

Лабораторная работа № 4

Эмуляция и измерение задержек в глобальных сетях

Доберштейн А. С.

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Информация

Докладчик

- Доберштейн Алина Сергеевна
- НФИбд-02-22
- Российский университет дружбы народов
- 1132226448@pfur.ru

Цель работы

Основной целью работы является знакомство с NETEM—инструментом для тестирования производительности приложений в виртуальной сети, а также получение навыков проведения интерактивного и воспроизводимого экспериментов по измерению задержки её дрожания(jitter) в моделируемой сети в среде Mininet.

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 подобавлению/изменению задержки, джиттера, значения корреляции для джиттера и задержки, распределения времени задержки в эмулируемой глобальной сети.
3. Реализуйте воспроизводимый эксперимент по заданию значения задержки в эмулируемой глобальной сети. Постройте график.
4. Самостоятельно реализуйте воспроизводимые эксперименты по изменению задержки, джиттера, значения корреляции для джиттера и задержки, распределения времени задержки в эмулируемой глобальной сети. Постройте графики.

Выполнение лабораторной работы

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3/iperf3$ xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:12  MIT-MAGIC-COOKIE-1  9713b86bb098fbfdb897dd6199ab032e
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3/iperf3$ sudo -i
root@mininet-vm:~# xauth list $DISPLAY
root@mininet-vm:~# xauth list $DISPLAY
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:12  MIT-MAGIC-COOKIE-1  9713b86bb098fbfdb897dd6199ab032e
чФгЧФxauth: command not found
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:12  MIT-MAGIC-COOKIE-1  9713b86bb098fbfdb897dd6199ab032e
чФxauth: command not found
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:12  MIT-MAGIC-COOKIE-1  9713b86bb098fbfdb897dd6199ab032e
чxauth: command not found
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:12  MIT-MAGIC-COOKIE-1  9713b86bb098fbfdb897dd6199ab032e

Command 'чxauth' not found, did you mean:

  command 'xauth' from deb xauth (1:1.1-0ubuntu1)

Try: apt install <deb name>

root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:12  MIT-MAGIC-COOKIE-1  9713b86bb098fbfdb897dd6199ab032e
root@mininet-vm:~# xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:12  MIT-MAGIC-COOKIE-1  9713b86bb098fbfdb897dd6199ab032e
root@mininet-vm:~# logout
```

Рис. 1: Проверка прав запуска X-соединения

Выполнение лабораторной работы

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_iperf3/iperf3$ 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:12.0
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Starting CLI:
mininet> exit
*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 8 terms
*** Stopping 2 links
...
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
completed in 1677.753 seconds
```

Рис. 2: Запуск топологии

Выполнение лабораторной работы

```
"host: h1"
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# 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 le:c1:9f:fd:a8:ef 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 889 bytes 252964 (252.9 KB)
            RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
            TX packets 889 bytes 252964 (252.9 KB)
            TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# 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=4.43 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.407 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.063 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.061 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.080 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.070 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5092ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.061/0.851/4.426/1.603 ms
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# []
root@mininet-vm:~# xauth list $DISPLAY
```

Добавление задержки в эмулируемой глобальной сети

На хосте h1 добавила задержку в 100 мс к выходному интерфейсу, проверила соединение от h1 к h2.

Добавление задержки в эмулируемой глобальной сети

```
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# sudo tc qdisc add dev h1-  
eth0 root netem delay 100ms  
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# 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=103 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=101 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=101 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=100 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=101 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=101 ms  
  
--- 10.0.0.2 ping statistics ---  
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5003ms  
rtt min/avg/max/mdev = 100.256/101.190/103.270/0.971 ms  
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# █
```

Рис. 4: Проверка связи между хостами

Добавление задержки в эмулируемой глобальной сети

Для эмуляции глобальной сети с двунаправленной задержкой добавила задержку в 100 мс на h2. Проверила связь между хостами.

Добавление задержки в эмулируемой глобальной сети

```
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# 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=202 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=203 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=203 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=202 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=202 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=201 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5007ms
rtt min/avg/max/mdev = 201.260/202.136/203.114/0.673 ms
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3#
```

Рис. 5: Проверка связи между хостами

Изменение задержки в эмулируемой глобальной сети

Изменила задержку со 100мс до 50мс для отправителя h1 и получателя h2. Проверила связь между хостами.

Изменение задержки в эмулируемой глобальной сети

```
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# sudo tc qdisc change dev h1-eth0 root netem delay 50ms
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# 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=102 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=102 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=101 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=101 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=103 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=102 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5006ms
rtt min/avg/max/mdev = 100.731/101.756/102.840/0.662 ms
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# █
```

Рис. 6: Проверка связи между хостами

Восстановление исходных значений (удаление правил) задержки в эмулируемой глобальной сети

Восстановила конфигурацию по умолчанию, удалив все правила. Проверила связь между хостами.

```
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# sudo tc qdisc del dev h1-  
eth0 root netem  
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# 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=0.350 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.076 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.074 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.074 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.074 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.065 ms  
  
--- 10.0.0.2 ping statistics ---  
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5079ms  
rtt min/avg/max/mdev = 0.065/0.118/0.350/0.103 ms  
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# █
```

Рис. 7: Проверка связи между хостами

Добавление значения дрожания задержки в интерфейс подключения к эмулируемой глобальной сети

В сетях нет постоянной задержки. На узле h1 добавила задержку 100 мс со случайным отклонением 10 мс. Проверила связь между хостами.

