

Федеральное агентство связи

**Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования**

ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ

**ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА**

Самара

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

**ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

Кафедра МСИБ

Методические указания к лабораторной работе

**«Анализ пропускной способности и расчет задержек
мультисервисной сети»**

Составители:

к.т.н., доц. Поздняк И.С.

Редактор:

к.т.н., доц. Киреева Н.В.

Рецензент:

д.т.н., проф. Васин Н.Н.

Самара, 2012

Цель работы: изучить основные методы маршрутизации, рассчитать задержки в мультисервисной сети.

Маршрутизация. Виды и алгоритмы маршрутизации

Маршрутизация на сегодняшний день определяется не формальными правилами и описаниями, характерными для сетей предыдущих поколений, а требованиями клиента и экономическими соображениями оператора связи. Чтобы оптимизировать работу сетей, разрабатываются различные методы маршрутизации, обеспечивающие сбалансированную нагрузку всех сетевых ресурсов.

Чтобы успешно передать по сети потоки информации самого различного рода необходимо, чтобы алгоритм маршрутизации учитывал требования, предъявляемые данными потоками к уровню качества обслуживания (Quality of Service, QoS). Для этого весь трафик подразделяют на классы сервиса. И тогда маршрутизация по всей сети будет осуществляться в соответствии с классом сервиса каждого отдельного потока.

Маршрутизация – процесс нахождения искомого (оптимального) маршрута на основе применения некоторого математического алгоритма.

Задача маршрутизации заключается в определении эффективных путей прохождения потоков трафика через сеть передачи данных. Для этого чаще всего применяется декомпозиция на три уровня:

- Резервирование необходимой пропускной способности.
- Определение множества допустимых маршрутов.
- Размещение потоков по полученным допустимым маршрутам.

На первых этапах развития сетей маршрутизация применялась, во-первых, как метод минимизации ожидаемого времени задержки путем нахождения соответствующего пути и, во-вторых, для балансировки нагрузки в объединенной сети. Благодаря этому минимизировалось суммарное время задержки, а также снижалась вероятность перегрузки. Позднее маршрутизация стала применяться для удовлетворения запросов по качеству обслуживания.

При выборе маршрута определяется путь, по которому должно быть установлено новое соединение между заданным источником и адресатом. Набор путей, которые необходимо выбрать для данного соединения, зависит от множества факторов, таких как параметры трафика и требования к качеству обслуживания поступающего запроса, параметры состояния сети, стратегия управления сетью и т. д. Правильный выбор маршрута влияет на основные характеристики функционирования всей сети в целом.

Существуют такие способы передачи данных, при которых не требуется наличие таблиц маршрутизации в устройствах. К таким относят маршрутизация от источника. В этом случае, при передаче данных полный маршрут следования потока трафика по сети формируется в узле-источнике в виде последовательности адресов тех узлов, через которые должны пройти

пакеты, чтобы достигнуть узла-получателя, и целиком включается в состав этих пакетов. В этом случае промежуточные компоненты сети при определении дальнейшего направления движения трафика не принимают самостоятельно никаких решений, а следуют указаниям, содержащимся в пакетах. Маршрутизация от источника легко реализуется на промежуточных узлах в сети, которые должны обладать высокой производительностью, чтобы хранить все таблицы маршрутизации. Это особенно касается сетей с большим количеством компонентов.

При одношаговой маршрутизации все компоненты сети, принимающие участие в передаче потоков, самостоятельно определяют, какому следующему узлу их необходимо отправить. Решение принимается на основании анализа содержащегося в пакете адреса получателя. При этом полный маршрут для передачи трафика складывается из одношаговых решений, принятых компонентами сети.

В зависимости от способа формирования таблиц маршрутизации, одношаговую маршрутизацию можно разделить на три класса:

- простая (по умолчанию);
- фиксированная (статическая);
- адаптивная (динамическая).

Простая (по умолчанию) маршрутизация осуществляется по принципу устройств канального уровня (повторители, коммутаторы). В общем случае для простой маршрутизации на выбор дальнейшего пути пакета влияет лишь статическое априорное состояние сети. Ее текущее состояние: загрузка и изменение топологии из-за отказов – не учитывается. В алгоритмах простой маршрутизации таблица маршрутизации либо вовсе не используется, либо строится без участия протоколов маршрутизации. Имеется три вида такого способа маршрутизации: случайная маршрутизация, лавинная маршрутизация и маршрутизация по опыту.

При случайной маршрутизации каждый маршрутизатор (роутер), получив пакет, отправляет его на случайный интерфейс. Такой подход не гарантирует быстрой и качественной доставки пакета адресату. А в ряде случаев пакет вообще уничтожается при превышении TTL (Time To Live) – времени жизни. При лавинной маршрутизации роутер шлет пакет по всем активным интерфейсам (портам, подключенным к маршрутизатору). Недостаток этого алгоритма – засорение сети избыточной служебной информацией. При случайной и лавинной маршрутизациях не используются таблицы маршрутизации, в которых отражена топология сети на данный момент времени. В самом общем случае таблица маршрутизации содержит адрес сети назначения, адрес следующего узла на пути к этой сети и метрику (стоимость) пути.

При маршрутизации по опыту шлюз накапливает информацию о маршрутах, пересылая данные лавинным образом. После составления некоторой таблицы, он учится направлять пакеты по нужному направлению.

Алгоритмы данного метода маршрутизации просты в реализации, но при этом не гарантируют доставку пакета по указанному адресу за приемлемое

время и по рациональному маршруту без перегрузки сети. Поэтому простая маршрутизация не нашла применения в больших сетях.

