



专题：视频技术的理论与实践

MPEG2-TS VBR 码流质量监测技术

薛沛林¹, 梁洁¹, 吴雪波²

(1. 中国电信股份有限公司广州研究院, 广东 广州 510630;

2. 上海德科仕通信有限公司, 上海 200190)

摘要: MPEG2-TS VBR 编码技术日益广泛使用, 但传统的基于 MDI-DF 的算法不太适合检测 VBR 码流的传输质量问题。提出了 MPEG2-TS VBR 码流质量评估算法, 通过监测 MPEG2-TS 码流的 PCR 字段, 计算在单位时间内接收到的 VBR 视频流的可播放时长与单位时间的绝对偏差量, 根据绝对偏差量评价 VBR 视频流传输质量。实验结果证明该算法具有可行性和时效性。

关键词: 视频码流; MPEG2-TS; VBR; 质量监测; 内容推送

中图分类号: TN919

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017227

Quality monitoring technology of MPEG2-TS VBR video stream

XUE Peilin¹, LIANG Jie¹, WU Xuebo²

1. Guangzhou Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

2. Dekscm Communication Co., Ltd., Shanghai 200190, China

Abstract: MPEG2-TS VBR coding technology is widely used, but the traditional MDI-DF-based algorithm is not suitable for detecting the transmission quality of VBR stream. The MPEG2-TS VBR stream quality evaluation algorithm was proposed. By monitoring the PCR field of MPEG2-TS stream, the absolute amount of playback time and unit time of VBR video stream received in unit time was calculated. VBR video streaming quality was evaluated according to the absolute deviation. Experimental results show that the proposed algorithm is feasible and effective.

Key words: video stream, MPEG2-TS, variable bit rate, quality monitoring, content delivery

1 引言

传统的数字电视业务(如 DVB、IPTV)一般采用恒定比特率(constant bit rate, CBR)编码技术来压缩和传输视频流。CBR 编码的优点是比较容易实现可靠的视频服务质量保障, 对视频服务

器的性能管理、电视终端的缓冲区管理以及 IP 承载网的流控管理的实现复杂度相对较低。但是, CBR 编码的主要缺点是视频压缩效率较低, 尤其是对超高清等新业务, CBR 编码浪费了大量的带宽资源。

随着人们对观看高清视频节目的需求越来越

收稿日期: 2017-05-16; 修回日期: 2017-07-16

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目(No.2015AA015803)

Foundation Item: The National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (No.2015AA015803)

大,新的视频编码技术和标准(如 H.264、H.265)也不断涌现,这些新技术更多地采用了可变比特率(variable bit rate, VBR)编码技术来提高视频的压缩和传输效率。但 VBR 视频流的码率变化幅度较大,这对视频服务器、IP 承载网、电视终端的功能和性能都提出了更高的要求,尤其是对 VBR 视频流的质量监控,技术难度更大。

VBR 编码的视频流传输带宽往往存在很大波动,因此继续沿用 MDI:DF 标准来评价 VBR 视频的码流质量显然是不合适的,这样会产生大量的 MDI:DF 值超标引起的误告警。本文介绍一种新的 VBR 视频流质量测试方法,可对 VBR 视频质量问题进行更准确的告警,并提出一种改进的 MDI:DF 算法(以下简称 MDI:DF_V)来评价 VBR 视频码流质量。

2 MDI 标准

对于传统的 IPTV 所采用的 MPEG2-TS CBR 码流的视频质量监控, IETF (Internet Engineering Task Force) 标准化组织已发布了 RFC4445 MDI 规范。在 MDI 标准中主要定义了两个参数,即媒体丢失率(media loss rate, MLR)和时延系数(delay factor, DF)。

MDI:MLR 可以简单定义为每秒丢失的媒体数据分组的数量。当 MLR 非零时,意味着 MPEG2-TS 码流中的部分音视频内容丢失或受损,会导致画面失真(如马赛克、花屏)现象。根据其评估算法, MLR 指标对于 CBR 和 VBR 码流是同样适用的。

