

РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ

Факультет физико-математических и естественных наук

Кафедра прикладной информатики и теории вероятностей

ОТЧЕТ

ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 6

дисциплина: Моделирование сетей передачи данных

Студент: Абрамян А. А.

Группа: НПИбд-01-20

МОСКВА

2023 г.

Цель работы

Целью данной 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.

Описание процесса выполнения работы

Постановка задачи

1. Задайте топологию (рис. 6.3), 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.

Порядок выполнения работы

Запуск лабораторной топологии

Запустите виртуальную среду с mininet.

Из основной ОС подключитесь к виртуальной машине:

```
ssh -Y mininet@192.168.x.y
```

```
mininet@mininet-vm: ~  
login as: mininet  
mininet@192.168.56.5'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  
  
Last login: Sat Dec  9 11:02:36 2023 from 192.168.56.6  
mininet@mininet-vm:~$
```

В виртуальной машине mininet при необходимости исправьте права запуска X-соединения. Скопируйте значение куки (MIT magic cookie)1 своего пользователя mininet в файл для пользователя root:

```
mininet@mininet-vm:~$ xauth list $DISPLAY
```

```
mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1  
295acad8e35d17636924c5ab80e8462d
```

```
mininet@mininet-vm:~$ sudo -i
```

```
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1  
295acad8e35d17636924c5ab80e8462d
```

```
root@mininet-vm:~# logout
```

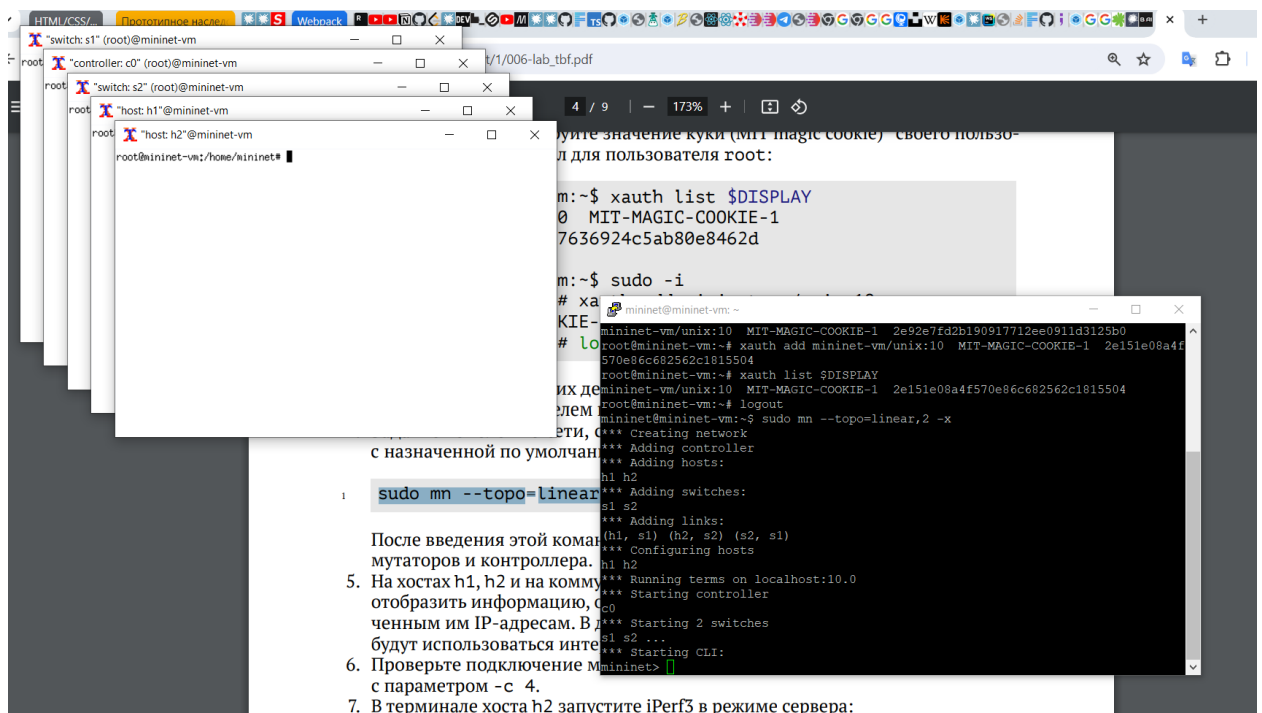
```
root@mininet-vm: ~
login as: mininet
mininet@192.168.56.5's password:
Welcome to Ubuntu 20.04.1 LTS (GNU/Linux 5.4.0-42-generic x86_64)

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

Last login: Sat Dec  9 11:02:36 2023 from 192.168.56.6
mininet@mininet-vm:~$ xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 2e151e08a4f570e86c682562c1815504
mininet@mininet-vm:~$ sudo -i
root@mininet-vm:~# xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 2e92e7fd2b190917712ee0911d3125b0
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 2e151e08a4f570e86c682562c1815504
root@mininet-vm:~# xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 2e151e08a4f570e86c682562c1815504
root@mininet-vm:~#
```