При реализации фиксированной (статической) маршрутизации используется информация о топологии сети. При этом методе осуществляется такой выбор маршрутов, при котором для передачи данных от источника до адресата используется единственный маршрут, описанный в таблице маршрутизации. Вся работа по прописыванию путей в таблице возлагается на администратора сети.

Подобная таблица маршрутизации необходима каждому маршрутизатору. Кроме того, может потребоваться настроить таблицы маршрутизации на хостах.

Для слабо загруженных сетей фиксированная маршрутизация дает хорошие результаты: задержки в сети оказываются минимальны. Однако при этом, если в сети имеются резервные линии, то весьма сложно переключиться на них в случае аварии на основном канале. Кроме того, по мере роста нагрузки на сеть эффективность ее работы быстро падает.

Наибольшее распространение получила адаптивная (динамическая) маршрутизация, которая применяется в больших сетях с разными по характеристикам каналами и избыточными линиями. При такой маршрутизации учитывается и изменение загрузки, и изменение топологии, кроме того, в процедуре выбора маршрута разрешается использовать более одного пути. Динамическая маршрутизация предполагает, что маршрутизатор может сам определять новые пути, либо модифицировать информацию о старых.

Адаптивная маршрутизация выполняет две важные функции:

1. Динамическое обнаружение маршрутов, так что не требуется предварительная настройка конечных систем и маршрутизаторов между ними при каждом изменении топологии.

2. Допустимо изменение маршрутов при возникновении перегрузок или неисправностей на линии, в результате чего может быть достигнута эффективная балансировка нагрузки.

Динамическая маршрутизация позволяет создавать большие развивающиеся объединенные сети, а также предоставляет пользователям высокую степень гибкости.

В зависимости от текущего состояния сети происходит динамическое изменение таблиц маршрутизации. В них обычно заносится информация об интервале времени, в течение которого данный маршрут будет оставаться действительным. Это время называют временем жизни маршрута (Time To Live, TTL). Очевидно, что в общем случае адаптивная маршрутизация является предпочтительной, чем фиксированная, так как она более полно использует ресурсы сети передачи данных. Но, тем не менее, динамическая маршрутизация имеет определенные недостатки:

- усложняется выбор маршрутов, поэтому маршрутизаторам приходится больше времени тратить на обработку информации;

- в большинстве случаев алгоритмы адаптивной маршрутизации зависят от информации о состоянии сети, собранной в одном месте, но используемой в

другом. Возникает проблема выбора между качеством этой информации и количеством затраченных ресурсов для ее обслуживания;

- реакция на изменения, возникающие при адаптивной маршрутизации, может оказаться слишком быстрой, что может привести к большому объему служебной информации, вызывающим перегрузку, или слишком медленной, то есть не успевающей за изменениями.

- применение адаптивной стратегии может привести к нежелательным эффектам, таким как, например, заикливание.

Кроме этого, можно выделить четыре вида адаптивной маршрутизации: локальная, распределенная, централизованная, смешанная.

С точки зрения разработки и реализации, наиболее простыми являются такие методы адаптивной маршрутизации, которые строят свои решения только на основании локально доступной в каждом узле информации. Эти методы относятся к локальной адаптивной маршрутизации. Информация, необходимая для принятия решения, представляет собой заранее загруженные в узлы таблицы маршрутизации, сведения о текущем состоянии выходных трактов узла (открыты или закрыты) и длинах очередей пакетов, ожидающих передачи по каждому из каналов. Информация о состоянии других компонентов сети узлом не используется. Алгоритм маршрутизации выбирает наилучший маршрут из множества возможных, заданных таблицами маршрутизации. Недостатком такого метода является ограниченная адаптация к изменениям разного рода в сети, а также отсутствие обмена данными о маршрутизации между узлами.

Распределенная адаптивная маршрутизация характеризуется тем, что узлы между собой обмениваются информацией, касающейся дальнейшего распределения данных. В результате, после получения информации, каждый узел заново подсчитывает таблицу маршрутизации. Решение о выборе того или иного маршрута для передачи трафика внутри подсети принимают внутренние (локальные) маршрутизаторы этой подсети, а вне подсети – внешние (магистральные) маршрутизаторы.

Из-за постоянного обмена информацией между узлами в сети могут возникать перегрузки. Помимо этого, при использовании распределенной адаптивной маршрутизации появляются проблемы, возникающие при отключении одного из узлов от сети, - Count to Infinity (счет до бесконечности). Такое происходит после отключения одной из сетей, когда сторонний роутер оповещает соседа, что отключенная сеть доступна через него (в случае, если сосед не успеет оповестить маршрутизатор о недоступности сети).

Данный метод маршрутизации используется в протоколе маршрутизации RIP, который называется также методом рельефов. Он основан на алгоритме Беллмана-Форда и используется преимущественно на нижних уровнях иерархии сети.

В распределенной маршрутизации можно выделить два алгоритма. Алгоритмы состояния канала (Link State Algorithm, LSA) направляют потоки маршрутной информации во все узлы объединенной сети. Однако каждый роутер посылает только ту часть маршрутной таблицы, в которой содержится

информация о ближайших соседях и сетях, а также сведения о метрике для каждого своего соединения. Затем, применяя алгоритм кратчайшего пути (shortest path first — SPF), который более известен как алгоритм Дijkstra, маршрутизаторы вычисляют дерево кратчайших маршрутов к каждому удаленному узлу, помещая себя в корень этого дерева.

