



基于熵值和模糊层次法评估媒体流的研究及应用

钟其柱

(中国移动通信集团广东有限公司中山分公司, 广东 中山 528400)

摘要: 针对移动互联网媒体流端到端的用户感知评估方法空缺的问题, 提出了一种基于熵值和模糊层次法评估媒体流的方法。首先通过箱线图法处理 XDR 数据指标, 然后运用熵值法和模糊层次法修正评估, 从多维度对整体视频业务全网络过程实现对移动互联网视频用户使用感知的评估, 同时实现了网络端到端的健康度评估。一系列仿真实验测试结果表明, 所述方法在避免单一指标片面评估的同时达到了提高媒体流评估准确性的效果, 对整体互联网质量的优化提升和多维度网络故障排查定位提供了一种方法以及解决思路。

关键词: 流媒体; 箱线图法; 熵值法; 模糊层次法; 评估

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020027

Research and application of media streams based on entropy and FAHP

ZHONG Qizhu

Zhongshan Branch of China Mobile Group Guangdong Co., Ltd., Zhongshan 528400, China

Abstract: Aiming at the problem of end-to-end user perception evaluation method for mobile internet media streams was still vacant, a method based on entropy and fuzzy hierarchy was proposed to evaluate media streams. Firstly, XDR data indicators were processed by box-line graph method. Then, entropy method and fuzzy hierarchy method were used to revise the evaluation. The whole network process of the whole video service was modified from multi-dimension to realize the perception evaluation of the use of mobile internet video users. At the same time, the end-to-end health evaluation of the network was also realized. The results of a series of simulation experiments show that the proposed method can improve the accuracy of media stream evaluation while avoiding one-sided evaluation of a single index. It provides a method and solution for the optimization of the overall internet quality and multi-dimensional network fault location.

Key word: streaming media, box plot, entropy method, fuzzy analytic hierarchy process, evaluation

1 引言

移动互联网的快速普及, 为流媒体应用的发展提供了肥沃的土壤, 流媒体业务如雨后春笋般

涌现。同时, 随着互联网思维的热潮, 以用户为中心的营销策略越来越多, 用户感知的评估也成为运营商关注的热点。

参考文献[1]提出了一种准确评估网络视频质



量的方法。该方法首先通过主观评估模块对网络视频进行主观质量评估,获取主观评估因子,然后通过客观评估模块对网络视频进行客观质量评估,获取客观评估因子,最后通过性能评价模块对所述主观评估因子和客观评估因子的评估准确性进行综合评价。

参考文献[2]提出了一种视频质量评估的方法。该方法通过计算分组丢失数据在视频帧中所占比重从而确定质量劣化值,接着判断视频帧是否为场景切换帧再采取不同的修正。

参考文献[3]提出了一种评估播放页视频质量的方法。该方法通过获取统计每个用户浏览播放的时长总和,来确定每个用户对应的评估得分;再按预设算法综合每个用户得分计算出该视频播放页视频推荐的质量评估得分。

上述方法,都没有从视频业务的端到端网络流程的角度去评估,但都采用了权重综合法将不同因素或用户的指标进行综合。移动视频业务流

程经过的移动网元众多,包括 eNode B、PTN、MME、SaeGW、DNS、防火墙、IP 网络、服务器端。网络中的每个设备都参与了视频业务过程,都以不同的指标方式体现了其设备在网络中的业务影响情况,所以需要针对整个网络流程的所有指标进行权重的计算,并为整体网络的管理和优化提供重要的数据支撑。

为此,本文尝试研究从网站业务的所有用户数据出发,结合数学算法中的熵值法计算各个指标的权重,并使用模糊层次法对各个权重进行修正的方法。这样计算出来的用户感知的评分从用户出发再回到用户,能够较准确地体现用户的感知。

