Лабораторная работа №4

Эмуляция и измерение задержек в глобальных сетях

Хрусталев В.Н.

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Информация

Докладчик

- Хрусталев Влад Николаевич
- студент
- Российский университет дружбы народов
- 1132222011@pfur.ru

Цель работы

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.

Выполнение лабораторной работы

Исправление прав запуска X-соединения

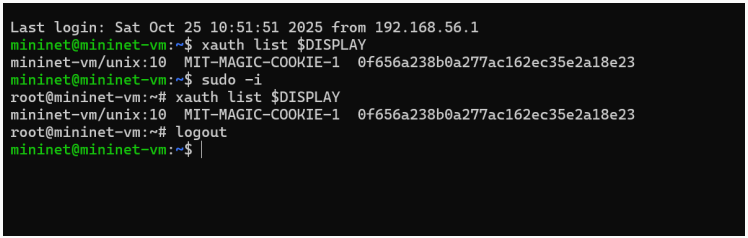


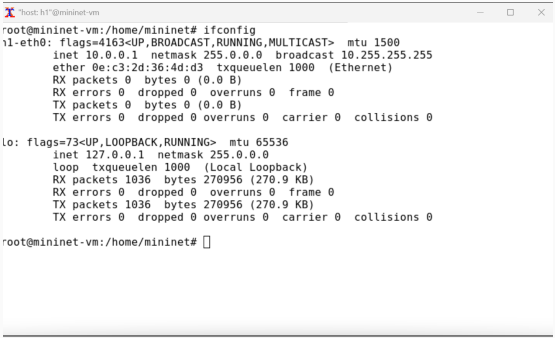
Рис. 1: Исправление прав запуска X-соединения

Простейшая топология

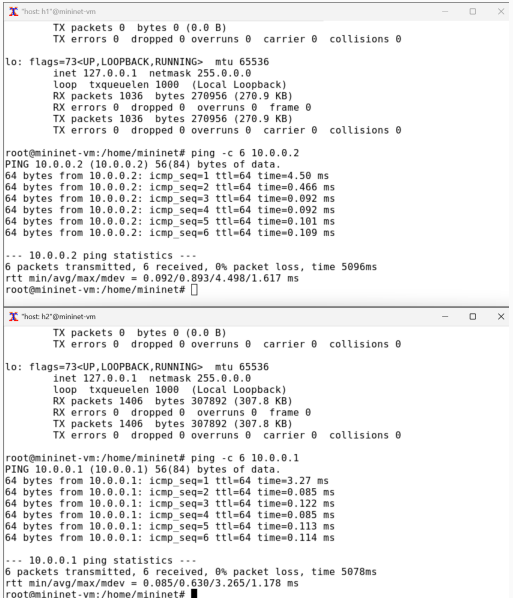
```
mininet@mininet-vm:~$ sudo mn --topo=single,2 -x
*** Creating network
*** Adding controller
*** Adding hosts:
h1 h2
*** Adding switches:
s1
*** Adding links:
(h1, s1) (h2, s1)
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Running terms on localhost:10.0
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Starting CLI:
mininet>
```

