

Лабораторная работа 1

Простые модели компьютерной сети

Ендонова Арюна Валерьевна

Содержание

Цель работы	4
Задание	5
Выполнение лабораторной работы	6
Шаблон сценария для NS-2	6
Простой пример описания топологии сети, состоящей из двух узлов и одного соединения	8
Пример с усложнённой топологией сети	10
Пример с кольцевой топологией сети	14
Выводы	23
Список литературы	24

Список иллюстраций

1	Создание директорий и файла	6
2	Редактирование файла shablon.tcl	7
3	Запуск шаблона сценария для NS-2	8
4	Пример описания топологии сети, состоящей из двух узлов и одного соединения	9
5	Визуализация простой модели сети с помощью nam	10
6	Визуализация простой модели сети с помощью nam	11
7	Описание усложненной топологии сети	12
8	Описание усложненной топологии сети	13
9	Описание усложненной топологии сети	14
10	Описание кольцевой топологии сети и динамической маршрутизацией пакетов	15
11	Передача данных по кратчайшему пути сети с кольцевой топологией . .	16
12	Передача данных по сети с кольцевой топологией в случае разрыва соединения	17
13	Маршрутизация данных по сети с кольцевой топологией в случае разрыва соединения	18
14	Программа для упражнения по построению топологии сети	19
15	Передача данных по изменённой кольцевой топологии сети	20
16	Передача данных по сети в случае разрыва соединения	21
17	Передача данных после восстановления соединения	22

Цель работы

Приобрести навыки моделирования сетей передачи данных с помощью средства имитационного моделирования NS-2, а также проанализировать полученные результаты моделирования.

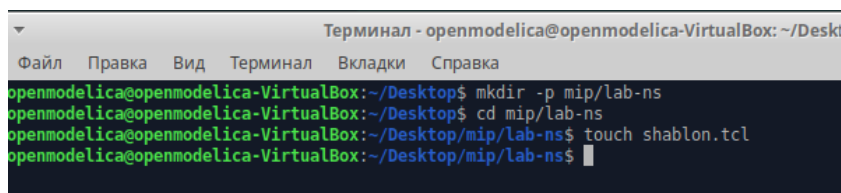
Задание

1. Создать шаблон сценария для NS-2;
2. Выполнить простой пример описания топологии сети, состоящей из двух узлов и одного соединения;
3. Выполнить пример с усложнённой топологией сети;
4. Выполнить пример с кольцевой топологией сети;
5. Выполнить упражнение.

Выполнение лабораторной работы

Шаблон сценария для NS-2

В своём рабочем каталоге создадим директорию `mip`, в которой будут выполняться лабораторные работы. Внутри `mip` создадим директорию `lab-ns`, а в ней файл `shablon.tcl` (рис. [-@fig:001]).



```
Терминал - openmodelica@openmodelica-VirtualBox: ~/Desk
Файл  Правка  Вид  Терминал  Вкладки  Справка
openmodelica@openmodelica-VirtualBox:~/Desktop$ mkdir -p mip/lab-ns
openmodelica@openmodelica-VirtualBox:~/Desktop$ cd mip/lab-ns
openmodelica@openmodelica-VirtualBox:~/Desktop/mip/lab-ns$ touch shablon.tcl
openmodelica@openmodelica-VirtualBox:~/Desktop/mip/lab-ns$
```

Рис. 1: Создание директорий и файла

Откроем на редактирование файл `shablon.tcl` (рис. [-@fig:002]).

Сначала создадим объект типа `Simulator`. Затем создадим переменную `nf` и укажем, что требуется открыть на запись `nam`-файл для регистрации выходных результатов моделирования. Вторая строка даёт команду симулятору записывать все данные о динамике модели в файл `out.nam`. Далее создадим переменную `f` и откроем на запись файл трассировки для регистрации всех событий модели. После этого добавим процедуру `finish`, которая закрывает файлы трассировки и запускает `nam`. С помощью команды `at` указываем планировщику событий, что процедуру `finish` запустим через 5 с после начала моделирования, после чего запустим симулятор `ns`.

```

# создание объекта Simulator
set ns [new Simulator]

# открытие на запись файла out.nam для визуализатора nam
set nf [open out.nam w]

# все результаты моделирования будут записаны в переменную nf
$ns namtrace-all $nf

# открытие на запись файла трассировки out.tr
# для регистрации всех событий
set f [open out.tr w]
# все регистрируемые события будут записаны в переменную f
$ns trace-all $f
|
# процедура finish закрывает файлы трассировки
# и запускает визуализатор nam
proc finish {} {
    global ns f nf
    $ns flush-trace
    close $f
    close $nf
    exec nam out.nam &
    exit 0
}
# at-событие для планировщика событий, которое запускает
# процедуру finish через 5 с после начала моделирования
$ns at 5.0 "finish"
# запуск модели
$ns run

```

Рис. 2: Редактирование файла shablon.tcl

Сохранив изменения в отредактированном файле shablon.tcl и закрыв его, запустим симулятор командой `ns shablon.tcl`. Увидим пустую область моделирования, поскольку ещё не определены никакие объекты и действия (рис. [-@fig:003]).