После выполнения этих действий графические приложения должны запускаться под пользователем mininet.

Задайте топологию сети, состоящую из двух хостов и двух коммутаторов с назначенной по умолчанию mininet сетью 10.0.0.0/8: `sudo mn --topo=linear,2 -x`

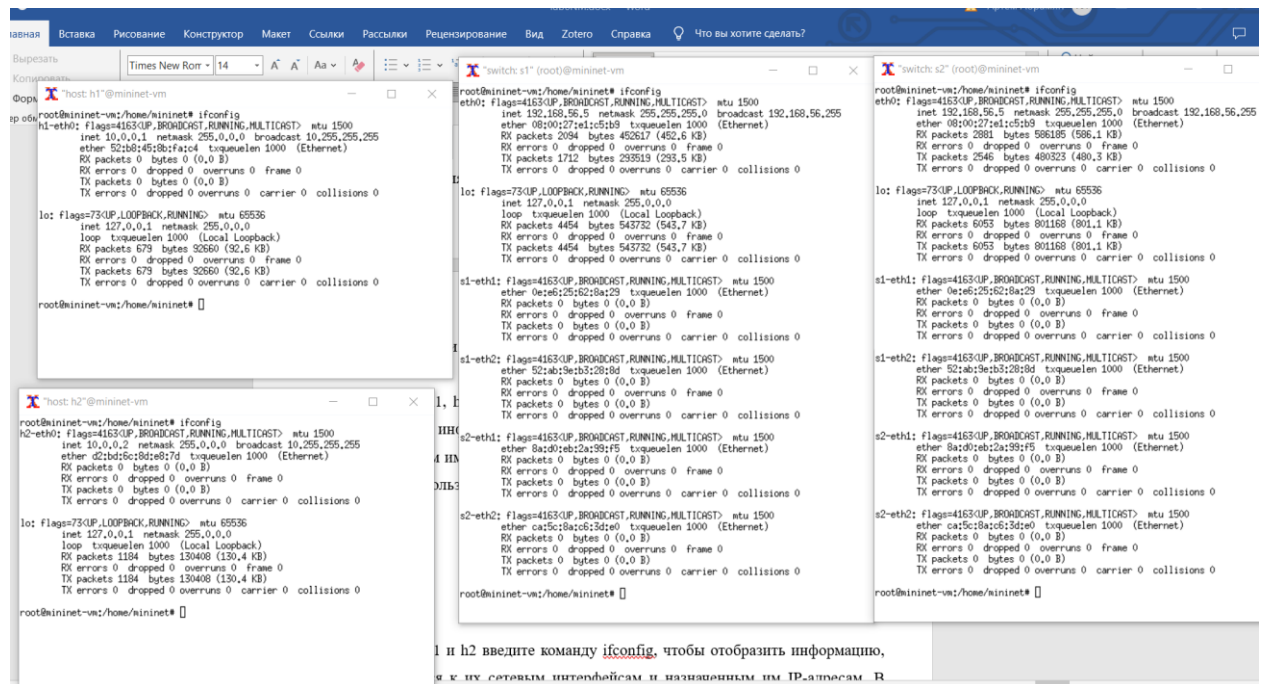


```
root@mininet-vm:~# sudo mn --topo=linear,2 -x
*** Creating network
*** Adding controller
*** Adding hosts:
h1 h2
*** Adding switches:
s1 s2
*** Adding links:
(h1, s1) (h2, s2) (s2, s1)
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Running terms on localhost:10.0
*** Starting controller
c0
*** Starting 2 switches
s1 s2 ...
*** Starting CLI:
mininet>
```

После введения этой команды запустятся терминалы двух хостов, двух

коммутаторов и контроллера.

