

Лабораторная работа №2

Измерение и тестирование пропускной способности сети.
Интерактивный эксперимент

Кузнецова София Вадимовна

Содержание

Цель	4
Теоретическое введение	5
Выполнение лабораторной работы	7
Установка необходимого программного обеспечения	7
Интерактивные эксперименты	8
Выводы	21
Список литературы	22

Список иллюстраций

0.1	Подключение к mininet	7
0.2	Установка ПО	8
0.3	iperf3_plotter	8
0.4	Задание простейшей топологии	8
0.5	Задание простейшей топологии	9
0.6	Параметры запущенной в интерактивном режиме топологии	9
0.7	Параметры запущенной в интерактивном режиме топологии	9
0.8	Тестовое соединение между хостами	9
0.9	Тестовое соединение между хостами	10
0.10	Эксперимент в интерфейсе mininet	11
0.11	Завершение процесса на сервере	11
0.12	Период времени передачи	12
0.13	Период времени передачи	12
0.14	Тест пропускной способности с 2-секундным интервалом	13
0.15	Тест пропускной способности с 2-секундным интервалом	13
0.16	Задание в тесте определённого объёма данных	14
0.17	Задание в тесте определённого объёма данных	14
0.18	Протокол передачи данных	15
0.19	Протокол передачи данных	16
0.20	Номер порта для отправки/получения пакетов	16
0.21	Номер порта для отправки/получения пакетов	17
0.22	Параметр обработки данных только от одного клиента с остановкой сервера по завершении теста	17
0.23	Параметр обработки данных только от одного клиента с остановкой сервера по завершении теста	18
0.24	Экспорт результатов теста измерения пропускной способности iPerf3 в файл JSON	18
0.25	Экспорт результатов теста измерения пропускной способности iPerf3 в файл JSON	19
0.26	Проверка создания файла iperf_results.json	19
0.27	Исправление прав запуска X-соединения	19
0.28	Визуализация результатов эксперимента	20

Цель

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.

Теоретическое введение

В контексте сеанса связи между двумя конечными устройствами на сетевом пути под пропускной способностью (throughput) понимается скорость в битах в секунду, с которой процесс-отправитель может доставлять данные процессу-получателю. В тоже время под полосой пропускания (Bandwidth) понимается физическое свойство среды передачи данных, зависящее, например, от конструкции и длины провода или волокна. Иногда термины «пропускная способность» (throughput) и «полоса пропускания» (bandwidth) используются взаимозаменяемо.

iPerf3 (сайт: <https://iperf.fr/>; лицензия: three-clause BSD license; репозиторий: <https://github.com/esnet/iperf>) 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). Пользователь взаимодействует с iPerf3 с помощью команды `iperf3`. Основной синтаксис `iperf3`, используемый как на клиенте, так и на сервере, выглядит следующим образом: `iperf3 [-s|-c] [options]` Здесь -s — запуск сервера; -c — запуск клиента. Описание опций можно посмотреть, введя команду `iperf3 -h`. iPerf3 позволяет экспортировать результаты теста в файл с облегчённым форматом обмена данными JSON (JavaScript Object Notation, нотация объектов JavaScript), что позволяет другим приложениям легко анализировать файлы интер-

претировать результаты. Для визуализации результатов измерения iPerf3 можно использовать пакет `iperf3_plotter`. Репозиторий https://github.com/ekfoury/iperf3_plotter содержит следующие скрипты: – `preprocessor.sh`: преобразует файл JSON iPerf3 в файл значений, разделённых запятыми (CSV); использует AWK для форматирования полей файла; – `plot_iperf.sh`: принимает JSON-файл iPerf3, вызывает препроцессор и `gnuplot` для создания выходных PDF-файлов.

