



Официальный технический документ по облачным сервисам виртуальной реальности 5G Стандарты качества сервисов

Июнь 2019

Содержание

1 Общие сведения.....	5
2 Система показателей при оценке качества облачных сервисов виртуальной реальности	6
2.1 Руководящие технические условия	6
2.1.1 ITU-T G.QOE-VR.....	6
2.1.2 3GPP TR 26.929.....	8
2.2 Система показателей при оценке качества облачных сервисов виртуальной реальности Huawei	10
2.2.1 MQI	10
2.2.2 IQI	12
2.2.3 PQI.....	13
3 Метод моделирования показателей оценки сервисов Cloud VR.....	16
3.1 Выбор модели.....	16
3.1.1 Критерии субъективной оценки	16
3.1.2 Критерии объективной оценки	17
3.1.3 Выбор модели компанией Huawei.....	19
3.2 Моделирование структуры.....	20
3.2.1 Общая структура.....	20
3.2.2 Источники данных и входные параметры.....	21
3.2.3 Алгоритм построения модели	27
4 Проверка работы модели	32
4.1 Процедура тестирования	32
4.2 Цель проверки	32
4.3 Результат тестирования модели на точность.....	32
4.4 Результат тестирования модели и проверки ключевых факторов.....	33
4.4.1 Видео в облачной виртуальной реальности	34
4.4.2 Игры в облачной виртуальной реальности	36
5 Список справочной литературы.....	40

Обозначения и сокращения

Обозначения и сокращения	Расшифровка
ACR	Absolute Category Rating; Абсолютный рейтинг категорий
BDR	Burst Delay Rate; Частота появления краткосрочной задержки
BPN	Burst Pulse Number; Количество импульсов пакетной передачи
CCR	Comparison Category Rating; Сравнительный рейтинг категорий
DCR	Degradation Category Rating; Рейтинг категорий ухудшения качества
DOF	Degrees of Freedom; Степень свободы
DSCQS	Double Stimulus Continuous Quality Scale; Метод оценки качества на основе сдвоенных стимулов
EWMA	Exponential Moving Average; Экспоненциальное скользящее среднее
FOV	Field of View; Угол обзора
FR	Full-Reference; Полностью эталонная модель
GPU	Graphics Processing Unit; Графический процессор
HMD	Head Mounted Display; Шлем виртуальной реальности
IQI	Interaction Quality Index; Индекс качества взаимодействия
MBS	Maximum Burst Size; Максимальный размер всплеска трафика
MOS	Mean Opinion Score; Средняя экспертная оценка разборчивости речи
MPD	Media Presentation Description; Формат описания медиапотока
MQI	Media Quality Index; Индекс качества медиапотока
MTP latency	motion-to-photons latency; Задержка между движением в реальном мире и получением фотона изображения со шлема
MTS latency	motion-to-sound latency; Задержка между движением в реальном мире и получением звука виртуального мира
NR	No-reference; Модель без эталона
NR-B	no-reference Bitstream Layer Model; Модель на основе битовых потоков без эталона
NR-P	no-reference Parametric Packet Layer Model; Параметрическая модель на основе пакетов без эталона
NR-PL	no-reference Parametric Planning Model; Параметрическая панель на основе планирования без эталона
PPD	Pixels per Degree; Плотность пикселей на градус
PPI	Pixels per Inch; Плотность пикселей на дюйм



Обозначения и сокращения	Расшифровка
PQI	Presentation Quality Index; Индекс качества презентации
QoE	Quality Of Experience; Качество восприятия сервиса
RR	Reduced-reference; Ограниченная эталонная модель
SSCQE	Single Stimulus Continuous Quality Evaluation; Метод непрерывной оценки качества на основе одного стимула
SDSCE	Simultaneous Double Stimulus for Continuous Evaluation; Метод непрерывной оценки качества на основе одновременных сдвоенных стимулов
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution; Метод наименьшего удаления от оптимального решения

1 Общие сведения

Используя технологии 5G, операторы связи смогут расширить спектр предоставляемых услуг, добиться высокого качества работы сети и незабываемых впечатлений пользователей от сервиса благодаря высокой скорости, низкой задержке и большому выбору вариантов подключения.

5G изменит модели работы операторов связи в корпоративном сегменте (B2B) и потребительском сегменте (B2C). Акцент в работе операторов связи смещается с трафика, где ключевым фактором были соединения, на сервис, где ключевым фактором становится контент. Главным достоинством или конкурентным преимуществом являются теперь не покрытие сети и трафик, а опыт использования услуг 5G, который становится важным стандартом, помогающим выбрать оператора.

Согласно результатам недавнего исследования IHS, основные ценности, присущие сетям 5G (Рис. 1-1), станут основой подключения пользователей в любое время и в любом месте.

Рис. 1-1 Основные ценности сетей 5G



Облачный сервис виртуальной реальности (Cloud VR) может стать одним из самых популярных сервисов улучшенного мобильного широкополосного доступа (eMBB), предлагаемого многими операторами коммерческих сетей 5G. Cloud VR обеспечивает облачные вычисления и облачный рендеринг для приложений виртуальной реальности. В быстрых и стабильных сетях видео- и аудиоданные кодируются, сжимаются и передаются в облачной среде на пользовательские терминалы, при этом на базе облака поддерживается как контент сервисов виртуальной реальности, так и рендеринг контента.

В этом документе описывается технология моделирования облачных сервисов виртуальной реальности. Существует несколько ключевых моментов в части удовлетворения требований пользователей, на которые следует обратить внимание:

- Во-первых, операторам связи не требуется поддерживать качество всех сервисов дополненной реальности (AR) и виртуальной реальности (VR) на одном уровне.

- Во-вторых, на восприятие сервиса Cloud VR будут влиять различные факторы, в частности качество аудио- и видеоносителей, качество сети и качество терминалов.

Таким образом, разработка измеримых и управляемых показателей качества сервисов станет для операторов связи ключом к успешному удовлетворению запросов клиентов в потребительском и корпоративном сегментах.

На базе решения Huawei SmartCare® CEM можно создать комплексную систему показателей для оценки качества облачных сервисов виртуальной реальности и восприятия пользователями данных сервисов. Это следующие показатели:

1. Индекс качества медиапотока (Media Quality Index; MQI)
2. Индекс качества взаимодействия (Interaction Quality Index; IQI)
3. Индекс качества презентации (Presentation Quality Index; PQI) для оптимизации ключевых факторов, влияющих на восприятие пользователей.

Системы моделирования с использованием данных показателей можно использовать в VR-играх, VR-видео 360, прямой VR-трансляции, VR IMAX и VR-обучении.

2 Система показателей при оценке качества облачных сервисов виртуальной реальности

2.1 Руководящие технические условия

При отборе KPI для моделирования системы оценки качества сервисов Huawei 5G Cloud VR компания руководствовалась рекомендациями, предложенными организациями ITU-T G.QOE-VR и 3GPP TR 26.929 для модели оценки качества сервисов виртуальной реальности.

2.1.1 ITU-T G.QOE-VR

В следующей таблице приведены параметры оценки и основные факторы, которые влияют на восприятие сервисов виртуальной реальности, в модели оценки, включенной в рекомендации G.QOE-VR.

Категория	Влияющий фактор
Эффект погружения через мультимедиа	Степень свободы (DOF)
	Качество видео, улучшенное в трехмерном режиме
	Угол обзора (FOV) видео
	Плотность пикселей на градус в видеоизображении (PPD)
	Скорость передачи видеок кадров
	Коэффициент сжатия видео
	Количество аудиоканалов
	Частота дискретизации для передачи звуковых сигналов
	Трехмерное звучание
	Коэффициент сжатия звука

Категория	Влияющий фактор
Качество презентации	Плавность передачи видеоизображения и звука
	Частота затормаживаний передачи видеоизображений и звука
	Синхронизация видео и звука
	Степень соответствия звукового и визуального пространства
Степень взаимодействия	Степень взаимодействия с виртуальной средой
	Задержка отклика взаимодействия с виртуальной средой
	Точность пространственного взаимодействия

[Справочные данные из спецификаций] Качество иммерсионных средств

Следующие характеристики иммерсионных средств, учтенные в стандартах [MPEG-I Часть 1], определены как ключевые факторы, влияющие на уровень погружения:

- Степень свободы (DOF): предложенные форматы включают 3DoF, 3DoF+, Windowed 6DoF, Omnidirectional 6DoF, 6DoF
- Качество видео:
 - Трехмерное видеоизображение: предложенные форматы включают 360-градусное моноскопическое видео, 360-градусное стереоскопическое видео, 360-градусное полностью трехмерное видео
 - Угол обзора (FOV): предложенный диапазон 90–220 градусов
 - Пространственное разрешение в пикселях на градус (PPD): 12–60
 - Частота кадров: предложенные форматы включают 60fps, 90fps и частоту выше
 - Сжатие: до степени без видимых потерь
 - Проекция
- Качество аудио:
 - Трехмерный звук: предложенные форматы включают 3D, стереоскопическое звучание и др.
 - Каналы и частота дискретизации
 - Сжатие: стандарт Hi-Fi

Качество презентации

Следующие показатели производительности системы определены в стандартах [MPEG-I Часть 1] как ключевые факторы, влияющие на уровень погружения, который обеспечивают иммерсионные системы:

- Качество воспроизведения: плавность, количество зависаний, изменение качества видеоизображения и звука и др.
- Синхронизация видеоизображения и звука.
- Пространственное выравнивание видеоизображения и звука.

Качество взаимодействия

Следующие характеристики интерактивности определены в стандартах [MPEG-I Часть 1] как ключевые факторы, влияющие на восприятие пользователями иммерсионных систем в целом:

- Взаимодействие с объектами в виртуальной среде.
- Время отклика в виртуальном мире на движение человека в реальном мире: менее 20 мс.

- Пространственная точность воспроизведения звука (3D-аудио) и видеоизображения в виртуальном мире в соответствии с движением человека в реальном мире. 2.1.2 3GPP TR 26.929.

В следующей таблице описаны показатели качества восприятия (QoE) сервисов виртуальной реальности, рекомендованные к использованию спецификациями 3GPP 26.929.

Категория	Влияющий фактор	Описание
Влияние на передачу	Средняя скорость загрузки	Влияет на длительность буферизации и состояние пула буферов в период измерения.
	Длительность буферизации в миллисекундах	Продолжительность воспроизведения, в течение которой доступны мультимедийные данные со всех активных аудио- и видеоносителей, начиная с текущего времени воспроизведения.
	Операции воспроизведения	Операции, выполняемые пользователем, такие как воспроизведение, перетаскивание, постановка на паузу.
	Задержка изображения	Продолжительность времени с момента, когда пользователь хочет увидеть изображение, до момента, когда пользователь реально видит его.
	MTP (Motion-to-photons)	Продолжительность времени с момента отправки запроса на движение до момента отображения видеоизображения.
	MTS (Motion-to-sound)	Продолжительность времени с момента отправки запроса на движение до момента воспроизведения звука.
Влияние на устройство	Горизонтальный FOV	Горизонтальный угол обзора, поддерживаемый устройством.
	Вертикальный FOV	Вертикальный угол обзора, поддерживаемый устройством.
	Разрешение	Разрешающая способность глаза, поддерживаемая устройством.
	Частота обновления	Количество обновлений изображения на экране в секунду, поддерживаемое оборудованием.
	Декодирующая способность	Поддерживаемый уровень и формат видеокодирования

От качества QoE, которое обеспечивают технологии погружения в виртуальный мир, например воспроизведение 360-градусного видео, зависит количество пользователей, которые захотят воспользоваться этими технологиями. Поэтому необходимо оценить QoE этих новых технологий, поскольку качество восприятия является одним из факторов, способствующих успешному внедрению сервисов виртуальной реальности.