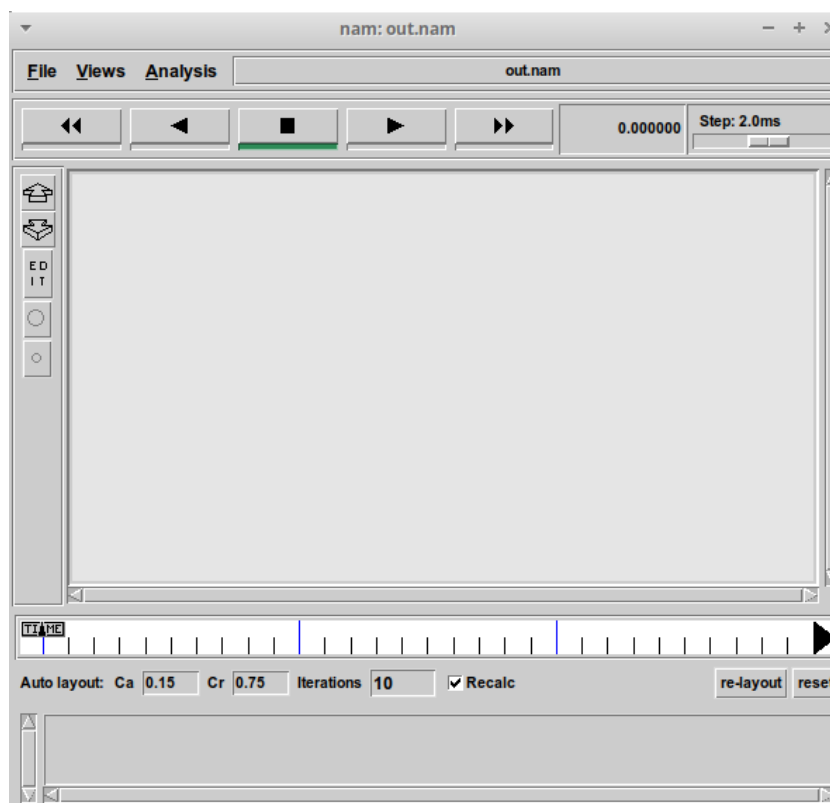


Рис. 3: Запуск шаблона сценария для NS-2

Простой пример описания топологии сети, состоящей из двух узлов и одного соединения

Требуется смоделировать сеть передачи данных, состоящую из двух узлов, соединённых дуплексной линией связи с полосой пропускания 2 Мб/с и задержкой 10 мс, очередью с обслуживанием типа DropTail. От одного узла к другому по протоколу UDP осуществляется передача пакетов, размером 500 байт, с постоянной скоростью 200 пакетов в секунду.

Скопируем содержимое созданного шаблона в новый файл: `cp shablon.tcl example1.tcl` и откроем `example1.tcl` на редактирование. Добавим в него до строки `$ns at 5.0 "finish"` описание топологии сети. Создадим агенты для генерации и приёма трафика. Создаётся агент UDP и присоединяется к узлу `n0`. В узле агент сам не может генерировать

трафик, он лишь реализует протоколы и алгоритмы транспортного уровня. Поэтому к агенту присоединяется приложение. В данном случае — это источник с постоянной скоростью (Constant Bit Rate, CBR), который каждые 5 мс посылает пакет $R = 500$ байт. Таким образом, скорость источника: $R = \frac{500 \cdot 8}{0.005} = 800000$ /.

Далее создадим Null-агент, который работает как приёмник трафика, и прикрепим его к узлу n1. Соединим агенты между собой. Для запуска и остановки приложения CBR добавляются at-события в планировщик событий (перед командой `$ns at 5.0 "finish"`) (рис. [-@fig:004]).

```

}
# создание 2-х узлов:
set N 2
for {set i 0} {$i < $N} {incr i} {
    set n($i) [$ns node]
}
# соединение 2-х узлов дуплексным соединением
# с полосой пропускания 2 Мб/с и задержкой 10 мс,
# очередь с обслуживанием типа DropTail
$ns duplex-link $n(0) $n(1) 2Mb 10ms DropTail

# создание агента UDP и присоединение его к узлу n0
set udp0 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n(0) $udp0

# создание источника трафика CBR (constant bit rate)
set cbr0 [new Application/Traffic/CBR]
# устанавливаем размер пакета в 500 байт
$cbr0 set packetSize_ 500

# задаем интервал между пакетами равным 0.005 секунды,
# т.е. 200 пакетов в секунду
$cbr0 set interval_ 0.005

# присоединение источника трафика CBR к агенту udp0
$cbr0 attach-agent $udp0

# Создание агента-приёмника и присоединение его к узлу n(1)
set null0 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n(1) $null0

# Соединение агентов между собой
$ns connect $udp0 $null0

# запуск приложения через 0,5 с
$ns at 0.5 "$cbr0 start"
# остановка приложения через 4,5 с
$ns at 4.5 "$cbr0 stop"

