

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

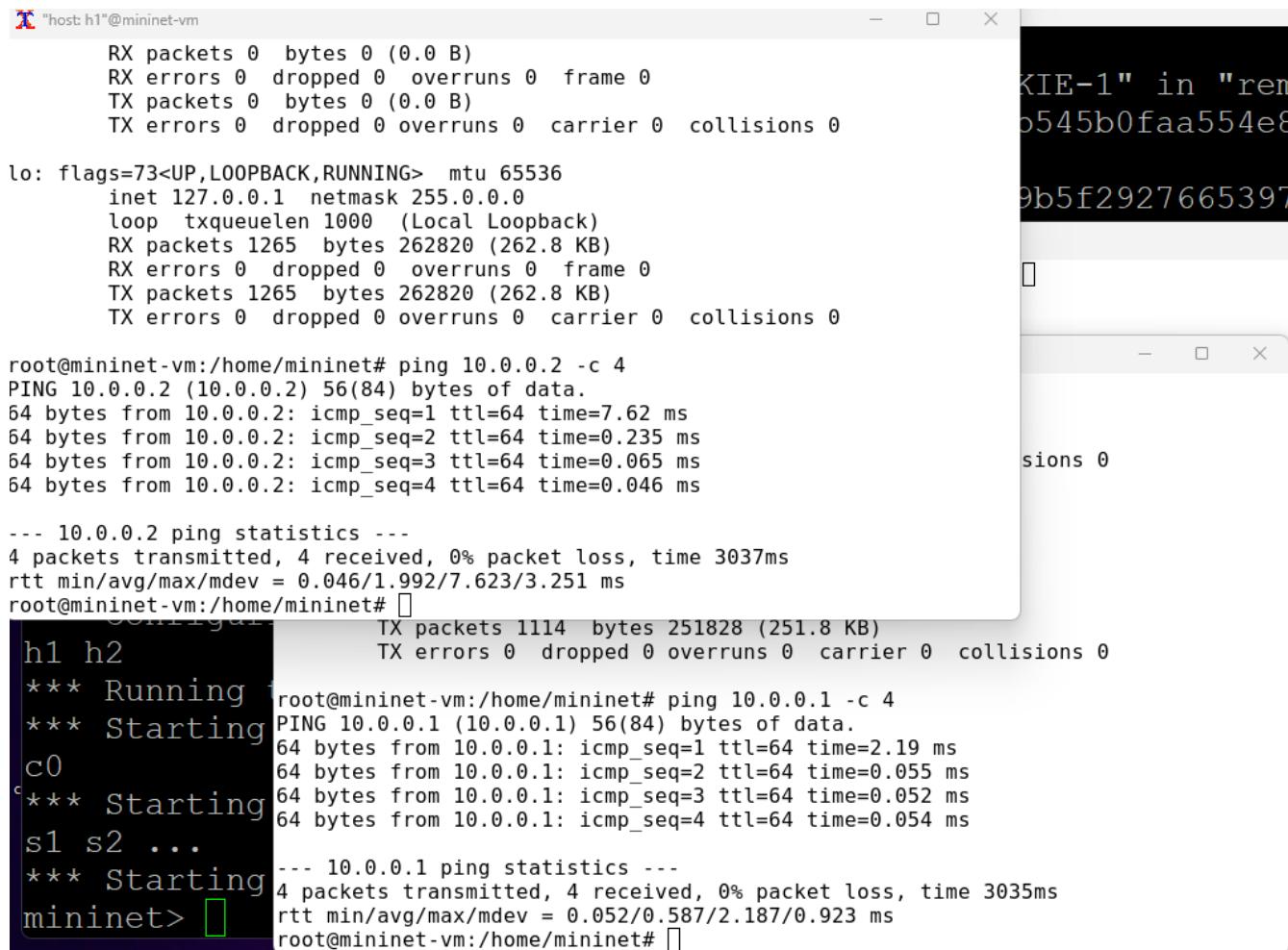
Mininet[@mininet] – это эмулятор компьютерной сети. Под компьютерной сетью подразумеваются простые компьютеры — хосты, коммутаторы, а так же OpenFlow-контроллеры. С помощью простейшего синтаксиса в примитивном интерпретаторе команд можно разворачивать сети из произвольного количества хостов, коммутаторов 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# 

root@mininet-vm:/home/mininet# ifconfig
h1 h2
    TX packets 1114 bytes 251828 (251.8 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

*** Running
*** Starting
c0
*** Starting
s1 s2 ...
*** Starting
mininet> 
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

The image shows two terminal windows side-by-side. The left window is titled "host h1" and displays the output of an iperf3 test between host h1 and host h2. The right window is titled "host h2" and shows the configuration of a mininet network.

```

X "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# [REDACTED]

```

```

h1 h2
*** Running
*** Starting
c0
*** Starting
s1 s2 ...
*** Starting
mininet> [REDACTED]

```

The right window shows the configuration of a mininet network. It includes host definitions (h1, h2), interface definitions (c0, s1, s2), and a command to start the network. The IP address 10.0.0.2 is also visible in the background of the right window's terminal.

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.

```

X "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
[ 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
[ 7]  0.00-10.01 sec  11.0 GBytes  9.46 Gbits/sec

iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet# █
[ 7] 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
[ 7]  0.00-10.01 sec  11.0 GBytes  9.46 Gbits/sec
[ 7]  0.00-10.01 sec  11.0 GBytes  9.46 Gbits/sec

server listening on 5201
-----
```

Рис. 3: Ограничение скорости на конечных хостах

```

X "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
[ 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

X "switch: s1"(root)@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev s1=eth2 root tbf rate 10gbt burst 5000000 limit 15000000
cannot find device "s1=eth2"
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev s1-eth2 root tbf rate 10gbt 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 очерёдности 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 tbf 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.

```

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

```

X "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 150000000
: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 150000000
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