

基于IP网络的新型组播 承载技术演进研究

Research on Evolution of New Multicast Technology Based on IP Network

熊礼霞,张旭,陈燕,孟丽珠(中讯邮电咨询设计院有限公司,北京100048)

Xiong Lixia, Zhang Xu, Chen Yan, Meng Lizhu (China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd., Beijing 100048, China)

摘要:

介绍了组播技术的演进发展,分析了智能城域网的组播业务承载方案,并结合智能城域网网络架构与特征,推荐了不同需求导向下的组播业务承载方案。通过对2种方案的对比分析和实验验证,为智能城域网的组播业务承载提供思路。

关键词:

智能城域网;组播;BIER

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.07.015

文章编号:1007-3043(2024)07-0077-06

中图分类号:TN914

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

It introduces the development of multicast technology, and analyzes the multicast service bearer solutions for the Smart MAN. Based on the network architecture and characteristics of smart metropolitan area networks, it recommends multicast service bearer solutions under different demand orientations. Through the comparative analysis and experimental verification of the two schemes, ideas are provided for the multicast service bearer of smart metropolitan area networks.

Keywords:

Smart MAN; Multicast; BIER

引用格式:熊礼霞,张旭,陈燕,等. 基于IP网络的新型组播承载技术演进研究[J]. 邮电设计技术,2024(7):77-82.

1 技术现状

1.1 行业应用

组播主要应用在“点到多点”的数据传送场景,比如多媒体、流媒体的电视、电台,远程培训和网上教育等等。不同场景下,组播源与接收者之间的信息传递方式不同,主要有3种组播模型:任意信源组播(Any-Source Multicast, ASM)、信源过滤组播(Source-Filtered Multicast, SFM)和指定信源组播(Source-Specific Multicast, SSM)^[1-2]。在ASM中,任意一个发送者都可以作为组播源在组播组内发送信息,接收者只要加入该组播组即可获得组播源发布的信息;在SFM

中,通过对组播报文的源地址检测和策略控制,接收者只能收到部分筛选后的组播源信息;在SSM中,接收者知道组播源位置且可以指定组播源,通过在接收者和其指定的组播源之间建立专用组播转发路径进行信息传送。

信息从组播源经过网络最终到达接收者的传递路径就是组播转发路径,即组播分发树,可分为源树和共享树两大类。源树是指以组播源作为树根,将组播源到每一个接收者的最短路径结合起来构成的转发树,其优点是能构造组播源和接收者之间的最短路径,端到端延迟最小,缺点是路由器必须为每个组播源保存路由信息,占用大量的系统资源,路由表规模也比较大。共享树是以某个路由器作为汇聚点(Rendezvous Point, RP),由RP到所有接收者的最短路径共

收稿日期:2024-05-15

同构成的转发树,所有的组播源和接收者都使用这棵树来收发报文,其优点是路由器中保留的路由信息很少,缺点是组播源发出的报文要先经过RP,路径通常并非最短,且对RP的可靠性和处理能力要求很高。

为了构建组播网络,生成组播分发树,需要在网络中配置组播协议,组播协议的发展演进主要分为以下几个阶段。

a) 应用在公网的组播方案。该方案采用协议无关组播(Protocol Independent Multicast, PIM)协议建立组播分发树。PIM与单播路由协议类型无关,只要网络设备间存在可达的单播路由就可以借此创建组播分发树,指导组播数据转发。组播分发树随着组成员的动态加入和退出而动态变化更新。

b) 借助GRE隧道的IP组播VPN方案,即Rosen MVPN技术。公网仍旧采用PIM协议,并将私网PIM实例中的组播数据和控制报文透传到VPN的远端站点。此技术不进行BGP协议扩展处理,而是直接通过隧道转发,所有VPN协议和数据报文都在公网上进行透传。

c) MPLS VPN组播方案,即基于MPLS隧道的NG-MVPN技术。该方案通过BGP协议传递私网组播路由,借助MPLS P2MP隧道传递私网组播流量。PIM报文转换为BGP MVPN协议报文后在PE之间传递,数据报文通过承载向P2MP隧道上的MPLS标签转发表转发。

d) BIER(Bit Index Explicit Replication)和BIER-IPv6(BIER for IPv6)组播方案。该方案是一种新的无状态组播技术,基于数据报文头中的比特串指示报文接收设备将组播复制给指定的接收者,解决了传统组播需要组播转发树建立协议的问题,简化了协议,减少了网络中间设备的维护开销。其中,BIER依赖和适用于MPLS网络,BIER-IPv6基于Native IPv6网络。

