

Отчет по лабораторной работе №6 Дисциплина: Дисциплина: Моделирование сетей передачи данных

Леснухин Даниил Дмитриевич
Российский университет дружбы народов
Москва

Цель работы

Основной целью работы является знакомство с принципами работы дисциплины очереди Token Bucket Filter, которая формирует входящий/исходящий трафик для ограничения пропускной способности, а также получение навыков моделирования и исследования поведения трафика посредством проведения интерактивного и воспроизводимого экспериментов в Mininet.

Задание

1. Задайте топологию, состоящую из двух хостов и двух коммутаторов с назначенной по умолчанию mininet сетью 10.0.0.0/8.
2. Проведите интерактивные эксперименты по ограничению пропускной способности сети с помощью TBF в эмулируемой глобальной сети.
3. Самостоятельно реализуйте воспроизводимые эксперимент по применению TBF для ограничения пропускной способности. Постройте соответствующие графики.

Теоретическое введение

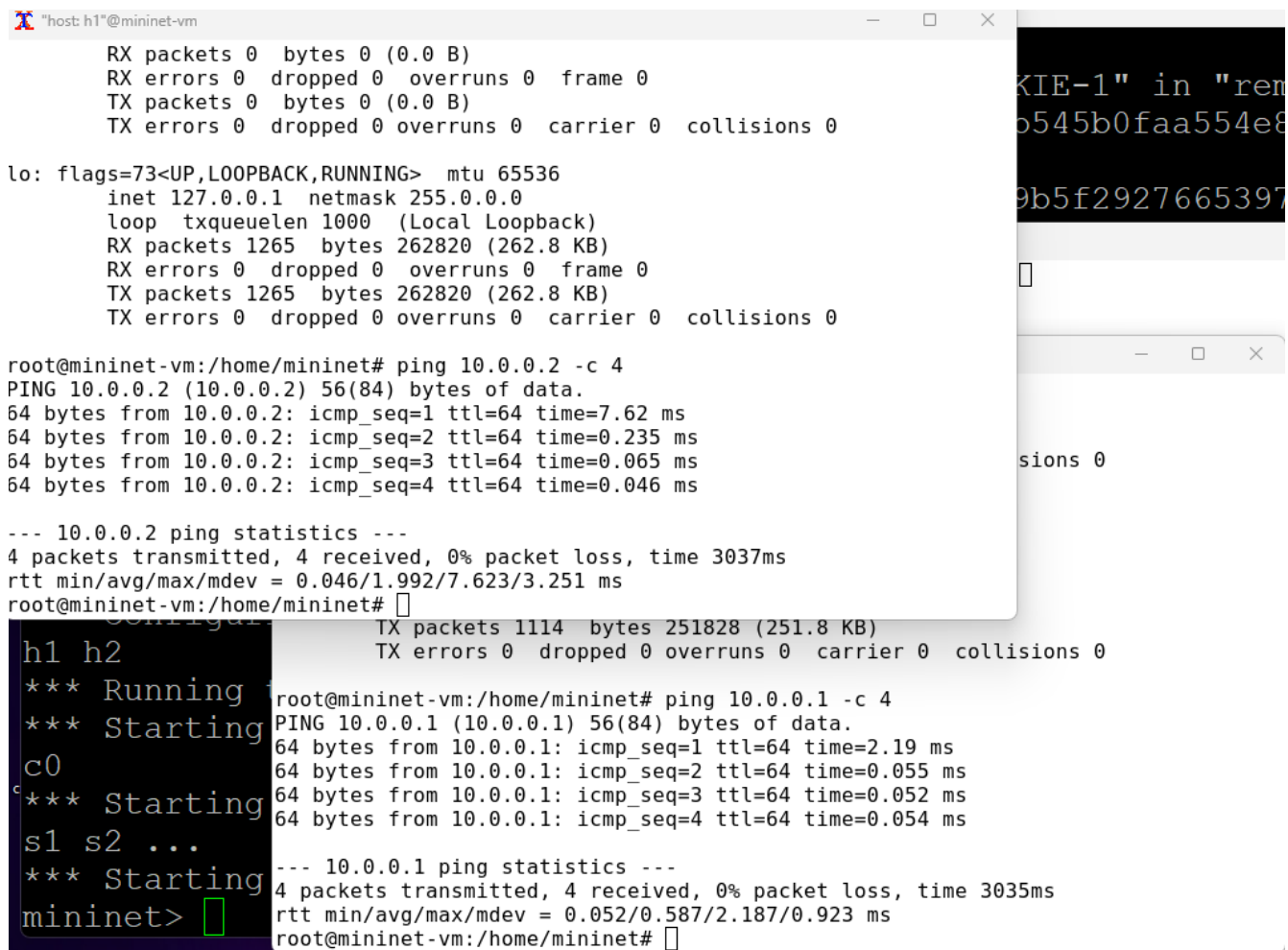
Mininet[@mininet] – это эмулятор компьютерной сети. Под компьютерной сетью подразумеваются простые компьютеры — хосты, коммутаторы, а так же OpenFlow-контроллеры. С помощью простейшего синтаксиса в примитивном интерпретаторе команд можно разворачивать сети из произвольного количества хостов, коммутаторов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