2 评估体系设计

根据流媒体业务流程,如图 1 所示,首先选取与视频业务相关的 10 个指标,然后通过权重对 10 个指标进行综合,建立综合评估体系。在选取

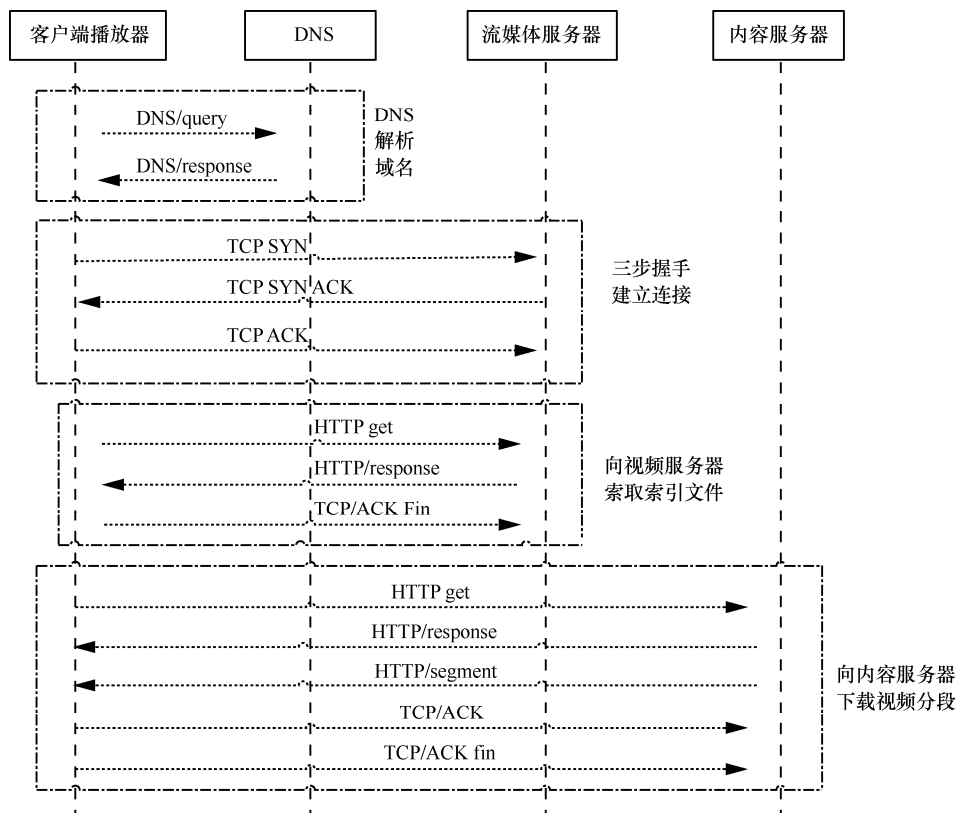


图 1 流媒体的业务信令流程

指标权重算法中通过各种算法的对比以及基于大数据思想,在尊重数据的原则上,选取了熵值法,通过样本数据的训练,计算各个指标的权重,在对权重的验证过程中选取了模糊层次分析法对熵值法计算的结果进行验证和修正,以使评估结果更精确地体现用户感知。

流媒体用户感知评估体系根据用户使用过程分为3部分:(1)是否可用;(2)使用时能否及时得到响应;(3)使用过程中能否具有良好的稳定性。从而搭建出基于基本KPI的用户感知指标体系,如图2所示。

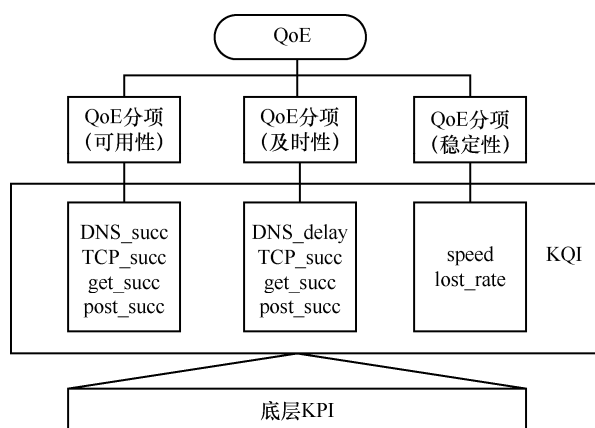


图2 基于KPI的用户感知指标体系

在可用性QoE分项中选取了从附着到使用数据的整个过程中各个事件的成功率,其代表着视频业务建立成功的概率,视频业务的建立流程必须经历这些网元设备,其指标则真实反映视频业务的建立成功情况。