Добавление значения дрожания задержки в интерфейс подключения к эмулируемой глобальной сети

```
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# sudo tc qdisc add dev h1-  
eth0 root netem delay 100ms 10ms  
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# 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=96.8 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=99.2 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=108 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=94.2 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=100 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=92.9 ms  
  
--- 10.0.0.2 ping statistics ---  
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5009ms  
rtt min/avg/max/mdev = 92.902/98.491/107.684/4.848 ms  
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# █  
root@mininet-vm:~# xauth list $DISPLAY
```

Рис. 8: Проверка связи между хостами

Добавление значения корреляции для джиттера и задержки в интерфейс подключения к эмулируемой глобальной сети

Добавила на интерфейсе h1 задержку в 100мс с вариацией +-10 мс и значением корреляции 25%. Проверила связь между хостами.

Добавление значения корреляции для джиттера и задержки в интерфейс подключения к эмулируемой глобальной сети

```
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# sudo tc qdisc add dev h1-  
eth0 root netem delay 100ms 10ms 25%  
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# 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=100 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=98.0 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=94.2 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=108 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=92.0 ms  
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=111 ms  
  
--- 10.0.0.2 ping statistics ---  
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5009ms  
rtt min/avg/max/mdev = 91.957/100.524/110.646/6.823 ms
```

Рис. 9: Проверка связи между хостами

Добавление значения корреляции для джиттера и задержки в интерфейс подключения к эмулируемой глобальной сети

```
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# 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=111 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=92.9 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=101 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=96.9 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=105 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=107 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=107 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=108 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=101 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=98.9 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=94.4 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=103 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=109 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=104 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=99.2 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=106 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=102 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=96.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=93.0 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=92.9 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19038ms
rtt min/avg/max/mdev = 92.925/101.460/110.800/5.515 ms
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
```

Распределение задержки в интерфейсе подключения к эмулируемой глобальной сети

Задала нормальное распределение задержки на узле h1 в эмулируемой сети. Убедилась, что все пакеты, покидающие хост h1 на интерфейсе h1-eth0, имеют время задержки, которое распределено в диапазоне $100 \text{ мс} \pm 20 \text{ мс}$. Восстановим конфигурацию интерфейса по умолчанию на узле h1. Завершим работу mininet в интерактивном режиме.

Распределение задержки в интерфейсе подключения к эмулируемой глобальной сети

```
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 20ms distribution normal
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3# ping -c 10 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=74.0 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=106 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=113 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=86.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=80.9 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=141 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=95.4 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=79.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=112 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=92.1 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9011ms
rtt min/avg/max/mdev = 73.989/98.125/141.228/19.348 ms
root@mininet-vm:/home/mininet/work/lab_iperf3/iperf3#
```

Рис. 11: Проверка связи между хостами

Воспроизведение экспериментов

Обновила репозитории ПО на виртуальной машине, установила пакет geeqie.

```
mininet@mininet-vm:~$ sudo apt-get update
Get:1 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security InRelease [128 kB]
Hit:2 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal InRelease
Get:3 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates InRelease [128 kB]
Get:4 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-backports InRelease [128 kB]
Reading package lists... Done
E: Release file for http://security.ubuntu.com/ubuntu/dists/focal-security/InRelease is not valid yet (invalid for another 12h 55min 0s). Updates for this repository will not be applied.
E: Release file for http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu/dists/focal-updates/InRelease is not valid yet (invalid for another 15h 24min 54s). Updates for this repository will not be applied.
E: Release file for http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu/dists/focal-backports/InRelease is not valid yet (invalid for another 13h 4min 31s). Updates for this repository will not be applied.
mininet@mininet-vm:~$ sudo apt install geeqie
```

Рис. 12: Обновление репозиториев

Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

С помощью API Mininet воспроизвела эксперимент по добавлению задержки для интерфейса хоста, подключающегося к эмулируемой глобальной сети. В виртуальной среде mininet в своём рабочем каталоге с проектами создала каталог simple-delay и перешла в него.

Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

```
mininet@mininet-vm:~/work$ mkdir -p ~/work/lab_netem_i/simple-delay
mininet@mininet-vm:~/work$ cd ~/work/lab_netem_i/simple-delay
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ touch lab_netem_i.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ ls
lab_netem_i.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ mcedit lab_netem_i.py
```

Рис. 13: Создание каталога для эксперимента

Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

Создала скрипт для эксперимента.

```
/home/mininet/work/lab_netem./simple-delay/lab_netem_v.py [====] 14 L: 1+56 $17 $1) + (1200/12000) <EOF>
/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 delay 100ms')
    h2.cmdPrint('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms')

    time.sleep(10)

    info('*** Ping\n')
    h1.cmdPrint('ping -c 100 %s.%s()' % (h2.IP(), ' | grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'s/\r/\n/g\' -e \'s/\t/\n/g\'') > ping.dat')
    ...
    info('*** Stopping network')
    net.stop()

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

Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

Создала скрипт для визуализации результатов эксперимента.