Выполнение лабораторной работы

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.

```
mininet@mininet-vm:~$ ssh -Y mininet@192.168.56.113
mininet@192.168.56.113's password:
Welcome to Ubuntu 20.04.1 LTS (GNU/Linux 5.4.0-42-generic x86_64)

 * Documentation:  https://help.ubuntu.com
 * Management:    https://landscape.canonical.com
 * Support:       https://ubuntu.com/advantage

New release '22.04.5 LTS' available.
Run 'do-release-upgrade' to upgrade to it.

Last login: Sun Sep 21 05:05:49 2025 from 192.168.56.1
mininet@mininet-vm:~$ ifconfig
eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.56.113 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.56.255
    ether 08:00:27:4b:bd:6c txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 129 bytes 15387 (15.3 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 80 bytes 12497 (12.4 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:e5:93:e7 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 285 bytes 37360 (37.3 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 292 bytes 26829 (26.8 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 97 bytes 12542 (12.5 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 97 bytes 12542 (12.5 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
```

Рис. 0.1: Подключение к mininet

Обновим репозитории программного обеспечения на виртуальной машине. Установим iperf3 и необходимое дополнительное программное обеспечение на виртуальную машину.

```

mininet@mininet-vm:~$ sudo apt-get install iperf3
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following additional packages will be installed:
  libiperf0 libsctp1
Suggested packages:
  lksctp-tools
The following NEW packages will be installed:
  iperf3 libiperf0 libsctp1
0 upgraded, 3 newly installed, 0 to remove and 395 not upgraded.
Need to get 94.1 kB of archives.
After this operation, 331 kB of additional disk space will be used.
Do you want to continue? [Y/n] y
Get:1 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal/main amd64 libsctp1 amd64 1.0.18+dfsg-1 [7,876 B]
Get:2 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal/universe amd64 libiperf0 amd64 3.7-3 [72.0 kB]
Get:3 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal/universe amd64 iperf3 amd64 3.7-3 [14.2 kB]
Fetched 94.1 kB in 1s (104 kB/s)

```

Рис. 0.2: Установка ПО

Развернем iperf3_plotter.

```

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 | 1014.00 KiB/s, done.
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. 0.3: iperf3_plotter

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.

```

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:11.0
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...

```

Рис. 0.4: Задание простейшей топологии



Рис. 0.5: Задание простейшей топологии

В терминале виртуальной машины посмотрим параметры запущенной в интерактивном режиме топологии.

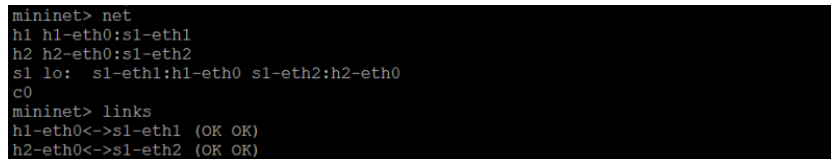


Рис. 0.6: Параметры запущенной в интерактивном режиме топологии

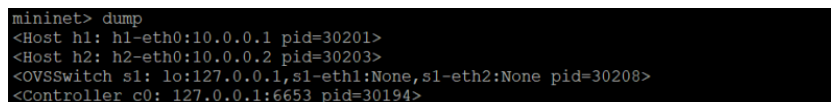


Рис. 0.7: Параметры запущенной в интерактивном режиме топологии

Проведем простейший интерактивный эксперимент по измерению пропускной способности с помощью iPerf3.

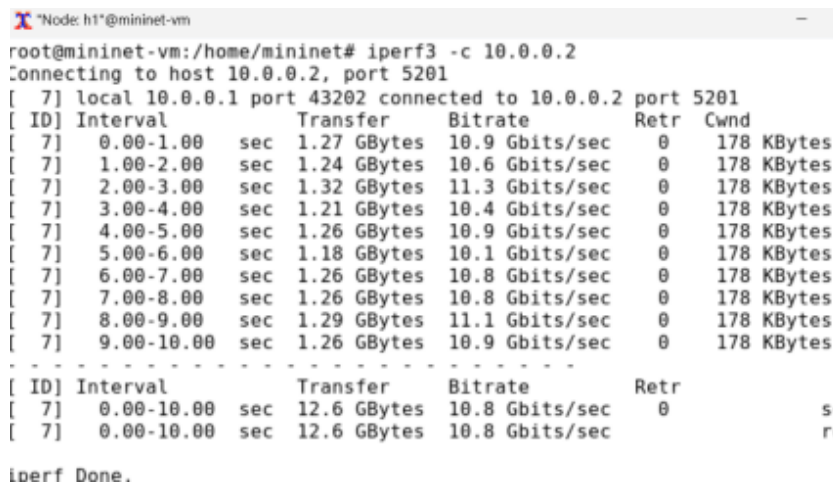


Рис. 0.8: Тестовое соединение между хостами

