

РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ

Факультет физико-математических и естественных наук

Кафедра прикладной информатики и теории вероятностей

ОТЧЕТ

ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 4

дисциплина: Моделирование сетей передачи данных

Студент: Абрамян А. А.

Группа: НПИбд-01-20

МОСКВА

2023 г.

Цель работы

Целью данной 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.

Описание процесса выполнения работы

Постановка задачи

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.

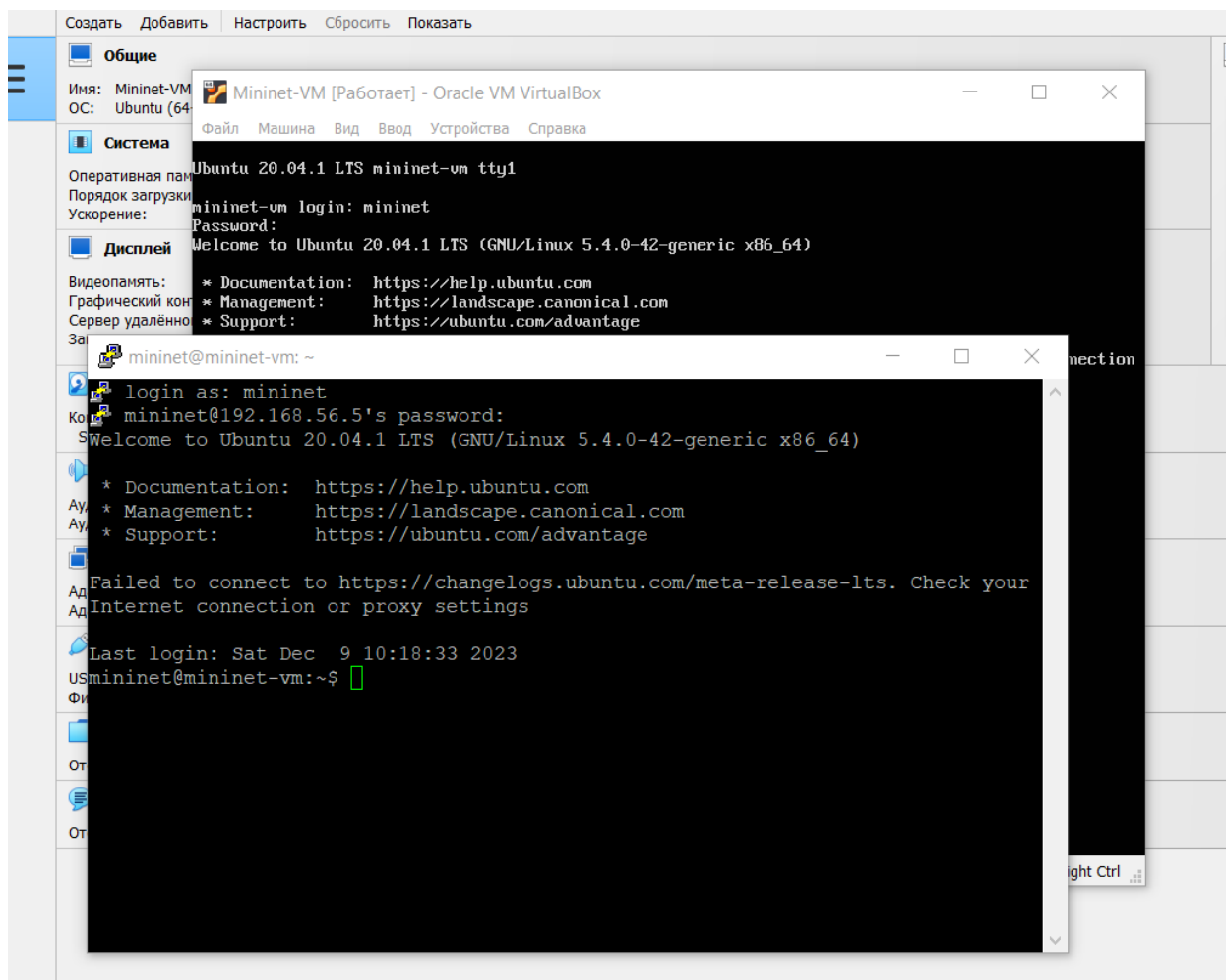
Порядок выполнения работы

Запуск лабораторной топологии

Запустите виртуальную среду с mininet.

Из основной ОС подключитесь к виртуальной машине:

```
ssh -Y mininet@192.168.x.y
```



В виртуальной машине mininet при необходимости исправьте права запуска X-соединения. Скопируйте значение куки (MIT magic cookie)¹ своего пользователя mininet в файл для пользователя root:

```
mininet@mininet-vm:~$ xauth list $DISPLAY
```

```
mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1
295acad8e35d17636924c5ab80e8462d
```

```
mininet@mininet-vm:~$ sudo -i
```

```
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1
295acad8e35d17636924c5ab80e8462d
```

