



新型多播技术（BIER）及原型系统

喻敬海, 张征, 彭少富

(中兴通讯股份有限公司, 江苏 南京 210012)

摘要: 介绍了新型多播技术位一索引显式复制 (bit indexed explicit replication, BIER) 的原理与优势, 并将其与传统多播技术进行对比分析, 指出 BIER 技术是未来网络演进的重要选择。同时通过原型系统的介绍, 详细分析 BIER 的可实施性、现网演进能力等。并相信在 SDN 演进趋势下, BIER 技术是可控多播的必然选择。

关键词: 多播; 按位显示复制转发; 原型

中图分类号: TN915.41

文献标识号: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019221

New multicast technology (BIER) and prototype system

YU Jinghai, ZHANG Zheng, PENG Shaofu

ZTE Corporation, Nanjing 210012, China

Abstract: The principle and advantages of BIER were introduced, and it was compared with traditional multicast technology. It was pointed out that BIER technology was an important choice for future network evolution. At the same time, through the introduction of the prototype system, the feasibility of the BIER and the evolution capability were analyzed in detail. It was predicted that BIER technology was an inevitable choice of controllable multicast under the trend of SDN evolution.

Key words: multicast, BIER, prototype

1 引言

IP 多播业务广泛部署于网络中, 用于向大量接收者分发内容, 具有高效与并发的优点。按照通信方式可以将多播应用分为: 点对多点的应用、多点对多点的应用、多点对点的多播应用^[1]。

随着传统媒体与新兴媒体加速融合, 媒体的业务形态、传输分发、接收服务等全流程都发生了巨大变化, 媒体内容格式向 4K/3D 高清/高维发

展, 媒体呈现形态从传统的直播单屏向直播与交互协同的多屏方式演进, 同时 VR、AR 等新型视频业务出现, 导致网络流量剧增。但是因为传统多播技术还存在较多的问题, 导致很多多播业务开展, 采用单播或者应用层多播方式, 不仅带宽浪费严重, 而且服务质量、用户体验也不达标。

传统多播技术存在如下问题。

- 路由器必须为每个多播组保存状态, 扩展性差。

收稿日期: 2019-04-10; 修回日期: 2019-10-26



- 要求所有路由器都支持多播，不利于多播的推广使用。
- 多播收敛时间长。网络拓扑变化时都需要先做单播收敛，当单播收敛后，多播协议再为每个多播树重新做收敛处理，从而收敛到新的多播树。在大型的多播部署中，多播收敛时间可达到分钟级别。
- 多播成员的加入、退出和管理等开销大。
- 多播地址空间有限（IPv4），不利于多播业务开展（目前网络上一个视频有多种分辨率，每种都需要一个独立的多播地址）。
- 缺乏灵活的管控手段，难以进行计费管控。
- IP 多播在安全、拥塞控制等方面存在问题^[1]。
- 多播 VPN 技术选择繁杂，网络部署要求高，运营维护困难。
- 多播源及成员移动性支持机制复杂。

另外，在向 IPv6 的演进过程中，传统多播在框架和技术上并没有大的改变，主要解决了 IPv4 多播地址不足的问题，但是，同样引入了大量多播转发表项，带来了设备成本、性能的巨大压力。

针对上述问题，国际标准组织 IETF (the internet engineering task force) 在 2015 年成立了位索引显式复制 (bit indexed explicit replication, BIER) 工作组，推出一种十分简洁的多播报文转发技术。其转发方式在本质上是一种源路由技术，在报文头中包含转发路径相关的控制信息，中间节点不需要多播路由协议参与，同时多播转发表项大大减少。

2 BIER 实现极简多播网络

整个 BIER 技术的分层架构如图 1 所示，从转发面来讲，分为 3 层架构^[2-3]。

(1) 路由支撑层

负责基本路由打通，并传递 BIER 相关路由信息，形成 BIER 转发表。

(2) BIER 转发层

负责 BIER 报文的封装/解封装。按位转发入

口路由器 (bit-forwarding ingress router, BFIR) 添加封装，按位转发路由器 (bit-forwarding router, BFR) 按位转发，按位转发出口路由器 (bit-forwarding egress router, BFER) 解封装。