```
*Node: 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 43200
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 43202
-----
[ ID] Interval            Transfer          Bitrate
[ 7] 0.00-1.00      sec  1.27 GBytes      10.9 Gbits/sec
[ 7] 1.00-2.00      sec  1.24 GBytes      10.6 Gbits/sec
[ 7] 2.00-3.00      sec  1.32 GBytes      11.3 Gbits/sec
[ 7] 3.00-4.00      sec  1.21 GBytes      10.4 Gbits/sec
[ 7] 4.00-5.00      sec  1.26 GBytes      10.9 Gbits/sec
[ 7] 5.00-6.00      sec  1.18 GBytes      10.1 Gbits/sec
[ 7] 6.00-7.00      sec  1.26 GBytes      10.8 Gbits/sec
[ 7] 7.00-8.00      sec  1.26 GBytes      10.8 Gbits/sec
[ 7] 8.00-9.00      sec  1.29 GBytes      11.1 Gbits/sec
[ 7] 9.00-10.00     sec  1.26 GBytes      10.9 Gbits/sec
[ 7] 10.00-10.00    sec  1.25 MBytes       6.72 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval            Transfer          Bitrate
[ 7] 0.00-10.00     sec  12.6 GBytes      10.8 Gbits/sec
-----
Server listening on 5201
-----
```

Рис. 0.9: Тестовое соединение между хостами

Проанализируем полученный в результате выполнения теста сводный отчёт, отображившийся 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 объема данных, которые ТСП-клиент может отправить до получения подтверждения отправленных данных) – это фиксированный параметр равный 8.09 МВ. Проведем аналогичный эксперимент в интерфейсе mininet.

```
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 43210 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate      Retr  Cwnd
[ 5]  0.00-1.00    sec  1.20 GBytes 10.3 Gbits/sec  0    191 KBytes
[ 5]  1.00-2.00    sec  1.24 GBytes 10.7 Gbits/sec  0    191 KBytes
[ 5]  2.00-3.00    sec  1.13 GBytes 9.73 Gbits/sec  0    191 KBytes
[ 5]  3.00-4.00    sec  1.22 GBytes 10.5 Gbits/sec  0    191 KBytes
[ 5]  4.00-5.00    sec  1.24 GBytes 10.6 Gbits/sec  0    191 KBytes
[ 5]  5.00-6.00    sec  1.15 GBytes 9.92 Gbits/sec  0    191 KBytes
[ 5]  6.00-7.00    sec  1.15 GBytes 9.86 Gbits/sec  0    191 KBytes
[ 5]  7.00-8.00    sec  1.22 GBytes 10.5 Gbits/sec  0    191 KBytes
[ 5]  8.00-9.00    sec  1.32 GBytes 11.3 Gbits/sec  0    191 KBytes
[ 5]  9.00-10.00   sec  1.30 GBytes 11.2 Gbits/sec  0    191 KBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate      Retr
[ 5]  0.00-10.00   sec  12.2 GBytes 10.5 Gbits/sec  0
[ 5]  0.00-10.00   sec  12.2 GBytes 10.5 Gbits/sec
iperf Done.
```

Рис. 0.10: Эксперимент в интерфейсе mininet

Сравним результаты. Увидим, что во втором случае было передано на 0,4 GB меньше; пропускная способность уменьшилась на 0,3; потери пакетов все также нет. После убьем процесс на сервере.

