

# **Лабораторная работа №2**

**Моделирование сетей передачи данных**

**Хрусталев Влад Николаевич**

# **Содержание**

<b>1 Цель работы</b>	<b>4</b>
<b>2 Теоретическое введение</b>	<b>5</b>
<b>3 Задание</b>	<b>6</b>
<b>4 Выполнение лабораторной работы</b>	<b>7</b>
<b>5 Выводы</b>	<b>19</b>
<b>Список литературы</b>	<b>20</b>

# Список иллюстраций

4.1 Активация и подключение по ssh к mininet . . . . .	7
4.2 Проверка обновлений ПО . . . . .	7
4.3 Установка iperf3 . . . . .	8
4.4 Установка необходимого ПО . . . . .	8
4.5 Развёртывание iperf3_plotter . . . . .	8
4.6 Задание простейшей топологии. Параметры . . . . .	8
4.7 Тестовое соединение между хостами . . . . .	9
4.8 Эксперимент в интерфейсе mininet . . . . .	10
4.9 Тест с указанием периода времени передачи . . . . .	11
4.10 Тест с указанием пропускной способности с 2-секундным интервалом	12
4.11 Задание в teste определённого объёма данных . . . . .	13
4.12 Тест с изменённым протоколом передачи данных . . . . .	14
4.13 Тест с изменённым номером порта для отправки/получения пакетов	15
4.14 Тест с параметром обработки данных только от одного клиента с остановкой сервера по завершении теста . . . . .	16

# **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 Теоретическое введение

Mininet[1] – 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[2] 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).

## **3 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.

## 4 Выполнение лабораторной работы

Запустим виртуальную среду с mininet. Из основной Ос подключимся к машине по ssh(putty). Подключим eth1. (рис. 4.1).

```
mininet@mininet-vm:~$ ifconfig
eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
        inet 192.168.56.105 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.56.255
          ether 08:00:27:e8:34:b9 txqueuelen 1000 (Ethernet)
            RX packets 8313 bytes 1376282 (1.3 MB)
            RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
            TX packets 8176 bytes 2152032 (2.1 MB)
            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:d0:e5:b3 txqueuelen 1000 (Ethernet)
            RX packets 1061 bytes 200137 (200.1 KB)
            RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
            TX packets 1042 bytes 90447 (90.4 KB)
            TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73
```

Рис. 4.1: Активация и подключение по ssh к mininet

Обновим репозитории программного обеспечения на виртуальной машине(рис. 4.2). Установим iperf3 (рис. 4.3) и необходимое дополнительное программное обеспечение (рис. 4.4) на виртуальную машину. Развернем iperf3\_plotter (рис. 4.5).

```
mininet@mininet-vm:~$ sudo apt-get update
Hit:1 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal InRelease
Hit:2 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security InRelease
Get:3 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates InRelease [128 kB]
Hit:4 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-backports InRelease
Fetched 128 kB in 2 s (80.6 kB/s)
Reading package lists... Done
```

Рис. 4.2: Проверка обновлений ПО

```

Reading package lists... Done
mininet@mininet-vm:~$ sudo apt-get install iperf3
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
iperf3 is already the newest version (3.7-3).
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 394 not upgraded.

```

Рис. 4.3: Установка iperf3

```

mininet@mininet-vm:~$ sudo apt-get install git jq gnuplot-nox evince
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
gnuplot-nox is already the newest version (5.2.8+dfsg1-2).
evince is already the newest version (3.36.10-0ubuntu1).
git is already the newest version (1:2.25.1-lubuntu3.14).
jq is already the newest version (1.6-lubuntu0.20.04.1).
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 394 not upgraded.

```

Рис. 4.4: Установка необходимого ПО

```

mininet@mininet-vm:~$ cd /tmp
mininet@mininet-vm:/tmp$ git clone https://github.com/ekfouri/iperf3_plotter.git
fatal: destination path 'iperf3_plotter' already exists and is not an empty directory.
mininet@mininet-vm:/tmp$ cd /tmp/iperf3_plotter
mininet@mininet-vm:/tmp/iperf3_plotter$ sudo cp plot_* /usr/bin
mininet@mininet-vm:/tmp/iperf3_plotter$ sudo cp *.sh /usr/bin
mininet@mininet-vm:/tmp/iperf3_plotter$ 

```

Рис. 4.5: Развёртывание iperf3\_plotter

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. В терминале виртуальной машины посмотрим параметры запущенной в интерактивном режиме топологии (рис. 4.6).

```

mininet@mininet-vm:~$ sudo mn --topo=single,2 -x
*** Creating network
*** Adding controller
*** Adding hosts:
h1 h2
*** Adding switches:
s1
*** Adding links:
(h1, s1) (h2, s1)
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Running terms on localhost:10.0
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Starting CLI:
mininet> net
h1 h1-eth0:s1-eth1
h2 h2-eth0:s1-eth2
s1 lo: s1-eth1:h1-eth0 s1-eth2:h2-eth0
c0
mininet> links
h1-eth0->s1-eth1 (OK OK)
h2-eth0->s1-eth2 (OK OK)
mininet> dump
<Host h1: h1-eth0:10.0.0.1 pid=2188>
<Host h2: h2-eth0:10.0.0.2 pid=2192>
<OVSSwitch s1: lo:127.0.0.1,s1-eth1:None,s1-eth2:None pid=2197>
<Controller c0: 127.0.0.1:6653 pid=2181>

```

Рис. 4.6: Задание простейшей топологии. Параметры

Проведем простейший интерактивный эксперимент по измерению пропускной способности с помощью iPerf3 (рис. 4.7).

```
root@host-h2@mininet-vm: warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4
warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4
-----
Server listening on 5201
-----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 60172
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 60174
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate
[ 7]  0.00-1.00   sec  3.03 GBytes  26.0 Gbits/sec
[ 7]  1.00-2.00   sec  2.90 GBytes  24.8 Gbits/sec
[ 7]  2.00-3.00   sec  2.75 GBytes  23.7 Gbits/sec
[ 7]  3.00-4.00   sec  2.97 GBytes  25.5 Gbits/sec
[ 7]  4.00-5.00   sec  2.40 GBytes  20.7 Gbits/sec
[ 7]  5.00-6.00   sec  2.77 GBytes  23.8 Gbits/sec
[ 7]  6.00-7.00   sec  2.83 GBytes  24.3 Gbits/sec
[ 7]  7.00-8.00   sec  2.46 GBytes  21.2 Gbits/sec
[ 7]  8.00-9.00   sec  2.37 GBytes  20.4 Gbits/sec
[ 7]  9.00-10.00  sec  2.75 GBytes  23.7 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate
[ 7]  0.00-10.01  sec  27.2 GBytes  23.4 Gbits/sec
----- receiver
Server listening on 5201
root@host-h1@mininet-vm: Connecting to host 10.0.0.2, port 5201
[ 7] local 10.0.0.1 port 60174 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate     Retr  Cwnd
[ 7]  0.00-1.00   sec  3.03 GBytes  26.0 Gbits/sec    0  8.37 MBytes
[ 7]  1.00-2.00   sec  2.91 GBytes  25.0 Gbits/sec    0  8.37 MBytes
[ 7]  2.00-3.00   sec  2.76 GBytes  23.6 Gbits/sec    0  8.37 MBytes
[ 7]  3.00-4.00   sec  2.96 GBytes  25.5 Gbits/sec    0  8.37 MBytes
[ 7]  4.00-5.00   sec  2.40 GBytes  20.7 Gbits/sec    0  8.37 MBytes
[ 7]  5.00-6.00   sec  2.76 GBytes  23.7 Gbits/sec    0  8.37 MBytes
[ 7]  6.00-7.00   sec  2.83 GBytes  24.3 Gbits/sec    0  8.37 MBytes
[ 7]  7.00-8.00   sec  2.46 GBytes  21.1 Gbits/sec    0  8.37 MBytes
[ 7]  8.00-9.00   sec  2.37 GBytes  20.4 Gbits/sec    0  8.37 MBytes
[ 7]  9.00-10.00  sec  2.76 GBytes  23.7 Gbits/sec    0  8.37 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate     Retr
[ 7]  0.00-10.00  sec  27.3 GBytes  23.4 Gbits/sec    0
----- sender
[ 7]  0.00-10.01  sec  27.2 GBytes  23.4 Gbits/sec
----- receiver
iperf Done.
root@mininet-vm: /home/mininet#
```

Рис. 4.7: 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 2.37 до 3.03 GB в секунду;

- пропускная способность (Bitrate): измеренная пропускная способность в каждом временном интервале – от 20.4 до 26.0 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. Равен 0;
- Cwnd: указывает размер окна перегрузки в каждом временном интервале (TCP использует эту переменную для ограничения объема данных, которые TCP-клиент может отправить до получения подтверждения отправленных данных) – стабильно 8.37 МВ.

Проведем аналогичный эксперимент в интерфейсе mininet. Сравним результаты. Увидим, что во втором случае было передано на ~3гб меньше и пропускная способность так же уменьшилась на ~3гб; потерь нет. После этого завершим(убьём) процесс (рис. 4.8).

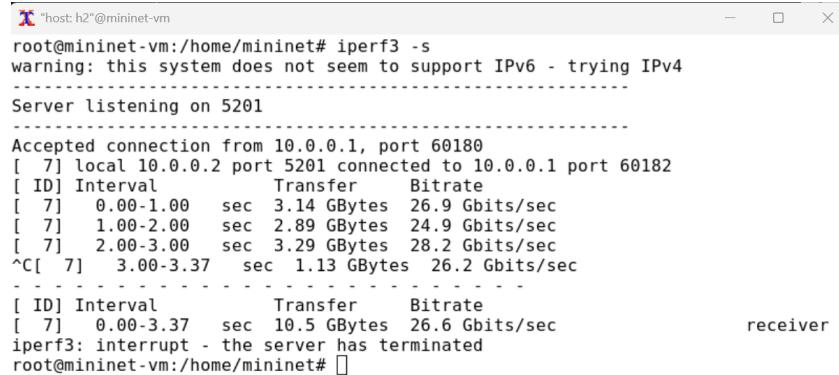
```

mininet> h2 iperf3 -s &
warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4
-----
Server listening on 5201
-----
mininet> h1 iperf3 -c h2
Connecting to host 10.0.0.2, port 5201
[ 5] local 10.0.0.1 port 60178 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate   Retr  Cwnd
[ 5]  0.00-1.00    sec  3.24 GBytes   27.8 Gbits/sec  0  8.10 MBytes
[ 5]  1.00-2.00    sec  3.30 GBytes   28.3 Gbits/sec  0  8.10 MBytes
[ 5]  2.00-3.00    sec  2.79 GBytes   24.0 Gbits/sec  0  8.10 MBytes
[ 5]  3.00-4.00    sec  2.68 GBytes   23.0 Gbits/sec  0  8.10 MBytes
[ 5]  4.00-5.00    sec  2.90 GBytes   24.9 Gbits/sec  0  8.10 MBytes
[ 5]  5.00-6.00    sec  2.70 GBytes   23.2 Gbits/sec  0  8.10 MBytes
[ 5]  6.00-7.00    sec  2.35 GBytes   20.2 Gbits/sec  0  8.10 MBytes
[ 5]  7.00-8.00    sec  1.48 GBytes   12.7 Gbits/sec  0  8.10 MBytes
[ 5]  8.00-9.00    sec  1.46 GBytes   12.6 Gbits/sec  0  8.10 MBytes
[ 5]  9.00-10.00   sec  1.19 GBytes   10.2 Gbits/sec  0  8.10 MBytes
-----[ ID] Interval      Transfer     Bitrate   Retr
[ 5]  0.00-10.00   sec  24.1 GBytes   20.7 Gbits/sec  0
                                         sender
                                         receiver
iperf Done.
mininet> h2 killall iperf3
warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4
iperf3: error - unable to start listener for connections: Address already in use
iperf3: exiting
Accepted connection from 10.0.0.1, port 60176
[ 5] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 60178
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate
[ 5]  0.00-1.00    sec  3.23 GBytes   27.7 Gbits/sec
[ 5]  1.00-2.00    sec  3.29 GBytes   28.3 Gbits/sec
[ 5]  2.00-3.00    sec  2.80 GBytes   24.0 Gbits/sec
[ 5]  3.00-4.00    sec  2.68 GBytes   23.0 Gbits/sec
[ 5]  4.00-5.00    sec  2.90 GBytes   24.9 Gbits/sec
[ 5]  5.00-6.00    sec  2.70 GBytes   23.2 Gbits/sec
[ 5]  6.00-7.00    sec  2.35 GBytes   20.2 Gbits/sec
[ 5]  7.00-8.00    sec  1.48 GBytes   12.7 Gbits/sec
[ 5]  8.00-9.00    sec  1.46 GBytes   12.5 Gbits/sec
[ 5]  9.00-10.00   sec  1.19 GBytes   10.3 Gbits/sec
[ 5]  10.00-10.00  sec  3.69 MBytes   6.92 Gbits/sec
-----[ ID] Interval      Transfer     Bitrate
[ 5]  0.00-10.00   sec  24.1 GBytes   20.7 Gbits/sec
                                         receiver
Server listening on 5201
-----
iperf3: interrupt - the server has terminated

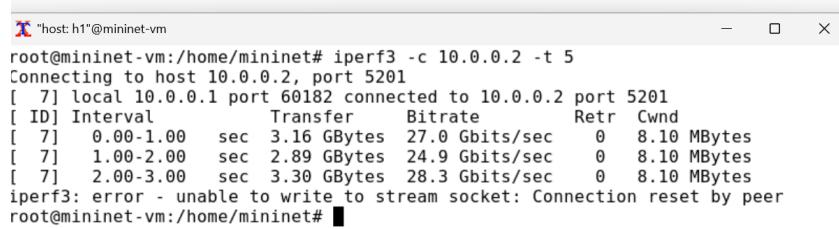
```

Рис. 4.8: Эксперимент в интерфейсе mininet

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



```
"host:h2"@mininet-vm
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 60180
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 60182
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate
[ 7]  0.00-1.00   sec  3.14 GBytes  26.9 Gbytes/sec
[ 7]  1.00-2.00   sec  2.89 GBytes  24.9 Gbits/sec
[ 7]  2.00-3.00   sec  3.29 GBytes  28.2 Gbits/sec
^C[ 7]  3.00-3.37   sec  1.13 GBytes  26.2 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate
[ 7]  0.00-3.37   sec 10.5 GBytes  26.6 Gbits/sec
iperf3: interrupt - the server has terminated
root@mininet-vm:/home/mininet#
```



```
"host:h1"@mininet-vm
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 60182 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate     Retr  Cwnd
[ 7]  0.00-1.00   sec  3.16 GBytes  27.0 Gbits/sec    0  8.10 MBytes
[ 7]  1.00-2.00   sec  2.89 GBytes  24.9 Gbits/sec    0  8.10 MBytes
[ 7]  2.00-3.00   sec  3.30 GBytes  28.3 Gbits/sec    0  8.10 MBytes
iperf3: error - unable to write to stream socket: Connection reset by peer
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 4.9: Тест с указанием 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. 4.10).

```

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 60184
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 60186
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate
[ 7]  0.00-2.00    sec  5.88 GBytes  25.3 Gbits/sec
[ 7]  2.00-4.00    sec  5.90 GBytes  25.3 Gbits/sec
[ 7]  4.00-6.00    sec  5.49 GBytes  23.6 Gbits/sec
^C[ 7]  6.00-7.38    sec  4.11 GBytes  25.6 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate
[ 7]  0.00-7.38    sec  21.4 GBytes  24.9 Gbits/sec
iperf3: interrupt - the server has terminated
root@mininet-vm:/home/mininet# 

-----  

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 60186 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate      Retr  Cwnd
[ 7]  0.00-2.00    sec  5.89 GBytes  25.3 Gbits/sec   0   8.33 MBytes
[ 7]  2.00-4.00    sec  5.90 GBytes  25.3 Gbits/sec   0   8.33 MBytes
[ 7]  4.00-6.00    sec  5.49 GBytes  23.6 Gbits/sec   0   8.33 MBytes
iperf3: error - unable to write to stream socket: Connection reset by peer
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рис. 4.10: Тест с указанием пропускной способности с 2-секундным интервалом

Как мы видим, интервал увеличился в два раза, аналогично в 2 раза увеличился объем передаваемой информации за один интервал времени, но остальные значение практически не изменились, в допустимой погрешности.

Зададим на клиенте iPerf3 отправку определённого объёма данных. Используем опцию `-n` для установки количества байт для передачи (рис. 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 объём данных, указанный пользователем.

The image shows two terminal windows side-by-side. Both are titled 'root@mininet-vm:/home/mininet#'. The left window displays the output of the command 'iperf3 -s', which shows a server listening on port 5201 and accepting connections from host h2. The right window displays the output of the command 'iperf3 -c 10.0.0.2 -n 16G', which shows a client (host h1) connecting to host h2 at port 5201 and performing a 16GB transfer.

```

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 60188
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 60190
[ ID] Interval Transfer Bitrate
[ 7] 0.00-1.00 sec 3.03 GBytes 26.1 Gbits/sec
[ 7] 1.00-2.00 sec 2.78 GBytes 23.8 Gbits/sec
[ 7] 2.00-3.00 sec 3.02 GBytes 26.0 Gbits/sec
[ 7] 3.00-4.00 sec 2.90 GBytes 24.9 Gbits/sec
[ 7] 4.00-5.00 sec 3.32 GBytes 28.5 Gbits/sec
[ 7] 5.00-5.33 sec 972 MBytes 24.6 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval Transfer Bitrate
[ 7] 0.00-5.33 sec 16.0 GBytes 25.8 Gbits/sec
                                                receiver
-----
Server listening on 5201
-----
```

```

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 60190 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval Transfer Bitrate Retr Cwnd
[ 7] 0.00-1.00 sec 3.04 GBytes 26.1 Gbits/sec 0 8.04 MBytes
[ 7] 1.00-2.00 sec 2.78 GBytes 23.9 Gbits/sec 0 8.04 MBytes
[ 7] 2.00-3.00 sec 3.02 GBytes 26.0 Gbits/sec 0 8.04 MBytes
[ 7] 3.00-4.00 sec 2.89 GBytes 24.8 Gbits/sec 0 8.04 MBytes
[ 7] 4.00-5.00 sec 3.32 GBytes 28.5 Gbits/sec 0 8.04 MBytes
[ 7] 5.00-5.33 sec 976 MBytes 25.1 Gbits/sec 0 8.04 MBytes
-----
[ ID] Interval Transfer Bitrate Retr
[ 7] 0.00-5.33 sec 16.0 GBytes 25.8 Gbits/sec 0
                                                sender
[ 7] 0.00-5.33 sec 16.0 GBytes 25.8 Gbits/sec
                                                receiver
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 4.11: Задание в teste определённого объёма данных

Изменим в teste 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. 4.12).

The image shows two terminal windows side-by-side. The left window, titled "host: h2" @ mininet-vm, displays the output of an iPerf3 server listening on port 5201. It shows a connection from host h1 at 10.0.0.1, port 41108. The data transfer statistics are as follows:

ID	Interval	Transfer	Bitrate	Jitter	Lost/Total Datagrams
[ 7]	0.00-1.00 sec	129 KBytes	1.05 Mbits/sec	0.056 ms	0/91 (0%)
[ 7]	1.00-2.00 sec	127 KBytes	1.04 Mbits/sec	0.054 ms	0/90 (0%)
[ 7]	2.00-3.00 sec	129 KBytes	1.05 Mbits/sec	0.028 ms	0/91 (0%)
[ 7]	3.00-4.00 sec	127 KBytes	1.04 Mbits/sec	0.022 ms	0/90 (0%)
[ 7]	4.00-5.00 sec	129 KBytes	1.05 Mbits/sec	0.045 ms	0/91 (0%)
[ 7]	5.00-6.00 sec	127 KBytes	1.04 Mbits/sec	0.023 ms	0/90 (0%)
[ 7]	6.00-7.00 sec	129 KBytes	1.06 Mbits/sec	0.023 ms	0/91 (0%)
[ 7]	7.00-8.00 sec	129 KBytes	1.05 Mbits/sec	0.061 ms	0/91 (0%)
[ 7]	8.00-9.00 sec	127 KBytes	1.04 Mbits/sec	0.027 ms	0/90 (0%)
[ 7]	9.00-10.00 sec	129 KBytes	1.05 Mbits/sec	0.029 ms	0/91 (0%)

The right window, titled "host: h1" @ mininet-vm, shows the client command and its output. The client connects to host h2 at 10.0.0.2, port 5201. The data transfer statistics are as follows:

ID	Interval	Transfer	Bitrate	Jitter	Lost/Total Datagrams
[ 7]	0.00-10.00 sec	1.25 MBytes	1.05 Mbits/sec	0.029 ms	0/906 (0%) receiver

Рис. 4.12: Тест с изменённым протоколом передачи данных

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

```

X "host: h2"@mininet-vm
[ 7] 0.00-10.00 sec 1.25 MBytes 1.05 Mbits/sec 0.029 ms 0/906 (0%) receiver
-----
Server listening on 5201
-----
^Ciperf3: interrupt - the server has terminated
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -s -p 3250
warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4
-----
Server listening on 3250
-----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 48518
[ 7] local 10.0.0.2 port 3250 connected to 10.0.0.1 port 48518
[ ID] Interval Transfer Bitrate
[ 7] 0.00-1.00 sec 2.95 GBytes 25.3 Gbits/sec
[ 7] 1.00-2.00 sec 2.91 GBytes 25.0 Gbits/sec
^C[ 7] 2.00-2.62 sec 1.71 GBytes 23.8 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval Transfer Bitrate
[ 7] 0.00-2.62 sec 7.57 GBytes 24.8 Gbits/sec
iperf3: interrupt - the server has terminated
root@mininet-vm:/home/mininet# █
[ 7,00-8,00 sec 1.48 GBytes 12.7 Gbits/sec 0 8.10 MBytes
[ 8,00-9,00 sec 1.46 GBytes 12.6 Gbits/sec 0 8.10 MBytes
X "host: h1"@mininet-vm
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 48518 connected to 10.0.0.2 port 3250
[ ID] Interval Transfer Bitrate Retr Cwnd
[ 7] 0.00-1.01 sec 2.95 GBytes 25.2 Gbits/sec 0 8.05 MBytes
[ 7] 1.01-2.00 sec 2.91 GBytes 25.1 Gbits/sec 0 8.05 MBytes
[ 7] 1.01-2.00 sec 2.91 GBytes 25.1 Gbits/sec 0 8.05 MBytes
-----
[ ID] Interval Transfer Bitrate Retr
[ 7] 0.00-2.00 sec 7.57 GBytes 32.5 Gbits/sec 0
[ 7] 0.00-2.00 sec 0.00 Bytes 0.00 bits/sec
iperf3: error - the server has terminated
root@mininet-vm:/home/mininet# █

```

Рис. 4.13: Тест с изменённым номером порта для отправки/получения пакетов

По умолчанию после запуска сервер iPerf3 постоянно прослушивает входящие соединения. В teste 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. 4.14).

После завершения этого теста сервер iPerf3 немедленно останавливается.

```

X "host: h2"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -s -1
warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4
-----
Server listening on 5201
-----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 60198
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 60200
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate
[ 7]  0.00-1.00   sec  3.09 GBytes  26.5 Gbits/sec
[ 7]  1.00-2.00   sec  2.75 GBytes  23.6 Gbits/sec
[ 7]  2.00-3.00   sec  2.97 GBytes  25.5 Gbits/sec
[ 7]  3.00-4.00   sec  2.88 GBytes  24.7 Gbits/sec
[ 7]  4.00-5.00   sec  2.44 GBytes  21.0 Gbits/sec
[ 7]  5.00-6.00   sec  2.77 GBytes  23.7 Gbits/sec
[ 7]  6.00-7.00   sec  2.95 GBytes  25.4 Gbits/sec
[ 7]  7.00-8.00   sec  3.08 GBytes  26.5 Gbits/sec
[ 7]  8.00-9.00   sec  2.80 GBytes  24.1 Gbits/sec
[ 7]  9.00-10.00  sec  2.78 GBytes  23.9 Gbits/sec
[ 7] 10.00-10.00  sec 12.3 MBytes  34.4 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate
[ 7]  0.00-10.00  sec 28.5 GBytes  24.5 Gbits/sec
root@mininet-vm:/home/mininet# █
7.00-8.00   sec 1.48 GBytes 12.1 Gbits/sec  0  8.10 MBytes
8.00-9.00   sec 1.46 GBytes 12.6 Gbits/sec  0  8.10 MBytes
X "host: h1"@mininet-vm
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 60200 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate   Retr Cwnd
[ 7]  0.00-1.01   sec  3.10 GBytes  26.4 Gbits/sec  0  4.99 MBytes
[ 7]  1.01-2.00   sec  2.74 GBytes  23.7 Gbits/sec  0  6.69 MBytes
[ 7]  2.00-3.00   sec  2.97 GBytes  25.5 Gbits/sec  0  8.13 MBytes
[ 7]  3.00-4.00   sec  2.88 GBytes  24.7 Gbits/sec  0  8.13 MBytes
[ 7]  4.00-5.00   sec  2.44 GBytes  21.0 Gbits/sec  0  8.13 MBytes
[ 7]  5.00-6.00   sec  2.78 GBytes  23.9 Gbits/sec  0  8.13 MBytes
[ 7]  6.00-7.00   sec  2.94 GBytes  25.2 Gbits/sec  0  8.13 MBytes
[ 7]  7.00-8.00   sec  3.08 GBytes  26.5 Gbits/sec  0  8.13 MBytes
[ 7]  8.00-9.00   sec  2.80 GBytes  24.0 Gbits/sec  0  8.13 MBytes
[ 7]  9.00-10.00  sec  2.79 GBytes  24.0 Gbits/sec  0  8.13 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer     Bitrate   Retr
[ 7]  0.00-10.00  sec 28.5 GBytes  24.5 Gbits/sec  0
[ 7]  0.00-10.00  sec 28.5 GBytes  24.5 Gbits/sec
root@mininet-vm:/home/mininet# █
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet# █

```

Рис. 4.14: Тест с параметром обработки данных только от одного клиента с остановкой сервера по завершении теста

Экспортируем результаты теста измерения пропускной способности iPerf3 в файл JSON. Для начала создадим директорию куда будем сохранять файл (рис. ??). После чего запустим тест с сохранением в файл в созданной директории (рис. ??).

```

mininet@mininet-vm:~$ mkdir -p ~/work/lab_iperf3
mininet@mininet-vm:~$ █

```



The screenshot shows two terminal windows. The top window, titled "host: h2@mininet-vm", displays the output of an iperf3 test between host h2 and host h1. It shows transfer rates over time, with a summary at the end indicating a receiver bitrate of 24.9 Gbits/sec. The bottom window, titled "host: h1@mininet-vm", shows the command used to save the results to a JSON file named "iperf\_results.json".

```

Accepted connection from 10.0.0.1, port 60202
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 60204
[ ID] Interval Transfer Bitrate
[ 7] 0.00-1.00 sec 3.22 GBytes 27.7 Gbits/sec
[ 7] 1.00-2.00 sec 3.23 GBytes 27.7 Gbits/sec
[ 7] 2.00-3.00 sec 2.90 GBytes 24.9 Gbits/sec
[ 7] 3.00-4.00 sec 3.04 GBytes 26.1 Gbits/sec
[ 7] 4.00-5.00 sec 2.75 GBytes 23.6 Gbits/sec
[ 7] 5.00-6.00 sec 2.87 GBytes 24.7 Gbits/sec
[ 7] 6.00-7.00 sec 2.56 GBytes 22.0 Gbits/sec
[ 7] 7.00-8.00 sec 2.72 GBytes 23.4 Gbits/sec
[ 7] 8.00-9.00 sec 2.86 GBytes 24.6 Gbits/sec
[ 7] 9.00-10.00 sec 2.85 GBytes 24.5 Gbits/sec
[ 7] 10.00-10.00 sec 192 KBytes 887 Mbits/sec
[ ID] Interval Transfer Bitrate
[ 7] 0.00-10.00 sec 29.0 GBytes 24.9 Gbits/sec
Server listening on 5201
^Ciperf3: interrupt - the server has terminated
root@mininet-vm:/home/mininet# 
7.00-8.00 sec 1.4 * Support: https://ubuntu.com/advantage
8.00-9.00 sec 1.4
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2 -J > /home/mininet/work/lab_i
perf3/iperf_results.json
root@mininet-vm:/home/mininet# 

```

Убедимся, что файл iperf\_results.json создан в указанном каталоге. Для этого в терминале ВМ введем следующие команды (рис. ??).

The screenshot shows a terminal window displaying the contents of the "iperf\_results.json" file. The file is a JSON object containing details about the iperf3 test, including the start configuration, version, system info, timestamp, and connecting to host "10.0.0.2".

```

mininet@mininet-vm:~/work$ ls -l
total 8
-rw-r--r-- 1 mininet mininet 7792 Sep 27 12:11 iperf_results.json
mininet@mininet-vm:~/work$ cat iperf_results.json
{
  "start": {
    "connected": [
      {
        "socket": 7,
        "local_host": "10.0.0.1",
        "local_port": 66204,
        "remote_host": "10.0.0.2",
        "remote_port": 5201
      }
    ],
    "version": "iperf 3.7",
    "system_info": "Linux mininet-vm 5.4.0-42-generic #46-Ubuntu SMP Fri Jul 10 00:24:02 UTC 2020 x86_64",
    "timestamp": {
      "time": "Sat, 27 Sep 2025 19:11:11 GMT",
      "timesecs": 1759000271
    },
    "connecting_to": {
      "host": "10.0.0.2",
      "port": 5201
    }
  }
}

```

Завершим симуляцию (рис. ??).

The screenshot shows a terminal window displaying the completion message of the Mininet simulation. It lists the stopping of controllers, terms, links, switches, hosts, and the final "Done" message, along with the total duration of 929.929 seconds.

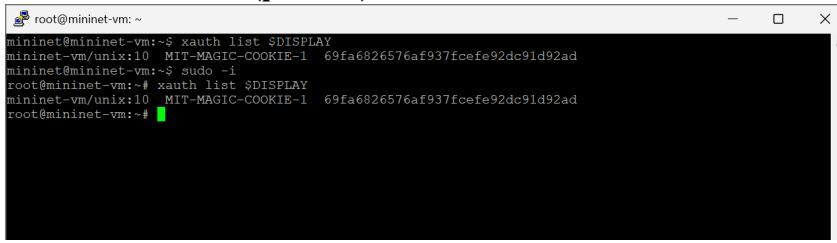
```

mininet> exit
*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 8 terms
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
completed in 929.929 seconds

```

В виртуальной машине mininet исправим права запуска X-соединения. Скопи-

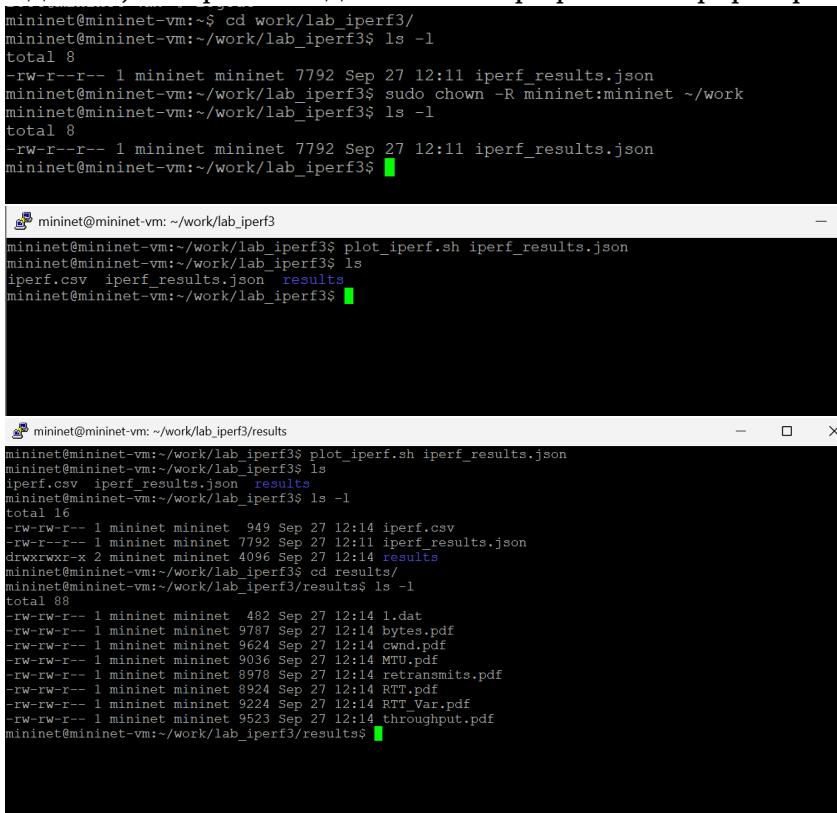
руем значение куки (MIT magic cookie) своего пользователя mininet в файл для пользователя root (рис. ??).



```
root@mininet-vm:~$ xauth list $DISPLAY
mininet@mininet-vm:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 69fa6826576af937fcefe92dc91d92ad
mininet@mininet-vm:~$ sudo -i
root@mininet-vm:~# xauth list $DISPLAY
mininet@mininet-vm:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 69fa6826576af937fcefe92dc91d92ad
root@mininet-vm:~#
```

Визуализируем результаты эксперимента. В виртуальной машине mininet перейдем в каталог для работы над проектом, проверим права доступа к файлу JSON(рис. ??). Сгенерируем выходные данные для файла JSON iPerf3(рис. ??).

Убедимся, что файлы с данными и графиками сформировались(рис. ??).



```
mininet@mininet-vm:~$ cd work/lab_iperf3/
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ ls -l
total 8
-rw-r--r-- 1 mininet mininet 7792 Sep 27 12:11 iperf_results.json
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ sudo chown -R mininet:mininet ~/work
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ ls -l
total 8
-rw-r--r-- 1 mininet mininet 7792 Sep 27 12:11 iperf_results.json
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$
```

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ plot_iperf.sh iperf_results.json
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ ls
iperf.csv iperf_results.json results
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$
```

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ plot_iperf.sh iperf_results.json
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ ls
iperf.csv iperf_results.json results
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ ls -l
total 16
-rw-r--r-- 1 mininet mininet 949 Sep 27 12:14 iperf.csv
-rw-r--r-- 1 mininet mininet 7792 Sep 27 12:11 iperf_results.json
drwxrwxr-x 2 mininet mininet 4096 Sep 27 12:14 results
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ cd results/
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3/results$ ls -l
total 88
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 482 Sep 27 12:14 1.dat
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9787 Sep 27 12:14 bytes.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9624 Sep 27 12:14 cwnd.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9036 Sep 27 12:14 MTU.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 8978 Sep 27 12:14 retransmits.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 8924 Sep 27 12:14 RTT.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9224 Sep 27 12:14 RTT_Var.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9523 Sep 27 12:14 throughput.pdf
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3/results$
```

## **5 Выводы**

В результате выполнения лабораторной работы я познакомился с инструментом для измерения пропускной способности сети в режиме реального времени — iPerf3, и приобрёл навыки проведения эксперимента в моделируемой сети среды Mininet по измерению пропускной способности сети.

## **Список литературы**

1. Mininet [Электронный ресурс]. Mininet Project Contributors. URL: <https://mininet.org/> (дата обращения: 07.10.2025).
2. Iperf [Электронный ресурс]. iPerf - The ultimate speed test tool for TCP, UDP; SCTP. URL: <https://iperf.fr/> (дата обращения: 07.10.2025).