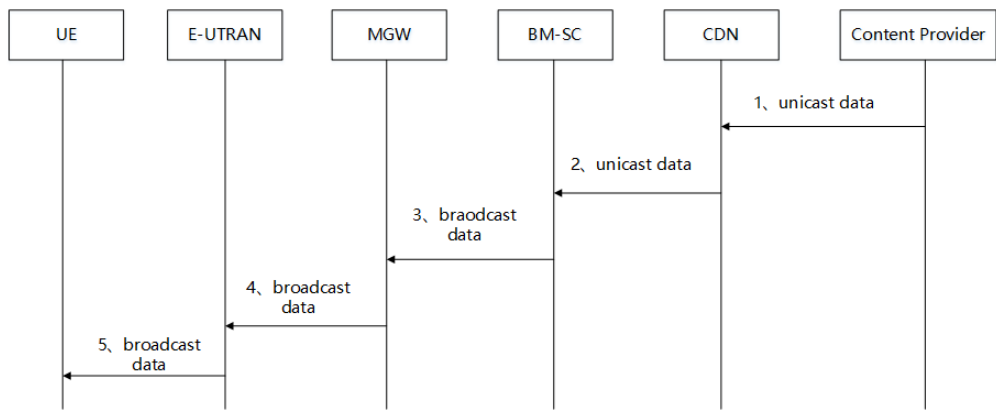
5.2.2.4 MBMS 标识

BM-SC 发送完 Session start 消息之后，在广播数据之前，需要发送 MBMS Notification 消息通知终端：数据开始发送。

在 Data Transfer 过程中，BM-SC 也可以发送 MBMS Notification 消息。

5.2.2.5 数据传输

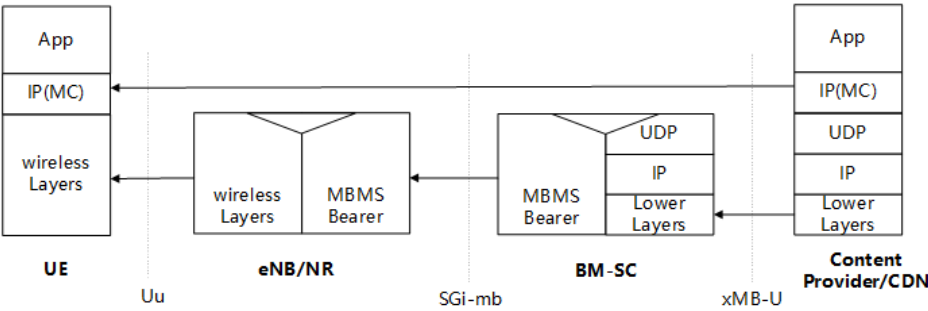
内容提供商推送广播流到终端，终端接收到广播流之后进行播放。



图表 12 数据传输

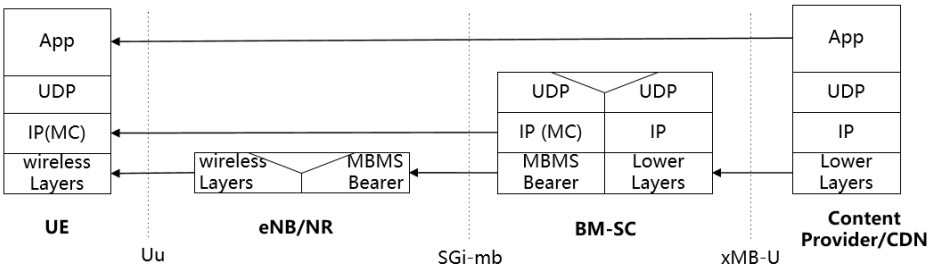
BM-SC 推送广播流的模式细分为：透传模式、代理模式、文件模式、流模式。

BM-SC 采用透传模式时端到端协议栈如下：



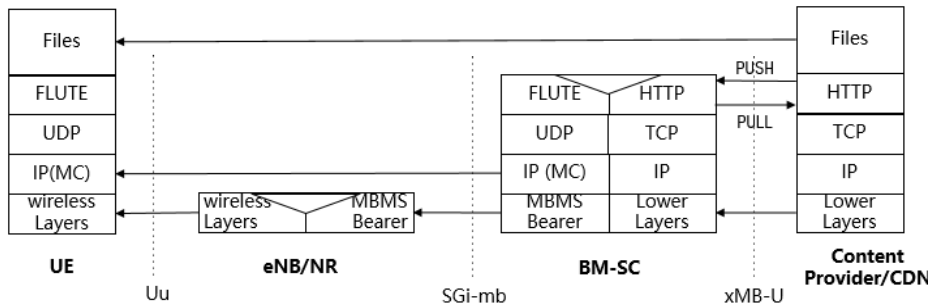
图表 13透传模式

BM-SC 采用代理模式时端到端协议栈如下：



图表 14代理模式

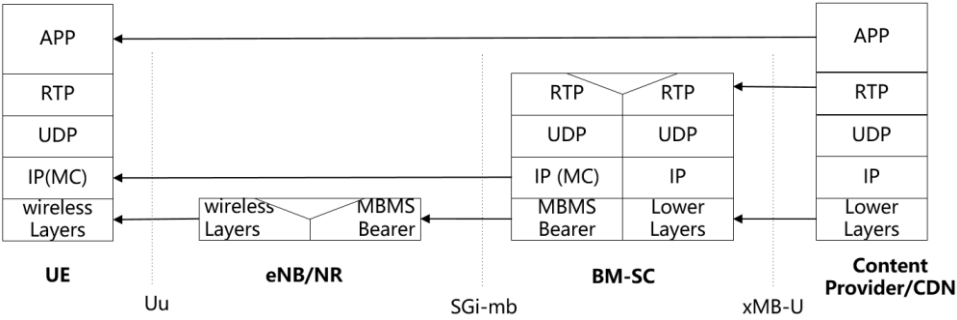
BM-SC 采用文件模式时端到端协议栈如下：



图表 15 文件模式

BM-SC 采用流模式时端到端协议栈如下：

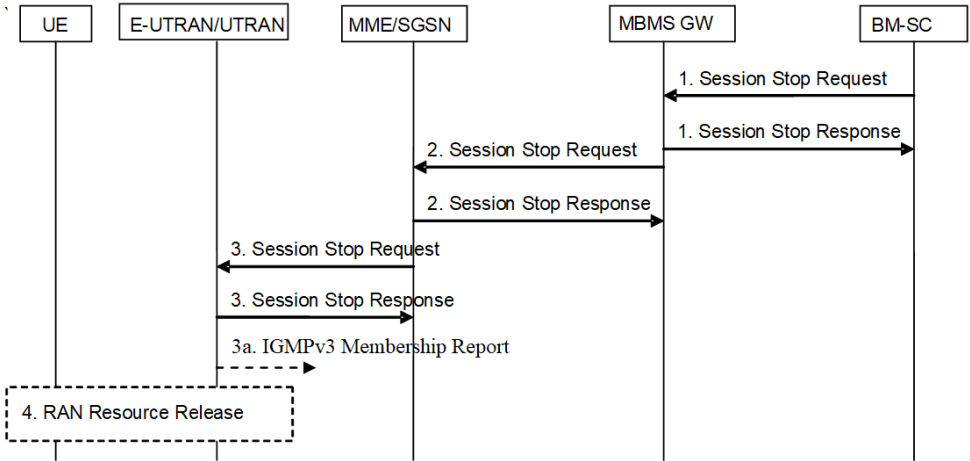




图表 16 流模式

5.2.2.6 进程结束

一旦推送广播流内容完毕，BM-SC 发送 Session Stop 消息，网络中网元接收到该消息之后，主动释放承载资源，终端再无法接收广播流。

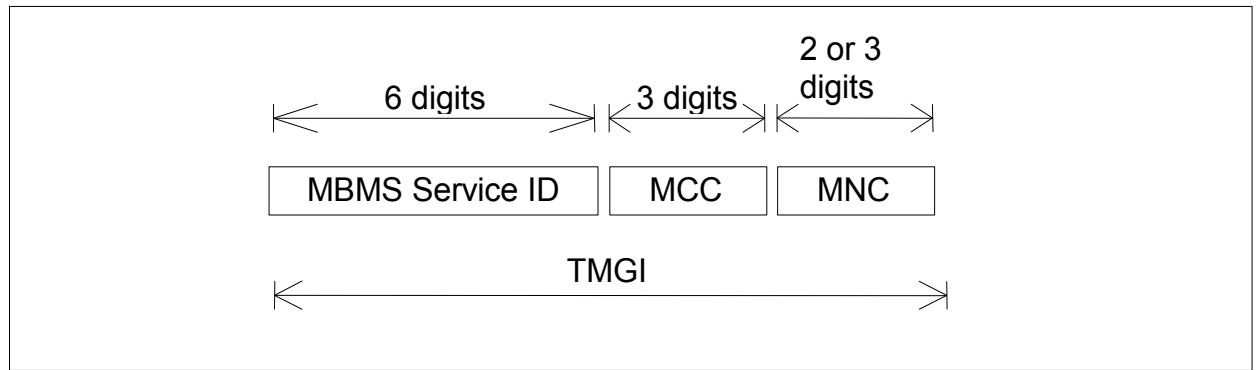


图表 17 进程结束 (摘自3GPP TS23.246)

5.2.3 TMGI [15]

广播业务使用 TMGI（临时移动组指示）来唯一标识网络承载的广播业务。

TMGI 的具体组成如图表 18 所示。



图表 18 TMGI结构

TMGI 由三个部分组成:

1) MBMS 服务 ID, 由三个字节组成。MBMS 服务 ID 由介于 000000 和 FFFFFFF 之间的 6 位固定长度的十六进制数字组成。MBMS 服务 ID 唯一标识 PLMN 中的 MBMS 承载服务。3GPP TS 24.116 [11] 中定义了 ROM 的 MBMS 服务 ID 的结构。

2) 由三位数字组成的移动国家代码 (MCC)。MCC 唯一标识 BM-SC 的住所国, MCC 值 901 除外, 该值不标识任何国家, 并且由 ITU 进行全球分配;

3) 由两位或三位数字组成的移动网络代码 (MNC) (取决于其国家编号计划管理员对 PLMN 的分配)。MNC 标识 BM-SC 所属的 PLMN, 但 MCC 值为 901 时 MNC 值为 56, MNC 值不标识任何 PLMN。有关 TMGI 使用的更多信息, 请参见 3GPP TS 23.246 [2]。MCC = 901 和 MNC = 56 的任何 TMGI 仅用于仅接收模式的服务 (请参阅 TS 23.246 [2] 和 3GPP TS 24.116 [11])。如果 UE 可以获取配置的 TMGI 值, 则允许广播公司将其他值用于带有 ROM 的 UE。3GPP 并未定义如何获取已配置的 TMGI, 它可以预先存储在设备中, 也可以由服务器配置。

#### 5.2.4 配置管理对象 (Management Object)

如果应用程序进一步支持 MBMS 客户端通信的业务宣告, 则 5G 广播广播电视接收器的接收器配置可以由应用程序配置, 从电视服务配置管理对象向 MBMS 客户端提供相关信息。

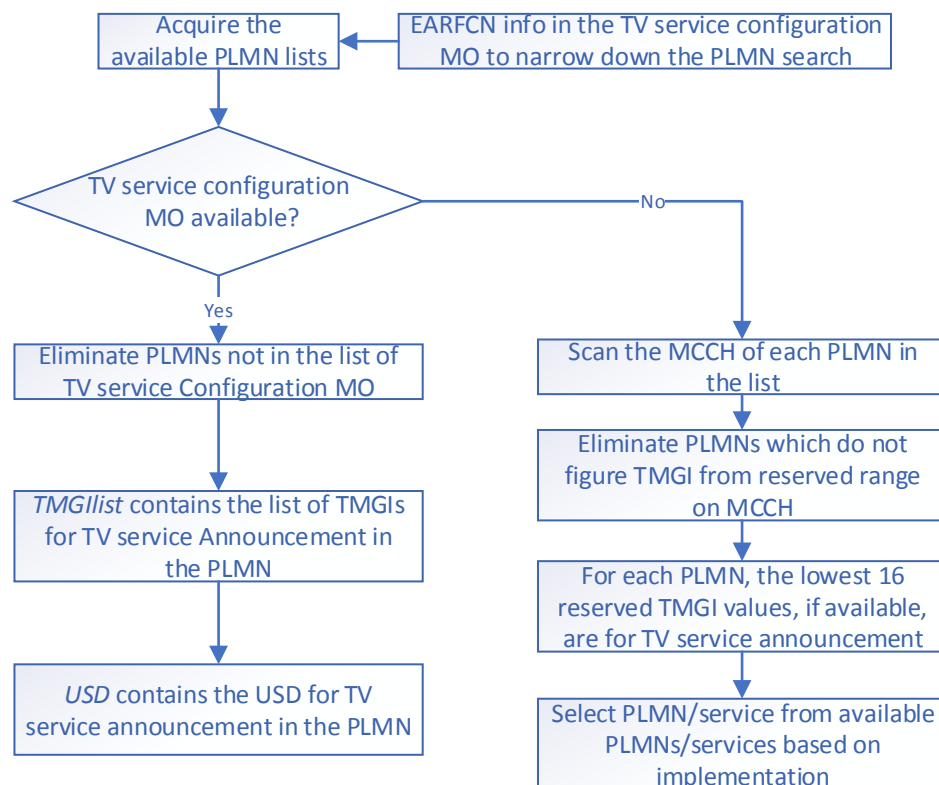
电视服务配置管理对象在 TS 24.117[12]中定义。对于用于 5G 广播的电视服务配置管理对象, 适用以下限制:

- MO 标识符为: urn:oma:mo:ext-3gpp-tv-config:1.0。

管理对象提供有关与服务关联的 **TMGI** 的信息，以及每个服务的频率载波。 **UE** 还可以通过扫描用于广播电视服务的 **TMGI** 的保留范围来发现由服务 **PLMN** 提供的广播电视服务。