Рис. 2: Простейшая топология

ifconfig на хостах h1 и h2



Проверка подключения между хостами



Добавление задержки в 100мс

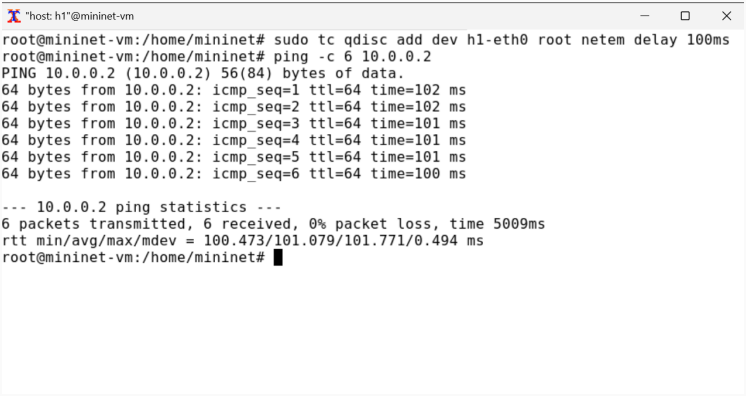
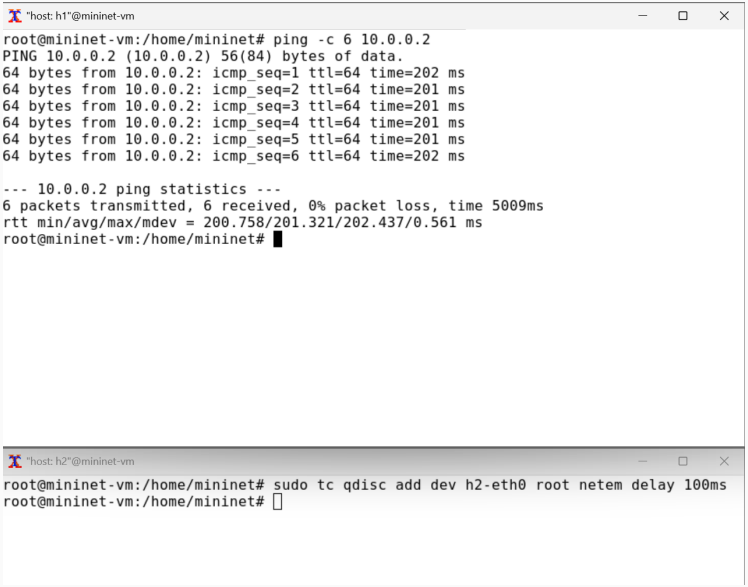
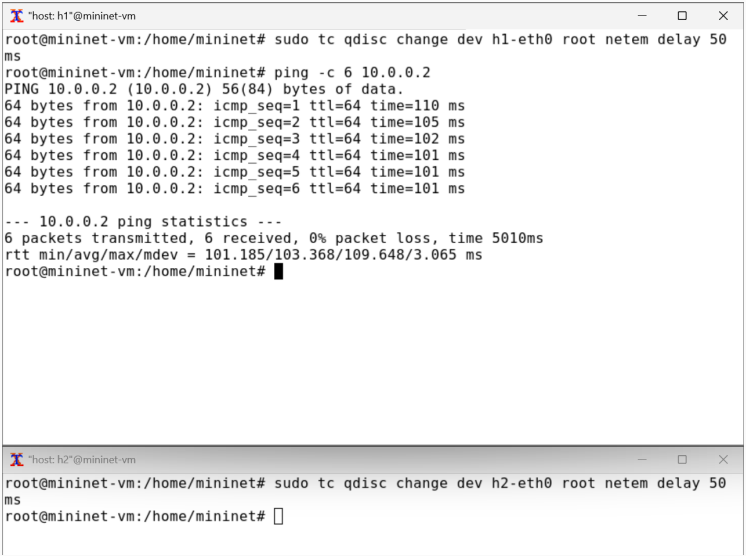


