

Лабораторная работа № 4. Эмуляция и измерение задержек в глобальных сетях

Моделирование сетей передачи данных

Демидова Е. А.

17 ноября 2024

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Информация

- Демидова Екатерина Алексеевна
- студентка группы НКНбд-01-21
- Российский университет дружбы народов
- <https://github.com/eademidova>



Введение

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

Задачи

1. Задайте простейшую топологию.
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. Постройте график.

Выполнение лабораторной работы

Запуск лабораторной топологии

```
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: После введения этой команды запуск
mininet:
ether 06:fd:b5:75:86:66 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 1111 bytes 572600 (572.6 KB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 1111 bytes 572600 (572.6 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

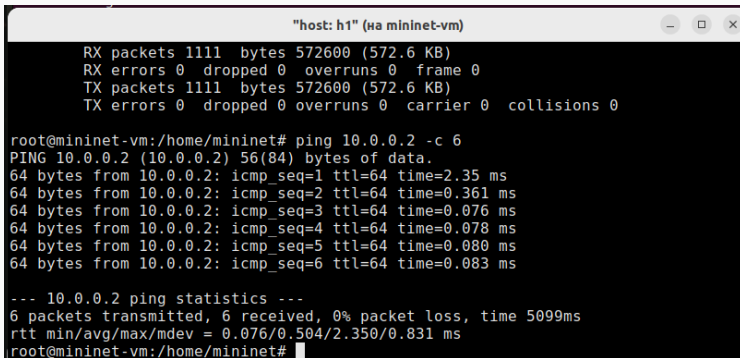
root@mininet-vm:/home/mininet#

root@mininet-vm:/home/mininet# ifconfig
h2-eth0: flags=163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
inet 10.0.0.2 netmask 255.0.0.0 broadcast 10.255.255.255
ether ca:95:59:d9:2f:34 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 791 bytes 545596 (545.5 KB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 791 bytes 545596 (545.5 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

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

Рис. 1: Простейшая сеть



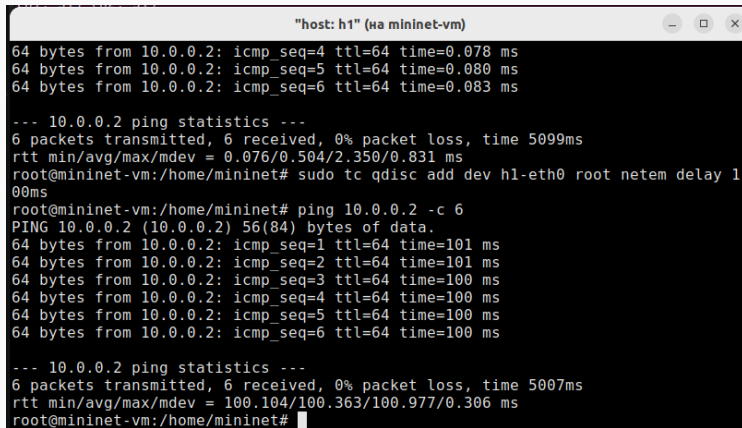
```
"host: h1" (на mininet-vm)
RX packets 1111 bytes 572600 (572.6 KB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 1111 bytes 572600 (572.6 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 6
PING 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=2.35 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.361 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.076 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.078 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=0.083 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5099ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.076/0.504/2.350/0.831 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 2: Проверка подключения

Добавление/изменение задержки в эмулируемой глобальной сети



```
"host: h1" (на mininet-vm)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.078 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=0.083 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5099ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.076/0.504/2.350/0.831 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms
root@mininet-vm:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 6
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=101 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 5007ms
rtt min/avg/max/mdev = 100.104/100.363/100.977/0.306 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 3: Изменение задержки на хосте h1

Добавление/изменение задержки в эмулируемой глобальной сети

```
"host: h1" (via mininet-vn)
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 5007ms
rtt min/avg/max/mdev = 100.104/100.363/100.977/0.386 ms
root@mininet-vn:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 6\
> ^C
root@mininet-vn:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 6\
> ^C
root@mininet-vn:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 6
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=201 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=201 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=200 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=200 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=200 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 = 200.203/200.564/201.179/0.358 ms
root@mininet-vn:/home/mininet#

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 ca:95:59:09:2f:34 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 791 bytes 545596 (545.5 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 791 bytes 545596 (545.5 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vn:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 1
80ms
root@mininet-vn:/home/mininet#
```

Рис. 4: Задержка на обоих хостах

Изменение задержки в эмулируемой глобальной сети

