

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Ульяновский государственный технический университет

ТЕОРИЯ ТЕЛЕТРАФИКА

Сборник лабораторных работ

Методические указания к лабораторным работам
по курсу «Теория телетрафика»
для студентов направления 210406 специализации
«Сети связи и системы коммутации»
специальности 21040665 «Сети связи и системы коммутации»

Составитель С.М. Наместников

Ульяновск 2007

УДК 621.394.343

ББК 32.88

Т33

Рецензент старший преподаватель кафедры «Автоматизированных систем управления войсками и связи» Ульяновского высшего военного инженерного училища связи, к.т.н., доцент Гладких А.А.

Одобрено секцией методических пособий научно-методического совета университета

Теория телетрафика: Методические указания к лабораторным работам Т33 /Сост.: С.М. Наместников. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 27 с.

Сборник лабораторных работ разработан в соответствии с программой курса «Теория телетрафика» и предназначен для студентов специальности «Сети связи и системы коммутации», но может использоваться и студентами других специальностей. Лабораторные работы посвящены анализу цифровых систем связи и их моделированию в программе Net Cracker 4.0.

Сборник подготовлен на кафедре «Телекоммуникации».

УДК 621.394.343

ББК 32.88

© С.М. Наместников, составление, 2007

© Оформление. УлГТУ, 2007

СОДЕРЖАНИЕ

ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ NETCRACKER 4.0.....	4
Лабораторная работа №1 МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХЗВЕННОЙ СХЕМЫ	9
Лабораторная работа №2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ	13
Лабораторная работа №3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ СЕТИ С БУФЕРОМ И ОДНИМ СЕРВЕРОМ	17
Лабораторная работа №4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТОЙ СЕТИ СВЯЗИ	22
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	27

ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ NETCRACKER 4.0

Главное окно программы, представленное на рис. 1, состоит из пяти элементов: главного меню, панелей инструментов, браузера, рабочей области и панели устройств. В браузере отображается список типов устройств, которые могут использоваться при построении моделей сетей связи. При выборе определенного типа устройства в панели устройств показываются существующие модели выбранного устройства. Сам процесс моделирования цифровых сетей выполняется в рабочей области.

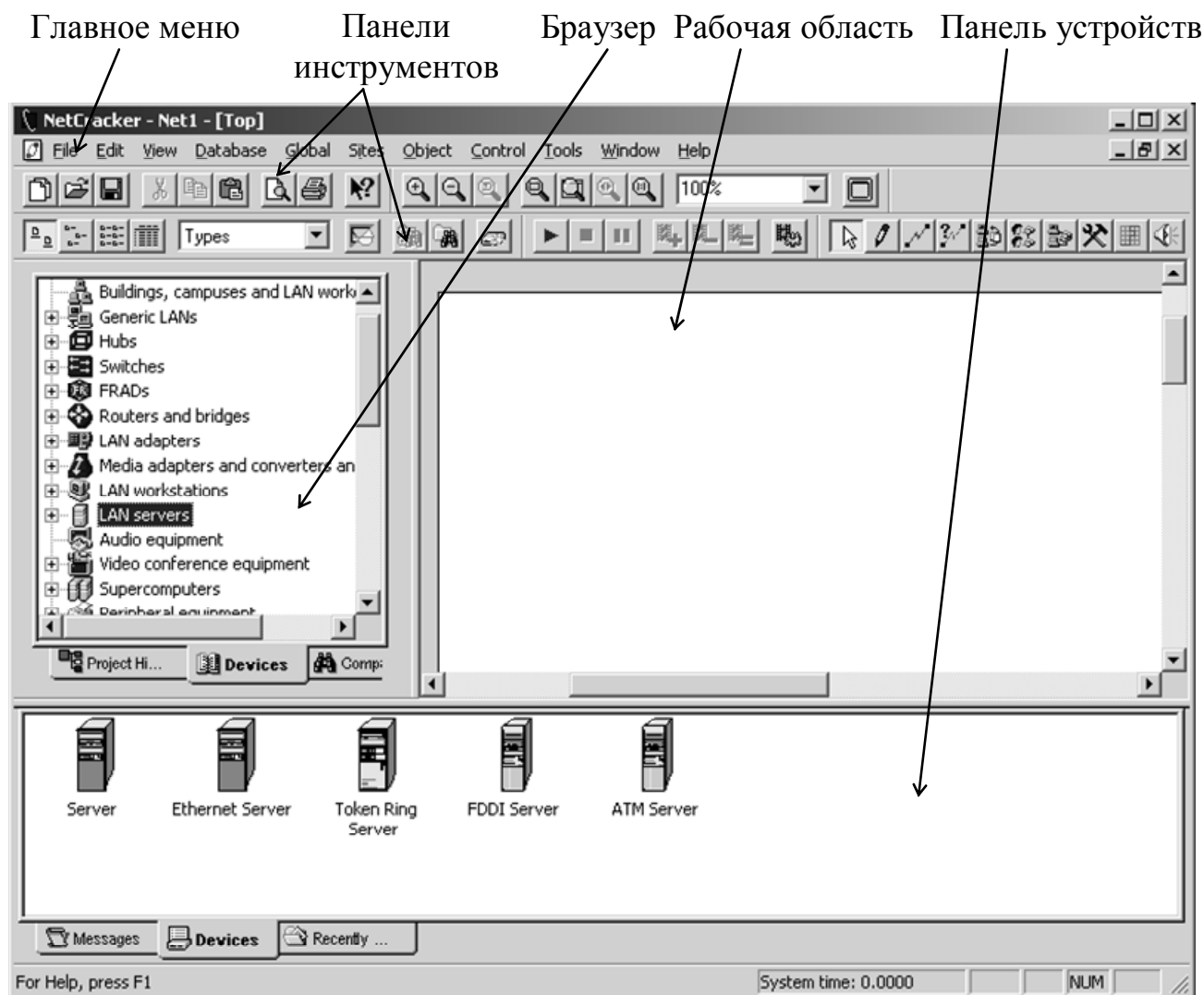



Рис. 1. Главное окно программы NetCracker

Процесс моделирования заключается в последовательном выборе соответствующего оборудования сначала в списке браузера, а затем в панели устройств и переноса выбранной модели на рабочую область с помощью указателя мыши. Связь между двумя узлами сети, отображенными в рабочей области, устанавливается путем выбора режима «link devices»  на панели инструментов «Modes» и соединения их с помощью курсора мыши. В случае возможности установления связи на экране появляется диалоговое окно (рис. 2), в котором задаются дополнительные параметры соединения.

