

Отчет по лабораторной работе №5

Моделирование сетей передачи данных

Оразгелдиев Язгелди

Содержание

1	Цель работы	6
2	Задание	7
3	Выполнение лабораторной работы	8
4	Выводы	21

Список иллюстраций

3.1	Изменение прав запуска X-соединения.	8
3.2	Создание топологии	8
3.3	Команда <code>ifconfig</code> на хосте <code>h1</code>	9
3.4	Команда <code>ifconfig</code> на хосте <code>h2</code>	9
3.5	Пингование	9
3.6	Добавление процента потерь	10
3.7	Пингование	10
3.8	Пингование	10
3.9	Добавление процента потерь	10
3.10	Пингование	11
3.11	Пингование	11
3.12	Восстановление конфигурации	11
3.13	Пингование	12
3.14	Добавление коэффициента потерь с корреляцией	12
3.15	Пингование	13
3.16	Добавление повреждения	13
3.17	Запуск сервера	13
3.18	Запуск клиента	14
3.19	Добавление переупорядочивания пакетов	14
3.20	Пингование	15
3.21	Добавление дублирования	15
3.22	Пингование	16
3.23	Создание каталога	16
3.24	Создание подкаталога	16
3.25	Скрипт <code>lab_netem_ii.py</code>	17
3.26	Изменение в скрипте <code>lab_netem_ii.py</code>	17
3.27	Создание <code>Makefile</code>	17
3.28	Выполнение эксперимента	18
3.29	Добавление коэффициента потерь с корреляцией	18
3.30	Выполнение эксперимента	18
3.31	Добавление повреждения	19
3.32	Выполнение эксперимента	19
3.33	Добавление переупорядочивания пакетов	19
3.34	Выполнение эксперимента	20
3.35	Добавление дублирования	20

3.36	<i>Выполнение эксперимента</i>	20
------	--------------------------------	----

Список таблиц

1 Цель работы

Основной целью работы является получение навыков проведения интерактивных экспериментов в среде Mininet по исследованию параметров сети, связанных с потерей, дублированием, изменением порядка и повреждением пакетов при передаче данных. Эти параметры влияют на производительность протоколов и сетей.

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 исследованию параметров сети, связанных с потерей, дублированием, изменением порядка и повреждением пакетов при передаче данных.
3. Реализуйте воспроизводимый эксперимент по добавлению правила отбрасывания пакетов в эмулируемой глобальной сети. На экран выведите сводную информацию о потерянных пакетах.
4. Самостоятельно реализуйте воспроизводимые эксперименты по исследованию параметров сети, связанных с потерей, изменением порядка и повреждением пакетов при передаче данных. На экран выведите сводную информацию о потерянных пакетах.

3 Выполнение лабораторной работы

Запустил виртуальную среду с mininet. Из основной ОС подключился к виртуальной машине и исправил права запуска X-соединения. Скопировал значение куки своего пользователя mininet в файл для пользователя root.

```
yazik@fedora:~$ ssh -Y mininet@192.168.56.104
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

Last login: Sat Oct 25 11:20:14 2025 from 192.168.56.1
mininet@mininet-vm:~$ xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 e6c84167b31fc7dd2fd2b69be88a4dcd
mininet@mininet-vm:~$ sudo -i
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1 e6c84167b31fc7dd2fd2b69be88a4dcd
root@mininet-vm:~# logout
```

Рисунок 3.1: Изменение прав запуска X-соединения.

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

```
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 3.2: Создание топологии

3. На хостах h1 и h2 ввел команду `ifconfig`, чтобы отобразить информацию, относящуюся к их сетевым интерфейсам и назначенным им IP-адресам.

```

"host: h1"
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 e6:c9:b1:82:fc:45 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 902 bytes 308540 (308.5 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 902 bytes 308540 (308.5 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

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

Рисунок 3.3: Команда `ifconfig` на хосте h1

```

"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 a2:c3:5a:4f:d8:bd 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 984 bytes 309672 (309.6 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 984 bytes 309672 (309.6 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

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

Рисунок 3.4: Команда `ifconfig` на хосте h2

4. Проверил 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=1.47 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.153 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.040 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.048 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.057 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5088ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.040/0.303/1.468/0.522 ms
```

Рисунок 3.5: Пингование

5. На хосте h1 добавил 10% потерь пакетов к интерфейсу h1-eth0.

