

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Радиотехнический факультет

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

Долгих Д.А., Ушарова Д.Н., Пашков В.О.

**Имитационное моделирование
инфокоммуникационных систем и сетей**

Учебно-методическое пособие для практических и самостоятельных
работ

Томск 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»
Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ТОР
_____ Ворошилин Е.П.
« _ » _____ 2012 г.

Имитационное моделирование инфокоммуникационных систем и сетей

Учебно-методическое пособие для практических и самостоятельных
работ

Разработчики:
доцент каф. ТОР
_____ Долгих Д.А.
ассистент каф. ТОР.
_____ Ушарова Д.Н.
техник каф. ТОР.
_____ Пашков В. О.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
РАБОТА №1	4
ЗНАКОМСТВО СО СРЕДСТВАМИ МОДЕЛИРОВАНИЯ	4
Цель работы	4
Теоретическая часть	4
Задание	7
Список минимально необходимых команд SciLAB	7
Контрольные вопросы	7
РАБОТА № 2.....	8
Моделирование физического уровня системы радиосвязи на примере DQPSK модулятора/демодулятора	8
Цель работы	8
Теоретическая часть	8
Задание	12
Список минимально необходимых команд SciLAB	12
Контрольные вопросы	13
РАБОТА №3	13
ЗНАКОМСТВО СО СРЕДОЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ NS-2	13
Цель работы	13
Теоретическая часть	13
Задание	15
Контрольные вопросы	16
РАБОТА № 4.....	17
Исследование множественного доступа в локальной сети	17
Цель работы	17
Теоретическая часть	17
Задание	18
Контрольные вопросы	19
Литература	20

ВВЕДЕНИЕ

Практические занятия по курсу имитационное моделирование инфокоммуникационных систем и сетей выполняются на компьютерах в программных продуктах SciLAB и NS-2.

Для ознакомления с принципами работы в программном продукте SciLAB можно воспользоваться [1]. Помощь в использовании SciLAB также можно получить посетив ресурс <http://www.scilab.org/> или же воспользовавшись контекстной помощью поставляемой вместе с программным продуктом.

Для ознакомления с принципами работы в NS-2 можно воспользоваться [5]. Помощь в использовании NS-1 также можно получить посетив ресурс <http://nile.wpi.edu/NS/>.

РАБОТА №1

ЗНАКОМСТВО СО СРЕДСТВАМИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Цель работы

На примере согласованной фильтрации изучить принципы работы со средством моделирования SciLAB;

Теоретическая часть

Согласованная фильтрация в радиосвязи используется как для детектирования сигнала, так и для его обнаружения.

Согласованный фильтр представляет собой фильтр с импульсной характеристикой $h(t)$ при $0 \leq t \leq T$. Вне этого $h(t) = 0$. Тогда выход согласованного фильтра можно записать:

$$y(t) = \int_0^T r(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau.$$

Предположим, что импульсная характеристика фильтра равна $h(t) = r(T - t)$.

В таком случае отклик согласованного фильтра будет равен

$$y(t) = \int_0^t r(\tau) \cdot r(T - t + \tau) d\tau,$$

что по определению является временной автокорреляционной функцией $r(t)$.

Важным свойством согласованного фильтра состоит в том, что если сигнал подвергается воздействию аддитивного белого Гауссова шума, то фильтр согласованный с сигналом максимизирует на выходе отношение сигнал/шум.

Предположим, что принимаемый сигнал $s(t)$ состоит из сигнала $r(t)$ и шума $n(t)$ с нулевым средним и спектральной плотностью мощности $\Phi(f) = \frac{1}{2} N_0$ (Вт/Гц).

Предположим, что сигнал $s(t)$ прошел через фильтра с импульсной характеристикой $h(t)$ $0 \leq t \leq T$ и берется отчет на выходе в точке $t=T$.

$$y(t) = \int_0^t s(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau = \int_0^t r(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau + \int_0^t n(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau.$$

В точке $t=T$:

$$y(T) = y_r(T) + y_n(T).$$

То есть сигнал на выходе согласованного фильтра состоит из сигнальной компоненты и шумовой компоненты.

