

МОДЕЛИ НАЛОЖЕННЫХ СЕТЕЙ

В. С. Елагин¹, Ю. С. Дмитриева^{1*}

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

* Адрес для переписки: Dmitrieva.Julia.Serg@yandex.ru

Аннотация

Предмет исследования. В данной статье рассмотрено влияние размера TCP-окна на числовые характеристики интервалов между пакетами: начальные моменты интервалов с первого по третий, так как разработанная математическая модель использует три первых начальных момента.

Метод. Исследования проводились на виртуальной экспериментальной установке, которая развернута с помощью платформы OpenNebula на физических серверах. Рассмотрены два случая: программно-конфигурируемая сеть с поддержкой открытого протокола OpenFlow и традиционная сеть без протокола OpenFlow. Программно-конфигурируемая сеть построена с контроллером POX и физическим OpenFlow коммутатором. В качестве инструментальных средств использованы программные продукты tcpdump для захвата трафика и Iperf для генерации трафика. **Основные результаты.** Полученные результаты импортированы в MS Excel и с использованием известных формул математической статистики определяются моментные характеристики временных интервалов. **Практическая значимость.** Благодаря гибридной архитектуре, можно поэтапно внедрять решения SDN в существующих сетях, при этом данные решения будут тесно интегрироваться и взаимодействовать с оборудованием, не поддерживающим SDN и протокол OpenFlow. Это, в частности, позволяет использовать преимущества, которые предоставляют SDN-приложения, без необходимости полной замены всего оборудования в сети.

Ключевые слова

ЦОД, программно-конфигурируемые сети, SDN, OpenFlow, out-of-band, in-band, TCP-окно, POX, моментные характеристики.

Информация о статье

УДК 004.942

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 27.09.2019, принята к печати 03.12.2018.

Ссылка для цитирования: Елагин В. С., Дмитриева Ю. С. Модели наложенных сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Том 6. № 4. С. 33–44.

OVERLAY NETWORKS MODELS

V. Elagin¹, Y. Dmitrieva^{1*}

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

* Corresponding author: Dmitrieva.Julia.Serg@yandex.ru

Abstract—Research subject. This article discusses the effect of the size of a TCP window on the numerical characteristics of the intervals between packets: the initial moments of the intervals from the first to the third, since the developed mathematical model uses the first three starting points. **Method.** The researches were carried out on a virtual experimental installation, which is deployed using the OpenNebula platform on physical servers. Two cases are considered: a software-configured network with Open-Flow open protocol and a traditional network without the OpenFlow protocol. The software configurable network is built with a POX controller and a physical OpenFlow switch. The tcpdump software used to capture traffic and Iperf to generate traffic are used as tools. **Core results.** The results obtained are imported into MS Excel and using the known formulas of mathematical statistics, the moment characteristics of time intervals are determined. **Practical relevance.** Thanks to the hybrid architecture, it is possible to gradually implementation of SDN solutions in existing networks, while these solutions will be tightly integrated and interact with equipment that does not support SDN and the Open-Flow protocol. This, in particular, allows you to use the benefits that provide SDN-applications, without the need for a complete replacement of all equipment in the network.

Keywords—Data center network, software defined networking, SDN, OpenFlow, out-of-band,in-band, TCP-window, POX, moment characterstics.

Article info

Article in Russian.

Received 27.09.2019, accepted 03.12.2018.

For citation: Elagin V., Dmitrieva Y.: Overlay Networks Models // Telecom IT. 2018. Vol. 6. Iss. 4. pp. 33-44 (in Russian).

Введение

Концепция ПКС (программно-конфигурируемая сеть) заключается в разделении плоскостей данных и управления. ПКС ориентирована на взаимодействие с пользователем через открытый API. Управление данными передается контроллеру. Это позволяет упростить коммутаторы, сняв с них вычислительную нагрузку. Пересылка пакетов осуществляется по таблице маршрутизации, получаемой с контроллера, которая создается не для конкретного пакета, а для типа пакетов – потока [1]. Таким образом, ПКС видится как решение проблем сетей с оборудованием разных производителей, когда конфигурирование сети затруднено специфичностью оборудования и разным подходом к управлению.

Протокол OpenFlow¹ на данный момент является популярным решением для построения ПКС. Но, к сожалению, его недостаточно своевременная поддержка со стороны производителей не позволяет в полной мере использовать все функции по управлению сетью.