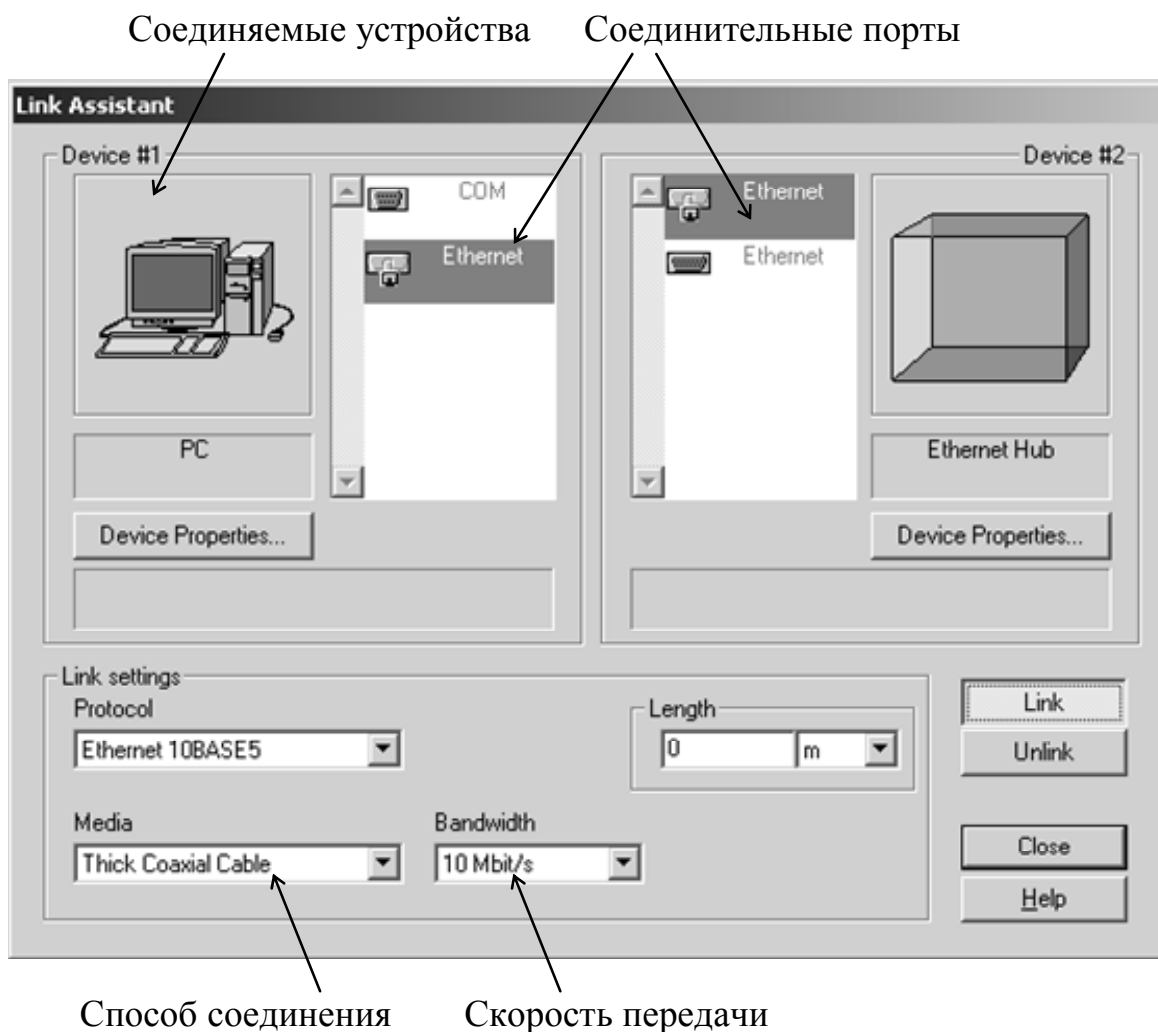



Рис. 2. Диалоговое окно при установлении соединения

При нажатии кнопки «Link» соединение считается установленным, и после этого становятся доступны параметры связи: способ соединения, скорость передачи, тип протокола.

Таким образом, размещая элементы сети на рабочей области и устанавливая между ними необходимые соединения, можно задавать любую структуру сети связи.

После формирования топологии сети связи задаются направления движения и модели трафиков между отдельными узлами сети. В случае передачи произвольных данных, таких как файлы, видео, текст, звук и пр., выбирается режим «Set Traffic»  на панели инструментов «Modes» и с помощью указателя мыши сначала отмечается узел источника трафика, а затем узел приемника. После этого в появившемся диалоговом окне программа предложит выбрать один из типов трафика (рис. 3), который будет иметь место между выбранными узлами сети. При нажатии кнопки «Assign» устанавливается выбранный тип трафика между узлом источником и узлом получателем. Для большей гибкости процесса моделирования сети связи в программе NetCracker предусмотрена возможность редактирования модели трафика и задание ее параметров. Для этого в главном окне программы необходимо выбрать пункт меню «Global» и подпункт «Data Flow» или нажать

комбинацию клавиш Ctrl+W. В результате на экране появится диалоговое окно со списком всех установленных соединений между отдельными парами узлов сети (рис. 4). При выборе нужного соединения становится доступной кнопка «Edit», и при ее нажатии появляется диалоговое окно выбора модели и параметров соответствующего трафика (рис. 5).