MDI:DF 是一个时间值,可以理解为机顶盒的缓冲区必须容纳多少毫秒的数据才能消除媒体流抖动。该参数实际反映了视频流码率的波动情况,传输码流越恒定,则 MDI:DF 值越小;反之则越大。如果 MDI:DF 值过大,超过了机顶盒缓冲区的容忍限度,就会导致缓冲区上溢或下溢。缓冲区上溢会导致媒体数据分组的丢失,造成画面失

真;缓冲区下溢会导致无视频流数据可供解码,造成画面卡顿。

RFC4445 MDI 规范中定义了 MDI:DF 值的计算方法:在采样周期中,先计算每个视频封装分组到达时间的变化,然后与预期的视频流速度对比得出 DF 值。采样周期默认为 1 s, DF 值在每次采样周期完成后更新。假设在测量点有虚拟缓存大小为 X , 具体 DF 的计算式如下:

$$X = |\text{接收到的字节数} - \text{解码所需的字节数}| \quad (1)$$

其中,接收到的字节数为实际测量得到;解码所需的字节数通过对媒体流解码分析得到。

则:

$$DF = [X_{\max} - X_{\min}] / \text{媒体流码率} \quad (2)$$

媒体流码率单位是 byte/s。 $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 是在采样周期内所得数值。

根据式(2)可知,该指标的设计原理是以媒体流码率为恒定数值为基础的。但 VBR 编码特性决定了其码流比特率本身就存在很大波动,因此继续沿用 MDI:DF 标准来评价 VBR 视频的码流质量会产生大量的 MDI:DF 值超标引起的误告警。

用 VBR 码流来传输 IP 视频节目时,由于机顶盒缓冲区大小有限,如果视频服务器的码流输出时序存在问题或 IP 网络时延抖动过大,仍然会导致机顶盒缓冲区上溢或下溢的问题,造成画面马赛克或卡顿现象,因此业界迫切需要一种新的测试方法来评价 VBR 视频流的质量,并对其视频质量问题进行告警。

3 MPEG2-TS VBR 码流质量评估算法

3.1 节目参考时钟

在 MPEG2-TS 码流的编码过程中,编码器中有一个频率为 27 MHz 的系统时钟(system time clock, STC),此时钟用来产生指示音视频的正确显示和解码的时间戳。MPEG2-TS 码流包含了一个被称为节目参考时钟(program clock reference, PCR)的字段,该字段用来指示系统时钟本



身的瞬时值,它被放在 TS 分组头的自适应区中,被定期(每隔 40 ms)传送。通过 PCR 值不但可以获得正确的解码时间,还可以用来计算 TS 速率等与时间有关的信息。由于 PCR 字段是在编码器生成 TS 码流时,随着音视频内容被实时同步插入,它基本反映了音视频内容的时序关系,因此可以计算一段 TS 码流的起始 PCR。

3.2 VBR 码流评估算法

检测基于可变比特率编码的 MPEG2-TS 码流的质量问题,可通过监测 MPEG2-TS 码流的 PCR 字段来计算在单位时间内接收到的 VBR 视频流的可播放时长与单位时间的绝对偏差量,并根据该绝对偏差量数值来评价 VBR 视频流质量的方法。

下面是具体的算法描述。

步骤 1 开始采样,并设置采集周期(缺省为 1 s)。

步骤 2 通过采集设备在视频服务器出口、网络中间点或视频终端对基于可变比特率编码的 MPEG2-TS 码流进行数据分组捕获。

步骤 3 对 MPEG2-TS 码流进行协议解析,检测出包含节目参考时钟的 MPEG2-TS 数据分组(以下简称 PCR TS 分组),并记录采样周期内:第一个 PCR TS 分组的数据分组捕获时间标签 $T(1)$ 和该 PCR 值 $PCR(1)$;最后一个 PCR TS 分组的数据分组捕获时间标签 $T(n)$ 和该 PCR 值 $PCR(n)$ 。 $T(1)$ 、 $T(n)$ 、 $PCR(1)$ 、 $PCR(n)$ 均以 μs 为单位。