На хостах h1, h2 и на коммутаторах s1, s2 введите 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, s1-eth2.



```
root@mininet-vx/home/mininet# ifconfig
h1-eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.0.0.1 netmask 255.0.0.0 broadcast 10.255.255.255
    ether 52:bd:45:83:fa:c4 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    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 679 bytes 52650 (32.6 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 679 bytes 52650 (32.6 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vx/home/mininet#

root@mininet-vx/home/mininet# ifconfig
eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 192.168.56.5 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.56.255
    ether 08:00:27:4c:5b:9 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 2094 bytes 462617 (452.6 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 1712 bytes 253515 (253.5 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 4454 bytes 543732 (543.7 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 4454 bytes 543732 (543.7 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

s1-eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    ether 0e:6b:25:62:8a:29 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    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

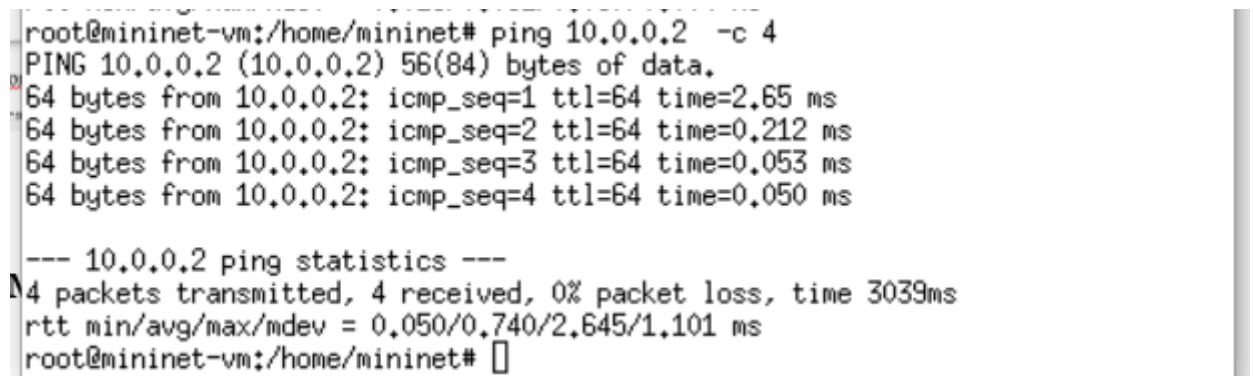
s1-eth2: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    ether 52:ab:3e:b5:20:d8 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

s2-eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    ether 8a:d9:b2:a2:59:f5 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    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

s2-eth2: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    ether ca:5c:8a:c6:3d:e0 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    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

root@mininet-vx/home/mininet#
```

Проверьте подключение между хостами h1 и h2 с помощью команды `ping` с параметром `-c 4`.



```
root@mininet-vx/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=2.65 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.212 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.050 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3039ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.050/0.740/2.645/1.101 ms
root@mininet-vx/home/mininet#
```

В терминале хоста h2 запустите `iPerf3` в режиме сервера:
`iperf3 -s`

```
"host: h2"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# ifconfig
h2-eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.0.0.2 netmask 255.0.0.0 broadcast 10.255.255.255
    ether d2:bd:6c:8d:e8:7d txqueuelen 1000 (Ethernet)
    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 1184 bytes 130408 (130.4 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 1184 bytes 130408 (130.4 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -s
warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4
-----
Server listening on 5201
-----
□
```