Задача состоит в выборе $h(t)$ такой что бы следующее выражение было максимальным:

$$\text{ОСШ} = \frac{y_r^2(T)}{E[y_n^2(T)]}$$

Знаменатель определяет дисперсию шумовой компоненты на выходе фильтра

$$\begin{aligned}
 E[y_n^2(T)] &= \iint_{00}^{TT} E[n(\tau) \cdot n(t)] h(T-\tau) h(t-\tau) dt d\tau = \\
 &= \frac{1}{2} N_0 \iint_{00}^{TT} \delta(t-\tau) h(T-\tau) h(t-\tau) dt d\tau = \\
 &= \frac{1}{2} N_0 \int_0^T h^2(T-t) dt
 \end{aligned}$$

$\frac{1}{2} N_0 \delta(t-\tau)$ - автокорреляционная функция белого шума.

Заметим, что дисперсия зависит от спектральной плотности шума на входе фильтра и энергии импульсной характеристики $h(t)$.

$$\text{ОСШ} = \frac{\left(\int_0^T h(\tau) \cdot r(T-\tau) d\tau \right)^2}{\frac{1}{2} N_0 \int_0^T h^2(T-t) dt},$$

т. к. знаменатель зависит от энергии $h(t)$, максимум ОСШ по $h(t)$ можно получить максимизацией числителя в предположении, что знаменатель фиксирован.

Максимизация числителя выполняется легко, если воспользоваться неравенством Коши-Шварца. Оно гласит, что если $g_1(t)$, $g_2(t)$ сигналы с ограниченной энергией, то

$$\left[\int_{-\infty}^{\infty} g_1(t) \cdot g_2(t) dt \right]^2 = \int_{-\infty}^{\infty} g_1^2(t) dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} g_2^2(t) dt,$$

Неравенство превращается в равенство когда $g_1(t) = C g_2(t)$, где C – константа.

Положим $g_1(t) = h(t)$ и $g_2(t) = r(T-t)$, то ясно, что ОСШ максимизируется, если $h(t) = Cr(T-t)$ т. е. $h(t)$ согласовано с сигналом. Константа C^2 не входит в ОСШ т. к. Она присутствует и в числителе и знаменателе.

Выходное ОСШ на фильтре:

$$\text{ОСШ} = \frac{2}{N_0} \int_0^T r^2(t) dt = 2 \frac{E}{N_0},$$

где E – энергия сигнала, т. е. ОСШ не зависит от формы сигнала.

Задание

1. Рассчитать отклик согласованного фильтра для сигнала содержащего в себе неискаженный и искаженный 13 элементный код Баркера. Суммарный сигнал выглядит $r = [PSP \ R \ PSP]$, где PSP – псевдослучайная последовательность длиной 64. $R = [+1 \ +1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ -1 \ +1]$ – код Баркера. Для искаженного кода Баркера изменить полярность 2-х чипов кода Баркера.
2. Рассчитать отклик согласованного фильтра на последовательность r , если в качестве R используется M -последовательность длиной 512 элементов.

Список минимально необходимых команд SciLAB

1. Rand – генерация случайных чисел.
2. Convolve – выполняет свертку последовательностей.
3. If then else – условный оператор.
4. For – оператор цикла.
5. Plot – оператор для построения графиков.
6. Log10 – логарифм по основанию 10.

Контрольные вопросы

1. Что такое согласованная фильтрация.
2. Куда будет смещен график BER(SNR) относительно BPSK без расширения спектра при увеличении длины псевдослучайной последовательности до 512 элементов.
3. Каким образом при помощи SciLAB можно сформировать матрицу случайных чисел $M \times N$, распределенных по нормальному закону с дисперсией 0.5.
4. Каким образом в SciLAB можно задать шкалу времени с шагом 3мкс.

РАБОТА № 2

Моделирование физического уровня системы радиосвязи на примере DQPSK модулятора/демодулятора

Цель работы

- 1) Изучить принципы модуляции/демодуляции QPSK/DQPSK;
- 2) Исследовать свойства сигналов QPSK/DQPSK;

Теоретическая часть

QPSK – 4-х позиционная фазовая модуляция.

