

УДК 621.397

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.31.4.016](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.31.4.016)

Метод измерения объективного качества передачи видео в одноранговой сети

А.В. Абилов¹, А.В. Чунаев², А.И. Нистюк¹,

¹ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени
М.Т. Калашикова», Ижевск, Российская Федерация

²АО «Эр-Стайл Софтлаб», Москва, Российская Федерация

Резюме: Для передачи видеопотока на широкую аудиторию все большее применение находят одноранговые сети на прикладном уровне модели OSI, обеспечивающие уменьшение нагрузки на сервер источника за счет того, что абонентские хосты не только получают видеопоток, но и ретранслируют его на другие хосты. Случайное отключение хостов от сети приводит к разрывам маршрутов передачи, что может значительно увеличить потери передаваемых фрагментов данных и вызывать потери видеок кадров. Известные методы измерения объективного качества видео используются для оценки видео, подвергнувшегося сжатию, и не учитывают случайные потери видеок кадров при передаче. Потери видеок кадров приводят к тому, что эталонное и переданное видео сдвигаются относительно друг друга на некоторое количество видеок кадров. В этом случае измеренные значения метрик объективного качества передачи видео могут значительно превышать истинные значения, что приводит к погрешностям измерений. В исследовании предлагается метод измерения объективного качества передачи видео, который учитывает потери видеок кадров при передаче в одноранговой сети на основе достижения соответствия между исходным и переданным видеок кадрами. Метод основывается на том, что для достижения истинных значений метрик, оценивающих качество видео, в случае потери кадров производится сдвиг эталонного видео так, чтобы его кадр и кадр оцениваемого видео совпадали. Для исследования эффективности предложенного метода разработан алгоритм измерения объективного качества передачи видео и соответствующее программное обеспечение. Экспериментальные исследования показали, что алгоритм, основанный на предложенном методе, определяет верные видеок кадры для сравнения и, таким образом, не вносит погрешностей в отличие от существующих программных средств измерения объективного качества передачи видео. Это дает возможность проводить достоверную оценку объективного качества передачи видео в одноранговых сетях в условиях интенсивных потерь видеок кадров.

Ключевые слова: одноранговая сеть, качество передачи видео, метрика качества, коэффициент потерь данных, фрагмент данных, видеок кадр.

Для цитирования: Абилов А.В., Чунаев А.В., Нистюк А.И. Метод измерения объективного качества передачи видео в одноранговой сети. *Modeling, optimization and information technology*. 2020;8(4). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=862> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.016 (In Russ).

Objective video transmission quality measurement method in a peer-to-peer network

A.V. Abilov¹, A.V. Chunaev², A.I. Nistyuk¹,

¹Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

²R-Style Softlab, Moscow, Russian Federation

Резюме: For video streaming to a wide audience, peer-to-peer networks at the application level of the OSI model are increasingly used, which reduce the load on the source server due to the fact that subscriber hosts provide not only receiving a video stream, but also its relaying to other hosts. Accidental

disconnection of hosts from the network leads to temporary disruptions in transmission routes, which can lead to significant losses of transmitted data fragments and cause loss of video frames. Known methods for measuring the objective quality of video transmission are used to assess the loss of video quality due to its compression and do not take into account the random loss of video frames during transmission over communication channels. Loss of video frames leads to the fact that the reference and transmitted video may be shifted relative to each other by a certain number of video frames. In this case, the measured values of the metrics of the objective quality of video transmission can significantly exceed the true values, which leads to measurement errors. The study proposes a method for measuring the objective video transmission quality, which takes into account the loss of video frames during transmission in a peer-to-peer network based on achieving a match between the original and transmitted video frames. The method is based on the fact that in order to achieve the true values of the metrics evaluating the video quality, in case of frame loss, the reference video is shifted so that its frame and the frame of the evaluated video coincide. To study the effectiveness of the proposed method, an algorithm for measuring the objective quality of video transmission and the corresponding software have been developed. Experimental studies have shown that the algorithm based on the proposed method determines the correct video frames for comparison and, thus, does not introduce errors, in contrast to the existing software for measuring the objective quality of video. This makes it possible to conduct a reliable assessment of the objective quality of video transmission in a peer-to-peer networks under conditions of intense video frame loss.

Ключевые слова: peer-to-peer network, quality of video transmission, metric of quality, data loss ratio, data fragment, video frame.

For citation: Abilov A.V., Chunaev A.V., Nistyuk A.I. Objective video transmission quality measurement method in a peer-to-peer network. *Modeling, optimization and information technology*. 2020;8(4). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=862> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.016 (In Russ).

Введение

Рост спроса на потоковый видеотрафик в сети Интернет требует поиска решений, связанных с проблемой перегрузки каналов сервера этим объемным трафиком. Решением этой проблемы является одноранговая сеть, поскольку часть нагрузки распределяется по клиентским хостам. Однако качество обслуживания на различных участках этой сети может снижаться ввиду таких факторов как неисправности каналов связи или оборудования, переполнение буферов сетевых устройств, отключения клиентских хостов, недостаток пропускной способности каналов и другие. В таких ситуациях могут наблюдаться потери фрагментов данных прикладного уровня модели OSI и нарушение порядка их следования из-за большого разброса в задержках передачи. Одним из наиболее часто используемых метрик оценки качества передачи потоковых данных является коэффициент потерь фрагментов данных, который определяется как отношение количества успешно принятых фрагментов данных к количеству переданных. Так как номера сегментов данных в заголовка протокола RTP транспортного уровня идут в строгой последовательности друг за другом, то по их отсутствию на приемной стороне вычисляется количество последовательно потерянных фрагментов данных, где каждый из них содержит один пакет сетевого уровня. Однако коэффициент потерь фрагментов данных является технический метрикой и не отражает непосредственно качество восприятия видеоконтента. Потери фрагментов данных в передаваемом видеопотоке могут приводить к искажениям при воспроизведении видеоконтента, которые затрудняют либо делают невозможным его просмотр. Следовательно, важным является задача измерения качества восприятия видео, которое может проводится методами объективной или субъективной оценки [1–4]. В основе субъективных техник измерений лежит метод MOS (Mean Opinion Score – усредненная субъективная оценка): видео показывается группе экспертов и их оценки

