IPv6+创新与标准(2022)

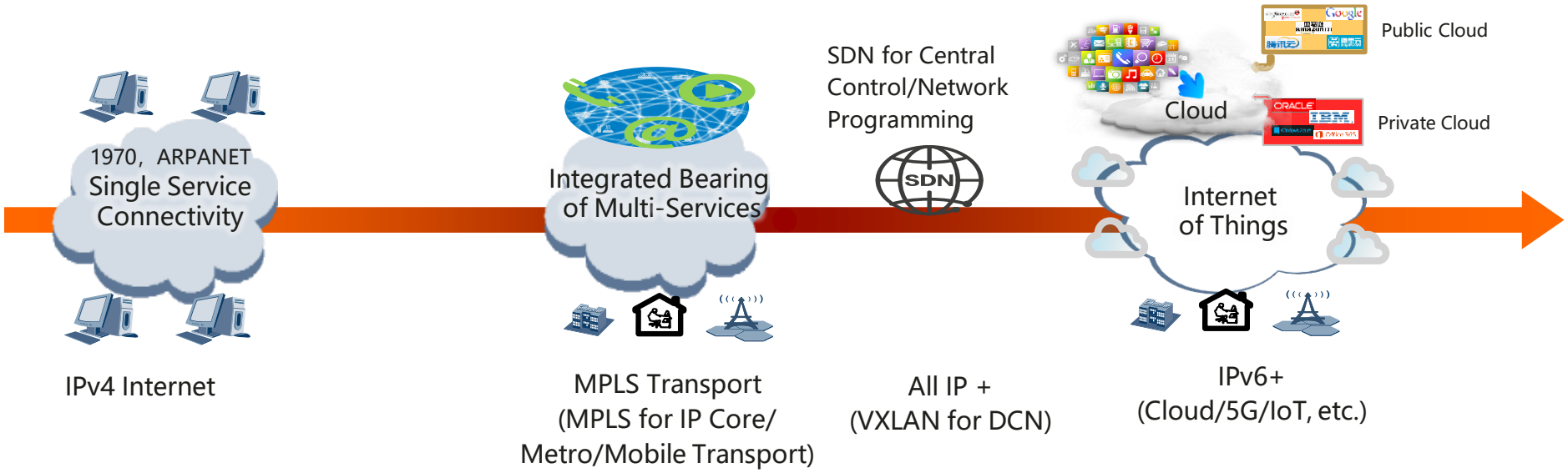
李振斌
华为首席IP协议专家
IETF互联网架构委员会（IAB）委员

李振斌

华为首席IP协议专家
IETF互联网架构委员会（IAB）委员
https://www.iab.org/about/iab-members/

- **负责华为IP协议创新研究和标准化工作。**
- **2000年加入华为，曾负责华为IP操作系统（VRP）和MPLS子系统的架构设计和开发工作。**
- **2015 - 2017年担任SDN架构师，负责控制器的研究、架构设计与开发等工作。**
- **自2009年起积极参与IETF标准创新工作，持续推动了SDN的BGP、PCEP、Netconf/YANG等的协议创新和标准化。当前研究的重点包括SRv6、5G承载、Telemetry、网络智能等。**
- **主导和参与的IETF RFC/草案累计100余篇(www.ipv6plus.net/ZhenbinLi)，申请专利110多项，著有《SRv6网络编程：开启IP网络新时代》。**
- **2019年3月当选IETF互联网架构委员会（IAB）委员，承担2019 - 2021年的互联网架构管理工作。2021年3月获得连任，继续承担2021 - 2023年的互联网架构管理工作。**

IPv6+: 面向5G和云的IP网络新时代



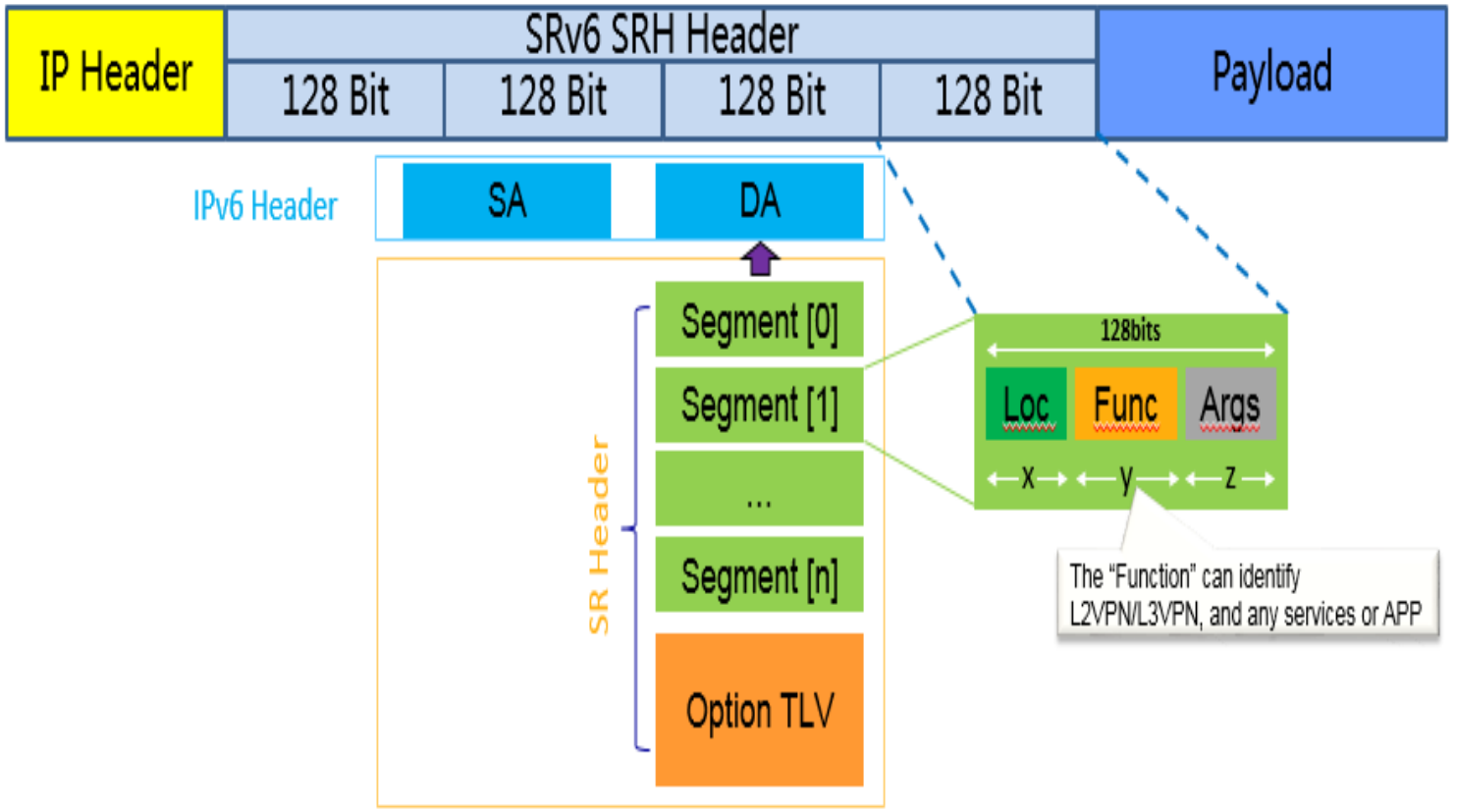
- IPv6重思考：地址空间不足未能强烈驱动IPv6部署
- 5G改变了连接的属性，云改变了连接的范围
- IPv6+的使命：
  - 基于对IP可达性的亲和性，使得不同网络域间连接更容易
  - 基于IPv6扩展头/SRH等可扩展性支持更多种类的封装，满足新业务的需求。
  - 基于对IP亲和性和网络编程能力，实现IP承载网络与应用的融合，提升网络价值。
  - 结合对更多地址空间的需求，进一步推广IPv6

IPv6扩展头/SRv6: 面向未来的网络可编程能力

IPv6 扩展头

Version	Traffic Class	Flow Label
Pload Length	Next=43	Hop Limit
Source Address		
Destination Address		
Hop-by-Hop Options Header		
Destination Options Header		
Routing Header/SRH		
……		
Destination Options Header		
Payload		

SRH: 三层网络可编程空间



IP连接的发展：无连接（IPv4/IPv6）；有连接（MPLS）；智能连接（SRv6/IPv6+）

HUAWEI

IPv6+研究和标准的规划建议

IPv6+ 1.0：SRv6基础能力

- SRv6 VPN
- SRv6 TE
- SRv6 FRR

IPv6+ 2.0：面向5G/云的新应用

- Network Slicing/VPN+
- In-situ Telemetry/IFIT
- BIERv6
- OAM
- Path Segment
- Detnet
- SFC
- SRv6压缩
- Path MTU

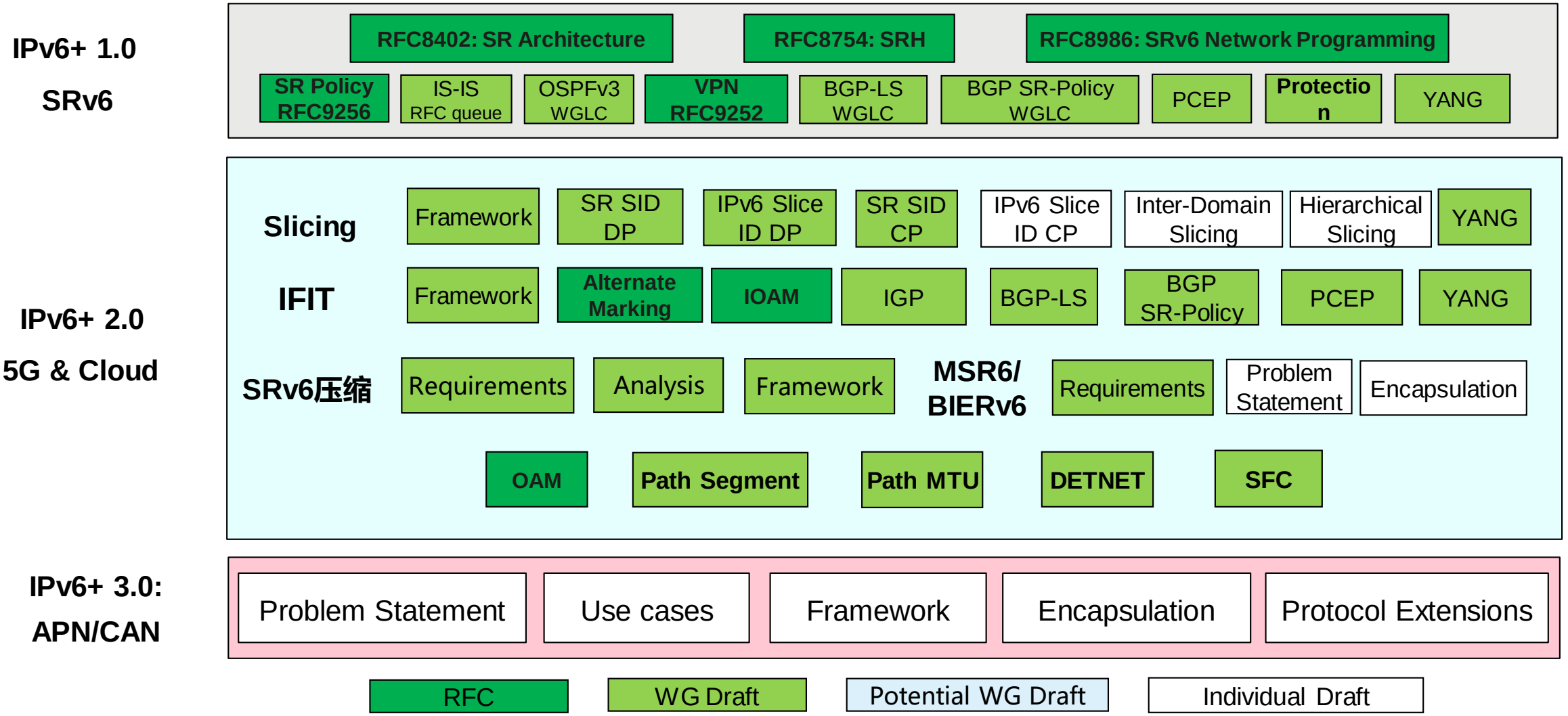
IPv6+ 3.0：APN6 - 感知应用的新网络架构体系

- 转发面：IPv6扩展头传递应用信息给网络
- 控制面：云/网络通过控制协议交互信息

GIP6：通用IPv6 – IPv6新特性的通用应用

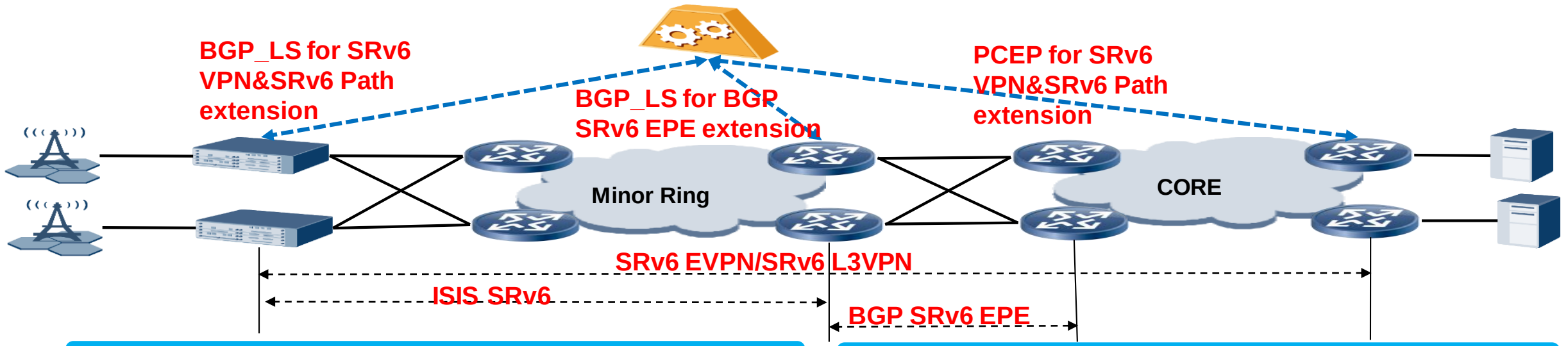
- GIP6隧道：IP隧道统一支持IPv6新特性
- GIP6应用：SDWAN等

IPv6+标准整体布局与进展



www.ipv6plus.net 提供更多标准进展信息

IPv6+ 1.0: SRv6标准推动与实现部署双管齐下，支持互联互通



SRv6 基础特性趋于成熟

Service	Description	Status	Priority
Base	SRv6 Arch	○	H
	SRH	○	H
VPN	SRv6 VPN	○	H
IGP	ISIS for SRv6	○	H
	OSPFv3 for SRv6	○	M
SDN Interface	BGP-LS for SRv6	○	M
	PCEP for SRv6	○	M

○: Draft, No Risk　△: Draft, With Risk　×: Incomplete Draft

成功完成多厂家SRv6互通测试，商业部署开启

- **Implementations**
  - Huawei: VRPV8; ATN、CX600、ME60、NE5000E、NE9000
  - Cisco: IOS XR/XE
  - Open Source: Linux, FD.io VPP; Wireshark, Tcpdump, Snort, IPtables, Nftables, etc.
- **Inter-op tests:**
  - EANTC 2019 – Test cases: SRv6 VPN, TI-LFA
- **Deployments:**
  - Softbank
  - Illiad
  - LINE
  - China Telecom
  - China Unicom
  - CERNET2
  - MTN
- **See draft-matsushima-spring-srv6-deployment-status for details**