Алгоритмы вектора расстояния или дистанционно-векторные (Distance Vector Algorithm, DVA) требуют от каждого маршрутизатора отправки всей или части своей маршрутной таблицы, но только своим соседям. Узел оценивает дистанцию до каждого соседа и рассылает ее своим соседям, которые в свою очередь выполняют то же самое. Под дистанцией или расстоянием обычно понимается количество переходов, пересылок между компонентами сети (хопы), которые необходимо преодолеть, чтобы достичь получателя, хотя возможно наличие и других метрик, включающих скорость и/или стоимость передачи пакета по линии связи. При формировании таблицы маршрутизации в нее вносятся изменения, так чтобы в ней содержались только маршруты с кратчайшими расстояниями. Основное преимущество алгоритма вектора расстояний - его простота. Действительно, в процессе работы маршрутизатор общается только с соседями, периодически обмениваясь с ними копиями своих таблиц маршрутизации. Слабая сторона алгоритма вектора расстояний - медленная конвергенция, что может стать причиной образования петель и "черных дыр" при изменении топологии сети.

Дистанционно-векторные алгоритмы хорошо работают только в небольших сетях. В крупных же они загружают линии связи интенсивным широкополосным трафиком.

Алгоритмы состояния каналов несколько меньше склонны к образованию петель маршрутизации, чем алгоритмы вектора расстояния. С другой стороны, алгоритмы состояния канала характеризуются более сложными расчетами в сравнении с алгоритмами вектора расстояний. Протоколы, в основе которых лежат алгоритмы состояния канала, дают возможность каждому узлу самостоятельно обмениваться информацией со всеми маршрутизаторами и получать представление о топологии сети. Именно поэтому данному алгоритму не свойственны проблемы возрастания до бесконечности, а жесткие ограничения на диаметр сети отсутствуют. Узким местом такого подхода является необходимость обязательной синхронизации баз данных всех маршрутизаторов в пределах автономной системы. Преимуществом алгоритмов анализа состояния канала является улучшенная иерархическая структура (допускается разбиения домена на уровни или области), что позволяет лучше выявлять нестабильные участки.

Помимо вышеперечисленных алгоритмов адаптивной распределенной маршрутизации к отдельному типу стоит отнести муравьиные алгоритмы или Ant Colony Optimization (ACO), базирующиеся на агентах. AntNet (муравьиные алгоритмы маршрутизации данных) получили свое распространение в последние два десятилетия. В основе таких алгоритмов лежит поведение социальных насекомых в природе, в котором различают два вида взаимодействия между особями:

- прямое взаимодействие (обмен пищей, визуальный контакт, химический контакт и др.);

- косвенное взаимодействие или стигмержи (stigmergy) - две особи взаимодействуют косвенно, когда одна из особей модифицирует окружающую среду, а другая, со временем, реагирует на это изменение.

Процедура поиска кратчайших путей с помощью алгоритма маршрутизации данных AntNet состоит в следующем. Представим компьютерную сеть как окрестность, в которой взаимодействуют муравьи, при этом узлы этой сети будут являться источниками пищи для муравьев. Узлы соединены линиями связи, на которых муравьи могут оставлять след феромона. Каждый узел в сети характеризуется двумя структурами данных: локальной моделью трафика и вероятностной таблицей маршрутизации. Муравьев в такой сети будем называть мобильными агентами. Каждый мобильный агент движется от одного узла сети к другому (от муравейника к источнику пищи), при этом собирая информацию о линиях связи, соединяющих эти узлы. Чтобы распространить собранную информацию по сети, агент должен вернуться в узел, отправивший его. Для этого у каждого агента существует память, организованная в виде стека, в которую записан весь маршрут движения агента от узла-источника в узел-приемник. При выборе пути движения от узла-источника в узел-приемник через промежуточные узлы агенты используют вероятностное правило выбора пути. Вероятность выбора пути прямо пропорциональна количеству феромонов на этом пути. То есть, линии связи, содержащие большее количество феромонов, являются наиболее удобными маршрутами для пересылки пакетов в сети. В результате своего движения агенты должны собрать информацию о состоянии трафика и обновить главные структуры данных узла.

Описанные выше адаптивные алгоритмы маршрутизации используют для своей работы либо локальную информацию, либо информацию, полученную в процессе обмена с соседними узлами. Алгоритмы такого типа очень медленно адаптируются к удаленным событиям в сети. Одним из способов формирования представления о состоянии всей сети является организация в сети центра маршрутизации. И тогда сеть будет функционировать по принципу централизованной адаптивной маршрутизации.

При такой маршрутизации каждый узел сети подготавливает сообщение о своем состоянии, в котором содержится информация о текущих длинах очередей, работоспособности трактов и т. д.; эти сообщения передаются центру маршрутизации сети. Из совокупности таких сообщений центральный узел составляет глобальную картину состояния сети, пользуясь которой он может определить наилучшие маршруты для трафика в сети. Эти маршруты оформляются в виде таблиц маршрутизации, которые рассылаются всем узлам сети, находящимся на определенном маршруте.

В зависимости от способа сбора информации о состоянии сети и рассылки управляющих директив режим централизованной маршрутизации в сети может быть синхронным и асинхронным. Если все узлы посылают свои сообщения и получают указания центрального узла через регулярные интервалы времени, то такой способ управления трафиком называется синхронным; если такие

действия предпринимаются лишь при существенных изменениях в сети, этот способ управления называется асинхронным.

