

Лабораторная работа №4

Моделирование сетей передачи данных

Амуничников Антон Игоревич

2025-10-21

1. Информация
2. Вводная часть
3. Выполнение лабораторной работы
4. Интерактивные эксперименты
5. Воспроизведение экспериментов

1. Информация

1.1 Докладчик

- Амуничников Антон Игоревич

1.1 Докладчик

- Амуничников Антон Игоревич
- Группа: НПИбд-01-22

1.1 Докладчик

- Амуничников Антон Игоревич
- Группа: НПИбд-01-22
- Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы

1.1 Докладчик

- Амуничников Антон Игоревич
- Группа: НПИбд-01-22
- Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы
- 1132227133@pfur.ru

2. Вводная часть

2.1 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.

2.2 Задание

1. Задайте простейшую топологию, состоящую из двух хостов и коммутатора с назначенной по умолчанию mininet сетью 10.0.0.0/8.

2.2 Задание

1. Задайте простейшую топологию, состоящую из двух хостов и коммутатора с назначенной по умолчанию mininet сетью 10.0.0.0/8.
2. Проведите интерактивные эксперименты по добавлению/изменению задержки, джиттера, значения корреляции для джиттера и задержки, распределения времени задержки в эмулируемой глобальной сети.

2.2 Задание

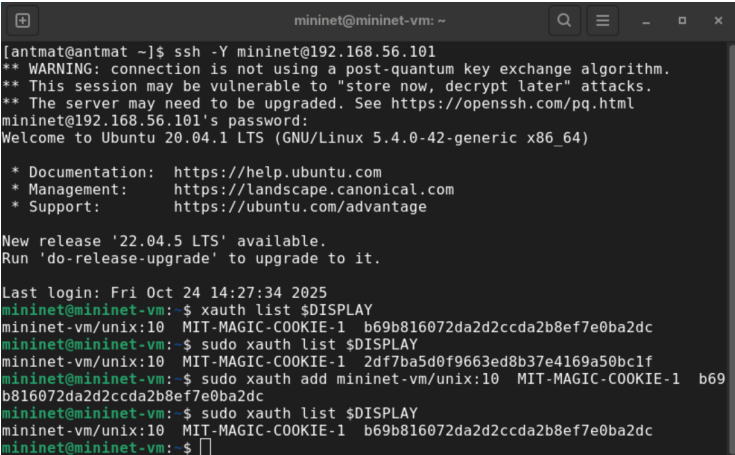
1. Задайте простейшую топологию, состоящую из двух хостов и коммутатора с назначенной по умолчанию mininet сетью 10.0.0.0/8.
2. Проведите интерактивные эксперименты по добавлению/изменению задержки, джиттера, значения корреляции для джиттера и задержки, распределения времени задержки в эмулируемой глобальной сети.
3. Реализуйте воспроизводимый эксперимент по заданию значения задержки в эмулируемой глобальной сети. Постройте график.

2.2 Задание

1. Задайте простейшую топологию, состоящую из двух хостов и коммутатора с назначенной по умолчанию mininet сетью 10.0.0.0/8.
2. Проведите интерактивные эксперименты по 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.

