

# Лабораторная работа № 4

Эмуляция и измерение задержек в глобальных сетях

---

Беличева Д. М.

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

## Информация

---

- Беличева Дарья Михайловна
- студентка
- Российский университет дружбы народов
- 1032216453@pfur.ru
- <https://dmbelicheva.github.io/ru/>



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 и её дрожания (jitter) в моделируемой сети в среде Mininet.

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 добавлению/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:~$ xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:11 MIT-MAGIC-COOKIE-1 bba0fc98025a4656ec10bf5957fc1c6b
mininet@mininet-vm:~$ sudo -i
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:11 MIT-MAGIC-COOKIE-1 bba0fc98025a4656ec10bf5957fc1c6b
root@mininet-vm:~# xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:11 MIT-MAGIC-COOKIE-1 bba0fc98025a4656ec10bf5957fc1c6b
root@mininet-vm:~# logout
mininet@mininet-vm:~$
```

Рис. 1: Исправление прав запуска X-соединения

```
mininet@mininet-vm:~$ 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:11.0
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Starting CLI:
mininet> 
```



## Выполнение лабораторной работы

✖ "host: h1"@mininet-vm

```
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 42:dc:92:d3:20:d7 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 871 bytes 105988 (105.9 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 871 bytes 105988 (105.9 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet#
```

✖ "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 16:59:eb:4d:d8:3b 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 716 bytes 99280 (99.2 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 716 bytes 99280 (99.2 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet#
```

```
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=2.89 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.089 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.168 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.100 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.157 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.113 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5100ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.089/0.586/2.893/1.031 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# █

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=4.42 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.611 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.092 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.104 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.091 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.094 ms

--- 10.0.0.1 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5083ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.091/0.901/4.416/1.583 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# █
```

Рис. 4: Проверка подключения между хостами

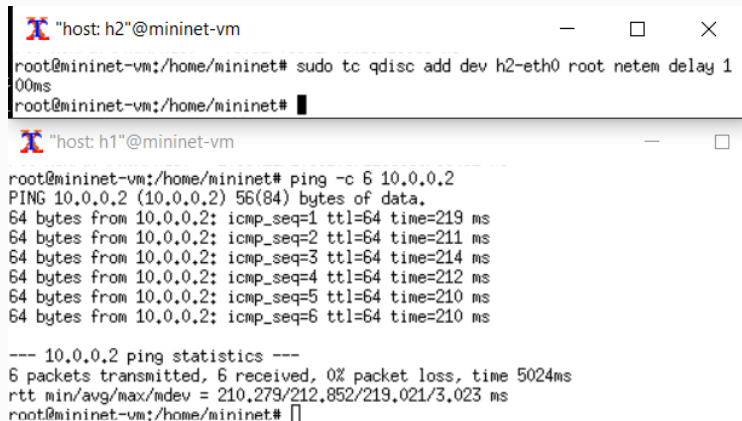
## Добавление/изменение задержки в эмулируемой глобальной сети

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms
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=116 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=107 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=106 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=107 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=107 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5038ms
rtt min/avg/max/mdev = 106.012/108.105/115.859/3.482 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 5: Добавление задержки в 100мс

## Добавление/изменение задержки в эмулируемой глобальной сети



The image shows two terminal windows. The top window, titled '"host: h2"@mininet-vm', shows a command to add a delay to the h2-eth0 interface using the 'tc' command. The bottom window, titled '"host: h1"@mininet-vm', shows a ping command being executed against 10.0.0.2, displaying individual packet response times and overall statistics.