усредняются. Однако иногда, измерение субъективного качества видео является трудной задачей, так как требует опытных экспертов для его оценки. Такие методы оценки обладают не высокой точностью и требуют большого количества респондентов [5–7]. Методы оценки объективного качества видео основаны на формализованных критериях и метриках и могут применяться при измерении в реальном времени с использованием вычислительных средств [8, 9].

При измерениях объективного качества видео используются наиболее известные метрики, такие как, MSE и производная от нее метрика PSNR, а также более точные метрики SSIM и NQI. При этом необходимо учесть, что при передаче видеопотока видеокадры в случае потерь фрагментов данных могут полностью теряться и, таким образом, эталонное и оцениваемое видео могут оказаться сдвинуты относительно друг друга на некоторое количество кадров. Поэтому измеренные значения метрик могут превышать истинные значения. Известные методы оценки объективного качества видео разработаны для видеофрагментов, подвергшимся сжатию и поэтому не учитывают случайные потери видеокадров при передаче по каналам связи.

В сети Интернет для передачи видеопотока все большее применение находят одноранговые сети на прикладном уровне модели OSI, обеспечивающие трансляцию в реальном режиме времени на большую аудиторию. В этом случае значительно уменьшается нагрузка на корневой источник видеоконтента за счет того, что абонентские хосты обеспечивают не только получение видеопотока, но и его ретрансляцию на другие хосты. При этом основным источником потерь фрагментов данных при трансляции видеопотока как правило является случайное и непреднамеренное отключение хостов от сети, так как это приводит к реконфигурации топологии и временным разрывам маршрутов передачи.

Следовательно решение задачи, связанной с разработкой метода и алгоритма измерения объективного качества видео, учитывающего потери видеокадров при передаче видеоданных и позволяющего повысить точность измерения, является актуальной. Целью исследования является повышение точности измерения объективного качества видео в одноранговой сети передачи видеопотока за счет учета потерь видеокадров при передаче. Для достижения этой цели решается задача разработки метода и алгоритма измерения объективного качества передачи видео, программная реализация и экспериментальное исследование эффективности.

Метрики измерения объективного качества видео

Качество видео (англ. Video quality) – это характеристика восприятия видео, подвергнувшегося каким-либо изменениям (сжатие, передача по каналам связи) по сравнению с оригинальным видео. Для оценки характеристик качества видео могут использоваться объективные и субъективные техники измерений. Наиболее широкое распространение получили следующие метрики, отражающие объективное качество видео: MSE; PSNR; SSIM; NQI [10, 11].

1. Метрика MSE (Mean Squared Error) – среднеквадратическая ошибка, используется для оценки реконструкции кадра по отношению к оригиналу. Для двух видеокадров I и K размером $m \times n$ пикселей значение метрики MSE вычисляется по формуле:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [X(i, j) - Y(i, j)]^2, \quad (1)$$

где $X(i, j)$ и $Y(i, j)$ – значения компоненты яркости пиксела (i, j) для изображения X и Y , соответственно. Значение метрики MSE для видеофрагментов рассчитывается как

среднее значение MSE для соответствующих кадров, из которых состоят сравниваемые видеофрагменты.

2. Метрика PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) – пиковое отношение сигнала к шуму, которое определяется как:

$$\text{PSNR} = 10 \log \frac{\text{MAX}^2}{\text{MSE}}, \quad (2)$$

где MAX – это максимальное значение, принимаемое пикселем изображения. Максимальное значение PSNR устанавливается равным 100 дБ.

Чем больше значение PSNR, тем лучше качество видео. Для вычисления итогового значения для нескольких кадров существует 2 способа: вычисление APSNR (Average Peak Signal to Noise Ratio – среднее пикового соотношения сигнала к шуму) и вычисление OPSNR (Overall Peak Signal to Noise Ratio – общее пикового соотношения сигнала к шуму). В первом случае сначала рассчитывается PSNR для каждого кадра, а затем среднее арифметическое полученных значений метрики. Во втором случае сначала рассчитывается MSE для каждого кадра, затем среднее арифметическое полученных значений метрики MSE, после чего на основании этого среднего значения вычисляется метрика PSNR.

PSNR относится к наиболее традиционному методу объективной оценки качества видео, его недостаток заключается в том, что он не гарантирует совместимости с восприятием человеческого глаза. Более точной метрикой с точки зрения восприятия человеческого глаза является SSIM.

3. Метрика SSIM (Structural Similarity Index) – индекс структурного сходства, который оценивает сходство между двумя изображениями и основан на измерении трех компонентов: сходства яркости, сходства контраста и структурного сходства. Метрика SSIM вычисляется с помощью нескольких окон изображения, в частности, между двумя окнами x и y размера $N \times N$ по следующей формуле:

$$\text{SSIM} = \frac{(2\bar{x}\bar{y} + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)}, \quad (3)$$

где \bar{x} , \bar{y} – среднее значение x и y , σ_x^2 , σ_y^2 – дисперсия x и y , σ_{xy} – ковариация между x и y , $c_1 = (k_1L)^2$, $c_2 = (k_2L)^2$ – две переменных для стабилизации деления с малым знаменателем; L – динамический диапазон значений пикселей; $k_1 = 0,01$ и $k_2 = 0,03$ – поправочные коэффициенты.

