

Лабораторная работа № 5

Эмуляция и измерение потерь пакетов в глобальных сетях

Старовойтов Егор Сергеевич

Содержание

Цель работы

Основной целью работы является получение навыков проведения интерактивных экспериментов в среде Mininet по исследованию параметров сети, связанных с потерей, дублированием, изменением порядка и повреждением пакетов при передаче данных. Эти параметры влияют на производительность протоколов и сетей

Задание

1. Задайте простейшую топологию, состоящую из двух хостов и коммутатора с назначенной по умолчанию mininet сетью 10.0.0.0/8.
2. Проведите интерактивные эксперименты по исследованию параметров сети, связанных с потерей, дублированием, изменением порядка и повреждением пакетов при передаче данных.
3. Реализуйте воспроизводимый эксперимент по добавлению правила отбрасывания пакетов в эмулируемой глобальной сети. На экран выведите сводную информацию о потерянных пакетах.
4. Самостоятельно реализуйте воспроизводимые эксперименты по исследованию параметров сети, связанных с потерей, изменением порядка и повреждением пакетов при передаче данных. На экран выведите сводную информацию о потерянных пакетах.

Теоретическое введение

В дополнение к задержке многие глобальные и локальные сети подвержены потере, переупорядочению, повреждению и дублированию пакетов. Потеря пакета — состояние, возникающее, когда пакет, проходящий через сеть, не достигает пункта назначения. Потеря пакетов может иметь большое влияние на сети с высокой пропускной способностью и высокой задержкой. Распространенной причиной потери пакетов является неспособность маршрутизаторов удерживать пакеты, поступающие со скоростью, превышающей

скорость отправления. Даже в тех случаях, когда высокая скорость поступления пакетов носит временный характер (например, кратковременные всплески трафика), маршрутизатор ограничен объёмом буферной памяти, используемой для мгновенного хранения пакетов. Когда происходит потеря пакетов, протокол ТСП уменьшает окно перегрузки и, следовательно, пропускную способность вдвое. Переупорядочивание пакетов — условие, возникающее, когда пакеты принимаются в порядке, отличном от того, в котором они были отправлены. Переупорядочивание пакетов (неупорядоченная доставка пакетов) обычно является результатом того, что пакеты следуют по разным маршрутам для достижения пункта назначения. Переупорядочивание пакетов может ухудшить пропускную способность ТСП-соединений в сетях с высокой пропускной способностью и высокой задержкой. Для каждого сегмента, полученного не по порядку, получатель ТСП отправляет подтверждение (АСК) для последнего правильно принятого сегмента. Как только отправитель ТСП получает три подтверждения для одного и того же сегмента (тройной дубликат АСК), отправитель считает, что получатель неправильно принял пакет, следующий за пакетом, который подтверждается три раза. Затем он продолжает уменьшать окно перегрузки и пропускную способность наполовину.

Выполнение лабораторной работы

1. Запуск простейшей топологии

```
mininet@mininet-vm:~$ sudo mn --topo=single,2 -x
** Creating network
** Adding controller
** Adding hosts:
1 h2
** Adding switches:
1
** Adding links:
h1, s1) (h2, s1)
** Configuring hosts
1 h2
** Running terms on localhost:10.0
** Starting controller
0
** Starting 1 switches
1 ...
** Starting CLI:
mininet>
mininet>

root@mininet-vm:/home/mininet# ifconfig
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 f6:a2:89:50:33:88 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 848 bytes 261596 (261.5 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 848 bytes 261596 (261.5 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
root@mininet-vm:/home/mininet#

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 d2:4c:f0:f8:3e:3d 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 785 bytes 249584 (249.5 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 785 bytes 249584 (249.5 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

2. Проверка соединения