及时性指标是在可用性的基础上设计的有关时延的指标,其是可用性更进一层次的指标类别,反映着视频业务建立成功后视频业务具体的响应情况,也同时反映设备网元的处理是否及时,从侧面评估出网元的性能。

最后部分是稳定性指标,这里稳定性指标设计了3个,分别是速率、掉线率和卡顿率,因为暂时还没有办法进行卡顿率的分析,所以只选取速率和掉线率进行分析。视频的业务要保持稳定

性,需保证视频数据流量的可用性和实时性,速率和掉线率两个指标代表了业务的实时性、稳定性以及用户感知最重要的部分。

3 评估实现

3.1 方案流程

通过研究移动互联网的流媒体业务过程,根据数据源用户面的HTTP XDR数据,构建符合实际网络客观的用户感知体系,并同时提供实时网络故障排查的重要数据指标支撑。其方案流程如图3所示。

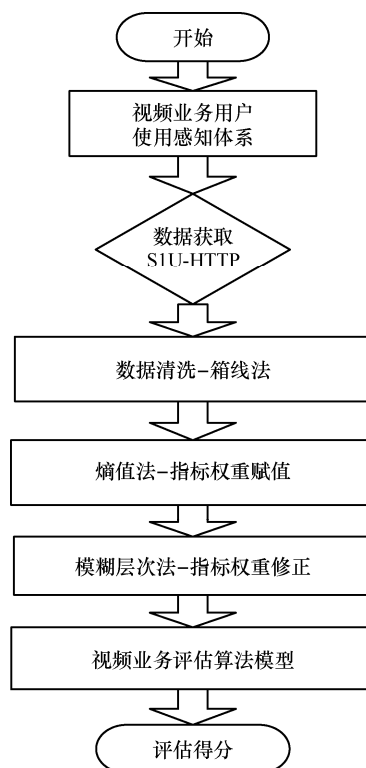


图3 方案流程

(1) 流媒体用户感知体系设计。根据移动互联网的流媒体业务网络信令过程,视频业务的特征、网络流程的设备指标特征以及实际的XDR字段解码统计情况,构建能充分反映网络端到端的视频业务流程的用户感知指标体系。

(2) XDR数据获取。基于共享层XDR数据,通过Kafka Connect从Kafka集群接入本地的共享



数据处理集群, 本次研究方案只针对 S1U-HTTP 的 XDR 数据做处理。

(3) 在数据清洗时, 对流媒体的业务用户每 15 min 进行指标体系的统计, 统计指标作为样本, 并同时数据指标采用箱线法进行清洗。

(4) 熵值法确定权重。根据各个指标值所提供的信息的大小, 通过计算各个指标的熵值, 获取各个指标的贡献度, 从而确定指标体系中各个指标的权重。

(5) 模糊层次法修正权重。采用模糊层次法在业务理解的基础上将各个层次之间的指标进行合理的映射, 对熵值法所训练的结果进行合理的修正, 从而更有效地反映网络的质量和用户的感知。

(6) 流媒体评估公式, 通过以上计算步骤, 得到了流媒体的评估公式, 从而可以针对任何用户维度、任何时间维度的视频业务进行质量评估, 也侧重反映了网络的实际情况。

3.2 数据准备

根据上述的视频业务指标体系, 选取本地一个月使用优酷、爱奇艺、咪咕视频、咪咕直播业务的用户每 15 min 的统计指标为样本。选择 15 min 粒度是因为如果选取时间粒度过大会导致指标的差异无法体现, 如果选取时间粒度过小会加大数据处理的难度和导致样本完整性下降。使用 impala 对各大视频业务的用户指标数据进行查询, 统计出对应的 DNS_succ、TCP_succ、get_succ、post_succ、DNS_delay、TCP_delay、get_delay、post_delay、speed、lost_rate 这 10 个指标的数据。

