

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБСЛУЖИВАНИЯ ОЧЕРЕДЕЙ В IP МАРШРУТИЗАТОРЕ

Д. Ю. Пономарев (Красноярск)

На сегодняшний день независимо от технологий нижних уровней модели взаимодействия открытых систем основным протоколом, обеспечивающим процессы обработки информационных потоков в современных инфокоммуникационных сетях, является протокол *IP (Internet Protocol)*. Массовый характер использования данного протокола обусловлен как широким спектром и распространенностью оборудования с его поддержкой, так и его программной реализацией в большинстве современных операционных систем. Однако следует отметить, что использование только средств протокола *IP* недостаточно для обработки информационных потоков с заданными показателями качества обслуживания (*QoS – Quality of Service*), так как в протокол *IP* изначально не была заложена необходимость обеспечения механизмов поддержки *QoS* в отличие от технологии *ATM*. Для решения задач поддержки *QoS* в узлах сетей *IP*, в качестве которых в основном применяются маршрутизаторы, используются различные схемы управления очередями. В данной работе представлены результаты исследования имитационной модели обслуживания очередей в маршрутизаторе сети *IP*.

В общем случае в математической модели маршрутизатора можно выделить следующие составляющие: входные интерфейсы, приоритетные очереди для накопления пакетов и исходящий интерфейс для высокоскоростного канала связи. Входные интерфейсы обеспечивают прием пакетов, их накопление и передачу на дальнейшую обработку в соответствии с алгоритмом работы маршрутизатора. Постановка в определенную очередь происходит в соответствии с видом трафика, т.е. в каждой очереди находятся пакеты одного типа. Передача на исходящий интерфейс осуществляется в соответствии с последовательным опросом очередей и выборкой из каждой очереди пакета на передачу. Таким образом формируется список пакетов на передачу. При отсутствии пакетов в очереди в данном цикле будут передаваться пакеты из других очередей.

Исходя из математической модели маршрутизатора, наиболее интересным с точки зрения исследования является процесс обработки очередей и его влияние на показатели качества обслуживания *QoS*, такие как: средняя очередь (среднее число заявок в очереди), время ожидания начала обслуживания (время нахождения в очереди) и др. При этом задержку во входных интерфейсах на первом этапе моделирования можно не учитывать, так как в основном дисциплина обслуживания таких интерфейсов описывается классическими *M/M/1* или *M/D/1* системами, а данная задача может быть решена стандартными методами теории массового обслуживания или с помощью известных имитационных моделей. Естественно, что при наличии свойств процессов обработки в данных интерфейсах, отличных от классических, в имитационную модель необходимо будет внести изменения, позволяющие учесть эти свойства. Для исследования процесса обработки очередей в *IP* маршрутизаторе в имитационной модели необходимо обеспечить: распределение поступающего трафика по очередям в соответствии с заданным видом нагрузки; формирование списка пакетов на передачу с циклическим опросом очередей с заданным временным интервалом опроса и проверкой на свободу очереди; накопление статистики по среднему количеству пакетов в очереди и среднему времени нахождения в очереди (среднее время ожидания начала обслуживания). В соответствии с вышесказанным была разработана имитационная модель в среде *GPSS World*.

Исследуемая имитационная модель обработки очередей в маршрутизаторе состоит из нескольких частей.

Первая часть позволяет установить интенсивности обслуживания и поступления пакетов, задать размеры буферов, определить функции распределения трафика по его виду. При моделировании использовалось равномерное распределение поступающего трафика на три вида (использовалась команда *function*, определяющая дискретную функцию с равномерным законом распределения) и соответственно три очереди, что подразумевает обработку трех видов информационных потоков: аудио, видео, данные. Однако для исследования можно использовать и неравномерное распределение трафика, например при преобладании речевой нагрузки или видеотрафика над передачей данных.

Вторая часть представляет собой блок циклического (с заданным интервалом) опроса очередей с установленным функцией типа *D* порядком опроса. Результатом работы блока является список выборки из очередей, т.е. список освобождений определенных очередей с помощью блоков *unlink*. В этой же части модели могут определены изменения порядка обслуживания при превышении ограничения на длину какой-либо очереди с помощью блока *TEST*.