Для оценки качества изображения эта формула применяется только по яркости. Максимальное значение SSIM устанавливается равным 1, чем больше значение SSIM, тем лучше качество видео.

4. Метрика NQI (New Quality Index) – новый индекс качества, моделирует искажение изображения как комбинацию трех факторов: потеря корреляции, искажение яркости и искажение контраста. Метрика NQI вычисляется аналогично метрике SSIM как среднее арифметическое нескольких окон одного изображения, в частности, между двумя окнами x и y размера $N \times N$ определяется следующим образом:

$$\text{NQI} = \frac{4\sigma_{xy}\bar{x}\bar{y}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)(\bar{x}^2 + \bar{y}^2)}. \quad (4)$$

Максимальное значение NQI устанавливается равным 1. Чем большее значение NQI, тем лучше качество видео.

Метод измерения объективного качества передачи видео с учетом потерь видеокадров

При оценке качества видео, передаваемого по каналам связи, необходимо учесть, что потери фрагментов данных могут приводить к потерям видеокадров. В таких случаях оригинальное и оцениваемое (передаваемое) видео могут оказаться сдвинуты относительно друг друга на некоторое количество видеокадров. Поэтому измеренные значения известных метрик в этом случае превышают истинные значения. Известные методы оценивания качества видео, не учитывают случайные потери видеокадров, так как преимущественно используются для оценки видео, подвергнутому сжатию. Следовательно, для достижения истинных значений метрик, оценивающих качество передаваемого по каналам связи видео, предлагается метод, основанный на том, что в случае потери видеокадров производится сдвиг оригинального видео так, чтобы его видеокадры совпадали с оцениваемыми видеокадрами.

Метод измерения объективного качества передачи видео на основе достижения совпадения номеров сравниваемых видеокадров, учитывающий их потери при передаче, заключается в следующем. Перед тем, как производить измерение качества видео на основе известных метрик (MSE, PSNR, SSIM, NQI) осуществляется предварительная обработка видео путем покадрового сдвига оригинального видео сначала вперед от текущей позиции на r видеокадров, а затем назад на r видеокадров от этой позиции. Совпадение сравниваемых видеокадров определяется на основании метрики измерения. В результате сдвиг производится на тот видеокадр, для которого значение этой метрики оказалось наилучшим с точки зрения качества видеокадра. После предварительной обработки видео поступает на блок измерения качества видео по метрикам. При этом сравнение измеряемого видео с оригинальным производится по видеокадрам с совпадающими порядковыми номерами (Рисунок 1). В качестве измерения качества видео можно применять решения сторонних производителей программного обеспечения.

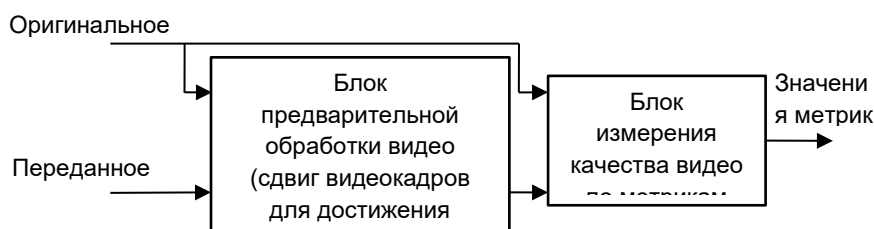


Рисунок 1 – Метод измерения объективного качества передачи видео с учетом потерь видеокадров

Figure 1 – Method for objective video transmission quality measurement, taking into account the loss of video frames

. На основе предложенного метода разработан соответствующий алгоритм предварительной обработки видео, обеспечивающий достижение совпадения сравниваемых видеокадров путем их сдвига, который представлен в виде блок-схемы на Рисунке 2. В представленной блок-схеме $etalon_frame$ и $transmitted_frame$ – номера кадров эталонного и переданного видео, соответственно; d – массив значений метрики MSE при сдвиге эталонного видео; $Dist$ – минимальное значение массива d ; i_{min} – позиция минимального элемента массива d ; $MSE(j,k)$, $SSIM(j,k)$, $NQI(j,k)$ – функции, определяющие значения метрик MSE, SSIM и NQI, соответственно, между эталонным j -

м кадром и переданным k -м кадром, $PSNR(MSE)$ – функция, определяющая значение метрики PSNR исходя из значения метрики MSE.