HUAWEI

IPv6+ 1.0 (1) SRv6基础特性

Area	Topic	Draft	Vendors	Operators
Architecture	**SRv6 Network Programming**	**RFC8986**	Cisco/Huawei	Comcast/Bell Canada/Softbank
SRH	**IPv6 Segment Routing Header (SRH)**	**RFC8754**	Cisco/Huawei	Bell Canada/Softbank
IGP	ISIS Extensions for SRv6	draft-ietf-lsr-isis-srv6-extensions	Cisco/Huawei	Orange
	OSPFv3 Extensions for SRv6	draft-ietf-lsr-ospfv3-srv6-extensions	Huawei/Cisco	
VPN	**SRv6 VPN**	**RFC9252**	Cisco/Huawei	Comcast/Bell Canada/Softbank/Orange
SDN Interface	BGP-LS for SRv6	draft-ietf-idr-bgpls-srv6-ext	Cisco/Huawei/Ericsson	Bell Canada/ Orange/AT&T
	SR Policy Architecture	**RFC9256**	Cisco	Bell Canada/BT/Microsoft
	BGP for SRv6	draft-ietf-idr-segment-routing-te-policy	Cisco/Huawei/Juniper	Microsoft/Google
	PCEP for SRv6	draft-ietf-pce-segment-routing-ipv6	Huawei/Cisco	China Telecom
	BGP Flowspec for SRv6	draft-ietf-idr-flowspec-srv6	Huawei	China Telecom

- **SR Policy Architecture和SRv6 VPN文稿正式发布成为RFC。**
- **SRv6其他基础特性草案也已经通过WGLC，进入到RFC发布最后阶段。**

IPv6+ 1.0 (2) SRv6模型

Area	Topic	Draft	Vendors	Operators
Yang Models	SRv6 Base Yang	draft-ietf-spring-srv6-yang	Cisco/Huawei/Infinera/ Ciena/Ericsson	Bell Canada/ Softbank
	SRv6 TE Yang (SR Policy Yang)	draft-ietf-spring-sr-policy-yang	Cisco/Huawei/Juniper	Bell Canada/ Softbank
	SRv6 ISIS Yang	draft-ietf-isis-srv6-yang	Cisco/Huawei	
	SRv6 OSPF Yang	draft-ietf-lsr-ospf-srv6-yang	Cisco/Huawei	
	SRv6 PCEP Yang	draft-ietf-pce-pcep-srv6-yang	Cisco/Huawei	
	SRv6 VPN YANG	draft-ietf-bess-srv6-services-yang	Cisco/Huawei	LINKEDIN/Orange

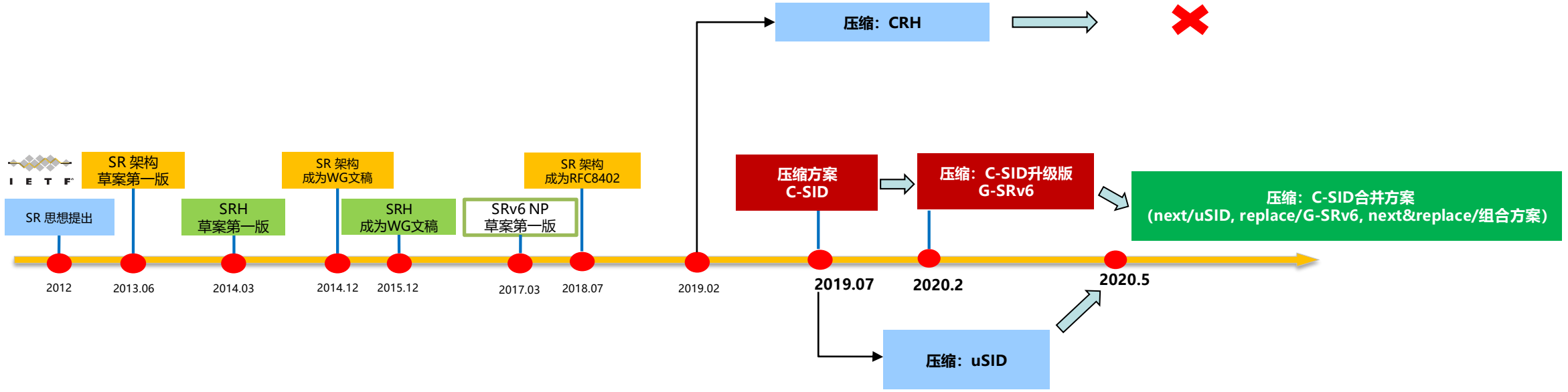
- **SRv6 YANG模型标准化与应用部署同步展开。**
- **SRv6 IGP/VPN/PCEP的YANG模型接纳成为工作组草案，SRv6基础特性草案基本都被接纳成为工作组草案。**

IPv6+ 1.0 (3) SRv6端到端保护与应用部署

Area	Topic	Draft	Vendors	Operators
Protection	Mid-point Protection	draft-hu-spring-segment-routing-proxy-forwarding	Huawei/Juniper	China Telecom
	Mid-point Protection	draft-chen-rtgwg-srv6-midpoint-protection	Huawei	China Telecom
	Egress Protection	draft-ietf-rtgwg-srv6-egress-protection	Huawei	China Telecom
SRv6 Deployment Migration	SRv6 Deployment Status	draft-matsushima-spring-srv6-deployment-status	Cisco/Huawei	Softbank
	SRv6 Deployment Consideration	draft-tian-spring-srv6-deployment-consideration	Huawei	CAICT/China Telecom China Unicom/Unipay/MTN
SRv6 Security	SRv6 Security Framework	draft-li-spring-srv6-security-consideration	Huawei	CAICT China Telecom

- **SRv6 Deployment Consideration增加了SRv6 Policy、行业网络、SRv6压缩等的部署。**

SRv6头压缩发展历史2019-2022年， 方案：5->2->1(C-SID)

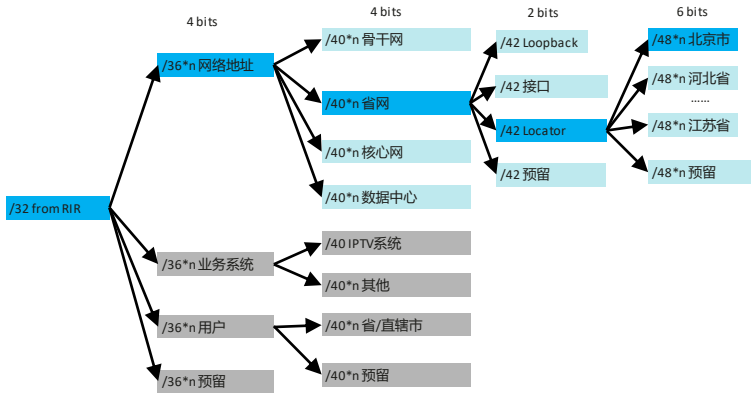


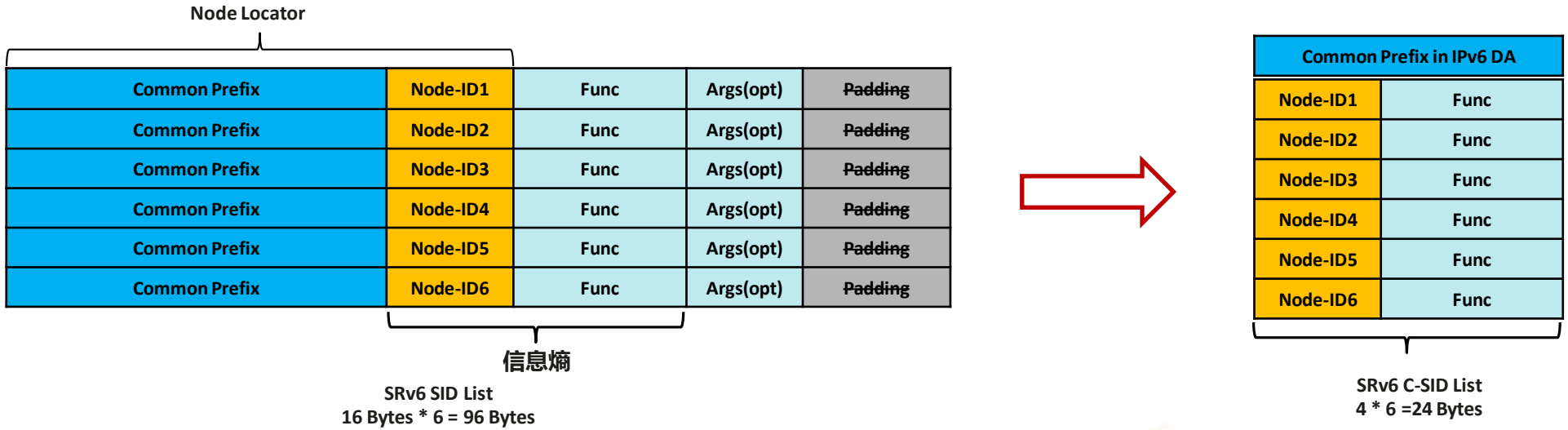
1. 最初存在5种方案：CRH(J)，uSID(C), G-SRv6(H), Unified SID(Z), vSID(Orange)
2. 后来G-SRv6与uSID得到业界的广泛支持，最终两个方案合并为一个C-SID方案，被接收为工作组草案。
3. 当前C-SID正在加速标准化。

G-SRv6/REPLACE-C-SID压缩原理（1）

基于共享前缀压缩

- 原生SRv6 SID为128bits IPv6地址，每个节点从自身的Locator地址空间中独立分配
- 而网络中节点的Locator绝大部分都是从同一个大段的地址空间中逐级分配的，该地址空间，称为Common Prefix
- 在一个SRH SR List中
  - **Common Prefix在SRH中为冗余信息，可将其放到统一的位置：IPv6 DA**
  - **Node ID + Function ID 为有效信息，SRH中封装该信息熵即可，称为Compressed SID(C-SID)**
  - Argument可选，通常为0， Padding字段通常为0，无用信息，可直接删除





Page 12

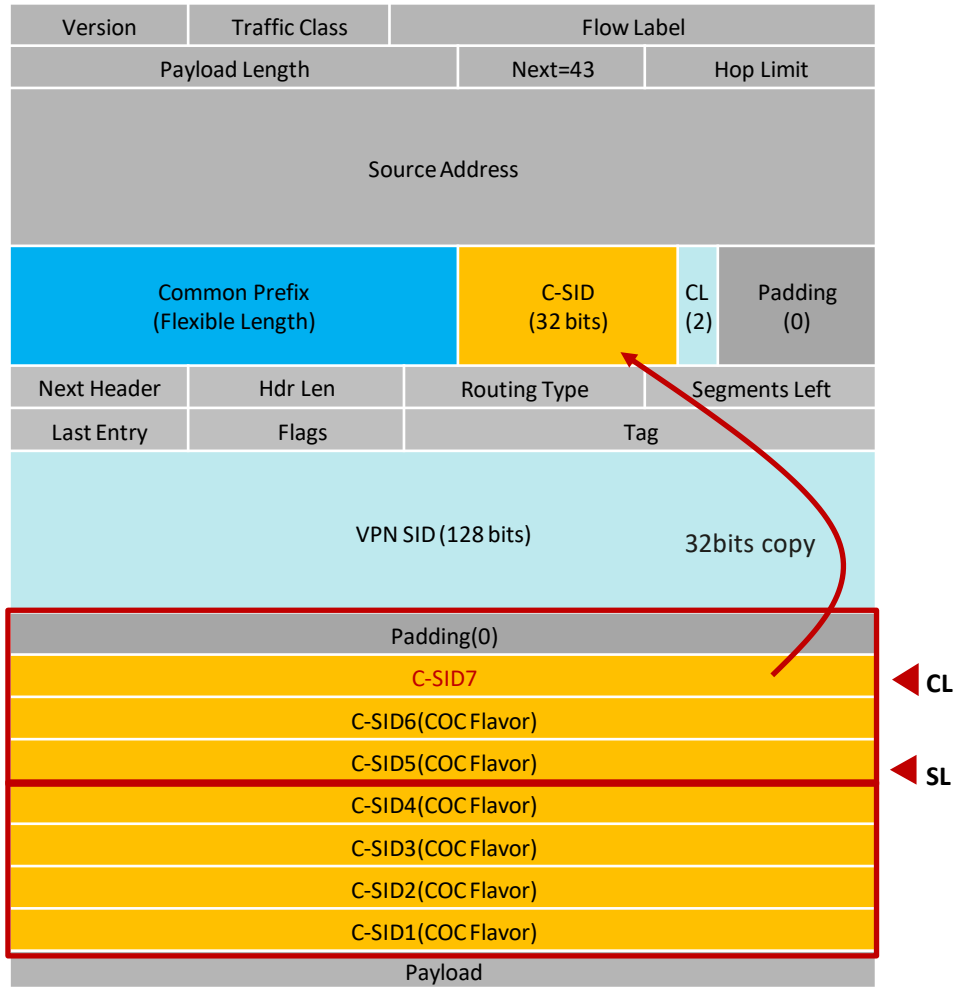
G-SRv6/REPLACE-C-SID压缩原理（2）

二维数组定位压缩SID

- SRH中的128bits中可封装4 * 32bits C-SID，通过**CL（Compressed SID left）**标识C-SID在128bits/32bits=4 SID小循环中的位置，取值0~3
- 更新后的**C-SID = SRH[SL][CL]**，将该32bits C-SID拷贝到IPv6 DA[CP: CP+31]
- 定义**COC(Continuation of Compression)** Flavor，标识下一个SID是压缩后的C-SID，如果没有COC Flavor，标识下一个SID为128bits SRv6 SID
- COC flavor类似于PSP flavor，在IGP/BGP分配SRv6 SID时，通过控制面发布

伪代码

```
if local SID is a COC Flavor SID                    // Update 32bits C-SID to DA
    if DA.CL = 0                                    // First C-SID in next 128 bits
        SL--; CL = 3;
    else                                            // Next C-SID in current 128 bits
        CL--;
    DA[CP..CP+31] = SRH[SL][DA.CL];                 // CP: Common Prefix length
    Forward the packet based on new DA;
else
    SRv6 processing
```



Page 13

uSID/Next-C-SID方案：共享前缀，移位更新

32bit C-SID举例

uSID 处理前

uSID-Block	Active C-SID	Next C-SID	Last C-SID
bbbb:bbbb::/32	0100:0001	0200:0002	0300:0003

Shifting

uSID 处理后

uSID-Block	Active C-SID	Next C-SID	EOC
bbbb:bbbb::/32	0200:0002	0300:0003	0000:0000

原理

- 控制面发布新的SID类型，以及对应的前缀路由 Block : C-SID
- 携带C-SID的载体（C-SID Carrier）为128bit的SRv6 SID，其格式为：
  - **Active C-SID**: 当前活跃的SID，举例中为32bits
  - **Next C-SID**: 下一个C-SID，在处理后会被偏移到Active C-SID位置，然后尾部补零
  - **Last uSID**：本128bits中最后一个C-SID
  - **EOC**(End of Carrier): C-SID的终止符，全0
  - 当检测Active C-SID为EOC时，终止C-SID的处理，执行END SID的操作，替换下一个128bit SRv6 SID到DA中。

