

УДК 004.7

DOI: [10.26102/2310-6018/2019.27.4.041](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.27.4.041)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ ОЧЕРЕДЕЙ ОТ ПЕРЕГРУЗОК В СИСТЕМАХ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ

Усама Алькади

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
Воронеж, Российская Федерация
e-mail: oalkadee@gmail.com

Резюме: Контроль перегрузки сети является весьма актуальной задачей при обеспечении защиты очередей в системах резервирования ресурсов. Это - один из ключевых элементов, так как многие контроллеры вводились с целью контроля перегрузки для решения проблемы. Статья посвящена анализу влияния рабочей нагрузки сети на производительность различных активных контроллеров управления очередями, включая традиционный контроллер Drop Tail, для обеспечения защиты очередей от перегрузок в системах резервирования ресурсов. Данная работа представляет анализ четырех возможных сценариев с одинаковыми сетевыми параметрами за исключением рабочей нагрузки сети. Производительность каждого контроллера измеряется при помощи различных метрик производительности. Влияние нагрузки сетевого трафика на производительность сетевых контроллеров можно легко наблюдать в четырех представленных сценариях. Поведение всех контроллеров четко указывало на влияние нагрузки сетевого трафика на их производительность. Полученные результаты показали, что нагрузка на сетевой трафик прямо пропорциональна пропускной способности, потере пакетов и задержке. Результаты могут быть использованы при создании отказоустойчивых систем резервирования ресурсами.

Ключевые слова: рабочая нагрузка, сеть, очереди, контроллер, резервирование ресурсов.

Для цитирования: Алькади У. Исследование эффективности различных алгоритмов управления для обеспечения защиты очередей от перегрузок в системах резервирования ресурсов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*, [онлайн]. 2019;7(4). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/OsamaAlkaadi_4_19_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.041

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF VARIOUS CONTROL ALGORITHMS TO ENSURE THE PROTECTION OF QUEUES FROM CONGESTION IN RESOURCE RESERVATION SYSTEMS

Osama Alkaadi

Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

Abstract: Controlling network congestion is a very urgent task while securing queues in resource reservation systems. This is one of the key elements, as many controllers were introduced to control overload to solve the problem. This article analyzes the impact of network workload on the performance of various active queue management controllers, including the traditional Drop Tail controller, to ensure that queues are protected from congestion in resource reservation systems. This paper presents an analysis of four possible scenarios with the same network parameters except for the network workload. The performance of each controller is measured using various performance metrics. The effect of network traffic load on the performance of network controllers can be easily observed in the four presented scenarios. The behavior of all controllers clearly indicated the effect of network traffic load on their performance. The results showed that the load on network traffic is directly proportional to bandwidth, packet loss and delay. The results can be used to create fault-tolerant resource reservation systems.

Keywords: workload, network, queues, controller, resource reservation.

For citation: Alkaadi O. Study of the effectiveness of various control algorithms to ensure the protection of queues from congestion in resource reservation systems. *Modeling, optimization and information technology*, [online]. 2019;7(4): 1-10. Available by: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/OsamaAlkaadi_4_19_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.041 (In Russ.).

Введение

Контроль перегрузки сети являлся одним из ключевых элементов в прошлом, так как многие контроллеры вводились с целью контроля перегрузки для решения проблемы. Данные контроллеры основывались на некоторых метриках производительности. Они неплохо выполняли свою роль в контексте определенных метрик производительности, но не оправдывали себя при их применении к другим метрикам. Основной задачей исследования является поведенческий анализ небольшого набора хорошо известных контроллеров очередей/активных контроллеров управления очередями, таких как контроллер отбрасывания последнего элемента (Drop Tail), произвольное обнаружение перегрузки на раннем этапе (RED controller – Random Early Detection), синий (Blue), пропорциональный интеграл (Proportional Integral) и контролируемая временная задержка (Controlled Delay) с различной рабочей нагрузкой сети.

Нами были созданы четыре одинаковых сценария для решения проблемы недостаточной пропускной способности сети. Каждый сценарий имеет сопоставимые сетевые параметры, но различную рабочую нагрузку сети, которая варьируется в пределах от одного до тысячи FTP-соединений. Метрики производительности в данном исследовании – пропускная способность сетевой нагрузки, а также задержка, связанная с размером очереди, время, необходимое для стабилизации, способность справляться с высокоскоростной пакетной передачей данных при TCP-соединении и обеспечивать оптимальное соотношение метрик производительности.

Обзор литературы

Перегрузка сети, а также попытки ее избежать и контролировать оставались актуальными вопросами для исследователей начиная с момента создания первой сети.