Список типов трафика

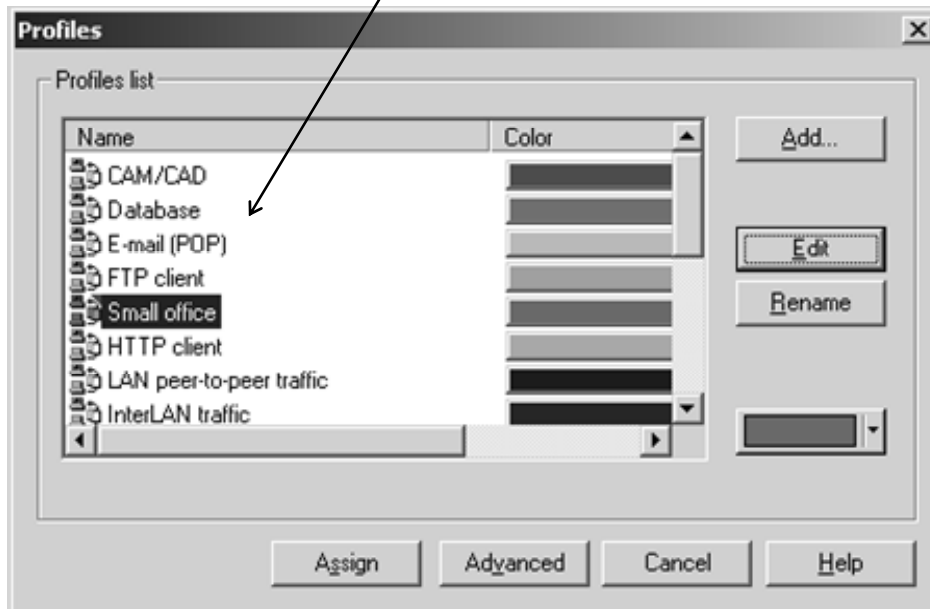


Рис. 3. Диалоговое окно выбора типа трафика

Список существующих соединений

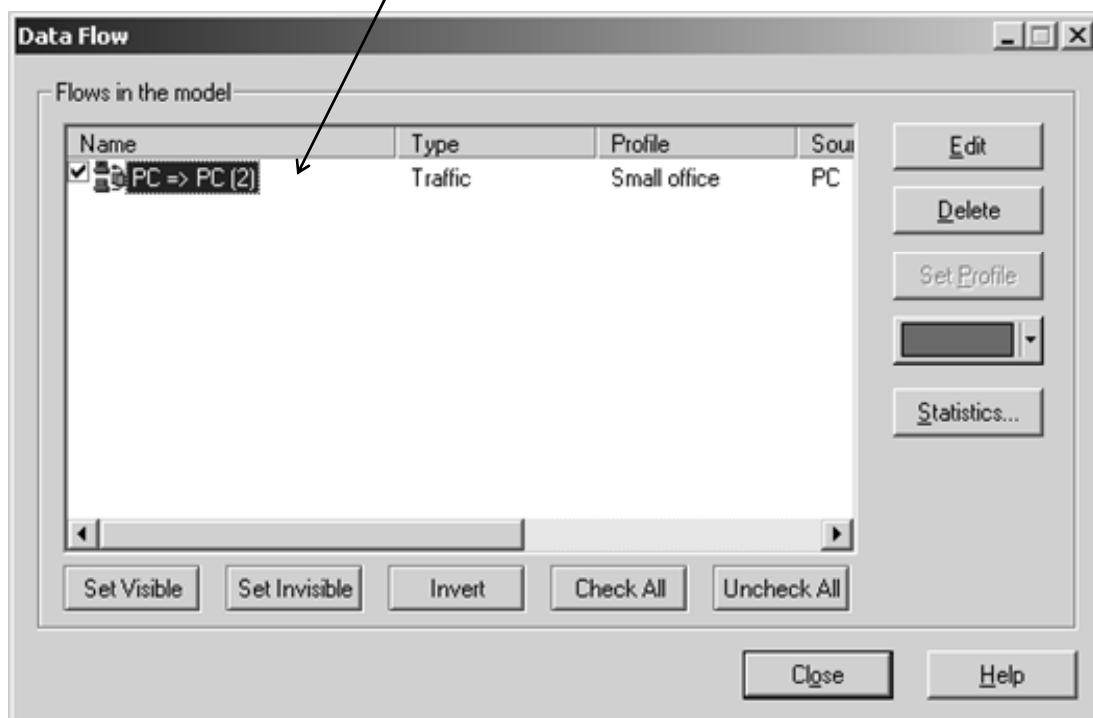


Рис. 4. Диалоговое окно редактирования установленных соединений

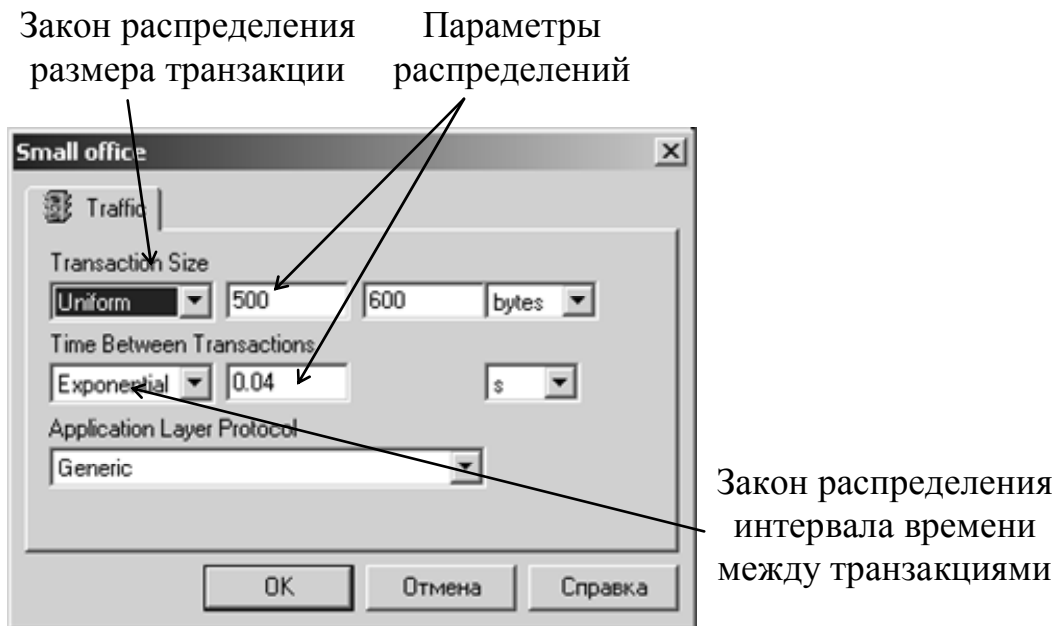






Рис. 5. Диалоговое окно выбора моделей и параметров трафика

В случае передачи речевых данных между абонентскими аппаратами сети следует выбирать режим «Set Voice Calls»  на панели инструментов «Modes». Дальнейшая последовательность шагов по установлению типа и модели голосового трафика остается прежней. И, наконец, когда требуется передавать голосовые данные между компьютерами соединенных в сеть, нужно выбирать режим «Set Data Calls»  на той же панели инструментов.

Запуск процесса моделирования сети связи выполняется при нажатии кнопки «Start»  на панели инструментов «Control». Визуализация процесса передачи данных представляется в виде движения маркеров по установленным линиям связи. Причем по цвету и форме маркеров можно определять тип и направление передаваемых данных. В процессе моделирования для каждой линии связи можно отображать следующую информацию:

- среднюю и текущую загруженность линии;
- число переданных пакетов за последнюю секунду;
- число потерянных пакетов за последнюю секунду;
- среднее время передачи пакета.

Для этого необходимо выбрать линию связи и нажать правую клавишу мыши. В появившемся всплывающем меню выбрать пункт «Statistics...» после чего на экране высветится диалоговое окно выбора отображаемой информации (рис. 6). Выбор информации, которую требуется отображать в процессе моделирования, осуществляется путем установок «галочек» напротив соответствующих пунктов.

В программе NetCracker предусмотрена возможность настройки параметров анимации при моделировании сетей связи. Для этого нужно нажать на кнопку «Animation Setup»  на панели инструментов «Control» и выбора соответствующих параметров настроек в появившемся диалоговом окне (рис. 7).

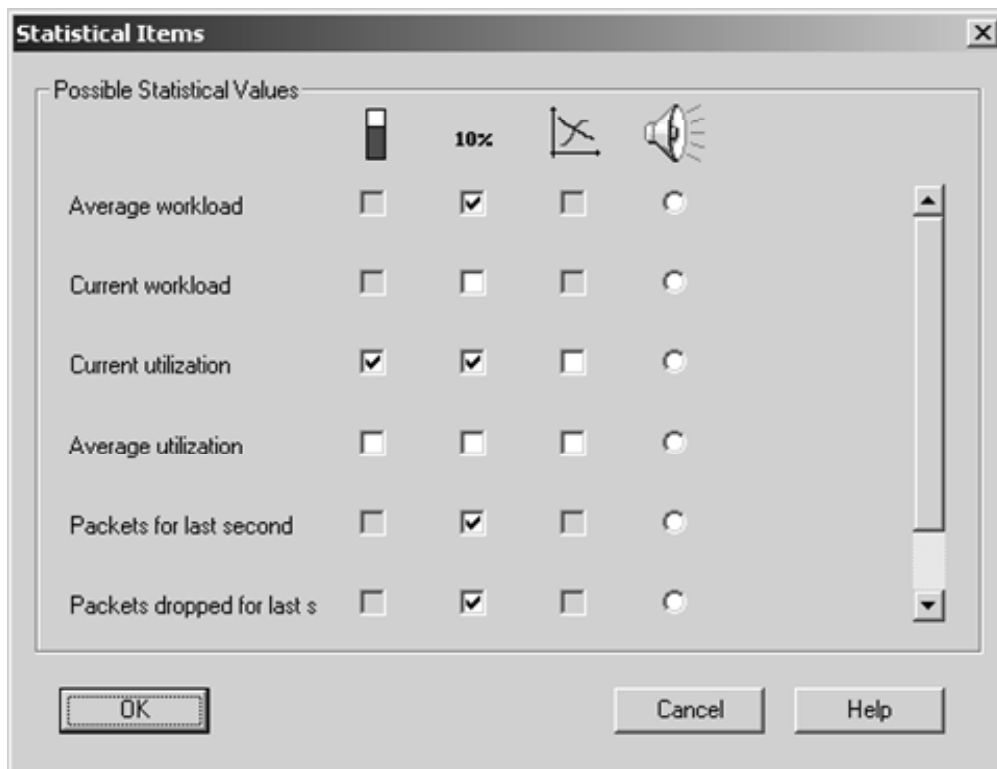


Рис. 6. Диалоговое окно выбора отображаемой информации

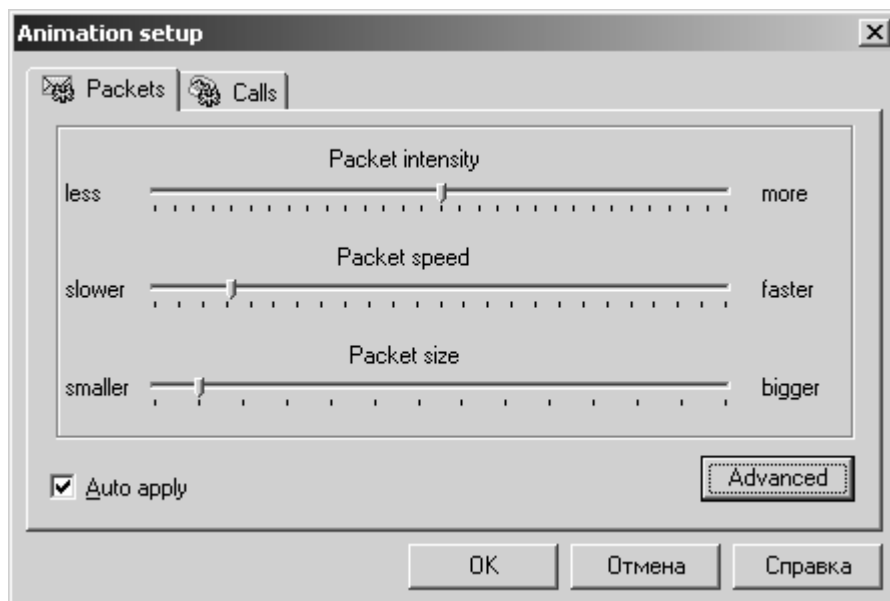




Рис. 7. Диалоговое окно настроек параметров анимации

Кроме общих установок предусмотрена возможность изменения скорости анимации непосредственно в процессе моделирования. Это осуществляется путем нажатия на кнопки «Faster animation»  для увеличения скорости движения и «Slower animation»  для ее уменьшения.

Таким образом, рассмотренные элементы управления программы NetCracker позволяют выполнять моделирование различных топологий схем связи и определять основные характеристики сети путем ее моделирования.

Лабораторная работа №1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХЗВЕННОЙ СХЕМЫ

Цель работы: моделирование трехзвенной схемы и расчет ее основных характеристик.

Теоретические сведения

Рассмотрим простую трехзвенную схему (рис. 8 а), которую можно смоделировать в программе NetCracker с помощью четырех телефонов (Telephone) и четырех офисных АТС (PBX) (рис. 8 б).

