

Отчёт по лабораторной работе №5

Эмуляция и измерение потерь пакетов в глобальных сетях

Лушин Артём Андреевич

Содержание

1	Цель работы	4
2	Выполнение лабораторной работы	5
3	Вывод	18

Список иллюстраций

2.1	Изменения прав доступа	5
2.2	Простейшая топология	6
2.3	Информация об устройствах	6
2.4	Пингование	7
2.5	Добавление потерь	7
2.6	Пингование с потерей	7
2.7	Результаты пингования	7
2.8	Потеря пакетов у второго хоста	8
2.9	Пингование с задержкой на двух хостах	8
2.10	Результат пингования	9
2.11	Восстановление конфигурации	9
2.12	Отсутствие потери	9
2.13	Потери пакетов 50%	10
2.14	Пингование с 50%	10
2.15	Добавление повреждения пакетов	10
2.16	Проверка конфигурации	10
2.17	Запуск клиента	11
2.18	Добавление двойного условия	11
2.19	Пиноование	11
2.20	Установка дублирования	12
2.21	Пингование с дублированием	12
2.22	Создание каталога	12
2.23	Создание файла со скриптом	13
2.24	Создание скрипта	13
2.25	Корректировка скрипта	13
2.26	Создание Makefile	14
2.27	Эксперимент	14
2.28	Скрипт эксперимента 1	14
2.29	Результаты эксперимента 1	15
2.30	Скрипт эксперимента 2	15
2.31	Результаты эксперимента 2	15
2.32	Скрипт эксперимента 3	16
2.33	Результаты эксперимента 3	16
2.34	Скрипт эксперимента 4	16
2.35	Результаты эксперимента 4	17

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 Выполнение лабораторной работы

- 1) Я запустил виртуальную среду с mininet и подключился к основной ос. В виртуальной машине исправил права запуска. Скопировал значение куки своего пользователя для пользователя рут.

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

Last login: Fri Oct 24 17:58:50 2025 from 192.168.56.9
mininet@mininet-vm: $ xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10  MIT-MAGIC-COOKIE-1  783ca25f107873017fe01ec15be10672
mininet@mininet-vm: $ sudo -i
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:10 MIT-MAGIC-COOKIE-1  783ca25f107873017fe01ec15be10672
root@mininet-vm:~# logout
```

Рис. 2.1: Изменения прав доступа

- 2) Задал простейшую топологию, состоящую из двух хостов, коммутатора и контролёра.

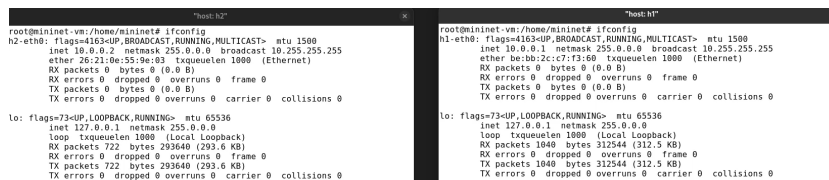
```

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. 2.2: Простейшая топология

- 3) На хостах ввёл команду `ifconfig`, чтобы отобразить информацию об устройствах.



```

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 26:21:0e:55:9e:03 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 722 bytes 293640 (293.6 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 722 bytes 293640 (293.6 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

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 be:bb:2c:c7:f3:60 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 1040 bytes 312544 (312.5 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 1040 bytes 312544 (312.5 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

```

Рис. 2.3: Информация об устройствах

- 4) Проверил подключение между хостами с помощью команды `ping`.

```

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=32.6 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.151 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=0.122 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.133 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.042 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---

```

Рис. 2.4: Пингование

- 5) На первом хосте добавил 10% потери пакетов к интерфейсу.

```

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