```
/home/mininet/work/lab_netem_i/simple-delay/ping_plot [----] 26 L:[ 1+ 7
#!/usr/bin/gnuplot --persist

set terminal png crop
set output 'ping.png'
set xlabel "Sequence number"
set ylabel "Delay (ms)"
set grid
plot "ping.dat" with lines
```

Рис. 15: Скрипт для визуализации эксперимента

Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

Задала права доступа к файлу скрипта.

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ chmod +x ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ touch Makefile
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ mcedit Mkefile
^[[<0;160;1m
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ mcedit Makefile
^[[<0;160;1m
```

Рис. 16: Права доступа

Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

```
/home/mininet/work/lab_netem_i/simple-delay/Makefile [-H--] 26 L:1
all: ping.dat ping.png

ping.dat:
<-----> sudo python lab_netem_i.py
<-----> sudo chown mininet:mininet ping.dat

ping.png: ping.dat
<-----> ./ping_plot

clean:
<-----> rm -f *.dat *.png
```

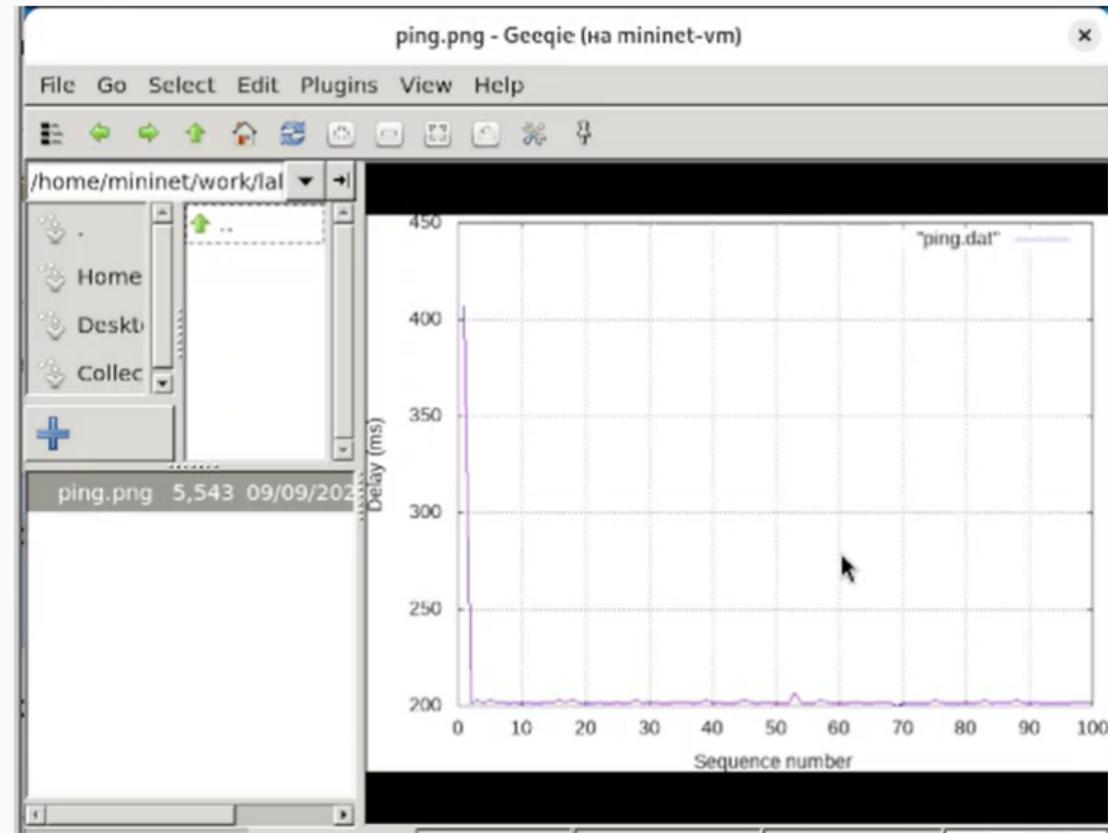
Рис. 17: Makefile

Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make
sudo python lab_netem_i.py
*** Adding controller
*** Adding hosts
*** Adding switch
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
*** h1 : ('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms',)
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk \'(print $5, $7)\' | sed -e \'s/time=/g\' -e \'s/icmp_seq=/g\' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
...
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
./ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ ls
lab_netem_i.py  Makefile  ping.dat  ping_plot  ping.png  ping_pot
```

Рис. 18: Выполнение эксперимента

Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети



Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

Разработала скрипт для вычисления минимального, среднего, максимального и стандартного rtt на основе данных файла ping.dat, добавила правило запуска в Makefile.