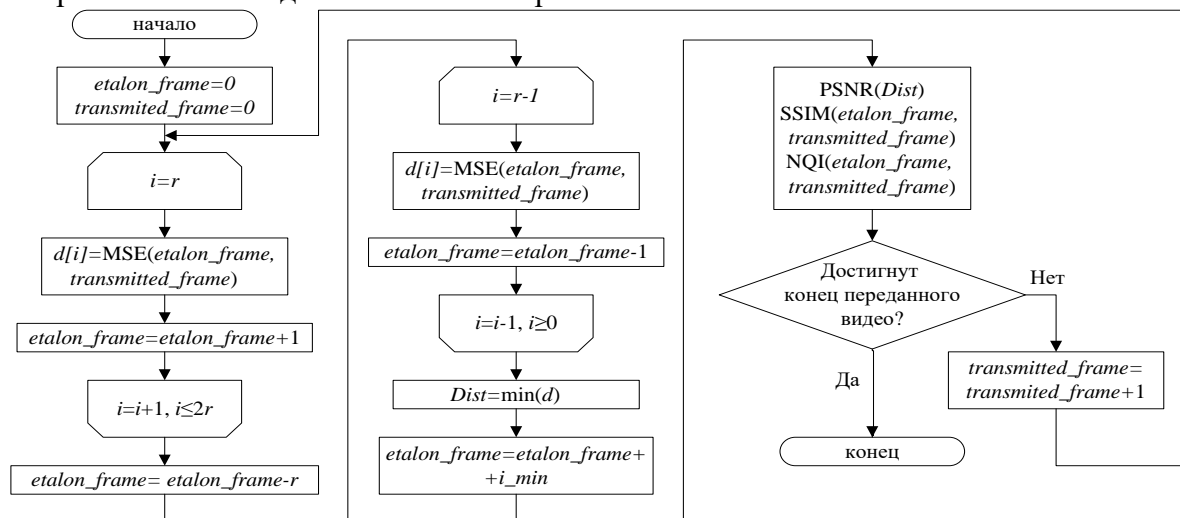


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма предварительной обработки видео с достижением совпадения сравниваемых видеокадров

Figure 2 – Block diagram of the video preprocessing algorithm with the achievement of coincidence of the compared video frames

Для апробации предложенного метода разработано соответствующее программное обеспечение, включающее блок предварительной обработки видео для достижения совпадения сравниваемых кадров и блок измерения объективного качества видео (разработанное программное обеспечение – РПО).

Одноранговая сеть передачи видеопотока

Примером сети, обеспечивающей трансляцию видеопотока на широкую аудиторию, может являться древовидная одноранговая сеть, построенная на прикладном уровне модели OSI. При случайном непреднамеренном отключении хостов возникают разрывы маршрутов передачи в течение промежутка времени до восстановления сетевой топологии. Это приводит к потерям пачек фрагментов данных и, соответственно, к потерям видеокадров. Следовательно подобная сеть подходит для оценки эффективности предложенного метода измерения объективного качества передачи видео на основе достижения совпадения номеров сравниваемых видеокадров. Пример структуры древовидной одноранговой сети показан на Рисунке 3

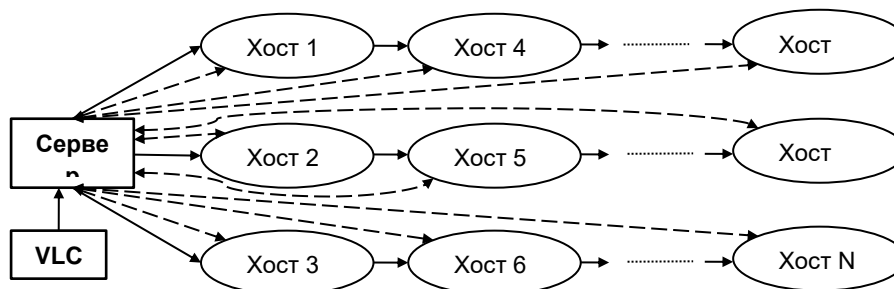


Рисунок 3 – Структура древовидной одноранговой сети передачи видеопотока

Figure 3 – The structure of a tree-like P2P video streaming network

Работу одноранговой сети на прикладном уровне контролирует Сервер, который также является центральным источником видеопотока и содержит базу данных клиентских хостов и структуру их взаимосвязей. Управление сетью осуществляется с помощью специальных сообщений прикладного уровня, которые различаются между собой с помощью поля «Идентификатор». Ограниченное количество клиентских хостов подключаются непосредственно к серверу (например, хосты 1, 2 и 3 на Рисунке 3) и получают от него видеопоток, в то время как остальные хосты получают видеопоток через другие промежуточные хосты. Такие хосты сначала обращаются к серверу (источнику видеоконтента) для получения IP адреса источника. Обмен служебной информацией осуществляется с помощью специальных сообщений (пунктирные линии на Рисунке 3). Одни сообщения содержат IP адрес и порт, куда следует вести передачу, другие – значение коэффициента потерь фрагментов данных (PLR) на сервер. Видеопоток от сервера до клиентских хостов передается по маршрутам, обозначенным сплошными линиями (объем каждого IP-пакета с видеоданными составляет 1328 байт). Изначально видеоконтент захватывается источником с заранее известного порта транспортного уровня модели OSI, на который транслирует видео программный медиасервер VLC. Обмен управляющими сообщениями организован с помощью TCP-сокеты. Видеоконтент передается через UDP-сокеты

С целью имитации потерь фрагментов данных и, соответственно, видеокадров при передаче видеопотока в лабораторных условиях была собрана одноранговая сеть со структурой, включающую одну ветвь, которая функционирует на прикладном уровне модели OSI. На физическом и канальном уровнях модели OSI она состоит из 11-ти персональных компьютеров (хостов), объединенных между собой в локальную сеть с помощью коммутатора серии Cisco Catalyst 2960 (Рисунок 4а). На прикладном уровне модели OSI программно сконфигурирована логическая ветвь одноранговой сети передачи потоковых данных, где первый хост - сервер (Рисунок 4б).