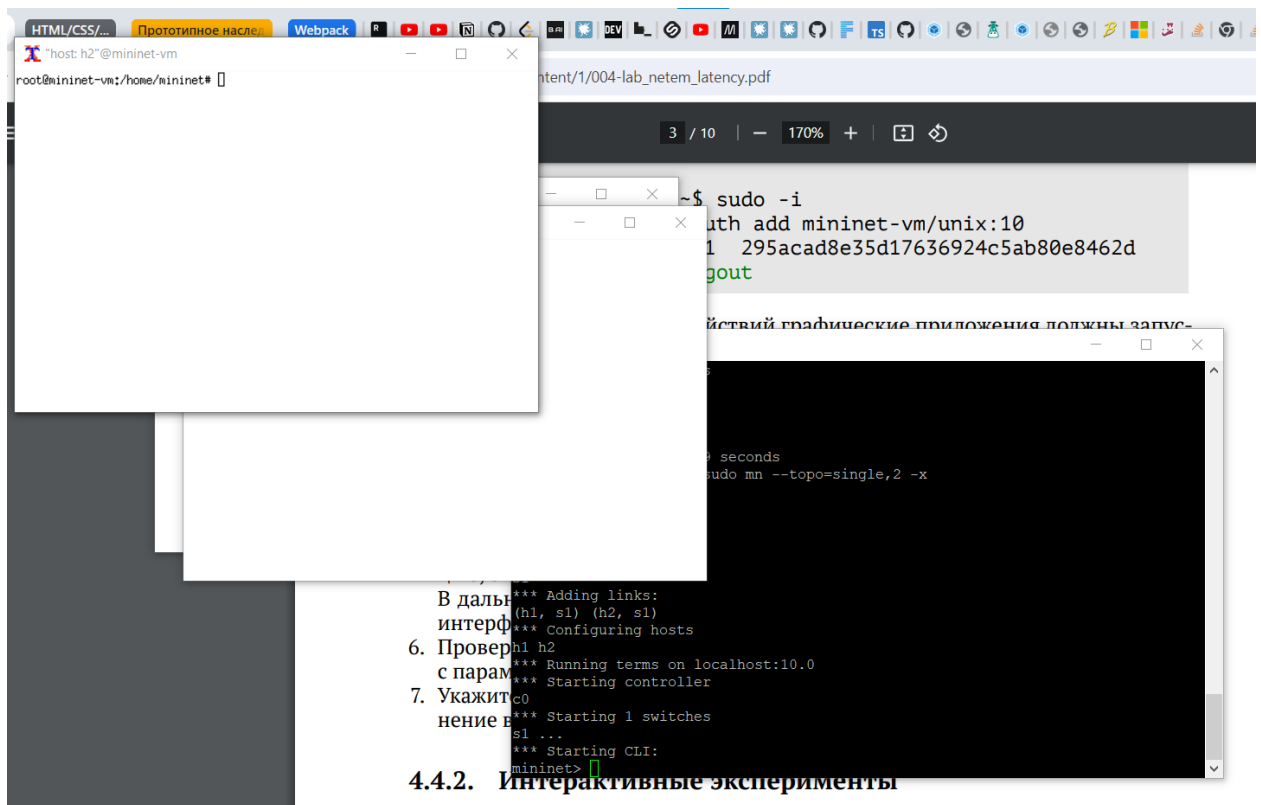
```
root@mininet-vm:~# logout
```

```
mininet@mininet-vm: ~  
login as: mininet  
mininet@192.168.56.5'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  
  
Failed to connect to https://changelogs.ubuntu.com/meta-release-lts. Check your  
Internet connection or proxy settings  
  
Last login: Sat Dec  9 10:18:33 2023  
mininet@mininet-vm:~$ xauth list $DISPLAY  
mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 57bab1ed323fc1e7ebcef3335061e591  
mininet@mininet-vm:~$ sudo -i  
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 57bab1ed323  
fc1e7ebcef3335061e591  
root@mininet-vm:~# logout  
mininet@mininet-vm:~$
```

После выполнения этих действий графические приложения должны запускаться под пользователем mininet.

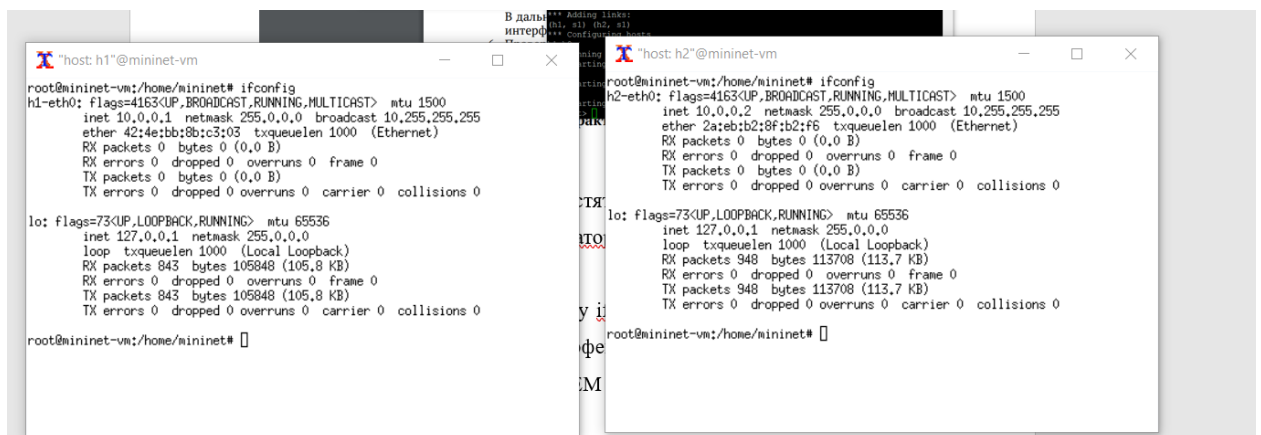
Задайте простейшую топологию, состоящую из двух хостов и коммутатора с назначенной по умолчанию mininet сетью 10.0.0/8:

```
sudo mn --topo=single,2 -x
```



После введения этой команды запустятся терминалы двух хостов, коммутатора и контроллера. Терминалы коммутатора и контроллера можно закрыть.

На хостах h1 и h2 введите команду `ifconfig`, чтобы отобразить информацию, относящуюся к их сетевым интерфейсам и назначенным им IP-адресам. В дальнейшем при работе с NETEM и командой `tc` будут использоваться интерфейсы `h1-eth0` и `h2-eth0`.