在数据获取时, 使用了 Hadoop 这一生态圈, 通过 Kafka、Flume 来收集用户的业务数据, 使用 Impala 在获取到的数据里根据 15 min 的粒度进行数据筛选, 再通过计算得到 10 个指标对应的概率。获取到的指标数据见表 1。

在对媒体流数据进行评估计算之前, 需要对数据进行清洗, 数据清洗采用的是箱线图法^[4]。

表 1 优酷媒体流各种指标值

媒体 流源	统计时间	DNS_succ	TCP_succ	get_succ	post_succ	DNS_delay/ms
优酷	2018/6/20 01:45	0.95	0.99	0.96	0.99	68.05
优酷	2018/6/20 07:30	0.95	0.99	0.96	0.99	69.83
优酷	2018/6/20 15:30	0.96	1.00	0.98	0.98	85.96
优酷	2018/6/18 22:15	0.95	1.00	0.97	0.97	64.13
优酷	2018/6/20 10:30	0.94	0.99	0.96	0.98	73.41
优酷	2018/6/20 20:15	0.90	1.00	0.79	0.97	93.89
优酷	2018/6/19 12:15	0.94	1.00	0.99	0.98	77.13
优酷	2018/6/21 07:45	0.94	0.99	0.96	0.98	98.06
优酷	2018/6/19 22:00	0.93	1.00	0.90	0.98	67.62
媒体 流源	统计时间	TCP_delay/ms	get_delay/ms	post_delay/ms	speed/(kbit·s ⁻¹)	lost_rate
优酷	2018/6/20 01:45	68.09	67.16	81.55	7 487.61	0
优酷	2018/6/20 07:30	73.18	65.03	81.23	6 565.55	0
优酷	2018/6/20 15:30	63.56	36.26	100.94	5 516.18	0
优酷	2018/6/18 22:15	66.34	58.67	70.54	6 022.13	0
优酷	2018/6/20 10:30	76.28	68.85	77.45	5 979.00	0
优酷	2018/6/20 20:15	72.64	56.75	84.23	7 824.09	0
优酷	2018/6/19 12:15	54.36	32.77	80.47	6 522.78	0
优酷	2018/6/21 07:45	87.62	81.73	97.58	5 897.84	0
优酷	2018/6/19 22:00	60.13	61.82	68.23	7 390.65	0

根据箱线图画法^[5],将各组指标都等分成4份,这样就得到每组的最小值,第一分位数、中位数、第三分位数和最大值,可以利用这些值进行数据清洗。

(1) 计算四分位距 $Q_R=Q_3$ (第三分位数) $-Q_1$ (第一分位数);

(2) 判定正常数据的上下限: 下限为 $Q_1-1.5 \times Q_R$, 上限为 $Q_3+1.5 \times Q_R$ 。

凡是在上下限区间之外的点都是异常点,把异常点所在的行过滤掉。通过代码计算得出这10个指标的上限和下限,具体见表2。

其中, Q_1 表示第一四分位, Q_2 表示中位数, Q_3 表示第三分位数, ID_R 表示四分位距, L_{lim} 表示下限, u_{lim} 表示上限。

在使用存储过程将数据宽表生成后就可以利用熵值法进行计算了,同时通过模糊层次法对得到的权重进行分析修正,修正的方式是将两个权重进行耦合。

4 指标权重的确定

4.1 权重赋值-熵值法

熵值法根据各项指标所提供的贡献大小来确定指标权重,属于客观赋权方法,其避免了主观因素造成的偏差。信息熵越小,系统无序化程度越大;信息熵越大,系统无序化程度越小^[6]。根据

熵的定义与原理^[7],可以通过熵值来判断某个指标的权重,指标的权值越大,该指标对综合评价的影响越大。因此,可利用熵值计算,确定各项业务指标的权重,为媒体流业务的多指标质量综合评价体系提供依据。

将熵值法应用于媒体流指标权重赋值的实现过程如下。

(1) 数据矩阵: 根据箱线图法过滤后,统计本地世界杯期间用户数据,形成数据矩阵。矩阵指标体系为:

DNS_succ, TCP_succ, get_succ, post_succ, DNS_delay, TCP_delay, get_delay, post_delay, speed, lost_rate

$$X_{n \times m} = \begin{bmatrix} \text{DNS}_{\text{succ}11} & \cdots & \text{lost_rate}_{\text{succ}m1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{DNS}_{\text{succ}n1} & \cdots & \text{lost_rate}_{\text{succ}n \times m} \end{bmatrix} \quad (1)$$

(2) 数据元标准化: 指标的量纲、数量级可能存在或大或少的差异,为消除这些差异,可以使用标准化公式 $x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$ 将每一列指标标准化到0和1之间。

(3) 计算第 j 项指标第 i 方案的占比 y_{ij} :

$$y_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_n x'_{ij}}, 0 \leq y_{ij} \leq 1 \quad (2)$$

生成新的指标权重矩阵 $Y_{ij} = \{y_{ij}\}_{m \times n}$ 。

表2 指标的上限和下限

	Q_1	Q_2	Q_3	ID_R	L_{lim}	u_{lim}
DNS_succ	0.87	0.96	0.99	0.12	0.70	1.16
TCP_succ	1.00	1.00	1.00	0.00	0.99	1.00
get_succ	0.75	0.96	0.97	0.22	0.42	1.31
post_succ	0.98	0.99	1.00	0.02	0.94	1.03
DNS_delay/ms	6.22	20.36	118.41	112.19	-162.07	286.70
TCP_delay/ms	37.62	45.51	79.46	41.85	-25.15	142.23
get_delay/ms	62.50	91.58	111.07	48.57	-10.36	183.93
post_delay/ms	46.74	56.57	78.13	31.39	-0.34	125.22
speed/(kbit·s ⁻¹)	3 675.89	4 316.49	5 699.19	2 023.30	640.95	8 734.14
lost_rate	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.00	0.00



表 3 爱奇艺、优酷、咪咕的权重比例

	DNS_succ	TCP_succ	get_succ	post_succ	DNS_delay	TCP_delay/ ms	get_delay/ ms	post_delay/ms	speed/ (kbit·s ⁻¹)	lost_rate
爱奇艺	0.09	0.09	0.10	0.06	0.09	0.12	0.10	0.10	0.12	0.13
优酷	0.10	0.09	0.08	0.08	0.10	0.09	0.09	0.10	0.08	0.18
咪咕视频	0.02	0.06	0.04	0.08	0.40	0.08	0.09	0.08	0.08	0.07
咪咕直播	0.02	0.03	0.05	0.02	0.40	0.18	0.05	0.13	0.03	0.09

(4) 计算指标熵值 e_j 和效用值 d_j 。用式 (3) 计算各指标的熵值:

$$e_j = -K \sum_{i=1}^n y_{ij} \times \ln y_{ij} \quad (K = \frac{1}{\ln n}, \text{ 常数}) \quad (3)$$

同时计算出效用值: $d_j = 1 - e_j$

(5) 计算指标权重:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^m d_j} \quad (4)$$

(6) 计算综合得分: $U = \sum_{i=1}^m w_j \times y_{ij} \times 100$, 综合得分 U 越高越好。

通过计算得到爱奇艺、优酷、咪咕的权重比例见表 3。

4.2 权重修正-模糊层次法

熵值法无法确定指标本身的重要程度, 造成其确定的指标权重可能会与预期的结果大相径庭。因此, 需要考虑对熵值法确定的指标权重进行验证和修正。

模糊层次分析法 (fuzzy analytic hierarchy process, FAHP) 是一种将模糊综合评判法 (fuzzy comprehensive evaluation, FCE) 和层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 相结合的评价方法^[8]。使用模糊层次分析法能够对熵值法所确定的权重结果进行合理的修正, 同时模糊层次也能有效地弥补熵值法无法进行横向分析的缺点。