出于压缩效率考虑，uSID更倾向于使用16bit的SID进行压缩。使用16bit压缩SID，相比32bit开销更小，但对网络规划的要求更高，可扩展性也更差。

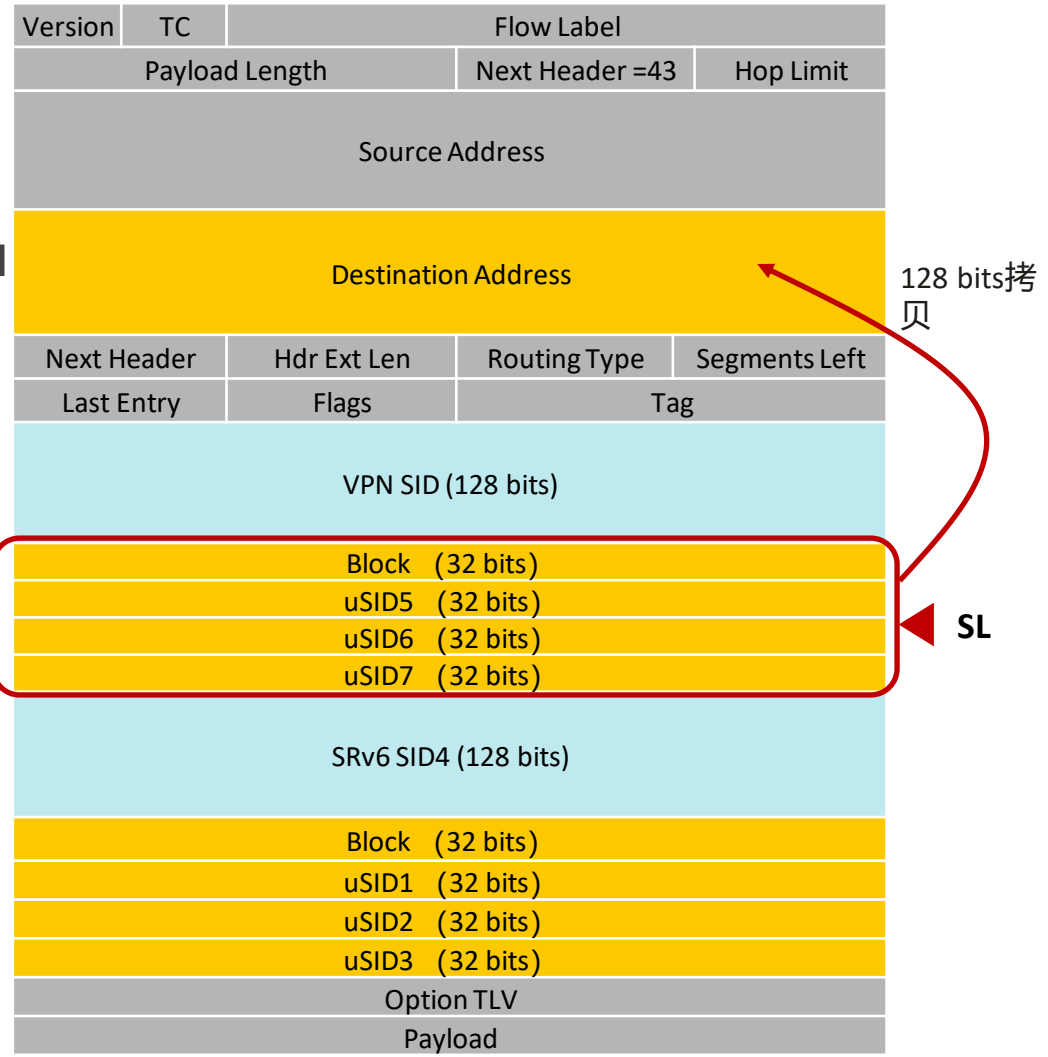
为了满足16bit压缩，引入全局SID和本地SID概念，在16bit C-SID中使用高4位用于区分全局和本地SID：

- 前4bit 0-D：表示全局SID，占用SID总数的14/16；0-DXXX 是全局C-SID，占14个4K SID资源
- 前4bit E-F：表示本地SID，占用SID总数的2/16； E-FXXX是本地C-SID，占2个4K SID资源

一个Block中有14 x 4096 = 57344 个全局ID，用户表达节点的END SID，大规模组网受限，分层划分编码需更多bit，适合于中小规模的网络。

一个Block中有2 x 4096 = 8192个本地ID，用于END.X SID，业务SID，BSID等使用，资源扩展性受限。

一个uSID-Carrier 128bits处理完成后，SL减1，处理下一个128bits

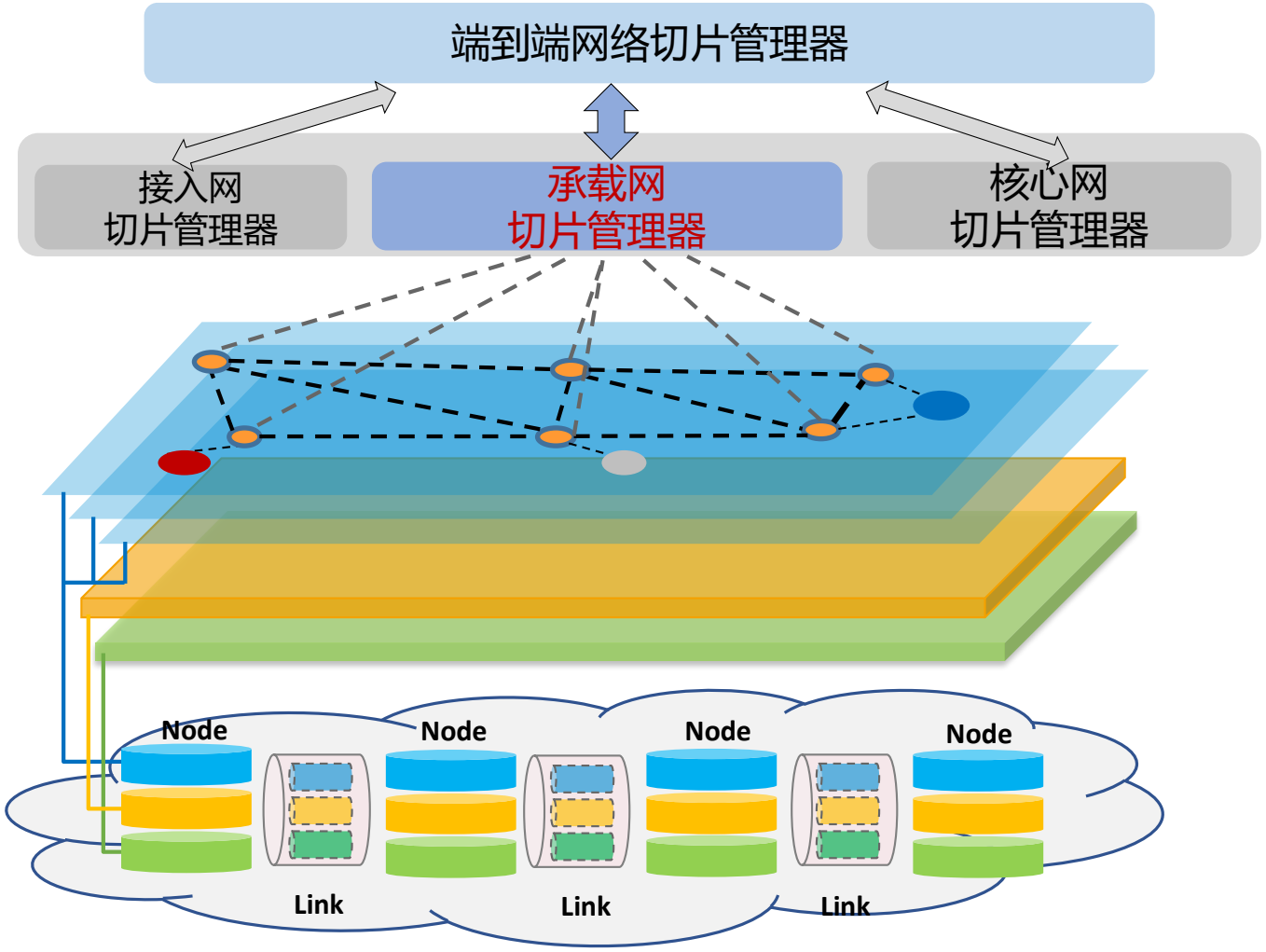


IPv6+ 2.0 (1) SRv6压缩和Path MTU

Area	Topic	Drafts	Vendors	Operators
Compression	Compressed SRv6 SID List Requirements	draft-ietf-spring-compression-requirement	Huawei/Cisco/Juniper/ZTE/Nokia	China Mobile/China Telecom
	Compressed SRv6 SID List Analysis	draft-ietf-spring-compression-analysis	Huawei/Cisco/Juniper/ZTE/Nokia	China Mobile/China Telecom
	Compressed SRv6 Segment List Encoding in SRH	draft-ietf-spring-srv6-srh-compression	Huawei/Cisco/ZTE	China Mobile/China Telecom/FT/Bell Canada/Alibaba
	Segment Identifiers in SRv6	draft-ietf-6man-sids	Cisco	
PMTU	Path MTU (PMTU) for SR Policy	draft-peng-spring-pmtu-sr-policy	Huawei/Cisco	Verizon
	Segment Routing Path MTU in BGP	draft-ietf-idr-sr-policy-path-mtu	Huawei	STC/China Telecom
	BGP-LS Extensions for Advertising Link MTU	draft-ietf-idr-bgp-ls-link-mtu	Huawei	China Telecom
	PMTU in PCEP	draft-ietf-pce-pcep-pmtu	Huawei	China Mobile/MTN
	PMTU in ISIS	draft-hu-lsr-isis-path-mtu	Huawei	China Telecom

- **SRv6 C-SID压缩方案在竞争方案中获得胜出，草案被工作组接纳。**
- **为解决SRv6 SID与IPv6地址的关系问题，6MAN工作组发布草案进行澄清，并已经被工作组接纳并通过了LC。**
- **Path MTU通过路径MTU信息的获取来约束SRv6路径计算，多篇草案被工作组接纳。**

VPN+：使能承载网切片的架构与方案



网络切片管理

- 网络切片生命周期管理
  - 创建，监控，调整，删除
- 端到端网络切片协同

网络切片实例化

- 网络切片控制面信息收集与计算
  - 切片拓扑，资源及其他属性
- 网络切片数据面标识

SRv6/IPv6 based

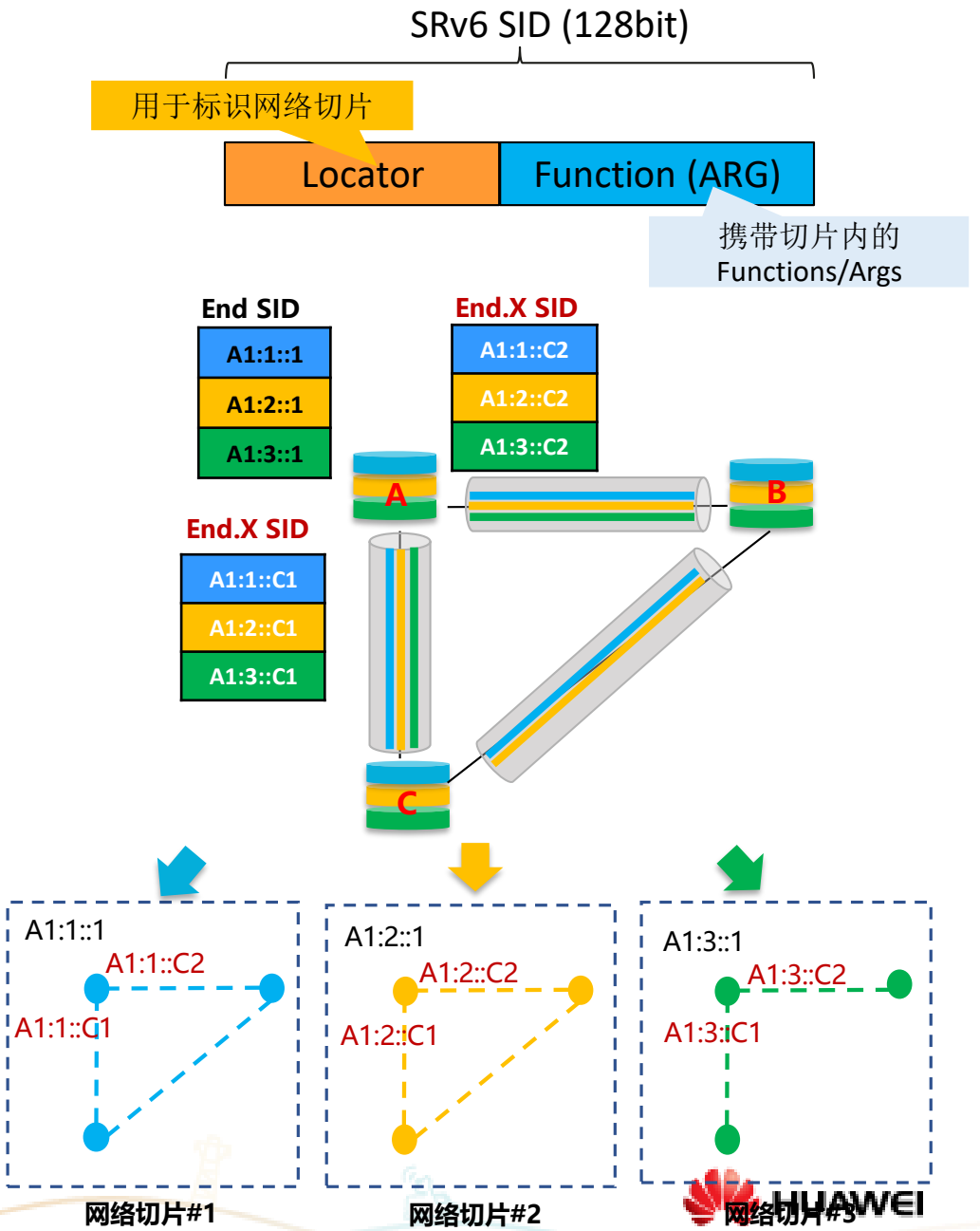
底层网络资源切分

- 物理接口
- 逻辑子接口（FlexE，信道化子接口）
- 独立转发队列
- TSN

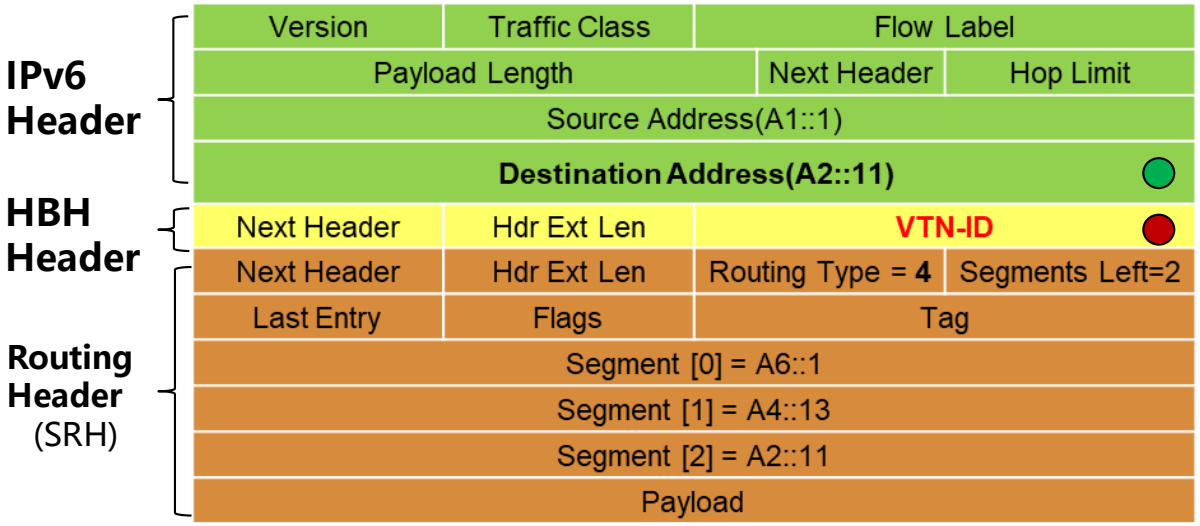
https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-teas-enhanced-vpn