步骤 4 计算 VBR 码流的时延系数值: $DF_V = |(PCR(n) - PCR(1)) - (T(n) - T(1))|$ 。

MDI:DF_V 算法流程如图 1 所示。

4 算法软件实现及验证

4.1 算法软件实现

根据上述的评估算法,可开发相应的软件实现。软件实现方法可以多样性,开发关键点是确保对 VBR 视频流的 PCR 采样和本地时钟采样的

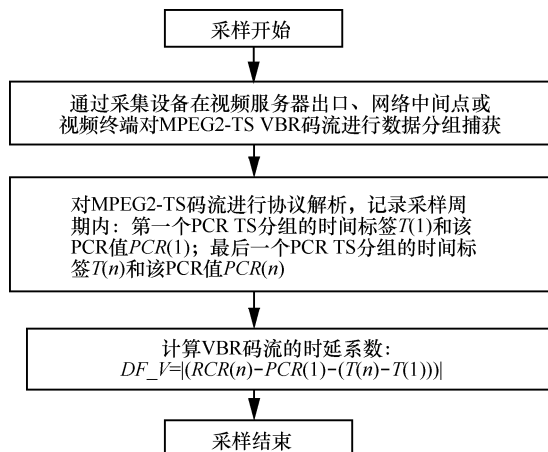


图 1 MDI:DF_V 算法流程

正确性,然后设置相应的流程进行比较。具体到实际开发,可参考图 2 提供的软件开发流程。

详细的软件实现步骤描述如下。

步骤 1 通过采集设备在视频服务器出口、网络中间点或视频终端对基于可变比特率编码的 MPEG2-TS 码流进行数据分组捕获;将视频终端缓冲器中的可播放时长(buffer time, BT)初始化, $BT = 0$;将首次缓冲标记(Flag)设置为 1。

步骤 2 对 MPEG2-TS 码流进行协议解析,检测出包含节目参考时钟的 MPEG2-TS 数据分组,计算两个相邻 PCR TS 分组的时间差 T_a ,并计算这两个相邻 PCR 值的时间差 T_b 。假设第 n 个 TS 分组的数据分组捕获时间标签为 $Timestamp(n)$,其 PCR 值为 $PCR(n)$,则 $T_a = Timestamp(n+1) - Timestamp(n)$, $T_b = PCR(n+1) - PCR(n)$, T_a 和 T_b 均以 ms 为单位。

步骤 3 若首次缓冲标记 $Flag = 1$,则计算终端缓冲区中的可播放视频时长: $BT = BT + T_b$ 。

步骤 4 检查 BT 是否达到终端的首次缓冲时长 B_1 ,若 $BT < B_1$,则跳转到步骤 2;否则将 $Flag$ 设置为 0,表示终端已结束首次缓冲阶段,可开始播放视频(即消耗缓冲区内容),并跳转到步骤 2。

