

# IPv6+技术白皮书

---

Copyright © 2022 新华三技术有限公司 版权所有，保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

除新华三技术有限公司的商标外，本手册中出现的其它公司的商标、产品标识及商品名称，由各自权利人拥有。

本文中的内容为通用性技术信息，某些信息可能不适用于您所购买的产品。

# 目 录

1 概述.....	1
1.1 产生背景.....	1
1.2 技术优势.....	1
1.3 技术发展阶段.....	2
2 IPv6 灵活的扩展头.....	2
2.1 IPv6 扩展头的报文格式.....	2
2.2 IPv6 扩展头类型.....	3
3 IPv6+关键技术.....	4
3.1 SRv6.....	4
3.1.1 SRv6 概述.....	4
3.1.2 SRv6 技术优势.....	5
3.1.3 SRv6 报文转发方式.....	5
3.1.4 SRv6 高可靠性.....	6
3.1.5 SRv6 VPN.....	6
3.2 G-SRv6.....	6
3.3 网络切片.....	7
3.3.1 网络切片概述.....	7
3.3.2 网络切片的价值.....	7
3.3.3 网络切片的技术方案.....	8
3.4 iFIT.....	9
3.4.1 iFIT 概述.....	9
3.4.2 iFIT 技术优点.....	9
3.4.3 iFIT 应用场景.....	9
3.5 BIER.....	11
3.5.1 BIER 概述.....	11
3.5.2 技术优点.....	11
3.6 SRv6 SFC.....	12
4 IPv6+典型组网.....	13
4.1 SRv6 应用.....	13
4.2 网络切片应用.....	13
4.3 可视化应用.....	14

5 参考文献 .....15

# 1 概述

## 1.1 产生背景

5G、物联网和云计算等新兴领域的飞速发展，使得网络规模急剧扩大、网络复杂度不断增加、业务种类愈加丰富、智能化需求与日俱增，网络技术面临着新的挑战：

- 在万物互联的需求下，网络需要提供海量的地址空间，以实现为每个终端分配一个网络地址。
- 网络连接数和网络流量巨大，对网络的带宽、传输和承载能力提出了更高的要求。
- 业务种类繁多，业务需求多种多样，需要为不同业务提供差异化服务，实现不同的 QoS 保障。
- 要求网络支持智能联接、智能运维等，以满足不断涌现的智能化需求。

第一代网络层协议 IPv4 地址空间不足，无法满足万物互联的需求。第二代网络层协议 IPv6 (Internet Protocol Version 6, 互联网协议版本 6) 采用 128 位的 IPv6 地址，可以提供超过  $3.4 \times 10^{38}$  个地址。

IPv6 协议主要具有如下优势：

- IPv6 具有足够大的地址空间，可以为每一个具有联网需求的终端提供 IPv6 地址，而不用担心地址耗尽，极大地增强了互联网的服务能力。
- 终端可以使用各自的 IPv6 地址进行端到端的通信，无需进行地址转换，降低了网络维护复杂度，有利于实现精准的网络流量监控和管理。
- 相对于 IPv4, IPv6 简化了报文头，取消了 IPv4 报文头中的选项字段，并引入多种扩展报文头，在提高处理效率的同时还大大增强了 IPv6 的灵活性，提供了良好的扩展能力。

IPv6 可以为互联网和物联网提供更加广泛的连接，是实现万物互联的基础。但在新业务蓬勃发展的形势下，仅仅实现万物互联是远远不够的，还需要考虑业务差异化、运维智能化等需求。

为此，IPv6+ 在 IPv6 协议的基础上进行了大规模的创新，如 SRv6、网络切片、随流检测 (iFIT)、新型组播 (BIER)、业务链 (SRv6 SFC)、确定性网络 (DetNet) 和应用感知网络 (APN6) 等网络技术创新，并增加了智能识别与控制。

IPv6+ 是面向 5G 和云时代的智能 IP 技术，具有可编程路径、快速业务发放、自动化运维、质量可视化、SLA 保障和应用感知等特点。IPv6+ 将万物互联提升到了万物智联，助力各行各业的数字化转型。

## 1.2 技术优势

IPv6+ 不仅具有 IPv6 协议的地址空间巨大、扩展灵活等特点，还在如下几个方面提升了 IP 网络的能力：

- 广联接：利用 SRv6 等技术，为多种业务提供承载服务和差异化服务，实现网络灵活部署和流量灵活调度，最大程度保障用户体验。
- 确定性：综合利用网络切片、DetNet 确定性网络等技术，为用户提供服务质量可预期的确定性网络。
- 低时延：合理调配资源，为时延要求高的业务提供高速数据通道，确保时延在业务要求的范围内。
- 安全性：快速识别安全风险、实施安全防护措施，极大提高网络的安全性。

- 智能化：利用人工智能、随流检测等技术，实现智能运维，将用户意图自动转换为网络配置要求，并能够自动预测、识别、定位和排除故障。

## 1.3 技术发展阶段

IPv6+技术创新体系的发展分为三个阶段：

- IPv6+1.0：通过 SRv6 提供网络编程能力，主要特性为 SRv6 基础特性，包括 TE、VPN、FRR 等。
- IPv6+2.0：通过技术创新，保障用户体验。IPv6+2.0 的技术创新包含但不限于 G-SRv6、网络切片、iFIT、BIER、SRv6 SFC（service function chaining，业务链）、DetNet 确定性网络等。
- IPv6+3.0：发展应用驱动网络，主要特性为 APN6（application-aware IPv6 networking，感知应用的 IPv6 网络）。APN6 利用 IPv6 报文的路径可编程特点，将应用信息和用户信息（应用标识、对网络性能的需求等）携带在 IPv6 报文中，使得网络能够感知到应用及其需求，并为其提供相应的 SLA 保障，实现差异化服务和流量智能调优等。