Третья часть состоит из блоков, имитирующих поступление трафика в маршрутизатор, блоков накопления и освобождений очередей, блоков передачи/обработки пакетов, блока накопления статистики для определения потерь при отсутствии свободных мест в буфере. Поступление пакетов определяется блоками *GENERATE* с заданным распределением (*exponential, gamma, pareto*). Источников трафика четыре, при этом для каждого генератора используется блок *assign* для задания во втором параметре (*P2*) вида трафика, к которому относится данный пакет в соответствии с функцией распределения, заданной в первой части модели. Формирование очередей для конкретного вида трафика происходит с помощью блока *TEST* при проверке параметра *P2*: число очередей определяется количеством видов информационных потоков (аудио, видео, данные). Далее проверяется возможность постановки в очередь. При отсутствии свободных мест в буфере транзакт направляется в блок накопления статистических данных по потерям, находящийся по метке *loss*. При наличии возможности пакет поступает в соответствующую очередь и создает запись в заданном списке с операндом *fifo*. При выходе из очереди после формирования списка передачи блоком опроса пакет поступает на обслуживание (передачу) с детерминированным распределением длительности обслуживания, так как считаем, что размеры пакетов одинаковы (в дальнейшем развитии модели можно предусмотреть возможность изменения размера пакетов и пропускной способности интерфейсов).

Возможности модели по исследованию характеристик процессов обработки информационных потоков в маршрутизаторе с циклической выборкой из очереди определяются заданными в модели функциями и переменными. Например, в данной модели имеется возможность исследовать влияние длительности опроса на временные и вероятностные характеристики процесса обработки пакетов с использованием статистики по блокам *queue* и *savevalue*. Кроме того, данная модель позволяет исследовать воздействие потоков, отличающихся от классических, с показательным распределением интервалов между вызовами: с гамма-распределением, распределением Парето и др. Также следует отметить возможность изменения порядка выбора из очереди при превышении количества пакетов в очереди определенного значения, т.е. введения приоритетного обслуживания по заданному параметру. Естественно, что дополнительные изменения, вносимые в дальнейшем в модель, позволят расширить ее возможности, например исследовать вероятностные характеристики процессов обработки и передачи мультисервисной информации в данной инфокоммуникационной системе.

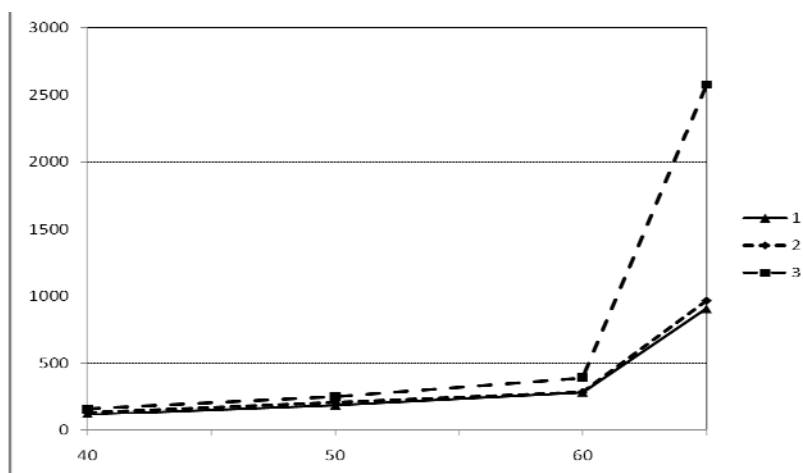


Рис. 1. Зависимость среднего времени пребывания в очереди от интервала опроса

На первом этапе исследовалось влияние интервала опроса на временные характеристики процесса обслуживания очередей маршрутизатора. Исходные параметры: загрузка исходящего интерфейса 0,9; входной поток с показательным распределением интервалов между вызовами; длительность обслуживания равна 20 условных временных единиц. Результаты моделирования приведены на рис. 1. Для каждой очереди приведены отдельные зависимости. Из рисунка видно, что при увеличении интервала опроса растет среднее время ожидания начала обслуживания, что связано с увеличением занятости исходящего интерфейса и, следовательно, с большим накоплением пакетов в очереди. Также следует отметить, что для третьей очереди исследуемая характеристика превышает значения для первой и второй очередей. Это можно объяснить последовательным алгоритмом опроса очередей, вследствие чего пакеты из третьей очереди ожидают окончания опроса и передачи первых двух очередей, что при большой загрузке и интервалу опроса приводит к значительному превышению среднего времени пребывания пакетов в третьей очереди относительно других очередей.