Как и все остальные методы, централизованная адаптивная маршрутизация не лишена своих недостатков, к которым можно отнести концентрацию служебного трафика возле центра маршрутизации; низкую надежность сети при отказе центрального узла или при изоляции от него участка сети; получение узлами таблиц маршрутизации в разное время с разной задержкой.

Смешанная адаптивная маршрутизация характеризуется тем, что решение о выборе маршрута принимается в узлах коммутации с учетом рекомендаций центра управления.

Некоторые алгоритмы маршрутизации оперируют в плоском пространстве, в то время как другие используют иерархии маршрутизации. В одноуровневой маршрутизации все роутеры равны по отношению друг к другу. В иерархической маршрутизации некоторые маршрутизаторы формируют то, что составляет основу (backbone – базу) маршрутизации.

Маршрутизация в мультисервисных сетях

Сегодня происходит серьезное изменение структуры и характера информации, передаваемой в телекоммуникационных сетях как корпоративного уровня, так и уровня операторов связи. Главным поставщиком данных становится Интернет, сервисы которого пользуются все возрастающим спросом. Меняются подходы к построению сетей, и на первый план выходят сети нового поколения, так называемые мультисервисные сети. Главными характеристиками таких сетей являются возможность с одинаковым качеством передавать любые виды трафика, широкая полоса пропускания и управляемость.

Основная задача мультисервисных сетей заключается в обеспечении работы разнородных информационных и телекоммуникационных систем и приложений в единой транспортной среде, когда для передачи основного трафика (данных) и трафика реального времени (голос, видео) используется единая инфраструктура.

Многопротокольная коммутация информационных потоков по меткам (Multiprotocol Label Switching, MPLS) – технология быстрой коммутации пакетов в многопротокольных сетях, основанная на использовании меток. MPLS рассматривается как перспективная, хотя и не единственная основа для конвергенции услуг и построения мультисервисных сетей следующего поколения (NGN), в которых станет возможна передача разнородного трафика через интегрированную телекоммуникационную инфраструктуру вместо нескольких различных сетей. Коммутация по меткам позволяет создавать сервисы, которые трудно или невозможно реализовать на базе IP, и в общем случае она имеет более низкую стоимость на единицу объема трафика по сравнению с ATM.

Протоколы маршрутизации мультисервисных сетей

Для выполнения своих функций маршрутизатор должен обладать представлением о топологии объединенной сети и способностью выбирать оптимальные маршруты. Назначение протокола маршрутизации заключается в предоставлении необходимой информации.

Для этой цели в мультисервисных сетях могут применяться протоколы BGP4, IS-IS и OSPF. Наиболее часто используется последний, который относится к протоколам маршрутизации по состоянию каналов.

Протокол OSPF относится к протоколам внутреннего шлюза IGP (Interior Gateway Protocol). К этой категории относятся протоколы маршрутизации, обеспечивающие обмен информацией в пределах автономной системы AS (Autonomous System). Под AS понимается совокупность маршрутизаторов, управляемых единой административной системой, то есть маршрутизаторы одного административного домена. Наиболее популярными из них являются протоколы IGRP, RIP, OSPF и IS-IS. Вторая категория протоколов EGP (Exterior Gateway Protocol) существенно отличается от этих протоколов, дополняя функции маршрутизации в сети. Протоколы этой группы служат для маршрутизации между автономными системами.

Большинство протоколов маршрутизации, используемых сегодня, основано на одном из двух алгоритмов распределенной маршрутизации: состояния канала и дистанционно-векторный.

Протокол OSPF

В OSPF используется принцип контроля состояния канала (link-state protocol). А метрика представляет собой оценку эффективности связи в этом канале: чем меньше метрика, тем эффективнее организация связи. В простейшем случае метрика маршрута может равняться его длине в пересылках (хопы). Но в общем случае значения метрики могут определяться в гораздо более широком диапазоне. С помощью протокола OSPF маршрутизатор отображает видимый ему граф домена сети, где для каждой пары смежных вершин графа (маршрутизаторов) указано ребро (канал), их соединяющее, и метрика этого ребра.

Для каждой из метрик протокол OSPF строит отдельную таблицу маршрутизации. Чаще всего OSPF выбирает маршрут на основании полосы пропускания канала. Еще одна возможная метрика – задержка – определяет время в микросекундах, которое требуется маршрутизатору для обработки, установки в очередь и передачи пакетов.

В случае, когда имеется несколько маршрутов с одинаковыми значениями метрик, маршрутизаторы могут использовать для передачи пакетов все эти пути, обеспечивая тем самым сбалансированную нагрузку ресурсов сети.

Маршрутизатор, работающий по протоколу OSPF, выполняет последовательно три операции: определяет отношения соседства и смежности с другими маршрутизаторами, обменивается с ними OSPF-пакетами извещений

LSA, формируя, таким образом, полную топологическую карту сети, а затем вычисляет дерево маршрутов, используя алгоритм «первый выбирается кратчайший путь» SPF (Shortest Path First).

Протокол IS-IS

В протоколе обмена данными между промежуточными системами IS-IS (Integrated Intermediate System-to-Intermediate System) используется тот же принцип маршрутизации по состоянию каналов, что и в протоколе OSPF. Оба эти протокола относятся к классу протоколов IGP (Interior Gateway Protocol) и их главная отличительная особенность – постоянно проводящийся поиск кратчайшего пути. Это основное свойство является одновременно как преимуществом, так и недостатком. Для передачи данных между двумя конечными пунктами используется кратчайший на данный момент маршрут. Но при этом, для обмена между маршрутизаторами служебной информацией, приходится прибегать к лавинной рассылке пакетов (flooding). Такой процесс необходим для того, чтобы каждый маршрутизатор, являющийся соседним к данному, приняв очередное извещение об изменении состояния каналов и обновив свои таблицы маршрутизации, переслал его дальше.