Рис. 5: Добавление задержки в 100мс

Двунаправленная задержка соединения



Изменение задержки на 50мс



Восстановление исходных значений задержки

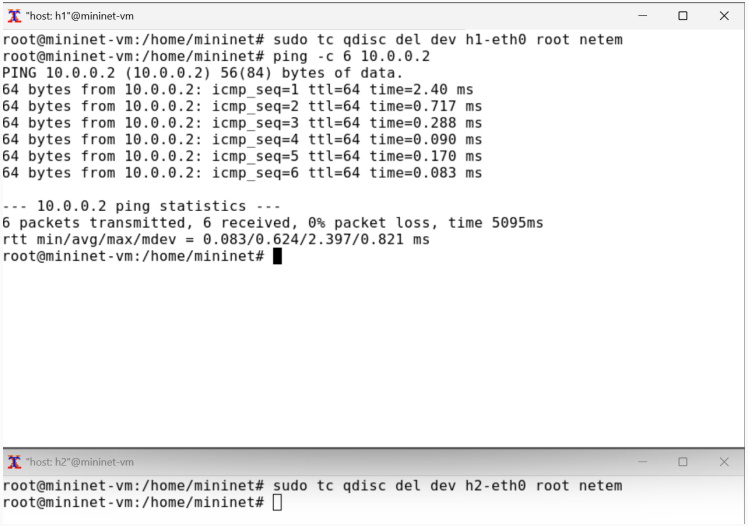


Рис. 8: Восстановление исходных значений задержки

Добавление значения дрожания задержки в интерфейс подключения

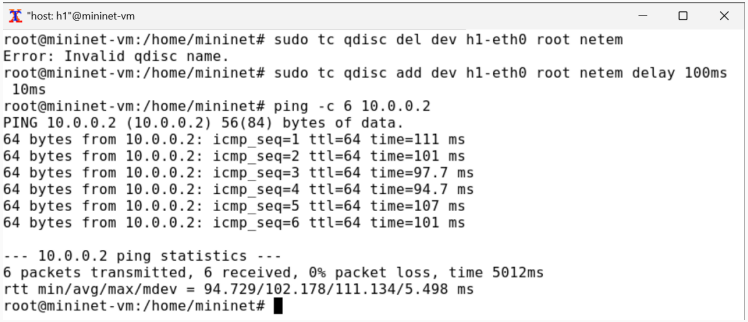


Рис. 9: Добавление значения дрожания задержки в интерфейс подключения

Добавление значения корреляции для джиттера и задержки в интерфейс подключения

```
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 100ms
 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.
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=103 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=105 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=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 5009ms
rtt min/avg/max/mdev = 102.915/105.032/108.211/1.788 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

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

Распределение задержки в интерфейсе подключения

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms
 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=100 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=77.0 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=81.4 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=77.2 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=102 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 5011ms
rtt min/avg/max/mdev = 77.024/89.730/102.369/11.292 ms
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=92.6 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=92.9 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=90.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=94.1 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=123 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=73.4 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=81.4 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=85.8 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9012ms
rtt min/avg/max/mdev = 73.363/92.244/123.105/12.544 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 11: Распределение задержки в интерфейсе подключения

Подготовка к производимому эксперименту

```
mininet@mininet-vm:~$ sudo apt-get update
Hit:1 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security InRelease
Hit:2 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal InRelease
Hit:3 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates InRelease
Hit:4 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-backports InRelease
Reading package lists... Done
mininet@mininet-vm:~$ sudo apt install geeqie
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
geeqie is already the newest version (1:1.5.1-8build1).
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 362 not upgraded.
mininet@mininet-vm:~$ mkdir -p ~/work/lab_netem_i/expname
mininet@mininet-vm:~$ cd work/lab_netem_i/
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i$
```

Рис. 12: Подготовка к производимому эксперименту

Листинг lab_netem_i.py

mininet@mininet-vm: ~/work

```
 GNU nano 4.8                    lab_netem_i.py                    Modified
#!/usr/bin/env python

"""
Simple experiment.
Output: ping.dat
"""

import time
from mininet.log import setLogLevel, info
from mininet.net import Mininet
from mininet.node import Controller


def emptyNet():
    "Create an empty network and add nodes to it."
    net = Mininet(controller=Controller, waitConnected=True)
    info('*** Adding controller\n')
    net.addController('c0')
    info('*** Adding hosts\n')
    h1 = net.addHost('h1', ip='10.0.0.1')
    h2 = net.addHost('h2', ip='10.0.0.2')
    info('*** Adding switch\n')
    s1 = net.addSwitch('s1')
    info('*** Creating links\n')
    net.addLink(h1, s1)
    net.addLink(h2, s1)
    info('*** Starting network\n')
    net.start()
    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')
    time.sleep(10)  # Wait 10 seconds
    info('*** Ping\n')
    h1.cmdPrint('ping -c 100', h2.IP(),
                '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'s/time=//g\' -e \'s
    info('*** Stopping network')
    net.stop()


if __name__ == '__main__':
    setLogLevel('info')
    emptyNet()
```

Листинг ping_plot

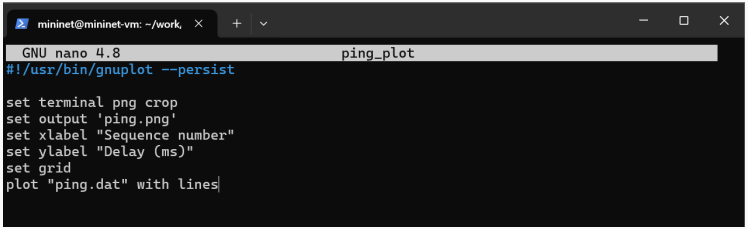


Рис. 14: Листинг ping_plot

Выдача прав выполнения для 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$
```