В этом документе представлены результаты исследования влияния разрешения, движения камеры, движения в виртуальном мире и эффекта «укачивания» на QoE. Ряд пользователей имеют склонность к укачиванию, поэтому большой интерес вызывает

исследование влияния укачивания на QoE и наоборот.

Подготовка данных

Чтобы продемонстрировать существенные различия в движении в виртуальном мире, были отобраны шесть видов контента. Выбор двух разрешений — 4K и FHD — был сделан на основании ограничений в разрешении, которые имеют виртуальные шлемы. Разрешение обоих устройств составляет 2160×1200. Данные были загружены из Интернета, поскольку длительность этих видеоклипов может быть намного длиннее, чем в стандартном наборе данных [11–13]. Мы также решили использовать готовый контент, предоставляемый сервисами, который не требует перекодирования. В Табл. 8.2-1 представлено описание данного контента. Закодированная последовательность видеоклипов H.264/AVC была загружена с максимально высокой битовой скоростью. Качество кодирования всего контента было высоким, что было подтверждено экспертами в ходе визуальной проверки. Далее длительность была сокращена до 60–65 секунд [6,7].

Техническое оснащение и оборудование

Были использованы виртуальные шлемы двух разных производителей. В документе они идут под названиями HMD1 и HMD2. Разрешение и угол обзора (FOV) обоих шлемов составили 2160×1200 и 110° соответственно. 360-градусное видео на обоих шлемах воспроизводилось плеером Whirligig Player (версия 3.89). Шлемы были подключены к настольному ПК, оснащенный графической картой NVIDIA GTX980 и процессором Intel Core i7. С целью уменьшения ситуативного влияния на предметы наименования шлемов были скрыты [6,7].

Показатели QoE, имеющие отношение к передаче по сети

Среднее значение пропускной способности

В разделе 10.2.4 в [3] определен показатель среднего значения пропускной способности. Данную информацию можно получить с OP1 эталонной модели.

Длительность буферизации

Показатели изменения состояния буфера и длительности буферизации определены в Приложении D.4.5 стандарта ISO/IEC 23009-1 [4]. Данную информацию можно получить с OP1 эталонной модели.

Список воспроизведения

В разделе 10.2.7 в [3] определены показатели для измерения изменений, которые могут произойти в результате действий пользователя, завершения контента или постоянной ошибки. Данную информацию можно получить с OP1, OP2, OP3 и OP4 эталонной модели.

Задержка презентации

Влияние устройств виртуальной реальности на QoE

Введение

В сравнении с традиционным потоковым видео, главной особенностью сервисов виртуальной реальности является погружение в виртуальный мир и гладкое взаимодействие пользователей, при этом устройства VR играют здесь важную роль. Информация об устройстве должна быть связана с восприятием сервиса VR пользователем. Вся информация о свойствах устройства собиралась на OP5 эталонной модели, описанной в разделе 6.1.

Показатели QoE, имеющие отношение к устройству VR

Угол обзора

Одним из факторов, влияющих на уникальность 360-градусного видео, является

уровень погружения, который дает более широкий угол обзора виртуального шлема и соответственно более широкое обозримое пространство в любой момент времени. Увеличенный угол обзора усиливает эффект присутствия. Таким образом, FoV виртуального шлема как важный параметр поможет оценить эффект присутствия, который дает устройство VR.

Разрешение

Данный параметр связан с восприятием картинки человеческим глазом. Комфортных ощущений можно добиться за счет подходящего значения разрешающей способности экрана.

Частота обновления

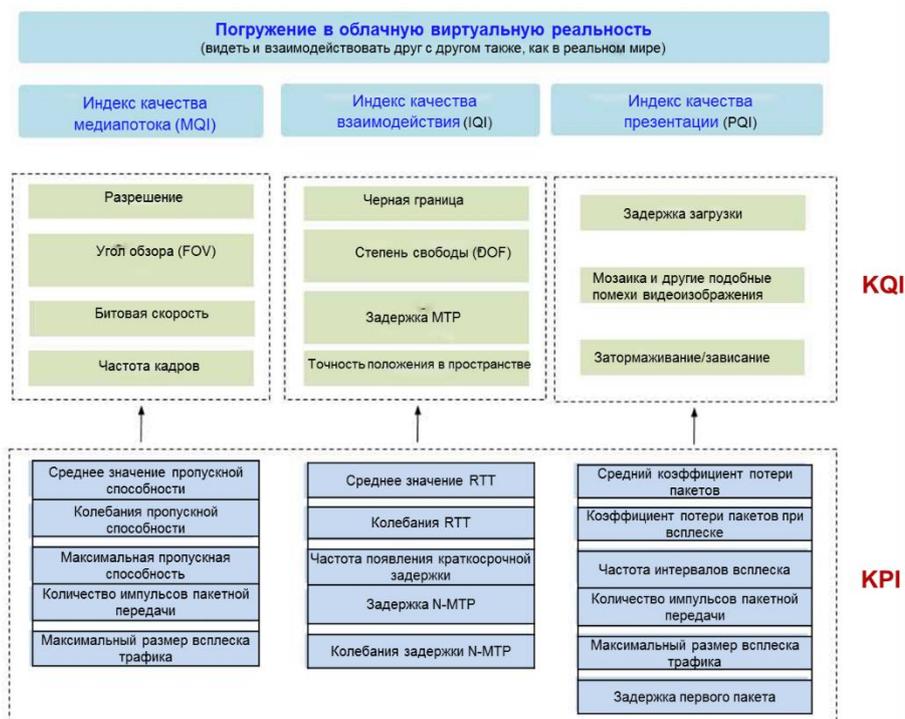
Частотой обновления называется число захватов нового изображения в секунду, которое совершает дисплей, получая его от графического процессора. Низкая частота обновления приводит к задержке обработки, вызывая искажения, видимые пользователю на экране, и ощущению укачивания. Чем выше частота обновления, тем сильнее эффект погружения в виртуальный мир.

Декодирующая способность

Поддержка уровня и профиля кодека — важное свойство, от которого зависит тип декодируемого контента.

2.2 Система показателей при оценке качества облачных сервисов виртуальной реальности Huawei

В соответствии со спецификациями протокола, решение Huawei SmartCare® CEM оценивает восприятие пользователями сервисов Cloud VR на основе показателей MQI, IQI и PQI.



2.2.1 MQI

MQI: оценка качества мультимедийного контента (0–100). Данный параметр показывает, насколько близки ощущения, которые пользователь получает с контентом

виртуальной реальности, в том числе через звучание, видеоизображение и определенную степень свободы контента, к ощущениям, получаемым в реальном мире.

Субъективная оценка	Описание	MOS	MQI
Отлично	На экране нет видимой зернистости, видеоизображение четкое. Основным условием является значение PPD большее 60.	5	80–100
Хорошо	Видеоизображение четкое, но качество хуже, чем качество видео с оценкой «отлично».	4	60–80
Средне	На экране видна зернистость. Пользователи могут различать составляющие линий и цветового фона, изображение искажается.	3	40–60
Плохо	Сильный эффект гранулярности видеоизображения.	2	20–40
Очень плохо	Пользователи не могут смотреть видео VR из-за нечеткости изображения. Пользователи совершенно не хотят смотреть видео VR в таком разрешении и не рекомендуют его другим пользователям.	1	0–20

Ключевые факторы

Фактор	Влияние
Битовая скорость	Битовая скорость — это количество аудио и видеобитов, переданных или обработанных за определенную единицу времени. Данный параметр является более общим показателем качества звука и видеоизображения. Битовая скорость в одной и той же среде кодирования обычно увеличивается при высоком разрешении, высокой частоте кадров или низком коэффициенте сжатия. Для VR-сервисов данный параметр не является главным. Однако он все же необходим, поскольку от него зависит качество изображения.
Частота кадров	Это частота, с которой покадровые изображения непрерывно отображаются на дисплее. Частота кадров VR-контента должна соответствовать частоте кадров дисплея. Частота кадров VR-сервисов выше, чем у сервисов видео 2D. По этой причине затормаживание видео является одной из причин ощущения укачивания, которое получают пользователи, используя сервисы виртуальной реальности. Приложения для видеоигр имеют более высокие требования к частоте кадров. Это связано с тем, что изображения в VR-играх формируются графическим процессором, а не в результате съемки камерой.

Фактор	Влияние
Разрешение	<p>Разрешением называется количество пикселей в видеоконтенте. Разрешение видео должно соответствовать разрешающей способности дисплея. Несоответствие может ухудшить разрешение видео или даже привести к невозможности его отображения.</p> <p>Для качественного видео виртуальной реальности требуется разрешение 4K и выше, поскольку в VR есть функция 360-градусного панорамного дисплея, а разрешающая способность человеческого глаза такого дисплея определяет качество изображения VR. Низкое разрешение VR-контента еще больше усиливается во время отображения на окологлазный дисплей.</p>
FOV	<p>FOV служит для измерения поля зрения в виртуальной среде в любой момент времени. Чем шире угол обзора, тем сильнее эффект присутствия возникает у пользователя. Поэтому FOV является важным параметром в оценке способности VR-устройства создавать эффект присутствия. В данной модели FOV рассматривается как важный фактор, влияющий на пространственные ощущения и перекрытие поля зрения.</p>
PPD	<p>PPD — это важная техническая характеристика, которая больше подходит для измерения плотности пикселей окологлазного дисплея VR, а не плотности пикселей на дюйм. Чем больше значение PPD, тем лучше качество изображений в виртуальной реальности.</p>

2.2.2 IQI

IQI: оценка качества взаимодействия (0–100). Данная характеристика оценивает уровень интерактивности между пользователем и операциями с контентом VR во время использования сервиса VR. Задержка взаимодействия может вызвать головокружение, тошноту и ощущение оторванности от реального мира.

Субъективная оценка	Описание	MOS	IQI
Отлично	<p>VR-система реагирует на действия пользователя плавно, ощущения те же, что и в реальном мире. Пользователи не чувствуют торможений, пауз или несинхронности. Степень свободы (DOF) взаимодействия такая же, как в реальном мире, пользователи чувствуют себя комфортно, свободно и гибко в VR-системе.</p>	5	80–100
Хорошо	<p>Иногда пользователи чувствуют небольшие паузы или несинхронность. Кроме того, при резком движении манипуляторов или вращении головой пользователи могут видеть черную границу или чувствовать несинхронность между движением изображения и движением манипуляторов в течение очень короткого времени.</p>	4	60–80

Субъективная оценка	Описание	MOS	IQI
Средне	Пользователи могут часто видеть черную границу или чувствовать несинхронность между движением изображения и движением манипуляторов. Игровое видеоизображение медленно реагирует на операцию. Восприятие не на хорошем уровне, но черные границы и ощущения несинхронности непостоянны. Некомфортно находиться в VR-шлеме или очках продолжительное время. Ощущения при взаимодействии в норме.	3	40–60
Плохо	Пользователи могут постоянно видеть черную границу или чувствовать несинхронность между движением изображения и движением манипуляторов. Игровые манипуляторы неуправляемы.	2	20–40
Очень плохо	Большую часть времени игровые манипуляторы неуправляемы, черная граница занимает большую площадь экрана, играть в виртуальной реальности невозможно. Пользователи испытывают неприятные ощущения, не хотят продолжать игру и не хотят рекомендовать VR-сервисы другим пользователям.	1	0–20

Ключевые факторы

Фактор	Влияние
Задержка МТР	Данная характеристика оценивает длительность отклика видеоизображения и звука на действия пользователя в виртуальной реальности. Ее значение для игр в облачной виртуальной реальности должно быть меньше 20 мс, а для видео в облачной виртуальной реальности — менее 60 мс.
DOF	Данная характеристика оценивает возможности объекта передвигаться в пространстве. Это ключевой фактор, от которого зависит полнота погружения пользователя в виртуальную среду.