Для предотвращения возможных перегрузок при лавинной рассылке пакетов состояния каналов LSP (Link State Packet) протокол IS-IS оснащен рядом механизмов контроля. Одним из таких механизмов является расщепление горизонта (Split Horizon). Его принцип заключается в том, что маршрутизатор никогда не передаст LSP-пакет тому узлу, от которого был принят.

Протокол BGP

Роль протокола BGP (Border Gateway Protocol) гораздо шире, чем протоколов OSPF и IS-IS. Его основное назначение состоит в том, чтобы передавать от одного BGP-маршрутизатора другим информацию о наличии других автономных сетей и об их структуре, формируя тем самым иерархическую систему маршрутизации, связывающую разные узлы и автономные сети в единую сеть и позволяющую свободно устанавливать связь между собой системам, неизвестным друг другу.

Четвертая версия протокола BGP фактически включает в себя два отдельных протокола: протокол EBGP (External Border Gateway Protocol) – используемый для маршрутизации между автономными системами и IBGP (Internal Border Gateway Protocol) – используемый для маршрутизации внутри автономной системы.

Отличительная черта протокола BGP от OSPF и IS-IS заключается в том, что он относится не к категории протоколов маршрутизации по состоянию каналов, а к категории дистанционно-векторных. Кроме обычных параметров дистанционно-векторных протоколов в BGP используется дополнительный механизм, именуемый маршрутно-векторной маршрутизацией (path-vector routing).

Для того чтобы маршрутизатор BGP какой-либо автономной системы AS мог обмениваться с другой системой информацией, ему необходимо знать ее адрес и местоположение. Для этого спикеры BGP объявляют об известных им маршрутах к другим автономным системам, то есть о маршрутах, не входящих в их собственные автономные системы. Маршруты указывают сетевой IP-адрес и адрес маршрутизатора, который будет использован для следующей пересылки. Когда спикер имеет информацию о маршруте, то извещает о нем другие маршрутизаторы (внутренние или внешние). С помощью таких извещений о маршруте спикеры предоставляют друг другу информацию о маршруте или о его корректировке.

Обмен маршрутной информацией между BGP-маршрутизаторами, находящимися в одной автономной системе, производится по протоколу IBGP. Для того, чтобы не возникло заикливания при использовании этого протокола, маршрутизатор не должен сообщать в этом случае о маршруте, сведения о котором получены также по протоколу IBGP.

Сервер маршрутной информации (аналог назначенного маршрутизатора в OSPF) обслуживает группу BGP-маршрутизаторов. В итоге получается разновидность централизованной маршрутизации. Сервер принимает информацию о маршруте от одного члена группы и рассылает ее всем остальным. Маршрутизаторы устанавливают BGP-соединения уже не друг с другом, а напрямую с сервером.

Необходимо помнить, что абсолютно надежных протоколов маршрутизации не существует. При чрезмерной нагрузке работа любого протокола, учитывающего даже самые мелкие нюансы, может быть нарушена.

Качество обслуживания (QoS)

Одной из задач, возникающей в ходе развития и становления мультисервисных сетей, является обеспечение гарантированного качества обслуживания и связанная с ней задача оптимального использования сетевых ресурсов.

Для большинства случаев качество связи определяется четырьмя параметрами:

Полоса пропускания (Bandwidth), описывает номинальную пропускную способность среды передачи информации, определяет ширину канала. Измеряется в bit/s (bps), kbit/s (kbps), Mbit/s (Mbps).

Задержка при передаче пакета (Delay), измеряется в миллисекундах.

Колебания (дрожание) задержки при передаче пакетов — джиттер (Jitter).

Потеря пакетов (Packet loss). Определяет количество пакетов, потерянных в сети во время передачи.

Краткое описание программы

С помощью основного окна программы пользователь создает граф сети, информация, о конфигурации которой, используется в расчете. Здесь располагаются панели инструментов, панель для ввода/вывода данных и рабочее поле, на котором создается граф сети.

Панели инструментов содержат кнопки стандартных операций, кнопки с разными формами используемых объектов и основных действий с объектами, а также кнопки операций форматирования.

Панель для ввода/вывода данных содержит четыре раздела: «Расчет», «Ср. длина сообщения (бит/пакет)», «Ср. интенсивность трафика (пакет/с)», «Распределение трафика».

Технология работы на рабочем поле заключается в следующем:

1. Для создания узлов необходимо выбрать одну из предложенных форм объекта «узел», щелкнув мышкой на панели инструментов. Следующим щелчком мыши узел помещается на рабочее поле, при этом допускается изменение размера выбранной формы.

2. Для соединения узлов необходимо выбрать объект Link/Line, щелкнув мышкой на панели инструментов. Далее необходимо произвести щелчок мыши по одному из соединяемых узлов и, не отпуская кнопку мыши, довести линию до второго узла. Таким образом соединить все необходимые узлы .

3. Есть возможность позиционирования узла в другом месте путем его «перетаскивания». При этом его связи с остальными узлами не нарушаются, если они были правильно соединены.

4. После создания графа сети необходимо задать пару узлов источник - получатель σ_{ij} нажатием правой кнопки мыши на соответствующих узлах, выбрав необходимую строку из контекстного меню. При этом пара узлов окрасится в красный цвет.