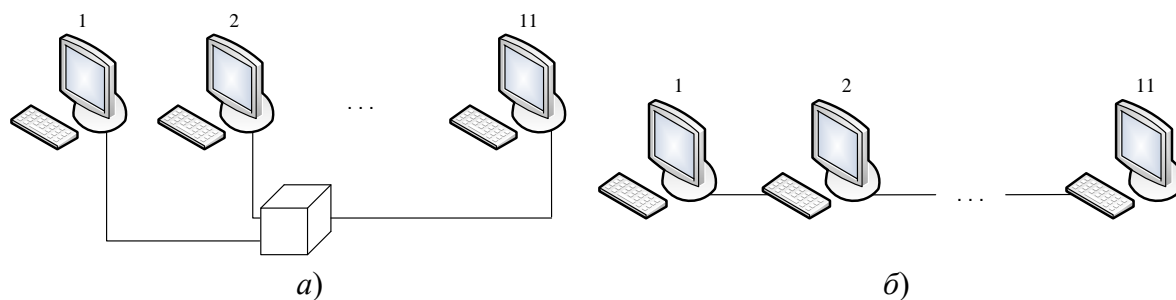


Рисунок 4 – Топология сети:

а) физическая структура сети; б) логическая структура одноранговой сети на прикладном уровне модели OSI

Figure 4 – Network topology:

а) physical structure of the network; б) the logical structure of a P2P network at the application layer of the OSI model

Сервер циклически выполняет следующие действия: проверяет активность клиентов и удаляет неактивные; непрерывно ожидает получение служебных сообщений от клиентов, содержащих измеренный показатель качества обслуживания (коэффициент потерь фрагментов PLR); непрерывно осуществляет передачу видеоконтента в сеть. Каждый клиент выполняет следующие действия: ожидает сообщение от сервера с IP адресом, указывающим на получателя видеоданных; осуществляет обработку получаемых видеоданных с последующим отображением на экране и перенаправлением

видеопотока другому клиенту. Клиенты имеют возможность свободно подключаться и отключаться от сети. Процесс подключения нового клиента сети начинается с отправки служебного запроса на сервер, который в ответ организует передачу пакетов с видеоконтентом новому клиенту в соответствии со структурой сети. Таким образом, новый клиент сам становится частью одноранговой (P2P) сети.

Узлы P2P сети в масштабе глобального Интернета могут находиться в разных типах локальных сетей передачи данных с различными технологиями доступа и условиями функционирования. В результате интенсивность потерь фрагментов данных между различными клиентами P2P сети может существенно отличаться. Кроме того, суммарные потери фрагментов данных увеличиваются для наиболее удаленных клиентов от сервера по количеству промежуточных узлов. Следовательно, для имитации потерь фрагментов в лабораторных условиях на участках P2P сети задаются различные коэффициенты потерь фрагментов данных.

На первом компьютере (Рисунок 4) организована передача видео посредством программного медиасервера VLC по цепочке до последнего клиента ветви P2P сети. В ходе эксперимента на каждом узле при различных условиях работы P2P сети (без отключений и с отключениями узлов) проводились измерения характеристик качества передачи видеоданных (PLR) и объективного качества восприятия видео (OPSNR, SSIM, NQI). В лабораторных условиях локальной сети Ethernet потери фрагментов между двумя клиентами P2P сети вводились программно в соответствии с моделью Гильберта. Для приближения условий эксперимента к реальной глобальной P2P сети используется различная интенсивность потерь между каждой парой узлов в цепочке P2P сети. Коэффициенты потерь фрагментов данных $PLR_{n,j}$ задаются на участке от $(j - 1)$ -го до j -го хоста. В условиях передачи видео по P2P сети большой интерес представляет значение $PLR_{m,j}$ на участке от источника видеопотока до j -го хоста, которое вычисляется по формуле:

$$PLR_{m,j} = PLR_{m,j-1} + (1 - PLR_{m,j-1})PLR_{n,j}. \quad (5)$$

Задаваемые значения коэффициентов потерь фрагментов данных для $PLR_{n,j}$ и $PLR_{m,j}$ приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Задаваемые коэффициенты потерь фрагментов данных на каждом хосте
 Table 1 – Specified data fragment loss ratios on each host

J	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$PLR_{n,j}$	0	0,0005	0,0004	0,005	0,004	0,015	0,025	0,05	0,05	0,15
$PLR_{m,j}$	0	0,0005	0,0009	0,006	0,009	0,025	0,049	0,097	0,142	0,27

Усредненная для ветви величина коэффициента потерь фрагментов рассчитывается по формуле:

$$PLR_{m,cp} = \frac{\sum_{j=1}^{K-1} PLR_{m,j}}{K - 1}, \quad (6)$$

где K – количество хостов ветви. В нашем случае $PLR_{m,cp} \approx 0,06$.

Результаты и обсуждение

Эффективность исследуемого метода измерения объективного качества передачи видео с учетом потерь видеок кадров оценивается на основании сравнения с программой

MSU Video Quality Measurement Tool (MSU VQMT), разработанной MSU Graphics & Media Lab (Video Group). Для сравнения получаемых значений метрик в качестве оригинала (эталона) было использовано видео «highway», сравниваемое с этим же видео, перекодированным в формат MPEG 4. Среднее значение относительного отклонения от метрики SSIM, рассчитанное по цветовой компоненте Y, и полученное с помощью РПО от того же самого значения для MSU VQMT, составило 0,06%. Среднеквадратическое отклонение (σ) от метрики SSIM составило 0,012%. А среднее значение относительного отклонения метрики MSE, рассчитанной по цветовой компоненте Y, составило 0,548%. Для этого отклонения значение σ составило 0,57%. Таким образом, значения метрик, полученные с помощью РПО, достаточно близки к значениям метрик, полученных с помощью MSU VQMT.

Видео, полученное в результате трансляции через канал связи, подверженный потерям фрагментов данных, обрабатывалось рассматриваемыми компьютерными программами. Потери фрагментов данных при передаче приводили как к искажениям, так и к потерям видеок кадров. На Рисунке 5 приведены значения метрики SSIM, рассчитанные по цветовой компоненте Y и полученные с помощью РПО по предложенному методу, а также с помощью программного обеспечения MSU VQMT. В данном случае уменьшение значений метрики для видеок кадров в примерном диапазоне номеров от 255 до 270 отражает искажение, вызванное потерей фрагментов данных.