2.2.3 PQI

PQI: оценка качества презентации (0–100). Данная характеристика оценивает чувственное восприятие пользователем виртуальной среды во время использования VR-сервиса — непрерывность и плавность происходящего. О плохом восприятии свидетельствует появление мозаики и других подобных помех изображения, а также затормаживание.

Субъективная оценка	Описание	MOS	PQI
Отлично	VR-система реагирует на действия пользователя плавно. Пользователи не видят мозаику и другие подобные помехи видеоизображения, не чувствуют торможение видео, в речи не возникает прерывистость во время интерактивных операций.	5	80–100
Хорошо	Пользователи иногда видят мозаику и другие подобные помехи видеоизображения, немного чувствуют торможение видео, иногда слышат прерывистую речь.	4	60–80
Средне	Пользователи несколько раз видят мозаику и другие подобные помехи видеоизображения, несколько раз чувствуют торможение видео. Длительность мозаики или торможения видео может превысить 1 секунду один раз, но часто подобные явления большой длительности не происходят.	3	40–60
Плохо	Частое появление мозаики и других подобных помех видеоизображения, ощущения торможения видео большой длительностью.	2	20–40
Очень плохо	Большую часть времени пользователи видят мозаику и другие подобные помехи видеоизображения, чувствуют торможение видео и слышат прерывистость речи. Пользователи не хотят дальше пользоваться сервисом или не хотят рекомендовать его другим пользователям.	1	0–20

Ключевые факторы

Фактор	Влияние
Задержка загрузки	В облачных видеосервисах VR данная характеристика означает исходную задержку буферизации видео. В целом, чтобы пользователю было комфортно, задержка должна быть меньше 10 секунд. В играх в облачной виртуальной реальности данная характеристика означает период времени с момента выбора пользователем операции воспроизведения игры и моментом, когда игра действительно началась. В целом, чтобы пользователю было комфортно, задержка должна быть меньше 3 секунд.

Фактор	Влияние
Затормаживание	Это ключевой фактор, от которого зависит, насколько плавно будет ощущать пользователь потоковую мультимедийную передачу. Во время воспроизведения VR-видео всегда остается некоторая буферная зона с определенным объемом данных. При отсутствии данных в буферной зоне возникает затормаживание, которое негативно сказывается на восприятии пользователя. Как правило, это явление происходит в силу того, что скорость загрузки не отвечает требованиям к качеству видеокодирования.
Зависание	Явление зависания, которое пользователь ощущает в виде паузы в передаче игрового изображения, является ключевым фактором оценки плавности игры. Если во время VR-игр отбрасывается основной кадр (такой как кадр I), происходит потеря ключевых факторов изображения, что приводит к невозможности вывести изображение. В результате происходит зависание, которое негативно сказывается на восприятии пользователем VR-игры.
Мозаика и другие подобные помехи видеоизображения	Для игр в облачной виртуальной реальности данное явление рассматривается как ключевой фактор оценки плавности игры. В случае потери некоторых данных видеокadra (информация о блоке в видеокadre) во время игры в виртуальной реальности, изображение выводится, но в некоторых областях появляется мозаика, что снижает ощущения плавности VR-игры у пользователя.

3 Метод моделирования показателей оценки сервисов Cloud VR

3.1 Выбор модели

Качество сервисов можно оценить, используя методы объективной и субъективной оценки.

3.1.1 Критерии субъективной оценки

Субъективная оценка заключается в том, что наблюдатели оценивают качество сервиса на основе их субъективного восприятия. Субъективная оценка приводит к большой рабочей нагрузке и занимает много времени, и ее трудно реализовать в коммерческих сценариях применения. Результаты субъективной оценки (пользователи-испытатели предоставляют оценку на основе своих субъективных ощущений) используются в качестве эталона для обучения и проверки работы модели.

В Международном союзе электросвязи (МСЭ) определено множество методов субъективной оценки качества. Эти методы имеют разные характеристики, и пользователь, проводящий испытание, может выбрать подходящий метод в соответствии с целью оценки.

В следующей таблице перечислены общие методы субъективной оценки.

Метод		Стандарт
Рейтинг категорий		
Абсолютная оценка	Абсолютный рейтинг категорий (ACR)	P.910, P.911, P.913, P.920
Относительная оценка	Рейтинг категорий ухудшения качества (DCR)	P.910, BT.500, P.911
	Сравнительный рейтинг категорий (ACR)	BT.500
Непрерывный рейтинг		
Абсолютная оценка	Метод непрерывной оценки качества на основе одного стимула (SSCQE)	BT.500, P.911
Относительная оценка	Метод непрерывной оценки качества на основе двояких стимулов (DSCQS)	BT.500
	Метод непрерывной оценки качества на основе	BT.500

Оценивает восприятие контента сервисов потокового видео Cloud VR. Для субъективной оценки качества видео в отрасли широко используются методы DSCQS и ACR.

- DSCQS представляет собой эталонную модель оценки. В этом методе испытуемый просматривает несколько эталонных видео-оригиналов и видео с ухудшенным качеством и оценивает каждое видео на основе разницы в качестве между ними.
- В методе ACR подход с эталонным видео-оригиналом не применяется. Испытуемый оценивает каждое видео, не сравнивая его ни с чем. Этот метод обычно используется для оценки модели QoE, на которую влияют кодек, сеть или клиенты.

В этом документе описывается, как результаты субъективной оценки качества видео (оценка MOS-ACR), которые были получены с использованием стандарта рейтинга ACR, определенного в МСЭ-Т Р.913, используются в качестве эталона для обучения и проверки работы модели во время моделирования показателей оценки качества сервисов облачной виртуальной реальности.

Субъективная оценка	Отлично	Хорошо	Средне	Плохо	Очень плохо
MOS-ACR	5	4	3	2	1

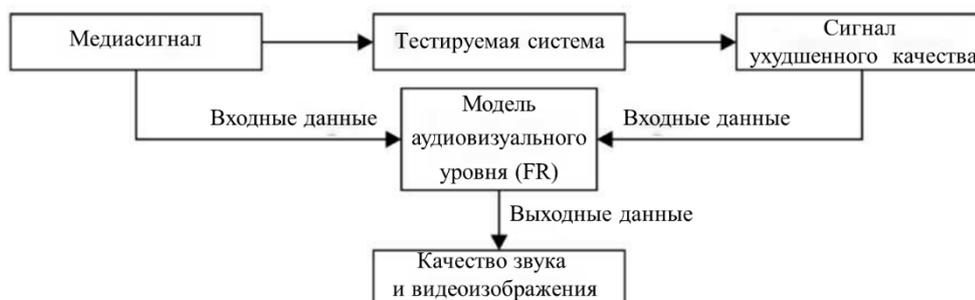
3.1.2 Критерии объективной оценки

Объективная оценка направлена на исследование пользовательского опыта и проводится на основе количественных показателей качества, представленных моделью компьютерного алгоритма. Применяя данный метод, можно гибко выбрать систему объективных, комплексных, реальных и стандартных показателей в зависимости от сценария. Метод моделирования опыта восприятия сервисов Huawei Cloud VR основан на объективной оценке.

С точки зрения объективной оценки, в отрасли используются методы на основе полностью эталонной модели (FR), ограниченной эталонной модели (RR) и модели без эталона (NR). Согласно протоколу ITU-T G.1011 описание моделей выглядит следующим образом:

- Метод FR

Все оригинальное изображение или видео используется в качестве эталона, с которым сравнивается ухудшенное изображение или видео.



- Метод RR

Здесь не требуется все оригинальное изображение или видео, а только его типовые характеристики. В качестве входных данных этого метода используется результат сравнения урезанных данных оригинального изображения или видео с соответствующими данными ухудшенного изображения или видео.



- Метод NR

В данном методе объективной оценки не требуется все оригинальное изображение или видео. Качество оценивается по данным, включенным в соответствующий медиапоток изображения или видео.



В следующей таблице перечислены стандарты, на основе которых составлены рекомендации по использованию данных трех методов на примере потокового видео.

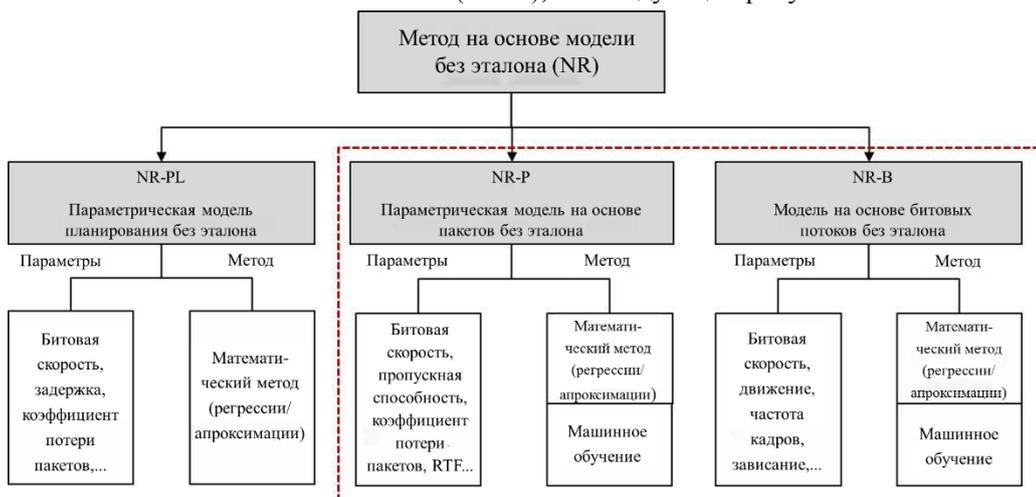
	Тип	Стандарт	Описание
FR	Модель на основе мультимедиа	[J.144] (SD) [J.247] (QCIF, CIF, VGA) [J.341] (HD)	В данной модели используется интрузивный метод оценки качества. Модель применяется в сценариях DT и CQT. Метод считается дорогим.
RR	Модель на основе пикселей	[J.249] (SD) [J.246] (QCIF, CIF, VGA) [J.342] (HD)	В данной модели анализ и обработка изображения осуществляются методом декодирования пакетов видеоданных в сигналы. Это очень дорогой метод.
NR	Модель на основе планирования	[G.1070] (NB/WB) [G.1071]	В данной модели используется неинтрузивный метод оценки качества. Модель применяется для сервисов IPTV. В учет берутся только сетевые параметры.
	Модель на основе пакетов /битовых потоков	[P.1201] [P.1202] [P.1203]	В данной модели используется неинтрузивный метод оценки качества и поддерживается оценка на основе терминалов и на основе сетей с вводом данных. Модель применяется в сервисных сценариях.

3.1.3 Выбор модели компанией Huawei

В коммерческих сценариях применения методы FR и RR сильно ограничены. Ограничения заключаются в следующем:

- Целесообразность. Требуются оригиналы видео и изображения. Методы не применяются в сценариях, в которых управление опытом необходимо выполнять для всех видео.
- Безопасность. Видеоконтент должен проходить синтаксический анализ (парсинг), что подвергает сеть определенному риску.
- Эффективность. Стоимость методов FR и RR высокая, а их эффективность низкая. Для достижения ожидаемого результата необходимо много времени, что не подходит сетевым операторам и контент-провайдерам, которым требуется быстрая оценка и оперативные меры улучшения качества сети и видео.