Проверьте подключение между хостами h1 и h2 с помощью команды `ping` с

параметром -c 6.

```
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=2.49 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.242 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.065 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.057 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.058 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5078ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.051/0.494/2.491/0.895 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Укажите в отчёте минимальное, среднее, максимальное и стандартное отклонение времени приёма-передачи (RTT).

Min = 0.051 ms

Avg = 0.494 ms

Max = 2.494 ms

Mdev = 0.895 ms

Интерактивные эксперименты

Добавление/изменение задержки в эмулируемой глобальной сети

Сетевые эмуляторы задают задержки на интерфейсе. Например, задержка, вносимая в интерфейс коммутатора А, который подключён к интерфейсу коммутатора В, может представлять собой задержку распространения WAN, соединяющей оба коммутатора.

На хосте h1 добавьте задержку в 100 мс к выходному интерфейсу:

sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Здесь:

- sudo: выполнить команду с более высокими привилегиями;
- tc: вызвать управление трафиком Linux;
- qdisc: изменить дисциплину очередей сетевого планировщика;
- add: создать новое правило;
- dev h1-eth0: указать интерфейс, на котором будет применяться правило;
- netem: использовать эмулятор сети;
- delay 100ms: задержка ввода 100 мс.

Проверьте, что соединение от хоста h1 к хосту h2 имеет задержку 100 мс, используя команду ping с параметром -c 6 с хоста h1. Укажите в отчёте минимальное, среднее, максимальное и стандартное отклонение времени приёма-передачи (RTT).

```
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=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=101 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 5009ms
rtt min/avg/max/mdev = 100.412/100.748/101.247/0.269 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Min = 100.412 ms

Avg = 100.748 ms

Max = 101.247 ms

Mdev = 0.269 ms

Для эмуляции глобальной сети с двунаправленной задержкой необходимо к соответствующему интерфейсу на хосте h2 также добавить задержку в 100 миллисекунд:

```
sudo tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms
```

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

Проверьте, что соединение между хостом h1 и хостом h2 имеет RTT в 200 мс (100 мс от хоста h1 к хосту h2 и 100 мс от хоста h2 к хосту h1), повторив команду ping с параметром -c 6 на терминале хоста h1. Укажите в отчёте минимальное, среднее, максимальное и стандартное отклонение времени приёма-передачи (RTT).

```
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=202 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=201 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=201 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=201 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 5008ms
rtt min/avg/max/mdev = 200.631/201.088/201.903/0.472 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Min = 200.631 ms

Avg = 201.088 ms

Max = 201.903 ms

Mdev = 0.472 ms

Изменение задержки в эмулируемой глобальной сети

Измените задержку со 100 мс до 50 мс для отправителя h1:

```
sudo tc qdisc change dev h1-eth0 root netem delay 50ms
```

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc change dev h1-eth0 root netem delay 50ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

и для получателя h2:

```
sudo tc qdisc change dev h2-eth0 root netem delay 50ms
```



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

Проверьте, что соединение от хоста h1 к хосту h2 имеет задержку 100 мс, используя команду `ping` с параметром `-c 6` с терминала хоста h1. Укажите в отчёте минимальное, среднее, максимальное и стандартное отклонение времени приёма-передачи (RTT).

```
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=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=102 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 5009ms
rtt min/avg/max/mdev = 100.162/101.288/101.943/0.622 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Min = 100.162 ms

Avg = 101.288 ms

Max = 101.943 ms

Mdev = 0.622 ms

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

Восстановите конфигурацию по умолчанию, удалив все правила, применённые к сетевому планировщику соответствующего интерфейса. Для отправителя h1:

```
sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
```

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Для получателя h2:

```
sudo tc qdisc del dev h2-eth0 root netem
```

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h2-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Проверьте, что соединение между хостом h1 и хостом h2 не имеет явно установленной задержки, используя команду `ping` с параметром `-c 6` с терминала хоста h1. Укажите в отчёте минимальное, среднее, максимальное и стандартное отклонение времени приёма-передачи (RTT).

```
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=1.35 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.395 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.204 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.038 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.059 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.044 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5078ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.038/0.348/1.351/0.465 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Min = 0.038 ms

Avg = 0.348 ms

Max = 1.351 ms

Mdev = 0.465 ms

Добавление значения дрожания задержки в интерфейс подключения к эмулируемой глобальной сети

В сетях нет постоянной задержки. Она может варьироваться в зависимости от других потоков трафика, конкурирующих за тот же путь. Джиттер (jitter) — это изменение времени задержки. Параметры задержки описываются в терминах теории вероятностей средним значением μ , стандартным отклонением

σ и корреляцией. По умолчанию NETEM использует равномерное распределение,

так что задержка находится в пределах $\mu \pm \sigma$. Параметр корреляции управляет

отношением между последовательными псевдослучайными значениями.

При необходимости восстановите конфигурацию интерфейсов по умолчанию на узлах h1 и h2:

```
sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
```

```
sudo tc qdisc del dev h2-eth0 root netem
```

Добавьте на узле h1 задержку в 100 мс со случайным отклонением 10 мс:

```
sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms
```

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Проверьте, что соединение от хоста h1 к хосту h2 имеет задержку 100 мс со случайным отклонением ± 10 мс, используя в терминале хоста h1 команду ping с параметром -c 6. Укажите в отчёте минимальное, среднее, максимальное и стандартное отклонение времени приёма-передачи (RTT).

```
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=92.1 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=92.8 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=104 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=92.1 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 5007ms
rtt min/avg/max/mdev = 92.065/99.322/108.315/7.088 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Min = 92.065 ms

Avg = 99.322 ms

Max = 108.315 ms

Mdev = 7.088 ms

Восстановите конфигурацию интерфейса по умолчанию на узле h1.

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

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

При необходимости восстановите конфигурацию интерфейсов по умолчанию на узлах h1 и h2.

Добавьте на интерфейсе хоста h1 задержку в 100 мс с вариацией ± 10 мс и значением корреляции в 25%:

```
sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25%
```

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25%
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Убедитесь, что все пакеты, покидающие устройство h1 на интерфейсе h1-eth0, будут иметь время задержки 100 мс со случайным отклонением ± 10 мс, при этом время передачи следующего пакета зависит от предыдущего значения на 25%. Используйте для этого в терминале хоста h1 команду ping с параметром -с 20. Укажите в отчёте минимальное, среднее, максимальное и стандартное отклонение времени приёма-передачи (RTT).

```

root@mininet-vm:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 20
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=96.9 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=99.3 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=108 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=96.6 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=104 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=104 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=98.6 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=94.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=95.0 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=91.2 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=109 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=99.9 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=106 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=101 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=96.9 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=103 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=104 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=97.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=93.6 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19033ms
rtt min/avg/max/mdev = 91.238/100.461/109.782/5.197 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Min = 91.238 ms

Avg = 100.461 ms

Max = 109.782 ms

Mdev = 5.197 ms

Восстановите конфигурацию интерфейса по умолчанию на узле h1.