Быстрое развитие информационных технологий повысило исследовательские требования к оптимизации решений различных проблем, в частности, проблеме пропускной способности сети [2]. Многие контроллеры были введены для решения проблемы на основе установки некоторых определенных параметров. Изначально буферы использовались для обслуживания входящих пакетов данных, которые были больше, чем пропускная способность линии связи. Буферы выстраивали пакеты данных в очередь, и игнорировали остальные пакеты при наполнении буфера. Такая традиционная схема под названием Drop Tail (отбрасывание последнего элемента, [3]) вызывает две основные проблемы – неравноправность входящих пакетов и переполненная очередь. Проблема неравноправности была решена посредством введения схем первого и случайного сброса (Drop First and Drop Random Schemes). Контроллер произвольного обнаружения перегрузки на раннем этапе (RED – Random Early Detection) запускается как новый вариант системы активного управления очередями (AQM) с целью преодоления проблемы «переполненной очереди» традиционных контроллеров очередей [4]. Смысл системы активного управления очередями состоял в сбросе пакетов до образования полного буфера для поддержания высокоскоростной пакетной передачи данных при TCP-соединении. Полный буфер,

также известный как «буфер с резервом времени» («плавающий буфер»), являлся дискуссионным инструментом системы активного управления очередями [5]. «Синий» контроллер (Blue Controller) был разработан для снижения нагрузки сети или сбрасывания пакетов. Он рассчитывает вероятность исхода из идеального соединения и потери пакета данных вместо вычисления размеров очереди [6, 7]. Это приводит к работе Blue Controller с большими задержками в связи образующимися очередями.

Позднее PI-регулятор использовался в AQM для решения различных проблем в промышленности из-за его устойчивой производительности [8]. Данный тип контроллера работал достаточно устойчиво в плане относительного (базисного) размера очереди, вне зависимости от любой метрики (любых параметров) производительности сети, а именно, ее пропускной способности, потери пакета, задержки и т.д. Контроллер Co Del использовался только для мониторинга задержки и сокращал время приема-передачи (Round Trip Time) [9]. Название данного контроллера основывается на Co от слова control – контролировать и Del от слова delay – задержка [10]. Его целью было лишь сокращение времени прохождения сегмента, но ценой большой потери пакетов и иногда, в некоторых случаях, даже ценой снижения пропускной способности.

Каждый контроллер имеет свою собственную метрику для оценки производительности: некоторые фокусируются на размере очереди [8], некоторые на потере пакетов [6], некоторые на времени прохождения сегмента [9], а некоторые на сокращении длины очереди для поддержания высокоскоростной пакетной передачи данных при TCP-соединении [4]. Таким образом, набор метрик производительности доступен для оценки откликов и устойчивости контроллеров. Наиболее используемыми являются пропускная способность, потеря пакета, задержка или время прохождения сегмента сети из-за размера очереди и их способности поддержания высокоскоростной пакетной передачи данных при TCP-соединении посредством поддержки небольших очередей.

Материалы и методы

Для данного исследования были выбраны хорошо известные контроллеры с целью анализа их производительности при различной рабочей нагрузке сети, варьирующейся от одного до одной тысячи FTP соединений. Было создано четыре сетевых сценария в среде NS-II с 1, 10, 100 и 1000 FTP соединениями соответственно при остальных одинаковых сетевых параметрах, оставляющих 1 МВ пропускной способности и 10 ms канальной задержки (рисунок 1).

Производительность каждого контроллера анализировалась на основе избранных ключевых показателей производительности (KPIs) для широкого спектра метрик производительности в области контроля за перегрузкой сети. Для осуществления данного исследования и оценки откликов контролируемых сетей при различной сетевой нагрузке были выбраны следующие ключевые показатели производительности (KPIs):

1. Пропускная способность или перегрузка сети.
2. Задержка - увеличенное время прохождения сегмента (RTT) благодаря ожиданию в очереди для выведения или размера очереди.
3. Способность поддержания высокоскоростной пакетной передачи данных при TCP-соединении.
4. Стабильность и время, требуемое для обеспечения данной стабильности.
5. Баланс между всеми представленными метриками производительности.

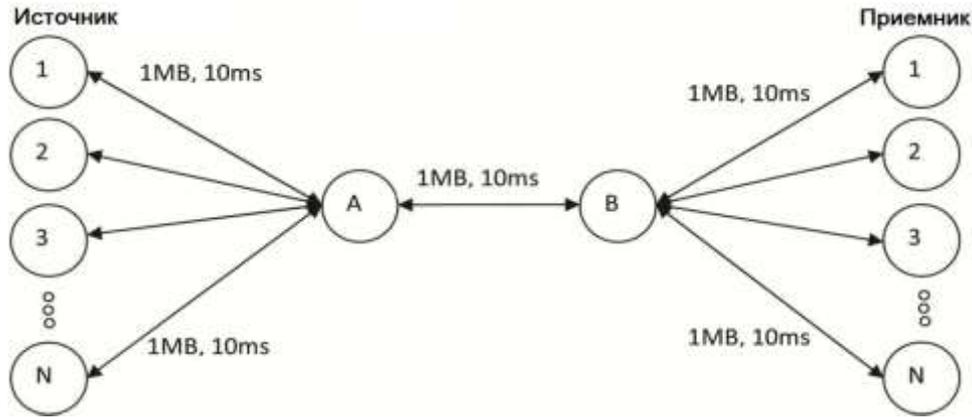


Рисунок 1 – Сетевые сценарии

Результаты и их обсуждение

Интервалы моделирования всех сценариев равнялись 300 с. Показатели производительности каждого контроллера показаны по отношению к изменениям в производительности других контроллеров. Каждый сценарий описывается отдельно в количестве от I до IV в порядке возрастания. Сценарий-I имеет одно FTP-подключение, а все другие сценарии (от II до IV) имеют FTP-подключения равные десятикратным FTP-подключениям их предыдущих сценариев. И в заключении обсуждается общая эффективность всех контроллеров.