```

Рис. 4: Пример описания топологии сети, состоящей из двух узлов и одного соединения

Сохранив изменения в отредактированном файле и запустив симулятор, получим в

качестве результата запуск аниматора nam в фоновом режиме (рис. [-@fig:005]).

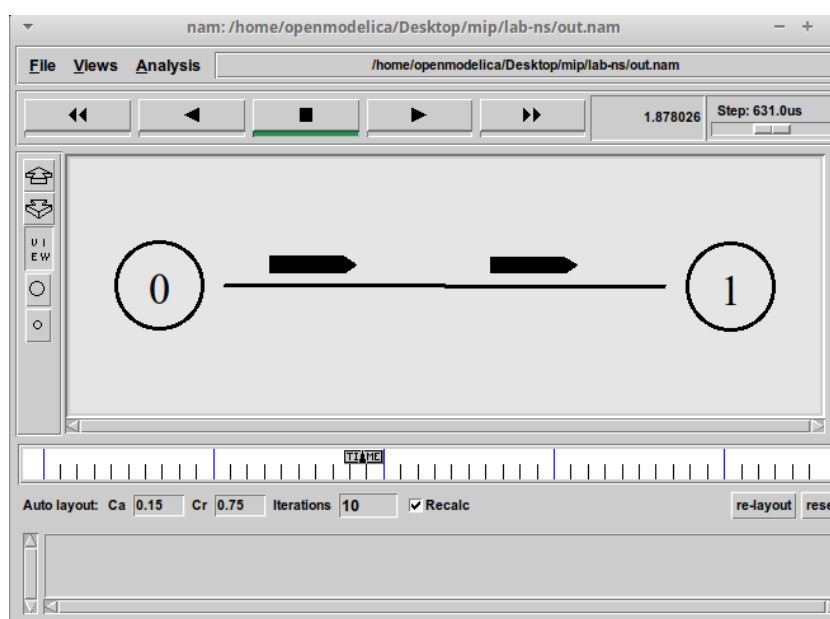


Рис. 5: Визуализация простой модели сети с помощью nam

При нажатии на кнопку play в окне nam через 0.5 секунды из узла 0 данные начнут поступать к узлу 1.

Пример с усложнённой топологией сети

Описание моделируемой сети:

- сеть состоит из 4 узлов (`p0`, `p1`, `p2`, `p3`);
- между узлами `p0` и `p2`, `p1` и `p2` установлено дуплексное соединение с пропускной способностью 2 Мбит/с и задержкой 10 мс;
- между узлами `p2` и `p3` установлено дуплексное соединение с пропускной способностью 1,7 Мбит/с и задержкой 20 мс;
- каждый узел использует очередь с дисциплиной DropTail для накопления пакетов, максимальный размер которой составляет 10;

- TCP-источник на узле n0 подключается к TCP-приёмнику на узле n3 (по умолчанию, максимальный размер пакета, который TCP-агент может генерировать, равняется 1KByte)
- TCP-приёмник генерирует и отправляет ACK пакеты отправителю и откидывает полученные пакеты;
- UDP-агент, который подсоединён к узлу n1, подключён к null-агенту на узле n3 (null-агент просто откидывает пакеты);
- генераторы трафика ftp и cbr прикреплены к TCP и UDP агентам соответственно;
- генератор cbr генерирует пакеты размером 1 Кбайт со скоростью 1 Мбит/с;
- работа cbr начинается в 0,1 секунду и прекращается в 4,5 секунды, а ftp начинает работать в 1,0 секунду и прекращает в 4,0 секунды.

Скопируем содержимое созданного шаблона в новый файл: `cp shablon.tcl example2.tcl` и откроем `example2.tcl` на редактирование. Создадим 4 узла и 3 дуплексных соединения с указанием направления (рис. [-@fig:006]).

```
set N 4
for {set i 0} {$i < $N} {incr i} {
  set n($i) [$ns node]
}
$ns duplex-link $n(0) $n(2) 2Mb 10ms DropTail
$ns duplex-link $n(1) $n(2) 2Mb 10ms DropTail
$ns duplex-link $n(3) $n(2) 2Mb 10ms DropTail
$ns duplex-link-op $n(0) $n(2) orient right-down
$ns duplex-link-op $n(1) $n(2) orient right-up
$ns duplex-link-op $n(2) $n(3) orient right
```