```
/home/mininet/work/lab_netem_i/simple-delay	rtt.py [-M--] 78 L:[ 1+ 8 9/ 9] *(345 /
with open('ping.dat', 'r') as file:
    s = []
    for line in file.readlines():
<-----> if '\n' in line:
<----->     line.replace('\n', "")
<-----><-----> s.append([int(j) for j in (line.split(" "))])
    s = [j[1] for j in s]
    std = ((sum([(i-(sum(s)/len(s)))**2 for i in s])/(len(s)-1))**0.5
    print(f"min: {min(s)} \nmax: {max(s)} \n avg: {sum(s)/len(s)} \n std: {std}")
```

Рис. 20: Скрипт для вычисления rtt

Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ sudo python rtt.py
min: 200 \max: 407
avg: 203.72
std: 20.552018259661388
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ mcedit ping.dat

mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make clean
rm -f *.dat *.png
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ cd
```

Рис. 21: Вычисленное rtt

Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ mkdir -p ~/work/lab_netem_i/change-delay
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ cd change_delay
-bash: cd: change_delay: No such file or directory
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ cd change-delay
```

Рис. 22: Создание каталога для эксперимента

Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/change-delay$ ls  
lab_netem_i.py  Makefile  ping_plot  rtt.py  
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/change-delay$ mcedit lab_netem_i.py
```

Рис. 23: Файлы для эксперимента

Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

```
(home/mininet/work/lab_netem_1/change-delay/lab_netem_1.py [-H--] 14 L:[ 1+57 58/ 58 ] <(1546/1546b) <EOF>
$)/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 delay 100ms')
    h2.cmdPrint('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms')

    time.sleep(10)

    info('*** Ping\n')
    h1.cmdPrint('ping -c 50', h2.IP(), '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'$s/time://g\' -e \'$s/icmp_seq://g\' > first_ping.dat')

    info('*** Change delay\n')
    h1.cmdPrint('tc qdisc change dev h1-eth0 root netem delay 50ms')
    h2.cmdPrint('tc qdisc change dev h2-eth0 root netem delay 50ms')

    info('*** Ping\n')
    h1.cmdPrint('ping -c 50', 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__':

```

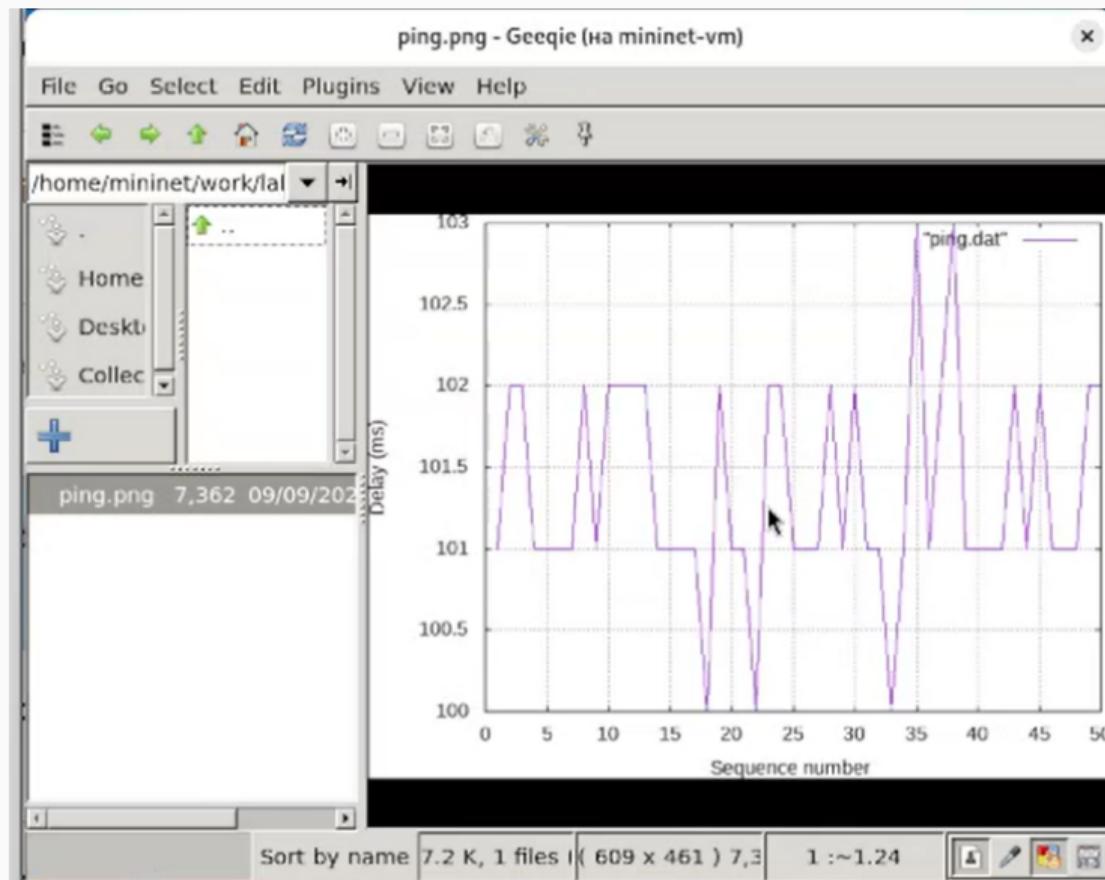
Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/change-delay$ make
sudo python lab_netem_i.py
*** Adding controller
*** Adding hosts
*** Adding switch
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
*** h1 : ('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms',)
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 50', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk '{print $5, $7}' | sed -e \'s/time=/g\' -e \'s/icmp_seq=/g\' > first_ping.dat')
*** Change delay
*** h1 : ('tc qdisc change dev h1-eth0 root netem delay 50ms',)
*** h2 : ('tc qdisc change dev h2-eth0 root netem delay 50ms',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 50', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk '{print $5, $7}' | sed -e \'s/time=/g\' -e \'s/icmp_seq=/g\' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
...
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
./ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/change-delay$ mc
Select an editor. To change later, run 'select-editor'.
 1. /bin/nano      <---- easiest
 2. /usr/bin/vim.basic
 3. /usr/bin/mcedit
 4. /usr/bin/vim.tiny
 5. /usr/bin/emacs
 6. /bin/ed