```
root@mininet-vm:/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 f6:a2:89:50:33:88 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 848 bytes 261596 (261.5 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 848 bytes 261596 (261.5 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0
    collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 6
ping: c-6: Temporary failure in name resolution
root@mininet-vm:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 6
ping: socket: Address family not supported by protocol
root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 6 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=0.659 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.099 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.034 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.022 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.023 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.027 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5105ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.022/0.144/0.659/0.231 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

```
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 d2:4c:f0:f8:3e:3d 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 785 bytes 249584 (249.5 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 785 bytes 249584 (249.5 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0
    collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 6 10.0.0.1
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=0.382 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.029 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.032 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.038 ms

--- 10.0.0.1 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5121ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.029/0.093/0.382/0.128 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

3. Потеря пакетов

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem loss 10%
root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 6 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=2 ttl=64 time=0.239 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.164 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.039 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.036 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.033 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 5 received, 16.6667% packet loss, time 5105ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.033/0.102/0.239/0.084 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

4. Добавление значения корреляции для потери пакетов в эмулируемой глобальной сети

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem loss 50% 50%
root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 50 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=2 ttl=64 time=0.373 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.209 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.103 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.034 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.036 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.034 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=0.042 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=0.042 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=21 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=22 ttl=64 time=0.035 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=23 ttl=64 time=0.024 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=24 ttl=64 time=0.044 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=25 ttl=64 time=0.022 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=26 ttl=64 time=0.040 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=34 ttl=64 time=0.034 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=35 ttl=64 time=0.045 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=37 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=38 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=40 ttl=64 time=0.042 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=41 ttl=64 time=0.045 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=48 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=49 ttl=64 time=0.280 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=50 ttl=64 time=0.049 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
50 packets transmitted, 24 received, 52% packet loss, time 50158ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.022/0.072/0.373/0.085 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

5. Повреждение пакетов

```
Warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4
-----
Server listening on 5201
-----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 51688
[ 5] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 51690
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate
[ 5] 0.00-1.00    sec  6.38 GBytes  54.8 Gbits/sec
[ 5] 1.00-2.00    sec  6.35 GBytes  54.5 Gbits/sec
[ 5] 2.00-3.00    sec  6.30 GBytes  54.2 Gbits/sec
[ 5] 3.00-4.00    sec  6.32 GBytes  54.3 Gbits/sec
[ 5] 4.00-5.00    sec  6.35 GBytes  54.5 Gbits/sec
[ 5] 5.00-6.00    sec  6.61 GBytes  56.8 Gbits/sec
[ 5] 6.00-7.00    sec  6.89 GBytes  59.2 Gbits/sec
[ 5] 7.00-8.00    sec  7.82 GBytes  67.1 Gbits/sec
[ 5] 8.00-9.00    sec  8.07 GBytes  69.3 Gbits/sec
[ 5] 9.00-10.00   sec  7.37 GBytes  63.3 Gbits/sec
[ 5] 10.00-10.00  sec   192 KBytes  447 Mbits/sec

[ ID] Interval      Transfer      Bitrate
[ 5] 0.00-10.00   sec  68.5 GBytes  58.8 Gbits/sec                                     receiver
-----
Server listening on 5201
-----
[
root@mininet-vn:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem corrupt 0.01%
root@mininet-vn:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2
iperf3 error - unable to connect to server: Connection refused
root@mininet-vn:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2
iperf3 error - unable to connect to server: Connection refused
root@mininet-vn:/home/mininet# sudo iperf3 -c 10.0.0.2
iperf3 error - unable to connect to server: Connection refused
root@mininet-vn:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2
Connecting to host 10.0.0.2, port 5201
[ 7] local 10.0.0.1 port 51690 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr  Cwnd
[ 7] 0.00-1.00    sec  6.40 GBytes  54.9 Gbits/sec  19  1.02 Mbytes
[ 7] 1.00-2.00    sec  6.35 GBytes  54.5 Gbits/sec  17  677 Kbytes
[ 7] 2.00-3.00    sec  6.30 GBytes  54.1 Gbits/sec  15  1.15 Mbytes
[ 7] 3.00-4.00    sec  6.32 GBytes  54.3 Gbits/sec  13  1.68 Mbytes
[ 7] 4.00-5.00    sec  6.34 GBytes  54.5 Gbits/sec  13  2.04 Mbytes
[ 7] 5.00-6.00    sec  6.61 GBytes  56.8 Gbits/sec  12  1.93 Mbytes
[ 7] 6.00-7.00    sec  6.90 GBytes  59.3 Gbits/sec  17  2.15 Mbytes
[ 7] 7.00-8.00    sec  7.82 GBytes  67.1 Gbits/sec  20  2.74 Mbytes
[ 7] 8.00-9.00    sec  8.07 GBytes  69.3 Gbits/sec  14  2.68 Mbytes
[ 7] 9.00-10.00   sec  7.36 GBytes  63.3 Gbits/sec  21  1.81 Mbytes