Рис. 6: Визуализация простой модели сети с помощью `nam`

Создадим агент UDP с прикреплённым к нему источником CBR и агент TCP с прикреплённым к нему приложением FTP (рис. [-@fig:007]).

```

# создание агента UDP и присоединение его к узлу n(0)
set udp0 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n(0) $udp0

# создание источника CBR-трафика
# и присоединение его к агенту udp0
set cbr0 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr0 set packetSize_ 500
$cbr0 set interval_ 0.005
$cbr0 attach-agent $udp0

# создание агента TCP и присоединение его к узлу n(1)
set tcp1 [new Agent/TCP]
$ns attach-agent $n(1) $tcp1

# создание приложения FTP
# и присоединение его к агенту tcp1
set ftp [new Application/FTP]
$ftp attach-agent $tcp1

```

Рис. 7: Описание усложненной топологии сети

Создадим агенты-получатели. Соединим агенты `udp0` и `tcp1` и их получателей. Зададим описание цвета каждого потока. Выполним отслеживание событий в очереди и наложение ограничения на размер очереди. Добавим `at`-события (рис. [-@fig:008]).

```

# создание агента-получателя для udp0
set null0 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n(3) $null0
# создание агента-получателя для tcp1
set sink1 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n(3) $sink1

$ns connect $udp0 $null0
$ns connect $tcp1 $sink1

$ns color 1 Blue
$ns color 2 Red
$udp0 set class_ 1
$tcp1 set class_ 2

$ns duplex-link-op $n(2) $n(3) queuePos 0.5

$ns queue-limit $n(2) $n(3) 20

$ns at 0.5 "$cbr0 start"
$ns at 1.0 "$ftp start"
$ns at 4.0 "$ftp stop"
$ns at 4.5 "$cbr0 stop"
# at события для привязывания событий, которое зависит

```

Рис. 8: Описание усложненной топологии сети

Сохранив изменения в отредактированном файле и запустив симулятор, получим анимированный результат моделирования (рис. [-@fig:009]).

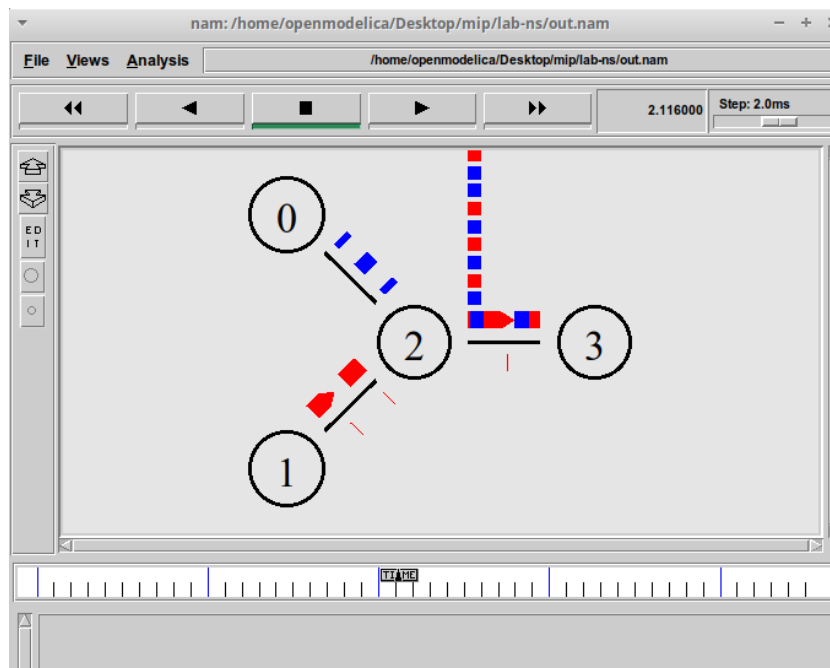


Рис. 9: Описание усложненной топологии сети

Пример с кольцевой топологией сети

Описание модели передачи данных по сети с кольцевой топологией и динамической маршрутизацией пакетов:

- сеть состоит из 7 узлов, соединённых в кольцо;
- данные передаются от узла $n(0)$ к узлу $n(3)$ по кратчайшему пути;
- с 1 по 2 секунду модельного времени происходит разрыв соединения между узлами $n(1)$ и $n(2)$;
- при разрыве соединения маршрут передачи данных должен измениться на резервный.