Choose 1-6 [1]: exit
Choose 1-6 [1]: 

mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/change-delay$ sudo python rtt.py
min: 100 \max: 103
avg: 101.36
std: 0.6627093431281831
```

Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки



Воспроизводимый эксперимент по изменению джиттера

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/change-delay$ cd ..
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ mkdir -p ~/work/lab_netem_i/jitter-delay
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ cp ~/work/lab_netem_i/change-delay/lab_netem_i.py ~/work/lab_netem_i/jitter-delay/lab_netem_i.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ cp ~/work/lab_netem_i/change-delay/rtt.py ~/work/lab_netem_i/jitter-delay/rtt.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ cp ~/work/lab_netem_i/change-delay/Makefile ~/work/lab_netem_i/jitter-delay/Makefile
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ cp ~/work/lab_netem_i/change-delay/ping_plot ~/work/lab_netem_i/jitter-delay/ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ cd /jitter-delay
-bash: cd: /jitter-delay: No such file or directory
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ cd jitter-delay
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ ls
lab_netem_i.py  Makefile  ping_plot  rtt.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ mcedit lab_netem_i.py
```

Рис. 27: Создание каталога для эксперимента

Воспроизводимый эксперимент по изменению джиттера

```
/home/mininet/work/lab_neterm_1/jitter-delay/lab_neterm_3.py [-H--] 70 L: 1*47 48/ 58] *(1281/1564b) 39 0x027
# /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 delay 200ms 10ms')
    h2.cmdPrint('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms 10ms')

    time.sleep(10)

    info('*** Ping\n')
    h1.cmdPrint('ping -c 50', h2.IP(), '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'s/time//g\' -e \'s/icmp_seq//g\' > first_ping.dat')

    info('*** Change delay\n')
    h1.cmdPrint('tc qdisc change dev h1-eth0 root netem delay 50ms 5ms')
    h2.cmdPrint('tc qdisc change dev h2-eth0 root netem delay 50ms 5ms')

    info('*** Ping\n')
    h1.cmdPrint('ping -c 50', 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__':
    ...

39
```

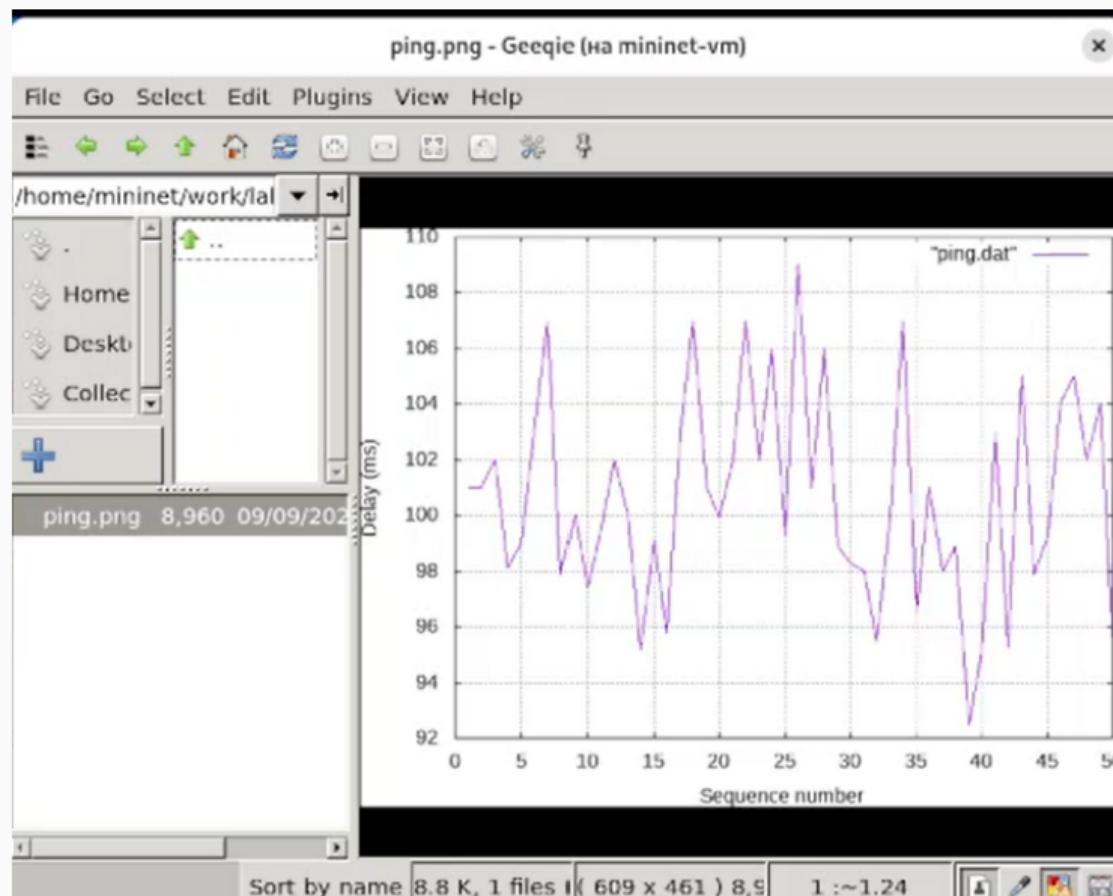
Воспроизводимый эксперимент по изменению джиттера

```
lab_neterm_i.py: line 61: ping_plot: command not found
mininet@mininet-vm:~/work/lab_neterm_i/jitter-delay$ mcedit lab_neterm_i.py

mininet@mininet-vm:~/work/lab_neterm_i/jitter-delay$ make
sudo python lab_neterm_i.py
*** Adding controller
*** Adding hosts
*** Adding switch
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
*** h1 : ('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms',)
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms 10ms',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 50', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk \'(print $5, $7)\' | sed -e \'s/time//g\' -e \'s/icmp_seq//g\' > first_ping.dat')
*** Change delay
*** h1 : ('tc qdisc change dev h1-eth0 root netem delay 50ms 5ms',)
*** h2 : ('tc qdisc change dev h2-eth0 root netem delay 50ms 5ms',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 50', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk \'(print $5, $7)\' | sed -e \'s/time//g\' -e \'s/icmp_seq//g\' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
...
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
./ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_neterm_i/jitter-delay$ ls
first_ping.dat lab_neterm_i.py Makefile ping.dat ping_plot ping.png rtt.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_neterm_i/jitter-delay$ geegie ping.png
```