1. Сценарий-I. Данный сценарий был создан для запуска и идентификации производительности контроллера при незначительной нагрузке трафика одного FTP-соединения. Поведение всех контроллеров по отношению к пропускной способности, потере пакета и размеру очереди представлено на рис. 2, 3 и 4 соответственно.

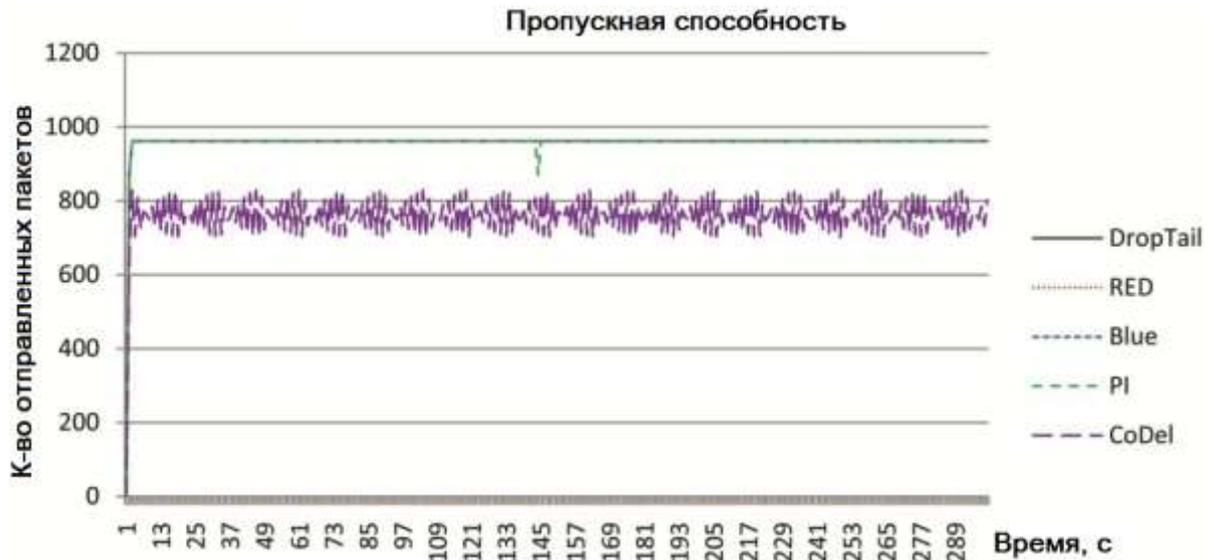


Рисунок 2 – Пропускная способность. Единственное FTP-соединение

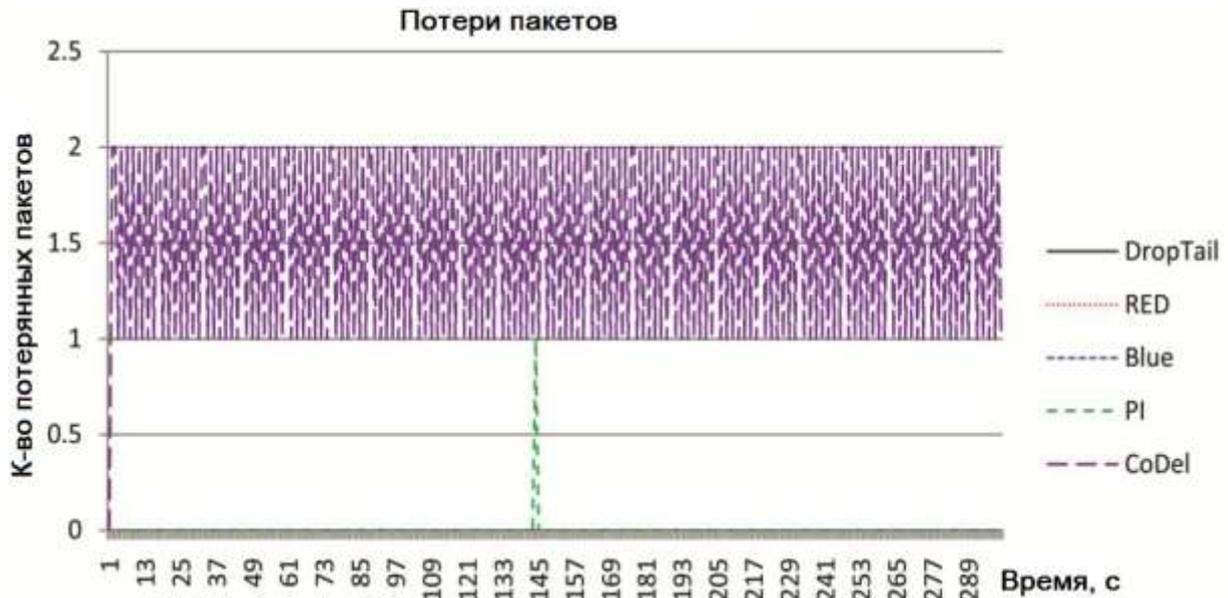


Рисунок 3 – Потери пакетов. Единственное FTP-соединение

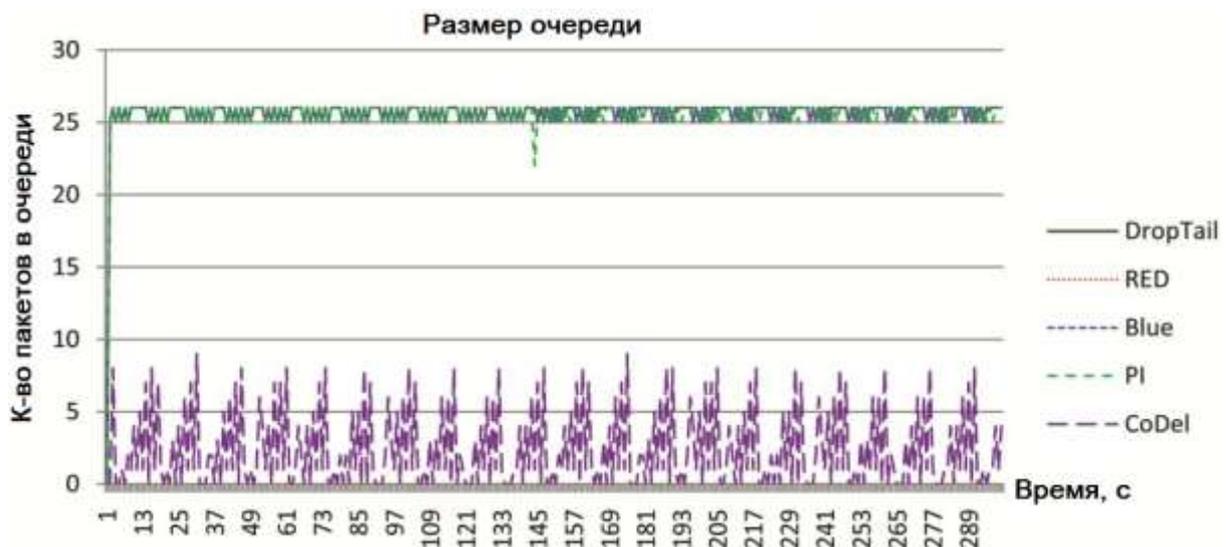


Рисунок 4 – Размер очереди. Единственное FTP-соединение

Практически все контроллеры, за исключением контроллера CoDel, имеют схожие отклики с высокой пропускной способностью, малым размером очереди и очень низкой потерей пакетов. Контроллер CoDel показал наихудшие результаты с точки зрения пропускной способности среди прочих. Его пропускная способность оставалась самой низкой непрерывно на протяжении всего процесса моделирования. Контроллер CoDel пытался поддерживать очень маленький размер очереди и имел самые большие колебания между 0 до 9-ю пакетами против всех других, которые поддерживали размер очереди между 25 до 26 пакетами. Контроллер CoDel имеет самую высокую потерю пакетов – 459 пакетов в общей сложности на протяжении всего процесса моделирования (от 1 до 2 пакетов непрерывно), в сравнении со всеми другими контроллерами с нулевой потерей пакета, за исключением единичной потери пакета контроллером PI приблизительно на 145-й секунде моделирования.

Все другие контроллеры оставались стабильными и могли поддерживать высокоскоростную пакетную передачу данных при ТСР-соединении от начала до конца. Практически все контроллеры пытались максимально увеличивать пропускную способность сети и минимизировать потери пакетов за счет более длительной задержки за исключением контроллера Co Del, который пытался минимизировать задержку за счет более низкой пропускной способности и более высокого показателя потери пакетов.

2. Сценарий-II. В данном сценарии нагрузка сетевого трафика составляла 10 FTP соединений, что также очень немного, но она была в 10 раз больше, чем при предыдущем сценарии. Пропускная способность, потери пакетов и размер очередей всех контроллеров сценария-II представлены на рис. 5-7 соответственно.



