基于IPv6演进技术的大型赛事网络研究

Research on Large Scale Event Network Based on IPv6 Evolution Technology

王宏宜[1]，张　超[2]，高　星[3,4]，张　帅[3,4]（1. 中国联通黑龙江分公司，黑龙江 哈尔滨 150000；2. 国家体育总局体育信息中心，北京 100061；3. 中国联通研究院，北京 100048；4. 下一代互联网宽带业务应用国家工程研究中心，北京 100048）
Wang Hongyi[1], Zhang Chao[2], Gao Xing[3,4], Zhang Shuai[3,4]（1. China Unicom Heilongjiang Branch, Harbin 150000, China; 2. China Sport Infomation Center (CSIC), Beijing 100061, China; 3. China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China; 4. National Engineering Research Center of Next Generation Internet Broadband Service Application, Beijing 100048, China）

摘　要：
在大型赛事网络的建设中，为确保赛事的顺利进行和参与者的良好体验，网络需要满足差异化承载和用户体验保障的要求。基于SRv6、随流检测、网络切片、感知应用网络等关键技术，提出“IPv6+”赛事网络解决方案，旨在实现多业务安全隔离、差异化承载和智能运维，为大型赛事提供高质量通信服务。该方案在第九届亚冬会赛事网络中的成功应用验证了其在保障赛事稳定运行方面的有效性。

关键词：
赛事网络；IPv6演进技术；网络切片；随流检测；感知应用网络
doi：10.12045/j.issn.1007-3043.2025.03.004
文章编号：1007-3043（2025）03-0019-06
中图分类号：TN915
文献标识码：A
开放科学（资源服务）标识码（OSID）：

Abstract:
In the network construction of large scale events, in order to ensure the smooth progress of the events and a good experience for participants, the network needs to meet the requirements of differentiated bearer and user experience guarantee. It proposes an "IPv6+" sports private network solution based on key technologies such as SRv6, IFIT, network slicing and APN, aiming to achieve secure isolation of multiple services, differentiated bearer, and intelligent operation and maintenance, and provide high-quality communication services for the large scale events. The successful application of this scheme in the 9th Asian Winter Games network validates its effectiveness in ensuring stable event operations.

Keywords:
Event network; IPv6 evolution technology; Network slicing; IFIT; Application-aware networking (APN)

引用格式：王宏宜，张超，高星，等. 基于IPv6演进技术的大型赛事网络研究[J]. 邮电设计技术，2025(3)：19-24.

0 引言

IPv6技术在服务质量保障与网络安全等方面具有显著优势，为互联网体系的技术创新与业务拓展提供了新的发展范式。国家连续出台一系列政策以持续推进IPv6规模化部署，2023年，工业和信息化部联合中央网信办等八部委发布《关于推进IPv6技术演进和应用创新发展的实施意见》，明确提出推动IPv6与5G、人工智能、云计算等技术的融合创新，支持企业加快应用感知网络、新型IPv6测量等“IPv6+”创新技术在各类网络环境和业务场景中的应用。2024年，中央网信办协同国家发展改革委、工业和信息化部印发《深入推进IPv6规模部署和应用2024年工作安排》，要求深化“IPv6+”创新产业生态建设，丰富“IPv6+”应用场景，扩大SRv6等创新技术在现网的规模部署，深入挖掘IPv6在5G、人工智能、车联网、数据流通等领域的创

收稿日期：2025-01-13

新空间。

大型赛事网络的建设是国家大力推进IPv6规模部署的生动实践与有力见证。以第九届亚冬会为例,其基础承载网以IPv6+ 1.0和2.0技术为底座,服务亚冬赛事办赛、观赛、助赛全场景,为赛事提供稳定的网络基础。同时,第九届亚冬会赛事网络采用IPv6+ 3.0(APN6)技术,成功打造出业界首个应用精细化感知网络,通过IPv6报文自带的可编程空间,将应用信息携带进入网络,提供精细化的运营与差异化的服务,满足差异化应用需求、保障业务质量和用户体验。

1 大型赛事场景需求分析

1.1 赛事直播

当前,超高清及8K分辨率视频直播已成为主流,其产生的单路流媒体数据量极为庞大,这对网络传输带宽提出了近乎苛刻的要求。具体而言,多机位赛事直播产生的聚合数据流量需依托具备弹性扩容能力的智能承载网络,同时,为满足观众对实时临场感知体验的需求,需将端到端传输时延控制在严格阈值范围内,以构建视觉和听觉同步的沉浸式观赛环境。

