



# 5G Cloud VR业务 体验标准白皮书

2019.06

## 目 录

|         |                         |    |
|---------|-------------------------|----|
| 1       | 概要.....                 | 5  |
| 2       | Cloud VR业务体验指标体系 .....  | 7  |
| 2.1     | 参考协议.....               | 7  |
| 2.1.1   | ITU-T G.QOE-VR .....    | 7  |
| 2.1.2   | 3GPP TR 26.929 .....    | 8  |
| 2.2     | 华为Cloud VR业务体验指标体系..... | 10 |
| 2.2.1   | 媒体质量指数（MQI） .....       | 11 |
| 2.2.2   | 交互质量指数（IQI） .....       | 12 |
| 2.2.3   | 呈现质量指数（PQI） .....       | 13 |
| 3       | Cloud VR业务体验指标建模方法..... | 15 |
| 3.1     | 模型选择.....               | 15 |
| 3.1.1   | 主观评价标准 .....            | 15 |
| 3.1.2   | 客观评价标准 .....            | 16 |
| 3.1.3   | 华为模型选择.....             | 18 |
| 3.2     | 建模框架.....               | 20 |
| 3.2.1   | 总体框架.....               | 20 |
| 3.2.2   | 数据源和输入参数.....           | 21 |
| 3.2.2.1 | 数据源模式.....              | 21 |
| 3.2.2.2 | 输入参数.....               | 21 |
| 3.2.3   | 模型算法.....               | 23 |
| 3.2.3.1 | 通用测量机制 .....            | 23 |
| 3.2.3.2 | 媒体质量指数（MQI）测量模块 .....   | 25 |
| 3.2.3.3 | 交互质量指数（IQI）测量模块 .....   | 27 |
| 3.2.3.4 | 呈现质量指数（PQI）测量模块.....    | 28 |
| 3.2.3.5 | 沉浸体验评分 .....            | 29 |
| 4       | 模型验证.....               | 29 |
| 4.1     | 验证目的.....               | 29 |
| 4.2     | 模型准确性测试结果.....          | 29 |

|         |                   |    |
|---------|-------------------|----|
| 4.3     | 模型与关键因素测试结果 ..... | 30 |
| 4.3.1   | Cloud VR视频 .....  | 31 |
| 4.3.1.1 | 媒体质量指数（MQI） ..... | 31 |
| 4.3.1.2 | 呈现质量指数（PQI） ..... | 32 |
| 4.3.2   | Cloud VR游戏 .....  | 33 |
| 4.3.2.1 | 媒体质量指数（MQI） ..... | 33 |
| 4.3.2.2 | 交互质量指数（IQI） ..... | 35 |
| 4.3.2.3 | 呈现质量指数（PQI） ..... | 36 |
| 5       | 参考文献 .....        | 38 |

## 缩略语

| 缩略语  | 英文全称                           | 中文全称     |
|------|--------------------------------|----------|
| MOS  | Mean Opinion Score             | 平均意见得分   |
| MQI  | Media Quality Index            | 媒体质量指数   |
| IQI  | Interaction Quality Index      | 交互质量指数   |
| PQI  | Presentation Quality Index     | 呈现质量指数   |
| MTP  | Motion-to-Photons Latency      | 运动到画面的时延 |
| MTS  | Motion-to-Sound Latency        | 运动到声音的时延 |
| FOV  | Field of View                  | 可视角度     |
| PPD  | Pixel Per Degree               | 每角度像素    |
| ACR  | Absolute Category Rating       | 绝对类别评分   |
| MPD  | Media Presentation Description | 媒体描述文件   |
| DOF  | Degrees Of Freedom             | 自由度      |
| EWMA | Exponential Moving Average     | 指数移动平均   |
| MBS  | Max Burst Size                 | 最大突发数据字节 |
| BDR  | Burst Delay Rate               | 突发时延率    |
| BPN  | Burst Pulse Number             | 突发脉冲数量   |

## 1 概要

5G凭借其更快的速度，更低的时延，及更多的连接数，将助力运营商发展丰富的业务，提供极致的网络及业务体验。

5G的出现将改变运营商的商业模式，以及向企业（B2B）和消费者（B2C）提供服务的方式。运营商的运营模式将从以连接为关键因素的流量运营转变为以内容为关键因素的业务运营。网络覆盖和流量将不再是差异化竞争的优势，5G服务的终极体验将成为客户选择运营商的重要标准。

IHS最近的一项研究表明，从5G派生的一些关键业务价值（图1）将使运营商能够为客户提供随时随地的连接。

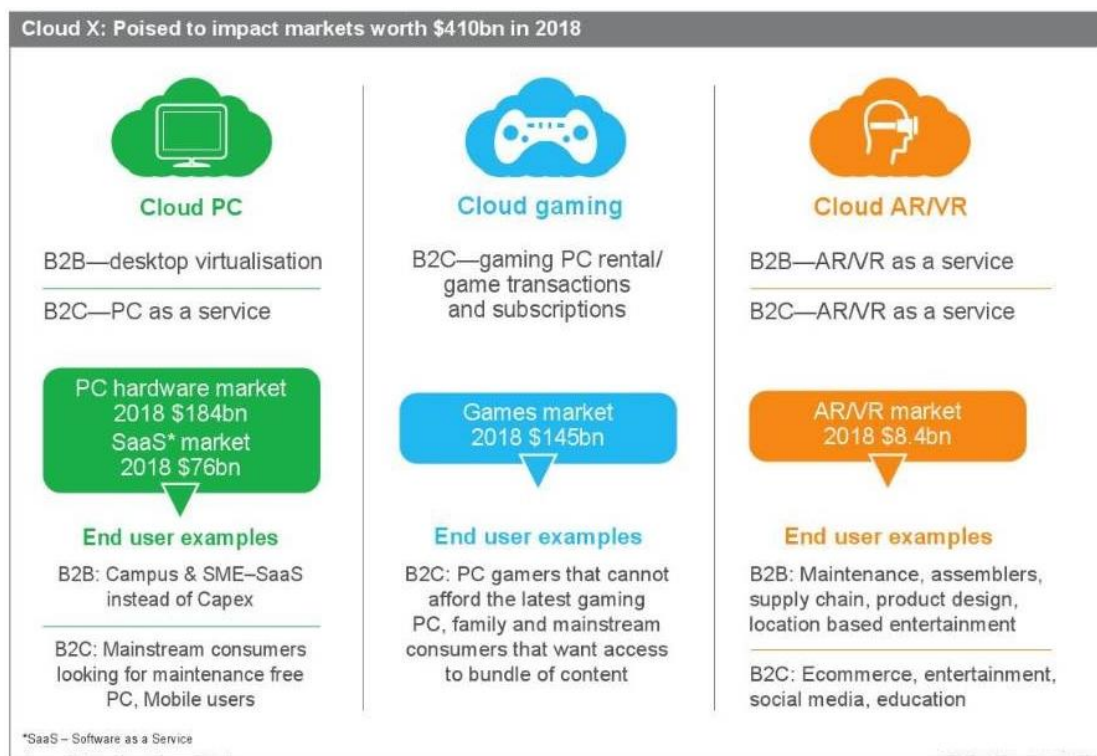


图1 - 5G关键价值业务

虚拟现实的云化（Cloud Virtual Reality，以下简称Cloud VR）可能成为许多5G商用运营商首选的eMBB业务之一。它将云计算、云渲染的理念及技术引入到VR业务应用中，借助高速稳定的网络，将云端的显示输出和声音输出等经过编码压缩后传输到用户的终端设备，实现VR业务内容上云、渲染上云。

本文将重点介绍Cloud VR业务体验建模技术。首先，要满足用户的需求，运营商并非要对

所有的AR/VR业务都提供相同的服务质量。其次，Cloud VR的业务体验将受到各种因素的影响，如：媒体质量，网络质量和终端质量。因此，制定可衡量和管理的业务体验指标将是运营商确保消费者和企业客户满意度的关键基础。

华为SmartCare<sup>®</sup> CEM解决方案构建了一套完整的Cloud VR业务体验指标体系，通过以下三个指数对用户VR体验进行综合打分：**媒体质量指数（MQI）、交互质量指数（IQI）、呈现质量指数（PQI）**，以便可以对影响用户体验的关键因素进行针对性优化。该建模体系可适用于VR游戏、VR 360° 视频、VR直播、巨幕影院、VR教育等场景。

## 2 Cloud VR 业务体验指标体系

### 2.1 参考协议

华为5G Cloud VR业务体验建模在关键指标选择的过程中，参考了ITU-T G.QOE-VR和3GPP TR 26.929中对VR体验评价模型的建议。

#### 2.1.1 ITU-T G.QOE-VR

在G.QOE-VR给出的评价模型中，对VR业务体验的评价维度及其主要影响因素定义如下：

| 类别    | 影响因素       |
|-------|------------|
| 媒体沉浸度 | 自由度DOF     |
|       | 视频质量3D实现方式 |
|       | 视频FOV      |
|       | 视频PPD      |
|       | 视频帧率       |
|       | 视频压缩率      |
|       | 音频声道数      |
|       | 音频采样率      |
|       | 音频3D方式     |
|       | 音频压缩率      |
|       |            |
| 呈现质量  | 音视频流畅度     |
|       | 音视频卡顿率     |
|       | 音视频时间同步    |
|       | 音视频空间匹配度   |
| 交互度   | 与VR环境的可交互度 |
|       | 与VR交互响应时延  |
|       | 交互空间精度     |

#### 【协议原文参考】

##### *Quality of Immersive media*

*The following features of the immersive media considered in [MPEG-I Part 1] have been identified as key factors to impact the level of immersion:*

- Degrees of freedom (DoF): proposed formats include 3DoF, 3DoF+, Windowed 6DoF, Omnidirectional 6DoF, or 6DoF*
- Quality of video:*

- *Three-dimensionality: proposed formats include monoscopic 360 video, stereoscopic 360 video, or full 3D 360 video*
- *Field of view (FOV): proposed range between 90 ~ 220 degrees*
- *Spatial resolution in pixels per degree (PPD): 12 ~ 60*
- *Frame-rate: proposed formats 60fps, 90fps, or higher*
- *Compression: up to visually lossless*
- *Projection:*
- *Quality of audio:*
  - *Three-dimensionality: proposed formats include 3D, or stereoscopic, etc.*
  - *Channels and sample rate*
  - *Compression: high fidelity*

#### Presentation quality

The following system performance measures have been identified as key indicators of the level of immersion provided by the immersive systems in [MPEG-I Part 1]:

- *Playback quality: smoothness and number of freezes, video/audio quality change, etc.*
- *Audio and video synchronization.*
- *Audio and video spatial alignment*

#### Interaction quality

The following interactive features have been identified as key influence factors to the user's overall experience quality with the immersive systems described in [MPEG-I Part 1]:

- *Intractability with objects in the VR environment*
- *Response time between human action and adaptation in sound and display: less than 20ms*
- *Spatial precision between human action and adaptation in sound (3D audio) and visual information*

## 2.1.2 3GPP TR 26.929

3GPP 26.929标准中对VR业务QOE体验指标的建议:

| 类别   | 影响因素   | 描述                                  |
|------|--------|-------------------------------------|
| 传输影响 | 平均下载速率 | 平均下载速率在测量周期内影响缓冲等级，缓冲池状态            |
|      | 缓冲等级   | 缓冲池标记,包含初始缓冲时长，卡顿，卡顿后重新缓冲时长，包含缓冲区模型 |
|      | 播放动作   | 播放，拖拽，暂停等用户动作                       |
|      | 图像时延   | 用户想看到图像的时间，到用户看到图像的时间               |
|      | MTP    | 运动请求到视频显示的时延                        |
|      | MTS    | 运动请求到音频播放的时延                        |
| 设备影响 | 视野水平角度 | 设备支持的水平视野角度                         |
|      | 视野垂直角度 | 设备支持的垂直视野角度                         |
|      | 分辨率    | 设备支持的单眼分辨率                          |

|  |      |                   |
|--|------|-------------------|
|  | 刷新率  | 硬件支持的每秒钟屏幕图像更新的次数 |
|  | 解码能力 | 支持的视频编码的等级，格式     |

## 【协议原文参考】

### VR content impact on QoE

#### 8.1 Introduction

#### 8.2 Impact of Content Complexity on QoE

##### 8.2.1 Introduction

QoE provided by the immersive technologies such 360-degree videos play an important role how much users are going to interact with the technology. Therefore, there is a need to assess the QoE of the new emerging technology, as QoE is one of the contributing factors in making the technology successful.

