



5G 上行带宽探测与应用研究

徐国斌¹, 符哲蔚², 刘明², 邓志吉², 王存刚², 钟广海², 李辉², 孟伟², 吴云杰²
(1. 浙江大学, 浙江 杭州 310058; 2. 浙江大华技术股份有限公司, 浙江 杭州 310053)

摘要: 提出了一种 5G 上行带宽探测与应用的方案, 能够有效解决视频监控数据在 5G 网络传输过程中遇到的网络波动问题, 助力 5G 视频监控应用的实际落地部署。该方案在终端侧获取 5G 基站的无线资源调度信息, 通过统计传输资源, 估算出上行带宽变化趋势, 结合流媒体应用的智能编码技术和码流自适应技术, 在损失一定视频清晰度的代价下, 保证视频不卡顿、画面连续, 保障客户的整体感知。该方案可以广泛应用在校园视频监控等 5G 公共业务多、网络波动大、覆盖范围广的场景。

关键词: 5G 网络; 上行带宽探测; 校园视频监控

中图分类号: TN919.3

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021262

Research on 5G upstream bandwidth detection technology and application

XU Guobin¹, FU Zhewei², LIU Ming², DENG Zhiji², WANG Cungang², ZHONG Guanghai²,
LI Hui², MENG Wei², WU Yunjie²

1. Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

2. Zhejiang Dahua Technology Co., Ltd., Hangzhou 310053, China

Abstract: A scheme of 5G upstream bandwidth detection technology and application was proposed, which could effectively solve the problem of 5G network fluctuation in video monitoring data transmission process. It will help the deployment of 5G video monitoring application. By obtaining the radio resource information of 5G NR, the terminal can count the transmission resource and estimate the change trend of uplink bandwidth. Combined with the intelligent coding technology and bit-stream adaptive technology of streaming media application, the scheme ensures no stuck and continuous picture at the cost of losing a little video definition, and ensures the overall experience of customers. The scheme can be widely used in the scene of heavy 5G public service, large network fluctuation and wide network coverage, such as campus video surveillance.

Key words: 5G network, upstream bandwidth detection, campus video surveillance

1 引言

当前, 中国已进入以技术创新推动经济发展

的新阶段。“十四五”规划纲要强调, 必须坚持深化供给侧结构性改革, 以创新驱动、高质量供给引领和创造新需求。为保证经济高质量、可持



续发展,需要通过前沿技术创新来拓宽经济增长空间。5G 是新一轮科技和产业革命中的关键技术之一,它将与物联网、大数据、云计算、人工智能等技术融合,促进形成一系列新业态,赋能经济社会各领域。

5G 包含计算、存储、网络,是面向万物互联的网络^[1-2],因此各个垂直行业的应用^[3]是 5G 未来发展的趋势。例如校园安全管理^[4],当前校园安全视频监控主要使用有线网络,由于电线可以就近简单地分出电源线,而有线网络需要架设路由或者由机房拉线部署,因此相比设备上电,有线网络的施工难度更大。5G 网络具备比拟有线网络的大带宽、低时延、高可靠特性,并具备上电即入网的快速施工部署能力,在校园新点位布控、临时布控等场景中具备良好的应用前景。

但是,相比有线网络,5G 网络尚存在上行带宽不足、无线资源共享影响、网络波动较大等问题,在实际应用中存在较多挑战。为解决上述 5G 实际部署遇到的问题,在上行覆盖增强^[5]、网络速率提升^[6]等方面,已存在一些研究,而本文创新性地提出 5G 上行带宽探测技术,并探讨其应用方案,以解决实际部署中的 5G 无线网络波动问题。

2 5G 上行带宽探测与应用方案

5G 无线视频监控应用场景如图 1 所示,前端摄像头采集的视频监控数据,通过 5G 网关,分流到应用平台。PC、手机、平板计算机等应用客户端可以通过有线和无线网络访问平台。

与传统的有线视频监控方案不同,视频监控摄像头集成 5G 模组,通过 5G 无线网络上传高清视频数据,无须铺设有线光纤和网线,可以快速在监控点位安装上线,并支持移动监控、临时部署,应用范围更为广泛。而 4G 等传统蜂窝网络存在上行带宽不足等问题,无法支持大量的视频监控终端接入。5G 网络具有大带宽、低时延的特性,能够满足较多视频监控终端接入,从商业可用性上,实现了无线监控业务的突破,应用发展迅速。