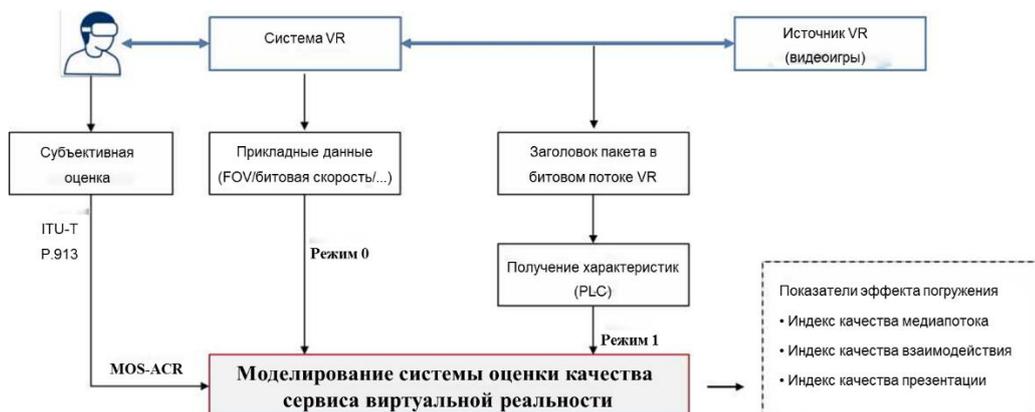
Метод NR не требует оригинала видео или изображения и обладает большей гибкостью и универсальностью. Данный метод, в основе которого лежат объективные данные и математическая теория, вызывает большой интерес с точки зрения применения и исследований. При оценке качества видео на основе метода NR применяются следующие модели: Параметрическая модель планирования без эталона (NR-PL), Параметрическая модель на основе пакетов без эталона (NR-P) и Модель на основе битовых потоков без эталона (NR-B), см. следующий рисунок.



ITU-T отдает предпочтение методу NR, научные сообщества предпочитают комбинировать NR-P/NR-B с математическими методами и машинным обучением

Согласно наблюдаемой в МСЭ-T и научных сообществах тенденции популяризации метода без эталона, основными направлениями развития считаются модели NR-P и NR-B, в которые постепенно включаются алгоритмы машинного обучения.

Huawei разрабатывает гибридную модель NR-P и NR-B на основе структуры P.1203 и характеристик сервисов виртуальной реальности.

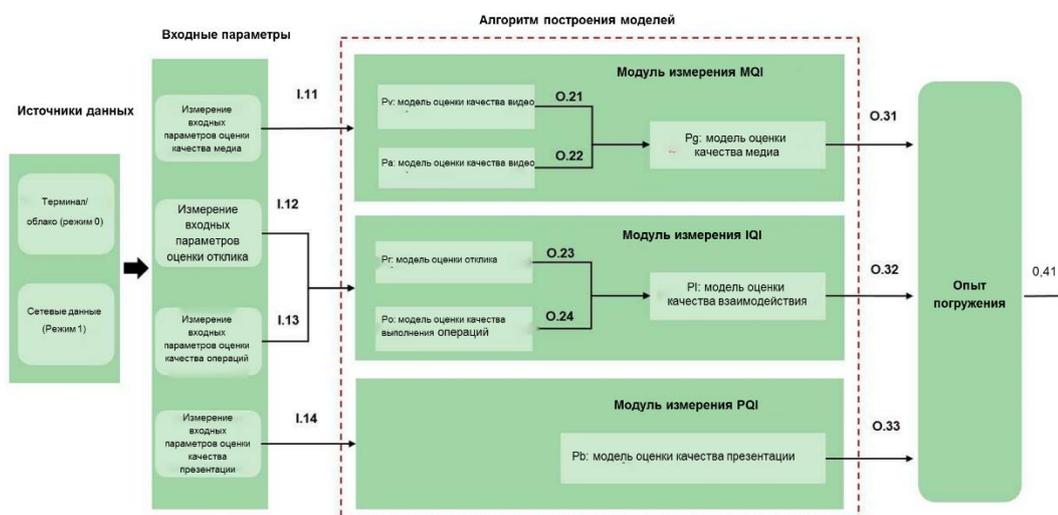


Модель обладает следующими достоинствами:

- В основе модели лежат принятые стандарты и структуры (G.QOE- VR/TR 26.929/P.1203).
- С учетом технической оснащенности хранения данных у сетевых операторов и контент-провайдеров, данная модель поддерживает сбор данных в режиме устройство-облако (режим 0) и в сети оператора (режим 1).
- Чтобы максимально соблюсти требования к моделированию сервисов, используются несколько типов входных параметров: на уровне мультимедиа (исходные характеристики видео, такие как разрешение, скорость передачи в битах, частота кадров и FOV), на уровне заголовка пакета (тип кадра и размер кадра) и на транспортном уровне (коэффициент потери пакетов, задержка и RTT).
- Учитывая указанные в спецификациях ключевые факторы, к входным данным модели добавляются такие ключевые параметры, как показатель краткосрочного ухудшения и показатель постоянного ухудшения качества сети, таким образом, модель лучше адаптируется к сценариям выявления проблем у операторов и оптимизации качества.
- С точки зрения алгоритма, в этой модели наряду с традиционным математическим методом аппроксимации применяется отработанный метод машинного обучения, который позволяет добиться более высокой надежности и способности обобщения.

3.2 Моделирование структуры

3.2.1 Общая структура



- **[Вводные данные модели]**
 - I.11: вводные данные модуля измерения качества мультимедиа
 - I.12: вводные данные модуля измерения отклика
 - I.13: вводные данные модуля измерения качества выполнения операций
 - I.14: вводные данные модуля измерения качества презентации
- **[Выходные данные модели]**
 - O.21: оценка качества видео в каждый период измерения. Данная оценка выводится в каждом окне каждого сеанса. Оценка выставляется по шкале от 0 до 100.
 - O.22: оценка качества звука в каждый период измерения. Данная оценка выводится в каждом окне каждого сеанса. Оценка выставляется по шкале от 0 до 100.
 - O.23: оценка отклика в каждый период измерения. Данная оценка выводится в каждом окне каждого сеанса. Оценка выставляется по шкале от 0 до 100.
 - O.24: оценка качества выполнения операций в каждый период измерения. Данная оценка выводится в каждом окне каждого сеанса. Оценка выставляется по шкале от 0 до 100.
 - O.31: оценка мультимедиа в каждый период измерения. Данная оценка выводится в каждом окне каждого сеанса. Оценка выставляется по шкале от 0 до 100.
 - O.32: оценка качества взаимодействия в каждый период измерения. Данная оценка выводится в каждом окне каждого сеанса. Оценка выставляется по шкале от 0 до 100.
 - O.33: оценка качества презентации в каждый период измерения. Данная оценка выводится в каждом окне каждого сеанса. Оценка выставляется по шкале от 0 до 100.
 - O.41: оценка качества погружения в каждый период измерения. Данная оценка выводится в каждом окне каждого сеанса. Оценка выставляется по шкале от 0 до 100.

3.2.2 Источники данных и входные параметры

3.2.2.1 Способы получения источников данных

Способ	Источник данных	Сценарий применения
0	Терминал/облако: данные приложения или мультимедийные данные получают от терминала или облачного сервера.	Данный способ применяется, если в терминал или облачный сервер встраивается SDK, и в этом случае измеряется реальное восприятие пользователя.
1	Сеть: каналные данные получают с каналов операторской сети.	Данный способ применяется, если в сети развертываются измерительные зонды каналов, и в этом случае анализируется только качество работы каналов.

3.2.2.2 Входные параметры

- I.11–входные параметры качества мультимедиа

Входной параметр	Значение	Частота получения параметра	Источник данных	Модуль
Частота обновления экрана	Целое число	Один сеанс	Режим 0 Данные устройства	Pv: модель оценки качества видео
Разрешение экрана	Длина x ширина (2880 x 1600)	Один сеанс		
FOV	Целое число	Один сеанс		
Битовая скорость видео	Плавающая величина, кбит/с	На сегмент	Режим 0 Информация мультимедиа	
Скорость передачи видеок кадров	Целое число	На сегмент		
Период измерения	Плавающая величина, мс	На сегмент		
Разрешение видео	Длина x ширина (2880 x 1600)	На сегмент		
Профиль и кодек видео	Один из форматов: H264-baseline, H264-high, H264-main	Один сеанс		
Номер видеок кадра	Целое число начиная с 1. Обозначает порядковый номер кадра в последовательности кодирования.	На кадр		
Длительность видеок кадра	Плавающая величина, мс	На кадр		
Временная отметка представления кадра	Временная отметка представления кадра	На кадр		
Временная отметка декодирования кадра	Временная отметка декодирования кадра	На кадр		
Размер видеок кадра	Размер закодированного видеок кадра в байтах	На кадр		
Тип видеок кадра	I или Non-I для режима 1 I/P/B для режимов 2, 3	На кадр		

Входной параметр	Значение	Частота получения параметра	Источник данных	Модуль
Среднее значение пропускной способности	Плавающая величина, кбит/с	На сегмент	Режим 1 Сетевые данные	
Колебания пропускной способности	Плавающая величина, кбит/с	На сегмент		
Максимальная пропускная способность	Плавающая величина, кбит/с	На сегмент		
Максимальный размер всплеска трафика	Плавающая величина, кбайт	На сегмент		
Количество импульсов пакетной передачи	Целое число	На сегмент		
Период измерения	Плавающая величина, мс	На сегмент	Режим 0 Информация мультимедиа	Ра: модель оценки качества видео
Битовая скорость аудио	Плавающая величина, кбит/с	На сегмент		
Номер аудиокадра	Целое число	На сегмент		
Размер аудиокадра	Плавающая величина, кбайт	На кадр		
Длительность аудиокадра	Плавающая величина, мс	На кадр		
Аудиокодек	Один из форматов: AAC-LC, AAC-HEv1, AAC-HEv2, AC3	На сегмент		
Частота дискретизации для передачи звуковых сигналов	Целое число, Гц	На сегмент		
Количество аудиоканалов	Целое число	На сегмент		
Битовый аудиопоток	Плавающая величина, кбайт	На кадр		

• I.12–входные параметры величины отклика

Входной параметр	Значение	Частота получения	Источник данных	Модуль
Задержка MTS	Плавающая величина, мс	На сегмент	Режим 0 Информация мультимедиа	Pr: модель оценки отклика
Задержка MTP	Плавающая величина, мс	На сегмент		
Частота появления черной границы (BLR)	Плавающая величина, %	На сегмент		
Задержка N-MTP	Плавающая величина, мс	На сегмент	Режим 1 Сетевые данные	
Колебания задержки N-MTP	Плавающая величина, мс	На сегмент		
Частота появления краткосрочной задержки	Плавающая величина, %	На сегмент		
Среднее время на передачу и подтверждение приема в восходящем направлении (UL RTT)	Плавающая величина, мс	На сегмент		
Среднее время на передачу и	Плавающая величина, мс	На сегмент		
Процент измерений RTT при всплеске	Плавающая величина, %	На сегмент		
Колебания RTT	Плавающая величина, мс	На сегмент		

- I.13–входные параметры качества выполнения операций

Входной параметр	Значение	Частота получения параметра	Источник данных	Модуль
Степень свободы (DOF) движения головой	Целое число, 0,3,6	Один сеанс	Режим 0 Данные устройства	Ро: модель оценки качества взаимодействия
DOF движения рукой	Целое число, 0,3,6	Один сеанс		
DOF движения телом	Целое число, 0,3,6	Один сеанс		
Вес виртуального шлема (HMD)	Целое число, граммы	Один сеанс		
Точность положения пользователя в пространстве	Целое число, сантиметры	Один сеанс		
Устройство взаимодействия	ENUM, джойстик, клавиатура и мышь, без контроллера	Один сеанс		

- I.14–входные параметры качества презентации

Входной параметр	Значение	Частота получения параметра	Источник данных	Модуль
Общая длительность	Плавающая величина, мс	Один сеанс	Режим 0 Данные кэша приложения	Рв: модель оценки качества презентации
Задержка загрузки	Плавающая величина, мс	Один сеанс		
Время начала затормаживания/зависания	Плавающая величина, мс	На событие		
Время окончания затормаживания/зависания	Плавающая величина, мс	На событие		
Время появления мозаики и других подобных помех видеоизображения	Плавающая величина, мс	На событие		

