

УДК 621.391

О. А. Ревило, магистрант, Ижевский государственный технический университет
 А. В. Абилов, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет
 В. Н. Емельянов, аспирант, Ижевский государственный технический университет

ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ В СЕТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ПОТОКОВЫХ ДАННЫХ

Методом имитационного моделирования исследуется влияние нагрузки в сети на коэффициент потерь и задержки пакетов при различных условиях функционирования сети передачи потоковых данных по протоколу UDP. Для исследований используется модель участка сети, реализованная в среде моделирования NS-2. Полученные зависимости коэффициента потерь пакетов и средней задержки пакетов на сетевом узле от нагрузки позволяют оценить условия для обеспечения требуемого качества передачи потоковых данных.

Ключевые слова: нагрузка, потоковые данные, сеть, задержка, пакет, имитационное моделирование, качество обслуживания.

В настоящее время все большее количество телекоммуникационных служб внедряются на основе существующих сетей передачи данных. С каждым годом увеличивается доля услуг, связанных с потоковой передачей видео в реальном режиме времени. Одной из основных проблем при этом является обеспечение приемлемого для просмотра трансляций качества в условиях интенсивной и непредсказуемой загрузки каналов между сетевыми устройствами. Например, незначительное увеличение нагрузки от источников может привести к существенному увеличению потерь пакетов между узлами связи и, как следствие, деградации качества передачи потоковых данных.

В соответствии с рекомендацией Международного союза электросвязи (МСЭ) Y.1541 потоковое видео относится к четвертому классу обслуживания, для которого средняя величина задержки не должна превышать 1 сек., а коэффициент потерь пакетов не более 10^{-3} или 0,1 % [1]. Скорости видеопотоков от источников влияют на загрузку промежуточных участков сети и, как следствие, на коэффициент потерь пакетов и их задержку. Эти параметры оказывают влияние на качество передачи видео. Для обеспечения приемлемого качества передачи потоковых данных необходимо определение требуемой пропускной способности каналов на участках сети между промежуточными узлами от источников до получателей и ее влияние на вероятность потерь пакетов и их задержки.

Задачу оценки характеристик сети существенно облегчает применение симуляторов, которые поддерживают реальные протоколы сетей передачи данных, в том числе протокол UDP, широко используемый на транспортном уровне для передачи потокового видео.

Одним из таких симуляторов является NS-2, который в последние годы нашел широкое применение для анализа характеристик сетей методом имитационного моделирования. В работе NS-2 применяется для исследования влияния нагрузки на характеристики качества передачи потоковых данных.

Нагрузка на участке сети

Нагрузка системы ρ определяется как отношение интенсивности поступающего потока λ к интенсивности обслуженного потока μ : $\rho = \lambda / \mu$. Интенсивность поступающего потока прямо пропорциональна пропускной способности участка сети и рассчитывается как $\mu = C/L$, где C – пропускная способность участка сети (кбит/с); L – длина одного пакета (кбит). Интенсивность обслуженного потока рассчитывается как $\lambda = R/L$, где R – скорость передачи потоковых данных (кбит/с). Таким образом, нагрузка на участке сети ρ определяет, какую часть реальной скорости передачи потоковых данных занимает от пропускной способности участка сети, и вычисляется по следующей формуле:

$$\rho = \frac{R}{C}. \quad (1)$$

Для оценки характеристик качества передачи методом имитационного моделирования используется схема сети, включающая четыре независимых источника с номерами 0–3 и два промежуточных узла с номерами 4 и 5 (рис. 1).

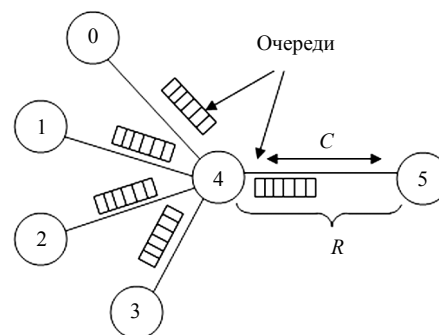


Рис. 1. Схема исследуемого участка сети в среде имитационного моделирования NS-2

Очевидно, что увеличение скорости передачи данных от источников 0–3 должно привести к повышению нагрузки на участке сети между узлами 4 и 5.

Интенсивность поступающего потока пакетов λ в этом случае возрастает, и при достижении определенного значения промежуточный узел 4 не успевает обрабатывать все пакеты и на интерфейсах создаются очереди (рис. 1), поэтому нагрузка и задержки на этом узле представляют наибольший интерес для исследований.

