

УДК53.08

DOI: 10.30987/article\_5d10852029ec46.45558801

К.А. Батенков, А.В. Королев, М.В. Илюшин, В.В. Новиков

## АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ТРАФИКЕ IP-СЕТЕЙ

Получен математический аппарат, позволяющий проводить точечное и интервальное оценивание отдельных составляющих качества передачи речевых сообщений, а также выносить решения относительно степени удовлетворенности пользователей предоставляемыми услугами. На основе измерений при помощи программы *Wireshark* и протокола *TCP* проведены исследования допусти-

мых областей вариации параметров качества восприятия речевых сообщений. Выявлена стохастическая связь между типовыми параметрами качества передачи путем построения графиков и гистограмм оценок взаимного влияния этих параметров.

**Ключевые слова:** пакетная коммутация, речевой трафик IP-сетей, качество обслуживания.

К.А. Batenkov, A.V. Korolyov, M.V. Ilyushin, V.V. Novikov

## ANALYSIS OF STATISTICAL DEPENDENCES OF VOICE DATA QUALITY CHARACTERISTICS IN TRAFFIC OF IP-NETWORKS

The aim of the work is to investigate statistical characteristics of multimedia services traffic of IP-network on the basis of the service information analysis of package headings.

The investigation method is mathematical modeling in the *Mathcad 14* environment. As a result of the investigations, a mathematical apparatus allowing the fulfillment of a point and interval assessment of separate constituents of voice messaging quality and also the decision-making regarding the satisfaction degree by users with the service offered. In the work on the basis of measurements with the aid of the *Wireshark-*

program and the *TCP* protocol there are carried out the investigations of permissible fields in a quality parameter variation of voice message perception. A stochastic tie is revealed between transfer standard quality parameters by means of plotting diagrams and histograms of the assessments of these parameters mutual impact. The most significant indices of transfer quality parameters form the standpoint of their impact upon quality of voice message perception are *RTT* indices and loss factors.

**Key words:** packet switching, voice traffic of IP-networks, service quality.

### Введение

При совершенствовании сетей связи необходимо учитывать две противоречащие друг другу особенности: 1) создание сети в рамках существующего финансирования и ограниченных ресурсов; 2) обеспечение высокого качества обслуживания абонентов. Решение данной проблемы осложняется следующими факторами: субъективный характер оценок качества восприятия конечными пользователями, непредсказуемость колебаний параметров качества функционирования сети, чрезвычайно сложная взаимосвязь между показателями качества. Специфика сетей связи предполагает преимущественное использование речевого трафика. Поэтому необходимо учитывать проблемы, связанные с

нестабильной работой различных устройств сети.

В связи с этим предлагается создать аналитическую модель оценок качества восприятия речевых сообщений, учитывающих как стохастический характер функционирования сети, так и строго существующие взаимосвязи между параметрами качества. В результате исследований будет получен математический аппарат, позволяющий проводить точечное и интервальное оценивание отдельных составляющих качества передачи речевых сообщений, а также выносить решения относительно степени удовлетворенности пользователей предоставляемыми услугами.

## Методология

Для создания математической модели используется программный продукт *Mathcad 14*. Он является высокоуровневым языком программирования, с помощью которого становится возможным анализ данных, разработка алгоритмов и создание различных моделей. Основными функциями, использованными в разработанной модели, являются *submatrix*, *histogram*, *trim* и *match*.

Существующие оценки качества восприятия базируются на коэффициенте оценки качества передачи (*R*-фактор). Используя определенную архитектуру мониторинга передачи речевого трафика, возможно оценить вероятные временные показатели качества функционирования сети [1]. В основу подобных измерений положены возможности существующих sniff-феров типа *Wireshark*, а также протокола передачи трафика *RTCP*.

Результаты измерений позволяют на основе детерминированных соотношений получить оценки качества восприятия.

Для исследования был выбран протокол *TCP*, который с помощью программного интерфейса *Wireshark* позволяет вычислить *RTT* и потери пакетов по служебной информации, передаваемой вместе с пакетом *TCP*.