### 5.2.5 5G 广播业务发现

对于本规范中定义的 **5G** 广播服务，可以通过第 5.5.2 节中定义的服务公告和第 5.1.4 节中的用户服务接口来获取广播承载服务的 **TMGI**。此外，可以通过 **MBMS-API**（请参阅第 5.1.2 节）或电视管理对象（请参阅第 5.2.5 节）通过服务公告文件接收有关 **5G** 广播服务的 **TMGI** 的信息。



图表 19 ROM终端接入广播网络流程

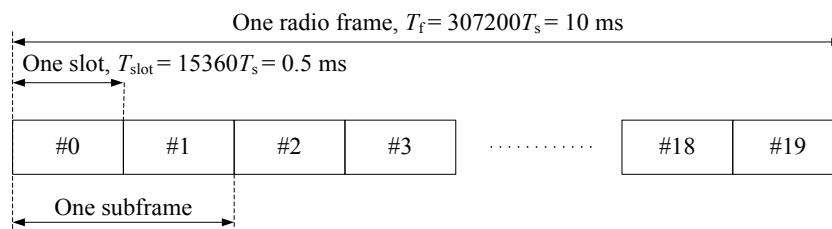
## 5.3 发送端设置

3GPP 在 TR36.976 [19]中提供了有关 **5G** 广播的非常简短但很好的功能摘要，在此我们仅总结广播的关键功能。

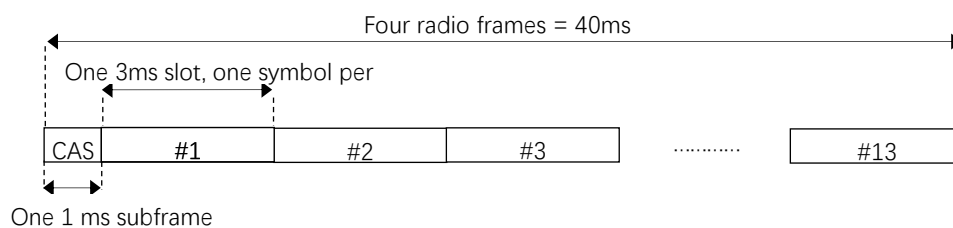
### 5.3.1 帧结构和参数集

为了使单个站点覆盖大面积区域，3GPP 在 R9 的 ECP 之上引入了 3 种不同的子载波，

分别为 370Hz, 1.25KHz 和 2.5KHz。对于使用 0.370 kHz 子载波的传输的帧结构如图表 21 所示。使用其他子载波传输的帧结构根据图表 20。



图表 20 帧结构类型1，用于370Hz SCS以外参数的子载波；1.25KHz SCS的每个时隙长度为1ms



图表 21 帧结构类型1，用于370Hz SCS的子载波；CAS是非MBSFN子帧，使用15KHz SCS参数

### 5.3.2 MBMS 传输

MBMS 传输是根据 3GPP TS 36.300 [8] 第 15.3.3 节执行的。

MCCH 配置和调度是根据 3GPP TS 36.300 [8] 中 15.3.5 和 3GPP TS 36.331 [9] 中 5.8.1。

如果是 MBMS 专用小区，则不支持 MBMS 计数配置。

MCCH 信息获取是参考 3GPP TS 36.300 [8]中 15.3.5 和 3GPP TS 36.331 [9] 中 5.8.2。在 MBMS 专用小区的情况下，仅支持 RRC\_IDLE。

### 5.3.3 MAC 层

MAC 层仅支持：

- BCCH 的 BCH 接收；
- BCCH 的 DL-SCH 接收；
- MCCH / MTCH 的 MCH 接收。

MAC 层中的 BCH 接收和 DL-SCH 接收使用透明 MAC [16]，即每个 TTI 中没有标题的单个 MAC PDU。HARQ 实体使用在[16]中定义的专用广播 HARQ 过程。

MAC 层中的 MCH 接收在 3GPP TS 36.321 [16] 中 5.12 和 3GPP TS 36.300 [8] 中 15.3.3 中定义。

#### 5.3.4 RLC 层

BCCH 使用 RLC-TM 模式。

MTCH 和 MCCH 使用 RLC-UM 模式。在 3GPP TS 36.300 [8] 15.3.3 节中描述了 MTCH 和 MCCH 的 RLC 操作。

#### 5.3.5 RRC layer

RRC 层仅支持：

- 在 MBMS 专用小区中的系统信息接收（参见 3GPP TS 36.331 [9] 第 5.2 节）；
- MBMS 专用小区和 FeMBMS /单播混合小区中的 MBMS 接收（请参阅 3GPP TS 36.331 [9] 中 5.8）。

对于系统信息接收，适用以下条件：

- 仅支持 BCCH-BCH-Message-MBMS 和 BCCH-DL-SCH-Message-MBMS 消息类；
- 根据 3GPP TS 36.331 [9] 第 5.2.3b 节执行系统信息消息的获取。
- 对于 MBMS 接收，适用以下条件：
- 不支持 MBMS 计数过程和 MBMS 兴趣指示过程。

### 5.4 接收端设置

#### 5.4.1 介绍

本报告中定义的用于广播电视和无线电服务的 5G 广播系统的接收器应支持 ROM 设备功能，并具有本节中定义的进一步讨论。本节并没有展开讨论单播的技术，这是由于融合的 5G 广播对于单播的技术并不做过多限定，4G、5G 和 WiFi 都可以提供融合的单播连接。

作为示例，ROM 设备支持 MBMS 传输，但是不支持上行链路传输。ROM 设备可能没有 USIM。因此，ROM 设备不支持与网络的双向信令过程，包括连接建立过程和安全过程。ROM 设备仅支持空闲模式。如第 5.2.3 节所述，并非所有的空闲模式过程都需要得到支持。

有关 ROM 设备的更多详细信息，请参见 6.2 节 TS 36.300 [8] 15.11，TS 23.246 [2] 附录 D 和 TS 24.116 [11] 第 4 章。

作为实现的问题，可以将包括支持 FeMBMS /单播混合小区 TS 36.300 [8]的 UE 的传统 UE 配置为用作 ROM 设备。这种配置的手段不在规格范围之内。

作为实现的问题，蜂窝设备可以托管 ROM 设备和能够单播的传统 UE。TS 23.246 [2] 附件 E 中进一步描述了这种设备，并称其为具有独立单播的 ROM 设备。共同托管的 UE 连接到与为共同托管的 ROM 设备提供服务的 MBMS 专用小区不同的小区。如果共同托管的 UE 和 ROM 设备共享基带资源，则共同托管的 UE 可以使用 TS 36.331 [9]中指定的 MBMSInterestIndication 信令过程来通知服务 RAN 有关共同托管的 ROM 占用的基带资源设备，因此不可用于单播。

在 ROM 设备的应用程序层可能具有独立的单播能力。

## 5.4.2 接入层

### 5.4.2.1 总体

由于 ROM 设备不支持上行链路传输或双向信令过程，并且不包括 USIM，因此它也不需要支持常规 UE 的所有物理层过程。同样地，仅需要支持适用于常规 UE 的空闲模式过程和 RRM 要求的子集。以下小节概述了适用于 ROM 设备的物理层和空闲模式过程以及 RRM 要求。

用于线性电视和广播服务的 5G 广播系统的接收器应仅符合 ROM 设备。

### 5.4.2.2 物理层过程

ROM 设备应支持 TS 36.213 [26] 中指定的以下物理层过程：

- 小区搜索；
- 定时同步；
- PDSCH 程序；
- PDCCH 分配过程；

- PMCH 程序。

#### 5.4.2.3 空闲态过程

ROM 设备应支持 TS 36.304 [13]中指定的以下空闲模式过程：

- 小区选择；
- 小区重选。

终端必须支持 TS 36.304 [13] 5.2.4.1 节规定的小区重选的 PLMN 优先级，但 NAS 层 PLMN 选择不适用于 ROM 设备。应支持 TS 24.116 [11]中指定的 ROM 设备的 PLMN 选择。注意：ROM 设备不支持 DRX。

#### 5.4.2.4 RRM 需求

ROM 设备仅应支持 TS 36.133 [13]中指定的以下要求：

- 小区选择；
- 小区重选，除了以下的情况
  - IRAT 重选；
  - 与寻呼有关的要求；
  - CSG 小区相关要求。

#### 5.4.3 MBMS 客户端

如本节所讨论的，用于 5G 广播接收机的 MBMS 客户端应支持 TS 23.246 [2] 附件 E 中定义的仅接收模式下的 UE 行为。

本规范中定义的用于线性电视和无线电服务的 5G 广播系统的接收机应支持：

- MBMS 用户服务接口，具有第 5.1.4 节中的限制。
- 具有第 5.1.4 节中的限制的 MBMS-API。
- 根据第 5.2.6 条发现 5G 广播服务

## 6. 5G 广播与其他广播方案比较

ITU 推荐的第一代地面数字电视标准主要有 DVB-T/H, DVB-SH, ISDB-T/TB, ATSC, DTMB 和 T-DMB, 第二代地面数字电视标准主要有 ATSC 3.0, DVB-T2 和 DTMB-A, 中国的 CMMB 没有进入 ITU 标准, 是中国的行业标准。DVB-H, CMMB, T-DMB, ISDB-T 1seg 和 DVB-T2 lite 都能够支持移动多媒体广播业务。世界各地根据自己的需要制定和采用不同的地面数字电视标准, 并没有智能手机全球漫游的需求, 因此各国家地面数字电视的标准相互独立。

5G 地面广播技术基于 3GPP 的标准, 支持固定接收模式和移动便携接收模式, 5G 智能手机和其它接收机采用同一个标准成为可能。理论上来说, 搭载 5G 地面广播解调技术的终端能够支持全球的应用, 这是一件很伟大的事情 (5G 广播的数字信号解调部分统一, 可能需要不同的 APP 和中间件配合)。ITU-R BT.2049 [1]从 2016 年已经开始关注 3GPP 的 MBMS 方案。包括 5G 地面广播技术在内的 3GPP 5G 技术方案提交已经正式被 ITU-R 认可成为 5G 标准, 5G 广播也正式成为 5G 标准的一个组成部分。预计近期传统广播行业会出现一轮对 5G 广播关注的热潮。

本章介绍了传统数字地面广播技术的发展历史。比较了 5G 地面广播技术、DTMB (中国的地面数字电视标准), CMMB(中国移动多媒体广播标准)以及第二代地面数字电视标准 DVB-T2 和 ATSC 3.0 的性能。技术性能比较主要包括系统结构、带宽、理想比特率、频谱效率、信噪比、ISD(站间距离)等。

通过比较几种不同的地面广播技术标准, 分析 5G 地面广播技术的优缺点, 特别是未来“视频云与分发网络技术的融合”, 探讨下一代地面广播技术的发展方向。

### 6.1 传统地面数字广播技术和 5G 地面广播技术的特点

传统的线性广播是单向传输, 用户只能被动的接收媒体内容, 不能进行交互和分享, 在某些地点由于建筑遮挡等原因可能会存在“盲区”。实现“随时随地”的媒体内容, 一直是运营商的“梦想”。因此, 传统广播运营商和移动通信网络运营商都在不断探索和努力实现新兴技术和创新业务模式。



近年来，移动通信网络提供的线性和非线性服务迅速增长。网络中数据流量的最大贡献来自移动视频。由于移动通信网络的内容是以单播方式分发的，随着视频业务的不断发展和用户需求的多样化和个性化，CDN 的流量压力越来越大。

然而，基于移动多媒体广播技术的传统广播网络运营商的移动电视业务，如 DVB-H、CMMB、T-DMB、DVB-T2 lite 等商业成功案例并不多见。

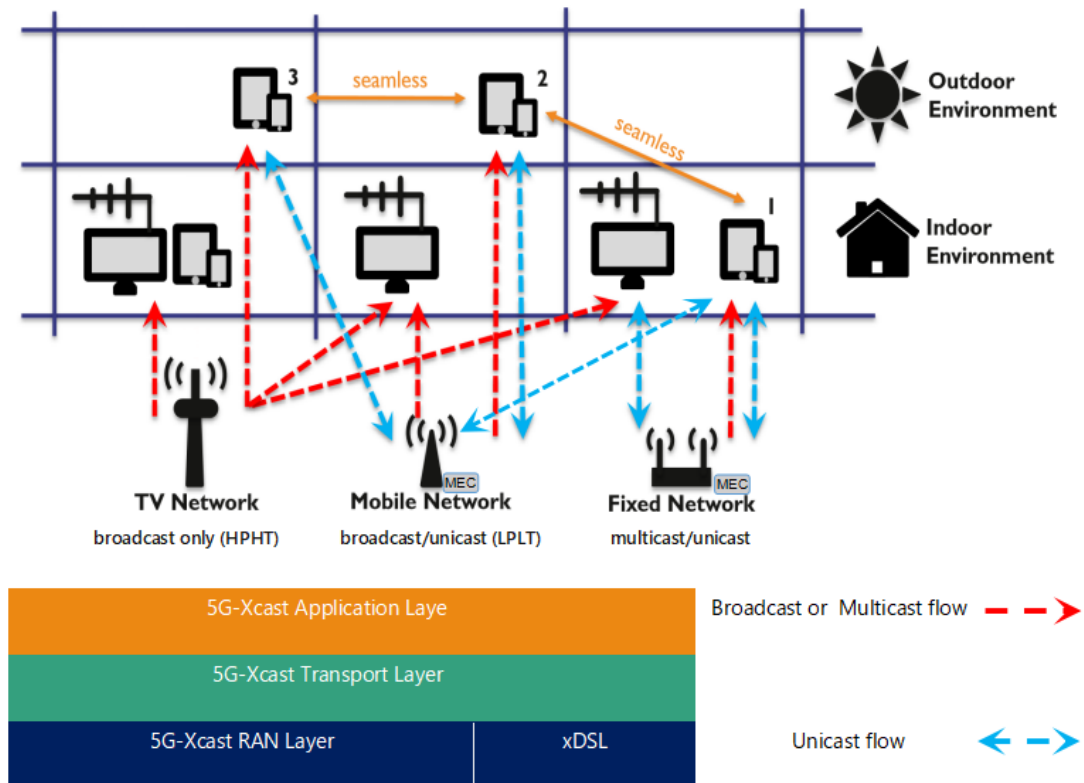
因此，传统广播运营商和移动通信网络运营商都在积极探索。有趣的是，互联网视频运营商对 5G PTM 地面广播技术的广域覆盖越来越感兴趣，并希望进一步开放。传统的广播运营商也希望将节目内容分发给数亿个移动终端。