3. Выполнение лабораторной работы

3.1 Запуск лабораторной топологии

A terminal window titled 'mininet@mininet-vm: ~' with search, menu, and window control icons. It shows an SSH session from 'antmat@antmat' to 'mininet@192.168.56.101'. The terminal displays a warning about the post-quantum key exchange algorithm, the Ubuntu 20.04.1 LTS login banner, and a list of links for documentation, management, and support. It then shows a message about a new release '22.04.5 LTS' and a command to upgrade. Finally, it shows the execution of 'xauth' commands to list and add an MIT-MAGIC-COOKIE entry for the 'mininet-vm/unix:10' user, and then lists the entries again.

```
mininet@mininet-vm: ~
[antmat@antmat ~]$ ssh -Y mininet@192.168.56.101
** WARNING: connection is not using a post-quantum key exchange algorithm.
** This session may be vulnerable to "store now, decrypt later" attacks.
** The server may need to be upgraded. See https://openssh.com/pq.html
mininet@192.168.56.101's password:
Welcome to Ubuntu 20.04.1 LTS (GNU/Linux 5.4.0-42-generic x86_64)

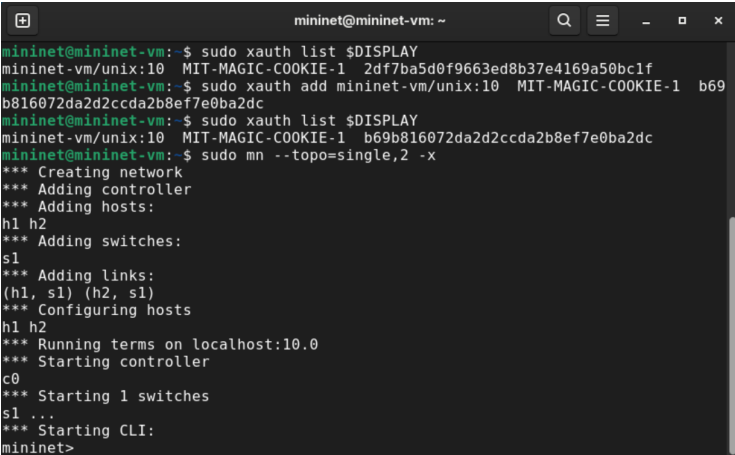
 * Documentation:  https://help.ubuntu.com
 * Management:    https://landscape.canonical.com
 * Support:       https://ubuntu.com/advantage

New release '22.04.5 LTS' available.
Run 'do-release-upgrade' to upgrade to it.

Last login: Fri Oct 24 14:27:34 2025
mininet@mininet-vm:~$ xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10  MIT-MAGIC-COOKIE-1  b69b816072da2d2ccda2b8ef7e0ba2dc
mininet@mininet-vm:~$ sudo xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10  MIT-MAGIC-COOKIE-1  2df7ba5d0f9663ed8b37e4169a50bc1f
mininet@mininet-vm:~$ sudo xauth add mininet-vm/unix:10  MIT-MAGIC-COOKIE-1  b69
b816072da2d2ccda2b8ef7e0ba2dc
mininet@mininet-vm:~$ sudo xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10  MIT-MAGIC-COOKIE-1  b69b816072da2d2ccda2b8ef7e0ba2dc
mininet@mininet-vm:~$
```

Рисунок 1: Исправление прав запуска X-соединения

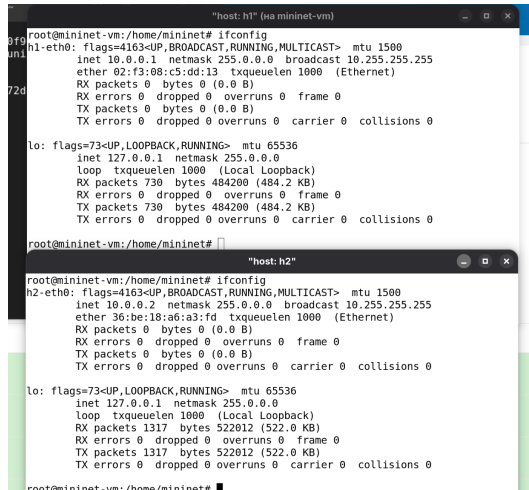
3.2 Запуск лабораторной топологии

A screenshot of a terminal window titled "mininet@mininet-vm: ~". The terminal shows a series of commands and their outputs for setting up a network topology. The commands include listing and adding xauth entries, creating a network, adding hosts (h1, h2), switches (s1), and links, configuring hosts, running terms on localhost:10.0, starting the controller (c0), starting switches (s1), and starting the CLI. The prompt "mininet>" is visible at the bottom.

```
mininet@mininet-vm:~$ sudo xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 2df7ba5d0f9663ed8b37e4169a50bc1f
mininet@mininet-vm:~$ sudo xauth add mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 b69
b816072da2d2ccda2b8ef7e0ba2dc
mininet@mininet-vm:~$ sudo xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 b69b816072da2d2ccda2b8ef7e0ba2dc
mininet@mininet-vm:~$ 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>
```

Рисунок 2: Простейшая топология

3.3 Запуск лабораторной топологии



The image displays two terminal windows from a Mininet VM. The top window, titled "host: h1", shows the output of the `ifconfig` command for host h1. It details the configuration for the `h1-eth0` interface (IP 10.0.0.1, MTU 1500) and the loopback interface `lo` (IP 127.0.0.1, MTU 65536). The bottom window, titled "host: h2", shows the output of `ifconfig` for host h2, detailing the `h2-eth0` interface (IP 10.0.0.2, MTU 1500) and the loopback interface `lo` (IP 127.0.0.1, MTU 65536). Both interfaces show zero errors and collisions.

```
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 02:f3:08:c5:dd:13 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 730 bytes 484200 (484.2 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 730 bytes 484200 (484.2 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet#

"host: h2"

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 36:be:18:a6:a3:fd 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 1317 bytes 522012 (522.0 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 1317 bytes 522012 (522.0 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

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

Рисунок 3: ifconfig на хостах h1 и h2

3.4 Запуск лабораторной топологии