¹ OpenFlow. Open Networking Foundation. URL: <https://www.opennetworking.org/sdnresources/open-flow> (Дата обращения 09.05.2019).

На сегодняшний день парадигма SDN приобретает все большую популярность. Множество IT организаций и сетевых провайдеров применяет ее, в первую очередь, с целью снижения стоимости сетевой инфраструктуры и издержек на ее содержание, а также обеспечения высокого уровня управляемости, защищенности и надежности сети².

Одним из направлений «модернизации» классического подхода к организации сетевой архитектуры и управления нею является создание программно-конфигурируемых сетей (*Software Defined Networks, SDN*), которые способны обеспечить предоставление пользователям нового по концепции, расширенного и удобного набора услуг с дополнительными свойствами. Прогнозируется, что технология SDN в ближайшем будущем позволит внедрить аспекты открытости кода сетевой составляющей облачной инфраструктуры, которая считается наиболее благоприятной основой для разработки и внедрения широкого спектра приложений.

SDN – это сеть передачи данных, в которой уровень управления отделен от устройств передачи данных и реализуется программно [2]. В традиционных коммутаторах и маршрутизаторах эти процессы неотделимы друг от друга. В SDN сеть, которая состоит из множества устройств различных производителей, используется как один логический коммутатор. На рис. 1 приведена архитектура SDN. Программно-конфигурируемые сети эффективны для построения инфраструктурных облачных сервисов, в условиях, когда по запросу потребителей услуг необходимо автоматически и в кратчайшие сроки создавать виртуальные узлы и выделять виртуальные сетевые ресурсы.

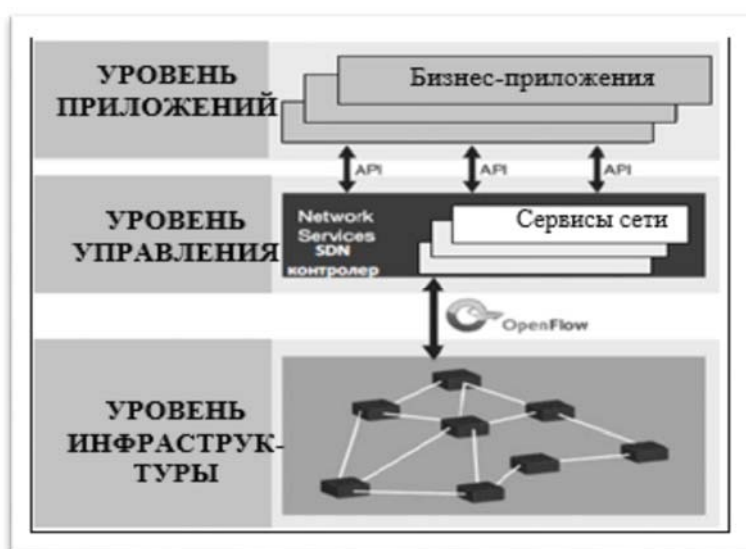


Рис. 1. Архитектура SDN [3]

Также программно-конфигурируемые сети целесообразны в условиях крупных центров обработки данных, позволяя сократить расходы на сопровождение сети за счет централизации управления на программном контроллере и повысить процент использования ресурсов сети благодаря динамичному управлению.

² Architecture SDN. Open Networking Foundation. URL: <https://www.opennetworking.org/> (Дата обращения 09.05.2019).

Главным отличием данной концепции от традиционной, является разделение плоскостей управления и передачи данных. Плоскость управления представлена контроллером с сетевой операционной системой (либо распределенной сетью контроллеров, называемой ядром сети). Плоскость передачи данных выполнена в виде сети взаимосвязанных коммутаторов, которые обеспечивают непосредственно передачу данных, на основании команд управления контроллера SDN.

Интерфейсом между уровнями управления и передачи данных является OpenFlow – протокол взаимодействия между сетевыми устройствами (коммутаторами) программно-управляемой сети SDN и централизованным контроллером. Данная технология является одной из наиболее перспективных и развивающихся в реализации подхода программно-конфигурируемых сетей. Основным её документом является спецификация OpenFlow³, в которой описываются основные компоненты OpenFlow-сети, принципы работы и взаимодействия компонентов (протокол OpenFlow). Согласно данной спецификации основными компонентами OpenFlow сети являются: контроллер, который включает в себя сетевую операционную систему и сетевые приложения; OpenFlow коммутатор; защищенный канал между контроллером и коммутатором; протокол OpenFlow. На рис. 2 представлены основные компоненты OpenFlow сети.

