

Лабораторная работы №4

Эмуляция и измерение задержек в глобальных сетях

Кузнецова С. В.

24 октября 2025

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Информация

- Кузнецова София Вадимовна
- Российский университет дружбы народов

Цель

- 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.

Выполнение

Выполнение лабораторной работы

```
mininet@mininet-vm:~$ xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10  MIT-MAGIC-COOKIE-1  f2c4512fcecdabb350f4fe1968db2f00
mininet@mininet-vm:~$ sudo -i
root@mininet-vm:~# xauth list $DISPLAY
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 f2c4512fcecdabb35
0f4fe1968db2f00
root@mininet-vm:~# xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10  MIT-MAGIC-COOKIE-1  f2c4512fcecdabb350f4fe1968db2f00
root@mininet-vm:~# logout
```

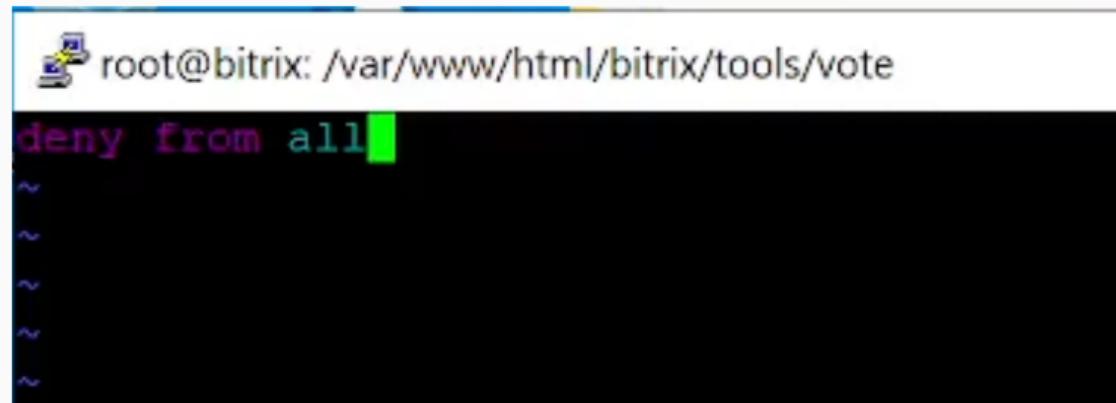
Рис. 1: Исправление прав запуска X-соединения

Выполнение лабораторной работы

```
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:10.0
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Starting CLI:
mininet> █
```

Рис. 2: Простейшая топология

Выполнение лабораторной работы



root@bitrix: /var/www/html/bitrix/tools/vote
deny from all
~
~
~
~
~

A screenshot of a terminal window titled 'root@bitrix: /var/www/html/bitrix/tools/vote'. The window contains a single line of text: 'deny from all'. The text is in white on a black background. There are five small question marks (~) at the bottom of the window.

Рис. 3: ifconfig на хостах h1 и h2

Выполнение лабораторной работы

```
root@bitrix:/var/www/html# vim password_recovery.php
root@bitrix:/var/www/html# rm password_recovery.php
root@bitrix:/var/www/html# cd /var/bitrix_backups
root@bitrix:/var/bitrix_backups# ls -al
итого 412112
drwxr-xr-x  2 root root    4096 дек 11  2023 .
drwxr-xr-x 16 root root    4096 дек 11  2023 ..
-rw-r--r--  1 root root 420715270 сен 15  2023 Bitrix_full_backup.tar.gz
-rw-r--r--  1 root root 1270146 дек 11  2023 Bitrix_sitemanager_DB.tar.gz
root@bitrix:/var/bitrix_backups# rm -r /var/www/html/*
root@bitrix:/var/bitrix_backups# tar xvzf /var/bitrix_backups/Bitrix_full_backup.tar.gz -C /var/www/html
```

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=102 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=100 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=100 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=100 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5008ms
rtt min/avg/max/mdev = 100.145/100.721/102.378/0.785 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# █
```

Рис. 5: Добавление задержки в 100мс

Добавление/изменение задержки в эмулируемой глобальной сети

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 1  
00ms  
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=201 ms  
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=201 ms  
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=201 ms  
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=201 ms  
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=200 ms  
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=201 ms  
  
--- 10.0.0.1 ping statistics ---  
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5007ms  
rtt min/avg/max/mdev = 200.213/200.855/201.319/0.349 ms  
root@mininet-vm:/home/mininet# █
```