Рис. 15: Выдача прав выполнения для ping_plot

Листинг Makefile

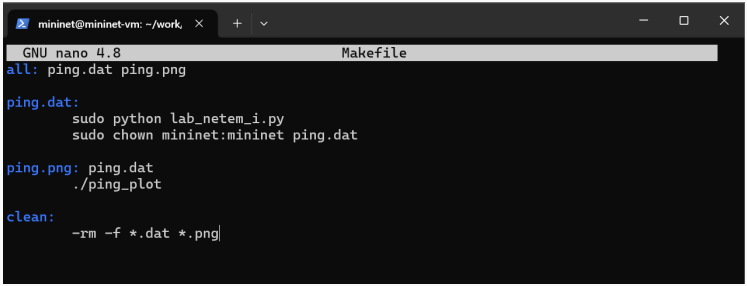


Рис. 16: Листинг Makefile

Запуск эксперимента

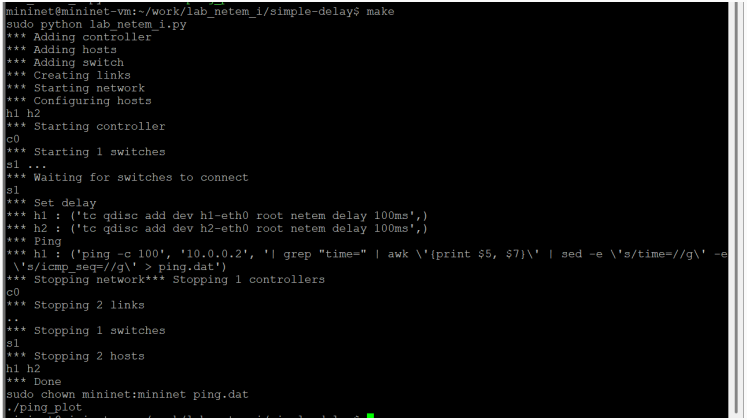
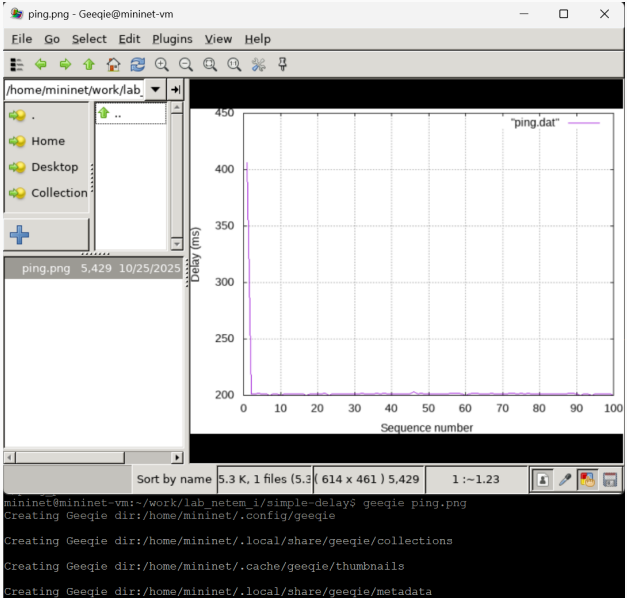


Рис. 17: Запуск эксперимента

Просмотр графика



Удаление первой строчки из файла ping.dat

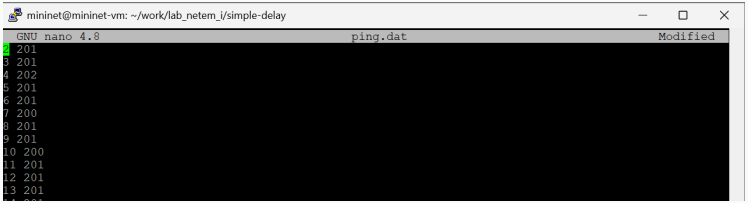
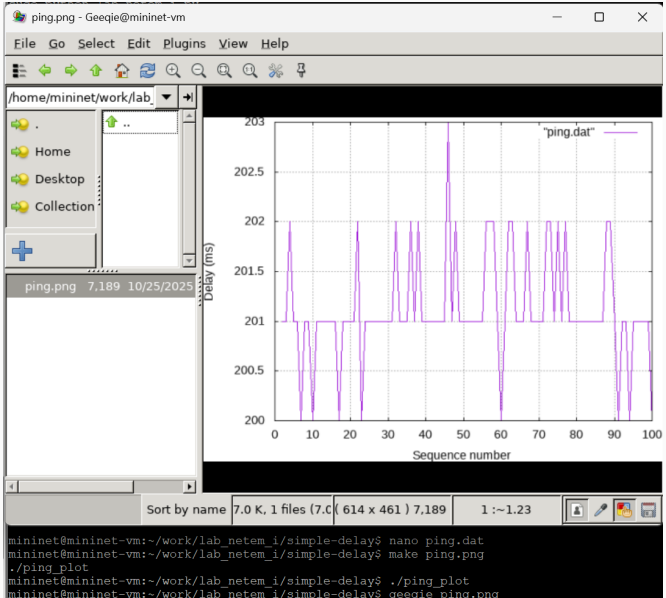


