

基于 5G 通信网络的高清视频数据低延时安全传输方法

徐胜超, 钟娉婷

(广州华商学院 人工智能学院, 广州 511300)

摘要: 文章针对复杂网络环境下高清视频数据的低延时安全传输问题进行了研究, 旨在解决现有技术中因抖动和丢包导致的视频流畅度与清晰度下降问题; 研究中采用了一种创新的基于 5G 通信网络的高清视频数据低延时安全传输方法; 该方法首先利用运动估计技术生成预测块, 并计算残差, 通过重组预测块与残差块来恢复视频帧, 实现视频数据的有效压缩; 随后, 根据 QoS 需求, 定义了视频关键切片与普通切片的优先级, 并依据网络传输资源的实时状况进行动态资源分配; 此外, 结合边缘节点与云服务器, 在 5G 通信网络的支持下构建了视频数据传输模型; 实验结果表明, 该方法在传输高清视频时, 带宽占用率显著降低, 且安全传输质量优异; 在实际应用中, 该方法成功满足了高清视频数据的低延时安全传输需求, 展现出良好的应用价值。

关键词: 高清视频; 安全传输; 低延时; 5G 通信网络; 传输质量

Low-Latency Secure Transmission Method For High-Definition Video Data Based on 5G Communication Networks

XU Shengchao, ZHONG Pingting

(School of Artificial Intelligent, Guangzhou Huashang College, Guangzhou 511300, China)

Abstract: A study is conducted on the low latency and secure transmission of high-definition video data in complex network environments, aiming to solve the decreased video fluency and clarity caused by jitter and packet loss in existing technologies. An innovative low latency secure transmission method for high-definition video data based on 5G communication networks is presented. By recombining the prediction blocks and residual blocks, this method first uses motion estimation techniques to generate prediction blocks, calculates residuals, and reconstructs video frames, and effectively compress video data. Then, based on the requirements of quality of service (QoS), the priority of video key slices and regular slices is defined, and the resources are dynamically allocated by the real-time status of network transmission resources. In addition, by combining edge nodes and cloud servers, a video data transmission model is constructed with the support of 5G communication networks. Experimental results show that when transmitting high-definition videos, this method has the features of significantly low bandwidth utilization and excellent transmission quality. In practical applications, this method successfully meets the low latency and secure transmission requirements of high-definition video data, demonstrating good application value.

Keywords: high-definition video; secure transmission; low latency; 5G communication network; transmission quality

0 引言

在智能制造、远程医疗、自动驾驶及虚拟现实等领域, 高清视频数据的实时传输和互动体验成为衡量技术水平的重要指标。传统的 4G 网络受限于带宽和时延,

难以满足这些领域对高清视频数据高效、实时传输的需求。例如, 在远程医疗手术中, 4G 网络的时延可能达到数百毫秒, 这对于需要精确同步的医生操作来说, 是不可接受的。而在自动驾驶场景中, 高清视频数据的传输延迟可能导致车辆无法及时识别前方障碍物, 从而引

收稿日期:2025-01-21; 修回日期:2025-03-10。

基金项目:国家自然科学基金面上项目(61972444)。

作者简介:徐胜超(1980-),男,硕士,副教授。

引用格式:徐胜超,钟娉婷. 基于 5G 通信网络的高清视频数据低延时安全传输方法[J]. 计算机测量与控制, 2025, 33(7): 272-279.

发安全事故。5G 通信网络的出现,以其超高带宽、超低时延和大连接数的特点,为高清视频数据的传输提供了全新的解决方案^[1]。

然而,高清视频数据的传输不仅要求低延时,还需要确保数据的安全性。在实际应用中,因抖动和丢包导致的问题尤为突出。例如,在虚拟现实游戏中,如果视频数据因网络抖动而传输不稳定,玩家可能会体验到画面卡顿或撕裂,严重影响游戏体验。此外,丢包问题也可能导致视频数据部分缺失,使得画面出现马赛克或黑屏,进一步降低了视频质量。因此,研究高清视频数据低延时安全传输方法,对于推动相关领域的进步和发展具有重要意义。

近年来,学术界和工业界对高清视频数据的低延时安全传输展开了广泛研究。如文献[2]通过在视频编码过程中嵌入(SEI, supplemental enhancement information)信息,实现了对视频数据的加密和完整性校验。但 SEI 信息嵌入与解析复杂,影响视频传输实时性。特别是在煤矿等需高实时性的环境中,传输延迟可能高达数百毫秒,严重影响监控视频的实时性。同时,SEI 信息的嵌入还会提高视频码率,增加带宽占用,导致传输流畅度和稳定性下降。

文献[3]通过将视频数据分割成多个秘密份额,并在多个传感器节点间进行分布式存储和传输,有效防止了数据泄露。但视频数据的分割和重组过程较为复杂,可能导致视频传输的延迟增加至几十毫秒,这在一些对实时性要求极高的应用中是不可接受的。同时,由于秘密份额需要在多个节点间进行同步和协调,因此系统的整体能耗也会有所提升,特别是在视频数据量较大的情况下,这种能耗的增加可能尤为明显。

文献[4]提出面向高清视频存储的无编解码快速降帧压缩方法,通过快速降帧的方式,能够在不损失关键监控信息的前提下,大幅降低视频存储所需的存储空间。然而,该方法的技术实现仍具有一定的复杂性,需要专业的技术人员进行开发和维护。同时,虽然避免了编解码过程,但在实际应用中,如果降帧处理不当,可能导致关键信息的丢失,影响视频数据的完整性和准确性。

