

УДК 004.7

ТЕСТИРОВАНИЕ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНОЙ СВЕРТКИ НА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОМ ОБОРУДОВАНИИ

О.А. ЛАВШУК¹, Н.И. ЛИСТОПАД²

¹Белорусская государственная академия связи
(г.Минск, Республика Беларусь)

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г.Минск, Республика Беларусь)

E-mail: O.Lavshuk@bsac.by

Аннотация. Существующие протоколы маршрутизации осуществляют выбор маршрута без учета ее текущей загрузки и различных параметров передаваемого трафика, таких как, пропускная способность, задержка, джиттер и вероятность прохождения пакетов. В данной работе проводится проверка возможности использования результатов выполненного численного моделирования на реальном оборудовании в лаборатории учебного центра CISCO с использованием существующего протокола маршрутизации на базе состояния канала OSPF.

Abstract. Existing routing protocols perform route selection without taking into account the current network load and various parameters of the transmitted traffic, such as throughput, latency, jitter, and packet propagation probability. This paper examines the feasibility of using the results of numerical simulations on real equipment in the CISCO training center laboratory using the existing OSPF link-state routing protocol.

Проверка численного моделирования, рассмотренного в статьях [1, 2] выполнялась в лаборатории учебного центра CISCO УО «Белорусская государственная академия связи» имеется различное сетевое оборудование: маршрутизаторы, коммутаторы второго и третьего уровня. Выполнить проверку численного моделирования в маршрутизаторах не представляется возможным из-за ограниченного количества доступных интерфейсов. На рис.1 показана топология сети и собранная сеть на оборудовании.

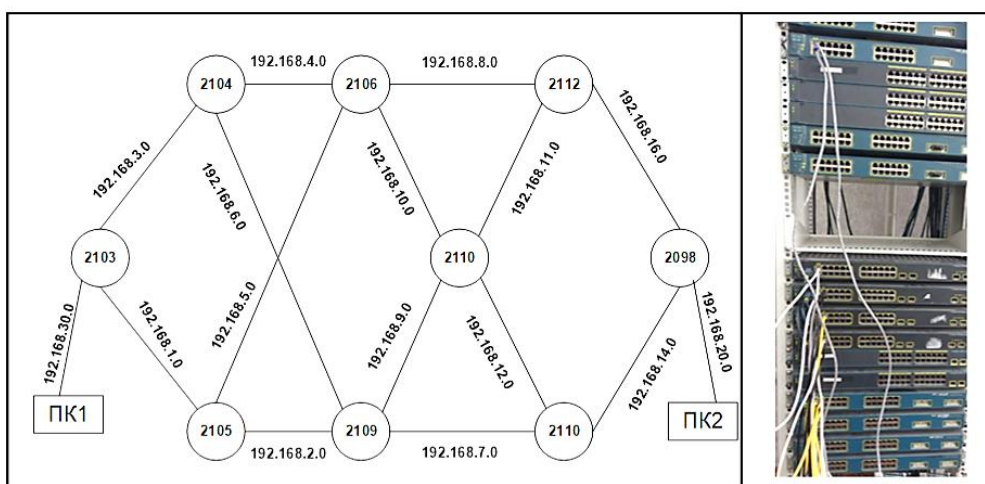


Рис. 1. Топология сети и собранная сеть на оборудовании

Для реализации сети необходимо минимум четыре однотипных интерфейса и было принято решение собрать топологию на коммутаторах CISCO серии 3750 и 3550. Коммутаторы серии 3750 и 3550 содержат по 24 порта Gigabit Ethernet с пропускной способностью 1000 Мбит/с и включают расширенное качество обслуживания (QoS), списки контроля доступа (ACL), статическую маршрутизацию, протоколы маршрутизации RIP, OSPF и EIGRP.

Для проверки численного моделирования настроили используемые порты, преобразовав их в маршрутизируемые и включили протокол маршрутизации OSPF в одной области для всех устройств нашей сети. Изменили настройку IP-конфигурации сетевого адаптера на ПК1 и ПК2, настройки приведены на рис. 2.