```

root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Распределение задержки в интерфейсе подключения к эмулируемой глобальной сети

NETEM позволяет пользователю указать распределение, которое описывает, как задержки изменяются в сети. В реальных сетях передачи данных задержки неравномерны, поэтому при моделировании может быть удобно использовать некоторое случайное распределение, например, нормальное, парето или паретонормальное.

При необходимости восстановите конфигурацию интерфейсов по умолчанию на узлах h1 и h2.

Задайте нормальное распределение задержки на узле h1 в эмулируемой сети:

```
sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 20ms distribution normal
```

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 20ms distribution normal
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Убедитесь, что все пакеты, покидающие хост h1 на интерфейсе h1-eth0, будут иметь время задержки, которое распределено в диапазоне 100 мс \pm 20 мс.

Используйте для этого команду ping на терминале хоста h1 с параметром -c 10.

```
root@mininet-vm:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 10
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=81.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=120 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=104 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=104 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=82.1 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=74.3 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=128 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=84.9 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9015ms
rtt min/avg/max/mdev = 74.342/98.583/127.814/16.656 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Восстановите конфигурацию интерфейса по умолчанию на узле h1

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Завершите работу mininet в интерактивном режиме, введя в интерфейсе mininet:

```
mininet> exit
```

```
mininet> exit
*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 8 terms
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
completed in 2122.175 seconds
mininet@mininet-vm:~$
```

Воспроизведение экспериментов

Предварительная подготовка

Обновите репозитории программного обеспечения на виртуальной машине:

```
sudo apt-get update
```

```
015 kB]
Get:11 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/restricted Translation-en [336 kB]
Get:12 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/universe i386 Packages [634 kB]
Get:13 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/universe amd64 Packages [915 kB]
Get:14 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security/universe Translation-en [192 kB]
Get:15 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/main Translation-en [487 kB]
Get:16 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/restricted amd64 Packages [2,562 kB]
Get:17 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/restricted Translation-en [358 kB]
Get:18 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/universe amd64 Packages [1,140 kB]
Get:19 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/universe i386 Packages [762 kB]
Get:20 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates/universe Translation-en [273 kB]
Fetched 17.9 MB in 5s (3,706 kB/s)
Reading package lists... Done
mininet@mininet-vm:~$
```

Установите пакет `geeqie` — понадобится для просмотра файлов `png`:

```
sudo apt install geeqie
```



```
mininet@mininet-vm: ~
Setting up aptdaemon (1.1.1+bzr982-0ubuntu32.3) ...
Setting up python3-aptdaemon (1.1.1+bzr982-0ubuntu32.3) ...
Setting up python3-aptdaemon.gtk3widgets (1.1.1+bzr982-0ubuntu32.3) ...
Setting up language-selector-gnome (0.204.2) ...
Setting up gnome-control-center (1:3.36.5-0ubuntu4) ...
Processing triggers for mime-support (3.64ubuntu1) ...
Processing triggers for hicolor-icon-theme (0.17-2) ...
Processing triggers for libgtk-3-0:amd64 (3.24.20-0ubuntu1) ...
Processing triggers for libc-bin (2.31-0ubuntu9) ...
Processing triggers for systemd (245.4-4ubuntu3.4) ...
Processing triggers for man-db (2.9.1-1) ...
Processing triggers for shared-mime-info (1.15-1) ...
Processing triggers for udev (245.4-4ubuntu3.4) ...
Processing triggers for fontconfig (2.13.1-2ubuntu3) ...
Processing triggers for sgml-base (1.29.1) ...
Setting up sgml-data (2.0.11) ...
Processing triggers for sgml-base (1.29.1) ...
Setting up docbook-xml (4.5-9) ...
Processing triggers for dbus (1.12.16-2ubuntu2.3) ...
Processing triggers for rygel (0.38.3-1ubuntu1) ...
Processing triggers for sgml-base (1.29.1) ...
mininet@mininet-vm:~$
```

Для каждого воспроизводимого эксперимента `exprname` создайте свой каталог, в котором будут размещаться файлы эксперимента:

```
mkdir -p ~/work/lab_netem_i/exprname
```

Здесь `exprname` может принимать значения `simple-delay`, `change-delay`, `jitter-delay`, `correlation-delay` и т.п

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

Для каждого случая создайте скрипт для проведения эксперимента `lab_netem_i.py` и скрипт для визуализации результатов `ping_plot`.

Добавление задержки для интерфейса, подключающегося к эмулируемой глобальной сети

С помощью API Mininet воспроизведите эксперимент по добавлению задержки для интерфейса хоста, подключающегося к эмулируемой глобальной сети.

1. В виртуальной среде mininet в своём рабочем каталоге с проектами создайте

каталог simple-delay и перейдите в него:

```
mkdir -p ~/work/lab_netem_i/simple-delay
```

```
cd ~/work/lab_netem_i/simple-delay
```

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

Создаёте скрипт для эксперимента lab_netem_i.py:

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ cat lab_netem_i.py
#!/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 )
```

В отчёте поясните содержание скрипта lab_netem_i.py.

В каких строках скрипта задается значение задержки для интерфейса хоста?