```
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 43208
[ 5] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 43210
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 5]  0.00-1.00    sec  1.20 GBytes 10.3 Gbits/sec
[ 5]  1.00-2.00    sec  1.24 GBytes 10.7 Gbits/sec
[ 5]  2.00-3.00    sec  1.13 GBytes 9.74 Gbits/sec
[ 5]  3.00-4.00    sec  1.22 GBytes 10.5 Gbits/sec
[ 5]  4.00-5.00    sec  1.24 GBytes 10.6 Gbits/sec
[ 5]  5.00-6.00    sec  1.15 GBytes 9.92 Gbits/sec
[ 5]  6.00-7.00    sec  1.15 GBytes 9.86 Gbits/sec
[ 5]  7.00-8.00    sec  1.22 GBytes 10.5 Gbits/sec
[ 5]  8.00-9.00    sec  1.32 GBytes 11.3 Gbits/sec
[ 5]  9.00-10.00   sec  1.31 GBytes 11.2 Gbits/sec
[ 5] 10.00-10.00   sec  1.06 MBytes 9.39 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 5]  0.00-10.00   sec  12.2 GBytes 10.5 Gbits/sec
-----
Server listening on 5201
-----
iperf3: interrupt - the server has terminated
```

Рис. 0.11: 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).

```

Node: 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 43226 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate      Retr  Cwnd
[ 7]  0.00-1.00    sec  1.25 GBytes 10.7 Gbits/sec  9    1.19 MBytes
[ 7]  1.00-2.00    sec  1.21 GBytes 10.4 Gbits/sec  0    1.19 MBytes
[ 7]  2.00-3.00    sec  1.16 GBytes 9.97 Gbits/sec  0    1.19 MBytes
[ 7]  3.00-4.00    sec  1.28 GBytes 11.0 Gbits/sec  0    1.19 MBytes
[ 7]  4.00-5.00    sec  1.25 GBytes 10.8 Gbits/sec  0    1.19 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate      Retr
[ 7]  0.00-5.00    sec  6.15 GBytes 10.6 Gbits/sec  9
[ 7]  0.00-5.00    sec  6.15 GBytes 10.6 Gbits/sec
iperf Done.
  
```

Рис. 0.12: Период времени передачи

```

Node: 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 43224
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 43226
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7]  0.00-1.00    sec  1.25 GBytes 10.7 Gbits/sec
[ 7]  1.00-2.00    sec  1.21 GBytes 10.4 Gbits/sec
[ 7]  2.00-3.00    sec  1.16 GBytes 9.96 Gbits/sec
[ 7]  3.00-4.00    sec  1.28 GBytes 11.0 Gbits/sec
[ 7]  4.00-5.00    sec  1.26 GBytes 10.8 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7]  0.00-5.00    sec  6.15 GBytes 10.6 Gbits/sec
-----
Server listening on 5201
  
```

Рис. 0.13: Период 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.

```

*Node: 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 43242 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval          Transfer          Bitrate          Retr  Cwnd
[ 7]  0.00-2.00    sec  2.42 GBytes    10.4 Gbits/sec    0    229 KBytes
[ 7]  2.00-4.00    sec  2.50 GBytes    10.7 Gbits/sec    0    229 KBytes
[ 7]  4.00-6.00    sec  2.53 GBytes    10.9 Gbits/sec    0    229 KBytes
[ 7]  6.00-8.00    sec  2.40 GBytes    10.3 Gbits/sec    0    229 KBytes
[ 7]  8.00-10.00   sec  2.30 GBytes    9.87 Gbits/sec    0    229 KBytes
-----
[ ID] Interval          Transfer          Bitrate          Retr
[ 7]  0.00-10.00   sec  12.1 GBytes    10.4 Gbits/sec    0
[ 7]  0.00-10.00   sec  12.1 GBytes    10.4 Gbits/sec    0
iperf Done.

```

Рис. 0.14: Тест пропускной способности с 2-секундным интервалом

```

*Node: 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 43240
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 43242
[ ID] Interval          Transfer          Bitrate
[ 7]  0.00-2.00    sec  2.42 GBytes    10.4 Gbits/sec
[ 7]  2.00-4.00    sec  2.50 GBytes    10.7 Gbits/sec
[ 7]  4.00-6.00    sec  2.53 GBytes    10.9 Gbits/sec
[ 7]  6.00-8.00    sec  2.40 GBytes    10.3 Gbits/sec
[ 7]  8.00-10.00   sec  2.30 GBytes    9.87 Gbits/sec
[ 7]  10.00-10.00  sec    897 KBytes    4.45 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval          Transfer          Bitrate
[ 7]  0.00-10.00   sec  12.1 GBytes    10.4 Gbits/sec
Server listening on 5201

```

Рис. 0.15: Тест 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 переда.

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.