Рис. 19: Удаление первой строчки из файла ping.dat

Просмотр графика после удаления первой строки



Разработка скрипта для вычисления статистических данных

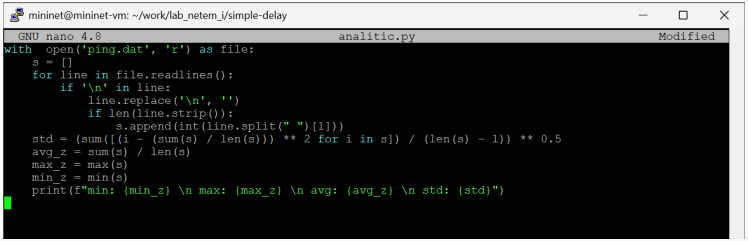


Рис. 21: Разработка скрипта для вычисления статистических данных

Тестирование разработанного скрипта

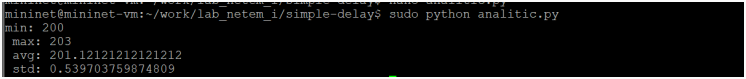


Рис. 22: Тестирование разработанного скрипта

Добавление правила запуска скрипта в Makefile

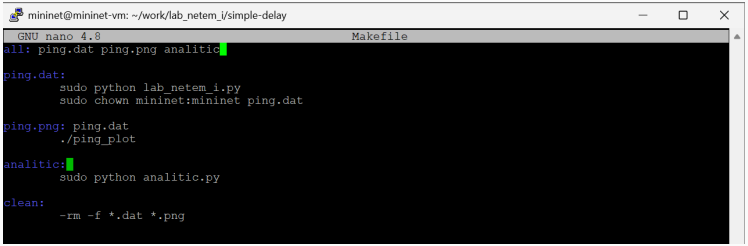


Рис. 23: Добавление правила запуска скрипта в Makefile

Очистка результатов эксперимента

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

Рис. 24: Очистка результатов эксперимента

Листинг - Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

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

GNU nano 4.8 lab_netem_i.py Modified

```
#!/usr/bin/env python

"""
Simple experiment.
Output: ping.dat
"""

import time
from mininet.log import setLogLevel, info
from mininet.net import Mininet
from mininet.node import Controller


def emptyNet():
    "Create an empty network and add nodes to it."
    net = Mininet(controller=Controller, waitConnected=True)
    info('*** Adding controller\n')
    net.addController('c0')
    info('*** Adding hosts\n')
    h1 = net.addHost('h1', ip='10.0.0.1')
    h2 = net.addHost('h2', ip='10.0.0.2')
    info('*** Adding switch\n')
    s1 = net.addSwitch('s1')
    info('*** Creating links\n')
    net.addLink(h1, s1)
    net.addLink(h2, s1)
    info('*** Starting network\n')
    net.start()
    info('*** Set delay\n')
    h1.cmdPrint('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 50ms')
    h2.cmdPrint('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 50ms')
    time.sleep(10)  # Wait 10 seconds
    info('*** Ping\n')
    h1.cmdPrint('ping -c 100', h2.IP(),
                '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'s/time=//g\' -e \'s/icmp_seq=//g\' >
    info('*** Stopping network')
    net.stop()


if __name__ == '__main__':
    setLogLevel('info')
    emptyNet()
```

Вывод - Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

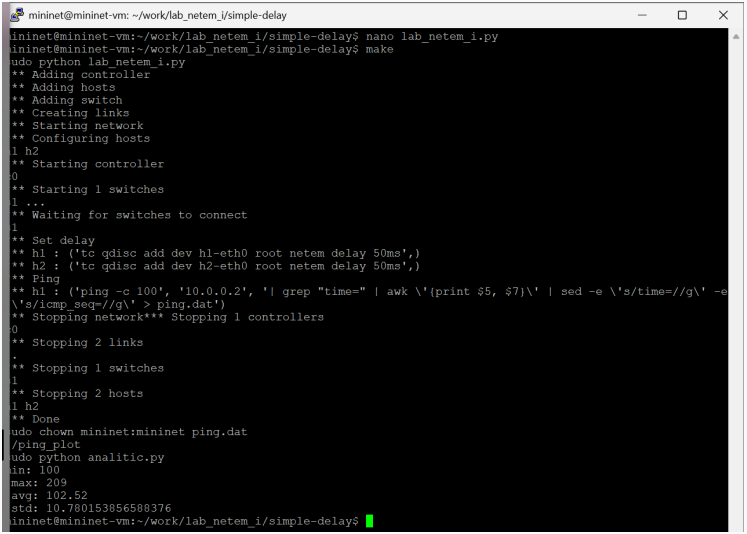
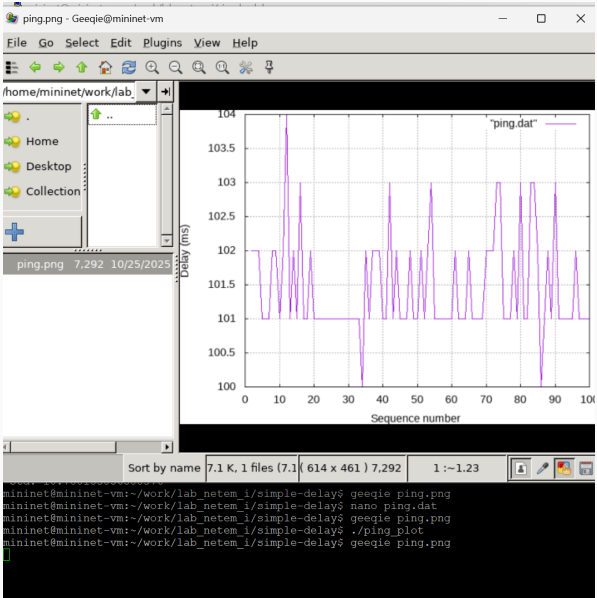