```
root@mininet-vn:/home/mininet# ping -c 6 10.0.0.2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
1: 64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=1.80 ms
OK: 64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.207 ms
ad: 64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.042 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.063 ms
1: 64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.041 ms
OK: 64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.041 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5095ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.041/0.365/1.797/0.643 ms
root@mininet-vn:/home/mininet#

"host: h2"
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 1317 bytes 522012 (522.0 KB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 1317 bytes 522012 (522.0 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

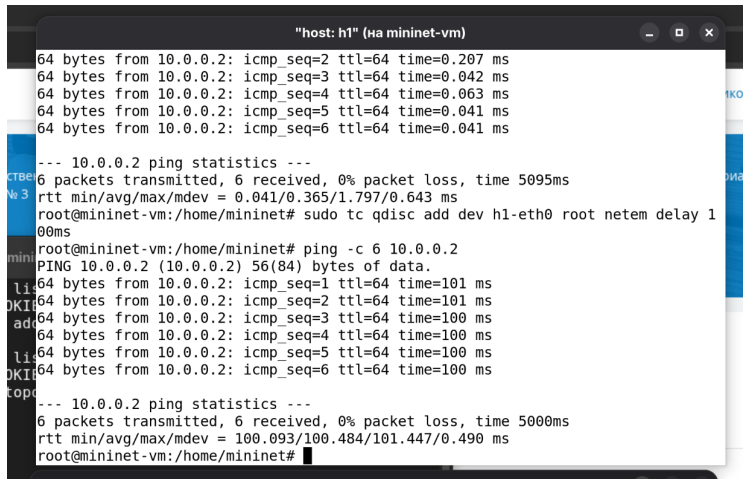
root@mininet-vn:/home/mininet# ping -c 6 10.0.0.1
PING 10.0.0.1 (10.0.0.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=2.19 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.069 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.039 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.047 ms

--- 10.0.0.1 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5083ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.039/0.406/2.191/0.797 ms
root@mininet-vn:/home/mininet#
```

Рисунок 4: Проверка подключения между хостами

4. Интерактивные эксперименты

4.1 Добавление/изменение задержки в эмулируемой глобальной сети



```
"host: h1" (на mininet-vm)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.207 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.042 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.063 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.041 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5095ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.041/0.365/1.797/0.643 ms
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=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 5000ms
rtt min/avg/max/mdev = 100.093/100.484/101.447/0.490 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рисунок 5: Добавление задержки в 100мс

4.2 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=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 5000ms
rtt min/avg/max/mdev = 100.093/100.484/101.447/0.490 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 1
00ms
Cannot find device "h2-eth0"
root@mininet-vm:/home/mininet# ^C
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=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=200 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5006ms
rtt min/avg/max/mdev = 200.140/200.363/200.931/0.287 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#

"host: h2"

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 1317 bytes 522012 (522.0 KB)
        RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
        TX packets 1317 bytes 522012 (522.0 KB)
        TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 6 10.0.0.1
PING 10.0.0.1 (10.0.0.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=2.19 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.069 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.039 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.047 ms

--- 10.0.0.1 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5083ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.039/0.406/2.191/0.797 ms
```

4.3 Изменение задержки в эмулируемой глобальной сети

```
"host: h1" (на mininet-vm)
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=151 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=151 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=150 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=150 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=150 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=150 ms
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5005ms
rtt min/avg/max/mdev = 150.132/150.341/150.887/0.276 ms
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=100 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=100 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 5005ms
rtt min/avg/max/mdev = 100.134/100.228/100.443/0.108 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#

"host: h2"
RX packets 1317 bytes 522012 (522.0 KB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 1317 bytes 522012 (522.0 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 6 10.0.0.1
PING 10.0.0.1 (10.0.0.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=2.19 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.069 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.039 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.047 ms
--- 10.0.0.1 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5083ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.039/0.406/2.191/0.797 ms
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 100ms
```

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

```
"host: h1" (на mininet-vm)
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=100 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 5005ms
rtt min/avg/max/mdev = 100.134/100.228/100.443/0.108 ms
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=1.61 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.419 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.154 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.058 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.053 ms