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem loss 10%
root@mininet-vm:/home/mininet# █
```

Рисунок 3.6: Добавление процента потерь

6. Проверил, что на соединении от хоста h1 к хосту h2 имеются потери пакетов, используя команду ping с параметром -c 100 с хоста h1.

```
root@mininet-vm:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 100
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=0.710 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.276 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.147 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=0.055 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.052 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=0.055 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=0.048 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=22 ttl=64 time=0.052 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=23 ttl=64 time=0.044 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=24 ttl=64 time=0.051 ms
```

Рисунок 3.7: Пингование

```
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=99 ttl=64 time=0.052 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=100 ttl=64 time=0.051 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
100 packets transmitted, 86 received, 14% packet loss, time 101382ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.043/0.063/0.710/0.074 ms
```

Рисунок 3.8: Пингование

7. Для эмуляции глобальной сети с потерей пакетов в обоих направлениях к соответствующему интерфейсу на хосте h2 также добавил 10% потерь пакетов.

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss 10%
root@mininet-vm:/home/mininet# █
```

Рисунок 3.9: Добавление процента потерь

8. Проверил, что соединение между хостом h1 и хостом h2 имеет большой процент потерянных данных

```
root@mininet-vm:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 100
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=0.420 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.398 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.146 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.052 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.056 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.050 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.048 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=0.052 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=0.058 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=0.050 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=0.052 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=0.058 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=0.059 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=0.057 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=22 ttl=64 time=0.052 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=23 ttl=64 time=0.051 ms
```

Рисунок 3.10: Пингование

```
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=95 ttl=64 time=0.054 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=96 ttl=64 time=0.054 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=98 ttl=64 time=0.056 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=99 ttl=64 time=0.047 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
100 packets transmitted, 89 received, 11% packet loss, time 101363ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.045/0.061/0.420/0.053 ms
```

Рисунок 3.11: Пингование

9. Восстановил конфигурацию по умолчанию, удалив все правила, применённые к сетевому планировщику соответствующего интерфейса. Для отправителя h1 и для получателя h2.

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h2-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рисунок 3.12: Восстановление конфигурации

10. Убедился, что соединение от хоста h1 к хосту h2 не имеет явной потери пакетов, запустив команду ping с терминала хоста h1.

```

root@mininet-vm:/home/mininet# ping 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=0.448 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.249 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.115 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.045 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.059 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.050 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.050 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.045 ms
^C
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
9 packets transmitted, 9 received, 0% packet loss, time 8173ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.045/0.123/0.448/0.130 ms

```

Рисунок 3.13: Пингование

11. Добавил на интерфейсе узла h1 коэффициент потери пакетов 50%, и каждая последующая вероятность зависит на 50% от последней.

```

root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem loss 50% 50%
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рисунок 3.14: Добавление коэффициента потерь с корреляцией

12. Проверила, что на соединении от хоста h1 к хосту h2 имеются потери пакетов, используя команду `ping` с параметром `-c 50` с хоста h1. Процент потерянных пакетов после завершения передачи: 50%. Восстановил для узла h1 конфигурацию по умолчанию, удалив все правила, применённые к сетевому планировщику соответствующего интерфейса.

```

root@mininet-vm:/home/mininet# ping 10.0.0.2 -c 50
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.506 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.285 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.125 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.043 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.048 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=0.056 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=21 ttl=64 time=0.058 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=22 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=34 ttl=64 time=0.180 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=36 ttl=64 time=0.050 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=38 ttl=64 time=0.060 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=39 ttl=64 time=0.050 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=40 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=41 ttl=64 time=0.048 ms
th0 root 64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=44 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=45 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=46 ttl=64 time=0.060 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=47 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=48 ttl=64 time=0.054 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=50 ttl=64 time=0.050 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
50 packets transmitted, 25 received, 50% packet loss, time 50178ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.043/0.086/0.506/0.100 ms

```

Рисунок 3.15: Пингование

13. Добавила на интерфейсе узла h1 0,01% повреждения пакетов.

```

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 corrupt 0.01%
root@mininet-vm:/home/mininet# █

```

Рисунок 3.16: Добавление повреждения

14. Проверил конфигурацию с помощью инструмента iPerf3 для проверки повторных передач. Для этого запустила iPerf3 в режиме сервера в терминале хоста h2.

```

root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -s
warning: this system does not seem to support IPv6 - trying IPv4
-----
Server listening on 5201
-----

```

Рисунок 3.17: Запуск сервера

15. Запустил iPerf3 в клиентском режиме в терминале хоста h1.