Скопируем содержимое созданного шаблона в новый файл: `cp shablon.tcl example3.tcl` и откроем `example3.tcl` на редактирование. Опишем топологию моделируемой сети (рис. [-@fig:010]). Далее соединим узлы так, чтобы создать круговую топологию. Каждый узел,

за исключением последнего, соединяется со следующим, последний соединяется с первым. Для этого в цикле использован оператор %, означающий остаток от деления нацело. Зададим передачу данных от узла $n(0)$ к узлу $n(3)$. Данные передаются по кратчайшему маршруту от узла $n(0)$ к узлу $n(3)$, через узлы $n(1)$ и $n(2)$ (рис. [-@fig:011]). Добавим команду разрыва соединения между узлами $n(1)$ и $n(2)$ на время в одну секунду, а также время начала и окончания передачи данных.

```

set N 7
for {set i 0} {$i < $N} {incr i} {
set n($i) [$ns node]
}

for {set i 0} {$i < $N} {incr i} {
$ns duplex-link $n($i) $n([expr ($i+1)%$N]) 1Mb 10ms DropTail
}

set udp0 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n(0) $udp0

set cbr0 [new Agent/CBR]
$ns attach-agent $n(0) $cbr0
$cbr0 set packetSize_ 500
$cbr0 set interval_ 0.005

set null0 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n(3) $null0
$ns connect $cbr0 $null0

$ns at 0.5 "$cbr0 start"
$ns rtmodel-at 1.0 down $n(1) $n(2)
$ns rtmodel-at 2.0 up $n(1) $n(2)
$ns at 4.5 "$cbr0 stop"
$ns at 5.0 "finish"

# at-событие для планировщика событий, которое запускает

```

Рис. 10: Описание кольцевой топологии сети и динамической маршрутизацией пакетов

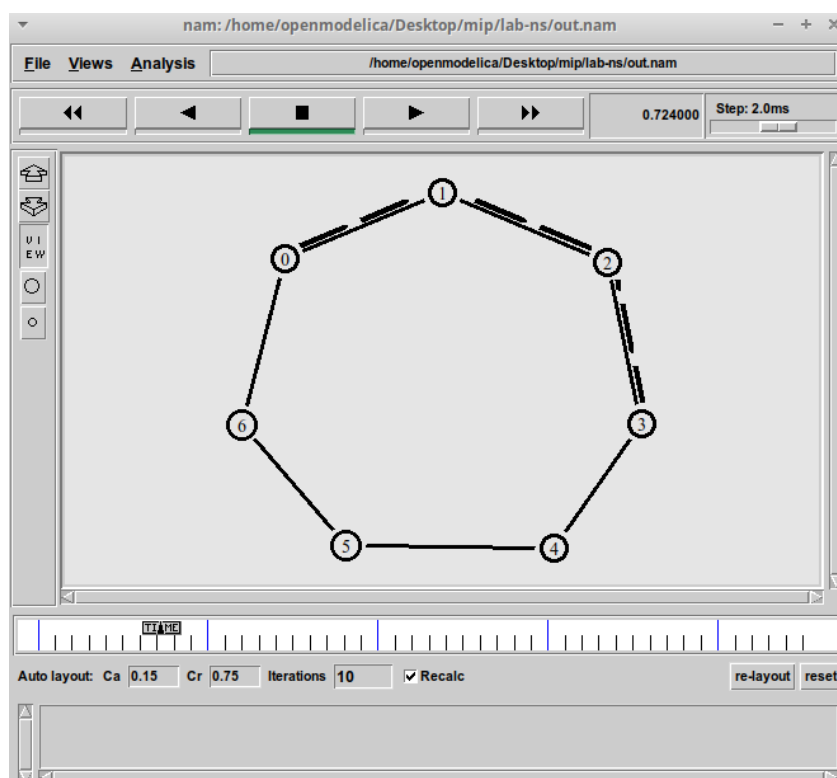


Рис. 11: Передача данных по кратчайшему пути сети с кольцевой топологией

Передача данных при кольцевой топологии сети в случае разрыва соединения представлена на рис. [-@fig:012].