```
*Node: 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 43258 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval            Transfer          Bitrate          Retr  Cwnd
[ 7]  0.00-1.00 sec      1.34 GBytes      11.5 Gbits/sec    0     622 KBytes
[ 7]  1.00-2.00 sec      1.30 GBytes      11.2 Gbits/sec    0     622 KBytes
[ 7]  2.00-3.00 sec      1.17 GBytes      10.0 Gbits/sec    0     622 KBytes
[ 7]  3.00-4.00 sec      1.22 GBytes      10.5 Gbits/sec    0     622 KBytes
[ 7]  4.00-5.00 sec      1.30 GBytes      11.2 Gbits/sec    0     622 KBytes
[ 7]  5.00-6.00 sec      1.24 GBytes      10.7 Gbits/sec    0     622 KBytes
[ 7]  6.00-7.00 sec      1.27 GBytes      10.9 Gbits/sec    0     622 KBytes
[ 7]  7.00-8.00 sec      1.27 GBytes      10.9 Gbits/sec    0     622 KBytes
[ 7]  8.00-9.00 sec      1.27 GBytes      10.9 Gbits/sec    0     622 KBytes
[ 7]  9.00-10.00 sec     1.25 GBytes      10.7 Gbits/sec    0     622 KBytes
[ 7] 10.00-11.00 sec     1.24 GBytes      10.7 Gbits/sec    0     622 KBytes
[ 7] 11.00-12.00 sec     1.19 GBytes      10.2 Gbits/sec    0     622 KBytes
[ 7] 12.00-12.74 sec     962 MBytes       11.0 Gbits/sec    0     622 KBytes
-----
[ ID] Interval            Transfer          Bitrate          Retr
[ 7]  0.00-12.74 sec     16.0 GBytes      10.8 Gbits/sec    0
[ 7]  0.00-12.74 sec     16.0 GBytes      10.8 Gbits/sec
iperf Done.
```

Рис. 0.16: Задание в тесте определённого объёма данных

```
*Node: h2*@mininet-vm
Accepted connection from 10.0.0.1, port 43256
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 43258
[ ID] Interval            Transfer          Bitrate
[ 7]  0.00-1.00 sec      1.33 GBytes      11.5 Gbits/sec
[ 7]  1.00-2.00 sec      1.30 GBytes      11.2 Gbits/sec
[ 7]  2.00-3.00 sec      1.17 GBytes      10.0 Gbits/sec
[ 7]  3.00-4.00 sec      1.22 GBytes      10.5 Gbits/sec
[ 7]  4.00-5.00 sec      1.30 GBytes      11.2 Gbits/sec
[ 7]  5.00-6.00 sec      1.24 GBytes      10.7 Gbits/sec
[ 7]  6.00-7.00 sec      1.27 GBytes      10.9 Gbits/sec
[ 7]  7.00-8.00 sec      1.27 GBytes      10.9 Gbits/sec
[ 7]  8.00-9.00 sec      1.27 GBytes      10.9 Gbits/sec
[ 7]  9.00-10.00 sec     1.25 GBytes      10.7 Gbits/sec
[ 7] 10.00-11.00 sec     1.24 GBytes      10.7 Gbits/sec
[ 7] 11.00-12.00 sec     1.19 GBytes      10.2 Gbits/sec
[ 7] 12.00-12.74 sec     963 MBytes       11.0 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval            Transfer          Bitrate
[ 7]  0.00-12.74 sec     16.0 GBytes      10.8 Gbits/sec
-----
Server listening on 5201
```

Рис. 0.17: 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.

