

智能实时音视频网络的总体设计



General Design of Smart Real-Time Audio/Video Network

陈俊江/CHEN Junjiang^{1,2}, 申光/SHEN Guang^{1,2}

(1. 中兴通讯股份有限公司, 中国 深圳 518057;

2. 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室, 中国 深圳 518055)

(1. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China;

2. State Key Laboratory of Mobile Network and Mobile Multimedia Technology, Shenzhen 518055, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202501011

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20250219.1532.002.html>

网络出版日期: 2025-02-19

收稿日期: 2024-05-16

摘要: 互动性更高、沉浸感更强的实时音视频业务交互需求, 驱动着音视频承载网络升级变革。针对传统音视频网络服务质量 (QoS) 效果不佳、网络流量不均衡、吞吐量低等一系列挑战, 创新性地提出智能实时音视频网络 (SRTN) 理念。基于云网融合、云边缘协同等思想, 设计了多业务融合调度系统, 研发出一系列创新技术和方案, 提供低时延、高质量、大并发、高可靠的智能化音视频交互服务。SRTN有望成为一种面向下一代音视频应用的全新基础设施, 为用户提供更优质的音视频智能体验。

关键词: 实时音视频通信; 云网融合; 融合调度; 统一媒体网络

Abstract: Real-time audio/video communication applications are becoming more interactive and immersive, which will drive the transformation and upgrade of the underlying network. To cope with the challenges of the traditional network, such as poor quality of service (QoS) performance, unbalanced network traffic, low throughput, the innovative concept of Smart Real-Time Network (SRTN) is proposed based on the ideas of cloud network convergence and cloud-edge-end collaboration. A scheduling system that supports multi-audio/video application scenarios is designed, and a series of innovative technologies are developed to provide smart audio and video interaction services with low latency, high QoS, large concurrency, and high reliability. SRTN is expected to become the new infrastructure for next generation audio/video applications and provide users with better smart experience.

Keywords: real-time audio/video communication; cloud network convergence; integrated scheduling; unified media network

引用格式: 陈俊江, 申光. 智能实时音视频网络的总体设计 [J]. 中兴通讯技术, 2025, 31(1): 63-70. DOI: 10.12142/ZTETJ.202501011

Citation: CHEN J J, SHEN G. General design of smart real-time audio/video network [J]. ZTE technology journal, 2025, 31(1): 63-70. DOI: 10.12142/ZTETJ.202501011

1 音视频网络面临的挑战

随着5G、人工智能 (AI)、元宇宙等前沿技术的持续演进, 数字世界和物理世界的融合也在加速推进。音视频成为了这一融合进程的催化剂, 同时音视频流量正在以指数级速度迅猛增长。当前移动音视频流量每年的增长率超过50%, 2023年音视频流量占据全部移动网络的80%以上^[1-2]。人们对于音视频的交互模式正在发生根本性变革: 从传统的单向媒体分发到双向交互, 原来仅支持观看录像, 现在可以进行互动直播; 从传统的点对点互动到多点互动, 原来仅能双人对讲, 现在可以进行多人视频会议; 从传统的单一内容模态到多内容模态, 内容载体不断丰富, 从文本到图片再到音视频等富媒体。

音视频交互模式不断升级, 在此基础上逐渐发展出了当下备受关注的实时音视频通信 (RTC) 技术。RTC技术被广泛应用于办公、教育、医疗、交通等领域^[3], 已经融入到社

会各行各业发展中, 塑造社会生产、生活、交易、治理新形态。互动性更高、沉浸感更强的RTC业务, 对音视频承载网络提出了更高的要求。不仅如此, 中国针对算力网络出台的一系列政策, 以及中兴通讯提出的视频算力网络理念^[4], 都驱动着音视频网络进行变革, 朝着更低时延、更高质量、更高并发、更高可靠的方向不断演进。

面对更高的演进目标, 当下的音视频网络还面临着如下挑战:

1) QoS效果不佳: 音视频网络拓扑复杂, 网络环境多变, 数据传输链路冗长, 很难做到高质量QoS保障; 同时, 音视频网络的逻辑路径与底层物理链路错配, 无法保障业务端到端低时延。例如: 跨地区远距离传输时延大、丢包严重, 叠加业务传输路径与基础通信网络不匹配, 引发流量迂回增长链路, 进一步增大时延, 最终导致终端播放时出现抖动、花屏等质量问题, 进而影响体验。

2) 网络流量不均衡、吞吐量低：系统难以根据实时网络拓扑、网络状态、节点资源、算力资源等数据进行精准实时规划、调度和传输，缺乏智能化控制体系，无法最大化利用网络资源、合理分配网络流量，进而无法支撑大规模业务场景。例如：当固定路径的网络环境变差时，如果得不到实时更迭，就会影响业务数据的传输质量，并且，如果所有的业务数据都走固定的最优路径，也会导致该最优路径迅速饱和，而其他路径却空闲，造成路径拥塞和节点单点瓶颈。

3) 应用场景单一、重复建设：各业务与网络强耦合，仅针对本业务的音视频网络进行管理和维护；各业务之间的网络割裂，只能应对本业务的单一场景，不能提供多业务多层次服务能力；同时，各业务的音视频网络的部分技术重复，功能相似，也会造成重复建设，浪费资源，增加成本。例如：视频会议、在线教育、视频监控等业务的音视频网络是3套相互独立的系统，各自建设，各自运维，场景单一，开销较大，如图1所示。