文献[5]利用移动边缘计算节点的计算能力和存储资源,对视频数据流进行实时处理和分析,并根据网络状况和视频数据的重要性,动态调整传输策略和码率。但移动边缘计算节点的部署和维护成本相对较高,这在一定程度上限制了该方法的广泛应用。此外,自适应传输策略的调整也可能带来一定的传输延迟,特别是在网络状况急剧变化的情况下,这种延迟可能更加明显,影响视频数据的实时传输。

基于上述方法的不足,本文设计基于 5G 通信网络的高清视频数据低延时安全传输方法,利用 5G 网络的

高速度、大容量和低时延特性,通过频谱资源和先进的无线技术,提升数据传输速率,满足高清视频等大带宽业务的传输需求。同时,5G 网络的多设备连接能力、网络切片和边缘计算能力为视频传输提供灵活高效的网络资源分配。经过测试验证,该方案在降低视频传输时延、提高视频传输质量方面成效显著,不仅解决了传统视频传输中的时延高、丢包率大等问题,还增强了视频传输的实时性和稳定性。此外,该方案具备良好的扩展性和兼容性,适用于不同规模 and 需求的视频传输场景,为 5G 技术在视频传输领域的应用提供了有益的参考。

1 高清视频数据低延时安全传输设计

1.1 高清视频数据帧间预测压缩

由于高清视频数据规模较大,如果直接进行传输,不仅会占用大量的带宽资源,还可能导致传输时延增加。因此为减少需要传输的数据量,从而降低对带宽资源的需求,本次首先利用视频帧之间的时间相关性,对其进行帧间预测压缩处理。

帧间预测的原理在于通过预测当前帧中像素块(或称为宏块)在先前帧中的位置和运动,来减少需要编码和传输的数据量^[6-7]。对此,首先进行运动估计,即在当前帧中找到每个宏块在先前帧(通常称为参考帧)中的最佳匹配块。这一步骤是帧间预测的核心,旨在通过比较当前帧与参考帧中宏块之间的相似性,来确定宏块的运动矢量。为了验证最佳匹配的有效性,采用均方误差(MSE, mean squared error)与绝对误差(SAD, sum of absolute differences)两个指标对块匹配误差进行衡量。这两个指标能够量化当前宏块与参考帧中候选匹配块之间的差异程度,从而找到最佳匹配块。这两种指标的选择,在本研究场景下具有独特的优势。

计算效率:MSE 和 SAD 的计算相对简单,不涉及复杂的数学运算,因此具有较高的计算效率。在高清视频数据的实时传输中,计算效率是至关重要的,因为额外的计算开销都会增加传输时延。MSE 和 SAD 的计算速度足以满足实时性的要求,使得帧间预测压缩能够在实际应用中快速、有效地执行。

匹配准确性:MSE 和 SAD 能够量化当前宏块与参考帧中候选匹配块之间的差异程度,从而找到最佳匹配块。MSE 通过计算当前宏块与候选匹配块之间像素值差的平方和的平均值来评估差异,对较大的误差值更为敏感,有助于准确识别最佳匹配。而 SAD 则通过计算当前宏块与候选匹配块之间像素值差的绝对值之和来评估差异,对误差值的正负不敏感,但在计算上更为简单快捷。这两种指标的结合使用,能够兼顾匹配准确性和计算效率,提高帧间预测压缩的性能。

相较于其他可能的衡量指标,如归一化互相关

(NCC) 等, MSE 和 SAD 在计算复杂度和匹配准确性之间取得了更好的平衡。NCC 虽然能够提供更高的匹配准确性, 但其计算复杂度较高, 可能增加传输时延, 不利于实时应用。因此, 在本研究场景下, MSE 和 SAD 是最为合适的选择。均方误差与绝对误差的计算公式为:

$$\text{MSE} =$$

$$\frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [I(i, j, t) - R(i + dx, j + dy, t - 1)]^2}{M \times N} \quad (1)$$

$$\text{SAD} =$$

$$\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} |I(i, j, t) - R(i + dx, j + dy, t - 1)| \quad (2)$$

其中: $I(i, j, t)$ 代表高清视频当前帧中位置 (i, j) 的像素值, $R(i + dx, j + dy, t - 1)$ 代表参考帧中位置 $(i + dx, j + dy, t - 1)$ 的像素值, $M \times N$ 代表宏块的大小, (dx, dy) 代表运动矢量。

对于每个宏块, 遍历所有可能的运动矢量, 找到使块匹配误差最小的运动矢量作为最佳匹配^[8]。运动补偿是一个基于运动估计结果对当前帧中宏块进行预测的过程, 它利用参考帧中的最佳匹配块以及计算得出的运动矢量来生成预测块。然而, 参考帧会因网络丢包、解码错误等原因而变得不可用或已损坏, 那么解码器将无法从参考帧中准确地找到所需的预测块, 这导致视频重建失败或视频质量显著下降。