1.2 演进方向

已有的PIM、MVPN组播技术需要在中间节点维护每个组播流的组播状态控制转发,也需要PIM/mLDP/RSVP-TE/P2MP协议创建组播树,并通过复杂的过程和信息交互维护组播树的更新,占用大量的CPU和内层资源,部署和运维复杂,可靠性不高,不利于在大规模网络中部署。

随着视频等媒体类业务的不断发展和网络向IPv6演进,针对IPv6网络的组播方案是目前行业研究的重点,BIER-IPv6也成为IPv6+2.0的关键内容,其技术标

准和业务方案在行业内也被积极推进和试点应用。

2 承载方案演进

2.1 公网组播方案

PIM是目前应用最为广泛的域内组播协议,通过建立组播分发树进行数据报文转发。

根据实现机制的不同,PIM又分为协议无关组播-密集模式(Protocol Independent Multicast-Dense Mode, PIM-DM)、协议无关组播-稀疏模式(Protocol Independent Multicast-Sparse Mode, PIM-SIM)和协议无关组播-指定信源组播(Protocol Independent Source-Specific Multicast, PIM-SSM)3种模式。

a) PIM-DM。PIM-DM主要采用扩散-剪枝的方式转发组播数据,即首先将组播数据扩散到各个网段,然后再裁剪掉不存在组播成员的网段。通过周期性的扩散-剪枝,构建并维护一棵连接组播源和组播成员的单向无环SPT(Shortest Path Tree)树,最终实现组播数据的转发。对于组播组成员稀疏的网络,该方法会产生大量的剪枝消息,而对规模较大的网络,其扩散-剪枝周期会很长,所以PIM-DM适合规模较小、组播组成员相对比较密集的网络。

b) PIM-SM。在主机明确提出需要接收组播数据(加入对应组播组)时,PIM-SM才会构建组播分发树,向提出需求的主机转发组播数据。PIM-SM可以有效解决大型网络且用户分布比较分散的场景中,“点到多点”的数据传输问题,使用户能够按需接收数据。

c) PIM-SSM。网络中的接收者已经知道了组播源的具体位置,可直接向组播源请求组播数据,直接在组播源和组成员之间建立SPT,无需维护RP,无需构建共享树(Rendezvous Point Tree, RPT,以RP为根、组播组成员为叶子的组播分发树),无需注册组播源。

PIM技术的优势是技术成熟和标准化程度高,现网应用中异厂家互通容易,但需要为每条组播流维护状态,随用户动态加入或退出而更新组播分发树,消耗大量资源,不利于在大规模网络中部署。

2.2 IP VPN组播方案

为了在现有BGP/MPLS VPN上开通组播业务,将私网PIM实例中的组播数据和控制报文透过公网传递到VPN的远端站点,实现私网PIM实例之间的相互隔离,业界提出了Rosen MVPN解决方案。此方案的特点是利用GRE隧道转发PIM协议报文,不需要对BGP协议进行扩展,所有VPN协议和数据报文在公网上透

