

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

Кафедра
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Методические указания
к лабораторной работе по теме:
Изучение маршрутизатора сети коммутации пакетов методами имитационного моделирования

Дисциплины: Сети связи,
Мультисервисные сети связи

Направление подготовки 11.03.02
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»,
профиль Инфокоммуникационные системы и сети

Ростов-на-Дону
2022

Составитель: доцент кафедры «ИТСС», к.т.н., доцент Решетникова И.В.

Данное методическое пособие предназначено для обеспечения проведения лабораторных работ со студентами направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиль Инфокоммуникационные системы и сети, квалификации «бакалавр».

Пособие обеспечивает получение навыков по основополагающим вопросам изучаемой дисциплины.

Рецензент: Зав. кафедрой ИТСС, к.т.н., доцент Юхнов В.И.

Методическое пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры ИТСС 19.12. 2022 г. Протокол №5

Лабораторное занятие

Исследование маршрутизатора сети коммутации пакетов методами имитационного моделирования

1. Цель работы:

1.1. Освоить приемы изучения фрагментов сети коммутации пакетов на примере исследования маршрутизатора методами имитационного моделирования.

1.2. Освоить способы изменения параметров маршрутизатора (входные потоки, канальные скорости, допустимые длины очередей и др.) для удовлетворения требований к системе по качеству обслуживания (*QoS*) при заданных параметрах входящих потоков пакетов.

1.3. Освоить способы построения основных функциональных зависимостей фрагментов сети и сопоставления этих зависимостей с результатами аналитического моделирования.

Замечание. Выполнение данной работы требует определённых навыков в работе с системой моделирования *GPSS* (*General Purpose Simulation System*) – общецелевая система моделирования сложных систем. Поэтому, при выполнении этой работы необходимо в качестве справочных сведений пользоваться материалами [1,2].

2. Объект исследования.

Схема исследуемого маршрутизатора представлена на рисунке 1.

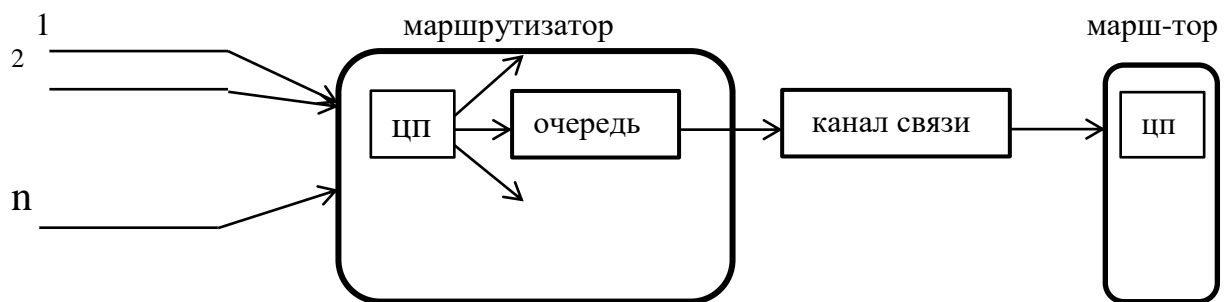


Рисунок 1. Схема исследуемого маршрутизатора

В интересующей нас части работа маршрутизатора происходит следующим образом:

- все входящие из различных направлений пакеты поступают в центральный процессор (или специализированный процессор выбора пути), который выбирает канал (направление) дальнейшей передачи пакета;
- если канал свободен, то он немедленно приступает к передаче пакета;
- если канал занят, то пакет устанавливается в соответствующую очередь и будет передан по мере освобождения канала.

В теории телетрафика такой вид обслуживания классифицируется как

обслуживание с не явными потерями, а конкретнее – обслуживание с очередями.

Основными характеристиками определяющими качество функционирования сетей передачи данных, как и вообще любых сетей с коммутацией пакетов, являются длительности задержек пакетов, включая джиттер, и вероятности потерь пакетов. Источниками задержек и потерь являются узлы коммутации (маршрутизаторы и коммутаторы) и каналы связи, через которые эти пакеты передаются. Каждый узел или канал, встречающиеся на пути продвижения пакета, вносят свою долю в эти характеристики.

Ниже приводятся методики определения основных вероятностно-временных характеристик маршрутизатора с помощью аналитической и имитационной моделей.

