

ПОДХОД К ИМИТАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ МНОГОПОРТОВОГО УСТРОЙСТВА СОПРЯЖЕНИЯ МАТРИЧНОГО ТИПА

Т. М. Татарникова, О. И. Кутузов (Санкт-Петербург)

Один из путей решения проблемы увеличения пропускной способности и производительности локальных вычислительных сетей (ЛВС) связан, в частности, с созданием виртуальных ЛВС (VLAN) на основе логической сегментации сети и объединении их через коммутаторы [1, 2]. Однако коммутаторы эффективно работают только при хорошо сбалансированном трафике, когда вероятности передачи пакетов от одного порта к другим примерно равны. При “перекосах” трафика, когда несколько портов посылают свой трафик преимущественно одному порту, коммутатор может не справиться с поставленной задачей. Поэтому хорошо иметь средство, позволяющее выявить случаи, когда применение конкретной модели коммутатора для конкретной сети заведомо неприемлемо. Таким средством может стать имитационная модель коммутатора.

Постановка задачи

В настоящее время коммутаторы используют в качестве базовой одну из трех схем взаимодействия своих блоков или модулей:

- коммутационную матрицу;
- общую шину;
- разделяемую многоходовую память.

Основными характеристиками коммутатора, измеряющими его производительность, являются: скорость фильтрации; скорость маршрутизации (продвижения); пропускная способность; задержка передачи кадра.

Скорость фильтрации определяет скорость выполнения следующих этапов обработки кадров: прием кадра в буфер; просмотр адресной таблицы с целью нахождения порта для адреса назначения кадра; уничтожение кадра при совпадении порта назначения с портом–источником.

Скорость продвижения определяет скорость выполнения следующих этапов обработки кадров: прием кадра в буфер; просмотр адресной таблицы с целью нахождения порта для адреса назначения кадра; передача кадра в сеть через найденный по адресной таблице порт назначения.

Названные скорости измеряются в кадрах в секунду.

Пропускная способность коммутатора измеряется количеством пользовательских данных, переданных в единицу времени через его порты. При тестировании коммутатора режим передачи кадров минимальной длины используется как наиболее сложный тест, который должен проверить работу коммутатора при наихудшем сочетании для него параметров трафика. Максимальное значение пропускной способности коммутатора всегда достигается на кадрах максимальной длины (доля служебной информации меньше).

Из перечисленных выше характеристик критичной к схеме коммутатора является задержка передачи кадра. Поэтому при сравнении разных схем коммутаторов в качестве критерия целесообразно взять эту характеристику.

Задержка передачи кадра измеряется как время, прошедшее с момента прихода первого байта кадра на входной порт коммутатора до момента появления этого байта на выходном порту коммутатора. Однако при сравнительном анализе коммутаторов задержку можно оценивать и временем передачи кадра от входного порта к выходному.

Из-за различий во внутренней организации разных моделей коммутаторов трудно предвидеть, как тот или иной коммутатор будет передавать кадры какого-то конкретного образца трафика. Существует огромное количество вариантов трафика, отличающихся размерами кадров в потоке, распределением средней интенсивности потоков кадров между портами назначения, коэффициентами вариации интенсивности потоков кадров и т.д. и т.п. Поэтому при сравнении коммутаторов по производительности необходимо принимать во внимание, для какого варианта трафика получены данные, поскольку не существует общепринятых тестовых образцов трафика [1].

Лучшим критерием по-прежнему остается практика, когда коммутатор ставится в реальную сеть и измеряются вносимые им задержки и количество потерянных кадров [1]. Однако это, прежде всего, дорого, хотя и существуют несложные расчеты, которые могут дать представление о том, как коммутатор будет вести себя в реальной ситуации.

Эти расчеты основаны на данных о средней интенсивности трафика между узлами сети. Ориентация только на средние значения интенсивностей потоков не учитывает коллизий, возникающих между кадрами, передаваемыми по разным маршрутам коммутационной схемы, потерь на время ожидания доступа к среде и других явлений, которые обусловлены случайными факторами, значительно снижающими реальную производительность коммутатора. Асимметрия в распределении трафика по выходным портам всегда может привести к невозможности своевременной передачи трафика в сеть из-за ограничений протоколов порта.

Все это говорит о целесообразности построения соответствующих имитационных моделей коммутаторов.

Ниже излагается концепция построения имитационной модели матричной схемы коммутатора, допускающая использование ускоренного статистического моделирования [3].

Концептуальная модель маршрута коммутационной матрицы

Коммутационная матрица – основной и самый быстрый способ взаимодействия процессоров портов. Однако сложность схемы возрастает пропорционально квадрату количества портов.

Входные блоки процессоров портов на основании просмотра адресной таблицы коммутатора определяют по адресу назначения номер выходного порта. Эту информацию они добавляют к байтам исходного кадра в виде специального ярлыка – тэга (tag), который представляет собой двоичное r -разрядное число ($r = \log N$, где N – число входных/выходных портов коммутатора).