与点对点(PTP)传输相比，点对多点(PTM)传输可能是一种更有效的传输机制，只要服务或应用程序需要同时向多个用户或设备传输相同的内容。这就是为什么在许多垂直行业中，PTM 被视为 5G 应用的重要功能。

HPHT(大功率、高塔)基于 5G 地面广播技术。PTM 将促进视听媒体内容和服务的传播，特别是在报道热门事件或开展著名商业活动时，同时吸引大量观众观看，如“直播带货”。PTM 的网络覆盖范围可以限制在特定的位置，也可以扩展到很广的区域，甚至全国范围。

5G 地面广播终端的应用场景主要分为两类：固定天线接收(包括 xDSL/FTTH 接入)和移动接收(便携式个人终端和车载天线移动接收)。详情如下：

有了 xDSL/FTTH 接入，用户不仅可以使手机/平板电脑或电视通过固定天线(室内天线/室外天线)接收 5G HPHT/LPLT(取决于 5G HPHT 或 LPLT 的信号场强和信号质量)的无线信号，还可以通过 xDSL/FTTH 网络观看视频。

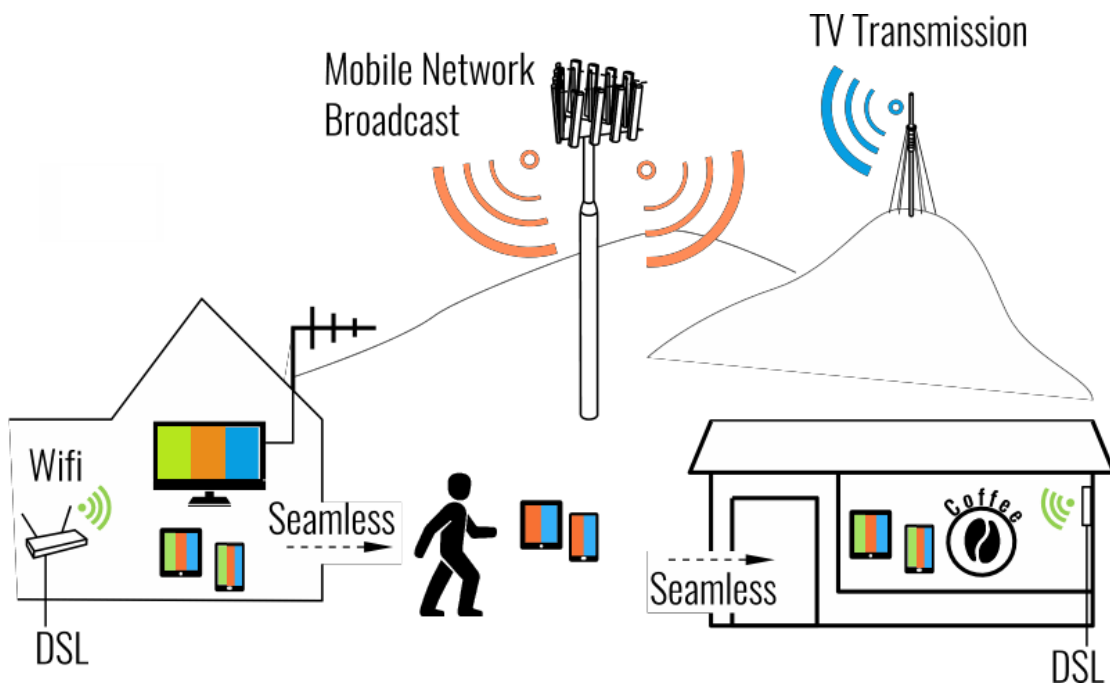


图表 22 5G融合广播的应用场景[28]

用户可以通过固定网络连接在家(1)的移动设备上观看实况视频。然后，用户离开家庭连接超出范围的室外位置(2)，但希望使用他们的移动连接不间断地继续观看视频。随后，用户移动到电视网络覆盖的另一个区域(3)。1-3，用户可以同时接收点播业务和广播业务，用户可以移入或移出不同网络的覆盖区域。在整个过程中，视频应该不间断地继续流畅播放。内容和服务可以通过几种网络和网络类型的组合同时交付。当不同运营商运营的不同接入网之间存在切换时，应保持用户体验的连续性。当用户在不同的地方移动时，网络和技术的结合提供了无缝的体验。图表 22 和图表 23 描述了这个应用场景[2]。

用户在使用“5G 融合广播”技术观看视频的过程中，可以对视频进行“时移”和“分享”等操作，弥补传统线性广播的不足。

随着 MEC 技术的不断发展与应用，将大规模的视频资源尽可能高效的分发到相应的节点，提升了用户的体验，满足了不同的个性化需求，并带来了视频 CDN 的新业务场景，包括赛事直播、场馆直播、景区 AR 和视频 CDN 下沉等典型的应用。



图表 23 5G融合广播的应用场景[28]

接下来的章节比较了几种不同的地面广播技术标准，分析了 5G 地面广播技术的优缺点，探讨了 5G 地面广播技术的发展方向。

## 6.2 5G 地面广播技术的发展及与其他地面数字电视标准的比较

随着 5G 技术的不断发展，相信 5G 广播可能会为广播行业提供第二次机会，“向手机传输地面广播信号。” 3GPP Rel-16 中的一项新研究项目根据广播的原始要求对 Rel-14 进行了评估[18]。在 EBU 的“牵头”下，英国广播公司(BBC)和 IRT，以及高通(Qualcomm)和华为(Huawei)等公司已经评估证明，Rel-14 将受益于三个关键领域的增强：更短的  $100\ \mu\text{s}$  CP (移动性可达  $250\text{Km/H}$ )、更长的  $300\ \mu\text{s}$  CP (与 ISD 的网络可达  $60\text{Km}$ )和更强大的小区获取子帧(CAS)。这些增强功能在 Rel-16 中被指定为基于 LTE 的 5G 地面广播，简称 5G 地面广播[19]。

与 TR 36.776[20]中的原始广播要求相比，Rel-14 发现了几个缺点。特别是，Rel-14 需要改进，以支持小区半径高达  $100\text{Km}$  的 SFN 覆盖范围和高达  $250\text{Km/H}$  的移动接收速度。CAS 中的某些信道也被发现鲁棒性较差。为了解决大距离的 SFN 覆盖问题和高速移动接收的鲁棒性问题，在 Rel-16 [21]中引入了两个额外的 OFDM 参数集。第一种数字 OFDM 参数

集具有 0.37KHz 的载波间隔和 300 $\mu$ s 的 CP 持续时间(开销降低到 10%)。更长的 300  $\mu$ s CP 为 SFN 传统广播网络提供了更好的支持, 发射机间距更大。第二种 OFDM 参数集具有 2.5KHz 的载波间隔和 100  $\mu$ s 的 CP 持续时间。2.5KHz OFDM 参数集的较宽载波间隔提高了抗多普勒的鲁棒性, 有利于高速移动接收。5G 广播中定义的数字和物理资源块参数如下表格 1。

表格 1 基于LTE的5G广播的OFDM参数集选项

	$\Delta f$ (kHz)	Subcarriers / RB	OFDM symbols per subframe	TCP ( $\mu$ s)	TU ( $\mu$ s)	ISD (km)	Overhead (%)
MBSFN Rel-9 至 13	15	12	12	16.7	66.7	5	20
MBSFN Rel-14	7.5	24	6	33.3	133.3	10	20
	1.25	144	1	200	800	60	20
MBSFN Rel-16	2.5	72	2	100	400	30	20
	0.37	486	1/3	300	2700	90	10

备注: Subcarriers / RB=每个子帧的正交频分复用符号,  $T_{CP}$ =CP 持续时间  $T_U$ =有用 OFDM 符号持续时间, ISD=站点间距。

新的 5G 广播的帧结构如图表 20 和图表 21 所示。MBSFN 子帧中的 MBSFN 区域被定义为不用于非 MBSFN 区域的 OFDM 符号。子帧采用  $\Delta f = 7.5$  kHz,  $\Delta f = 2.5$  kHz 和  $\Delta f = 1.25$  kHz 的载波间隔。MBSFN 区域被定义为一个 1ms 的时隙。对于采用  $\Delta f \approx 0.37$  kHz 的子帧, MBSFN 区域被定义为一个 3ms 的时隙。

在 Rel-16 的研究阶段, 由于控制子帧 CAS 和 MBSFN 之间的参数不匹配, 发现覆盖范围不足, 因为 CAS 在 15 kHz OFDM 参数集下只能配置 16.7 $\mu$ s 的循环前缀 (CP)。研究认为用 MBSFN 子帧协调 CAS 的参数设置太复杂了, 因此决定用如下方式增强 CAS:

- 考虑到 PCFICH 可能会出现的接收失败, 可以在 MBMS 专用的 MIB 中配置 CFI;
- 将 PDCCH 的聚合级别增加到 16, 这增加了其解码概率;
- 并在 CAS 内重复 PBCH 以使其更强大;

经过研究, 这些增强可以在不同的发射机可能相互干扰的情况下提高 CAS 的鲁棒性。

### 6.2.1 频率带宽和带宽效率的比较

带宽定义为最大聚合系统带宽。它可以由射频中的一个或多个载波组成。以 Hz 为单位的最大聚合系统带宽(包括频率保护带)。

3GPP 标准化了 6 个频谱带宽值:1.4、3、5、10、15 和 20MHz，下行链路采用正交频分多址复用方案。其中 1.4MHz 和 3MHz 主要用于早期与运营商的 3G 退网频率兼容，5G 广播并不推荐这两种带宽。

载波聚合用于通过绑定多个载波来增加带宽(和峰值数据速率)。基于 LTE，每个聚合载波被称为分量载波，并且最多可以聚合 5 个分量载波，导致 100 MHz 的最大载波聚合带宽(即，90 MHz 最大传输带宽)。

表格 2 列出了 5G EnTV 和第二代地面数字电视标准之间的频谱带宽比较。

从下表可以看出，5G EnTV 的频谱带宽与第二代数字地面电视系统不兼容。未来需要注意频率分配和网络规划。如何合理利用紧张的频谱资源，提高传输效率是一个需要考虑的问题。

表格 2 5G广播和DTT的频谱带宽比较

标准	1.7 MHz (OFDM)	5 MHz (OFDM)	6 MHz (OFDM)	7 MHz (OFDM)	8 MHz (OFDM)	10 MHz (OFDM)	15 MHz (OFDM)	20 MHz (OFDM)
DVB-T2	●	●	●	●	●	●		
ATSC 3.0			●	●	●			
DTMB-A			●	●	●			
5G EnTV		●				●	●	●

在 5G EnTV 中，有效带宽限制在标称信道带宽的 90%。一系列空载波用于降低 OOB(带外辐射)。带宽效率如下表格 3 所示。因此，每个载波的最大可能传输带宽为 18 MHz。

表格 3 5G广播的带宽效率

频道带宽 (MHz)	5 MHz (OFDM)	10 MHz (OFDM)	15 MHz (OFDM)	20 MHz (OFDM)
传输带宽 (MHz)	4.5	9	13.5	18
带宽效率 (%)	90	90	90	90

在实际部署和实施中, 需要根据频率分配、网络规划和发射机系统性能进行综合考虑。

在 HPHT 传输系统中, 通常使用 5MHz 或 10MHz 的大功率地面数字电视发射机。

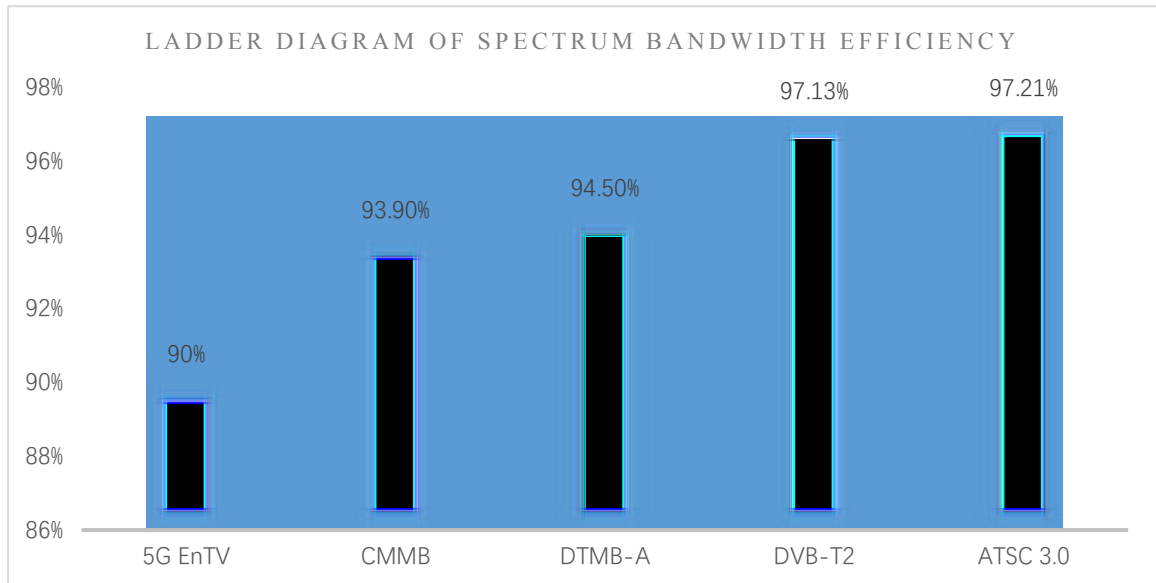
第二代地面数字电视系统的带宽效率如表格 4 所示, 如 DVB-T2 数字电视广播系统、DTMB 数字电视广播系统和美国电视广播系统 ATSC 3.0。虽然 CMMB (中国移动多媒体广播标准) 不属于第二代地面数字电视标准, 但出于比较的原因, 下表仍进行数据对比。本章主要比较常用的频谱带宽效率, 不考虑不常用的。