Рис. 26: ВЫВОД|Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки

График - Воспроизводимый эксперимент по изменению задержки



Листинг - Воспроизводимый эксперимент по изменению джиттера

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

GNU nano 4.8 lab_netem_i.py Modified

```
#!/usr/bin/env python

"""
Simple experiment.
Output: ping.dat
"""

import time
from mininet.log import setLogLevel, info
from mininet.net import Mininet
from mininet.node import Controller


def emptyNet():
    "Create an empty network and add nodes to it."
    net = Mininet(controller=Controller, waitConnected=True)
    info('*** Adding controller\n')
    net.addController('c0')
    info('*** Adding hosts\n')
    h1 = net.addHost('h1', ip='10.0.0.1')
    h2 = net.addHost('h2', ip='10.0.0.2')
    info('*** Adding switch\n')
    s1 = net.addSwitch('s1')
    info('*** Creating links\n')
    net.addLink(h1, s1)
    net.addLink(h2, s1)
    info('*** Starting network\n')
    net.start()
    info('*** Set delay\n')
    h1.cmdPrint('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms')
    h2.cmdPrint('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms')
    time.sleep(10)  # Wait 10 seconds
    info('*** Ping\n')
    h1.cmdPrint('ping -c 100', h2.IP(),
                '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'s/time=//g\' -e \'s/icmp_seq=//g\' >
    info('*** Stopping network')
    net.stop()


if __name__ == '__main__':
    setLogLevel('info')
    emptyNet()
```

Вывод - Воспроизводимый эксперимент по изменению джиттера

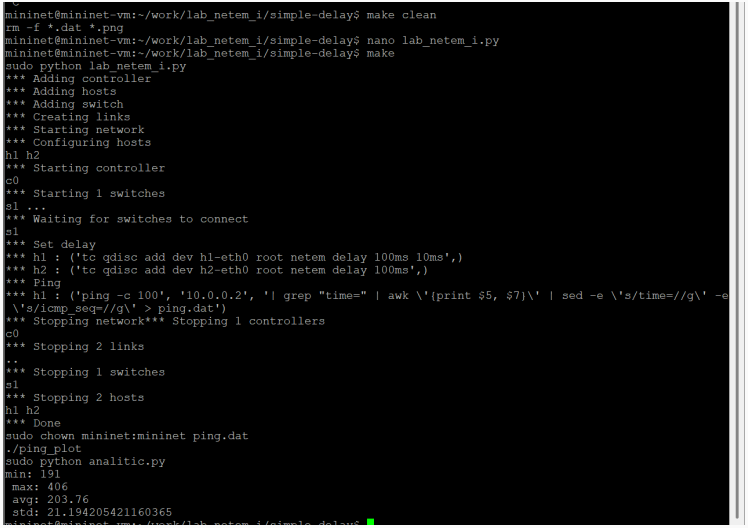
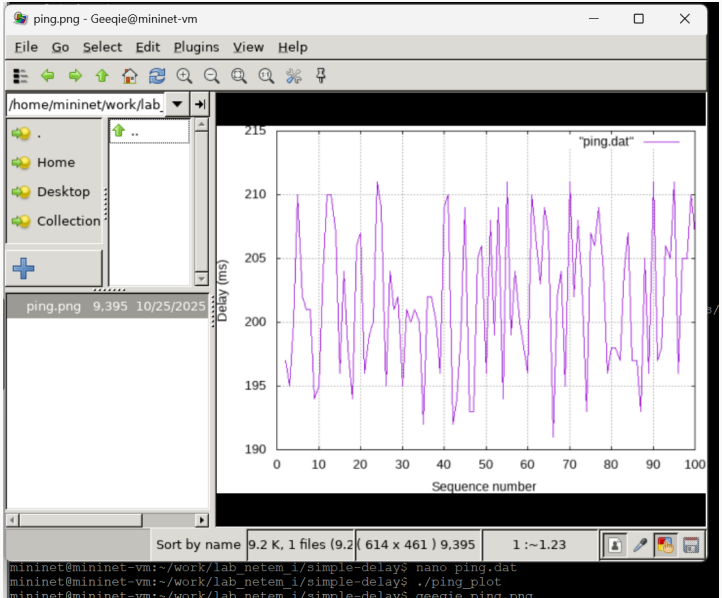