(3) 多播业务层

上层多播流量管理，多播相关信息的传递 (如多播源、接收端等)，有了这些信息，BIER 层就知道如何封装、转发。

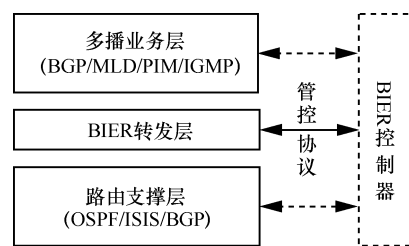


图 1 BIER 分层架构

另外，为方便 BIER 技术的实际部署和后续业务演进，可以增加一个 BIER 控制器，控制器通过管控协议参与 BIER 的业务管控和转发部署。

BIER 由头节点 (BFIR) 维护业务流转发控制和出节点指示封装，中间节点无须维护多播状态及业务相关转发表项，大大减少了业务转发所需的复杂协议。它通过 IGP 和 BGP 扩展^[4-6]全网洪泛节点的 BFR-id、前缀、子域等信息，无须额外的信令 (如 PIM) 来维护多播路由。而在 MVPN 场景中，传统的多播技术更为复杂，面临如下的技术选择及组合：PE 间信令 (如 PIM、mLDP、mBGP)、P 隧道信令 (如 PIM、LDP、RSVP-TE、扩展的 IGP)、P 隧道封装 (如 GRE、mpls)、P 隧道拓扑 (如点到点、点到多点、多点到点、多点到多点) 等^[7]。而采用 BIER 解决此类问题，就非常简洁，使用 BIER 作为 P 隧道技术，免掉了各种信令及组合选择困难^[8]。

BIER 不仅具备前述的简化优势，而且带来了扩展性、路径收敛、管控能力、移动性支持、演进部署等方面的好处。

(1) 扩展性

BIER 是在报文封装中携带的位串 (bit string) 来指明接收端, 为了能够适应大规模部署, 需要采取措施压缩位串长度。BIER 采用了 3 种措施, 尽量压缩位串长度。

- BIER 封装中, 每个比特位代表一个 BFER, 尽力压缩报文头中需要的位串长度。
- 在 BIER 网络中, 只有边缘节点需要分配 BFR-id, 中间转发节点不需要, 减少了位串长度, 扩大了网络部署范围。
- 采用集合分割方式, 避免因为 BFR-id 增加而加大封装头部的位串长度, 增加 BIER 部署的扩展性。

BIER 网络不需要多播路由, 也不需要维护业务相关的路由表及业务状态, 转发表项只和拓扑相关, 表项非常小。增删中间转发节点, 不需要多播业务相关的配置, 相当于即插即用, 扩展方便。另外, 只要在边缘节点能够进行区分, 那么 IPv4 多播地址就可以重复, 减轻了 IPv4 多播地址短缺带来的扩展性问题。

(2) 路径收敛

BIER 网络在路由方面, 只需要单播路由协议支撑, 因此在路径收敛时具备如下优点:

- 继承单播的快速重路由 (fast reroute, FRR) 等路径保护技术。
- 基于路由收敛时, 因为不需要多播路由收敛过程, 单播路由收敛完成, 就代表 BIER

完成收敛, 比传统多播收敛快。

(3) 管控能力

BIER 的技术特点, 带来了一个非常显著的优点, 就是非常适合管控。结合 SDN 技术, 可以带来精细化的业务管控能力。

BIER 在 BFIR 上可以完全控制业务流投递的接收端 (BFER), 这样基于一个控制点, 就可以控制业务的流向和接收者, 摆脱了传统多播控制困难、难以收费的困境。