传。

从数据转发面看,用户的组播报文在传输中的封装如图1所示。



图1 Rosen MVPN转发面封装过程示意

应用此方案需要中间公网支持PIM协议,私网PIM实例间实现互通涉及的主要配置如下(见图2)。

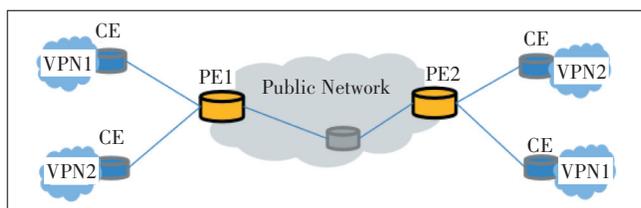


图2 私网PIM实例间实现互通示意

a) PE设备需要运行VPN私网PIM实例和公网PIM实例。

b) 在PE私网PIM实例之间建立一个虚拟的组播隧道MT(Multicast Tunnel)。

c) 私网PIM实例创建一个组播隧道接口MTI(MT Interface)与该组播隧道相连。

d) 各VPN私网实例根据自己所配置的Share-Group加入各自的组播隧道。

e) 配置了相同的Share-Group组地址的私网实例就形成了一个MD(Multicast Domain)。

f) 私网实例VPN1、VPN2通过对应的MD1、MD2实现各自实例间的互通。

Rosen方式的MVPN公网和私网都采用PIM协议方式建立组播分发树,通过分发树传递私网组播协议报文和组播数据流量,其不足之处如下。

a) 由于私网组播协议报文和数据流量需要通过组播分发树来传递,因此公网必须使能组播功能,否则组播分发树无法建立,这样会使网络部署复杂。

b) 公网使用GRE封装来实现组播数据流量的传输,无法利用现有BGP/MPLS IP VPN网络中MPLS的一些优势,例如可靠性、TE的带宽预留及QoS保证。

2.3 MPLS VPN组播方案

MPLS VPN也称为NG MVPN(Next Generation

MVPN),是在BGP/MPLS VPN网络中利用MPLS隧道承载组播流量的新一代的架构,此架构统一了组播和单播业务的承载网络,运营商骨干网络采用RSVP-TE P2MP隧道或mLDP P2MP隧道为组播VPN提供网络承载服务。

MPLS VPN是通过基于公网BGP/MPLS VPN网络建立的PMSI(Provider Multicast Service Interface,指公网承载私网组播数据流量的逻辑通道,对指定的组播数据流量,在源PE上通过PMSI将私网组播数据流量分发给其他PE,接收者PE根据PMSI接收属于同一MVPN的组播数据流量)隧道传输组播流量。根据公网网络是否跨越AS域、是否使用分段隧道,MPLS VPN可以分为域内非分段场景(公网属于一个AS域,域内部署一种MPLS协议)、跨域非分段场景(公网跨越多个AS域,部署相同的MPLS协议)和域内分段场景(公网属于一个AS域,但分段部署了不同的MPLS协议)。以域内非分段场景为例,MPLS VPN建立过程如下(见图3)。

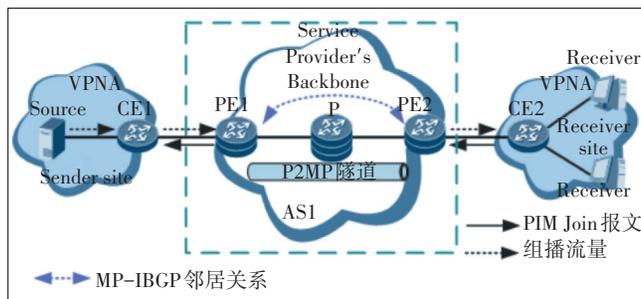


图3 域内非分段场景组网示意

a) PE之间建立I-BGP邻居。

b) PE中部署MVPN,实现同一个MVPN中的PE可以相互自动发现,并利用BGP传递BGP C-multicast路由。

c) 配置P2MP隧道,并利用BGP相互传递BGP A-D路由,使PE1和PE2之间可以基于P2MP隧道建立PMSI隧道,传递组播流量。

NG MVPN相对于Rosen方式的MVPN做了一些改进,其特点如下。

a) 公网使用BGP来传递私网组播协议报文和私网组播路由,不需要再配置其他组播协议,简化了网络部署复杂度,降低了网络难度。

b) 公网使用MPLS成熟的标签转发技术和隧道保护技术,使组播业务服务质量更高,可靠性更好。

2.4 BIER-MPLS组播方案

一直以来,组播技术存在着协议复杂、扩展性弱、可靠性不强、部署和运维困难的问题,为满足业务发展需求和简化网络协议,业界提出了一种基于比特索引显式复制的新型组播技术 BIER,这种组播技术通过将组播报文目的节点的集合以比特串的方式封装在报文头部进行发送,是一种全新组播转发架构。