1.2 场馆通信

大型赛事运营涉及多部门协同作业及国际多方协作,对场馆通信的传输可靠性提出了严格要求。在日常管理层面,赛事日程协调会议与场馆运营汇报需保障高清视频传输的连续性;在应急响应场景中,安全隐患上报需实现端到端时延小于一定阈值的紧急视频会商,确保指挥决策的时效性;此外,竞赛判罚系统对裁判终端至显示终端的指令传输时延具有严格要求,以保障裁决的及时性。上述业务场景均要求赛事网络需具备高稳定、高可靠和低延迟的传输能力。

1.3 在线互动

在大型赛事的观赛场景中,观众的交互需求已从基础视听接收演进为多模态实时参与,这对网络传输性能提出了明确的技术要求。首先,社交平台需支持高并发实时评论交互,保障文本/轻媒体数据的端到端传输时延;其次,数字化投票系统需保障多节点数据的同步时延,确保分布式用户操作的事务一致性;此外,在关键赛点引发的突发流量场景下,需维持网络抖动,避免交互时序紊乱。因此,为保障多模态交互场景下的用户体验,网络需提供确定性低时延传输能力以满足实时业务服务质量要求,并确保交互指令的传输时延。

2 IPv6演进技术

2.1 SRv6技术

IPv6+ 1.0阶段在IPv6的基础上引入SRv6网络编程能力,基于SRv6源路由及可编程机制,简化网络协议,并支持多种业务需求。SRv6基于源路由理念,将网络路径表示为一系列的IPv6地址段,这些地址段被称为段(Segment)。源节点在数据包的报头中显式地指定数据包要经过的路径,即段列表(Segment List),数据包按照这个列表中的顺序依次经过各个节点,从而实现对网络流量的精确控制。

SRv6的主要优势如下。

a)流量工程能力增强。网络管理员能够根据网络拓扑和流量分布情况,为不同的流量需求规划特定路径,实现网络资源的高效利用,避免某些链路拥塞而其他链路空闲的情况,提高网络的整体性能和可靠性。

b)简化网络配置和管理。相比传统的基于复杂协议的流量工程方案,SRv6将路径信息直接编码在数据包报头中,减少了网络中控制平面协议的交互和配置复杂度,降低了管理成本和出错概率,使网络运维更加便捷。

c)与IPv6天然融合。由于SRv6是基于IPv6技术的,随着IPv6的广泛部署,SRv6可以很容易地在现有的IPv6网络中进行应用和扩展,无需对网络基础设施进行大规模的改造。

d)提供灵活的业务创新支持。SRv6能够支持各种新的网络业务和应用场景,如网络切片、服务链等,提供定制化的网络路径和服务质量保障。

2.2 网络切片技术

网络切片技术是在统一的网络基础设施上,针对不同的场景需求分配不同的虚拟资源,把网络进行“切片”。不同切片相互隔离、互不影响,并可以根据不同的服务需求,如时延、带宽、安全性和可靠性等来灵活定制,就如同在一条高速公路上划分出不同车道,让不同类型的车辆,比如快车和慢车都能在各自的车道里快速、顺畅地行驶,以最快的方式达到目的地。网络切片的基本原理是首先将物理网络的资源,如计算、存储、网络带宽等进行抽象和划分,为每个网络切片分配独立的资源池,使不同切片之间的资源相互隔离,互不干扰。其次,对每个切片的网络拓扑、路由策略、流量控制等进行灵活配置,构建出满足特定

业务需求的逻辑网络。例如，为物联网业务构建的切片可以采用低功耗、广覆盖的网络拓扑，而为高清视频业务构建的切片则可以配置高带宽、低时延的网络路径。

网络切片的主要特点如下。

a）定制化服务。能够根据不同的业务场景和用户需求，为每个网络切片提供定制化的网络服务质量（QoS）保障，如为自动驾驶业务提供超低时延和高可靠性的网络切片，为大规模物联网业务提供低成本、广连接的网络切片。

b）资源高效利用。多个网络切片可以共享底层的物理网络资源，根据不同切片的业务流量需求动态分配资源，提高了网络资源的利用率，避免了传统网络中为每种业务单独建设网络所导致的资源浪费。

c）业务隔离与安全。不同网络切片之间相互隔离，每个切片有独立的安全机制和访问控制策略，保障了业务的安全性和隐私性。即使某个切片受到网络攻击或出现故障，也不会影响其他切片的正常运行。