Особенностью схемы остается технология коммутации каналов. Известный недостаток этой технологии заключается в отсутствии буферизации данных внутри коммутационной матрицы: если составной канал невозможно построить из-за занятости выходного порта или промежуточного коммутационного элемента, то данные должны накапливаться в их источнике – во входном блоке порта, принявшего кадр. Однако существует несколько подклассов таких схем, в том числе и с использованием буферных запоминающих устройств внутри коммутационной матрицы [2].

Для коммутатора принято все характеристики давать в двух вариантах:

суммарная производительность коммутатора при одновременной передаче трафика по всем его портам;

производительность, приведенная на один порт [1].

Будем ориентировать модель на оценивание времени доставки кадров между произвольной парой, состоящей из входного и выходного портов.

Отдельный маршрут в КМ можно рассматривать как виртуальный канал, состоящий из последовательности n узлов коммутации (УК), по которому передаются

кадры из узла-источника УК1 в узел-адресат УК n (рис.1) [3]. Каждый узел коммутации представляет собой двоичный переключающий коммутационный элемент (КЭ).

Особенностью имитационной модели маршрута коммутационной матрицы (КМ) является отображение потоков, проходящих по другим маршрутам матрицы и влияющих на процесс прохождения кадров по выделенному (моделируемому) маршруту.

Поток (УК1,УК n), характеристики процесса доставки кадров по которому нас интересуют, будем называть выделенным – ВП. Потоки, маршруты которых имеют один или несколько общих УК (КЭ) с выделенным маршрутом, будем называть фоновыми. Фоновые потоки (ФП) влияют на процесс доставки кадров ВП, занимая ресурсы выделенного маршрута.

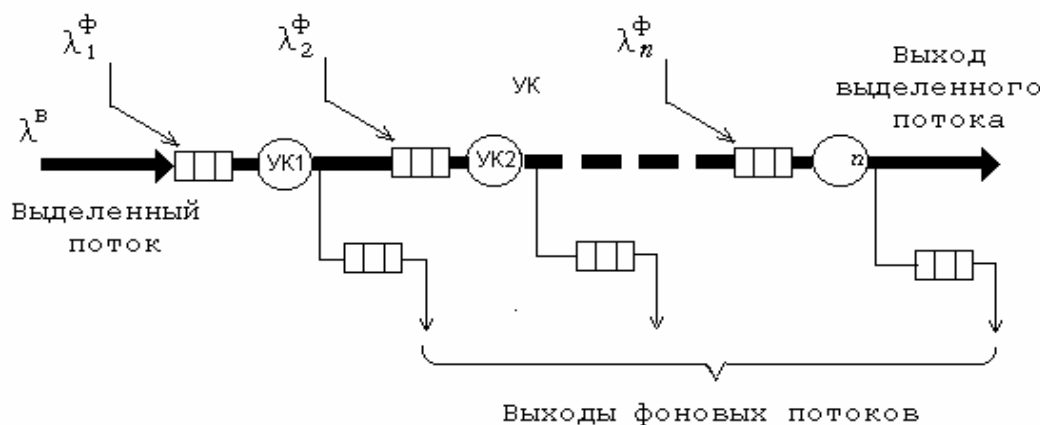


Рис. 1. Структура модели маршрута коммутационной матрицы

Кадры ФП поступают на выделенный маршрут из смежных узлов, не принадлежащих рассматриваемому маршруту. Кадры ФП, поступающие на i -й узел, $i = \overline{i, n}$, покидают выделенный маршрут после обработки в j -м УК, $j = \overline{i, n}$. При $j = i$ кадры сразу покидают выделенный маршрут после обработки в узле, на который они непосредственно поступили, т.е. КЭ реализует операцию “транзит”. При “транзите” кадр ФП не конфликтует с кадром ВП даже при их совпадении во времени поступления на один и тот же КЭ. При $j > i$ кадры ФП конфликтуют с кадрами ВП при их совпадении во времени поступления на один и тот же КЭ. Кадры ФП, поступающие на n -й УК (КЭ), конфликтуют с кадрами ВП только в том случае, если они адресованы к одному и тому же выходному порту.

Чтобы устранить такие конфликты, на входе или выходе КЭ ставят буферное запоминающее устройство (БЗУ), в котором один из двух находящихся в конфликтном состоянии кадров задерживается на время передачи другого кадра [2]. Дисциплину обслуживания можно задать приоритетную [2], либо FIFO, либо положить емкость БЗУ равной нулю, что будет приводить к потерям “запаздывающих” кадров при коллизиях, т.е. модель будет отражать механизм передачи кадров классической КМ типа Баньян.

Кадры ФП после обработки на УК, если их адрес соответствует данному узлу, покидают выделенный маршрут.

Интенсивность ФП, поступающего на i -й УК (КЭ), является суммой $2^{(i-1)}$, $i = \overline{i, n}$ парциальных потоков, поступающих на соответствующие входные порты КМ. Имея

матрицу трафика, можно сформировать интенсивности фоновых потоков $\lambda_j^{\Phi(i)}$ $i=\overline{1, n}$; $j=\overline{1, n}$, кадры которых могут вносить коллизии в выделенный маршрут.

