

Разработка программного обеспечения для исследования скорости передачи данных в корпоративной сети

Е.Н. Антонянц, А.О. Амельченко, Е.Е. Истратова

Аннотация—В статье представлены результаты проектирования и изучения клиент-серверного приложения для исследования характеристик корпоративной сети. Для реализации программного обеспечения предварительно было проведено сравнение программ-анализаторов сетевого трафика, выявлены их отличительные характеристики, разработан алгоритм организации процесса сбора и обработки ключевых параметров сетевого трафика корпоративной сети. Разработка программного продукта для прогнозирования изменений характеристик корпоративной сети во времени была выполнена с помощью объектно-ориентированного языка программирования C# и технологии сокетов. В статье также представлены как результаты разработки программного обеспечения для анализа скорости передачи данных и величины задержки сетевого трафика, так и результаты исследования процесса передачи аудио- и видеопотоков в корпоративной сети. На основании полученных результатов была выявлена закономерность изменения значений скорости передачи данных и времени задержек в сети в течение суток в зависимости от длины пакетов, после чего была составлена регрессионная модель, позволяющая спрогнозировать значения основных характеристик сети. Результаты проведенных исследований позволили сделать вывод о том, что разработанный программный продукт можно применять для процессов мониторинга и планирования передачи данных в корпоративной сети компании.

Ключевые слова—разработка программного обеспечения, регрессионный анализ данных, математическая модель, корпоративная сеть.

I. ВВЕДЕНИЕ

Применение корпоративных сетей в любой современной компании позволяет оптимизировать работу за счет обеспечения совместного доступа к серверным программам, ресурсам и оборудованию, а также за счет ускорения обмена информацией и данными между различными сотрудниками. Таким образом, эффективность всего предприятия напрямую зависит от эффективности работы его корпоративной сети. Поскольку с постоянным ростом объемов информации резко увеличивается и нагрузка на сеть, то для учета и

планирования роста сетевого трафика целесообразно использовать специальные средства его мониторинга. При этом одной из базовых особенностей планирования и мониторинга нагрузки корпоративной сети компании является анализ характеристик сетевого подключения.

Согласно ряду литературных источников (см. [1], [2], [3]), оценивание этих характеристик может осуществляться как на основе реальных экспериментальных данных, так и при помощи процесса моделирования физических величин и механизмов. Причем оба эти направления могут быть реализованы при помощи анализа сетевого трафика в современных мультисервисных сетях. Для решения данной задачи необходимы сбор, обработка и анализ таких статистических данных, как задержка и скорость передачи данных. Сбор подобной статистики осуществляется различными программными средствами.

В качестве наиболее распространенных программ-анализаторов на сегодняшний день применяются следующие: Wireshark, Bandwidth Monitor Pro, tcpdump [4].

Программа Wireshark используется для перехвата и анализа сетевого трафика и позволяет узнавать структуру различных сетевых протоколов, что дает возможности по разделению фрагментов пакета друг от друга. В данной программе предусмотрены функции для захвата данных с целью их последующего анализа [5].

Программа Bandwidth Monitor Pro отличается возможностью моделировать поведение программы при выполнении заданных условий, в качестве которых могут выступать такие параметры, как передача некоторого количества данных за определенное время, изменение скорости, определение уровня максимальной скорости загрузки и другие [6].

Анализатор трафика tcpdump имеет базовый функционал, который можно найти в любом анализаторе (захват, запись и т.д.). Отличительной особенностью данного программного продукта является то, что он не требователен к системным ресурсам и содержит таблицу с сетевыми пакетами [7].

Несмотря на отличия в производительности, направленности исследований и требованиях, предъявляемых к ресурсам сети, общей характеристикой рассмотренных программ является возможность захвата данных из сети с целью их дальнейшего анализа.

Целью работы являлось проектирование и исследование программного обеспечения для

Статья получена 25 октября 2020.

Е.Н. Антонянц, ФГБОУ ВПО НГТУ (e-mail: bax201438@gmail.com).

А.О. Амельченко, ФГБОУ ВПО НГТУ (e-mail: artemer981333@gmail.com).

Е.Е. Истратова, ФГБОУ ВПО НГТУ (e-mail: istratova@mail.ru).

прогнозирования изменений характеристик корпоративной сети во времени.

Для реализации цели исследования был предложен алгоритм работы программного обеспечения, отличительной особенностью которого является возможность динамического подключения различных элементов, позволяющая осуществлять мониторинг и описывать все состояния процесса передачи данных в режиме реального времени.

II. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Предложенный алгоритм работы включает последовательное выполнение следующих действий. Клиент посылает серверу запрос на измерение характеристик и при необходимости передает параметры измерения (для измерения скорости – общий размер передаваемых данных и размер каждого пакета). В зависимости от принятых данных сервер совершает определенные действия, например, в случае измерения задержки передачи данных, сервер просто отправляет пустой пакет клиенту для измерения времени между отправкой запроса и получением ответа. В случае измерения скорости сервер принимает все пакеты от клиента, а только потом посылает ответ, содержащий информацию о затраченном на отправку времени. На рисунке 1 представлен алгоритм взаимодействия клиента и сервера для разработанного приложения.

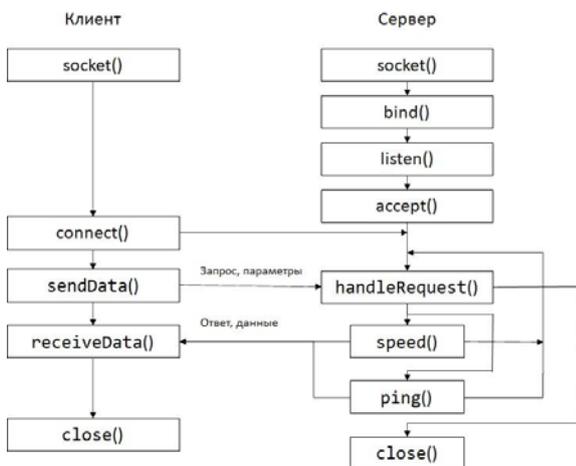


Рис. 1. Организация взаимодействия клиента и сервера

Принцип работы спроектированного программного обеспечения основан на клиент-серверном взаимодействии. Клиент и сервер, между которыми организована передача данных, осуществляют взаимодействие при помощи сокетов. В ряде литературных источников (см. [8], [9], [10], [11]) приводятся данные и примеры по сетевому программированию, подтверждающие востребованность данной технологии.

Разработанное клиент-серверное приложение на стороне сервера реализует сокет-слушатель и принимает запросы от клиента, тогда как на стороне клиента реализуется сокет-источник, идет подключение к серверному процессу и организуется передача данных. Приложение на стороне клиента в зависимости от выбранного пользователем действия вызывает функции с соответствующими параметрами. В качестве

ключевых параметров для сбора, обработки и исследования приложением, согласно литературным данным (см. [12], [13], [14], [15], [16]), были выбраны скорость передачи данных и время задержки в сети.

Функция sendData в зависимости от запрашиваемого действия может вызывать один из методов:

Ping запускает таймер и отправляет запрос серверу;

Speed посылает серверу сначала параметр size, а затем N пакетов размера packSize. Расчет итогового параметра size осуществляется следующим образом (1):

$$Size = N \cdot packSize. \quad (1)$$

Функция receiveData в зависимости от запрашиваемого действия может вызывать один из методов:

Ping принимает ответ от сервера, останавливает таймер и определяет затраченное на передачу данных время;

Speed принимает от сервера значение времени, затраченного на принятие всех пакетов.

При подключении клиента сервер вызывает функцию handleRequest, которая принимает сообщение о типе измерения (измерение задержки сетевого трафика или скорости передачи данных) и вызывает соответствующий метод (ping или speed). Ping отправляет ответ клиенту. Speed принимает от клиента параметр size, после чего запускает таймер и принимает size байт от клиента. По завершении приема останавливает таймер и отправляет клиенту значение измеренного времени.

Задержка сетевого трафика и скорость передачи данных вычисляются по формулам (2, 3):

$$t_p = t_{XC} + t_{обп} + t_{CK}, \quad (2)$$

где t_p – задержка сетевого трафика (ping), t_{XC} – время отправки пакета (от клиента серверу), $t_{обп}$ – время обработки запроса сервером, t_{CK} – время возврата пакета (от сервера клиенту).

$$v = size/time, \quad (3)$$

где v – скорость передачи данных, $size$ – размер передаваемых данных, $time$ – время передачи.

Результаты работы клиентской и серверной частей разработанного программного обеспечения представлены на рисунке 2.