Выполнение лабораторной работы

Запуск лабораторной топологии

Запустим виртуальную среду с mininet. Из основной ОС подключимся к виртуальной машине. В виртуальной машине mininet при необходимости исправим права запуска X-соединения. Скопируем значение куки (MIT magic cookie) своего пользователя mininet в файл для пользователя root.

Зададим простейшую топологию, состоящую из двух хостов и коммутатора с назначенной по умолчанию mininet сетью 10.0.0.0/8. На хостах h1 и h2 и на коммутаторах s1, s2 введем команду ifconfig, чтобы отобразить информацию, относящуюся к их сетевым интерфейсам и назначенным им IP-адресам. В дальнейшем при работе с NETEM и командой tc будут использоваться интерфейсы h1-eth0, h2-eth0 и s1-eth2



```
host: h1@mininet-vm
RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
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 1265 bytes 262820 (262.8 KB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 1265 bytes 262820 (262.8 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 4
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=7.62 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.235 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.065 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.046 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3037ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.046/1.992/7.623/3.251 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#

h1 h2
*** Running ifconfig
*** Starting c0
*** Starting s1 s2 ...
*** Starting mininet>

root@mininet-vm:/home/mininet# ifconfig
TX packets 1114 bytes 251828 (251.8 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet# ping 10.0.0.1 -c 4
PING 10.0.0.1 (10.0.0.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=2.19 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.055 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.052 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.054 ms

--- 10.0.0.1 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3035ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.052/0.587/2.187/0.923 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 1: ifconfig на хостах h1, h2 и на коммутаторах s1, s2

В терминале хоста h2 запустим iPerf3 в режиме сервера: `iperf3 -s`. В терминале хоста h1 запустим iPerf3 в режиме клиента: `iperf3 -c 10.0.0.2`. После завершения работы iPerf3 на хосте h1 остановите iPerf3 на хосте h2, нажав `Ctrl + c`

```
"host: h1"@mininet-vm
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3037ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.046/1.992/7.623/3.251 ms
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 46874 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval           Transfer     Bitrate      Retr  Cwnd
[ 7]  0.00-1.00    sec   4.05 GBytes   34.8 Gbits/sec    0   8.10 MBytes
[ 7]  1.00-2.00    sec   3.70 GBytes   31.8 Gbits/sec    0   8.10 MBytes
[ 7]  2.00-3.00    sec   3.54 GBytes   30.3 Gbits/sec    0   8.10 MBytes
[ 7]  3.00-4.00    sec   3.41 GBytes   29.4 Gbits/sec    0   8.10 MBytes
[ 7]  4.00-5.00    sec   3.59 GBytes   30.8 Gbits/sec    0   8.10 MBytes
[ 7]  5.00-6.00    sec   3.18 GBytes   27.2 Gbits/sec    0   8.10 MBytes
[ 7]  6.00-7.00    sec   3.62 GBytes   31.2 Gbits/sec    0   8.10 MBytes
[ 7]  7.00-8.00    sec   3.73 GBytes   32.1 Gbits/sec    0   8.10 MBytes
[ 7]  8.00-9.00    sec   3.62 GBytes   31.1 Gbits/sec    0   8.10 MBytes
[ 7]  9.00-10.00   sec   3.63 GBytes   31.2 Gbits/sec    0   8.10 MBytes
-----
[ ID] Interval           Transfer     Bitrate      Retr
[ 7]  0.00-10.00   sec   36.1 GBytes   31.0 Gbits/sec    0
[ 7]  0.00-10.00   sec   36.1 GBytes   31.0 Gbits/sec
sender
receiver

iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#
h1 h2
*** Running
*** Starting
c0
*** Starting
s1 s2 ...
*** Starting
mininet>
```

Рис. 2: Проверка подключения между хостами

Интерактивные эксперименты

Ограничение скорости на конечных хостах

Команду `tc` можно применить к сетевому интерфейсу устройства для формирования исходящего трафика. Требуется ограничить скорость отправки данных с конечного хоста с помощью фильтра Token Bucket Filter (tbf).

1. Измените пропускную способность хоста `h1`, установив пропускную способность на 10 Гбит/с на интерфейсе `h1-eth0` и параметры TBF-фильтра: `sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root tbf rate 10gbit burst 5000000 limit 15000000`.

Здесь: - `sudo`: включить выполнение команды с более высокими привилегиями безопасности; - `tc`: вызвать управление трафиком Linux; - `qdisc`: изменить дисциплину очередей сетевого планировщика; - `add` (добавить): создать новое правило; - `dev h1-eth0 root`: интерфейс, на котором будет применяться правило; - `tbf`: использовать алгоритм Token Bucket Filter; - `rate`: указать скорость передачи (10 Гбит/с); - `burst`: количество байтов, которое может поместиться в корзину (5000000); - `limit`: размер очереди в байтах (15000000).

2. Фильтр `tbf` требует установки значения всплеска при ограничении скорости. Это значение должно быть достаточно высоким, чтобы обеспечить установленную скорость. Она должна быть не ниже указанной частоты, делённой на `HZ`, где `HZ` — тактовая частота, настроенная как параметр ядра, и может быть извлечена с помощью следующей команды:

```
egrep '^CONFIG_HZ_[0-9]+' /boot/config-`uname -r`
```

Для расчёта значения всплеска (`burst`) необходимо скорость передачи (10 Гбит/с или 10 Gbps = 10,000,000,000 bps) разделить на полученное таким образом значение `HZ` (на хосте `h1` `HZ` = 250):
 $Burst = 10,000,000,000 / 250 = 40,000,000 \text{ bits} = 40,000,000 / 8 \text{ bytes} = 5,000,000 \text{ bytes}$.

С помощью `iPerf3` проверьте, что значение пропускной способности изменилось

В терминале хоста `h2` запустите `iPerf3` в режиме сервера: `iperf3 -s` - В терминале хоста `h2` запустите `iPerf3` в режиме клиента: `iperf3 -c 10.0.0.2` - После завершения работы `iPerf3` на хосте `h1` остановите `iPerf3` на хосте `h2`, нажав `Ctrl + c`.

Ограничение скорости на коммутаторах

При ограничении скорости на интерфейсе `s1-eth2` коммутатора `s1` все сеансы связи между коммутатором `s1` и коммутатором `s2` будут фильтроваться в соответствии с применяемыми правилами.

1. Примените правило ограничения скорости `tbf` с параметрами `rate=10gbit`, `burst=5,000,000`, `limit=15,000,000` к интерфейсу `s1-eth2` коммутатора `s1`, который соединяет его с коммутатором `s2`: `sudo tc qdisc add dev s1-eth2 root tbf rate 10gbit burst 5000000 limit 15000000`.
2. Проверьте конфигурацию с помощью инструмента `iperf3` для измерения пропускной способности.
 - В терминале хоста `h2` запустите `iPerf3` в режиме сервера: `iperf3 -s`
 - В терминале хоста `h2` запустите `iPerf3` в режиме клиента: `iperf3 -c 10.0.0.2`
 - После завершения работы `iPerf3` на хосте `h1` остановите `iPerf3` на хосте `h2`, нажав `Ctrl + c`.