SRv6 VPN+协议扩展

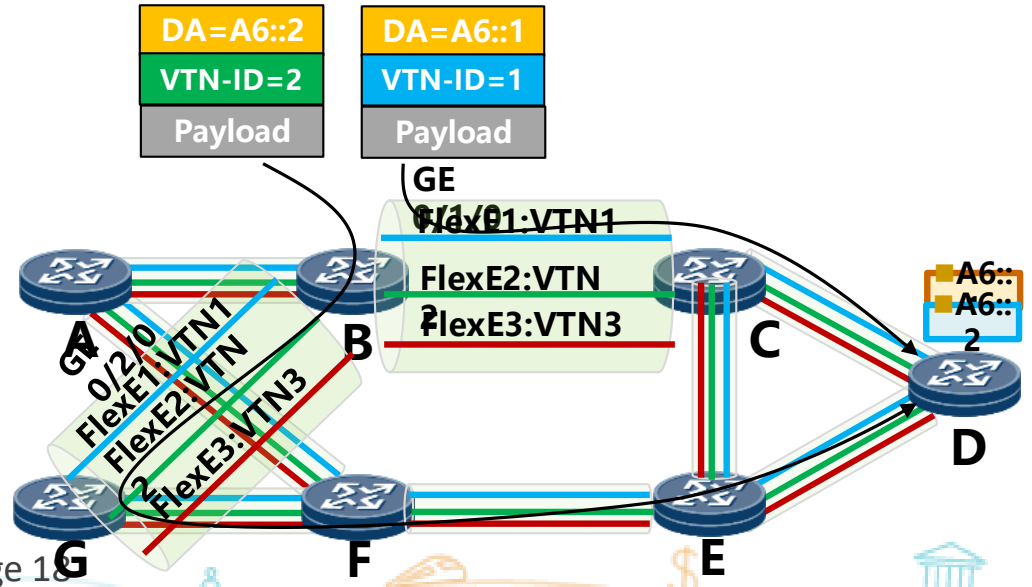
- **数据平面**
  - 每个节点为不同网络切片分配独立的SRv6 Locator
  - 每个网络切片的SRv6 SID继承该切片的Locator
  - 使用一组SRv6 SID标识特定网络切片的拓扑和资源
- **控制平面**
  - 扩展协议发布每个网络切片的Locator，SID和资源属性信息
  - 收集网络切片拓扑，计算基于切片约束的转发表项
- **IETF VPN+标准化进程**
  - VPN+ Framework
    https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-teas-enhanced-vpn-01 **(工作组文稿)**
  - SR/SRv6 based VPN+
    https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-spring-sr-for-enhanced-vpn
  - IGP extensions for SR-based VPN+
    https://tools.ietf.org/html/draft-dong-lsr-sr-enhanced-vpn
- **SRv6 VPN+原型**
  - 已向多家运营商展示SRv6 VPN+网络切片原型并开展联合创新



基于IPv6数据面扩展支持网络切片标识



- **数据面使用两种转发标识的组合标识流量的二维转发需求(拓扑、资源)，指导切片报文转发**
  - **IPv6目的地址/SRv6 SID用于在指定网络拓扑内寻址，找到出接口/下一跳**
  - **VTN-ID用于选择指定出接口下为该网络切片分配的子接口/转发资源**
- **数据面扩展带来的好处：**
  - **对用于拓扑与切片资源相关处理的数据面标识进行解耦**
  - **减少需要为网络切片分配的Locator/SRv6 SID数量，降低转发表项规格要求**



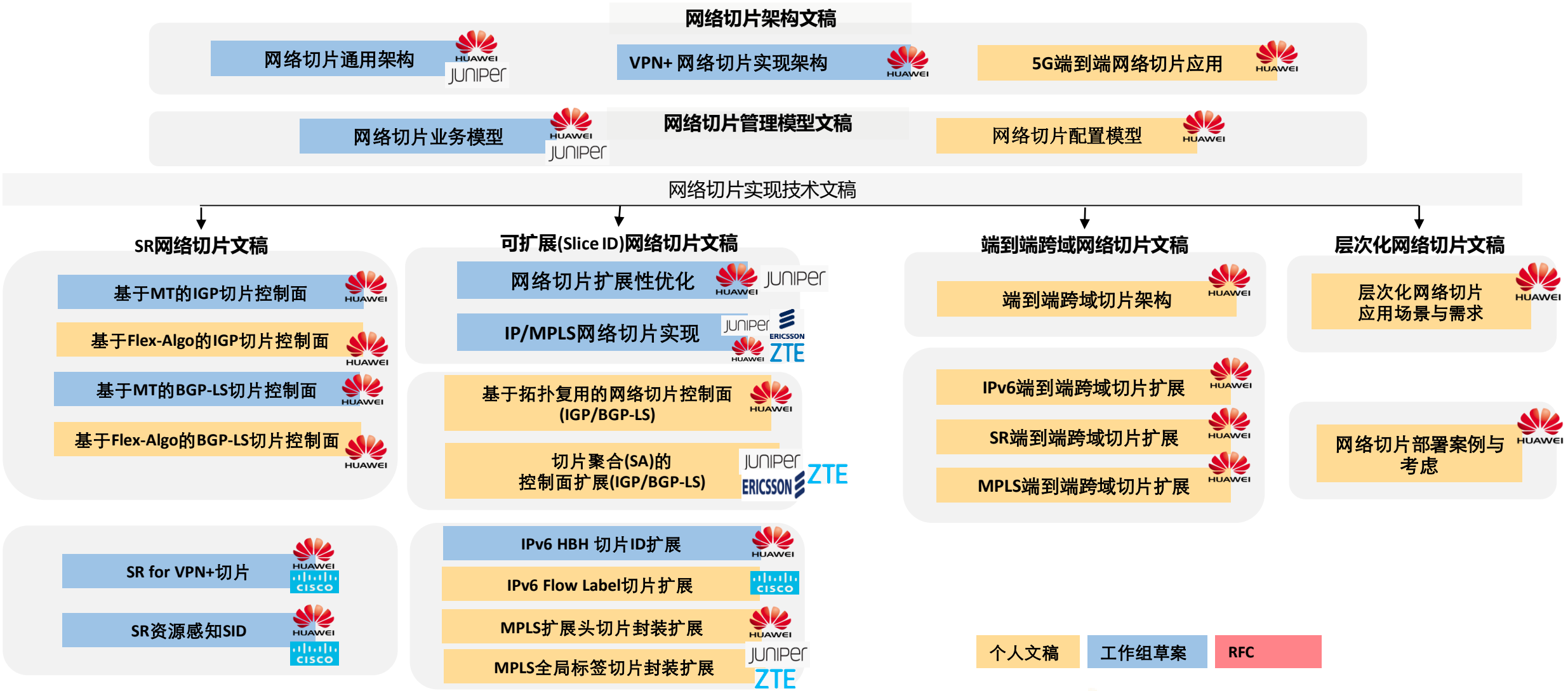
节点B转发表示例

Prefix	Next-hop	OutIf
A6::1	C	GE0/1/0
A6::2	G	GE0/2/0

MainIf	VTN-ID	SubIf
GE0/1/0	1	FlexE1
GE0/1/0	2	FlexE2
GE0/1/0	3	FlexE3
GE0/2/0	1	FlexE1
GE0/2/0	2	FlexE2
GE0/2/0	3	FlexE3

IPv6 VTN-ID扩展：*tools.ietf.org/html/draft-dong-6man-enhanced-vpn-vtn-id*

华为引领IP网络切片的标准发展

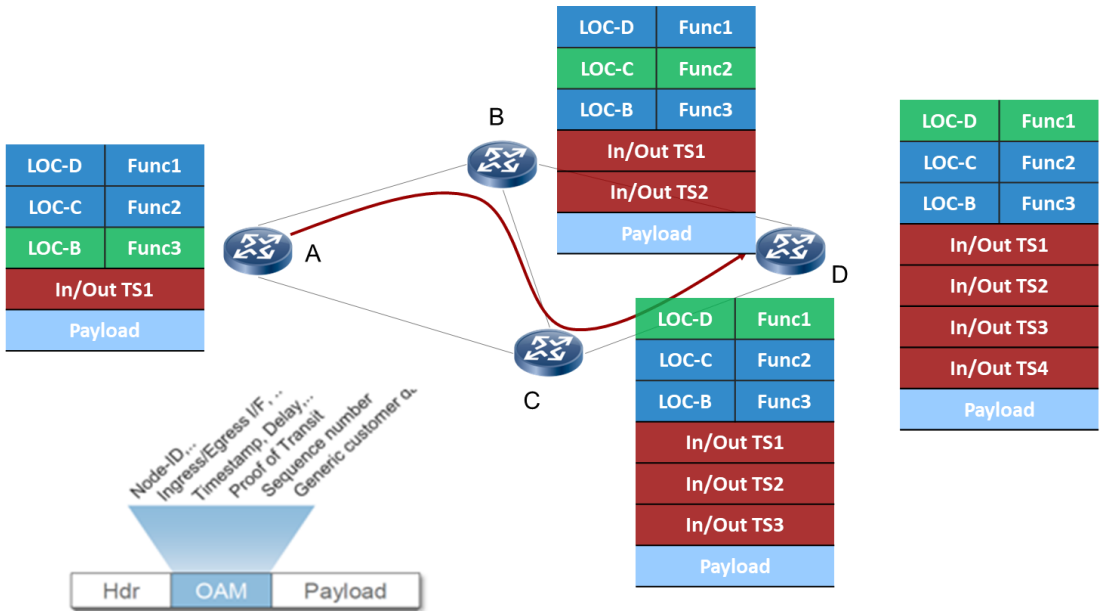


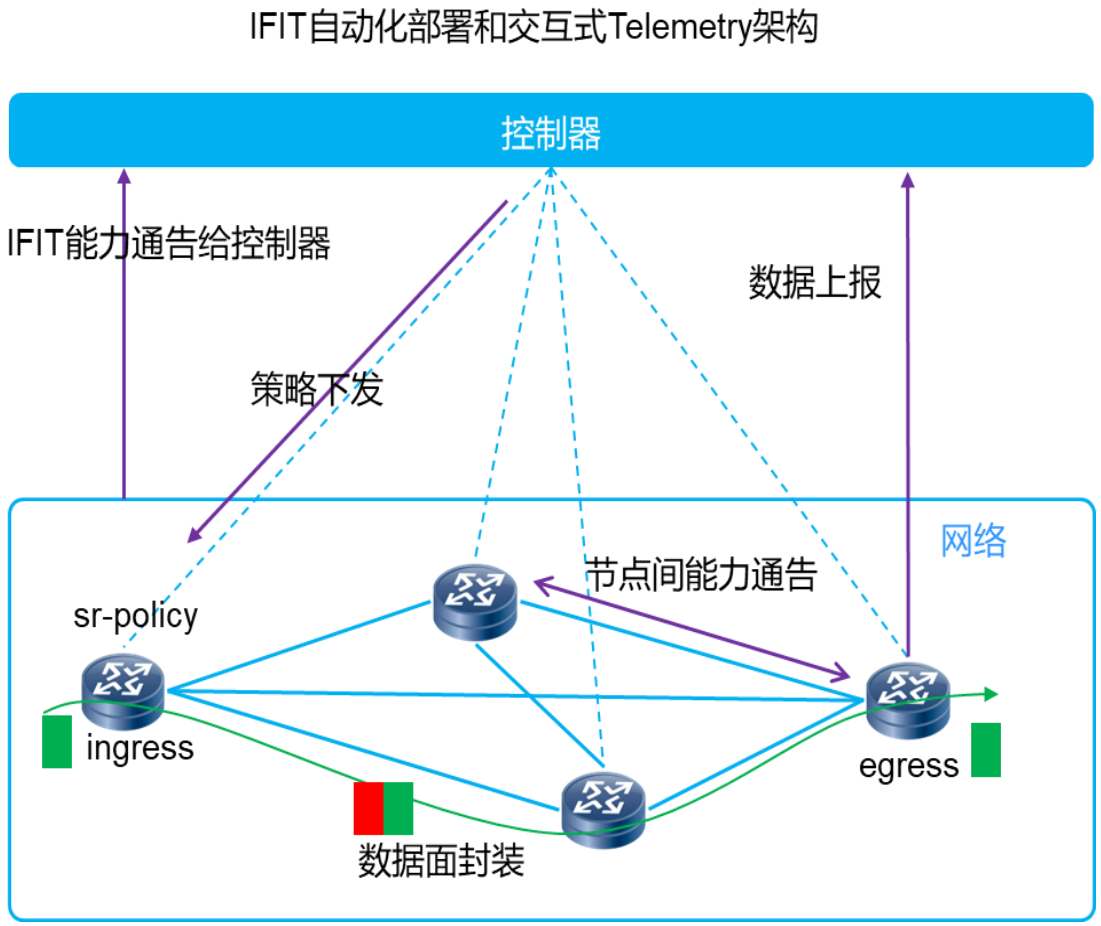
IPv6+ 2.0 (2) Network Slicing and VPN+

Area	Topic	Drafts	Vendors	Operators
Framework	IETF Network Slice General Framework	draft-ietf-teas-ietf-network-slices	Juniper/Ciena/ Futurewei	NTT, Telefonica, Microsoft
	VPN+ Framework	draft-ietf-teas-enhanced-vpn	Huawei	China Mobile/KDDI
SR切片	Resource-aware segments	draft-ietf-spring-resource-aware-segments	Huawei/Cisco	China Mobile/China Telecom/KDDI
	SR for VPN+	draft-ietf-spring-sr-for-enhanced-vpn	Huawei/Cisco	China Mobile/China Telecom/KDDI
	IGP Flex-Algo for SR-based VTN	draft-zhu-lsr-isis-sr-vtn-flexalgo	Huawei	China Telecom
	BGP-LS Flex-Algo for SR-based VTN	draft-zhu-idr-bgpls-sr-vtn-flexalgo	Huawei	China Telecom
	IGP Multi-Topo for SR-based VTN	draft-ietf-lsr-isis-sr-vtn-mt	Huawei	China Telecom
	BGP-LS Multi-Topo for SR-based VTN	draft-ietf-idr-bgpls-sr-vtn-mt	Huawei	China Telecom
Slice ID切片	Scalability Considerations for NRP	draft-ietf-teas-nrp-scalability	Huawei/Juniper	China Mobile/China Telecom
	IPv6 HBH based VTN ID	draft-ietf-6man-enhanced-vpn-vtn-id	Huawei	China Telecom/Verizon
	IGP for Scalable VPN+	draft-dong-lsr-sr-enhanced-vpn	Huawei	China Unicom/LGU+
	BGP-LS for Scalable VPN+	draft-dong-idr-bgpls-sr-enhanced-vpn	Huawei	China Unicom
	BGP SR Policy for NRP	draft-dong-idr-sr-policy-nrp	Huawei	China Unicom
	BGP Flowspec for network slice traffic steering	draft-dong-idr-flowspec-network-slice-ts	Huawei/ZTE	China Telecom/China Mobile
跨域切片	Framework for End-to-End IETF Network Slicing	draft-li-teas-e2e-ietf-network-slicing	Huawei	China Unicom/China Telecom
	IPv6 Encap for End-to-End IETF Network Slicing	draft-li-6man-e2e-ietf-network-slicing	Huawei	China Unicom/China Telecom
	SR for End-to-End IETF Network Slicing	draft-li-spring-sr-e2e-ietf-network-slicing	Huawei	China Unicom/China Telecom
层次化切片	Hierarchical IETF Network Slices	draft-dong-teas-hierarchical-ietf-network-slice	Huawei	

- **网络切片架构基本成熟，切片通用架构和VPN+实现架构均进入WG LC阶段；**
- **基于SR SID的网络切片方案的多篇草案被IETF接纳，基于SID标识切片资源的理念被广泛认同；**
- **基于Slice ID的网络切片方案是当前切片标准化工作的重点，基于IPv6 HBH的切片ID封装被IETF接纳，控制面扩展正逐步收敛；**
- **IP网络切片体系持续演进，跨域切片、层次化切片相关草案都已完成布局。**