5. Задание пропускных способностей всех линий осуществляется с помощью пункта контекстного меню «Свойства» на вкладке «Параметры линии».

На следующем шаге необходимо ввести данные на панели слева от рабочего поля в разделах «Ср. длина сообщения (бит/пакет)» и «Ср. интенсивность трафика (пакет/с)» по тем видам трафика, которые необходимо распределить между двумя заданными точками. Размерность вводимых величин указана в скобках. Дальнейший переход между шагами осуществляется в разделе «Расчет».

Следующим шагом, после того, как заданы и введены все исходные данные (построен граф, заданы пропускные способности линий, введены данные по всем необходимым видам трафика), является процесс ранжирования и нумерации вершин. Для того чтобы к нему перейти, следует нажать на стрелку вправо в разделе «Расчет» на панели для ввода/вывода данных. Будет произведен расчет рангов и расставлена нумерация вершин. При этом в разделе «Расчет» появится соответствующее название шага. Каждый ранг выделяется

одним определенным цветом, а внутри каждого узла проставляется его номер и ранг. Над линиями показываются значения пропускных способностей, выставленные на предыдущем этапе.

На следующем шаге расставляются направления: удаляются линии, направленные к узлам с меньше нумерацией, а также одноранговые линии. При этом те объекты, которые были удалены, показаны пунктиром. В разделе «Расчет» появится соответствующее название шага. При необходимости допускается возвращение на один шаг назад на любом из этапов.

Следующим этапом расчета минимального направленного графа является «Устранение тупиковых маршрутов». Удаляются все возникающие тупиковые узлы.

Проверка связности построенного минимального направленного графа осуществляется на следующем шаге. Рассматриваются пролеты, которые являются единственными исходящими для узлов. Для них находят резервные линии.

Следующим шагом расчета является вывод набора допустимых маршрутов. Полное количество маршрутов выводится в нижней части окна в таблице. При нажатии в ней на любую строку на рабочем поле красным цветом подсвечивается маршрут с соответствующим номером. Таким образом, возможно просмотреть все допустимые маршруты между заданной парой узлов источник – получатель.


На последнем заключительном этапе «Расчет задержек в линиях» выводятся данные, полученные расчетным путем.

В таблице в нижней части окна под рабочим полем показаны значения задержек для тех видов трафика, исходные параметры которых были заданы. Значения приводятся в миллисекундах. На основе этих рассчитанных значений происходит распределение потоков. То есть выбирается маршрут следования того или иного вида трафика. Эта информация отражается в разделе «Распределение трафика» на панели ввода/вывода информации слева от рабочего поля. В каждой строке приведено значение задержки для данного вида трафика, а также номер маршрута, по которому следует направить поток.

Помимо этого, над каждой линией, которая входит в состав маршрута, кроме исходного значения указывается также значение остаточной пропускной способности

При выборе из контекстного меню объекта «линия» пункта «Свойства» на открывшейся вкладке «Параметры линии» отображаются данные по коэффициенту загрузки выбранной линии для каждого вида трафика в отдельности, суммарному коэффициенту загрузки, а также задержке в линии. Эти данные приводятся в двух разделах. В разделе «Данные до распределения потока» содержатся значения коэффициентов загрузки и задержек в линиях по заданным видам трафика, которые были получены в результате предварительных расчетов, то есть до распределения всех потоков. В разделе «Данные после распределения потока» приведены значения тех же параметров, но с учетом того условия, прошел ли трафик по маршруту, в который входит данная линия, или нет. Кроме того, в этом разделе показаны значения

суммарного коэффициента загрузки и суммарной задержки на данной линии для всех переданных видов трафика.

На панели ввода/вывода данных также находится кнопка «Обновить» , нажатие на которую приводит к обновлению графа, то есть возвращает пользователя на первый шаг «Исходный граф». Все данные по пропускным способностям, а также «Ср. длина сообщения (бит/пакет)», «Ср. интенсивность трафика (пакет/с)», вводимые пользователем на начальном этапе, сохраняются.

Контрольные вопросы:

1. Маршрутизация, задачи маршрутизации.
2. Классификация видов (классов) маршрутизации.
3. Основные алгоритмы маршрутизации.
4. Задачи маршрутизации в мультисервисных сетях.
5. Протоколы маршрутизации.
6. Протокол OSPF.
7. Протокол IS-IS.
8. Протокол BGP.
9. Обеспечение качества обслуживания.

Список рекомендуемой литературы:

1. Таненбаум Э. «Компьютерные сети», 4-издание – Спб.: Питер, 2006. – 992 с
2. В. Столингс. «Современные компьютерные сети», 2-издание – Спб.: Питер, 2003. – 783 с.
3. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. 3-е изд. – Спб.: Питер, 2006 – 958 с

Лабораторная работа №1

Анализ пропускной способности мультисервисной сети

Задание на выполнение работы:

1. Построить сеть согласно варианту.
 - 1.1. Для работы выбрать вкладку «Алгоритм». Используя панель инструментов, построить сеть.
2. Задать исходные параметры (таблица 1):
 - пропускная способность линии (k,l) сети - $c_{kl} \left[\frac{\text{бит}}{\text{с}} \right]$;
 - ср длина сообщения для 3 видов трафика - $1/\mu^s \left[\frac{\text{бит}}{\text{пакет}} \right]$;

- ср интенсивность трафика - $\lambda_{ij}^{s,r} \left[\frac{\text{пакет}}{c} \right]$.