QPSK созвездие содержит в себе 4 точки равномерно отстоящие друг от друга (Рисунок 2.1) и может переносить в каждом символе модуляции 2 бита информации.

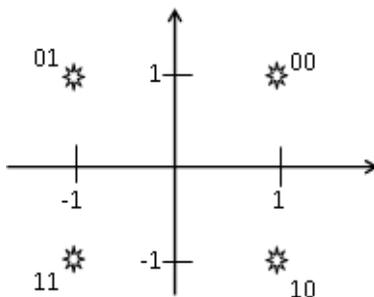


Рисунок 2.1 — Созвездие QPSK

Структурная схема передатчика QPSK изображена на рисунке 2.2.

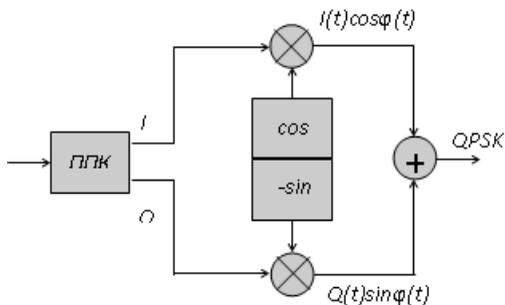


Рисунок 2.2 — Структурная схема QPSK модулятора

На рисунке 2.2 блок ППК — последовательно параллельный конвертер.

На вход ППК поступает информационный поток со скоростью V . На выходах I и Q ППК в таком случае имеются два потока со скоростями $V/2$. Кроме разделения исходного потока на два с меньшими скоростями ППК производит преобразование уровней. Так если на входе информационный поток представляется в двоичном коде (0 либо 1), то на выходе сигнал представляется двумя другими уровнями -1 и 1.

Далее полученные I и Q компоненты подаются на квадратурный модулятор. На выходе квадратурного модулятора получаем QPSK сигнал.

На приемной стороне необходимо выполнить обратное преобразование. На рисунке 2.3 приведена схема QPSK демодулятора без систем синхронизации.

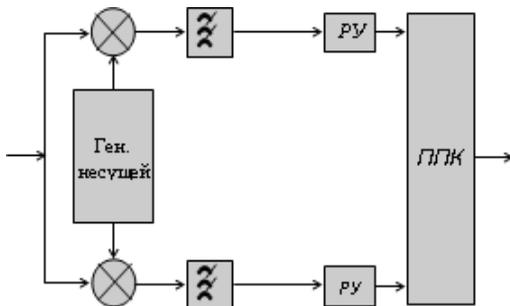


Рисунок 2.3 — Структурная схема демодулятора QPSK

На рисунке 2.3 РУ- решающее устройство, ППК — параллельно-последовательный конвертер.

Для обеспечения правильной работы демодулятора необходимо, чтобы генератор несущей был подстроен по частоте и фазе под генератор в модуляторе. Если отсутствует точная подстройка по частоте, то созвездие на приемной стороне начнет вращаться, что приводит к появлению ошибок при передаче информации.

При не точной фазовой синхронизации созвездие также будет повернуто на определенный угол, что также как и в предыдущем случае будет приводить к ошибкам при передаче информации.

Для того чтобы облегчить требования к частотной синхронизации и исключить из приемника фазовую синхронизацию используют дифференциальную QPSK (DQPSK). При такой модуляции каждая следующая точка созвездия кодируется относительно предыдущей. То есть информация содержится в разности фаз текущей и предыдущей точек. На рисунке 2.4 изображен модулятор DQPSK.