表格 4 第二代地面数字电视系统(包括CMMB)的带宽效率

标准	CMMB (8MHz)	DTMB-A (8MHz)	DVB-T2 (8MHz)	ATSC 3.0 (6MHz)
传输带宽 (正常模式)	7.512	7.56	7.61	5.832844-5.508844
传输带宽 (扩展模式)	NA	NA	7.77	
带宽效率 (%)	93.9	94.5	95.125	91.81-97.21
			97.125	
注意:  1.如推荐性文件 A/327 ATSC 物理层协议指南第 4.2.2 节所述, 载波缩减系数范围为 0 至 4, 相应的占用带宽范围为 5.832844MHz 至 5.508844MHz, bsr_coefficient = 2, 这是 6MHz 系统带宽的典型值。				

根据 ITU-R BT.1877-2 [22]的建议, 下面的梯形图比较了 5G EnTV、CMMB[23]、DVB-T2 [9]、DTMB-A 和 ATSC3.0 [25]的带宽效率, 如图表 24 所示。

图表 24 带宽效率的比较



### 6.2.2 峰值数据速率 (bits/s) 与峰值频谱效率 (bits/s/Hz) 的比较

**峰值数据速率 (bit/s):** 峰值数据速率定义为系统支持的有效载荷的最大传输容量。

峰值频谱效率可计算为峰值数据速率除以系统 BW 的最大带宽(以 Hz 为单位)(包括频带)。

$$SE_p = \frac{Rate_p}{BW}$$

LTE eMBMS 的早期版本定义了广播资源分配高达 60% 的 MBSFN 帧(每个帧中 10 个子帧中最多有 6 个子帧可以分配给广播, 因为两个子帧被永久指定用于寻呼, 另外两个子帧用于同步)。FeMBMS 的最新修改, 同步, 采集和系统信息所需的信令被进一步压缩并打包到新的设计中。通过最小化同步, 获取和系统信息所需的信令并将其移入新定义的 CAS 中, 新设计实现了高达 80% 广播资源分配的配置以及几乎 100% 广播分配 (97.5%) 的专用载波的配置 每 40 个子帧发送一次的捕获子帧 (CAS) (即 2.5% 的信令开销)。每个 CAS 出现在连续的 39 MBSFN 子帧之后/之前。

对于 5G EnTV, 峰值数据速率是每个 TTI(时间传输间隔)传输的最大传输块大小(TBS), 不包括 CAS 持续时间。峰值数据速率 KPI 计算如下:

$$Rate_{PF\text{eMBMS}} = \frac{39}{40} \times \frac{N_{TBS}}{T}$$

$N_{TBS}$  可以从[26]中的表 7.1.7.2.1-1 和表 7.1.7.1-1A 获得,  $T$  是以秒为单位的子帧持续时间。

$\frac{39}{40}$  意味着 5G 广播数据子帧的数目为 39 (一个数据帧包含 40 个子帧)。(注意, 传输块大小随天线数量而变化, 因此 MIMO 配置也包括在该计算中。此处仅描述  $\Delta f=1.25\text{KHz}$  的情况。)

FeMBMS 的空中接口参数, 包括 MBSFN 和 SC-PTM。选择不同的 MCS 指标来提供不同频谱效率下的系统性能。对于 MBSFN 和 SC-PTM 配置, 每个 MCS 索引采用不同的调制和传输块大小, 这与码率直接相关。根据 3GPP 规范, MCS0-MCS9 对应 QPSK, MCS10-MCS16 对应 16QAM, MCS17-MCS27 对应 64QAM, MCS28-MCS34 对应 256QAM。

当使用 MCS34 时, 用于 5MHz FeMBMS 的  $N_{TBS}$  最大为 21384 比特, 而峰值数据速率达到 20.85 Mbits / s。 计算过程如下:

$$\text{MCS34: } I_{TBS} = 25 N_{PRB} = 21384$$

$$Rate_{PFMBMS} = \frac{39}{40} \times \frac{N_{TBS}}{T} = \frac{39}{40} \times \frac{21384}{0.001} = 20.8494 \approx 20.85 \text{ Mbps}$$

$$SE_{p-FeMBMS} = \frac{Rate_p}{BW} = \frac{20.85}{5} = 4.17 \text{ bps/Hz}$$

当使用 MCS9 时, 用于 5MHz FeMBMS 的  $N_{TBS}$  最大为 4008 比特, 而峰值数据速率达到 3.91 Mbits / s。 计算过程如下:

$$\text{MCS9 } I_{TBS} = 9 N_{PRB} = 4008$$

$$Rate_{PFMBMS} = \frac{39}{40} \times \frac{N_{TBS}}{T} = \frac{39}{40} \times \frac{4008}{0.001} = 3.9078 \approx 3.91 \text{ Mbps}$$

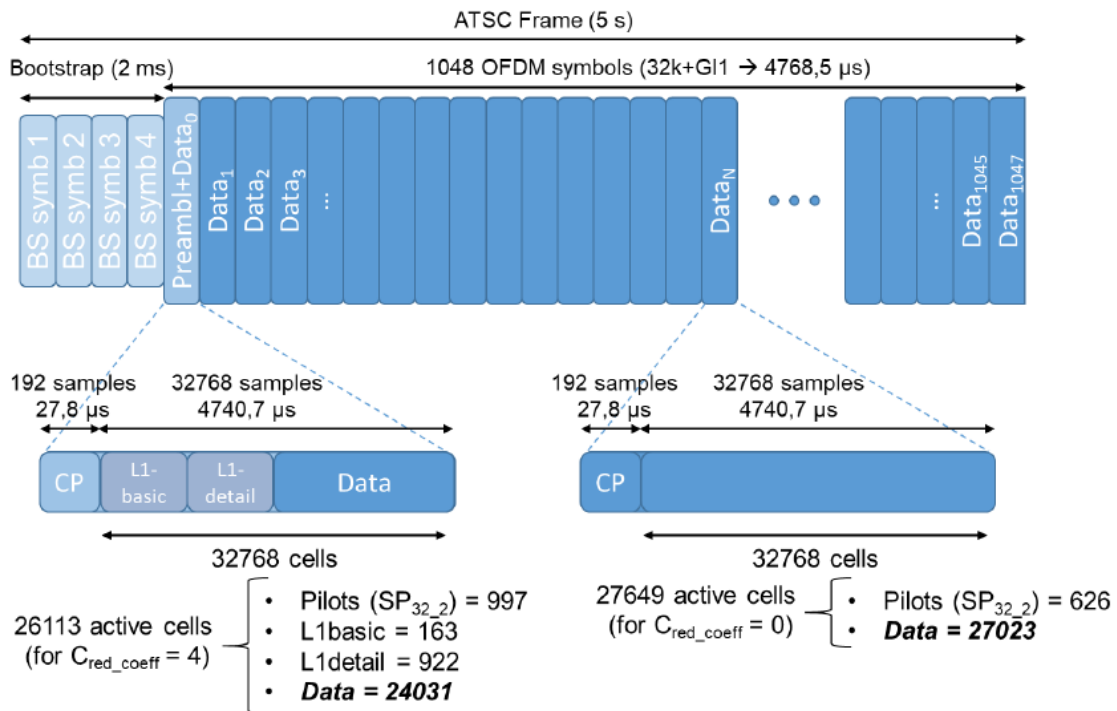
$$SE_{p-FeMBMS} = \frac{Rate_p}{BW} = \frac{3.91}{5} = 0.78 \text{ bps/Hz}$$

对于 ATSC 3.0, 单输入单输出(SISO)的峰值数据速率是针对最佳组合进行计算的, 如下表所示。(载波缩减系数范围为 0 至 4, 对应的占用带宽范围为 5.832844 MHz 至 5.508844 MHz, bsr\_coefficient = 2, 这是 6 MHz 系统带宽的典型值。这里, 使用 ATSC 3.0 标准中规定的系数 0 的最大可能载波数量)。



表格 5 ATSC 3.0峰值数据速率参数

参数	数值	参数	数值
帧持续时间	5 s	带宽	6 MHz
FFT 尺寸	32k	CP 长度	192 samples
引导符号	4	引导符号持续时间	500 ms
L1-basic	163 cells	L1-detail	922 cells
Cred_coeff L1	4	调制阶数	4096NUC
导频模式	SP32_2	LDPC 码率	13/15
FEC 块长度	64800 bits	BCH 奇偶校验位	192



图表 25 ATSC 3.0系统可以使用的最大数据单元

上面的图表 25 说明了为获得 ATSC 3.0 系统可以传输的帧 $DataCell_{Frame}$ 中的最大数据单元数而执行的过程。因此,从这个配置来看, $DataCell_{Frame}$ 的计算过程如下:

$$DataCell_{Frame} = 24031 + 1047 \times 27023 = 28317112 \text{ cells}$$

第一个数据符号包含 997 个导频 (导频图案 SP32\_2), L1-basic 的 163 个子载波和 L1-detail 的 922 个。因此,存在 24031 个数据子载波。剩余的 1047 个数据符号包含 626 个

导频和 27023 个数据子载波。一旦得出了数据单元的数量，就可以在考虑星座顺序，FEC 块大小，FEC 编码率和帧持续时间的情况下获得峰值数据速率。

由于本部分的目的是峰值数据速率计算，因此不考虑子帧边界符号。具有 ATSC 3.0 的星座符号 (Mmax) 的最大数量为 4096，而最大的 FEC 块长度为 64800 位。一旦得出了数据单元的数量，就可以在考虑星座顺序，FEC 块大小，FEC 编码率和帧持续时间的情况下获得峰值数据速率：

$$FEC_{Blocks} = \left\lceil \frac{28317112 \times \log_2^{4096}}{64800} \right\rceil = 5243$$

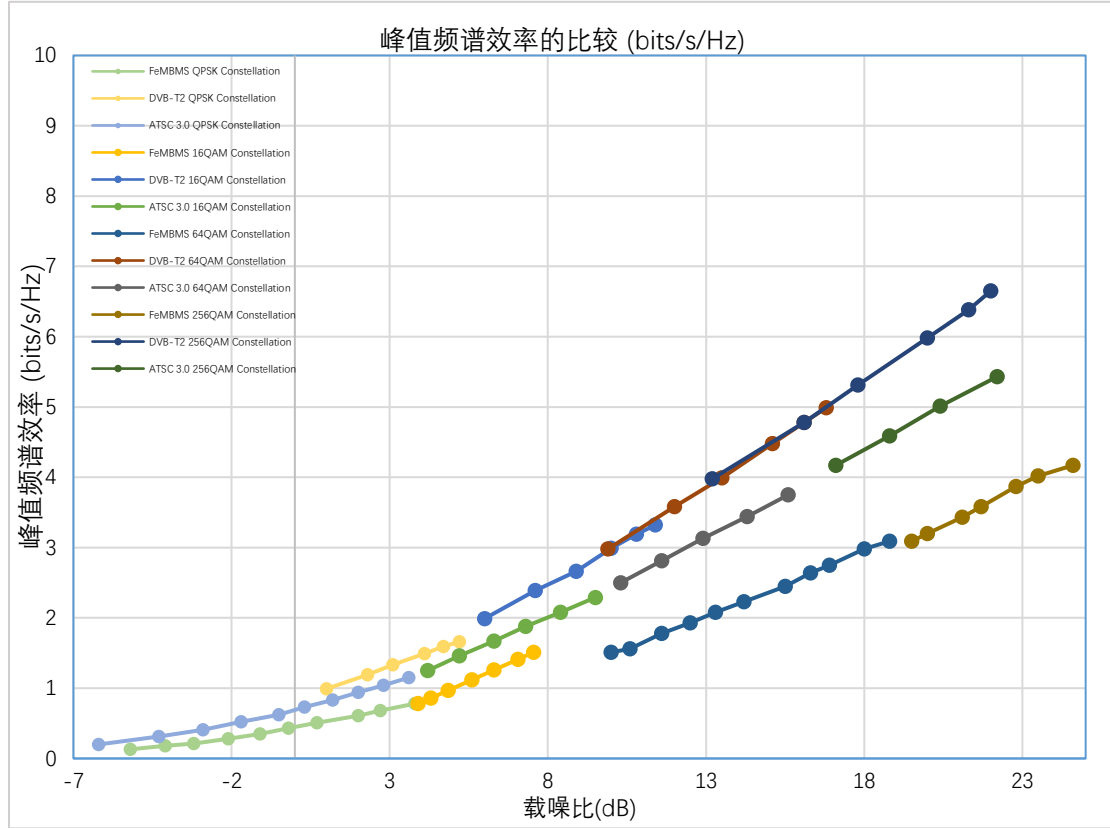
$$Rate_p = \frac{5243 \times (64800 \times \frac{13}{15} - 192)}{5} = 58.69 Mbps$$

ATSC 3.0 的峰值频谱效率的计算考虑了在下面部分获得的峰值数据速率 ( $Rate_p=58.69$  Mbps)。该值是针对 6MHz 信道带宽的 SISO 传输获得的。因此，ATSC 3.0 峰值频谱效率为：

$$SE_{p-ATSC3.0} = \frac{Rate_p}{BW} = \frac{58.69}{6} = 9.78 bps/Hz$$

以下折线图比较了 AWGN 通道中 FeMBMS, DVB-T2 和 ATSC3.0 的峰值频谱效率 (bit / s / Hz)，如图表 26 所示。

更详细的对比，详见附件 1，表格 11 和表格 12 列出了各种调制波形的峰值数据速率和峰值频谱效率的对比。



图表 26 AWGN信道中峰值频谱效率的比较 (bits / s / Hz)