同时, BIER 的这种单点管控的方式, 还带来了移动性支持方面的好处。当多播源移动时, 只要由控制器切换多播源关联的 BFIR 就能解决问题, 避免传统多播树重建过程, 或者流量绕行的问题。当接收端移动时, 只需要在 BFIR 修改位串, 就可以正确投递多播业务。

BIER 带来这种超强的管控能力, 天然契合 SDN 演进趋势, 为未来多播经营、打造开放运营平台及新的生态模式, 带来技术可行性。

(4) 演进部署

BIER 在现网部署, 考虑控制面和转发面部署及演进方式。

控制面部署方式有两种, 第一种是转发设备独立运作, 第二种是加入控制器, 配合部署管理, 如图 2 所示。

- 第一种方式, 各种配置、协议交互都在转发设备上完成。这种方式下, 不需要额外的控制器部署环节, 和现在网络的部署方

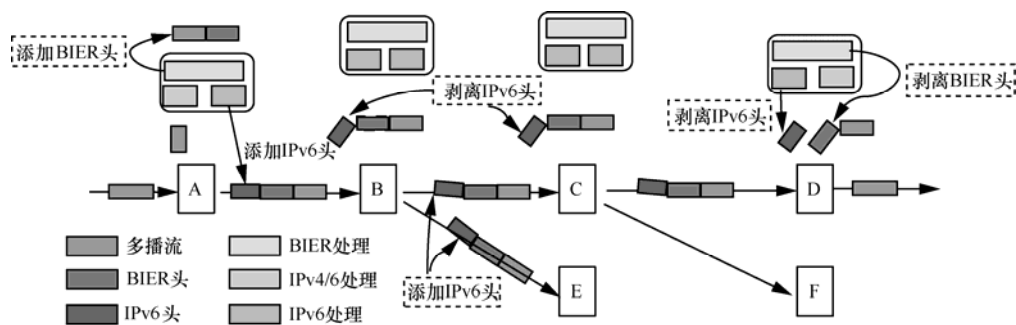


图2 BIER 双栈模式



式近似。

- 第二种方式，加入控制器进行各种管理、配置，甚至路径计算和下发。这种方式，减轻转发设备的负担，同时可以为应用层提供一个统一的、开放的 API 平台，方便后续提供增值服务。

转发面部署方式比较多，典型的有 6 种方式：BIER 单域、BIER 多域、BIER 混杂域、BIER 混合域、BIER 层次化域、双栈模式，较好地体现了 BIER 技术的简洁、灵活的特性，适应网络的演进及网络的扩展。

- BIER 单域：指在多播业务端到端网络中，只创建了一个 BIER 域及子域。
- BIER 多域：指在多播业务端到端网络中，创建了多个不交叉的 BIER 域或者子域。
- BIER 混杂域：指创建的 BIER 域或子域中，有不支持 BIER 转发的设备要参与多播流的转发。此时，BIER 报文走隧道跨越不支持 BIER 的节点，可以利用各种隧道（MPLS、GRE 等）技术。
- BIER 混合域：指在多播业务端到端网络中，创建了多个 BIER 子域，且有设备节点，属于多个子域。
- BIER 层次化域：指在多播业务端到端网络中，创建了多个 BIER 子域，其中一个 BIER 子域是另外一个 BIER 子域的承载隧道，形成层次化的 BIER 域。
- 双栈模式：其是在 IPv6 演进中的一个技术方法，设备节点支持 IPv6 和 BIER，在不升级硬件的情况下，获得 IPv6 的转发加上 BIER 的多播可控的优点。双栈模式的运作方式如图 2 所示。