步骤 5 若首次缓冲标记 $Flag = 0$,计算终端缓冲区中的可播放视频时长: $BT = BT + T_b - T_a$ 。

步骤 6 若 $BT < 0$,则系统提示“视频可能出

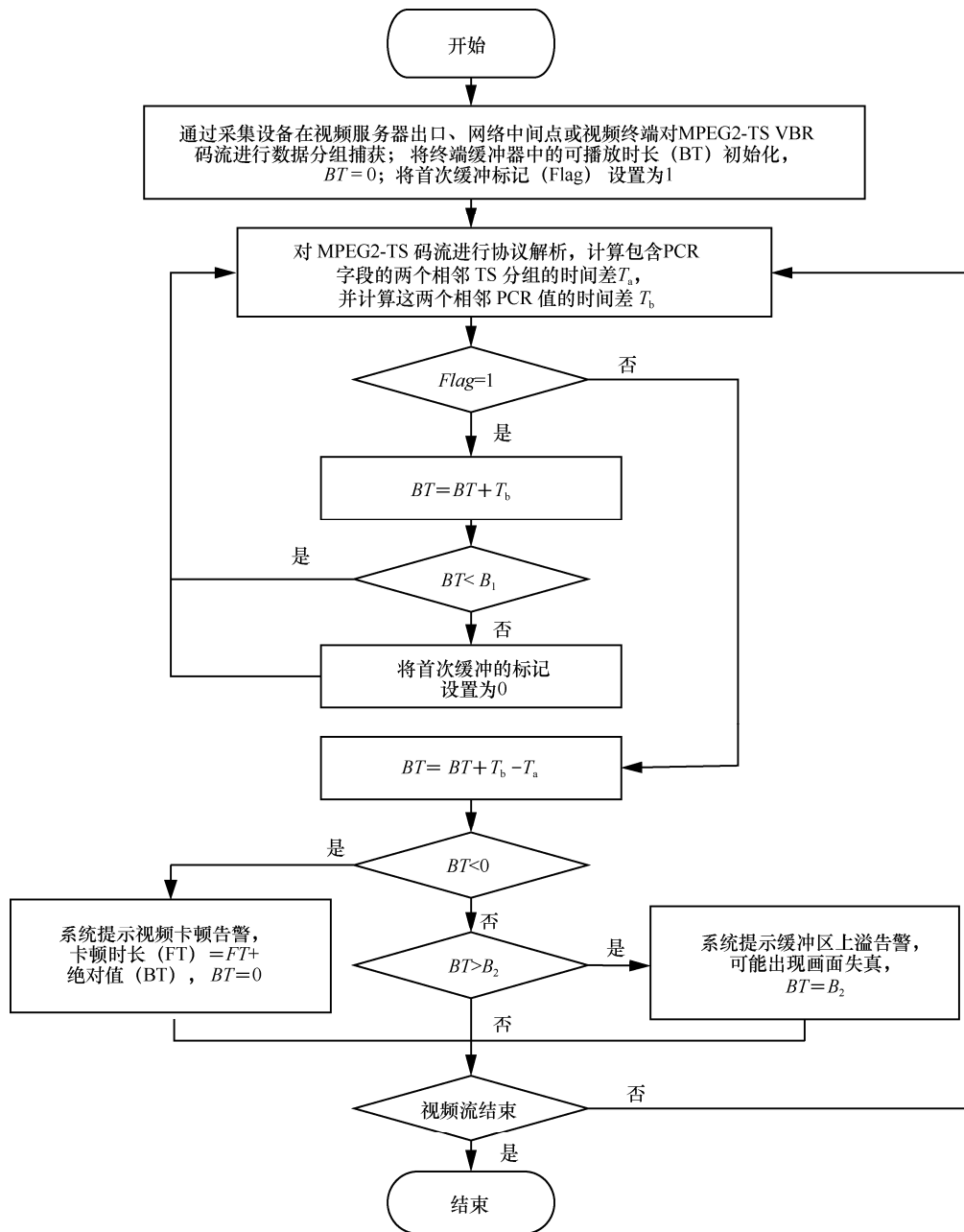


图2 MDI:DF_V 软件开发实现流程

现卡顿”,视频卡顿时长(flag time, FT)=FT+|BT|, 并将 BT 重置为 0, 然后跳转到步骤 8。

步骤 7 B_2 为终端缓冲区可容纳的最大可播放视频时长, 若 $BT > B_2$, 则系统提示“缓冲区上溢告警, 可能出现画面失真”, $BT = B_2$ 。

步骤 8 检查视频流是否结束, 若未结束, 则跳转到步骤 2; 否则结束算法。

4.2 实验验证测试

基于以上的 VBR 码流质量评估的定义和算法, 可应用到视频质量探测设备产品中。目前市场常见的产品可分为独立硬件模式和嵌入软件模式两种。独立硬件产品主要有视频流质量分析仪表、视频流质量探针等, 而软件形式出现的主要是机顶盒嵌入监测探针模块、视频服务器嵌入质