In this work, the influence of resolutions, camera motion, motion in the content, and simulator sickness on QoE is investigated. Some of the users are prone to simulator sickness, therefore, it is of interest to investigate how the simulator sickness interacts with the QoE and vice-versa.

##### 8.2.2 Preparation of datasets

Six contents were chosen showing significant differences with respect to motion in the scene. Two resolutions, 4K and FHD were chosen which was motivated by the resolution limitation of the HMDs. The resolution of both devices is 2160×1200. The dataset was downloaded from the Internet, because the duration of these video sequences could be chosen much longer compared to the standard dataset [11–13]. We also wanted to use off-the-shelf contents as provided by the services without re-encoding. Table 8.2-1 provides an overview of the content. We downloaded the H.264/AVC encoded video sequences with highest provided bitrates. We proved by visible inspection by experts that the encoding quality for all contents was high. Then the duration was cut to a length of 60-65 seconds [6,7].

##### 8.2.3 Technical setup and equipment

Two HMDs were used from two different companies – named HMD1 and HMD2 here. The resolution and field of view (FOV) for both devices are 2160×1200 and 110° respectively. Whirligig player (version 3.89) was used in order to display the 360° videos in both HMDs. The HMDs were connected to a desktop PC equipped with an NVIDIA GTX980 graphics card and an Intel Core i7 processor. The names of the HMDs were hidden to the subjects to decrease contextual effects [6,7].

#### 9.2 QoE metrics relevant with network transmission

##### 9.2.1 Average Throughput

Section 10.2.4 in [3] defines the metric for average throughput information. This information could be observed by OP1 of the reference model.

##### 9.2.2 Buffer Level

Annex D.4.5 in ISO/IEC 23009-1 [4] defines the metrics for buffer level status events. This information could be observed by OP1 of the reference model.

##### 9.2.3 Play List

Section 10.2.7 in [3] defines the metrics for event that may happen due to user action, the end of the content or a permanent failure. This information could be observed by OP1, OP2, OP3 and OP4 of the reference model.

##### 9.2.4 Presentation Delay

### VR device impact on QoE

#### 10.1 Introduction

*Compared with traditional streaming video, the key feature of VR service is to create immersive experience and enable smooth interactivity between user and the environment, in which VR device would play an important role. This contribution proposes device information relevant to user experience of VR service. All the device property information could be collected by OP5 of the reference model described in Section 6.1.*

#### *10.2 QoE metrics relevant with VR device*

##### *10.2.1 Field of View*

*One of the factors that contribute to the uniqueness of 360 video experience is the level of immersion induced by the wider FoV of HMD, which represents the extent of observable environment at any given time. A wider FoV could help provide a more authentic feeling of immersion. Thus FoV of the HMD is an important parameter that helps evaluate to what extent a VR device could help create immersive experience.*

##### *10.2.2 Resolution*

*Resolution here is defined as for per eye. An appropriate screen resolution would provide the best and comfortable experience.*

##### *10.2.3 Refresh Rate*

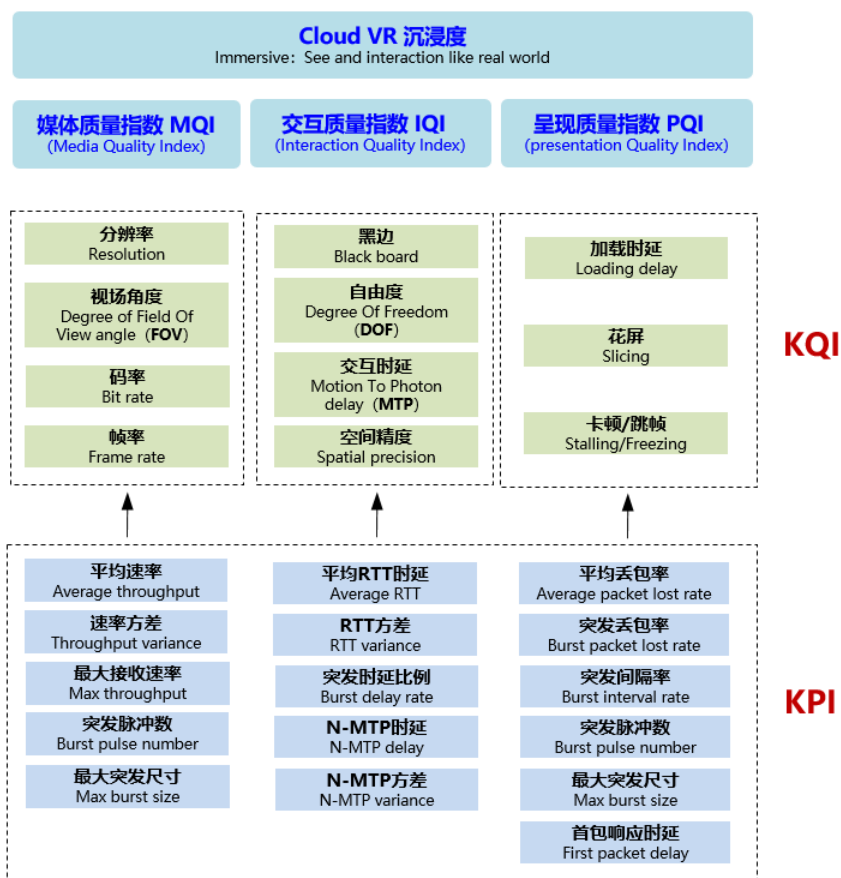
*Refresh rate is the number of times per second the display grabs a new image from the graphic processing unit. Lower refresh rate would contribute to processing latency and lead to VR sickness, i.e. viewing glitches on the screen. While higher refresh rate adds to the sense of presence in virtual worlds.*

##### *10.2.4 Decoder capability*

*The support of codec profile and level is an important property that decides the content types it could decode.*

## 2.2 华为 Cloud VR 业务体验指标体系

参考协议规范，华为SmartCare® CEM解决方案通过以下三个指数对Cloud VR用户体验进行综合打分：媒体质量指数（MQI），交互质量指数（IQI），呈现质量指数（PQI）。



## 2.2.1 媒体质量指数（MQI）

**MQI (Media Quality Index):** 媒体质量评分（0~100），表明VR内容对用户感官的刺激质量，包括音视频和内容自由度，是否已达到逼近真实世界的效果。

| 主观评价 | 描述                                              | MOS | MQI    |
|------|-------------------------------------------------|-----|--------|
| 非常好  | 眼睛无法感觉到视频存在颗粒，视频很清晰，PPD大于60是基本条件                | 5   | 80~100 |
| 好    | 视频清晰，但可以感觉到比非常好要差一些。                            | 4   | 60~80  |
| 一般   | 视频存在颗粒感，可以看到局部细节存在颜色或者线条，画面的失真                  | 3   | 40~60  |
| 差    | 画面存在严重颗粒感                                       | 2   | 20~40  |
| 非常差  | 画面粗糙无法进行观看和体验，使用者不想完整的看完VR业务，也不会给其他人推荐该清晰度的VR业务 | 1   | 0~20   |

核心影响因素：

| 因素                | 影响                                                                                                                                                                                  |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 比特率<br>Bitrate    | 比特率（Bitrate）是指每单位时间传送或处理的音频或视频比特数。比特率是衡量音频和视频质量的一个更普遍的指标。高分辨率、高帧率和低压缩通常会导致相同编码环境下的比特率增加。对于VR业务，比特率并非关键指标，但却是能确保VR服务提供高质量图像的一个基本的指标。                                                 |
| 帧率<br>Frame rate  | 帧率（Frame rate）是以帧为单位的图像连续出现在显示器上的频率，VR内容的帧率应与显示设备的帧率属性相兼容。VR业务的帧率比普通的2D视频业务要求高，这是因为不流畅感是导致VR眩晕的原因之一。VR游戏应用对帧率的要求更高，因为VR游戏中的画面来源于GPU渲染，而不是视频摄像头拍摄。                                   |
| 分辨率<br>Resolution | <p>视频分辨率（Resolution）是指视频内容中包含的像素点个数。视频内容分辨率应与显示设备的分辨率兼容，否则可能会在显示时导致视频分辨率下降甚至无法显示。</p> <p>为了达到较好的VR质量，需要4K+分辨率，因为VR具有360度全景显示功能，而VR全景显示的单目域决定了VR的图像质量。VR内容的低分辨率将会在VR近眼显示的过程中被放大。</p> |
| 可视角度<br>FOV       | 可视角度（field of view, FOV）衡量在任何给定时间内可视环境的范围。更宽的可视角度，能让用户更有身临其境的感觉。因此，可视角度是一个可以评估VR设备创造沉浸式体验能力的重要参数。在我们的模型中，我们把可视角度作为空间影响模块和遮挡影响模块的一个重要因素。                                             |
| 每角度像素<br>PPD      | 每角度像素(pixels per degree, PPD) 是一个比每英寸像素(PPI) 更适合测量VR近眼显示像素密度的核心技术规范。PPD越高，代表VR图像质量越好。                                                                                               |

## 2.2.2 交互质量指数（IQI）

IQI(Interaction Quality Index): 交互质量评分（0~100），表明用户在使用VR业务过程中，

和VR内容操作交互的体验。交互延迟会导致头晕、恶心、和真实感脱节等现象。

| 主观评价 | 描述                                                                       | MOS | IQI    |
|------|--------------------------------------------------------------------------|-----|--------|
| 非常好  | VR系统对用户的动作响应很流畅，跟真实世界一样，感觉不到任何拖拽，迟滞，不同步，交互自由度与真实世界一致，舒适，自由，操作灵活方便。       | 5   | 80~100 |
| 好    | 偶尔能感觉到轻微的不同步，迟滞，或者手柄漂移，头部剧烈转动时可以感觉到有黑边，或非常短暂的不同步。                        | 4   | 60~80  |
| 一般   | 可以经常感觉到手柄轻微不同步，屏幕黑边，操作后游戏视频响应慢，体验一般，但无连续黑边和不同步出现。长时间佩戴VR设备，不舒适，或者交互操作一般。 | 3   | 40~60  |
| 差    | 感觉到持续连续出现的手柄明显不同步，屏幕黑边，手柄出现不可控制的情况。                                      | 2   | 20~40  |
| 非常差  | 绝大部分时间持续连续出现手柄无法控制，画面大面积黑边，无法进行游戏，没有任何体验，不想继续游戏，不会给其他人推荐VR业务             | 1   | 0~20   |

核心影响因素：

| 因素                   | 影响                                                                              |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 运动到画面时延<br>MTP Delay | 运动到画面时延（MTP Delay）指的是在VR体验中人做出动作后，视频和音频的响应时间：云VR游戏中该指标应小于20毫秒，云VR视频中该指标应小于60毫秒。 |
| 自由度<br>DOF           | 自由度（Degree of Freedom, DOF）表示对象在空间内可以移动的方式，是一个能帮助用户创建沉浸式环境的关键因素。                |

## 2.2.3 呈现质量指数（PQI）

PQI (Presentation Quality Index): 呈现质量评分（0~100），表明用户在VR业务的连续、流畅的感官体验。不流畅的体验主要指看到花屏、卡顿等现象。

| 主观评价 | 描述 | MOS | PQI |
|------|----|-----|-----|
|------|----|-----|-----|

|     |                                                     |   |        |
|-----|-----------------------------------------------------|---|--------|
| 非常好 | VR系统对用户的动作响应很流畅，音视频以及交互操作不存在任何可以感知到的花屏，卡顿，声音断续的情况   | 5 | 80~100 |
| 好   | 偶尔能感觉到很轻微的花屏，卡顿，或者声音不连续。                            | 4 | 60~80  |
| 一般  | 有少量几次可以感觉到的花屏，或卡顿，单次持续时间1s以上，但无大量连续花屏卡顿出现。          | 3 | 40~60  |
| 差   | 有大量连续出现的花屏卡顿，声音的不连续，其余时刻正常。                         | 2 | 20~40  |
| 非常差 | 绝大部分时间内都存在能感知到连续出现的花屏，卡顿，断续等情况，不想继续体验，不会建议其他人体验该业务。 | 1 | 0~20   |