Рисунок 5 – Пропускная способность. 10 FTP-соединений



Рисунок 6 – Потери пакетов. 10 FTP-соединений



Рисунок 7 – Размер очереди. 10 FTP-соединений

Возрастающая нагрузка не повлияла на пропускную способность контроллеров. Практически все контроллеры имели одинаковую пропускную способность за исключением контроллера CoDel. По аналогии со сценарием-I CoDel обладал наименьшей пропускной способностью, но при этом более высокой, чем была его собственная пропускная способность в сценарии-I. На протяжении всего процесса моделирования контроллер Drop Tail и Blue-контроллер имели нулевую потерю пакетов, в то время как PI-контроллер и контроллер RED имели ограниченную потерю пакетов в 676 и 1255 пакетов соответственно. Показатель потери пакетов контроллера CoDel составил 29 486 пакетов и продемонстрировал свою низкую производительность с точки зрения потери пакетов.

Контроллер Drop Tail и Blue-контроллер поддерживали самый высокий показатель размера очереди - около 475-и пакетов. PI-контроллер попытался минимизировать ошибку при помощи базисного размера очереди в 200 пакетов. Контроллер RED поддерживал более высокий размер очереди с самым длинным колебанием до 200 секунд и выделил необходимое время (приблизительно 200 секунд) для стабилизации. При этом контроллер CoDel поддерживал наименьший размер очереди.

Контроллер CoDel поддерживал самый низкий размер очереди среди всех контроллеров на протяжении всего моделирования. Изначально у PI-контроллера была длинная очередь с постепенным уменьшением до ее базисной очереди в 200 пакетов. У контроллера Drop Tail имело место самое длинное колебание в своем размере очереди от приблизительно 200 пакетов до максимальной емкости канала в 800 пакетов. Blue-контроллер функционировал лучше, чем контроллер Drop Tail, имеющий очень длинный, но стабильный размер очереди со средней емкостью приблизительно в 200 пакетов с целью поддержания высокоскоростной пакетной передачи данных при TCP-соединении. У контроллера RED наблюдалось аналогичное поведение, сходное с его поведением в сценарии-II. В данном сценарии все контроллеры были способны поддерживать высокоскоростную пакетную передачу данных при TCP-соединении. Blue-контроллер выступал в качестве традиционного контроллера Drop Tail с большим размером очереди, в то время как контроллер CoDel имел самый высокий показатель потери пакетов. Контроллер RED не был стабилен вплоть до показателя в 200 секунд. PI- и RED-контроллеры показали лучшие результаты, чем другие контроллеры с точки зрения сбалансированной производительности.

3. Сценарий-III. В данном случае имела место умеренная ситуация в количестве 100 FTP-подключений. Все контроллеры имели одинаковый отклик с точки зрения пропускной способности. Ответы всех контроллеров с точки зрения пропускной способности, потери пакетов и размера очереди представлены на рис. 8-10 соответственно. Контроллер DropTail показал длинное колебание в потере пакетов на протяжении всего процесса моделирования. Показатель потери пакетов всех контроллеров повышался при увеличении нагрузки на сетевой трафик. Это указывает на то, что показатель потери пакетов прямо пропорционален нагрузке сетевого трафика. В отличие от сценариев-I и II поведение Blue-контроллера было отличным от поведения контроллера отбрасывания пакетов Drop Tail. RED-контроллер имел длинное колебание потери пакетов от 0 до 100 и первые 200 секунд после этого имел низкое колебание с более высоким показателем потерей пакета, чем все остальные, за исключением контроллера CoDel.