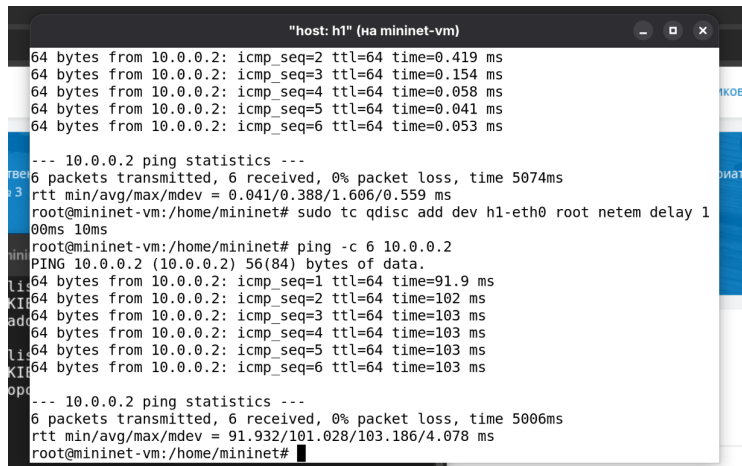
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5074ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.041/0.388/1.606/0.559 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#

"host: h2"
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 1317 bytes 522012 (522.0 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 6 10.0.0.1
PING 10.0.0.1 (10.0.0.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=2.19 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.069 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.039 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.047 ms

--- 10.0.0.1 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5083ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.039/0.406/2.191/0.797 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 1
```

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



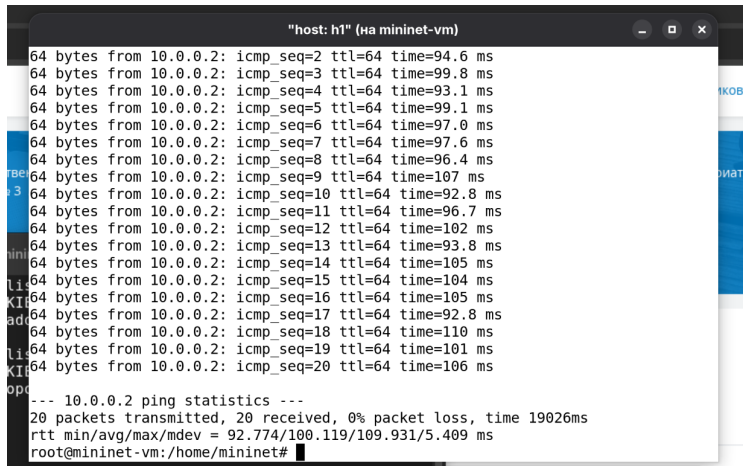
```
"host: h1" (на mininet-vm)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.419 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.154 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.058 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.053 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5074ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.041/0.388/1.606/0.559 ms
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=91.9 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=103 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=103 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=103 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5006ms
rtt min/avg/max/mdev = 91.932/101.028/103.186/4.078 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рисунок 9: Добавление значения дрожания задержки в интерфейс подключения

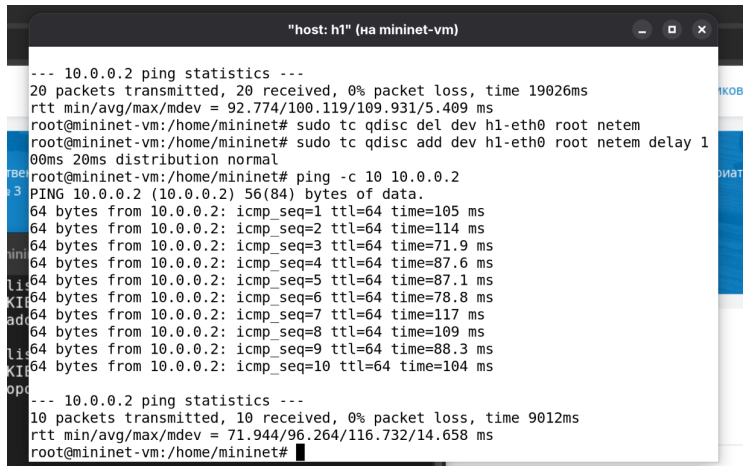
4.6 Добавление значения корреляции для джиттера и задержки в интерфейс подключения к эмулируемой глобальной сети