Рис. 6: Двунаправленная задержка соединения

Изменение задержки в эмулируемой глобальной сети

```
GNU nano 2.9.3                               /opt/wso2am-4.0.0/repository/conf/deployment.toml

[[resource.access_control]]
context = "(.*)/fileupload/(.*)"
secure = true
http_method = "all"
permissions = ["/permission/protected/"]


```

Рис. 7: Изменение задержки на 50мс

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

```
ESTAB      0          0          10.10.2.27:54822      195.239.174.11:5561
| users:(("payload.elf",pid=4108,fd=3))
ESTAB      0          0          10.10.2.27:60956      10.10.2.27:amqp
| users:(("java",pid=771,fd=515))
ESTAB      0          0          10.10.2.27:amqp      10.10.2.27:60940
| users:(("java",pid=771,fd=514))
SYN-SENT   0          1          10.10.2.27:39608      195.239.174.125:puppet
| users:(("puppet",pid=4516,fd=6))
CLOSE-WAIT 1          0          10.10.2.27:9763      10.10.1.33:57438
| users:(("java",pid=771,fd=398))
ESTAB      0          0          10.10.2.27:amqp      10.10.2.27:60996
| users:(("java",pid=771,fd=580))
ESTAB      0          0          10.10.2.27:60938      10.10.2.27:amqp
| users:(("java",pid=771,fd=451))
CLOSE-WAIT 0          0          10.10.2.27:9611      10.10.2.27:40912
| users:(("java",pid=771,fd=201))
CLOSE-WAIT 0          0          10.10.2.27:9611      10.10.2.27:58064
| users:(("java",pid=771,fd=495))
user@wso2-virtual-machine:~$ sudo kill 4108
```

Рис. 8: Восстановление исходных значений задержки

Добавление значения дрожания задержки в интерфейс подключения к эмулируемой глобальной сети

```
X "host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 1
00ms 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=99.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=97.4 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=110 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=105 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=106 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=108 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5008ms
rtt min/avg/max/mdev = 97.390/104.275/109.619/4.377 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

```
X "host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 1
00ms 10ms 25%
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.
 54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=99.8 ms
 54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=108 ms
 54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=108 ms
 54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=108 ms
 54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=99.8 ms
 54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=95.6 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
5 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5008ms
rtt min/avg/max/mdev = 95.585/103.157/108.380/4.968 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# █
```

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

Распределение задержки в интерфейсе подключения к эмулируемой глобальной сети

```
X "host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 1
00ms 20ms distribution normal
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=51.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=113 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=86.4 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=120 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=72.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=77.2 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5008ms
rtt min/avg/max/mdev = 51.725/86.861/120.263/23.506 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

```
```Py
14 def emptyNet():
15
16 "Create an empty network and add nodes to it."
18 net = Mininet(controller=Controller, waitConnected=True)
20 info("*** Adding controller\n")
21 net.addController('c0')
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')
```

```

Рис. 12: Воспроизведение экспериментов.