```
"host: h1"@mininet-vm
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root tbf rate 10gb
it burst 5000000 limit 15000000
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 46878 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval            Transfer      Bitrate      Retr  Cwnd
[ 7]  0.00-1.00    sec  1.13 GBytes  9.68 Gbits/sec    0   8.11 MBytes
[ 7]  1.00-2.00    sec  1.11 GBytes  9.53 Gbits/sec    0   8.11 MBytes
[ 7]  2.00-3.00    sec  1.10 GBytes  9.43 Gbits/sec    0   8.11 MBytes
[ 7]  3.00-4.00    sec  1.06 GBytes  9.10 Gbits/sec    0   8.11 MBytes
[ 7]  4.00-5.00    sec  1.10 GBytes  9.43 Gbits/sec    0   8.11 MBytes
[ 7]  5.00-6.00    sec  1.11 GBytes  9.57 Gbits/sec    0   8.11 MBytes
[ 7]  6.00-7.00    sec  1.11 GBytes  9.50 Gbits/sec    0   8.11 MBytes
[ 7]  7.00-8.00    sec  1.11 GBytes  9.50 Gbits/sec    0   8.11 MBytes
[ 7]  8.00-9.00    sec  1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec    0   8.11 MBytes
[ 7]  9.00-10.00   sec  1.11 GBytes  9.50 Gbits/sec    0   8.11 MBytes
-----
[ ID] Interval            Transfer      Bitrate      Retr
[ 7]  0.00-10.00   sec  11.0 GBytes  9.48 Gbits/sec    0
[ 7]  0.00-10.01   sec  11.0 GBytes  9.46 Gbits/sec
sender
receiver
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#
ID] Interval            Transfer      Bitrate
[ 7]  0.00-1.00    sec  1.11 GBytes  9.54 Gbits/sec
[ 7]  1.00-2.00    sec  1.11 GBytes  9.54 Gbits/sec
[ 7]  2.00-3.00    sec  1.09 GBytes  9.35 Gbits/sec
[ 7]  3.00-4.00    sec  1.07 GBytes  9.18 Gbits/sec
[ 7]  4.00-5.00    sec  1.09 GBytes  9.40 Gbits/sec
[ 7]  5.00-6.00    sec  1.12 GBytes  9.60 Gbits/sec
[ 7]  6.00-7.00    sec  1.10 GBytes  9.43 Gbits/sec
[ 7]  7.00-8.01    sec  1.12 GBytes  9.53 Gbits/sec
[ 7]  8.01-9.00    sec  1.11 GBytes  9.59 Gbits/sec
[ 7]  9.00-10.00   sec  1.11 GBytes  9.53 Gbits/sec
-----
ID] Interval            Transfer      Bitrate
[ 7]  0.00-10.01   sec  11.0 GBytes  9.46 Gbits/sec
receiver
-----
server listening on 5201
-----
```

Рис. 3: Ограничение скорости на конечных хостах

```
"host: h1"@mininet-vm

iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root
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 46882 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval            Transfer      Bitrate      Retr  Cwnd
[ 7]  0.00-1.00      sec  1.13 GBytes  9.68 Gbits/sec    9  4.05 MBytes
[ 7]  1.00-2.00      sec  1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec    0  4.05 MBytes
[ 7]  2.00-3.00      sec  1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec    0  4.05 MBytes
[ 7]  3.00-4.00      sec  1.11 GBytes  9.57 Gbits/sec    0  4.05 MBytes
[ 7]  4.00-5.00      sec  1.11 GBytes  9.54 Gbits/sec    0  4.05 MBytes
[ 7]  5.00-6.00      sec  1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec    0  4.05 MBytes
[ 7]  6.00-7.00      sec  1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec    0  4.05 MBytes
[ 7]  7.00-8.00      sec  1.11 GBytes  9.57 Gbits/sec    0  4.05 MBytes
[ 7]  8.00-9.00      sec  1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec    0  4.05 MBytes
[ 7]  9.00-10.00     sec  1.11 GBytes  9.57 Gbits/sec    0  4.05 MBytes
- - - - -
[ ID] Interval            Transfer      Bitrate      Retr
[ 7]  0.00-10.00     sec  11.1 GBytes  9.57 Gbits/sec    9
[ 7]  0.00-10.01     sec  11.1 GBytes  9.56 Gbits/sec
sender
receiver

iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#
Accepted connection from 10.0.0.1, port 46880
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 46882
[ ID] Interval            Transfer      Bitrate
[ 7]  0.00-1.00      sec  1.12 GBytes  9.58 Gbits/sec
[ 7]  1.00-2.00      sec  1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec
[ 7]  2.00-3.00      sec  1.11 GBytes  9.57 Gbits/sec
[ 7]  3.00-4.00      sec  1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec
[ 7]  4.00-5.00      sec  1.11 GBytes  9.53 Gbits/sec
[ 7]  5.00-6.00      sec  1.11 GBytes  9.57 Gbits/sec
[ 7]  6.00-7.00      sec  1.11 GBytes  9.53 Gbits/sec
[ 7]  7.00-8.00      sec  1.12 GBytes  9.60 Gbits/sec
[ 7]  8.00-9.00      sec  1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec
[ 7]  9.00-10.00     sec  1.10 GBytes  9.45 Gbits/sec
[ 7] 10.00-10.01     sec  12.4 MBytes 25.5 Gbits/sec