IFIT（In-situ Flow Info Telemetry）：更有效的数据面监控机制



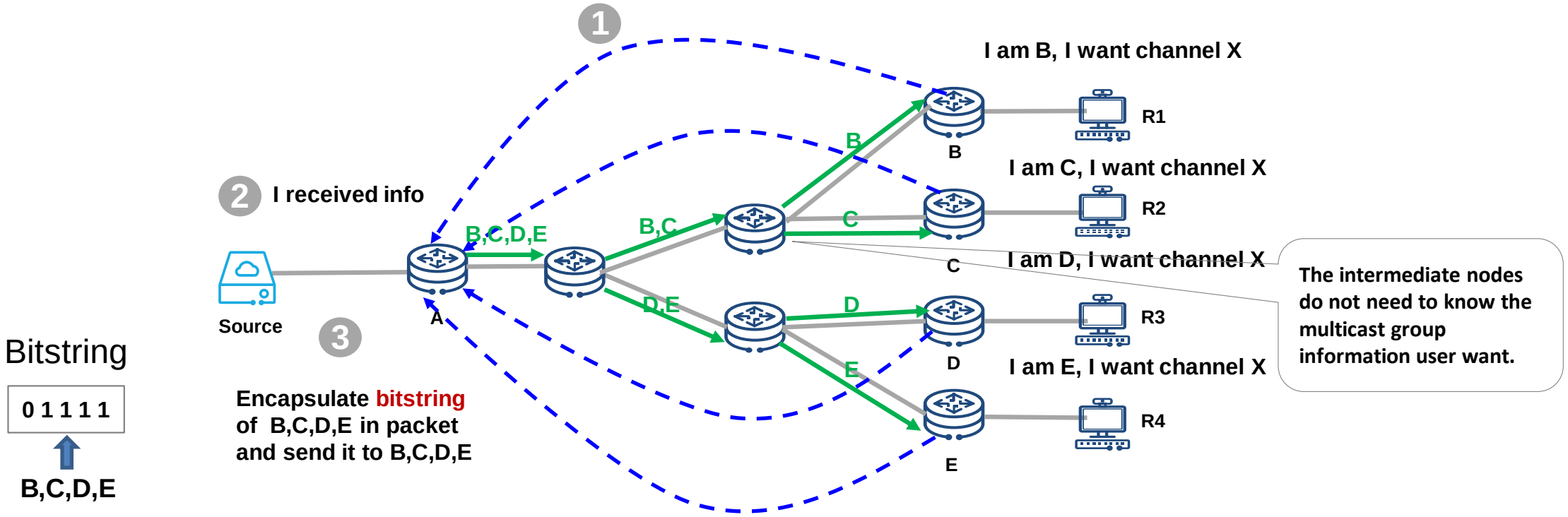


IPv6+ 2.0 (3) IFIT (In-situ Flow Information Telemetry)

Area	Topic	Drafts	Vendors	Operators
Framework	In-situ Flow Information Telemetry Framework	draft-song-ifit-framework	Huawei	China Mobile/China Telecom/SKT/LGU+
	Clustered Alternate Marking Method	RFC 9342	Huawei	Telecom Italia
Data plane format	Data Fields for In-situ OAM	RFC 9197	Cisco/Huawei	
	In-situ OAM Direct Exporting	RFC 9326	Huawei/Cisco	
	Alternate-Marking Method	RFC 9341	Huawei/Ericsson	Telecom Italia
	Enhanced Alternate Marking Method	draft-zhou-ippm-enhanced-alternate-marking	Huawei	LGU+/China Mobile Telecom Italia
Encap type	IPv6 Application of the Alternate Marking	RFC 9343	Huawei	Telecom Italia, China Mobile, China Unicom
	In-situ OAM IPv6 Options	draft-ietf-ippm-ioam-ipv6-options	Cisco	
	SRH for the Alternate Marking	draft-fz-spring-srv6-alt-mark	Huawei	Telecom Italia
	Multicast On-path Telemetry Solutions	draft-ietf-mboned-multicast-telemetry	Huawei/Ericsson	
Control Plane	BGP SR Policy for IFIT	draft-ietf-idr-sr-policy-ifit	Huawei	China Mobile/Unipay
	Path Computation Element Communication Protocol (PCEP) Extensions to Enable IFIT	draft-ietf-pce-pcep-ifit	Huawei	China Telecom/Unipay
	BGP Extension for Advertising In-situ Flow Information Telemetry (IFIT) Capabilities	draft-ietf-idr-bgp-ifit-capabilities	Huawei	China Telecom
YANG model	A YANG Data Model for In-Situ OAM	draft-ietf-ippm-ioam-yang	Huawei/Cisco	

- **数据面方案文稿基本稳定，发布多篇RFC。**
- **用于IFIT的自动化部署的多篇控制面草案已经被工作组接纳。**
- **描述多种机制的组合和应用的IFIT架构是下一步推动的重点。**

MSR6/BIERv6：新型无状态组播



- 基于BitString复制报文到指定的接收者，其中的每个bit代表一个接收者
- 通过在BIER报文头中携带BitString信息，实现无状态组播

IETF标准进展：MSR6 BOF

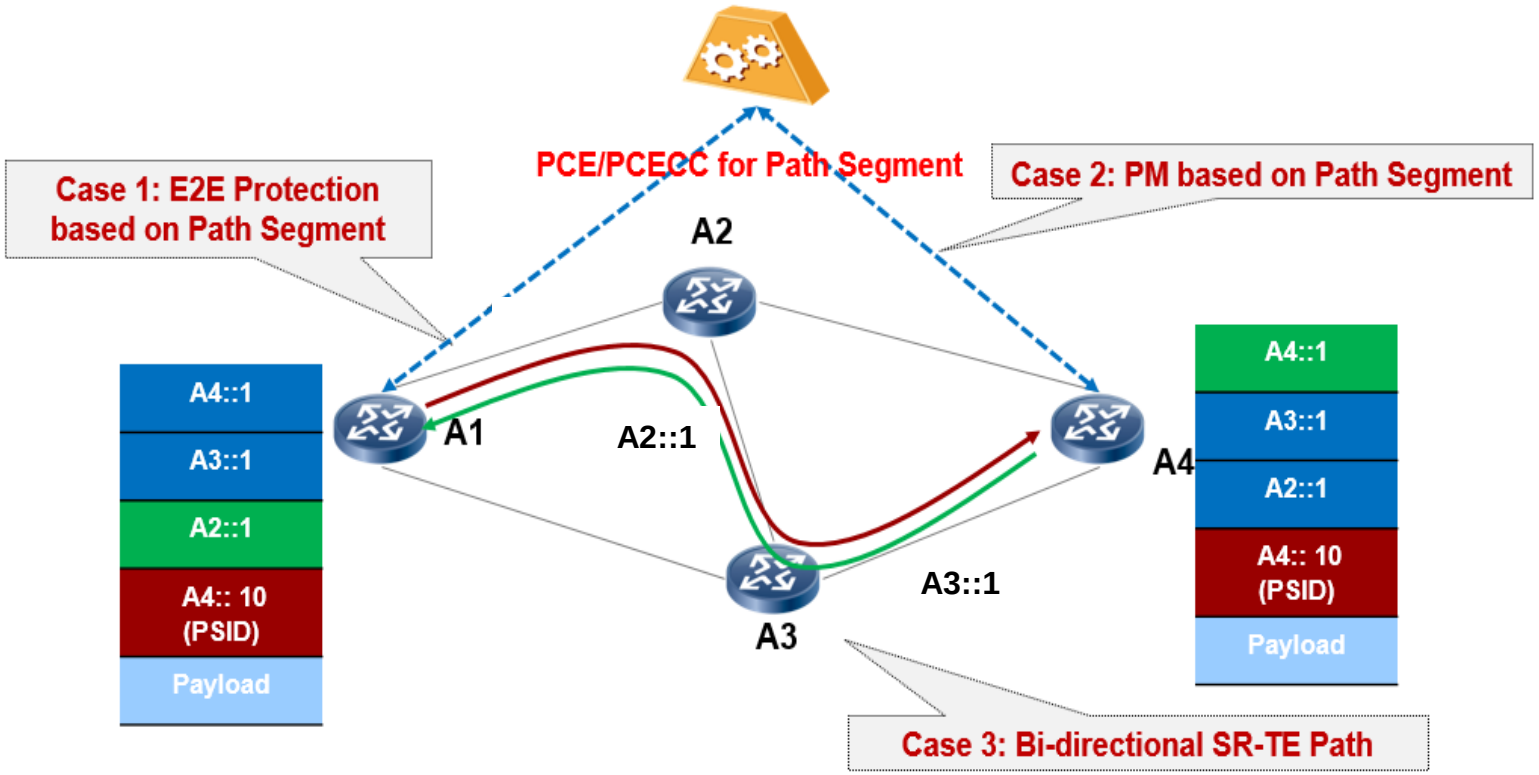
会议

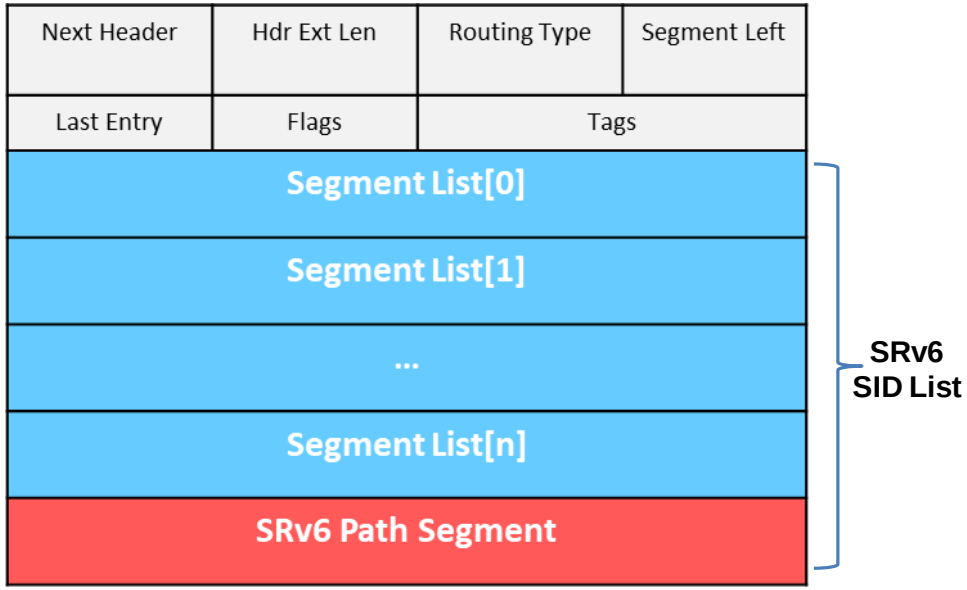
- **MSR6 Side Meeting @IETF112**
  - https://trac.ietf.org/trac/ietf/meeting/wiki/112sidemeetings
- **MSR6 BOF @IETF114**
  - https://datatracker.ietf.org/group/msr6/about/

草案

Topic	I-D	Version	Authors
MSR6 Requirement	draft-cheng-spring-ipv6-msr-design-consideration	Update,-01	China Mobile, Verizon, Huawei, China Unicom, China Telecom, H3C
	draft-li-spring-ipv6-msr-gap-analysis	-00	Huawei
	draft-liu-msr6-use-cases	Newly published, -00	China Mobile, China Telecom, China Unicom, Huawei
MSR6 BE	draft-lx-msr6-rgb-segment	-00	China Mobile, Huawei
MSR6 MVPN	draft-xl-msr6-source-segment	-00	Huawei, China Mobile
MSR6 TE	draft-geng-msr6-traffic-engineering	Updated, -01	Huawei
	draft-geng-msr6-rlb-segment-00	Newly published, -00	Huawei
	draft-xu-msr6-rbs	Newly published, -00	Huawei
	draft-chen-pim-srv6-p2mp-path	Newly published, -00	Futurewei
	draft-chen-pim-mrh6-01	Newly published, -00	Futurewei

SRv6 Path Segment & OAM：更高效的路径标识与性能测量机制





HUAWEI

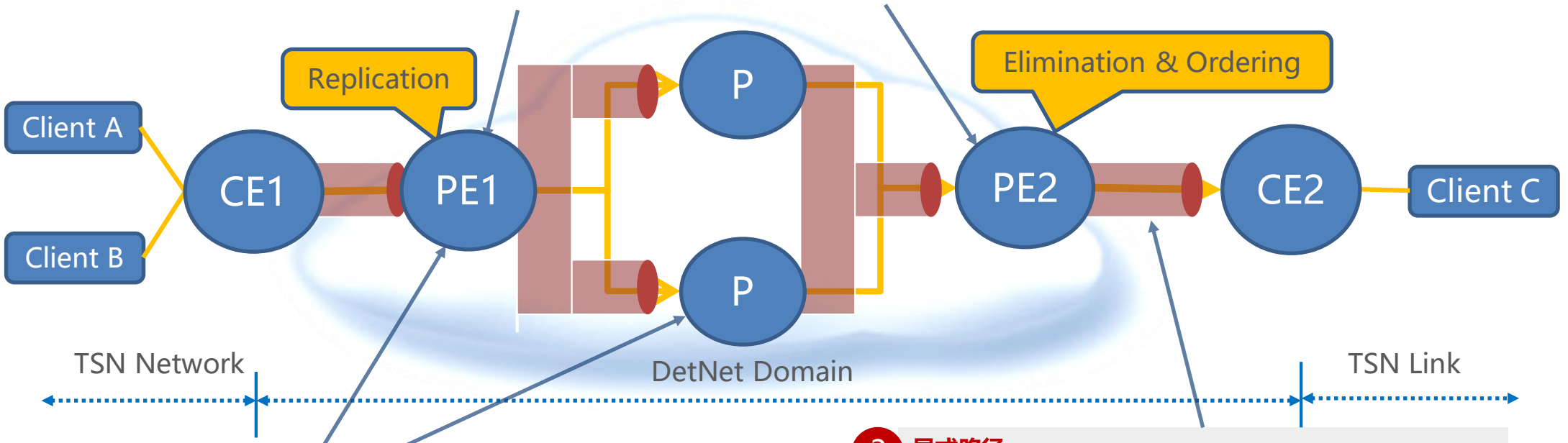
IPv6+ 2.0 (5) SRv6 OAM and Path Segment

Area	Topic	Draft	Vendors	Operators
OAM	OAM in SRv6	RFC9259	Cisco/Huawei	Softbank/Bell Canada
	SRv6 Light iOAM	draft-li-spring-light-weight-srv6-ioam	Huawei	China Mobile
Path Segment	Use cases and Mechanisms of MPLS Path Segment	draft-ietf-spring-mpls-path-segment	Huawei/Cisco	China Mobile
	SRv6 Path Segment	draft-ietf-spring-srv6-path-segment	Huawei/Cisco	China Mobile/China Telecom
	Path Segment and Bidir Path in BGP	draft-ietf-idr-sr-policy-path-segment	Huawei/Cisco	China Telecom/China Mobile
	Path Segment and Bidir Path in BGP-LS	draft-ietf-idr-bgp-ls-sr-policy-path-segment	Huawei/Cisco	China Telecom/China Mobile
	Path Segment in PCEP	draft-ietf-pce-sr-path-segment	Huawei/Cisco/ZTE	China Mobile
	Bidir Path in PCEP	draft-ietf-pce-sr-bidir-path	Huawei/Cisco	China Mobile
	ID Space Delegation	draft-li-pce-controlled-id-space	Huawei	China Telecom