```
"host: h1" (ns mininet-vm)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=200 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=200 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 = 200.203/200.564/201.179/0.358 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc change dev h1-eth0 root netem dela
y 50ms
root@mininet-vm:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 6
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=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 5007ms
rtt min/avg/max/mdev = 100.148/100.745/102.727/0.912 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#

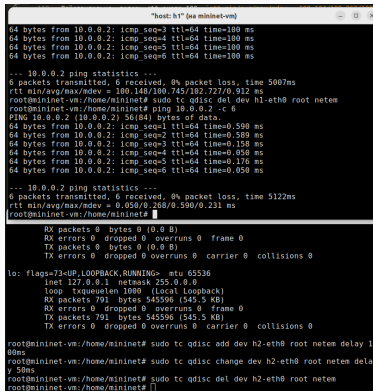
ether ca:95:59:d9:2f:34 txqueuelen 1000 (Ethernet)
RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

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 791 bytes 545596 (545.5 KB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 791 bytes 545596 (545.5 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 1
00ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc change dev h2-eth0 root netem dela
y 50ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 5: Изменение задержки

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



```
host: h1" (na mininet-vn)
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 5007ms
rtt min/avg/max/mdev = 100.148/100.745/102.727/0.912 ms
root@mininet-vn:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vn:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 6
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=0.590 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.589 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.158 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.050 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.176 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.050 ms

... 10.0.0.2 ping statistics ...
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5122ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.050/0.268/0.590/0.231 ms
root@mininet-vn:/home/mininet#

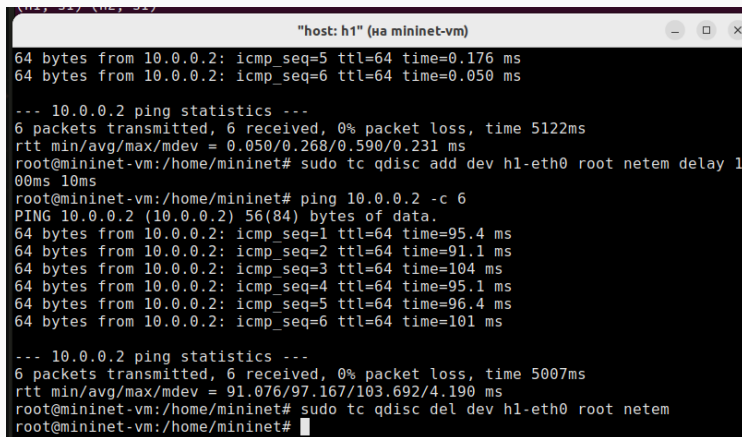
RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

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 791 bytes 545596 (545.5 KB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 791 bytes 545596 (545.5 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vn:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 1
80ms
root@mininet-vn:/home/mininet# sudo tc qdisc change dev h2-eth0 root netem dela
y 50ms
root@mininet-vn:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h2-eth0 root netem
root@mininet-vn:/home/mininet#
```

Рис. 6: Восстановление исходных значений (удаление правил) задержки

Добавление значения дрожания задержки в интерфейс подключения к эмулируемой глобальной сети