### 6.2.3 BICM 峰值频谱效率比较

峰值频谱比特交织编码调制(BICM)效率取决于最大调制阶数和有效码率。峰值频谱效率定义为所使用的每个信道的比特数(bpc)，它是系统支持的最大频谱效率，只考虑用于数据的信元，即不考虑同步或循环前缀和控制信道引起的开销。

$$SE_{BICM} = m \times CR$$

对于 FeMBMS,

$$CR = \frac{N_{TBS}}{N_b}$$

每个 MCS 索引提供不同的有效码率，因为它们与特定的 TBS 直接相关。数据的可用位计算如下：

$$N_b = m \times N_{RB} (N_{symp} N_{SC}^{RB} - N_{ref})$$

其中 $m$ 是每个子载波的比特数， $N_{RB}$ 是使用的 RBs 资源块的数目， $N_{symp}$ 是专用于 PTM 服务的每个 RB 资源块的 OFDM 符号数， $N_{SC}^{RB}$ 是每个 RB 的子载波数， $N_{ref}$ 是每个 RB 的参考

信令数。对于 5MHz 带宽、1.25kHz SCS 命理学参数的 FeMBMS，当 MCS 指数为 34 时，当采用 256QAM 时，当  $m=8$ ,  $N_{RB}=25$ ,  $N_{symb}=1$ ,  $N_{SC}^{RB}=144$ ,  $N_{ref}=24$ ,  $I_{TBS}=32$  和  $N_{TBS}=21384$  时的峰值 BICM 频谱效率。物理资源块参数详见表格 6。

$$N_{MBSFN(1.25KHz)}^{max}$$

$$CR_{PF_{FeMBMS}} = \frac{N_{TBS}}{N_b} = \frac{21384}{24000} = 0.891$$

$$SE_{BICMP_{FeMBMS}} = 8 \times 0.891 = 7.128 bpc$$

表格 6 物理资源块参数

配置		$N_{sc}^{RB}$	$N_{symb}^{DL}$
正常循环前缀	$\Delta f = 15 \text{ kHz}$	12	7
扩展循环前缀	$\Delta f = 15 \text{ kHz}$		6
	$\Delta f = 7.5 \text{ kHz}$	24	3
	$\Delta f = 2.5 \text{ kHz}$	72	1
	$\Delta f = 1.25 \text{ kHz}$	144	1
	$\Delta f \approx 0.37 \text{ kHz}$	486	1

ATSC 3.0 通常提供单一的 6MHz 带宽分配，当使用两个射频载波通过信道绑定实现更高的数据速率时，带宽可扩展至 12MHz。这里，我们只分析 6MHz 带宽的峰值 BICM 频谱效率。ATSC 3.0 规定了从 2/15 到 13/15 的码率范围，最大星座图大小为 4096。ATSC 3.0 使用 BCH 码作为其外码，该外码将包含在有效码率的计算中(尽管系统可以在没有 BCH 编码的情况下配置)。在这种情况下，最大有效码率为 0.863。ATSC 3.0、SC-PTM 和 MBSFN 的峰值 BICM 频谱效率的比较见表格 7。

表格 7 ATSC 3.0, SC-PTM和MBSFN的BICM峰值频谱效率

	$M_{max}$	$CR_{max}$	$SE_p$
ATSC 3.0	12	0.863	10.356
MBSFN	8	0.891	7.128

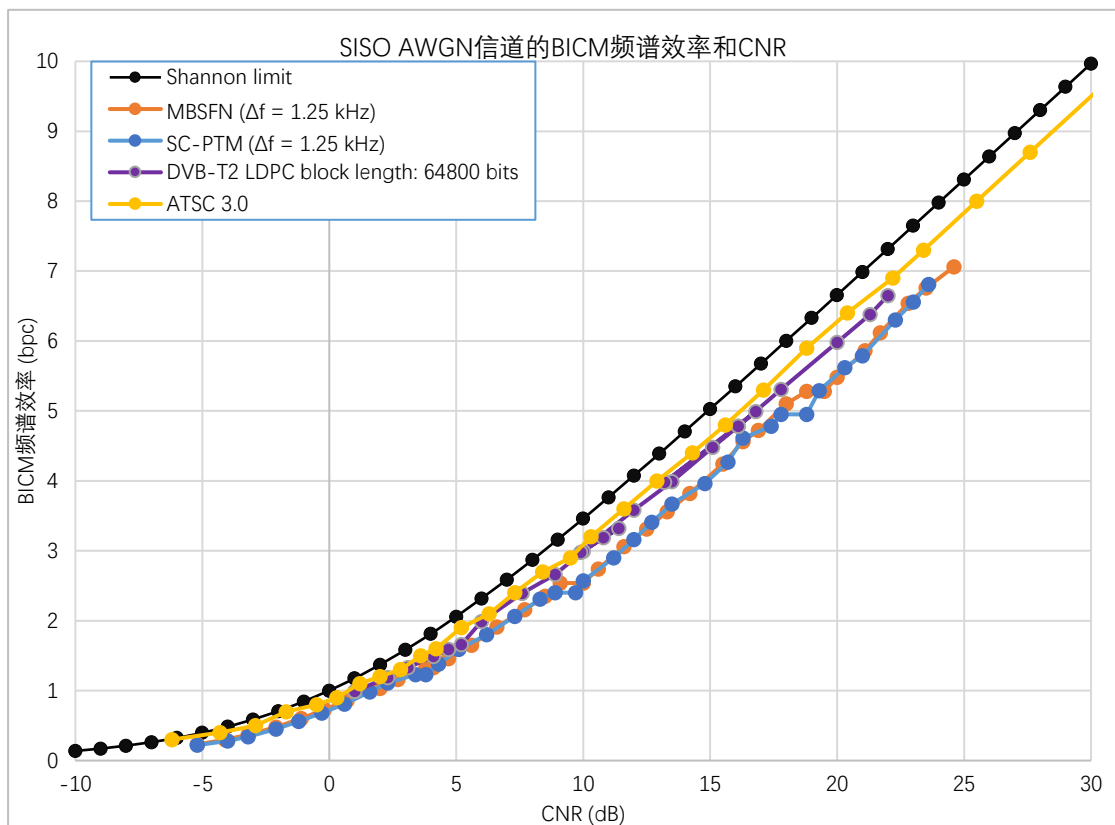
### 6.2.4 不同场景下 BICM 频谱效率与 CNR 的比较

本节评估决定于网络条件的关键绩效指标。所需的 QoS 的误块率 (BLER) 低于 0.1%。为了评估采用的配置的影响,已经评估了不同的方案。这些方案主要包括 AWGN (加性高斯白噪声), 莱斯, 瑞利信道等。LTE 配置都使用 5 MHz 的带宽, MBSFN 始终使用  $\Delta f = 1.25$  kHz 的子载波间隔。采取此假设是为了研究不同波形的潜在优势。

#### 1) 加性高斯白噪声 (AWGN) 信道:

图表 27 显示了针对 SC-PTM, MBSFN, DVB-T2 和 ATSC 3.0 的 BICM 频谱效率 (单位通道使用的比特数 (bpc)) 与 AWGN 信道中所需 CNR 的关系。这项研究的目的是比较不同技术的调制和编码方案的性能。因此,在比较中仅考虑单输入单输出 (SISO) 天线配置。

对于下图所示的 AWGN 频道,与 SC-PTM 和 MBSFN 相比, ATSC 3.0 和 DVB-T2 都能够提供比较高的频谱效率, 尤其是对于高 CNR。

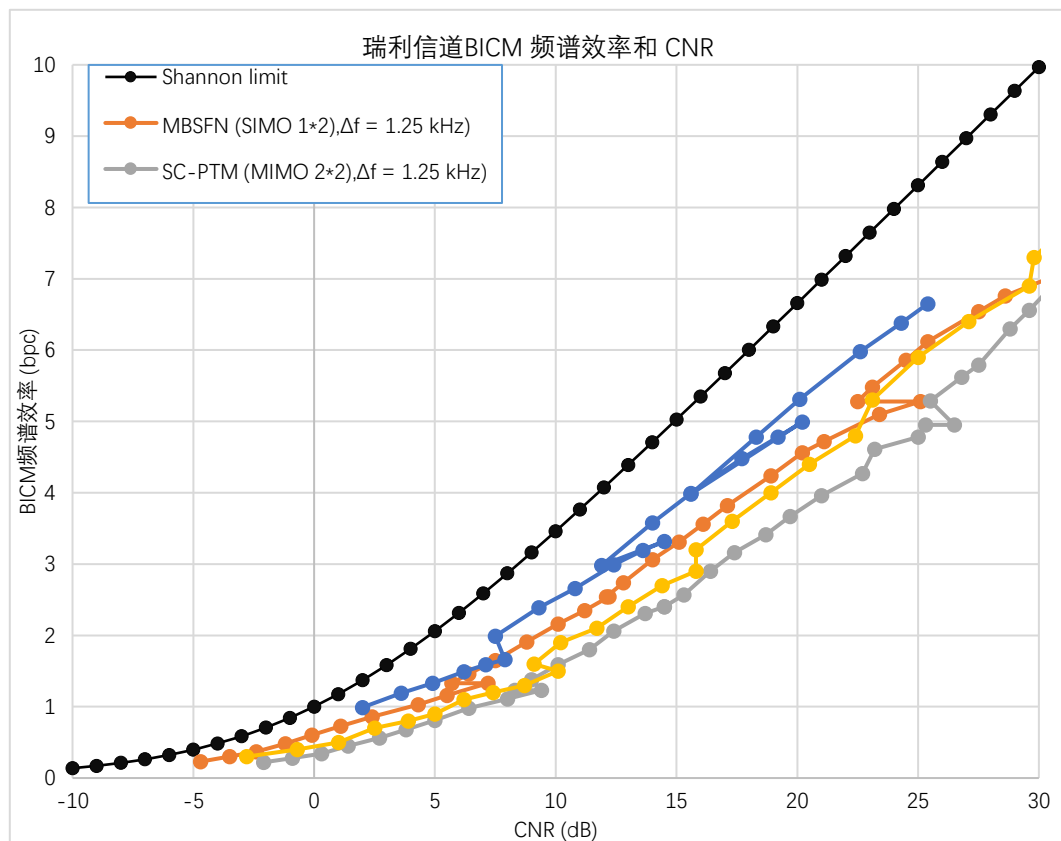


图表 27 SISO AWGN通道的BICM频谱效率与CNR (dB) 的关系-DVB-T2, ATSC 3.0, MBSFN和SC-PTM ( $\Delta f = 1.25$  kHz)

## 2) MIMO i.i.d. 瑞利信道:

图表 28 显示了具有两个发射和接收天线的独立和相同分布 (i.i.d.) 瑞利 MIMO 信道的 BICM 频谱效率与所需 CNR 的比较。ATSC 3.0 和 SCPTM 使用两个发射机和接收机天线，MBSFN 采用  $1 \times 2$  单输入多输出 (SIMO) 方案 (需要注意的是，在该信道中，由于没有可以用两个接收天线利用的交叉极化分量，因此在该信道中，SISO 和 SIMO 提供了相同的性能)，这是一个主要缺点。使用理想的交叉极性通道，两个传输流之间没有去极化。需要注意的是，DVB-T2 使用单发射机和天线的 SISO 方案。

对于图表 28 所示的瑞利信道，DVB-T2 表现出出色的性能。对于低频谱效率，DVB-T2 在 SC-PTM 上的 CNR 增益约为 1dB，而对于高频谱效率，其 CNR 增益大于 4dB。MBSFN 和 SC-PTM 的整体性能略逊于 ATSC 3.0 和 DVB-T2 标准，在将来的系统设计和网络规划中应予以注意并综合考虑。

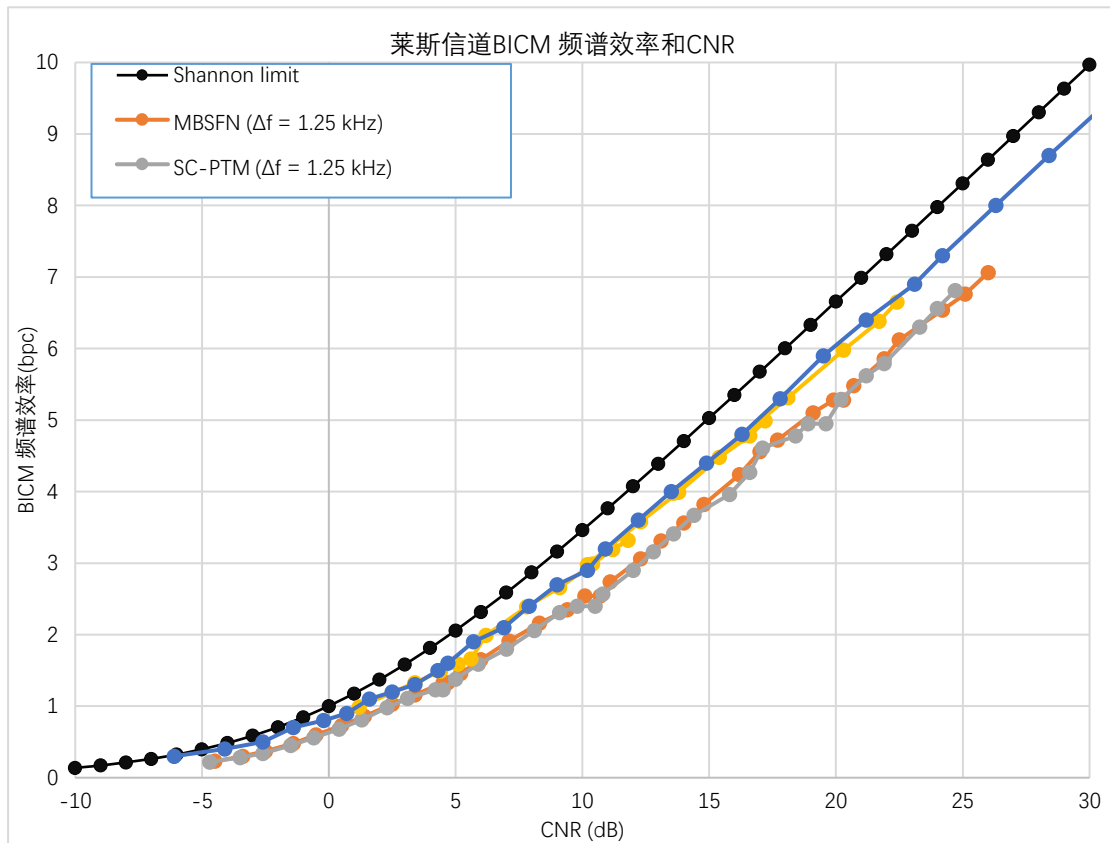


图表 28 DVB-T2, ATSC 3.0, MBSFN和SC-PTM ( $\Delta f = 1.25$  kHz) 的BICM频谱效率与 CNR的关系

### 3) 莱斯信道:

图表 29 描述了 dvb-F1 信道模型的 BICM 频谱效率和所需的 CNR，后者通常用于模拟固定屋顶接收条件。与前面提到的 AWGN 信道相比，可以观察到被评估的三个系统的性能都有所下降。与前面的 SISO AWGN 信道相比，变化趋势相同，低频谱效率的 CNR 阈值提高了 0.1~0.4db，高频谱效率时 CNR 阈值提高了 0.4~0.8db。