Общий принцип функционирования OpenFlow-сети заключается в следующем: каждый OpenFlow коммутатор устанавливает защищенный канал с контроллером, посредством которого контроллер управляет им. Взаимодействие между коммутаторами и контроллером осуществляется посредством сообщений протокола OpenFlow. Контроллер получает информацию об изменении состояний элементов в сети, на основе которой он конфигурирует сетевое оборудование, управляет сетевой инфраструктурой и потоками данных в сети [4].

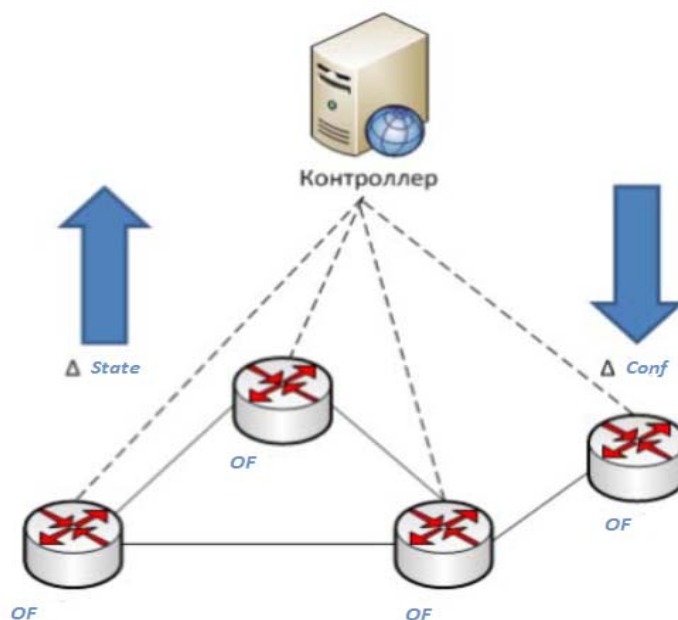


Рис. 2. Основные компоненты OpenFlow сети

³ Mininet. Official Website. URL: <http://mininet.org/> (Дата обращения 22.04.2019).

Для корректной работы OpenFlow коммутатора необходимо, чтобы он мог устанавливать и поддерживать соединение с соответствующим контроллером. Существует два основных подхода к организации такого соединения:

- передавать сообщения OpenFlow по физически независимому каналу, изолированному от сети передачи данных (*out-of-band*);
- для передачи управляющей информации можно использовать непосредственно сеть передачи данных, которой управляет контроллер (*in-band*).

В случае использования *out-of-band* подхода в OpenFlow коммутаторе выделяется отдельный порт. Вся управляющая информация между контроллером и коммутатором передается через этот порт, для передачи пакетов в сети передачи данных используются другие порты коммутатора. Таким образом, для управления коммутаторами создается отдельная сеть согласно рис. 3.