Важной особенностью протокола *TCP* является возможность определения времени кругового пути. Время кругового пути (*RTT*) - это время, необходимое для отправки пакета, плюс время, необходимое для подтверждения принятия этого пакета. Следовательно, это время состоит из вре-

мени распространения пакета между двумя точками [2].

Значения *RTT* зависят от различных факторов:

1. Скорость передачи данных (интернет-соединения) источника.
2. Характер среды передачи.
3. Физическое расстояние между источником и получателем.
4. Число узлов между источником и получателем.
5. Объем трафика в локальной сети, к которой подключен конечный пользователь.
6. Число других запросов, обрабатываемых промежуточными узлами и удаленным сервером.
7. Скорость, с которой функционируют промежуточный узел и удаленный сервер.
8. Наличие помех в сети.

Начнем с определения *RTT* при помощи *Wireshark*. Для *Ping* и *Traceroute* измеряется время кругового прохождения между отправкой пакета *Ping* и получением пакета *ICMP* обратно. Для соединений *TCP* это измерение времени передачи пакета и получения подтверждения от целевого хоста.

При использовании *Wireshark* для захвата и анализа пакетов встроенный инструмент программы вычислит и отобразит *RTT* в данных о пакете, содержащем *ACK*. Данное значение отображается в последней строке в подменю «*SEQ/ACK analysis*» (рис. 1).

```

Transmission Control Protocol, Src Port: http (80), Dst Port: 53587 (53587), Seq: 0, Ack: 1, Len: 0
  Source port: http (80)
  Destination port: 53587 (53587)
  [Stream index: 0]
  Sequence number: 0 (relative sequence number)
  Acknowledgment number: 1 (relative ack number)
  Header length: 32 bytes
  Flags: 0x012 (SYN, ACK)
  Window size value: 4380
  [calculated window size: 4380]
  Checksum: 0x62e2 [validation disabled]
  Options: (12 bytes), Maximum segment size, No-operation (NOP), window scale, SACK permitted, End of option List (EOL)
  [SEQ/ACK analysis]
  [This is an ACK to the segment in frame: 1]
  [The RTT to ACK the segment was: 0.040617000 seconds]

```

Рис. 1. Информация о пакете, содержащем *ACK*

Выделим процесс ретрансляции в трафике, захваченном при помощи программы *Wireshark* (рис. 2).

No.	Time	Protocol	Length	Info
1	0.000000	TCP	66	53587 > http [SYN] Seq=0 win=8192 Len=0 MSS=1460 WS=4 SACK_PERM=1
2	0.040617	TCP	66	http > 53587 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 win=4380 Len=0 MSS=1460 WS=1 SACK_PERM=1
3	0.040650	TCP	54	53587 > http [ACK] Seq=1 Ack=1 win=65700 Len=0
4	13.257396	HTTP	1502	GET /technology/include/siteSelectMenuoptions.jsp?_=1394665139857 HTTP/1.1
5	13.559467	HTTP	1502	[TCP Retransmission] GET /technology/include/siteSelectMenuoptions.jsp?_=1394665139857 HTTP/1.1
6	13.629262	HTTP	1223	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
7	13.828481	TCP	54	53587 > http [ACK] Seq=1449 Ack=1170 win=64528 Len=0
8	18.617392	TCP	60	http > 53587 [FIN, ACK] Seq=1170 Ack=1449 win=5828 Len=0
9	18.617450	TCP	54	53587 > http [ACK] Seq=1449 Ack=1171 win=64528 Len=0
10	19.002280	TCP	54	53587 > http [FIN, ACK] Seq=1449 Ack=1171 win=64528 Len=0
11	19.092514	TCP	60	http > 53587 [ACK] Seq=1171 Ack=1450 win=5828 Len=0

Рис. 2. Ретрансляция в захваченном трафике

Механизм ретрансляции протокола *TCP* гарантирует, что данные будут надежно переданы от начала до конца. Если в *TCP*-соединении будут повторные передачи, логично предположить, что потеря пакетов произошла в сети где-то между клиентом и сервером.