因此需要在解码器中加入更强大的错误检测和纠正机制。这种机制能够通过计算错误检测率 (EDR, error detection rate) 和错误纠正率 (ECR, error correction rate) 的公式来评估其性能。具体公式如下:

$$\text{EDR} = \frac{D}{V} \quad (3)$$

$$\text{ECR} = \frac{T}{D} \quad (4)$$

其中: D 表示检测到的错误数量; V 表示总错误数量; T 成功纠正的错误数量。通过上述公式, 可以量化错误检测和纠正机制的效果。一个高效的机制应该具有高 EDR 和高 ECR, 即能够准确识别出大多数错误, 并成功纠正其中大部分。这将有助于减少对参考帧的依赖, 并显著降低因解码错误导致的视频质量下降。结合 5G 通信网络的高带宽和低延迟特性, 可以进一步提升视频传输的可靠性和质量。

经过一系列处理, 能够从参考帧中选定最佳匹配块, 并将其作为预测块加以利用^[9]。预测块的合理性在于, 它反映了当前宏块构成了对当前宏块的一个可靠预估。这一预估建立在视频序列的时间连续性原理上, 即相邻帧间的内容变化往往呈现出平滑性和连续性。据此, 通过定位先前帧中的最佳匹配块, 能够大致预测出当前宏块的内容, 进而缩减编码所需的信息量, 提升视

频压缩的效率。随后会计算出当前帧宏块的实际像素值与预测块像素值之间的残差。使用解码出的运动矢量从参考帧中找到预测块, 并将其与解码后的残差块相加, 以重建当前帧的宏块。最后将所有重建的宏块组合成完整的视频帧。

通过上述步骤, 即可完成高清视频帧间预测压缩处理。通过运动估计找到当前帧宏块在先前帧的最佳匹配块及运动矢量, 进而运动补偿生成预测块并计算残差, 最后重组预测块与残差块以恢复视频帧, 得到压缩后的视频数据。

1.2 视频切片与优先级分配

由于关键帧以及非关键帧对于视频质量的贡献程度有所不同, 因此在完成视频压缩后, 通过进行视频切片处理, 并对其传输资源优先级进行分配, 从而在提高低延时传输效果的同时保证视频传输质量。

首先对关键切片以及普通切片进行定义。高清视频数据在传输前, 需被切割成多个切片, 每个切片包含一段连续的视频帧数据^[10]。设定包含视频中的关键帧的切片为关键切片, 这些帧对于视频解码和重建至关重要, 丢失或损坏将导致视频质量显著下降。而由于视频中的非关键帧虽然对视频流畅性有贡献, 但其丢失或损坏对整体视频质量的影响相对较小, 因此设定包含非关键帧的切片为普通切片^[11]。为优化视频传输的效率和可靠性, 引入权重系数和优先级调整的具体解决方法。其中, 权重系数用于量化不同切片在传输过程中的重要程度。具体的权重系数设定可以根据实际情况进行调整, 通常应遵循以下原则:

关键切片的权重系数应明显高于普通切片, 以确保在资源有限的情况下, 优先传输关键切片。根据视频类型的特点, 如新闻直播强调关键信息的完整性, 体育赛事注重比赛的连贯性和精彩瞬间的捕捉, 对普通切片的权重进行相对调整。

在实际应用场景下, 权重系数的取值参考如下。

新闻直播: 关键切片权重为 1.0, 普通切片权重为 0.3。

体育赛事: 关键切片权重为 1.0, 普通切片权重为 0.6。

基于权重系数的设定, 可以进一步调整切片的优先级。在视频传输过程中, 当网络资源有限或发生网络拥塞时, 根据切片的优先级来分配传输资源。由此, 得到的切片优先级分配机制如表 1 所示。

为对网络传输资源分配算法的效果进行量化, 引入切片优先级以及资源分配效率两个指标, 结合服务质量 (QoS, quality of service) 需求对指标进行如下定义, 其公式如下所示:

$$P_i = \alpha \cdot \text{QoS}_i + \beta \cdot \sigma_{\text{type}, i} \quad (5)$$

$$E_i = \frac{\sum_{i=1}^U P_i \cdot H_i}{\sum_{i=1}^U P_i} \tag{6}$$

表 1 视频切片优先级分配机制

切片分类	关键切片	普通切片
优先级描述	对视频解码至关重要, 需优先传输	对视频流畅性有贡献, 但优先级低于关键切片
优先级	高	低
资源分配策略	在网络资源紧张时, 优先获得传输资源	在资源充足时正常传输, 资源紧张时可能等待或接受较低服务质量

其中: P_i 代表高清视频切片的优先级, QoS_i 代表切片 i 的 QoS 需求 (如码率、帧率等), $\sigma_{type,i}$ 代表切片属性参数, 即属于关键切片还是普通切片, β, α 代表权重系数, 用于调整 QoS 需求和切片类型对优先级的影响^[12]。 E_i 代表资源分配效率, U 代表高清视频的切片总数, H_i 代表切片 i 获得的资源量。

通过上述步骤即可结合 QoS 需求, 定义视频关键切片以及普通切片的优先级, 并根据网络传输资源对不同等级的切片进行动态资源分配。

1.3 构建高清视频数据低延时安全传输模型

基于上述网络传输资源优先级分配机制, 本文结合边缘节点以及云服务器, 在 5G 通信网络支持下搭建出视频数据传输模型。视频数据低延时安全传输模型在架构方面, 采用云服务器对视频数据进行维护以及审核, 同时引入 5G 边缘节点负责数据发送终端的验证工作, 采用终端设备作为高清视频数据的采集以及接收端, 具体模型结构如图 1 所示。