3 原型系统

根据 BIER 的原理，开发了原型系统，整个

原型系统包括 App、控制器、BIER 转发设备。本章将重点描述转发设备原型、测试用例、测试情况。

3.1 原型系统构成

实现的完整原型系统如图 3 所示，包括 BIER App、BIER 控制器、BIER 转发设备。

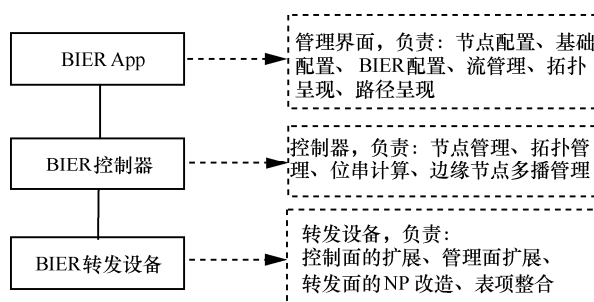


图 3 BIER 原型系统

目前，BIER App 和 BIER 控制器，在 ODL（OpenDaylight）进行了开源。BIER 控制器是基于 ODL 开发的 BIER 控制器组件。BIER App 通过加载容器 DLUX（ODL 的界面框架项目）引导 BIER APP 的加载。BIER App 和控制器之间通过 RESTConf 进行交互。BIER 转发设备，基于现有设备，通过改造协议栈以支持 BIER 协议扩展，通过改造 NP（网络处理器）处理流程，支持位串匹配查找，实现 BIER 转发。

3.1.1 BIER App

BIER App 是 BIER 控制器的管理界面，主要分为七大模块。BIER App 的软件模块构成如图 4 所示。

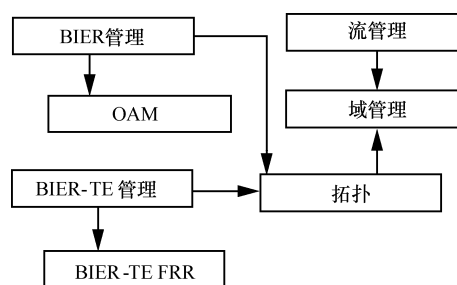


图 4 BIER App 软件模块

拓扑模块是基础模块，包含物理拓扑和 BIER 域的逻辑拓扑。拓扑集可以和各个模块进行挂接，

而不需要各模块重复处理和存储；域管理模块用于给拓扑中节点划分不同的域和子域，甚至域间可以多重嵌套和组合。域的属性可以支持 BIER 和 BIER-TE，和不同的拓扑进行挂接，形成一个完整的域管理；BIER 管理模块和 BIER-TE 管理模块，用于给域中节点和链路，配置 BIER 及 BIER-TE 相关属性；流管理模块，用于配置多播流信息，并将对应 BIER 域拓扑中的 BFIR 和 BFER 关联到多播流；TE-FRR 模块，用于对 BIER-TE 的链路进行路径保护配置和管理；OAM 模块，用于对多播进行 ping 和 trace 功能触发及结果展示。

整个系统以域管理为核心，以拓扑为基础，通过挂接，实现效率和灵活性的平衡。

3.1.2 BIER 控制器

BIER 控制器提供 BIER 管理、路径计算、流管理、南北向接口等功能，大的功能模块包含 7 部分，如图 5 所示。其中，有 3 个模块和上面描述的 App 模块是对应的，用于处理 App 的查询、配置等请求，包括流管理模块、BIER 节点管理模块、OAM 模块。控制器的另外 4 个模块，是业务控制、数据库、BIER 南向接口以及路径计算模块。

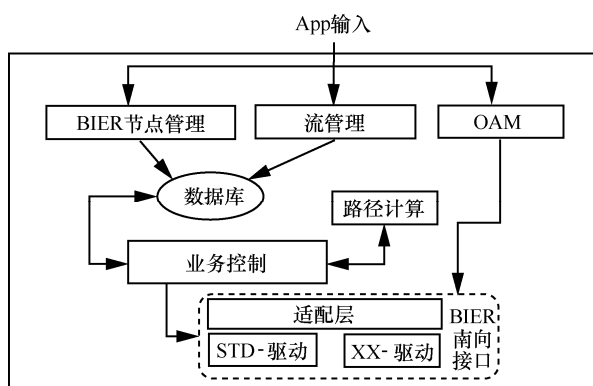


图 5 BIER 控制器软件模块

(1) BIER 南向接口模块是 BIER 南向接口模块，采用 Netconfig 及 YANG（网络配置的数据建模语言）模型向 BFR 下发 BIER 相关配置