3. Аналитическая модель

Возможности аналитического моделирования, как правило, более ограничены по сравнению с имитационным, поэтому в данной лабораторной работе мы ограничимся расчётом только двух характеристик: средняя длина очереди пакетов и среднее время обслуживания пакета маршрутизатором, которое состоит из времени ожидания обслуживания и времени передачи пакета по каналу. При этом в обеих моделях (аналитической и имитационной) рассматривается только система $M/M/1/\infty$ (одноканальная система с пуассоновским потоком пакетов на входе, экспоненциальным распределением времени обслуживания при бесконечной очереди).

Эти характеристики легко рассчитываются по формулам Хинчина-Полячека и Литтла, которые для системы $M/M/1/\infty$ принимают следующий вид:

$$q = \rho / (1 - \rho) \quad \text{и} \quad t_q = q / \lambda,$$

где q – средняя длина очереди в рассматриваемой системе,
 λ – интенсивность входного потока пакетов к рассматриваемому каналу,
 t – средняя длительность обслуживания (передачи пакета по каналу),
 $\rho = \lambda t$ – нагрузка одноканальной системы массового обслуживания,
 t_q – среднее время обслуживания пакета (включая ожидание в очереди).

4. Имитационная модель

Моделирующая программа представлена ниже.

```
;ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ МАРШРУТИЗАТОРА (РОУТЕРА).
; 1 е.м.в. = 1 мкс
interval equ 50 ;интервал между пакетами
skor equ 100 ;установка канальной скорости, Мбит/с
ochmax equ 100 ;максимальная длина очереди
tab table m1,0,200,30 ;Занести значение СЧА m1 (время жизни транзакта)
dlina equ 500 ;длина передаваемого gfrtnf в байтах
tprd fvariable 8#dlina/skor ;вычисление времени передачи пакета по каналу
eks fvariable -log((1+rn8)/1000) ;экспоненциальное распределение
;-----
generate (interval#v$eks) ;генерация потока пакетов.
```

test L	Q\$och,ochmax,otk	;есть места в очереди?
queue	och	;Да. Установка пакета в очередь.
seize	kan	;Занять канал.
depart	och	;Покинуть очередь
advance	(v\$tpd#v\$eks)	;Задержать пакет в канале на время его передачи.
release	kan	;Освободить канал.
tabulate	tab	;Зафиксировать событие в таблице tab
terminate	1	;покинуть систему
otk	savevalue otk+,1	;Зафиксировать потерю пакета
	terminate 1	;покинуть систему

В исходной версии модель характеризуется следующими параметрами:

а) Входной поток пакетов $\lambda = 20$ кПакетов/с.

В моделях GPSS генерация потоков пакетов (транзактов) определяется в операторе *generate* операндом A как интервал между моментами поступления пакетов $t_{\text{инт}}$, который подсчитывается как $t_{\text{инт}} = 1/\lambda = 1/2 \cdot 10^4 = 50$ мкс.

В GPSS все временные интервалы задаются в единицах модельного времени (емв), а в данной программе значение емв выбрано 1 емв = 1 мкс. Поэтому в первом операторе (эквивалент) метке *interval* присвоено значение 50 емв. Это значение используется в операторе *generate* совместно с функцией экспоненциального распределения этих интервалов.

б) Канальная скорость задаётся вторым оператором. В исходном варианте установлена скорость 100 Мбит/с.

в) В третьем операторе установлен максимально допустимый размер очереди пакетов (объём буферного накопителя). В исходном варианте установлена максимальная длина очереди – 100 пакетов.

г) В четвёртом операторе устанавливается средняя длина передаваемых пакетов в байтах, а в следующем операторе в зависимости от этой длины и канальной скорости *skor* вычисляется среднее время передачи пакета по каналу в емв. Это среднее время (метка *tpd*) совместно с экспоненциальной функцией распределения используется в операторе *advance* для задержки пакета на время его передачи по каналу.

Здесь необходимо отметить, что экспоненциальное распределение допускает появление в серии опытов с бесконечно малой вероятностью бесконечно большой величины (в нашем случае длины пакета). Реальные же технологии всегда ограничивают длину пакетов (кадров) какой-либо аргументированной величиной. Например, в АТМ это 53 байта, в Ethernet – 1500 байт, в Frame Relay – 4500 байт, а в IP-пакете версии IPv4 длина пакета ограничена только размером поля в заголовке пакета, указывающим на его длину. Это поле состоит из 2-х байтов и, следовательно, длина пакета не может превысить 65535 байт.