量监测模块等。下面将介绍本算法在 4K 智能机顶盒软探针产品的实现应用情况。

4K 业务质量监测探针通过 Android 智能机顶盒网口抓取分组，并对 4K 视频流进行 DPI (deep packet inspect, 深度分组解析)，实现对 4K 视频的 QoS (quality of service, 服务质量) 指标统计，并提供接口将指标上传给 IPTV SQM (service quality management, 服务质量管理) 业务质量监测系统。IPTV SQM 作为运维解决方案的监控下发、结果展示呈现中心，提供了丰富的人机交互界面，负责下发监控任务到各级节点探针，收集汇总各级探针上报的视频质量监控数据，提供监控数据展示、故障定界、历史记录查询和统计分析等功能。

为了验证本文算法的可行性，测试 VBR 业务对 IP 网络传输指标变化之后，VBR 码流评估是否正确可靠，搭建了 4K 视频质量测试实验环境（如图 3 所示），验证 4K 视频监测探针测试指标的准确性，为 IPTV SQM 系统指标告警门限的设定提供参考依据。

其中网络损伤模拟仪器可以模拟各种网络情况（如分组丢失、时延、抖动、带宽限速等），从而检验 4K 终端设备在不同网络状况下的视频质量情况，进一步得出高质量 4K 视频播放对 IP 承载网 QoS 指标的要求。4K 机顶盒内嵌 QoS 软探针，对不同网络损伤场景下的 4K 视频业务质量参数和用户体验质量（quality of experience, QoE）参数进行测量，并与 4K 电视的实际观看效果进行

对比，从而验证 4K 机顶盒 QoS 软探针的测试指标准确性。

4.2.1 新旧算法的评估对比

首先，在轻载网络下播放一段质量良好的 MPEG2-TS VBR 码流，屏幕播放体验良好，没有任何播放故障。然后，同时使用传统的 MDI:DF 算法和本文介绍的 MDI:DF_V 算法进行评估。

从实验结果来看，传统的 RFC4445 MDI:DF 算法得出该码流的 DF 峰值在 300~400 ms 波动，按照惯用标准，这是一个质量不稳定的码流，很容易触碰告警阈值，引发错误报警。显而易见，这并不是 VBR 码流质量的客观反映。因此试验证明，传统的 MDI:DF 算法不适合评估 VBR 码流质量。传统 RFC4445 MDI:DF 评估 VBR 码流如图 4 所示。

与此同时，程序启用本文介绍的 MDI:DF_V 算法，对同一码流质量进行评价。通过采样运算，得出该码流的 DF 峰值在 10 ms 处波动。当时的承载网络是吉比特以太网网络，而且只传输本试验的码流，传输路径属于极度轻载状态，MDI:DF 应该是一个非常理想的状态。因此，对比以上 2 种算法，本文算法的结果更加符合该码流的真实质量情况。改进算法 MDI:DF_V 评估 VBR 码流如图 5 所示。