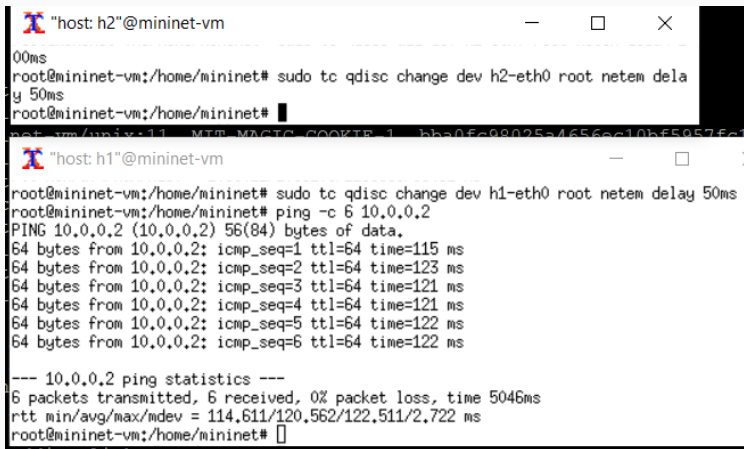
```
"host: h2"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms
root@mininet-vm:/home/mininet#

"host: h1"@mininet-vm
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=219 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=211 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=214 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=212 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=210 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=210 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5024ms
rtt min/avg/max/mdev = 210.279/212.852/219.021/3.023 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 6: Двухнаправленная задержка соединения

## Изменение задержки в эмулируемой глобальной сети



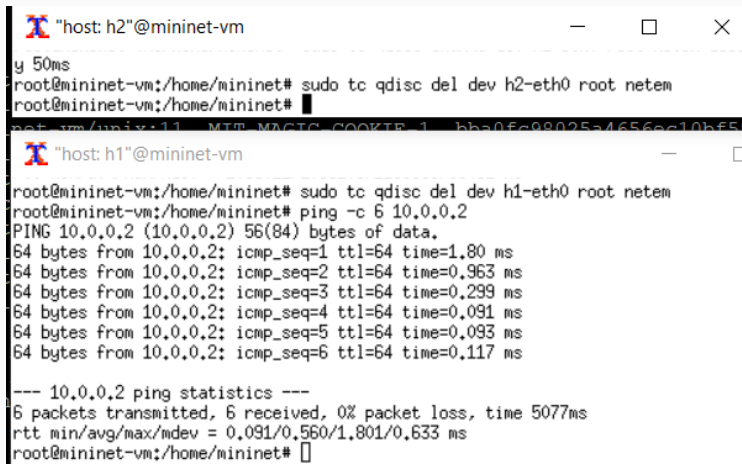
```
"host: h2"@mininet-vm
00ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc change dev h2-eth0 root netem delay 50ms
root@mininet-vm:/home/mininet#

"host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc change dev h1-eth0 root netem delay 50ms
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=115 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=123 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=121 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=121 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=122 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=122 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5046ms
rtt min/avg/max/mdev = 114.611/120.562/122.511/2.722 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 7: Изменение задержки на 50мс

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



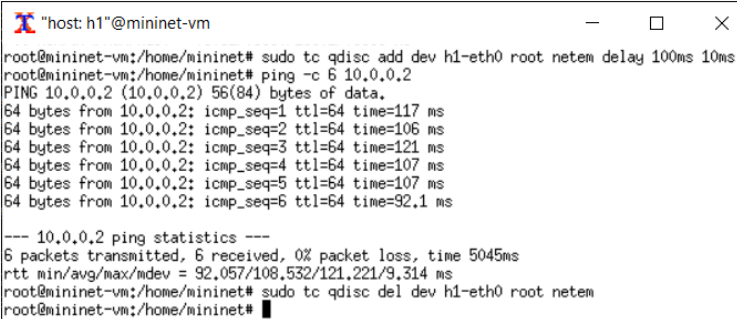
```
"host: h2"@mininet-vm
y 50ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h2-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet#

root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
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=1.80 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.963 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.299 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.091 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.093 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.117 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5077ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.091/0.560/1.801/0.633 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 8: Восстановление исходных значений задержки

## Добавление значения дрожания задержки в интерфейс подключения к эмулируемой глобальной сети

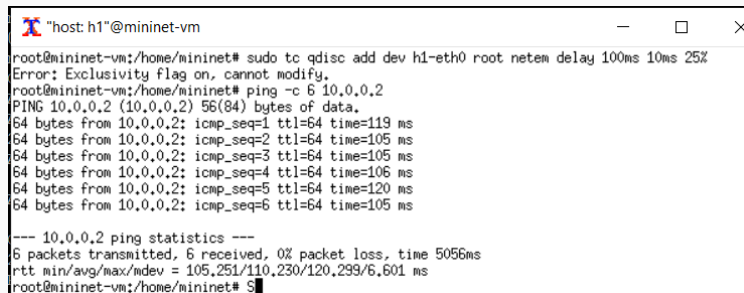