但是在校园监控等场景中,公共用户多且流动性大,通信业务波动性较大,利用 5G 网络进行视频传输时,易发生无线信道拥塞造成上行带宽受限,导致业务卡顿,影响用户体验^[7]。为能够更好地实现 5G 无线视频监控应用,本方案通过对 5G 基站的控制信息分析,实现上行带宽探测,估算出基站上行带宽趋势值,输入流媒体应用模块,通过智能编码和码流自适应技术的应用,进行码

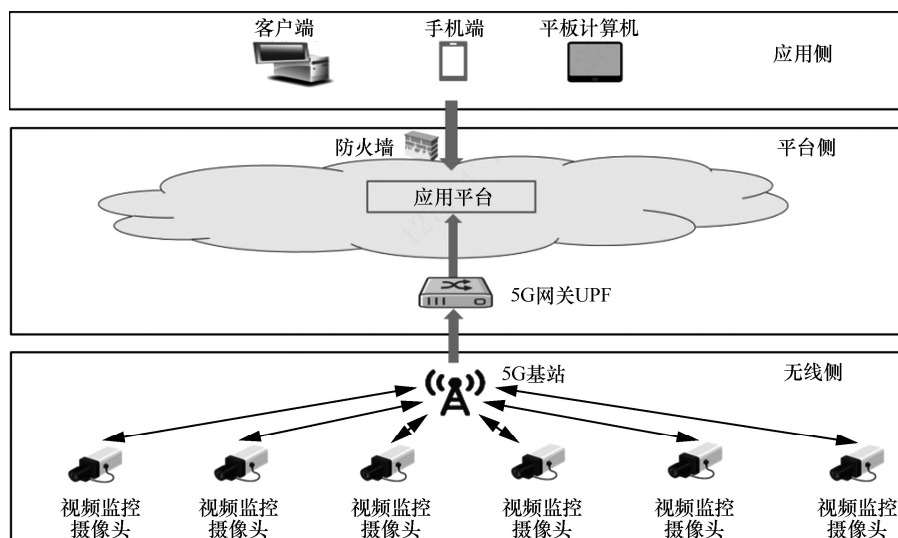


图 1 5G 无线视频监控应用场景

流速率动态上调或下调, 实现网络波动下, 视频依旧流畅, 并且呈现清晰播放的效果。

5G 上行带宽探测技术与应用整体流程如图 2 所示。本方案基于 5G 网络下的无线视频监控开发, 其工作原理也适用于 4G 等蜂窝网络, 但由于 4G 网络带宽不足, 极少用于大规模视频监控业务的接入, 本文未展开这方面的研究。

3 5G 上行带宽探测技术

3.1 探测原理与流程

5G 上行带宽探测方法与原理如图 3 所示, 5G 蜂窝网络中, 终端通过物理上行共享信道 (physical uplink shared channel, PUSCH) 传输上行业务数据时, 将同时向基站请求后续传输的资源, 基站根据上行信道的信噪比、信号强度、功率余量等数据, 结合终端上报的缓存状态报告、接入终端数量和服务优先级综合进行评估, 对终端进行资源分配, 通过物理下行控制信道 (physical downlink control channel, PDCCH) 承载的下行链路控制信息 (downlink control informa-

tion, DCI) 通知终端, 终端根据解码出的调制与编码策略 (modulation and coding scheme, MCS) 和资源块 (resource block, RB) 数量映射出传输块大小 (transport block size, TB Size), 进行后续上行传输。传输过程中, 终端将重复上述流程, 实现资源请求—传输—请求的上行调度^[8]。

TB Size 可认为是在一次时隙级调度中, 基站分配给终端的可用带宽。由于基站确定上行 MCS 和 RB 数是根据检测到的上行信道条件、接入终端数量及优先级等信息综合决策得出^[9], 因此网络环境的多终端资源竞争、信道干扰等因素均会影响 MCS 和 RB 数量的确定, 进而影响 TB Size 大小^[10-11]。它能够反映基站在不同信道环境下 (如干扰和网络拥塞环境) 对终端分配资源的策略。当网络环境变差时, 基站不具备提供终端所需带宽资源的能力, 此时 TB Size 可反映后续终端能够获取到的最大带宽, 指导流媒体应用下调码流; 当信道环境变好时, 基站可满足终端的带宽需求, 此时基站会给终端分配高于实际需求的带宽资源, 此时 TB Size 可反映带宽资源充足时的带宽余