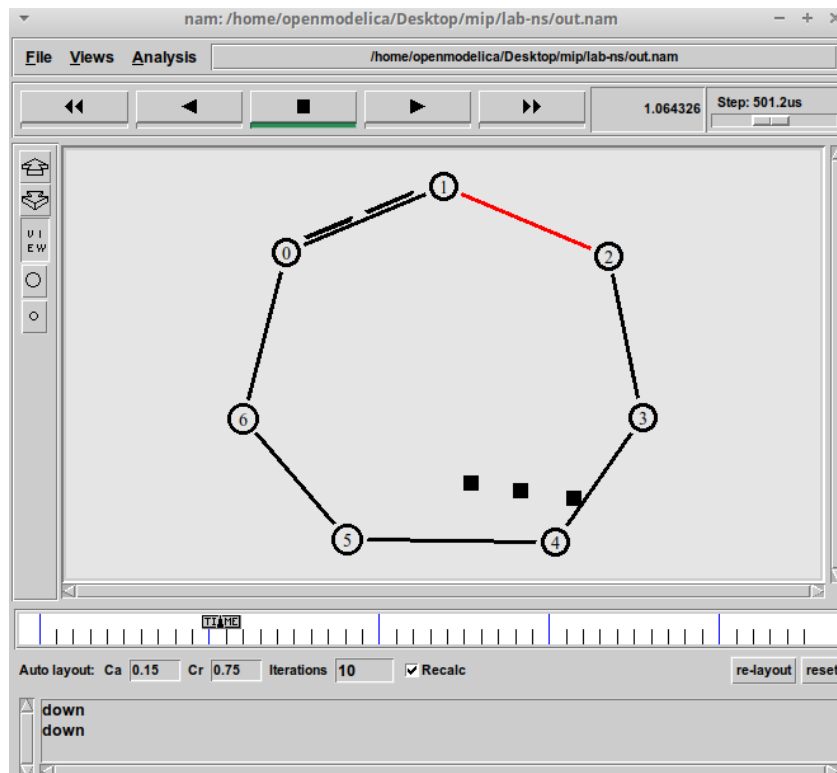


Рис. 12: Передача данных по сети с кольцевой топологией в случае разрыва соединения

Добавив в начало скрипта после команды создания объекта Simulator:

```
$ns rtproto DV
```

увидим, что сразу после запуска в сети отправляется небольшое количество маленьких пакетов, используемых для обмена информацией, необходимой для маршрутизации между узлами (рис. [-@fig:013]). Когда соединение будет разорвано, информация о топологии будет обновлена, и пакеты будут отправляться по новому маршруту через узлы $n(6)$, $n(5)$ и $n(4)$.

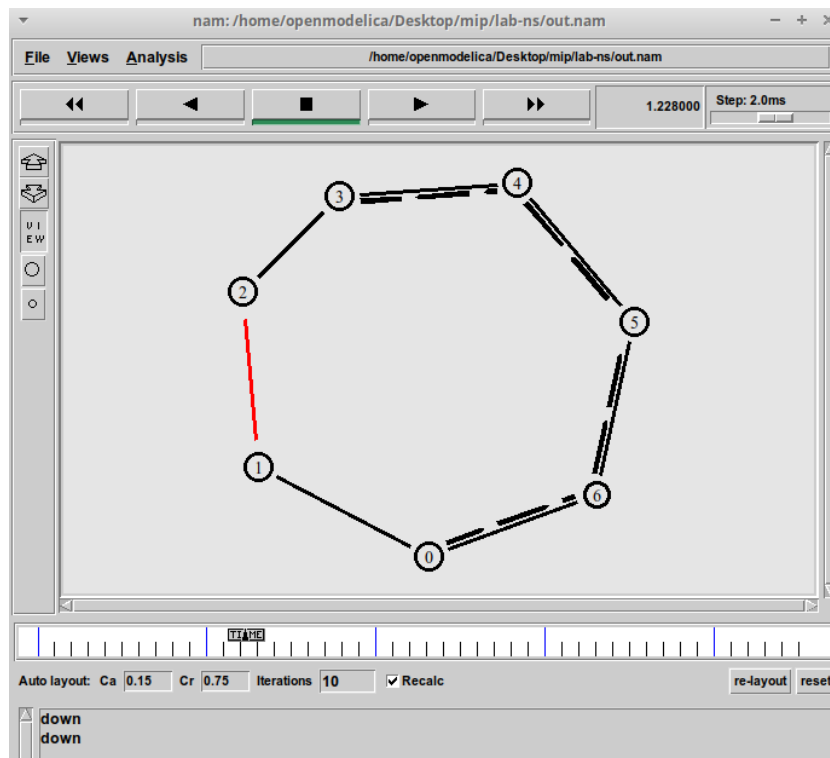


Рис. 13: Маршрутизация данных по сети с кольцевой топологией в случае разрыва соединения

Упражнение

Внесем следующие изменения в реализацию примера с кольцевой топологией сети:

- передача данных должна осуществляться от узла $n(0)$ до узла $n(5)$ по кратчайшему пути в течение 5 секунд модельного времени;
- передача данных должна идти по протоколу TCP (тип Newreno), на принимающей стороне используется TCPSink-объект типа DelAck; поверх TCP работает протокол FTP с 0,5 до 4,5 секунд модельного времени;
- с 1 по 2 секунду модельного времени происходит разрыв соединения между узлами $n(0)$ и $n(1)$;
- при разрыве соединения маршрут передачи данных должен измениться на резервный, после восстановления соединения пакеты снова должны пойти по кратчайшему пути.