```
"host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms
root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 6 10.0.0.2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data:
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=117 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=106 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=121 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=107 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=107 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=92.1 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5045ms
rtt min/avg/max/mdev = 92.057/108.532/121.221/9.314 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 9: Добавление значения дрожания задержки в интерфейс подключения

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

A terminal window titled "host: h1"@mininet-vm. The user is root@mininet-vm:/home/mininet. They run 'sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25%', which fails with the error 'Error: Exclusivity flag on, cannot modify.' Then they run 'ping -c 6 10.0.0.2'. The output shows six successful ping requests to 10.0.0.2 with varying times (119ms to 120ms). Finally, they run 'S', which produces no visible output.

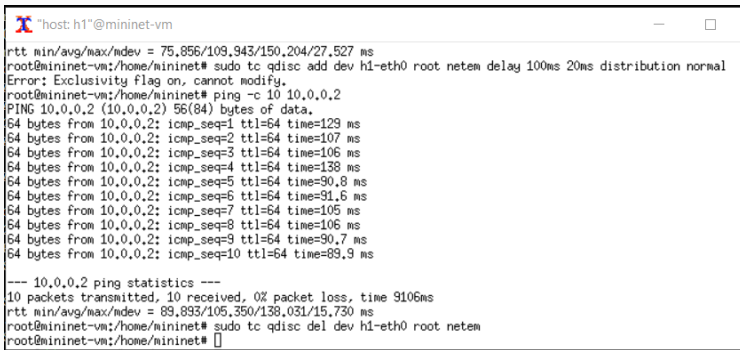
```
"host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25%
Error: Exclusivity flag on, cannot modify.
root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 6 10.0.0.2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=119 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=105 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=105 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=106 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=120 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=105 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5056ms
rtt min/avg/max/mdev = 105.251/110.230/120.299/6.601 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# S
```

Рис. 10: Добавление значения корреляции для джиттера и задержки в интерфейс подключения



# Распределение задержки в интерфейсе подключения к эмулируемой глобальной сети

A terminal window titled '"host: h1"@mininet-vm' with standard window controls. The terminal shows the execution of several commands: a command to check network statistics, a failed attempt to add a device with a normal distribution, a successful ping command to 10.0.0.2, and a command to remove the device. The ping results show 10 successful packets with varying round-trip times.

```
"host: h1"@mininet-vm
rtt min/avg/max/mdev = 75.856/109.943/150.204/27.527 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 20ms distribution normal
Error: Exclusivity flag on, cannot modify.
root@mininet-vm:/home/mininet# 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=129 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=107 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=106 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=138 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=90.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=91.6 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=105 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=106 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=90.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=89.9 ms

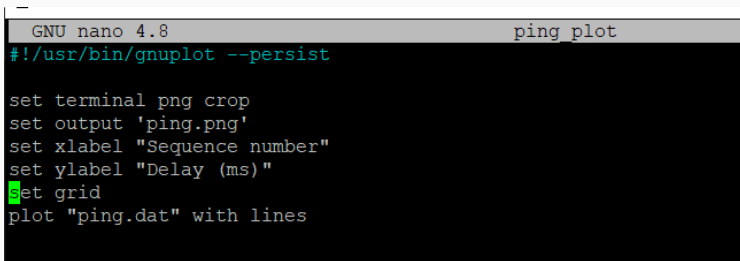
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9106ms
rtt min/avg/max/mdev = 89.893/105.350/138.031/15.730 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 11: Распределение задержки в интерфейсе подключения

## Воспроизведение экспериментов. Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