Существует способ быстрой идентификации повторных передач захваченного при помощи *Wireshark* трафика. Воспользуемся фильтром *-tcp.analysis.retransmission*.

Таким образом, получена возможность измерения *RTT* и потерь пакетов с помощью *TCP*-соединения и программы захвата пакетов *Wireshark*.

Для многократных измерений пакетов была использована консольная версия

программы *Wireshark (Tshark)*. При захвате пакетов обрабатывалось *TCP*-соединение компьютера с сайтом *www.youtube.com* на протяжении длительного времени. Для имитации нагрузок на сеть и сбоев для подключения использовались прокси-серверы в различных регионах мира, чтобы выяснить влияние удаленности сетей хоста и сервера. Далее полученная статистика обрабатывалась при помощи специальных формул в программе *Mathcad*.

Откроем записанные в текстовом документе значения времени получения пакетов и соответствующие значения *RTT* в специальном файле *Mathcad*. Построим зависимость значений *RTT* от времени (рис. 3).

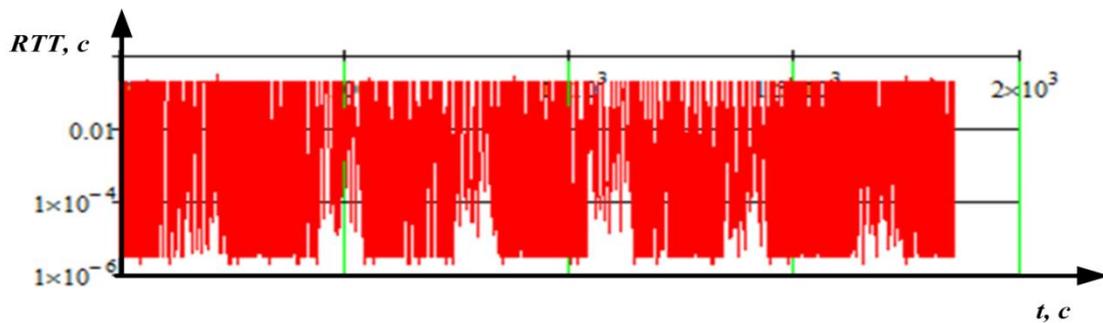


Рис. 3. График зависимости *RTT* от времени

Делаем вывод, что *RTT* не имеет конкретного значения на всем интервале. Величина испытывает частое колебание зна-

чений [3]. Для большей наглядности построим такой же график на интервале от 0 до 5 секунд (рис. 4).

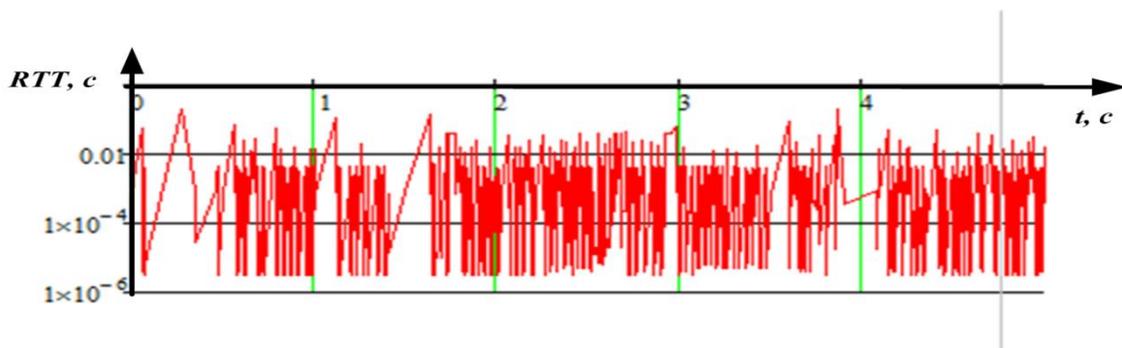


Рис. 4. График зависимости *RTT* от времени на интервале от 0 до 5 секунд

Полученный график в целом однородный; имеются небольшие отклонения от средних значений, которые очень немногочисленны и присутствуют в определенные моменты измерений.

По полученному ранее графику изобразим гистограмму с целью определения типа распределения значений  $RTT$  (рис. 5).