```
*Node: h1*@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2 -u
iperf3: error - unable to connect to server: Connection refused
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 41239 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval          Transfer    Bitrate    Total Data
[ 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
rams
[ 7] 0.00-10.00 sec     1.25 MBytes  1.05 Mbits/sec  0.000
er
[ 7] 0.00-10.00 sec     1.25 MBytes  1.05 Mbits/sec  0.011
iver

iperf Done.
```

Рис. 0.18: Протокол передачи данных


```

*Node: 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 43274
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 41239
[ ID] Interval            Transfer          Bitrate          Jitter
rams
[ 7] 0.00-1.00 sec      129 KBytes      1.05 Mbits/sec    0.070 ms
[ 7] 1.00-2.00 sec      127 KBytes      1.04 Mbits/sec    0.019
[ 7] 2.00-3.00 sec      129 KBytes      1.05 Mbits/sec    0.041
[ 7] 3.00-4.00 sec      127 KBytes      1.04 Mbits/sec    0.018
[ 7] 4.00-5.00 sec      129 KBytes      1.05 Mbits/sec    0.079
[ 7] 5.00-6.00 sec      127 KBytes      1.04 Mbits/sec    0.012
[ 7] 6.00-7.00 sec      129 KBytes      1.05 Mbits/sec    0.014
[ 7] 7.00-8.00 sec      127 KBytes      1.04 Mbits/sec    0.010
[ 7] 8.00-9.00 sec      129 KBytes      1.05 Mbits/sec    0.035
[ 7] 9.00-10.00 sec     127 KBytes      1.04 Mbits/sec    0.009
[ 7] 10.00-10.00 sec    1.41 KBytes      3.47 Mbits/sec    0.011
-----
[ ID] Interval            Transfer          Bitrate          Jitter
rams
[ 7] 0.00-10.00 sec    1.25 MBytes      1.05 Mbits/sec    0.011
iver
-----

```

Рис. 0.19: Протокол передачи данных

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

```

*Node: 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 43962 connected to 10.0.0.2 port 3250
[ ID] Interval            Transfer          Bitrate          Retr  Cwnd
[ 7] 0.00-1.00 sec      1.30 GBytes      11.2 Gbits/sec    0     583 KBytes
[ 7] 1.00-2.00 sec      1.30 GBytes      11.2 Gbits/sec    0     583 KBytes
[ 7] 2.00-3.00 sec      1.16 GBytes      9.98 Gbits/sec    0     583 KBytes
[ 7] 3.00-4.00 sec      1.16 GBytes      10.0 Gbits/sec    0     583 KBytes
[ 7] 4.00-5.00 sec      1.16 GBytes      9.93 Gbits/sec    0     583 KBytes
[ 7] 5.00-6.00 sec      1.30 GBytes      11.1 Gbits/sec    0     583 KBytes
[ 7] 6.00-7.00 sec      1.31 GBytes      11.2 Gbits/sec    0     583 KBytes
[ 7] 7.00-8.00 sec      1.31 GBytes      11.2 Gbits/sec    0     583 KBytes
[ 7] 8.00-9.00 sec      1.27 GBytes      10.9 Gbits/sec    0     583 KBytes
[ 7] 9.00-10.00 sec     1.23 GBytes      10.6 Gbits/sec    0     583 KBytes
-----
[ ID] Interval            Transfer          Bitrate          Retr
[ 7] 0.00-10.00 sec    12.5 GBytes      10.7 Gbits/sec    0
[ 7] 0.00-10.00 sec    12.5 GBytes      10.7 Gbits/sec
iperf Done.

```

Рис. 0.20: Номер порта для отправки/получения пакетов