В терминале хоста h1 запустите iPerf3 в режиме клиента:

iperf3 -c 10.0.0.2

```
"host: h1"@mininet-vm
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3039ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.050/0.740/2.645/1.101 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 60968 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval            Transfer        Bitrate        Retr  Cwnd
[ 7]  0.00-1.00    sec    2.66 GBytes    22.9 Gbits/sec     9   22.8 MBytes
[ 7]  1.00-2.00    sec    2.67 GBytes    22.9 Gbits/sec     0   22.8 MBytes
[ 7]  2.00-3.00    sec    2.38 GBytes    20.5 Gbits/sec     0   22.8 MBytes
[ 7]  3.00-4.00    sec    2.66 GBytes    22.8 Gbits/sec     0   22.8 MBytes
[ 7]  4.00-5.00    sec    2.61 GBytes    22.4 Gbits/sec     0   22.8 MBytes
[ 7]  5.00-6.00    sec    2.34 GBytes    20.1 Gbits/sec     0   22.8 MBytes
[ 7]  6.00-7.00    sec    2.61 GBytes    22.4 Gbits/sec     0   22.8 MBytes
[ 7]  7.00-8.00    sec    2.64 GBytes    22.7 Gbits/sec     0   22.8 MBytes
[ 7]  8.00-9.00    sec    2.62 GBytes    22.4 Gbits/sec     1   22.8 MBytes
[ 7]  9.00-10.00   sec    2.66 GBytes    22.9 Gbits/sec     0   22.8 MBytes
-----
[ ID] Interval            Transfer        Bitrate        Retr
[ 7]  0.00-10.00   sec    25.8 GBytes    22.2 Gbits/sec    10
[ 7]  0.00-10.00   sec    25.8 GBytes    22.2 Gbits/sec
                                     sender
                                     receiver

iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

После завершения работы iPerf3 на хосте h1 остановите iPerf3 на хосте h2, нажав Ctrl + c . В отчёте зафиксируйте результат отработки iPerf3 на данном этапе проведения эксперимента, когда отсутствуют ограничения скорости передачи данных.

- ID: идентификационный номер соединения. (7)
- интервал (Interval): временной интервал для периодических отчетов о пропускной способности (по умолчанию временной интервал равен 1 секунде); (0.00 – 10.00)
- передача (Transfer): сколько данных было передано за каждый интервал времени; (25.8 Gbytes)
- пропускная способность (Bitrate): измеренная пропускная способность в каждом временном интервале; (22.2 Gbits/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); (10)

– Cwnd: указывает размер окна перегрузки в каждом временном интервале (ТСР использует эту переменную для ограничения объёма данных, которые ТСР-клиент может отправить до получения подтверждения отправленных данных). (22.8 Mbytes)

Интерактивные эксперименты

Ограничение скорости на конечных хостах

Сетевые эмуляторы задают задержки на интерфейсе. Например, задержка, вносимая в интерфейс коммутатора А, который подключён к интерфейсу коммутатора В, может представлять собой задержку распространения WAN, соединяющей оба коммутатора.

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 (5 000 000);
- limit: размер очереди в байтах (15 000 000).

```
(ipertt done.
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root tbf rate 10gbit burst 5000000 limit 15000000
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

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): $Burst = 10,000,000,000 / 250 = 40,000,000 \text{ bits} = 40,000,000 / 8 \text{ bytes} = 5,000,000 \text{ bytes}$.

```
root@mininet-vm:/home/mininet# egrep '^CONFIG_HZ_[0-9]+' /boot/config-`uname -r`
CONFIG_HZ_250=y
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

С помощью iPerf3 проверьте, что значение пропускной способности изменилось:

- В терминале хоста h2 запустите iPerf3 в режиме сервера:

```
iperf3 -s
```

- В терминале хоста h1 запустите iPerf3 в режиме клиента:

```
iperf3 -c 10.0.0.2
```

```
root@mininet-virtual-machine:~# iperf3 -c 10.0.0.2
[ 7] 7.00-8.00 sec 2.64 GBytes 22.7 Gbits/sec 0 22.8 MBy
[ 7] 8.00-9.00 sec 2.62 GBytes 22.4 Gbits/sec 1 22.8 MBy
[ 7] 9.00-10.00 sec 2.66 GBytes 22.9 Gbits/sec 0 22.8 MBy
-----
[ ID] Interval      Transfer       Bitrate        Retr
[ 7] 0.00-10.00 sec 25.8 GBytes  22.2 Gbits/sec 10
[ 7] 0.00-10.00 sec 25.8 GBytes  22.2 Gbits/sec