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

```
GNU nano 4.8                               ping plot                         Modified
#!/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. 13: скрипт для визуализации ping_plot

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

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

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

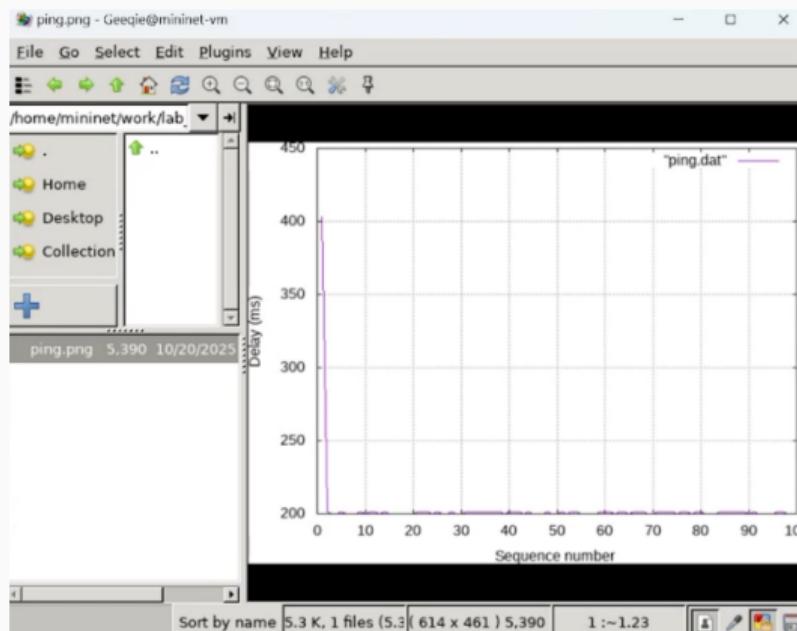


Рис. 15: результате выполнения скриптов

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

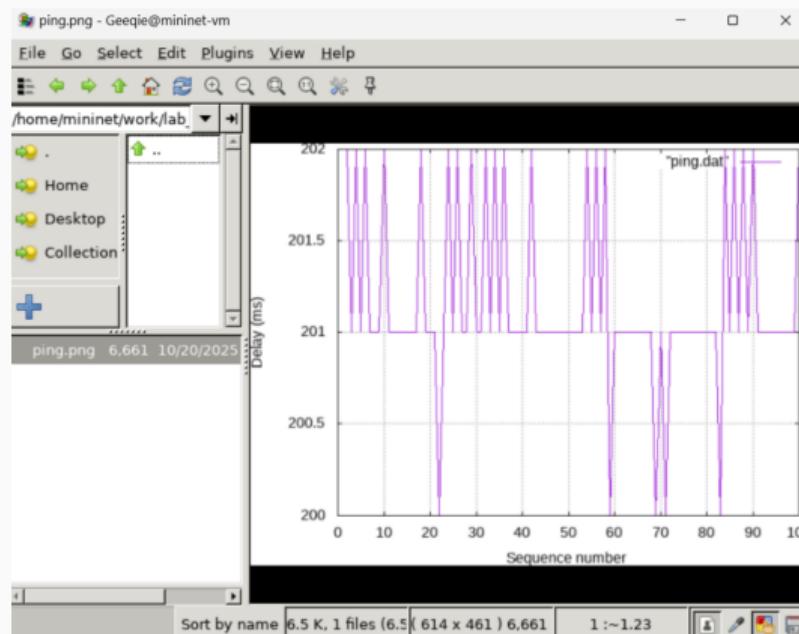


Рис. 16: результате выполнения скрипта

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

```
GNU nano 4.8                               rtt.py                         Modified
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)} \n max: {max(s)} \n avg: {sum(s)/len(s)} \n std: {std}>
```

Рис. 17: Скрипт rtt.py

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

```
GNU nano 4.8                               Makefile                                Modified
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

stats: ping.dat
    python rtt.py
    |  
clean:
    -rm -f *.dat *.png
```

Рис. 18: Добавление правила запуска скрипта в Makefile

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

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ sudo python rtt.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$
```

Рис. 19: Результат работы скрипта rtt.py

Самостоятельная работа

Самостоятельная работа

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make
sudo python lab_netem_i.py
*** Adding controller
...
*** Adding switch
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
c0
*** starting i switches
...
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
h1 i ('t0 qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 50ms',
      't0 qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 50ms')
*** Ping
h1 i ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk '{print $5, $7}' | sed
g 's/time//g' -e '/^4/cmp_seq//g' > ping.dat')
s0
stopping network*** stopping i controllers
c0
*** Stopping 2 links
...
*** Stopping i switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
./ping plot
```

Рис. 20: Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ geagle ping.png
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ geagle ping_100ms.png
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make ping_100ms.png
./plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ geagle ping_100ms.png
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make stats
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ ./ttt.py
min: 100
max: 102
avg: 100.8969859898999
std: 0.3343783733010771
```