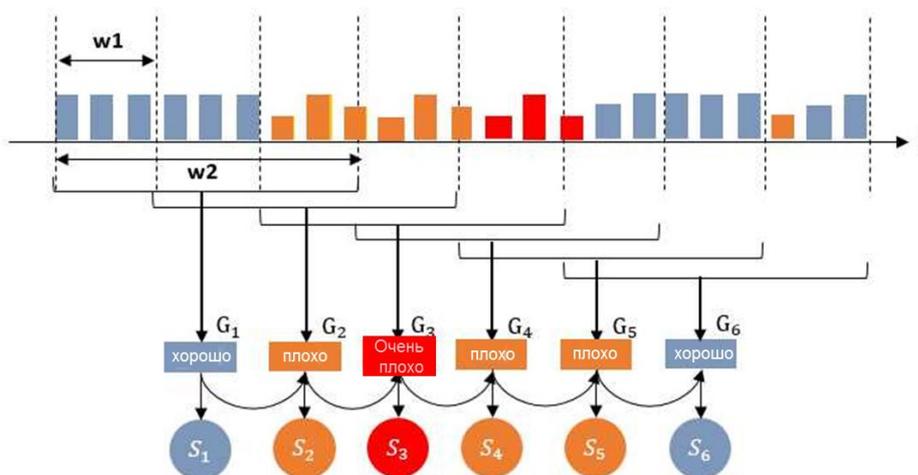
Входной параметр	Значение	Частота получения параметра	Источник данных	Модуль
Время исчезновения мозаики и других подобных помех видеоизображения	Плавающая величина, мс	На событие		
Задержка с момента отправки сообщения SYN до момента получения сообщения ACK	Плавающая величина, мс	Один сеанс	Режим 1 Сетевые данные	
Задержка с момента отправки сообщения SYNACK до момента получения сообщения ACK	Плавающая величина, мс	Один сеанс		
Задержка с момента получения сообщения ACK до момента отправки первого пакета данных	Плавающая величина, мс	Один сеанс		
Средний коэффициент потери пакетов	Плавающая величина, %	На сегмент		
Коэффициент потери пакетов при пиковой скорости	Плавающая величина, %	На сегмент		
Частота интервалов пиковой скорости	Плавающая величина, %	На сегмент		
Среднее время на передачу и подтверждение приема в нисходящем направлении (DL RTT)	Плавающая величина, мс	На сегмент		
Частота измерений RTT при всплеске	Плавающая величина, %	На сегмент		
Колебания RTT	Плавающая величина, мс	На сегмент		
Количество импульсов пакетной передачи	Целое число	На сегмент		

Входной параметр	Значение	Частота получения параметра	Источник данных	Модуль
Среднее значение пропускной способности	Плавающая величина, кбит/с	На сегмент		
Колебания пропускной способности	Плавающая величина, кбит/с	На сегмент		
Максимальная пропускная способность	Плавающая величина, кбит/с	На сегмент		

3.2.3 Алгоритм построения модели

3.2.3.1 Универсальный механизм измерения

В данном разделе приводится описание универсальных механизмов, используемых для измерения трех показателей качества: механизм «скользящее окно», механизм «эффект недавности» и механизм «остаточный эффект восприятия».

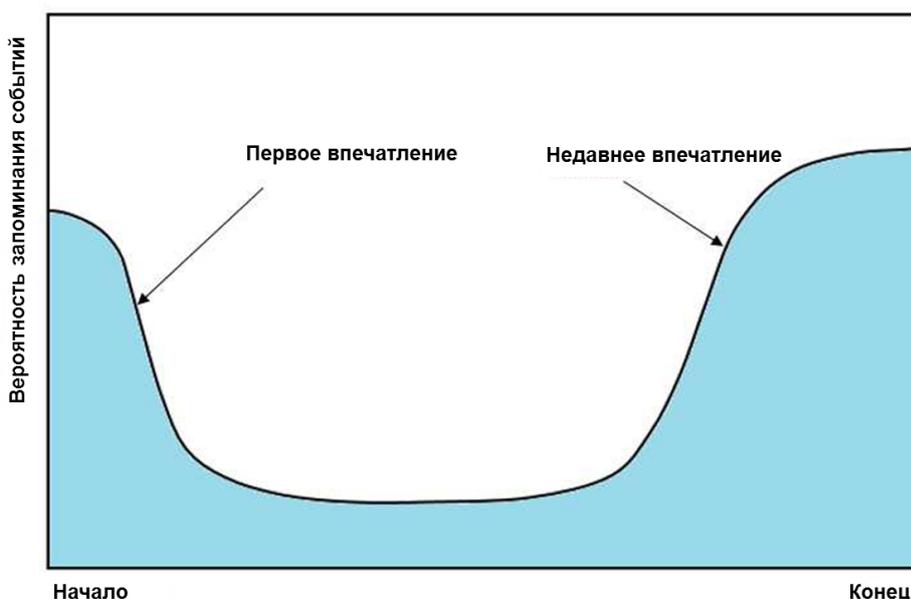


- Описание механизма «скользящее окно»

Понятие «окно» в данном механизме означает диапазон времени (w_2 на рисунке выше), выбранный для измерения. Весь процесс восприятия пользователя делится на несколько окон (временных диапазонов), в которых выполняется измерение. Такой подход полнее отражает качество используемого сервиса. Понятие «скользящий» в данном механизме означает, что каждое движение в измеряемом окне выполняется с временным шагом (w_1 на рисунке выше). Величина скольжения окна настраивается.

- Описание механизма «эффект недавности»

Суть механизма заключается в том, что более глубокие впечатления у пользователей держатся от недавно полученной информации. То есть при выполнении оценки более «свежая» информация имеет больший вес, чем информация, представленная ранее. Механизм скользящего окна измеряет качество сервиса в каждом диапазоне времени с получением оценки (G_i). Однако с течением времени к завершению использования сервиса оценка (G_i), полученная в первом диапазоне времени, минимально влияет на субъективные ощущения.



В механизме эффекта недавности применяется классический метод оценки с использованием показателя EWMA (экспоненциально взвешенное скользящее среднее), отражающего, как весовой коэффициент каждого значения экспоненциально уменьшается со временем. Чем ближе текущее время, тем больше весовой коэффициент. Поэтому опыт в текущий момент времени t можно рассчитать по следующей формуле:

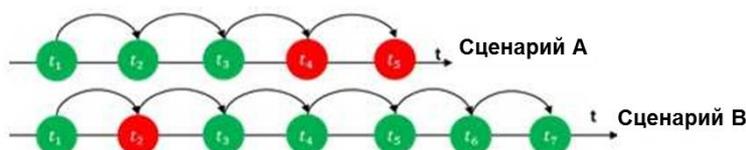
$$S_t = \beta S_{t-1} + (1-\beta)G_t$$

В данной формуле G_t — это индекс качества полученного сервиса, измеренный в окне t (время t), β — взвешенный коэффициент, а S_t — общий индекс качества полученного сервиса по времени t .

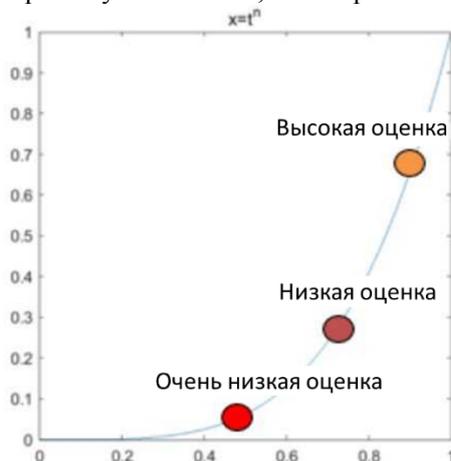
- Описание механизма «остаточный эффект восприятия»

Сценарии:

- Сценарий А. Несмотря на хорошие впечатления от сервиса в начале его использования, пользователи в большинстве случаев отказываются от него, если дальше продолжительное время его качество будет плохим.
- Сценарий В. Несмотря на хорошую оценку сервиса в целом, случайный плохой опыт, полученный в прошлом периоде, ухудшает окончательную оценку качества.



Пользователи запоминают больше плохие впечатления. Это явление называется остаточным эффектом восприятия. Поэтому при вычислении окончательного S_t результата оценки качества необходимо усилить окончательные впечатления от сервиса предыдущим плохим опытом. Для обработки периодических результатов вычисления используется функция $f(x)=x^n, x \in [0,1]$. Плохие впечатления таким образом усиливаются, а на хороших впечатлениях это несильно отражается.

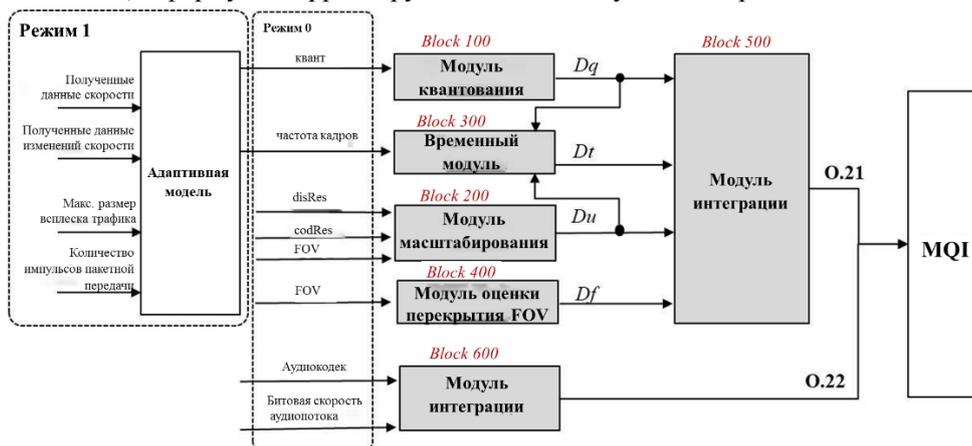


Функция EWMA, оптимизированная функцией n , выглядит следующим образом:
 $S_t = \beta S_{t-1} + (1-\beta)G_t n$

В данной формуле применен алгоритм EWMA в сочетании с остаточным эффектом восприятия и эффектом недавности.

3.2.3.2 Модуль измерения MQI

В основе моделирования оценки качества видео и аудио лежит идея, отраженная в спецификациях ITU-T P.1203. К основным параметрам добавляются характеристики PPD и FOV, и формулы корректируются соответствующим образом.



- Режим 0. Если у операторов есть возможность получить входные параметры от терминалов и облачных серверов, данный режим применяется для вычисления качества мультимедиа, полученного пользователями.

В сценариях просмотра видео и виртуальных игр для оценки требуется получить данные от шлема: разрешение, FOV, битовую скорость и частоту кадров.

- Режим 1. В большинстве случаев операторы связи располагают только объективно измеренными входными параметрами и не могут получить входные данные от игрока. В этом случае оценка качества мультимедиа в сервисах виртуальной реальности выполняется на основе показателей измерения сетевых характеристик, в том числе пропускной способности, колебания пропускной

способности и импульсов. Такие данные используются в режиме 1 оценки качества. Данные измерений адаптируются, и далее генерируется информация, эквивалентная той, которая используется в режиме 0. Для данных используются значения по умолчанию, за исключением сгенерированной эквивалентной информации.