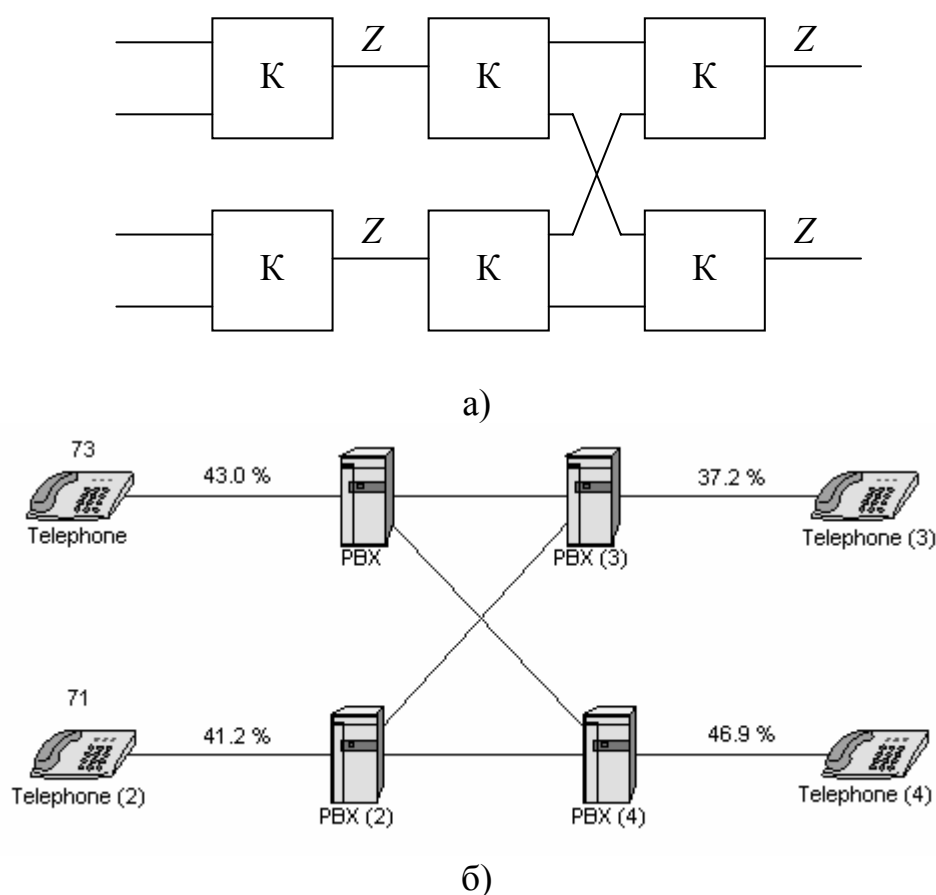


Рис. 8. Трехзвенная коммутационная схема:

а) – структурная схема;

б) – реализация структурной схемы в программе NetCracker

Узел «Telephone» генерирует голосовой трафик к узлам «Telephone (3)» и «Telephone (4)». Аналогично, узел «Telephone (2)» передает голосовые сообщения узлам «Telephone (3)» и «Telephone (4)». Таким образом, устройства «Telephone» и «Telephone (2)» соответствуют коммутаторам первого звена структурной схемы рис. 8 а.

Основными характеристиками многозвенных схем являются вероятность потерь поступившего вызова и величина загрузки промежуточных линий связи.

Для того чтобы определить эти характеристики необходимо знать законы распределения вероятностей для длительности разговора и интервала времени между соседними вызовами. Исследования телефонного трафика показали, что в качестве этих распределений хорошо подходит экспоненциальная плотность распределения вероятностей (ПРВ), которая описывается следующим выражением:

$$\omega(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad x \geq 0,$$

где $\lambda = 1/m_t$ - величина обратная математическому ожиданию (МО) m_t , определяющая интенсивность потока.

Обозначим через $m_t^{раз}$ среднюю длительность разговора, а через $m_t^{св}$ - средний интервал времени между разговорами. В этих обозначениях величина нагрузки Z_1 , создаваемая одним абонентом определяется по формуле

$$Z_1 = \frac{m_t^{раз}}{m_t^{раз} + m_t^{св}} = \frac{\lambda^{св} + \lambda^{раз}}{\lambda^{раз}}.$$

Учитывая, что число абонентов на входе коммутатора первого звена равно двум, а входной поток является простейшим, то общая нагрузка будет $Z = 2Z_1$.

Вычислим вероятность потерь для данной трехзвенной схемы. Очевидно, что блокировки вызова возможны только в том случае, когда поступивший вызов застает занятой либо промежуточную линию между соответствующими коммутаторами первого и второго звеньев, либо занятой промежуточную линию между коммутаторами второго и третьего звеньев. Так как эти два события совместны, т.е. могут произойти одновременно, но независимы, то вероятность блокировки уже поступившего разговора будет определяться по формуле:

$$p = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B) = 2Z - Z^2.$$

В последнем выражении величина занятости промежуточной линии принималась равной средней величины нагрузки проходящей через нее.

Общая вероятность потерь для всей трехзвенной схемы находится путем умножения вероятности p на вероятность поступления очередного вызова. Учитывая экспоненциальное распределение, входной поток заявок можно считать простейшим, и тогда вероятность поступления очередного вызова равна 1. В результате вероятность потерь определяется выражением

$$p_B = p = 2Z - Z^2.$$

Соответственно среднее число потерянных вызовов для одного входа коммутатора за время t можно найти по формуле

$$N_B = p_B \cdot \frac{t}{m_t^{раз} + m_t^{св}}.$$

Моделирование трехзвенной схемы в программе NetCracker

Для создания трехзвенной схемы, представленной на рис. 8 б, в браузере программы NetCracker нужно перейти на закладку «Audio equipment» и в панели устройств выбрать «Telephone». Разместить четыре телефона, как показано на рис. 8 б и перейти на закладку «PBX». В панели устройств выбрать офисную АТС «PBX» и с помощью указателя разместить их на рабочей области в соответствии с рис. 8 б. Затем в режиме «Link devices» необходимо соединить телефоны с «PBX», в появившемся диалоговом окне выбрать порты «Phone Line» и «Station Line» и нажать кнопку «Link». Связи между офисными АТС строятся аналогичным образом с той лишь разницей, что в диалоговом окне выбираются порты «Trunc». Построенная сеть связи будет иметь каналы связи с телефонами с пропускной способностью 56 Кбит/с.

Будем полагать, что голосовой трафик в анализируемой системе движется от первого и второго телефонов к третьему и четвертому, которые обозначены «Telephone», «Telephone (2)», «Telephone (3)» и «Telephone (4)» соответственно. Для этого выбирается режим «Set Voice Calls» и с помощью указателя мыши отмечается сначала первый, а затем третий телефоны (это будет означать, что трафик движется от первого к третьему телефону). В появившемся диалоговом окне нажмем кнопку «Edit». В новом диалоговом окне (рис. 9) выберем экспоненциальные распределения для времени разговора «Session Length» и времени между вызовами «Time Between Calls». Здесь же установим равными нулю время соединения «Connection Setup Time» и время разъединения «Connection Shutdown Time».

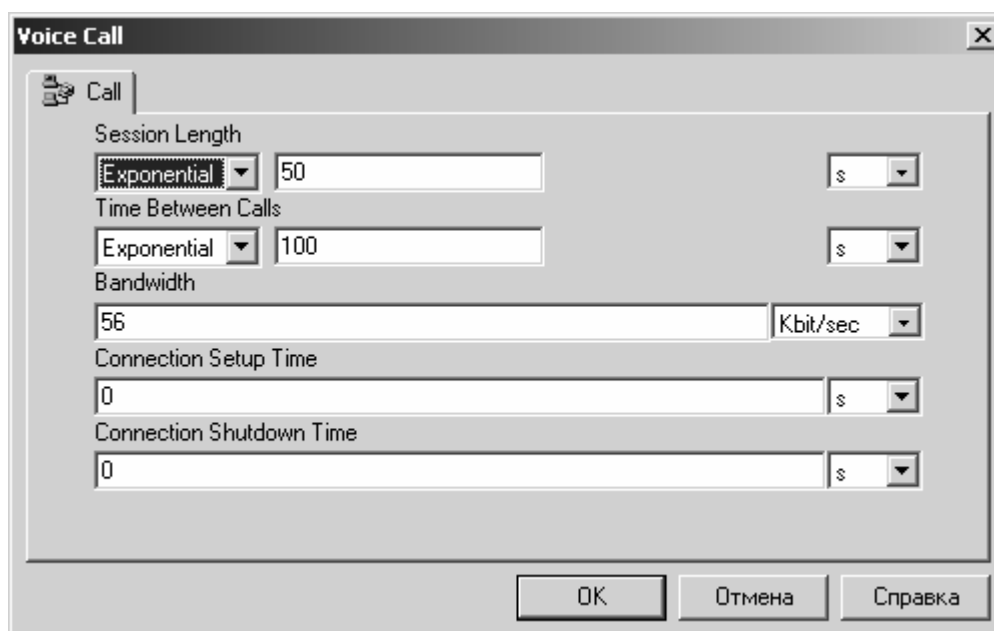


Рис. 9. Диалоговое окно настроек параметров голосового трафика

Выполним аналогичные операции для установления голосового трафика между первым и четвертыми телефонами, вторым и третьим и вторым и четвертым.