```

Рис. 2.5: Добавление потерь

- 6) Проверил соединение с добавлением потерь. Видно, что некоторые номера теряются, а процент потерь составил 9%.

```

64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.183 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=0.048 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.056 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.044 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.054 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=0.073 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=0.044 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=0.670 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.055 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=0.114 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=0.042 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=0.293 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=19 ttl=64 time=0.052 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=21 ttl=64 time=0.048 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=22 ttl=64 time=0.055 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=23 ttl=64 time=0.052 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=24 ttl=64 time=0.048 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=25 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=26 ttl=64 time=0.063 ms

```

Рис. 2.6: Пингование с потерей

```

root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 100 10.0.0.2
100 packets transmitted, 91 received, 9% packet loss, time 101271ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.042/0.136/2.713/0.299 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рис. 2.7: Результаты пингования

7) К второму хосту также добавил 10% потери пакетов.

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

Рис. 2.8: Потеря пакетов у второго хоста

8) Проверил соединение между хостами. Теперь процент потери пакетов стал больше, так как процент потери есть и на первом, и на втором хосте.

```

"host: h1"
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=53 ttl=64 time=0.050 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=54 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=57 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=59 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=60 ttl=64 time=0.045 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=63 ttl=64 time=0.110 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=64 ttl=64 time=0.045 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=65 ttl=64 time=0.077 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=66 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=67 ttl=64 time=0.123 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=68 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=70 ttl=64 time=0.273 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=72 ttl=64 time=0.156 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=73 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=74 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=75 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=76 ttl=64 time=0.054 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=77 ttl=64 time=0.417 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=78 ttl=64 time=0.054 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=81 ttl=64 time=0.108 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=82 ttl=64 time=0.043 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=83 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=84 ttl=64 time=0.047 ms
```

Рис. 2.9: Пингование с задержкой на двух хостах


```

"host: h1"
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=75 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=76 ttl=64 time=0.054 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=77 ttl=64 time=0.417 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=78 ttl=64 time=0.054 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=81 ttl=64 time=0.108 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=82 ttl=64 time=0.043 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=83 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=84 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=87 ttl=64 time=0.048 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=88 ttl=64 time=0.048 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=89 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=90 ttl=64 time=0.096 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=91 ttl=64 time=0.067 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=93 ttl=64 time=0.098 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=95 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=96 ttl=64 time=0.050 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=97 ttl=64 time=0.062 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=98 ttl=64 time=0.062 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=100 ttl=64 time=0.061 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
100 packets transmitted, 74 received, 26% packet loss, time 101347ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.036/0.120/3.296/0.377 ms

```

Рис. 2.10: Результат пингования

9) Восстановил первоначальную конфигурацию на двух хостах.

```

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

```

Рис. 2.11: Восстановление конфигурации

10) Убедился, что соединение от хоста не имеет явной потери пакетов.

```

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=2.60 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.358 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.162 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.039 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.044 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.060 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.042 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.044 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=0.208 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=0.037 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=0.054 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.072 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=0.045 ms
^C
--- 10.0.0.2 ping statistics ---
14 packets transmitted, 14 received, 0% packet loss, time 13297ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.037/0.272/2.596/0.650 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рис. 2.12: Отсутствие потери

- 11) Добавил 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%
```

Рис. 2.13: Потери пакетов 50%

- 12) Проверил, что соединение между хостами имеет потерю пакетов в 50%.

```
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=1 ttl=64 time=0.431 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.050 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.048 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.044 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=14 ttl=64 time=0.048 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=0.055 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=23 ttl=64 time=0.061 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=26 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=27 ttl=64 time=0.052 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=29 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=30 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=31 ttl=64 time=0.055 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=32 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=33 ttl=64 time=0.051 ms
```

Рис. 2.14: Пингование с 50%

- 13) Добавил на интерфейсах узла 0,01% повреждения пакетов.

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem corrupt 0.01%
```

Рис. 2.15: Добавление повреждения пакетов

- 14) Проверил конфигурацию.