BIER 不需要为每条组播流量建立组播转发树及保存组播流状态,减少了对资源的占用,可以支持大规模的组播业务。同时,组播用户加入不再需要逐跳加入组播树,只需要从叶子节点发送给头节点,从而提高了组播用户的加入效率,更适合 SDN 网络中控制器收集组播业务流量的目的地后直接下发。

BIER 技术通过 BitString 中每个比特位表征相应的一位组播流接收者,并将 BitString 携带在报文头中,仅根据 BitString 完成报文复制和转发,中间节点无需感知组播组状态。

在 BIER 组播协议中,支持 BIER 转发的网络域被称为 BIER 域,BIER 域可以划分成多个子域,域内支持 BIER 转发能力的路由器被称作 BIER 转发路由器(Bit Forwarding Router, BFR),当 BFR 作为 BIER 域的入口路由器时,被称为 BFIR (Bit Forwarding Ingress Router),当 BFR 作为 BIER 域的出口路由器时,被称为 BFER (Bit Forwarding Egress Router)。

在 BIER 域内,以 BIER 子域为单位,每个 BFR 配置其在 BIER 子域内唯一的 BIER 转发路由器标识符 (BIER Forwarding Router Identifier, BFR-ID),BFR-ID 用一个 1 到 65 535 范围内的整数标识。通过 IGP 协议,BFR-ID 及其他必要信息(如设备节点的 IP 地址)被泛洪发布,从而生成各节点的转发表(见图 4)。

在图 4 中,转发表中的 ID 即为 BFR-ID,对应到达此 BFR-ID 时的转发命中信息,包括 F-BM (Forwarding BitMask) 信息和 NBR (Neighbor BIER Router) 信息,F-BM 值表示通过 NBR 到所有可达的 BFR 的集合,NBR 表示当前节点的下一跳邻居节点。

2.5 BIER-IPv6 组播方案

虽然 BIER 解决了传统组播的问题,但 BIER 依赖 MPLS 网络,面向 IPv6 演进时仍旧存在局限性,同时,BIER 难以跨域发布 BIER 信息而建立 BIER 转发表。在单播转发领域,基于 IPv6 数据面的 SRv6 日趋成熟,BIER 技术自然也需要顺应 IPv6 网络发展,因此基于 IPv6 转发面的 BIER 组播技术 (BIER-IPv6 技术) 应运而生。与传统的组播技术相比,BIER-IPv6 在路由隔