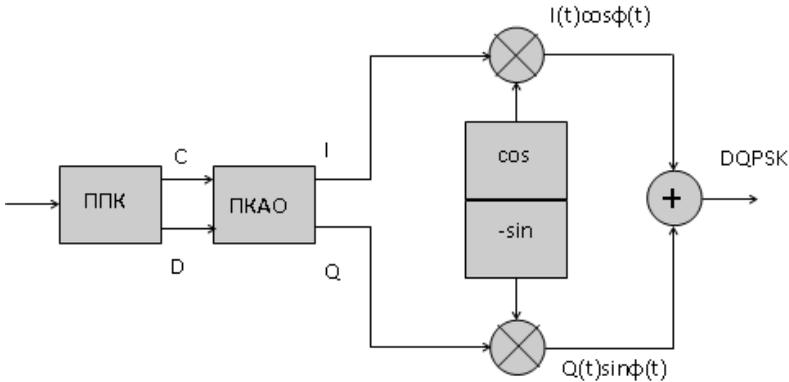


Рисунок 2.4 — Структурная схема модулятора DQPSK

На рисунке 2.4 ПКАО – преобразователь кода абсолютный-относительный. Данный блок преобразует коэффициенты C и D в коэффициенты I и Q в двоичном представлении, а затем преобразует уровни сигналов.

Преобразование коэффициентов C и D в коэффициенты I и Q происходит согласно следующим выражениям:

$$I_k = (C_k \text{ xor } D_k) \cdot (C_k \text{ xor } I_{k-1}) + (C_k \text{ xor } D_k) \cdot (D_k \text{ xor } Q_{k-1})$$

$$Q_k = (C_k \text{ xor } D_k) \cdot (D_k \text{ xor } Q_{k-1}) + (C_k \text{ xor } D_k) \cdot (C_k \text{ xor } I_{k-1})$$

Вышеприведенное выражение записано для двоичной арифметики.

На рисунке 2.5. приведена структурная схема преобразователя абсолютный – относительный.

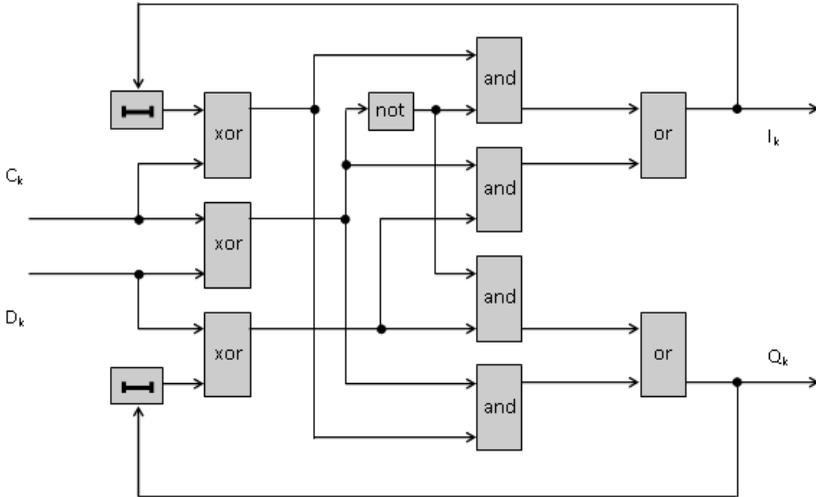


Рисунок 2.5 - Схема преобразователя кода «абсолютный-относительный» (ПКАО).

На приемной стороне демодулятор должен ориентироваться на разность фаз текущей и предыдущей точек. Таким образом в схему изображенную на рисунке 5.3 необходимо добавить преобразователь кода относительный-абсолютный (Рисунок 5.6)

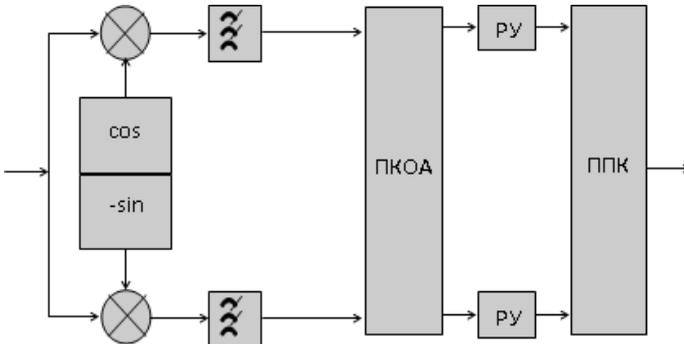


Рисунок 2.6 — Структурная схема демодулятора DQPSK

Поскольку на стороне демодулятора сигнал приходит искаженный, то пользоваться двоичной арифметикой в преобразователе кода относительный-абсолютный не представляется возможным.