iperf Done.
root@mininet-virtual-machine:~# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root bf
root@mininet-virtual-machine:~# egrep '^CONFIG_HZ_[0-9]+' /boot/config
grep: /boot/config: No such file or directory
grep: 5.4.0-42-generic: No such file or directory
root@mininet-virtual-machine:~# egrep '^CONFIG_HZ_[0-9]+' /boot/config
CONFIG_HZ_250=y
root@mininet-virtual-machine:~# iperf3 -c 10.0.0.2
Connecting to host 10.0.0.2, port 5201
[ 7] local 10.0.0.1 port 60974 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer       Bitrate        Retr  Cwnd
[ 7] 0.00-1.00 sec 1.12 GBytes  9.65 Gbits/sec  0 1.61 MBy
tes
[ 7] 1.00-2.00 sec 1.10 GBytes  9.43 Gbits/sec  0 2.17 MBy
tes
[ 7] 2.00-3.00 sec 1.11 GBytes  9.50 Gbits/sec  0 2.72 MBy
tes
[ 7] 3.00-4.00 sec 1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec  0 2.72 MBy
tes
[ 7] 4.00-5.00 sec 1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec  0 2.86 MBy
tes
[ 7] 5.00-6.00 sec 1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec  0 3.03 MBy
tes
[ 7] 6.00-7.00 sec 1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec  0 3.03 MBy
tes
[ 7] 7.00-8.00 sec 1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec  0 3.03 MBy
tes
[ 7] 8.00-9.00 sec 1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec  0 3.03 MBy
tes
[ 7] 9.00-10.00 sec 1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec  0 3.03 MBy
tes
-----
[ ID] Interval      Transfer       Bitrate        Retr
[ 7] 0.00-10.00 sec 11.1 GBytes  9.55 Gbits/sec  0
sender
[ 7] 0.00-10.01 sec 11.1 GBytes  9.53 Gbits/sec
receiver

iperf Done.
root@mininet-virtual-machine:~#
```

```
root@mininet-virtual-machine:~# iperf3 -s
[ 7] 6.00-7.00 sec 2.60 GBytes 22.3 Gbits/sec
[ 7] 7.00-8.00 sec 2.65 GBytes 22.7 Gbits/sec
[ 7] 8.00-9.00 sec 2.62 GBytes 22.5 Gbits/sec
[ 7] 9.00-10.00 sec 2.66 GBytes 22.8 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer       Bitrate
[ 7] 0.00-10.00 sec 25.8 GBytes 22.2 Gbits/sec

Server listening on 5201

^Ciperf3: interrupt - the server has terminated
root@mininet-virtual-machine:~# iperf3 -c 10.0.0.2
iperf3: error - unable to connect to server: Connection refused
root@mininet-virtual-machine:~# 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 60972
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 60974
[ ID] Interval      Transfer       Bitrate
[ 7] 0.00-1.00 sec 1.12 GBytes 9.60 Gbits/sec
[ 7] 1.00-2.00 sec 1.10 GBytes 9.41 Gbits/sec
```

После завершения работы iPerf3 на хосте h1 остановите iPerf3 на хосте h2, нажав Ctrl + c . В отчёте зафиксируйте результат отработки iPerf3 на данном этапе проведения эксперимента.

```
connecting to host 10.0.0.2, port 5201
[ 7] local 10.0.0.1 port 60974 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer       Bitrate        Retr  Cwnd
[ 7] 0.00-1.00 sec 1.12 GBytes  9.65 Gbits/sec  0 1.61 MBy
tes
[ 7] 1.00-2.00 sec 1.10 GBytes  9.43 Gbits/sec  0 2.17 MBy
tes
[ 7] 2.00-3.00 sec 1.11 GBytes  9.50 Gbits/sec  0 2.72 MBy
tes
[ 7] 3.00-4.00 sec 1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec  0 2.72 MBy
tes
[ 7] 4.00-5.00 sec 1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec  0 2.86 MBy
tes
[ 7] 5.00-6.00 sec 1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec  0 3.03 MBy
tes
[ 7] 6.00-7.00 sec 1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec  0 3.03 MBy
tes
[ 7] 7.00-8.00 sec 1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec  0 3.03 MBy
tes
[ 7] 8.00-9.00 sec 1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec  0 3.03 MBy
tes
[ 7] 9.00-10.00 sec 1.11 GBytes  9.56 Gbits/sec  0 3.03 MBy
tes
-----
[ ID] Interval      Transfer       Bitrate        Retr
[ 7] 0.00-10.00 sec 11.1 GBytes  9.55 Gbits/sec  0
sender
[ 7] 0.00-10.01 sec 11.1 GBytes  9.53 Gbits/sec
receiver