A screenshot of a terminal window titled '"host: h1" (на mininet-vm)'. The terminal displays the output of a series of 20 ping commands to the IP address 10.0.0.2. Each line shows '64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=X ttl=64 time=Y ms', where X ranges from 2 to 20 and Y represents the round-trip time in milliseconds. The times vary slightly, ranging from approximately 92.7 ms to 107 ms. At the bottom of the terminal, the command '--- 10.0.0.2 ping statistics ---' is followed by a summary: '20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19026ms', and 'rtt min/avg/max/mdev = 92.774/100.119/109.931/5.409 ms'. The prompt 'root@mininet-vm:/home/mininet#' is visible at the very bottom.

```
"host: h1" (на mininet-vm)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=94.6 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=99.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=93.1 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=99.1 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=97.0 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=97.6 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=96.4 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=107 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=92.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=96.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=102 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=93.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=105 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=104 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=105 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=92.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=110 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=101 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=106 ms
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19026ms
rtt min/avg/max/mdev = 92.774/100.119/109.931/5.409 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

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

4.7 Распределение задержки в интерфейсе подключения к эмулируемой глобальной сети

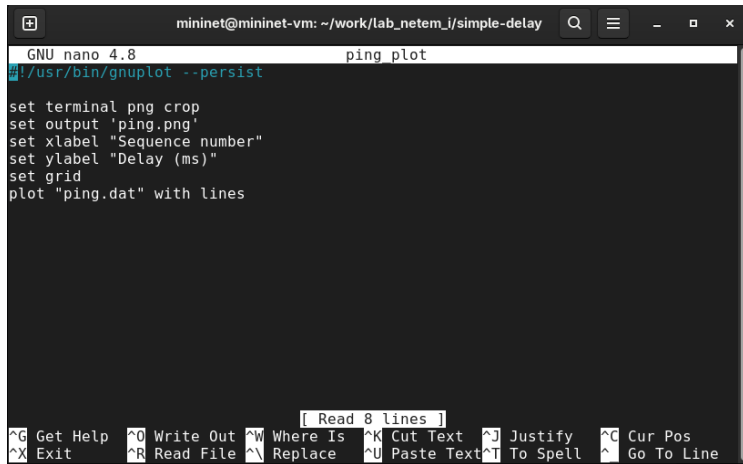


```
"host: h1" (на mininet-vm)
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19026ms
rtt min/avg/max/mdev = 92.774/100.119/109.931/5.409 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 1
00ms 20ms distribution normal
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=105 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=114 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=71.9 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=87.6 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=87.1 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=78.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=117 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=109 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=88.3 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=104 ms
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9012ms
rtt min/avg/max/mdev = 71.944/96.264/116.732/14.658 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рисунок 11: Распределение задержки в интерфейсе подключения

5. Воспроизведение экспериментов

5.1 Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети



```
mininet@mininet-vm: ~/work/lab_netem_i/simple-delay
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
```

[Read 8 lines]

^G Get Help	^O Write Out	^W Where Is	^K Cut Text	^J Justify	^C Cur Pos
^X Exit	^R Read File	^_ Replace	^U Paste Text	^T To Spell	^_ Go To Line

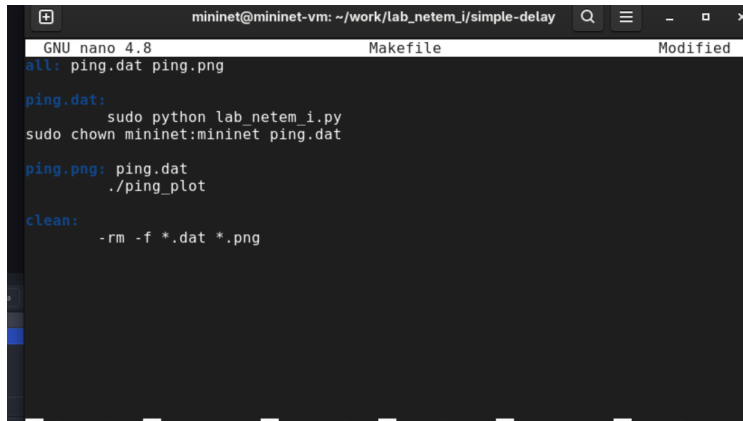
Рисунок 12: Скрипт для визуализации ping_plot