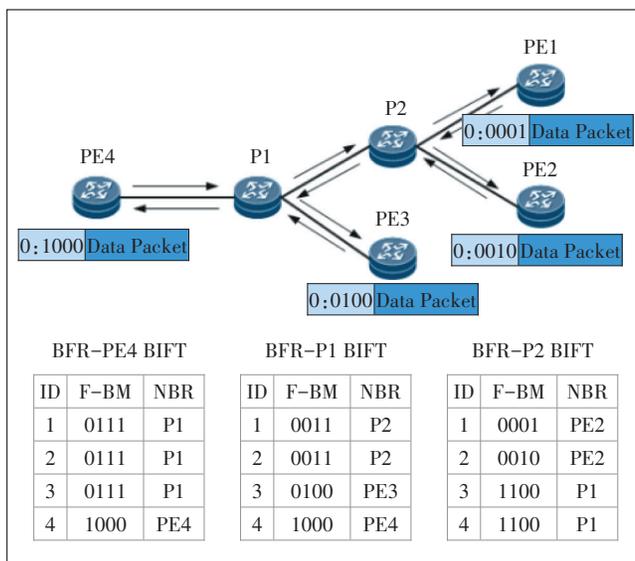


图 4 BIER 组播转发表示例

离、IPv6 演进、技术复杂度和部署方面有明显的优势,具体如表 1 所示。

表 1 BIER-IPv6 与传统组播技术对比

对比项	公网组播方案	mLDP 组播 VPN	BIER-IPv6
路由	组播路由可能与智能城域网设备路由存在冲突	组播路由与公网使用 VPN 隔离,不冲突	组播路由与公网使用 VPN 隔离,不冲突
IPv6 演进	删除重建	技术上可演进	针对 IPv6 的组播方案
扩展性	有扩展能力	有扩展能力	有扩展能力
技术复杂度	一般,现网有应用	LDP+MLDP+BGP, 复杂	协议简单,IGP+BGP
部署优势	技术成熟,有商用	软件升级方式支持	符合 IPv6+ 演进趋势

目前主流的 BIER-IPv6 方案有 3 种,分别为 BIERin6、BIERv6 和 G-BIER,其命名因具体实现技术不同而不同。当前中国联通、中国电信正积极地跟踪研究 BIER-IPv6 技术,中国移动在研究 G-BIER 技术,华为和中兴分别进行了 BIERv6、BIERin6 的技术研究。3 种技术在 BIER 报文头的封装格式上有差异,需要收敛和统一。

2.6 ISIS 隔离的公网组播方案

为了满足组播业务在 VPN 内承载的需求,在 BIER 及 BIER-IPv6 技术未成熟推广、其他组播技术未进行现网业务承载的状态下,可以基于成熟的公网组播方案,在对应网络范围内规划一套组播的 ISIS 协议进程,配置组播 VRF,将组播进行隔离,所有设备的相关端口的组播子接口绑定该组播 VRF,即公网组播运

行在特定的ISIS进程内,进程内配置和操作跟公网组播保持一致。

与公网组播方案相比,此方案的组播路由与公网路由通过ISIS隔离,是成熟技术的叠加应用,无需设备软件版本升级,可快速进行部署应用,达到业务隔离的效果。

3 智能城域网组播方案对比测试

为了验证ISIS隔离的公网组播方案和BIER-IPv6组播方案的可行性,并进行2种业务承载效果的对比,在实验室通过测试仪和智能城域网设备进行了2种业务网络方案的测试验证,为现网业务承载方案进行验证准备。

3.1 测试拓扑

为模拟IPTV业务流程,通过测试仪模拟OLT设备,单归至1台MAR,并通过测试仪模拟终端用户机顶盒,组播源通过测试仪模拟与CR互联,测试中不涉及认证和鉴权流程,无需引入BNG设备(见图5)。设备使用10GE端口互联,组播业务流量为1G,其他业务流量为4G。

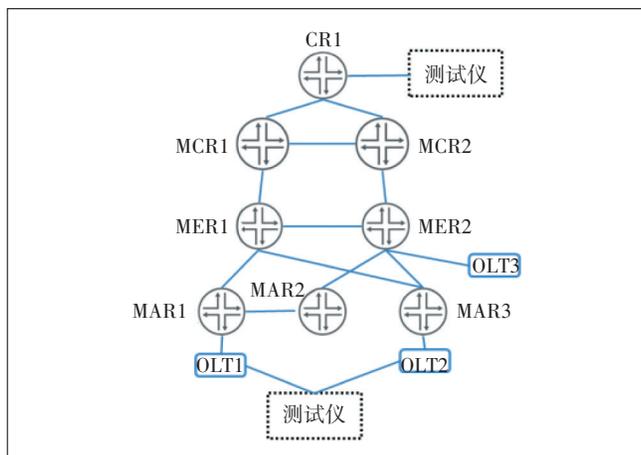


图5 组播方案实验室测试网络拓扑

3.2 业务配置

测试的基本业务包括组播业务、无线业务和专线业务。现网有基于SR协议栈的网络,也有已完成SRv6升级改造的网络,因此业务承载方式和转发方式较多,本次测试,每种业务只选取一种协议栈和承载方式作为背景流使用。组播业务分别通过ISIS+VRF和BERv6 2种方案承载,并进行测试对比,具体业务配置如表2所示。