2.3 随流检测技术

随流检测（IFIT）技术通过实时采集真实业务流的逐包统计信息，并结合Telemetry机制将测量结果动态上报，从而实现业务服务质量的实时可视化监控与故障快速定界定位[1]。

时延与丢包率是衡量网络性能的关键参数。时延的定义为数据包从网络入口到出口的全程传输耗时，设备通过时延统计功能对业务报文进行抽样，记录其进入和离开网络设备的时间戳，基于时间差计算特定业务流的实际传输时延。丢包率则通过统计并计算入口与出口的报文数量差值得出，表征转发过程中因拥塞、错误等原因导致的数据包丢失比例。

基于交替染色法的时延统计，通过动态切换业务报文时延染色位（D位）的0/1状态，对特征字段进行周期性标记，以此将业务流量虚拟划分为连续的数据块，每个数据块代表一个可测量的统计单元。在源端网络入口处，系统对选定报文注入染色标记并记录其发送时间戳；当报文经网络转发到达目的端后，通过提取相同染色报文的目的端时间戳，结合源端记录的时间戳差值，即可精确计算报文在网络中的单向传输时延[2-5]。

基于交替染色法的丢包率统计，利用丢包染色位（L位）的0/1交替标记机制，在源端网络入口对业务报文按周期翻转标记状态（如奇数周期L=0、偶数周期L=1），并统计每个周期内特定染色位（0或1）的报文发送数量。目的端采用扩展统计窗口的策略，通过延长周期统计时长来抵消报文乱序传输对计数准确性的干扰，独立统计接收端对应染色位的报文数量。通过对比源端与目的端同一染色周期的报文数量差值，可直接推导出该周期内的丢包数量，进而计算网络路径的实时丢包率[2-5]。

图1为随流检测架构示意。随流检测技术支持端到端（E2E）与逐跳（Trace）2种数据统计模式，并可实现两者的协同联动[6]。E2E模式仅需在业务流的头节点部署检测触发点，并在尾节点启用随流检测能力，中间节点对检测报文进行透明转发（Bypass处理），仅头尾节点感知并上报端到端时延、丢包率等聚合指标。而Trace模式需在头节点触发检测的同时，在业务流路径的所有中间节点启用随流检测能力，从而逐跳采集各节点的转发状态与性能数据。2种模式可组合应用，当E2E模式监测到性能指标（如时延突增或丢包率超阈值）时，系统自动触发Trace检测，通过逐跳数据回溯真实业务路径并对比各节点性能状态，实现故障点的快速定界与精准定位。这种检测机制兼顾了检测效率与问题溯源能力，E2E模式提供全局健康度感知，Trace模式则支撑精细化根因分析。

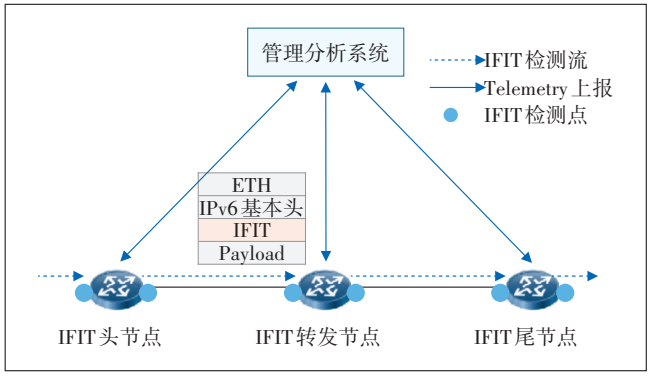

图1　随流检测架构示意

管理分析系统作为随流检测架构的中枢模块，承担运维测量策略的全生命周期管理功能。其核心作用体现在3个层面：首先，接收运维人员定义的测量意图，并通过策略引擎将其转化为网络可执行的配置指令，经IFIT控制器下发至全网设备[5]；其次，基于Telemetry机制实时接收各节点上报的原始测量数据，通过数据清洗、关联分析与阈值比对生成可视化质量报告；此外，管理分析系统还负责网络设备的配置管理，