目前，Comware 已完全实现 IPv6+1.0，并已实现 IPv6+2.0 的大部分技术，IPv6+的更多技术也在逐步实现当中。

## 2 IPv6 灵活的扩展头

IPv6 扩展报文头为 IPv6 协议提供了良好的扩展能力，使得在 IPv6 协议基础上进行技术和业务创新更加便捷。IPv6+的部分技术创新便是以 IPv6 扩展报文头为基础。

### 2.1 IPv6扩展头的报文格式

一个 IPv6 报文可以携带 0 个、1 个或多个扩展头。如[图 1](#)所示，IPv6 通过 Next header 字段标明下一个扩展头的类型。例如，IPv6 基本报文头中的 Next header 字段取值为 43 时，表示紧跟在 IPv6 基本报文头后的扩展头为路由头；路由头中的 Next header 字段取值为 44 时，表示路由头后的扩展头为分段头。

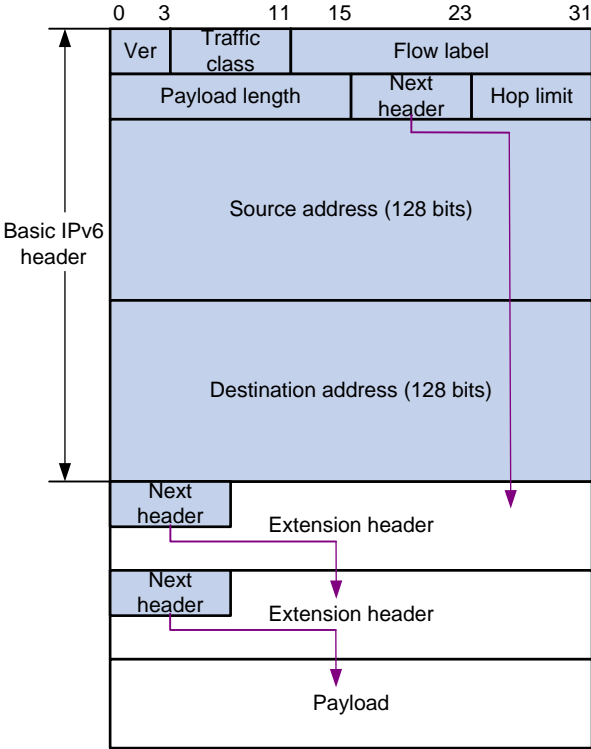


说明

最后一个扩展头的 Next header 字段用来标识 Payload 类型。例如，取值为 6，表示 Payload 为 TCP 报文；取值为 17，表示 Payload 为 UDP 报文。

---


图1 IPv6 扩展头的报文格式



## 2.2 IPv6扩展头类型

IPv6 支持的扩展头如表1所示。扩展头使得 IPv6 协议具有良好的扩展性。根据业务需要，IPv6 不仅可以定义新的扩展头，还可以在已有扩展头中定义新的子扩展头。

表1 IPv6 扩展头

扩展头名称	类型值	处理节点	用途	协议应用
逐跳选项头 (Hop-by-Hop Options Header)	0	报文转发路径上的所有节点	用于巨型载荷告警、路由器告警、预留资源 (RSVP)	用于网络切片等协议
路由头 ( Routing Header)	43	目的节点及报文必须经过的中间节点	用来指定报文必须经过的中间节点	用于SRv6等协议
分段头 ( Fragment Header)	44	目的节点	<p>当IPv6报文的长度超过报文经过路径的PMTU (Path MTU, 路径MTU) 时，源节点将通过分段头对该IPv6报文进行分片</p> <p>在IPv6中，仅源节点可以对报文进行分片，中间节点不可以对报文进行分片</p> <p> 说明</p> <p>PMTU 是从源节点到目的节点的报</p>	-

扩展头名称	类型值	处理节点	用途	协议应用
			文转发路径上最小的 MTU	
封装安全载荷头 (Encapsulating Security Payload Header, ESP Header)	50	目的节点	用来提供数据加密、数据来源认证、数据完整性校验和抗重放功能	用于IPsec等协议
认证头 (Authentication Header)	51	目的节点	用来提供数据来源认证、数据完整性校验和抗重放功能，它能保护报文免受篡改，但不能防止报文被窃听，适合用于传输非机密数据 AH提供的认证服务要强于ESP	用于IPsec等协议
目的选项头 (Destination Options Header)	60	目的节点、路由头中指定的中间节点	用来携带传递给目的节点、路由头中指定中间节点的信息。例如，移动IPv6中，目的选项头可以用于在移动节点和家乡代理之间交互注册信息	用于BIER、iFIT等协议

## 3 IPv6+关键技术

目前，Comware 支持的 IPv6+网络技术创新协议包括：SRv6、G-SRv6、网络切片、iFIT、BIER 和 SRv6 SFC。

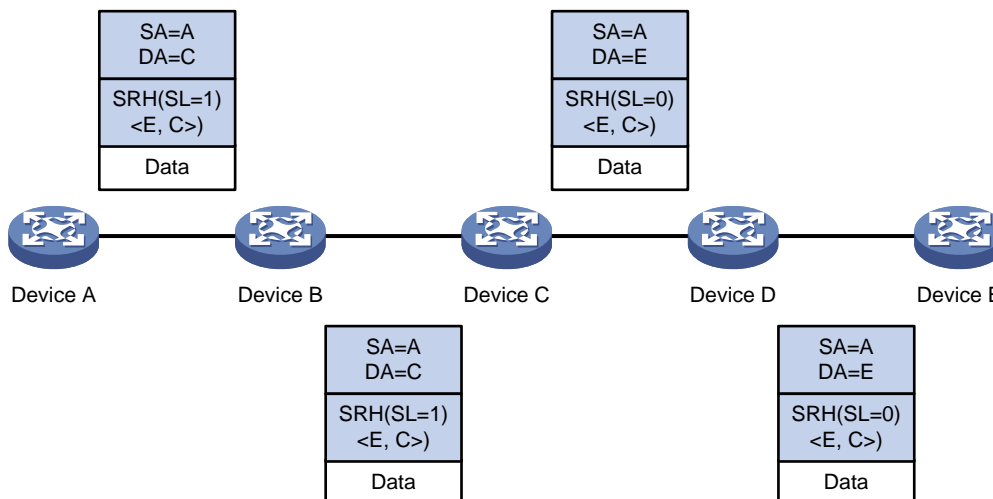
### 3.1 SRv6

#### 3.1.1 SRv6 概述

SRv6 (Segment Routing IPv6, IPv6 段路由) 是基于 IPv6 和源路由 (Source Routing) 的新一代网络承载技术，是 IPv6+的关键技术。它通过 IPv6 扩展头，实现网络路径灵活编排，奠定了网络自动化的基石。SRv6 既具备 IPv6 的灵活性和强大的可编程能力，又可以为网络切片、确定性网络、业务链等应用提供强有力的支撑。