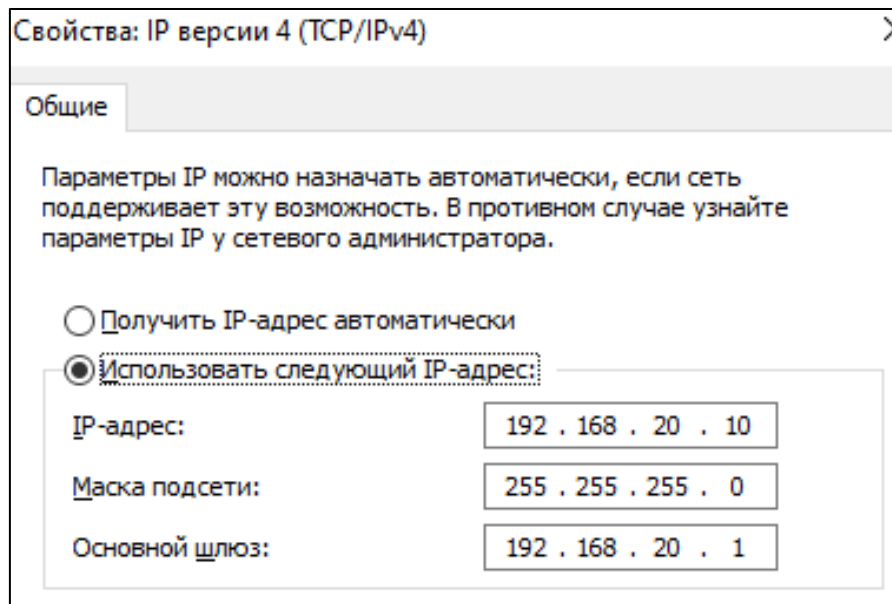


Рис. 2. IP-конфигурация сетевого адаптера ПК2

Выполнили проверку доступности ПК2 с ПК1, для чего использовали стандартную утилиту ping на ПК1.

```
C:\Users\user>ping 192.168.20.10

Обмен пакетами с 192.168.20.10 по с 32 байтами данных:
Ответ от 192.168.20.10: число байт=32 время<1мс TTL=123
Ответ от 192.168.20.10: число байт=32 время<1мс TTL=123
Ответ от 192.168.20.10: число байт=32 время<1мс TTL=123
Ответ от 192.168.20.10: число байт=32 время<1мс TTL=123

Статистика Ping для 192.168.20.10:
    Пакетов: отправлено = 4, получено = 4, потеряно = 0
    (0% потерь)
Приблизительное время приема-передачи в мс:
    Минимальное = 0мсек, Максимальное = 0 мсек, Среднее = 0 мсек
```

Рис. 3. Результат проверки доступности ПК2

На рис. 3 показан результат проверки доступности ПК2 от ПК1. Проанализировав результат видим, что все четыре пакета отправлены и приняты ПК2, что говорит о доступности устройств. Посмотрим таблицу маршрутизации на устройстве 2103 с помощью команды *show ip route*, результат приведен на рис. 4.

```
o 192.168.12.0/24 [110/4] via 192.168.1.2, 00:06:04, FastEthernet1/0/2
o 192.168.13.0/24 [110/4] via 192.168.1.2, 00:06:04, FastEthernet1/0/2
o 192.168.14.0/24 [110/4] via 192.168.1.2, 00:06:04, FastEthernet1/0/2
o 192.168.8.0/24 [110/3] via 192.168.1.2, 00:06:04, FastEthernet1/0/2
o 192.168.9.0/24 [110/3] via 192.168.1.2, 00:06:04, FastEthernet1/0/2
o 192.168.10.0/24 [110/3] via 192.168.1.2, 00:06:04, FastEthernet1/0/2
o 192.168.11.0/24 [110/4] via 192.168.1.2, 00:06:04, FastEthernet1/0/2
o 192.168.4.0/24 [110/3] via 192.168.1.2, 00:06:04, FastEthernet1/0/2
o 192.168.5.0/24 [110/2] via 192.168.1.2, 00:06:04, FastEthernet1/0/2
o 192.168.6.0/24 [110/3] via 192.168.1.2, 00:06:04, FastEthernet1/0/2
o 192.168.7.0/24 [110/3] via 192.168.1.2, 00:06:04, FastEthernet1/0/2
c 192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0/2
o 192.168.2.0/24 [110/2] via 192.168.1.2, 00:06:04, FastEthernet1/0/2
c 192.168.3.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0/1
```

Рис. 4. Таблица маршрутизации для устройства 2103

В таблице маршрутизации приведены все известные сети, о которых знает устройство 2103. В списке сетей наибольший интерес для нас представляет выделенная сеть, а именно 192.168.14.0 с метрикой 4 и следующим переходом 192.168.1.2. А также для исследования важен путь прохождения пакета от ПК1 до ПК2, который посмотрим с использованием утилиты трассировки *tracert* на рис. 5.