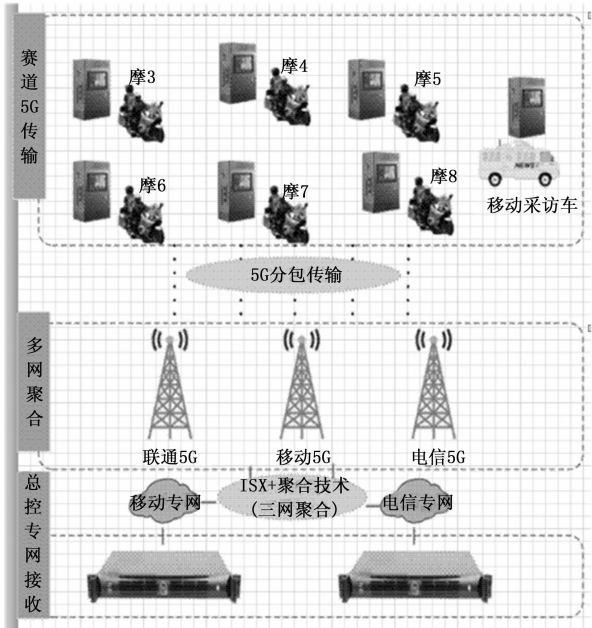


图 1 基于 5G 通信网络的高清视频数据低延时安全传输模型

采用的加密与解密算法主要包括对称加密算法 (AES, advanced encryption standard) 和非对称加密算法 (RSA, rivest-shamir-adleman), 选择这些算法的依据在于安全需求与性能考量的平衡。具体而言, 高度敏感的数据: 如个人隐私、财务信息或商业机密, 优先考虑使用非对称加密算法, 如 RSA, 因为当密钥长度足够时, 它能提供更高的安全性保障; 对于敏感度相对较低的数据, 或对加密解密性能有较高要求的场景, 对称加密算法如 AES 更为合适, 因为通常能实现更快的加密和解密速度。一般敏感内容 (如新闻直播、体育赛事视频) 采用对称加密算法 (如 AES), 因其加密解密速度快, 满足低延时要求。结合使用流程与优势如下。

密钥交换: 使用 RSA 安全交换 AES 会话密钥, 确保密钥传输安全。

数据加密: 使用 AES 加密视频数据, 满足实时传输需求。

数据解密: 接收方用 AES 会话密钥解密数据, 恢复原始视频。

优势如下。

安全性: RSA 保障密钥安全, 防止截获破解。

性能: AES 提升加密解密速度, 满足实时性。

灵活性: 根据敏感度动态选择算法, 实现安全与性能平衡。

在实际高清视频数据传输中, 可以根据视频数据的敏感度等级来动态选择加密算法。例如, 对于高度敏感的视频数据 (如个人隐私视频), 可以全程使用非对称加密算法进行加密; 而对于一般敏感的视频数据 (如体育赛事直播), 则可以在密钥交换阶段使用非对称加密算法, 而在数据传输阶段使用对称加密算法。此外, 还可以根据传输环境的安全性和性能要求来灵活调整加密算法的选择和参数设置, 以实现最佳的安全性和传输效率。

一旦数据包的加密验证通过, 该数据包将继续被传输至云服务器, 其传输延时表达式如下所示:

$$T_{trans} = T_{encode} + T_{encrypt} + T_{5G} + T_{ver} \tag{7}$$

其中: T_{encode} 代表视频数据编码延时, $T_{encrypt}$ 代表数据加密延时, T_{5G} 代表 5G 网络传输延时, 受网络带宽、拥塞程度等因素影响, T_{ver} 代表边缘节点数据验证延时^[13-14]。边缘节点接收加密的视频切片, 并根据切片的优先级进行验证、重组与缓存。优先级高的切片将优先验证和重组, 以确保关键信息的及时恢复。最后, 验证与重组后的视频切片传输至云服务器进行存储、解密与解码处理^[15]。云服务器根据切片的优先级进行解密和解码, 以确保关键信息的及时恢复和呈现。

将本节内容与上述提到的帧间预测压缩以及网络传输资源优先级分配等相关内容进行结合, 至此, 完成高

清视频数据低延时安全传输方法设计。

2 实验论证与性能分析

2.1 实验准备

本次实验构建了高清视频数据集作为实验数据集，总视频数量为 100 个，每个视频时长为 60 s 至 120 s 不等，总数据量约 5 TB。视频类型涵盖新闻直播、体育赛事、远程医疗、自动驾驶等多个场景。每个视频分辨率均为 1 080 p 或更高（如 4 k），帧率为 30 fps 或 60 fps。采用 H. 264 或 H. 265 进行编码，以模拟实际传输中的压缩效率。每个视频文件都附带一个元数据文件，记录了视频的分辨率（如 1 920x1 080）、帧率（如 30 fps）、码率（如 5 Mbps）等关键参数。数据集分布情况如表 2 所示。

表 2 高清视频数据集分布情况

视频类型	视频数量	平均时长/秒	帧率/fps	单个视频/GB	总数据量/GB
新闻直播	25	90	30	1.5	37.5
体育赛事	30	100	60	6.0	180.0
远程医疗	20	75	30	1.2	24.0
自动驾驶	25	80	30	2.5	62.5
总计	100	—	—	—	254.0(约 5TB)