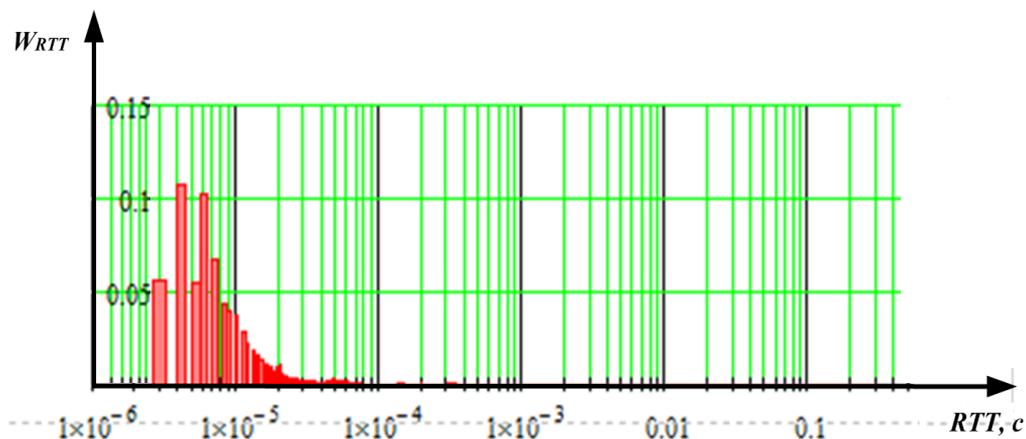


Рис. 5. Гистограмма значений  $RTT$

По гистограмме видно, что распределение очень похоже на экспоненциальное распределение, прослеживаются четко выраженные пиковые значения [4].

Значение оценки  $MOS$  по пятибалльной шкале упрощенно можно представить как функцию от коэффициента оценки качества передачи:

$$MOS = \begin{cases} 1 & \text{при } R < 0, \\ 1 + 0,35R + R(R - 60)(100 - R) \cdot 7 \cdot 10^{-6} & \text{при } 0 < R < 100, \\ 4,5 & \text{при } R > 100. \end{cases}$$

На основании приведенных выше формул построим график зависимости оценки  $MOS$  от времени (рис. 6), взяв за основу кодек ИКМ. Значения оценки резко изменяются во времени. Установлено, что значения  $MOS$  колеблются от 4,409 до 1.

То есть в сети возникали случаи с очень низким качеством восприятия. Однако эти случаи редки, в целом качество сети было приемлемым для передачи трафика. По этому графику можно точно определить моменты возникновения перегрузок в сети.