核心影响因素：

| 因素                    | 影响                                                                                                                |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 加载时延<br>Loading Delay | 对于云VR视频来说，加载时延指初始缓冲时延，通常时延应小于10秒，以保证用户体验。对于云VR游戏来说，加载延迟是指从选择进入游戏到游戏正式启动的延迟，通常时延应小于3秒，以保证用户的体验。                    |
| 卡顿<br>Stalling        | 卡顿（Stalling）是用户感知流媒体流畅性的关键因素；VR视频过程中，仍然存在一定量的缓冲区，在缓冲区没有数据用于播放的情况下，会产生卡顿，影响用户体验；通常情况下，卡顿是由于下载速率不足以满足视频编码质量的输出要求导致。 |
| 跳帧<br>Freezing        | 跳帧（Freezing）是用户感知游戏画面停顿的现象，是评价游戏流畅度的关键因素；VR游戏过程中，如果因为关键帧（如I帧）被丢弃，则会导致画面关键因素丢失，该帧画面无法显示，则会产生跳帧现象，影响用户对VR游戏流畅度体验；   |
| 花屏<br>Slicing         | 对于云VR游戏，花屏（Slicing）是用户感知到游戏画面部分区域马赛克现象，是评价游戏流畅度的关键因素；在VR游戏过程中，如果因为视频帧部分信息丢失（视频帧中的部分块信息），导致虽然该帧                    |

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
|  | 画面可以显示，但是局部产生马赛克现象，影响用户对VR游戏流畅度的体验； |
|--|-------------------------------------|

## 3 Cloud VR 业务体验指标建模方法

### 3.1 模型选择

业务体验质量评价从方法上可分为主观评价方法和客观评价方法。

#### 3.1.1 主观评价标准

主观评价方法由观察者凭借主观感知对业务体验质量进行评分。主观评价工作量大、耗时长，在商业化应用场景中操作不易。本文将主观评价法结果（受试者主观打分）作为参考，用于训练和验证模型。

国际电信联盟（ITU）规范了许多主观质量评价方法。这些方法具有不同的特性，实验者需要根据评价的目的选择合适的方法。

常见的主观评价方法如下：

| 方法 Method                     |                                                                           | 标准 Standard                |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <b>类别评级 Category rating</b>   |                                                                           |                            |
| 绝对评价                          | ACR: Absolute Category Rating, 绝对类别评级                                     | P.910, P.911, P.913, P.920 |
| 相对评价                          | DCR: Degradation Category Rating, 降解类别评级                                  | P.910, BT.500, P.911       |
|                               | CCR: Comparison Category Rating, 对比类别评级                                   | BT.500                     |
| <b>连续评级 Continuous rating</b> |                                                                           |                            |
| 绝对评价                          | SSCQE: Single Stimulus Continuous Quality Evaluation, 单刺激连续质量评估           | BT.500, P.911              |
| 相对评价                          | DSCQS: Double Stimulus Continuous Quality Scale, 双刺激连续质量分级法               | BT.500                     |
|                               | SDSCE: Simultaneous Double Stimulus for Continuous Evaluation, 同时双刺激连续评价法 | BT.500                     |

Cloud VR的感知内容主要是视频流业务。在视频流业务的主观质量评价中，业界常采用DSCQS和ACR方法：

- DSCQS是有参考的评价模型，即受测者观看多个原始参考视频和失真视频，并针对两者的质差差异性为每个视频给出评分。
- ACR方法不使用原始参考视频，由受测者对看到的视频直接进行评分。该方法通常用于评估编解码器、网络和以及客户端影响的QoE模型。

本文采用了ITU-T P.913定义的ACR评分标准，将主观评价结果（MOS-ACR打分）作为参考，用于Cloud VR的体验指标建模模型的训练和验证。

| 主观评价    | 非常好 | 好 | 一般 | 差 | 非常差 |
|---------|-----|---|----|---|-----|
| MOS-ACR | 5   | 4 | 3  | 2 | 1   |

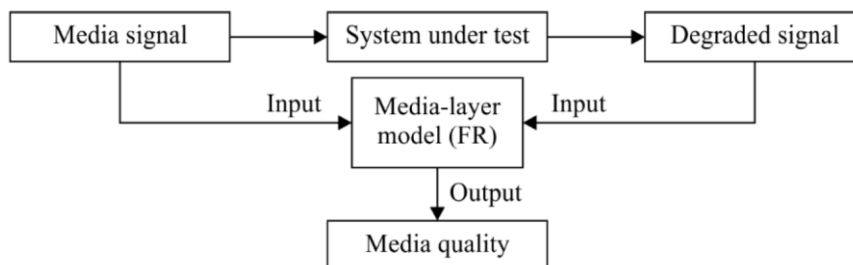
### 3.1.2 客观评价标准

客观评价方法是依据计算机算法模型给出的量化质量指标，来衡量用户体验质量。客观评价法可选取客观、全面、真实、标准的指标体系，操作灵活，可适配差异化场景。华为Cloud VR业务体验建模方法即属于客观评价方法。

在客观评价方面，业界主要使用的模型方法分为FR（Full-reference，全参考）、RR（Reduced-reference，半参考）、NR（No-reference，无参考）的模式。按照ITU-T G.1011协议标准，描述如下：

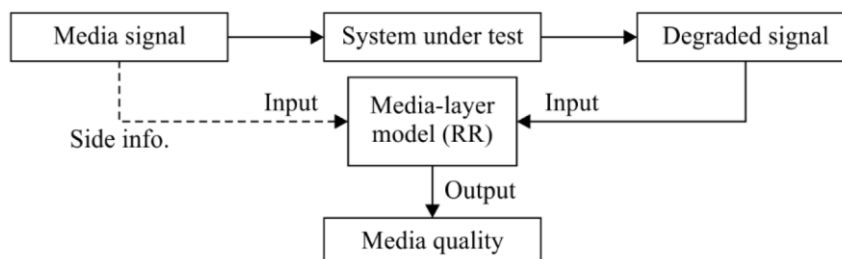
#### ● FR（Full-reference，全参考）方法

将整个原始图像/视频作为一个参考，与降级图像/视频进行比较。



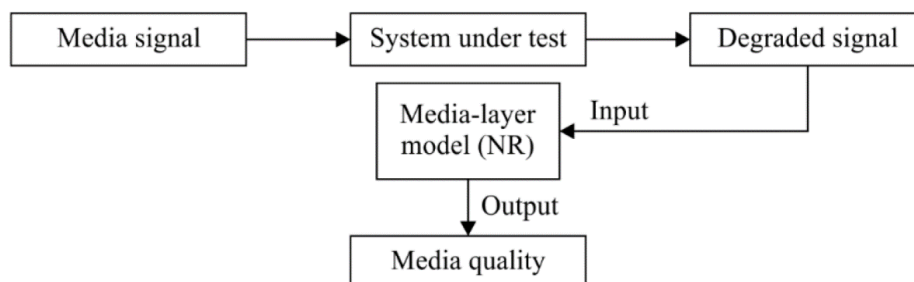
## ● RR (Reduced-reference, 半参考) 方法

不需要访问原始图像/视频，只需要提供能描述原始图像/视频合适特点的具有代表性的特征。该方法的输入是缩减的原始图像/视频信息与降级图像/视频对应的信息比较。



## ● NR (No-reference, 无参考) 方法

这种客观质量评估方法不需要访问原始图像/视频，而是对图像/视频的像素领域进行搜索，利用相关图像/视频媒体流中包含的信息，或者基于二者结合的方法进行质量评估。



以视频流媒体为例，已有一些标准针对这三种方法提供了模型建议：

|    | 类型                           | 标准                           | 描述                             |
|----|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| FR | 基于媒体的模型<br>Media-based model | [J.144] (SD)                 | 侵入式评估，适应DT/CQT场景，价格昂贵。         |
|    |                              | [J.247] (QCIF, CIF, VGA)     |                                |
|    |                              | [J.341] (HD)                 |                                |
| RR | 基于像素的模型<br>Pixel-based model | [J.249] (SD)                 | 将视频数据包解码为视频信号，进行图像分析处理，性能极其昂贵。 |
|    |                              | [J.246] (QCIF, CIF, VGA)     |                                |
|    |                              | [J.342] (HD)                 |                                |
| NR | 规划模型<br>Planning model       | [G.1070] (NB/WB)<br>[G.1071] | 非侵入式评估，用于IPTV业务，只考虑网络参数。       |
|    | 基于数据包的模型                     | [P.1201]                     | 非侵入式评估，根据输入模                   |

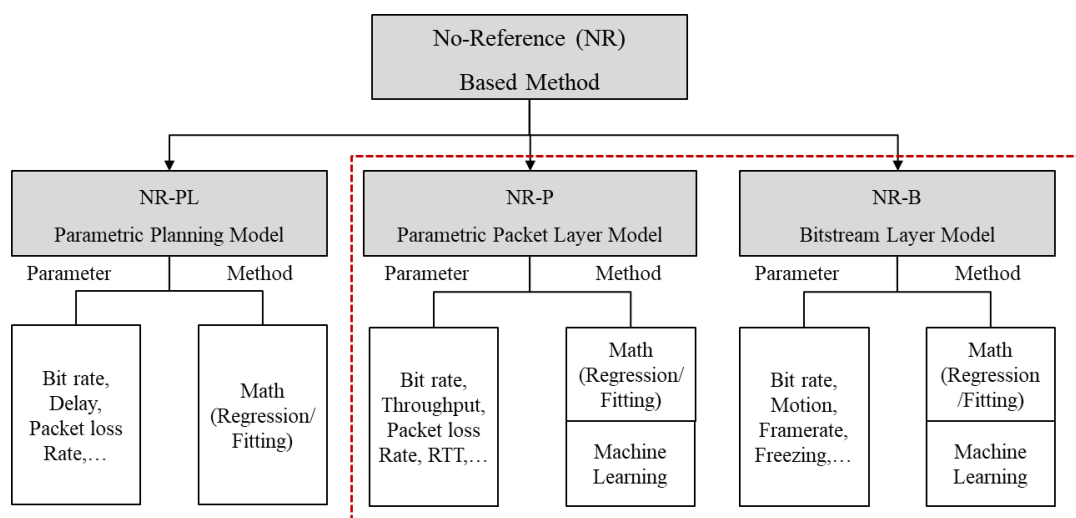
|  |                       |          |                            |
|--|-----------------------|----------|----------------------------|
|  | Packet based model /  | [P.1202] | 式，支持终端模型和网络模型，更适合业务特征，精度高。 |
|  | 基于比特流的模型              | [P.1203] |                            |
|  | Bitstream-based model |          |                            |

### 3.1.3 华为模型选择

FR（Full-reference，全参考）和RR（Reduced-reference，半参考）方法，在商业化应用场景中有很局限。体现在以下几点：

- 1) 可行性：需要获取原始视频和图像，不适合对全量视频进行体验管理的场景；
- 2) 安全性：需要对视频内容进行解析，涉及网络安全的风险；
- 3) 成效性：FR和RR成本高、见效慢，不符合网络运营商和内容提供商对网络和视频质量快速衡量、快速提升的诉求。

NR作为无参考方法，无需原始视频/图像信息，具有更好的灵活性和通用性。有客观数据驱动的、数学理论支撑的NR方法是目前应用和研究的热门领域。NR视频质量评估方法的建模通常分为NR-PL（Parametric Planning Model，参数规划模型）、NR-P（Parametric Packet Layer Model，参数数据包层模型）、NR-B（Bitstream Layer Model，比特流层模型），概览如下：