Если распределение моментов поступления кадров ФП неизвестно, то обычно на основе предельных теорем его принимают пуассоновским. Учитывая, что процесс транспортировки сообщений по сети управляется линейными и сквозным протоколами, можно полагать, что межузловым потокам присуща определенная регулярность. Необходимую степень регулярности можно отразить, задавая моменты поступления кадров распределением Эрланга. Порядок Эрланга K для генерируемых ФП можно варьировать в широком диапазоне. Значение $K = \infty$ соответствует регулярным ФП со случайно сдвинутыми моментами поступления кадров на разных УК.

Каждый КЭ (УК) имеет два входа, на один из которых поступают кадры по выделенному маршруту, к другому подключен соответствующий генератор ФП. Генератор ФП, подключенный к i -му УК (КЭ), генерирует поток интенсивностью $\lambda^{\Phi(i)} = \sum_{j=1}^n \lambda_j^{\Phi(i)}$, в котором очередной кадр с вероятностью $P_j^{(i)} = \lambda_j^{\Phi(i)} / \lambda^{\Phi(i)}$ покидает выделенный маршрут после прохождения j -го УК (КЭ).

К первому УК (КЭ) выделенного маршрута от отдельного генератора поступают также кадры ВП.

Замечания к построению моделирующего алгоритма

Формат кадра в модели целесообразно сделать одинаковым для кадров всех потоков и предусмотреть в формате поля: для фиксирования момента времени поступления кадра в выделенный маршрут (timestart) (момент генерации кадра); времени очередного "особого" момента (timimed) относительно момента генерации; времени обслуживания кадра; параметра, по которому определяется время обслуживания; приоритета кадра; адресата кадров (номера узла выделенного маршрута, после обработки в котором кадр покидает моделируемый маршрут); состояния кадра: активный (true), когда кадр может обрабатываться или передаваться, иначе – пассивный (false).

В адресное поле кадров ВП записывается идентификатор $J=n+1$, кадрам ФП, поступающим на i -й узел и покидающим выделенный маршрут после обработки в j -м узле, присваивается идентификатор $J=j$, $j=\overline{1, n}$. После обработки кадра на каждом узле проверяется адресное поле кадра. Если j -й адрес соответствует номеру узла, то кадр покидает выделенный маршрут; если j больше номера узла, то кадр поступает на следующий узел выделенного маршрута. В конце маршрута после обработки кадров в n -м УК, если идентификатор $j>n$, то кадр направляется в сумматор кадров ВП, доставляемых адресату для последующей статистической обработки. Такой способ идентификации кадров позволяет унифицировать процедуру их обработки на каждом узле независимо от типа потока, которому принадлежит данный кадр.

На выходе кадра ВП из маршрута вычисляется разность (timimed – timestart), которая характеризует время доставки кадра по выделенному маршруту КМ в найденный по адресной таблице выходной порт.

Каждый кадр после его обработки или передачи из активного (true) состояния переходит в пассивное (false), в котором сохраняется для дальнейшего сравнения состояния со следующими за ним кадрами.

Модель КМ строится по принципу особых состояний, которые необходимы для правильного воспроизведения времени доставки кадров. В силу того, что УК (КЭ) представлены одинаковой формализованной схемой, выделяется три особых состояния:

возникновение требования на передачу кадров (приход кадров в систему); возникновение требования к ожиданию в очереди УК (КЭ); поступление требования на обслуживание прибором УК (КЭ). Первое состояние для очередного УК возникает при окончании обслуживания кадров в предшествующем УК. Поиск состояний производится по их последовательности в модели. Модули состояний (МС) получают управление от программы–диспетчера, в которой анализируется изменение каждого состояния и отражается в базе данных имитационной модели. После окончания работы модуля обработки в соответствии с последовательностью событий программа-диспетчер передает управление следующему модулю обработки состояния.

Таким образом, исходя из основной задачи анализа, связанной с оценкой ВВХ процесса доставки кадров между корреспондирующими портами, в имитационной модели КМ учитываются состояния очередей узлов, дисциплины обслуживания очередей, действия фоновых потоков, отображающих влияние на выделенный маршрут нерасматриваемой в модели части КМ. Способность модели настраиваться на любой маршрут КМ дает возможность использовать ее при оценивании суммарной производительности коммутатора при передаче трафика по всем его портам.

Литература

1. **Кутузов О.И., Сергеев В.Г., Татарникова Т.М.** Коммутаторы в корпоративных сетях. Моделирование и расчет.– СПб.: Судостроение, 2003.
2. **Лазарев В.Г.** Интеллектуальные цифровые сети:Справочник/Под ред. академика Н.А.Кузнецова. – М.: Финансы и статистика, 1996.
3. Метод статистического моделирования матричных устройств сопряжения сетей//IV Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – СПб., 2002.