Перед началом моделирования для первого и второго телефонов в окне «Statistical Items» (рис. 6) отметим пункт «Calls blocked».

Запустим процесс моделирования сформированной схемы на 10000 шагов. При этом на экране будет отображаться общее число потерянных вызовов соответствующими телефонами.

Задание на лабораторную работу

1. Вычислить среднюю нагрузку, создаваемую в промежуточных линиях одним входом коммутатора первого звена.
2. Вычислить вероятность потерь и среднее число потерянных вызовов для коммутатора первого звена.
3. Выполнить моделирование трехзвенной схемы, представленной на рис. 8, с заданными параметрами ПРВ трафика.
4. Сравнить полученные результаты расчета с результатами моделирования.
5. Составить отчет о проведенных исследованиях.

Варианты заданий

Вариант	Параметры ПРВ (сек.): время разговора/время между вызовами
1	50/100
2	20/100
3	30/70
4	30/100
5	25/50
6	40/100
7	20/70
8	50/50
9	40/80
10	30/60

Содержание отчета

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилией студента и группы.
2. Результаты расчетов.
3. Схема связи с результатами моделирования.
4. Выводы по полученным данным расчетов и моделирования.
5. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение многозвенных схем.
2. Чему равняется вероятность занятости одной промежуточной линии?
3. Перечислите основные характеристики качества многозвенных схем.
4. Как определяется среднее число потерянных вызовов для одного входа?
5. Какова вероятность поступления очередного вызова для простейшего потока?
6. Опишите ситуации, при которых происходят потери вызова в представленной трехзвенной схеме.

Лабораторная работа №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ

Цель работы: определение основных характеристик цифровой системы связи путем моделирования и с помощью теоретических методов.

Теоретические сведения

Рассмотрим цифровую сеть связи на базе протокола TCP/IP, состоящую из двух персональных компьютеров (ПК) соединенных между собой через Hub (рис. 10).

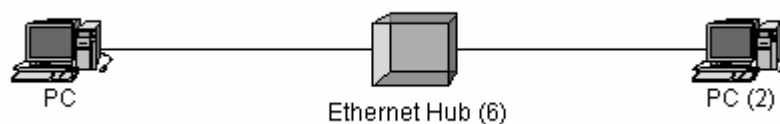


Рис. 10. Простая цифровая сеть связи

При расчете характеристик такой сети необходимо знать закон распределения длин передаваемых пакетов $\omega(x)$ и распределение интервалов времени между ними $\omega(t)$. Считается, что эти ПРВ известны. Тогда можно определить среднюю длину передаваемых пакетов как математическое ожидание (МО):

$$m_x = \int x \omega(x) dx,$$

и средний интервал времени между двумя соседними пакетами:

$$m_t = \int t \omega(t) dt.$$

В табл. 1 приведены наиболее часто используемые в цифровых системах ПРВ с их основными числовыми характеристиками.

Таблица 1. Часто используемые ПРВ в цифровых системах связи

Название закона распределения	Плотность распределения вероятностей $\omega(x)$	Моменты
Нормальный	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right)$	$m_1 = a, \mu_2 = \sigma^2,$ $\mu_3 = 0, \mu_4 = 3\sigma^4$
Равномерный	$\frac{1}{b-a}, a \leq x \leq b$	$m_1 = \frac{a+b}{2}, \mu_2 = \frac{(b-a)^2}{12},$ $\mu_3 = 0, \mu_4 = \frac{1}{80}(b-a)^4$
Экспоненциальный	$\lambda e^{-\lambda x}, x \geq 0$	$m_1 = 1/\lambda, m_2 = 2/\lambda^2,$ $\mu_2 = 1/\lambda^2, \mu_3 = 2/\lambda^3,$ $\mu_4 = 9/\lambda^4$
Логарифмически-нормальный	$\frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\ln x - a)^2}{2\sigma^2}\right), x > 0$	$m_1 = \exp(a + 0,5\sigma^2),$ $\mu_2 = \exp(2a + \sigma^2)(\exp(\sigma^2) - 1)$
Гамма	$\frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, x \geq 0, \beta > 0$	$m_1 = \alpha\beta, m_2 = \alpha(\alpha+1)\beta^2,$ $\mu_2 = \alpha\beta^2, \mu_3 = 2\alpha\beta^3,$ $\mu_4 = 3(\alpha+2)\alpha\beta^4$
Вейбулла	$\alpha\beta x^{\alpha-1} \exp(-\beta x^\alpha), x \geq 0$	$m_1 = \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)\beta^{-1/\alpha}$ $\mu_2 = \left(\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)\right)\beta^{-2/\alpha}$

На основе величин m_x и m_t определяется средняя загруженность канала связи по формуле

$$\bar{g} = m_x / m_t = m_x \mu,$$

где $\mu = 1/m_t$ - интенсивность передачи пакета по каналу связи. Анализ данного выражения показывает, что загруженность линии связи зависит как от размеров передаваемых пакетов, так и от интенсивности их генерации сетевой картой.

Если величина $\bar{g} \geq g_{line}$, где g_{line} - предельная скорость передачи данных по линии связи, то некоторые из переданных пакетов будут теряться с вероятностью

$$p_B = 1 - \frac{g_{line}}{\bar{g}}.$$

Среднее время передачи пакета по каналу связи определяется по формуле

$$t_{cp} = \frac{m_x}{g_{line}} = \frac{1}{\mu},$$

где μ - интенсивность передачи пакетов по линии связи. Зная величины λ и μ , можно определить нагрузку в цифровой системе как

$$Z = \lambda / \mu.$$

Моделирование цифровой сети в программе NetCracker

Для создания сети связи, представленной на рис. 10, в браузере программы NetCracker нужно перейти на закладку «LAN workstations» и в панели устройств выбрать «PC». Разместить два ПК, как показано на рис. 10 и перейти на закладку «Hubs». В раскрывающемся списке выбрать опцию «Shared media» и из панели устройств перенести в рабочую область «Ethernet Hub». Затем в браузере перейти на закладку «LAN adapters», в раскрывающейся ветви выбрать «Ethernet» и в ней отметить фирму изготовителя «3Com Corp.». В панели устройств найти сетевую плату «Fast EtherLink 10/100 PCI» и с помощью указателя мыши переместить ее сначала на первый ПК, а затем на второй. В результате компьютеры будут иметь данную сетевую плату и возможность подключения к «Ethernet Hub». Для этого в режиме «Link devices» нужно соединить компьютеры с «Ethernet Hub» и в появившемся диалоговом окне нажать кнопку «Link». Построенная сеть связи будет иметь канал с пропускной способностью 10 Мбит/с.

Будем полагать, что трафик в анализируемой цифровой системе движется от первого ПК, который обозначен как PC, ко второму – PC (2). Для этого выбирается режим «Set Traffic» и с помощью указателя мыши отмечается сначала первый, а затем второй ПК. В появившемся диалоговом окне (рис. 3) отметим пункт «Small office» и нажмем кнопку «Edit». В новом диалоговом окне (рис. 5) выберем экспоненциальное распределение для размеров передаваемых пакетов с МО равным 500 байт. Для моделирования интервалов времени также укажем экспоненциальную ПРВ с параметром 10^{-3} с.

Перед началом моделирования зададим следующую отображаемую информацию. Для линии связи в диалоговом окне «Statistical Items» (рис. 6) отметим пункты «Average workload» и «Current utilization». Для первого ПК в аналогичном диалоговом окне отметим пункты «Transactions send» и «Average transaction length». Для второго выберем пункт «Transactions recived».

Запустим процесс моделирования сформированной схемы на некоторое время. При этом на экране будет отображаться средняя длина передаваемого

пакета, средняя загруженность линии, величина текущей загрузки линии связи в процентах и общее число переданных и принятых пакетов.

Задание на лабораторную работу

1. Вычислить среднюю загруженность канала связи, среднее время передачи одного пакета и величину нагрузки в сети.
2. Выполнить моделирование цифровой сети, представленной на рис. 10, с заданными параметрами ПРВ трафика.
3. Сравнить полученные результаты расчета с результатами моделирования.
4. Изменить параметры ПРВ трафика таким образом, чтобы вероятность потери пакетов $p_B \approx 0,5$.
5. Выполнить моделирование цифровой сети с новыми параметрами ПРВ и на основе полученных результатов вычислить величину потерь.
6. Составить отчет о проведенных исследованиях.