2 智能实时音视频网络的系统架构

我们提出了智能实时音视频网络(SRTN)^[5]，可以更好地解决上述难题，使得云网融合更充分、控制调度更灵活、数据传输更快捷、支持业务更丰富，为用户提供更优质的智能化体验。SRTN可以更好地支撑视频算力网络建设，从而促进社会和经济的发展。

智能实时音视频网络是基于分布式云、边缘计算、软件定义网络^[6]等技术构建的。它以多业务融合调度系统和统一媒体网络为支撑，全面感知网络的实时状态和网元节点的负载状况，高效管理网络中的连接资源和算力资源，统筹规划终端连接到接入节点以及接入节点之间的最优路径，可有效应对数据传输中的弱网问题，提供低时延、高质量、大并发、高可靠的智能化音视频交互服务，形成了一种全新架

构的音视频网络形态。

2.1 网络架构

2.1.1 云网融合

SRTN系统的网络架构如图2所示。该系统基于云网融合思想，将自身网络的组网架构，与运营商基础通信网络的组网架构保持一致，采用网状和树状相结合的模式：在大区骨干节点（对应运营商的省级节点）采用网状结构，大区骨干节点之间可直接进行交互；在大区下沉节点（对应运营商的地市节点）采用树状结构，大区下沉节点需经过本大区骨干节点与其他大区节点进行交互。

将网状和树状特性应用到不同区域，可以综合提升全网能力。在大区骨干节点之间实现动态路径有助于降低时延，提高质量。在大区内部下沉节点实现路径复用则有助于减少流量消耗，节约成本。

除此之外，基于这种网络重叠的组网架构，可以避免流量迂回，增强QoS保障。

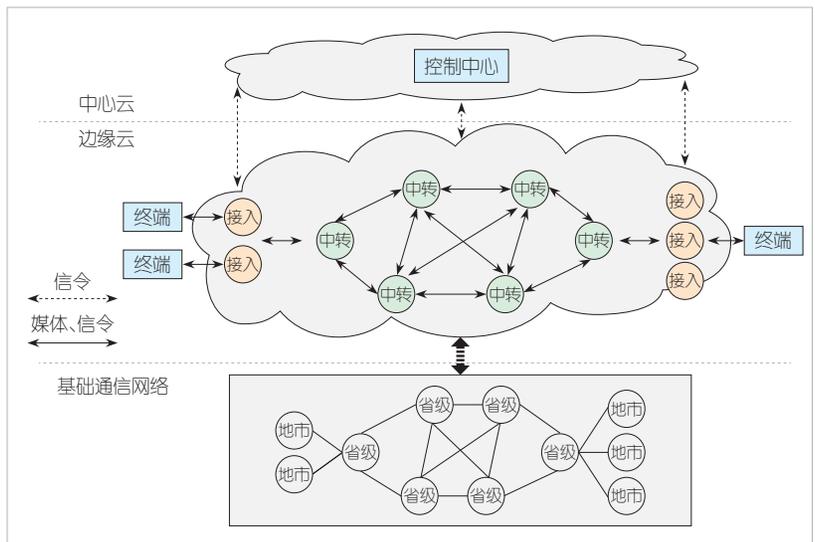


图2 智能实时音视频网络架构

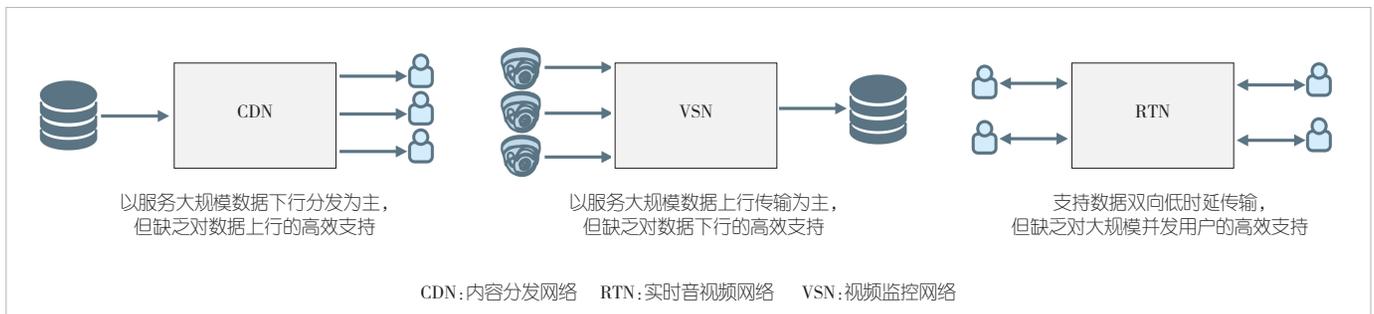


图1 传统单一的音视频网络应用场景

1) 避免流量迂回。在运营商网络层面，省级下沉地市节点之间交互的流量和出省的流量，都会经过省级节点。如果上层音视频网络为某大区下沉节点，规划了经由该大区其他下沉节点再到其他大区的路径时，就会造成流量在运营商网络层面回绕，带来流量迂回问题。SRTN系统利用上述组网架构，可以避免经由大区内部其他下沉节点再到其他大区的路径，可直接规划下沉节点经由骨干节点再到其他大区的路径。