Рис. 29: Выполнение эксперимента

Воспроизводимый эксперимент по изменению джиттера



Воспроизводимый эксперимент по изменению джиттера

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ mcedit rtt.py

mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ sudo python rtt.py
min: 92.5 \max: 109.0
avg: 100.634
std: 3.7713533542282907
```

Рис. 31: Вычисленное rtt

Воспроизводимый эксперимент по изменению значения корреляции джиттера и задержки

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ cd ..
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ mkdir -p /correlation-delay
mkdir: cannot create directory '/correlation-delay': Permission denied
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ mkdir -p correlation-delay
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ cd correlation-delay/
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/correlation-delay$ ls
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/correlation-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/change-delay/lab_netem_i.py ~/work/lab_netem_i/correlation-delay/lab_netem_i.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/correlation-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/change-delay/rtt.py ~/work/lab_netem_i/correlation-delay/rtt.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/correlation-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/change-delay/Makefile ~/work/lab_netem_i/correlation-delay/Makefile
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/correlation-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/jitter-delay/rtt.py ~/work/lab_netem_i/correlation-delay/rtt.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/correlation-delay$ ls
lab_netem_i.py Makefile rtt.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/correlation-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/change-delay/ping_plot ~/work/lab_netem_i/correlstion-delay/ping_plot
cp: cannot create regular file '/home/mininet/work/lab_netem_i/correlstion-delay/ping_plot': No such file or directory
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/correlation-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/change-delay/ping_plot ~/work/lab_netem_i/correlation-delay/ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/correlation-delay$ mcedit lab_netem_i.py

mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/correlation-delay$ mcedit rtt.py
```