Поэтому приходится использовать следующие выражения для определения метрик на решающие устройства.

$$\sin(\Delta\varphi_k) = \frac{I_k Q_{k-1} - I_{k-1} Q_k}{\sqrt{(I_k^2 + Q_k^2)(I_{k-1}^2 + Q_{k-1}^2)}}$$

$$\cos(\Delta\varphi_k) = \frac{Q_{k-1} Q_k + I_k I_{k-1}}{\sqrt{(I_k^2 + Q_k^2)(I_{k-1}^2 + Q_{k-1}^2)}}$$

Поскольку знаменатель обоих выражений одинаков, то зачастую его не учитывают при выдаче метрик на решающие устройства.

Задание

1. Рассчитать QPSK и DQPSK модулированный сигнал для псевдослучайной последовательности длиной 1024 элемента.
2. Демодулировать QPSK и DQPSK сигнал с шумом и без него. Принять, что несущая и тактовая частота восстановлены.
3. Построить графики BER(SNR) для QPSK и DQPSK сигнала.

Список минимально необходимых команд SciLAB

1. Rand – генерация случайных чисел.
2. Convolve – выполняет свертку последовательностей.
3. If then else – условный оператор.
4. For – оператор цикла.
5. Plot – оператор для построения графиков.
6. Log10 – логарифм по основанию 10.
7. Filter – выполняет цифровую фильтрацию.
8. Bitxor – операция исключающего или.

Контрольные вопросы

1. Какие преимущества имеет DQPSK модуляция по сравнению с QPSK модуляцией.
2. Какие недостатки имеет DQPSK модуляция по сравнению с QPSK модуляцией.
3. Какова спектральная эффективность QPSK сигнала.
4. Каков пик-фактор QPSK сигнала.

РАБОТА №3

ЗНАКОМСТВО СО СРЕДОЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ NS-2

Цель работы

На примере сценария с простой топологией сети изучить принципы работы со средой моделирования NS-2.

Теоретическая часть

В настоящее время наблюдается активное развитие как сетей связи, так и услуг, предоставляемых этими сетями. Этот процесс требует не только разработки нового технологического оборудования, программных продуктов и стандартов, но и подготовки квалифицированных специалистов. Компьютерное моделирование, как показала практика, играет существенную роль при решении как тех, так и других задач. В процессе разработки модель, аппроксимирующая свойства и поведение исследуемой сети, позволяет решать задачи по оптимизации и управлению. Апробация тех или иных решений на модели несравнимо дешевле, чем на реальной системе, и позволяет исключить возможные ошибки. В учебном процессе моделирование позволяет наглядно проиллюстрировать основные принципы и дать обучаемым навыки работы с такими системами, которые физически им недоступны.

Симулятор ns-2 осуществляет имитационное моделирование сетей на уровне пакетов, то есть, моделирует генерацию пакетов и прохождение их по сети. На прикладном уровне моделируется характер трафика, порождаемого различными приложениями: Web, FTP, Telnet, RealAudio; кроме того, имеются абстрактные модели трафика, например Constant Bitrate. Возможно моделирование работы протоколов транспортного уровня UDP и различных реализаций TCP, multicast-протоколов, различных протоколов маршрутизации в проводных и беспроводных сетях, очередей с дисциплинами обслуживания DropTail и RED. Кроме того, моделируются некоторые факторы, относящиеся к физическому уровню: задержка пакетов в каналах, возникновение ошибок, видимость/невидимость узлов в беспроводных сетях (как наземных, так и спутниковых), расход энергии батарей в устройствах с автономным питанием.

Результатом работы симулятора являются выходные текстовые файлы, в которых регистрируется ход моделирования (моменты генерации/получения пакетов, состояние очередей, отброс пакетов в очередях и т. д.). Кроме того, в модель могут быть включены инструкции, вычисляющие любые величины, измерение которых требуется в конкретной задаче (задержка пакетов, пропускная способность и т. п.). Значения этих величин в ходе моделирования также могут регистрироваться в выходных файлах.