Рис. 29: ВЫВОД|Воспроизводимый эксперимент по изменению джиттера

График - Воспроизводимый эксперимент по изменению джиттера



Листинг - Воспроизводимый эксперимент по изменению значения корреляции для джиттера и задержки

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

GNU nano 4.8 lab_netem_i.py

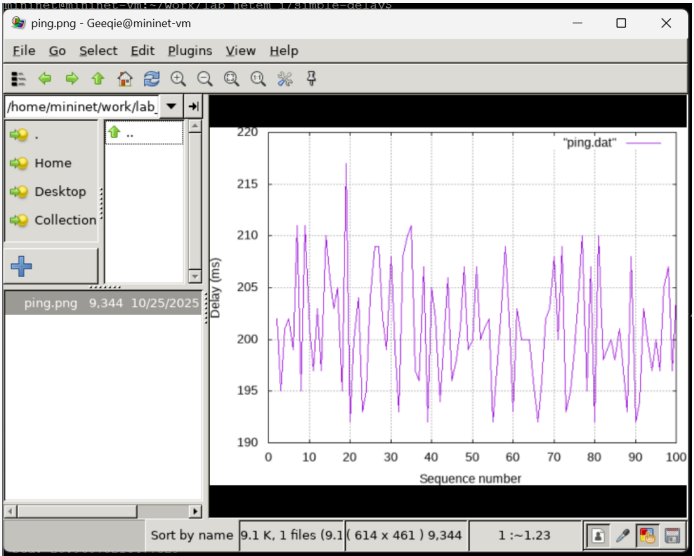
```
#!/usr/bin/env python

"""
Simple experiment.
Output: ping.dat
"""

import time
from mininet.log import setLogLevel, info
from mininet.net import Mininet
from mininet.node import Controller


def emptyNet():
    "Create an empty network and add nodes to it."
    net = Mininet(controller=Controller, waitConnected=True)
    info('*** Adding controller\n')
    net.addController('c0')
    info('*** Adding hosts\n')
    h1 = net.addHost('h1', ip='10.0.0.1')
    h2 = net.addHost('h2', ip='10.0.0.2')
    info('*** Adding switch\n')
    s1 = net.addSwitch('s1')
    info('*** Creating links\n')
    net.addLink(h1, s1)
    net.addLink(h2, s1)
    info('*** Starting network\n')
    net.start()
    info('*** Set delay\n')
    h1.cmdPrint('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25%')
    h2.cmdPrint('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms')
    time.sleep(10)  # Wait 10 seconds
    info('*** Ping\n')
    h1.cmdPrint('ping -c 100', h2.IP(),
                ' grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'s/time=//g\' -e \'s/icmp_seq=//g\' >
    info('*** Stopping network')
    net.stop()


if __name__ == '__main__':
    setLogLevel('info')
    emptyNet()
```

Вывод - Воспроизводимый эксперимент по изменению значения корреляции для джиттера и задержки

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1/simple-delay$ nano lab_netem_1.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1/simple-delay$ make
sudo python lab_netem_1.py
*** Adding controller
*** Adding hosts
*** Adding switch
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** 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
./ping_plot
sudo python analitic.py
min: 192
 max: 403
 avg: 202.98
 std: 20.96075216477529
```

Рис. 32: ВЫВОД|Воспроизводимый эксперимент по изменению значения корреляции для джиттера и

График - Воспроизводимый эксперимент по изменению значения корреляции для джиттера и задержки



Листинг - Воспроизводимый эксперимент по изменению распределения времени задержки

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

GNU nano 4.8 lab_netem_i.py Modified