3.3 测试结果

表2 组播业务测试配置

序号	业务类型	承载方式	隧道类型	业务数量
1	无线业务	BGP L3 VPN	SR-BE	10个VPN, MAR与MCR在同一个VPN中,每个VPN中有1k个私网路由
2	专线业务	EVPN VPWS、EVPN VPLS	SRv6 Policy	每个MAR与MCR之间有5条VPWS和5条VPLS,每个VPLS中有10k个MAC路由
3	组播业务	ISIS+VRF	IP	每个MAR下模拟10个组播成员,组播源含100个组播组
4	组播业务	BIERv6+ MVPN	IP	每个MAR下模拟10个组播成员,组播源含100个组播组

测试主要验证了组播的综合业务部署开局能力、组播组加入/离开的性能指标、终端用户加入/离开组播组对其他业务的影响、综合业务承载下组播业务的转发时延和组播业务的可靠性保护能力。

通过测试验证,2种方案均具备综合业务下的部署开局能力。相比于ISIS隔离的公网组播方案,BIER-IPv6组播方案的组播组平均加入时延约是ISIS的隔离公网组播方案的1/3,平均离开时延约为ISIS的隔离公网组播方案的1/15 000;终端用户加入/离开组播组时均有震荡组播组业务丢包,但对其他业务均无影响;叠加综合业务时,BIER-IPv6方案的组播业务时延最大为96.16 μs,而ISIS隔离的公网组播方案的组播业务时延最大为56.11 μs;在业务链路故障后的可靠性保护上,BIER-IPv6组播方案的丢包时间约为ISIS隔离的公网组播方案的1/100。

测试结果基本符合2种方案的理论数据,BIER-IPv6组播方案在用户加入/离开、可靠性方面有更多优势,在转发时延上差别不大,基本不影响用户感知。

4 智能城域网组播承载方案思考

4.1 目标方案

随着IPv6网络的演进,Segment Routing技术演进方向也收敛到SRv6。为了网络协议的简化和统一,BIER-IPv6是目前可行的组播技术研究方向,也是当前组播承载的目标方案。

以IPTV业务为例,在智能城域网上利用BIER-IPv6方式承载的网络方案如图6所示,需要网络设备端到端支持BIER-IPv6技术,即MAR、MER和MCR都支持和部署配置BIER-IPv6技术。

协议栈基础为IPv6,打通CR到MCR的组播业务物理连接。CR和MCR之间配置静态路由用于组播推流,并通过公网PIM-SM方案承载组播;MCR与CR之

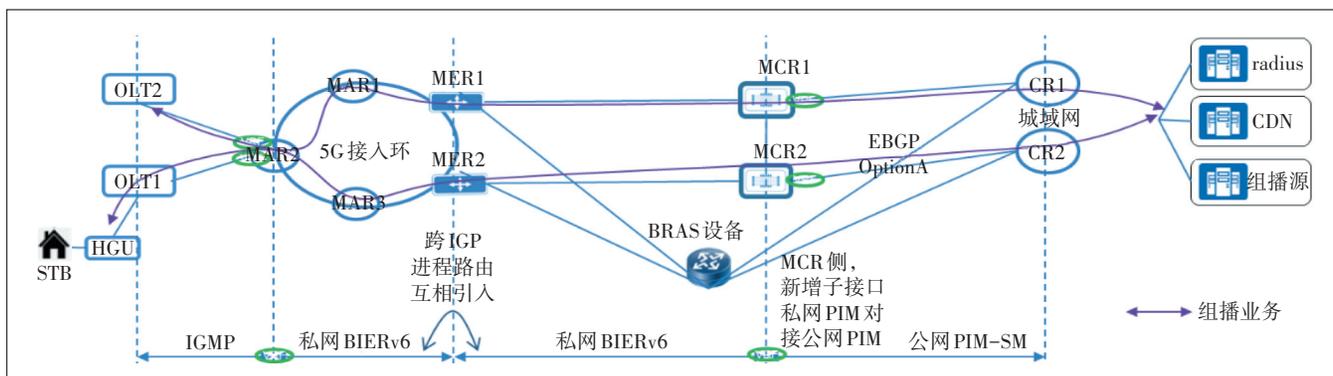


图6 IPTV业务的BIER-IPv6方案

间使用子接口对接,将MCR侧子接口加入到组播VRF中。智能城域网内部通过IGP/BGP传递组播路由,通过BIER-IPv6承载组播业务,在汇聚节点跨IGP进程互相引入公网路由。

