

Задание 4. Технологии QoS в компьютерных сетях

5.1. Цель и краткая характеристика работы

Цель работы – изучение эффективности приоритизации трафика для управления качеством обслуживания (Quality of Service, QoS) в компьютерных сетях.

В работе изучаются современные дисциплины обслуживания, которые применяются администраторами компьютерных сетей для управления качеством обслуживания (Quality of Service, QoS), предоставляемым различным видам трафика пользователей. В качестве метрик качества обслуживания принято использовать, например, среднюю задержку пакетов при прохождении сети, вариацию (джиттер) этой задержки, а также процент потерянных пакетов. Пропускную способность маршрута также относят к показателям QoS, но вследствие того, что она косвенно влияет на величину трёх уже перечисленных метрик, то её не всегда рассматривают в качестве самостоятельного показателя QoS.

Приблизительная трудоёмкость УИР №5 составляет семь астрономических часов для выполнения всех пунктов задания.

5.2. Теоретическая справка

Достаточно типичной является ситуация, когда на пути следования трафика по маршруту существует медленный сегмент сети, являющийся «узким местом» (bottleneck). В узком месте пакеты трафика различных пользователей скапливаются в очередях в буферах сетевых устройств, что влияет на все три вышеперечисленные метрики QoS. Решением проблемы может быть модернизация «узкого места» (установка более быстрого канала связи), однако это может оказаться дорогостоящей и не всегда возможной процедурой. Альтернативным решением является приоритизация трафика, когда системный администратор, управляющий «узким местом» сети, устанавливает наиболее важному трафику более высокий приоритет, чтобы улучшить значения метрик QoS этого трафика за счёт ухудшения метрик QoS низкоприоритетного трафика.

Второй подход является оправданным, например когда конкурирующие виды трафика имеют различные требования к сети. В соответствии с международным стандартом «ITU-T Y.1541» для качественной передачи видеозвонка Skype по сети требуется обеспечить Skype-пакетам среднюю задержку передачи IP-пакетов менее 100 мс с вариацией не более 50 мс и с потерей не более 0.1% пакетов, тогда как для просмотра прямой телевизионной трансляции (так называемое “видео по запросу” – ВПЗ) соответствующие QoS-требования существенно более мягкие: 1000 мс на среднюю задержку при тех же 0.1% для потерь.

Примерами популярных дисциплин обслуживания, применяемых в компьютерных сетях, являются FIFO (дисциплина обслуживание в порядке поступления без приоритетов), PQ (Priority Queueing – дисциплина обслуживания с относительными приоритетами) и WFQ (Weighted Fair Queueing – взвешенное честное обслуживание).

При использовании FIFO можно ожидать, что все конкурирующие классы трафика получают одинаковое качество обслуживания. Это ожидание действительно может оправдаться, если показателем качества обслуживания считать среднюю задержку ожидания в буфере. Однако если качество обслуживания связывается с общей задержкой пакета, включающей время ожидания в буфере и время выдачи пакета в канал связи, то правило FIFO не обеспечит справедливое равное распределение этого сетевого ресурса.

При конфигурации PQ, администратор может установить различный приоритет нескольким видам трафика, при этом низкоприоритетные пакеты передаются, только если в очереди отсутствуют высокоприоритетные пакеты. Это позволяет обеспечить наилучшее качество обслуживания для высокоприоритетного потока, однако в условиях перегрузки практически полностью блокирует очередь низкоприоритетных пакетов: отсутствуют какие-либо гарантии, что диспетчер очереди переключится на обслуживание низкоприоритетных пакетов в течение конечного интервала времени.

При настройке WFQ у администратора появляется возможность установить в байтах условный вес W_i для каждого i -го из n классов конкурирующего трафика. За каждый цикл работы WFQ из очереди i -го класса передаются пакеты суммарным размером W_i байт. Значит, чем выше вес W_i , тем лучшее качество обслуживания может ожидать i -й класс. Это позволяет более гибко управлять QoS-характеристиками, чем при использовании PQ. Кроме того, заданный вес является гарантией того, что даже в условиях высокой загрузки соответствующая очередь будет получать доступ к каналу связи за конечное время.