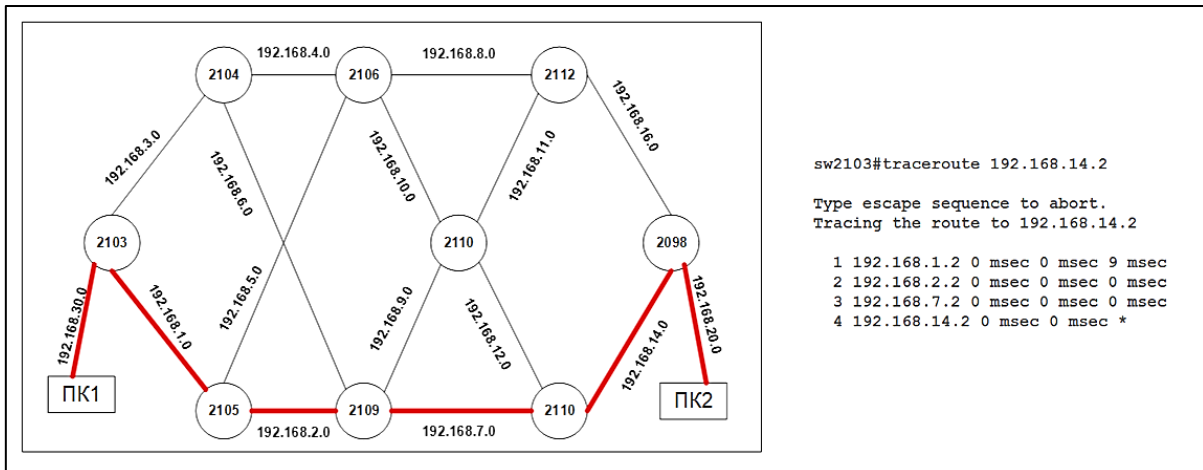


Рис. 5. Трассировка маршрута и оптимальный путь

Утилита *traceroute* отправляет заданному узлу серию из трех ICMP-пакетов. Из результата (рисунок 4) каждая цифра времени, например, для первого доступного устройства с IP-адресом 192.168.2.2 – это сумма трех задержек: задержка прохождения пакета от первого узла к четвертому + время обработки пакета узлом и время формирования ответного пакета + задержка прохождения ответного пакета от 2098 к 2103 устройству. Чем меньше время, тем быстрее осуществляется передача. При пересылке пакета от устройства 2103 к 2098. Пакет пройдет маршрут 2103-2105-2109-2110-2098.

В протоколе маршрутизации нет возможности изменить формулу для нахождения оптимального пути, сам алгоритм реализован либо аппаратно на устройстве, либо в операционной системе, доступ к которой закрыт. Но возможно изменять стоимость канала для каждого интерфейса. [3] В выполненном численном моделировании [2] аддитивная свертка находится в пределах $-1 < r < 1$. Использовать рассчитанные значения в протоколе OSPF нельзя. Для каналов оптимального маршрута предлагается установить минимальную стоимость 1, так как в протоколе OSPF наилучшим маршрутом считается путь с минимальной стоимостью. Затем рассматриваем следующий наилучший путь за оптимальным и для каналов, которые не входят в оптимальный устанавливаем стоимость 2. Далее берется третий по приоритету путь и для него необходимо назначить стоимость 3 для еще не используемых каналов. Таким образом назначаем стоимости для всех наилучших маршрутов.