SRv6 将 IPv6 地址作为 SID，SRv6 节点根据 SID 对报文进行转发。SRv6 将 SID 列表封装在 IPv6 报文的 SRH (Segment Routing Header, SR 报文头) 中，以控制报文转发路径。SRv6 报文在网络中转发的过程如图 2 所示。

图2 SRv6 报文转发示意图



关于 SRv6 的详细介绍，请参见《SRv6 技术白皮书》、《SRv6 TE Policy 技术白皮书》、《SRv6 高可靠性技术白皮书》和《SRv6 VPN 技术白皮书》。

### 3.1.2 SRv6 技术优势

SRv6 技术具有如下优势：

- 简化维护  
仅需要在源节点上控制和维护路径信息，网络中其他节点不需要维护路径信息。
- 智能控制  
SRv6 基于 SDN 架构设计，跨越了应用和网络之间的鸿沟，能够更好地实现应用驱动网络。SRv6 中转发路径、转发行为、业务类型均可控。
- 部署简单  
SRv6 基于 IGP 和 BGP 扩展实现，无须使用 MPLS 标签，不需要部署标签分发协议，配置简单。  
在 SRv6 网络中，不需要大规模升级网络设备，就可以部署新业务。在 DC（Data Center，数据中心）和 WAN（广域网）中，只需网络边界设备及特定网络节点支持 SRv6，其他设备支持 IPv6 即可。
- 适应 5G 业务需求  
随着 5G 业务的发展，IPv4 地址已经无法满足运营商的网络需求。可通过在运营商网络中部署 SRv6，使所有设备通过 IPv6 地址转发流量，实现 IPv6 化网络，以满足 5G 业务需求。
- 易于实现 VPN 等新业务  
SRv6 定义了多种类型的 SID，不同 SID 具有不同的作用，指示不同的转发动作。通过不同的 SID 操作，可以实现 VPN 等业务处理。  
日后，用户还可以根据实际需要，定义新的 SID 类型，具有很好的扩展性。

### 3.1.3 SRv6 报文转发方式

SRv6 报文支持 SRv6 BE 和 SRv6 TE Policy 两种转发方式：



- **SRv6 BE (SRv6 Best Effort)** 是指通过 IGP 协议发布 Locator 网段，SRv6 网络中的节点按最短路径优先算法计算到达 Locator 网段的最优路由。该路由对应的路径为 SRv6 BE 路径。公网 BGP 路由或者 VPN 实例的 BGP 路由迭代到 SRv6 BE 路径后，可以实现将公网流量或 VPN 流量引入 SRv6 BE 路径。
- **SRv6 TE Policy** 是指报文的入口节点通过不同的引流方式，将公网流量或 VPN 流量引入 SRv6 TE Policy 转发。SRv6 TE Policy 对应的路径为 SRv6 TE 路径。

### 3.1.4 SRv6 高可靠性

为了保证业务流量的稳定，SRv6 提供了高可靠性措施，避免业务流量长时间中断，提高网络质量。SRv6 提供以下功能保证网络的可靠性：

- **TI-LFA FRR (Topology-Independent Loop-free Alternate Fast Reroute, 拓扑无关无环备份快速重路由)**：高保护率的 FRR 保护能力，TI-LFA FRR 原理上支持任意拓扑保护，能够弥补传统隧道保护技术的不足。
- **SRv6 防微环**：解决全互联组网中 IGP 协议在无序收敛时产生的环路，支持正切防微环和回切防微环，消除微环导致的网络丢包、时延抖动和报文乱序等一系列问题。
- **中间节点保护**：解决 SRv6 TE Policy 场景由于严格节点约束导致的 TI-LFA FRR 保护失效问题。
- **尾节点保护**：在双归接入场景中，解决 SRv6 TE Policy 的尾节点发生单点故障，引起的报文转发失败问题。

### 3.1.5 SRv6 VPN

传统 VPN 网络中通过部署 LDP/RSVP-TE 等标签分发协议，在公网中建立虚拟专用通信网络。这种方式部署复杂，维护成本较高。通过在公网部署 SRv6 VPN 可以解决上述问题。SRv6 VPN 是通过 SRv6 隧道承载 IPv6 网络中的 VPN 业务的技术，控制平面采用 MP-BGP 通告 VPN 路由信息，数据平面采用 SRv6 封装方式转发报文。租户的物理站点分散在不同位置时，SRv6 VPN 可以基于已有的服务提供商或企业 IP 网络，为同一租户的不同物理站点提供二层或三层互联。

根据 VPN 业务种类，SRv6 VPN 分为：

- **L3VPN 业务**：IP L3VPN over SRv6 和 EVPN L3VPN over SRv6。
- **L2VPN 业务**：EVPN VPWS over SRv6 和 EVPN VPLS over SRv6。

## 3.2 G-SRv6

在 SRv6 TE Policy 组网场景中，管理员需要将报文转发路径上的 SRv6 节点的 128-bit SRv6 SID 添加到 SRv6 TE Policy 的 SID 列表中。因此，路径越长，SRv6 TE Policy 的 SID 列表中 SRv6 SID 数目越多，SRv6 报文头开销也越大，导致设备转发效率低、芯片处理速度慢。在跨越多个 AS 域的场景中，端到端的 SRv6 SID 数目可能更多，报文开销问题更加严峻。