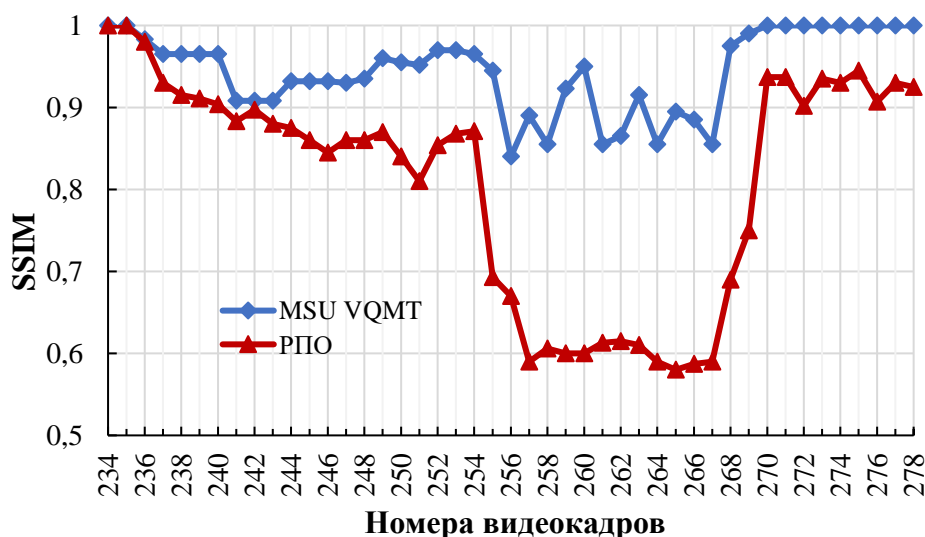


Рисунок 5 – Метрики измерения качества видео SSIM, полученные с помощью РПО и MSU VQMT
 Figure 5 – Metrics SSIM for measuring video quality, obtained using RPO and MSU VQMT

Из Рисунка 5 следует, что РПО после цепочки искаженных кадров находит верный эталонный кадр для сравнения, так как метрика SSIM для абсолютно неискаженных кадров равна 1. С другой стороны, программа MSU VQMT продолжает пок кадрово сравнивать, не осуществляя сдвига эталонного видео, таким образом, внося существенную погрешность из-за сравнения видеок кадров с различными порядковыми номерами.

На Рисунке 6 представлены результаты измерения коэффициента потерь фрагментов данных во времени $PLR_{э.ср}$, усредненного по всем участкам ветви P2P сети (Рисунок 4), а также среднее значение $PLR_{m.ср} = 0,06$, рассчитанное по формуле (6). Доверительный интервал для измеренного среднего коэффициента потерь фрагментов в

ветви P2P сети, при значимости $\alpha=0,05$ составляет $0,061125 \pm 0,00468$. Значение 0,06 входит в доверительный интервал, что подтверждает верность расчета среднего коэффициента потерь фрагментов в P2P сети.

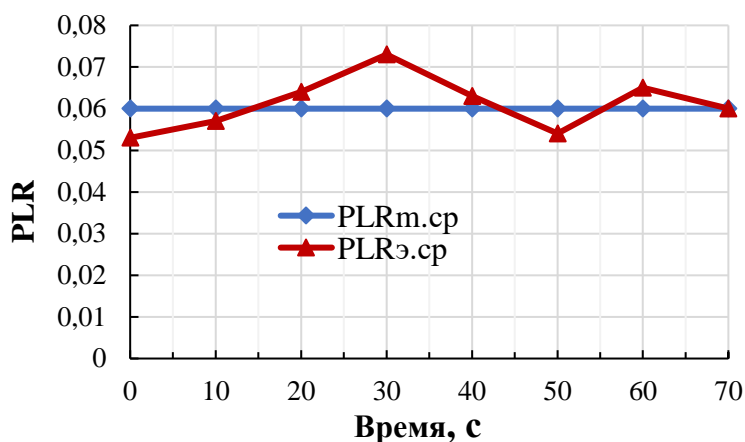


Рисунок 6 – Сравнение измеренного во времени значения $PLR_{э.ср}$ и вычисленного значения $PLR_{м.ср}$

Figure 6 – Comparison of value measured over time $PLR_{э.ср}$ and calculated value $PLR_{м.ср}$

Для P2P сети, структура которой представлена на Рисунке 4, проведено измерение качества видео с помощью РПО согласно исследуемому методу измерения объективного качества передачи видео с учетом потерь видеокадров. По сопоставлению передаваемых и принятых видеокадров были определены значения PSNR и средние значения SSIM и NQI для каждого из хостов одноранговой сети. Результаты измерений с соответствующим им коэффициентом потерь фрагментов данных представлены в Таблице 2

Таблица 2 – Среднее значение коэффициента потерь фрагментов данных и качество видео в одноранговой сети

Table 2 – Average value of data fragment loss rate and video quality in a P2P network

<i>N</i>	$PLR_{ср.}$	$OPSNR$	$SSIM$	NQI
1	0	100	1	1
2	0,000375	44,42089	0,992232	0,971221
4	0,001	43,09701	0,989388	0,959821
5	0,006875	35,88283	0,954955	0,843011
6	0,01075	34,87822	0,944217	0,807511
7	0,028375	32,85858	0,911657	0,698304
8	0,060125	30,94114	0,874686	0,594039
9	0,09675	30,15369	0,853953	0,734362
10	0,13575	29,54909	0,838118	0,47489
11	0,27125	28,84383	0,816047	0,417593