После изменения настроек на устройствах посмотрим таблицу маршрутизации (рис. 6) и путь прохождения пакета (рис. 7).

```

sw2103#show ip route
Gateway of last resort is not set
|
0   192.168.12.0/24 [110/6] via 192.168.1.2, 00:02:59, FastEthernet1/0/2
0   192.168.13.0/24 [110/5] via 192.168.1.2, 00:02:59, FastEthernet1/0/2
0   192.168.14.0/24 [110/7] via 192.168.1.2, 00:02:59, FastEthernet1/0/2
0   192.168.8.0/24 [110/9] via 192.168.1.2, 00:02:59, FastEthernet1/0/2
0   192.168.9.0/24 [110/3] via 192.168.1.2, 00:02:59, FastEthernet1/0/2
0   192.168.10.0/24 [110/9] via 192.168.1.2, 00:02:59, FastEthernet1/0/2
0   192.168.11.0/24 [110/4] via 192.168.1.2, 00:02:59, FastEthernet1/0/2
0   192.168.4.0/24 [110/9] via 192.168.1.2, 00:02:59, FastEthernet1/0/2
0   192.168.5.0/24 [110/7] via 192.168.1.2, 00:02:59, FastEthernet1/0/2
0   192.168.6.0/24 [110/4] via 192.168.1.2, 00:02:59, FastEthernet1/0/2
0   192.168.7.0/24 [110/8] via 192.168.1.2, 00:02:59, FastEthernet1/0/2
C   192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0/2
0   192.168.2.0/24 [110/2] via 192.168.1.2, 00:02:59, FastEthernet1/0/2
C   192.168.3.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0/1
sw2103#
  
```

Рис. 6. Измененная таблица маршрутизации для устройства 2103

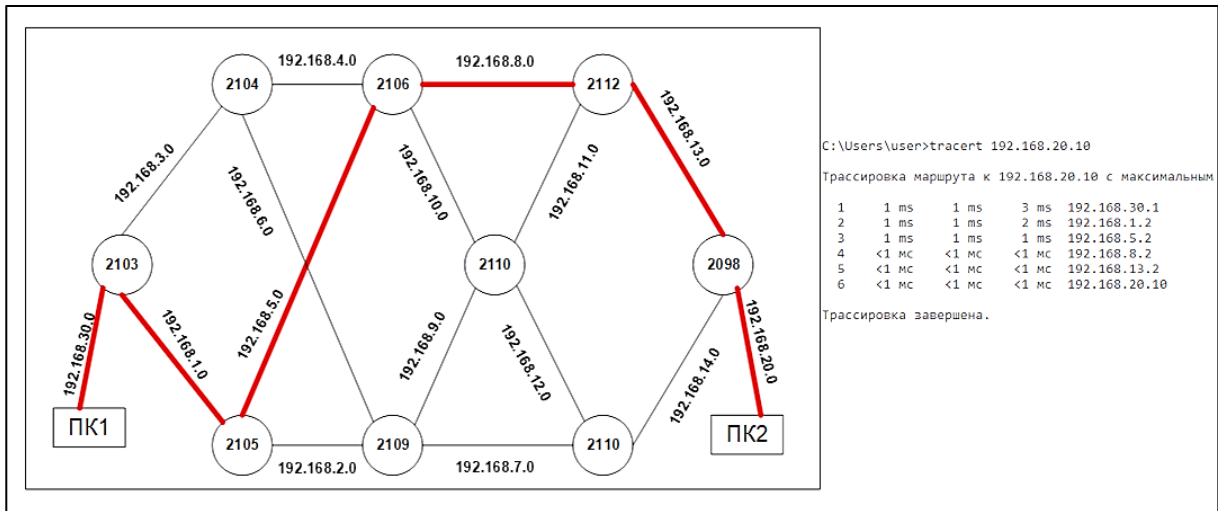


Рис. 7. Трассировка маршрута и оптимальный путь

Таблица маршрутизации устройства 2103 изменилась. Для анализируемой сети 192.168.14.0 изменилась метрика с 4 на 7. Трассировка показывает путь прохождения пакета от ПК1 до ПК2 и проходить через устройства 2103-2105-2106-2112-2098. Путь изменился в соответствии с настройками и подтверждает, что данную методику можно применять в сети для балансировки нагрузки и использования различных маршрутов в соответствии с разными типами трафика.

В настроенной сети проанализируем пропускную способность и скорость передачи данных. Для чего на конечных устройствах будем использовать утилиту iperf3.exe. Данная утилита является кроссплатформенной и доступна для всех операционных систем и работает в клиент-серверной архитектуре, поэтому ПК1 будем использовать как клиент, а ПК2 настроим в качестве сервера.