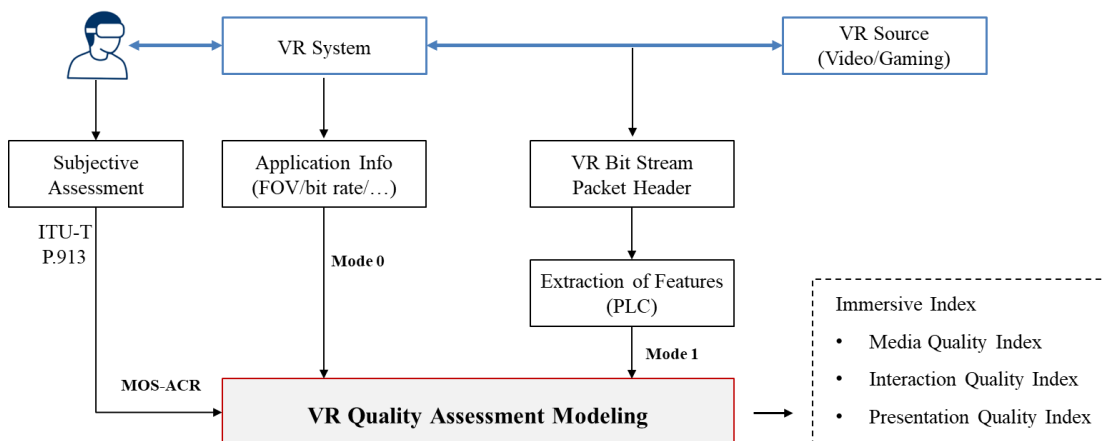


Trend of NR Method of ITU-T and Academics is Hybrid of NR-P/NR-B with Math & ML

从ITU-T和学术界的NR发展趋势来看，NR-P和NR-B模型是主流发展方向，同时建模方法

上也开始融入机器学习方法。

因此华为在P.1203框架的基础上，结合VR业务特点对进行模型演进和优化，提出了NR-P&NR-B混合模型。

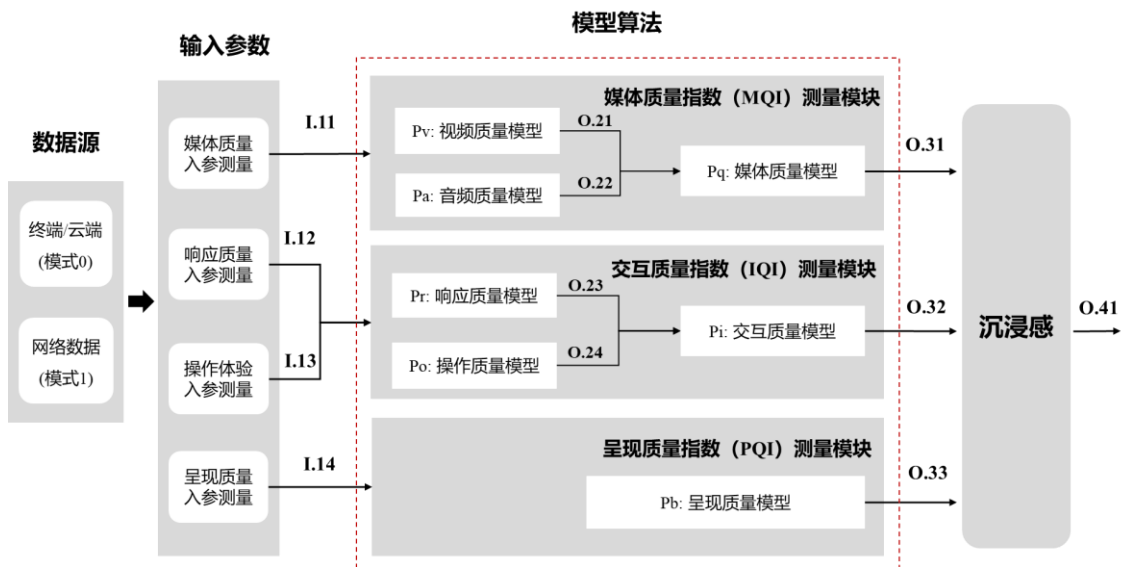


该模型具备以下优势：

- 1) 基于已有协议标准和框架（G.QOE-VR/TR 26.929/P.1203）。
- 2) 考虑网络运营商和内容提供商的数据实际可获取性，支持端云（Mode 0）和运营商网络（Mode 1）两种数据采集模式。
- 3) 更好地匹配运营商数据获取受限情况下的业务建模需求，可以使用媒体层（视频源描述，如分辨率、码率、帧率、FOV等）和数据包头层（帧类型、帧大小等）和传输层（丢包率、时延、RTT等）的多种类型的输入参数。
- 4) 模型输入在考虑协议给出的关键因素的基础上，加入了网络突发恶化、连续恶化等关键参数，可以更好地适用于运营商问题发现和优化的场景。
- 5) 算法上不仅使用了传统的数学拟合方法，而且适当融入成熟的机器学习方法，使得模型具备更好的可靠性和泛化能力。

## 3.2 建模框架

### 3.2.1 总体框架



#### 【模型输入】

- ✧ I.11: 媒体质量测量模块的输入信息;
- ✧ I.12: 响应质量测量模块的输入信息;
- ✧ I.13: 操作体验质量测量模块的输入信息;
- ✧ I.14: 呈现质量测量模块的输入信息;

#### 【模型输出】

- ✧ O.21: 每个测量周期的视频质量得分, 每个会话每窗口输出, 取值0~100;
- ✧ O.22: 每个测量周期的音频质量得分, 每个会话每窗口输出, 取值0~100;
- ✧ O.23: 每个测量周期的响应质量得分, 每个会话每窗口输出, 取值0~100;
- ✧ O.24: 每个测量周期的操作体验质量得分, 每个会话每窗口输出, 取值0~100;
- ✧ O.31: 每个测量周期的媒体质量得分, 每个会话每窗口输出, 取值0~100;
- ✧ O.32: 每个测量周期的交互质量得分, 每个会话每窗口输出, 取值0~100;
- ✧ O.33: 每个测量周期的呈现质量得分, 每个会话每窗口输出, 取值0~100;
- ✧ O.41: 每个测量周期的沉浸感得分, 每个会话每窗口输出, 取值0~100;

## 3.2.2 数据源和输入参数

### 3.2.2.1 数据源模式

| 模式 | 数据来源                        | 适用场景                                |
|----|-----------------------------|-------------------------------------|
| 0  | 终端/云端：从终端或者云服务器侧获取应用层/媒体层数据 | 适用于终端设备和云端服务器可以嵌入 SDK，需要衡量用户真实体验的场景 |
| 1  | 网络：从运营商网络的管道侧获取管道层数据        | 适用于可部署管道探针，只需要分析管道质量的场景             |

### 3.2.2.2 输入参数

#### ● I.11-媒体质量入参

| 入参描述     | 取值                                                                           | 获取频次        | 数据源            | 使用模块      |
|----------|------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|-----------|
| 屏幕刷新率    | Integer                                                                      | One Session | Mode 0<br>设备数据 | Pv：视频质量模型 |
| 屏幕分辨率    | Length * Width 2880*1600                                                     | One Session |                |           |
| 视野角度     | Integer                                                                      | One Session |                |           |
| 视频码率     | Float, kbps                                                                  | Per segment | Mode 0<br>媒体信息 |           |
| 视频帧率     | Integer                                                                      | Per segment |                |           |
| 测量周期     | Float, ms                                                                    | Per segment |                |           |
| 视频分辨率    | Length * width 2880*1600                                                     | Per segment |                |           |
| 编码方式     | One of: H264-baseline, H264-high, H264-main                                  | One Session |                |           |
| 视频帧数     | Integer, starting at 1, denoting the frame sequence number in encoding order | Per frame   |                |           |
| 视频帧时长    | Float, ms                                                                    | Per frame   |                |           |
| 帧显示时间    | The frame presentation timestamp                                             | Per frame   |                |           |
| 帧解码时间    | The frame decoding timestamp                                                 | Per frame   |                |           |
| 视频帧大小    | The size of the encoded video frame in bytes                                 | Per frame   |                |           |
| 视频帧类型    | “I” or “Non-I” for mode 1 “I”/“P”/“B” for modes 2, 3                         | Per frame   |                |           |
| 视频帧大小    | Encoded video bytes for the frame                                            | Per frame   |                |           |
| 平均接收速率   | Float, kbps                                                                  | Per segment | Mode 1<br>网络数据 |           |
| 接收速率标准差  | Float, kbps                                                                  | Per segment |                |           |
| 最大接收速率   | Float, kbps                                                                  | Per segment |                |           |
| 最大突发数传大小 | Float, Kbyte                                                                 | Per segment |                |           |

|            |                                         |             |                |            |
|------------|-----------------------------------------|-------------|----------------|------------|
| 突发脉冲(数传)个数 | Integer                                 | Per segment |                |            |
| 测量周期       | Float, ms                               | Per segment | Mode 0<br>媒体信息 | Pa: 音频质量模型 |
| 音频码率       | Float, kbps                             | Per segment |                |            |
| 音频帧数       | Integer                                 | Per segment |                |            |
| 音频帧大小      | Float, Kbyte                            | Per frame   |                |            |
| 音频帧持续时长    | Float, ms                               | Per frame   |                |            |
| 音频编码方式     | One of: AAC-LC, AAC-HEv1, AAC-HEv2, AC3 | Per segment |                |            |
| 音频采样率      | Integer, HZ                             | Per segment |                |            |
| 音频声道数      | Integer                                 | Per segment |                |            |
| 音频编码帧大小    | Float, Kbyte                            | Per frame   |                |            |

### ● I.12-响应质量入参

| 入参描述       | 取值        | 获取频次        | 数据源            | 使用模块           |
|------------|-----------|-------------|----------------|----------------|
| 运动到声音表达时延  | Float, ms | Per Segment | Mode 0<br>媒体信息 | Pr: 响应质量<br>模型 |
| 运动到画面表达时延  | Float, ms | Per Segment |                |                |
| 运动到画面表达时延  | Float, ms | Per Segment |                |                |
| 黑边率        | Float, %  | Per Segment |                |                |
| 管道MTP时延    | Float, ms | Per Segment | Mode 1<br>网络数据 |                |
| 管道MTP时延标准差 | Float, ms | Per Segment |                |                |
| 连续突发长时延占比  | Float, %  | Per Segment |                |                |
| 上游RTT均值    | Float, ms | Per Segment |                |                |
| 下游RTT均值    | Float, ms | Per Segment |                |                |
| 连续突发RTT占比  | Float, %  | Per Segment |                |                |
| RTT标准差     | Float, ms | Per Segment |                |                |

### ● I.13-操作体验入参

| 入参描述   | 取值                                                | 获取频次        | 数据源            | 使用模块       |
|--------|---------------------------------------------------|-------------|----------------|------------|
| 头部自由度  | Integer, 0, 3, 6                                  | One Session | Mode 0<br>设备数据 | Po: 交互质量模型 |
| 手部自由度  | Integer, 0, 3, 6                                  | One Session |                |            |
| 身体自由度  | Integer, 0, 3, 6                                  | One Session |                |            |
| 头盔重量   | Integer, gram                                     | One Session |                |            |
| 空间位置精度 | Integer, centimeter                               | One Session |                |            |
| 交互设备   | ENUM, Gamepad, key board and mouse, No controller | One Session |                |            |