- **SRv6 OAM已发布为RFC9259**

确定性网络核心技术

2 冗余传输
通过多路径同时传输流量来避免链路故障或其他因素造成的对包，有效 提升可靠性
- 报文复制，删除和重排



1 拥塞避免
通过规避流量之间的冲突，避免拥塞造成的丢包和时延不确定性
- 资源预留
- 队列管理（整形，调度等机制）

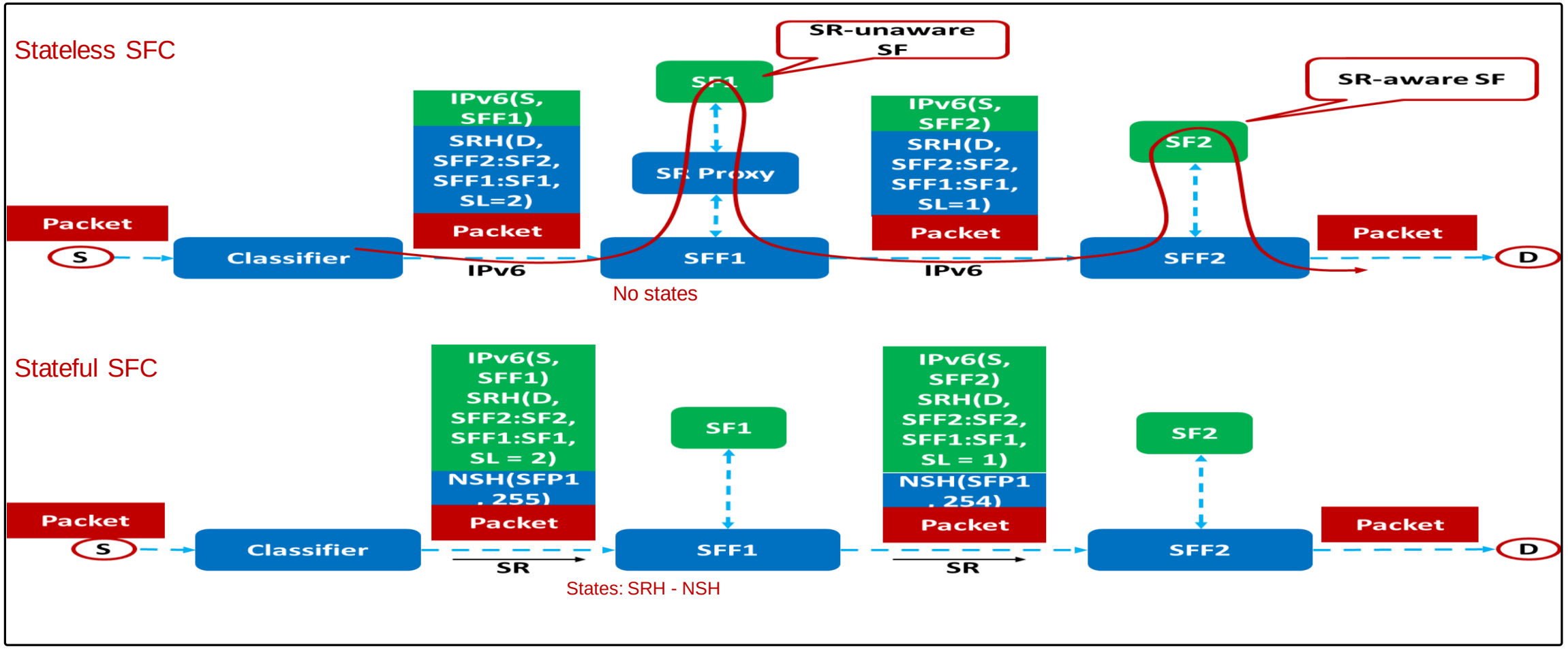
3 显式路径
指定DetNet流量的传输路径，以控制端到端时延
- Segment Routing

IPv6+ 2.0 (6) DetNet

Area	Topic	Drafts	Vendors	Operators
Architecture	DetNet Architecture	RFC8655	Huawei/Cisco/ Ericsson	
Controller plane	DetNet Controller Plane Framework	Draft-ietf-detnet-controller-plane-framework	Huawei/Ericsson	China Mobile
	RSVP for TSN Networks	draft-trossen-detnet-rsvp-tsn	Huawei/Siemens	
Bounded latency	IPv6 Options for Cyclic Queuing and Forwarding Variants	draft-yizhou-detnet-ipv6-options-for-cqf-variant	Huawei	China Mobile
	DetNet Enhanced Data Plane	draft-yzz-detnet-enhanced-data-plane	Huawei	China Mobile
	Segment Routing for Enhanced DetNet	draft-geng-spring-sr-enhanced-detnet	Huawei	
	ISIS-TE Extensions for Enhanced DetNet	draft-geng-lsr-isis-te-extension-enhanced-detnet	Huawei	
	BGP-LS Advertisement of IGP DetNet Extensions	draft-geng-idr-bgp-ls-enhanced-detnet	Huawei	
	SR Policy for enhanced DetNet	draft-zhang-sr-policy-enhanced-detnet	Huawei	
	PCEP for Enhanced DetNet	draft-zhang-pce-enhanced-detnet	Huawei	
Redundancy Protection	SRv6 for Redundancy Protection	draft-ietf-spring-sr-redundancy-protection	Huawei/Cisco	Verizon
	Redundancy Policy for Redundancy Protection	draft-geng-spring-redundancy-policy	Huawei	Verizon
	Advertising Redundancy Policy in BGP	draft-yang-idr-bgp-redundancy-policy	Huawei	
	PCEP Extensions to Redundancy Policy	draft-yang-pce-pcep-redundancy-policy	Huawei	
OAM	Echo Request/Reply for DetNet Capability Discovery	draft-tan-detnet-cap-discovery	Huawei	
YANG model	DetNet YANG Model	draft-ietf-detnet-yang	Huawei/ETRI	China Mobile

- **DetNet框架、YANG模型等草案已经被工作组接纳。**
- **增强的DetNet（有界时延）数据面、控制面等的多篇草案形成较为完整的布局。**
- **冗余备份多篇草案布局，基于SR的冗余备份草案被工作组接纳。**

基于SRv6的SFC：Stateless与Stateful方案

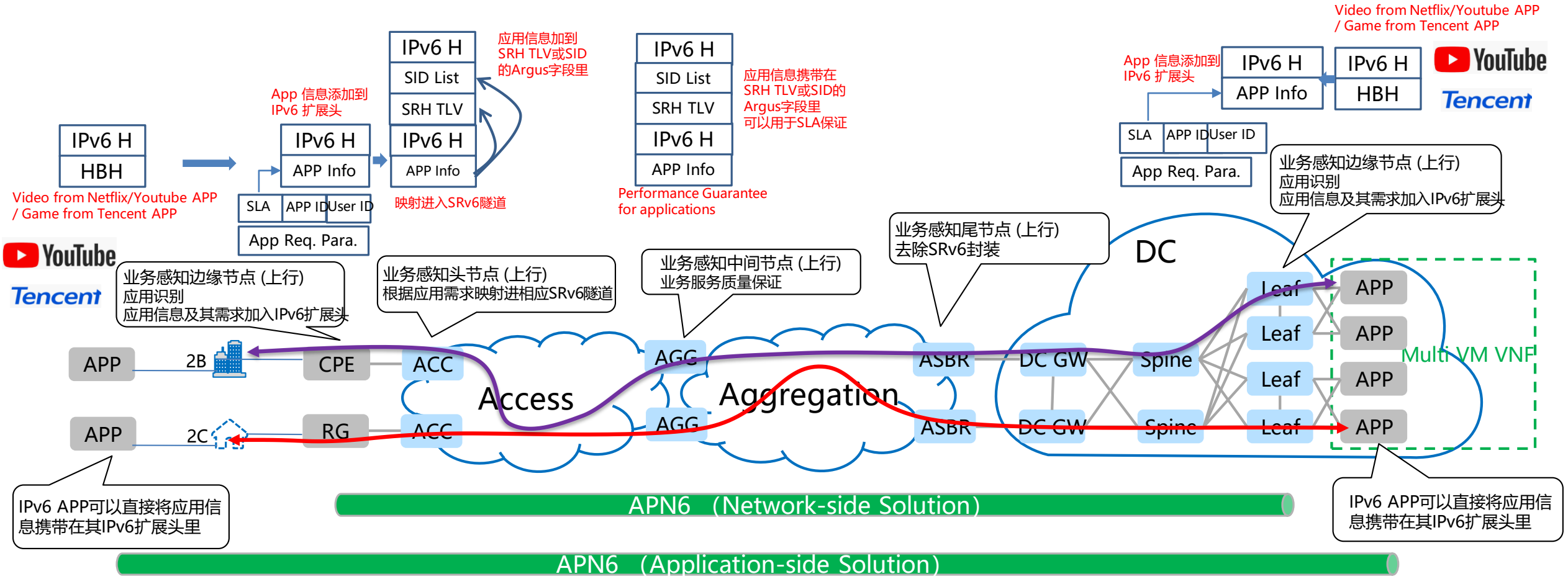


IPv6+ 2.0 (7) SFC

Area	Topic	Drafts	Vendors	Operators
SFC	SR for SFC	draft-ietf-spring-sr-service-programming	Cisco/Huawei/ Nokia/Mellanox	Bell Canada/ Orange/AT&T/ Alibaba
	SR + NSH for Stateful SFC	draft-ietf-spring-nsh-sr	Huawei	Microsoft
	SR YANG model	draft-jags-spring-sr-service-programming-yang	Cisco/Huawei	Bell Canada/ LinkedIn
	Control plane framework for SR SFC	draft-li-spring-sr-sfc-control-plane-framework	Huawei	Saudi Telecom
	BGP-LS extension for SR SFC	draft-ietf-idr-bgp-ls-sr-service-segments	Cisco/Huawei/ Ericsson	LinkedIn/Bell Canada/AT&T/ Orange/Alibaba
	ISIS extension for SR SFC	draft-xu-isis-service-function-adv	Huawei	Telefonica
	OSPF extension for SR SFC	draft-xu-ospf-service-function-adv	Huawei	Telefonica

应用感知的（Application-aware）IPv6网络

- 利用IPv6扩展头将应用信息及其需求传递给网络
- 根据携带应用信息，通过业务的部署和资源调整来保证应用的SLA要求



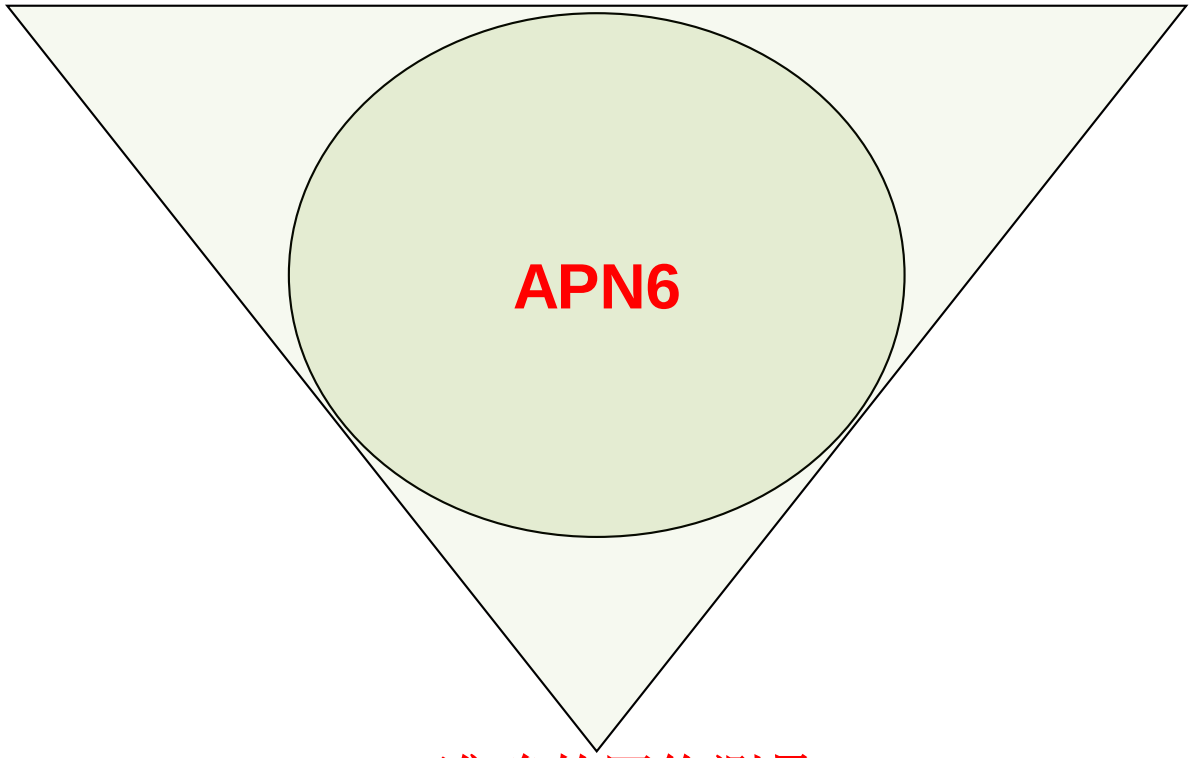
https://tools.ietf.org/html/draft-li-6man-service-aware-ipv6-network-00 IETF104@Prague

HUAWEI

APN6的三要素

开放的应用信息携带

- APP-ID
  - SLA Level
  - 应用ID
  - 用户ID
  - 流ID
- APP参数信息
  - 带宽
  - 时延
  - 丢包率



丰富的网络服务

- DiffServ
- H-QoS
- 网络切片
- DetNet
- SFC
- BIER6

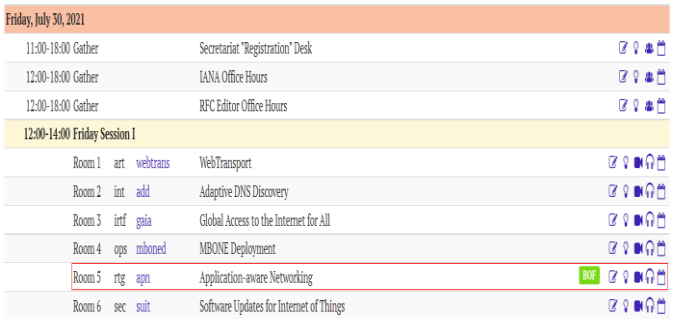
准确的网络测量

- 更细粒度（per packet vs. per flow, per node vs. E2E, individual vs. statistics, etc.)
- 综合测量 (per packet with per flow, per node with E2E, individual with statistics, in-band with out-band, passive with active, etc.)

标准进展：APN6获广泛关注，与多家运营商客户合署标准文稿，成功推动BOF

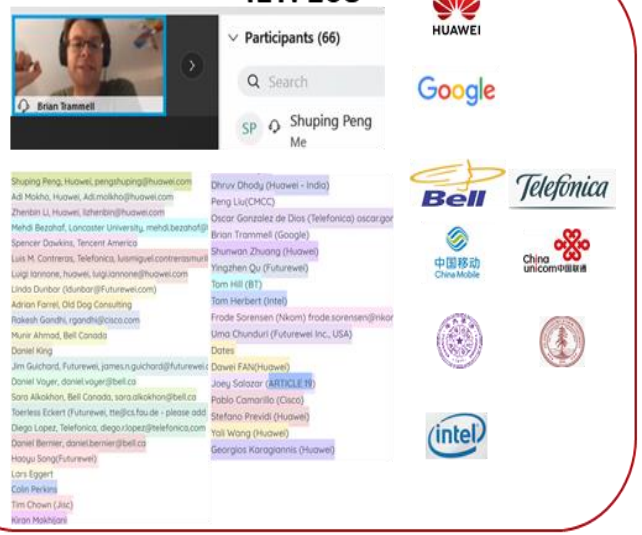
- **Side Meetings** @IETF105 & IETF108
- **Hackathons** @IETF108 & IETF109 & IETF110
- **Demos** @INFOCOM2020 & 2021
- **APN Mailing List** Discussions - apn@ietf.org
- **APN Interim Meeting** @IETF 110-111
- **APN BoF** @IETF111, Approved! 30 July 2021, 1200-1400 PDT

IETF111 APN BoF



IETF105

IETF108



IETF109

IETF110

https://www.ietf.org/blog/ietf109-bofs/
https://www.ietf.org/blog/ietf110-bofs/
https://trac.tools.ietf.org/bof/trac/wiki/WikiStart (IETF111 BoF)

https://github.com/APN-Community

IPv6+ 3.0 (1) Application-aware Networking

Topic	Draft	Vendors	Operators/Academia
Problem Statement/ Usecases	draft-li-apn-problem-statement-usecases	Huawei	Bell Canada/China Telecom/China Mobile/China Unicom/Verizon/Toyota
Framework	draft-li-apn-framework	Huawei	Bell Canada/China Telecom/China Mobile/China Unicom/Verizon/Toyota
Gap Analysis	draft-peng-apn-scope-gap-analysis-00	Huawei	
Usecases	draft-liu-apn-edge-usecase	Huawei	China Mobile
	draft-zhang-apn-acceleration-usecase	Huawei	China Unicom
	draft-yang-apn-sd-wan-usecase	Huawei	China Mobile
Data Plane	draft-li-apn-header	Huawei	
	draft-li-apn-ipv6-encap	Huawei	
	draft-ietf-v6ops-hbh-00	Huawei	China Telecom/China Unicom/Verizon
Security/Privacy	draft-peng-apn-security-privacy-consideration	Huawei	
Control Plane	draft-peng-apn-bgp-flowspec-00	Huawei	Tsinghua University
YANG Model	draft-peng-apn-yang-00	Huawei	