Сервер iperf – запускается на ПК2 командой: *iperf3 -s*, слушает определенный порт и принимает трафик от клиента. Клиент iperf ПК1 – генерирует тестовый TCP/UDP трафик и отправляет его на сервер и запускается командой с IP-адресом сервера: *iperf3 -c 192.168.20.20* (рис.8).

```

C:\Users\user\Downloads>iperf3.exe -s
-----
Server listening on 5201 (test #1)
-----
Accepted connection from 192.168.30.10, port 53619
[ 5] local 192.168.20.10 port 5201 connected to 192.168.30.10 port 53620
[ ID] Interval           Transfer     Bitrate
[ 5] 0.00-1.01      sec  11.4 MBytes  94.6 Mbits/sec
[ 5] 1.01-2.01      sec  11.2 MBytes  94.1 Mbits/sec
[ 5] 2.01-3.00      sec  11.2 MBytes  95.4 Mbits/sec
[ 5] 3.00-4.00      sec  11.4 MBytes  95.3 Mbits/sec
[ 5] 4.00-5.00      sec  11.2 MBytes  94.6 Mbits/sec
[ 5] 5.00-6.01      sec  11.5 MBytes  95.2 Mbits/sec
[ 5] 6.01-7.02      sec  11.2 MBytes  94.2 Mbits/sec
[ 5] 7.02-8.00      sec  11.1 MBytes  94.8 Mbits/sec
[ 5] 8.00-9.01      sec  11.5 MBytes  95.1 Mbits/sec
[ 5] 9.01-10.01     sec  11.4 MBytes  95.4 Mbits/sec
[ 5] 10.01-10.09    sec    896 KBytes  98.9 Mbits/sec
-----
[ ID] Interval           Transfer     Bitrate
[ 5] 0.00-10.09     sec   114 MBytes  94.9 Mbits/sec
-----
receiver
  
```

Рис. 8. Результат тестирования пропускной способности и скорости канала

Утилита iperf выводит следующие показатели: Interval – интервал тестирования (в сек.); Transfer – размер переданных данных за это время; Bitrate – средняя пропускная способность сети за данный период. В нашем примере тестирование длилось 10 секунд. В итоговом отчете средняя пропускная способность сети между двумя узлами – 94,9 Мбит/с. Было передано 114 Мб данных (столбец Transfer).

«ИНФОРМАЦИОННЫЕ РАДИОСИСТЕМЫ И РАДИОТЕХНОЛОГИИ 2026»

Международная научно-техническая конференция, 9-10 июня 2026 г., Минск, Республика Беларусь

Чтобы проанализировать джиттер и задержку в сети с клиента на сервер отправляли по 100 пакетов разного размера 1500 байт и 65500 байт. Среднее время доставки пакета 1500 байт составляет 2 мс, а 65500 байт – 13 мс при настройке протокола OSPF с параметрами по умолчанию. При изменении стоимости каналов в соответствии с численным моделированием среднее время доставки пакета 1500 байт составило 3 мс, а 65500 байт – 14 мс, так как новый путь более длинный. Время доставки пакетов имеет одинаковое значение для всех отправленных пакетов, что свидетельствует об отсутствии джиттера и об эффективном функционировании сети. Показатели сети подтверждают, что по собранной и настроенной сети возможно передавать различные типы трафика такие как голос, данные, видео.

Заключение

Выполненное тестирование на реальном оборудовании свидетельствует о возможности использования результатов численного моделирования для реальной локальной сети любого предприятия с использованием измененного протокола динамической маршрутизации OSPF. Также следует обратить внимание, что расчет оптимального пути и выбор стоимостных коэффициентов каналов связи зависит от топологии сети и требует предварительного моделирования по предложенному алгоритму в статьях [1, 2] для определения значений аддитивной свертки и осуществимых путей.

Список использованных источников

1. Листопад, Н.И. OoS маршрутизация в сетях телекоммуникаций // Доклады БГУИР. 2022; № 20 (2).
2. Лавшук, О. А. Метод маршрутизации трафика на основе аддитивной свертки // Проблемы инфокоммуникаций. 2022, 2(16):52-58.
3. Пайпер Б. Администрирование сетей Cisco: освоение за месяц / пер. с англ. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 316 с.