在 Rician 信道模型中，ATSC 3.0 和 DVB-T2 具有更高的 BICM 性能。在相同的 CNR 下，ATSC 3.0 和 DVB-T2 的 BICM 性能均优于 SC-PTM 和 MBSFN。SC-PTM 和 MBSFN 系统也有类似的趋势。在相同的 CNR 下，二者的 BICM 频谱效率没有太大差异。



图表 29 DVB-T2, ATSC 3.0, MBSFN和SC-PTM ( $\Delta f = 1.25$  kHz) 的BICM频谱效率与 CNR的关系，以dB为单位

### 6.2.5 ISD（站点间距离）比较

DVB-T2 和 ATSC 3.0 都提供了不同的保护间隔分数。符号长度（即 FFT 模式）和保护间隔分数的适当组合允许最小化保护间隔所隐含带来的额外开销。特别是 ATSC 3.0 和 DVB-T2 都支持 32K 的 FFT 模式，这将导致“有用”符号时间比 8k 延长。原则上，由于 OFDM 信

号中的载波间距离短，符号时间长会导致多普勒性能较差。因此，32k 模式主要用于固定车顶接收。实验室和现场测试表明，32k 模式不太可能用于提供 UHF 移动（车辆）接收。即使在低多普勒频率的便携式（室内或室外行人）接收环境中，也需要确认 32k 模式是否合适。

此外，DVB-T2 还提供 1.7MHz 带宽操作模式。这使得可以实现符合 GE06 计划的 DAB 频率块结构。这样，还可以支持音频和移动电视（低比特率）服务。

与 TR 36.776 中最初的广播要求相比，Rel-14 发现了几个缺点。特别是，Rel-14 需要改进，以支持小区半径高达 100Km 的 SFN 覆盖范围和高达 250Km/H 的移动接收速度。CAS 中的某些信道也被发现不够鲁棒。为了解决远距离 SFN 覆盖问题和高速移动接收的鲁棒性问题，在 Rel-16 中引入了两个附加的数字选项。第一种数字命理参数具有约 0.37KHz 的子载波间隔和 300 $\mu$ s 的持续时间(开销降低到 10%)。更长的 300  $\mu$ s CP 为 SFN 传统广播网络提供了更好的支持，发射机间距更大。第二种数字命理参数具有 2.5KHz 的副载波间隔和 100  $\mu$ s 的 CP 持续时间。2.5KHz 子载波间隔的较宽副载波间隔，提高了对多普勒的鲁棒性，有利于高速接收。300  $\mu$ s CP 虽然理论上支持高达 90Km 的 ISD 距离，但在实际网络规划和应用中还是略显不足，预计后期版本会进一步增强。

附件 2 表格 13 列出了 DVB-T2，ATSC 3.0 和 FeMBMS 详细的保护间隔时间比较。

## 6.3 小结

本章进行了 5G 地面广播和其它地面数字电视技术标准的比较，初步得出以下结论：

- 频谱带宽效率：所有系统的带宽效率理论值都不小于 90%，其中 DVB-T2 和 ATSC 3.0 都可达到 97%；
- 峰值频谱效率：5G 地面广播的峰值频谱效率略低于第二代地面数字电视标准 ATSC 3.0 和 DVB-T2；
- ISD（站点间距离）比较：5G 地面广播的单频网（SFN）组网站点间距离和灵活性略低于第二代地面数字电视标准 ATSC 3.0 和 DVB-T2。

5G 地面广播综合性能略低于第二代地面数字电视标准，但其已能基本满足常用的地面



数字电视网络规划与部署。

## 7. 5G 广播部署的思考

### 7.1 5G 地面数字广播技术综述与展望

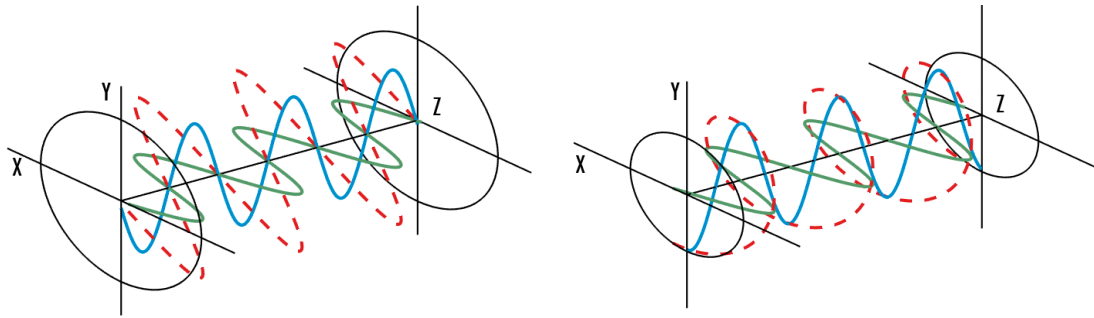
在前面的章节中，我们详细讨论了 5G 广播技术和其他第二代地面数字电视技术。5G 地面广播技术基于 3GPP 的标准，支持固定接收模式和移动便携接收模式。虽然 5G 广播技术在某些性能上略逊于第二代地面数字电视技术，但 5G 广播代表了一种基于 3GPP 技术的实用广播方式，可以在全球智能手机、PAD 和固定电视上迅速普及和推广。随着 Rel-16 中新增加的关键功能准的进一步改进，这将为部署提供更大的灵活性和更可靠的性能。虽然它的技术成熟度还有待充分分析，尤其是在实际测试中，比如中国北京的 754MHz 项目和德国的 5G Today 项目。

传统移动多媒体广播技术从技术角度来说相对成熟的，但总体运营不成功，特别是移动广播在热闹了一阵之后现在几乎退出了市场，包括当时相对成功的日本的 ISDB-T 1seg 和韩国的 T-DMB，主要原因是没有好的可以维持的商业模式，这也是我们在开发 5G 广播应用时要吸取的经验和教训，不仅要考虑技术的先进性，还有考虑各地文化和生活方式的不同，找到合适的商业模式。

5G 广播已在 3GPP 中达成共识，应进一步支持 5G 广播，促进 HPHT 和 LPLT 的“融合”，并与单播链路协同为用户提供连续覆盖的高质量广播服务体验。实现 5G 地面广播“随时、随地”的使用和观看。

### 7.2 UHF 频段圆极化发射天线在 5G 广播应用的探讨

在传统的移动多媒体广播中，手持便携式设备的天线增益相对较低，通常伸缩拉杆天线的峰值增益约为 2dBi。随着智能电话的内置天线设计，信号接收能力面临巨大挑战，天线峰值增益通常为-7.35dBi 甚至更低。大多数传统的地面数字电视发射天线都是线极化的（垂直极化或水平极化），这不利于移动设备的信号接收。鉴于此，建议考虑在 UHF 频段中使用圆极化发射天线进行信号传输。图表 30 显示了线极化和水平极化。



线极化波的电场（左）由两个正交的，振幅相等的线性分量组成，它们没有相位差。产生的电场波沿  $y = x$  平面传播。

圆极化波的电场（右）由两个垂直的，振幅相等的线性分量组成，它们的相位差为  $\pi/2$  或  $90^\circ$ 。产生的电场波旋转传播。

图表 30 线性极化和水平极化

圆极化发射天线具有以下优点：

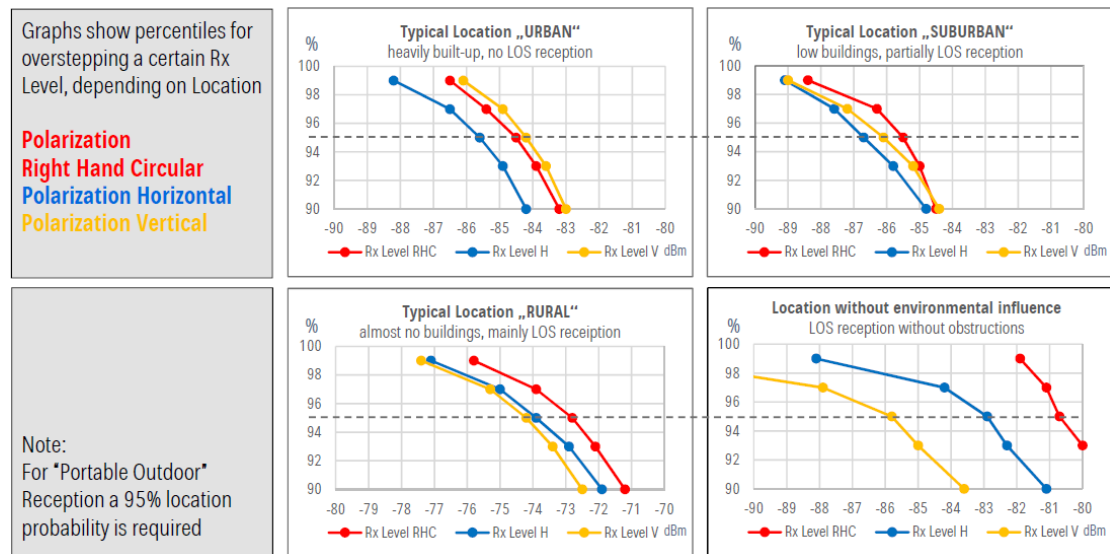
无线电信号的反射或吸收能力：无线电信号的反射或吸收取决于它们使用的材料。由于线性极化天线只能在一个平面上“解决”该问题，因此，如果反射面不能在同一平面上精确地反射信号，则信号强度将会损失。由于圆形极化天线在所有平面上进行发送和接收，信号能量不会丢失，但会转移到另一个平面上并继续使用。不同的材料会吸收来自不同平面的信号。因此，圆极化天线可以在所有平面上进行传输，因此系统具有较高的成功链接可能性。

相位问题：无线电收发系统通常要求两点之间有清晰的视线，以便更有效地工作。反射的线性信号以相反的相位返回到传播天线，从而削弱了传播信号。由于反射信号削弱了传播信号，这种系统难以穿透障碍物。相反，圆极化系统也会产生反射信号，但反射信号会以相反的方向返回，这在很大程度上避免了与传播信号的冲突。结果是，圆极化信号在穿透和弯曲障碍物时要好得多。

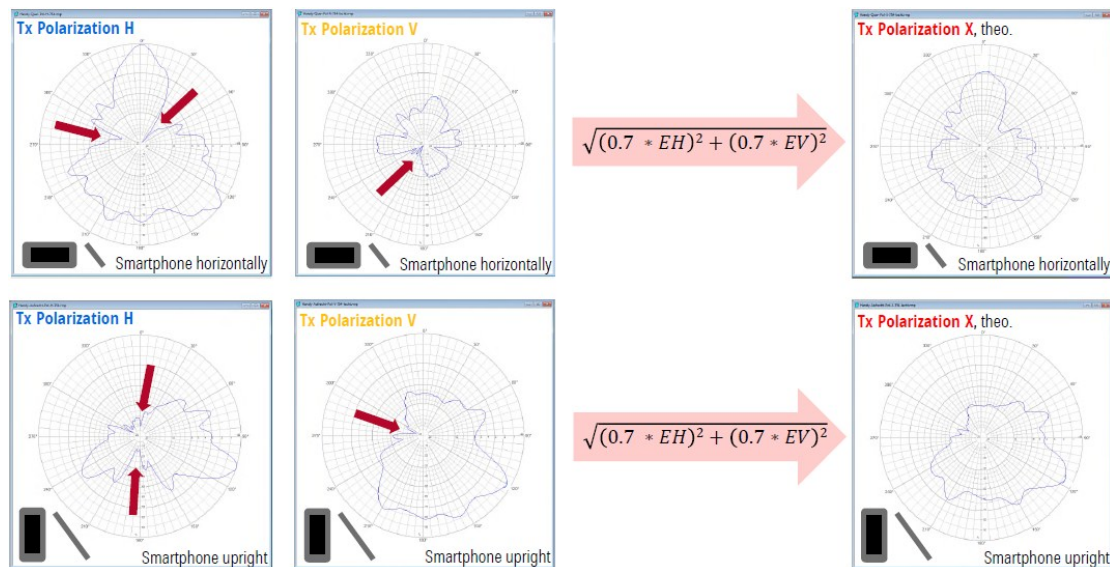
多径：当主信号和反射信号几乎同时到达接收机时，就会产生多径。这就产生了一个“异相”问题。无线电接收机必须花费其资源来区分、整理和处理适当的信号，从而降低性能和速度。由于反射的可能性增加，线极化天线更容易受到多径的影响。异相无线电会导致盲点、吞吐量下降、距离问题，并降低整体性能。

雨雪造成了上述条件的缩影(即反射和吸收、相位、多径等)。由于上述所有原因，圆极化更能抵抗恶劣天气条件引起的信号衰减。

95%位置的场强 $\geq 80$  dBuV/m，以确保“便携式室外”移动电话的接收。Kathrein 在 5G Today 项目里对 Tx 天线的极化效应进行了现场的测量评估。分别选取了城市，城郊，农村和不受环境影响的位置等四种场景对线极化和圆极化的效应进行了评估。通过几种特定场景的评估发现圆极化的 RF 信号超过特定接收电平的百分比更高。另外，圆极化的 RF 信号能“填充”智能手机不同角度的天线方向图案，带来积极的影响。图表 31 是评估结果，图表 32 是智能手机接收天线图案的“填充”，这些信息来自于 Kathrein 的文档[29]。