4.2 过渡方案

因为BIER-IPv6技术需要规模升级设备,而目前各主要设备厂家的实现方案还未统一,为了实现组播业务隔离,当前阶段可以采用ISIS隔离的公网组播方案。以IPTV业务为例,智能城域网利用此过渡方案的网络承载如图7所示。

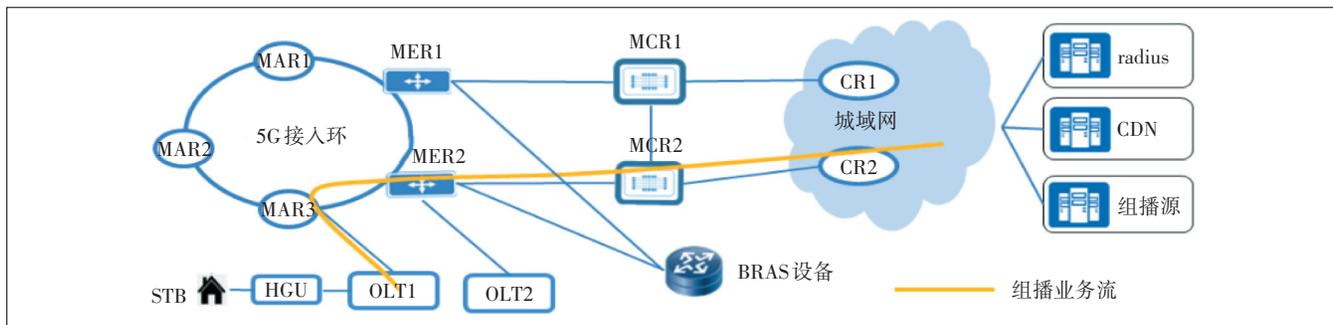


图7 IPTV业务的ISIS隔离公网方案

全网规划组播ISIS协议进程,同时所有设备使用网络侧子接口绑定该组播VRF。在该ISIS进程中部署PIM以及IGMP等组播协议,具体操作与公网组播一致,通过BNG完成认证操作,组播业务流为CR-MCR-MER-MAR-OLT-用户,不经过BNG。

4.3 部署建议

通过对比各种网络承载方案,可根据需求紧急程度选择智能城域网上的组播业务承载网络方案,如果业务承载需求紧急,在BIER-IPv6技术不成熟、标准化不高的状态下,推荐采用ISIS隔离的公网组播方案,一步到位;如果业务承载需求不紧急,可以选择BIER-IPv6方案,先进行局部业务试点,再随着技术成熟推进其规模应用部署。

5 结束语

本文从组播技术方案的演进入手,结合智能城域

网网络特点、业务属性及设备能力,进行了智能城域网组播网络方案的研究,对比分析了2种不同的部署方案。同时,结合场景测试,对方案进行了验证,给出了部署建议。

参考文献:

- [1] 新华三. 组播概述[EB/OL]. [2024-01-04]. https://www.h3c.com/cn/d_202106/1413129_30005_0.htm.
- [2] 新华三. 组播技术白皮书[R/OL]. [2024-01-04]. https://www.h3c.com/cn/d_200803/336048_30003_0.htm.

作者简介:

熊礼霞,毕业于南京邮电大学,高级工程师,硕士,主要从事数据通信网络的研究工作;张旭,毕业于郑州大学,工程师,硕士,主要从事数据通信网络的研究工作;陈燕,毕业于悉尼大学,工程师,硕士,主要从事数据通信网络的研究工作;孟丽珠,毕业于西安电子科技大学,工程师,硕士,主要从事数据通信网络的研究工作。