В данной модели реализовано экспоненциальное распределение длин пакетов по двум причинам:

- для упрощения модели. Стремление приблизить процесс формирования пакетов к реальному потребовало бы учёта очень многих факторов, в том числе и таких, как пачечный характер потока пакетов;

- невозможность сопоставления результатов аналитического и имитационного моделирования, так как аналитическая система $M/M/1/\infty$ предполагает экспоненциальное распределение длительности обслуживания, а, следовательно, и длины пакетов.

В то же время такое допущение несколько не мешает достижению основной цели лабораторной работы – овладение приёмами изучения телекоммуникационных систем с помощью аналитических и имитационных моделей.

5. Лабораторное задание

5.1. Открыть программу моделирования router.

5.2. Зафиксировать в рабочей тетради исходные параметры модели:

- входной поток - $\lambda = 1/\text{interval} = 1/50 \text{ емв} = 1/50 \cdot 10^{-6} \text{с} = 20 \text{ кПак/с}$;

- канальная скорость - $\text{scor} = 100 \text{ бит/емв} = 100 \text{ Мбит/с}$;

- максимальная длина очереди – $\text{ochmax} = 100$;

- средняя длина пакета - $\text{dlina} = 500 \text{ байт}$;

- время передачи по каналу пакета средней величины –

$t_{prd} = 8 \cdot \text{dlina} / \text{scor} = 8 \cdot 500 / 100 = 40 \text{ емв} = 40 \text{ мкс}$.

5.3. Определить в соответствии с исходными данными п.5.2 расчётные значения для средней длины очереди и среднего времени обслуживания по п. 5.3:

$$q = \rho / (1 - \rho) \quad \text{и} \quad t_q = q / \lambda,$$

где ρ – определяется как $\rho = \lambda t_{prd} = 20 \cdot 10^3 \cdot 40 \cdot 10^{-6} = 0.8$

5.4. Запустить модель и зафиксировать основные результаты прогона:

- числа потерянных пакетов (величина ot);

- средняя длина очереди (*AVE. CONT*);

- среднее время ожидания (*AVE.TAIM*);

- коэффициенты использования канала (*UTIL*).

Длительность прогона на данном этапе принять равной 1000000 транзактов.

5.5. Сопоставить результаты, полученные по пп. 5.3 и 5.4, т.е.

$$q \text{ и } q_{\text{имит}} \quad \text{и} \quad t_q \text{ и } t_{q\text{имит}}$$

При этом длина очереди $q_{\text{имит}}$ определяется непосредственно по результату прогона как *AVE. CONT*, а длительность обслуживания вычисляется суммированием длительности ожидания и времени передачи по каналу, т.е.

$$t_{q\text{имит}} = \text{AVE.TAIM} + t_{prd}$$

Напомним, что вышеприведённая аналитическая модель предполагает наличие бесконечной очереди, т.е. применима только при $\rho < 1$, иначе очередь будет расти до бесконечности и её состояние будет неопределённым (конкретнее – оно будет зависеть от продолжительности её работы). В связи с этим следующие пункты задания, проводимые с увеличением нагрузки (а, следовательно, и значения ρ), будут выполняться только с имитационной моделью.

5.6. При дальнейших погонах фиксировать в таблице 1 следующие результаты:

- вероятность потери пакетов ($P_{\text{пот}}$). Определяется по отношению числа

потерянных пакетов (*savevalue ot* в отчёте) к общему числу поступающих в направление пакетов (длина прогона, задаваемая в команде *start*);

- средняя длина очереди (*AVE CONT*);
- среднее время ожидания (*AVE TIME*);
- коэффициенты использования канала (*UTIL*).

- вероятность превышения общего времени задержки пакетов (ожидание + передача) допустимой величины ($t_{\text{доп}}$), т.е. $P_{\text{прев}} = P(t_{\text{зад}} > t_{\text{доп}})$. Эта вероятность определяется ориентировочно по гистограмме и точно - по таблице *tab* в отчёте. Например, если $t_{\text{доп}} = 1\text{мс} = 1000\text{ емв}$, то в последнем столбце таблицы (%) в строке интервала в 1000 емв будет указана доля пакетов, обработка которых уложилась в $t_{\text{доп}}$.