2) 增强 QoS 保障。SRTN 系统在为业务提供最优路径传输时，会向运营商网络发送特定的指令信息，请求增强针对该业务传输的 QoS 保障服务。当识别到 SRTN 系统服务的业务流量时，运营商网络会动态提升该路径在运营商网络层面的 QoS 级别。通过 SRTN 系统与运营商网络之间的联动协作，从端到网络层面整体增强 QoS 能力，实现网络资源能够根据业务需求灵活调配，即实现“网随云动”的效果。

2.1.2 云边端协同

SRTN 系统将控制网元和传输网元进行分离解耦，使得各个网元边界清晰，各尽其职。基于云边端协同思想，分布在网络中不同位置的各个网元，通过信令和媒体交互进行耦合，协同工作。

1) 云-中心云节点：控制中心所在的平面称为控制层，其部署在中心云。

2) 边-边缘云节点：边缘节点所在的平面称为传输层，其部署在边缘云，可细分为接入节点和中转节点。接入节点广泛覆盖 SRTN 系统的边缘，是在物理上距离终端最近的一类节点。中转节点分布在 SRTN 系统的各个大区，各节点之间的连接关系是一种多对多的网状架构。

3) 端-终端：终端通过接入节点连接到 SRTN 系统。

2.2 功能架构

2.2.1 控制中心

SRTN 系统的功能架构如图 3 所示。在 SRTN 系统中，控制中心充当大脑中枢，负责对接入节点和中转节点进行管理、规划和调度，体现的是对数据的管理。控制中心可细分为网络感知、智能规划、融合调度等模块。

1) 网络感知：负责根据实时网络拓扑，与各边缘节点进行信令交互，使各边缘节点进行网络探测和数据采集，并对各边缘节点传送到

控制中心的网络探测信息、节点信息、算力信息等数据进行汇聚、过滤、筛选等处理。

2) 智能规划：负责基于网络感知数据，生成多策略量化网络拓扑，规划中转节点之间的最优路径，并结合终端和接入节点信息，规划终端可连接的接入节点。

3) 融合调度：负责对不同业务提供不同策略的调度能力，结合业务请求消息、网络感知数据和智能规划结果，为终端匹配最优接入节点，并为接入节点匹配最优网内传输路径。

2.2.2 接入节点

在 SRTN 系统中，接入节点充当神经末梢，可将终端高可靠、高稳定地接入到系统，体现的是数据在最后一公里的传输。接入节点可细分为探测管理、路径管理、媒体管理、流媒体等模块。

1) 探测管理：可根据控制中心的网络感知下发的探测驱动请求，与本接入节点相邻的中转节点进行网络探测；可根据终端的探测管理发起的网络探测请求，与终端进行网络探测；也可根据网络感知下发的数据采集请求，上报网络探测信息、节点信息、算力信息等数据。

2) 路径管理：负责向控制中心的融合调度匹配最优网内传输路径，并将路径信息封装在业务数据包头。

3) 媒体管理：负责负载均衡选择流媒体实例，并通过保活接口检测每个流媒体实例的状态，能够在流媒体实例异常后进行自动切换。

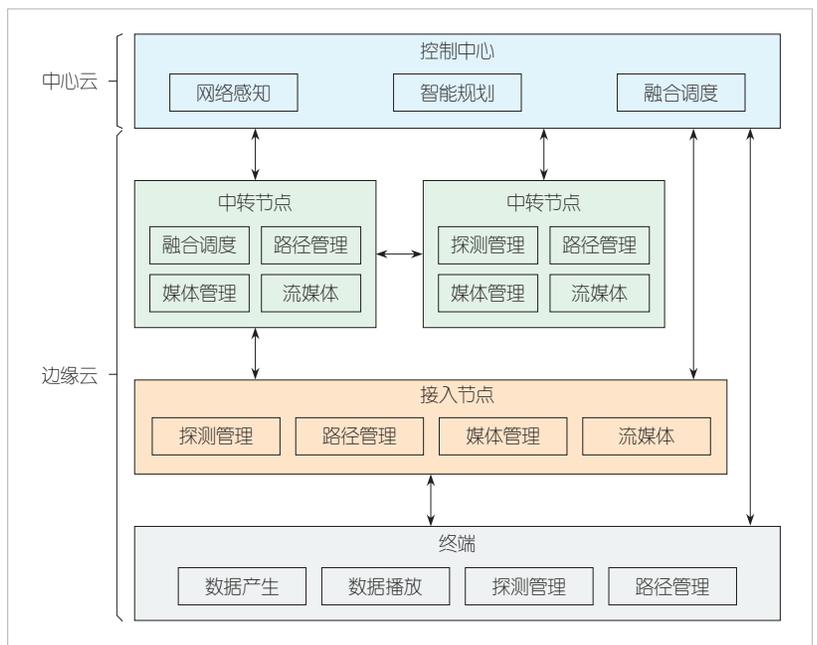


图3 智能实时音视频网络的功能架构

4) 流媒体：一组由流媒体实例组成的集群，负责数据接收和数据转发。它可接收终端或者中转节点的业务数据，并将业务数据按照其下一跳地址和端口转发到终端或者中转节点，同时具备抗弱网能力和多路径传输能力。