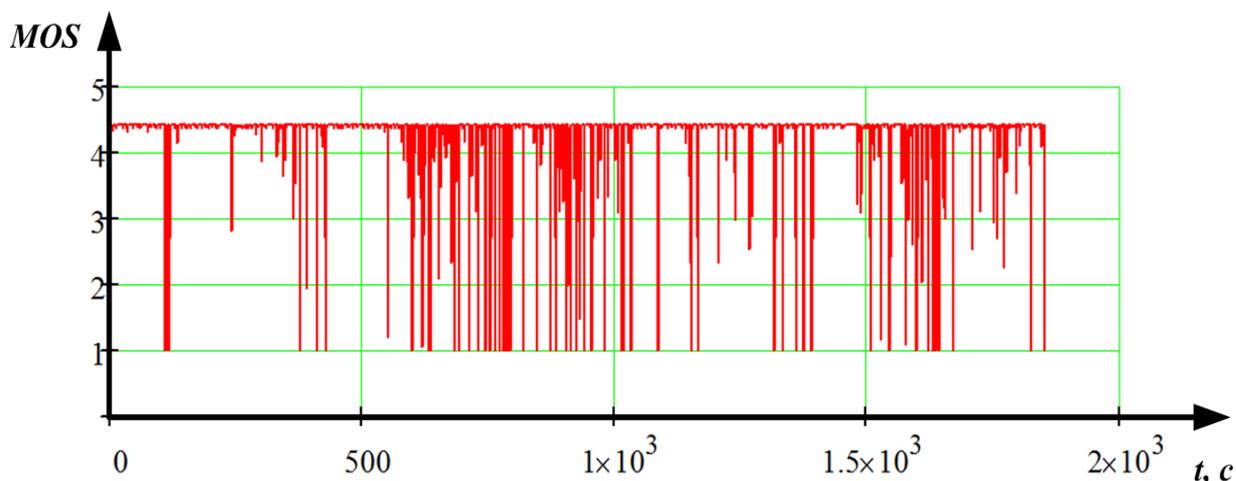


Рис. 6. Значения  $MOS$  как функции от времени

Построим двумерную гистограмму зависимости  $MOS$  от усредненных значений  $RTT$  (рис. 7).

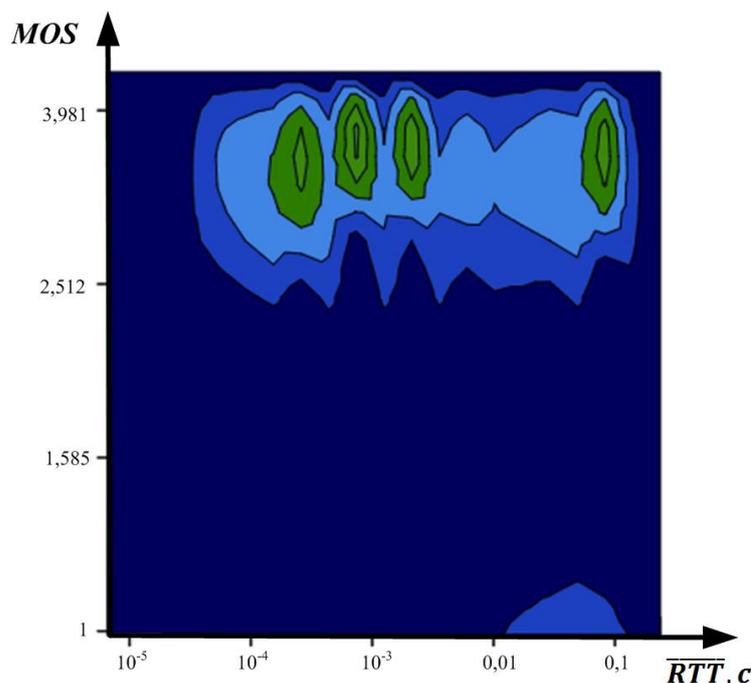


Рис. 7. Двумерная гистограмма зависимости  $MOS$  от усредненных значений  $RTT$

Имеются 2 характерные области. Первая - с большими значениями усредненных  $RTT$  и наименьшими значениями оценки  $MOS$ . Она характеризуется большими задержками передачи пакетов, качество восприятия неудовлетворительное. Это момент высокой загруженности сети. Однозначный вывод по параметру  $RTT$  делать нельзя ввиду наличия второй области - участка, где усредненные  $RTT$  также принимают большие значения, но оценка  $MOS$  колеблется от 2,512 до 4,409. Вторая об-

ласть характеризуется широким набором значений  $MOS$  и усредненных  $RTT$ . Наиболее частыми событиями являются периоды с малой задержкой и высокой оценкой  $MOS$ , что было теоретически ожидаемо. Однако имеется область с такой же высокой оценкой  $MOS$ , но достаточно высокими задержками в сети. Объяснить это можно отсутствием потерь и задержкой передачи информации в служебных заголовках пакетов  $TCP$ .

## Выводы

Проанализированы зависимости между различными параметрами качества передачи путем построения двумерных гистограмм. Статистические зависимости потерь от других параметров имеют дискретный характер, остальные параметры распределены более равномерно. Определенным значениям одного параметра соответствуют значения другого параметра,

при этом линейной взаимосвязи не наблюдается.