"switch: s1" (root@mininet-vm

root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev s1=eth2 root tbf rate 10gb
t burst 5000000 limit 15000000
cannot find device "s1=eth2"
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev s1-eth2 root tbf rate 10gb
t burst 5000000 limit 15000000
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 4: Ограничение скорости на коммутаторах

Объединение NETEM и TBF

NETEM используется для изменения задержки, джиттера, повреждения пакетов и т.д. TBF может использоваться для ограничения скорости. Утилита `tc` позволяет комбинировать несколько модулей. При этом первая дисциплина очереди (`qdisc1`) присоединяется к корневой метке, последующие дисциплины очереди можно прикрепить к своим родителям, указав правильную метку.

1. Объедините NETEM и TBF, введя на интерфейсе `s1-eth2` коммутатора `s1` задержку, джиттер, повреждение пакетов и указав скорость: `sudo tc qdisc add dev s1-eth2 root handle 1: netem delay 10ms`.

Здесь ключевое слово `handle` задаёт дескриптор подключения, имеющий смысл очередности подключения разных дисциплин `qdisc`.

2. Убедитесь, что соединение от хоста `h1` к хосту `h2` имеет заданную задержку. Для этого запустите команду `ping` с параметром `-c 4` с терминала хоста `h1`
3. Добавьте второе правило на коммутаторе `s1`, которое задаёт ограничение скорости с помощью `tbft` с параметрами `rate=2gbit`, `burst=1,000,000`, `limit=2,000,000`: `sudo tc qdisc add dev s1-eth2 parent 1: handle 2: tbf rate 2gbit burst 1000000 limit 2000000`.

Выводы

В результате выполнения работы познакомились с принципами работы дисциплины очереди Token Bucket Filter, которая формирует входящий/исходящий трафик для ограничения пропускной способности, а также получили навыки моделирования и исследования поведения трафика посредством проведения интерактивного и воспроизводимого экспериментов в Mininet.


```
"host: h1"@mininet-vm

iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet# ^C
root@mininet-vm:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 4
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=15.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=10.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=11.1 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=10.2 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3006ms
rtt min/avg/max/mdev = 10.239/11.956/15.719/2.192 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 4 10.0.0.2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=10.6 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=11.0 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=10.2 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=10.3 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3005ms
rtt min/avg/max/mdev = 10.229/10.509/10.961/0.290 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# [
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 46882
[ ID] Interval          Transfer      Bitrate
[ 7] 0.00-1.00 sec      1.12 GBytes  9.58 Gbits/sec
[ 7] 1.00-2.00 sec      1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec
[ 7] 2.00-3.00 sec      1.11 GBytes  9.57 Gbits/sec
[ 7] 3.00-4.00 sec      1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec
[ 7] 4.00-5.00 sec      1.11 GBytes  9.53 Gbits/sec
[ 7] 5.00-6.00 sec      1.11 GBytes  9.57 Gbits/sec
[ 7] 6.00-7.00 sec      1.11 GBytes  9.53 Gbits/sec
[ 7] 7.00-8.00 sec      1.12 GBytes  9.60 Gbits/sec
[ 7] 8.00-9.00 sec      1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec
[ 7] 9.00-10.00 sec     1.10 GBytes  9.45 Gbits/sec
[ 7] 10.00-10.01 sec    12.4 MBytes  25.5 Gbits/sec
- - - - -
"switch: s1" (root)@mininet-vm

root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev s1=eth2 root tbf rate 10gb
t burst 5000000 limit 15000000
cannot find device "s1=eth2"
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev s1-eth2 root tbf rate 10gb
t burst 5000000 limit 15000000
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev s1-eth2 root
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev s1-eth2 root handle 1: net
m delay 10ms
root@mininet-vm:/home/mininet# █
```

Рис. 5: Задержка, джиттер, повреждение пакетов на интерфейсе s1-eth2 коммутатора s1