信息。

为了增加扩展性，支持异构的 BIER 转发设备，此部分专门做了一个适配层，不同的 BIER 转发设备按照一定的规范接口提供设备强相关的驱动，就可以纳入控制器进行管理，控制器的其余部分不需要变化。除了适配模块，系统内置两个驱动模块。

- 适配层：向业务控制模块提供标准的 BIER、BIER-TE 信息、流信息配置接口，并屏蔽南向驱动的差异。
- STD-驱动：按照标准 YANG 模型，实现对 BFR 的 BIER 配置、多播流配置、BIER-TE 转发表等的下发。
- XX-驱动：支持特定厂商提供的私有 YANG，实现的功能与 STD-驱动类似。

(2) 业务控制模块和数据库是控制核心，是数据流转和消息处理的核心。多种数据的存储和整合、消息处理和事件触发处理都在此模块。这样的设计保障了数据一致性，避免过多的数据读/写带来的锁冲突。同时，以数据库为中心，侦听数据库的变化，减少进程间的消息传递。同时调用路径计算的功能，计算出对应的路径，生成位串。

(3) 路径计算模块是个轻量级可定制的算路模块，提供灵活的算法外部接口。模块内置最短路径算法，同时，允许调用者自己提供算法接口。路径计算的调用接口需要提供拓扑标识、算法类型等信息。