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

Рис. 2.16: Проверка конфигурации

15) Запустил Iperf3 в клиентском режиме.

```
Accepted connection from 10.0.0.1, port 51094
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 51096
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate
[ 7] 0.00-1.00 sec  2.16 GBytes  18.6 Gbits/sec
[ 7] 1.00-2.00 sec  2.48 GBytes  21.3 Gbits/sec
[ 7] 2.00-3.00 sec  2.47 GBytes  21.2 Gbits/sec
[ 7] 3.00-4.00 sec  2.99 GBytes  25.8 Gbits/sec
[ 7] 4.00-5.00 sec  2.95 GBytes  25.3 Gbits/sec
[ 7] 5.00-6.00 sec  2.81 GBytes  24.1 Gbits/sec
[ 7] 6.00-7.00 sec  2.81 GBytes  24.1 Gbits/sec
[ 7] 7.00-8.00 sec  3.08 GBytes  25.8 Gbits/sec
[ 7] 8.00-9.00 sec  2.46 GBytes  21.1 Gbits/sec
[ 7] 9.00-10.00 sec 2.47 GBytes  21.2 Gbits/sec
[ 7] 10.00-10.00 sec 640 Kbytes  1.90 Gbits/sec
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate
[ 7] 0.00-10.00 sec 26.6 GBytes  22.8 Gbits/sec
Server listening on 5201

root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2
Connecting to host 10.0.0.1, port 5201
[ 7] local 10.0.0.1 port 51096 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate  Retr  Cwnd
[ 7] 0.00-1.00 sec  2.16 GBytes  18.6 Gbits/sec  0 1.78 Mbytes
[ 7] 1.00-2.00 sec  2.48 GBytes  21.3 Gbits/sec  5 2.12 Mbytes
[ 7] 2.00-3.00 sec  2.48 GBytes  21.3 Gbits/sec 11 1000 Kbytes
[ 7] 3.00-4.00 sec  2.99 GBytes  25.7 Gbits/sec  7 1.69 Mbytes
[ 7] 4.00-5.00 sec  2.84 GBytes  25.3 Gbits/sec  3 2.22 Mbytes
[ 7] 5.00-6.00 sec  2.81 GBytes  24.2 Gbits/sec  2 1.77 Mbytes
[ 7] 6.00-7.00 sec  2.82 GBytes  24.2 Gbits/sec  7 1.26 Mbytes
[ 7] 7.00-8.00 sec  2.98 GBytes  25.6 Gbits/sec  2 3.01 Mbytes
[ 7] 8.00-9.00 sec  2.49 GBytes  21.4 Gbits/sec  5 1.76 Mbytes
[ 7] 9.00-10.00 sec 2.47 GBytes  21.2 Gbits/sec  5 1.19 Mbytes
[ ID] Interval      Transfer      Bitrate  Retr
[ 7] 0.00-10.00 sec 26.6 GBytes  22.9 Gbits/sec 138
[ 7] 0.00-10.00 sec 26.6 GBytes  22.8 Gbits/sec
sender
receiver
```

Рис. 2.17: Запуск клиента

16) Восстановил конфигурацию на узлах. Добавил в конфигурацию правило, что 25% пакетов с корреляцией в 50% будут отправляться немедленно, а остальные 75% с задержкой в 10мс.

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 10ms reorder 25% 50%
```

Рис. 2.18: Добавление двойного условия

17) Посмотрел, что новое условие работает как нужно.

```
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=11.2 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=11.3 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.051 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=11.2 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=10.2 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=11.2 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=10.4 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.051 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=10.7 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=0.049 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=10.7 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=11.3 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=10.3 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=11.0 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=11.4 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=10.2 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=11.2 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=10.6 ms
54 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=10.7 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19093ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.049/9.357/13.391/3.965 ms
```

Рис. 2.19: Пиноование

- 18) Установил значения по умолчанию. Задал процент дублирования пакетов 50%.

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem duplica
te 50%
root@mininet-vm:/home/mininet# █
```

Рис. 2.20: Установка дублирования

- 19) Проверил, что соединение между хостами имеет дублированные пакеты. Затем восстановил конфигурацию.

```
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.052 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.053 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=0.042 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=0.225 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=0.226 ms (DUP!)
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=12 ttl=64 time=0.056 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.045 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.045 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=0.045 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=0.042 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=0.082 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=0.045 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=18 ttl=64 time=0.047 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=0.055 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=0.055 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=0.052 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, +9 duplicates, 0% packet loss, time 19419ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.042/0.088/0.735/0.130 ms
█
```