### ● I.14-呈现质量入参

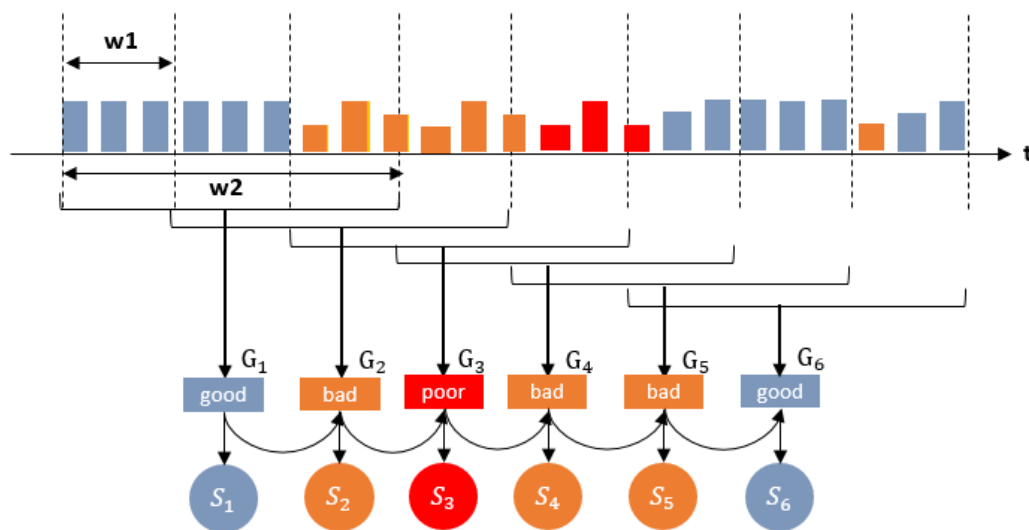
| 入参描述 | 取值        | 获取频次        | 数据源     | 使用模块       |
|------|-----------|-------------|---------|------------|
| 总时长  | Float, ms | One Session | Mode 0  | Pb: 呈现质量模型 |
| 加载时延 | Float, ms | One Session | 应用APP缓存 |            |

|                |             |             |                |  |
|----------------|-------------|-------------|----------------|--|
| 卡顿/跳帧 开始时间     | Float, ms   | Per Event   | 存数据            |  |
| 卡顿/跳帧 结束时间     | Float, ms   | Per Event   |                |  |
| 花屏开始时间         | Float, ms   | Per Event   |                |  |
| 花屏结束时间         | Float, ms   | Per Event   |                |  |
| SYN到ACK的时延     | Float, ms   | One Session | Mode 1<br>网络数据 |  |
| SYNACK到ACK的时延  | Float, ms   | One Session |                |  |
| ACK到第一个data的时延 | Float, ms   | One Session |                |  |
| 平均丢包率          | Float, %    | Per Segment |                |  |
| 突发丢包占比         | Float, %    | Per Segment |                |  |
| 突发包间隔占比        | Float, %    | Per Segment |                |  |
| 下游RTT均值        | Float, ms   | Per Segment |                |  |
| 连续突发RTT占比      | Float, %    | Per Segment |                |  |
| RTT标准差         | Float, ms   | Per Segment |                |  |
| 突发脉冲(数传)个数     | Integer     | Per Segment |                |  |
| 平均接收速率         | Float, kbps | Per Segment |                |  |
| 接收速率标准差        | Float, kbps | Per Segment |                |  |
| 最大接收速率         | Float, kbps | Per Segment |                |  |

## 3.2.3 模型算法

### 3.2.3.1 通用测量机制

本章节描述了三个质量指数使用的几个通用测量机制：滑窗机制、新近效应机制、体验残留效应。

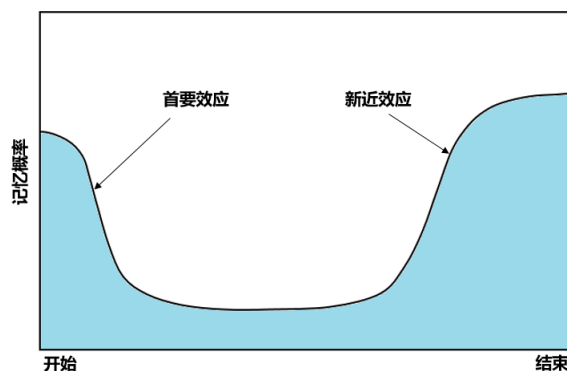


## ● 滑窗机制描述

“滑窗机制”中的“窗”指的是测量时选用的时间区间（图中w2）。将用户的整个体验过程划分为多个窗口（时间区间）进行测量，可更加全面地反映用户的体验质量。“滑”指的是测量窗口每次移动的时间步长（图中w1）。窗口的滑动距离可依据需要调整。

## ● 新近效应描述

新近效应是指：人对时间越近的信息记忆越深刻，因此在形成判断时比先前呈现的信息占有更大的权重。虽然通过“滑窗机制”可以对每个时间区间的业务质量进行度量得出评分（ $G_i$ ），但是随着时间的移动，第一个时间段的评分（ $G_1$ ）对业务结束时刻的主观体验造成的影响会最小。



评价新近效应的经典方法：EWMA（指数加权移动平均），是指各数值的加权系数随时间呈指数式递减，越靠近当前时刻的数值加权系数就越大。所以在计算当前时刻t的体验可用如下公式表达：

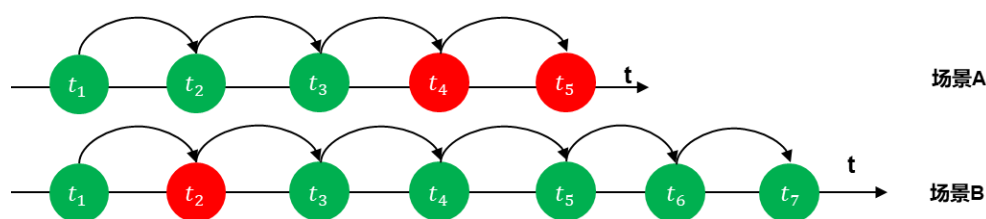
$$S_t = \beta S_{t-1} + (1 - \beta)G_t$$

上述公式中 $G_t$ 为窗口t（时刻t）测量的体验质量指数； $\beta$ 表示加权系数； $S_t$ 表示截止t时刻的总体体验质量指数。

## ● 体验残留效应描述

有以下两个场景：

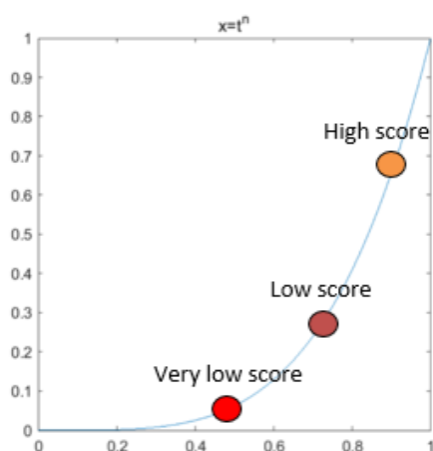
1. 场景A：虽然开始体验不错，但是在经历过连续的质差体验后，用户更倾向于放弃。
2. 场景B：虽然总体评价不错，但是历史上偶尔一次的质差体验，会降低用户最终的体验评价。



比较差的体验会对用户的最终体验造成更多的刺激，我们描述这种现象为体验残留效应。

所以在计算最终体验结果 $S_t$ 时，需要放大历史的质差体验对最终体验的影响。

我们选择n方函数 $f(x) = x^n, x \in [0,1]$ ，对周期计算结果进行处理。质差的体验会被放大，质好的体验影响不大。



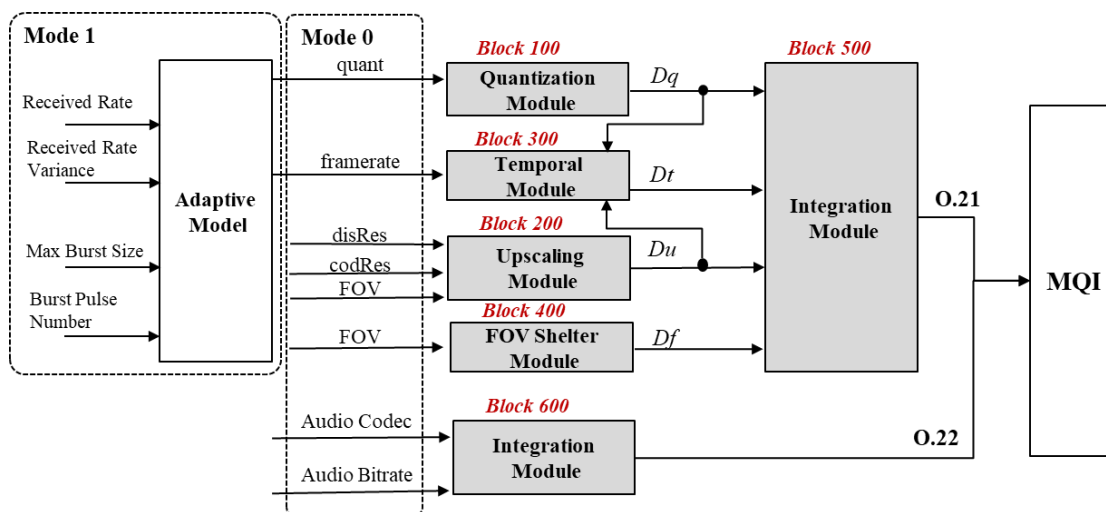
经过n方函数优化后的EWMA函数为：

$$S_t = \beta S_{t-1}^n + (1 - \beta) G_t^n$$

上述公式既兼容了EWMA算法的优势，又兼顾了体验残留效应和新近效应。

### 3.2.3.2 媒体质量指数（MQI）测量模块

参照ITU-T P.1203思路进行视频质量和音频质量建模，其中核心参数增加PPD和FOV参数的影响，并调整公式。



- **Mode 0模式**。如果运营商可以从终端和云服务器端获取输入参数，可使用该模式计算用户感受到的媒体质量。
  - 视频和游戏场景，头端需要提供分辨率，FOV，码率，帧率等信息。
- **Mode 1模式**。多数情况运营商只有客观测量的输入参数，无法从播放器获取输入信息，可以通过网络测量指标对VR媒体质量做评估，此时主要包含速率，速率波动，脉冲信息。Mode1 模式下会使用测量数据，经过适配层，产生一些与Mode 0等效的信息，其余信息使用默认值。

说明：

1. **Block 100**：用于描述内容源信息量多少造成的质量损伤，输入信息主要是源分辨率、码率和帧率信息，使用 $D_q$ 表示该损伤。
2. **Block 200**：用于描述空间信息造成的媒体质量损伤，输入信息主要是源分辨率、设备分辨率、FOV。评估方法是计算PPD（每角度像素）对于VR媒体质量的损伤。对于VR业务对人眼的感知，不像传统视频的平面，而是类似球面的显示效果，PPD越高，VR显示质量越好，使用 $D_u$ 表示该损伤。
3. **Block 300**：用于描述时间信息造成的媒体质量损伤，主要输入为帧率，同时也考虑了 $D_q$ 和 $D_u$ 在时间上的综合作用，使用 $D_t$ 表示该损伤。
4. **Block 400**：用于描述遮挡效果对VR媒体质量的损伤，输入信息是FoV，当FoV小于人眼感知到的全覆盖视场角时，人眼会感知有画面遮挡，使用 $D_f$ 表示该损伤。

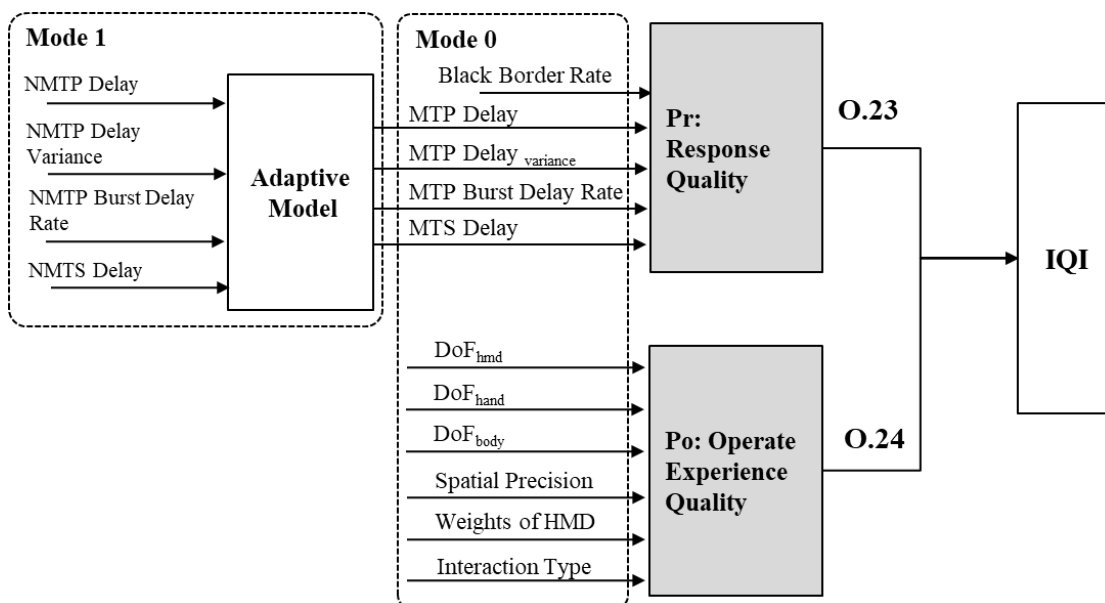
说明：协议定义的FOV，最优为210度，分为三个视野区域，中心视野需要达到60度，两