使用模糊层次法对媒体流指标权重修正的过程如下。

将整个 QoE 体系分成两层: 一层为 QoE 分项; 另一层为 KQI 指标层。因此可运用两次模糊层次分析法对各个指标进行修正。

需要说明的是所设计的感知体系针对媒体流业务, 媒体流业务是对时延不太敏感的业务, 在观看多媒体过程中影响最大的两个指标是卡顿和速率。所以这里排序指标的重要性为:

speed>lost_rate>DNS_succ>TCP_succ>get_succ=post_succ>DNS_delay=TCP_delay=get_delay+post_delay。

(1) 对两层指标建立模糊矩阵, 高层 QoE 分项模糊矩阵见表 4。

表 4 高层 QoE 分项模糊矩阵

QoE	可用性	及时性	稳定性
可用性	0.5	0.8	0.2
及时性	0.2	0.5	0.1
稳定性	0.8	0.9	0.5

说明: 重要程度是稳定 QoE 分项>可用性分项>及时性分项。

(2) 将第一步建立的模糊矩阵改造成满足一致性的矩阵: 首先对模糊矩阵按行求和 $r_i = \sum_{j=1}^n r_{ij}$, 再利用 $r_{ij} = (r_i - r_j) / 2n + 0.5$ 替换模糊矩阵中的各个元素的值, 使其满足加法一致性 $r_{ij} = r_{ik} - r_{jk} + 0.5$ 。

(3) 计算各项的排序权重: $S_i = \frac{1}{n} - \frac{1}{2a} + \sum_{j=1}^n r_{ij} / na$, 这里取 $a=(n-1)/2$ 。

根据上述过程计算得到的各个模糊矩阵的排名权重见表5。

由于在指标选取及体系搭建时将指标分成了三大类,可用性、及时性和稳定性,所以根据表5得到的各模糊矩阵的排名权重,可以使用QoE层的各层和互相对应的指标进行乘积来得到模糊层次法各指标的权重,结果见表6。

4.3 权重确定

通过熵值算法和模糊层次法,获得了两个权重。所以,在这里需要将模糊层次法得到的权重和熵值法得到的权重进行耦合修正。耦合的方法是将熵值法求得的各指标的权重和模糊层次法求得的各指标的权重进行对应相乘。通过计算,得到的结果见表7。

耦合后的权重相加小于1,这是因为耦合后得

到的值是在10个指标的和里面的占比,需要计算该指标的权重在1里面的占比,所以,还需要对表7的数据进行归一化处理,根据公式 $A1/SUM(A1+A2+A3+A4+\cdots+A10)$ 进行处理,得到最终的指标权重。通过计算,结果见表8。

5 评估与应用

5.1 评估公式确定

通过以上数据处理计算,最终可以整理得到表9的流媒体质量评估式。计算结果值正常范围为0~100,公式的结果值越高,用户感知越好。

5.2 评估结果应用

通过以上评估方式,分别对这4个业务进行忙时单用户维度的视频业务的质量评估,在筛选用户在某时段的用户感知评分的同时,也可以查

表5 模糊矩阵的排名权重

QoE	权重	可用性	权重	及时性	权重	稳定性	权重
可用性	0.33	DNS_succ	0.29	DNS_delay	0.25	speed	0.65
及时性	0.22	TCP_succ	0.26	TCP_delay	0.25	lost_rate	0.35
稳定性	0.45	get_succ	0.23	get_delay	0.25		
		post_succ	0.23	post_delay	0.25		

表6 模糊层次法各指标的权重

DNS_succ	TCP_succ	get_succ	post_succ	DNS_delay/ ms	TCP_delay/ ms	get_delay/m s	post_delay/ ms	speed/kbit/s	lost_rate
0.10	0.09	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.29	0.16

表7 耦合后的业务指标权重值

业务	爱奇艺	优酷	咪咕视频	咪咕直播
DNS_succ	0.009	0.009	0.002	0.002
TCP_succ	0.008	0.008	0.005	0.002
get_succ	0.007	0.006	0.003	0.004
post_succ	0.005	0.006	0.006	0.002
DNS_delay/ms	0.005	0.006	0.022	0.022
TCP_delay/ms	0.007	0.005	0.005	0.010
get_delay/ms	0.005	0.005	0.005	0.003
post_delay/ms	0.006	0.006	0.004	0.007
speed/(kbit·s ⁻¹)	0.034	0.023	0.024	0.010
lost_rate	0.021	0.029	0.011	0.014