包括设备能力发现、检测功能启停控制等。

支持随流检测功能的网络设备根据检测流程中的角色差异分为头节点、中间转发节点和尾节点3类。头节点作为检测流程的起始点,负责识别目标业务流并为其数据报文插入随流检测指令头;中间转发节点在报文转发过程中,基于指令头中的标记触发测量动作,并根据预设策略将原始测量数据缓存或实时上报至管理分析系统;尾节点则作为检测流程的终点,一方面剥离报文中的随流检测指令头以还原原始数据格式,另一方面提取端到端测量指标完成最终数据上报[7]。

2.4 APN6技术

传统网络基础设施通常无法有效识别应用的类型与特征,导致仅能提供差异化服务能力受限的粗粒度服务质量保障,其根源在于传统数据包封装机制难以承载完整的应用特征描述信息[8]。IPv6扩展头通过支持多样化的封装格式,能够有效增强网络对用户及应用信息的精细化感知能力,从而为新型业务提供差异化服务保障[9]。

应用感知的IPv6网络(APN6)技术架构基于IPv6/SRv6协议栈的可编程特性,将应用特征参数与服务等级协议需求信息嵌入IPv6报文扩展头,使网络基础设施能够动态感知业务流的服务需求并实施精准化资源调度。该机制中定义的应用标识及需求描述字段需具备良好的可扩展性,当新型应用场景出现时,可通过扩展字段定义实现需求信息的动态适配。网络节点在接收APN6报文时,通过硬件加速的报文解析引擎可高效提取扩展头中的特征参数,为后续策略执行提供实时数据支撑,因此应用信息字段的结构化设计成为系统实现的关键技术环节[7,10-13]。

APN6技术规范中定义了多种应用信息封装方案,其报文信息可灵活部署于IPv6扩展头的逐跳选项头、目的选项头以及段路由头等位置,具体封装模式需根据网络部署场景进行优化选择。基于DOH封装格式的APN6报文结构定义如图2所示,其中文献[7]、文献[12]以及文献[13]已经对APN header的编码内容进行了详尽阐述,此处不再赘述。

从网络实现上来讲,APN标识方案可以分为2种,一种是基于端侧的标识方案,另一种是基于网络侧的标识方案。

2.4.1 端侧标识方案

端侧携带APN的实现方案如图3所示。该方案由

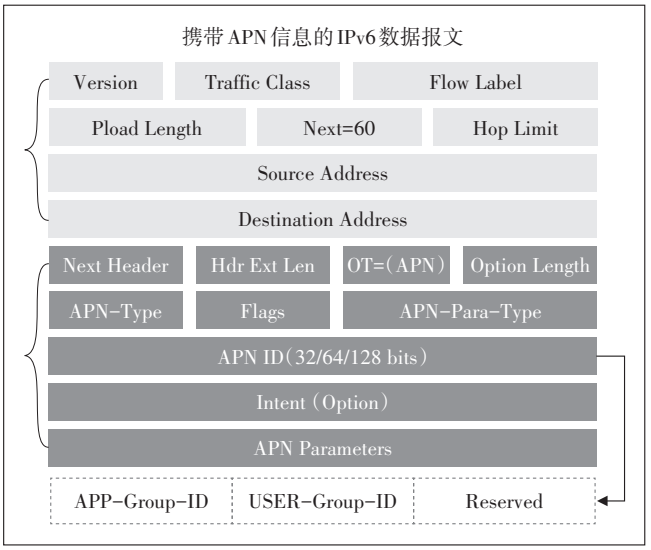

图2 携带APN信息的IPv6数据报文

用户终端生成并携带APN信息接入网络,网络侧入口节点负责解析APN信息并执行相应操作。其核心在于终端需具备APN信息的分配能力,这对端侧设备的协议栈支持及计算能力提出较高要求;同时,网络侧入口节点需实现APN信息的解析与策略执行功能。在实际部署中,端侧与网络侧需形成协同生态,整体实施复杂度较高。然而,该方案能够实现端到端的业务需求直达与精细化保障,适用于终端能力较强且对业务SLA要求严苛的场景。

2.4.2 网络侧标识方案

网络侧携带APN的实现方案如图4所示。在该方案中,APN标识的生成与管理集中于网络侧,由入口节点(如路由器)或集中式控制器负责分配,本文不对标识分配机制的具体实现进行讨论。网络侧方案的优势在于其部署便捷,通过入口节点封装APN信息,无需终端设备支持额外协议,可快速推进应用感知网络的落地实施。在单域场景下,该方案可作为网络精细化感知能力的补充,基于预定义策略实现业务差异化处理;在跨域场景中,数据包携带的APN信息可随流传递至其他网络域,确保需求跨域无缝透传,从而支持多域协同的业务保障。