边辅视野需要各达到30度，最边上的单眼视野35度。目前VR头盔，初等级的90度，高一点的是110度，只能覆盖中心视野，辅视野都没有覆盖全面，还达不到VR的入门标准120度；成熟标准是210度。

5. Block 500: 用于描述以上各种损伤，综合起来对VR媒体质量的影响，输入为各种损伤值，输出为视频质量评估分数O.21。
6. Block 600: 按照P.1203的建议采用帧率为输入，输出为音频质量评估分数O.22。
7. 对于M1模式，无分辨率/帧率等应用层输入信息时，可基于管道上的参数测量，使用适配模块，将输入信息转为Block100~Block400对应的入参，从而进行质量评价。

### 3.2.3.3 交互质量指数（IQI）测量模块

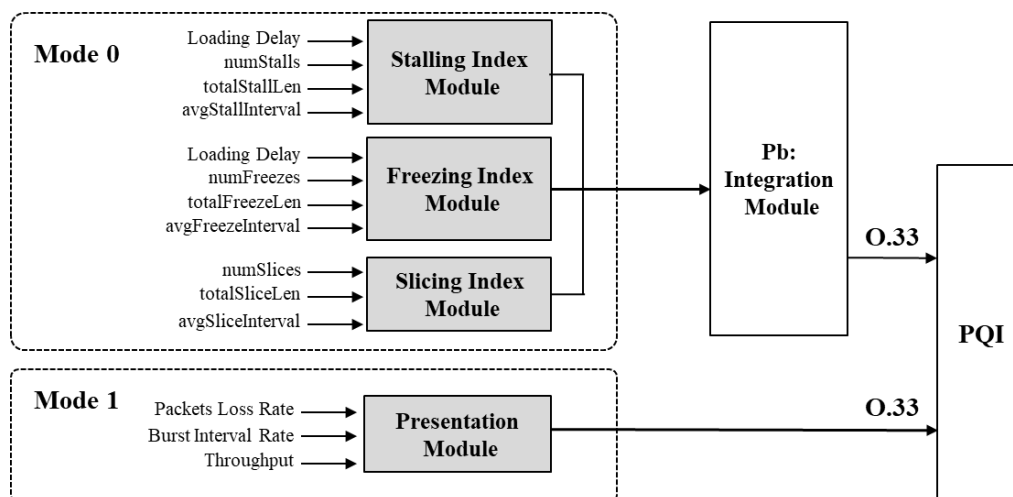
该指标一般用于用户和界面有交互的场景，比如VR游戏。交互体验包含两方面的因素：响应质量（O.23）和操作体验质量（O.24）。



- Mode 0模式。如果运营商可以从终端和云服务器端获取输入参数，可使用该模式计算用户与VR系统的交互质量。
  - 游戏场景，头端需要提供交互时延，黑边率，DOF等信息。
- Mode 1模式。多数情况运营商只有客观测量的输入参数，无法从播放器获取输入信息，可以通过网络测量指标对用户交互质量做评估，此时主要包含网络时延信息。

- **Pr: Response Quality**, 响应质量, 主要反映网络时延对体验的影响。  
对于M1模式, 当无端侧和云侧输入信息时, 可基于网络管道上的参数测量, 使用适配模块, 将输入信息转为响应质量模型对应的入参, 从而进行质量评价。
- **Po: Operate Experience Quality**, 操作体验质量, 主要衡量终端设备的易用性和舒适性。操作体验质量无法从网络侧进行衡量, 需要以终端信息作为输入。

### 3.2.3.4 呈现质量指数 (PQI) 测量模块



该指标的计算支撑两种数据源模式:

- **Mode 0模式**。如果运营商可以从终端和云服务器端获取输入参数, 可使用该模式计算用户观看视频或游戏画面的直观感受。
  - 视频场景, 播放器需要提供初始缓冲时延和卡顿信息
  - 游戏场景, 头端需要提供跳帧和花屏信息 (跳帧事件放到卡顿中评估)
- **Mode 1模式**。多数情况运营商只有客观测量的输入参数, 无法从播放器获取输入信息, 可以通过一定TOPSIS算法 (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), 对呈现质量进行建模。

### 3.2.3.5 沉浸体验评分

沉浸体验得分由媒体质量指数、交互质量指数、呈现质量指数组合而成：

$$0.41 = \omega_1 * 0.31 + \omega_2 * 0.32 + \omega_3 * 0.33$$

其中权重 $\omega$ 使用随机森林算法得出，也支持手工修改。

## 4 模型验证

### 4.1 测试过程

经过华为Open Lab 30多人，总次数超过600次，总时长超过6500分钟的测试。

### 4.2 验证目的

模型验证主要有两个目的：

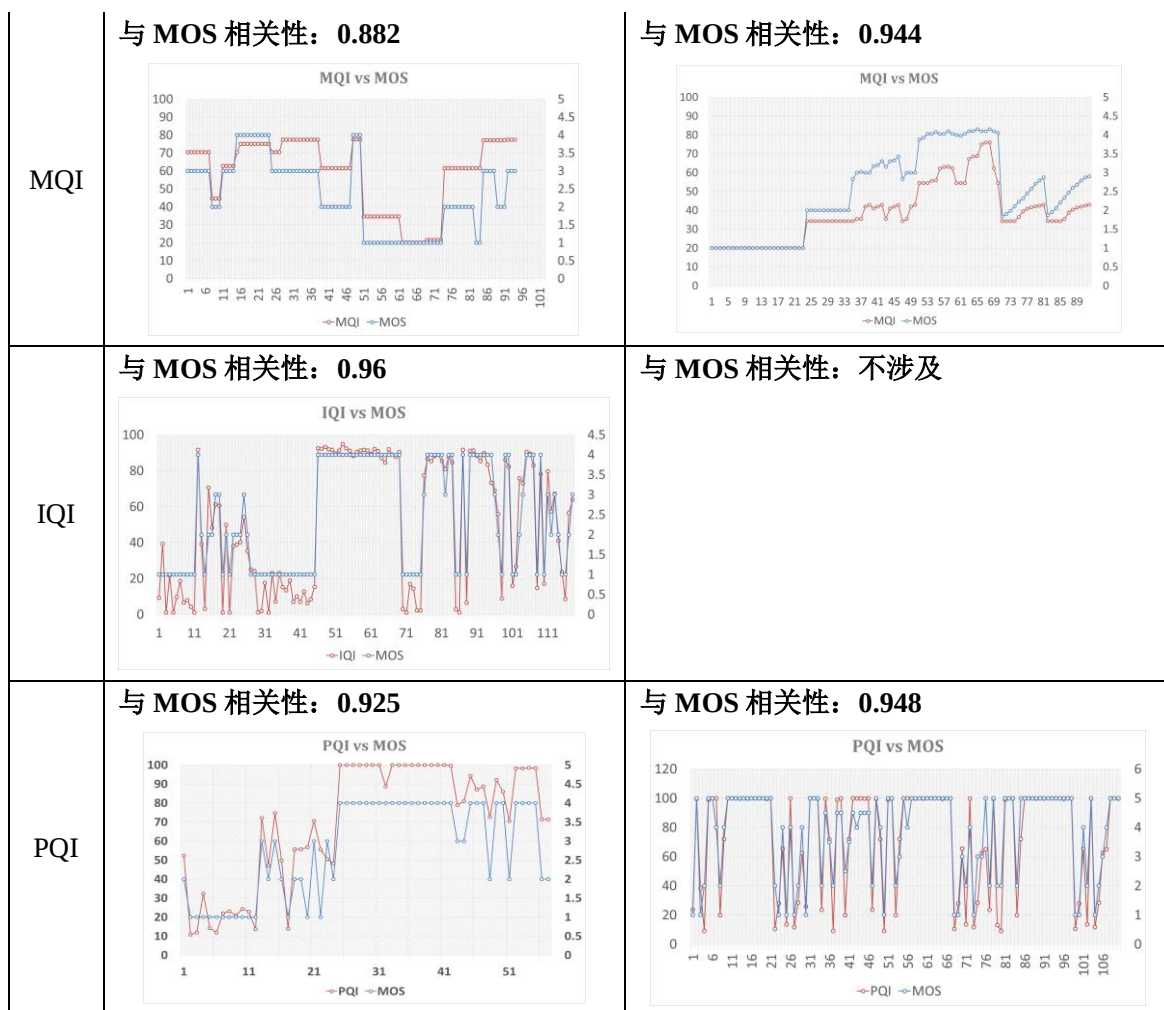
1. 验证模型准确性：通过模型计算出的体验指标（MQI，IQI，PQI）与主观体验MOS的相关性来衡量。
2. 给出关键影响因素的参考值建议：建立体验指标（MQI，IQI，PQI）与各自关键因素的关系，给出关键因素的取值参考。

### 4.3 模型准确性测试结果

选择两类Cloud VR业务（VR游戏和VR视频），先让评分者在不同的条件下对Cloud VR业务进行主观评价，获取MOS-ACR打分。同时基于训练模型计算Cloud VR业务的媒体质量指数MQI、交互质量指数IQI和呈现质量指数PQI，并分析其与主观打分MOS之间的相关性。

经过多次打分验证，华为当前模型计算出的体验指标能准确反映主观体验变化。指标与MOS的相关性如下。

|  | VR 游戏 | VR 视频 |
|--|-------|-------|
|--|-------|-------|



## 4.4 模型与关键因素测试结果

经过测试, 为使Cloud VR业务体验良好, 其相关因素的建议取值如下:

### ● Cloud VR视频

| 码率      | 屏幕分辨率 | 视频分辨率                 | 加载时延 | 卡顿占比 |
|---------|-------|-----------------------|------|------|
| >30Mbps | 4K    | IMAX-4K<br>360° 视频-8K | <2s  | <5%  |

### ● Cloud VR游戏

| 帧率 | 码率 | 可视角度 FOV | 屏幕分辨率 | 视频分辨率 | MTP 时延 | 黑边率 | 自由度 | 速率 | 速率波动 | 丢包率 |
|----|----|----------|-------|-------|--------|-----|-----|----|------|-----|
|----|----|----------|-------|-------|--------|-----|-----|----|------|-----|

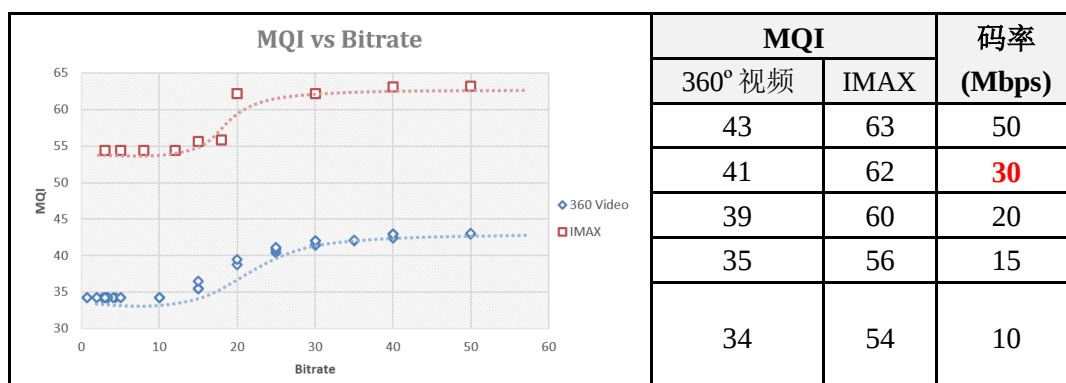
|        |         |       |    |    |        |     |     |         |        |       |
|--------|---------|-------|----|----|--------|-----|-----|---------|--------|-------|
| >60fps | >50Mbps | >100° | 4K | 4K | <100ms | <1% | >11 | >52Mbps | <2Mbps | <0.3% |
|--------|---------|-------|----|----|--------|-----|-----|---------|--------|-------|