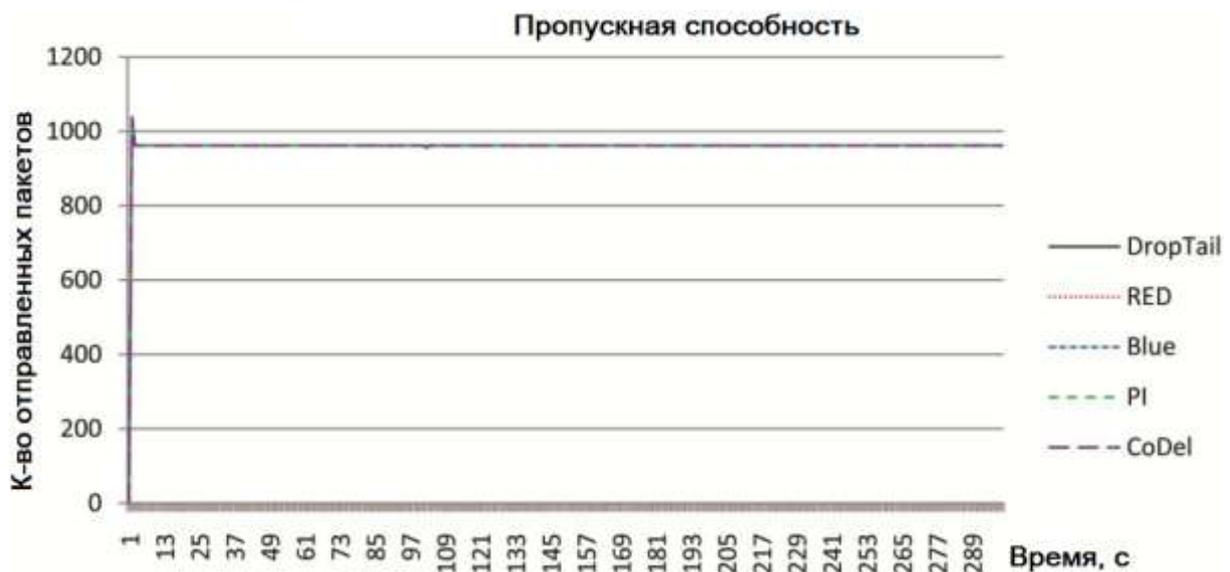


Рисунок 8 – Пропускная способность. 100 FTP-соединений



Рисунок 9 – Потери пакетов. 100 FTP-соединений

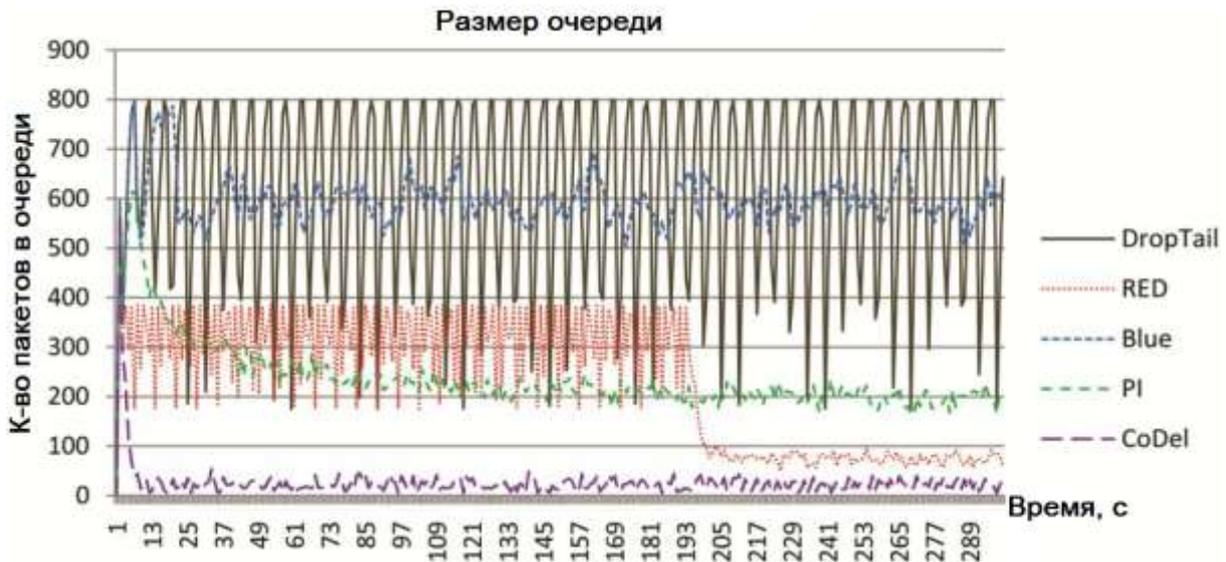


Рисунок 10 – Размер очереди. 100 FTP-соединений

PI-контроллер характеризовался постепенным увеличением потерь пакетов с 0 до 150 пакетов. Контроллеры Drop Tail, RED, Blue, PI и CoDel потеряли 5078, 31512, 6404, 33691 и 85187 пакетов соответственно на протяжении всего периода моделирования. CoDel контроллер имел самые высокие потери пакетов.

Практически все контроллеры обладали способностью поддерживать высокоскоростную пакетную передачу данных при TCP-соединении, за исключением традиционного контроллера отбрасывания пакетов Drop Tail. В данном сценарии была четко представлена проблема полной очереди традиционного контроллера Drop Tail. Blue-контроллер пытался минимизировать потерю пакета в отличие от контроллера CoDel, который пытался минимизировать задержку или RTT.

4. Сценарий-IV. Это последний сценарий с очень высокой сетевой нагрузкой в тысячу FTP-соединений. Зарегистрированное поведение всех выбранных контроллеров с точки зрения пропускной способности, потери пакетов и размера очереди представлено на рис. 11-13 соответственно. Пропускная способность всех контроллеров оставалась одинаковой относительно друг друга. Контроллеры Drop Tail, RED, Blue, PI и CoDel имели потери пакетов в количестве 57,362, 105,500, 96,569, 117,894 и 156,150 соответственно. Сходство было обнаружено в повторяющемся сценарии потери пакетов всех контроллеров, за исключением времени стабильности контроллера RED с низкой потерей пакетов приблизительно в течение начальных 135 секунд и повышенной потерей пакетов приблизительно через 135 секунд.