```

*Node: h2*@mininet-vm
-----
Server listening on 3250
-----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 43960
[ 7] local 10.0.0.2 port 3250 connected to 10.0.0.1 port 43962
[ ID] Interval          Transfer      Bitrate
[ 7]  0.00-1.00      sec  1.30 GBytes  11.2 Gbits/sec
[ 7]  1.00-2.00      sec  1.30 GBytes  11.2 Gbits/sec
[ 7]  2.00-3.00      sec  1.16 GBytes  9.98 Gbits/sec
[ 7]  3.00-4.00      sec  1.16 GBytes  10.0 Gbits/sec
[ 7]  4.00-5.00      sec  1.16 GBytes  9.94 Gbits/sec
[ 7]  5.00-6.00      sec  1.29 GBytes  11.1 Gbits/sec
[ 7]  6.00-7.00      sec  1.31 GBytes  11.2 Gbits/sec
[ 7]  7.00-8.00      sec  1.31 GBytes  11.2 Gbits/sec
[ 7]  8.00-9.00      sec  1.27 GBytes  10.9 Gbits/sec
[ 7]  9.00-10.00     sec  1.23 GBytes  10.6 Gbits/sec
[ 7] 10.00-10.00     sec  1.38 MBytes  6.54 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval          Transfer      Bitrate
[ 7]  0.00-10.00     sec  12.5 GBytes  10.7 Gbits/sec
-----
Server listening on 3250
-----

```

Рис. 0.21: Номер 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. После завершения этого теста сервер iPerf3 немедленно останавливается.

```

*Node: 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 43306 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval          Transfer      Bitrate      Retr  Cwnd
[ 7]  0.00-1.00      sec  1.33 GBytes  11.4 Gbits/sec    0   215 KBytes
[ 7]  1.00-2.00      sec  1.21 GBytes  10.4 Gbits/sec    0   215 KBytes
[ 7]  2.00-3.00      sec  1.22 GBytes  10.5 Gbits/sec    0   215 KBytes
[ 7]  3.00-4.00      sec  1.37 GBytes  11.8 Gbits/sec    0   215 KBytes
[ 7]  4.00-5.00      sec  1.17 GBytes  10.1 Gbits/sec    0   215 KBytes
[ 7]  5.00-6.00      sec  1.23 GBytes  10.6 Gbits/sec    0   215 KBytes
[ 7]  6.00-7.00      sec  1.18 GBytes  10.1 Gbits/sec    0   215 KBytes
[ 7]  7.00-8.00      sec  1.22 GBytes  10.5 Gbits/sec    0   215 KBytes
[ 7]  8.00-9.00      sec  1.24 GBytes  10.7 Gbits/sec    0   215 KBytes
[ 7]  9.00-10.00     sec  1.25 GBytes  10.7 Gbits/sec    0   215 KBytes
-----
[ ID] Interval          Transfer      Bitrate      Retr
[ 7]  0.00-10.00     sec  12.4 GBytes  10.7 Gbits/sec    0
[ 7]  0.00-10.00     sec  12.4 GBytes  10.7 Gbits/sec
-----
iperf Done.

```

Рис. 0.22: Параметр обработки данных только от одного клиента с остановкой сервера по завершении теста

```

*Node: 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 43304
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 43306
[ ID] Interval            Transfer        Bitrate
[ 7]  0.00-1.00      sec  1.33 GBytes    11.4 Gbits/sec
[ 7]  1.00-2.00      sec  1.21 GBytes    10.4 Gbits/sec
[ 7]  2.00-3.00      sec  1.22 GBytes    10.5 Gbits/sec
[ 7]  3.00-4.00      sec  1.37 GBytes    11.8 Gbits/sec
[ 7]  4.00-5.00      sec  1.17 GBytes    10.1 Gbits/sec
[ 7]  5.00-6.00      sec  1.23 GBytes    10.6 Gbits/sec
[ 7]  6.00-7.00      sec  1.18 GBytes    10.1 Gbits/sec
[ 7]  7.00-8.00      sec  1.22 GBytes    10.5 Gbits/sec
[ 7]  8.00-9.00      sec  1.24 GBytes    10.7 Gbits/sec
[ 7]  9.00-10.00     sec  1.25 GBytes    10.7 Gbits/sec
[ 7] 10.00-10.00     sec  1.12 MBytes     4.57 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval            Transfer        Bitrate
[ 7]  0.00-10.00     sec  12.4 GBytes    10.7 Gbits/sec

```

Рис. 0.23: Параметр обработки данных только от одного клиента с остановкой сервера по завершении теста

Экспортируем результаты теста измерения пропускной способности iPerf3 в файл JSON.