Указанный эффект иллюстрируется на рисунке 5.1 в условиях высокой загрузки канала связи тремя классами трафика (здесь и далее используются некоторые рисунки из магистерской диссертации Поповой Д.А. “Исследование свойств дисциплины обслуживания WFQ в компьютерных сетях”, Университет ИТМО, 2016). На рисунке 5.1 видно, что при использовании FIFO распределение перегруженного канала между трафиком разных видов имеет хаотичную природу. При этом использование WFQ позволило нужным образом “поделить” канал связи между тремя видами трафика с помощью установки весов W_i нужным системному администратору образом.

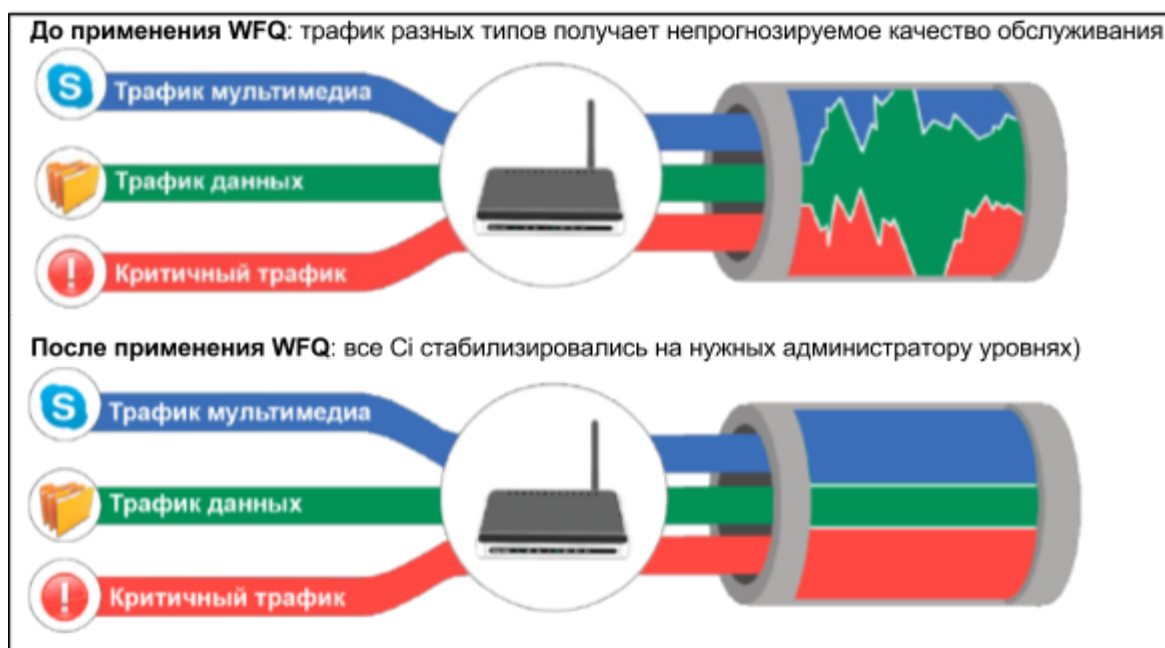


Рисунок 5.1. Иллюстрация эффекта от применения WFQ

5.3. Этапы выполнения работы и варианты заданий

Студент кафедры ВТ Университета ИТМО на каникулах собирается поехать на море и при этом планирует использовать планшет как для онлайн-трансляции видео о посещаемых достопримечательностях (т.е. ВПЗ), так и для одновременного с этими трансляциями разговора с родными и близкими с использованием Skype или любого другого подобного программного обеспечения, генерирующего потоковое видео реального времени. Тарифы на интернет-связь в роуминге на море достаточно высоки, поэтому студент хочет подобрать самый низкоскоростной тариф, который бы обеспечил качественный Skype-разговор при одновременном комфортном качестве онлайн-трансляции.