Контроллер Drop Tail сохранил свой размер очереди при максимальной емкости буфера. Blue-контроллер показал среднюю емкость в 200 пакетов для поддержания высокоскоростной пакетной передачи данных при TCP-соединении. RED-контроллер оказался нестабильным на протяжении всего процесса моделирования, особенно в течение приблизительно первых 135 секунд. Подобно сценарию-III, PI-контроллер попытался уменьшить разницу между своим размером очереди и размером эталонной очереди в 200 пакетов. CoDel поддерживал очень короткий размер очереди независимо от сетевого трафика. Все контроллеры AQM обладали способностью поддерживать высокоскоростную пакетную передачу данных при TCP-соединении, за исключением традиционного контроллера Drop Tail с почти нулевой емкостью для приема TCP-пакетов.

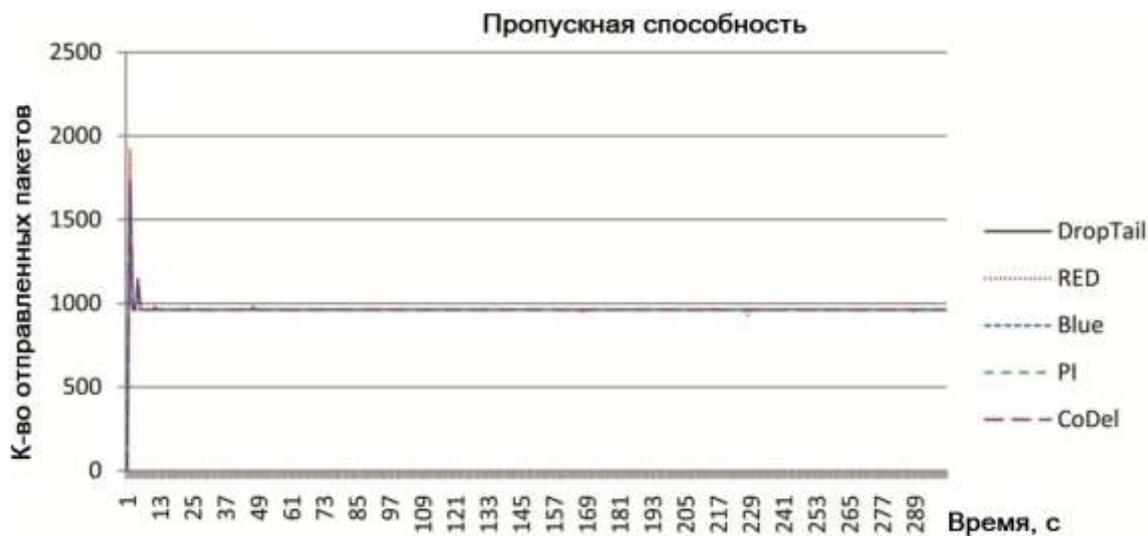


Рисунок 11 – Пропускная способность. 1000 FTP-соединений



Рисунок 12 – Потери пакетов. 1000 FTP-соединений



Рисунок 13 – Размер очереди. 100 FTP-соединений

5. Обзор всех сценариев. DropTail работал, как и другие контроллеры AQM с единственным FTP-соединением, но проблема полной очереди вскрылась при высокой нагрузке сетевого трафика. Blue-контроллер действовал аналогично контроллеру DropTail даже на десяти FTP-соединениях. Blue-контроллер пытался минимизировать потерю пакетов за счет более высокой задержки, но не за счет снижения пропускной способности или поддержки TCP-пакетов. RED-контроллеру требовалось время, чтобы стабилизироваться, но при большой нагрузке сетевого трафика стабильность RED-контроллера была сомнительной. PI-контроллер всегда старался поддерживать свой размер очереди в пределах с эталонной очередью независимо от сетевого трафика, максимальной пропускной способности, минимальной потери пакетов или минимальной задержки.

CoDel-контроллер всего лишь пытался уменьшить задержку или RTT за счет других показателей, а именно за счет увеличения потери пакетов и недозагрузки соединения.

Влияние нагрузки сетевого трафика на производительность сетевых контроллеров можно легко наблюдать в четырех представленных сценариях. Поведение всех контроллеров четко указывало на влияние нагрузки сетевого трафика на их производительность. Полученные результаты показали, что нагрузка на сетевой трафик прямо пропорциональна пропускной способности, потере пакетов и задержке.

Заключение

Практически все контроллеры были разработаны для преодоления определенных проблем. Контроллер DropTail выступал в качестве контроллера по умолчанию для буфера с целью обслуживания пакетов, превышающих пропускную способность канала наряду с рядом хорошо известных проблем. Контроллер RED был разработан для разрешения проблемы полной очереди. В связи с этим его основная задача состояла в отбрасывании пакетов до переполнения буфера. Blue-контроллер использовался для сведения к минимуму потери пакетов и максимального увеличения пропускной способности сети. Данный контроллер нацелен на определенные параметры, но как правило за счет более высокого показателя задержки. PI-контроллер был реализован для поддержания размера очереди в пределах ее эталонных значений с минимальной погрешностью. Именно поэтому данный контроллер пытался уменьшить погрешность или разницу между размером актуальной и эталонной очереди игнорируя остальные параметры сети. Контроллер CoDel был разработан только для минимизации задержки или RTT как правило за счет остальных параметров сети, таких как использование канала, потеря пакетов и т.д. Все вышеизложенное безусловно требует дальнейших исследований в данной области для внедрения AQM, который быстро стабилизирует и выдает наилучшую производительность при быстром изменении и непредсказуемой нагрузке сетевого трафика, а также других изменяющихся параметрах в рамках широкого диапазона показателей производительности.