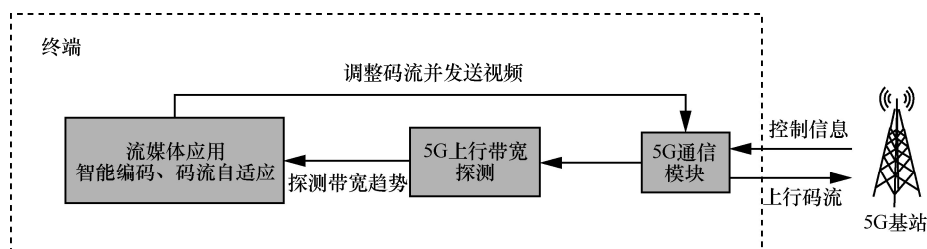


图 2 5G 上行带宽探测技术与应用整体流程

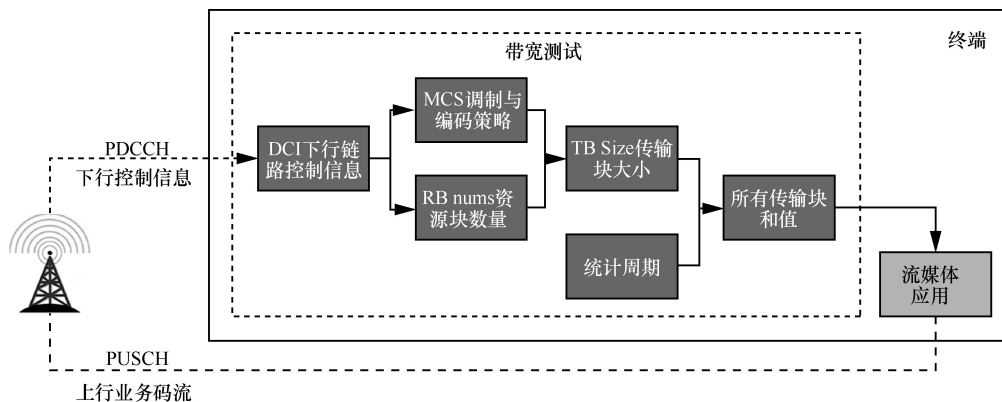


图 3 5G 上行带宽探测方法与原理



量, 指导流媒体上调码流。

但是, TB Size 仅为时隙级(毫秒级)调度的带宽, 反映的是一个瞬间终端的缓存状态及基站的调度策略。由于终端数据并非均匀发送, 该数值波动较大, 因此本方案将统计时刻拉长, 通过一段固定周期对所有 TB Size 的值进行统计和累加, 以此反映当前的带宽趋势, 指导流媒体自适应应用。

3.2 技术可行性评估

为评估短周期内的 TB Size 统计值是否具备对编码的指导意义, 本文模拟信道环境变化, 评估 TB Size 统计值反映的带宽趋势, 是否与信道环境变化情况一致。

如上文所述, TB Size 的统计, 要基于终端上行码流传输时进行, 模拟信道环境变化的探测效果如图 4 所示, 令终端稳定的编码输入 20 Mbit/s 速率的码流, 在基站侧调节衰减器, 模拟信道环境变化, 观察 TB Size 统计值和实际发出的数据速率。

可以看出, 当信道环境良好(0~50 s)时, TB Size 统计值(即探测带宽)高于终端输入带宽, 这反映基站资源充裕, 给终端分配了高于实际需求的带宽资源(余量机制, 防止终端突发传输流量增大), 而实际的发出速率确实与编码输入数据一致, 为 20 Mbit/s, 传输情况良好; 当信道环境变差(50~100 s)时, TB Size 统计值降低到 5 Mbit/s, 反映基站资源受限, 给终端分配资源低于终端上行传输所需带宽, 而实际的发出速率确实下降到了 5 Mbit/s, 说明输入的 20 Mbit/s

码流出现了大量的丢包, 体现的实际视频观看效果, 即卡顿和时延; 当信道环境重新变好(100~150 s)时, TB Size 统计值重新高于终端输入带宽, 实际的发出速率也重新恢复到 20 Mbit/s, 100 s 处的尖锐波峰是由于基站在资源重新充裕后, 终端为了快速将之前因为带宽受限积压的缓存数据发出, 自动调高了发送速率, 待积压数据全部发出后, 则恢复正常。