Полагая, что исходящий интернет-канал на планшете является узким местом при передаче трафика, студент решил настроить в сетевом драйвере планшета различные дисциплины обслуживания, которые обеспечат различные характеристики качества передачи для Skype- и ВПЗ-трафика при соблюдении требований «ITU-T Y.1541». Требуется найти такую дисциплину обслуживания, при которой требуемая скорость исходящего канала связи будет минимальной. По результатам экспериментов необходимо сравнить особенности исследованных дисциплин обслуживания и выбрать оптимальную из них для поездки на море.

Для решения этой задачи предлагается использовать имитационную модель, предоставляемую преподавателем в виде apk-файла (это специализированный формат программы Anylogic). Существует альтернативный способ запустить имитационную модель в онлайн-режиме из браузера, имеющего поддержку технологии “Java applets”, по следующей ссылке www.runthemodel.com/models/2089/). Общий вид панели управления модели представлен на рисунке 5.2.

Модель позволяет задать функциональные параметры в виде дисциплины обслуживания, а также нагрузочные параметры, описывающие особенности трафика, проходящего через канал связи. Важными структурными параметрами являются размеры

буферов сетевого устройства. От вместительности этих буферов напрямую зависят все основные метрики QoS.

В общем случае выбор дисциплины обслуживания зависит не только от скорости трафика и канала связи, но и от внутренней структуры трафика. Известно, что при равном битрейте нескольких потоков наименьшие задержки в буферах будут у того из них, в котором пакеты одинакового размера образуют регулярный поток, т.е. такой поток, в котором межпакетный интервал является константой). Трафик реальных приложений, к сожалению отличается от этого оптимального варианта, поэтому в имитационной модели предусмотрена возможность указать произвольные законы распределения как для межпакетных интервалов, так и для размера пакетов.