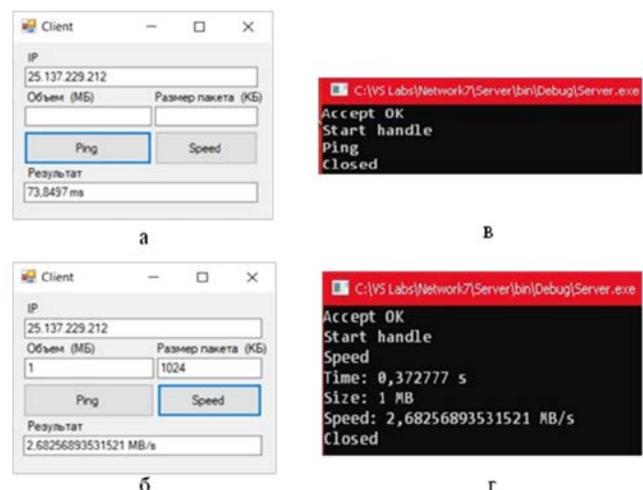


Рис. 2. Результаты работы клиентской (а, б) и серверной (в, г) частей программы

В ходе реализации исследования на языке программирования C# было разработано программное обеспечение для анализа следующих характеристик сетевого трафика: скорости передачи данных и величины задержки сетевого трафика.

III. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТИ

Экспериментальная часть исследования включала в себя два этапа. На первом из них были изучены зависимости пропускной способности и времени задержки от размера пакетов передаваемых данных. На втором этапе была построена математическая модель для прогнозирования изменений характеристик сети в зависимости от длины пакетов передаваемых данных.

В проводимом эксперименте сеть была настроена на максимальную ширину канала для получения наибольшей скорости передачи данных. В ходе экспериментов были измерены пропускная способность и задержка TCP трафика. Измерения проводились для пакетов различной длины, составляющей от 128 до 4096 Кбайт.

Все тесты по оцениванию параметров передачи данных осуществлялись в течение 20 секунд. При этом каждый размер пакета пересылаемых данных передавался в сети по три раза для обеспечения требуемой точности проведения измерений. В качестве результата отбиралось среднее значение по итогам проведенных экспериментов.

В исследовании была проанализирована по отдельности передача аудио и видео потоков в корпоративной сети. Это связано с тем, что средний размер пакетов для аудио и видео отличается. Так, величина аудио потока не превышает 480 байт, тогда как величина видео потока составляет не менее 800 байт. В результате, среднее время передачи данных в первом случае может оказаться в разы меньше как за счет меньшего объема данных, так и за счет того, что промежуточные маршрутизаторы отдают приоритет при перегрузке сети небольшим пакетам. Результаты измерения скорости передачи данных приведены на рисунке 3.



Рис. 3. Пропускная способность TCP трафика

Как видно из рисунка 3, передача аудио потоков осуществляется быстрее, вследствие меньшего объема пакетов, при этом общая тенденция изменения скорости передачи данных при увеличении длины пакетов для видео и аудио потоков является схожей.

Измерение времени задержки в сети производилось при помощи утилиты ping, принцип работы которой

заключается в измерении временной разницы между формированием, отправкой и приемом запроса от отправителя получателю и пересылкой ответа. Собранные данные о задержке передачи данных в сети могут быть использованы для прогнозирования качества ее работы. Результаты исследования задержки TCP трафика приведены на рисунке 4.

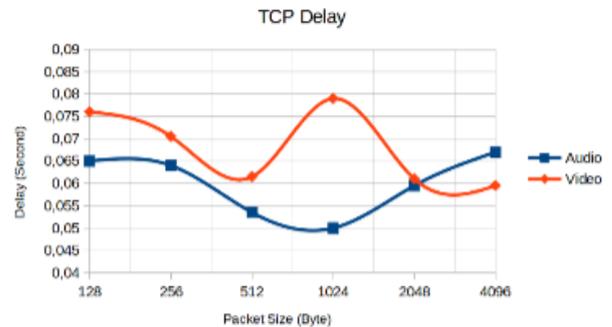


Рис. 4. Задержка TCP трафика

Согласно рисунку 4, время задержки при передаче видео потоков в целом значительно больше, чем при передаче звука, что связано с большим объемом данных в случае передачи видео изображений.

В ходе второй части исследования характеристик корпоративной сети была выявлена закономерность изменения значений скорости передачи данных и времени задержек в сети в зависимости от длины пакетов. На основании полученных результатов была составлена регрессионная модель, позволяющая спрогнозировать значения скорости передачи данных в корпоративной сети.

Исходя из результатов первой части исследования наблюдается обратно пропорциональная зависимость между пропускной способностью и задержками сетевого трафика, что подтверждается графиками на рисунках 3 и 4 и проведенным корреляционным анализом.

Результативным показателем в исследовании являлась величина скорости передачи данных. В качестве факторных признаков были рассмотрены значения длин пакетов передаваемых данных и времени задержки сетевого трафика.