150~300 s 的实验重复了上一过程, 不同的是, 信道环境分步变好, 而 TB Size 统计值很好地反映了这一情况。

综上, 基于 TB Size 统计的 5G 上行带宽探测技术, 确实可以准确地感知基站上行带宽变化趋势, 可以用于指导流媒体应用下调和上调传输码流。相比于后端平台侧基于数据接收速率变化情况感知网络状态, 5G 上行带宽探测技术更为实时和准确, 在用户感知之前, 就可以提前进行流媒体自适应, 让用户在网络波动情况下, 仍可以无感知地观看清晰连续的视频。

4 5G 上行带宽探测技术的应用

基于 5G 上行带宽探测技术, 可以获取 5G 上行带宽资源变化趋势的估算值, 结合流媒体应用的智能编码技术和码流自适应技术, 实现根据 5G 网络状况, 动态调整视频传输的应用方案, 在损失一定清晰度的代价下, 保证用户观看视频不卡顿、不断线, 保障视频应用的整体体验。

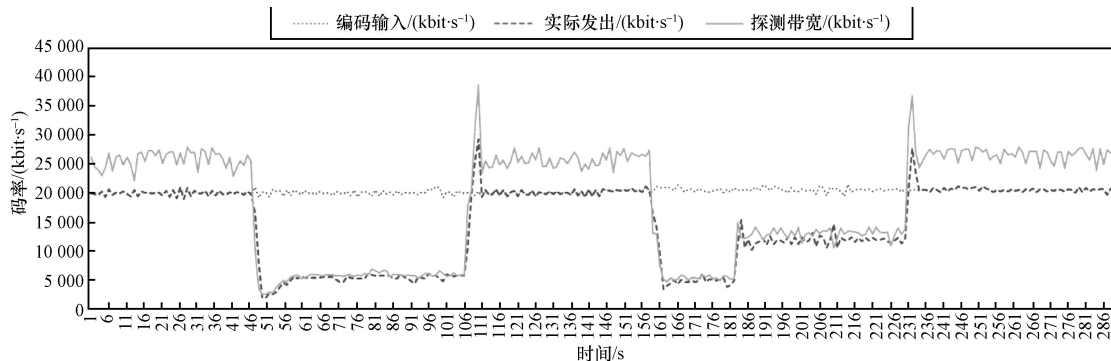


图 4 模拟信道环境变化的探测效果

4.1 智能编码技术

智能编码技术是一种基于现有的编码标准框架进一步做到降码率的有效方法。根据人眼感知特性和后续智能分析需求,对于画面中重要信息区域,保证正常的码率资源进行编码,而对其他区域降低编码码率。一般将这些包含重要信息区域称为感兴趣区域(region of interest, ROI),如图 5 所示,车体 F 为 ROI,背景 B 为非 ROI。该策略可以在保证 ROI 正常编码和分析的同时,显著提升视频的压缩率,减少上行流量带宽。



图 5 智能编码 ROI

本方案中,基于 ROI 的圈定主要有两种方法,具体如下。

(1) 固定区域方法

固定区域方法一般是由用户开启智能编码功能时,圈选画面中多个不同的区域,设置编码的等级,终端按照设定执行编码。该方法一般适用于画面比较固定的场景,如校园门岗的监控。

(2) 动态跟踪方法

动态跟踪方法引入了人工智能或者机器学习的方法,对常用的重要画面如汽车、行人、运动物体

等进行识别,进而自动得到 ROI,不需要用户圈定固定的 ROI。该方法会损耗一定终端算力,但是识别方式更为灵活,适用于场景更为广泛。

智能编码数据分配如图 6 所示,基于 ROI 的识别,终端在编码时对该区域消耗的比特数不变;适当降低用户不关注区域的质量、减少非 ROI 编码消耗的比特数,从而在损失一定非 ROI 的视频观看感知的代价下,实现降低上行传输数据量的目的。

5G 上行带宽探测与智能编码技术结合应用的流程如图 7 所示,5G 上行带宽探测模块,将反映上行带宽变化趋势的结果反馈给流媒体应用模块,流媒体应用模块判断是否启用或者关闭智能编码模块,实现编码调整,最后编码调整后的视频通过 5G 通信模块进行上行传输。

具体判断逻辑如下。

- 探测带宽反映带宽受限,而当前智能编码未启用,则启用智能编码模块,调整编码策略。
- 探测带宽反映带宽资源充裕,而当前智能编码启用,则关闭智能编码模块,恢复正常传输。
- 探测带宽反映带宽资源充裕,而当前智能编码未启用,则保持正常传输。
- 探测带宽反映带宽受限,而当前智能编码启用,则只能保持现状,可能出现视频卡顿。