为了模拟 5G 网络环境下的高清视频传输，实验构建基于 5G 技术的云传输环境。该环境包括客户机、边缘服务器以及 5G 基站和核心网络。实验部署先进的 5G 基站设备，支持毫米波和 Sub-6 GHz 频段，能提供高达几 Gbps 的传输速率，确保高速、低延迟的无线通信服务，满足高清视频传输的需求。5G 核心网络则采用网络切片技术，根据高清视频传输的业务需求提供定制化的网络资源。客户机负责高清视频数据的发送和接收，而边缘服务器则负责数据的缓存、处理和转发。具体测试环境拓扑结构如图 2 所示。

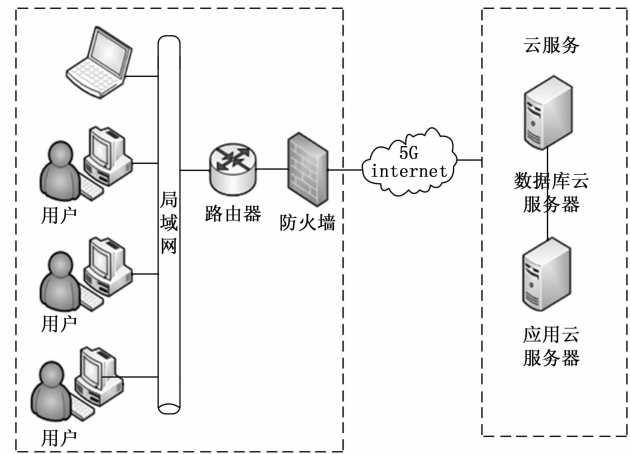


图 2 实验环境拓扑结构

为满足实验的均匀分布关系，实验调整了客户机的任务负载。通过模拟不同的数据传输场景和流量模式，

确保客户机之间的负载均衡，从而避免数据拥塞和传输延迟。在采用本文方法对视频数据进行传输时，需要对视频帧优先级进行设定，以此实现传输资源的有效分配。对此，定义得到的传输资源优先级分配的线性相关函数图像如图 3 所示。

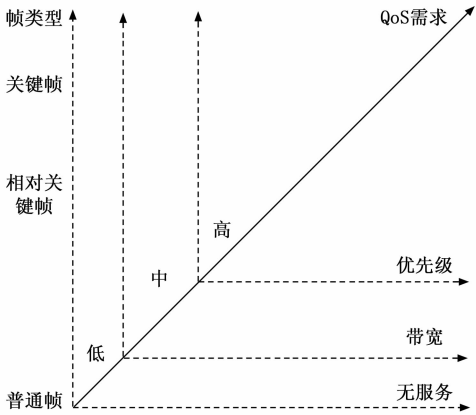


图 3 传输资源优先级分配的线性相关函数

结合上述的优先级分配线性相关函数，首先在客户机上加载高清视频数据集，并配置数据传输参数，如传输速率、优先级等。然后启动客户机与边缘服务器之间的数据传输，记录传输过程中的关键性能指标。在边缘服务器上缓存接收到的视频数据，并进行必要的处理（如压缩、解密等）。将处理后的视频数据转发给目标客户机，并再次记录传输过程中的关键性能指标。在目标客户机上验证接收到的视频数据的完整性和安全性。

同时，实验选取了两种常规的数据传输方法作为实验比较对象，分别为文献 [2] 基于 SEI 的煤矿智能监控视频传输方法（常规方法 A）和文献 [4] 面向高清视频存储的无编解码降帧压缩方法（常规方法 B）。

上述 3 种方法的具体介绍如下所示：SEI 煤矿智能监控视频传输方法基于媒体补充增强信息进行工作。通过复用视频压缩帧副本，并结合 SEI 中的信息，从而实现煤矿智能监控视频的实时传输。面向高清视频存储的无编解码降帧压缩方法则专注于解决高清视频存储中的降帧压缩问题。然而，与 SEI 煤矿智能监控视频传输方法相比，该方法更侧重于存储效率的提升，而非实时传输性能的优化。相比之下，5G 网络在高清视频数据传输中展现出了显著的优势。5G 网络具有超低延迟的特性，能够确保高清视频数据的实时传输。这一特性对于需要即时反馈的远程监控和实时互动应用场景来说至关重要。尽管 SEI 煤矿智能监控视频传输方法在一定程度上降低了传输延迟，但仍会受到视频处理和数据传输过程中其他因素的影响，无法实现像 5G 网络那样的超低延迟。而面向高清视频存储的无编解码降帧压缩方法，

则由于更侧重于存储效率的优化,因此在传输效率和实时性方面无法与 5G 网络相比。基于上述分析,开展了一系列对比实验,旨在深入检验 5G 网络在视频传输过程中所展现出的优势。

2.2 实验指标

为了验证本文提出方法的准确性,引入平均吞吐量、视频码率、传输抖动值等指标进行验证,平均吞吐量 A 的计算公式如下:

$$A = \frac{m_j}{t_j}$$
(8)

式中, m_j 表示总有效数据量, t_j 表示总运行时间。此外,视频码率 B 的计算公式如下所示:

$$B = r \times d \times \frac{F}{(1\ 024 \times 1\ 024)}$$
(9)

式中, r 表示分辨率; d 表示位深; F 表示帧速率。

通过上述计算得到的平均吞吐量数值越大,则说明单位时间内能够传输的有效数据量越多,这对于需要高速数据传输的应用来说越有利。反之,则表明数据传输的速度越慢,导致用户体验不佳。然而,在实际网络环境中,网络拥塞突发、信号干扰等动态变化因素会对这些指标产生显著影响。因此,在后续的实验分析中,将增加对这些动态场景下的指标表现进行评估。