Для визуализации результатов служат аниматор NAM (Network Animator) и построитель графиков Xgraph. Кроме того, система содержит генератор топологий, упрощающий описание топологии больших сетей.

Архитектура ns-2

Симулятор ns-2 состоит из двух частей. Одна из них написана на языке C++ и должна быть перекомпилирована в случае внесения изменений и дополнений; другая написана на интерпретируемом языке OTcl (объектно-ориентированное расширение языка сценариев Tcl) и, соответственно, не требует компиляции. При этом иерархии классов в обеих частях имеют совпадающие части и в терминологии ns-2 называются компилируемой и интерпретируемой иерархиями, соответственно. Взаимодействие между частями, написанными на таких принципиально разных языках программирования, осуществляется согласно спецификации, определяющей способ обращения из tcl-сценария (скрипта) к любому методу классов компилируемой иерархии и возвращение назад результатов, а также способ обращения из программы на C++ к любому методу, описанному в Tcl-сценарии. Во втором случае, фактически, интерпретатор языка Tcl вызывается

из C++ как функция. По замыслу создателей ns-2, все методы, имеющие дело с отдельными пакетами и потому требующие высокого быстродействия, относятся к компилируемой части. Интерпретируемая же часть отвечает за менее частые события, чем передача пакетов, обеспечивающие управление ходом моделирования, и манипуляцию объектами, описанными в компилируемой части. Также, Tcl-скриптом является собственно описание модели сети, подлежащей исследованию.

Такой подход позволяет быстро построить требуемую модель сети с помощью скриптового языка OTcl без необходимости вникать в структуру компилируемой части ns-2. В случае, если необходима модификация или дополнение компилируемой части, это может быть сделано путем добавления (или изменения) C++ кода и перекомпиляции системы. Единственный недостаток такого подхода – трудности при изучении системы и отладке программ (моделей), возникающие вследствие использования двух языков.

Задание

1. Загрузить файл сценария ns-simple.tcl. В данном сценарии реализована топология сети, представленная на рисунке 1.

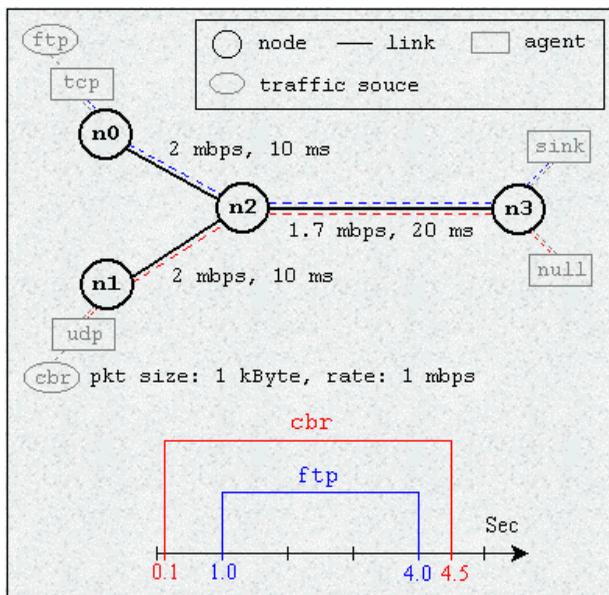


Рисунок 1 – Топология сети сценария ns-simple.tcl

2. Запустить моделирование. Проанализировать выходной файл.
3. Изменить топологию сети, создав узел n4, подключенный к узлу n3. Создать ftp подключение к узлу n0.
4. Запустить моделирование с новой топологией сети. Проанализировать выходной файл.

Контрольные вопросы

1. Опишите архитектуру ns2.
2. Какие протоколы TCP/IP стека использованы в лабораторной работе? Опишите назначение данных протоколов.
3. Какие команды используются в языке Tcl для создания узлов и для создания подключений между узлами?
4. Какие команды используются в языке Tcl для подключения протоколов транспортного и прикладного уровней.