Изменим количество узлов в кольце на 5, а 6 узел n(5) отдельно присоединим к узлу n(1). Вместо агента UDP создадим агента TCP (типа Newreno), а на принимающей стороне используем TCPSink-объект типа DelAck; поверх TCP работает протокол FTP с 0,5 до 4,5 секунд модельного времени. Также зададим с 1 по 2 секунду модельного времени разрыв соединения между узлами n(0) и n(1)([-@fig:014]).

```

}
set N 5
for {set i 0} {$i < $N} {incr i} {
    set n($i) [$ns node]
}

for {set i 0} {$i < $N} {incr i} {
    $ns duplex-link $n($i) $n([expr ($i+1)%$N]) 1Mb 10ms DropTail
}

set n5 [$ns node]

$ns duplex-link $n5 $n(1) 1Mb 10ms DropTail

set tcp1 [new Agent/TCP/Newreno]
$ns attach-agent $n(0) $tcp1

set ftp [new Application/FTP]
$ftp attach-agent $tcp1

set sink1 [new Agent/TCPSink/DelAck]
$ns attach-agent $n5 $sink1
$ns connect $tcp1 $sink1

$ns at 0.5 "$ftp start"
$ns rtmodel-at 1.0 down $n(0) $n(1)
$ns rtmodel-at 2.0 up $n(0) $n(1)
$ns at 4.5 "$ftp stop"
$ns at 5.0 "finish"

```

Рис. 14: Программа для упражнения по построению топологии сети

Запустим программу и увидим, что пакеты идут по кратчайшему пути через узел n(1) ([-@fig:015]).

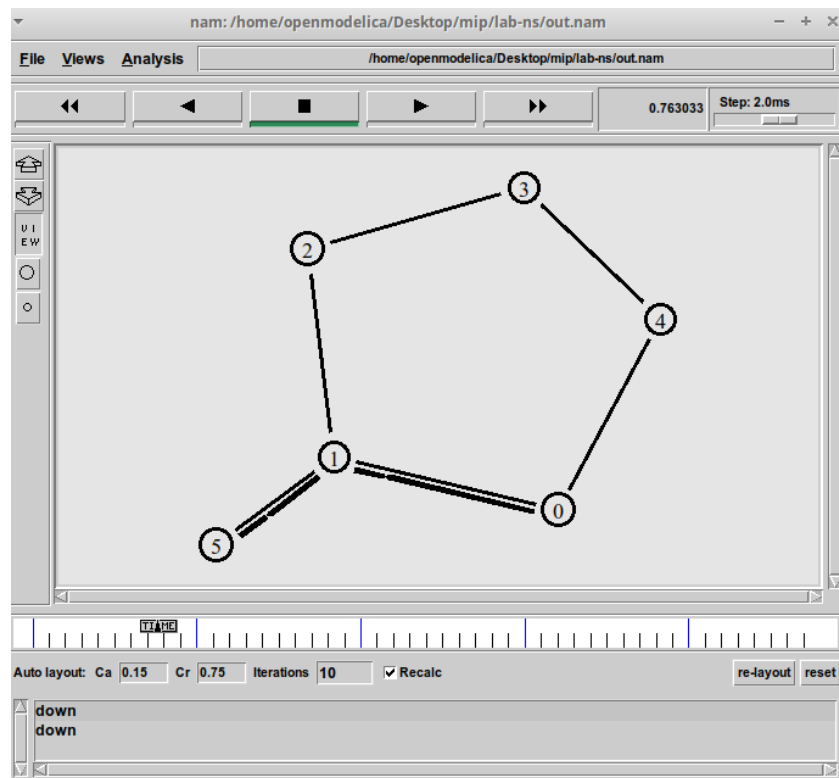


Рис. 15: Передача данных по изменённой кольцевой топологии сети

При разрыве соединения часть пакетов теряется, но поскольку данные обновляются пакеты начинают идти по другому пути ([-@fig:016]).