В результате исследований получен математический аппарат, позволяющий проводить точечное и интервальное оценивание отдельных составляющих качества передачи речевых сообщений, а также выносить решения относительно степени удовлетворенности пользователей предоставляемыми услугами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. - М.: Высш. шк., 2005. - С. 130-142.
  2. Батенков, А.А. Алгоритм синтеза базиса ортонормированных функций для многоканальной передачи данных / А.А. Батенков, Г.В. Богачев, К.А. Батенков // Цифровая обработка сигналов. - 2007. - № 2. - С. 19-25.
  3. Батенков, А.А. Дискретизация линейного канала связи с памятью и аддитивным белым гауссовым шумом численным методом / А.А. Батенков, К.А. Батенков // Математическое моделирование. - 2009. - Т. 1. - № 1. - С. 53-74.
  4. Батенков, К.А. Границы вероятности символьной ошибки для канала связи с логнормальными замираниями при использовании предсказаний и помехоустойчивого кодирования / К.А. Батенков, В.В. Гусев, М.В. Илюшин, О.Н. Катков, А.А. Мельников, М.В. Стремоухов // Телекоммуникации. - 2018. - № 2. - С. 45-48.
  5. Батенков, К.А. Синтез детерминированных нелинейных дискретных отображений непрерывных каналов связи / К.А. Батенков // Труды СПИИРАН. - 2016. - № 2 (45). - С. 75-101.
- 
1. Baskakov, S.I. *Radio-Engineering Circuits and Signals* / S.I. Baskakov. - M.: Higher School, 2005. - pp. 130-142.
  2. Batenkov, A.A. Algorithm of orthonormalized function basis synthesis for data multichannel transmission / A.A. Batenkov, G.V. Bogachyov, K.A. Batenkov // *Signal Digital Processing*. - 2007. - No.2 - pp. 19-25.
  3. Batenkov, A.A. Discretization of linear communication channel with memory and additive white gauss noise by numerical method / A.A. Batenkov, K.A. Batenkov // *Mathematical Modeling*. - 2009. - Vol.1. - No.1. - pp. 53-54.
  4. Batenkov, K.A. Likelihood limits of symbol error for communication channel with lognormal fades at use of emphasis and antinoise coding / K.A. Batenkov, V.V. Gusev, M.V. Ilyushin, O.N. Katkov, A.A. Melnikov, M.V. Stremoukhov // *Telecommunications*. - 2018. - No.2. - pp. 45-48.
  5. Batenkov, K.A. Synthesis of deterministic nonlinear discrete representations of continuous communication channel / K.A. Batenkov // *Proceedings SPIIRAS*. - 2016. - 2016. - No.2 (45). - pp. 75-101.

Статья поступила в редакцию 15.05.19

Рецензент: д.т.н., профессор Академии ФСО России  
Трегубов Р.Б.

Статья принята к публикации 27. 05. 19.

## Сведения об авторах:

**Батенков Кирилл Александрович**, д.т.н., сотрудник Академии ФСО России, e-mail: [pustur@yandex.ru](mailto:pustur@yandex.ru).

**Королев Александр Васильевич**, к.т.н., доцент, сотрудник Академии ФСО России, e-mail: [pustur@yandex.ru](mailto:pustur@yandex.ru).

**Batenkov Kirill Alexandrovich**, Dr. Sc. Tech., Colleague of Academy of FSP, e-mail: [pustur@yandex.ru](mailto:pustur@yandex.ru).

**Korolyov Alexander Vasilievich**, Can. Sc. Tech, Assistant Prof., Colleague of Academy of FSP, e-mail: [pustur@yandex.ru](mailto:pustur@yandex.ru).

**Илюшин Михаил Владимирович**, к.т.н., сотрудник Академии ФСО России, e-mail: [pustur@yandex.ru](mailto:pustur@yandex.ru).

**Новиков Владислав Владимирович**, сотрудник Академии ФСО, e-mail: [pustur@yandex.ru](mailto:pustur@yandex.ru).

**Ilyushin Mikhail Vladimirovich**, Can. Sc. Tech., Colleague of Academy of FSP, e-mail: [pustur@yandex.ru](mailto:pustur@yandex.ru).

**Novikov Vladislav Vladimirovich**, Member of the Academy of FPS, e-mail: [pustur@yandex.ru](mailto:pustur@yandex.ru).