2.2.3 中转节点

在SRTN系统中，中转节点充当神经元，可实现中转节点之间高速度、高质量传输数据，体现的是数据在网络内部的传输。中转节点也可细分为探测管理、路径管理、媒体管理、流媒体等模块。

1) 探测管理：与接入节点的探测管理相似，负责网络探测和数据上报。不同之处在于，网络探测信令的驱动器只有控制中心，并且探测对象是与本中转节点相邻的中转节点。

2) 路径管理：负责解析业务数据包头的路径协议，获取本节点的下一跳节点信息。

3) 媒体管理：与接入节点的媒体管理相似，负责流媒体实例调度、保活和切换。

4) 流媒体：与接入节点的流媒体相似，负责数据接收和数据转发。不同之处在于，接收和转发数据的对象都是中转节点或者接入节点，对于抗弱网能力要求不高，但是流媒体的集群规模更大、性能更高，可实现高吞吐量传输。

2.2.4 终端

终端是指支持音视频等数据产生、播放的物理设备、软件应用或者软件开发工具包(SDK)。例如，视频会议业务包含PC端、手机移动端、会议室终端等；云电脑业务包含瘦终端、后端服务器等；扩展现实(XR)业务包含眼镜终端、头戴终端、后端服务器等。终端可细分为探测管理、路径管理、数据产生、数据播放等模块。

1) 探测管理：负责根据终端路径管理的要求，向接入节点发起网络探测请求，汇聚终端与接入节点之间的网络探测数据，为终端的路径管理提供数据支撑。

2) 路径管理：负责为控制中心的融合调度匹配最优接入节点，促使终端的探测管理进行网络探测，并根据网络探测信息选定多路径冗余策略。

3) 数据产生：负责数据采集、生成等处理，将业务数据转发到接入节点。

4) 数据播放：负责数据渲染、播放等处

理，接收从接入节点转发到终端的业务数据。

3 智能实时音视频网络的关键技术

SRTN系统集成了统一协议、接入调度、路由调度、网络传输等一系列创新技术，具有统一化、控制化和实时化等明显特征，构建了端到端通信级的音视频网络系统。

3.1 统一协议技术

SRTN系统对外支持多种协议，内部采用私有协议。终端在接入到系统时，会在接入节点完成协议转换，将外部的实时传输协议(RTP)、基于超文本传输视频数据协议(HTTP-FLV)、基于超文本传输的自适应码率流媒体协议(HLS)、实时流传输协议(RTSP)、网页实时通信(WebRTC)^[7]、实时消息传输协议(RTMP)、GB/T 28181、快速UDP网络连接(QUIC)^[8]等各种协议卸载，做归一化处理。通过统一协议技术，系统可实现最大化承载主流业务流量，避免内部节点协议转换，提高传输效率，为业务数据在系统内部快速传输提供了必要条件。接入节点支持的终端类型以及主流协议，如图4所示。