2.1. Пропускная способность задается через пункт контекстного меню линии «Свойства» на вкладке «Параметры линии».

2.2. Средняя длина сообщения и средняя интенсивность трафика задаются слева на панели ввода информации в соответствующих разделах.

2.3. Во избежание потери введенных данных, следует сохранить схему.

3. Выбрать и обозначить узел-источник и узел-получатель.

3.1. Узел-источник или узел-получатель назначаются путем выбора необходимого пункта из контекстного меню узла.

4. Определить и записать маршруты прохождения 3х видов трафика путем последовательного прохождения этапов построения графа.

4.1. В разделе «Расчет» с помощью последовательного нажатия кнопки ►► происходит поэтапное построение графа и определение задержек на необходимых маршрутах. Расчет прекращается на этапе «Расчет задержек в линиях». При дальнейшем нажатии на кнопку ►► начинается новый расчет характеристик сети для заданных параметров.

4.2. На этапе «Расчет задержек в линиях» в разделе «Распределение трафика» указываются номера маршрутов для каждого вида трафика и значения задержек на них. Записать результаты в табл.2 (первые два столбца).

4.3. Для первых трех ветвей каждого маршрута, по которому прошел трафик, записать значения остаточных пропускных способностей. Результаты свести в табл. 2 (столбец 3).

4.4. Составить матрицу смежности для данной схемы сети (пример – табл.3).

5. Подобрать новые значения параметров п.2 таким образом, чтобы потоки трафиков прошли по разным маршрутам.

5.1. Необходимо подобрать и ввести новые значения средней длины сообщения для 3 видов трафика и средней интенсивности трафика. При этом маршруты прохождения каждого вида трафика должны отличаться друг от друга. Узел-источник и узел-получатель остаются прежними. Значения пропускной способности на всех линиях должны быть первоначальными.

6. Определить и записать маршруты прохождения 3х видов трафика и их остаточные пропускные способности для тех же узлов.

7. Посчитать значения остаточной пропускной способности для обоих случаев (по 3 ветви на каждом маршруте).

7.1. Используя формулы (1) и (2) определить значения $c_{kl_{rem}}$ для исходных данных п. 2 и п. 5. для трех ветвей каждого маршрута.

$$c_{kl_{rem}} = c_{kl} \cdot \left(1 - \sum_{g=1}^s \rho_{kl}^g \right) \quad (1)$$

$$\rho_{kl} = \frac{\lambda_{kl}}{c_{kl} \cdot \mu}, \quad (2)$$

где ρ_{kl}^s - коэффициент использования линии (k,l) трафиком класса сервиса s

8. Сравнить расчетные значения с экспериментальными данными.

Исходные данные

Пропускные способности линий задаются в пределах от 2 Мбит/с до 20 Мбит/с.

Таблица 1

Параметр		Вариант				
		1	2	3	4	5
Номер схемы		1	2	3	4	5
Ср. длина сообщения (бит/пакет)	Голос	100	250	310	410	450
	Мультимедиа	200	370	500	570	600
	Данные	300	420	630	700	770
Ср. интенсивность трафика (пакет/сек)	Голос	120	100	80	60	40
	Мультимедиа	170	155	140	125	105
	Данные	220	210	200	190	180