iperf Done.
root@mininet-virtual-machine:~#
```

- ID: идентификационный номер соединения. (7)
- интервал (Interval): временной интервал для периодических отчетов о пропускной способности (по умолчанию временной интервал равен 1

секунде); (0.00 – 10.00)

– передача (Transfer): сколько данных было передано за каждый интервал времени; (11.1 Gbytes)

– пропускная способность (Bitrate): измеренная пропускная способность в каждом временном интервале; (9.55 Gbits/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); (0)

В данном случае перепосылок нет, ведь стоит ограничение на пропускную способность и пакеты не теряются.

Удалите модифицированную конфигурацию на хосте h1:

```
sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root
```

```
ipert done.  
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root  
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

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
```

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev s1-eth2 root tbf rate 10gb  
it burst 5000000 limit 15000000  
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Проверьте конфигурацию с помощью инструмента `iperf3` для измерения пропускной способности:

– В терминале хоста `h2` запустите `iPerf3` в режиме сервера:

`iperf3 -s`

– В терминале хоста `h1` запустите `iPerf3` в режиме клиента:

`iperf3 -c 10.0.0.2`

```
host: h1@mininet-vm
[ 7] 2.00-3.00 sec 1.11 GBytes 9.57 Gbits/sec 0 2.20 MBytes
[ 7] 3.00-4.00 sec 1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec 0 2.20 MBytes
[ 7] 4.00-5.00 sec 1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec 0 2.20 MBytes
[ 7] 5.00-6.00 sec 1.11 GBytes 9.57 Gbits/sec 0 2.33 MBytes
[ 7] 6.00-7.00 sec 1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec 0 2.33 MBytes
[ 7] 7.00-8.00 sec 1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec 0 2.33 MBytes
[ 7] 8.00-9.00 sec 1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec 0 2.33 MBytes
[ 7] 9.00-10.00 sec 1.11 GBytes 9.54 Gbits/sec 0 2.88 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr
[ 7] 0.00-10.00 sec 11.1 GBytes 9.57 Gbits/sec 0
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#

host: h2@mininet-vm
Server listening on 5201
Accepted connection from 10.0.0.1, port 60976
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 60978
[ 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 9.57 Gbits/sec
[ 7] 2.00-3.00 sec 1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec
[ 7] 3.00-4.00 sec 1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec
[ 7] 4.00-5.00 sec 1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec
[ 7] 5.00-6.00 sec 1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec
[ 7] 6.00-7.00 sec 1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec
[ 7] 7.00-8.00 sec 1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec
[ 7] 8.00-9.00 sec 1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec
[ 7] 9.00-10.00 sec 1.11 GBytes 9.53 Gbits/sec
[ 7] 10.00-10.01 sec 512 KBytes 604 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7] 0.00-10.01 sec 11.1 GBytes 9.56 Gbits/sec
Server listening on 5201
```

После завершения работы `iPerf3` на хосте `h1` остановите `iPerf3` на хосте `h2`, нажав `Ctrl + c`. В отчёте зафиксируйте результат отработки `iPerf3` на данном этапе проведения эксперимента.