Рис. 32: Создание каталога для эксперимента

Воспроизводимый эксперимент по изменению значения корреляции джиттера и задержки

```
./home/mininet/work/lab_netem_1/correlation-delay/lab_netem_1.py  [----] 73 L:[ 1+38 39/.58 ]*(922/1580b)  39 0x027
pi@user:~/mininet$ ./home/mininet/work/lab_netem_1/correlation-delay/lab_netem_1.py  [----] 73 L:[ 1+38 39/.58 ]*(922/1580b)  39 0x027
pi@user:~/mininet$ 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 delay 100ms 10ms 25%')
    h2.cmdPrint('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25%')

    time.sleep(10)

    info('*** Ping\n')
    h1.cmdPrint('ping -c 50', h2.IP(), '| grep "times" | awk \'{print $5, $7}\}' | sed -e '\$/s/time//g\'' -e '\$/s/icmp_seq//g\'' > first_ping.dat')

    info('*** Change delay\n')
    h1.cmdPrint('tc qdisc change dev h1-eth0 root netem delay 50ms 5ms 20%')
    h2.cmdPrint('tc qdisc change dev h2-eth0 root netem delay 50ms 5ms 20%')

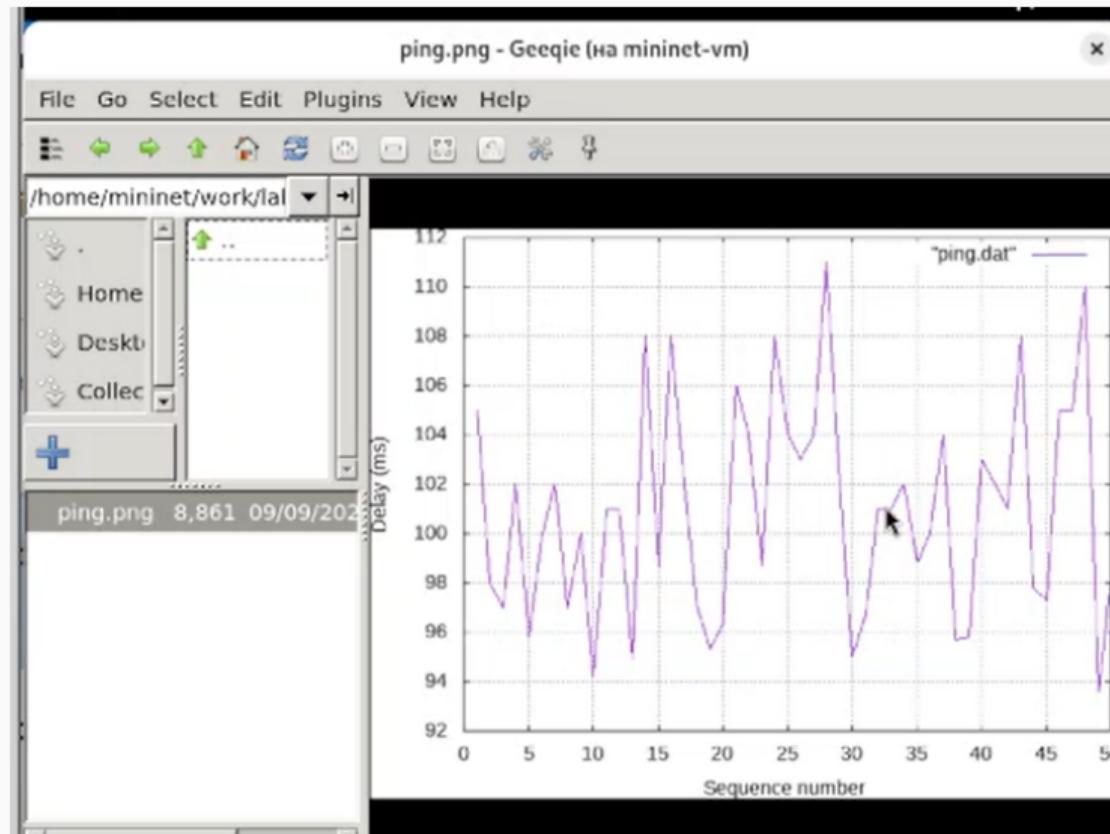
    info('*** Ping\n')
    h1.cmdPrint('ping -c 50', h2.IP(), '| grep "times" | awk \'{print $5, $7}\}' | sed -e '\$/s/time//g\'' -e '\$/s/icmp_seq//g\'' > ping.dat')
```

Воспроизводимый эксперимент по изменению значения корреляции джиттера и задержки

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_neter_i/correlation-delay$ make
sudo python lab_neter_i.py
*** Adding controller
*** Adding hosts
*** Adding switch
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
*** h1 : ('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25%',)
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25%',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 50', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk '{print $5, $7}' | sed -e \'s/time=/g\' -e \'s/icmp_seq=/g\' > first_ping.dat')
*** Change delay
*** h1 : ('tc qdisc change dev h1-eth0 root netem delay 50ms 5ms 20%',)
*** h2 : ('tc qdisc change dev h2-eth0 root netem delay 50ms 5ms 20%',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 50', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk '{print $5, $7}' | sed -e \'s/time=/g\' -e \'s/icmp_seq=/g\' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
...
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
./ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_neter_i/correlation-delay$ geeqie ping.png
Gtk-Message: 13:59:31.405: Failed to load module "canberra-gtk-module"
Gtk-Message: 13:59:31.406: Failed to load module "atk-gtk-module"
mininet@mininet-vm:~/work/lab_neter_i/correlation-delay$ sudo python rtt.py
min: 93.6 lmax: 111.0
avg: 100.89400000000002
std: 4.369953532653525
```

Рис. 34: Выполнение эксперимента

Воспроизводимый эксперимент по изменению значения корреляции джиттера и задержки



Воспроизводимый эксперимент по изменению распределения времени задержки в эмулируемой глобальной сети

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/correlation-delay$ cd ..
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ mkdir -p distribution-delay
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ cd distribution-delay
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/distribution-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/correlation-delay/lab_netem_i.py ~/work/lab_netem_i/distribution-delay/lab_netem_i.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/distribution-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/correlation-delay/Makefile ~/work/lab_netem_i/distribution-delay/Makefile
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/distribution-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/correlation-delay/ping_plot ~/work/lab_netem_i/distribution-delay/ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/distribution-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/correlation-delay/rtt.py ~/work/lab_netem_i/distribution-delay/rtt.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/distribution-delay$ ls
lab_netem_i.py Makefile ping_plot rtt.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/distribution-delay$ ncedit lab_netem_i.py
```

