

# **Лабораторная работа № 2**

**Измерение и тестирование пропускной способности сети.  
Интерактивный эксперимент**

Амуничников Антон Игоревич

# Содержание

<b>1</b>	<b>Цель работы</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Задание</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Теоретическое введение</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Выполнение лабораторной работы</b>	<b>8</b>
4.1	Установка необходимого программного обеспечения . . . . .	8
4.2	Интерактивные эксперименты . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Выводы</b>	<b>22</b>

# Список иллюстраций

4.1	Подключение к mininet по ssh . . . . .	8
4.2	Установка ПО . . . . .	9
4.3	Развертывание iperf3_plotter . . . . .	9
4.4	Задание простейшей топологии . . . . .	10
4.5	Параметры запущенной в интерактивном режиме топологии . . . . .	10
4.6	Тестовое соединение между хостами . . . . .	11
4.7	Эксперимент в интерфейсе mininet . . . . .	12
4.8	Завершение процесса на сервере . . . . .	13
4.9	Указание периода времени передачи . . . . .	14
4.10	Выполнения теста пропускной способности с 2-секундным интервалом . . . . .	15
4.11	Задание в тесте определённого объёма данных . . . . .	16
4.12	Изменение протокола передачи данных . . . . .	17
4.13	Изменение номера порта для отправки/получения пакетов . . . . .	18
4.14	Параметр обработки данных только от одного клиента с остановкой сервера по завершении теста . . . . .	19
4.15	Экспорт результатов теста измерения пропускной способности iPerf3 в файл JSON . . . . .	20
4.16	Проверка создания файла iperf_results.json . . . . .	20
4.17	Исправление прав запуска X-соединения . . . . .	21
4.18	Визуализация результатов эксперимента . . . . .	21

## **Список таблиц**

# 1 Цель работы

Основной целью работы является знакомство с инструментом для измерения пропускной способности сети в режиме реального времени — iPerf3, а также получение навыков проведения интерактивного эксперимента по измерению пропускной способности моделируемой сети в среде Mininet.

## 2 Задание

1. Установить на виртуальную машину mininet iPerf3 и дополнительное программное обеспечения для визуализации и обработки данных.
2. Провести ряд интерактивных экспериментов по измерению пропускной способности с помощью iPerf3 с построением графиков.

## 3 Теоретическое введение

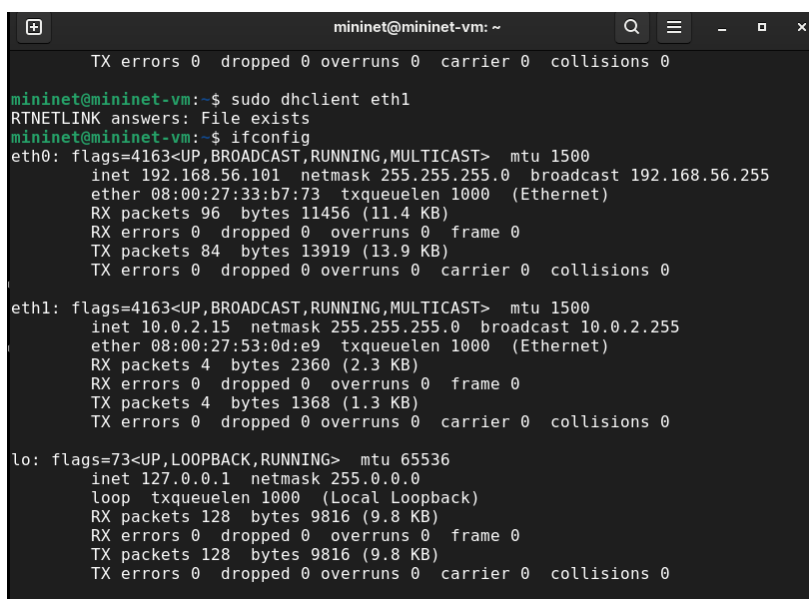
Mininet– это эмулятор компьютерной сети. Под компьютерной сетью подразумеваются простые компьютеры — хосты, коммутаторы, а так же OpenFlow-контроллеры. С помощью простейшего синтаксиса в примитивном интерпретаторе команд можно разворачивать сети из произвольного количества хостов, коммутаторов в различных топологиях и все это в рамках одной виртуальной машины(ВМ). На всех хостах можно изменять сетевую конфигурацию, пользоваться стандартными утилитами(ifconfig, ping) и даже получать доступ к терминалу. На коммутаторы можно добавлять различные правила и маршрутизировать трафик.

iPerf3 представляет собой кроссплатформенное клиент-серверное приложение с открытым исходным кодом, которое можно использовать для измерения пропускной способности между двумя конечными устройствами. iPerf3 может работать с транспортными протоколами TCP, UDP и SCTP: - TCP и SCTP: - измеряет пропускную способность; - позволяет задать размер MSS/MTU; - отслеживает размер окна перегрузки TCP (CWnd). - UDP: - измеряет пропускную способность; - измеряет потери пакетов; - измеряет колебания задержки (jitter); - поддерживает групповую рассылку пакетов (multicast).

## 4 Выполнение лабораторной работы

### 4.1 Установка необходимого программного обеспечения

Запустим виртуальную среду с mininet. Из основной ОС подключимся к виртуальной машине по SSH и активируем второй интерфейс для выхода в сеть (рис. 4.1).



```
mininet@mininet-vm: ~  
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0  
mininet@mininet-vm:~$ sudo dhclient eth1  
RTNETLINK answers: File exists  
mininet@mininet-vm:~$ ifconfig  
eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500  
    inet 192.168.56.101 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.56.255  
    ether 08:00:27:33:b7:73 txqueuelen 1000 (Ethernet)  
    RX packets 96 bytes 11456 (11.4 KB)  
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0  
    TX packets 84 bytes 13919 (13.9 KB)  
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0  
  
eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500  
    inet 10.0.2.15 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.0.2.255  
    ether 08:00:27:53:0d:e9 txqueuelen 1000 (Ethernet)  
    RX packets 4 bytes 2360 (2.3 KB)  
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0  
    TX packets 4 bytes 1368 (1.3 KB)  
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0  
  
lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536  
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0  
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)  
    RX packets 128 bytes 9816 (9.8 KB)  
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0  
    TX packets 128 bytes 9816 (9.8 KB)  
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
```

Рисунок 4.1: Подключение к mininet по ssh

Обновим репозитории программного обеспечения на виртуальной машине. Установим `iperf3` и необходимое дополнительное программное обеспечение на виртуальную машину (рис. Рисунок 4.2).



```

mininet@mininet-vm:~$ sudo apt-get update --fix-missing
Hit:1 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal InRelease
Get:2 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates InRelease [128 kB]
Get:3 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security InRelease [128 kB]
Get:4 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/main amd64 Packages [3,564 kB]
Get:5 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/main i386 Packages [881 kB]
Get:6 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/main Translation-en [518 kB]
Get:7 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/main amd64 c-n-f Metadata [9,112 B]
Get:8 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/restricted i386 Packages [6,000 B]
Get:9 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-backports InRelease [128 kB]
Get:10 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/restricted amd64 Packages [3,564 kB]
Get:11 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/restricted Translation-en [518 kB]
Get:12 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/restricted amd64 c-n-f Metadata [9,112 B]
Get:13 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/universe amd64 Packages [6,000 B]
Get:14 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/universe i386 Packages [6,000 B]
Get:15 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/universe Translation-en [518 kB]
Get:16 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/universe amd64 c-n-f Metadata [9,112 B]
Get:17 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/multiverse amd64 Packages [6,000 B]
Get:18 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/multiverse i386 Packages [6,000 B]
Get:19 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/multiverse Translation-en [518 kB]
Get:20 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/multiverse amd64 c-n-f Metadata [9,112 B]
Get:21 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/main amd64 Packages [3,564 kB]
Get:22 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/main i386 Packages [881 kB]
Get:23 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/main Translation-en [518 kB]
Get:24 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/main amd64 c-n-f Metadata [9,112 B]
Get:25 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/restricted i386 Packages [6,000 B]
Get:26 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/restricted amd64 Packages [3,564 kB]
Get:27 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/restricted Translation-en [518 kB]
Get:28 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/restricted amd64 c-n-f Metadata [9,112 B]
Get:29 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/universe i386 Packages [6,000 B]
Get:30 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/universe amd64 Packages [3,564 kB]

```

Рисунок 4.2: Установка ПО

Развернем iperf3\_plotter (рис. Рисунок 4.3).

```

mininet@mininet-vm:~$ cd /tmp
mininet@mininet-vm:/tmp$ git clone https://github.com/ekfoury/iperf3_plotter.git
Cloning into 'iperf3_plotter'...
remote: Enumerating objects: 74, done.
remote: Total 74 (delta 0), reused 0 (delta 0), pack-reused 74 (from 1)
Unpacking objects: 100% (74/74), 100.09 KiB | 776.00 KiB/s, done.
mininet@mininet-vm:/tmp$ cd iperf3_plotter
mininet@mininet-vm:/tmp/iperf3_plotter$ sudo cp plot_* /usr/bin
sudo: cp: command not found
mininet@mininet-vm:/tmp/iperf3_plotter$ sudo cp *.sh /usr/bin
mininet@mininet-vm:/tmp/iperf3_plotter$

```

Рисунок 4.3: Развертывание iperf3\_plotter

## 4.2 Интерактивные эксперименты

Зададим простейшую топологию, состоящую из двух хостов и коммутатора с назначенной по умолчанию mininet сетью 10.0.0.0/8. После введения этой команды запустятся терминалы двух хостов, коммутатора и контроллера. Терминалы коммутатора и контроллера закроем. (рис. Рисунок 4.4).

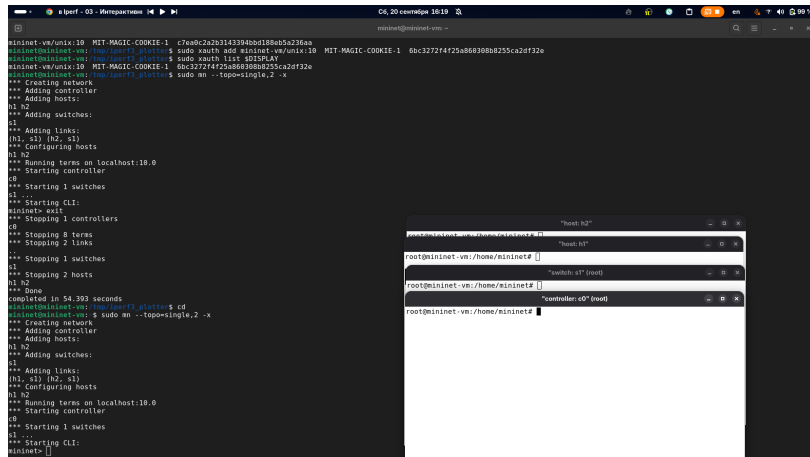


Рисунок 4.4: Задание простейшей топологии

В терминале виртуальной машины посмотрим параметры запущенной в интерактивном режиме топологии (рис. Рисунок 4.5).

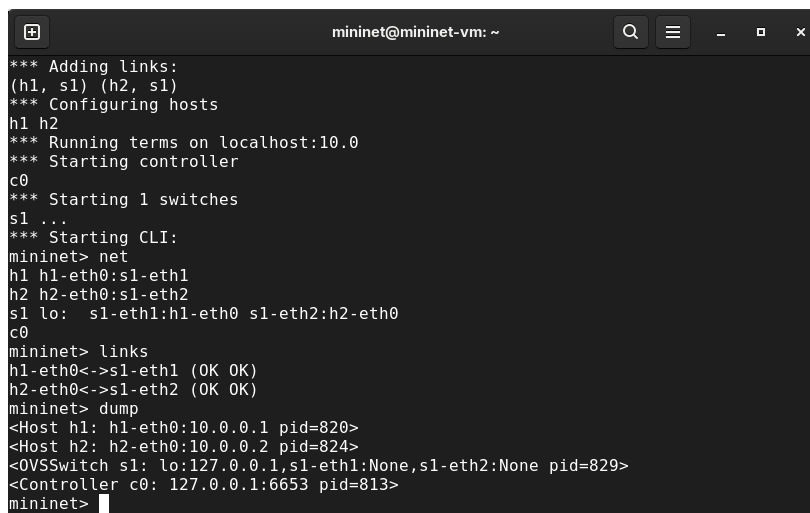


Рисунок 4.5: Параметры запущенной в интерактивном режиме топологии

Проведем простейший интерактивный эксперимент по измерению пропускной способности с помощью iPerf3 (рис. Рисунок 4.6).

The image shows two terminal windows. The top window, titled "host: h2", displays the output of a server listening on port 5201. It shows an accepted connection from 10.0.0.1, port 46690, and a table of performance metrics over 10-second intervals. The bottom window, titled "host: h1", shows the output of a client running iperf3 -c 10.0.0.2. It shows a connection to host 10.0.0.2, port 5201, and a table of performance metrics over 10-second intervals, including Retransmissions (Retr) and Congestion Window (Cwnd).

```

"host: h2"
warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4
-----
Server listening on 5201
-----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 46690
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 46692
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7] 0.00-1.00 sec  2.39 GBytes 20.5 Gbits/sec
[ 7] 1.00-2.00 sec  2.18 GBytes 18.7 Gbits/sec
[ 7] 2.00-3.00 sec  2.26 GBytes 19.4 Gbits/sec
[ 7] 3.00-4.00 sec  2.34 GBytes 20.1 Gbits/sec
[ 7] 4.00-5.00 sec  2.36 GBytes 20.2 Gbits/sec
[ 7] 5.00-6.00 sec  2.40 GBytes 20.6 Gbits/sec
[ 7] 6.00-7.00 sec  2.39 GBytes 20.5 Gbits/sec
[ 7] 7.00-8.00 sec  2.40 GBytes 20.6 Gbits/sec
[ 7] 8.00-9.00 sec  2.30 GBytes 19.8 Gbits/sec
[ 7] 9.00-10.01 sec 2.32 GBytes 19.7 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7] 0.00-10.01 sec 23.3 GBytes 20.0 Gbits/sec
-----
Server listening on 5201
-----

"host: h1"
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2
Connecting to host 10.0.0.2, port 5201
[ 7] local 10.0.0.1 port 46692 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate   Retr  Cwnd
[ 7] 0.00-1.00 sec  2.39 GBytes 20.5 Gbits/sec    0   8.24 MBytes
[ 7] 1.00-2.00 sec  2.18 GBytes 18.8 Gbits/sec    3   8.24 MBytes
[ 7] 2.00-3.00 sec  2.27 GBytes 19.4 Gbits/sec    4   8.24 MBytes
[ 7] 3.00-4.00 sec  2.33 GBytes 20.1 Gbits/sec    1   8.24 MBytes
[ 7] 4.00-5.00 sec  2.36 GBytes 20.3 Gbits/sec    2   8.24 MBytes
[ 7] 5.00-6.00 sec  2.40 GBytes 20.6 Gbits/sec    1   8.24 MBytes
[ 7] 6.00-7.00 sec  2.40 GBytes 20.6 Gbits/sec    1   8.24 MBytes
[ 7] 7.00-8.00 sec  2.39 GBytes 20.6 Gbits/sec    1   8.24 MBytes
[ 7] 8.00-9.00 sec  2.32 GBytes 19.8 Gbits/sec    2   8.24 MBytes
[ 7] 9.00-10.00 sec 2.31 GBytes 19.9 Gbits/sec    2   8.24 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate   Retr
[ 7] 0.00-10.00 sec 23.3 GBytes 20.1 Gbits/sec    17
[ 7] 0.00-10.01 sec 23.3 GBytes 20.0 Gbits/sec
-----
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рисунок 4.6: Тестовое соединение между хостами

Проанализируем полученный в результате выполнения теста сводный отчёт, отобразившийся как на клиенте, так и на сервере iPerf3. Он содержит следующие данные:

- ID: идентификационный номер соединения – 7.
- интервал (Interval): временной интервал для периодических отчетов о пропускной способности (по умолчанию временной интервал равен 1 секунде);
- передача (Transfer): сколько данных было передано за каждый интервал времени – было передано от 1.98 до 2.39 GB в секунду;

- пропускная способность (Bitrate): измеренная пропускная способность в каждом временном интервале – от 17 до 20.5 Gbit/sec;
- Retr: количество повторно переданных TCP-сегментов за каждый временной интервал (это поле увеличивается, когда TCP-сегменты теряются в сети из-за перегрузки или повреждения) – чем больше пропускная способность, тем больше число повторно переданных TCP-сегментов. Максимум она достигает 3 при битрейте 20.5 Gbit/sec;
- Cwnd: указывает размер окна перегрузки в каждом временном интервале (TCP использует эту переменную для ограничения объёма данных, которые TCP-клиент может отправить до получения подтверждения отправленных данных) – это фиксированный параметр равный 8.09 MB.

Проведем аналогичный эксперимент в интерфейсе mininet (рис. Рисунок 4.7).

```
mininet> h2 iperf3 -s &
mininet> h1 iperf3 -c h2
Connecting to host 10.0.0.2, port 5201
[ 5] local 10.0.0.1 port 46696 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr    Cwnd
[ 5] 0.00-1.00 sec  2.26 GBytes 19.4 Gbits/sec 0    8.11 MBytes
[ 5] 1.00-2.00 sec  2.30 GBytes 19.7 Gbits/sec 0    8.11 MBytes
[ 5] 2.00-3.00 sec  2.30 GBytes 19.8 Gbits/sec 0    8.11 MBytes
[ 5] 3.00-4.00 sec  2.42 GBytes 20.8 Gbits/sec 2    8.11 MBytes
[ 5] 4.00-5.00 sec  2.31 GBytes 19.9 Gbits/sec 0    8.11 MBytes
[ 5] 5.00-6.00 sec  2.34 GBytes 20.2 Gbits/sec 1    8.11 MBytes
[ 5] 6.00-7.00 sec  2.28 GBytes 19.6 Gbits/sec 0    8.11 MBytes
[ 5] 7.00-8.00 sec  2.15 GBytes 18.4 Gbits/sec 2    8.11 MBytes
[ 5] 8.00-9.00 sec  2.32 GBytes 20.0 Gbits/sec 1    8.11 MBytes
[ 5] 9.00-10.00 sec 2.38 GBytes 20.4 Gbits/sec 2    8.11 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr
[ 5] 0.00-10.00 sec 23.1 GBytes 19.8 Gbits/sec 8
[ 5] 0.00-10.00 sec 23.1 GBytes 19.8 Gbits/sec
iperf Done.
mininet>
```

Рисунок 4.7: Эксперимент в интерфейсе mininet

Сравним результаты. Увидим, что во втором случае было передано на 4,8 GB больше; пропускная способность увеличилась на 4,1; потери пакетов все также нет.

После убьем процесс на сервере (рис. Рисунок 4.8).

```
mininet@mininet-vm: ~  
mininet> h2 killall iperf3  
warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4  
-----  
Server listening on 5201  
-----  
Accepted connection from 10.0.0.1, port 53588  
[ 5] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 53590  
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate  
[ 5]  0.00-1.00    sec  1.72 GBytes 14.8 Gbits/sec  
[ 5]  1.00-2.00    sec  1.85 GBytes 15.9 Gbits/sec  
[ 5]  2.00-3.00    sec  1.89 GBytes 16.2 Gbits/sec  
[ 5]  3.00-4.00    sec  2.07 GBytes 17.8 Gbits/sec  
[ 5]  4.00-5.00    sec  1.93 GBytes 16.5 Gbits/sec  
[ 5]  5.00-6.00    sec  1.97 GBytes 16.9 Gbits/sec  
[ 5]  6.00-7.00    sec  2.04 GBytes 17.5 Gbits/sec  
[ 5]  7.00-8.00    sec  1.94 GBytes 16.7 Gbits/sec  
[ 5]  8.00-9.00    sec  1.94 GBytes 16.7 Gbits/sec  
[ 5]  9.00-10.00   sec  2.07 GBytes 17.7 Gbits/sec  
[ 5] 10.00-10.00   sec    513 KBytes 10.4 Gbits/sec  
-----  
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate  
[ 5]  0.00-10.00   sec  19.4 GBytes 16.7 Gbits/sec  
-----  
Server listening on 5201
```

Рисунок 4.8: Завершение процесса на сервере

Для указания iPerf3 периода времени для передачи можно использовать ключ `-t` (или `-time`) — время в секундах для передачи (по умолчанию 10 секунд) (рис. Рисунок 4.9).

```

"host: h2"
Try: apt install <deb name>

root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -s
warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4
-----
Server listening on 5201
-----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 46698
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 46700
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7]  0.00-1.00    sec  2.39 GBytes 20.6 Gbits/sec
[ 7]  1.00-2.00    sec  2.41 GBytes 20.7 Gbits/sec
[ 7]  2.00-3.00    sec  2.36 GBytes 20.3 Gbits/sec
[ 7]  3.00-4.00    sec  2.34 GBytes 20.1 Gbits/sec
[ 7]  4.00-5.02    sec  2.34 GBytes 19.8 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7]  0.00-5.02    sec  11.9 GBytes 20.3 Gbits/sec
-----
Server listening on 5201
-----

"host: h1"
[ 7]  8.00-9.00    sec  2.32 GBytes 19.8 Gbits/sec    2  8.24 MBytes
[ 7]  9.00-10.00   sec  2.31 GBytes 19.9 Gbits/sec    2  8.24 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr
[ 7]  0.00-10.00   sec  23.3 GBytes 20.1 Gbits/sec    17
[ 7]  0.00-10.01   sec  23.3 GBytes 20.0 Gbits/sec
-----
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2 -t 5
Connecting to host 10.0.0.2, port 5201
[ 7] local 10.0.0.1 port 46700 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr  Cwnd
[ 7]  0.00-1.00    sec  2.40 GBytes 20.6 Gbits/sec    0  8.10 MBytes
[ 7]  1.00-2.00    sec  2.41 GBytes 20.7 Gbits/sec    1  8.10 MBytes
[ 7]  2.00-3.00    sec  2.37 GBytes 20.4 Gbits/sec    1  8.10 MBytes
[ 7]  3.00-4.00    sec  2.34 GBytes 20.1 Gbits/sec    1  8.10 MBytes
[ 7]  4.00-5.00    sec  2.34 GBytes 20.1 Gbits/sec    1  8.10 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr
[ 7]  0.00-5.00    sec  11.9 GBytes 20.4 Gbits/sec    4
[ 7]  0.00-5.02    sec  11.9 GBytes 20.3 Gbits/sec
-----
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рисунок 4.9: Указание периода времени передачи

Настроим клиент iPerf3 для выполнения теста пропускной способности с 2-секундным интервалом времени отсчёта как на клиенте, так и на сервере. Используем опцию `-i` для установки интервала между отсчётами, измеряемого в секундах (рис. Рисунок 4.10).

```

"host: h2"
Server listening on 5201
-----
^Ciperf3: interrupt - the server has terminated
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -s -i 2
warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4
-----
Server listening on 5201
-----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 46702
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 46704
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7] 0.00-2.00    sec 4.50 GBytes 19.3 Gbits/sec
[ 7] 2.00-4.00    sec 4.51 GBytes 19.4 Gbits/sec
[ 7] 4.00-6.00    sec 4.57 GBytes 19.6 Gbits/sec
[ 7] 6.00-8.00    sec 4.62 GBytes 19.9 Gbits/sec
[ 7] 8.00-10.01   sec 4.63 GBytes 19.8 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7] 0.00-10.01   sec 22.8 GBytes 19.6 Gbits/sec
-----
receiver
Server listening on 5201
-----
^Ciperf3: interrupt - the server has terminated
root@mininet-vm:/home/mininet#

"host: h1"
[ 7] 3.00-4.00    sec 2.34 GBytes 20.1 Gbits/sec 1 8.10 MBytes
[ 7] 4.00-5.00    sec 2.34 GBytes 20.1 Gbits/sec 1 8.10 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr
[ 7] 0.00-5.00    sec 11.9 GBytes 20.4 Gbits/sec 4
[ 7] 0.00-5.02    sec 11.9 GBytes 20.3 Gbits/sec
-----
sender
receiver
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2 -i 2
Connecting to host 10.0.0.2, port 5201
[ 7] local 10.0.0.1 port 46704 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr  Cwnd
[ 7] 0.00-2.00    sec 4.50 GBytes 19.3 Gbits/sec 2 8.33 MBytes
[ 7] 2.00-4.00    sec 4.51 GBytes 19.4 Gbits/sec 1 8.33 MBytes
[ 7] 4.00-6.00    sec 4.57 GBytes 19.6 Gbits/sec 9 8.33 MBytes
[ 7] 6.00-8.00    sec 4.63 GBytes 19.9 Gbits/sec 6 8.33 MBytes
[ 7] 8.00-10.00   sec 4.63 GBytes 19.9 Gbits/sec 2 8.33 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr
[ 7] 0.00-10.00   sec 22.8 GBytes 19.6 Gbits/sec 20
[ 7] 0.00-10.01   sec 22.8 GBytes 19.6 Gbits/sec
-----
sender
receiver

```

Рисунок 4.10: Выполнения теста пропускной способности с 2-секундным интервалом

Можно увидеть, что действительно интервал увеличился в два раза, в результате чего в два раза увеличился также вес переданный за один интервал времени, но пропускная способность и суммарные величины очевидно практически не изменились.

Зададим на клиенте iPerf3 отправку определённого объёма данных. Используем опцию -n для установки количества байт для передачи (рис. Рисунок 4.11).

По умолчанию iPerf3 выполняет измерение пропускной способности в течение 10 секунд, но при задании количества данных для передачи клиент iPerf3 будет продолжать отправлять пакеты до тех пор, пока не будет отправлен весь объем

данных, указанный пользователем.

```
"host: h2"
^Ciperf3: interrupt - the server has terminated
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -s
warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4
Server listening on 5201
-----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 46706
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 46708
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7] 0.00-1.00    sec 2.33 GBytes 20.0 Gbits/sec
[ 7] 1.00-2.00    sec 2.24 GBytes 19.2 Gbits/sec
[ 7] 2.00-3.00    sec 2.26 GBytes 19.4 Gbits/sec
[ 7] 3.00-4.00    sec 2.24 GBytes 19.2 Gbits/sec
[ 7] 4.00-5.00    sec 2.35 GBytes 20.2 Gbits/sec
[ 7] 5.00-6.00    sec 2.37 GBytes 20.3 Gbits/sec
[ 7] 6.00-6.95    sec 2.22 GBytes 20.1 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7] 0.00-6.95    sec 16.0 GBytes 19.8 Gbits/sec
-----
Server listening on 5201

"host: h1"
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr
[ 7] 0.00-10.00   sec 22.8 GBytes 19.6 Gbits/sec 20
[ 7] 0.00-10.01   sec 22.8 GBytes 19.6 Gbits/sec
-----
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2 -n 16g
Connecting to host 10.0.0.2, port 5201
[ 7] local 10.0.0.1 port 46708 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr  Cwnd
[ 7] 0.00-1.00    sec 2.33 GBytes 20.0 Gbits/sec 2    8.04 MBytes
[ 7] 1.00-2.00    sec 2.24 GBytes 19.2 Gbits/sec 1    8.04 MBytes
[ 7] 2.00-3.00    sec 2.27 GBytes 19.5 Gbits/sec 1    8.04 MBytes
[ 7] 3.00-4.00    sec 2.23 GBytes 19.2 Gbits/sec 2    8.04 MBytes
[ 7] 4.00-5.00    sec 2.36 GBytes 20.2 Gbits/sec 1    8.04 MBytes
[ 7] 5.00-6.00    sec 2.36 GBytes 20.3 Gbits/sec 3    8.04 MBytes
[ 7] 6.00-6.95    sec 2.22 GBytes 20.2 Gbits/sec 2    8.04 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr
[ 7] 0.00-6.95    sec 16.0 GBytes 19.8 Gbits/sec 12
[ 7] 0.00-6.95    sec 16.0 GBytes 19.8 Gbits/sec
-----
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рисунок 4.11: Задание в тесте определённого объёма данных

Изменим в тесте измерения пропускной способности iPerf3 протокол передачи данных с TCP (установлен по умолчанию) на UDP. iPerf3 автоматически определяет протокол транспортного уровня на стороне сервера. Для изменения протокола используем опцию `-u` на стороне клиента iPerf3 (рис. Рисунок 4.12).



```

"host: h2"
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 60624
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Jitter      Lost/Total Data
rams
[ 7] 0.00-1.00 sec 129 KBytes 1.05 Mbits/sec 0.024 ms 0/91 (0%)
[ 7] 1.00-2.00 sec 127 KBytes 1.04 Mbits/sec 0.023 ms 0/90 (0%)
[ 7] 2.00-3.00 sec 129 KBytes 1.05 Mbits/sec 0.015 ms 0/91 (0%)
[ 7] 3.00-4.00 sec 127 KBytes 1.04 Mbits/sec 0.026 ms 0/90 (0%)
[ 7] 4.00-5.00 sec 129 KBytes 1.05 Mbits/sec 0.019 ms 0/91 (0%)
[ 7] 5.00-6.00 sec 127 KBytes 1.04 Mbits/sec 0.021 ms 0/90 (0%)
[ 7] 6.00-7.00 sec 129 KBytes 1.05 Mbits/sec 0.035 ms 0/91 (0%)
[ 7] 7.00-8.00 sec 127 KBytes 1.04 Mbits/sec 0.024 ms 0/90 (0%)
[ 7] 8.00-9.00 sec 129 KBytes 1.05 Mbits/sec 0.025 ms 0/91 (0%)
[ 7] 9.00-10.00 sec 127 KBytes 1.04 Mbits/sec 0.025 ms 0/90 (0%)
[ 7] 10.00-10.00 sec 1.41 KBytes 5.58 Mbits/sec 0.025 ms 0/1 (0%)
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Jitter      Lost/Total Data
rams
[ 7] 0.00-10.00 sec 1.25 MBytes 1.05 Mbits/sec 0.025 ms 0/906 (0%) rec
iver
-----
Server listening on 5201
-----
^Ciperf3: interrupt - the server has terminated
root@mininet-vm:/home/mininet#
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2 -u
Connecting to host 10.0.0.2, port 5201
[ 7] local 10.0.0.1 port 60624 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Total Datagrams
[ 7] 0.00-1.00 sec 129 KBytes 1.05 Mbits/sec 91
[ 7] 1.00-2.00 sec 127 KBytes 1.04 Mbits/sec 90
[ 7] 2.00-3.00 sec 129 KBytes 1.05 Mbits/sec 91
[ 7] 3.00-4.00 sec 127 KBytes 1.04 Mbits/sec 90
[ 7] 4.00-5.00 sec 129 KBytes 1.05 Mbits/sec 91
[ 7] 5.00-6.00 sec 129 KBytes 1.05 Mbits/sec 91
[ 7] 6.00-7.00 sec 127 KBytes 1.04 Mbits/sec 90
[ 7] 7.00-8.00 sec 129 KBytes 1.05 Mbits/sec 91
[ 7] 8.00-9.00 sec 127 KBytes 1.04 Mbits/sec 90
[ 7] 9.00-10.00 sec 129 KBytes 1.05 Mbits/sec 91
-----
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Jitter      Lost/Total Datag
rams
[ 7] 0.00-10.00 sec 1.25 MBytes 1.05 Mbits/sec 0.000 ms 0/906 (0%) send
er
[ 7] 0.00-10.00 sec 1.25 MBytes 1.05 Mbits/sec 0.025 ms 0/906 (0%) rece
iver
-----
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рисунок 4.12: Изменение протокола передачи данных

В тесте измерения пропускной способности iPerf3 изменим номер порта для отправки/получения пакетов или датаграмм через указанный порт (рис. Рисунок 4.13).

```

"host: h2"
-----
Server listening on 3250
-----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 42114
[ 7] local 10.0.0.2 port 3250 connected to 10.0.0.1 port 42116
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7]  0.00-1.00    sec  2.43 GBytes 20.9 Gbits/sec
[ 7]  1.00-2.00    sec  2.39 GBytes 20.5 Gbits/sec
[ 7]  2.00-3.00    sec  2.40 GBytes 20.6 Gbits/sec
[ 7]  3.00-4.00    sec  2.35 GBytes 20.2 Gbits/sec
[ 7]  4.00-5.00    sec  2.38 GBytes 20.4 Gbits/sec
[ 7]  5.00-6.00    sec  2.39 GBytes 20.5 Gbits/sec
[ 7]  6.00-7.00    sec  2.39 GBytes 20.5 Gbits/sec
[ 7]  7.00-8.00    sec  2.37 GBytes 20.4 Gbits/sec
[ 7]  8.00-9.00    sec  2.34 GBytes 20.1 Gbits/sec
[ 7]  9.00-10.00   sec  2.38 GBytes 20.5 Gbits/sec
[ 7] 10.00-10.00   sec  1.13 MBytes 8.55 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7]  0.00-10.00   sec  23.8 GBytes 20.5 Gbits/sec
-----
Server listening on 3250
"host: h1"
iver
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2 -p 3250
Connecting to host 10.0.0.2, port 3250
[ 7] local 10.0.0.1 port 42116 connected to 10.0.0.2 port 3250
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr  Cwnd
[ 7]  0.00-1.00    sec  2.43 GBytes 20.8 Gbits/sec    3   8.23 MBytes
[ 7]  1.00-2.00    sec  2.39 GBytes 20.5 Gbits/sec    0   8.23 MBytes
[ 7]  2.00-3.00    sec  2.40 GBytes 20.6 Gbits/sec    4   8.23 MBytes
[ 7]  3.00-4.00    sec  2.35 GBytes 20.2 Gbits/sec    1   8.23 MBytes
[ 7]  4.00-5.00    sec  2.38 GBytes 20.4 Gbits/sec    3   8.23 MBytes
[ 7]  5.00-6.00    sec  2.38 GBytes 20.5 Gbits/sec    2   8.23 MBytes
[ 7]  6.00-7.00    sec  2.39 GBytes 20.6 Gbits/sec    2   8.23 MBytes
[ 7]  7.00-8.00    sec  2.37 GBytes 20.4 Gbits/sec    0   8.23 MBytes
[ 7]  8.00-9.00    sec  2.35 GBytes 20.2 Gbits/sec    1   8.23 MBytes
[ 7]  9.00-10.00   sec  2.38 GBytes 20.4 Gbits/sec    3   8.23 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr
[ 7]  0.00-10.00   sec  23.8 GBytes 20.5 Gbits/sec    19
[ 7]  0.00-10.00   sec  23.8 GBytes 20.5 Gbits/sec
-----
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рисунок 4.13: Изменение номера порта для отправки/получения пакетов

По умолчанию после запуска сервер iPerf3 постоянно прослушивает входящие соединения. В тесте измерения пропускной способности iPerf3 зададим для сервера параметр обработки данных только от одного клиента с остановкой сервера по завершении теста. Для этого используем опцию `-1` на сервере iPerf3 (рис. Рисунок 4.14).

После завершения этого теста сервер iPerf3 немедленно останавливается.

```

"host: h2"
-----
^Ciperf3: interrupt - the server has terminated
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -s -l
warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4
-----
Server listening on 5201
-----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 46718
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 46720
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7] 0.00-1.00    sec 2.43 GBytes 20.9 Gbits/sec
[ 7] 1.00-2.00    sec 2.28 GBytes 19.6 Gbits/sec
[ 7] 2.00-3.00    sec 2.36 GBytes 20.2 Gbits/sec
[ 7] 3.00-4.00    sec 2.40 GBytes 20.6 Gbits/sec
[ 7] 4.00-5.00    sec 2.40 GBytes 20.6 Gbits/sec
[ 7] 5.00-6.00    sec 2.41 GBytes 20.7 Gbits/sec
[ 7] 6.00-7.00    sec 2.38 GBytes 20.4 Gbits/sec
[ 7] 7.00-8.00    sec 2.42 GBytes 20.8 Gbits/sec
[ 7] 8.00-9.00    sec 2.42 GBytes 20.8 Gbits/sec
[ 7] 9.00-10.01   sec 2.39 GBytes 20.3 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
-----
"host: h1"
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2
iperf3: error - unable to connect to server: Connection refused
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2
Connecting to host 10.0.0.2, port 5201
[ 7] local 10.0.0.1 port 46720 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate      Retr  Cwnd
[ 7] 0.00-1.00    sec 2.43 GBytes 20.8 Gbits/sec    1   8.15 MBytes
[ 7] 1.00-2.00    sec 2.28 GBytes 19.6 Gbits/sec    4   8.15 MBytes
[ 7] 2.00-3.00    sec 2.36 GBytes 20.3 Gbits/sec    0   8.15 MBytes
[ 7] 3.00-4.00    sec 2.40 GBytes 20.6 Gbits/sec    2   8.15 MBytes
[ 7] 4.00-5.00    sec 2.40 GBytes 20.6 Gbits/sec    2   8.15 MBytes
[ 7] 5.00-6.00    sec 2.41 GBytes 20.7 Gbits/sec    5   8.15 MBytes
[ 7] 6.00-7.00    sec 2.38 GBytes 20.5 Gbits/sec    0   8.15 MBytes
[ 7] 7.00-8.00    sec 2.42 GBytes 20.8 Gbits/sec    0   8.15 MBytes
[ 7] 8.00-9.00    sec 2.42 GBytes 20.8 Gbits/sec    3   8.15 MBytes
[ 7] 9.00-10.00   sec 2.39 GBytes 20.6 Gbits/sec    1   8.15 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate      Retr
[ 7] 0.00-10.00   sec 23.9 GBytes 20.5 Gbits/sec    18
[ 7] 0.00-10.01   sec 23.9 GBytes 20.5 Gbits/sec
-----
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рисунок 4.14: Параметр обработки данных только от одного клиента с остановкой сервера по завершении теста

Экспортируем результаты теста измерения пропускной способности iPerf3 в файл JSON (рис. Рисунок 4.15).

```

"host: h2"
-----
Server listening on 5201
-----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 46722
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 46724
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7]  0.00-1.00    sec  2.40 GBytes 20.6 Gbits/sec
[ 7]  1.00-2.00    sec  2.36 GBytes 20.3 Gbits/sec
[ 7]  2.00-3.00    sec  2.23 GBytes 19.1 Gbits/sec
[ 7]  3.00-4.00    sec  2.27 GBytes 19.5 Gbits/sec
[ 7]  4.00-5.00    sec  2.11 GBytes 18.1 Gbits/sec
[ 7]  5.00-6.00    sec  2.35 GBytes 20.2 Gbits/sec
[ 7]  6.00-7.00    sec  2.31 GBytes 19.9 Gbits/sec
[ 7]  7.00-8.00    sec  2.43 GBytes 20.8 Gbits/sec
[ 7]  8.00-9.00    sec  2.42 GBytes 20.8 Gbits/sec
[ 7]  9.00-10.00   sec  2.27 GBytes 19.5 Gbits/sec
[ 7] 10.00-10.00   sec   897 KBytes 8.16 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7]  0.00-10.00   sec  23.1 GBytes 19.9 Gbits/sec
-----
Server listening on 5201
-----
"host: h1"
-----
      "retransmits": 13,
      "sender":      true
    },
    "sum_received": {
      "start":        0,
      "end":          10.000917,
      "seconds":       10.000917,
      "bytes":         24851195776,
      "bits_per_second": 19879133704.239323,
      "sender":        true
    },
    "cpu_utilization_percent": {
      "host_total":    49.852238626193142,
      "host_user":     1.1546406184938729,
      "host_system":   48.697548152319754,
      "remote_total":  28.666099027183368,
      "remote_user":   1.612147945502004,
      "remote_system": 27.05392805371044
    },
    "sender_tcp_congestion": "cubic",
    "receiver_tcp_congestion": "cubic"
  }
}
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рисунок 4.15: Экспорт результатов теста измерения пропускной способности iPerf3 в файл JSON

Убедимся, что файл `iperf_results.json` создан в указанном каталоге. Для этого в терминале хоста `h1` введем следующие команды (рис. Рисунок 4.16).

```

root@mininet-vm: /work/lab_iperf3# cd /home/mininet/work/lab_iperf3
root@mininet-vm:~/work/lab_iperf3# iperf3 -c 10.0.0.2 -J > ~/work/lab_iperf3/iperf_result.json
root@mininet-vm:~/work/lab_iperf3# cd /home/mininet/work/lab_iperf3
bash: cd: /home/mininet/work/lab_iperf3: No such file or directory
root@mininet-vm:~/work/lab_iperf3# ls -l
total 4
-rw-r--r-- 1 root root 269 Sep 20 06:42 iperf_result.json
root@mininet-vm:~/work/lab_iperf3#

```

Рисунок 4.16: Проверка создания файла `iperf_results.json`

В виртуальной машине `mininet` исправим права запуска X-соединения. Скопируем значение куки (MIT magic cookie) своего пользователя `mininet` в файл

для пользователя root (рис. Рисунок 4.17).

```
mininet@mininet-vm:~$ xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 90bab8d5e7c4d197633a22e325718d38
mininet@mininet-vm:~$ sudo xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 6bc3272f4f25a860308b8255ca2df32e
mininet@mininet-vm:~$ sudo xauth add mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 90b
ab8d5e7c4d197633a22e325718d38
mininet@mininet-vm:~$ sudo xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 90bab8d5e7c4d197633a22e325718d38
mininet@mininet-vm:~$ sudo rm -f /tmp/.X11-unix/*
```

Рисунок 4.17: Исправление прав запуска X-соединения

Визуализируем результаты эксперимента. В виртуальной машине mininet перейдем в каталог для работы над проектом, проверим права доступа к файлу JSON. Сгенерируем выходные данные для файла JSON iPerf3. Убедимся, что файлы с данными и графиками сформировались (рис. Рисунок 4.18).

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ plot_iperf.sh iperf_result.json
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ cd ~/work/lab_iperf3
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ ls -l
total 16
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 952 Sep 20 06:54 iperf.csv
-rw-r--r-- 1 mininet mininet 7797 Sep 20 06:51 iperf_result.json
drwxrwxr-x 2 mininet mininet 4096 Sep 20 06:54 results
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ cd ~/work/lab_iperf3/results
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3/results$ ls -l
total 88
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 482 Sep 20 06:54 1.dat
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9752 Sep 20 06:54 bytes.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9618 Sep 20 06:54 cwnd.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9036 Sep 20 06:54 MTU.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9095 Sep 20 06:54 retransmits.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9001 Sep 20 06:54 RTT.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9125 Sep 20 06:54 RTT_Var.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9499 Sep 20 06:54 throughput.pdf
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3/results$
```

Рисунок 4.18: Визуализация результатов эксперимента

## 5 Выводы

В результате выполнения данной лабораторной работы я познакомилась с инструментом для измерения пропускной способности сети в режиме реального времени — iPerf3, а также получила навыки проведения интерактивного эксперимента по измерению пропускной способности моделируемой сети в среде Mininet.