**Generalized SRv6 (G-SRv6)** 通过对 128-bit SRv6 SID 进行压缩，在 SRH 的 Segment List 中封装 32-bit 的 SRv6 SID (G-SID)，来减少 SRv6 报文头的开销，从而提高 SRv6 报文的转发效率。同时，G-SRv6 支持将 128-bit SRv6 SID 和 32-bit G-SID 混合编排到 Segment List 中。

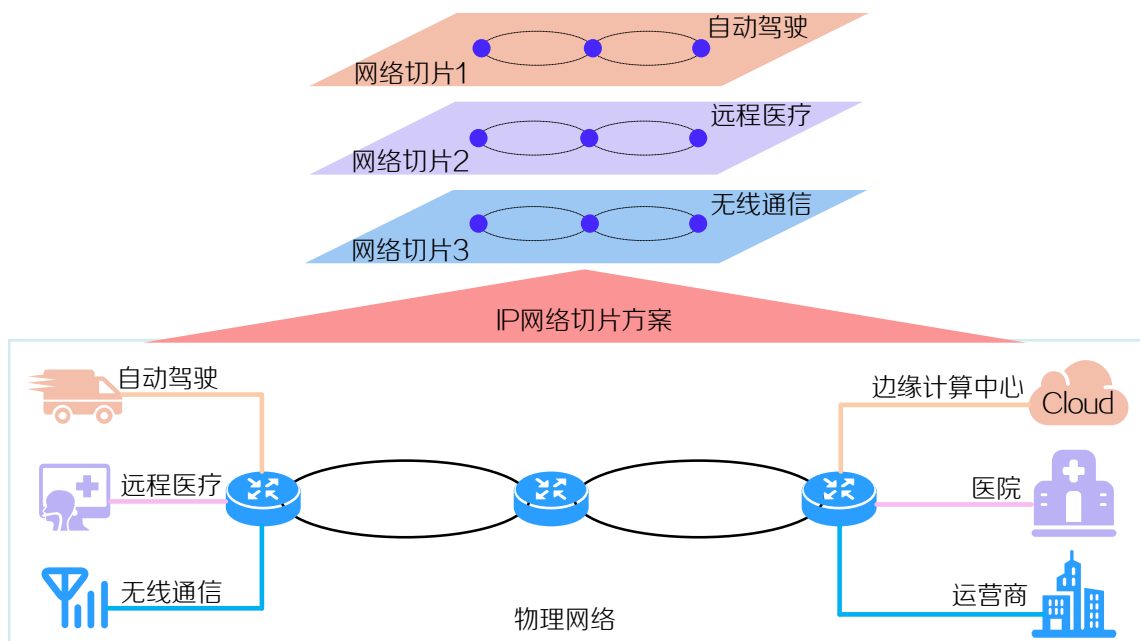
关于 G-SRv6 的详细介绍，请参见《SRv6 技术白皮书》。

## 3.3 网络切片

### 3.3.1 网络切片概述

网络切片是指在同一个物理网络的基础上，网络管理员通过各种切片技术为特定业务或用户划分出多个逻辑网络，即切片网络。每个切片网络都有自己的网络拓扑、SLA（Service Level Agreement）需求、安全和可靠性要求。切片网络最大化地利用现网的网络设施资源，为不同业务、行业或用户提供差异化网络服务。

图3 网络切片示意图



### 3.3.2 网络切片的价值

网络切片的价值体现在如下几个方面：

- 满足差异化 SLA 需求：对于运营商或者大型企业而言，当前不同业务通过一张网络承载，不断涌现的新业务对这张网络提出了差异化 SLA 的需求，例如自动驾驶业务对时延，抖动的要求十分严格，但带宽需求不大，而 VR 和高清视频等业务又对网络带宽需求极大，对时延并无特殊需求。传统的物理网络无法满足差异化 SLA 要求，而建设独立的专网成本过高，部署网络切片方案为不同业务按需提供不同切片网络可以满足上述需求。
- 满足网络资源隔离的需求：一些行业用户需要安全可靠且独享的网络资源，运营商也希望为不同等级的用户提供安全隔离措施，避免部分普通客户抢占网络资源，造成其他优质用户体验下降问题，网络切片方案可以在数据平面、控制平面和管理层面为不同用户分配不同资源。
- 满足灵活定制拓扑的需求：随着云网融合技术的发展，虚拟机可以跨数据中心随时迁移，网络的连接关系更加灵活复杂，网络切片方案中通过部署 Flex-Algo 技术满足网络拓扑灵活动态的变化需求。

### 3.3.3 网络切片的技术方案

网络切片并非特指某一种网络技术，而是利用多种网络技术实现的一整套解决方案。为了实现在物理网络上划分逻辑网络的功能，满足不同用户和业务的资源隔离、差异化 SLA 以及灵活拓扑的需求，网络切片方案中包含但不限于表2中所列的技术。