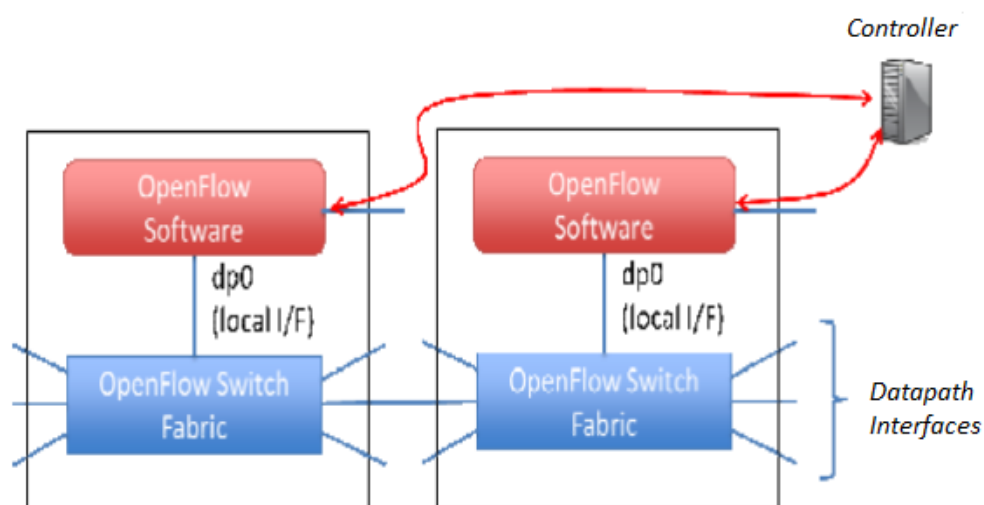


Рис. 3. Out-of-band подход управления коммутаторами в ПКС сети

Преимуществами *out-of-band* подхода являются простота (упрощается реализация OpenFlow коммутатора), надежность (трафик в сети передачи данных никак не влияет на передачу управляющей информации), безопасность (машины, не входящие в сеть управления, не имеют физической возможности получить доступ к управлению настройками коммутатора)⁴. В случае *in-band* подхода (второй подход) для передачи управляющей информации используется та же сеть, что и для передачи пользовательских данных согласно рис. 4.

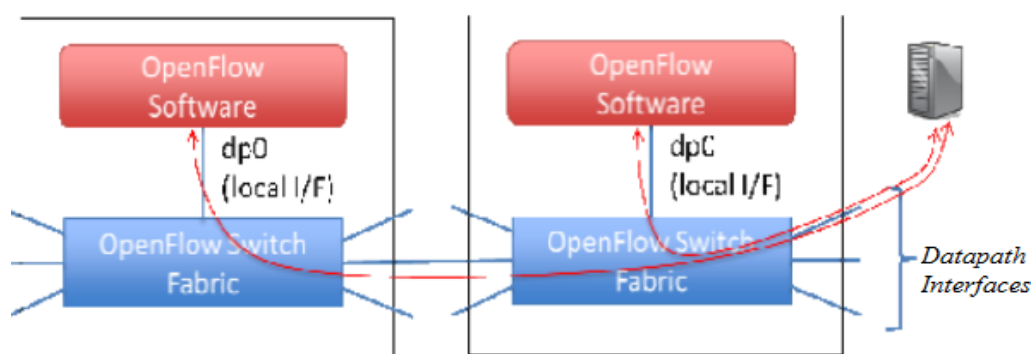


Рис. 4. In-band подход управления коммутаторами в ПКС сети

⁴ Там же.

К преимуществам in-band подхода можно отнести экономичность, так как не требуется выделения отдельных портов и физических каналов под сеть управления, сокращение количества сетевого оборудования, упрощается проектирование и поддержка сети⁵. Однако могут возникать риски, связанные с надежностью (перегрузки в сети передачи данных, отказы каналов) и с безопасностью (возможности DDoS-атак на контроллер).

Во многих случаях перечисленные выше достоинства in-band управления делают его использование более предпочтительным, чем out-of band управление.

Рассмотрим, с научной точки зрения, как влияет размер TCP-окна на распределение интервалов между пакетами трафика в программно-конфигурируемых сетях SDN.

ТСР-окно

В рамках соединения правильность передачи каждого сегмента должна подтверждаться квитанцией получателя. Квитирование – это один из традиционных методов обеспечения надежной связи. Для того чтобы можно было организовать повторную передачу искаженных данных, отправитель нумерует отправляемые единицы передаваемых данных (далее кадры). Для каждого кадра отправитель ожидает от приемника так называемую положительную квитанцию – служебное сообщение, извещающее о том, что исходный кадр был получен и данные в нем оказались корректными. Время этого ожидания ограничено – при отправке каждого кадра передатчик запускает таймер, и если по его истечении положительная квитанция не получена, то кадр считается утерянным.

Для повышения нагрузки на канал связи источнику разрешается передать некоторое количество кадров в непрерывном режиме, то есть в максимально возможном для источника темпе, без получения на эти кадры ответных квитанций.

Количество кадров, которые разрешается передавать таким образом, называется размером TCP окна⁶.

Определение числовых характеристик временных интервалов

С использованием известных формул математической статистики определяются моментные характеристики временных интервалов [5]. В работе использованы статистики до третьего порядка, которые позволяют судить о характере распределения интервалов. Например, коэффициент вариации показывает отличие трафика от пуассоновского потока и совместно с асимметрией позволяет судить о степени весомости хвостов распределений интервалов между пакетами [6, 7].