综上,智能编码技术可以在基本不损失用户观看体验和不影响数据智能后分析的前提下,降

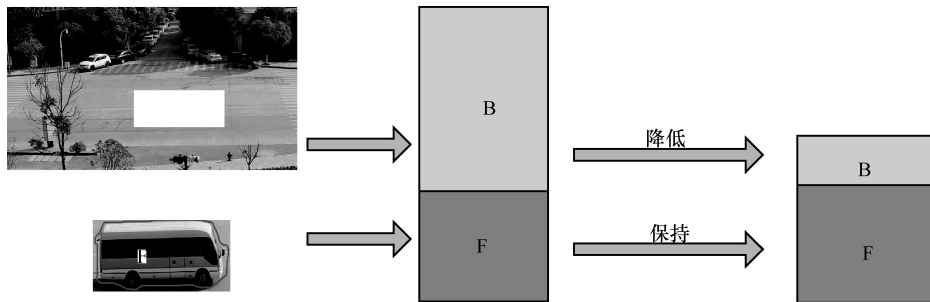


图 6 智能编码数据分配

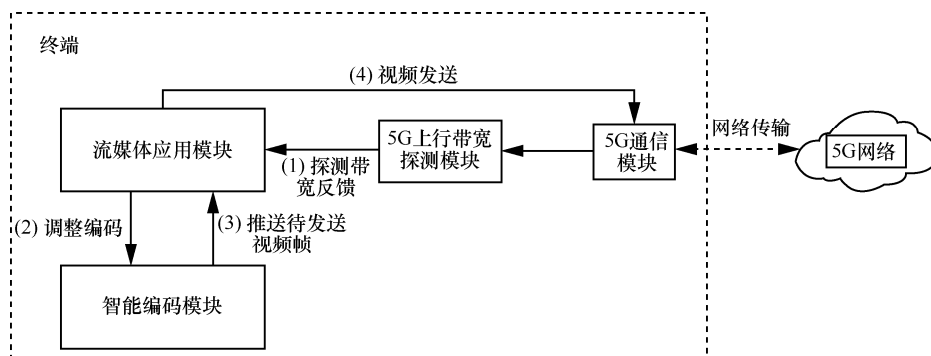


图7 5G上行带宽探测与智能编码技术结合应用流程

低5G上行传输数据量,但是其受实际监控场景影响较大,如ROI较大(人车密集),降流量效果将不明显,依旧存在视频卡顿、断线可能。因此,本文进一步提出了码流自适应技术。

4.2 码流自适应技术

码流自适应技术是基于5G上行带宽探测技术估算的最大上行码率,对网络波动趋势进行估计,自适应调整视频传输码率,以适应当前网络带宽能力,提升视频播放流畅性的一种策略。在5G网络出现波动时,用户播放画面能自动切换到低码率进行播放;5G网络恢复时,播放画面又能够自动恢复为高码率播放。整个码流自适应切换过程中播放不停止,画面无缝切换。

由于码流自适应技术会直接调整整体视频传输码率,影响较大,因此不是直接根据5G上行带宽探测技术提供的TB Size统计值进行调整,而是基于其体现的网络传输时延趋势调整。结合5G上行带宽探测的码流自适应处理流程如图8所示,具体处理流程说明如下。

- 流媒体应用模块,将视频编码模块的视频帧送入码流自适应模块进行码流控制。
- 码流自适应模块,每隔一个视频帧时间,获取视频缓存队列视频时延和缓存队列预计发送耗时,选取两者较大值作为传输时延,并驱动流媒体应用模块发送视频帧。
- 码流自适应模块,定时获取5G带宽探测模块反馈的带宽值并进行带宽平滑计算(主

要包括获取指定时间范围内5G探测带宽值的最小值、最大值、平均值和中值等)。

- 码流自适应模块,按照传输时延的变化趋势,将网络拥塞等级进行划分(包括网络流畅、网络拥塞和网络突降等),并根据网络拥塞等级进行视频码率控制状态切换(包括码率上调、码率下调和码率不变);当检测时间满足或者网络拥塞等级过高时,根据视频码率控制状态触发视频码率调整模块进行码率调整。
- 视频编码模块,获取平滑后的5G带宽值,并将该带宽值和流媒体应用视频发送视频流量值进行预估带宽权重修正,最终采用预估带宽权重修正值设置视频编码码率。