```

root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2
Connecting to host 10.0.0.2, port 5201
[ 7] local 10.0.0.1 port 54630 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate      Retr    Cwnd
[ 7]  0.00-1.00    sec  6.15 GBytes  52.8 Gbits/sec  11    2.76 MBytes
[ 7]  1.00-2.00    sec  5.78 GBytes  49.7 Gbits/sec  12    2.07 MBytes
[ 7]  2.00-3.00    sec  5.75 GBytes  49.4 Gbits/sec   8    2.56 MBytes
[ 7]  3.00-4.00    sec  5.82 GBytes  50.0 Gbits/sec  12    1.75 MBytes
[ 7]  4.00-5.00    sec  5.87 GBytes  50.5 Gbits/sec   8    2.26 MBytes
[ 7]  5.00-6.00    sec  5.40 GBytes  46.4 Gbits/sec   8    2.35 MBytes
[ 7]  6.00-7.00    sec  5.52 GBytes  47.4 Gbits/sec   6    1.88 MBytes
[ 7]  7.00-8.00    sec  5.58 GBytes  47.9 Gbits/sec  13    1.92 MBytes
[ 7]  8.00-9.00    sec  5.75 GBytes  49.4 Gbits/sec   8    2.24 MBytes
[ 7]  9.00-10.00   sec  5.67 GBytes  48.8 Gbits/sec   9    2.02 MBytes
-----
[ ID] Interval      Transfer    Bitrate      Retr
[ 7]  0.00-10.00   sec  57.3 GBytes  49.2 Gbits/sec  95
[ 7]  0.00-10.00   sec  57.3 GBytes  49.2 Gbits/sec
iperf Done.

```

Рисунок 3.18: *Запуск клиента*

16. Восстановил для узла h1 конфигурацию по умолчанию, удалив все правила, применённые к сетевому планировщику соответствующего интерфейса.
17. Добавил на интерфейсе узла h1 следующее правило. Здесь 25% пакетов (со значением корреляции 50%) будут отправлены немедленно, а остальные 75% будут задержаны на 10 мс.

```

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 10ms reorder 25% 50%
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рисунок 3.19: *Добавление переупорядочивания пакетов*

18. Проверил, что на соединении от хоста h1 к хосту h2 имеются потери пакетов, используя команду ping с параметром -c 20 с хоста h1. Отсутствующих из-за потери пакетов номеров последовательности нет. Процент потерянных пакетов после завершения передачи: 0%. Восстановил конфигурацию интерфейса по умолчанию на узле h1.

```

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=11.4 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.333 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.127 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=10.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=10.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=10.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=10.6 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=10.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=10.6 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=10.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=10.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=0.048 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=10.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=10.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=10.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=0.050 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=0.040 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19162ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.040/6.497/11.358/5.232 ms

```

Рисунок 3.20: Пингование

19. Для интерфейса узла h1 задала правило с дублированием 50% пакетов (т.е. 50% пакетов должны быть получены дважды).

```

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 duplicate 50%
root@mininet-vm:/home/mininet# █

```

Рисунок 3.21: Добавление дублирования

20. Проверил, что на соединении от хоста h1 к хосту h2 имеются дублированные пакеты, используя команду ping с параметром -c 20 с хоста h1. Восстановил конфигурацию интерфейса по умолчанию на узле h1.

```

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=0.465 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.270 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.117 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.047 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=5 ttl=64 time=0.059 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.044 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.044 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.049 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.079 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=0.054 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=0.054 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=0.052 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=0.054 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.049 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=0.056 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=0.057 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=0.048 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=0.048 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=0.052 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=0.051 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=0.050 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, +9 duplicates, 0% packet loss, time 19458ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.044/0.075/0.465/0.084 ms

```

Рисунок 3.22: Пингование

21. Для каждого воспроизводимого эксперимента expname создал свой каталог, в котором будут размещаться файлы эксперимента.

```

mininet@mininet-vm:~$ mkdir -p ~/work/lab_netem_ii/expname
mininet@mininet-vm:~$

```

Рисунок 3.23: Создание каталога

22. В виртуальной среде mininet в своём рабочем каталоге с проектами создал каталог simple-drop и перешла в него.

```

mininet@mininet-vm:~$ mkdir -p ~/work/lab_netem_ii/expname
mininet@mininet-vm:~$ cd ~/work/lab_netem_ii/expname
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/expname$ touch lab_netem_ii.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/expname$ ls
lab_netem_ii.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/expname$

