

Лабораторная работа №2

Моделирование сетей передачи данных

Хрусталеv Влад Николаевич

Содержание

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

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	Развертывание 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 тесте 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 08:00:27:1d:0e:5b 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<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 16721 bytes 2776380 (2.7 MB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 16721 bytes 2776380 (2.7 MB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
```

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 2s (80.6 kB/s)
Reading package lists... Done
```

Рис. 4.2: Проверка обновлений ПО

```

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/ekfoury/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: Развертывание 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).

```

"host: h2"@mininet-vm
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
-----
Server listening on 5201

"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 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
[ 7] 0.00-10.01 sec 27.2 GBytes 23.4 Gbits/sec
-----
sender
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;

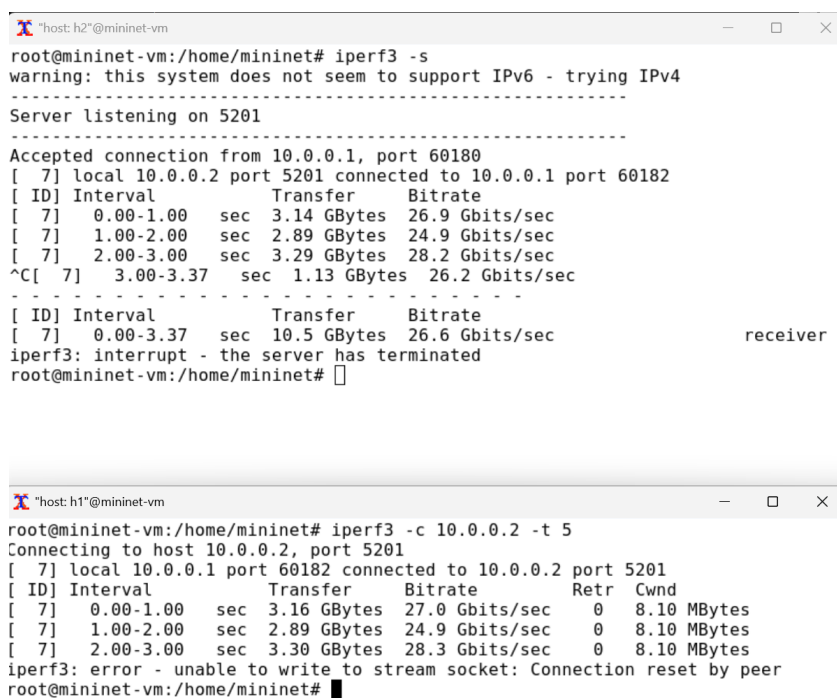
- пропускная способность (Bitrate): измеренная пропускная способность в каждом временном интервале – от 20.4 до 26.0 Gbit/sec;
- Retr: количество повторно переданных TCP-сегментов за каждый временной интервал (это поле увеличивается, когда TCP-сегменты теряются в сети из-за перегрузки или повреждения) – 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 объёма 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
[ 5] 0.00-10.00 sec 24.1 GBytes 20.7 Gbits/sec
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 Gbits/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).

```
"host: h2"@mininet-vm
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#

"host: h1"@mininet-vm
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 значения 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 объем данных, указанный пользователем.

```

"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 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
-----
Server listening on 5201
receiver

```

```

"host: h1"@mininet-vm
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
[ 7] 0.00-5.33 sec  16.0 GBytes 25.8 Gbits/sec    0
-----
sender
receiver
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рис. 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. 4.12).

```

"host: h2"@mininet-vm
-----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 60192
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 41108
[ 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%)
-----
[ 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
-----
Server listening on 5201
-----

"host: h1"@mininet-vm
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 41108 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval          Transfer      Bitrate      Jitter      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      127 KBytes   1.04 Mbits/sec  90
[ 7] 6.00-7.00 sec      129 KBytes   1.06 Mbits/sec  91
[ 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 Datagrams
[ 7] 0.00-10.00 sec     1.25 MBytes   1.05 Mbits/sec  0.000 ms    0/906 (0%) sender
[ 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).

```

"host: h2"@mininet-vm
rams
[ 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 48516
[ 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
"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 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. 4.14).

После завершения этого теста сервер iPerf3 немедленно останавливается.

```
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 12.7 Gbits/sec 0 8.10 MBytes
8.00-9.00 sec 1.46 GBytes 12.6 Gbits/sec 0 8.10 MBytes
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    0
sender
receiver
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:~$
```



```
"host: h2"@mininet-vm
-----
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
8.00-9.00    sec 1.4
* Support:      https://ubuntu.com/advantage
"host: h1"@mininet-vm
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. ??).

```
mininet@mininet-vm: ~/work
total 8
-rw-r--r-- 1 mininet mininet 7792 Sep 27 12:11 iperf_results.json
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ cat iperf_results.json
{
  "start": {
    "connected": [
      {
        "socket": 7,
        "local_host": "10.0.0.1",
        "local_port": 60204,
        "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. ??).

```
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: ~  
mininet@mininet-vm:~$ xauth list $DISPLAY  
mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 69fa6826576af937f92dc91d92ad  
mininet@mininet-vm:~$ sudo -i  
root@mininet-vm:~# xauth list $DISPLAY  
mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 69fa6826576af937f92dc91d92ad  
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  
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/results  
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-rw-r-- 1 mininet mininet 949 Sep 27 12:14 iperf.csv  
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 7792 Sep 27 12:11 iperf_results.json  
-rwxrwxr-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 9324 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).