相比智能编码技术,码流自适应技术可以更加确定地降低5G上行传输带宽需求,但是对用户观看视频的感知影响也相对更大,因此两个策略可以根据实际应用场景或者客户需求进行选择执行或者递进执行。

4.3 应用效果

基于5G上行带宽探测技术,在实际场景中,叠加应用智能编码技术和码流自适应技术的效果显著。

(1) 5G带宽探测+智能编码应用效果

智能编码应用前后传输数据变化情况如图9所示,当探测到5G上行带宽不足时,探测带宽值下降,流媒体应用触发智能编码动作,该场景下,编码输入码流降至原有的1/4左右,实际发出速

率与编码输入码流基本一致,说明无丢包,视频播放流畅稳定。

智能编码应用前后视频图像对比如图 10 所示,整个过程中,观察视频画面清晰度,肉眼基本无感。

(2) 5G 带宽探测+码流自适应应用效果

码流自适应应用前后传输数据变化情况如

图 11 所示,当网络带宽不足情况发生时,3~5 s 内完成低码率的自适应调整,输入码流可以根据带宽探测的反馈,降至极低的程度(2 Mbit/s),实际发出码流与输入码流基本一致,说明无丢包,整体画面流畅、连续、视频完整。

码流自适应应用前后视频图像对比如图 12 所示,整个过程中,会出现一些清晰度的下降,但

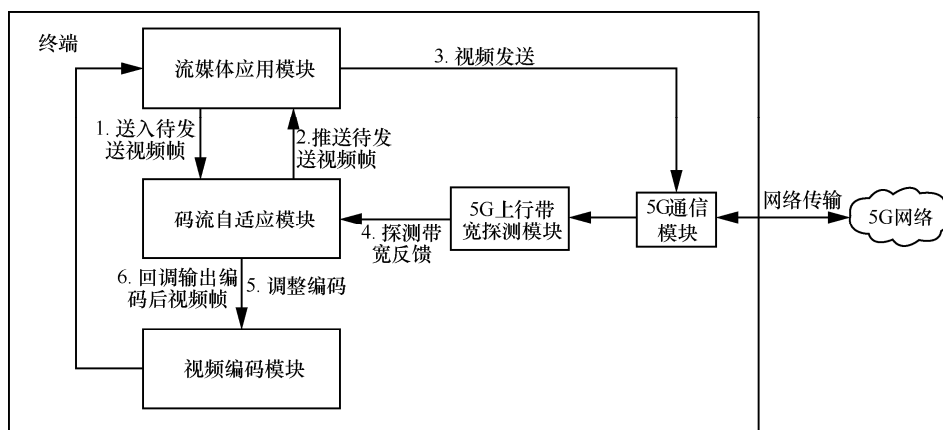


图 8 码流自适应处理流程

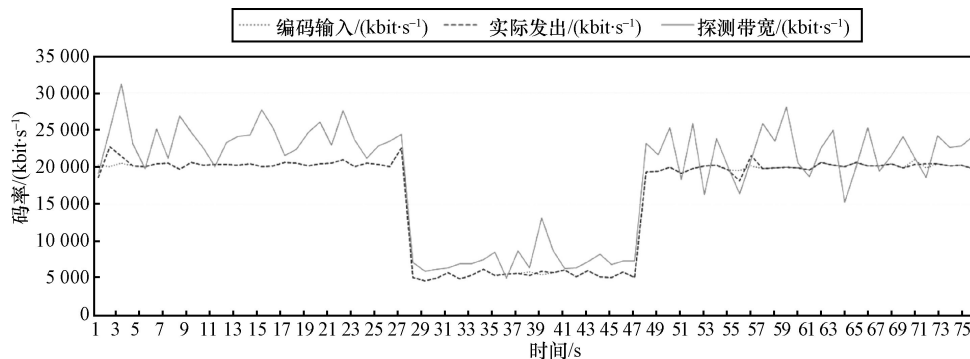


图 9 智能编码应用前后传输数据变化情况

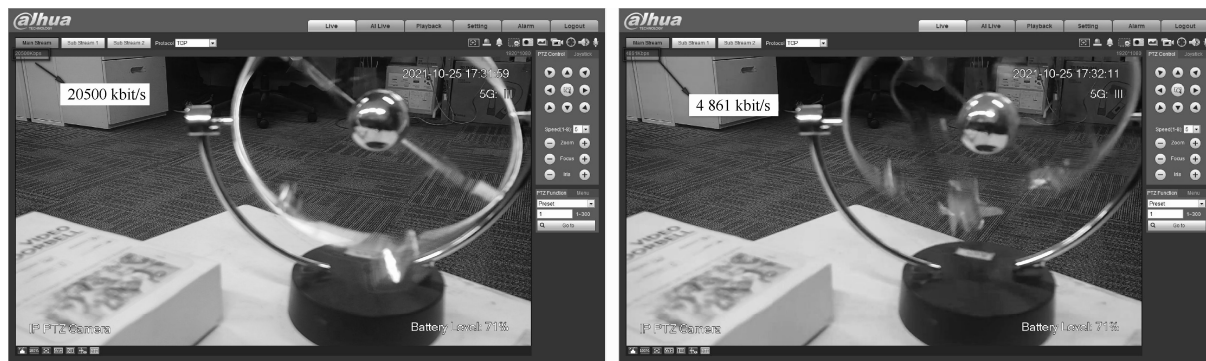


图 10 智能编码应用前后视频图像对比

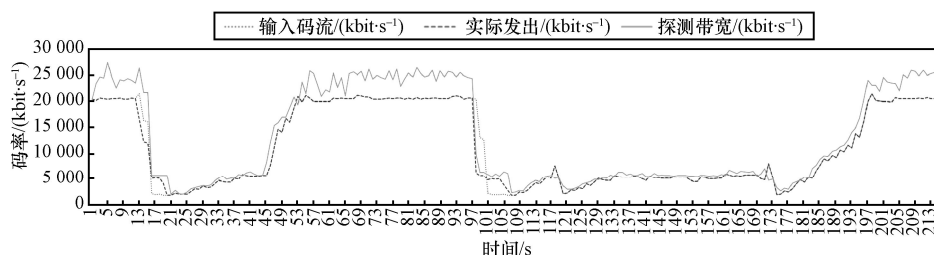


图 11 码流自适应应用前后传输数据变化情况



图 12 码流自适应应用前后视频图像对比

可以确保码流的下降。