表2 网络切片技术

技术名称	实现层级	说明	适用网络
MDC	<ul style="list-style-type: none"> <li>管理平面</li> <li>控制平面</li> <li>数据平面</li> </ul>	<p>通过虚拟化技术将一台物理设备划分成多台逻辑设备，每台逻辑设备就称为一台MDC（Multitenant Device Context，多租户设备环境）</p> <p>每台MDC拥有自己专属的软硬件资源，独立运行，独立转发，独立提供业务。对于用户来说，每台MDC就是一台独立的物理设备。MDC之间相互隔离，不能直接通信，具有很高的安全性</p>	不区分网络类型，IPv4和IPv6网络均适用
Flex-Algo	控制平面	<p>Flex-Algo（Flexible Algorithm，灵活算法）是一种在IGP协议基础上运行的灵活算法，它允许用户自定义IGP路径算法的度量类型，例如Cost开销、链路时延值或TE度量值，利用SPF算法计算到达目的地址的最短路径</p> <p>计算最短路径时，Flex-Algo还允许用户使用的链路的亲和属性和SRLG（Shared Risk Link Group，共享风险链路组）作为约束条件来限制最终拓扑必须包含或排除某些链路</p> <p>因此，参与不同Flex-Algo算法的网元可以组成多个独立的逻辑拓扑，物理网络中部署多个Flex-Algo算法可以按需划分成多个独立的网络切片</p>	主要应用于SRv6和SR-MPLS网络
FlexE	数据平面	<p>FlexE（Flexible Ethernet，灵活的以太网）技术基于高速以太网接口，通过以太网MAC速率和PHY速率的解耦，实现灵活控制接口速率</p> <p>FlexE通过一个或捆绑多个IEEE 802.3标准的高速物理接口提供大带宽，再根据业务带宽需求，将上述物理接口的总带宽灵活分配给各FlexE业务接口。每一个FlexE业务接口就可以为切片网络转发数据</p>	不区分网络类型，IPv4和IPv6网络均适用
子接口切片	数据平面	<p>子接口切片是一种小粒度的网络切片技术。通过在高速率端口上创建子接口，并为这些子接口配置子接口切片带宽，利用接口的队列资源，实现子接口上数据转发的隔离。这些配置了子接口切片带宽的子接口称为切片子接口。切片子接口独享为其分配的带宽，并使用独立的队列进行调度</p>	不区分网络类型，IPv4和IPv6网络均适用
Slice ID切片	数据平面	<p>基于Slice ID的网络切片是一种应用在SRv6组网场景中的网络切片技术方案，它通过全局唯一的Slice ID来标识和划分切片网络</p> <p>在切片网络中转发的业务报文将携带Slice ID，设备转发该报文时先查询FIB表找到出接口，再根据Slice ID从对应出接口上切片通道转发报文</p>	适用于SRv6网络

采用 Slice ID 切片技术的网络切片方案因为支持的切片数量多（可达千级），配置实现简单，转发接口所需 SRv6 SID 少（所有网络切片仅需一套 SRv6 Locator 资源）等优势成为网络切片当前推荐方案。

## 3.4 iFIT

### 3.4.1 iFIT 概述

iFIT（in-situ Flow Information Telemetry）是一种直接测量网络性能指标的检测技术，它直接测量业务报文的真实丢包率和时延等参数，具有部署方便、统计精度高等优点。iFIT 的测量结果可以通过 gRPC 上报给网络质量分析器，以实现网络可视化管理。

iFIT 可应用在 SRv6、G-SRv6 和 G-BIER（Generalized BIER，通用位索引显式复制）等网络。关于 iFIT 的详细介绍，请参见《iFIT 技术白皮书》。

### 3.4.2 iFIT 技术优点

相较于传统丢包测量技术，iFIT 具有以下优势：

- 检测精度高：直接对业务报文进行测量，测量数据可以真实反映网络质量状况。
- 部署简单：中下游设备可以根据 iFIT 报文生成测量信息。
- 快速定位故障功能：iFIT 提供了随流检测功能，可以真正实时地检测用户流的时延，丢包情况。
- 可视化功能：iFIT 通过可视化界面展示性能数据，具备快速发现故障点的能力。
- 支持路径自发现功能：iFIT 在网络中的入节点对于用户关心的业务流程增加报文头，下游设备可以根据 iFIT 报文头自动识别该业务流并生成统计测量信息；分析器可以通过该功能感知业务流量在网络中的实时路径。
- 基于硬件实现，对于网络影响较小，可扩展性强。

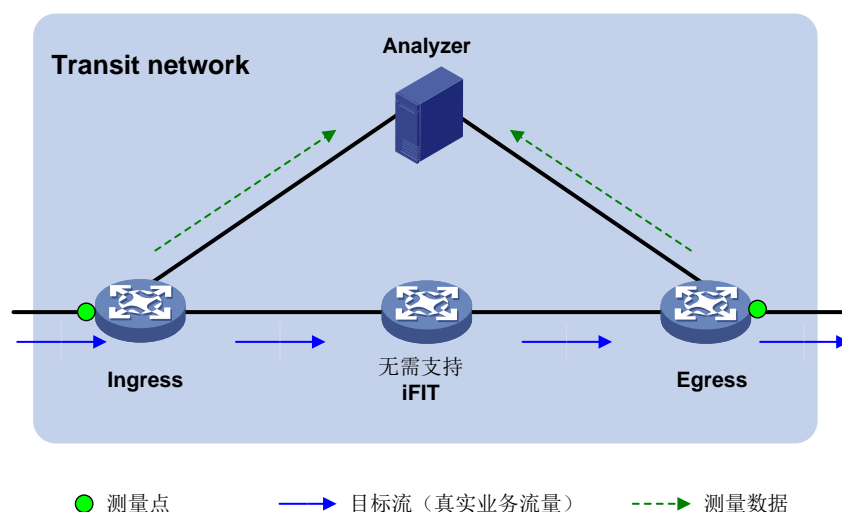
### 3.4.3 iFIT 应用场景

iFIT 支持以下两种测量类型：端到端测量和逐点测量，这两种测量类型适用于不同应用场景。

- 端到端测量

当用户希望测量整个网络的丢包和时延性能时，可以选择端到端测量类型。端到端测量会测量流量在进入网络的设备（流量入口）和离开网络的设备（流量出口）之间是否存在丢包以及时延参数。如图 4 所示，iFIT 可用于直接测量流量从 Ingress（入节点）到达 Egress（出节点）时，是否有丢包、时延，以及丢包率和时延值。