Среда моделирования для исследуемого участка сети

В настоящее время существует множество различных систем имитационного моделирования, ориентированных на решение различных задач. Сетевой симулятор NS-2 обладает широкими возможностями моделирования сетей, он не учитывает модели реального сетевого оборудования, однако реализует сетевые протоколы всех уровней модели OSI, имеет большой выбор дисциплин обслуживания и широкий набор средств анализа результатов моделирования. NS-2 позволяет точно задавать основные параметры сети и имеет средство визуализации процессов передачи и обработки данных – «pat», с помощью которого имеется возможность наблюдать процесс передачи пакетов, образующиеся очереди на узлах, а также потери пакетов при переполнении очередей.

Программа, написанная для моделирования сети, обрабатывается интерпретатором языка OTcl, использующего библиотеки NS-2. Результатом работы являются файлы трассировки (трейс-файлы), для обработки которых используется программа программного графопостроителя Tracograph.

Для проведения исследований был использован On/Off-генератор трафика Парето, содержащийся в классе OTcl Application/Traffic/Pareto. В течение периода On пакеты передаются с фиксированной скоростью, а в течение периода Off передача пакетов не ведется. При постоянном размере пакетов периоды On и Off распределены по закону Парето [2]. В программе моделирования задаются следующие параметры: On (*burst time*) – 250 мс, Off (*idle time*) – 250 мс. Размер пакетов (*packetSize*) принят равным 512 байт.

Модели сетевых узлов исследуемой сети имеют буферы для организации очередей, в которых пакеты могут задерживаться до и после обработки. На каждом интерфейсе узлов имеется отдельная очередь (рис. 1). При поступлении пакета на входной интерфейс он ставится в конец входной очереди. Когда пакет достигает в буфере своей очереди на обслуживание, он обрабатывается маршрутизатором. После определения выходного интерфейса пакет ставится в соответствующую выходную очередь и ждет передачи [3].

При моделировании сетей в среде NS-2 имеется возможность использования различных дисциплин обслуживания пакетов в очередях, среди которых широкое применение находит дисциплина DropTail. В случае переполнения буфера на интерфейсе сетевого узла эта дисциплина отбрасывает все поступающие пакеты в общем порядке без какого-либо приоритета трафика. Дисциплина DropTail была выбрана для исследований методом имитационного

моделирования. Пропускная способность каналов на всех интерфейсах принята равной 10 Мбит/с. Рассматриваемая модель является прототипом реального участка сети, где, например, в качестве узлов 0–3 используются хосты, узел 4 имитирует работу коммутатора доступа второго уровня, а узел 5 – коммутатора распределения второго или третьего уровня.

Анализ характеристик качества передачи потоковых данных

Одной из основных характеристик качества передачи потоковых данных, существенно влияющих на качество просмотра видео, является коэффициент потерь пакетов (K), который определяется как отношение количества потерянных пакетов к количеству переданных за интервал измерения. На рис. 2 представлены результаты имитационного моделирования в виде зависимостей K от нагрузки ρ на участке сети между узлами 4 и 5 при различных размерах очереди ожидания обслуживания пакетов (N). В процессе моделирования нагрузка изменялась путем увеличения скорости передачи потоковых данных от узлов 0–3. Измерение значений K и ρ проводилось дискретно.

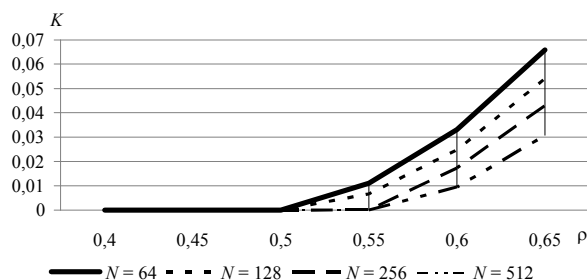


Рис. 2. Зависимость K от ρ при различных размерах очереди N

Результаты моделирования показывают, что при увеличении нагрузки от источников буфер на сетевом узле начинает заполняться, и при достижении определенного порога возникают потери пакетов. Кроме того, влияние ρ на K зависит от размера буфера N сетевого узла. Например, увеличение размера буфера с 64 до 512 пакетов дает увеличение допустимой нагрузки на 5 %. Дальнейшее увеличение размера буфера до 1024 или 2048 пакетов нецелесообразно, так как, во-первых, при этом не наблюдается существенного уменьшения коэффициента потерь пакетов K , во-вторых, значительно увеличивается средняя задержка пакетов (T) на сетевом узле, следовательно, увеличивается и задержка между отправителем и получателем. На рис. 3 представлена полученная методом имитационного моделирования зависимость среднего времени задержки пакетов T на сетевом узле 4 от нагрузки ρ при различных размерах буфера N .

Размер буфера начинает оказывать влияние на среднее время задержки на сетевом узле при значении нагрузки, превышающей 0,5, после которого с ростом N увеличивается T . Среднее время задержки пакетов на сетевом узле является важным параметром

ром качества передачи потоковых данных и оказывает влияние на коэффициент потерь пакетов K .