Среднее значение интервала между соседними пакетами равно

$$\tau = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^N (t_{k+1} - t_k),$$

⁵ OpenFlow. Official Website. URL: http://archive.openflow.org/wk/index.php/OpenFlow_Tutorial/ (Дата обращения 22.04.2019).

⁶ Протокол надежной доставки сообщений TCP. CIT Forum. URL: http://citforum.ru/nets/ip/glava_6.shtml (Дата обращения 26.04.2019).

где t_k – моменты времени поступления пакетов; N – число анализируемых интервалов. Выборочная дисперсия равна $D_B = \overline{t^2} - \overline{t}^2$, где второй начальный момент $\overline{t^2} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^N (t_{k+1} - t_k)^2$.

Коэффициент вариации $c = \frac{\sigma_B}{\tau}$, где $\sigma_B = \sqrt{D_B}$; коэффициент асимметрии находится по формуле $A_s = \frac{(\overline{t^3} - 3\tau\overline{t^2} + 2\tau^3)}{\sigma_B^3}$, где третий начальный момент

$$\overline{t^3} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^N (t_{k+1} - t_k)^3.$$

Проведение эксперимента

Необходимо определить зависимость моментных характеристик временных интервалов от размера TCP-окна как с поддержкой протокола, так и без него. Для исследования поведения пакетов было решено собрать экспериментальный сегмент сети, показанный на рис. 5. На серверах Node развернут виртуальный кластер из 12 узлов с помощью платформы OpenNebula⁷, которая установлена на Server. OpenNebula – это платформа для организации управления cloud-инфраструктурой и виртуальными окружениями, которая позволяет организовать работу локальной облачной инфраструктуры, обеспечить работу гибридной схемы, комбинируя ресурсы локального дата-центра и внешних облачных провайдеров.

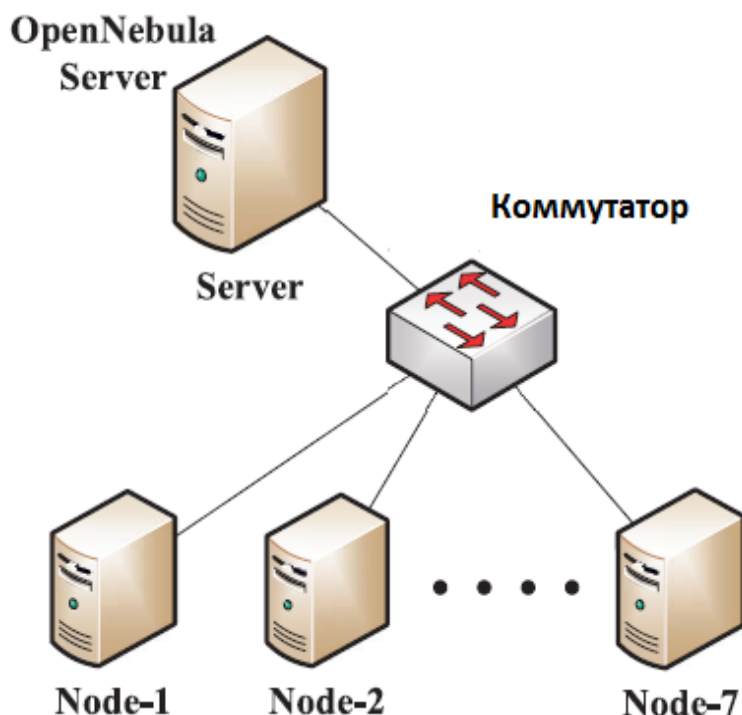


Рис. 5. Экспериментальный сегмент сети

⁷ OpenNebula.org. URL: <http://opennebula.org> (Дата обращения 26.04.2019).

Физический кластер коммутируется гигабитным коммутатором, который поддерживает протокол OpenFlow. Режимы настроек потоков реактивный (*Reactive*), когда коммутатор принимает поток, запись о котором отсутствует в таблице, он запрашивает контроллер о правилах обработки данного потока.

Виртуальный кластер сети (см. рис. 6) состоит из контроллера POX (сетевая операционная система), программы tcpdump (для захвата трафика) и клиентов, которые генерируют трафик (см. рис. 7).