[ ID] Interval      Transfer      Bitrate      Retr
[ 7] 0.00-10.00   sec  68.5 GBytes  58.8 Gbits/sec  161
[ 7] 0.00-10.00   sec  68.5 GBytes  58.8 Gbits/sec                                     sender
                                                                    receiver

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

6. Переупорядочивание пакетов

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 10ms reorder 25
50%
root@mininet-vm:/home/mininet#
root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 20 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=10.3 ms

64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=10.1 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=10.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=10.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=10.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=10.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=10.3 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=10.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=10.6 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=10.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=10.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=10.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=10.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=10.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=10.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=10.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=10.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=10.7 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19115ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.041/9.446/10.669/3.136 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

7. Дублирование пакетов

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem duplicate 50%
root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 20 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=0.110 ms

64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.043 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.043 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.038 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.038 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.038 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.038 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.046 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.042 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.043 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.046 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.039 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.039 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=0.032 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=0.045 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=0.034 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=0.044 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=0.047 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=0.044 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=0.043 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=0.041 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, +8 duplicates, 0% packet loss, time 19466ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.032/0.045/0.110/0.013 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
root@mininet-vm:/home/mininet# █
```


8. Выполнение автоматизированного эксперимента

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$ make
sudo python lab_netem_ii.py
*** Adding controller
*** Adding hosts
*** Adding switch
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
t0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
*** h1 : ('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem loss',)
Command line is not complete. Try option "help"
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss%',)
What is "loss%"?
Usage: ... netem
        [ limit PACKETS ]
        [ delay TIME [ JITTER [CORRELATION]] ]
        [ distribution {uniform|normal|pareto|paretonormal} ]
        [ corrupt PERCENT [CORRELATION]]
        [ duplicate PERCENT [CORRELATION]]
        [ loss random PERCENT [CORRELATION]]
        [ loss state P13 [P31 [P32 [P23 P14]]]]
        [ loss gemodel PERCENT [R [1-H [1-K]]]]
        [ ecn ]
        [ reorder PERCENT [CORRELATION] [ gap DISTANCE ]]
        [ rate RATE [PACKETOVERHEAD] [CELLSIZE] [CELLOVERHEAD]]
        [ slot MIN_DELAY [MAX_DELAY] [packets MAX_PACKETS] [bytes MAX_BYTES]]
        [ slot distribution {uniform|normal|pareto|paretonormal|custom} DELAY JITTER [packets MAX_
PACKETS] [bytes MAX_BYTES]]
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\'' | sed -e \'/time=//g\' -e \
s/icmp_seq=//g\' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
t0
*** Stopping 2 links
.
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$
```

9. lab_netem_ii.py

```
#!/usr/bin/env python
"""
Simple experiment.
Output: ping.dat
"""

from mininet.net import Mininet
from mininet.node import Controller
from mininet.cli import CLI
from mininet.log import setLogLevel, info
import time

def emptyNet():
    "Create an empty network and add nodes to it."
    net = Mininet( controller=Controller, waitConnected=True )
    info( '*** Adding controller\n' )
    net.addController( 'c0' )

    info( '*** Adding hosts\n' )
    h1 = net.addHost( 'h1', ip='10.0.0.1' )
    h2 = net.addHost( 'h2', ip='10.0.0.2' )

    info( '*** Adding switch\n' )
    s1 = net.addSwitch( 's1' )

    info( '*** Creating links\n' )
    net.addLink( h1, s1 )
    net.addLink( h2, s1 )

    info( '*** Starting network\n' )
    net.start()

    info( '*** Set delay\n' )
    h1.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h1-eth0 root netem loss' )
    h2.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss%' )

    time.sleep(10) # Wait 10 seconds

    info( '*** Ping\n' )

    h1.cmdPrint( 'ping -c 100', h2.IP(), '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\'' | 'sed -e \\'s/time=//g\'
-e \\'s/icmp_seq=//g\' > ping.dat' )

    info( '*** Stopping network' )
    net.stop()

if __name__ == '__main__':
    setLogLevel( 'info' )
    emptyNet()

lab_netem_ii.py 1,1 All
```

10. Makefile

```
all: ping.dat
ping.dat:
    sudo python lab_netem_ii.py
    sudo chown mininet:mininet ping.dat

clean:
    -rm -f *.dat
```

Выводы

Я получил навыки проведения интер- активных экспериментов в среде Mininet по исследованию параметров сети, связанных с потерей, дублированием, изменением порядка и повреждением пакетов при передаче данных.

Список литературы