4.2.2 评估算法准确性验证

为进一步验证本文提出算法的准确性，采用网络损伤仪表对被测的 VBR 码流定量损伤，比较改进算法的评估结果与损伤情况是否吻合。本次

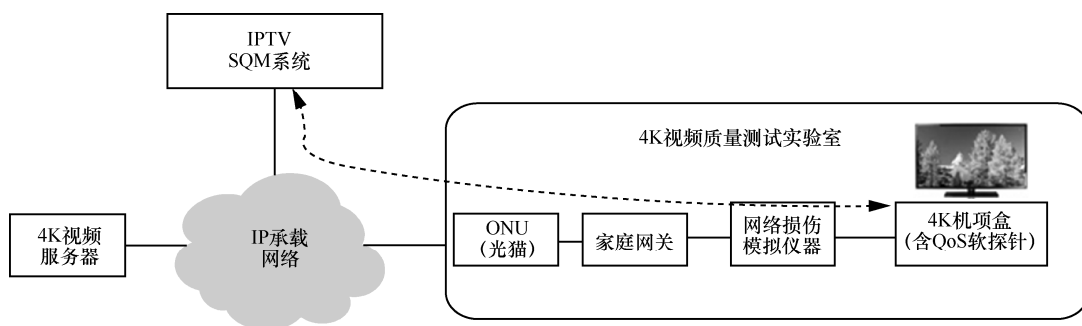


图 3 在 4K 软探针实现 VBR 码流质量算法评估

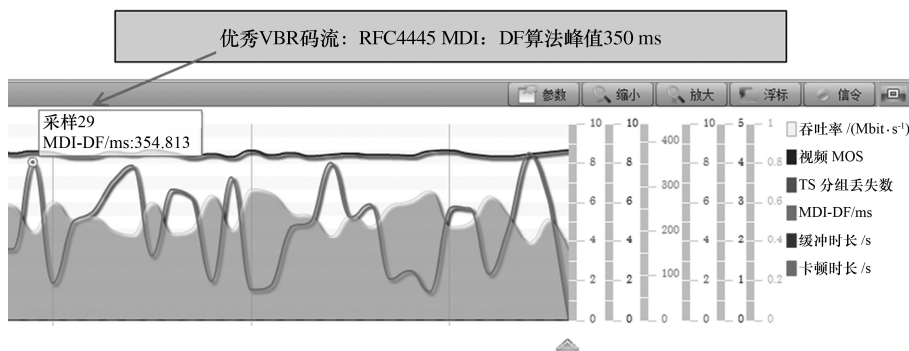


图4 传统 RFC4445 MDI:DF 评估 VBR 码流

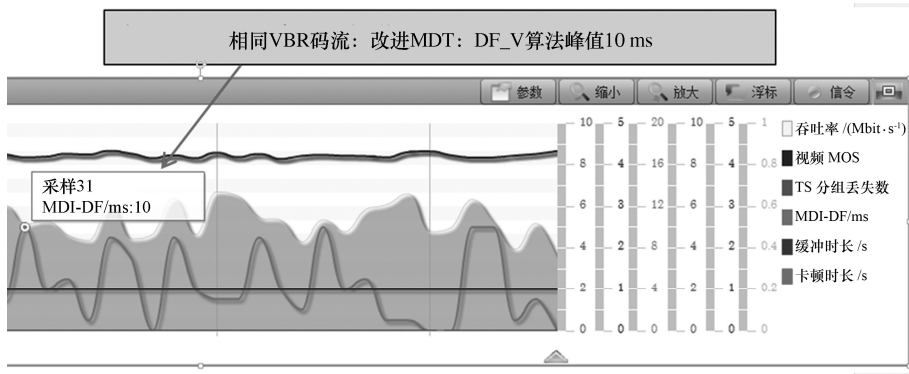


图5 改进算法 MDI:DF_V 评估 VBR 码流

测试保证承载网络处于轻载状态,然后在视频流必经的网络路径串接思博伦的 Attero 损伤仪表,对视频流进行定量时延损伤。然后启动视频质量探针,监测 VBR 码流的质量情况,计算 MDI:DF_V 算法是否正确,是否与损伤仪表的设置一致。图6是损伤仪的损伤设定界面。

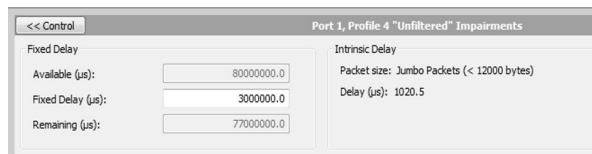


图6 损伤仪的损伤设定界面

机顶盒里的视频质量探针监测到视频码流的状态,使用本算法运算,然后通过平台接口上报 IPTV SQM 系统平台显示。系统平台能实时监控视频流的质量变化情况,对应本次实验,重点监控其 MDI:DF_V 值是否跟损伤仪表设定一致。图7是本文算法算出的 MDI:DF_V 值,为 2 964.36 ms,跟损伤条件基本一致,再次证明该算法的可行性和

实效性。

码率类型	健康度(%)	持续时间	内容ID	吞吐量(Mb)	视频MOS	MDI:DF(ms)
2	74.64	00:02:28	/88888905/16/20:	3.35	1.00	2,964.36

图7 本文算法得出的 MDI:DF_V 值

5 算法应用建议

以上是本文介绍的一种新的 VBR 视频流质量测试方法,它是一种改进的 MDI:DF 算法,更加适用于评价 VBR 视频码流质量,可对 VBR 视频质量问题进行更准确的告警。