表 8 归一化后的指标权重

业务	爱奇艺	优酷	咪咕视频	咪咕直播
DNS_succ	0.083	0.092	0.017	0.026
TCP_succ	0.078	0.079	0.059	0.031
get_succ	0.070	0.062	0.037	0.049
post_succ	0.043	0.062	0.068	0.020
DNS_delay/ms	0.044	0.054	0.252	0.295
TCP_delay/ms	0.061	0.045	0.052	0.131
get_delay/ms	0.050	0.047	0.059	0.039
post_delay/ms	0.052	0.056	0.051	0.097
speed/(kbit·s ⁻¹)	0.320	0.227	0.277	0.129
lost_rate	0.198	0.278	0.126	0.183

表 9 流媒体的质量评估公式

业务	公式
爱奇艺	$0.083 \times \text{DNS_succ} + 0.078 \times \text{TCP_succ} + 0.070 \times \text{get_succ} + 0.043 \times \text{post_succ} + 0.044 \times \text{DNS_delay} + 0.061 \times \text{TCP_delay} + 0.05 \times \text{get_delay} + 0.052 \times \text{post_delay} + 0.32 \times \text{speed} + 0.20 \times \text{lost_rate}$
优酷	$0.092 \times \text{DNS_succ} + 0.079 \times \text{TCP_succ} + 0.062 \times \text{get_succ} + 0.062 \times \text{post_succ} + 0.054 \times \text{DNS_delay} + 0.045 \times \text{TCP_delay} + 0.047 \times \text{get_delay} + 0.056 \times \text{post_delay} + 0.23 \times \text{speed} + 0.28 \times \text{lost_rate}$
咪咕视频	$0.017 \times \text{DNS_succ} + 0.059 \times \text{TCP_succ} + 0.037 \times \text{get_succ} + 0.068 \times \text{post_succ} + 0.252 \times \text{DNS_delay} + 0.052 \times \text{TCP_delay} + 0.059 \times \text{get_delay} + 0.051 \times \text{post_delay} + 0.28 \times \text{speed} + 0.13 \times \text{Lost_rate}$
咪咕直播	$0.026 \times \text{DNS_succ} + 0.031 \times \text{TCP_succ} + 0.049 \times \text{get_succ} + 0.020 \times \text{post_succ} + 0.295 \times \text{DNS_delay} + 0.131 \times \text{TCP_delay} + 0.039 \times \text{get_delay} + 0.097 \times \text{post_delay} + 0.13 \times \text{speed} + 0.18 \times \text{lost_rate}$

看该时段用户所处的位置 ECI 小区所进行对应优化的成效情况。具体的评估结果见表 10。

从表 10 可以看出,随着 10 个指标的变化,评估结果也在变化。总体来说,指标越好,最终评估结果也越好,从而可以得知优化效果。

该评估体系提供一种从用户表现的数据出发,并结合数学算法中的熵值法计算各个指标的权重,为网络优化提供一种全新的优化方法论,可以运用在感知差用户分析、质差业务分析、质差小区分析等多维度分析。

6 结束语

为了验证方案的可行性,通过对现有的媒体流数据集分别通过方案评估和人工定性分析,将原始数据通过箱线法处理后再输入经过熵值和模糊层次综合确权的评估公式,避免了异常数据导致的结果异常和单一指标导致的片面评估,提高了评估的准

确性。实际网络视频流数据量非常丰富,媒体流评估的研究还处于起步阶段。在将来的工作中,将对以下几个方面进行更进一步的探索:利用机器学习的算法进行实时网络评估的方法研究;利用神经网络算法进行 VoLTE 视频通话感知的方法研究。

参考文献:

- [1] 深圳众厉电力科技有限公司.一种评估准确的网络视频质量评估系统: 201710362225.5[P]. 2017.
Shenzhen Zhongli Power Technology Co., Ltd. Network video quality evaluation system with accurate evaluation: 201710362225.5[P]. 2017.
- [2] 华为技术有限公司.一种实现视频质量评估的方法、装置和系统: 201610709417.4[P]. 2018.
Huawei Technologies Co., Ltd. Method, device and system for realizing video quality evaluation: 201610709417.4[P]. 2018.
- [3] 北京奇艺世纪科技有限公司.一种播放页视频推荐的质量评估方法及装置: 201710970952.X[P]. 2018.
Beijing Qiyi Century Technology Co., Ltd. Method and device for evaluating quality of page-page video recommendation: 201710970952.X[P]. 2018.