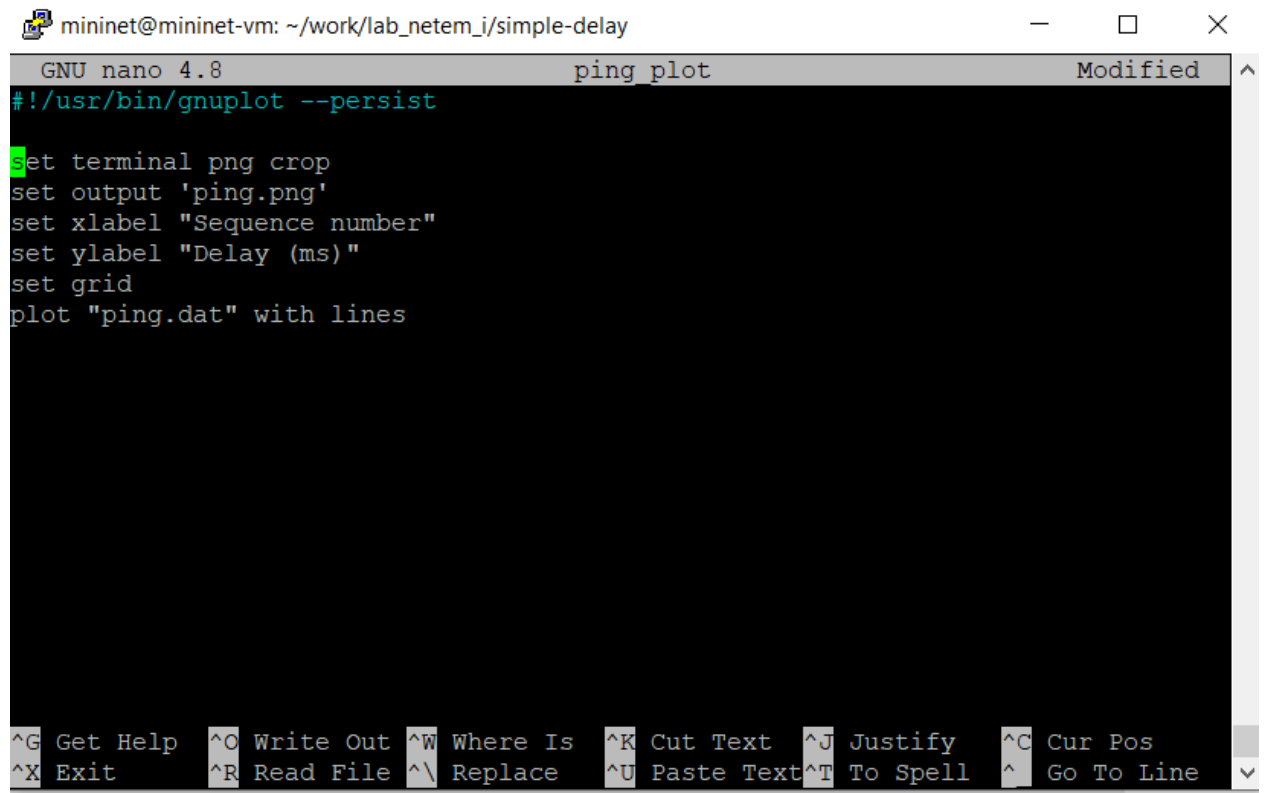
```
info( '*** Set delay\n')
```

```
h1.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms' )
```

```
h2.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms' )
```

Каким образом формируется файл с результатами эксперимента для последующего построения графиков, какие значения в нём размещены?

Создаёте скрипт для визуализации ping_plot результатов эксперимента:



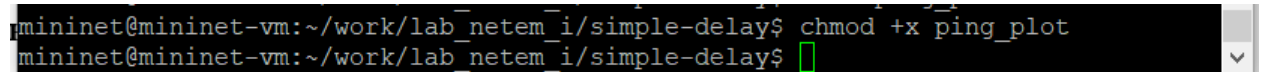
```
mininet@mininet-vm: ~/work/lab_netem_i/simple-delay
GNU nano 4.8 ping_plot Modified
#!/usr/bin/gnuplot --persist

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

^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
```

Задайте права доступа к файлу скрипта:

```
chmod +x ping_plot
```



```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ chmod +x ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$
```

Создайте Makefile для управления процессом проведения эксперимента:

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

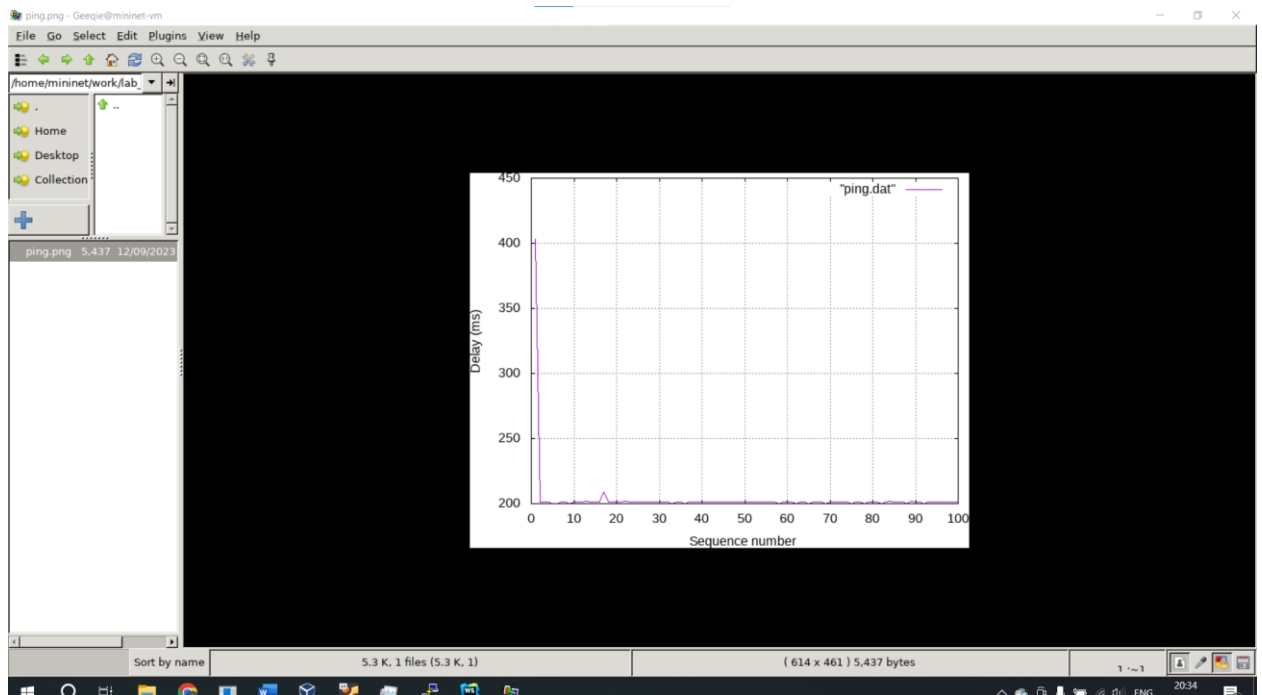
^G Get Help ^O Write Out ^W Where Is ^K Cut Text ^J Justify ^C Cur Pos
^X Exit ^R Read File ^\ Replace ^U Paste Text ^T To Spell ^_ Go To Line
```

Выполните эксперимент:

Make

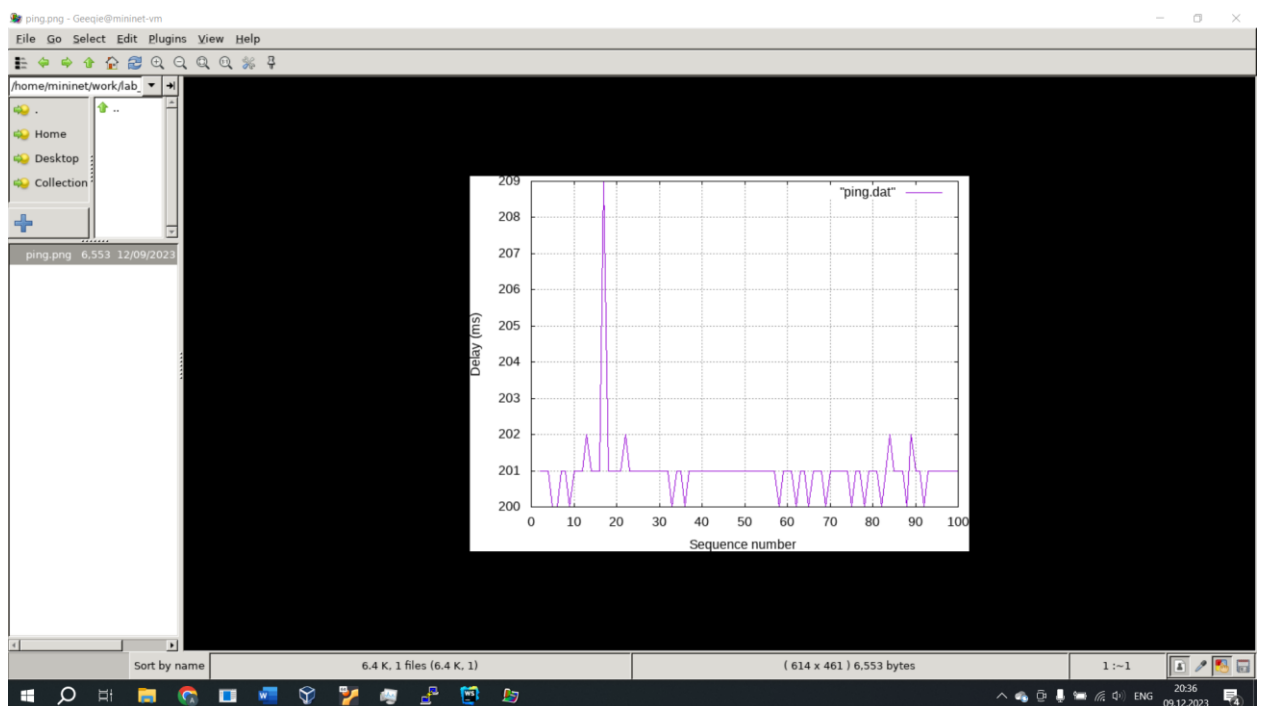
```
mininet@mininet-vm: ~/work/lab_netem_i/simple-delay
hl h2
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
sl ...
*** Waiting for switches to connect
sl
*** Set delay
*** h1 : ('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms',)
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms',)
***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

Продемонстрируйте построенный в результате выполнения скриптов график.



Из файла ping.dat удалите первую строку и заново постройте график:
make ping.png

Продемонстрируйте построенный в результате график.



Разработайте скрипт для вычисления на основе данных файла ping.dat минимального, среднего, максимального и стандартного отклонения времени приёма-передачи. Добавьте правило запуска скрипта в Makefile.

Продemonстрируйте работу скрипта с выводом значений на экран или в отдельный файл.

```
mininet@mininet-vm: ~/work/lab_netem_i/simple-delay
GNU nano 4.8 statistics.py
import statistics
def calculate_stats(data):
    times = [float(line.split()[1]) for line in data]
    min_time = min(times)
    avg_time = statistics.mean(times)
    max_time = max(times)
    std_dev = statistics.stdev(times)
    return min_time, avg_time, max_time, std_dev
def main():
    with open('ping.dat', 'r') as file:
        data = file.readlines()
    min_time, avg_time, max_time, std_dev = calculate_stats(data)
    print(f"Min time: {min_time} ms")
    print(f"Average time: {avg_time} ms")
    print(f"Max time: {max_time} ms")
    print(f"Standart dev: {std_dev} ms")
if __name__ == "__main__":
    main()

mininet@mininet-vm: ~/work/lab_netem_i/simple-delay
*** 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, $7}\'' | sed -e 's/time=//g' -e 's/icmp_seq=//g' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
python stat.py
Min time: 200.0 ms
Average time: 202.83 ms
Max time: 403.0 ms
Standart dev: 20.22402561611343 ms
./ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$
```