这种算法可应用于 IPTV 质量评估产品开发,比如 IPTV 质量分析仪表、机顶盒终端嵌入式监测探针等。目前基于机顶盒软件探针式的评估已被广泛应用,监测探针可对 VBR 视频码借鉴这种改进的 MDI:DF 算法,开发 VBR 码流监测模块,制定 VBR 码流的新型质量指标定义。

VBR 码流监测模块通过分析 MPEG2-TS 码流



的 PCR 字段来计算接收到的 VBR 视频流的可播放时长,并模拟终端视频缓冲区增长和消耗过程,然后根据缓冲区上溢或下溢事件来检测视频出现画面失真或卡顿等质量问题。与此同时,该模块还可通过跟踪 MPEG2-TS 码流的 PCR 字段计算在单位时间内接收到的 VBR 视频流的可播放时长与单位时间的绝对偏差量,并根据该绝对偏差量数值来计算出 MDI:DF_V 指标。

6 结束语

市场需求决定技术更新,VBR 码流质量评估算法需要更加切合码流特性。随着 4K 等新业务的不断普及和推广,IPTV 机顶盒处理 VBR 码流的缓冲器容量有限,合理地评估 VBR 的传输质量,可以有效反馈 IPTV 承载网络的健康程度,及时调整码流的发送或者切换低通率码流,保证用户的观看体验。本文介绍的算法已经在中国电信股份有限公司的一些机顶盒探针产品上得以推广应用,在此希望得到更多的完善和推广,为 VBR 码流评估提供一种可选的有效方法。

毫无疑问,VBR 码流日益广泛使用,无论是点播业务还是直播业务,其传输效率彰显技术优势,码流传输质量的优劣评估将是崭新而迫切的研究课题。本文提出的评估方法并不一定局限在机顶盒探针,也可应用于各类视频质量分析仪表或者其他软件模块中。本文的算法也不是唯一的评估手段,相信在不久的将来,随着业务需求和市场需求的驱动,更多高效的评估算法将不断涌现、百花齐放。

参考文献:

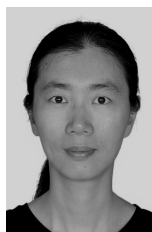
[1] WELCH J, CLARK J. A proposed media delivery index (MDI): RFC4445[S]. 2006.

- [2] 梁洁,陈戈.海量、高清、多屏视频驱动下的新一代 CDN 设计[J].广东通信技术,2010(8):10-14.
LIANG J, CHEN G. Mass, high-definition, multi-screen video drive under a new generation of CDN design[J]. Guangdong Communication Technology, 2010(8): 10-14.
- [3] 梁洁,陈戈,庄一嵘.内容分发网络(CDN)关键技术、架构与应用[M].北京:人民邮电出版社,2013.
LIANG J, CHEN G, ZHUANG Y R. Content delivery network(CDN) key technologies, architectures and applications[M]. Beijing: Posts&Telecom Press, 2013.
- [4] 郑君杰.可信网络关键问题研究[J].电信科学,2010,26(2):55-59.
ZHENG J J. Reserch on key problems for trusting network [J]. Telecommunications Science, 2010, 26(2): 55-59.
- [5] 雷蕾,李景文,宫大鹏,等.基于Hadoop的OSS域数据建模与采集方法研究[J].电信科学,2015,31(2):1-10.
LEI L, LI J W, GONG D P, et al. Study on data modeling and collection in OSS based on Hadoop[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(2): 1-10.

[作者简介]



薛沛林(1970-),男,中国电信股份有限公司广州研究院高级工程师,主要研究方向为IP多媒体网络传输、IPTV内容分发网络。



梁洁(1974-),女,中国电信股份有限公司广州研究院高级工程师,主要研究方向为IP多媒体网络传输、IPTV内容分发网络。



吴雪波(1974-),男,上海德科仕通信有限公司技术总监,主要研究方向为IP多媒体网络传、视频图像质量分析。