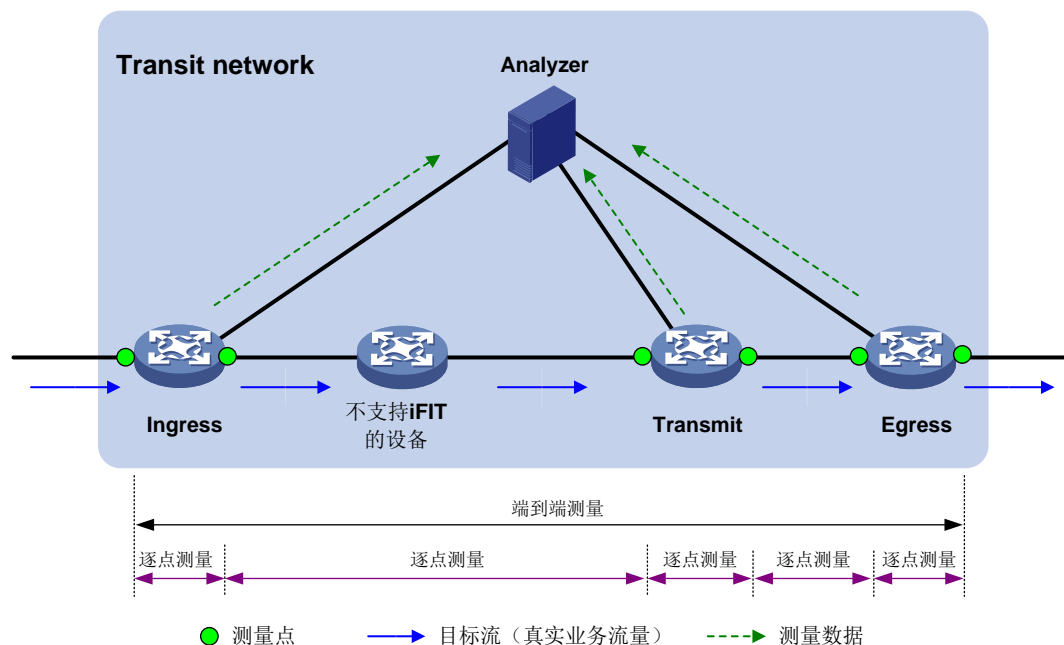
图4 端到端测量应用示意图



- 逐点测量

当用户希望准确定位每个网络节点的丢包和时延性能时，可以选择逐跳测量类型。当根据测量结果发现端到端统计场景有丢包或者时延不满足业务要求时，可以将端到端之间的网络划分为多个更小的测量区段，测量每两个网元之间是否存在丢包、时延值，进一步定位影响网络性能的网元位置。如图 5 所示，iFIT 可同时测量流量从 Ingress 到达 Egress 时，Ingress 和 Transmit（中间节点）之间、Transmit 和 Egress 之间任意两个接口间是否有丢包、时延，以及丢包率和时延值。

图5 逐点测量应用示意图



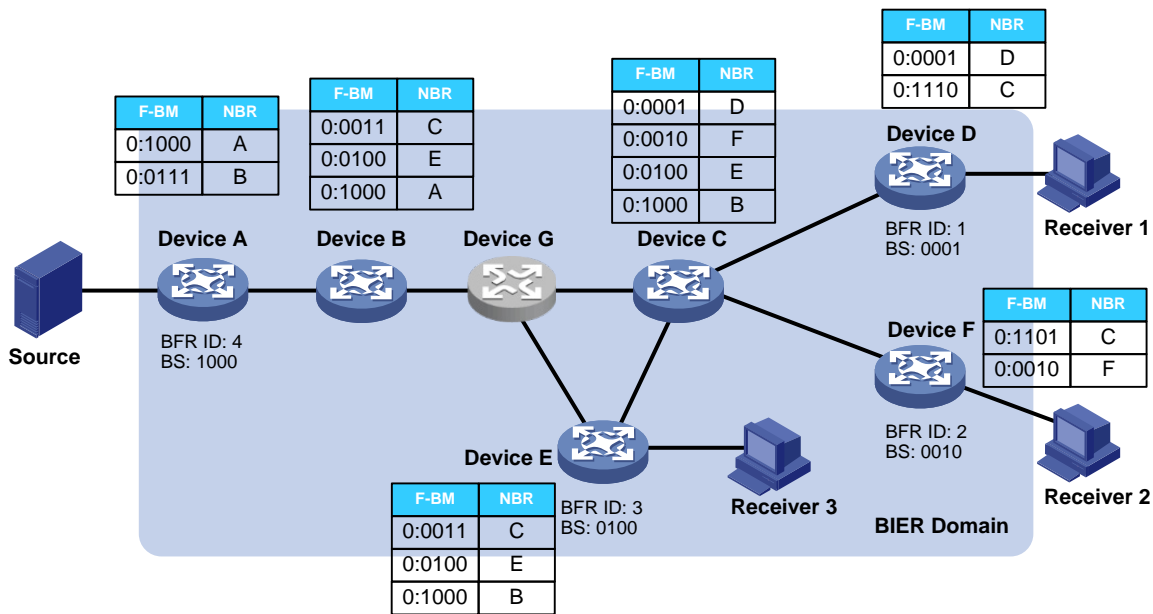
## 3.5 BIER

### 3.5.1 BIER 概述

BIER（Bit Index Explicit Replication，位索引显式复制技术）是一种应用于 IPv6 网络的新型组播转发技术架构，通过将组播报文要到达的目的节点集合以 BS（Bit String，位串）的方式封装在 IPv6 报文头部发送，使得网络中间节点无需感知组播业务和维护组播流状态，简化了网络协议，并提供了良好的组播业务扩展性。

如图 6 所示，在 BIER 网络中，组播报文的转发依靠 BFR（Bit Forwarding Router，位转发路由器）上通过 BIER 技术建立的 BIFT（Bit Index Forwarding Table，位索引转发表），实现组播报文只需根据位串进行复制和转发。

图6 BIER 网络示意图



目前，Comware 支持 G-BIER（Generalized BIER，通用位索引显式复制）和 BIERv6（Bit Index Explicit Replication IPv6 Encapsulation，IPv6 封装的比特索引显式复制）两种封装类型。