3 应用实践

在第九届亚冬会期间,基于IPv6+ 1.0/2.0技术体系构建了先进的亚冬会基础承载网络,全面支撑赛事筹备、赛事直播及赛事保障等全场景应用。基于SRv6和IPv6+网络切片技术,为重要业务部署了“专用车

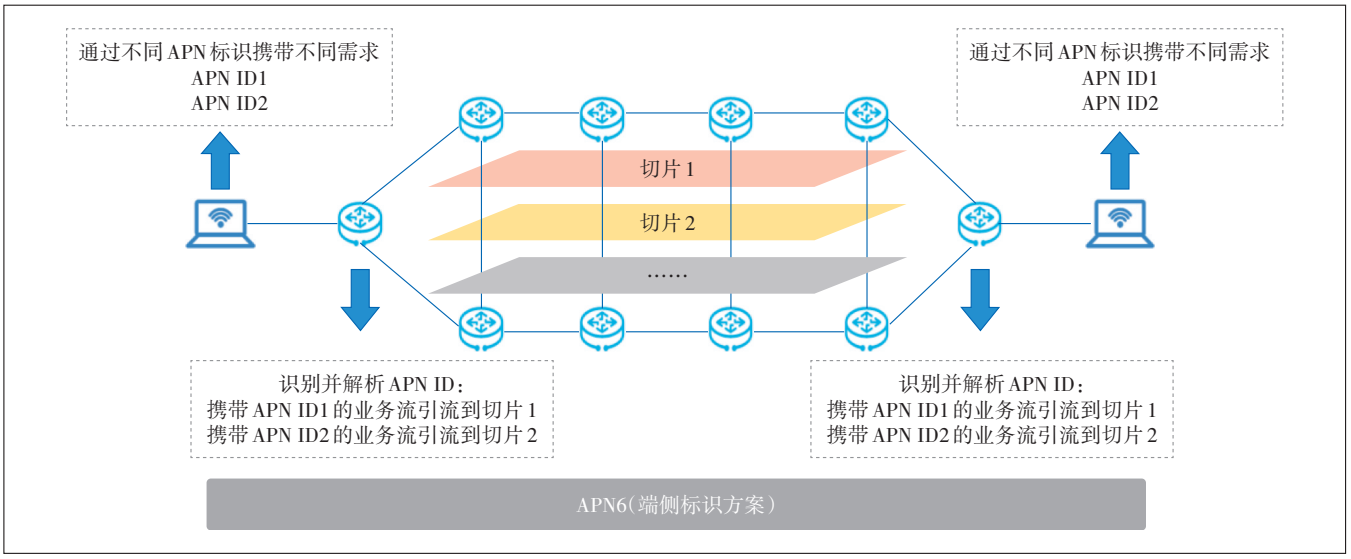

图3　端侧携带APN的实现方案

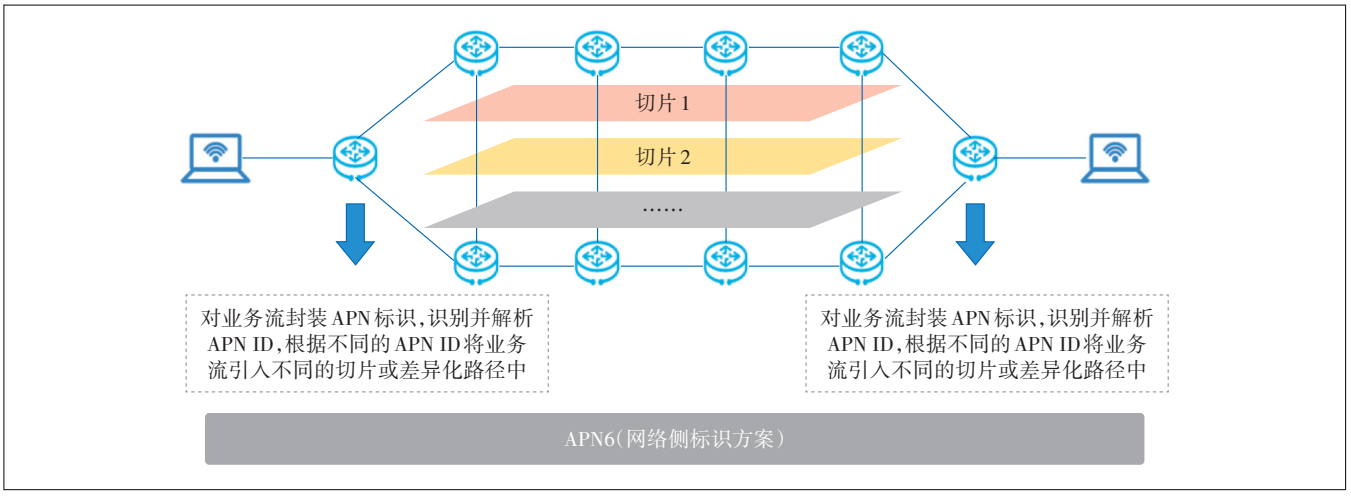

图4　网络侧携带APN的实现方案

道”，在同一张物理网络上按业务类型划分了不同切片，不同业务独享切片资源，从而满足亚冬会业务安全隔离的要求。此外，某省联通创新性地采用IPv6+ 3.0标准的APN6技术架构，成功研发了面向亚冬会的智能会议系统。该系统利用IPv6协议栈内嵌的可编程字段空间，将应用层信息嵌入网络协议层，实现了网络资源的精细化运营管理与差异化服务供给。依托IPv6+ 3.0的APN6架构及随流检测等关键技术，系统具备业务流量智能识别能力，可为视频会议提供端到端业务保障机制，并实现视频质量的可视化监测与分析。通过业务质量实时检测与高可靠性保障机制，系统可有效保障关键业务的服务质量与终端用户体验，满足多样化应用场景的差异化需求。