ПРИМЕЧАНИЕ

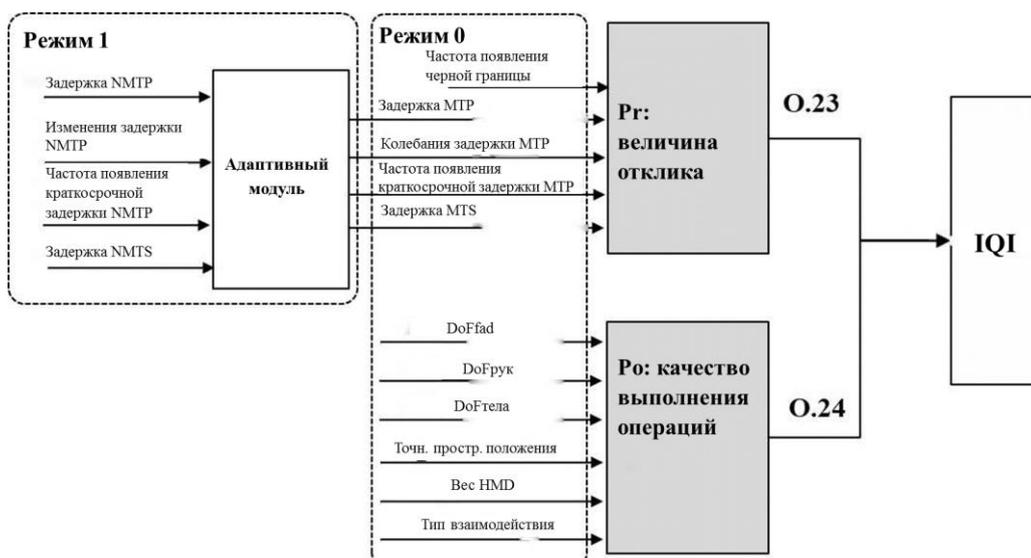
- Block 100: используется для описания ухудшения качества на основе определенной части информации от источника контента. Входные данные включают, в основном, разрешение, битовую скорость и частоту кадров источника. Dq означает ухудшение.
- Block 200: используется для описания ухудшения качества мультимедиа на основе пространственной информации. Входные данные включают разрешение источника, разрешение устройства и FOV. Метод оценки заключается в вычислении степени ухудшения качества мультимедиа в сервисе виртуальной реальности на основе PPD. Человеческий глаз воспринимает сервисы виртуальной реальности объемно, а не как обычное видео, которое воспринимается плоско. Чем больше значение PPD, тем лучше качество отображения в виртуальной реальности. Du означает ухудшение.
- Block 300: используется для описания ухудшения качества мультимедиа на основе временной информации. Входные данные — частота кадров. Также здесь учитываются Dq and Dt означает ухудшение.
- Block 400: используется для описания ухудшения качества мультимедиа на основе эффекта блокировки. Входные данные — FOV. Если FOV меньше максимального поля зрения, охватываемого человеческим глазом, пользователь может ощущать, что изображение перекрыто. Df означает ухудшение.

В спецификациях определено оптимальное значение FOV, равное 210 градусам. Данная характеристика делится на три составляющие. Центральный угол обзора должен составлять 60 градусов, дополнительные углы по бокам должны быть по 30 градусов, граничный FOV одного глаза должен быть 35 градусов. В настоящее время угол обзора шлема виртуальной реальности начального уровня составляет 90 градусов, а более высокого уровня — 110 градусов. Данное значение включает только центральный угол обзора и не включает боковые углы. Такой шлем не достигает стандарта сервисов виртуальной реальности, равный 120 градусам. Стандартом зрелости данной технологии является 210 градусов.

- Block 500: используется для описания влияния предшествующего ухудшения на качество мультимедиа VR. Входные данные — сумма значений предшествующих ухудшений. Выходные данные — оценка качества видео O.21.
- Block 600: в соответствии со спецификациями P.1203 рекомендуется в качестве входных данных использовать частоту кадров, а в качестве выходных данных — оценку качества аудио O.22.
- Если в режиме 1 нет входных данных на уровне приложения, таких как разрешение и частота кадров, для оценки качества можно использовать модуль адаптации, который преобразует входные данные во входные параметры блоков данных 100 и 400 на основе измеренных параметров канала.

3.2.3.3 Модуль измерения IQI

Данный показатель применим в сценариях взаимодействия пользователя с графическим интерфейсом, например в играх виртуальной реальности. На опыт взаимодействия влияют следующие факторы: величина отклика (O.23) и качество выполнения операций (O.24).



- Режим 0. Если у операторов есть возможность получить входные параметры от терминалов и облачных серверов, данный режим применяется для вычисления качества взаимодействия между пользователями и VR-системой.

В сценариях виртуальных игр для оценки требуется получить данные от шлема: задержку взаимодействия, BLR и DOF.

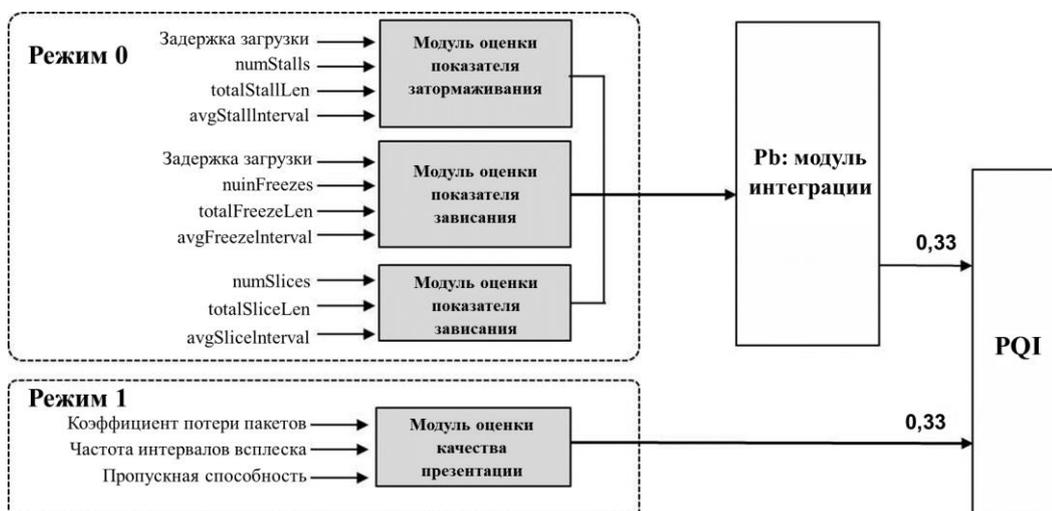
- Режим 1. В большинстве случаев операторы связи располагают только объективно измеренными входными параметрами и не могут получить входные данные от игрока. В этом случае оценка качества взаимодействия пользователя выполняется на основе показателей измерения сетевых характеристик, в том числе величины сетевой задержки.

- P_г: величина отклика. Отражает степень влияния сетевой задержки на пользовательский опыт.

Если в режиме 1 нет входных данных от терминалов и облачных серверов, для оценки качества можно использовать модуль адаптации, который преобразует входные данные во входные параметры, соответствующие модели оценки отклика на основе измеренных параметров канала.

- P_о: качество выполнения операций. Используется для измерения удобства, простоты и комфорта использования терминалов. Данный показатель качества нельзя измерить на стороне сети. Показатель измеряется на основе информации от терминалов, которая используется в качестве входных данных.

3.2.3.4 Модуль измерения PQI



При вычислении данного показателя используются следующие режимы получения исходных данных:

- Режим 0. Если у операторов есть возможность получить входные параметры от терминалов и облачных серверов, данный режим применяется для определения опыта зрительного восприятия, который пользователи получают при просмотре видео или игровых изображений.
 - В сценарии просмотра видео требуется получить информацию от пользователя: по исходной задержке буферизации и по затормаживанию видео.
 - В игровом сценарии требуется получить информацию от шлема: по зависанию и появлению мозаики и других подобных помех видеоизображения (зависание оценивается вместе с торможением).
- Режим 1. В большинстве случаев операторы связи располагают только объективно измеренными входными параметрами и не могут получить входные данные от игрока. Поэтому для оценки качества презентации можно использовать Метод наименьшего удаления от оптимального решения (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution; TOPSIS).

3.2.3.5 Оценка эффекта погружения

Данная оценка складывается из значений MQI, IQI и POI.

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

Весовой коэффициент ω получают с помощью алгоритма «случайный лес» (Random Forest). Коэффициент можно изменять.

4 Проверка работы модели

4.1 Процедура тестирования

Данный тест проводился 30 специалистами лаборатории Huawei Open Lab более 600 раз. Общая длительность тестирования составила 6500 минут.

4.2 Цель проверки

Цель проверки работы модели заключается в следующем:

Проверка точности модели. Точность измеряется на основе корреляционной зависимости между показателями оценки опыта (MQI, IQI и PQI), вычисленными с помощью модели, и показателя субъективных ощущений MOS.

- Получение стандартных значений ключевых факторов. Устанавливается взаимосвязь между показателями оценки опыта (MQI, IQI и PQI) и каждым ключевым фактором и предоставляется стандартное значение каждого ключевого показателя.

4.3 Результат тестирования модели на точность

Были выбраны два типа сервиса Cloud VR (игры и просмотр видео в виртуальной реальности), оценить которые были предложены пользователю в разных условиях, в результате была получена оценка MOS-ACR. Также были вычислены показатели MQI, IQI и PQI данных сервисов на основе обучающей модели и проанализирована корреляционная зависимость между показателем субъективных ощущений MOS и показателями MQI, IQI и PQI.

После многократной оценки и проверки показатели оценки опыта, вычисленные с помощью текущей модели Huawei, точно отражали изменения в субъективных ощущениях. В следующей таблице представлены данные по корреляционной зависимости между тремя показателями и MOS.

	Игры VR	Видео VR
MQI	<p>Корреляция с MOS: 0,882</p>	<p>Корреляция с MOS: 0,944</p>
IQI	<p>Корреляция с MOS: 0,96</p>	<p>Корреляция с MOS: –</p>
PQI	<p>Корреляция с MOS: 0,925</p>	<p>Корреляция с MOS: 0,948</p>

4.4 Результат тестирования модели и проверки ключевых факторов

Для хорошего восприятия пользователями сервисов Cloud VR рекомендуются следующие значения значения ключевых факторов:

- Видео в облачной виртуальной реальности

Скорость кодирования	Разрешение экрана	Разрешение видео	Задержка загрузки	Частота затормаживания
> 30 Мбит/с	4К	IMAX-4К 360-градусное видео – 8К	< 2с	< 5%

- Игры в облачной виртуальной реальности

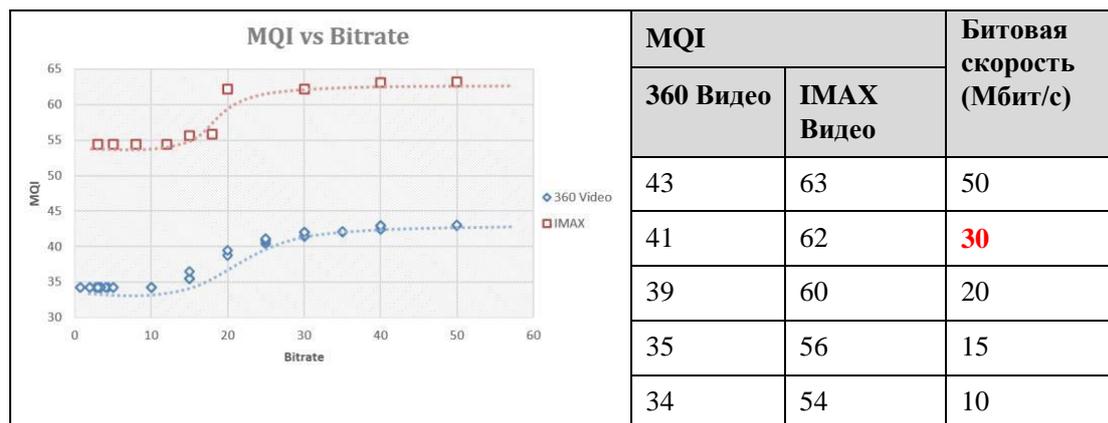
Частота кадров	> 60 FPS
Скорость кодирования	> 50 Мбит/с
FOV	> 100°
Разрешение экрана	4K
Разрешение видео	4K
Задержка MTP	< 100 мс
BLR	< 1%
DOF	> 11
Пропускная способность	> 52 Мбит/с
Колебания пропускной способности	< 2 Мбит/с
Процент потери пакетов	< 0,3%