Зависимость результативного показателя от качественных признаков была изучена и проанализирована. Полученные в результате коэффициенты корреляции были представлены в виде матрицы (Таблица 1), где Y – скорость передачи данных; X₁ – задержка сетевого трафика; X₂ – длина пакетов передаваемых данных.

Таблица 1 - Матрица парных коэффициентов корреляции

	Y	X ₁	X ₂
Y			
X ₁	-0,598		
X ₂	0,851	-0,446	

Согласно результатам исследования, все указанные критерии могут быть включены в множественную

регрессионную модель, так как количественно измеримы, не являются мультиколлинеарными и связаны друг с другом, что подтверждают коэффициенты парной корреляции. В узлах исследуемой матрицы расположены парные коэффициенты корреляции, которые характеризуют связи и зависимости между факторными признаками. При дальнейшем анализе данных коэффициентов было установлено, что увеличение их абсолютных величин оказывает значительное влияние соответствующих факторных признаков на результативный. Это позволило разработать множественную регрессионную модель и выполнить многофакторный прогноз результативного признака. Полученное уравнение множественной регрессии имеет вид (4):

$$Y = 3,75 - 13,83 \cdot X_1 + 0,04 \cdot X_2. \quad (4)$$

Для уравнения множественной регрессии была произведена оценка значимости уравнения и его коэффициентов, проведено исследование абсолютных и относительных ошибок аппроксимации. Коэффициент детерминации составил $R^2 = 0,942 \cdot 0,942 = 0,88$, что свидетельствует о высокой точности подбора уравнения регрессии. В ходе проверки гипотез относительно коэффициентов уравнения регрессии были найдены стандартные ошибки коэффициентов регрессии, на основании которых была подтверждена их статистическая значимость. Так как величина расчетного критерия Фишера больше величины табличного значения, то коэффициент детерминации можно считать статистически значимым. Это подтверждает, что уравнение регрессии статистически надежно и может быть использовано для прогнозирования изменений характеристик сети во времени.

Так как, полученная в ходе исследования, множественная регрессионная модель достаточно точно передает фактически существующие взаимосвязи между всеми исследуемыми показателями, то ее можно использовать для прогнозирования результативного показателя, то есть скорости передачи данных в корпоративной сети.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы был предложен алгоритм сбора и обработки характеристик сетевого трафика для их дальнейшего изучения, на основе алгоритма было спроектировано клиент-серверное приложение на объектно-ориентированном языке программирования C#, было проведено исследование по сбору и анализу данных, в рамках которого была проанализирована по отдельности передача аудио и видео потоков в корпоративной сети, была выявлена закономерность изменения значений скорости передачи данных и времени задержек в сети в течение суток в зависимости от длины пакетов. На основании полученных результатов была составлена регрессионная модель, позволяющая спрогнозировать значения скорости передачи данных. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что данный программный продукт можно применять для

процессов мониторинга и планирования передачи данных в корпоративной сети компании.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Василенко, К. А. и др. Сетевой трафик в операционных системах WINDOWS: сравнение и анализ его генерирования //Инженерный вестник Дона. – 2019. – №. 9. – С. 19.
- [2] Маркин, Ю. В. Методы и средства углубленного анализа сетевого трафика //автореферат дис. кандидата технических наук/Ин-т систем программирования. Москва. – 2017.
- [3] Абрамкина, О. А. Анализ сетевого трафика с помощью программы «Wireshark»: TCP-сеансы, извлечение информации. – 2015. – С. 10.
- [4] Гетьман А.И. Подходы к представлению результатов анализа сетевого трафика // Труды ИСП РАН. 2016. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-predstavleniyu-rezultatov-analiza-setevogo-trafika> (дата обращения: 22.10.2020).
- [5] Официальный ресурс WireShark. URL: <https://www.wireshark.org>.
- [6] Официальный ресурс Bandwidth Monitor Pro/ URL: <https://www.delphiplus.org/informacionnaia-arhitektura/bandwidth-monitor-pro.html>.
- [7] Официальный ресурс tcpdump. URL: <https://www.tcpdump.org>.
- [8] Burns S. Hands-On Network Programming with C# and .NET Core: Build robust network applications with C# and .NET Core. – Packt Publishing Ltd, 2019.
- [9] Nagel C. Professional C# 7 and .NET Core 2.0. – John Wiley & Sons, 2018.
- [10] Корнелюк В. В., Скакун В. В. Сетевые технологии программирования. № УД-4623/уч. – 2017.
- [11] Doni F. R. Network computer remotely by the application of the Hamachi VPN //Evolution: journal of science and management. – 2019. – Т. 7. – №. 1.
- [12] AL-Dhief F. T. et al. Performance Comparison between TCP and UDP Protocols in Different Simulation Scenarios //International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Т. 7. – №. 4.36. – С. 172-176.
- [13] Преображенский Ю. П. О характеристиках защиты в сетевых информационных системах //Современные материалы, техника и технология. – 2019. – С. 160-163.
- [14] Фазылов Л. И., Аминова Р. Р. Оценка информационной скорости передачи данных для сетей, работающих в помещении //xxiii туловские чтения (школа молодых ученых). – 2017. – С. 372-376.
- [15] Матвеев В. А., Бельфер Р. А., Кравцов В. Анализ технологий построения сети передачи данных с высокими требованиями по информационной безопасности, надежности и задержке //Электросвязь. – 2017. – №. 5. – С. 70-73.
- [16] Катаев М.Ю., Крупский А.С. Оценка пропускной способности на основе модели однородной сети // Доклады ТУСУР. 2015. №2 (36). С. 108-112.

Software development for research of data transfer rate in the corporate network

E.N. Antonyants, A.O. Amelchenko, E.E. Istratova

Abstract—The article presents the results of designing and researching a client-server application for studying the characteristics of the corporate network. To implement the software, comparison of program-analyzers of network traffic was carried out, their distinctive characteristics were identified, and an algorithm for organizing the process of collecting and processing key parameters of the corporate network network traffic was developed. The development of a software product for predicting changes in the characteristics of the corporate network over time was carried out using the object-oriented programming language C# and socket technology. The article also presents both the results of software development for analyzing the data transfer rate and network traffic delay, and the results of research on the process of transmitting audio and video streams in the corporate network. Based on the results obtained, the regularity of changes in the values of data transfer rate and network traffic delay time in the network during the day, depending on the length of packets, was revealed, after which a regression model was compiled that allows predicting the values of the main characteristics of the network. The results of the research made it possible to conclude that the developed software product can be used for monitoring and planning data transmission processes in the company's corporate network.

Keywords—software development, regression analysis of data, mathematical model, corporate network.

REFERENCES

- [1] Vasilenko, K. A. et al. Network traffic in WINDOWS operating systems: comparison and analysis of its generation // Engineering Bulletin of Don. – 2019. – No. 9. – P. 19.
- [2] Markin, Yu. V. Methods and tools for in-depth analysis of network traffic // abstract dis. candidate of technical sciences / Institute of systems programming. Moscow. – 2017.
- [3] Abramkina, O. A. Analysis of network traffic using the «Wireshark» program: TCP sessions, information retrieval. – 2015. – P. 10.
- [4] Getman A.I. Approaches to presenting the results of network traffic analysis // Proceedings of ISP RAS. 2016. No. 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-predstavleniyu-rezultatov-analiza-setevogo-trafika> (date accessed: 10/22/2020).
- [5] Official WireShark resource. URL: <https://www.wireshark.org>.
- [6] Official Bandwidth Monitor Pro resource / URL: <https://www.delphiplus.org/informacionnaia-arhitektura/bandwidth-monitor-pro.html>.
- [7] Official tcpdump resource. URL: <https://www.tcpdump.org>.
- [8] Burns S. Hands-On Network Programming with C# and .NET Core: Build robust network applications with C# and .NET Core. – Packt Publishing Ltd, 2019.
- [9] Nagel C. Professional C# 7 and .NET Core 2.0. – John Wiley & Sons, 2018.
- [10] Kornelyuk V. V., Skakun V. V. Network programming technologies. № UD-4623 / uch. – 2017.
- [11] Doni F. R. Network computer remotely by the application of the Hamachi VPN // Evolution: journal of science and management. – 2019. – T. 7. – №. 1.
- [12] AL-Dhief F. T. et al. Performance Comparison between TCP and UDP Protocols in Different Simulation Scenarios // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – T. 7. – No. 4.36. – P. 172-176.
- [13] Preobrazhensky Yu. P. On the characteristics of protection in network information systems // Modern materials, equipment and technology. – 2019. P. 160-163.
- [14] Fazylov LI, Aminova RR Estimation of information transfer rate for networks operating in the room // xxiii Tupolev readings (school of young scientists). – 2017. – P. 372-376.
- [15] Matveev V. A., Belfer R. A., Kravtsov V. Analysis of technologies for building a data transmission network with high requirements for information security, reliability and delay // Elektrosvyaz. – 2017. – No. 5. – P. 70-73.
- [16] Kataev M.Yu., Krupskiy A.S. Capacity estimation based on the homogeneous network model // TUSUR reports. 2015. No. 2 (36). S. 108-112.