具体来说，通过APN6标识将业务需求特征嵌入IPv6扩展包头，当网络基础设施在数据包解析过程中自动识别出重点保障业务流时，触发网络服务质量保障机制。一方面，网络入口节点将重点保障业务流调度至满足需求的差异化路径中，另一方面，基于现网设备原生支持的IFIT能力，网络运维人员在网络入口边界节点部署业务流特征匹配引擎，动态激活随流检测功能模块，系统基于交替染色标记机制，对业务数据包实施周期性的染色标识，实现网络性能指标的实时采集与可视化呈现，最终达成重保业务全路径质量可监测、可管控的运维目标。应用感知和随流检测技术的结合示意如图5所示。

基于IPv6演进技术的亚冬会赛事网络解决方案

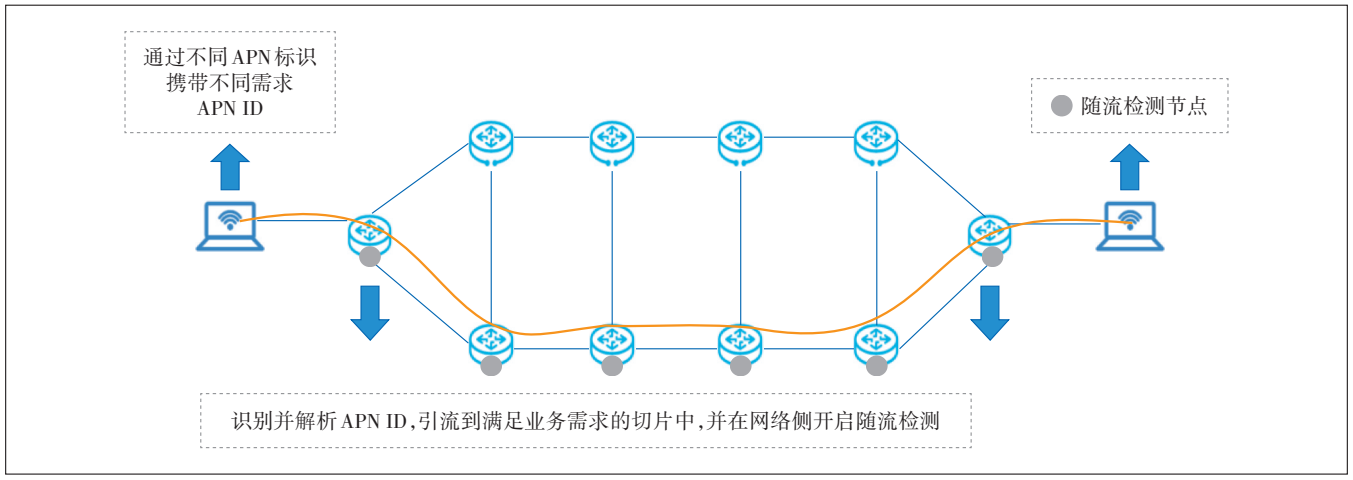

图5　应用感知和随流检测技术的结合示意

构建了视频会议端到端业务保障体系与质量可视化监测系统，该体系为组委会构建了“终端智能感知—网络动态保障—会中质量可视—会后溯源分析”的全流程闭环管理机制，成功实现一键式视频会议零卡顿保障，达成业务开通即时化、质量监控可视化、故障定位精准化的智能运维目标[14-15]。