Для снижения среднего времени в третьей очереди на втором этапе исследования имитационной модели вводилось ограничение по количеству пакетов, находящихся в третьей очереди. При превышении заданного значения числа пакетов в третьей очереди выборка для постановки в очередь осуществляется только из третьей очереди до тех пор, пока количество пакетов в ней не достигнет заданного порога. Для этого в имитационной модели используется блок *test* с параметром *LE* и проверкой системного числового атрибута *QS* третьей очереди. Результаты имитационного моделирования такой дисциплины обслуживания представлены на рис. 2 для следующих исходных данных: загрузка обслуживаемого устройства равна 0,9; входной поток пакетов – с показательным распределением интервалов между поступлениями; интервал опроса (выбирался исходя из предыдущего этапа) равен 60; длительность обслуживания, как и ранее, равна 20. На рис. 2 представлена зависимость среднего времени пребывания в очереди от порогового значения числа пакетов в очереди. Исходя из представленных результатов, можно сделать следующие выводы: при малых значениях порога (5–10 пакетов) среднее время нахождения в третьей очереди в несколько раз меньше относительно других очередей, что можно использовать для обеспечения обработки в третьей очереди трафика, чувствительного к временным задержкам. При средних величинах (15–20) порогового значения по числу пакетов в третьей очереди временные характеристики во всех трех очередях практически равны, т.е. при таком пороговом значении об-

служивание заявок в трех очередях можно назвать «справедливым» (равномерным). При дальнейшем увеличении максимального числа пакетов, находящихся в третьей очереди, происходит плавное (для таких исходных данных) увеличение среднего времени ожидания начала обслуживания в третьей очереди с превышением данного времени над средним временем пребывания пакетов в первой и второй очередях. Стоит также отметить, что при пороговом значении в 35 ед. исследуемые временные характеристики достигают определенного уровня и в дальнейшем практически не меняются. Исходя из полученных результатов, можно отметить, что изменением порогового значения максимального числа пакетов в третьей очереди можно добиваться формирования различного приоритета обслуживания очередей.

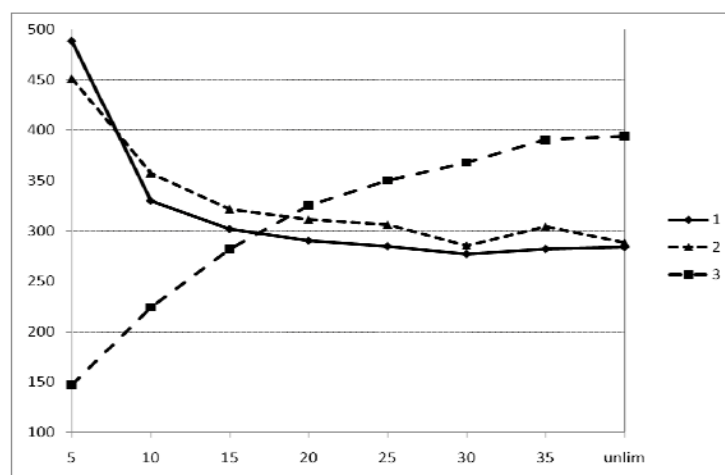


Рис. 2. Зависимость среднего времени пребывания в очереди от значения ограничения по числу требований, находящихся в третьей очереди, при изменении порядка обслуживания