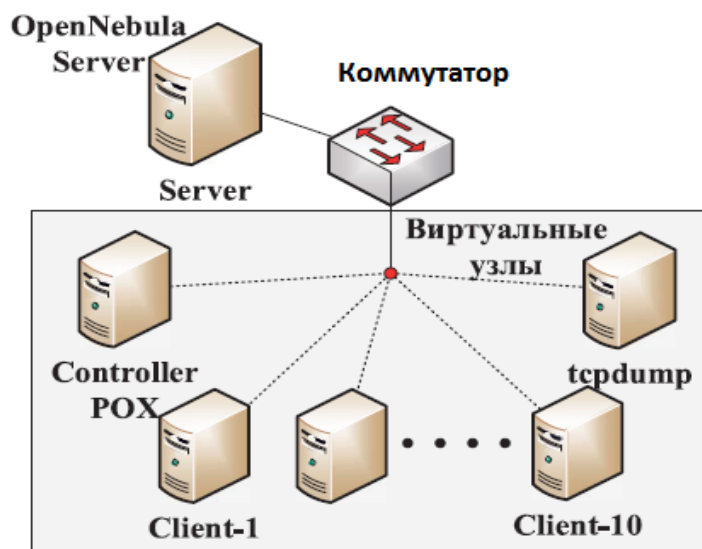


Рис. 6. Виртуальный кластер

Трафик генерируется с помощью утилиты Iperf, установленной на узлах кластера. Iperf - кроссплатформенная консольная клиент-серверная программа – генератор TCP, UDP и SCTP трафика для тестирования пропускной способности сети.



Рис. 7. Структура трафика

На каждом из клиентов запускается утилита Iperf со следующими параметрами: f – формат вывода значений, t время генерации пакетов, m – выводить максимальный размер полезного блока данных (MSS) и максимальный размер кадра (MTU), p – порт, w – размер TCP-окна. Размер генерируемых TCP пакетов по умолчанию 1500 байт. Были выбраны следующие размеры TCP- окна: 8 КБ, 16 КБ, 32 КБ, 64 КБ, 128 КБ и 256 КБ. Трафик генерируется в направлении tcpdump, на котором утилита Iperf запущена с параметром сервера⁸ [8].

Результаты эксперимента

Для анализа результатов понадобится обработать файлы логов выполнения эксперимента. Файлы располагаются на серверах tcpdump. Для расчета моментных характеристик данные из лог-файлов были импортированы в MS Excel.

В таблице 1 представлены результаты шести экспериментов с разными значениями размера TCP-окна без поддержки протокола OpenFlow, где отображены найденные характеристики, такие как первый начальный момент, второй начальный момент, дисперсия, коэффициент вариации, асимметрия, количество дошедших пакетов, время эксперимента.

Таблица 1.

Влияние размера TCP-окна на моментальные характеристики интервала между пакетами трафика в ПКС

Размер TCP-окна, кБ	8	16	32	64	128	256
τ	$1,62 \cdot 10^{-4}$	$2,08 \cdot 10^{-4}$	$2,02 \cdot 10^{-4}$	$2,09 \cdot 10^{-4}$	$2,14 \cdot 10^{-4}$	$1,56 \cdot 10^{-2}$
D6	$1,32 \cdot 10^{-7}$	$3,54 \cdot 10^{-7}$	$5,61 \cdot 10^{-7}$	$8,44 \cdot 10^{-7}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$	$1,70 \cdot 10^{-2}$
$\overline{t^2}$	$1,58 \cdot 10^{-7}$	$3,97 \cdot 10^{-7}$	$6,02 \cdot 10^{-7}$	$8,88 \cdot 10^{-7}$	$1,05 \cdot 10^{-6}$	$1,73 \cdot 10^{-2}$
c	2,25	2,86	3,70	4,40	4,70	8,35
A_s	3,99	5,08	6,82	8,13	13,9	22,4
$\overline{t^3}$	$2,59 \cdot 10^{-10}$	$1,30 \cdot 10^{-9}$	$3,22 \cdot 10^{-9}$	$6,84 \cdot 10^{-9}$	$1,47 \cdot 10^{-8}$	$5,07 \cdot 10^{-2}$
Число пакетов	208 342	160 638	169 183	167 767	169 700	1 238
Время моделирования	33,70	33,43	34,21	35,05	36,23	19,33

В таблице 2 (см. ниже) представлены аналогичные результаты экспериментов с поддержкой протокола OpenFlow, где отображены найденные моментные характеристики временных интервалов.

Полученные данные свидетельствуют о том, что анализируемый трафик сильно отличается от пуассоновского (коэффициент вариации $c > 1$), значение асимметрии $A_s > 2$ говорит о том, что распределение интервалов между пакетами трафика относится к распределениям, похожим на гиперэкспоненциальное, и соответствует системам массового обслуживания (СМО) $H_2/M/1$ [6, 7], $H_2/H_2/1$ [9]. Способы аппроксимации произвольных распределений гиперэкспоненциальным подробно рассмотрены в [10, 11].

⁸ Там же.

Таблица 2.

Влияние размера TCP-окна на моментальные характеристики интервала между пакетами трафика в ПКС

Размер TCP-окна, кБ	8	16	32	64	128	256
τ	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$1,40 \cdot 10^{-3}$	$1,45 \cdot 10^{-3}$	$1,66 \cdot 10^{-3}$	$1,77 \cdot 10^{-3}$	$1,87 \cdot 10^{-3}$
D6	$3,08 \cdot 10^{-6}$	$4,91 \cdot 10^{-6}$	$6,26 \cdot 10^{-6}$	$8,58 \cdot 10^{-6}$	$1,47 \cdot 10^{-5}$	$2,00 \cdot 10^{-5}$
\bar{t}^2	$4,84 \cdot 10^{-6}$	$6,88 \cdot 10^{-6}$	$8,35 \cdot 10^{-6}$	$1,14 \cdot 10^{-5}$	$1,78 \cdot 10^{-5}$	$2,35 \cdot 10^{-5}$
c	1,32	1,58	1,72	1,76	2,16	2,38
A_s	2,45	3,47	4,68	4,11	6,04	7,65
\bar{t}^3	$2,79 \cdot 10^{-8}$	$6,13 \cdot 10^{-8}$	$1,04 \cdot 10^{-7}$	$1,51 \cdot 10^{-7}$	$4,23 \cdot 10^{-7}$	$8,01 \cdot 10^{-7}$
Число пакетов	27 987	28 084	30 036	29 989	34 767	36 957
Время моделирования	37,15	39,38	43,46	49,92	61,60	69,13

Заключение

В ходе проведения экспериментов были получены моментные характеристики интервалов между пакетами трафика в сетях SDN с протоколом OpenFlow и без. Для оценки показателей эффективности функционирования сети может быть использована система массового обслуживания M2/M/1 с гиперэкспоненциальным распределением второго порядка входящего трафика. Значения всех числовых характеристик с увеличением размера TCP-окна увеличиваются в рассматриваемых случаях. Количество пакетов для эксперимента без протокола OpenFlow увеличивается на размерах TCP-окна от 8 КБ до 128 КБ, потом резко падает с 169 700 до 1 238 при размере окна 256 КБ. В случае с поддержкой протокола этого не наблюдается и количество пакетов увеличивается.

Число пакетов, дошедших до адресата без протокола OpenFlow, на порядок больше, чем с поддержкой протокола OpenFlow. Это говорит о том, что дополнительную задержку в сеть вносит контроллер OpenFlow. Этот факт следует учитывать, особенно в случае высокой нагрузки на программно-конфигурируемые сети. В нашем случае эксперименты проводились для случаев невысокой нагрузки на каналы.

При увеличении нагрузки на сеть возрастает задержка, поэтому необходимо разработать модели наложенных сетей, которые бы показали зависимость от разных устройств.

Литература

1. Садов О. Л., Тивиков Н. В. Исследование способов управления QoS в программно-конфигурируемых сетях с помощью контроллера Ryu // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–2. С. 104.
2. Смелянский Р. Настоящее и будущее SDN&NFV // Первая миля. 2016. № 3 (56). С. 78–85.
3. Li, D., et al. A survey of network update in SDN // Frontiers of computer science. 2017. No. 1. pp. 4–12.