关于 BIER 的详细介绍，请参见《BIER 技术白皮书》。

### 3.5.2 技术优点

BIER 具有如下几方面的技术优点：

- 良好的组播业务扩展性

BFR 上采用 BIER 技术建立的 BIFT 是独立于具体的组播业务的公共转发表，使得网络中间节点无需感知组播业务，不需要维护特定组播业务的组播流状态。公网组播和私网组播报文均可通过 BIFT 转发，具有良好的组播业务扩展性。

- 简化业务部署和运维

由于网络中间节点不感知组播业务，因此部署组播业务不涉及中间节点，组播业务变化对中间节点没有影响，简化了网络的部署和运维。

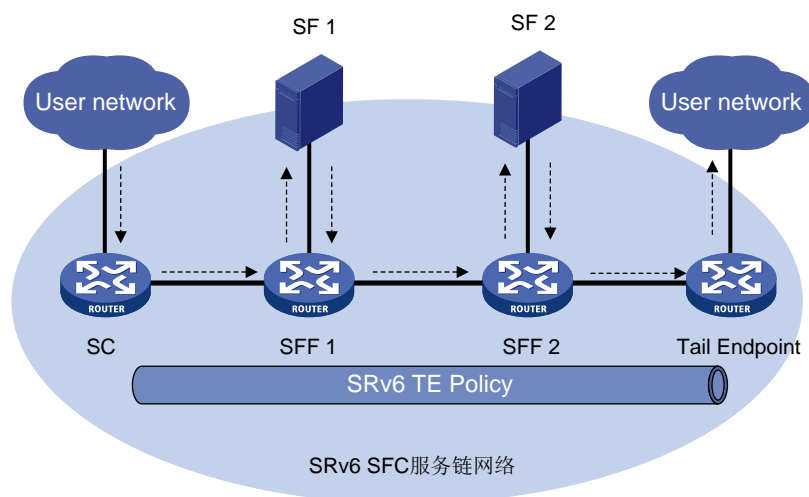


- 简化承载网络的控制平面  
在承载网络的中间节点上，不需要运行 PIM 协议，控制平面协议统一为单播路由协议 IGP 和 BGP，简化了承载网络的控制平面协议。
- 利于 SDN 架构网络演进  
部署组播业务不需要操作网络中间节点，只需在入口节点为组播报文添加上指示后续组播复制的 BIER 封装。BIER 封装中携带标识组播出口节点的位串，中间节点根据位串实现组播复制和转发，有利于 SDN 架构网络的演进。

## 3.6 SRv6 SFC

为了满足用户业务安全、稳定等需求，数据报文在网络中传递时，往往需要按照业务逻辑依次经过各种服务节点，例如防火墙（Firewall）、入侵防御系统（Intrusion Prevention System）和应用加速器等。SRv6 SFC（Service Function Chain，服务链）通过在原始报文中添加 SRv6 路径信息来引导报文按照指定的路径依次经过应用层服务设备，以便对流量进行安全控制、应用加速等处理。SRv6 SFC 的典型组网如图 7 所示。业务数据从用户网络经由 SC（Service Classifier，业务分类节点）进入 SRv6 SFC 服务链网络后，SFF（Service Function Forwarder，服务链转发节点）根据报文中的 SRv6 路径信息，将报文依次转发给各个 SF（Service Function，应用服务节点）进行业务处理，最后在尾节点上业务数据转发回用户网络。

图7 SRv6 SFC 典型组网示意图



SRv6 SFC 技术具有如下优势：

- 网络灵活编排  
SRv6 SFC 基于 SDN 架构设计，跨越了应用和网络之间的鸿沟，能够更好地实现应用驱动网络。部署不同业务或调整业务时，只需要更改服务链的顺序而无需更改网元配置，就可以实现网络业务的灵活开通和快速部署。
- 网络可编程，易于实现新业务需求  
SRv6 SFC 利用多种类型的 SRv6 SID，指示不同的转发动作。通过不同的 SID 操作，可以实现各种业务场景的需求。还可以根据实际需要，定义新的 SID 类型，具有很好的扩展性。

关于 SRv6 SFC 的详细介绍，请参见《SRv6 SFC 技术白皮书》。

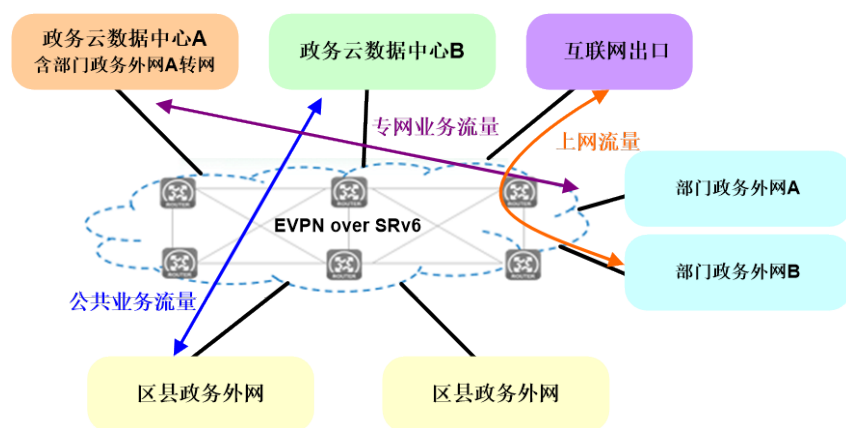
## 4 IPv6+典型组网

### 4.1 SRv6应用

电子政务外网中 SRv6 的部署方案如图 8 所示。

- 访问互联网的上网流量通过 EVPN over SRv6 承载，为上网用户分配相应 VPN 权限，并通过 SRv6 隧道进行流量承载。
- 公共业务流量可以使用公网地址，直接通过 SRv6 进行承载。
- 专网流量进行相应 EVPN 的划分，保证专网专用，业务逻辑隔离。
- 所有路径都可以由 SDN 控制器进行动态调整，保证资源利用率最优。