3.2 接入调度技术

SRTN系统为终端精准调度最优接入节点，为实现终端到接入节点的最后一公里高可靠、高稳定接入提供了可行性，如图5所示。

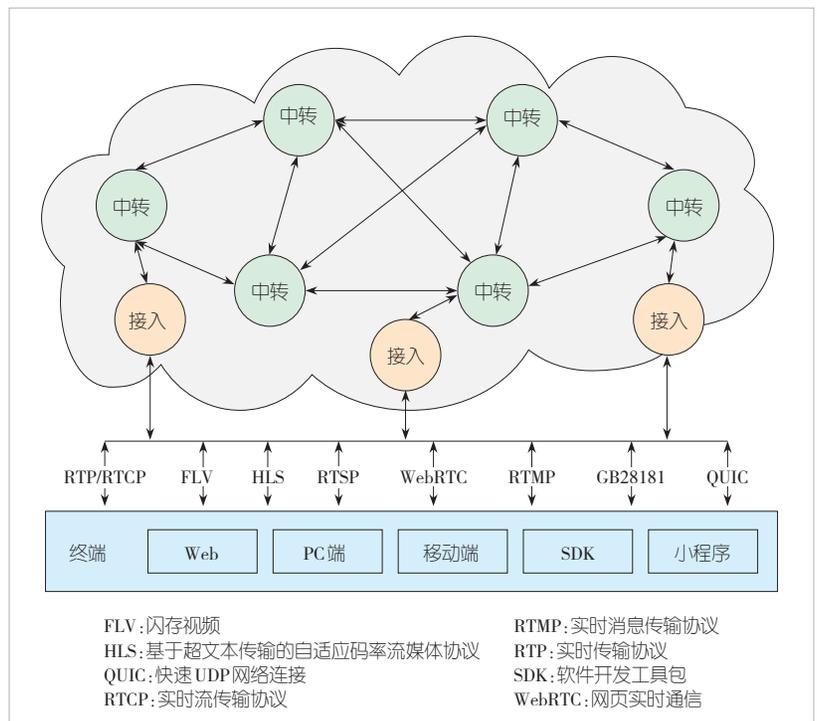


图4 统一协议技术

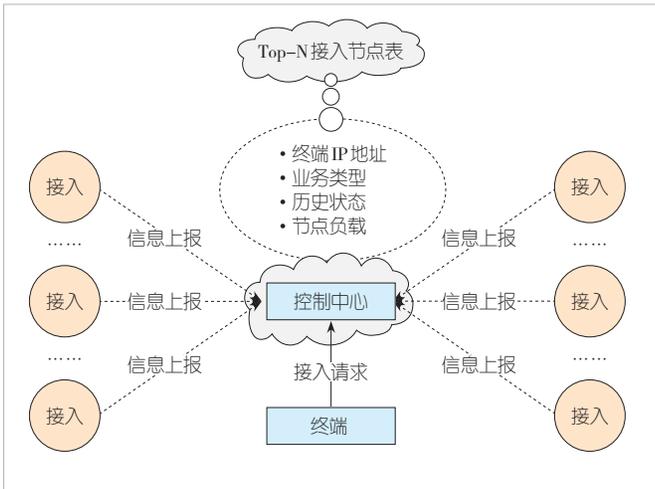


图5 接入调度技术

终端向控制中心获取接入节点，控制中心会结合终端的IP地址、业务类型，接入节点的负载、历史状态等数据，基于多参数接入调度模型，为终端分配最优的Top-N接入节点。

1) 终端IP地址处理：控制中心的融合调度结合网络感知中接入节点的IP信息，检索距离终端物理位置最近的若干个接入节点。

2) 业务类型处理：融合调度向智能规划获取该业务类型对应的量化网络拓扑。量化网络拓扑具体表现为上述接入节点到其中转节点的量化分数值。然后，根据预先设定的量化分数标准，将那些量化分数低于该标准的接入节点剔

除掉。

3) 历史状态处理：根据终端历史登录成功率、历史业务状态等信息，从上述接入节点中生成黑白名单。对于历史登录成功率较高且历史业务状态良好的接入节点，将其列入白名单，对于列入白名单的接入节点，可以优先分配，即使该接入节点不是距离终端物理位置最近的；对于历史登录成功率较低或历史业务状态不佳的接入节点，将其列入黑名单，可以淘汰。

4) 节点负载处理：融合调度从上述接入节点中，筛选出当前负载最轻的Top-N接入节点。

3.3 路由调度技术

SRTN系统对全网进行多策略最优路由规划，为实现接入节点之间的网络内部高速度、高质量数据传输提供了可行性，如图6所示。

接入节点向控制中心获取路由，控制中心会结合业务类型、网络状态、节点负载、接入节点IP地址等数据，基于多策略路由调度模型，规划从源接入节点到目标接入节点的最优的Top-N路由。

1) 控制中心的智能规划解析业务类型，从多策略路由调度模型中获取该业务类型对应的策略。例如，当业务对质量要求较高，甚至不惜成本追求质量时，系统就会采取质量优先策略。此外，还有成本优先策略，容量优先策略，以及结合质量、成本、容量的综合策略等。