Варианты заданий

Вариант	ПРВ размера/ПРВ интервала	Параметры ПРВ (байт/сек)
1	Равномерный/Экспоненциальный	$a = 500; b = 1000 / m_t = 0,001$
2	Экспоненциальный/ Экспоненциальный	$m_x = 500 / m_t = 0,04$
3	Гамма/ Экспоненциальный	$\alpha = 50; \beta = 4 / m_t = 0,001$
4	Логарифмически-нормальный/ Экспоненциальный	$a = 4; \sigma = 2 / m_t = 0,01$
5	Вейбулла/ Экспоненциальный	$m_1 = 500; \mu_2 = 100 / m_t = 0,05$
6	Экспоненциальный/Равномерный	$m_x = 400 / a = 10^{-6}; b = 10^{-4}$
7	Экспоненциальный/Константа	$m_x = 300 / a = 10^{-3}$
8	Экспоненциальный/Экспоненциальный	$m_x = 600 / m_t = 0,001$
9	Равномерный / Константа	$m_x = 250 / a = 10^{-2}$
10	Гамма / Экспоненциальный	$\alpha = 60; \beta = 10 / m_t = 0,002$

Содержание отчета

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилией студента и группы.
2. Исходные ПРВ с заданными параметрами, расчетные формулы, результаты расчетов.
3. Схема связи с результатами моделирования.
4. Выводы по полученным данным расчетов и моделирования.

5. Измененные параметры ПРВ.
6. Теоретические и экспериментальные значения потерь.
7. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные ПРВ, используемые в цифровых системах связи.
2. Как повлияет на величину нагрузки уменьшение среднего размера передаваемого пакета.
3. Как определяется среднее время передачи пакета по каналу связи?
4. Как повлияет на величину нагрузки увеличение интенсивности передачи пакетов по каналу связи?
5. Какие способы соединения двух ПК между собой Вам известны?
6. Как связана величина нагрузки с интенсивностью генерации пакетов сетевой платой и интенсивностью передачи пакетов по каналу связи?

Лабораторная работа №3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ СЕТИ С БУФЕРОМ И ОДНИМ СЕРВЕРОМ

Цель работы: моделирование и анализ работы цифровой сети с одним сервером и буфером ограниченной длины.

Теоретические сведения

Рассмотрим цифровую систему, состоящую из буфера с ограниченным объемом и одного сервера (рис. 11 а). Структурная схема такой цифровой системы представлена на рис. 11, б.

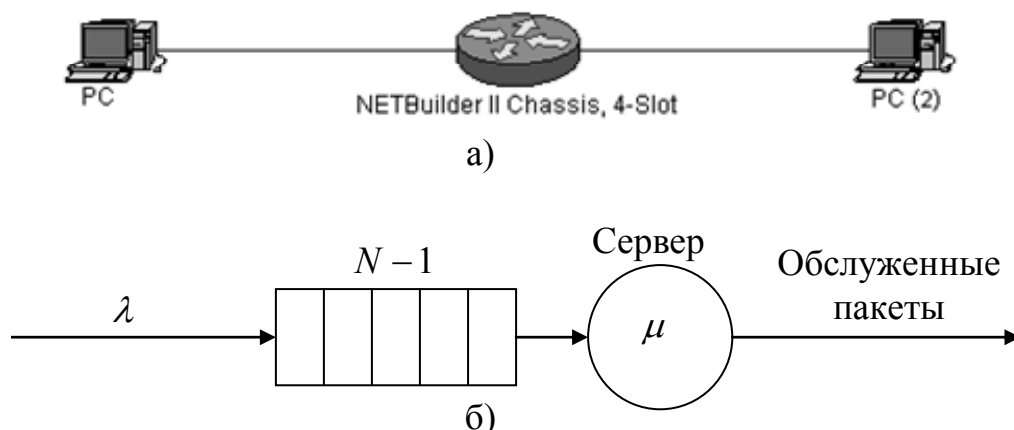


Рис. 11. Система с ограниченной длиной очереди и одним сервером:
 а) – цифровая система с буфером и одним сервером;
 б) – структурная схема цифровой системы

Входной поток со средней интенсивностью λ формируется узлом РС и передается узлу РС(2). Компьютеры РС и РС(2) связаны между собой через роутер «NETBuilder II Chassis» фирмы «3Com Corp.», который имеет буфер входных и выходных данных. Задача сервера заключается в передаче поступивших в роутер пакетов узлу РС(2).

Допустим, что максимальное число пакетов в буфере роутера может быть равно N . Поступивший $N + 1$ пакет получает отказ в обслуживании и считается потерянным.

Будем полагать, что интервалы времени между поступлениями пакетов распределены по экспоненциальному закону с параметром λ . Данный параметр считается известным до процесса моделирования и задается вариантом лабораторной работы. Для того чтобы время обслуживания было тоже подчинено экспоненциальному закону, необходимо длины пакетов описывать экспоненциальным распределением. В этом случае время передачи пакетов, т.е. время их обслуживания $t = L / \mathcal{G}_{line}$, где L - длина передаваемого пакета, будет также подчиняться экспоненциальному закону с параметром

$$\mu = 1/t_{cp},$$

где $t_{cp} = L_{cp} / \mathcal{G}_{line}$ - среднее время передачи пакетов по каналу связи.

Сделанные допущения о моделях трафика позволяют использовать формулу Эрланга для систем с ограничением по длине очереди при вычислении вероятности нахождения k пакетов в роутере:

$$p_k = \frac{\frac{Z^n}{n!} \left(\frac{Z}{n}\right)^{k-n}}{\sum_{j=0}^n \frac{Z^j}{j!} + \frac{Z^n}{n!} \sum_{s=1}^{N-1} \left(\frac{Z}{n}\right)^s}, \quad (1)$$

где $Z = \lambda / \mu$ - величина нагрузки; n - число серверов. Так как в рассматриваемом случае $n=1$, то формула (1) упрощается до следующего выражения:

$$p_{k=1+s} = \frac{Z^k}{1 + Z + Z \sum_{s=1}^{N-1} Z^s} = \frac{Z^k}{1 + \sum_{s=1}^N Z^s} = \frac{Z^k}{\left(\frac{1 - Z^{N+1}}{1 - Z}\right)} = Z^k \frac{1 - Z}{1 - Z^{N+1}}, \text{ при } 0 \leq k \leq N$$

и

$$p_k = 0, \text{ при } k > N.$$

Полученное выражение для p_k можно использовать при вычислении вероятности блокировки (потери пакета). Очевидно, что блокировки возникают при одновременном совершении двух событий: когда в роутере находится N пакетов и когда на его вход поступает $N + 1$ пакет. Вероятность первого события определяется как

$$p_{k=N} = \frac{Z^N (1 - Z)}{1 - Z^{N+1}}.$$

Учитывая, что входной поток является простейшим, вероятность второго события определяется по формуле

$$p^{(N+1)} = \lim_{S \rightarrow \infty} \frac{S - N}{S} = 1$$

и вероятность потери пакета

$$p_B = p_N p^{(N+1)} = \frac{Z^N (1 - Z)}{1 - Z^{N+1}}. \quad (2)$$

Вероятность блокировки также можно выразить через интенсивность входного потока λ и интенсивность потока отброшенных пакетов R :

$$p_B = \frac{R}{\lambda} \Rightarrow R = p_B \lambda.$$

Последнее выражение позволяет вычислять число потерянных пакетов за единицу времени.

Среднее число пакетов в системе может быть найдено как математическое ожидание по следующей формуле:

$$\bar{N} = \sum_{k=0}^N p_k k = \frac{(1 - Z)Z}{1 - Z^{N+1}} \sum_{k=0}^N k Z^{k-1} = \frac{Z}{1 - Z} - \frac{(N + 1)Z^{N+1}}{1 - Z^{N+1}},$$

а среднее время пребывания пакетов в системе как

$$T = \bar{N} / \lambda.$$

Моделирование цифровой сети в программе NetCracker

Для создания сети связи, представленной на рис. 11, а, в браузере программы NetCracker нужно перейти на закладку «LAN workstations» и в панели устройств выбрать «PC». Разместить два ПК, как показано на рис. 11, а и перейти на закладку «LAN adapters». В раскрывающейся ветви выбрать «Ethernet» и в ней отметить фирму изготовителя «3Com Corp.». В панели устройств найти сетевую плату «Fast EtherLink 10/100 PCI» и с помощью указателя мыши переместить ее сначала на первый ПК, а затем на второй. После этого перейти на закладку «Routers and bridges» и в раскрывающейся ветви выбрать «Backbone». В списке «Backbone» найти фирму «3Com Corp.» и выделить пункт «NETBuilder II Chassis, 4-Slot». Из панели устройств перенести роутер «NETBuilder II Chassis, 4-Slot» на рабочую область как показано на рис. 11, а. Затем в панели устройств найти плату «NETBuilder II MP Ethernet 10BASE-T Module, 6-Port» и с помощью указателя мыши переместить ее на роутер «NETBuilder II Chassis, 4-Slot». В результате роутер будет иметь 4 порта со скоростью передачи 10 Мбит/с и буферами выходных и входных данных размером в 100 Кб каждый. Для соединения компьютеров с роутером необходимо выбрать режим «Link devices» и с помощью указателя мыши установить два соединения сначала с первым компьютером, а затем со вторым.