Схемы для построения

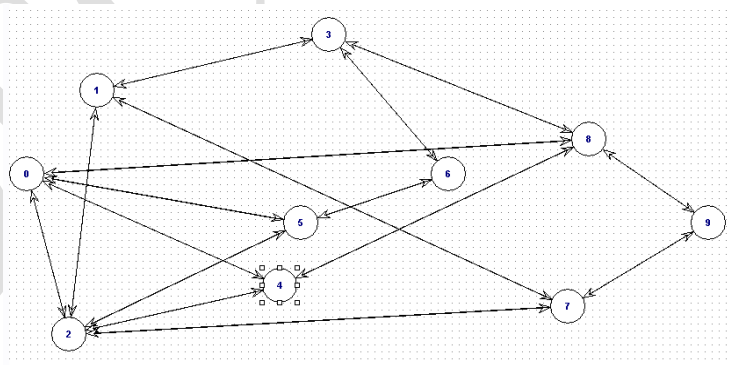


Схема 1

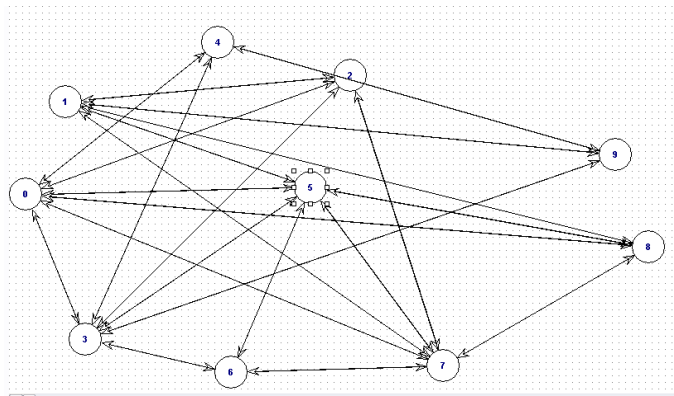


Схема 2

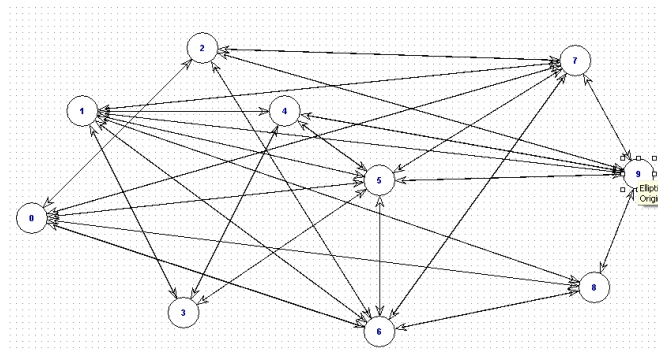


Схема 3

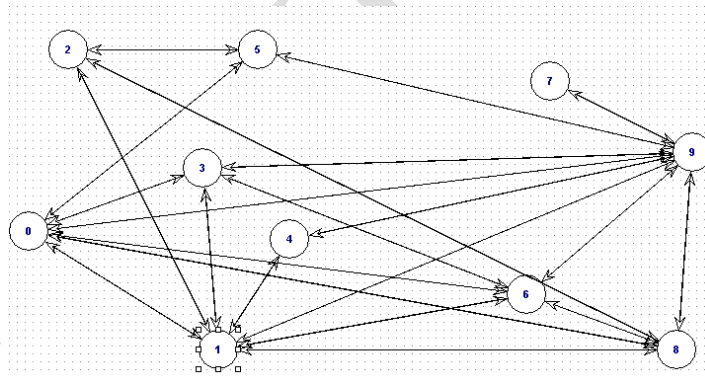


Схема 4

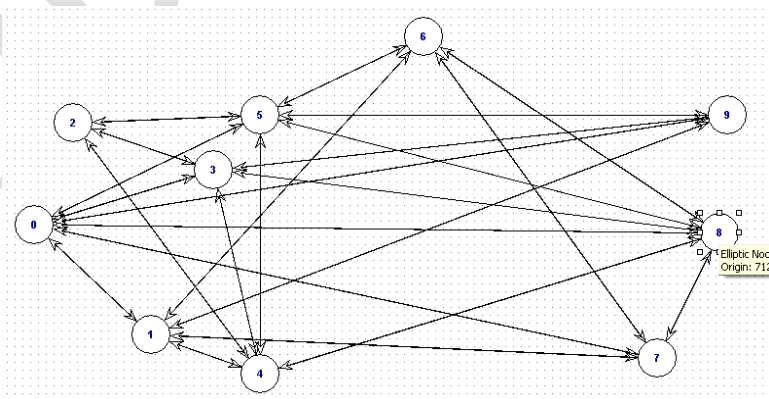


Схема 5

Пример заполнения таблицы

Таблица 2

№	Вид трафика	№ маршрута	Задержка	Остаточная пропускная способность		
1	Голос					
2	Мультимедиа					
3	Данные					

Пример построения матрицы смежности

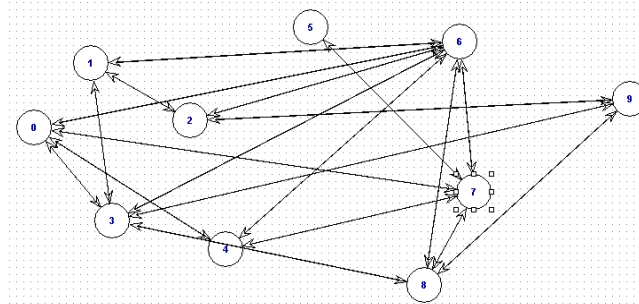


Таблица 3

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0				x	x		x	x		
1			x	x			x			
2		x					x			x
3	x	x					x		x	x
4	x						x	x		
5								x		
6	x	x	x	x	x			x	x	
7	x				x	x	x		x	
8				x			x	x		x
9			x	x					x	

Лабораторная работа №2

Расчет задержек мультисервисной сети

Задание на выполнение работы:

1. Построить сеть согласно варианту.
2. Задать исходные параметры (таблица 1).
3. Выбрать и обозначить узел-источник и узел-получатель.
4. Определить и записать маршруты прохождения 3х видов трафика путем последовательного прохождения этапов построения графа, их коэффициенты загрузки и задержки на маршрутах (таблица 4).
5. Подобрать новые значения параметров п.2 таким образом, чтобы потоки трафиков прошли по разным маршрутам.
6. Определить и записать маршруты прохождения 3х видов трафика, их коэффициенты загрузки и задержки на маршрутах для той же пары узлов источник-получатель.
7. Посчитать значение задержки для трафика на всем маршруте для обоих случаев (для одного и того же вида трафика).
- 7.1. Используя формулы (3) и (4) определить значения $t_{ij,kl}^r$ для исходных данных п. 2 и п. 5. для одного вида трафика на каждой линии (k,l) самого короткого маршрута:

$$t_{ij,kl}^r = \frac{1}{\mu \cdot c_{kl}} + \frac{\lambda_{kl} \cdot \mu \cdot c_{kl}^{-2}}{1 - \rho_{kl}} \quad (3)$$

$$\rho_{kl} = \frac{\lambda_{kl}}{c_{kl} \cdot \mu}, \quad (4)$$

где ρ_{kl}^s - коэффициент использования линии (k,l) трафиком класса сервиса s

7.2. По формуле (5) найти величину задержки t_{ij}^r на всем маршруте:

$$t_{ij}^r = \sum_{(k,l)} t_{ij,kl}^r \quad (5)$$

8. Сравнить расчетные значения с экспериментальными данными.

Таблица 4

№	Вид трафика	№ маршрута	Задержка	коэф. загрузки		
1	Голос					
2	Мультимедиа					
3	Данные					