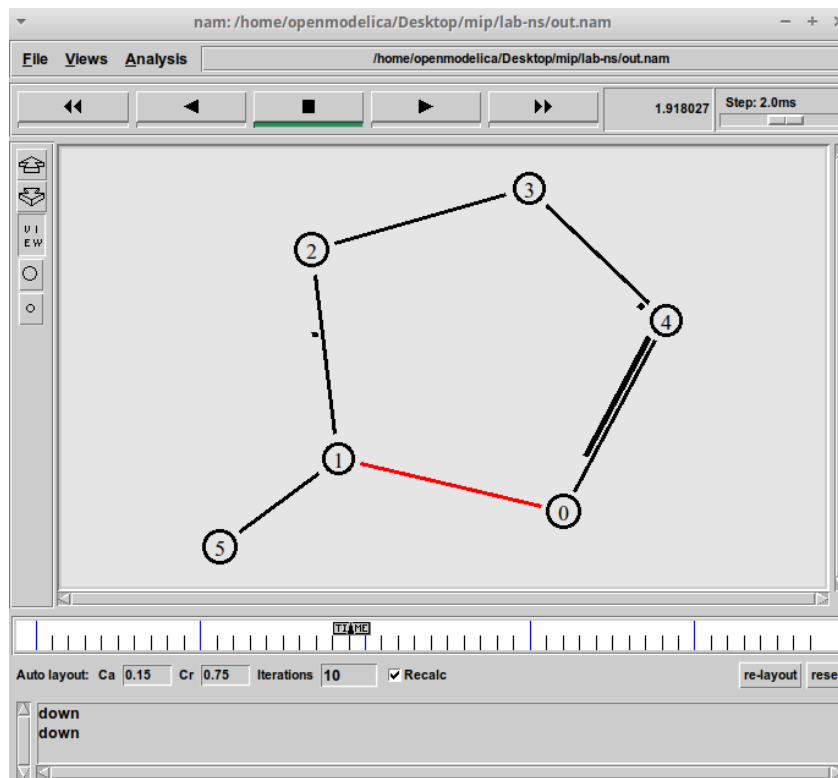


Рис. 16: Передача данных по сети в случае разрыва соединения

После восстановления соединения пакеты снова идут по кратчайшему пути ([@fig:017]).

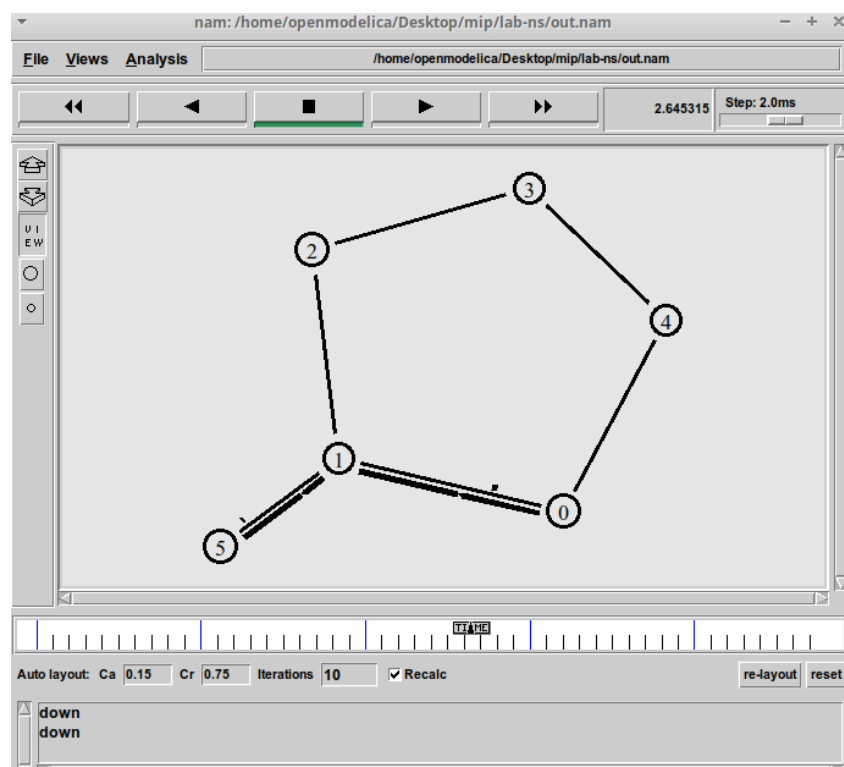


Рис. 17: Передача данных после восстановления соединения

Выводы

В процессе выполнения данной лабораторной работы я приобрела навыки моделирования сетей передачи данных с помощью средства имитационного моделирования NS-2, а также проанализировала полученные результаты моделирования.

Список литературы

1. Королькова А.В., Кулябов Д.С. Руководство к лабораторной работе №1. Моделирование информационных процессов. Простые модели компьютерной сети. – 2025. — 27 с.
2. Овечкин Г.В., Овечкин П.В. Компьютерное моделирование [Электронный ресурс]. – URL: https://dblib.rsreu.ru/data/publications/1796_text.pdf.
3. Канаков О.И., Ковалев П., Филимонов В. Система моделирования сетей связи NS 2: методическое пособие [Электронный ресурс]. – URL: <https://wl.unn.ru/materials/courses/wlnet/Pres>.
4. Использование специализированной системы моделирования ns-2 для исследования телекоммуникационных сетей [Электронный ресурс] // CyberLeninka. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-spetsializirovannoy-sistemy-modelirovaniya-ns-2-dlya-issledovaniya-telekommunikatsionnyh-setey>.
5. Имитационное моделирование. Теория и практика. ИММОД-2011. – URL: [https://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/%D0%98%D0%9C%D0%9C%D0%9E%D0%94-2011%20-%20%D0%A2%D0%BE%D0%BC%201\[1\].pdf](https://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/%D0%98%D0%9C%D0%9C%D0%9E%D0%94-2011%20-%20%D0%A2%D0%BE%D0%BC%201[1].pdf).