

**МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО СВЯЗИ И ИНФОРМАЦИИ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
имени проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**

ФАКУЛЬТЕТ ВЕЧЕРНЕГО И ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ

В. Г. Кацельник

СЕТИ СВЯЗИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КОНТРОЛЬНЫМ ЗАДАНИЯМ**

**Санкт-Петербург
2006**

Введение.....	3
Расчет среднего времени задержки для фрагмента сети с коммутацией пакетов	3
Постановка задачи и пример ее решения	3
Задание	6
Варианты:	6
Контрольные вопросы и задачи	7
Литература	7

Введение

Данное задание предназначено для курса СЕТИ СВЯЗИ. В задании предлагается вычислить параметры работы сети связи, построенной на базе «коммутации пакетов». Эта технология является основой современных сетей Internet. В соответствии с этой технологией информационное сообщение перед передачей в сеть связи разбивается на небольшие блоки, каждый блок снабжается служебной информацией, содержащей в том числе адрес получателя и адрес источника, аналогично почтовому конверту. Эти блоки, называемые пакетами, доставляются адресатам, независимо друг от друга, возможно, по разным сетевым путям. В узлах сети осуществляется локальная маршрутизация этих пакетов. Узел с различной вероятностью отправляет пакет по одному из доступных маршрутов в следующий узел. Т.о., в узлы с разных направлений приходят случайные потоки пакетов. Из-за ограниченной пропускной способности каналов и временных затрат на обработку пакетов в узле возникают очереди и задержки, носящие случайный (вероятностный) характер. Целью настоящего задания является, вычисление средних задержек пакетов при прохождении этих пакетов через сегмент сети. Определение средней задержки пакетов в сети Internet играет важную роль при оценке качества обслуживания передаваемых сообщений.

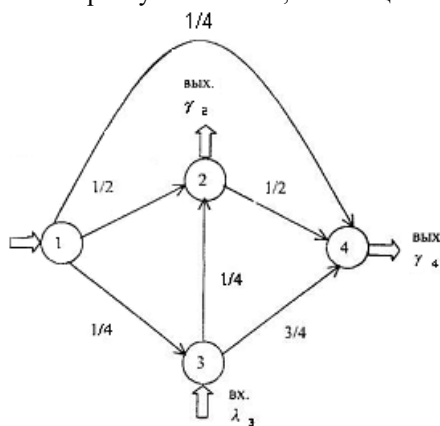
Принципы построения сетей с коммутацией пакетов, в том числе и сетей Internet изложены в книге Кох Р., Яновский Г.Г. «Эволюция и конвергенция в сетях электросвязи».- М: Радио и связь, 2001.

Все вычисления, необходимые для выполнения задания, проводятся по формулам, приведенным в данном руководстве.

Расчет среднего времени задержки для фрагмента сети с коммутацией пакетов

Постановка задачи и пример ее решения

Рассмотрим участок сети, состоящей из 4 узлов и соединяющих их каналов.



На диаграмме рис.1 λ_1, λ_2 - интенсивность внешних по отношению к сети потоков пакетов.

В рассматриваемой модели количество пакетов, поступающих в сеть, является случайной величиной x , характеризуемой функцией распределения вероятностей $P(x)$. Вероятность P того, что за время T в узел n_i , поступило ровно k пакетов равна:

$$P(x = k) = P_k = \frac{(\lambda T)^k}{k!} e^{-\lambda T} \quad k=0,1,2,\dots$$

Среднее значение величины x : $\bar{x} = \lambda T$, т.е. за $T=1$ сек. $\bar{x} = \lambda$

Если для данного потока интенсивность λ не зависит от времени, то он называется простейшим. Считаем, что в рассматриваемый в примере участок сети поступают простейшие потоки пакетов с интенсивностями λ_1 и λ_3 . Пропускные способности каналов μ_{ik} . Будем считать их одинаковыми $\mu=3$. Настройка маршрутизаторов в узлах, производимая на основании предыдущей статистики занятости каналов и узлов, задается вероятностями выбора тех или иных направлений. Они указаны около дуг на диаграмме. Например, для узла

n_1 , : $P(1,2) = 1/2$, $P(1,3) = 1/4$, $P(1,4)=1/4$. Известно, что среднее время задержки при прохождении пакета по пути, состоящем из нескольких последовательных участков равно (M - число участков пути):

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^M \frac{1}{\mu_i - \lambda_i}, \quad (1)$$

где λ_i - интенсивность потока в i -м канале
 μ_i - пропускная способность i -ого канала.