2) 根据路由策略计算量化分数。智能规划从网络感知中

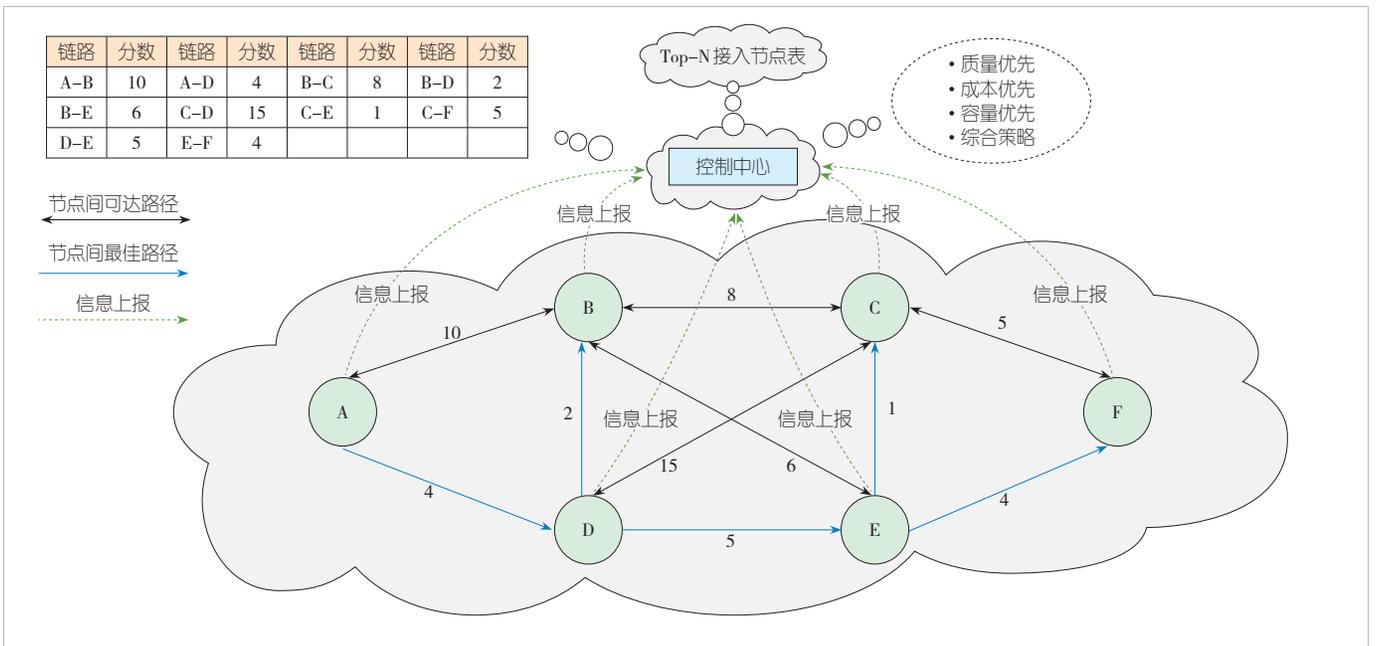


图6 路由调度技术

抽取度量指标，将其组合并赋予权重，构建数学模型，映射成质量、成本、容量等维度，量化为链路分数。例如，质量优先策略以链路的丢包率、时延、抖动等指标构建模型，映射为该链路分数。同理，其他模型也是不同的度量指标组合。

3) 根据量化链路分数规划最优路由。经过上述计算得出全网所有链路的分数图谱，通过最短路径算法得到从源节点到目标节点的最优的Top-N路由。

3.4 网络传输技术

SRTN 系统通过多路径冗余传输实现终端到接入节点的最后一公里高可靠、高稳定接入，并通过源路由传输实现接入节点之间的网络内部高速度、高质量数据传输。

3.4.1 多路径冗余传输

根据 3.2 章节的接入调度技术，终端获取到最优 Top-N 接入节点。终端选取两个最优接入节点并同时向其发起网络探测，再将探测数据归一化为链路分数，并根据链路分数划分最后一公里链路的优劣：分数在 0~0.3 表示链路优秀，分数在 0.4~0.6 表示链路良好，分数在 0.7~1 表示链路弱网。终端根据最后一公里链路的优劣情况，选取多路径冗余策略进行数据传输，如图 7 所示。

单路径传输：适合链路存在优秀的情况，通过一条链路传输所有数据。如果两条链路中存在一条优秀，则通过该条链路进行传输；如果两条链路都是优秀的，则选择链路分数值较低的链路进行传输。

双路径冗余传输：适合两条链路都是弱网的情况，所有的数据都会先在终端复制一份，并叠加 FEC 冗余包进行扩展，再通过两条链路传输相同的数据。

双路径低成本冗余传输：适合上述中的其余情况，通过

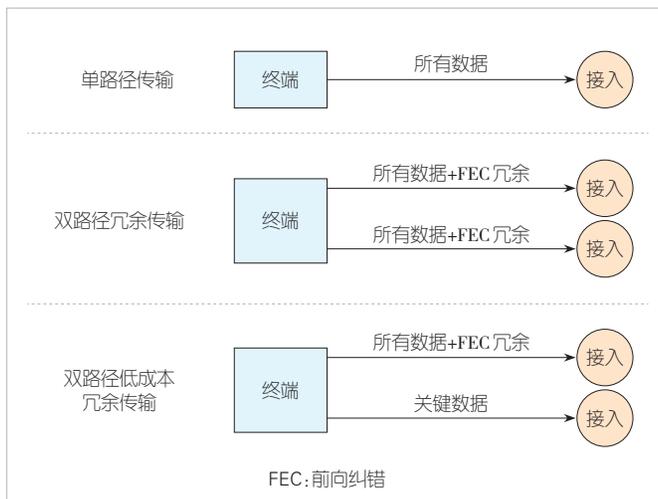


图7 多路径冗余传输技术

一条相对较好的链路传输所有数据，并叠加 FEC 冗余包进行扩展；通过另一条相对较差的链路传输数据量较小的关键数据，如关键 I 帧、音频包、信令、FEC 冗余包等。如果两条链路都是良好的，则选择链路分数值相对较低的链路传输所有数据；如果一条链路良好、一条链路是弱网，则通过良好的链路传输所有数据，通过弱网的链路传输关键数据。

3.4.2 源路由传输

根据 3.3 章节的路由调度技术，接入节点获取最优 Top-N 路由，之后采用基于源路由的方式进行传输，如图 8 所示。

源接入节点：按照自定义私有协议格式，将最优路由信息封装在业务数据包路由头，解析出本节点的下一跳节点 IP 地址，结合固定的端口号，将封装好的业务数据包传输到中转节点。

中转节点：接收接入节点传输的业务数据，对业务数据包路由头进行解封装，从而获取路由信息，去掉本节点的信息并更新路由长度，提取下一跳节点的 IP 地址，并结合固定的端口号，将业务数据包传输到下一跳节点。以此类推，如果中转节点有多跳，均按照此方法先解析业务数据包路由头，然后去掉本节点的信息并更新路由长度，最后提取出下一跳节点 IP 地址进行传输。最后一个中转节点，将业务数据包传输到目标接入节点。

目标接入节点：接收到中转节点传输的业务数据，对业务数据包路由头进行解封装，判断是否没有下一跳节点信息，如没有，则视为最后一跳，进而将整个数据包路由头去掉，提取出原始业务数据，并将原始业务数据传输到目标终端。

当数据传输过程中网络环境为弱网情况时，系统会采取抗弱网和高可靠策略。由于每个节点的流媒体都带有 JitterBuffer 策略，当本节点接收的数据出现丢包时，会向上一跳节点请求重发。若上一跳节点的 JitterBuffer 命中，可直接返回数据，不用再向源头请求重发，减少时延。除此之外，当节点或者节点之间的链路异常故障时，源接入节点能够根据其维护的 Top-N 路由表立即切换，避免网络延迟和抖动，实现实时迁移。