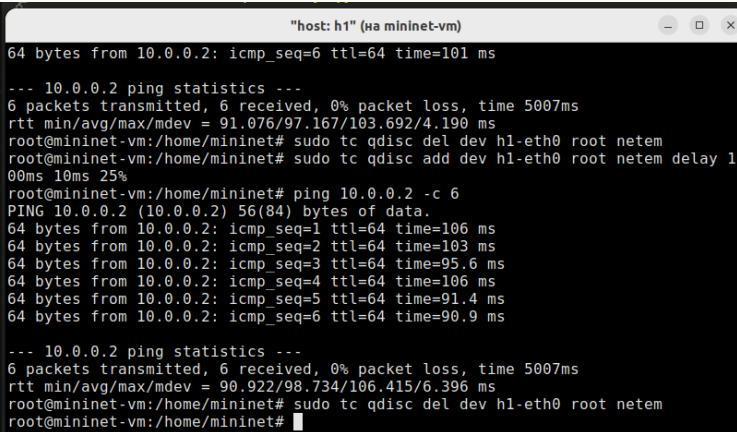
```
host: h1" (на mininet-vm)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.176 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.050 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5122ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.050/0.268/0.590/0.231 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms
root@mininet-vm:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 6
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=95.4 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=91.1 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=104 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=95.1 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=96.4 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 5007ms
rtt min/avg/max/mdev = 91.076/97.167/103.692/4.190 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 7: Добавление значения дрожания задержки в интерфейс

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



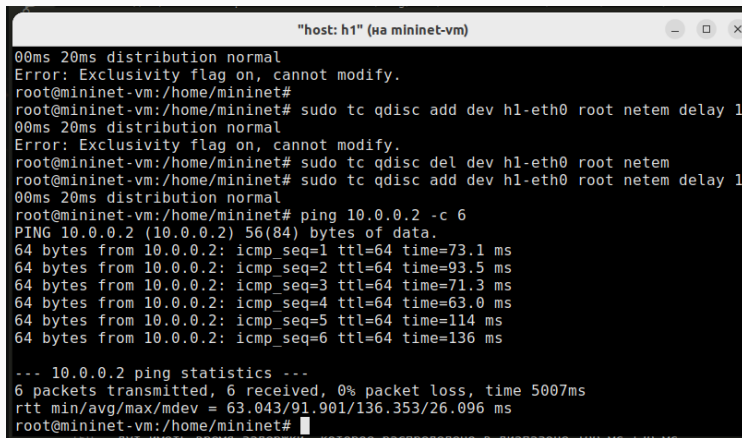
```
host: h1" (на mininet-vm)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=101 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5007ms
rtt min/avg/max/mdev = 91.076/97.167/103.692/4.190 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
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 10.0.0.2 -c 6
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=106 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=103 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=95.6 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=91.4 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=90.9 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5007ms
rtt min/avg/max/mdev = 90.922/98.734/106.415/6.396 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 8: Добавление значения корреляции для джиттера и задержки

Распределение задержки в интерфейсе подключения к эмулируемой глобальной сети



```
00ms 20ms distribution normal
Error: Exclusivity flag on, cannot modify.
root@mininet-vm:/home/mininet#
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 1
00ms 20ms distribution normal
Error: Exclusivity flag on, cannot modify.
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
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 10.0.0.2 -c 6
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=73.1 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=93.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=71.3 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=63.0 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=114 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=136 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5007ms
rtt min/avg/max/mdev = 63.043/91.901/136.353/26.096 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 9: Распределение задержки в интерфейсе подключения к эмулируемой глобальной сети

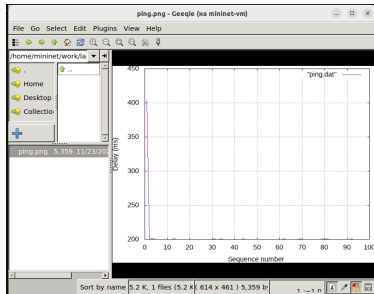


Рис. 10: Визуализация эксперимента

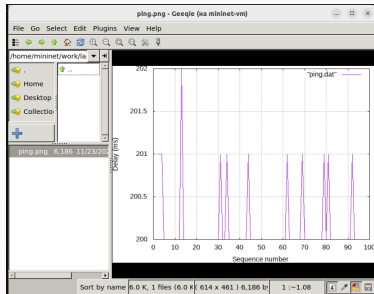
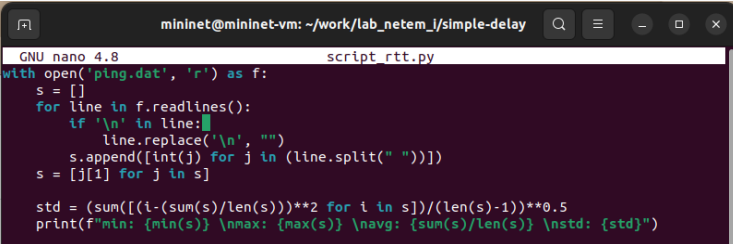


Рис. 11: Визуализация эксперимента



```
mininet@mininet-vm: ~/work/lab_netem_i/simple-delay
GNU nano 4.8 script_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)} \nmax: {max(s)} \navg: {sum(s)/len(s)} \nstd: {std}")
```

Рис. 12: Скрипт

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ nano Makefile
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make rtt
sudo python script_rtt.py
min: 200
max: 202
avg: 200.131313131314
std: 0.36829626069529314
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$
```

Рис. 13: Вывод скрипта

Выводы

В результате выполнения работы познакомились с NETEM – инструментом для тестирования производительности приложений в виртуальной сети, а также получили навыки проведения интерактивного и воспроизводимого экспериментов по измерению задержки и её дрожания (jitter) в

1. Mininet [Электронный ресурс]. Mininet Project Contributors. URL: <http://mininet.org/> (дата обращения: 11.12.2024).