Т.к. пакеты пройдут данный участок сети разными путями, то они будут иметь разную временную задержку. Цель нашего расчета - получить среднее время задержки T , перебрав все возможные пути следования пакетов и учтя долю пакетов, прошедших каждым из возможных путей. Далее следует конкретный расчет, соответствующий участку сети (рис. 1).

В этой сети 4 узла (маршрутизатора), соединенных 6 каналами. Входные потоки λ_1 и λ_3 , поступают в сеть через узлы 1 и 3, соответственно. Пакеты выходят из сети через узлы 2 и 4 - потоки λ_2 и λ_4 .

Текущая настройка маршрутизаторов определяет вероятность передачи пакета между соседними узлами задается таблицей $\{P_{ik}\}$ (табл.1)

№ узла	1	2	3	л
1	0	1/2	1/4	1/4
2	0	1/2	0	1/2
3	0	1/4	0	3/4
4	0	0	0	1

Табл. 1 Вероятности разделения входного потока в узлах

Маршрутизатор в узле 1 с вероятностью $P(1,2)=1/2$ отправляет пакеты в узел 2, с $P(1,3)=1/4$ в узел 3, с $P(1,4)=1/4$ в узел 4. Маршрутизатор в узле 2 с $P(2,4)=1/2$ направляет пакеты в узел 4, а с $P(2,2)$ пакеты покидают данный участок сети через узел 2 и т.д. На рис.1 вероятности из табл.1 надписаны над дугами. Пропускная способность каналов в одинакова $\mu=3$ пакета/сек. Входные потоки $\lambda_1 = 2$, $\lambda_3 = 1$ пак/сек.

Пакеты из потока λ_1 , могут покинуть сеть, пройдя по одному из путей $\{1\}$:
 $l(1,2); l(1,4); l(1,2,4); l(1,3,2); l(1,3,4); l(1,3,2,4)$.

Пакеты из потока λ_3 , пройдут одним из путей:

$l(3,2); l(3,4); l(3,2,4)$.

Составим таблицу 2, в которой определяется задержка на каждом участке пути:

Участки пути	Пакеты потока λ_1 через участок	Пакеты потока λ_3 через участок	Суммарный поток $\lambda = \lambda_1 + \lambda_3$ (пак/сек)	T задержки (сек)
(1,2)	1	0	1	$\frac{1}{2}$
(1,3)	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{5}$
(1,4)	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{5}$
(2,4)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{8}{19}$
(3,2)	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{8}{21}$
(3,4)	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{8}{15}$

Табл.2 Времена задержки T зад (сек) на участках сети

Чтобы получить данные для столбцов 2, 3, надо умножить интенсивность соответствующего потока на вероятность данного направления:

$$\lambda_1(1,2) = \lambda_1 \cdot P(1,2) = 2 \cdot \frac{1}{2} = 1 \text{ пак/сек}$$

$$\lambda_1(1,3) = \lambda_1 \cdot P(1,3) = 2 \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \text{ пак/сек и т.д.}$$

Аналогично для пакетов потока λ_3 .

3-й столбец является суммой 2-х предыдущих

4-й столбец составляют времена задержки на данном участке, которые находятся по формуле:

$$T_{\text{зад}} = \frac{1}{\mu - \lambda},$$

где $\mu=3$, а λ берется из соответствующей строки 3-го столбца табл.2.

С помощью данных таблицы 2 составим таблицу 3, определяющую задержку на всех допустимых путях:

Пути для пакетов λ_1	Интенсивность потока на пути λ_1	T задержки пути (сек)	$\lambda_1 \cdot T_{\text{зад}}$
1(1,2)	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{2}{10}$
1(1,4)	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{2}{10}$
1(1,2,4)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2} + \frac{8}{19} \approx \frac{9}{20}$	$\frac{9}{40}$
1(1,3,2)	$\frac{1}{16}$	$\frac{2}{5} + \frac{8}{21} \approx \frac{16}{20}$	$\frac{1}{20}$
1(1,3,4)	$\frac{3}{8}$	$\frac{2}{5} + \frac{8}{15} \approx \frac{14}{15}$	$\frac{1}{3}$
1(1,3,2,4)	$\frac{1}{16}$	$\frac{2}{5} + \frac{8}{21} + \frac{8}{19} \approx \frac{25}{20}$	$\frac{3}{20}$

Табл.3 Времена задержки на различных путях «вход-выход» в сети для потока λ_1

В 1-ом столбце таблицы пути (маршруты) для любого λ_1 , по которым пакеты этого потока пройдут через наш участок сети, во втором столбце интенсивность той части потока λ_1 , которая проходит этим путем. В 3-м столбце полное время задержки, являющееся суммой времен задержки, взятых из табл.2.