На третьем этапе исследования, в соответствии с проведенными наблюдениями [1–2], а также с учетом опыта моделирования информационных потоков различного вида, использовались в качестве источников нагрузки генераторы со следующими распределениями интервалов между вызовами: экспоненциальным, как классическим представлением потоков вызовов; гамма-распределением, как имеющим так называемый «тяжелый хвост» (*heavy tail*). Использование потока с гамма-распределением связано с тем, что потоки в современных инфокоммуникационных сетях отличаются от обычно используемой при проектировании модели пуассоновского потока с экспоненциальным распределением интервалов между вызовами. Это отличие обычно связано с наличием свойств информационных потоков, вызванных особенностями обработки трафика, в том числе и мультимедийного, различными протоколами стека TCP/IP. Расширение сети интернет и спектра предоставляемых услуг в ней, а также глобализация современных инфокоммуникационных сетей приводит к появлению новых свойств потоков вызовов, следовательно, необходимо определить модели потоков, обеспечивающие адекватное отображение потоков, наблюдаемых в реальных сетях. В данной работе оценивалось влияние гамма-распределения на временные характеристики дисциплины обслуживания очередей при следующих исходных данных: интервал опроса равен 60; длительность обслуживания – постоянная, равна 20; входной поток с показательным или гамма-распределением интервалов между пакетами (для гамма-распределения порядок $k = 0,1$); параметры гамма-распределения выбраны таким образом, чтобы матема-

тическое ожидание интервалов между пакетами было равно математическому ожиданию интервала между пакетами показательного распределения.

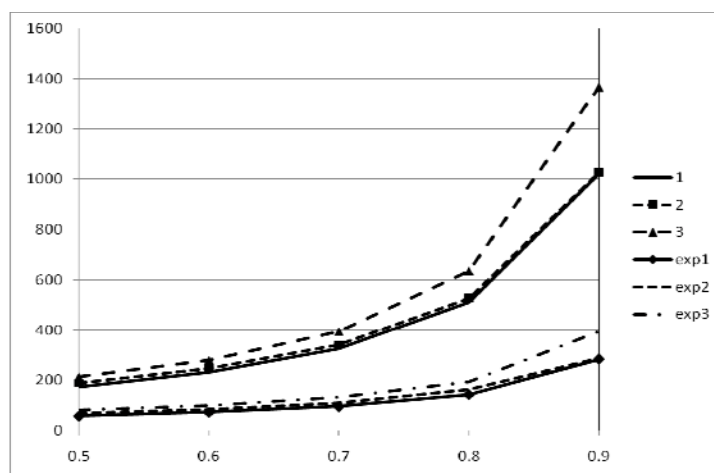


Рис. 3. Зависимость среднего времени пребывания в очереди от загрузки: с показательным (*exp*) и гамма-распределением интервалов между пакетами

На рис. 3 представлены результаты для среднего времени нахождения в очереди для показательного и гамма-распределений межпакетного интервала. Следует отметить, что наличие «*heavy tail*» приводит к увеличению среднего времени в несколько раз по отношению к показательному распределению, что можно объяснить большим коэффициентом вариации гамма-распределения, вследствие чего происходит более быстрое накопление заявок в очереди. Кроме того, происходит увеличение разброса исследуемой характеристики по очередям маршрутизатора, что особенно заметно при большой загрузке обслуживающего устройства.

В качестве заключения можно отметить, что:

- исследование характеристик дисциплин обслуживания узлов мультисервисных сетей – сложная и актуальная задача, необходимость решения которой определяется современным развитием инфокоммуникационных сетей и систем;
- в связи с наличием множества дисциплин обслуживания в современных системах связи и присутствии малоизученных свойств информационных потоков в сетях связи наиболее предпочтительным становится исследование современных инфокоммуникационных сетей и систем методами имитационного моделирования;
- имитационное моделирование инфокоммуникационных систем требует особого подхода как к процессу самого моделирования, так и к теоретической подготовке моделей;
- в процессе имитационного моделирования можно получать данные о поведении инфокоммуникационных систем при отсутствии математических моделей исследуемой дисциплины обслуживания.

Литература

1. Paxson V., Floyd S. Wide area traffic: The failure of Poisson modeling // IEEE/ACM Trans. on Networking. 1995. Vol. 3. P. 226–245.
2. Lazaris A., Koutsakis P. Modeling Video Traffic from Multiplexed H.264 Videoconference Streams // Proceedings of GLOBECOM'2008, 2008. P. 1479–1484.