- **APN Proposed WG: https://datatracker.ietf.org/wg/apn/about/**
- **APN Mailing List: https://www.ietf.org/mailman/listinfo/apn**

CAN典型应用：MEC中的AR/VR – 根据算力和网络状态综合调度引流

MTP(motion-to-photon)时延上限: 包括帧渲染，时延需要少于**20 ms**以避免用户眩晕感，端到端时延组成如下:

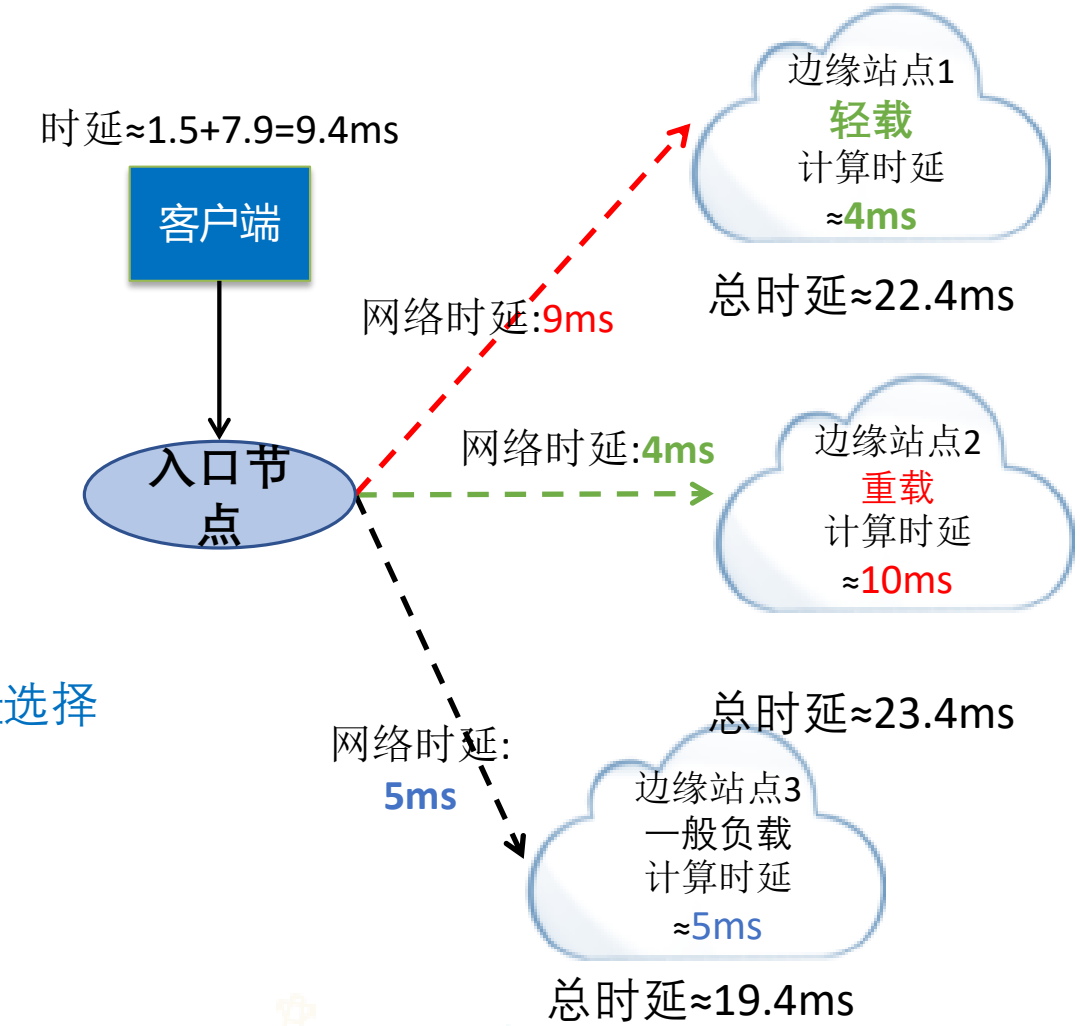
1. 传感器采样时延: <1.5ms (客户端)
2. 显示刷新时延: ≈7.9 ms(客户端)
3. 使用GPU进行帧渲染**计算时延≈ 5.5ms** (服务器)
4. **网络时延**(预算) =20-1.5-7.9-5.5 = **5.1ms**(网络)

计算时延和网络时延同等重要！！

- 只根据计算负载选择边缘站点1, 总时延≈22.4ms
- 只根据网络时延选择边缘站点2, 总时延≈23.4ms
- 同时根据计算负载和网络时延选择边缘站点, 总时延≈19.4ms

仅通过优化网络或计算资源无法满足总时延要求，无法找到最佳选择

需要将流量动态引导到合适的边缘节点**以在同时考虑网络和计算延迟的情况下满足端到端时延要求**



HUAWEI

CAN Dyncast：分布式算网一体统一调度

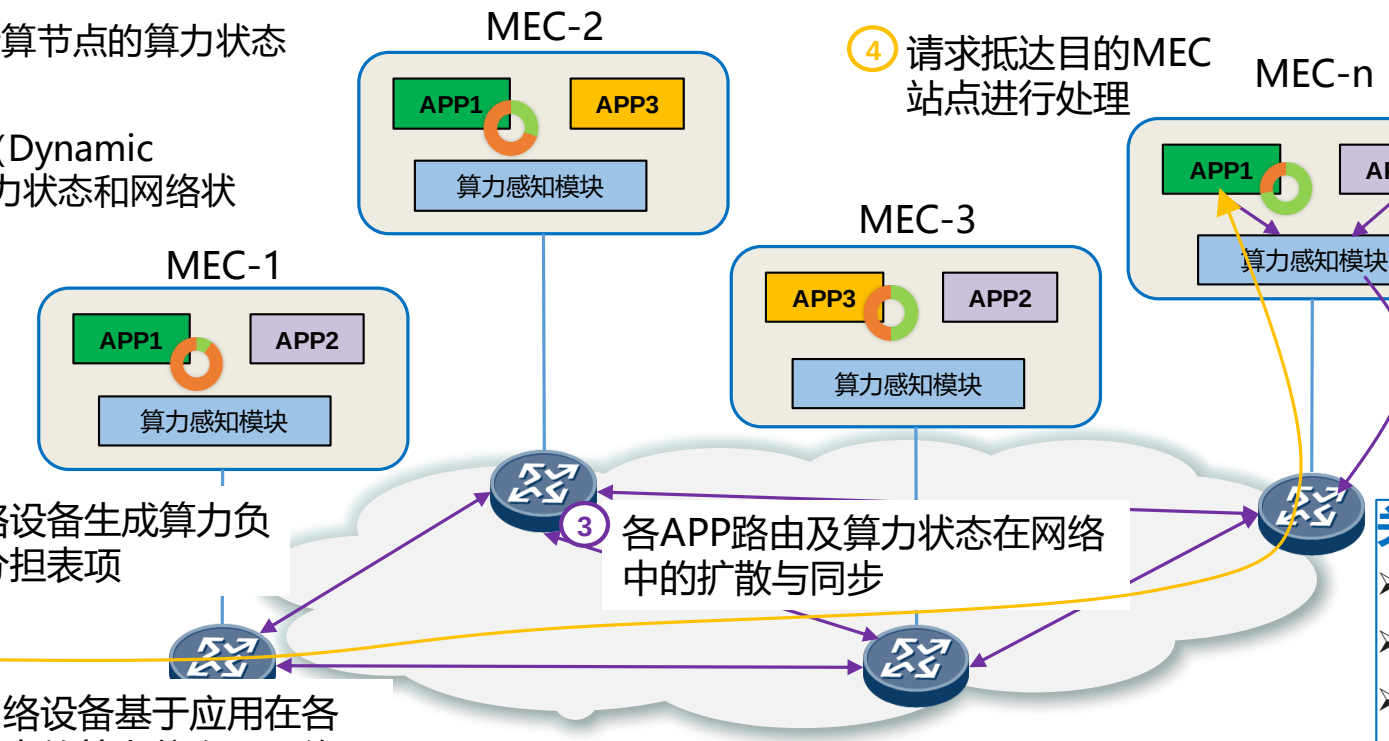
CAN Dyncast（Dynamic Anycast）是算力路由的一种关键技术，继承Anycast的快，可靠，防DDOS的优点。

- 分布化的算力作为算力网络中的内生资源，通过动态任播CAN Dyncast拉通联接成网，为客户提供最佳的算力分配及网络连接实现边缘计算高可靠性 、系统整体利用效率最优

控制面：通过网络协议分发计算节点的算力状态信息，如BGP

数据面：基于CAN Dyncast（Dynamic Anycast）服务标识、综合算力状态和网络状态引导请求转发

IP 前缀	下一跳	CFN 算力值
APP1 Anycast IP	MEC-1	60
	MEC-2	20
	MEC-n	10



4 请求抵达目的MEC站点进行处理

1 算力信息的采集

2 边缘计算节点将算力状态通告给网络设备

3 各APP路由及算力状态在网络中的扩散与同步

4 网络设备生成算力负载分担表项

1 用户发起对APP1的请求

2 网络设备基于应用在各站点的算力信息及网络状态进行选路

3 网络设备在会话表中添加条目，对该请求进行会话保持

关键技术：

- Anycast
- 业务标识
- 算力度量（算力负载）
- 算力感知（算力采集和通告）
- 调度算法
- 会话保持

HUAWEI

IETF标准进展：CAN BOF

会议

- **Dyncast Side Meeting @IETF109 & @IETF110**
  - https://github.com/dyncast/ietf109
  - https://github.com/dyncast/ietf110
- **CAN BOF @IETF113 @IETF115**
  - https://datatracker.ietf.org/group/can/about/

草案

Draft topic	Draft name
Computing-Aware Networking (CAN) Problem Statement and Use Cases	draft-liu-can-ps-usecases
Computing-Aware Networking (CAN) Gap Analysis and Requirements	draft-liu-can-gap-reqs
Computing Resource Modeling for CAN	draft-liu-can-computing-resource-modeling

IPv6+ 3.0 (2) Computing-aware Routing

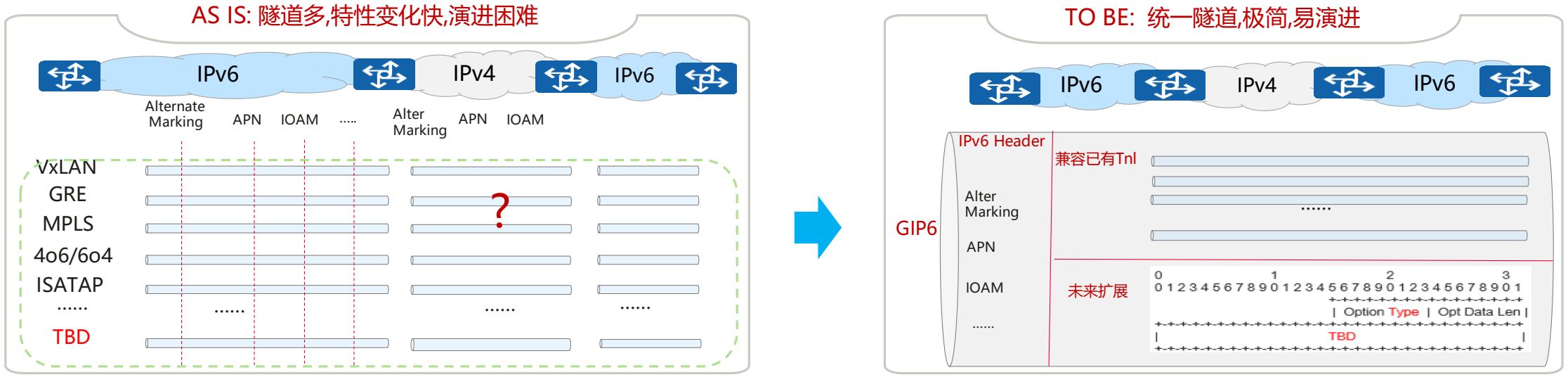
Area	Topic	Draft	Vendors	Operators/Academia
CAN	Computing-Aware Networking (CAN) Problem Statement and Use Cases	draft-liu-can-ps-usecases	Huawei	China Mobile/BT/Orange/Telefonica
	Computing-Aware Networking (CAN) Gap Analysis and Requirements	draft-liu-can-gap-reqs	Huawei/ZTE	China Mobile
	Computing Resource Modeling for CAN	draft-liu-can-computing-resource-modeling	Huawei/ZTE	China Mobile
Dyncast	Dynamic-Anycast (Dyncast) Use Cases & Problem Statement	draft-liu-dyncast-ps-usecases	Huawei	China Mobile/BT/Orange/Telefonica
	Dynamic-Anycast (Dyncast) Requirements	draft-liu-dyncast-gap-reqs	Huawei	China Mobile/BT
	Dynamic-Anycast Architecture	draft-li-dyncast-architecture	Huawei	China Mobile
	Providing Instance Affinity in Dyncast	draft-bormann-t2trg-affinity		TZI
	LISP Support for Dynamic Anycast Routing	draft-kjsun-lisp-dyncast		ETRI
	BGP NLRI App Meta Data for 5G Edge Computing Service	draft-dunbar-idr-5g-edge-service-metadata	Huawei	Verizon/Microsoft
Others	Use Cases for Computing-aware Software-Defined Wide Area Network(SD-WAN)	draft-zhang-dyncast-computing-aware-sdwan-usecase	Huawei	China Unicom
	Computing-aware SFC	draft-zhang-computing-aware-sfc-usecase	Huawei	China Unicom

- **CAN BOF: https://datatracker.ietf.org/wg/can/about/**
- **CAN Mailing List: https://www.ietf.org/mailman/listinfo/can**

IPv6扩展头使用总结

特性	IPv6扩展头使用		
	HBH Header	Routing Header	DO Header
SRv6 TE/FRR/VPN		√	
Network Slicing/VPN+	√	√	√
IFIT	√	√	√
MSR6/BIERv6		√	√
APN6	√	√	√√

GIP6：多种隧道在支持IPv6新特性时存在挑战，隧道封装需要通用化

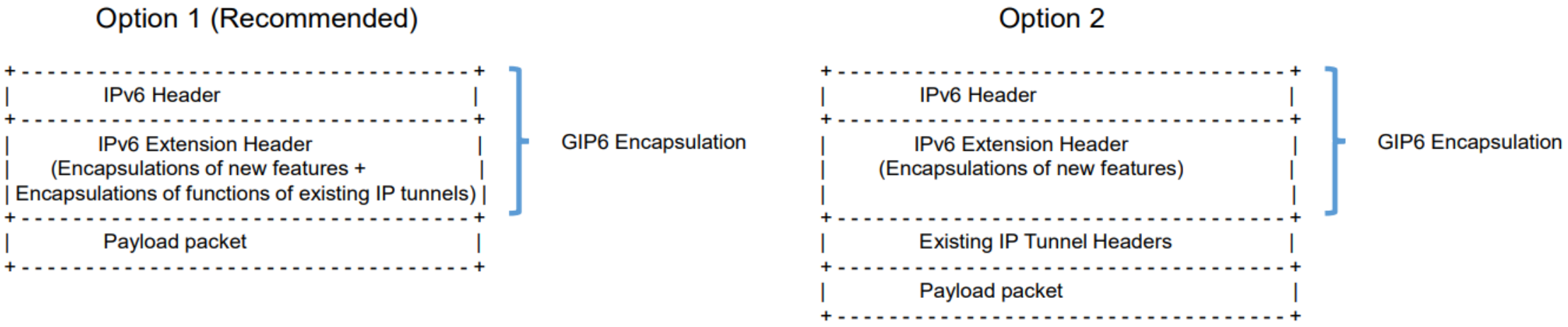


在IP业务的演进过程中，定义了许多类型的隧道，如VxLAN、GRE等；同时，基于IPv6网络，业界创新了很多新特性，如切片、IOAM等；在隧道向IPv6演进的过程中存在如下问题：