3.1.3 BIER 转发设备

BIER 转发设备 (BFR) 涉及的方面比较多，此处简略说明一下 BFR 的控制面和硬件转发模型。

(1) BFR 控制面

BFR 控制面软件架构如图 6 所示，涉及的内部模块非常多，大的方面来讲，分为配置管理（网



管、控制器输入)、路由协议、路由表项管理、标

BIER 信息。

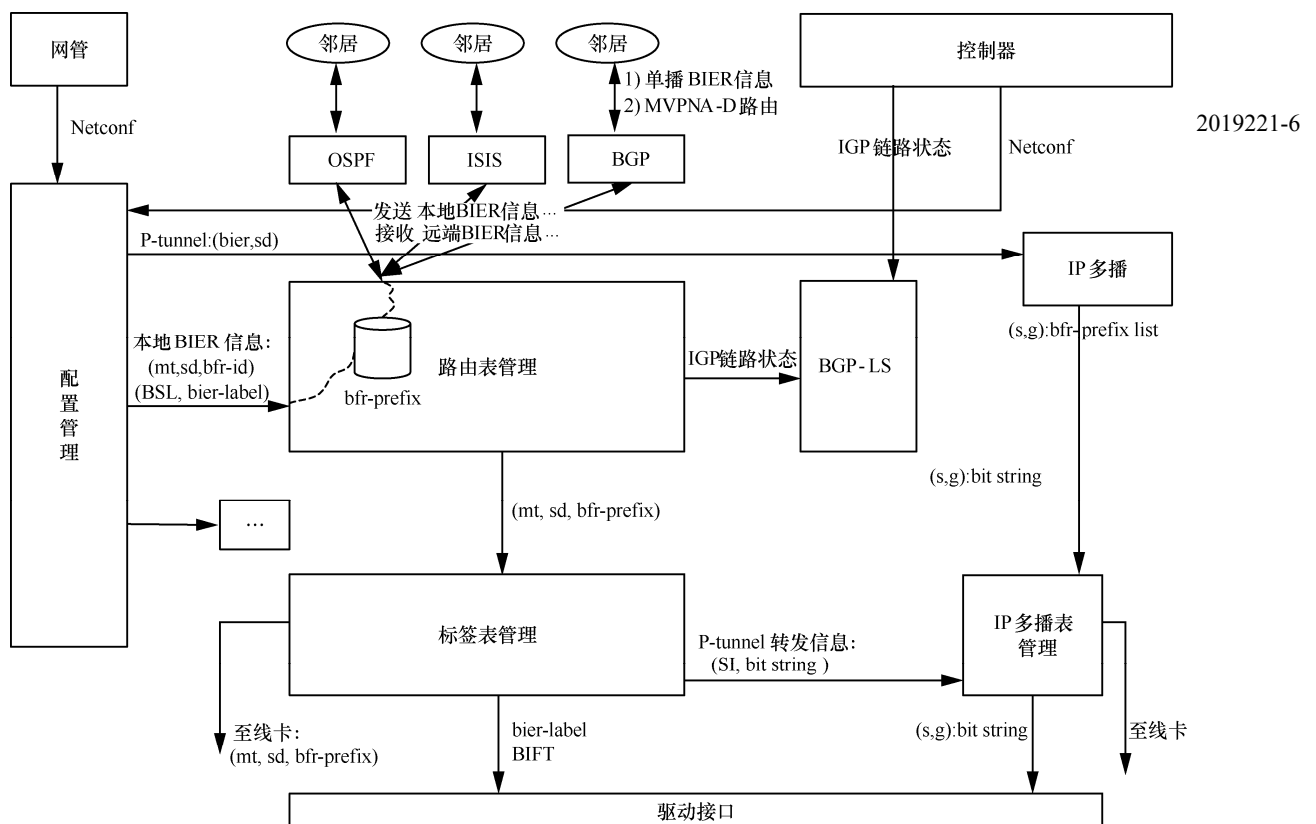


图6 BFR 控制面软件模块

签表管理、IP 多播、IP 多播表管理、驱动接口。

- 配置管理：网管、控制器，通过 Netconfig 协议下发 BIER 相关配置，另外，设备自身的命令行(CLI)也可以进行相关的配置。
- 路由协议：包括 OSPF、ISIS、BGP 的 BIER 扩展，并将 BIER 信息进行洪泛。
- 路由表管理：将路由协议学习到的路由信息和静态配置的路由信息，进行整合、计算，生成最优路由给各模块使用。此处，BIER 会利用它生成转发树。
- 标签表管理：用于设备内部的各种隧道整合管理、标签管理，BIER 出端口在这里被作为一种特定的隧道进行管理和转换。
- IP 多播：主要是多播流的管理，具体到 BIER，就是管理对应的多播业务流对应的

- IP 多播表项管理：形成下发到底层驱动的多播表项，这个和具体芯片相关，要转换为芯片需要的格式。
- 驱动接口：一个统一的驱动下发接口，用于屏蔽各种不同的底层实现。

整个设计的思路是融合、整合、高效。因为 BIER 依赖于一些现有技术，因此在路由协议扩展、配置通道方面，BIER 都融入了现有的模块中。而对于表项管理，是尽量和现有的表项管理进行整合，采用加入特定字段的方式，这样不需要改动太多的表项管理操作和协议接口，需要时又可以整合出 BIER 自身需要的虚拟表项。为了高效转发，对于具有相同下一跳的比特位进行转换，避免反复查表。

(2) BFR 转发面

BFR 转发面硬件架构复杂, 在图 7 进行了抽象, 描述了针对 BIER 转发的一些特殊处理。

对于分布式设备, 图中第 2 步可以有些优化

在开始测试前, 还需要对 BFR 进行一些基础的地址规划和相关的基础协议配置, 有 4 个主要的配置:

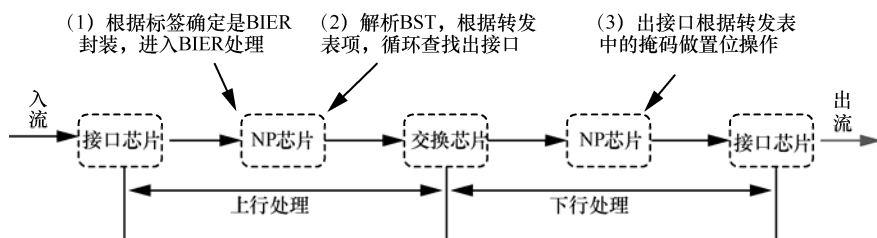


图 7 BFR 转发面 BIER 报文处理

方法, 减少查表匹配的次数。对于集中式设备, 图中第 2 步和第 3 步是合一的。

3.2 原型验证

针对上述原型系统, 进行了一些测试, 验证整个系统的运转和 BIER 技术的可行性。下面根据测试组网、测试用例、测试结果做一个简略的介绍。

3.2.1 测试组网

测试组网如图 8 所示, 共有 6 台 BFR, 用测试仪发流。控制器和 App 通过一个交换机与 BFR 连接。BFR-id 为 1 的 BFR 是 BIFR, BFR-id 为 2、3、4 的 BFR 为 BFER, 另外两台 BFR5、BFR6 不是边缘设备, 可以不分配 BFR-id。在测试演进功能时, BFR5 还承担非 BIER 设备角色。

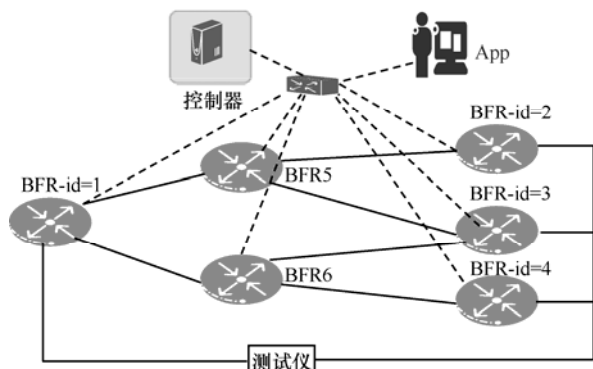


图 8 测试组网

- BFR 间的 IGP 协议路由配置, 此处使用 ISIS 协议;
- BIER 控制器和 BFR 间的路由;
- BIER 控制器和 BFR 间的 Netconfig、BGP-LS 的通信地址配置;
- 在测试演进功能时, 将某节点配置为非 BIER 节点, 配置隧道和 FRR。

BFR 地址规划见表 1。

表 1 BFR 地址规划

资源属性	地址信息	说明
环回地址 1	1.1.1.X/32	IGP 协议使用地址
环回地址 2	2.2.2.X/32	BFR 与控制器 BGP-LS 建链地址
环回地址 3	3.3.3.X/32	BFR 与控制器 Netconfig 建链地址
转发设备层面互联地址	10.1.1.X/30	BFR 端口地址
隧道子接口	20.1.1.X/30	演进场景时, 非 BIER 节点隧道地址

3.2.2 测试用例

测试用例条目见表 3。

- 条目 1, 验证各系统 (App、控制器、BFR) 的协作功能, 这是整个测试的基础。
- 条目 2, 验证 BIER 相关的配置下发。



- 条目 3、5，验证 BIER 的流管理以及易管控的特性，具备开展按需多播业务的能力。
- 条目 4，验证 BFR 的 BIER 协议扩展、转发能力。
- 条目 6，验证 BIER 可以和不支持 BIER 的
- 条目 6，是将 BFR5 配置成非 BIER 节点，BFER 是 BFR-id 为 3、4 的两个节点。此时，到 BFR-id 为 3 的流量是通过 BFR5 的 MPLS 隧道转发的。
- 条目 7，是通过备用路径 BFR5→ BFR6→ BFR-id 4 来保护 BFR5→BFR-id 4 的主路