4.4.1 Видео в облачной виртуальной реальности

4.4.1.1 MQI

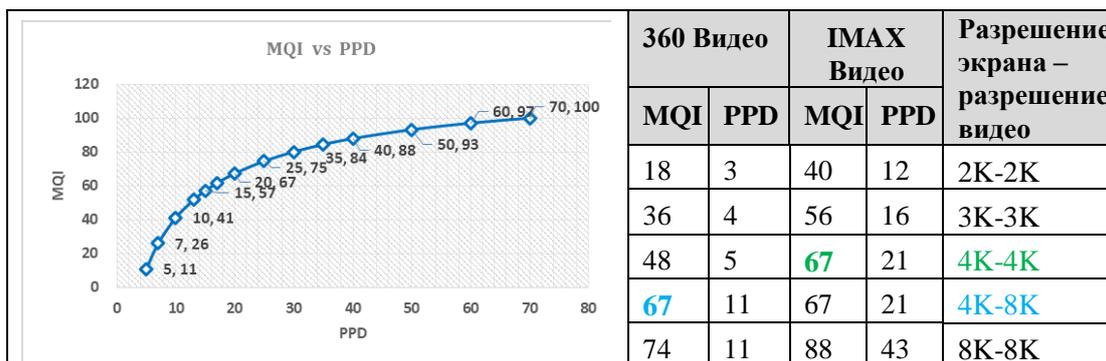
Зависимость между MQI и битовой скоростью

Значительного увеличения показателя MQI для 360-градусного видео и видео IMAX не наблюдается, если битовая скорость превышает 30 Мбит/с. Такая скорость рекомендована для гарантированного выполнения требований пользователя к качеству.



Зависимость между MQI и PPD

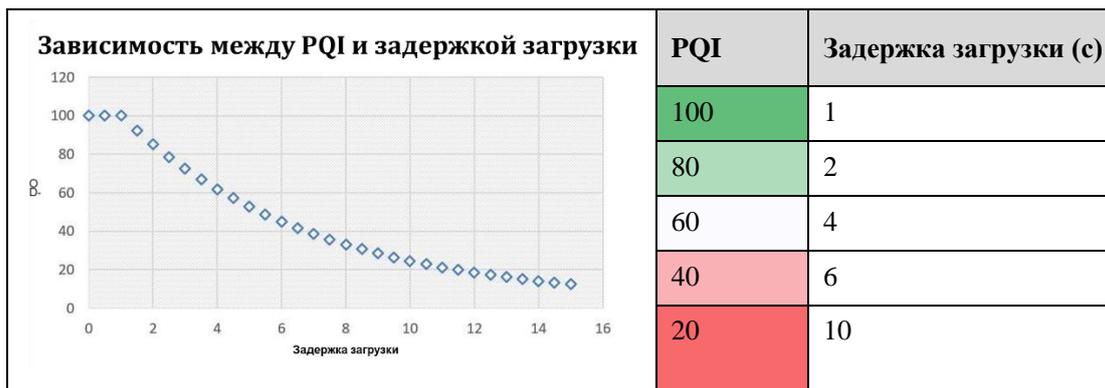
Значение PPD соответствует определенной величине пикселей видеоизображения. Поэтому для улучшения восприятия пользователями 360-градусного видео рекомендуется использовать разрешение экрана и видео, равные 4K и 8K соответственно. Для видео IMAX оба значения разрешения должны быть 4K.



4.4.1.2 PQI

Зависимость между PQI и задержкой загрузки

Обязательным условием для получения хорошего показателя PQI является задержка загрузки менее 2 с (см. следующий график).



Зависимость между PQI и частотой затормаживания

В следующей таблице перечислены типовые значения PQI и частоты затормаживания, зафиксированные при просмотре видео в облачной виртуальной реальности. **Частота затормаживания, не превышающая 5%**, гарантирует хорошее восприятие пользователя.



4.4.2 Игры в облачной виртуальной реальности

4.4.2.1 MQI

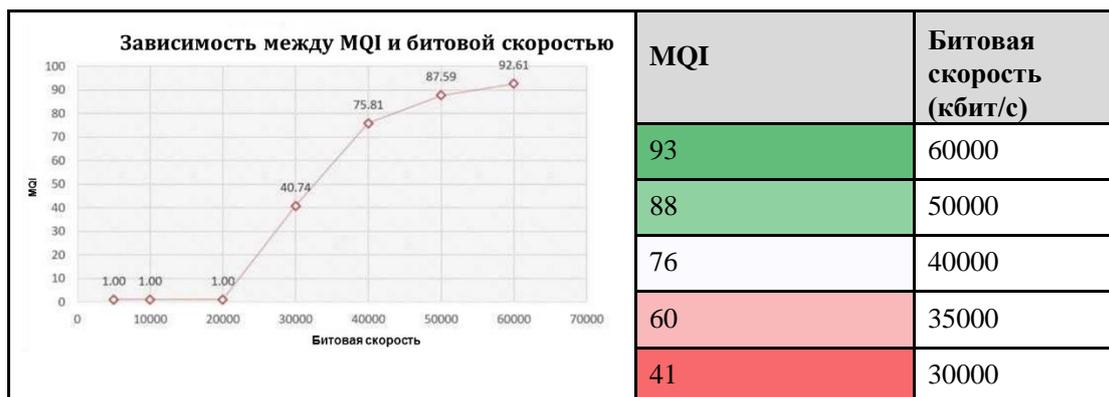
Зависимость между MQI и частотой кадров

Битовая скорость зафиксирована на уровне 50 Мбит/с, и разрешение кодирования, и разрешение экрана равны 2880×1600 , FOV — 110° . Для гарантированного достижения приемлемого восприятия пользователя рекомендуется обеспечить частоту кадров 60 FPS.



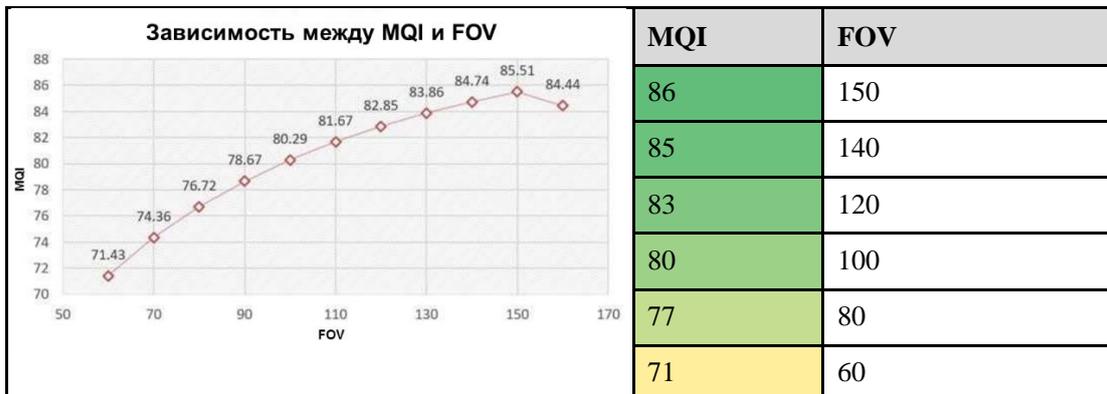
Зависимость между MQI и битовой скоростью

Частота кадров зафиксирована на уровне 25 FPS, и разрешение кодирования, и разрешение экрана равны 2880×1600 , FOV — 110° . Для гарантированного достижения хорошего восприятия пользователя рекомендуется обеспечить битовую скорость 50 000 кбит/с.



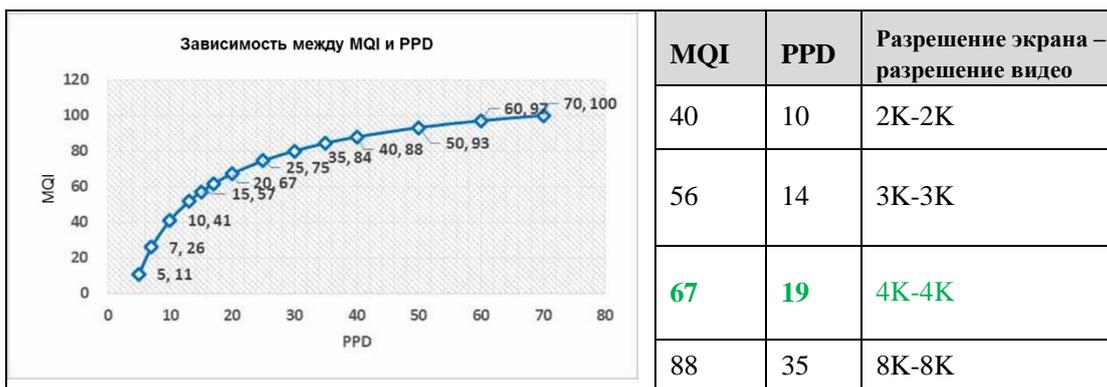
Зависимость между MQI и FOV

Частота кадров зафиксирована на уровне 25 FPS, битовая скорость — 50 Мбит/с, и разрешение кодирования, и разрешение экрана равны 2880×1600 . Диапазон значений FOV — от 100° до 120° , в рамках которого достигается хорошее восприятие пользователя.



Зависимость между MQI и PPD

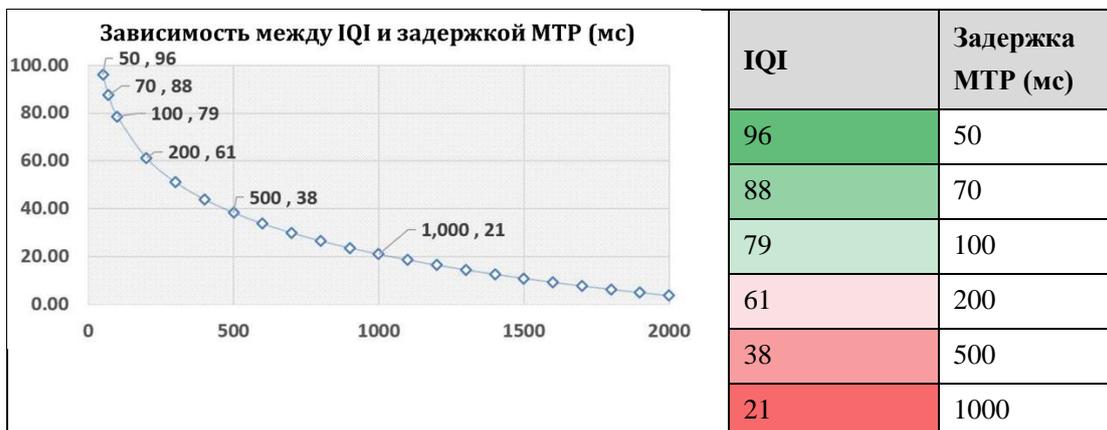
Поэтому для обеспечения хорошего восприятия пользователями игр в облачной виртуальной реальности рекомендуется использовать разрешение экрана и разрешение видео равные 4K.