Рис. 21: Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

Самостоятельная работа

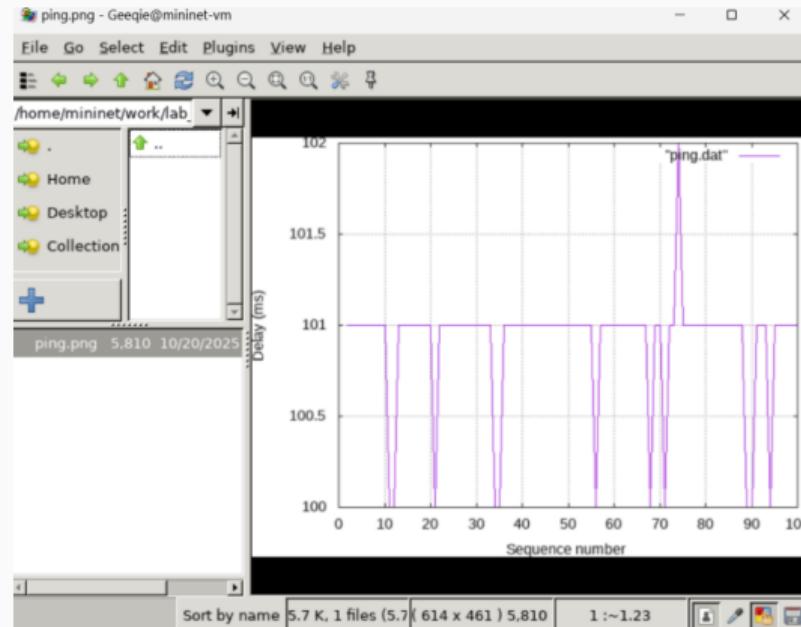


Рис. 22: Просмотр графика

Самостоятельная работа

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1/simple-delay$ make
sudo python lab_netem_i.py
*** Adding controller
*** Adding hosts
*** Adding switches
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
c0 *** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
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')
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "time" | awk \'{print $5, $7}\\' | sed
-e \'$x/time=\$/g\' -e \'$s/icmp_seq=/q\' > ping.dat')
*** h2 : ('ping -c 100', '10.0.0.1', '| grep "time" | awk \'{print $5, $7}\\' | sed
-e \'$x/time=\$/g\' -e \'$s/icmp_seq=/q\' > 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
```

Рис. 23: Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1/simple-delay$ ./ping_dat
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1/simple-delay$ ./ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1/simple-delay$ ./geagle ping.png
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1/simple-delay$ ./geagle ping.png
python rtt.py
min: 190
max: 211
avg: 201.27272727272726
std: 4.79190979734996
```

Рис. 24: Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

Самостоятельная работа

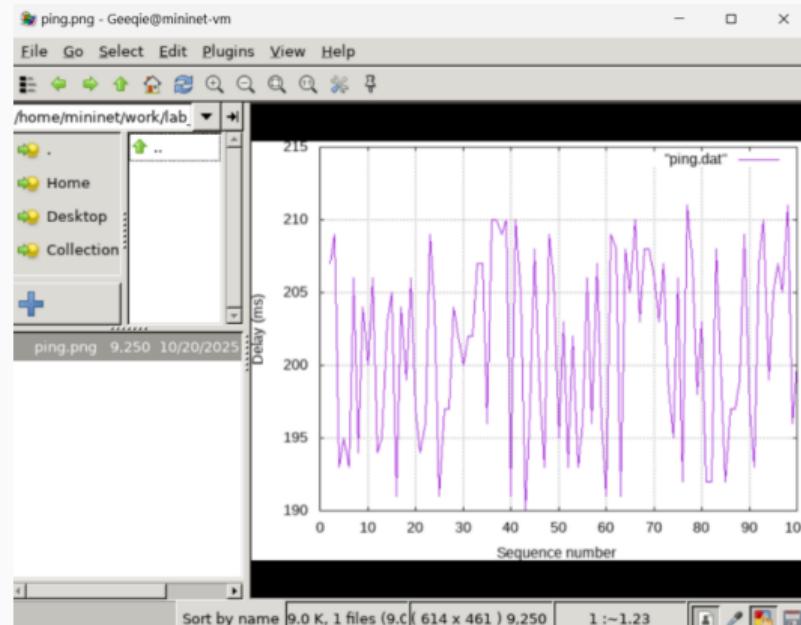


Рис. 25: Просмотр графика

Самостоятельная работа

```
mininet@mininet-vm:/work/lab_netsim_1/simple-delay$ make
sudo python lab_netsim_1.py
*** Adding controller
*** Adding host h1
*** Adding host h2
*** Adding switch s1
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
*** h1 : ifconfig qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 10ms 10ms 25%
*** h2 : ifconfig qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 10ms
*** Ping
*** h1 | (ping -c 100, '10.0.0.2', '| grep "time=" | awk '{print $5, $7}' | sed
-e 'S/time=/"/' -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 stat
```

Рис. 26: Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

```
mininet@mininet-vm:/work/lab_netsim_1/simple-delay$ google ping.png
mininet@mininet-vm:/work/lab_netsim_1/simple-delay$ ./simple-delay make ping.png
./ping plot
mininet@mininet-vm:/work/lab_netsim_1/simple-delay$ google ping.png
mininet@mininet-vm:/work/lab_netsim_1/simple-delay$ make stats
./stats.py
min: 191
max: 211
avg: 200.64446446446464
std: 3.738009514761444
```