图表 31 几种不同场景对线极化和圆极化的评估



图表 32 圆极化RF信号对智能手机接收天线图案的“填充”

基于上述讨论，建议考虑在 UHF 频段采用圆极化发射天线进行 5G 地面广播 RF 信号的发射。

## 7.3 测试的思考

5G 广播是基于 LTE FeMBMS 开发的。对于测试，可以将以下参数用作测试的基准。

### RSSI

E-UTRAN 载波 RSSI（接收信号强度指示）

所有子载波的宽带功率，包括热噪声，副载波和相邻载波干扰以及接收机中产生的噪声。

参见 3GPP 36.214 第 5.1.5 节。

### RSRP

RS 接收功率

参考信号接收功率是在考虑的测量频率内承载特定于小区的参考信号的资源元素的功率贡献的线性平均值。

### CINR

参考信号 CINR

参考信号接收功率（RSRP）与来自同一参考信号的干扰和噪声之间的比率。

### RSRQ

参考信道接收的质量

参考信号接收质量为比率  $-N * RSRP / E-UTRA$  载波 RSSI 值，其中 N 是 E-UTRA 载波 RSSI 测量带宽的资源块数。分子和分母中的测量是在同一组资源块上进行的。更多请查看 3GPP TS 36.214 第 5.1.3 节。

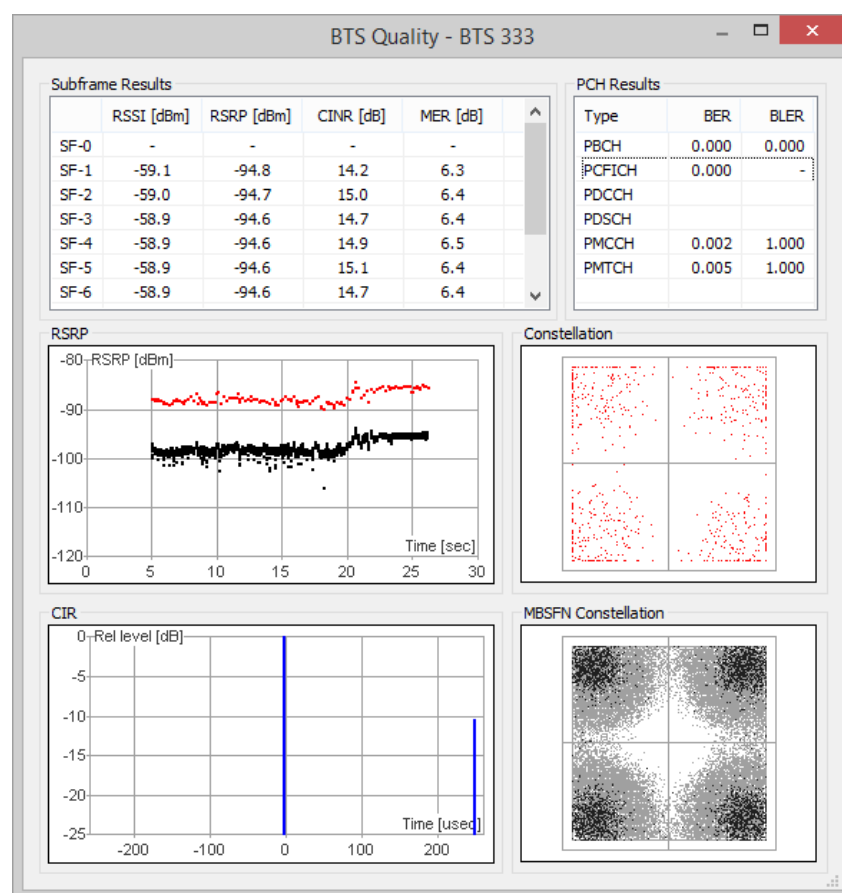
### MER

参考符号调制误差率

参考符号均衡星座图的调制误差比

## 时间偏移

TSMW 参考时间与收到的 LTE 信号之间的时差。



对于传统的视频广播，由于视频流中比特的重要性会有所不同，因此需要考虑一些有关视频特性的问题，而不仅仅是使用 **BER** 来判断接收机的性能。例如，在某些广播规范中，将不同的降级标准用于接收器性能评估。

- 参考 **BER**，在不同级别的信道编码之后定义的 **BER**。
- 图片故障点（**PFP**），当出现图片错误时定义为  $C/N$ 。当 **BER** 测量不稳定或不可用时，这是首选。

我们认为，5G 广播测试可以参考这一思路将它们分别视为客观测试和主观测试。

## 7.4 基于 CMAF 的统一封装格式

CMAF（Common Media Application Format）是由 MPEG 制定的标准，并被 ISO 批准

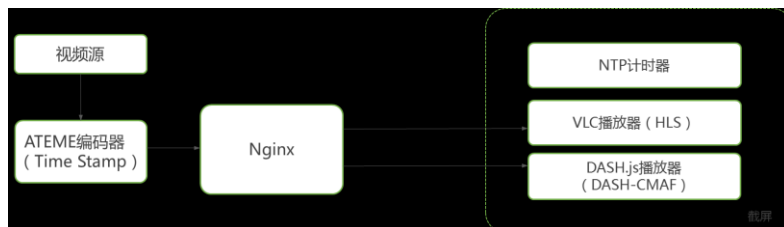
[ISO23000-19]。旨在不影响现有编码格式的前提下，为主流的流媒体传输协议提供统一的封装容器。同时，CMAF 支持低时延封包，降低了接收端的等待时间，可以极大的降低端到端时延。

CMAF-IF（CMAF 行业论坛）由 CTA WAVE 项目创建，并牵头技术推广。

CMAF 支持低时延封包的特性，是它被各大广播体系在演进中选作 IP 化技术实现的原因。较为人所知的是 DVB-I [30]，它支持 DVB-DASH 以及 DVB-DASH with low latency mode；另外还有 ATSC3.0 中基于 ROUTE/DASH 方式的媒体承载方式[31]；在 3GPP 的 eMBMS 实现中，采用的是 FLUTE/DASH 的方式承载媒体传输。在此，我们也通过位于山西传媒学院的 5G 融媒联创实验室获得了一些基于 5G 网络的真实实验数据，实验室的数据佐证了以下几个特性，是 5G 广播和单播融合的重要特性：

- 稳定的低延时内容交付
- 支持大码率和超高清分辨率，符合 5G 特性

实验室的测试拓扑如图所示：



表格 8 低时延测试：H.264, 1080P@25

码率	Chunk 粒度	编码器-播放器延时	CDN-播放延时	播放器缓冲区
10Mbps	100ms	4.279s	3.002s	2.718s
10Mbps	200ms	4.477s	3.105s	2.609s
10Mbps	300ms	4.251s	3.008s	2.773s
10Mbps	400ms	4.514s	2.999s	2.894s
10Mbps	500ms	4.296s	3.015s	2.907s

10Mbps	1000ms	3.933s	3.029s	2.092s
10Mbps	2000ms	3.828s	3.026s	1.317s

在同样的时延环境下，我们对比常见的 HLS 不同切片时延结果如下（1080P@25，码率 10Mbps）：

**表格 9 典型时延测试：H.264, 2秒切片,1080P@25**

切片长度	编码器-播放器延时
2s	9.23s
4s	15.626s
6s	20.206s
10s	41.819s

我们还实验室测试了 5G 网络下大码率超高清视频的特性：

**表格 10 大码率超高清测试（H.264 4K@25，500ms chunk）**

码率	编码器-播放器延时	CDN-播放延时
20Mbps	4.626s	3s
30Mbps	4.922s	3.02s
50Mbps	4.64s	3.398s
80Mbps	4.828s	3.664s

通过表格 8 和表格 10 的结果可以看出 CMAF 在低延时特性中表现出的稳定性，CMAF 具有稳定的低延时交付能力。之所以未能体现出 chunk 对时延的影响，是因为缓冲区大小超过了实验中设置的不同 chunk 大小，这种缓冲的作用，使得在 5G 广播和单播融合时无需考虑修改复杂的系统参数即可实现广播和单播的对齐。

表格 10 中我们看到 5G 网络承载大码率超高清低时延的 CMAF 仍然保持了良好的时延特性，这对 5G 广播部署超高清业务有一定的参考意义。

表格 9 中我们看到基于传统分片方式交付内容，随着分片的增长，时延相应的增长。当分片大小为 2s 时，时延为 9.23s，但是当 chunk 大小为 2000ms（2s）时，时延仅为 3.828s。究其原因在于播放器的缓冲逻辑不同，基于 chunk 模式，播放器会持



续获得最新分片，播放器能够处理非常低的缓冲以及吞吐波动，而基于分片方式，播放器以缓冲分片数量为依据进行播放控制，因此无法兼顾时延。

除上述分析结论以外，**CMAF** 还有其它特性，例如标准化程度和协议的兼容性，通用的加密方法，时延模式的兼容性等。

## Reference

- [1] FuTURE Forum 5G broadcast and video WG, 5G broadcast Use Case whitepaper, Nov. 27th, 2020
- [2] 3GPP, TS 38.913, Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies; v14.0, Oct. 2016
- [3] 3GPP, TS 23.246, Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Architecture and functional description, v16.1, Sep. 24th, 2019
- [4] 3GPP, TS 26.346, Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS); Protocols and codecs, v16.6.1, Oct., 2020
- [5] 3GPP, TS 23.501, System architecture for the 5G System (5GS), v16.6, Sep.24th, 2020
- [6] 3GPP, TR 26.891, 5G enhanced mobile broadband; Media distribution, v16.0, Dec. 21st, 2018
- [7] 3GPP, TS 26.348, Northbound Application Programming Interface (API) for Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) at the xMB reference point, v16.3, March 2020
- [8] 3GPP, TS 29.116, Representational state transfer over xMB reference point between content provider and BM-SC, v16.6, Sep. 2020
- [9] 3GPP, TS 36.300, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2, v16.3, Oct. 2020
- [10] 3GPP, TS 36.331, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification, v16.2.1, Oct. 2020
- [11] 3GPP, TS 24.116, Stage 3 aspects of system architecture enhancements for TV services, v16.0, July 8th, 2020
- [12] 3GPP, TS 24.117, TV service configuration Management Object (MO), v16.0, July 9th,



2020

- [13] 3GPP, TS 36.304, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) procedures in idle mode, v16.2, Oct. 2020
- [14] 3GPP, TS 36.133, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) and repeater ElectroMagnetic Compatibility (EMC), v16.2, Sep. 2019
- [15] 3GPP, TS23.003, Numbering, addressing and identification, v16.4, Sep. 24th, 2020
- [16] ITU-R BT.2049-7, "Broadcasting of multimedia and data applications for mobile reception", February 2016.
- [17] 5G-Xcast\_D2.1 v1.1, "Definition of Use Cases, Requirements and KPIs", June, 2018.
- [18] 3GPP TR 38.913 v14.3.0, "Study on scenarios and requirements for next generation access technologies," Aug. 2017.
- [19] 3GPP TR 36.976 v16.0.0, "Overall description of LTE-based 5G broadcast (Release 16), Dec. 2019.
- [20] 3GPP TR 36.776 v16.0.0, "Study on LTE-based 5G terrestrial broadcast (Release 16)", March 2019.
- [21] 3GPP TS 36.211 v16.2.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation", June, 2020.
- [22] RECOMMENDATION ITU-R BT.1877-2, "Error-correction, data framing, modulation and emission methods and selection guidance for second generation digital terrestrial television broadcasting systems", December, 2019.
- [23] GY/T 220.1-2006, Chinese Television and Radio Industry Standard "Mobile Multimedia Broadcasting Part 1: Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Broadcasting Channel", October, 2006.
- [24] Report ITU-R BT.2254-3, "Frequency and network planning aspects of DVB-T2", March, 2017.
- [25] ATSC Recommended Practice: "Guidelines for the Physical Layer Protocol", 30 January 2020.
- [26] 3GPP TS 36.213 V16.2.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (Release 16)", June, 2020.
- [27] Zhiping Xia, Boyuan Xu, Xiangkun Meng, Yu Zhang, "Comparative Study on KPIs between FeMBMS and DTMB".
- [28] 5G-Xcast D3.1 v1.1, "Deliverable D3.1 LTE-Advanced Pro Broadcast Radio Access

Network Benchmark”, June, 2018.

[29] Kathrein Broadcast GmbH, “Antenna Solutions for Next Generation TV”, Feb. 2020.