4.4.2.2 IQI

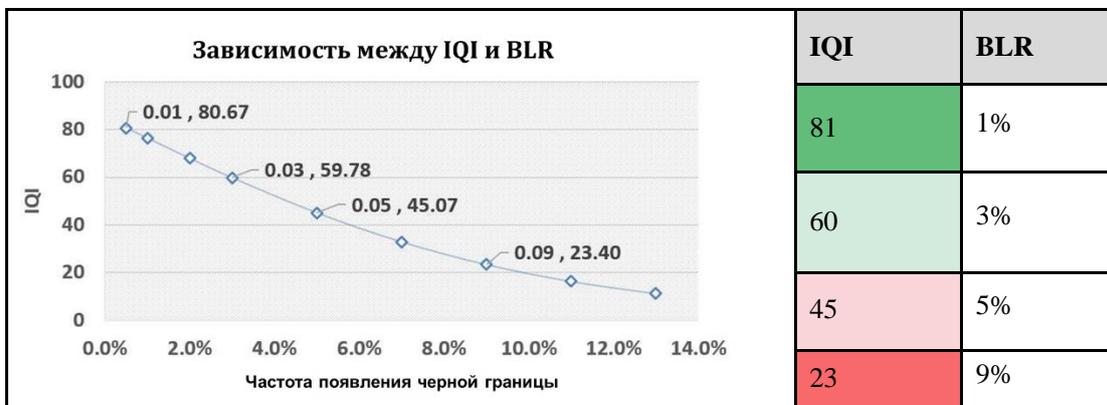
Зависимость между IQI и задержкой MTP

Если задержка MTP не превышает 50 мс, оценка IQI близка к максимальному значению (96 баллов). Если задержка MTP не превышает 70 мс, оценка IQI равна 88 баллам, что означает хорошее восприятие пользователя. Если задержка MTP больше 100 мс, восприятие пользователя плохое.



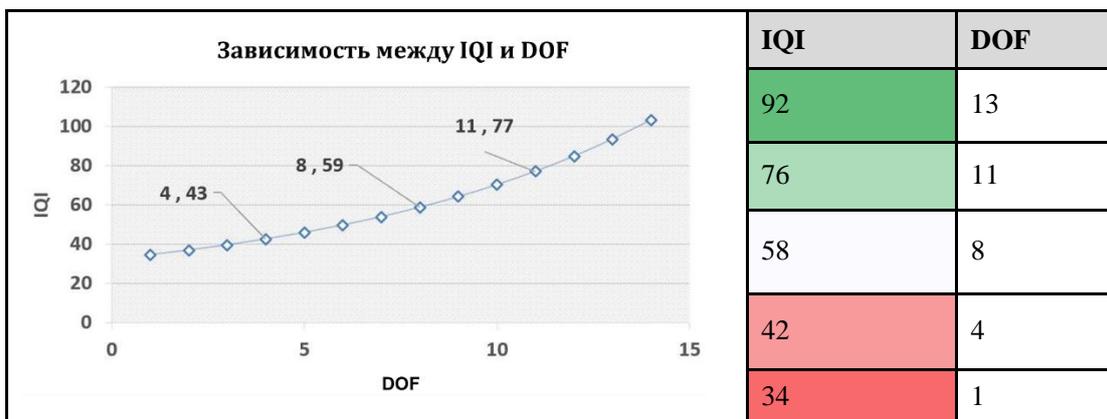
Зависимость между IQI и BLR

Если BLR не превышает 1%, оценка IQI равна 80 баллам. В этом случае пользователь не видит черных границ.



Зависимость между IQI и DOF

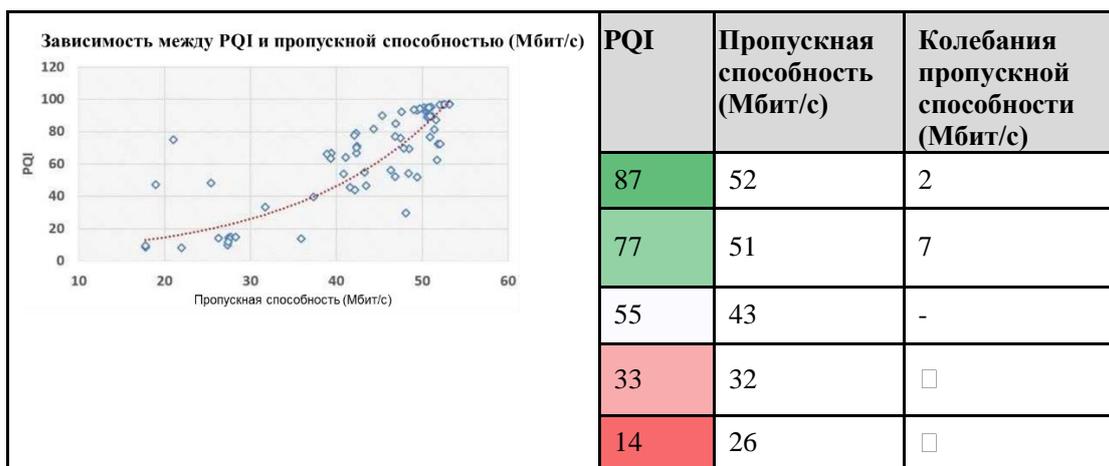
В следующей таблице перечислены типовые значения IQI и DOF, зафиксированные во время игр в облачной виртуальной реальности. Для гарантированного достижения хорошего восприятия игр рекомендуется обеспечить DOF на уровне не ниже 12 градусов.



4.4.2.3 PQI

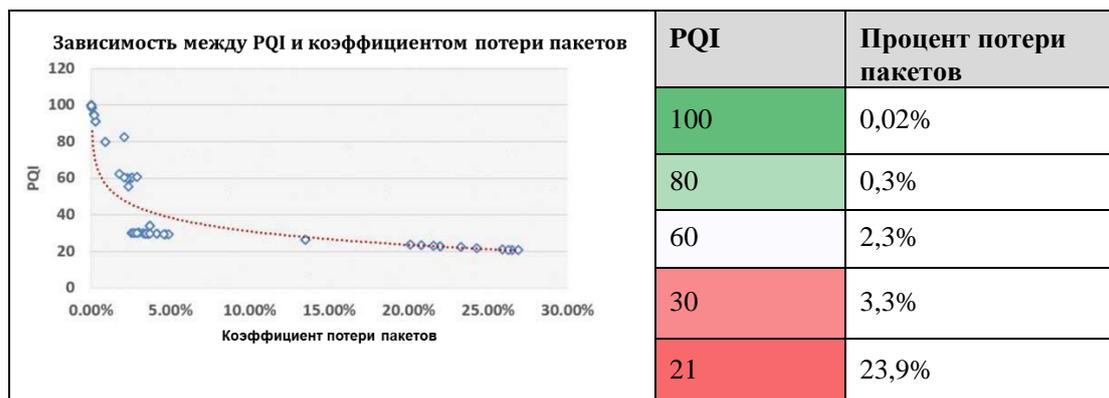
Зависимость между PQI и пропускной способностью

Отличное восприятие пользователя достигается при условии, когда пропускная способность выше 52 Мбит/с, а колебания составляют меньше 2 Мбит/с.



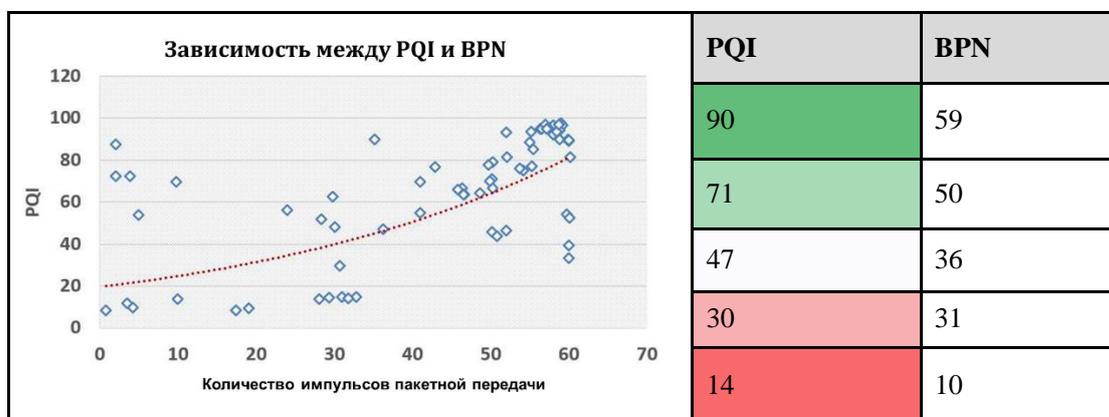
Зависимость между RQI и процентом потери пакетов

Если процент потери пакетов менее 0,02%, восприятие пользователя отличное. Если процент потери пакетов менее 0,3%, восприятие пользователя хорошее.



Зависимость между RQI и BPN

Если значение BPN больше 50, восприятие пользователя хорошее. Если значение BPN равно 59, восприятие пользователя отличное.



5 Список справочной литературы

1. ITU-T P.1203 Параметрическая оценка качества на основе битового потока сервисов последовательной загрузки и адаптивной аудиовизуальной потоковой передачи через надежные транспортные средства — Модуль оценки качества видео.
2. ITU-T Базовая версия G.QoE-VR, реструктурированная на основе WD14.
3. ITU-T P.809 Методы субъективной оценки качества игровых сервисов.
4. ITU-T G.1032 Факторы, влияющие на уровень восприятия игрового сервиса.
5. ITU-T P.913 Методы субъективной оценки качества видеоизображения, звука и аудиовизуального восприятия интернет-видео и вещательного телевидения в любой среде.
6. Q. Huynh-Thu, M. Garcia, F. Speranza, P. Corriveau and A. Raake, "Study of rating scales for subjective quality assessment of high-definition video," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 57. (Хьюн-Чу, М. Гарсия, Ф. Сперанца, П. Корриво и А. Рэйк «Исследование шкал субъективной оценки качества видео высокой четкости», *IEEE «Операции широковещания»*, том 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. (Т. Томинага, Т. Хаяси, Дж. Окамото и А. Такахаши «Сравнение эффективности методов субъективной оценки качества мобильного видео», *Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, июнь 2010.)
8. Huyen T. T. Tran, Nam Pham Ngoc, Cuong T. Phamy, Yong Ju Jungz, 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). (Доклад Хуен Т. Т. Трань, Нам Фам Нгоци, Куонг Т. Фами, Юн Джу Юнгз, Труонг Кон Тханг «Субъективная оценка QoE 360-градусного видео для сервиса виртуальной реальности» на 19-й международном семинаре IEEE 2017, посвященном вопросам обработки мультимедийных сигналов).
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. (Селим Икин, Карел де Фогелеер, Маркус Фидлер, Дэвид Эрман «Влияние изменений задержки пакетов на восприятие видео», 2010 г. 4-й семинар IEEE 2010, посвященный вопросам мобильности пользователей и мобильным сетям.)
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. (Таеван Ким, Дживу Канг, Сангхун Ли «Комбинированная субъективная оценка качества видеоизображения 3D в непрерывном интерактивном режиме». *IEEE «Операции широковещания»*, том 16, №2, февраль 2014 г.)
11. Fr'ed'eric 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. (Фредерик Гуард и Серхио Бекер «На пути к мониторингу отклонений показателей QoE в реальном времени», *annales des télécommunications* 65 (1-2): 59-71, февраль 2010 г.)
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). (М. Саджид Муштак*, Скотт Фаулер†, Брайс Августин*, Абдельхамид Меллук* «QoE в облачных сетях 5G с использованием мультимедийных услуг». Конференция IEEE, посвященная вопросам сетевых технологий и беспроводной связи (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. (Виктор Клинси и Брэндон Уилгор «Субъективная оценка задержки и потери пакетов в облачной игре», 2013 г. 10-я Международная конференция по информационным технологиям нового поколения.)

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. (Kazuhisa Yamagishi NTT Network Technology Laboratories, NTT Corporation, Токио, Япония «Модели оценки QoE сервисов потокового видео», материалы ежегодной конференции APSIPA 2017.)