表 10 业务评估结果情况

业务	爱奇艺	爱奇艺	爱奇艺	优酷	优酷	优酷
时间	2018/7/25 0:00	2018/7/26 0:00	2018/7/27 0:00	2018/7/27 0:00	2018/7/24 18:00	2018/7/26 0:00
DNS_succ	0.94	0.94	0.93	0.95	0.94	0.95
TCP_succ	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	0.99
get_succ	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96	0.96
post_succ	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	0.97
DNS_delay/ms	264.86	261.12	329.99	164.22	124.14	151.20
TCP_delay/ms	100.28	100.36	96.74	103.34	92.19	106.20
get_delay/ms	126.89	127.25	121.00	110.20	124.11	113.10
post_delay/ms	194.42	176.86	185.13	147.54	117.21	160.21
speed/(kbit·s ⁻¹)	4 298.71	4 294.92	4 349.86	4 098.35	4 700.41	4 239.17
lost_rate	0	0	0	0	0	0
score_available	26.33	26.38	26.37	28.48	28.44	28.47
score_timely	11.21	12.87	10.62	15.46	15.43	11.11
score_stable	16.70	16.79	17.81	19.94	28.09	22.55
score	54.24	56.04	54.81	63.88	71.96	62.13
业务	咪咕视频	咪咕视频	咪咕视频	咪咕直播	咪咕直播	咪咕直播
时间	2018/7/26 18:00	2018/7/26 0:00	2018/7/27 0:00	2018/7/26 0:00	2018/7/27 0:00	2018/7/26 18:00
DNS_succ	0.96	0.92	0.88	0.92	0.85	0.85
TCP_succ	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
get_succ	0.96	0.89	0.97	0.95	0.95	0.66
post_succ	0.95	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99
DNS_delay/ms	79.65	268.05	416.91	160.49	316.99	72.87
TCP_delay/ms	48.03	51.15	52.03	47.45	40.17	37.23
get_delay/ms	83.64	83.34	84.07	104.16	111.06	112.85
post_delay/ms	181.58	213.32	217.94	59.35	61.20	43.20
speed/(kbit·s ⁻¹)	3 132.02	3 370.58	3 188.50	3 454.87	3 320.48	4 062.85
lost_rate	0	0	0	0	0	0
score_available	17.65	17.41	17.68	12.11	11.91	10.55
score_timely	27.96	18.30	6.27	38.70	21.10	52.46
score_stable	28.30	23.46	28.29	1.83	2.36	2.14
score	73.91	59.17	52.23	52.64	35.37	65.15

- [4] 陶澍. 应用数理统计方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994.
- TAO S. Applying mathematical statistics[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1994.
- [5] 林丽. 两组独立数据差异性统计检验方法及应用的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- LIN L. Research on the method and application of statistical test for differences between two independent data groups[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2007.
- [6] 刘云. 信息工程基础[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1997.
- LIU Y. Information engineering foundation[M]. Beijing: China Railway Press, 1997.
- [7] 苏晓敏. 信息资源共建共享保障体系建设探讨[J]. 图书情报论坛, 2006(2): 60-62.
- SU X M. Discussion on the construction of information re-

sources co-construction and sharing guarantee system[J]. Library and Information Forum, 2006(2): 60-62.

- [8] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系统与数学, 2000, 14(2): 80-88.
- ZHANG J J. Fuzzy analytic hierarchy process (FAHP)[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2000, 14(2): 80-88.

[作者简介]



钟其柱(1985—), 男, 中国移动通信集团广东有限公司中山分公司网络管理中心高级工程师, 主要研究方向为移动通信网络的分析优化。