Очистите каталог от результатов проведения экспериментов:

make clean

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

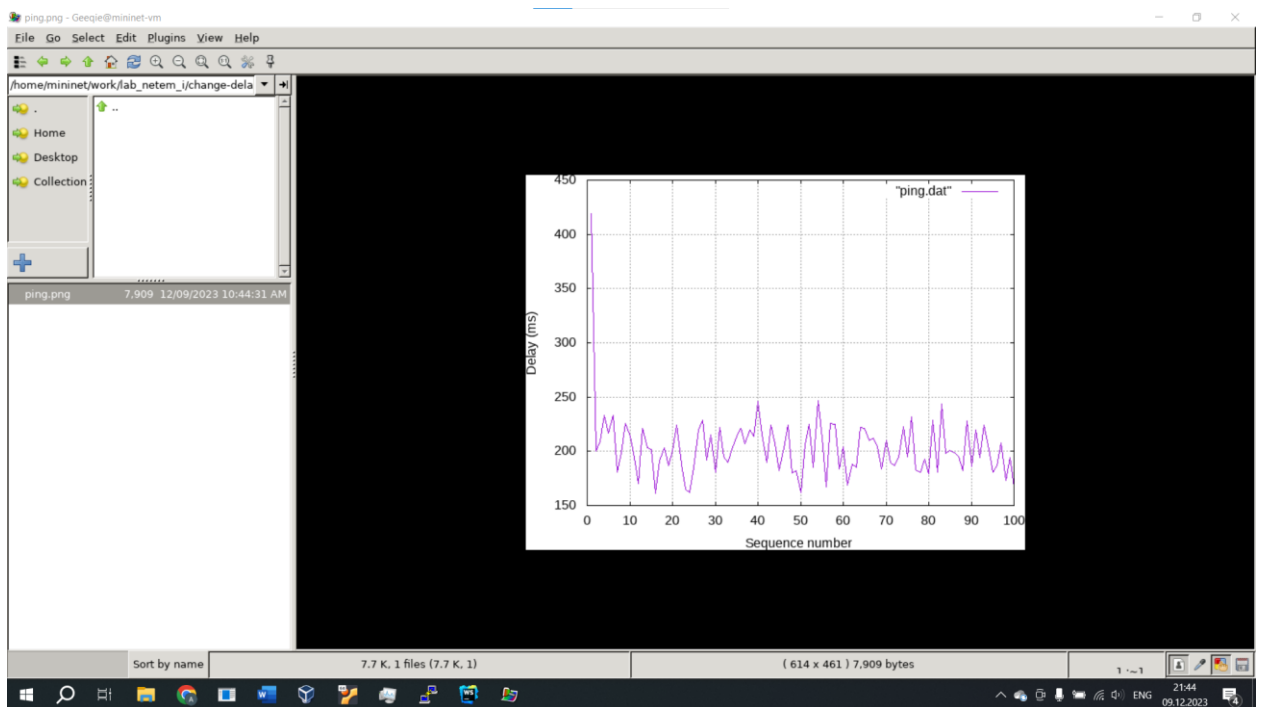
Задание для самостоятельной работы

Самостоятельно реализуйте воспроизводимые эксперименты по изменению задержки, джиттера, значения корреляции для джиттера и задержки, распределения времени задержки в эмулируемой глобальной сети. Постройте графики.

Вычислите минимальное, среднее, максимальное и стандартное отклонение времени приёма-передачи для каждого случая.

Change-delay

```
mininet@mininet-vm: ~/work/lab_netem_i/change-delay
...
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
python stat.py
Min time: 191.0 ms
Average time: 203.57 ms
Max time: 393.0 ms
Standard dev: 20.076246077532936 ms
./ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ mc
(3)+ Stopped mc
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ cd
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ cd work/lab_netem_i/
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/
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/change-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/simple-delay/stat.py stat.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/change-delay$ chmod +x stat.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/change-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/simple-delay/Makefile Makefile
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/change-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/simple-delay/jitter.py change-delay.py
```



Jitter

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make clean
rm -f *.dat *.png
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ ls
lab_netem_i.py Makefile ping_plot pycache stat.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ nano lab_netem_i.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ cp lab_netem_i.py jitter.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ chmod +x jitter.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ nano jitter.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ cd ..
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ mkdir -p ~/work/lab_netem_i/jitter-delay
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$ cd jitter-delay/
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/simple-delay/jitter.py jitterd.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ ls
jitterd.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ chmod +x jitterd.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/simple-delay/ping_plot ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/simple-delay/Makefile Makefile
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ ls
jitterd.py Makefile ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ cp ~/work/lab_netem_i/simple-delay/stat.py stat.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ chmod +x stat.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$ ls
jitterd.py Makefile ping_plot stat.py
```