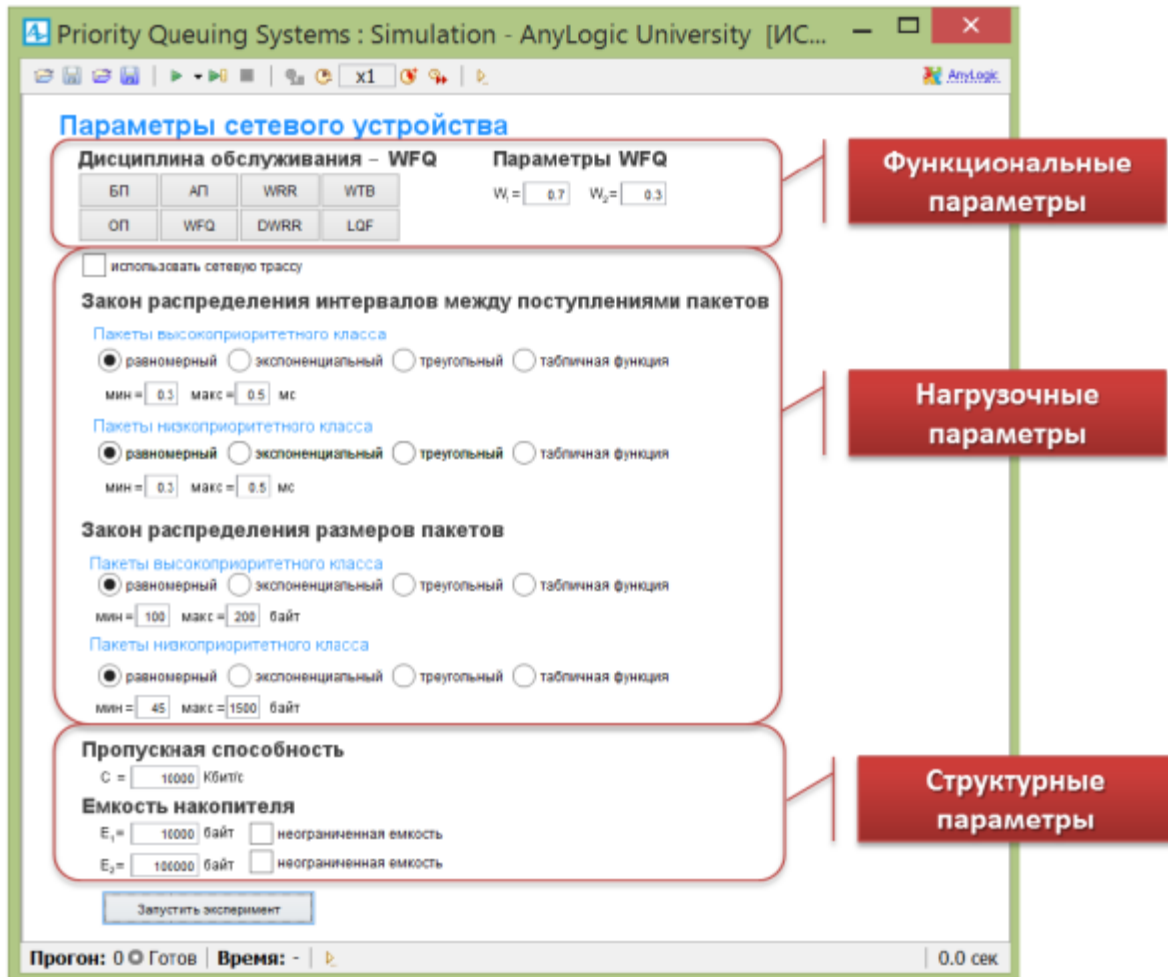


Рисунок 5.2. Файл с поточно заданной функцией распределения межпакетных интервалов

Пример заданной по 16 точкам функции распределения межпакетного интервала приведён на рисунке 5.3. В xlsx-файле на листах Лист1 и Лист2 в столбце «А» записаны значения функции распределения; в столбце «В» – соответствующие значения случайной величины (в данном случае это межпакетный интервал, выраженный в мс). В ячейке E1 должно быть записано количество точек столбца А, которое следует использовать для построения функции распределения.

	A	B	C	D	E
1	0,00000	0,10500			16
2	0,00494	3,31930			
3	0,00511	6,53360			
4	0,01297	9,74790			
5	0,02078	12,96220			
6	0,02720	16,17650			
7	0,05461	19,39080			
8	0,99265	22,60510			
9	0,99610	25,81940			
10	0,99984	29,03370			
11	0,99988	32,24800			
12	0,99989	45,10520			
13	0,99990	54,74810			
14	0,99992	57,96240			
15	0,99998	61,17670			
16	1,00000	64,39100			
17					

Рисунок 5.3. Файл с поточечно заданной функцией распределения межпакетных интервалов

Составленный таким образом xlsx-файл необходимо загрузить в имитационную модель, предоставленную преподавателем. Аналогичным образом можно загрузить информацию о функции распределения размера пакетов, выраженного в байтах (два листа в xlsx-документе соответствуют двум входящим потокам трафика в модель). В результате при запуске модели информация о соответствующих функциях распределения будет отображаться, как показано на рисунке 5.4, на котором интервалы времени между пакетами указаны в мс, размер пакетов указан в байтах.