```

Рисунок 3.24: Создание подкаталога

23. Создал скрипт для эксперимента lab_netem_ii.py.


```

mininet@mininet-vm: ~/work/lab_netem_ii/expname — ssh -Y mininet@192.168.56.104
/home/mininet/work/lab_netem_ii/expname/lab_netem_ii.py [-M--] 8 L: [ 7+41 48/ 48] x(1152/11620) 101 0x005

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 )
    info( '*** Starting 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 loss 100' )
    h2.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss 100' )
    time.sleep(10) # Wait 10 seconds
    info( '*** Ping\n' )
    h1.cmdPrint( 'ping -c 100', h2.IP(), '| grep "time" | awk \'{print $5, $7}\'} | sed -e \'/time//g\' -e \'/seq//g\' > ping.dat' )
    info( '*** Stopping network\n' )
    net.stop()

if __name__ == '__main__':
    setLogLevel( 'INFO' )

```

Рисунок 3.25: Скрипт *lab_netem_ii.py*

24. Скорректировал скрипт так, чтобы в отдельный файл выводилась информация о потерях пакетов.

```

info( '*** Ping\n' )
h1.cmdPrint( 'ping -c 100', h2.IP(), '| grep "packet loss" | awk \'{print $5, $7, $8}\'} > ping.dat' )
info( '*** Stopping network\n' )

```

Рисунок 3.26: Изменение в скрипте *lab_netem_ii.py*

25. Создал Makefile для управления процессом проведения эксперимента.

```

all: ping.dat

ping.dat:
<----->sudo python lab_netem_ii.py
<----->sudo chown mininet:mininet ping.dat

clean:
<----->-rm -f *.dat

```

Рисунок 3.27: Создание *Makefile*

26. Выполнил эксперимент.

```

mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/expname$ make
sudo python lab_netem_ii.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 loss 10%',)
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss 10%',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "packet loss" | awk \'{print $5, $7, $8}\'' > 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

```

Рисунок 3.28: *Выполнение эксперимента*

27. Самостоятельно реализовал воспроизводимые эксперименты по исследованию параметров сети, связанных с потерей пакетов и добавление значения корреляции для потери пакетов.

```

-->info( '*** Set delay\n')
-->h1.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h1-eth0 root netem loss 50% 50%' )
-->#h2.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss 10%' )

```

Рисунок 3.29: *Добавление коэффициента потерь с корреляцией*

```

mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/expname$ make
sudo python lab_netem_ii.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 loss 50% 50%',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "packet loss" | awk \'{print $5, $7, $8}\'' > 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

```

Рисунок 3.30: *Выполнение эксперимента*

28. Самостоятельно реализовал воспроизводимые эксперименты по исследованию параметров сети, связанных добавлением повреждения пакетов.

```
----->info( '*** Set delay\n')
----->h1.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h1-eth0 root netem corrupt 0.01%' )
----->#h2.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss 10%' )
```

Рисунок 3.31: Добавление повреждения

```
mininet@mininet-vm: /work/lab_netem_11/expname$ make
sudo python lab_netem_11.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 corrupt 0.01%',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "packet loss" | awk \'{print $5, $7, $8}\'' > 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
```

Рисунок 3.32: Выполнение эксперимента

29. Самостоятельно реализовал воспроизводимые эксперименты по исследованию параметров сети, связанных добавлением переупорядочивания пакетов.

```
----->info( '*** Set delay\n')
----->h1.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 10ms reorder 25% 50%' )
----->#h2.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss 10%' )
```

Рисунок 3.33: Добавление переупорядочивания пакетов

```

mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_11/expname$ make
sudo python lab_netem_11.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 10ms reorder 25% 50%,)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "packet loss" | awk \'{print $5, $7, $8}\'' > 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

```

Рисунок 3.34: *Выполнение эксперимента*

30. Самостоятельно реализовал воспроизводимые эксперименты по исследованию параметров сети, связанных добавлением дублирования пакетов.

```

---->info( '*** Set delay\n')
---->h1.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h1-eth0 root netem duplicate 50%' )
---->h2.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss 10%' )

```

Рисунок 3.35: *Добавление дублирования*

```

mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_11/expname$ make
sudo python lab_netem_11.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 duplicate 50%,)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "packet loss" | awk \'{print $5, $7, $8}\'' > 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

```

Рисунок 3.36: *Выполнение эксперимента*

4 Выводы

Я получил навыки проведения интерактивных экспериментов в среде Mininet по исследованию параметров сети, связанных с потерей, дублированием, изменением порядка и повреждением пакетов при передаче данных.