2.3 视频传输测试结果与安全性分析

基于上述的实验设置,得到的视频传输测试结果如表 3 所示。数据丢失率数据篡改率都为 0 (%)。

表 3 本文方法下的视频传输测试结果

测试场景	平均延时/ms	最大延时/ms	平均吞吐量/Mbps	平均吞吐量波动率/%	抗攻击能力	保密性	传输抖动值/ms
新闻直播	25	40	800	5	高	强	2
体育赛事	30	50	1 200	4	高	强	3
远程医疗	20	35	600	3	高	强	1
自动驾驶	28	45	1 000	6	高	强	2.6
总体平均	27	43	925	4.5	高	强	2.2

通过上述实验看出,本文提出的方法在针对不同帧率以及不同体量的高清视频进行传输时,展现出了卓越的性能。传输延时较低,说明该方法在数据传输过程中具有较高的实时性,能够满足高清视频实时传输的需求。同时,该方法在不同场景下均具有较高的吞吐量,表明具有良好的数据处理能力和网络适应能力。得到这样优秀结果的原因首先是该方法采用先进的视频压缩算法,能够在保证视频质量的前提下,降低视频数据的大小,从而提高数据传输的效率。其次,该方法通过优化网络传输协议和路由策略,减少了数据传输的网络拥塞和延迟,进一步提升了传输性能。此外,该方法还利用现代计算技术的优势,通过并行处理和分布式计算等手段,提高了数据处理的速度和效率。

在安全性方面,本文方法同样表现出色。抗攻击能力高,意味着该方法能够有效抵御各种网络攻击,如 DDoS 攻击、中间人攻击等,确保数据传输过程中的安全性和稳定性。同时,该方法还采用高强度的加密算法和保密协议,保证数据在传输过程中的机密性和完整性,防止数据泄露和篡改的风险。

平均吞吐量在动态场景下,平均吞吐量相比静态环境有所下降,但仍保持在较高水平。表明本文方法在网络拥塞和信号干扰等不利条件下,仍能有效传输数据,保持良好的网络适应性和鲁棒性。吞吐量波动率在动态场景下的吞吐量波动率有所增加,但仍处于可接受范围内。反映该方法在面对网络不稳定时,能够相对稳定地维持数据传输速率,减少因网络波动对用户体验的影响。传输延时与抖动值尽管动态场景下的网络条件更加复杂,但传输延时和抖动值仍保持在较低水平,说明该方法在实时性方面表现良好,能够满足高清视频实时传输的需求。

2.4 视频传输质量对比

实验以带宽占用率以及传输抖动这两个指标作为衡量视频传输质量的指标,对方法的实际传输效果进行对比。在视频数据传输过程中,带宽占用率反映了视频数据所占用的网络资源情况。带宽占用率较高,可能会导致网络拥堵和传输延迟增加。带宽占用率在远程医疗中,由于医疗数据的敏感性和实时性要求,带宽占用率成为关键指标。过高的带宽占用会导致网络拥堵,影响医生与患者之间的实时交流,甚至延误病情的诊断和治疗。因此,在远程医疗场景中,带宽占用率应被赋予较高的权重。

传输抖动虽然传输抖动也是重要指标,但在远程医疗中,其容忍度相对较高。即使存在轻微的传输延迟或抖动,只要不影响医生对病情的准确判断,通常可以接受的。传输抖动在自动驾驶中,车辆需要实时接收并处理来自摄像头、雷达等传感器的数据,以确保行驶的安全性和准确性。过高的传输抖动会导致传感器数据的延迟或丢失,进而影响自动驾驶系统的决策和响应速度。因此,在自动驾驶场景中,传输抖动应被赋予更高的权重。实验以视频码率作为控制变量,所得到的不同视频码率条件下 3 种方法的带宽占用率对比结果如表 4 所示。

表 4 不同方法下的带宽占用率对比结果

视频码率 /Mbps	本文方法带宽占用率/%	SEI 煤矿智能监控视频传输方法 /%	面向高清视频存储的无编解码降帧压缩方法/%
1.0	15.2	18.5	19.1
2.0	28.4	34.1	36.2
4.0	52.3	62.8	66.5
8.0	98.6	115.4	121.3
16.0	185.2	215.6	228.9

通过上述实验看出,随着视频码率的增加,3种方法的带宽占用率均呈上升趋势,但本文方法的增长幅度相对较小,表明其在高码率视频传输中具有更好的性能。这由于本文方法采用的高效编码算法或压缩技术,如优化编码参数、先进预测算法及创新的帧间相关性处理等,实现了视频数据的深度压缩,同时保持了视频质量。此外,结合自适应码率调整、动态带宽分配等智能传输策略,本文方法能够根据网络环境和传输需求实时调整参数,进一步降低带宽占用并提高传输效率。因此,本文方法的高效编码、压缩技术及智能传输策略的综合运用,不仅降低了带宽占用率,还提升了视频传输的效率和稳定性,为高清视频传输领域带来了新的解决方案。3种方法的传输抖动情况如图4所示。