Таблица 1

Н омер опыта	Входные данные			Выходные данные				
	λ	<i>sc</i> <i>or</i>	<i>oc</i> <i>hmax</i>	$P_{\text{п}}$ от	<i>C</i> <i>ONT</i>	<i>TI</i> <i>ME</i>	<i>U</i> <i>TIL</i>	$P_{\text{п}}$ рев
1								
2								
.								
.								
.								
N								

5.7. Провести 3 эксперимента для значений входного потока λ , 1.25λ и 1.5λ . Допустимое время задержки принять равным $t_{\text{доп}} = 4\text{мс} = 4000\text{ емв}$. Результаты занести в таблицу 1.

5.8. Изменяя размер максимальной очереди (*ochmax*) при входном потоке равном 1.5λ , определить влияние этой величины на вероятности $P_{\text{пот}}$ и $P_{\text{прев}}$. Пределы изменения *ochmax* выбрать самостоятельно для получения наиболее наглядных зависимостей. Результаты занести в таблицу 1.

5.9. При входном потоке равном 1.5λ изменением пропускной способности каналов (оператор *skor*) и максимальной очереди (*ochmax*) добиться выполнения основных качественных показателей маршрутизатора $P_{\text{пот}}$ и $P_{\text{прев}}$ (параметры *QoS*) при минимальной канальной скорости. Величину допустимого времени задержки принять равной $t_{\text{доп}} = 4\text{мс} = 4000\text{ емв}$. Значения вероятностей $P_{\text{пот}}$ и $P_{\text{прев}}$ взять из таблицы 2 индивидуально по-бригадно. Результаты занести в таблицу 1.

Обратите внимание: при увеличении канальной скорости улучшаются оба показателя – вероятности $P_{\text{пот}}$ и $P_{\text{прев}}$, а при изменении максимальной очереди, например, при её уменьшении вероятность $P_{\text{пот}}$ будет увеличиваться, а вероятность $P_{\text{прев}}$ будет уменьшаться. Поэтому при оптимизации системы, если не удовлетворяются оба показателя, то увеличивается канальная скорость, а если только один из них, то производится соответствующая корректировка максимальной очереди.

Таблица 2.

№ бриг.	1	2	3	4	5	6	7	8
$P_{\text{пот}}$	0 .01	0 .01	0. 02	0. 02	0. 03	0. 03	0. 04	0. 04
$P_{\text{пре}}в$	0 .10	0 .11	0. 12	0. 13	0. 14	0. 15	0. 16	0. 17

5.10. Произвести оценку доверительного интервала для вероятности потерь пакетов:

$$E = \pm t_{\beta} \sqrt{\frac{P(1-P)}{N}}$$

где P – наблюдаемая оценка вероятности,

N – длительность прогона (число пропущенных системой пакетов-транзактов),

t_{β} – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности β . Для $\beta=0,95$ величина $t_{\beta} = 1,96$.

5.11. Повторить п.5.5 (сопоставление результатов аналитического и имитационного моделирования) при различных длительностях прогонов. Представить графически как изменяется относительная погрешность моделирования при изменении длительности прогона, т.е. представить функцию $\delta(N)$. Относительную погрешность определять по формуле:

$$\delta = (S_{\text{расч}} - S_{\text{опыт}}) / S_{\text{расч}}$$

где S – произвольный рассчитываемый или измеряемый параметр.

6. Содержание отчета

6.1. По каждому пункту лабораторного задания зафиксировать входные и выходные данные и занести их в таблицу.

6.2. По пп. 5.7, 5.8 и 5.11 результаты экспериментов представить графически.

6.3. По п. 5.9 зарисовать гистограмму и указать на ней значение допустимого времени задержки $t_{\text{доп}}$.

7. Контрольные вопросы

7.1. Какие факторы моделируемой системы влияют на функционирование маршрутизатора и каким образом?

7.2. Какие отклики моделирующей системы характеризуют качество работы системы (QoS)?

7.3. Как производится оптимизация системы по требуемой скорости канала и максимальной длины очереди для выполнения параметров QoS ?

Литература

1. Нерсисянц А.А. Моделирование систем и сетей связи. Методическое пособие по дисциплине: «Моделирование систем и сетей связи». Ростов-на-Дону: СКФ МТУСИ, 2013. – 86 с.
2. Нерсисянц А.А. Изучение способов анализа структурных элементов инфокоммуникационных систем методами имитационного моделирования в системе GPSS World. Методические указания к выполнению лабораторного практикума. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2013. – 23 с.