[30] ETSI TS 103 285 V1.3.1 “Digital Video Broadcasting (DVB); MPEG-DASH Profile for Transport of ISO BMFF Based DVB Services over IP Based Networks”, Feb,2020

[31] ATSC A/331:2019 “Signaling, Delivery, Synchronization, and Error Protection”, June, 2019

## 附件 1

表格 11 和表格 12 列出了各种调制波形的峰值数据速率和峰值频谱效率。

表格 11 MBSFN 的每个 MCS 索引所需的最小 CNR (dB) ( $\Delta f = 1.25$  kHz)

星座	MCS 索引	BICM 频谱效率 (备注 1)	频谱效率 (备注 2)	峰值数据 (Mbits/s)	AWGN	i.i.d. Rayleigh	DVB-F1 Rician	户外便携	室内便携	TU6 移动 (120km/h)
QPSK	0	0.23	0.13	0.65	-5.2	-4.7	-4.5	-1.4	6.8	2.6
	1	0.3	0.18	0.9	-4.1	-3.5	-3.4	-	-	-
	2	0.37	0.21	1.05	-3.2	-2.4	-2.5	-	-	-
	3	0.48	0.28	1.4	-2.1	-1.2	-1.4	2	10.2	6.2
	4	0.6	0.35	1.75	-1.1	-0.1	-0.5	-	-	-
	5	0.73	0.43	2.15	-0.2	1.1	0.5	-	-	-
	6	0.86	0.51	2.55	0.7	2.4	1.4	5.1	13.9	9.9
	7	1.03	0.61	3.05	2	4.3	2.5	-	-	-
	8	1.16	0.68	3.4	2.7	5.5	3.4	-	-	-
	9	1.33	0.78	3.91	3.8	7.2	4.5	10.3	18.3	14.2
16QAM	10	1.33	0.78	3.9	4.1	5.7	4.7	-	-	-
	11	1.46	0.86	4.3	4.7	6.4	5.2	-	-	-
	12	1.65	0.97	4.85	5.6	7.5	6	9.8	18.9	14.6
	13	1.91	1.12	5.6	6.6	8.8	7.1	-	-	-
	14	2.16	1.26	6.3	7.7	10.1	8.3	-	-	-
	15	2.35	1.41	7.05	8.5	11.2	9.4	19.8	24.6	19.8
	16	2.54	1.51	7.55	9.1	12.2	10.1	-	-	-
64QAM	17	2.54	1.51	7.55	10	12.1	10.7	-	-	-
	18	2.74	1.56	7.8	10.6	12.8	11.1	19.7	25.4	20.8
	19	3.06	1.78	8.9	11.6	14	12.3	-	-	-

	20	3.31	1.93	9.65	12.5	15.1	13.1	-	-	-
	21	3.56	2.08	10.4	13.3	16.1	14	23.8	29	24.6
	22	3.82	2.23	11.15	14.2	17.1	14.8	-	-	-
	23	4.24	2.45	12.25	15.5	18.9	16.2	-	-	-
	24	4.56	2.64	13.2	16.3	20.2	17	31.1	35	29.9
	25	4.72	2.75	13.75	16.9	21.1	17.7	-	-	-
	26	5.1	2.98	14.9	18	23.4	19.1	-	-	-
	27	5.28	3.09	15.45	18.8	25.1	19.9	37.9	40.9	35.2

注 1：BICM 频谱效率 (bpc) 未考虑由于保护间隔，频率保护频带，参考信号和 CAS 信令引起的损耗，即它不包括开销。

注 2：频谱效率 (bits/s/Hz) 包括由于保护间隔，频率保护频带，参考信号和 CAS 信令引起的损耗，即包括开销。

表格 12 每个MCS索引所需的SC-PTM的最小CNR (dB) ( $\Delta f = 1.25$  kHz)

星座	MCS 索引	BICM 频谱效率 (备注 1)	频谱效率 (备注 2)	峰值数据 (Mbits/s)	AWGN	i.i.d. Rayleigh	DVB-F1 Rician	户外便携	室内便携	TU6 移动 (120km/h)
QPSK	0	0.22	0.13	0.65	-5.2	-2.1	-4.7	0.1	4.8	2.6
	1	0.28	0.18	0.9	-4	-0.9	-3.5	-	-	-
	2	0.34	0.21	1.05	-3.2	0.3	-2.6	-	-	-
	3	0.45	0.28	1.4	-2.1	1.4	-1.5	3.4	8.8	5.9
	4	0.56	0.35	1.75	-1.2	2.7	-0.6	-	-	-
	5	0.68	0.43	2.15	-0.3	3.8	0.4	-	-	-
	6	0.81	0.51	2.55	0.6	5	1.3	7.2	11.9	9.4
	7	0.98	0.61	3.05	1.6	6.4	2.3	-	-	-
	8	1.11	0.68	3.4	2.3	8	3.1	-	-	-
	9	1.23	0.78	3.91	3.4	9.4	4.2	11.8	16.5	13.7
16QAM	10	1.23	0.78	3.9	3.8	8.3	4.5	-	-	-
	11	1.38	0.86	4.3	4.3	9	5	-	-	-

	12	1.59	0.97	4.85	5.1	10.1	5.9	11.7	17	14.4
	13	1.8	1.12	5.6	6.2	11.4	7	-	-	-
	14	2.06	1.26	6.3	7.3	12.4	8.1	-	-	-
	15	2.31	1.41	7.05	8.3	13.7	9.1	16.1	20.9	18.6
	16	2.4	1.51	7.55	8.9	14.5	9.8	-	-	-
64QAM	17	2.4	1.51	7.55	9.7	14.5	10.5	-	-	-
	18	2.57	1.56	7.8	10	15.3	10.8	17	22	19.7
	19	2.9	1.78	8.9	11.2	16.4	12	-	-	-
	20	3.16	1.93	9.65	12	17.4	12.8	-	-	-
	21	3.41	2.08	10.4	12.7	18.7	13.6	20.4	25.4	22.8
	22	3.67	2.23	11.15	13.5	19.7	14.4	-	-	-
	23	3.96	2.45	12.25	14.8	21	15.8	-	-	-
	24	4.27	2.64	13.2	15.7	22.7	16.6	24.7	29.2	26.8
	25	4.61	2.75	13.75	16.3	23.2	17.1	-	-	-
	26	4.78	2.98	14.9	17.4	25	18.4	-	-	-
	27	4.95	3.09	15.45	17.8	25.3	18.9	30.1	32.9	30.8
256QAM	28	4.95	3.09	15.45	18.8	26.5	19.6	-	-	-
	29	5.29	3.2	16	19.3	25.5	20.2	-	-	-
	30	5.62	3.43	17.15	20.3	26.8	21.2	29.4	33.2	31.1
	31	5.79	3.58	17.9	21	27.5	21.9	-	-	-
	32	6.3	3.87	19.35	22.3	28.8	23.3	-	-	-
	33	6.56	4.02	20.1	23	29.6	24	33.5	37.4	35.5
	34	6.81	4.17	20.85	23.6	30.3	24.7	-	-	-
<p>注 1: BICM 频谱效率 (bpc) 不考虑由于保护间隔、频率保护频带、参考信号和 CAS 信令而造成的损耗, 即不包括开销。</p> <p>注 2: 频谱效率 (bits/s/Hz) 包括保护间隔、频率保护频带和参考信号引起的损耗, 即它包括开销。在 MBSFN 中, 由于同步而产生的开销假设为 2.5%。</p> <p>注 3: 对于 MIMO i.i.d. 瑞利信道, 第 2 列的频谱效率应加倍。</p>										

附件 2

表格 13 DVB-T2，ATSC 3.0和FeMBMS的保护间隔时间比较

标准	参数	1.7 MHz 多载波 (OFDM)	5 MHz 多载波 (OFDM)	6 MHz 多载波 (OFDM)	7 MHz 多载波 (OFDM)	8 MHz 多载波 (OFDM)	10 MHz 多载波 (OFDM)
DVB-T2	保护间隔时间	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4 有效符号持续时间	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4 有效符号持续时间	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4 有效符号持续时间	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4 有效符号持续时间	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4 有效符号持续时间	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4 有效符号持续时间
	1k 模式	34.69, 69.37, 138.75 μs	11.2, 22.4, 44.8 μs	9.3, 18.6, 37.3 μs	8, 16, 32 μs	7, 14, 28 μs	5.6, 11.2, 22.4 μs
	2k 模式	34.69, 69.37, 138.75, 277.50 μs	11.2, 22.4, 44.8, 89.6 μs	9.3, 18.6, 37.3, 74.6 μs	8, 16, 32, 64 μs	7, 14, 28, 56 μs	5.6, 11.2, 22.4, 44.8 μs
	4k 模式	69.37, 138.75, 277.50, 554.99 μs	22.4, 44.8, 89.6, 179.2 μs	18.6, 37.3, 74.6, 149.3 μs	16, 32, 64, 128 μs	14, 28, 56, 112 μs	11.2, 22.4, 44.8, 89.6 μs
	8k 模式	34.69, 138.75, 277.50, 329.53, 554.99, 659.05, 1 109.98 μs	11.2, 44.8, 89.6, 106.4, 179.2, 212.8, 358.4 μs	9.3, 37.3, 74.6, 88.6, 149.3, 177.3, 298.6 μs	8, 32, 64, 75.9, 128, 152, 256 μs	7, 28, 56, 66.5, 112, 133, 224 μs	5.6, 22.4, 44.8, 53.2, 89.6, 106.4, 179.2 μs
	16k 模式		22.4, 89.6, 179.2, 212.8, 358.4, 425.6, 716.8 μs	18.6, 74.6, 149.3, 177.3, 298.6, 354.6, 597.3 μs	16, 64, 128, 152, 256, 304, 512 μs	14, 56, 112, 133, 224, 266, 448 μs	11.2, 44.8, 89.6, 106.4, 179.2, 212.8, 358.4 μs
	32k 模式		44.8, 179.2, 358.4, 425.6, 716.8, 851.2 μs	37.33, 149.33, 298.67, 354.67, 597.33, 709.33 μs	32, 128, 256, 304, 512, 608 μs	28, 112, 224, 266, 448, 532 μs	22.4, 89.6, 179.2, 212.8, 358.4, 425.6 μs
ATSC 3.0	保护间隔时间	NA	NA	192, 384, 512, 768, 1024, 1536, 2048, 2432, 3072, 3648, 4096, 4864 采样时间	192, 384, 512, 768, 1024, 1536, 2048, 2432, 3072, 3648, 4096, 4864 采样时间	192, 384, 512, 768, 1024, 1536, 2048, 2432, 3072, 3648, 4096, 4864 采样时间	NA
	8k 模式			27.778, 55.556, 74.074, 111.111, 148.148, 222.222, 296.296 μs	23.810, 47.619, 63.492, 95.238, 126.984, 190.476, 253.968 μs	20.833, 41.667, 55.556, 83.333, 111.111, 166.667, 222.222 μs	

				(192, 384, 512, 768, 1024, 1536, 2048 采样时间)	(192, 384, 512, 768, 1024, 1536, 2048 采样时间)	(192, 384, 512, 768, 1024, 1536, 2048 采样时间)	
	16k 模式			27.778, 55.556, 74.074, 111.111, 148.148, 222.222, 296.296, 351.852, 444.444, 527.778, 592.593 μs  (192, 384, 512, 768, 1024, 1536, 2048, 2432, 3072, 3648, 4096 采样时间)	23.810, 47.619, 63.492, 95.238, 126.984, 190.476, 253.968, 301.587, 380.952, 452.381, 507.937 μs  (192, 384, 512, 768, 1024, 1536, 2048, 2432, 3072, 3648, 4096 采样时间)	20.833, 41.667, 55.556, 83.333, 111.111, 166.667, 222.222, 263.889, 333.333, 395.833, 444.444 μs  (192, 384, 512, 768, 1024, 1536, 2048, 2432, 3072, 3648, 4096 采样时间)	
	32k 模式			27.778, 55.556, 74.074, 111.111, 148.148, 222.222, 296.296, 351.852, 444.444, 527.778, 592.593, 703.704 μs  (192, 384, 512, 768, 1024, 1536, 2048, 2432, 3072, 3648, 4096, 4864 采样时间)	23.810, 47.619, 63.492, 95.238, 126.984, 190.476, 253.968, 301.587, 380.952, 452.381, 507.937, 603.175 μs  (192, 384, 512, 768, 1024, 1536, 2048, 2432, 3072, 3648, 4096, 4864 采样时间)	20.833, 41.667, 55.556, 83.333, 111.111, 166.667, 222.222, 263.889, 333.333, 395.833, 444.444, 527.778 μs  (192, 384, 512, 768, 1024, 1536, 2048, 2432, 3072, 3648, 4096, 4864 采样时间)	
EeMBMS	保护间隔时间	NA	16.7,33.3,100,200,300μs	NA	NA	NA	16.7,33.3,100,200,300μs

## 致谢

本报告在撰写过程中收到来自以下高校，研究机构和公司专家的大力支持和贡献，在此报告完成之际，仅表达诚挚的感谢。

ABS - 广播电视科学研究院	张宇 (Yu Zhang) 周向 (Xiang Zhou)
Ateme	陈朋奕 (Ben Chen) Mickael Raulet
Baicells – 佰才邦	云翔 (Xiang Yun) 李娜 (Na Li) 周明宇 (Mingyu Zhou)
CBC – 中广传播	蒲珂 (Ke Pu)
Communication University of China – 中国传媒大学	史萍 (Ping Shi) 石东新 (Dongxin Shi) 李朝晖 (Chaohui Li) 潘达 (Da Pan)
Communication University of Shanxi – 山西传媒学院	任石青 (Shiqing Ren)
Hisense – 海信	宋一迪 (Yidi Song)
Keysight – 视德科技	封翔 (Xiang Feng)
Kwai – 快手	马英武 (Yingwu Ma)
MiGu – 咪咕	李琳 (Lin Li) 徐嵩 (Song Xu) 聂国梁 (Guoliang Nie)
Qualcomm – 高通	曹一卿 (Yiqing Cao) Thomas Stockhammer 李俨 (Yan Li)



	杜志敏 (Zhimin Du)
Quectel – 移远	姚立 (Li Yao) 滕霞 (Tanya Teng) 吴冰 (Daniel Wu)
Rohde & Schwarz – 罗德施瓦茨	王俊生 (Junsheng Wang)
Samsung - 三星	吴越 (Yue Wu)
Shanxi Cloud Media Development Co., Ltd – 山西云媒体发展集团有限公司	王斌 (Bin Wang) 邵文卫 (Wenwei Shao) 王俊莉 (Junli Wang)
Shanxi Radio and TV Media Group Co.Ltd – 山西广播电视传媒（集团）有限公司	任晓瑛 (Xiaoying Ren)
Shanghai Jiaotong University – 上海交通大学	何大治 (Dazhi He) 徐胤 (Ying Xu)
vivo – 维沃	张元 (Yuan Zhang)
Xinjiang Broadcaster - 新疆广电网络	陈常伟 (Changwei Chen)
ZTE – 中兴	王瑞明 (Ruiming Wang) 张磊 (Lei Zhang) 陆薇 (Wei Lu)

感谢由山西移动，山西云媒体，山西传媒学院以及中兴通讯在山西传媒学院联合创建的5G 融媒联创实验室为白皮书提供了宝贵的测试数据，同时也感谢 ATEME 提供了必要的测试支持。







未来移动通信论坛  
FUTURE MOBILE COMMUNICATION FORUM