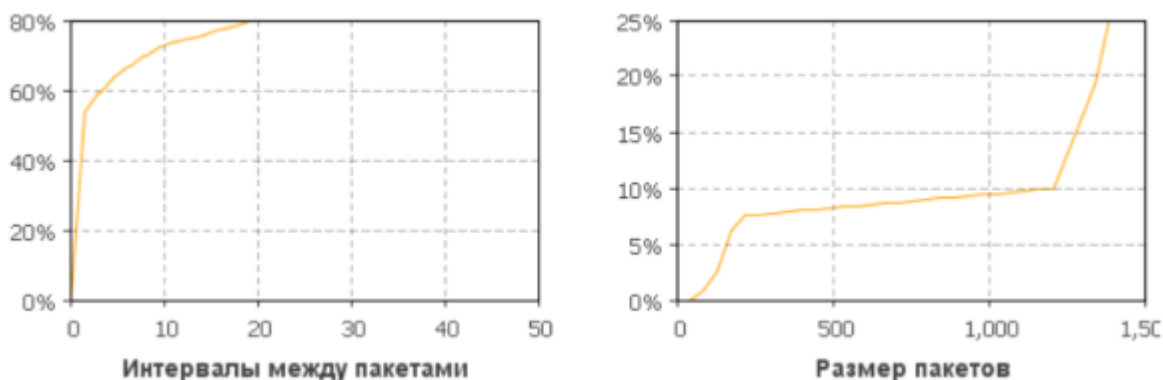


Рисунок 5.4. Графики функций распределения, построенные в модели Anylogic

Более подробное описание имитационной модели, а также подробные инструкции по её настройке и применению можно найти в магистерской диссертации Поповой Д.А. “Исследование свойств дисциплины обслуживания WFQ в компьютерных сетях” (Университет ИТМО, 2016), доступной для скачивания по следующей ссылке:

https://isu.ifmo.ru/pls/apex/f?p=2143:0:108185710433474:DWNLD_F:N O::FILE:258C6D264DB9832BF14EEC8B82D95477

или используя её укороченный вариант: <https://goo.gl/EC3JiW>

5.4. Порядок выполнения работы

1. Установить бесплатную учебную версию системы имитационного моделирования AnyLogic Free PLE (не ниже версии 7.1.2), доступную для скачивания на сайте российской фирмы XjTek: <http://www.anylogic.ru/downloads/>.
2. Запустить в AnyLogic предоставленную преподавателем имитационную модель в alp-файле и разобраться в её работе (авторы модели – Попова Д.А. и Гомзина Т.К., выпускницы кафедры ВТ Университета ИТМО).
3. Установить размеры буферов, равными S килобайт, где S – это количество букв в фамилии студента.
4. Установить скорость канала связи, равным N Мбит/с, где N – это количество букв в имени студента.

5. Установить в модели законы распределения размера пакетов и межпакетного интервала для трафика каждого из двух типов следующим образом:
 - 5.1. Для получения оценки «удовлетворительно» можно установить любые законы распределения кроме детерминированных так, чтобы битовые скорости (bps) поступления каждого из двух типов трафика различались не более чем в два раза.
 - 5.2. Для получения оценки «хорошо» нужно найти в Интернете сведения о приблизительных значениях битовой скорости каждого из двух типов трафика и установить любые законы распределения кроме детерминированных так, чтобы средний размер пакетов и межпакетный интервал соответствовали найденным значениям. В отчёте следует привести ссылку на использованный интернет-источник.
 - 5.3. Для получения оценки «отлично» нужно с помощью программы Wireshark или tcpdump записать трафик каждого из двух типов (минимум 10000 пакетов). Затем экспортировать трафик каждого из двух исследуемых типов в CSV-файлы, используя Wireshark-фильтры. Найти в полученных файлах временные метки поступления пакетов и размеры пакетов. Построить функции распределения межпакетных интервалов и размера пакетов и загрузить их в модель, как было показано в примере выше. Примеры сервисов для трансляции ВПЗ можно найти по следующей ссылке:
<http://useiteasy.ru/internet/157/servisy-dlya-online-translyaciy.html>.
6. Для дисциплины обслуживания FIFO (аналог беспriorитетной дисциплины обслуживания) провести эксперименты, в которых нужно постепенно уменьшать или увеличивать скорость канала связи до тех пор, пока не будет найдена минимальная скорость, при которой характеристики QoS каждого вида трафика всё ещё соответствуют нормам «ITU-T Y.1541». Для каждого использованного в экспериментах значения скорости канала связи нужно записывать полученные значения

задержек и процента потерь, чтобы затем построить график по этим значениям.

7. Провести аналогичные предыдущему пункту эксперименты с дисциплиной обслуживания PQ, установив высокий приоритет более требовательному классу.
8. Провести аналогичные предыдущему пункту эксперименты с дисциплиной обслуживания WFQ, установив в K раза больший вес более требовательному классу, где $K = 2 + ((S + N) \bmod 7)$, где операция " $X \bmod Y$ " означает "взять остаток от деления X на Y ". После того как будет найдена минимальная скорость, провести эксперименты с другими соотношениями весов и найти такое оптимальное соотношение весов, при котором скорость канала связи будет минимальной.
9. Написать отчёт о проделанной работе.