表 3 测试用例

2019221-7	序号	测试用例	说明
	1	BIER 网络拓扑发现与显示	基于 BGP-LS 和 Netconfig 的拓扑发现
	2	BIER 基本配置下发	BIER 的业务配置（域、SD、SI、BSL）
	3	业务流配置管理	多播流管理
	4	基本流转发	TC 打流
	5	业务流管控	演示 BIER 的可控多播特性
	6	平滑演进案例	演示 BIER 设备和非 BIER 设备混合组网
	7	BIER 路径保护一（基于原有 FRR 保护）	演示 BIER 可以继续利用原有的保护功能
	8	BIER 路径保护二（基于 IGP 协议收敛保护）	演示 BIER 基于 IGP 的收敛，不需要原来的多播收敛过程

设备混合组网，支撑现网平滑演进。

- 条目 7、8，验证 BIER 的保护，既可以利用现有的保护手段，也可以依靠 IGP 的自然收敛，形成保护。

3.2.3 验证结果

上述测试用例都通过测试，下面针对 8 个用例进行一些简单说明。

- 测试条目 1、2 是基础能力，主要是整个系统的管理功能体现。
- 条目 4，转发能力和性能测试，测试时，BSL 长度为 256 256 byte 大小报文转发性能和原来的 IP 多播转发性能相当，基本达到线速，略好于二三层 VPN 性能。
- 条目 3、5，可以为不同多播流，配置不同的 BST，让流量发送到不同的 BFER。

径，启用 FRR，达到 50 ms 的快速收敛。

- 条目 8，是采用 IGP 自收敛方式，BFR5→ BFR-id 4 的路径断开后，依靠 IGP 路由收敛，自动将路径切换到 BFR5→BFR6→ BFR-id 4，保护时间为 4 s。

2019221-8

4 结束语

综上所述，BIER 技术解决了传统多播的扩展性、管控、移动性、地址短缺等方面的问题。不过在安全性、拥塞控制方面并没有太多改善，同时，BIER 技术对转发面有改变，需要得到转发芯片的支持，带来一定的部署难度。目前 BIER 技术得到众多厂商和运营商的支持和参与，开始在现网进行部署。本文的 BIER 原型系统也充分验证了 BIER 技术成熟度，相信 BIER 技术随着时间推移将得到更多的应用与发展。

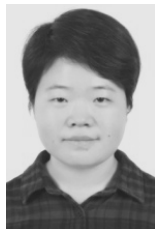
参考文献:

- [1] 刘莹, 徐格. Internet 组播体系架构[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 249-250.
LIU Y, XU G. Internet multicast architecture[M]. Beijing: Science Press, 2008: 249-250.
- [2] IETF. Multicast using bit index explicit replication (BIER): RFC8279 [S]. 2017.
- [3] IETF. Encapsulation for bit index explicit replication (BIER) in MPLS and Non-MPLS networks: RFC8296 [S]. 2018.
- [4] IETF. Bit Index explicit replication (BIER) support via IS-IS: RFC8401 [S]. 2018
- [5] IETF. OSPFv2 extensions for bit index explicit replication (BIER): RFC8444[S]. 2018.
- [6] IETF. Draft-ietf-bier-idr-extensions-06 - BGP Extensions for BIER[S]. 2019.
- [7] ANTONIO S M, KRZYSZTOF G S. MPLS in the SDN Era[M]. Sebastopol O Reilly Media, 2015.
- [8] IETF. RFC8556-Multicast VPN using bit index explicit replication (BIER) [S]. 2018.

[作者简介]



喻敬海（1970—），男，中兴通讯股份有限公司数据系统部技术预研项目经理，主要研究方向为 BIER、确定性业务承载技术、以太网、IP 路由、云计算数据中心网络、SDN 等。



张征（1978—），女，中兴通讯股份有限公司有线架构团队 IP 路由标准项目经理，主要研究方向为 BIER、IP 单播/多播路由、数据中心网络、SDN、网络切片等。



彭少富（1978—），男，中兴通讯股份有限公司软件平台技术预研项目经理，主要研究方向为 BIER、IP/MPLS、SR 等。