Рис. 27: Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

Самостоятельная работа

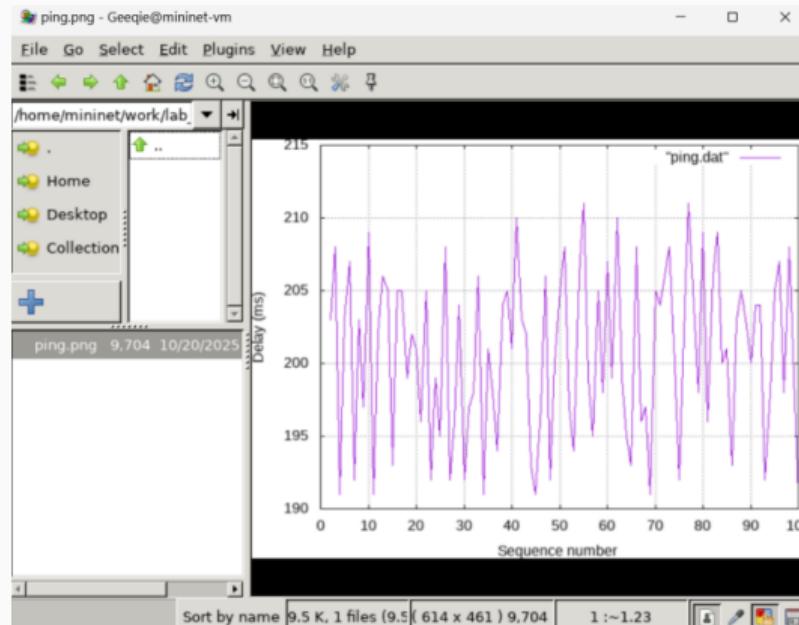


Рис. 28: Просмотр графика

Самостоятельная работа

```
mininet@mininet-vn1:/work/lab_netem_1/simple-delay$ make
sudo python lab_setem_1.py
*** Adding controller
*** Adding host
*** Adding switch
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
*** h1 : ('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25% distribution normal')
*** 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
    \':/s/time=/g\' | \':/s/ping_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
```

Рис. 29: Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

```
mininet@mininet-vn1:/work/lab_netem_1/simple-delay$ nano ping.dat
mininet@mininet-vn1:/work/lab_netem_1/simple-delay$ make ping.png
./ping_plot
mininet@mininet-vn1:/work/lab_netem_1/simple-delay$ gqueue ping.png
mininet@mininet-vn1:/work/lab_netem_1/simple-delay$ make stats
./plot.py
max: 174
maxi: 225
avg: 159.62820262828282
std: 16.4303316376153
```

Рис. 30: Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

Самостоятельная работа

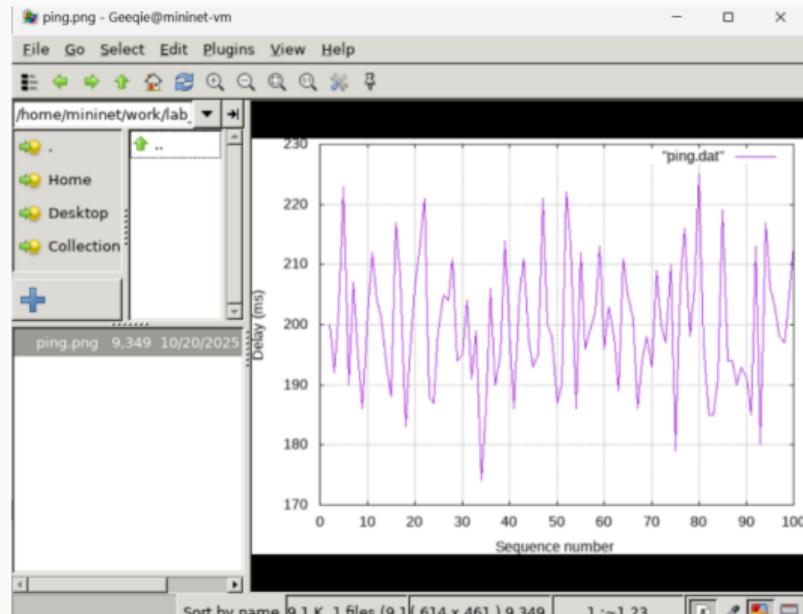


Рис. 31: Просмотр графика

Вывод

Вывод

- 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.

Спасибо за внимание!