```
"host: h1"@mininet-vm
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 60978 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr  Cwnd
[ 7]  0.00-1.00    sec  1.12 GBytes 9.64 Gbits/sec  0  1.66 MBytes
[ 7]  1.00-2.00    sec  1.12 GBytes 9.58 Gbits/sec  0  2.10 MBytes
[ 7]  2.00-3.00    sec  1.11 GBytes 9.57 Gbits/sec  0  2.20 MBytes
[ 7]  3.00-4.00    sec  1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec  0  2.20 MBytes
[ 7]  4.00-5.00    sec  1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec  0  2.20 MBytes
[ 7]  5.00-6.00    sec  1.11 GBytes 9.57 Gbits/sec  0  2.33 MBytes
[ 7]  6.00-7.00    sec  1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec  0  2.33 MBytes
[ 7]  7.00-8.00    sec  1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec  0  2.33 MBytes
[ 7]  8.00-9.00    sec  1.11 GBytes 9.56 Gbits/sec  0  2.33 MBytes
[ 7]  9.00-10.00   sec  1.11 GBytes 9.54 Gbits/sec  0  2.88 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr
[ 7]  0.00-10.00   sec  11.1 GBytes 9.57 Gbits/sec  0
sender
[ 7]  0.00-10.01   sec  11.1 GBytes 9.56 Gbits/sec
receiver
iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

- ID: идентификационный номер соединения. (7)
- интервал (Interval): временной интервал для периодических отчетов о пропускной способности (по умолчанию временной интервал равен 1 секунде); (0.00 – 10.00)
- передача (Transfer): сколько данных было передано за каждый интервал времени; (11.1 Gbytes)
- пропускная способность (Bitrate): измеренная пропускная способность в каждом временном интервале; (9.57 Gbits/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); (0)

Отсюда следует, что неважно где ставить ограничение: на интерфейсе хоста или коммутатора.

Удалите модифицированную конфигурацию на коммутаторе s1:

```
sudo tc qdisc del dev s1-eth2 root
```

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev s1-eth2 root
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

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.

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev s1-eth2 root handle 1: netem delay 10ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

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.

```

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=11.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=11.2 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=10.3 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=10.9 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3005ms
rtt min/avg/max/mdev = 10.325/10.999/11.535/0.448 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

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

```

```

root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev s1-eth2 parent 1: handle 2
: tbf rate 2gbit burst 1000000 limit 2000000
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Проверьте конфигурацию с помощью инструмента iperf3 для измерения пропускной способности:

– В терминале хоста h2 запустите iPerf3 в режиме сервера:

```

iperf3 -s

```

– В терминале хоста h1 запустите iPerf3 в режиме клиента:

```

iperf3 -c 10.0.0.2

```



```

host: h1@mininet-vm

[ 7] 6,00-7,00 sec 1,11 GBytes 9,56 Gbits/sec 0 2,33 MBytes
[ 7] 7,00-8,00 sec 1,11 GBytes 9,56 Gbits/sec 0 2,33 MBytes
[ 7] 8,00-9,00 sec 1,11 GBytes 9,56 Gbits/sec 0 2,33 MBytes
[ 7] 9,00-10,00 sec 1,11 GBytes 9,54 Gbits/sec 0 2,88 MBytes

-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr
[ 7] 0,00-10,00 sec 11,1 GBytes 9,57 Gbits/sec 0
nder
[ 7] 0,00-10,01 sec 11,1 GBytes 9,56 Gbits/sec
ceiver

iperf Done.
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=11,5 ms
64 bytes from 10,0,0,2: icmp_seq=2 ttl=64 time=11,2 ms
64 bytes from 10,0,0,2: icmp_seq=3 ttl=64 time=10,3 ms
64 bytes from 10,0,0,2: icmp_seq=4 ttl=64 time=10,9 ms

--- 10,0,0,2 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3005ms
rtt min/avg/max/mdev = 10,325/10,999/11,535/0,448 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 60982 connected to 10,0,0,2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr    Cwnd
[ 7] 0,00-1,00 sec 185 MBytes 1,55 Gbits/sec 2790    1,98 MBytes
[ 7] 1,00-2,00 sec 192 MBytes 1,61 Gbits/sec 0        2,09 MBytes
[ 7] 2,00-3,00 sec 204 MBytes 1,71 Gbits/sec 0        2,18 MBytes
[ 7] 3,00-4,00 sec 211 MBytes 1,77 Gbits/sec 0        2,24 MBytes
[ 7] 4,00-5,00 sec 211 MBytes 1,77 Gbits/sec 0        2,28 MBytes
[ 7] 5,00-6,00 sec 160 MBytes 1,34 Gbits/sec 315      1,70 MBytes
[ 7] 6,00-7,00 sec 168 MBytes 1,40 Gbits/sec 0        1,79 MBytes
[ 7] 7,00-8,00 sec 174 MBytes 1,46 Gbits/sec 0        1,85 MBytes
[ 7] 8,00-9,00 sec 180 MBytes 1,51 Gbits/sec 0        1,89 MBytes
[ 7] 9,00-10,00 sec 186 MBytes 1,56 Gbits/sec 0        1,95 MBytes