4 总结

本文基于SRv6、随流检测、网络切片、感知应用网络等关键技术，提出“IPv6+”赛事网络解决方案。该方案在亚冬会赛事网络中的成功应用验证了IPv6演进关键技术在提升网络性能方面的显著优势，实践证明本研究相比传统网络更能有效满足赛事低时延、高可靠、大带宽等严苛服务质量需求。未来研究可考虑与边缘智能计算等异构网络进行融合创新，构建智能运维体系，增强安全防护能力，为大型赛事提供具备多维协同优化能力的智能通信基座，进而引领全球赛事通信技术向“智能原生、安全可信、绿色低碳”的新一代技术标准体系演进。

参考文献：

[1] 熊礼霞，任枫华，宋盈. 智能城域网随流检测技术创新应用与思考[J]. 邮电设计技术，2024(2)：62-67.
[2] FIOCCOLA G，ZHOU T R，COCIGLIO M，et al. IPv6 application of the alternate-marking method：RFC 9343 [S/OL]. [2024-11-02]. https://datatracker.ietf.org/doc/rfc9343/.
[3] FIOCCOLA G，ZHOU T R，COCIGLIO M. Segment routing header encapsulation for alternate marking method：draft-fz-spring-srv6-alt-mark-00[S/OL]. [2024-11-02]. https://datatracker.ietf.org/doc/draft-fz-spring-srv6-alt-mark/00/.
[4] FIOCCOLA G，CAPELLO A，COCIGLIO M，et al. Alternate-marking method for passive and hybrid performance monitoring：RFC 8321[S/OL]. [2024-11-02]. https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8321.
[5] 逯向军，尹辉，王廷. 基于精细化随流检测实现业务差异化保障的研究及实践[J]. 山东通信技术，2024，44(2)：23-27.
[6] 李振斌，胡志波，李星. SRv6网络编程：开启IP网络新时代[M]. 北京：人民邮电出版社，2020.
[7] 刘荣华，王勇辉，廖伟全，等. 基于iFIT随流检测技术在大客户业务质量保障中的应用[J]. 信息科学与工程研究，2023，4(3)：30-32.
[8] 曹畅，唐雄燕. 算力网络——云网融合2.0时代的网络架构与关键技术[M]. 北京：电子工业出版社，2022.
[9] DEERING S，HINDEN R. RFC 8200：Internet protocol，version 6 (IPv6)specification[M]. United States：RFC Editor，2017.
[10] 何林，况鹏，王士诚，等. 基于“IPv6+”的应用感知网络(APN6)[J]. 电信科学，2020，36(8)：36-42.
[11] 高星，庞冉，曹畅，等. 中国联通"IPv6+"的创新拓展与应用实践[J]. 通信世界，2024(15)：34-36.
[12] 彭书萍，吴卓然. APN6[M]. 深圳：华为技术有限公司，2023.
[13] LI Z B，PENG S P，VOYER D，et al. Application-aware IPv6 networking (APN6) framework：draft-li-apn6-framework-00 [S/OL]. https://datatracker.ietf.org/doc/draft-li-apn6-framework/.
[14] 梁学如，任玉宝，杨慧. 基于SRv6可编程技术的城域网IPv6+网络应用研究与实践[J]. 长江信息通信，2023，36(10)：172-174.
[15] 郭泓伟. 基于"IPv6+"技术的切片专网技术与应用[J]. 江苏通信，2024，40(2)：53-57.

作者简介：
王宏宜，高级工程师，硕士，主要从事互联网及承载网等研究、规划设计和建设等工作；张超，高级工程师，硕士，主要从事大型赛事信息技术规划和管理工作；高星，工程师，硕士，主要从事下一代互联网关键技术研究工作；张帅，高级工程师，硕士，主要从事下一代互联网关键技术研究工作。