(3) 设置对照组, 从用户感知角度, 对比效果见表 1。

综上, 基于 5G 上行带宽探测技术, 可以较为准确的预知 5G 上行网络的变化, 结合智能编码技术和码流自适应技术, 可以在损失一定的视频清晰度的代价下, 保证视频不卡顿, 画面连续, 保证客户的整体体验。

5 结束语

5G 在校园安全等行业场景的应用是未来的发展趋势。相比有线网络, 5G 网络支持移动和快速部署, 无须有线网络勘探和施工等, 具有良好

的应用前景。但是也存在无线资源共享、网络波动较大等问题。

本文提出了一种 5G 上行带宽探测与应用的方案, 能够有效解决视频监控数据在 5G 网络传输过程中遇到的网络波动问题, 助力 5G 视频监控应用的落地部署。

该方案利用终端侧的基带解码, 获取 5G 基站的无线资源调度信息, 通过统计传输资源, 迅速感知带宽的变化并估算最大上行带宽, 结合流媒体应用的智能编码技术和码流自适应技术, 可以在 5G 网络波动情况下, 实现视频清晰度与连续性的兼顾, 保障用户观看体验。

该方案可以广泛应用在校园视频监控等 5G 公共

表 1 性能指标对比效果

对比项 (5G 网络波动情况)	带宽探测+智能编码	带宽探测+码流自适应	对照组
网络感知速度	6~11 s 内完成感知	6~11 s 内完成感知	12~25 s 内完成感知
视频清晰度	清晰度变化肉眼无感	清晰度降低	画面停止
视频流畅度	复杂场景可能出现播放卡顿	流畅、画面连续	卡顿
视频传输时延	平均: 1 118 ms, 最大: 14 570 ms	平均: 200 ms, 最大: 3 422 ms	平均: 1 572 ms, 最大: 23 959 ms
视频传输完整性	复杂场景可能丢帧	不丢帧	丢帧严重

业务多、波动大、覆盖范围广的场景,在 5G 无线网络产生拥塞和波动情况下,更好地保障视频数据在 5G 网络下的最优传输,尽可能小地影响用户感知。

参考文献:

- [1] ZHOU Y Q, TIAN L, LIU L, et al. Fog computing enabled future mobile communication networks: a convergence of communication and computing[J]. IEEE Communications Magazine, 2019, 57(5): 20-27.
- [2] BARBAROSSA S, SARDELLITTI S, DI LORENZO P. Communicating While Computing: distributed mobile cloud computing over 5G heterogeneous networks[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2014, 31(6): 45-55.
- [3] 肖子玉, 韩研, 马洪源, 等. 5G 网络面向垂直行业业务模型[J]. 电信科学, 2019, 35(6): 132-140.
XIAO Z Y, HAN Y, MA H Y, et al. Business service model of 5G network for vertical industry[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(6): 132-140.
- [4] 余胜泉, 陈璠, 李晟. 基于 5G 的智慧校园专网建设[J]. 开放教育研究, 2020, 26(5): 51-59.
YU S Q, CHEN F, LI S. Private network construction of 5G-based smart campus[J]. Open Education Research, 2020, 26(5): 51-59.
- [5] 胡煜华, 王鑫炎, 李贝. 5G 网络上行覆盖增强研究[J]. 电信科学, 2021, 37(7): 134-141.
HU Y H, WANG X Y, LI B. Research on uplink coverage enhancement of 5G network[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(7): 134-141.
- [6] 周胜, 李天璞. 城市场景 5G eMBB 网络速率提升研究与应用[J]. 电信科学, 2021, 37(2): 55-62.
ZHOU S, LI T P. Research and application of 5G eMBB network rate improvement based on urban scenarios[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(2): 55-62.
- [7] 唐杰. 5G 系统接入网络性能优化研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
TANG J. Research on access network performance optimization of 5G system[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2016.
- [8] 刘晓峰, 孙韶辉, 杜忠达, 等. 5G 无线系统设计与国际标准[J]. 电信技术, 2019(10): 2.
LIU X F, SUN S H, DU Z D, et al. 5G wireless system design and international standard[J]. Telecommunications Technology, 2019(10): 2.
- [9] 蒋汉陶. 宽带无线专网系统中物理上下行共享信道自适应调制编码技术及性能研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2018.
JIANG H T. Research on adaptive coding and modulation technology and performance of physical uplink and downlink shared channel for broadband wireless trunking system[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2018.
- [10] 鞠鑫哲. 5G 网络无线通信资源分配[J]. 电子技术与软件工程, 2019(19): 19-20.
JU X Z. Electronic Technology & Software Engineering [J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2019(19): 19-20.
- [11] 吕浩钧. 面向 5G eMBB 场景的确定性无线资源调度算法设计[D]. 杭州: 浙江大学, 2020.

LV H J. Design of deterministic radio resource scheduling algorithm for 5G eMBB[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020.

[作者简介]



徐国斌(1972—),男,浙江大学副研究员,主要研究方向为高校校园安全、高教管理。

符哲蔚(1988—),男,浙江大华技术股份有限公司中央研究院资深系统分析工程师,主要研究方向为 5G、网络通信技术。

刘明(1981—),男,浙江大华技术股份有限公司副总裁、浙江省视觉物联融合应用重点实验室主任,主要研究方向为 5G、视频采集、多维感知、视频传输、视频编/解码、可靠存储等。

邓志吉(1985—),男,浙江大华技术股份有限公司中央研究院院长、高级工程师,浙江省视觉物联融合应用重点实验室副主任、浙江省安全技术防范行业协会安防智库专家、浙江省发明协会优秀发明人才,主要研究方向为 5G、毫米波等。

王存刚(1983—),男,浙江大华技术股份有限公司中央研究院资深嵌入式软件工程师,主要研究方向为 5G 无线接入网通信技术、结合视频流媒体的 5G 创新应用研究与方案设计。

钟广海(1989—),男,浙江大华技术股份有限公司中央研究院高级嵌入式软件工程师,主要研究方向为流媒体协议、音/视频网络传输等创新技术应用研究与解决方案设计及开发。

李辉(1985—),男,浙江大华技术股份有限公司中央研究院资深系统分析工程师,主要研究方向为下一代物联网操作系统、无线网络传输、多维感知物联网等创新技术及应用。

孟伟(1989—),男,浙江大华技术股份有限公司中央研究院无线软件开发工程师,主要研究方向为 5G、无线网络通信技术。

吴云杰(1983—),男,浙江大华技术股份有限公司中央研究院资深系统分析工程师,主要研究方向为 5G、LoRa、物联网传感器软硬件创新技术等。