```

*Node: h1*@mininet-vm
{
  "retransmits": 0,
  "sender": true
},
"sum_received": {
  "start": 0,
  "end": 10.001408,
  "seconds": 10.001408,
  "bytes": 13263059168,
  "bits_per_second": 10608953593.734003,
  "sender": true
},
"cpu_utilization_percent": {
  "host_total": 52.658902971520348,
  "host_user": 2.1302741667406511,
  "host_system": 50.528618810120876,
  "remote_total": 24.391068910135228,
  "remote_user": 2.9284485361657842,
  "remote_system": 21.462594370498085
},
"sender_tcp_congestion": "cubic",
"receiver_tcp_congestion": "cubic"
}

```

Рис. 0.24: Экспорт результатов теста измерения пропускной способности iPerf3 в файл JSON

```
*Node: h2*@mininet-vm
-----
Server listening on 5201
-----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 43320
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 43322
[ ID] Interval          Transfer    Bitrate
[ 7]  0.00-1.00      sec  1.25 GBytes 10.7 Gbits/sec
[ 7]  1.00-2.00      sec  1.20 GBytes 10.3 Gbits/sec
[ 7]  2.00-3.00      sec  1.23 GBytes 10.5 Gbits/sec
[ 7]  3.00-4.00      sec  1.21 GBytes 10.4 Gbits/sec
[ 7]  4.00-5.00      sec  1.33 GBytes 11.4 Gbits/sec
[ 7]  5.00-6.00      sec  1.18 GBytes 10.1 Gbits/sec
[ 7]  6.00-7.00      sec  1.23 GBytes 10.6 Gbits/sec
[ 7]  7.00-8.00      sec  1.28 GBytes 11.0 Gbits/sec
[ 7]  8.00-9.00      sec  1.17 GBytes 10.0 Gbits/sec
[ 7]  9.00-10.00     sec  1.28 GBytes 11.0 Gbits/sec
[ 7] 10.00-10.00     sec    768 KBytes 4.84 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval          Transfer    Bitrate
[ 7]  0.00-10.00     sec 12.4 GBytes 10.6 Gbits/sec
-----
Server listening on 5201
-----
```

Рис. 0.25: 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.

```
root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2 -J > /home/mininet/work/lab_
iperf3/iperf_results.json
root@mininet-vm:/home/mininet# cd /home/mininet/work/lab_iperf3
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3# ls -l
total 8
-rw-r--r-- 1 root root 7792 Sep 21 08:19 iperf_results.json
```

Рис. 0.26: 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 `go`.

```
mininet@mininet-vm:~$ xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:11 MIT-MAGIC-COOKIE-1 6ea604d21b9b822852c1d9eb6bd8da5b
mininet@mininet-vm:~$ sudo -i
root@mininet-vm:~# xauth list $DISPLAY
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:11 MIT-MAGIC-COOKIE-1 6ea604d21b9b8
22852c1d9eb6bd8da5b
root@mininet-vm:~# xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:11 MIT-MAGIC-COOKIE-1 6ea604d21b9b822852c1d9eb6bd8da5b
root@mininet-vm:~# logout
```

Рис. 0.27: 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.

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ plot_iperf.sh iperf_results.json
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3$ ls -l
total 16
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 946 Sep 21 08:28 iperf.csv
-rw-r--r-- 1 mininet mininet 7792 Sep 21 08:19 iperf_results.json
drwxrwxr-x 2 mininet mininet 4096 Sep 21 08:28 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 21 08:28 1.dat
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9791 Sep 21 08:28 bytes.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9654 Sep 21 08:28 cwnd.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9036 Sep 21 08:28 MTU.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 8978 Sep 21 08:28 retransmits.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 8920 Sep 21 08:28 RTT.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9104 Sep 21 08:28 RTT_Var.pdf
-rw-rw-r-- 1 mininet mininet 9532 Sep 21 08:28 throughput.pdf
```

Рис. 0.28: Визуализация результатов эксперимента

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.

Список литературы