-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr
[ 7] 0,00-10,00 sec 1,83 GBytes 1,57 Gbits/sec 3105
[ 7] 0,00-10,01 sec 1,82 GBytes 1,56 Gbits/sec
sender
receiver

iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

```

host: h2@mininet-vm

[ 7] 4,00-5,00 sec 1,11 GBytes 9,56 Gbits/sec
[ 7] 5,00-6,00 sec 1,11 GBytes 9,56 Gbits/sec
[ 7] 6,00-7,00 sec 1,11 GBytes 9,56 Gbits/sec
[ 7] 7,00-8,00 sec 1,11 GBytes 9,56 Gbits/sec
[ 7] 8,00-9,00 sec 1,11 GBytes 9,56 Gbits/sec
[ 7] 9,00-10,00 sec 1,11 GBytes 9,53 Gbits/sec
[ 7] 10,00-10,01 sec 512 KBytes 604 Mbits/sec

-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7] 0,00-10,01 sec 11,1 GBytes 9,56 Gbits/sec
receiver

Server listening on 5201

^Ciperf3: interrupt - the server has terminated
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 60980
[ 7] local 10,0,0,2 port 5201 connected to 10,0,0,1 port 60982
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate
[ 7] 0,00-1,00 sec 175 MBytes 1,46 Gbits/sec
te 10

```

данном этапе проведения эксперимента

– После завершения работы iPerf3 на хосте h1 остановите iPerf3 на хосте h2, нажав Ctrl + c . В отчёте зафиксируйте результат отработки iPerf3 на данном этапе проведения эксперимента.

```

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3005ms
rtt min/avg/max/mdev = 10.325/10.999/11.535/0.448 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 60982 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr    Cwnd
[ 7] 0.00-1.00 sec 185 MBytes 1.55 Gbits/sec 2790    1.98 MBytes
[ 7] 1.00-2.00 sec 192 MBytes 1.61 Gbits/sec 0        2.09 MBytes
[ 7] 2.00-3.00 sec 204 MBytes 1.71 Gbits/sec 0        2.18 MBytes
[ 7] 3.00-4.00 sec 211 MBytes 1.77 Gbits/sec 0        2.24 MBytes
[ 7] 4.00-5.00 sec 211 MBytes 1.77 Gbits/sec 0        2.28 MBytes
[ 7] 5.00-6.00 sec 160 MBytes 1.34 Gbits/sec 315      1.70 MBytes
[ 7] 6.00-7.00 sec 168 MBytes 1.40 Gbits/sec 0        1.79 MBytes
[ 7] 7.00-8.00 sec 174 MBytes 1.46 Gbits/sec 0        1.85 MBytes
[ 7] 8.00-9.00 sec 180 MBytes 1.51 Gbits/sec 0        1.89 MBytes
[ 7] 9.00-10.00 sec 186 MBytes 1.56 Gbits/sec 0        1.95 MBytes

-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate    Retr
[ 7] 0.00-10.00 sec 1.83 GBytes 1.57 Gbits/sec 3105
[ 7] 0.00-10.01 sec 1.82 GBytes 1.56 Gbits/sec
sender
receiver

iperf Done.
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

- ID: идентификационный номер соединения. (7)
- интервал (Interval): временной интервал для периодических отчетов о пропускной способности (по умолчанию временной интервал равен 1 секунде); (0.00 – 10.00)

- передача (Transfer): сколько данных было передано за каждый интервал времени; (1.83 Gbytes)
- пропускная способность (Bitrate): измеренная пропускная способность в каждом временном интервале; (1.57 Gbits/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); (3105)

Большое количество пересылок вначале обусловлено задержкой.

Удалите модифицированную конфигурацию на коммутаторе s1:

```
sudo tc qdisc del dev s1-eth2 root
```

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev s1-eth2 root
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Вывод

Итогом лабораторной работы стало 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.