```
#!/usr/bin/env python

"""
Simple experiment.
Output: ping.dat
"""

import time
from mininet.log import setLogLevel, info
from mininet.net import Mininet
from mininet.node import Controller


def emptyNet():
    "Create an empty network and add nodes to it."
    net = Mininet(controller=Controller, waitConnected=True)
    info('*** Adding controller\n')
    net.addController('c0')
    info('*** Adding hosts\n')
    h1 = net.addHost('h1', ip='10.0.0.1')
    h2 = net.addHost('h2', ip='10.0.0.2')
    info('*** Adding switch\n')
    s1 = net.addSwitch('s1')
    info('*** Creating links\n')
    net.addLink(h1, s1)
    net.addLink(h2, s1)
    info('*** Starting network\n')
    net.start()
    info('*** Set delay\n')
    h1.cmdPrint('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25% distribution normal')
    h2.cmdPrint('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms')
    time.sleep(10)  # Wait 10 seconds
    info('*** Ping\n')
    h1.cmdPrint('ping -c 100', h2.IP(),
                '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'s/time=//g\' -e \'s/icmp_seq=//g\' >
    info('*** Stopping network')
    net.stop()


if __name__ == '__main__':
    setLogLevel('info')
    emptyNet()
```

Вывод - Воспроизводимый эксперимент по изменению распределения времени задержки

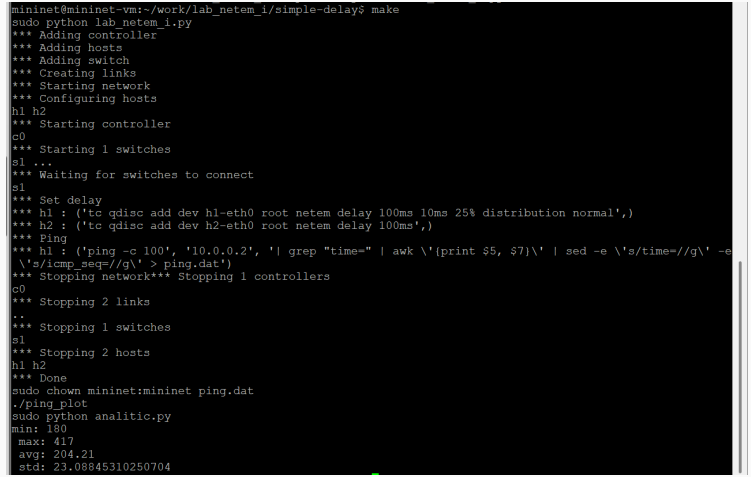
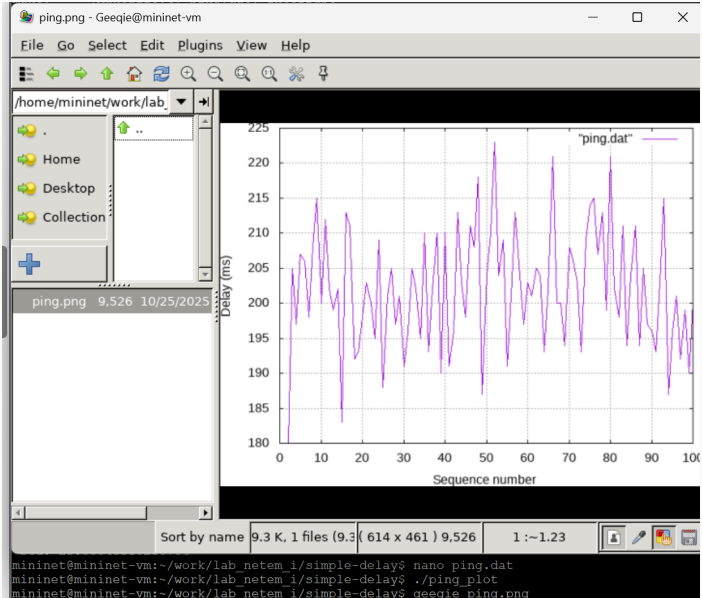


Рис. 35: ВЫВОД|Воспроизводимый эксперимент по изменению распределения времени задержки в эмулируемой глобальной сети

График - Воспроизводимый эксперимент по изменению распределения времени задержки



Создание папок под эксперименты

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1/simple-delay$ geeqie ping.png
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1/simple-delay$ cd ..
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1$ cp -R simple-delay correlation-delay
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1$ cp -R simple-delay jitter-delay
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1$ cp -R simple-delay change-delay
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1$ cp -R simple-delay change-jitter
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1$ cp -R simple-delay change-jitter-delay
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_1$
```

Рис. 37: Создание папок под эксперименты

Выводы

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.

Список литературы

Список литературы

1. Mininet [Электронный ресурс]. Mininet Project Contributors. URL: http://mini net.org/ (дата обращения: 06.10.2025).