```
14 def emptyNet():
15
16     "Create an empty network and add nodes to it."
17
18     net = Mininet( controller=Controller, waitConnected=True )
19
20     info( '*** Adding controller\n' )
21     net.addController( 'c0' )
22
23     info( '*** Adding hosts\n' )
24     h1 = net.addHost( 'h1', ip='10.0.0.1' )
25     h2 = net.addHost( 'h2', ip='10.0.0.2' )
```

## Воспроизведение экспериментов. Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети



```
GNU nano 4.8                                ping_plot
#!/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. 12: скрипт для визуализации ping\_plot

## Воспроизведение экспериментов. Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

```
GNU nano 4.8                                     Makefile
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. 13: Makefile для управления процессом проведения эксперимента

# Воспроизведение экспериментов. Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

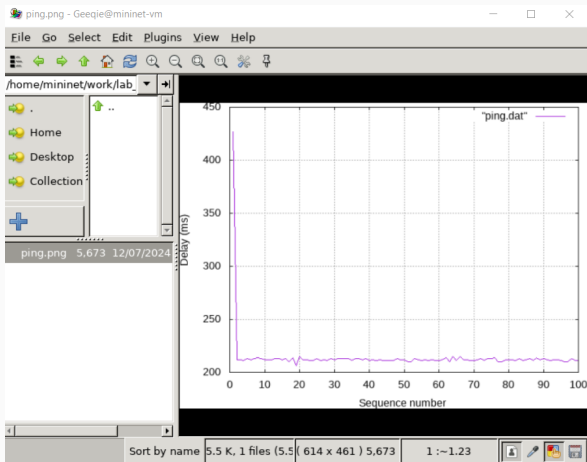


Рис. 14: результате выполнения скриптов

# Воспроизведение экспериментов. Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

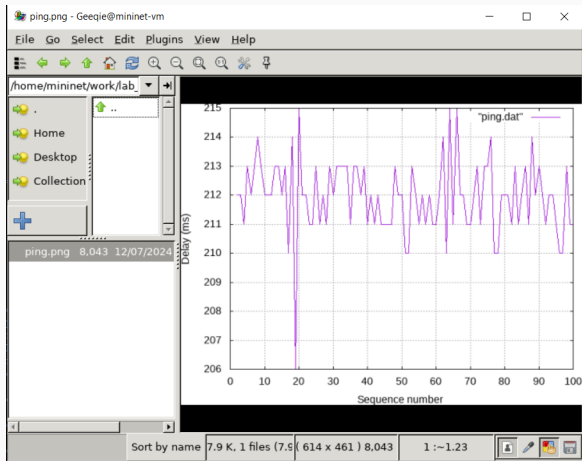
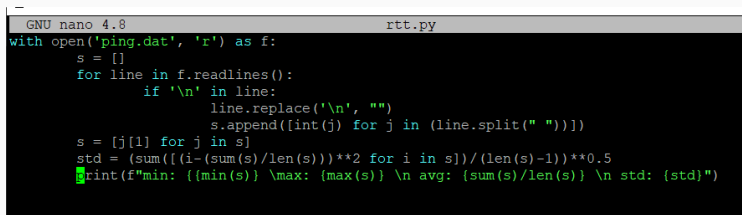


Рис. 15: результате выполнения скрипта

## Воспроизведение экспериментов. Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети



```
GNU nano 4.8                               rtt.py
with open('ping.dat', 'r') as f:
    s = []
    for line in f.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)}} \max: {{max(s)}} \n avg: {{sum(s)/len(s)}} \n std: {{std}}")
```

Рис. 16: Скрипт rtt.py

## Воспроизведение экспериментов. Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ sudo python rtt.py
min: 206
max: 215
avg: 211.93939393939394
std: 1.3000642199065626
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$
```

Рис. 17: Результат работы скрипта rtt.py



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.

1. Mininet [Электронный ресурс]. Mininet Project Contributors. URL: <http://mininet.org/> (дата обращения: 17.11.2024).