5.2 Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ touch lab_netem).i.py
-bash: syntax error near unexpected token `)'
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$ nano lab_netem_i.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ touch ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ nano ping_plot
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$ nano Makefile
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ nano ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make
```

Рисунок 13: Создание каталогов, права к файлу скрипта

5.3 Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

A screenshot of a terminal window with a dark background. The title bar at the top shows 'mininet@mininet-vm: ~/work/lab_netem_i/simple-delay'. The terminal displays the GNU nano 4.8 editor editing a file named 'Makefile'. The content of the Makefile is as follows:

```
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
```

Рисунок 14: Makefile для управления процессом проведения эксперимента

5.4 Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

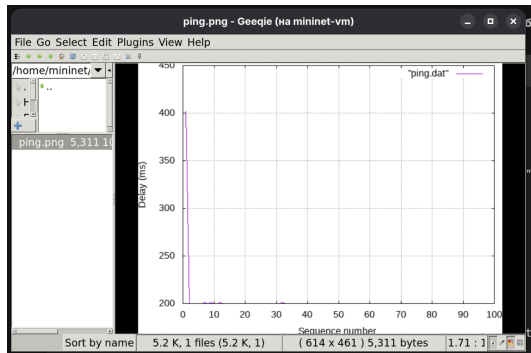


Рисунок 15: Результат выполнения скрипта

5.5 Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

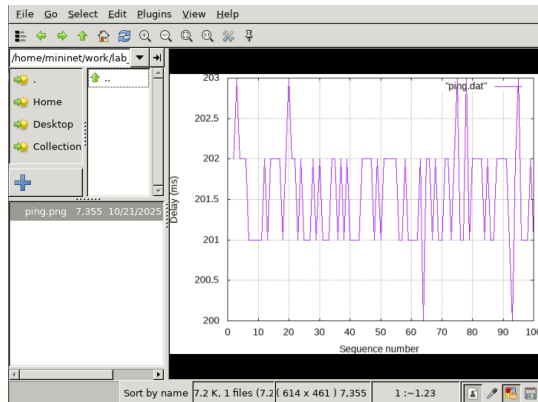
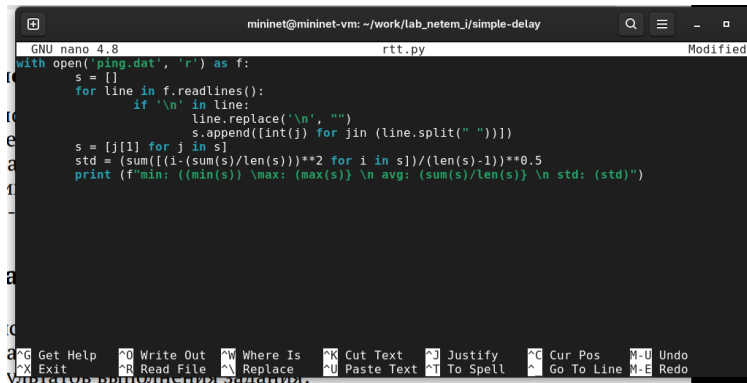


Рисунок 16: Результат выполнения скрипта

5.6 Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

- Разработаем скрипт для вычисления на основе данных файла ping.dat минимального, среднего, максимального и стандартного отклонения времени приёма-передачи.



The screenshot shows a terminal window with the title bar "mininet@mininet-vm: ~/work/lab_netem_i/simple-delay". The window contains a nano 4.8 editor editing a file named "rtt.py". The script is a Python program that reads data from "ping.dat", processes it to calculate statistics, and prints the results. The code is as follows:

```
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))} \max: {(max(s))} \n avg: {(sum(s)/len(s))} \n std: {(std)}")
```

At the bottom of the terminal, there is a status bar with various keyboard shortcuts for nano editor operations:

```
^G Get Help  ^O Write Out  ^W Where Is  ^K Cut Text  ^J Justify   ^C Cur Pos   M-U Undo
^X Exit      ^R Read File  ^\ Replace   ^U Paste Text ^T To Spell  ^_ Go To Line M-E Redo
```

5.7 Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make rtt
sudo python rtt.py
min: 200
max: 203
avg: 201.56565656565655
std: 0.6253426189325271
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$
```

Рисунок 18: Результат работы скрипта rtt.py

5.8 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
```

[Read 11 lines]

^G Get Help	^O Write Out	^W Where Is	^K Cut Text	^J Justify	^C Cur Pos	M-U Undo
^X Exit	^R Read File	^_\ Replace	^U Paste Text	^T To Spell	^_ Go To Line	M-E Redo

4. Проверка Makefile:

Рисунок 19: Добавление правила запуска скрипта в Makefile

5.9 Выводы

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