4. Коломеец А. Е., Сурков Л. В. Программно-конфигурируемые сети на базе протокола OpenFlow // Инженерный вестник. 2014. № 5. С. 518–525.
5. Тарасов В. Н., Бахарева Н. Ф., Горелов Г. А., Малахов С. В. Анализ и расчет входящего трафика на уровне трех моментов распределений // Информационные технологии. 2014. № 9. С. 54–59.
6. Тарасов В. Н., Карташевский И. В., Малахов С. В. Теоретическое и экспериментальное исследование задержки в программно-конфигурируемых сетях // Инфокоммуникационные технологии. 2015. Т. 13. № 4. С. 409–413.
7. Tarasov, V. N., Malakhov, S. V. Statistical Data Handling Program of Wireshark Analyzer and Incoming Traffic Research // Proceedings of the Institute for System Programming. 2015. Vol. 27. Iss. 3. pp. 303–314.
8. Тарасов В. Н., Малахов С. В. Экспериментальные исследования производительности сегмента программно-конфигурируемой сети // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2013. № 2. С. 81–85.
9. Тарасов В. Н., Карташевский И. В. Определение среднего времени ожидания требований в управляемой системе массового обслуживания H2/H2/1 // Системы управления и информационные технологии. 2014. Т. 57. № 3. С. 92–96.
10. Тарасов В. Н. Исследование систем массового обслуживания с гиперэкспоненциальными входными распределениями // Проблемы передачи информации. 2016. Т. 52. № 1. С. 16–26.
11. Тарасов В. Н., Карташевский И. В. Способы аппроксимации входных распределений для системы G/G/1 и анализ полученных результатов // Системы управления и информационные технологии. 2015. № 3.1 (61). С. 182–185.

References

1. Sadov, O. L., Tivikov, N. V. Research of Ways of Management of QoS in the Program Configured Networks by Means of the RYU Controller // Modern Problems of Science and Education. 2015. No. 1–2. P. 104.
2. Smelyansky, R. Present and Future of SDN&NFV // First Mile. 2016. No. 3 (56). Pp. 78–85.
3. Li, D., et al. A survey of network update in SDN // Frontiers of computer science. 2017. No. 1. pp. 4–12.
4. Kolomeets, A. E., Surkov, L. V. SDN based on the OpenFlow Protocol // Engineering Bulletin. 2014. No. 5. pp. 518–525.
5. Tarasov, V. N., Bakhareva, N. F., Gorelov, G. A., Malakhov, S. V. Analyzing the Incoming Traffic at the Three Moments Distribution of Time Intervals // Information Technologies. 2014. No. 9. pp. 54–59.
6. Tarasov, V. N., Kartashevskiy, I. V., Malakhov, S. V. Theoretical and Experimental Research of Packet Delays in Software Defined Networks // Infokommunikacionnye Tehnologii. 2015. Vol. 13. No. 4. pp. 409–413.
7. Tarasov, V. N., Malakhov, S. V. Statistical Data Handling Program of Wireshark Analyzer and Incoming Traffic Research // Proceedings of the Institute for System Programming. 2015. Vol. 27. Iss. 3. pp. 303–314.
8. Tarasov, V. N., Malakhov, S. V. Experimental Studies of Software Configurable Network Segment Capacity // Intelligence. Innovations. Investments. 2013. No. 2. pp. 81–85.
9. Tarasov, V. N., Kartashevskiy, I. V. Determination of Average Waiting Time of Requirements in a Controlled Queuing System H2/H2/1 // Management Systems and Information Technology. 2014. T. 57. № 3. pp. 92–96.
10. Tarasov, V. N. Study of Queueing Systems with Hyperexponential Arrival Distributions // Problems of Information Transmission. 2016. Vol. 52. No. 1. pp. 16–26.
11. Tarasov, V. N., Kartashevskiy, I. V. Methods of Approximation of Input Distributions for the System G/G/1 and Analysis of the Results // Management Systems and Information Technology. 2015. No. 3.1 (61). pp. 182–185.

Дмитриева Юлия Сергеевна

– магистр, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232,
Российская Федерация,
Dmitrieva.Julia.Serg@yandex.ru

Елагин Василий Сергеевич

- кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, elagin.vas@gmail.com

Dmitrieva Julia

- Undergraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, Dmitrieva.Julia.Serg@yandex.ru

Elagin Vasiliy

- Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, elagin.vas@gmail.com