Таким образом, проведено исследование эффективности различных алгоритмов управления для обеспечения защиты очередей от перегрузок в системах резервирования ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hollot C.V., Misra V., Towsley D., Gong W.-B. A control theoretic analysis of RED. *Proc. IEEE INFOCOM Conf. on Computer Communications Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Society Cat No01CH37213*. 2001;3(2):1510-1519.

2. Jacobson V. Congestion avoidance and control. *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 1988;18(4):314-329.
3. Sundararajan J.K., Zhao F., Youssef-Massaad P., Medard M. A modification to RED AQM for CIOQ switches. *IEEE Global Telecommunications Conf. GLOBECOM 04.* 2004;3:1708–1712.
4. Floyd S., Jacobson V. Random early detection gateways for congestion avoidance. *IEEE/ACM Trans. Netw.* 1993;1(4):397-413.
5. Ramakrishna B.B., Prashant A., Shrinivasa D.M.D. A Survey on New Load Based Active Queue Management Mechanisms. *ijser.org.* 2012;3(10):1-4.
6. Feng W., Shin K.G., Kandlur D.D., Saha D. The BLUE active queue management algorithms. *IEEE/ACM Trans. Netw.* 2002;10(4):513-528.
7. Feng W., Kandlur D., Saha D., Shin K. BLUE: A new class of active queue management algorithms. *Ann Arbor;* 1999. p. 1-27.
8. Hollot C.V., Misra V., Towsley D., Gong W.-B. On designing improved controllers for AQM routers supporting TCP flows. *INFOCOM Twentieth Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies, IEEE.* 2001;3:1726-1734.
9. Høiland-Jørgensen T. Battling Bufferbloat: An experimental comparison of four approaches to queue management in Linux. *Tech. Rep., Roskilde University, Roskilde, Denmark;* 2012.
10. Nichols K., Jacobson V. Controlling queue delay. *Communications of the ACM.* 2012;55(7):42-50.
11. Floyd S., Gummadi R., Shenker S. Adaptive RED: An algorithm for increasing the robustness of RED's active queue management. 2001. Available by: <https://www.icir.org/floyd/papers/adaptiveRed.pdf>.

REFERENCES

1. Hollot C.V., Misra V., Towsley D., Gong W.-B. A control theoretic analysis of RED. *Proc. IEEE INFOCOM Conf. on Computer Communications Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Society Cat No01CH37213.* 2001;3(2):1510-1519.
2. Jacobson V. Congestion avoidance and control. *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 1988;18(4):314-329.
3. Sundararajan J.K., Zhao F., Youssef-Massaad P., Medard M. A modification to RED AQM for CIOQ switches. *IEEE Global Telecommunications Conf. GLOBECOM 04.* 2004;3:1708–1712.
4. Floyd S., Jacobson V. Random early detection gateways for congestion avoidance. *IEEE/ACM Trans. Netw.* 1993;1(4):397-413.
5. Ramakrishna B.B., Prashant A., Shrinivasa D.M.D. A Survey on New Load Based Active Queue Management Mechanisms. *ijser.org.* 2012;3(10):1-4.
6. Feng W., Shin K.G., Kandlur D.D., Saha D. The BLUE active queue management algorithms. *IEEE/ACM Trans. Netw.* 2002;10(4):513-528.
7. Feng W., Kandlur D., Saha D., Shin K. BLUE: A new class of active queue management algorithms. *Ann Arbor;* 1999. p. 1-27.
8. Hollot C.V., Misra V., Towsley D., Gong W.-B. On designing improved controllers for AQM routers supporting TCP flows. *INFOCOM Twentieth Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies, IEEE.* 2001;3:1726-1734.
9. Høiland-Jørgensen T. Battling Bufferbloat: An experimental comparison of four approaches to queue management in Linux. *Tech. Rep., Roskilde University, Roskilde, Denmark;* 2012.

10. Nichols K., Jacobson V. Controlling queue delay. *Communications of the ACM*. 2012;55(7):42-50.
11. Floyd S., Gummadi R., Shenker S. Adaptive RED: An algorithm for increasing the robustness of RED's active queue management. 2001. Available by: <https://www.icir.org/floyd/papers/adaptiveRed.pdf>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Алькади Усама, аспирант, ФБГОУ ВПО **Osama Alkaadi**, graduate student, Voronezh Воронежский государственный университет, State University, Voronezh, Russian Federation. г. Воронеж, Российская Федерация.