4 智能实时音视频网络的应用场景

SRTN 系统提供通用数据加速能力，支持多种场景和业务，既能够满足 RTC 业务需求，也能够支持传统非实时类业务应用，在一张网络上承载全场景音视频业务。

4.1 实时交互类业务

实时交互类业务可以分为端到端场景、端到数据中心场

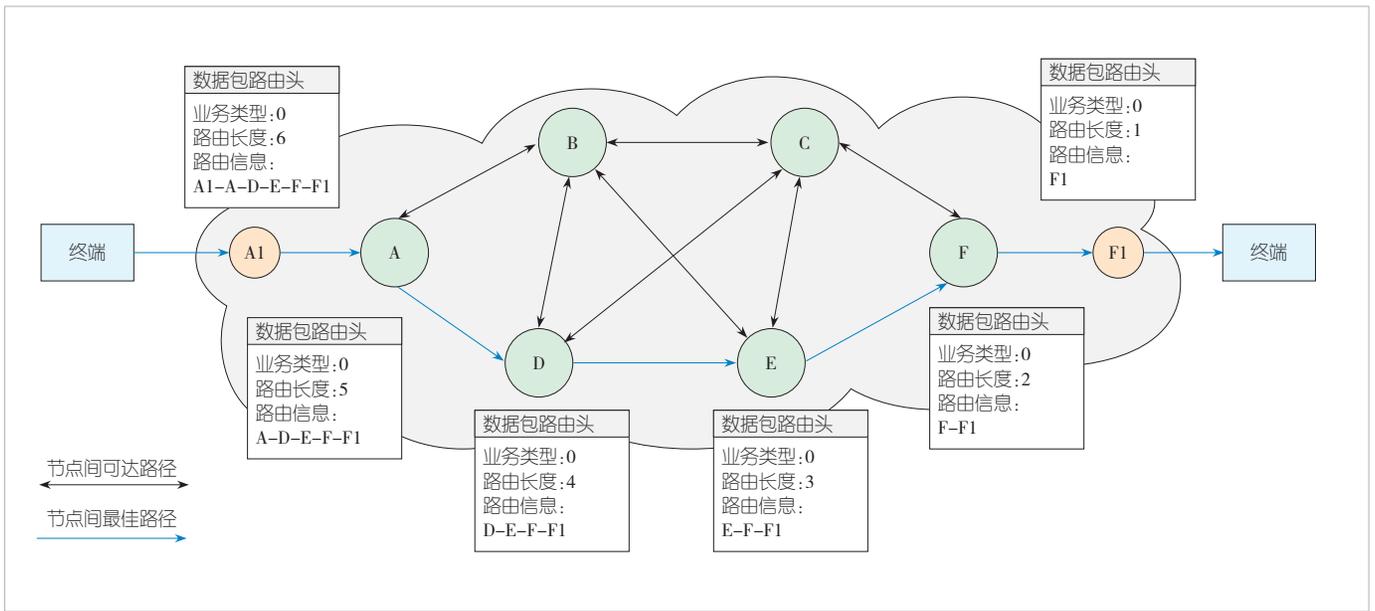


图8 源路由传输技术

景、端到边缘场景等，如图9所示。

4.1.1 端到端交互场景

端到端（E2E）交互场景，提供业务终端到业务终端的全链路实时加速服务，时延小于200 ms。通过接入调度、路由调度、网络传输等技术，系统会将业务终端择优连接到的接入节点，并经过最优路由链路通信，解决最后一公里和网内传输问题。此类场景适用于端到端强交互类业务，如视频会议、互动直播等。

1) 视频会议：是指远程参与者能够在不同地点，利用网络传输实时音视频数据，使与会者能够看到、听到对方，并进行实时的双向交流和协作，实现类似于面对面会议的形式。

2) 互动直播：是指传统视频直播的增强应用，在视频

直播中增加互动功能，既具有面向用户进行大并发的直播功能，又具有与用户建立双向视频互动的功能。基于互动直播的场景包括在线教育、远程面试等。

4.1.2 端到数据中心交互场景

端到数据中心（E2DC）交互场景，提供业务终端经过边缘节点至数据中心的云边加速服务，时延小于100 ms。通过接入调度、路由调度、网络传输等技术，系统将业务终端与数据中心连接通信，能够节省出入云带宽，解决最后一公里和网内传输问题。此类场景适用于云边交互类业务，可以为跨地域开展业务的应用提供实时内容加速，提供比传统互联网更可靠、更低时延的服务，如云电脑、云渲染等。

1) 云电脑：又称为云桌面、云手机，是指将计算资源和操作系统从本地设备转移到云端数据中心。用户无须拥有实体计算机，只需通过轻量级终端来联网远程访问，即可拥有云端计算资源和应用程序，享受到便捷、安全、可靠的服务。

2) 云渲染：是指将3D软件或者游戏部署在云端数据中心，用户在本地终端发出指令操作，云端实例上运行的各类应用接收指令。渲染画面能够为用户提供接近本地的低时延高质量的操作体验。基于云渲染的场景包括弹幕游戏直播、云原生录制、虚拟特效等。