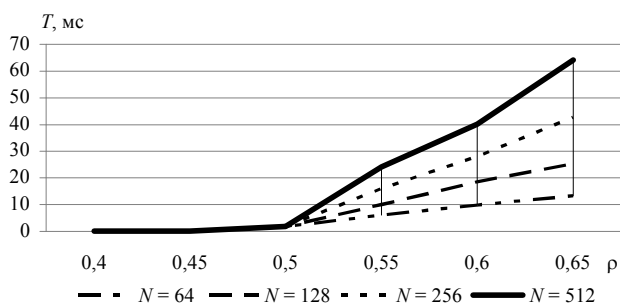


Рис. 3. Зависимость T на узле 4 от ρ при различных размерах буфера N

На рис. 4 представлены зависимости K от ρ при различных задержках пакетов T на каждом звене сети. Имитационное моделирование проводилось для размера буфера $N = 128$ пакетов.

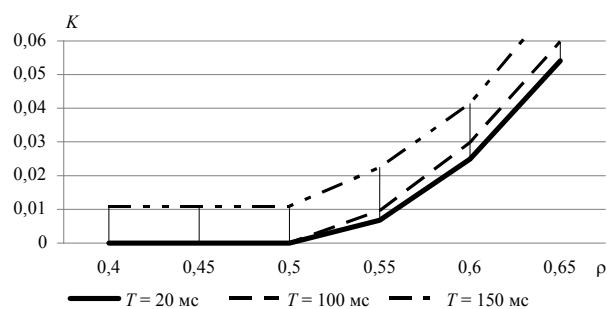


Рис. 4. Зависимость K на узле 4 от ρ при различных значениях T

При задержке $T = 150$ мс потери пакетов на участке сети возникают даже при незначительной нагрузке. Следовательно, при проектировании сетей важным является предварительная оценка нагрузки и приемлемого размера буфера на участках сети для обеспечения требуемого качества передачи потоковых данных.

Выводы

Для приложений, использующих на транспортном уровне протокол UDP, необходимо внимательно подходить к вопросу выбора скорости источника, так как данный протокол не способен регулировать скорость передачи пакетов при возникновении перегрузок в канале связи.

Одним из наиболее популярных сервисов, использующих транспортный протокол UDP, является потоковое видео. Для обеспечения требований качества обслуживания, удовлетворяющих рекомендации МСЭ Y.1541, скорости источников должны быть такими, при которых создаваемая нагрузка на участке сети уровня распределения (в рассматриваемой сети между узлами 4 и 5) не превышает значения 0,5. В этом случае коэффициент потерь пакетов не чувствителен к размеру очереди вследствие отсутствия перегрузок на линии (рис. 2 и 4).

При нагрузке на линии, превышающей 0,5, вероятность потерь пакетов и средняя задержка на узле становится чувствительной к различным параметрам. Например, увеличением размера очереди до 256 пакетов, можно добиться роста допустимого значения нагрузки на линии уровня распределения до 0,55 (рис. 2), при котором обеспечивается требуемое качество обслуживания. Однако необходимо учитывать, что одновременно увеличивается и среднее время задержки на сетевом узле (рис. 3). Задержка между источником и получателем в среде имитационного моделирования NS-2 складывается из задержек на промежуточных узлах. Поэтому для удовлетворения требований рекомендации МСЭ Y.1541 по средней задержке между источником и получателем (не более 1 сек.) необходимо обеспечить минимальные задержки на каждом промежуточном сетевом узле. Кроме того, увеличение задержки пакетов на сетевом узле до 150 мс приводит к возникновению потерь пакетов даже при минимальной нагрузке.

Результаты анализа влияния нагрузки от источников на характеристики сети позволяют производить выбор параметров сетевых узлов (пропускная способность каналов, скорость потоков и размеры буферов на интерфейсах) для обеспечения требуемого качества передачи потоковых данных.

Список литературы

1. Показатели функционирования мультисервисной сети общего пользования / Б. С. Гольдштейн [и др.] // Техника связи. – 2009. – № 3. – С. 25–31.
2. Галкин А. М., Кучерявый Е. А., Молчанов Д. А. Пакет имитационного моделирования NS-2 : учеб. пособие. – СПб. : СПбГУТ, 2007. – 60 с.
3. Кучерявый Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. – М. : Наука и техника, 2004. – 336 с.

O. A. Revilo, Magistrand, Izhevsk State Technical University

A. V. Abilov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

V. N. Emelianov, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

Network Loading Influence on Data-Flow Transfer Quality

Impact of the network traffic on the packet loss ratio and packet delay is investigated by means of simulation with different conditions of UDP data streaming. The model of network locality realized in NS-2 simulator is used for the research. The resulted dependencies of the packet loss ratio and packet delay on network traffic allow evaluating the required data streaming quality conditions.

Key words: network loading, data-flow, network, delay, packet, simulation technique, service quality.