Для задания движения трафика от первого компьютера PC, ко второму PC(2) выбирается режим «Set Traffic» и с помощью указателя мыши отмечается сначала первый, а затем второй ПК. В появившемся диалоговом окне (рис. 3)

отметим пункт «Small office» и нажмем кнопку «Edit». В новом диалоговом окне (рис. 5) выберем экспоненциальное распределение для размеров передаваемых пакетов с МО равным 500 байт. Для моделирования интервалов времени также укажем экспоненциальную ПРВ с параметром 10^{-3} с.

Для указания размера используемого буфера необходимо дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на роутере и в появившемся диалоговом окне нажать на кнопку «Device Setup». В окне свойств выбрать закладку «Ports» и отметить первый используемый порт, через который происходит соединение первого компьютера с роутером. При нажатии на кнопку «Setup» появится диалоговое окно, в котором на закладке «Telecom» устанавливаются размеры входного и выходного буферов передачи (рис. 12).

Перед началом моделирования зададим следующую отображаемую информацию. Для линий связи в диалоговом окне «Statistical Items» (рис. 6) отметим пункты «Average workload». Для первого ПК в аналогичном диалоговом окне отметим пункт «Average transaction length». Для роутера выберем пункт «Packets dropped for last s».

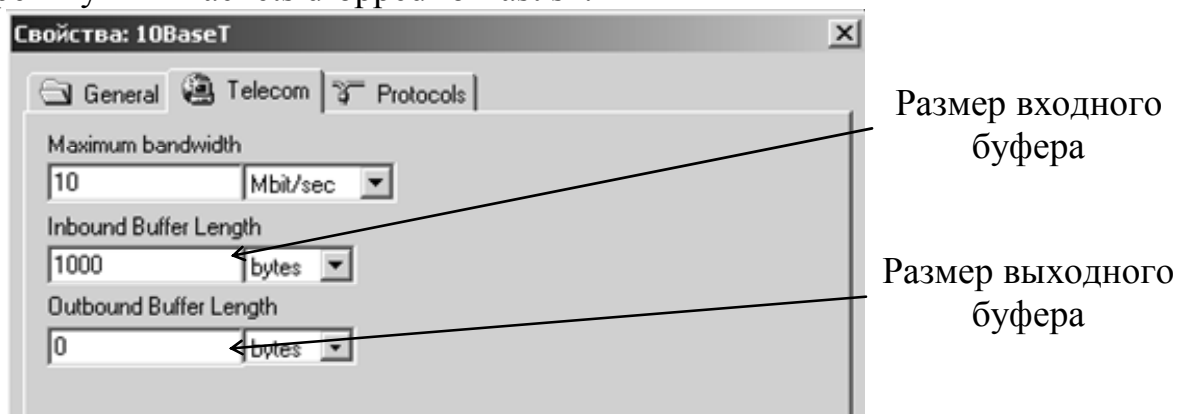


Рис. 12. Диалоговое окно настройки порта

Запустим процесс моделирования сформированной схемы на некоторое время. При этом на экране будет отображаться средняя загруженность обеих линий связи, средняя длина переданных пакетов и число потерянных пакетов за последнюю секунду.

Задание на лабораторную работу

1. Вычислить среднюю интенсивность входного λ и выходного μ потоков, среднее время передачи одного пакета и величину входной нагрузки Z .
2. Для заданного вариантом размера буфера найти вероятность потери пакетов и среднее число потерянных пакетов за одну секунду. Сравнить полученные результаты с результатами моделирования.
3. Определить размер буфера, при котором вероятность потери пакетов будет примерно равна 10^{-8} .

4. Найти среднее число потерянных пакетов за одну секунду при измененном размере буфера. Сравнить полученные результаты с результатами моделирования.

5. Составить отчет о проведенных исследованиях.

Варианты заданий

Вариант	Средняя длина пакета, байт	Средний интервал времени между двумя соседними пакетами, сек	Величина входного буфера, байт
1	500	0,001	1000
2	200	0,001	200
3	100	0,001	200
4	400	0,005	800
5	300	0,004	900
6	450	0,001	900
7	600	0,002	1200
8	350	0,002	700
9	200	0,004	400
10	700	0,01	1400

Содержание отчета

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилией студента и группы.

2. Используемые формулы и расчетные значения средних интенсивностей входных и выходных потоков, среднего времени передачи одного пакета по каналу связи и величины нагрузки.

3. Схема связи, с результатами моделирования, расчетного значения вероятности потерь и среднего числа потерянных пакетов за одну секунду.

4. Выводы полученным данным.

5. Расчетное значение величины буфера и полученное значение вероятности потерь пакетов.

6. Результаты моделирования при расчетной величине размера буфера.

7. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под средней интенсивностью обслуживания пакетов сервером цифровой системы?

2. Как вычисляется средняя интенсивность и нагрузка входного потока?

3. От каких параметров цифровой сети зависит вероятность блокировки?

4. Какие модели трафика входного и выходного потоков используются в данной лабораторной работе?
5. Как вычисляется среднее число потерянных пакетов за единицу времени?
6. Перечислите основные узлы анализируемой цифровой сети связи.
7. Что влияет на скорость передачи пакетов по каналу связи?
8. Как изменится интенсивность входного потока, если увеличить средний интервал времени между двумя соседними пакетами?
9. Как изменится интенсивность потока обслуженных пакетов, если увеличить пропускную способность канала связи?

Лабораторная работа №4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТОЙ СЕТИ СВЯЗИ

Цель работы: моделирование и расчет основных характеристик простой сети связи.

Теоретические сведения

Рассмотрим простую локальную сеть связи, состоящей из двух компьютеров, одного роутера, хаба, рабочей станции и рабочей группы, соединенных между собой линиями связи с пропускной способностью по 10 Мбит/с каждая (рис. 13).

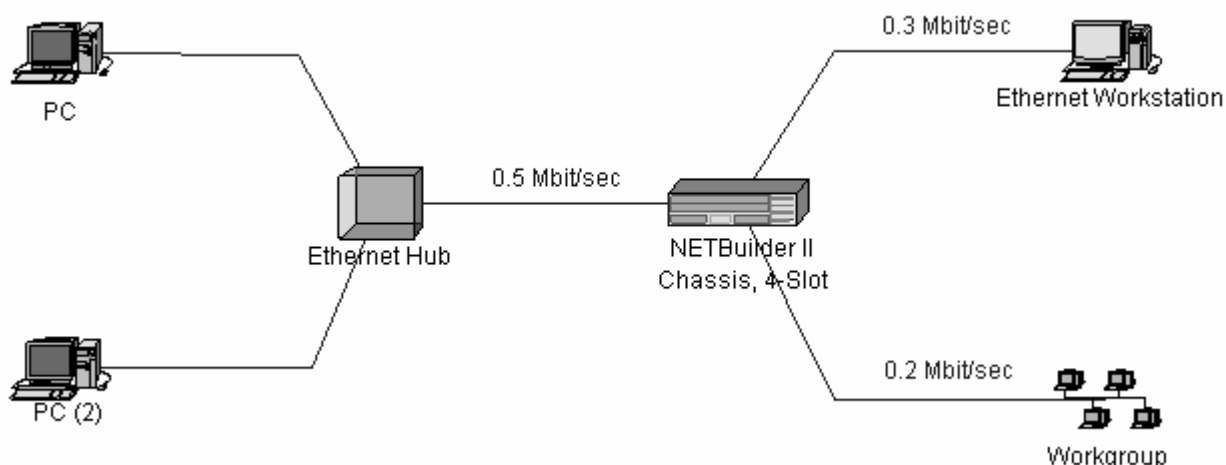


Рис. 13. Простая сеть связи

Трафик в данной сети движется от узлов «PC» и «PC (2)» к узлам «Ethernet Workstation» и «Workgroup». Полагая, что потоки данных являются простейшими со средними интенсивностями λ_1 и λ_2 каждый, можно определить вероятность потерь пакетов от узлов «PC» и «PC (2)» с помощью формулы (2). Схематично цифровую систему связи рис. 13 можно представить следующим образом (рис. 14).