4.1.3 端到边缘交互场景

端到边缘（E2Edge）交互场景，提供业务终端到边缘节点的边缘加速服务，时延小于50 ms。通过接入调度、网络传输等技术，将业务终端与边缘节点连接通信，解决最后

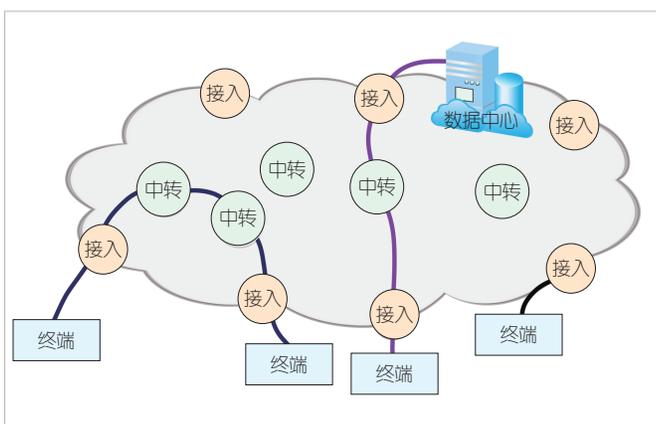


图9 实时交互类业务的应用场景

一公里问题。此类场景适用于边缘交互类业务，此时应用服务端部署在边缘节点，终端择优接入到服务中，如基于边缘技术栈构建的云XR、远程医疗等。

1) 云XR：是指结合云计算和AR/VR技术的创新解决方案，用户将AR/VR应用部署在云端边缘节点，云端提供强大的计算和存储资源，终端只保留最基本功能，无需昂贵的硬件设备，即可享受到沉浸式体验。基于云XR的场景包括沉浸式视频会议、虚拟观演、虚拟旅游等。

2) 远程医疗：是指医生在云端边缘节点的手术控制中心，利用操作台和控制器操作本地手术区域的机器人系统，通过机械手臂和传感器，将医生的操作指令精确传达到手术区域，实现高精度的手术操作。

4.2 非实时交互类业务

非实时交互类业务，通过SRTN系统调度和传输，也能够拥有实时交互类体验，达到低时延、高质量的效果。该类业务根据客户端和服务端位置不同，也适用于上述3类交互场景，主要有以下两种业务类型：

1) 视频物联：是指将摄像头等视频设备与传感器等物联网设备相连接，实现视频数据的采集、传输、处理和应用，进而实现智能化的监测、分析和决策。基于视频物联的场景包括安防监控、设备监控、环境监测等。

2) 在线直播：是指以互联网技术为基础，基于网络直播平台，通过在线单向传输的方式，将音视频信息传递给有观看需求的用户。

5 结束语

随着音视频流量的指数级增长和RTC产业规模的持续扩张，音视频承载网络正朝着更低时延、更高质量、更高并发、更高可靠的方向演进。本文提出SRTN综合解决方案，构筑一张统一融合网络，最明显的特征在于统一化、控制化和实时化。该方案有效解决了传统音视频网络方案架构不合理、控制调度不灵活、数据传输不快捷等问题，支撑了视频算力网络建设，赋能了应用场景创新，为RTC产业发展壮大提供了基础保障。

参考文献

- [1] Cisco. Cisco annual internet report (2018–2023) white paper [R/OL]. (2020–03–09)[2024–08–15]. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>
- [2] Sandvine. The global Internet phenomena report January 2024 [EB/OL]. [2024–08–15]. <https://www.sandvine.com/phenomena/>
- [3] DAVIDS C, GURBANI V K, ORMAZABAL G, et al. Research topics related to real-time communications over 5G networks [J]. ACM SIGCOMM computer communication review, 2018, 46(3): 1–6. DOI: 10.1145/3243157.3243165
- [4] 刘群. 视频算力网络, 使能全场景视频应用 [EB/OL]. (2022–10–25)[2024–08–15] https://www.zte.com.cn/china/about/magazine/zte-technologies/2022/10-cn/_3/__.html
- [5] 吕达, 郑清芳. 构建智能实时网络, 使能5G视频业务繁荣 [J]. 中兴通讯技术, 2021, 27(1): 60–67. DOI: 10.12142/ZTETJ.202101013
- [6] KREUTZ D, RAMOS F M V, VERISSIMO P E, et al. Software-defined networking: a comprehensive survey [J]. Proceedings of the IEEE, 2015, 103(1): 14–76. DOI: 10.1109/JPROC.2014.2371999
- [7] W3C. WebRTC: real-time communication in browsers [EB/OL]. [2024–08–15]. <https://www.w3.org/TR/webrtc/>
- [8] QUIC, a multiplexed stream transport over UDP [EB/OL]. [2024–08–15]. <https://www.chromium.org/quic/>

作者简介



陈俊江，中兴通讯股份有限公司系统架构工程师；主要研究领域为实时音视频通信、音视频传输及编解码、文件系统及存储等；先后从事视频物联、视频中台、视频会议、云电脑等系统和产品的技术研发、架构设计和标准制定。



申光，中兴通讯股份有限公司视频系统部部长；主要研究领域为视频编解码、多媒体通信、即时消息、云基础设施等；先后从事宽带智能网、多媒体会议、统一通信、云计算、虚拟数据中心等系统和产品的规划、研发、设计和标准制定工作。