```

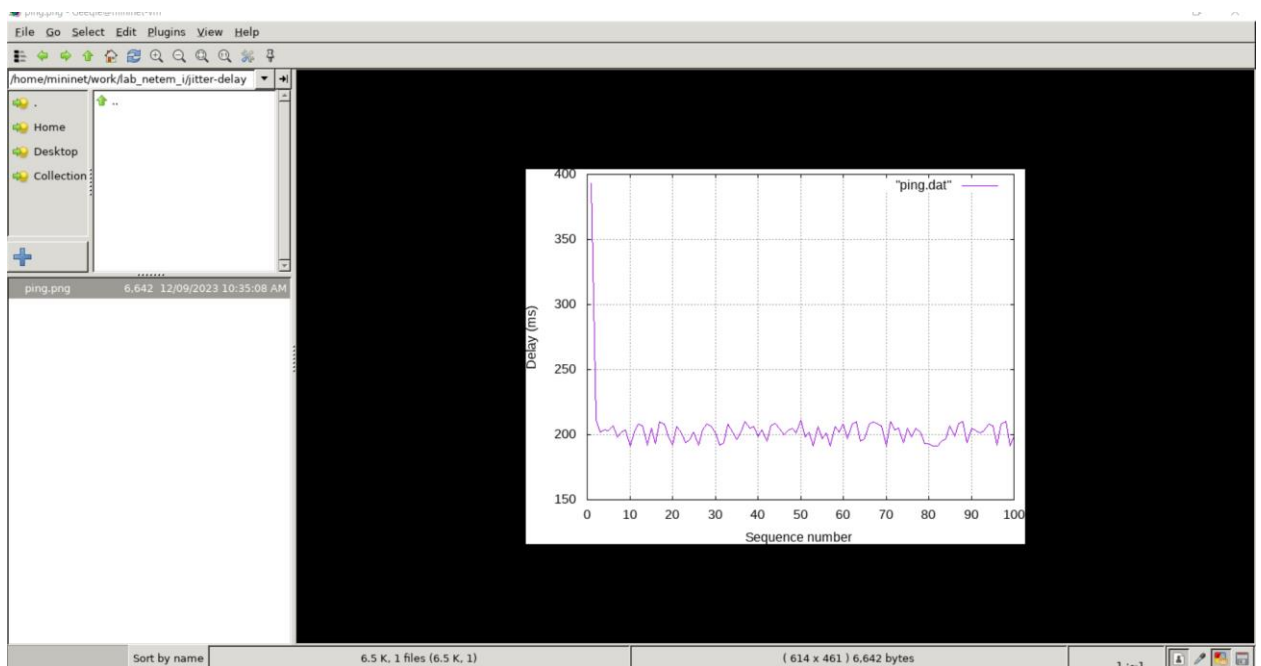
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
*** h1 : ('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25%,)
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\'} | sed -e \'s/time=//g\' -e \'s/icmp_seq=//g\' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
python stat.py
Min time: 191.0 ms
Average time: 203.57 ms
Max time: 393.0 ms
Standart dev: 20.076246077532936 ms
./ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$

```

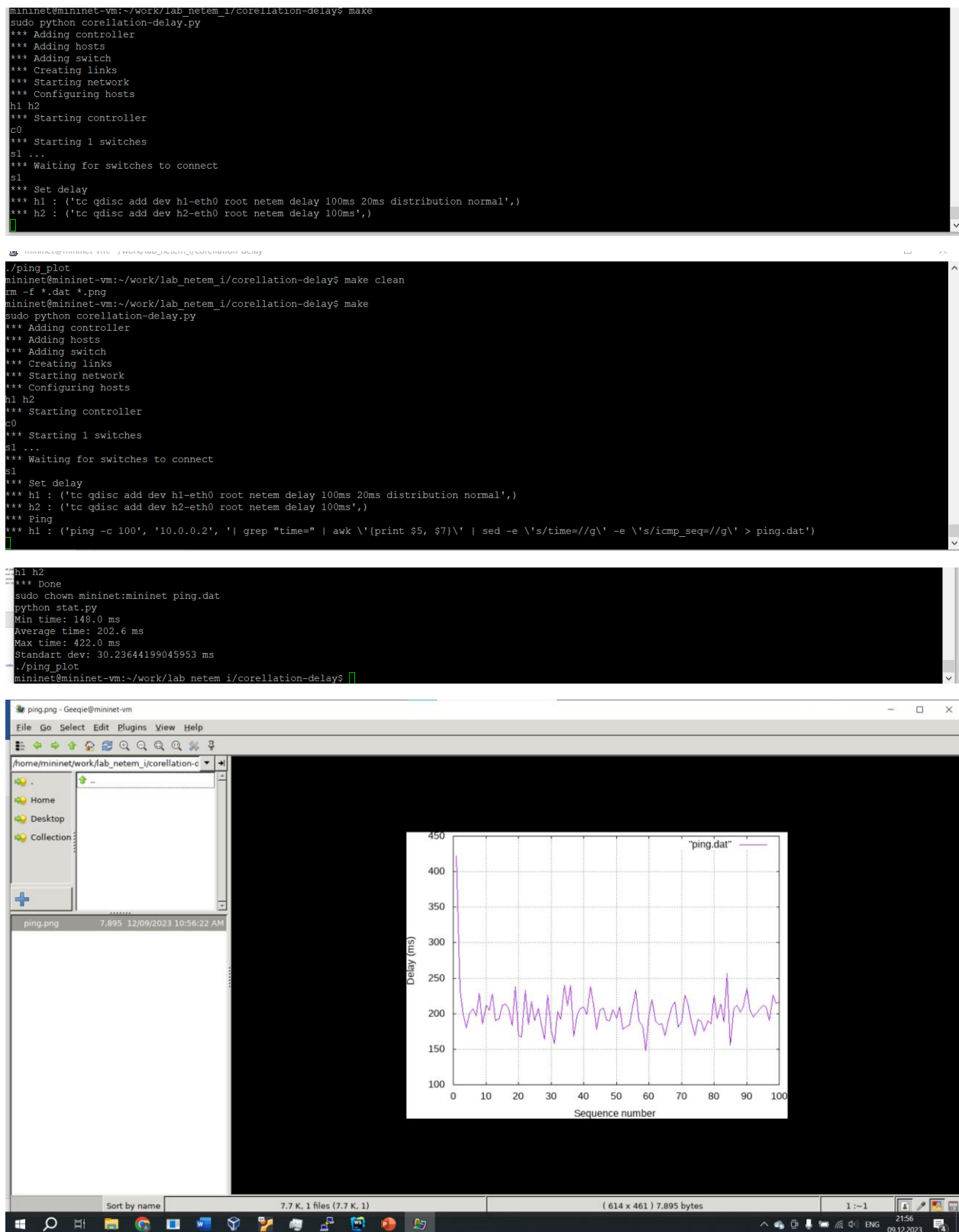
```

*** 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',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\'} | sed -e \'s/time=//g\' -e \'s/icmp_seq=//g\' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
python stat.py
Min time: 191.0 ms
Average time: 203.57 ms
Max time: 393.0 ms
Standart dev: 20.076246077532936 ms
./ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/jitter-delay$

```



Correlation-delay



Вывод

Итогом лабораторной работы стало 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.