Рис. 2.21: Пингование с дублированием

- 20) Создал каталог, где будет выполняться последующий скрипт.

```
mininet@mininet-vm:~$ cd work/
mininet@mininet-vm:~/work$ ls
lab1.mn  lab_iperf3  lab_netem_i
mininet@mininet-vm:~/work$ mkdir -p lab_netem_ii
mininet@mininet-vm:~/work$ cd lab_netem_ii
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii$ mkdir -p simple-drop
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii$ cd simple-drop/
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$
```

Рис. 2.22: Создание каталога

- 21) Создал файл, где будет прописан скрипт.

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$ touch lab_netem_ii.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$ mc
```

Рис. 2.23: Создание файла со скриптом

22) Прописал скрипт программы.

```
###
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():

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 h2-eth0 root netem loss 10%' )
h2.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss 10%' )
time.sleep(10)
info( '*** Ping\n' )
h1.cmdPrint( 'ping -c 100', h2.IP(), '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\'' | sed -e \'/time=//g\' -e \'/icmp_seq//g\' > ping.dat' )
info( '*** Stopping network' )
net.stop()
if __name__ == '__main__':
    setLogLevel( 'info' )
    emptyNet()
```

Рис. 2.24: Создание скрипта

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

```
h1.cmdPrint( 'ping -c 100', h2.IP(), '| grep "packet loss" | awk \'{print $6, $7, $8}\'' > ping.dat' )
info( '*** Stopping network' )
net.stop()
```

Рис. 2.25: Корректировка скрипта

24) 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
```

Рис. 2.26: Создание Makefile

25) Выполнил эксперимент.

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$ 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 $6, $7, $8}\'' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$ cat ping.dat
22% packet loss,
```

Рис. 2.27: Эксперимент

26) Самостоятельно реализовал воспроизводимые эксперименты по исследованию сети. Эксперимент 1.

```
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%' )

time.sleep(10)
```

Рис. 2.28: Скрипт эксперимента 1

```

mininet@mininet-vm: /work/lab_netem_i1/simple-drop$ make
sudo python lab_netem_i1.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 $6, $7, $8}\'' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
mininet@mininet-vm: /work/lab_netem_i1/simple-drop$ cat ping.dat
+6 errors, 50%
mininet@mininet-vm: /work/lab_netem_i1/simple-drop$

```

Рис. 2.29: Результаты эксперимента 1

27) Провёл эксперимент 2.

```

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%' )

```

Рис. 2.30: Скрипт эксперимента 2

```

mininet@mininet-vm: /work/lab_netem_i1/simple-drop$ make
sudo python lab_netem_i1.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 $6, $7, $8}\'' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
mininet@mininet-vm: /work/lab_netem_i1/simple-drop$ cat ping.dat
0% packet loss,

```

Рис. 2.31: Результаты эксперимента 2

28) Провёл эксперимент 3.

```

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%' )

```

Рис. 2.32: Скрипт эксперимента 3

```

mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$ 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 delay 10ms reorder 25% 50%,)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "packet loss" | awk \'{print $6, $7, $8}\'' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$ cat ping.dat
0% packet loss,

```

Рис. 2.33: Результаты эксперимента 3

29) Провёл эксперимент 4.

```

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%' )

```

Рис. 2.34: Скрипт эксперимента 4


```

mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_11/simple-drop$ 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 $6, $7, $8}\'' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_11/simple-drop$ cat ping.dat
+55 duplicates, 0%

```

Рис. 2.35: Результаты эксперимента 4

3 Вывод

Я получил навыки проведения интерактивных экспериментов по исследованию параметров сети, связанных с потерей, дублированием, изменением порядка и повреждениями пакетов при передачи данных. Эти параметры влияют на производительность протоколов и сети.