## 4.4.1 Cloud VR 视频

### 4.4.1.1 媒体质量指数（MQI）

#### 1) 媒体质量指数MQI与码率（Bitrate）的关系

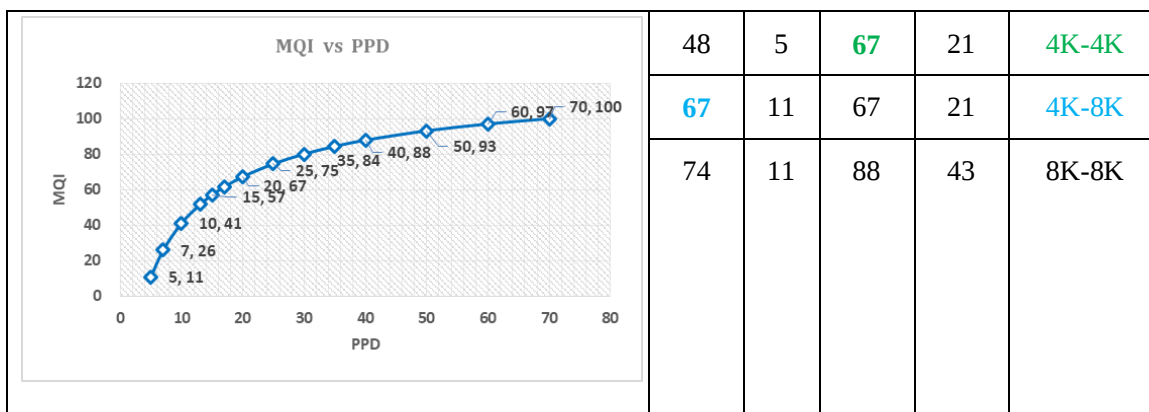
360° 视频和IMAX的MQI在码率超过30Mbps后无显著增益，建议使用30Mbps码率，即可满足用户体验。



#### 2) 媒体质量指数MQI与每角度像素（PPD）的关系

由于每角度像素PPD的取值与一些视频像素场景有着对应关系，因此建议对360° 视频，使用屏幕/视频分辨率分别为4K/8K能得到较好的体验；对于IMAX，使用屏幕/视频分辨率分别为4K/4K能得到较好的体验。

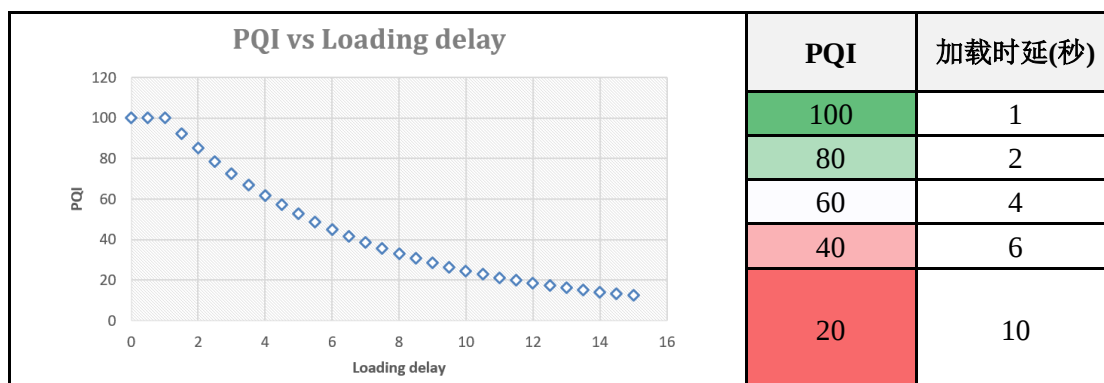
|  | 360° 视频 |     | IMAX |     | 屏幕-视频 |
|--|---------|-----|------|-----|-------|
|  | MQI     | PPD | MQI  | PPD | 分辨率   |
|  | 18      | 3   | 40   | 12  | 2K-2K |
|  | 36      | 4   | 56   | 16  | 3K-3K |



#### 4.4.1.2 呈现质量指数（PQI）

##### 1) 呈现质量指数PQI与加载时延的关系

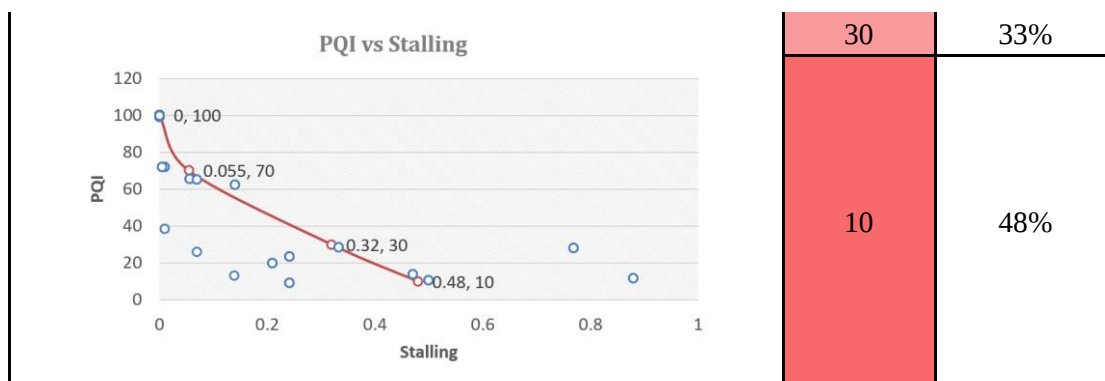
可以看到加载时延小于2秒是PQI获得良好体验的条件。



##### 2) 呈现质量指数PQI与卡顿占比之间的关系

Cloud VR视频的PQI与卡顿占比的典型值，可以看到卡顿占比在5%以内可以获得良好体验：

| PQI | 卡顿占比 |
|-----|------|
| 100 | 0%   |
| 80  | 5%   |
| 60  | 14%  |

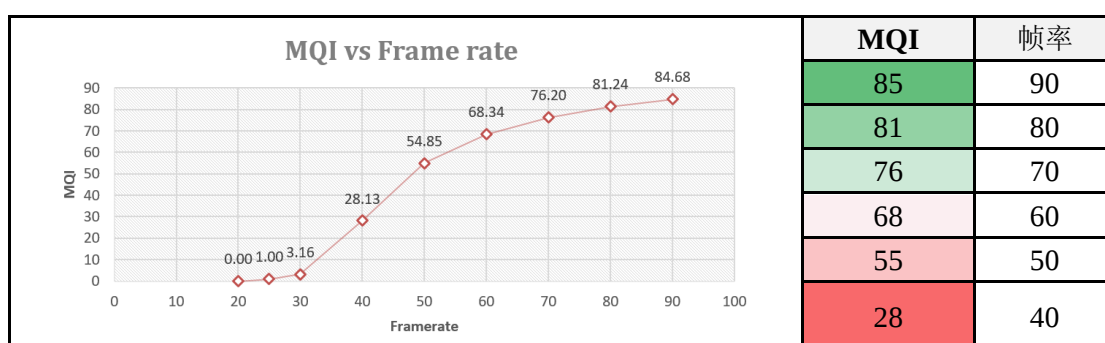


## 4.4.2 Cloud VR 游戏

### 4.4.2.1 媒体质量指数（MQI）

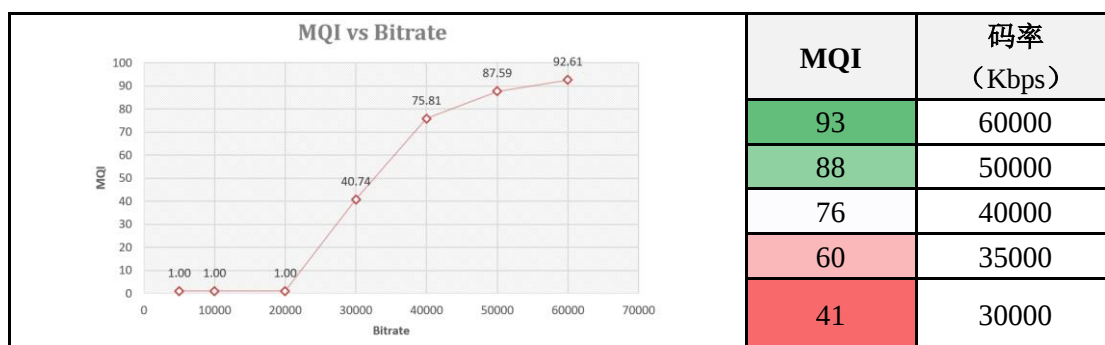
#### 1) 媒体质量指数MQI与帧率（Frame rate）的关系

码率固定为50M，编码分辨率和显示分辨率均为 $2880 \times 1600$ ，FOV为 $110^\circ$ 。当帧率为60fps时可以获得基本体验。



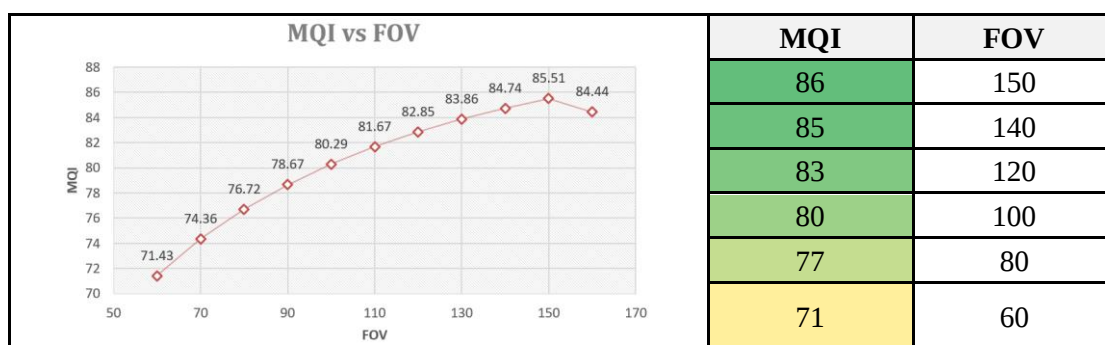
#### 2) 媒体质量指数MQI与码率（Bitrate）的关系

帧率为25帧每秒，编码分辨率和显示分辨率均为 $2880 \times 1600$ ，FOV为 $110^\circ$ 。建议码率为50000Kbps可以获得良好体验：



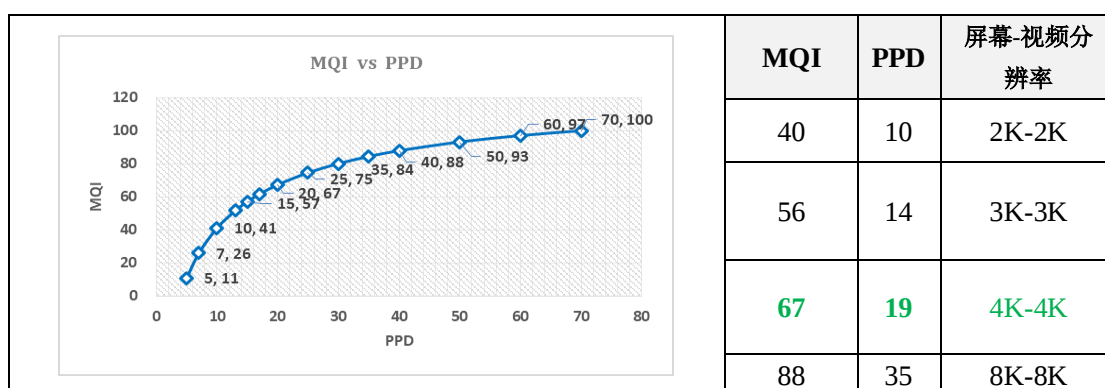
### 3) 媒体质量指数MQI与可视角度 (FOV) 的关系

帧率为25帧每秒，码率为50M，编码分辨率和显示分辨率均为2880×1600。FOV的范围是100°~120° 已经可以获得良好体验：



### 4) 媒体质量指数MQI与每角度像素 (PPD) 的关系

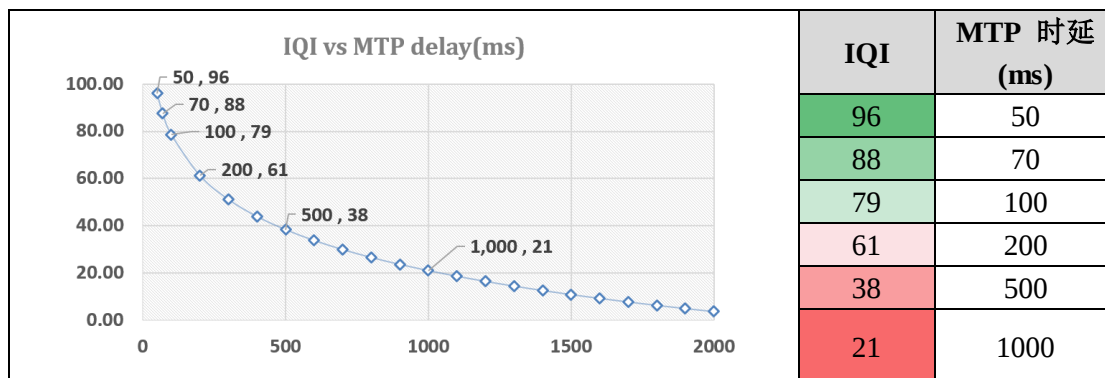
建议对Cloud VR游戏，使用屏幕/视频分辨率分别为4K/4K能得到较好的体验。