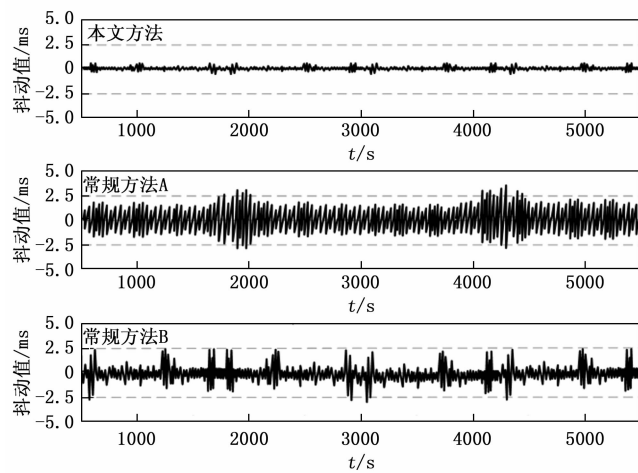


图4 对比结果

实验结果显示,本文提出的高清视频低延时安全传输方法不仅显著降低了抖动峰值,还保持了极低的抖动平均值,确保了视频传输的连续性和稳定性。这主要归因于5G网络优化、边缘计算引入及智能调度应用。优化减少了传输中间环节,降低了时延和抖动,增强了视频传输连续性。边缘计算让数据处理更贴近源头,缩短传输距离和时间,进一步降低时延,减轻核心网络压力。相比之下,其他两种方法未充分考虑网络架构优化、边缘计算支持及智能调度算法设计等因素,无法在5G网络环境下实现优秀的性能。因此,证明本文方法在实际中取得了显著的提升。

3 结束语

本研究聚焦于基于5G通信网络的高清视频数据低延时安全传输方法,以此解决当前高清视频传输中存在的时延高、安全性不足等核心问题。通过优化5G网络架构,引入边缘计算与智能调度算法,本文有效降低了视频数据的端到端传输时延,确保了信息的即时性与准确性^[16-17]。然而,尽管本研究在降低时延和提高安全性

方面取得了显著成果,但仍存在一些不足。例如,在应对极端网络环境下的视频传输稳定性方面,本研究尚需进一步完善。展望未来,将继续深化5G通信技术在高清视频传输领域的应用,并探索与未来6G等新一代通信技术的融合^[18-20]。将致力于开发更加智能、自适应的视频传输策略,以应对不同应用场景下的复杂网络环境。期望为高清视频传输领域的发展贡献更多的力量,推动其在智能制造、远程医疗、自动驾驶等领域的广泛应用。

参考文献:

- [1] YADAV K, JAIN A, ALHARBI, YasserAlferaidi, AliAlkwai, Lulwah M. Ahmed, nada mohamed osman sidHamad, sawsan ali saad. A secure data transmission and efficient data balancing approach for 5G-based IoT data using UUDIS-ECC and LSRHS-CNN algorithms [J]. IET Communications, 2022, 16 (5): 571-583.
- [2] 陈佳,王琪,王鹏. 基于SEI的煤矿智能监控视频传输方法[J]. 工矿自动化, 2024, 50 (5): 93-98.
- [3] SHIVHARE A, MAURYA M K, SARIF J, et al. A secret sharing-based scheme for secure and energy efficient data transfer in sensor-based IoT [J]. The Journal of Supercomputing, 2022, 78 (15): 17132-17149.
- [4] 童剑军. 面向高清视频存储的无编解码快速降帧压缩方法[J]. 计算机应用, 2023, 43 (s2): 176-181.
- [5] 郑万波,李磊. 移动边缘计算下矿山安全监控视频数据流自适应传输[J]. 现代电子技术, 2024, 47 (2): 74-78.
- [6] HENGBO X, YU C. Energy consumption optimization method for wireless communication data transmission in cloud environment [J]. 2022 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA), 2022: 228-231.
- [7] LIU D, LIANGC, MO H, et al. LEACH-D: A low-energy, low-delay data transmission method for industrial internet of things wireless sensors [J]. Internet of Things and Cyber-Physical Systems, 2024, 4: 129-137.
- [8] NIE Z X, LONG Y Z, ZHANG S L, et al. A controllable privacy data transmission mechanism for Internet of things system based on blockchain [J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2022, 18 (3): 303-315.
- [9] BARIK P K, SINGHAL C, DATTA R. D2D-assisted user-centric adaptive video transmission in next generation cellular networks [J]. Physical Communication, 2023, 56 (Feb.): 101944. 1-101944. 17.
- [10] INCE S, BAIAT Z E, BAYDERE S. Real-time video data traffic management for Publish-Subscribe based messaging system [J]. 2022 International Conference on Smart Ap-