- **标准化工作繁重**：上述的所有IP隧道都需要进行相应的扩展，会带来很多的标准化工作（譬如园区IPv4 VxLan支持切片需求）。
- **字段冗余**：有的IP隧道的功能实际IPv6自己就可以支持，比如基于UDP的隧道VXLAN等，希望能够利用UDP来实现负载分担，但IPv6的Flow Label可以实现这个功能，没有必要在用一个冗余的字段。
- **封装风格迥异**： 有的IP隧道有自己的特有Header，比如VXLAN隧道有VXLAN头，GRE隧道有GRE头，如果要支持新的特性，那就意味着要么使用IPv6已有的封装，要么在自己特有的隧道Header的基础上进行扩展。
  -- 如果已经有特定的Header，并在已有 Header基础上进行扩展，就会跟已有新特性IPv6 Header的封装定义形成冗余。
  -- 如果没有特定Header的IP隧道类型（如IP over IP），需要重新在IPv6扩展头中定义。这导致不同的IP隧道有不同的封装风格。

基于IPv6的通用隧道封装，Generalized IPv6 Tunnel (GIP6)

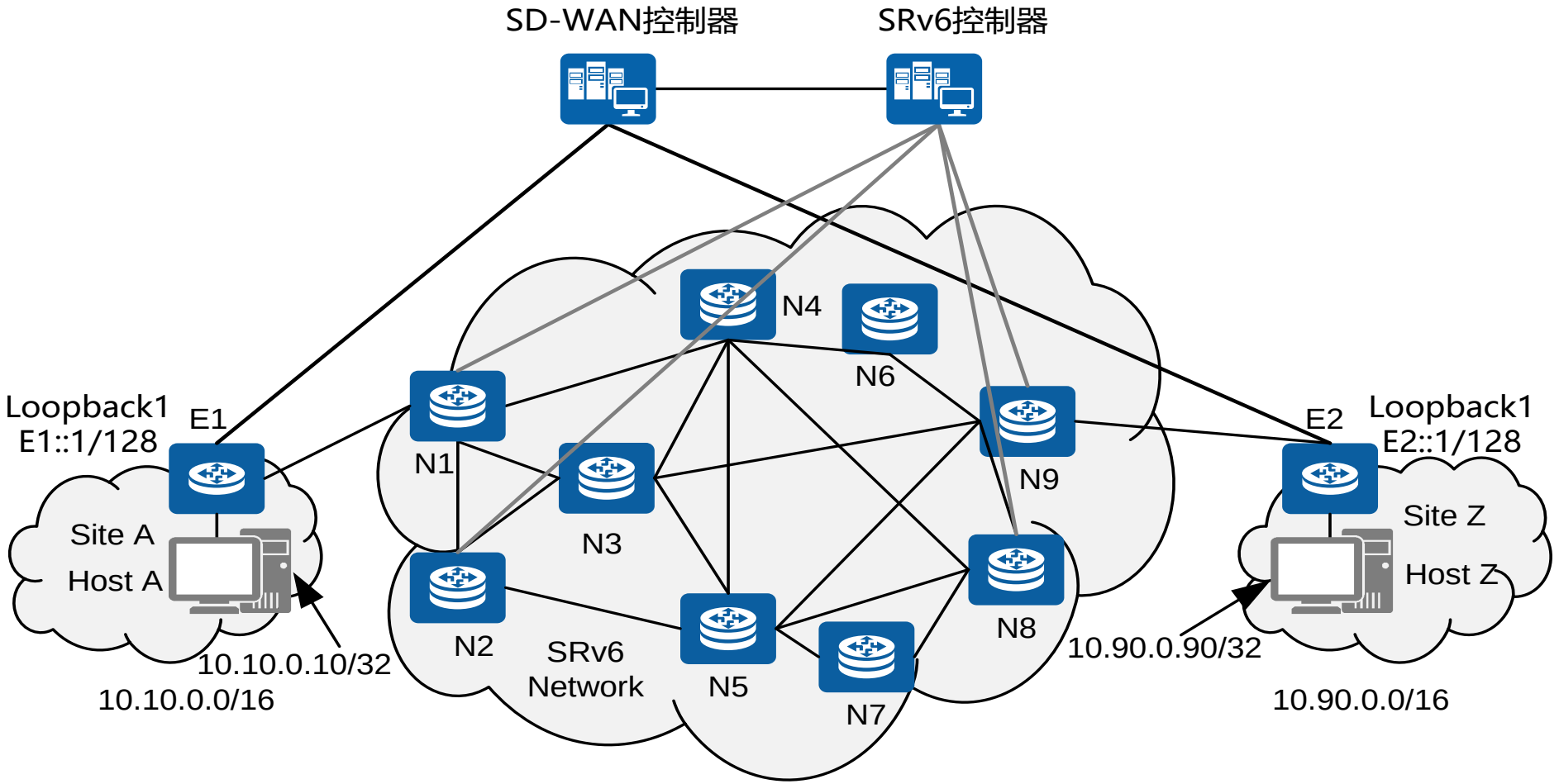
- **GIP6**：定义一种通用的IPv6 隧道封装，简化隧道支持IPv6新特性相关的工作，解决当前面临的各种问题和挑战。
- **达到效果**：
  - 高扩展性：后续IPv6 Header扩展任何新功能，各种隧道都可以继承使用，不用单独定义
  - 高效封装：去除重复字段，譬如VxLAN隧道可以不用UDP封装，再譬如可以去掉MPLS 熵标签等
  - 高兼容性： 原有的隧道封装格式不用修改，保留原始定义（非重复），可以嵌入到GIP6中
  - 高灵活性：和IPv6+技术完美融合，E2E路径灵活编程（不同隧道类型），譬如GIP6 for MPLS，GIP6 for VxLAN等等
  - 高价值： 使得IPv6+技术更容易进入园区/DC……
- **封装格式**：
  - Option1：使用IPv6报文头和扩展头，支持隧道功能和IPv6新特性；推荐使用此封装。
  - Option2：保留已有隧道扩展；使用IPv6报文头和扩展头，支持新增IPv6新特性；



Generalize IPv6 Tunnel

Area	Topic	Drafts	Vendors	Operators
Generalized IPv6	Framework of Generalized IPv6 Tunnel (GIP6)	draft-li-rtgwg-generalized-ipv6-tunnel	Huawei	China Unicom/ Agricultural Bank of China
	Generalized IPv6 Tunnel for MPLS	draft-li-rtgwg-gip6-for-mpls	Huawei	
	Generalized IPv6 Tunnel (GIP6) for QUIC	draft-li-rtgwg-gip6-for-quic	Huawei	
	Protocol Extension Requirements of Generalized IPv6 Tunnel	draft-li-rtgwg-gip6-protocol-ext-requirements	Huawei	China Unicom
	Generalized Arguments of SRv6 Segment	draft-lm-spring-srv6-generalized-arguments	Huawei	

GIP6应用：基于IPv6的SD-WAN



GIP6应用：基于IPv6的SD-WAN/CON

Area	Sub-Area	Topic	Drafts	Vendors	Operators
SD-WAN	Framework	Dynamic Networks to Hybrid Cloud DCs Problem Statement	draft-ietf-rtgwg-net2cloud-problem-statement	Huawei	FT/Verizon
		SR For SDWAN	draft-dukes-spring-sr-for-sdwan	Cisco	LinkedIn/Alibaba/Bell Canada
		SRv6 across SDWAN paths	draft-dunbar-sr-sdwan-over-hybrid-networks	Huawei	Verizon
	Control Plane	BGP Usage for SDWAN Overlay Networks	draft-ietf-bess-bgp-sdwan-usage	Huawei/Cisco/Juniper	Bell Canada
		BGP UPDATE for SDWAN Edge Discovery	draft-ietf-idr-sdwan-edge-discovery	Huawei	Verizon
		Secure EVPN	draft-sajassi-bess-secure-evpn	Cisco/Juniper	
		IPsec Key Exchange using a Controller	draft-carrel-ipsecme-controller-ike	Cisco	
		SDWAN WAN Ports Property Advertisement in BGP UPDATE	draft-dunbar-idr-sdwan-port-safi	Huawei	
	Yang Models	YANG Data Model for SD-WAN OSE service delivery	draft-wood-rtgwg-sdwan-ose-yang	Cisco/Huawei/HPE	
		A YANG Module for uCPE management	draft-shytyi-opsawg-vysm		SFR/Telecom ParisTech
		A YANG Data Model for SD-WAN Service Delivery	draft-sun-opsawg-sdwan-service-model	Huawei/Cisco	China Telecom
	Tunnel Segment	Tunnel Segment in Segment Routing	draft-li-spring-tunnel-segment	Huawei	
		PCE-initiated IP tunnel	draft-chen-pce-pce-initiated-ip-tunnel	Huawei	
CON		IPv6 based Cloud-Oriented Networking	draft-li-rtgwg-ipv6-based-con-01	Huawei	

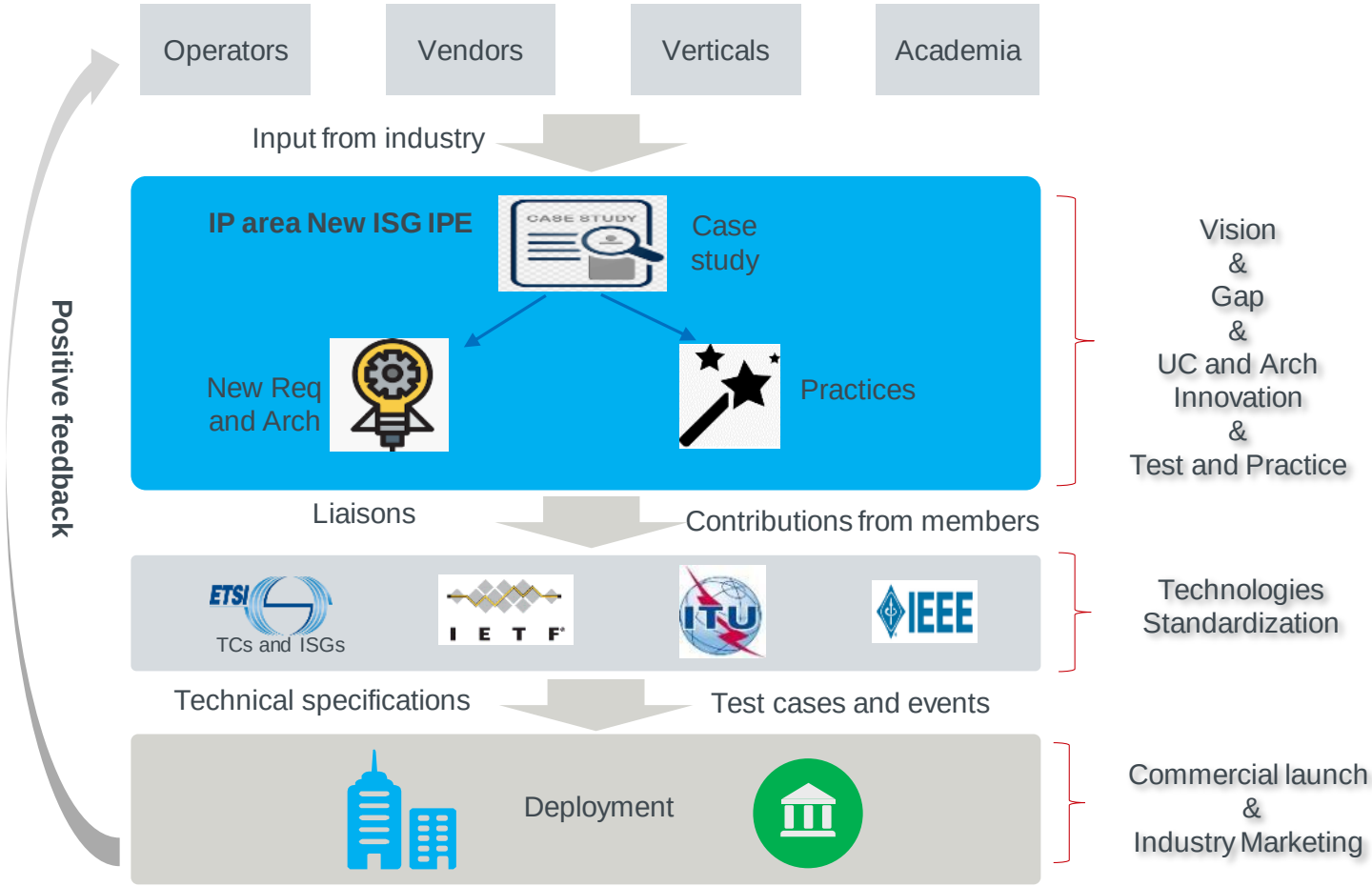
- **SDWAN的框架草案被工作组接纳，围绕多云场景的基于IPv6方案已经布局。**
- **BGP for SDWAN的协议扩展草案被工作组接纳。**
- **SRv6 SDWAN正在推动过程中。**

IPv6+产业活动：中国IPv6+技术创新工作组

HUAWEI

IPv6+产业活动： ETSI New ISG IPE (IPv6 Enhanced Innovation)

20 Members, 23 Participants, 1 Counsellor (Feb 2021)



Jointly make an Open Platform for IP Industry

HUAWEI

华为在“IPv6+”部署覆盖运营商、金融、政府和教育

欧美	中东/非洲	中国	亚太
5 运营商	13 运营商	84 运营商/行业	4 运营商

运营商

Claro, kpn, PLDT, OSP, China unicom中国联通, 中国电信 CHINA TELECOM, Asiacell, rain, Post, zain, ooredoo, XL axiata, MTN, Jazz, indosat, 中国移动 China Mobile, Globe, WIND, ...

行业

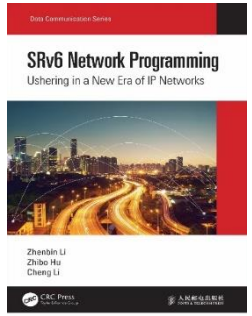
国家电网 STATE GRID, 浦发银行 SPD BANK, 中国邮政储蓄银行 POSTAL SAVINGS BANK OF CHINA, CHINA LIFE 中国人寿, UnionPay 银联 中国银联 China UnionPay, 交通银行 BANK OF COMMUNICATIONS, 中国工商银行 INDUSTRIAL AND COMMERCIAL BANK OF CHINA, CERNET, 全国一体化在线政务服务平台 广东政务服务网, 中国建设银行 China Construction Bank, 中国农业银行 AGRICULTURAL BANK OF CHINA, ..., 中国银行 BANK OF CHINA, 全国一体化在线政务服务平台 广西数字政务一体化平台, 国泰君安证券 GUOTAI JUNAN SECURITIES

全球100+“IPv6+”商用部署&创新

HUAWEI

IPv6+系列书籍和视频，积极传播“IPv6+”理念

IPv6+实体书



IPv6+系列电子书

IPv6+系列视频

(多媒体) IPv6+系列 01 SRv6的技术原理和产业发展 01

(多媒体) IPv6+系列 04 随流检测iFIT技术介绍 01

(多媒体) IPv6+系列 03 网络切片 01

(多媒体) IP新技术进阶系列 - IPv6基础介绍

(多媒体) IP新技术进阶系列 - Segment Routing IPv6 (SRv6)

(多媒体) IP新技术进阶系列 - 公网IPv6 over SRv6 TE Policy深度解析

HUAWEI

IPv6+系列书籍和视频，积极传播“IPv6+”理念

IPv6+实体书

中文版：https://item.jd.com/12948440.html
英文版：https://www.amazon.com/SRv6-Network-Programming-Ushering-Communication/dp/1032016248

IPv6+系列电子书

中文版：https://e.huawei.com/cn/material/bookshelf/bookshelfview/202104/29153654
英文版：https://e.huawei.com/en/material/bookshelf/bookshelfview/202109/29105716

IPv6+系列视频

IPv6+创新与关键技术：https://www.bilibili.com/video/BV1FG4y1E7Xm/?spm_id_from=333.999.list.card_archive.click
中文版：https://support.huawei.com/enterprise/zh/routers/netengine-8000-pid-252772223/multimedia
英文版：https://support.huawei.com/enterprise/en/routers/netengine-8000-pid-252772223/multimedia

Thank you