В качестве видео, которое транслировалось по сети, было использована тестовая последовательность «bridge_far», перекодированная с помощью программы Format Factory в формат MPEG 4 кодеком DivX. На основе значений, приведенных в таблице 2, на Рисунке 7 приведены графики зависимостей метрик объективного качества видео от PLR. Все функции являются убывающими, с увеличением коэффициента потерь фрагментов

данных PLR растет доля потерянных или искаженных видеокадров, что приводит к ухудшению качества видео по объективным метрикам. Каждый узел ретранслирует видеопоток последующему клиентскому хосту в том виде, в котором он был принят вместе с недостающими потерянными фрагментами данных. На последующем узле появляются дополнительные потери фрагментов данных. Таким образом, потери фрагментов данных, передаваемые от предыдущего к текущему клиентскому хосту, переносятся последующему хосту. При этом на каждом участке между парой хостов P2P сети добавляются новые потери фрагментов данных. Зависимости метрик объективного качества видео от коэффициента потерь фрагментов данных могут быть полезны при разработке алгоритмов восстановления потерь данных.

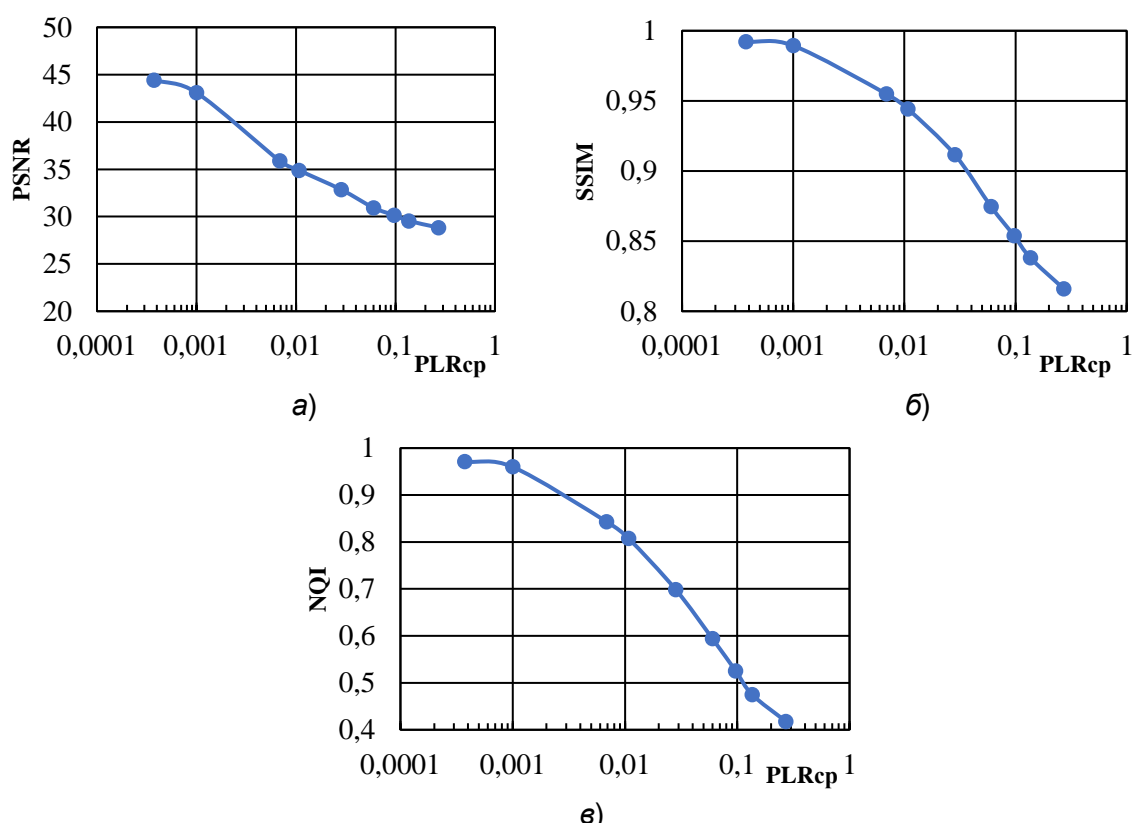


Рисунок 7 – Зависимости показателей объективного качества видео от PLR
 Figure 7 – Dependences of objective video quality indicators on PLR

Все зависимости на Рисунке 7 являются нелинейными, так как группа изображений, используемого в эксперименте видео, содержит более 200 кадров и поэтому дальнейшие потери фрагментов данных на последующих участках P2P сети не вызывают роста искаженных групп и видеокадров. По результатам можно оценить тот уровень потерь фрагментов данных, который является приемлемым для нормального восприятия передаваемого видео.

Выводы

В исследовании проведен обзор методов измерения объективного качества видео и выбраны метрики: PSNR, SSIM и NQI. Потери фрагментов данных при передаче видеопотока по каналу связи могут приводить к потерям видеокадров, поэтому для точной оценки объективного качества видео необходимо обеспечить точное соответствие между оригинальным (эталонным) и сравниваемым (переданным) видеокадрами. Для этого был