- plications, Communications and Networking (Smart-Nets), 2022: 1–6.
- [11] RANJITH V, YAASHUWANTH C, PRATHIBANANDJI K J T. Energy efficient and reliable high quality video transmission architecture for wireless sensor networks [J]. Technical Gazette, 2024, 31 (3): 973–981.
- [12] KARUPPUSWAMI S, BAUA S. Numerical modelling of video transmission range for an unmanned aerial vehicle [J]. 2022 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (AP-S/URSI), 2022: 1920–1921.
- [13] VIDEOTEX W. Ntt achieves 300 Ghz band data transmission [J]. Electro Manufacturing, 2023, 36 (8): 6–8.
- [14] BOUKHATEM N, MESSAOUDI K, REDJATI A, et al. Analysis of the compressed video with HEVC under optical link transmission [J]. Applied Computer Systems, 2024, 29 (1): 53–58.
- [15] NGUYEN T T, VU M H, DINH T H L, et al. FQ-SAT: A fuzzy Q-learning-based MPQUIC scheduler for data transmission optimization [J]. Computer Communications, 2024, 226–227.
- [16] JO Y, PAIK J. Machine-Learning based packet switching method for providing stable High-Quality video streaming in Multi-Stream transmission [J]. Computers, Materials & Continua, 2024, 78 (3): 4153–4176.
- [17] ALMUSTAFA K M, EISA T A E. Amani abdulrahman albraikanmesfer AL duhayyimmanar ahmed hamzaabdelwahed motwakelIshfaq yaseenmuhammad imran babar. QoS aware multicast routing protocol for video transmission in smart cities [J]. Computers, Materials & Continua, 2022, 72 (2 Pt. 1): 2483–2499.
- [18] VIJAYA M T, RAVISHANKAR K C, RAGHU M E. Selective encryption of video frames using the one-time random key algorithm and permutation techniques for secure transmission over the content delivery network [J]. Multimedia Tools and Applications, 2024, 83 (35): 82303–82342.
- [19] BINARY E. Decryption method for secure audio/video broadcast and communication and for data transmission/storage in patent application approval process (USPTO 20230224141) [J]. Electronics Newsweekly, 2023 (1): 502–506.
- [20] CHEN Z, LIU F, LI D, et al. Video security in logistics monitoring systems: a blockchain based secure storage and access control scheme [J]. Cluster Computing, 2024, 27 (8): 10245–10264.
- [12] BOUKHATEM N, MESSAOUDI K, REDJATI A, et al. Analysis of the compressed video with HEVC under optical link transmission [J]. Applied Computer Systems, 2024, 29 (1): 53–58.
- [13] VIDEOTEX W. Ntt achieves 300 Ghz band data transmission [J]. Electro Manufacturing, 2023, 36 (8): 6–8.
- [14] BOUKHATEM N, MESSAOUDI K, REDJATI A, et al. Analysis of the compressed video with HEVC under optical link transmission [J]. Applied Computer Systems, 2024, 29 (1): 53–58.
- [15] NGUYEN T T, VU M H, DINH T H L, et al. FQ-SAT: A fuzzy Q-learning-based MPQUIC scheduler for data transmission optimization [J]. Computer Communications, 2024, 226–227.
- [16] JO Y, PAIK J. Machine-Learning based packet switching method for providing stable High-Quality video streaming in Multi-Stream transmission [J]. Computers, Materials & Continua, 2024, 78 (3): 4153–4176.
- [17] ALMUSTAFA K M, EISA T A E. Amani abdulrahman albraikanmesfer AL duhayyimmanar ahmed hamzaabdelwahed motwakelIshfaq yaseenmuhammad imran babar. QoS aware multicast routing protocol for video transmission in smart cities [J]. Computers, Materials & Continua, 2022, 72 (2 Pt. 1): 2483–2499.
- [18] VIJAYA M T, RAVISHANKAR K C, RAGHU M E. Selective encryption of video frames using the one-time random key algorithm and permutation techniques for secure transmission over the content delivery network [J]. Multimedia Tools and Applications, 2024, 83 (35): 82303–82342.
- [19] BINARY E. Decryption method for secure audio/video broadcast and communication and for data transmission/storage in patent application approval process (USPTO 20230224141) [J]. Electronics Newsweekly, 2023 (1): 502–506.
- [20] CHEN Z, LIU F, LI D, et al. Video security in logistics monitoring systems: a blockchain based secure storage and access control scheme [J]. Cluster Computing, 2024, 27 (8): 10245–10264.
- (上接第 271 页)
- [12] 刘 春, 马小龙, 戚远帆, 等. 前融合策略下辅助智能驾驶的多模态数据采集与高精度点云地图构建 [J]. 测绘通报, 2024, (8): 8–19.
- [13] YAO J, LI C, SUN K, et al. Ndc-scene: Boost monocular 3d semantic scene completion in normalized device coordinates space [C] //2023 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). IEEE Computer Society, 2023: 9421–9431.
- [14] ZHANG Z, HAN X, DONG B, et al. Point cloud scene completion with joint color and semantic estimation from single rgb-d image [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2023, 45 (9): 11079–11095.
- [15] TANG X, ZHANG H, MOU L, et al. An unsupervised remote sensing change detection method based on multi-scale graph convolutional network and metric learning [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2021, 60: 1–15.
- [16] CAO S, WU L, ZHANG R, et al. A spatiotemporal multiscale graph convolutional network for traffic flow prediction [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2024, 25 (8): 8705–8718.
- [17] MYLONAKIS C M, ZAHARIS Z D. A novel three-dimensional direction-of-arrival estimation approach using a deep convolutional neural network [J]. IEEE Open Journal of Vehicular Technology, 2024, 5: 643–657.
- [18] HUANG S, CAI G, WANG Z, et al. SSA3D: Semantic segmentation assisted one-stage three-dimensional vehicle object detection [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2021, 23 (9): 14764–14778.
- [19] XU S, ZHOU D, FANG J, et al. Fusionpainting: Multimodal fusion with adaptive attention for 3d object detection [C] //2021 IEEE International Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC). IEEE, 2021: 3047–3054.
- [20] CHEN Q, PAN G, ZHAO L, et al. An adaptive hybrid attention based convolutional neural net for intelligent transportation object recognition [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2022, 24 (7): 7791–7801.
- [21] CHOY C, GWAK J Y, SAVARESE S. 4D Spatio-Temporal convNets: minkowski convolutional neural networks [C] //2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, 2020: 1–22.