图8 电子政务外网的 SRv6 应用



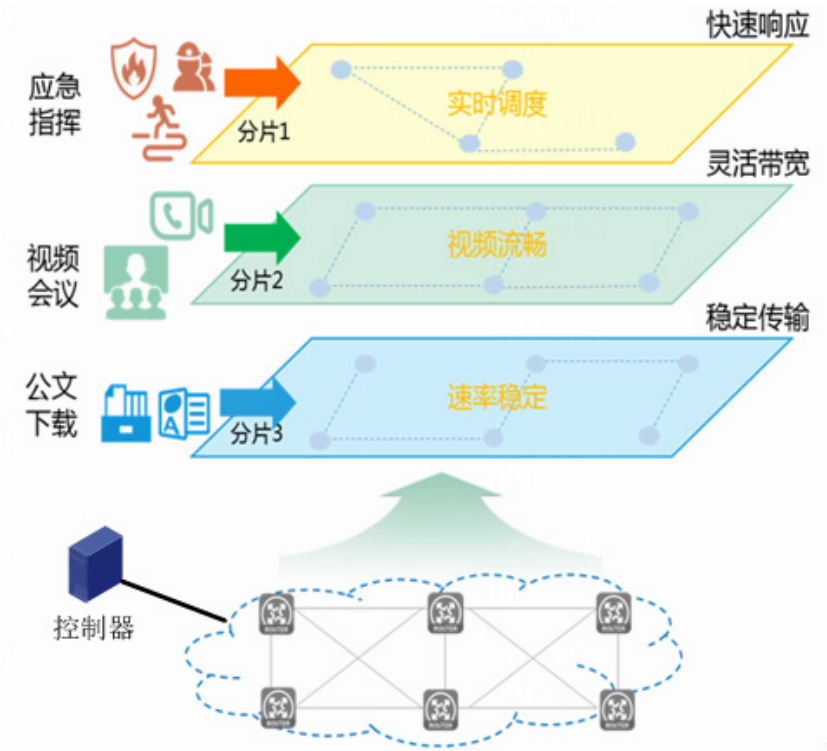
### 4.2 网络切片应用

电子政务外网中网络切片的部署方案如图 9 所示。

- 综合运用多种网络切片技术，将骨干网带宽细化，形成多通道。
- 根据不同的业务需求（时延/抖动/丢包等），通过控制器进行不同策略的下发，实现对通道的多样性利用。
- 可以根据需求为不同专网（例如应急指挥网络、视频会议网络、公文下载网络等）分配不同的带宽，保障在同一拓扑中，一个专网的流量不会因为另一个专网流量的拥塞而丢包。
- 可根据客户的业务需求灵活编排 SRv6 转发路径，提升网络智能性。



图9 电子政务外网的网络切片应用



### 4.3 可视化应用

电子政务外网中可视化的部署方案如[图 10](#)所示。通过基于 iFIT 和 Telemetry 技术的可视化方案可以实现：

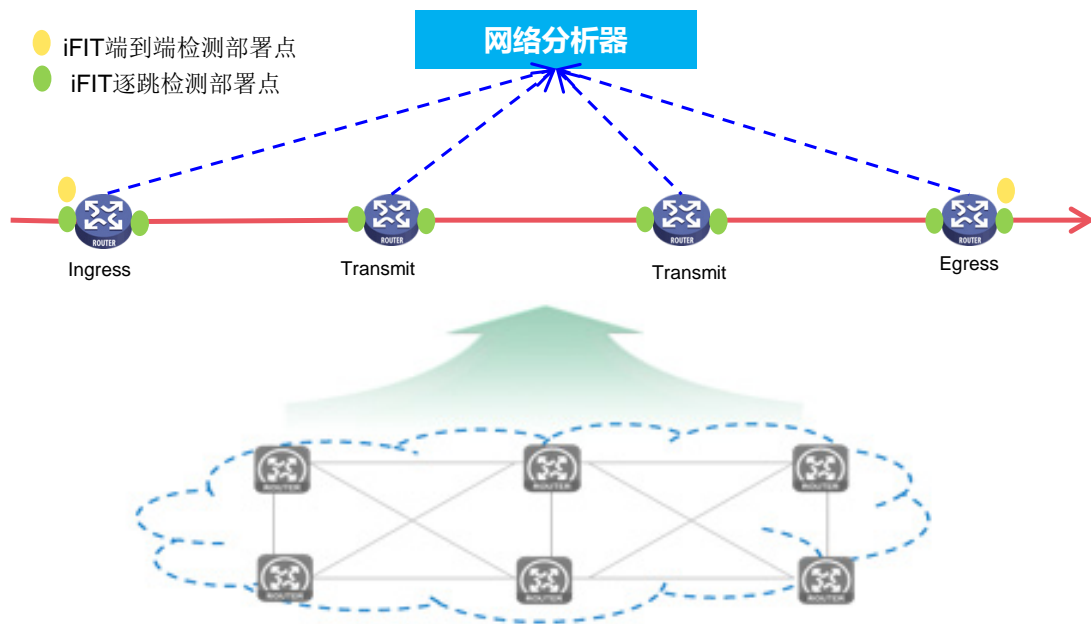
- **质量可视，规划支撑：**周期性的数据收集，形成现网报表数据，为扩容及后续规划等提供数据支撑。
- **随需而动，智能运维：**根据现网业务状态，实现网络路径等智能调优，保障关键业务质量。
- **精准定位、快速排障：**业务出现问题时，通过网络分析器上的图形展示可快速定界和解决问题。



说明

Telemetry 的详细介绍，请参见《Telemetry 技术白皮书》。

图10 电子政务外网的可视化应用



## 5 参考文献

- 推进 IPv6 规模部署专家委员会. 《“IPv6+” 技术创新愿景与展望》
- 郭贺铨. 《IPv6+赋能智能云网，促进行业数字化转型》.C114 通信网.2021-03-05