РАБОТА № 4

Исследование множественного доступа в локальной сети

Цель работы

Исследование технологии множественного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий на примере технологии Ethernet

Теоретическая часть

CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection — множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий) — технология(802.3) множественного доступа к общей передающей среде в локальной компьютерной сети с контролем коллизий. CSMA/CD относится к децентрализованным случайным (точнее, квазислучайным) методам. Он используется как в обычных сетях типа Ethernet, так и в высокоскоростных сетях (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet).

Технология доступа.

Если во время передачи кадра рабочая станция обнаруживает другой сигнал, занимающий передающую среду, она останавливает передачу, посылает jam signal и ждёт в течение случайного промежутка времени (известного как «backoff delay» и находимого с помощью алгоритма truncated binary exponential backoff), перед тем как снова отправить кадр.

Обнаружение коллизий используется для улучшения производительности CSMA с помощью прерывания передачи сразу после обнаружения коллизии и снижения вероятности второй коллизии во время повторной передачи.

Обнаружение коллизий.

Методы обнаружения коллизий зависят от используемого оборудования, но на электрических шинах, таких как Ethernet, коллизии могут быть обнаружены сравнением передаваемой и получаемой информации. Если она различается, то другая передача накладывается на текущую (возникла коллизия) и передача прерывается немедленно. Посылается

jam signal, что вызывает задержку передачи всех передатчиков на произвольный интервал времени, снижая вероятность коллизии во время повторной попытки.

Ethernet является классическим примером протокола CSMA/CD.

Ethernet – пакетная технология передачи данных, преимущественно локальных компьютерных сетей.

Стандарты Ethernet определяют проводные соединения и электрические сигналы на физическом уровне, формат кадров и протоколы управления доступом к среде — на канальном уровне модели OSI. Ethernet в основном описывается стандартами IEEE группы 802.3. Ethernet стал самой распространённой технологией ЛВС в середине 1990-х годов, вытеснив такие устаревшие технологии, как Arcnet, FDDI и Token ring..

Стандарты Ethernet предполагает полудуплексный режим работы, то есть узел не может одновременно передавать и принимать информацию. Количество узлов в одном разделяемом сегменте сети ограничено предельным значением в 1024 рабочих станции (спецификации физического уровня могут устанавливать более жёсткие ограничения. Однако сеть, построенная на одном разделяемом сегменте, становится неэффективной задолго до достижения предельного значения количества узлов, в основном по причине полудуплексного режима работы и возникновения большого числа коллизий.

Задание

1. Построить локальную сеть из 50 узлов. В качестве канала передачи данных использовать Ethernet с пропускной способностью канала 1 Мбит/с.
2. На каждой паре узлов запустить обмен данными по протоколу ftp, так чтобы каждый узел принял по 10 Мб информации.
3. Запустить моделирование. По результатам моделирования построить графики иллюстрирующие эффективность локальной сети: нагрузку на сеть в зависимости от времени и время передачи информации до каждого узла сети.
4. Повторить действия 2-3 для локальной сети из 100, 500, 700 и 1000 узлов сети.

5. Объяснить полученные результаты.

Контрольные вопросы

5. Опишите принципы работы полудуплексного режима работы сетевых узлов. При каких условиях происходит коллизии и как они устраняются?
6. Как количество узлов влияет на эффективность передачи данных по локальной сети Ethernet?

Из каких условий выбирается оптимальное количество узлов в локальной сети? При каких условиях необходимо разделить сеть на несколько подсетей?

Литература

1. Белов В.И. Методические указания к лабораторным работам по системе SciLAB. По дисциплине «Введение в специальность» (1 семестр) специальности «Радиосвязь, радиовещание, телевидение», Томск 2012
2. Прокис Дж. Цифровая связь. –М. :Радио и связь, 2000 -797 с.
3. Волков Л.Н. и др. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учебное пособие. М.: Эко – Трендз, 2005.
4. <http://www.scilab.org/>
5. Кучерявый Е.А. NS-2 как универсальное средство имитационного моделирования сетей связи. URL: <http://wwwns2.chat.ru/ns2.pdf>