Рис. 36: Создание каталога для эксперимента

Воспроизводимый эксперимент по изменению распределения времени задержки в эмулируемой глобальной сети

```
/home/mininet/work/lab_neter_1/distribution-delay/lab_neter_1.py [-*-] 98 L: 1+47 48/ 50] >(1329/1612b) 39 6x027
#!/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 delay 100ms 10ms 25%')
    h2.cmdPrint('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25%')

    time.sleep(10)

    info('*** Ping\n')
    h1.cmdPrint('ping -c 50', h2.IP(), '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'s/time//g\' -e \'s/icmp_seq//g\' > first_ping.dat')

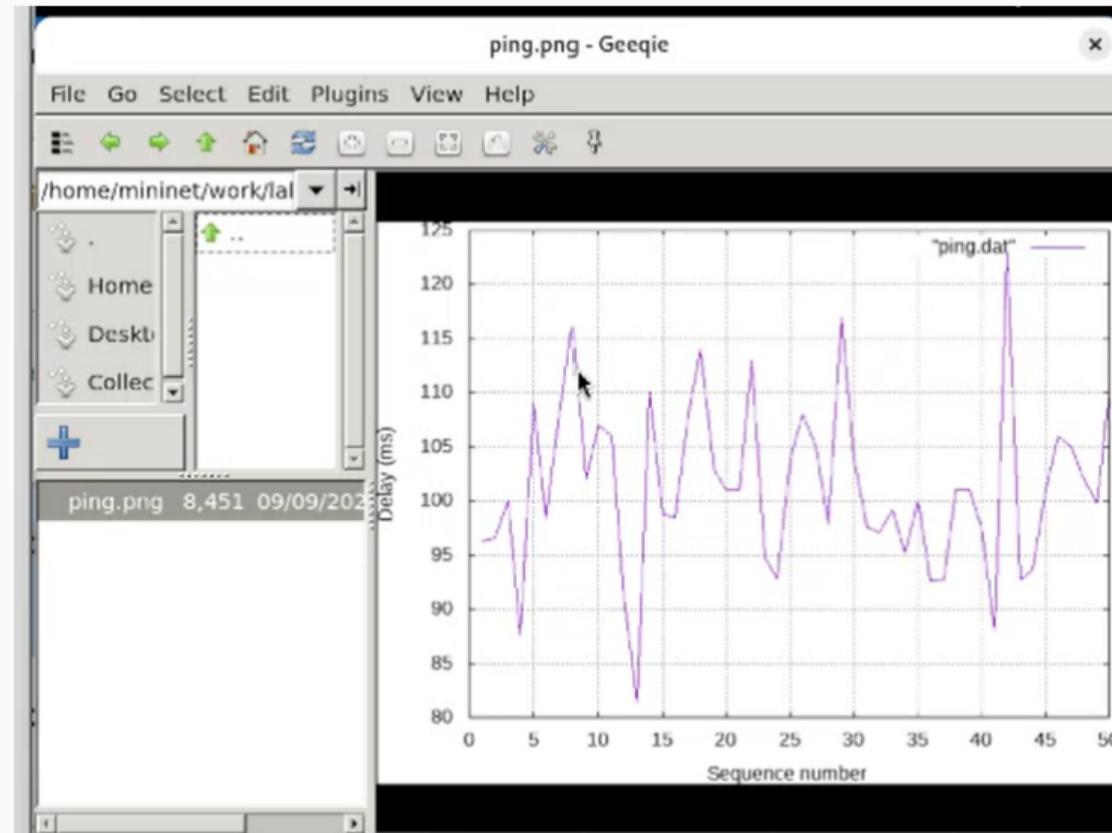
    info('*** Change delay\n')
    h1.cmdPrint('tc qdisc change dev h1-eth0 root netem delay 50ms 5ms distribution normal')
    h2.cmdPrint('tc qdisc change dev h2-eth0 root netem delay 50ms 5ms distribution normal')

    info('*** Ping\n')
    h1.cmdPrint('ping -c 50', h2.IP(), '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'s/time//g\' -e \'s/icmp_seq//g\' > ping.dat')
```

Воспроизводимый эксперимент по изменению распределения времени задержки в эмулируемой глобальной сети

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_neterm_1/distribution-delay$ make
sudo python lab_neterm_1.py
*** Adding controller
*** Adding hosts
*** Adding switch
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
*** h1 : ('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25%',)
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25%',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 50', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'s/time=/g\' -e \'s/icmp_seq=/g\' > first_ping.dat')
*** Change delay
*** h1 : ('tc qdisc change dev h1-eth0 root netem delay 50ms 5ms distribution normal',)
*** h2 : ('tc qdisc change dev h2-eth0 root netem delay 50ms 5ms distribution normal',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 50', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'s/time=/g\' -e \'s/icmp_seq=/g\' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
./ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_neterm_1/distribution-delay$ geeqie ping.png
Gtk-Message: 14:05:23.890: Failed to load module "canberra-gtk-module"
Gtk-Message: 14:05:23.897: Failed to load module "pk-gtk-module"
mininet@mininet-vm:~/work/lab_neterm_1/distribution-delay$ sudo python rtt.py
min: 81.3 |max: 123.0
avg: 101.29599999999999
std: 8.007622898825588
```

Воспроизводимый эксперимент по изменению распределения времени задержки в эмулируемой глобальной сети



Выводы

В результате выполнения данной лабораторной работы я познакомилась с NETEM – инструментом для тестирования производительности приложений в виртуальной сети, а также получила навыки проведения интерактивного и воспроизводимого экспериментов по измерению задержки и её дрожания (jitter) в моделируемой сети в среде Mininet.