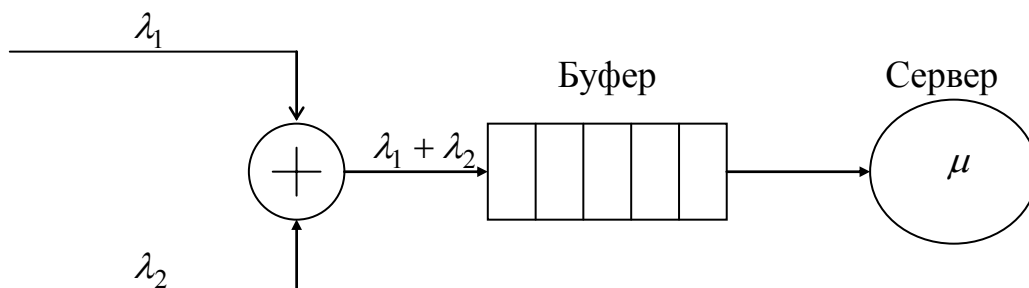


Рис. 14. Схематичное представление цифровой системы связи

Для того чтобы вычислить вероятность потери пакета на входе роутера необходимо знать среднюю длину поступающего пакета в суммарном потоке и суммарную нагрузку трафика. Зная средние интенсивности генерации пакетов для первого и второго потоков, суммарную нагрузку можно определить по формуле

$$Z = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\mu}.$$

Средняя длина пакета суммарного потока будет равна математическому ожиданию от длин пакетов проходящих по нему, т.е. будет справедливо выражение

$$\bar{L} = \sum_{i=1}^2 p_i M\{n_i\},$$

где p_i - вероятность появления пакета для первого и второго трафиков соответственно; $M\{n_i\}$ - математическое ожидание длин пакетов для обоих трафиков. Значения $M\{n_1\} = 1/\lambda_1 = m_1$ и $M\{n_2\} = 1/\lambda_2 = m_2$, а вероятности появления пакетов для первого и второго трафиков можно определить по формулам:

$$p_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2}; \quad p_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}.$$

Таким образом средняя длина пакета суммарного потока будет определяться как

$$\bar{L} = \frac{\lambda_1 \cdot m_1}{\lambda_1 + \lambda_2} + \frac{\lambda_2 \cdot m_2}{\lambda_1 + \lambda_2}.$$

Зная значение \bar{L} и размер входного буфера для роутера S , можно определить среднее число пакетов в системе: $N = S/\bar{L}$. После подстановки значений Z и N в формулу (2) найдем вероятность потерь пакетов в роутере.

Моделирование сети связи в программе NetCracker

Для создания сети связи, представленной на рис. 13 в браузере программы NetCracker нужно перейти на закладку «LAN workstations» и разместить два ПК и один «Ethernet Workstation» как показано на рис. 13, а затем перейти на закладку «LAN adapters». В раскрывающейся ветви выбрать «Ethernet» и в ней отметить фирму изготовителя «3Com Corp.». В панели устройств найти сетевую плату «Fast EtherLink 10/100 PCI» и с помощью указателя мыши переместить ее сначала на первый ПК, а затем на второй. После этого перейти на закладку «Routers and bridges» и в раскрывающейся ветви выбрать «Backbone». В списке «Backbone» найти фирму «3Com Corp.» и выделить пункт «NETBuilder II Chassis, 4-Slot». Из панели устройств перенести роутер «NETBuilder II Chassis, 4-Slot» на рабочую область как показано на рис. 13. Затем в панели устройств найти плату «NETBuilder II MP Ethernet 10BASE-T Module, 6-Port» и с помощью указателя мыши переместить ее на роутер «NETBuilder II Chassis, 4-Slot». В результате роутер будет иметь 4 порта со скоростью передачи 10 Мбит/с и буферами выходных и входных данных размером в 100 Кб каждый. Затем перейти на закладку «Hubs», в раскрывающемся списке выбрать опцию «Shared media» и из панели устройств перенести на рабочую область «Ethernet Hub». Наконец в браузере найти пункт «Buildings, campuses and LAN workgroups» и из панели устройств перенести на рабочую область элемент «Workgroup» в соответствии с рис. 13. После этого необходимо соединить все узлы системы в режиме «Link devices» как показано на рис. 13.

Для задания движения трафика от первого компьютера «PC» к «Ethernet Workstation» выбирается режим «Set Traffic» и с помощью указателя мыши отмечается узел источника, а затем узел приемника данных. В появившемся диалоговом окне (рис. 3) отметим пункт «Small office» и нажмем кнопку «Edit». В новом диалоговом окне (рис. 5) выберем экспоненциальное распределение для размеров передаваемых пакетов с МО равным 400 байт. Для моделирования интервалов времени также укажем экспоненциальную ПРВ с параметром 10^{-3} с. Аналогично создается движение трафика от узла «PC» к узлу «Workgroup», от узла «PC (2)» к узлу «Ethernet Workstation» и от узла «PC (2)» к узлу «Workgroup».

Для указания размера используемого буфера необходимо дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на роутере и в появившемся диалоговом окне нажать на кнопку «Device Setup». В окне свойств выбрать закладку «Ports» и отметить первый используемый порт, через который происходит соединение хаба с роутером. При нажатии на кнопку «Setup» появится диалоговое окно, в котором на закладке «Telecom» устанавливаются размеры входного и выходного буферов передачи (рис. 12).

Перед началом моделирования зададим следующую отображаемую информацию. Для линий связи в диалоговом окне «Statistical Items» (рис. 6) отметим пункты «Average workload». Для компьютеров в аналогичном диалоговом окне отметим пункт «Average transaction length». Для роутера выберем пункт «Packets dropped for last s».

Запустим процесс моделирования сформированной схемы на некоторое время. При этом на экране будет отображаться средняя загрузка линий связи, средняя длина переданных пакетов и число потерянных пакетов за последнюю секунду.

Задание на лабораторную работу

1. В соответствии с номером варианта вычислить суммарную нагрузку трафика, поступающего на вход роутера, а также определить среднюю длину пакета в этом потоке и среднее число пакетов в буфере.

2. Вычислить вероятность потери пакета и среднее число потерянных пакетов за одну секунду в роутере.

3. Определить размер буфера, при котором вероятность потерь будет равна 10^{-6} .

4. Составить отчет о проведенных исследованиях.

Варианты заданий

Вариант	Средняя длина пакета для входных потоков, байт	Средний интервал времени между двумя соседними пакетами, сек (λ_1 / λ_2)	Величина входного буфера, байт
1	500	0,001/0,002	1000
2	200	0,001/0,003	200
3	100	0,002/0,005	200
4	400	0,003/0,002	800
5	300	0,004/0,003	900
6	450	0,001/0,002	900
7	600	0,002/0,001	1200
8	350	0,002/0,0015	700
9	200	0,004/0,002	400
10	400	0,001/0,002	1200

Содержание отчета

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилией студента и группы.

2. Используемые формулы, расчетное значение суммарной нагрузки, средней длины пакета, среднего числа пакетов в буфере.

3. Расчетные формулы и полученные значения вероятности потери пакета и среднего числа потерянных пакетов за одну секунду.

4. Расчетные формулы и новое значение размера входного буфера, при котором вероятность потери пакетов равна 10^{-6} .

5. Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Как зависит величина нагрузки от размера передаваемых пакетов?
2. Как зависит вероятность блокировки от увеличения пропускной способности линий связи?
3. В чем заключается функциональное отличие между роутером и хабом?
4. Как зависит величина нагрузки от среднего интервала времени между передаваемыми пакетами?
5. Как связана суммарная величина нагрузки с нагрузками входных потоков?
6. Каким образом вычисляется средняя длина передаваемого пакета в суммарном потоке?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнышев, Ю. Н. Теория телетрафика / Ю. Н. Корнышев, А.П. Пшеничников, А.Д. Харкевич. – М.: Радио и связь, 1996 г. – 270 с.
2. Крылов, В. В. Теория телетрафика и ее приложения / В. В. Крылов, С.С. Самохвалова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
3. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей: учебник для вузов / Е. С. Вентцель. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.
4. Вишневский, В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В. М. Вишневский. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.

Учебное издание

ТЕОРИЯ ТЕЛЕТРАФИКА

Методические указания к лабораторным работам

Составитель **Наместников** Сергей Михайлович

Редактор Н.А. Евдокимова

Подписано в печать 30. 02. 2007. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Усл.печ.л. 1,39. Уч.-изд.л. 1,00.

Тираж 60 экз. Заказ

Ульяновский государственный технический университет,
432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.

Типография УлГТУ, 432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.