разработан метод и на основе него реализован алгоритм, находящий соответствующие видеокadres по минимуму среднего квадрата ошибки метрики MSE. Эксперимент по передаче видеопотока в одноранговой сети показал, что алгоритм на основе предложенного метода измерения объективного качества передачи видео с учетом потерь видеокadres позволяет находить верные кадры для сравнения и, таким образом, не вносит погрешностей в отличие от существующего программного обеспечения по измерению качества видео на примере MSU VQMT. Эксперимент по измерению объективного качества видео при передаче видеопотока в одноранговой сети позволил получить зависимости значений метрик PSNR, SSIM и NQI от задаваемого коэффициента потерь фрагментов данных. Это дает возможность определить тот уровень потерь фрагментов данных, который является приемлемым для нормального восприятия передаваемого видео.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gross J., Klaue J., Karl H., Wolisz A. Cross-layer optimization of OFDM transmission systems for MPEG-4 video streaming. *Computer Communications*. 2004;27(11):1044–1055. DOI: 10.1016/j.comcom.2004.01.010.
2. Chen P., Li L., Huang Y., Tan F., Chen W. QoE Evaluation for Live Broadcasting Video. *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. 2019;454–458. DOI: 10.1109/ICIP.2019.8802978.
3. Sinno Z., Bovik A.C. Large-Scale Study of Perceptual Video Quality. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2019;28(2):612–627. DOI: 10.1109/TIP.2018.2869673.
4. Maia O.B., Yehia H.C., Errico L. A concise review of the quality of experience assessment for video streaming. *Computer Communications*. 2015;57:1–12. DOI: 10.1016/j.comcom.2014.11.005.
5. Деарт В.Ю., Кожухов И.С. Исследование параметров качества обслуживания (QoS), определяющих качество восприятия пользователем (QoE) потокового видео при передаче через Интернет. *Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт*. 2013;7(7):28–31.
6. Маколкина М.А. Взаимосвязь субъективных оценок качества восприятия видео и значений параметра Хёрста. *Системы управления и информационные технологии*. 2014;(1-1):169–172.
7. Маколкина М.А. Учет параметра Хёрста при формировании субъективных оценок качества восприятия видео и значений. *Информационные технологии моделирования и управления*. 2016;99(3):197–204.
8. Маколкина М.А. Анализ модели объективной оценки качества передачи видео в IP-сетях. *Электросвязь*. 2011;(12):20–23.
9. Таубин Ф.А., Чуйков А.В. Анализ качества передачи потокового видео в беспроводных Ad-Hoc-сетях. *Информационно-управляющие системы*. 2012;(2):39–47.
10. Васильев Д.С., Чунаев А.В., Абилов А.В. Экспериментальное исследование качества передачи видео в древовидной P2P сети с алгоритмом ARQ прикладного уровня. *Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт*. 2014;8(1):10–14.
11. Чунаев А.В., Абилов А.В., Нистюк А.И. Влияние характеристик передачи потоковых данных на качество видео в WLAN. *Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт*. 2012;6(7):219–224.

REFERENCES

1. Gross J., Klaue J., Karl H., Wolisz A. Cross-layer optimization of OFDM transmission systems for MPEG-4 video streaming. *Computer Communications*. 2004;27(11):1044–1055. DOI: 10.1016/j.comcom.2004.01.010.

2. Chen P., Li L., Huang Y., Tan F., Chen W. QoE Evaluation for Live Broadcasting Video. *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. 2019:454–458. DOI: 10.1109/ICIP.2019.8802978.
3. Sinno Z., Bovik A.C. Large-Scale Study of Perceptual Video Quality. *IEEE Transactions on Image Processing*. 2019;28(2):612–627. DOI: 10.1109/TIP.2018.2869673.
4. Maia O.B., Yehia H.C., Errico L. A concise review of the quality of experience assessment for video streaming. *Computer Communications*. 2015;57:1–12. DOI: 10.1016/j.comcom.2014.11.005.
5. Deart V.Y., Kozhukhov I.S. Study of quality of service (QoS) parameters that determine the quality of user experience (QoE) of streaming video when transmitted over the Internet. *T-Comm*. 2013;7(7):28–31. (In Russ)
6. Makolkina M.A. The relationship between subjective assessments of the quality of video perception and the values of the Hurst parameter. *Control systems and information technology*. 2014;(1-1):169–172. (In Russ)
7. Makolkina M.A. Taking into account the Hurst parameter in the formation of subjective assessments of the quality of video perception and values. *Information technology of modeling and control*. 2016;99(3):197–204. (In Russ)
8. Makolkina M.A. Analysis of the model for an objective assessment of the quality of video transmission in IP networks. *Elektrosvyas*. 2011;(12):20–23. (In Russ)
9. Taubin F.A., Chuykov A.V. Analysis of the streaming video quality in wireless Ad-Hoc networks. *Information and control systems*. 2012;(2):39–47. (In Russ)
10. Vasiliev D.S., Chunaev A.V., Abilov A.V. Video quality measurement in tree-based P2P network with ARQ. *T-Comm*. 2014;8(1):10–14. (In Russ)
11. Chunaev A.V., Abilov A.V., Nistyuk A.I. Streaming data transferring characteristics influence on the video quality in WLAN. *T-Comm*. 2012;6(7):219–224. (In Russ)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Абилов Альберт Винерович, канд. техн. наук, доцент, декан, Приборостроительный факультет, ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», Ижевск, Российская Федерация

e-mail: albert.abilov@istu.ru

ORCID: [000-003-2358-4478](https://orcid.org/000-003-2358-4478)

Albert V. Abilov, Csc, Docent, Dean Of Instrumentation Engineering Department, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

Чунаев Андрей Вячеславович, старший программист, АО «Эр-Стайл Софтлаб»

e-mail: andrew.chunaev@mail.ru

Andrei V. Chunaev, Senior Software Engineer, JSC “R-Style Softlab”

Нистюк Анатолий Иванович, д-р, техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Сети связи и телекоммуникационные системы», ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», Ижевск, Российская Федерация

e-mail: nai@udm.ru

Anatoli I. Nistyuk, Dsc, Professor, Head Of Telecommunication Networks And Systems Department, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation