



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-8-75-83>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 621.382.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОТОКОЛОВ IPv6 и IPv4 ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

В. В. БАЧИЛО¹, В. И. ДРАВИЦА², Н. И. ЛИСТОПАД¹

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)

²Государственное предприятие «Центр систем идентификации» (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 01.09.2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Аннотация. Выполнен сравнительный анализ протоколов передачи данных IPv4 и IPv6 для обеспечения заданного качества обслуживания (QoS). В качестве параметров QoS проанализированы полоса пропускания и с ней связанная скорость передачи, величина задержки и джиттер – вариации задержки. В виде таблицы представлены основные недостатки и преимущества обоих протоколов. Разработан и реализован макет реального взаимодействия сетей, функционирующих на базе протоколов IPv4 и IPv6. Проведены измерения пропускной способности, величины задержки и джиттера для сети на базе протокола IPv4 и сети на базе протокола IPv6 для различных размеров пакетов (MTU) для UDP- и TCP-трафика. Сделаны выводы о возможности и перспективности использования протокола IPv6 для обеспечения заданного качества обслуживания.

Ключевые слова: протоколы IPv4 и IPv6, качество обслуживания, пропускная способность, величина задержки, джиттер, UDP- и TCP-трафик.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Бачило, В. В. Сравнительный анализ возможностей протоколов IPv6 и IPv4 для обеспечения заданного качества обслуживания / В. В. Бачило, В. И. Дравица, Н. И. Листопад // Доклады БГУИР. 2022. Т. 20, № 8. С. 75–83. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-8-75-83>.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CAPABILITIES OF IPv6 AND IPv4 PROTOCOLS TO PROVIDE THE DESIGNATED QUALITY OF SERVICE

VALERY V. BACHILO¹, VICTOR I. DRAVITSA², NIKOLAI I. LISTOPAD¹

¹Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. (Minsk, Republic of Belarus)

²State Enterprise “Center for Identification Systems” (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 01.09.2022

Abstract. The paper presents a comparative analysis of the IPv4 and IPv6 data transfer protocols to ensure a given quality of service (QoS). As parameters of QoS, the bandwidth and the associated transmission rate, as well as the amount of delay and jitter – delay variations are analyzed. The main disadvantages and advantages of both protocols are presented in the form of a table. A model of real interaction between networks operating on the basis of IPv4 and IPv6 protocols has been developed and implemented. The throughput, delay and jitter were measured for an IPv4-based network and an IPv6-based network for various packet sizes (MTU) for UDP and TCP traffic. Conclusions are drawn concerning the possibility and prospects for using the IPv6 protocol to provide a given quality of service.

Keywords: IPv4 and IPv6 protocols, quality of service, throughput, delay, jitter, UDP and TCP traffic.

Conflict of interests. The authors declare no conflicts of interests.

For citation. Bachilo V. V., Dravitsa V. I., Listopad N. I. (2022) Comparative Analysis of the Capabilities of IPv6 and IPv4 Protocols to Provide the Designated Quality of Service. *Doklady BGUIR*. 20 (8), 75–83. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-8-75-83> (in Russian).

Введение

В последнее время сетевой протокол IPv6 становится все более востребованным. Это вызвано, прежде всего, нехваткой глобального адресного IPv4-пространства для эффективного функционирования сетевых устройств. Новейшие методы кодирования, растущие объемы передаваемой информации, современные каналы связи и высокопроизводительное оборудование – все это приводит к тому, что самый распространенный в наше время сетевой протокол IPv4 становится узким местом в глобальных сетях и является серьезным препятствием для дальнейшего развития сетей передачи данных.

Разработанный в 1981 году Internet Protocol version 4 (IPv4), позволяющий уникально идентифицировать 4 млрд устройств, что казалось невероятным числом на то время, в настоящий момент уже не может обеспечить запросы всех нуждающихся в идентификации. Провайдеры доступа в глобальную сеть были вынуждены идти на различные ухищрения с целью обеспечения интернетом каждого. Так был создан NAT (Network Address Translation) – протокол, позволяющий преобразовывать один IP-адрес во множество. В этот момент нарушались основные парадигмы IP-протокола: каждый IP-адрес уникальным образом идентифицирует только одно устройство в мире; NAT нарушает «сквозной» принцип, согласно которому, каждый хост в любой момент времени должен уметь отправлять пакет любому другому хосту. NAT превращает интернет из сети без установления соединения в нечто подобное сети, ориентированной на соединение [1].

Другой проблемой является то, что заголовок IPv4 переменной длины. Это было применимо, когда маршрутизация осуществлялась исключительно программным обеспечением. Однако в настоящее время маршрутизаторы разрабатываются в своем большинстве с аппаратной поддержкой множества возможностей, и использование заголовков переменной длины значительно нагружает их. Это является основным замедляющим фактором в маршрутизаторах промышленного назначения, через которые идет весь трафик.

Протокол же IPv6 имеет фиксированный заголовок, в нем не рассчитывается контрольная сумма. Все это сводит к минимуму количество операций, производимых над пакетом. Весомым аргументом в пользу нового протокола является простота его конфигурирования. Несмотря

на увеличившийся и усложнившийся формат IP-адреса для конечного пользователя, в новом протоколе были добавлены механизмы так называемого автоконфигурирования, что значительно упрощает настройку сети, и в первую очередь провайдером.

В статье приведен сравнительный анализ функционирования двух вышеназванных протоколов для обеспечения заданного качества обслуживания QoS. Параметрами для анализа качества обслуживания выбраны пропускная способность каналов связи, величина задержки и джиттер.

Сравнительный анализ протоколов IPv6 и IPv4

Одним из основных требований при разработке протокола IPv6 была его совместимость снизу-вверх с предыдущими версиями, в частности с IPv4. В этой связи внедрение протокола IPv6 и ряд его новых функций не влияют на работу существующих приложений, работающих поверх сетевого уровня стека протоколов TCP/IP, и могут применяться наряду с функциями протокола IPv4. Рассмотрим основные преимущества и недостатки обоих протоколов [2, 3] (табл. 1).

Таблица 1. Различия протоколов IPv4 и IPv6
Table 1. Differences between IPv4 and IPv6 protocols

Показатель / Index	IPv4	IPv6
Адрес	32 бита (4 байта). Адрес состоит из адреса сети и адреса хоста, определение которых происходит хостами с помощью маски. Общее число 4 297 967 296 адресов	128 бит (16 байт). Первые 64 бита задают номер сети, а остальные – номер хоста. Часто адрес хоста составляется с использованием MAC-адреса. Общее число адресов $3,4 \cdot 10^{38}$
Протокол определения адресов	Применяется ARP для определения адресов канального уровня	Механизм определения адресов канального уровня встроен в протокол обнаружения соседей Neighbour Discovery, который является частью протокола ICMPv6
Типы адресов	Unicast, Broadcast, Multicast	Unicast, Multicast, Anycast
Настройка	Перед тем как система сможет общаться с другими системами, в ней необходимо прописать адрес и маршруты	Настройку требуется выполнять только для применения некоторых функций. Интерфейсы IPv6 настраивают сами себя путем автоматической настройки IPv6 без сохранения состояния
Фрагментация	Если пакет слишком велик, отправитель или промежуточные маршрутизаторы могут разбить его на несколько пакетов	Фрагментацию может осуществить только отправитель
ICMP	Применяется для обмена информацией о сети	Применяется для обмена информацией о сети, а также добавлены функции поиска соседей, определения маршрутизатора и других связанных функций
Заголовок	Составляет от 20 до 60 байт в зависимости от наличия дополнительных параметров	Составляет ровно 40 байт, структура проще, чем в IPv4
NAT	Одна из основных функций файерволла, встроенная в стек протоколов TCP/IP	Как таковой поддержки нет и необходимость в ней отсутствует в связи со значительным расширением адресного пространства. Существует NAT 64 для преобразования адресов IPv6 в IPv4
Размер пакета	Максимальный размер пакета 65535 байт	Максимальный размер пакета может превышать 65535 байт до 4 ГБ при использовании модифицированных протоколов транспортного уровня
Выбор маршрута	Один или несколько IP-адресов, связанных с парой значений, которая включает в себя имя логического интерфейса и IP-адрес следующего транзитного узла	Аналогично IPv4. Есть одно существенное отличие: маршруты IPv6 связаны с физическим, а не с логическим интерфейсом

Как видно из табл. 1, протокол IPv6 лишен некоторых недостатков протокола IPv4: упростились заголовки и настройка сети, увеличилось адресное пространство. Однако в литературе практически отсутствует информация относительно практических результатов сравнительного функционирования протоколов по обеспечению параметров заданного качества обслуживания.

Результаты экспериментальных исследований

Был разработан и собран макет сети, состоящий из двух независимых подсетей: одна функционирует на базе протокола IPv4, вторая – на базе протокола версии 6 – IPv6. Макет сети представлен на рис. 1.

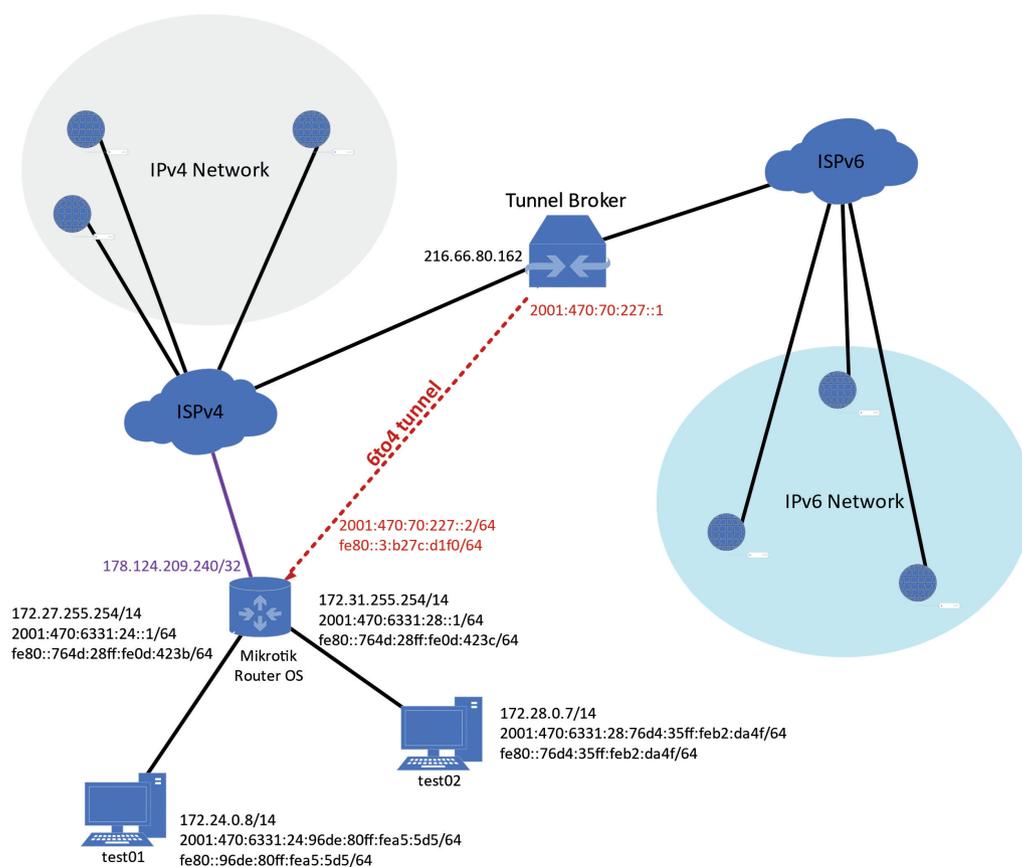


Рис. 1. Макет сети для проведения экспериментальных исследований

Fig. 1. Network layout for experimental studies

В качестве узлов отправителя и получателя были подготовлены две идентичные рабочие станции с сетевыми картами Qualcomm Atheros AR8151 Gigabit Ethernet Controller без каких-либо специальных настроек L2- и L3-уровней. В качестве операционной системы на компьютерах выступала Ubuntu Linux Server 18.04.4 LTS.

Так как к моменту проведения исследований ISP Республики Беларусь не предоставляли адресное пространство IPv6 для физических лиц, было решено воспользоваться услугами туннельного брокера Hurricane Electric. Поскольку для организации 6to4 соединения до сервера туннельного брокера необходим внешний белый IP-адрес IPv4, другой особенностью проведения экспериментальных исследований явилось то, что от провайдера VyFly был получен адрес 178.124.209.240.

В роли маршрутизатора выступал Mikrotik hAP AC2 с пятью Gigabit Ethernet портами и установленной на нем сетевой операционной системой Mikrotik RouterOS 6.46.6. Рабочие станции подключались напрямую к маршрутизатору UTP-кабелем категории Cat.5E. Во время эксперимента доступ к сети интернет был ограничен. Кроме двух участвующих в эксперименте рабочих станций к маршрутизатору другие станции не подключались.

Порты маршрутизаторов настраивались в разные логические мосты (программная реализация управляемых свитчей) так, что станция test01 была в Bridge24 и VLAN24, а другая рабочая станция находилась в Bridge28 и VLAN28. Под эксперимент было выделено две логические IPv4-подсети: 172.24.0.0/14 и 172.28.0.0/14. IPv4-адреса назначались автоматически DHCP сервером. Служебный трафик сводился к минимуму путем отключения вспомогательных служб маршрутизатора.

Измерения проводили для TCP- и UDP-трафика, при этом часть замеров выполняли при стандартном MTU (Maximum Transmission Unit; максимальная единица передачи означает максимальный размер пакета, который может быть передан по сети без фрагментации), равном 1500. Другую часть измерений осуществляли при MTU = 9000. Для генерации трафика и проведения измерений использовали программный комплекс D-ITG – свободное программное обеспечение с открытым исходным кодом, работающее под операционными системами Windows и семейства Linux.

Все представленные измерения проводили для пакетов разного размера (от 64 байт до 1048576 байт). Это позволило эмулировать скорость работы с различными службами.

На первом этапе выполняли измерения полосы пропускания для двух протоколов. Каждый замер производили в течение пяти минут и повторяли три раза. В итоге выбирали среднее значение. Результаты исследования представлены на рис. 2, 3.

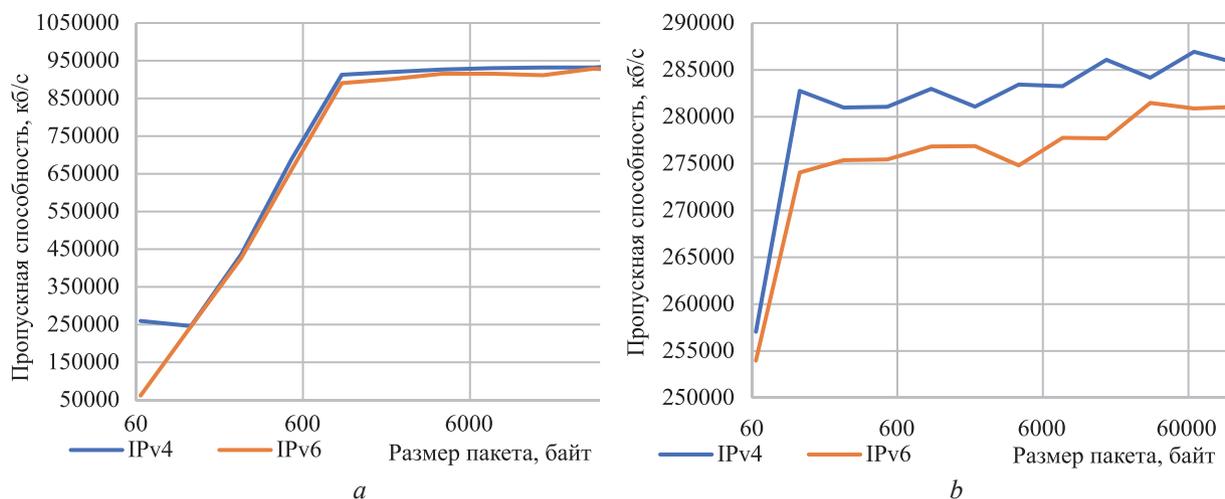


Рис. 2. Зависимость пропускной способности UDP- (a) и TCP-трафика (b) от размера пакета при MTU = 1500

Fig. 2. Dependence of UDP- (a) and TCP-traffic (b) bandwidth on packet size at MTU = 1500

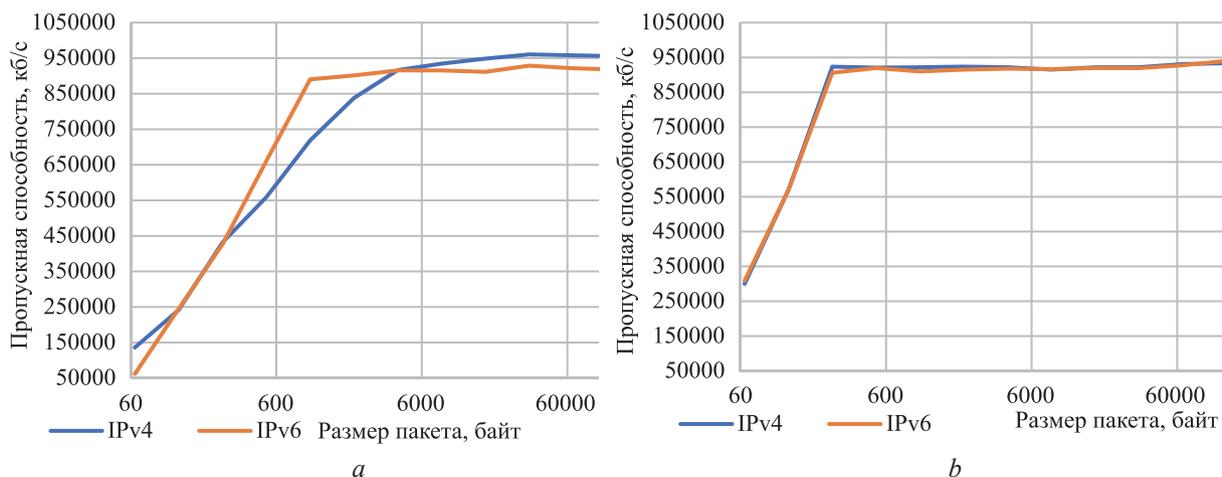


Рис. 3. Зависимость пропускной способности UDP- (a) и TCP-трафика (b) от размера пакета при MTU = 9000

Fig. 3. Dependence of UDP- (a) and TCP-traffic (b) bandwidth on packet size at MTU = 9000

Анализируя полученные измерения, можно видеть незначительное падение пропускной способности канала при использовании IPv6 TCP-трафика (от 0,5 % при MTU = 9000 до 1,7 % при MTU = 1500) и чуть большее падение при использовании IPv6 UDP-трафика (3 % при MTU = 1500 и MTU = 9000). Следует отметить, что при небольших размерах пакетов разница увеличивается и уменьшается по мере роста размера пакета.

Вторым этапом измерений стало определение задержек обработки пакетов (delay). Условия оставались теми же, но теперь перед началом теста часы рабочих станций синхронизировались, а записанные результаты переданного трафика сравнивались. Результаты исследований представлены на рис. 4–7.

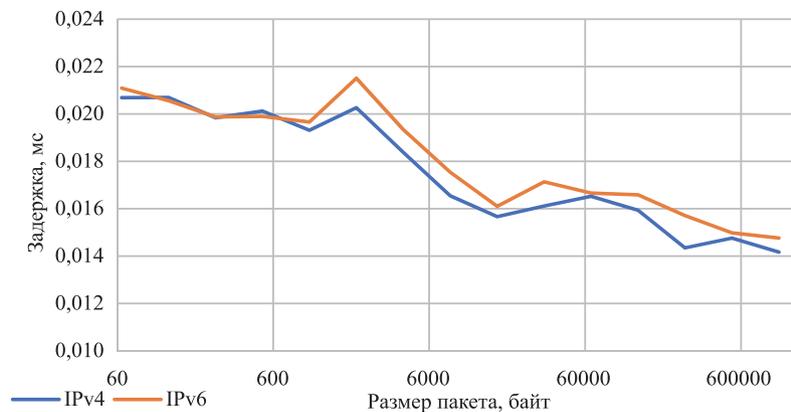


Рис. 4. Зависимость задержки обработки UDP-трафика от размера пакета при MTU = 1500
Fig. 4. Dependence of UDP traffic processing delay on packet size at MTU = 1500

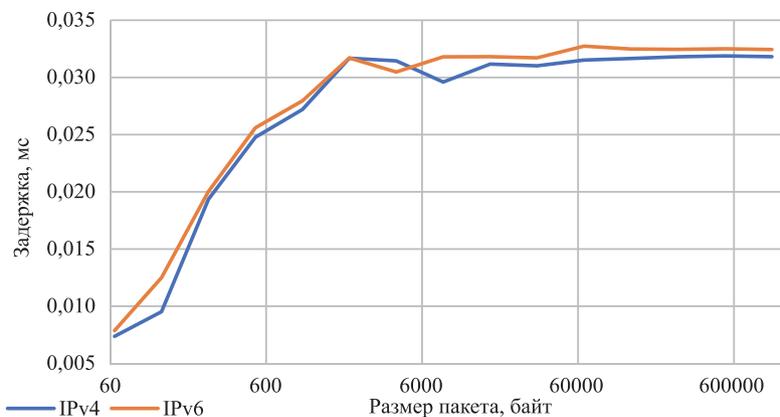


Рис. 5. Зависимость задержки обработки TCP-трафика от размера пакета при MTU = 1500
Fig. 5. Dependence of TCP traffic processing delay on packet size at MTU = 1500

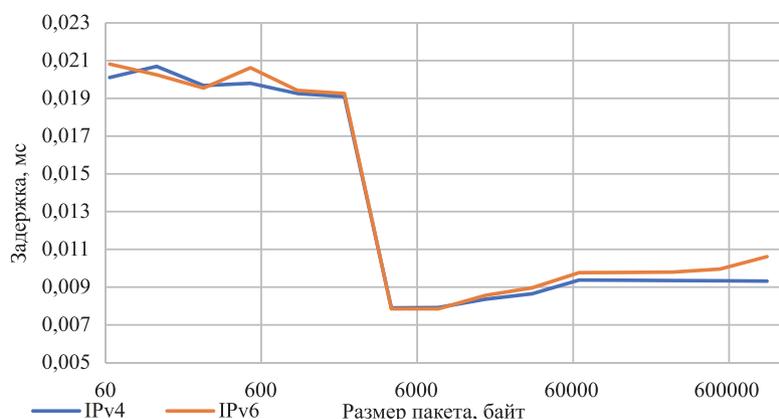


Рис. 6. Зависимость задержки обработки UDP-трафика от размера пакета при MTU = 9000
Fig. 6. Dependence of UDP traffic processing delay on packet size at MTU = 9000

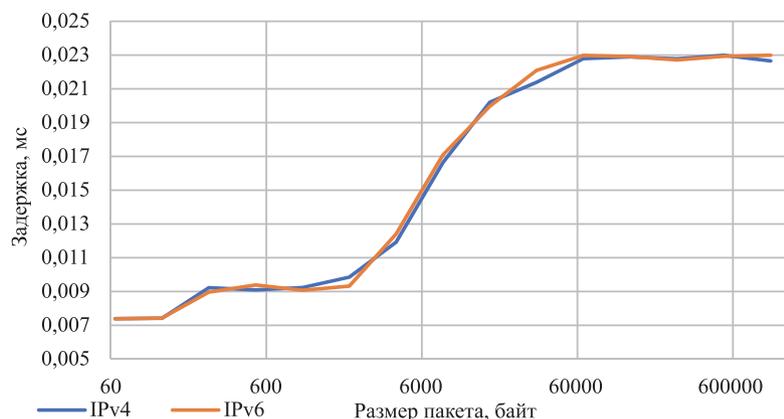


Рис. 7. Зависимость задержки обработки TCP-трафика от размера пакета при MTU = 9000
Fig. 7. Dependence of TCP traffic processing delay on packet size at MTU = 9000

Как видно из рисунков, задержки при использовании протоколов IPv4 и IPv6 практически одинаковые. Однако ожидалось снижение задержек IPv6-трафика. Учитывая, что они остались примерно на уровне IPv4, можно прогнозировать, что с ростом популярности протокола программное обеспечение будет оптимизировано. При UDP-потоке задержки меньше, чем при TCP. У UDP-потока с ростом пакета падают задержки, однако при этом возрастают потери пакетов.

Третьим шагом стало измерение джиттера. Как известно, на джиттер влияют такие факторы, как загруженность канала связи и задержка во времени на восстановление пакетов (рис. 8, 9).

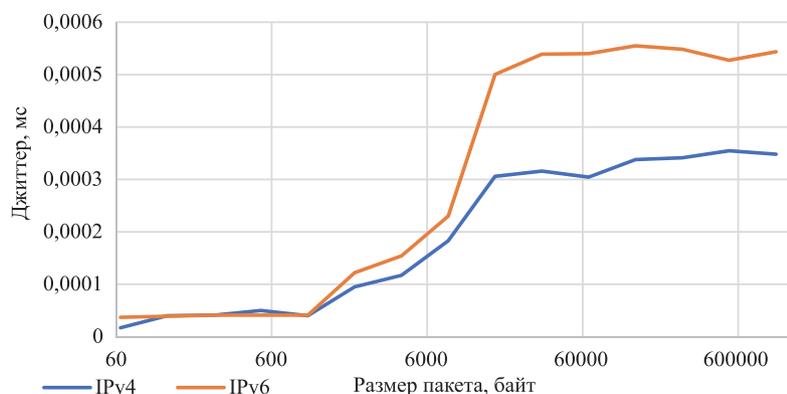


Рис. 8. Зависимость величины джиттера UDP-трафика от размера пакета при MTU = 1500
Fig. 8. Dependence of UDP traffic jitter value on packet size at MTU = 1500

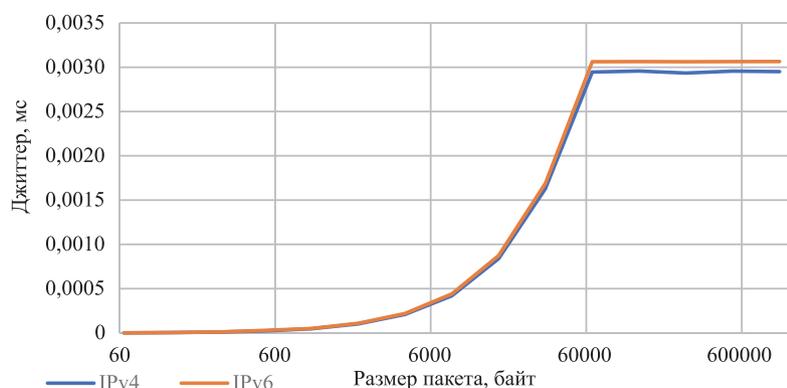


Рис. 9. Зависимость величины джиттера TCP-трафика от размера пакета при MTU = 1500
Fig. 9. Dependence of TCP traffic jitter value on packet size at MTU = 1500

Зависимости величины джиттера UDP- и TCP-трафика от размера пакета при MTU = 9000 для протоколов IPv4 к IPv6 идентичны, кривые в точности совпадают, повторяя по форме зависимости рис. 11. Таким образом, значения джиттера для трафиков протоколов IPv4 и IPv6 существенно не отличаются. Большие значения IPv6 UDP-трафика в IPv4 могут означать большие потери пакетов. Из представленных зависимостей также следует, что с увеличением MTU величина джиттера уменьшается. Отсюда напрашивается вывод, что если задействовать расширенные заголовки пакетов IPv6 (использование тегов для одного потока), значения джиттера должны снизиться, поскольку должна увеличиться скорость обработки пакетов маршрутизатором.

Заключение

1. Сравнительный анализ протоколов IPv4 и IPv6 для обеспечения заданного качества обслуживания показал, что требования по таким параметрам, как пропускная способность каналов связи и задержки у протокола IPv6, несколько хуже. При исследовании задержки канала связи было замечено незначительное их возрастание при переходе от IPv4 к IPv6. Это может быть объяснено неиспользованием таких функций IPv6, как метки трафика, которые значительно ускоряют обработку трафика на маршрутизаторах.

2. Величина задержки при переходе от IPv4 к IPv6 также незначительно возрастает. Исследование джиттера показало незначительное его увеличение при переходе от IPv4 к IPv6.

3. Учитывая очень близкие скорости функционирования протоколов, а также новизну протокола и преимущества, которыми он обладает в плане простоты работы и масштабируемости, из проведенных исследований следует, что новая версия протокола является перспективной с точки зрения обеспечения заданного качества обслуживания.

4. Протокол IPv6 может быть эффективно использован с увеличением объема трафика, а также в связи с ростом числа интеллектуальных систем, которым необходимо общаться друг с другом напрямую, например, в сетях интернета вещей.

Список литературы

1. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер; 5-е изд. СПб.: Питер, 2016. 992 с.
2. Hagen, S. IPv6 Essentials: Integrating IPv6 into Your IPv4 Network / S. Hagen. New York: O'Reilly, 2014. 414 p.
3. RFC 1038: Draft Revised IP Security Option [Electronic Resource]. Mode of access: <https://tools.ietf.org/html/rfc1038>.

References

1. Olifer V. G., Olifer N. A. (2016) *Computer Networks. Principles, Technologies, Protocols. 5th ed.* St. Petersburg, Peter Publ. 992.
2. Hagen S. (2014) *IPv6 Essentials: Integrating IPv6 into Your IPv4 Network*. New York, O'Reilly Publ. 414.
3. *RFC 1038: Draft Revised IP Security Option*. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc1038>.

Вклад авторов

Бачило В. В. описал различия протоколов IPv4 и IPv6, разработал макет, провел экспериментальные исследования.

Дравица В. И. обосновал использование протоколов IPv4 и IPv6, осуществил анализ полученных результатов.

Листопад Н. И. осуществил научное руководство и постановку задачи.

Authors' contribution

Bachilo V. V. described the difference between IPv4 and IPv6 protocols, developed a layout, conducted experimental research.

Dravitsa V. I. carried out the rationale for the use of protocols IPv4 and IPv6, carried out an analysis of the results.

Listopad N. I. carried out scientific guidance and problem setting.

Сведения об авторах

Бачило В. В., магистрант кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Дравица В. И., к.ф.-м.н., директор Государственного предприятия «Центр Систем Идентификации».

Листопад Н. И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел. +375 17 293-23-04
E-mail: listopad@bsuir.by
Листопад Николай Измаилович

Information about the authors

Bachilo V. V., Master's Student at the Information Radiotechnologies Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Dravitsa V. I., Cand. of Sci., Director of State Enterprise "Center of Identification Systems".

Listopad N. I., Dr. of Sci., Professor, Head of the Information Radiotechnologies Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Address for correspondence

220103, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel. +375 17 293-23-04
E-mail: listopad@bsuir.by
Listopad Nikolai Izmailovich