Например, $T(1(1,2,4)) = T(1,2) + T(2,4) = \frac{1}{2} + \frac{8}{19} \approx \frac{9}{20}$

По данным таблицы 3 найдем среднее время задержки пакетов потока λ_1 , по формуле:

$$\bar{T}_{\lambda 1} = \frac{1}{\lambda_1} \sum_i \lambda_{1i} T_i \text{ (сумма берется по всем путям табл.3)}$$

$$\bar{T}_{\lambda 1} = \frac{1}{2} \left(\frac{2}{10} + \frac{2}{10} + \frac{9}{40} + \frac{1}{20} + \frac{1}{3} + \frac{3}{20} \right) \approx 0,5 \text{ сек}$$

Аналогичную таблицу (табл.4) составим для пакетов из потока $\lambda_3 = 1$

Пути для пакетов λ_3	Интенсивность потока на пути λ_3	T задержки пути (сек)	$\lambda_3 \cdot T_{\text{зад}}$
1(3,2)	$\frac{1}{8}$	$\frac{8}{21}$	$\frac{1}{21}$
1(3,4)	$\frac{3}{4}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{17}{30}$
1(3,2,4)	$\frac{1}{8}$	$\frac{8}{21} + \frac{8}{19} \approx \frac{8}{10}$	$\frac{1}{10}$

Таблица 4 Времена задержки на различных путях «вход-выход» в сети для потока λ_3

$$\bar{T}_{\lambda 3} = \frac{1}{\lambda_3} \sum_l \lambda_l T_l = \left(\frac{1}{21} + \frac{17}{30} + \frac{1}{10} \right) \approx 0,65 \text{сек}$$

И, наконец, среднее время задержки, поступающих в участок пакетов:

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_3} (\lambda_1 \bar{T}_{\lambda 1} + \lambda_3 \bar{T}_{\lambda 3}) = \frac{1}{3} (2 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,65) \approx 0,6 \text{сек}$$

Дополнительно можно найти среднее количество пакетов, находящихся в сети:

$$\bar{N} = \lambda \bar{T} = 3 \cdot 0,6 = 1,8$$

Задание

Дано: участок сети (рис. 1)

Таблица настройки маршрутизаторов $\{p_{lk}\}$:

$$a_1 : \begin{bmatrix} 0 & 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 0 & 2/3 & 0 & 1/3 \\ 0 & 1/2 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad a_2 : \begin{bmatrix} 0 & 3/4 & 1/8 & 1/8 \\ 0 & 1/4 & 0 & 3/4 \\ 0 & 1/2 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Интенсивность входных потоков:

$$\lambda_1 = 2; \quad \lambda_3 = 2 \quad (b_1)$$

$$\lambda_1 = 1; \quad \lambda_3 = 3 \quad (b_2)$$

$$\lambda_1 = 3; \quad \lambda_3 = 1 \quad (b_3)$$

Пропускная способность:

$$\mu = 3 \quad (c_1)$$

$$\mu = 4 \quad (c_2)$$

Найти среднее время задержки пакетов потоков λ_1 и λ_3 и среднее время задержки полного входящего потока $\lambda = \lambda_1 + \lambda_3$.

Составить таблицы 2,3 и 4.

Варианты:

Последняя цифра № зачетной книжки

№	Вариант
0	a_1, b_1, c_1
1	a_1, b_2, c_1
2	a_1, b_3, c_1
3	a_2, b_1, c_1
4	a_2, b_1, c_1
5	a_2, b_1, c_1
6	a_1, b_1, c_2
7	a_1, b_2, c_2
8	a_2, b_1, c_2
9	a_2, b_2, c_2

Контрольные вопросы и задачи

1. Как зависит среднее время задержки от величин $\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu}$ - называемых интенсивностью загрузки узла (канала).
2. Чему равна «критическая» величина ρ_1 .
3. Составить алгоритм, позволяющий запрограммировать приведенный выше (в примере) расчет.

Литература

1. Кох Р., Яновский Г.Г. Эволюция и конвергенция в сетях электросвязи. - М.: Радио и связь, 2001.
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы.- Издательский дом «Питер», 2001.