## 4.4.2.2 交互质量指数（IQI）

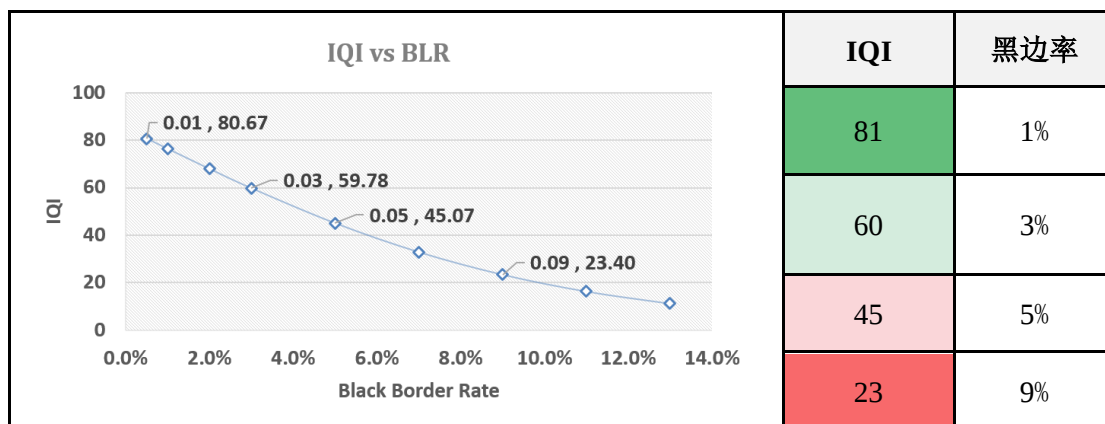
### 1) 交互质量指数IQI与MTP时延的关系

MTP时延50ms在以内可以达到接近满分的取值96分，70ms以内可以达到88分，体验良好，100ms以上体验变差。



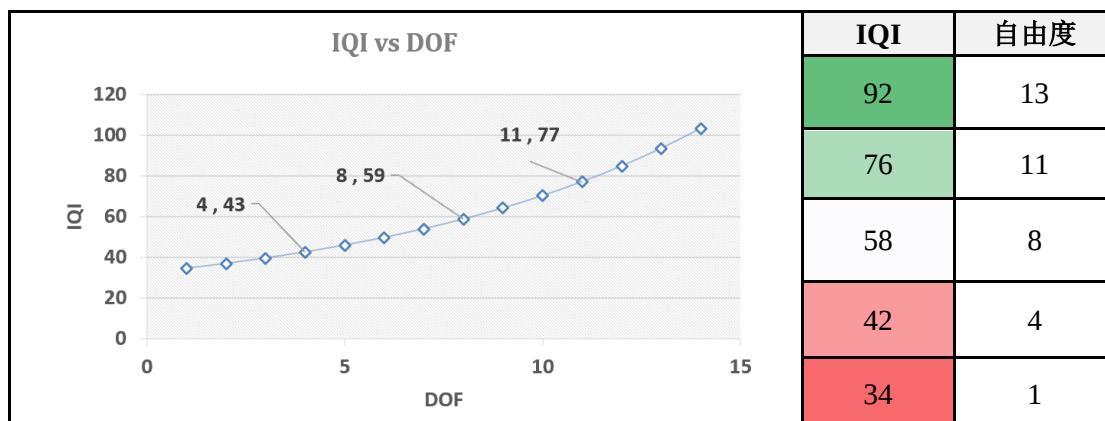
### 2) 交互质量指数IQI与黑边率（BLR）的关系

黑边率在1%以内可以达到体验80分，基本无感知。



### 3) 交互质量指数IQI与自由度（DOF）的关系

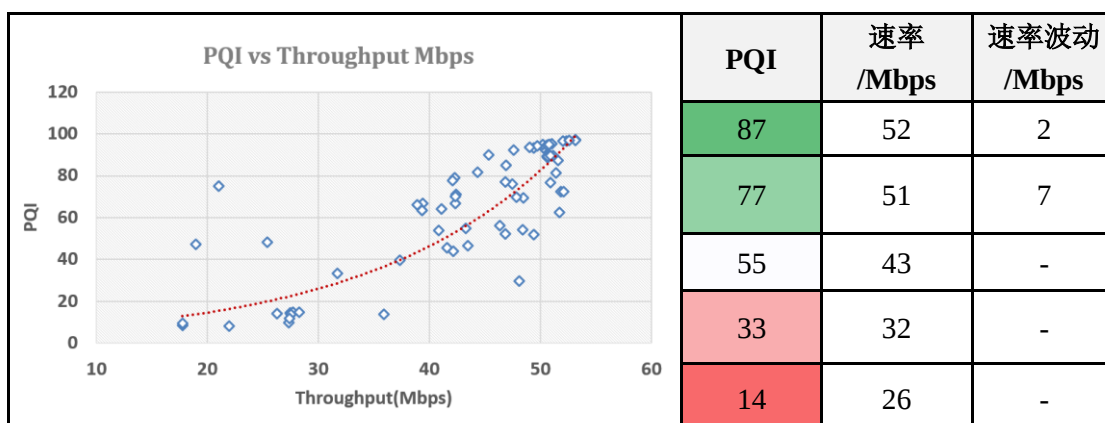
Cloud VR游戏的IQI与DOF典型取值如下，建议游戏的良好体验应该至少为12DOF



### 4.4.2.3 呈现质量指数（PQI）

#### 1) 呈现质量指数PQI与速率（Throughput）的关系

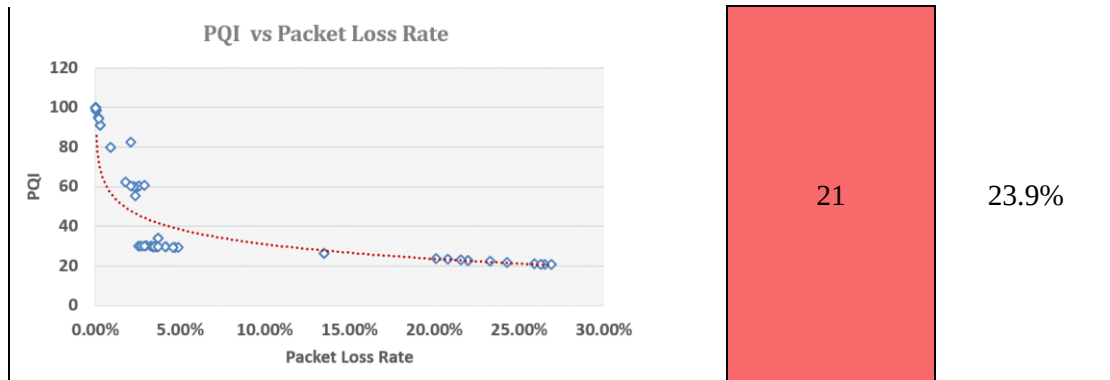
当速率大于52Mbps，且速率波动小于2Mbps，则可获得优秀体验。



#### 2) 呈现质量指数PQI与丢包率（Packet Loss Rate）的关系

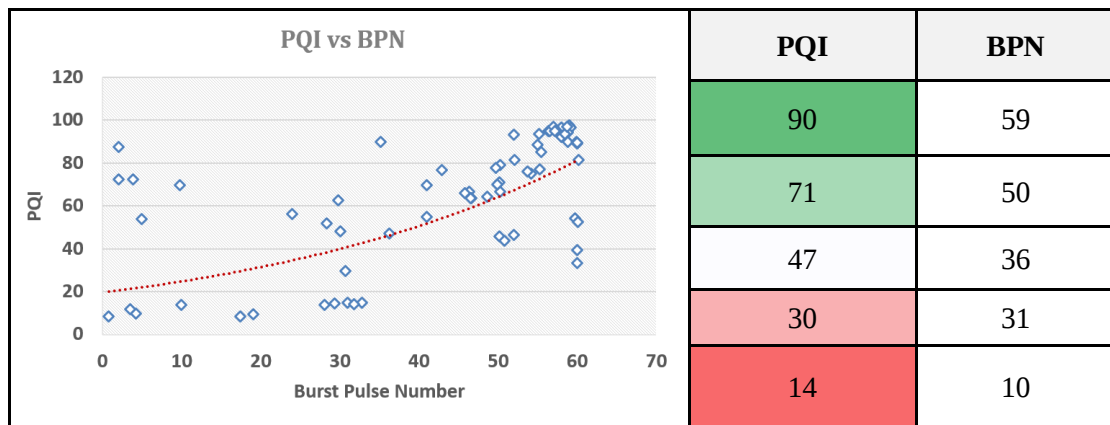
丢包率小于0.02%时可以获得优秀体验，低于0.3%时获得良好体验。

| PQI | 丢包率   |
|-----|-------|
| 100 | 0.02% |
| 80  | 0.3%  |
| 60  | 2.3%  |
| 30  | 3.3%  |



### 3) 呈现质量指数PQI与突发脉冲数（BPN）的关系

突发脉冲数BPN大于50可以获得良好体验，BPN 59时获得优秀体验。



## 5 参考文献

1. ITU-T P.1203 Parametric bitstream-based quality assessment of progressive download and adaptive audiovisual streaming services over reliable transport – Video quality estimation module.
2. ITU-T WD14-Restructured version of G.QoE-VR baseline.
3. ITU-T P.809 Subjective evaluation methods for gaming quality.
4. ITU-T G.1032 Influence factors on gaming quality of experience.
5. ITU-T P.913 Methods for the subjective assessment of video quality, audio quality and audiovisual quality of Internet video and distribution quality television in any environment.
6. Q. Huynh-Thu, M. Garcia, F. Speranza, P. Coriveau and A. Raake, “Study of rating scales for subjective quality assessment of high-definition video,” IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 57. No. 1, p. 1-14, Mar. 2011.
7. T. Tominaga, T. Hayashi, J. Okamoto, and A. Takahashi, “Performance comparisons of subjective quality assessment methods for mobile video,” Quality of Multimedia Experience (QoMEX), Jun. 2010.
8. Huyen T. T. Tran, Nam Pham Ngoc, Cuong T. Pham, Yong Ju Jung, Truong Cong Thang, “A Subjective Study on QoE of 360 Video for VR Communication” in conference: 2017 IEEE 19th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP).
9. Selim Ickin, Karel De Vogeleer, Markus Fiedler, David Erman, “The Effects of Packet Delay Variation on the Perceptual Quality of Video”, 2010 4th IEEE Workshop On User Mobility and Vehicular Networks.
10. Taewan Kim, Jiwoo Kang, Sanghoon Lee, “Multimodal Interactive Continuous Scoring of Subjective 3D Video Quality of Experience” IEEE TRANSACTIONS ON MULTIMEDIA, VOL. 16, NO. 2, FEBRUARY 2014.
11. Frédéric Guyard and Sergio Beker, “Towards real-time anomalies monitoring for QoE indicators”, in annals of telecommunications - annales des télécommunications 65(1-2):59-71 · February 2010.

12. M. Sajid Mushtaq\*, Scott Fowler†, Brice Augustin\*, Abdelhamid Mellouk\*, “QoE in 5G Cloud Networks using Multimedia Services” , Conference: IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC’16).
13. Victor Clincy and Brandon Wilgor, “Subjective Evaluation of Latency and Packet Loss in a Cloud-based Game”, 2013 10th International Conference on Information Technology: New Generations.
14. Kazuhisa Yamagishi NTT Network Technology Laboratories, NTT Corporation, Tokyo, Japan, “QoE-estimation models for video streaming services”, Proceedings of APSIPA Annual Summit and Conference 2017.