5.5. Требования к содержанию отчёта

Отчёт о выполнении УИР предоставляется студентом в бумажном или электронном виде (PDF) и должен иметь следующую структуру:

1. Титульный лист с названием вуза, ФИО студента и полного названия УИР.
2. Оглавление с указанием номеров страниц (номера страниц должны быть проставлены в колонтитулах каждой страницы).
3. Краткая постановка задач и цели исследования.
4. Обзор материалов, использованных для получения статистических данных о внутренней конфигурации исследуемых типов трафика (размеры пакетов и межпакетных интервалов). Если сбор статистики осуществлялся самостоятельно, нужно привести скриншоты Wireshark (включающие использованные фильтры) и построенные графики плотности и функции распределения. Если использовались внешние источники, нужно привести соответствующий URL, а также пересказ основных тезисов.
5. Скриншоты имитационной модели, на которых должно быть видно использованные все параметры модели и полученные результаты экспериментов для лучшего и худшего результатов по каждой дисциплине обслуживания.

6. Скриншоты Wireshark (tcpdump), на которых должны быть видны IP-адреса, порты, протоколы и использованные фильтры (для оценки “отлично”).
7. Расчёт битовой скорости поступления (bps) каждого из типов трафика, полученных с использованием указанных на скриншотах параметров.
8. Графики изменения средней задержки и процента потерь каждого из двух классов трафика, которое происходило при варьировании пропускной способности канала связи в ходе экспериментов с различными дисциплинами обслуживания (значения пропускной способности следует указать на оси абсцисс).
9. Подробные выводы с анализом каждого из приведённых графиков с результатами.
10. Общие выводы по УИР.

5.6. Контрольные вопросы для самопроверки

При подготовке к защите УИР рекомендуется использовать следующий перечень вопросов и заданий для самостоятельной проработки и подготовки к защите.

1. Перечислите метрики, используемые для оценки качества передачи IP-пакетов по компьютерной сети?
2. Как измеряется джиттер (вариация задержки) передаваемых пакетов? Как учитываются потерянные пакеты при измерении джиттера и средней задержки?
3. В чём отличие джиттера от RTT?
4. Приведите примеры программ, аналогичных по функционалу программе Wireshark.
5. Какие существуют классы качества обслуживания в соответствии с документом ITU-T Y.1540? Чем различаются эти классы?
6. Приведите несколько примеров приложений, предъявляющих различные требования к качеству передачи данных по сети?
7. Приведите примеры специализированных сред имитационного моделирования компьютерных сетей.

8. Для чего в использованной в исследовании имитационной модели рассчитывается доверительный интервал?
9. Можно ли уменьшить джиттер задержки передачи с помощью искусственного увеличения средней задержки передачи?
10. Является ли стационарным процесс, протекающий в моделируемой системе? Изменяются ли законы распределения размера пакетов и межпакетный интервал со временем?
11. Как зависит размер IP-пакетов, генерируемых приложениями, от типа приложения и предоставляемых им сетевых сервисов?
12. Приведите примеры методов QoS, применяемых в IP-сетях, с их краткой характеристикой.
13. Проанализируйте достоинства и недостатки двух предложенных методов устранения узкого места в сети.
14. Какие дисциплины обслуживания сетевого трафика доступны в виде штатных средств в операционных системах Linux, Windows?
15. Какова ёмкость буферной памяти в современных маршрутизаторах и коммутаторах?
16. Как ёмкость буферной памяти, отводимой на хранение передаваемых пакетов в промежуточных узлах компьютерной сети, влияет на метрики QoS?
17. Как работает дисциплина обслуживания FQ_CODEL в Linux? Каковы её основные характеристики?
18. Как работает дисциплина обслуживания HTB в Linux? Каковы её основные характеристики?
19. Как работает дисциплина обслуживания TBF в Linux? Каковы её основные характеристики?
20. Как работает алгоритм WRED? Для чего он применяется?
21. Чем отличается дисциплина обслуживания pfifo от pfifo_fast в операционной системе Linux?