МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ СЕТЕВЫХ ПОТОКОВ С РАЗНЫМ ПРИОРИТЕТОМ

В. М. Антонова, А. Д. Реброва

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Статья поступила в редакцию 19 ноября 2019 г.

Аннотация. В статье предложен метод коммутации двух потоков трафика с разными приоритетами при дисциплине обслуживания с потерями. За основу взята модель графового представления ресурсной сети, в которой трафик представляется как абстрактная жидкость, переносимая потоками от вершины к вершине. Одна из проблем, которую можно рассмотреть на подобной модели, – проблема регулирования скоростей на участках с разной пропускной способностью, что приводит к потерям трафика в системе. В данной статье задача разделения потоков между вершинами с разной степенью достижимости решается алгоритмом дырявого ведра, а за целевую величину, которую необходимо уменьшить с помощью предложенного алгоритма, взяты общие потери в системе.

Ключевые слова: потоки на сети, алгоритм «дырявого ведра».

Abstract. The article proposes a method of switching two traffic flows with different priorities in the discipline of lossy service. It is based on the model of graph representation of the resource network, in which traffic is represented as an abstract fluid, carried by flows from top to top. One of the problems that can be considered on such a model is the problem of speed regulation on sections with different capacity, which leads to traffic losses in the system. In this article, the problem of separating flows between vertices with different degrees of reachability is solved by the leaky bucket algorithm, and the total losses in the system are taken as the target value, which must be reduced with the help of the proposed algorithm.

Keywords: flows on a network, leaky bucket algorithm.

1. Описание графового представления ресурсной сети

В работе «Потоки в ресурсных сетях с нестандартной достижимостью» [1] описано, как ресурсную сеть можно представить графом с вершинами, каждая из которых описывается неотрицательным числом, равным значению так называемого ресурса в этой вершине. Такие вершины соединяются дугами, одна дуга может соединить две вершины, причем для каждой дуги задано постоянное число, определяющее ее пропускную способность.

В данной статье будем представлять ресурс как нечто, переносимое потоками, и опишем, как можно справиться с перегрузками в сетях с подобным устройством с помощью алгоритма дырявого ведра. Для начала подробнее опишем представление сети.

В описываемой модели сети нет истоков и стоков, сумма ресурса во всех вершинах одинакова, но меняется в каждой отдельной вершине с дискретно меняющимся временем.

Рассмотрим графы с двумя видами достижимости: магнитным и вентильным.

Когда речь идет о графе с магнитной достижимостью, поток представляется набором дуг, составляющих путь по графу, причем каждая дуга считается столько раз, сколько она встретилась в пути. Дуги обладают намагниченностью, и, проходя по ним, поток накапливает ее и после прохождения k-вершин, если намагниченность больше определенного уровня, идет только по намагниченной вершине, что может перегрузить как одно из ребер графа, так и всю сеть.

Для графа вентильной достижимости основной идеей является то, что дуги делятся на множества и при прохождении дуги из одного множества поток ресурса не может пройти дальше по дуге из этого же множества и должен идти по дуге из другого множества, то есть проход по дуге из одного множества открывает для потока пути по дугам из другого множества, использование таких моделей для трафика данных может как разгрузить сеть передачи данных, так и сильно ее забить. Все будет сводиться к правильному делению дуг на множества.

Задачи, например, поиск кратчайшего пути, на графах с магнитной и вентильной типами достижимости решаются с помощью построения вспомогательных графов, которые имеют больше вершин и, соответственно дуг, но при этом каждый путь из первоначального графа можно однозначно соотнести с определенным путем из вспомогательного.

2. Постановка оптимизационной задачи

Возьмем две вершины, через которые проходят два потока через фиксированный интервал времени. Размер пакетов также будет фиксирован для упрощения задачи. В системе будут организованы буферы с отказом в случае переполнения, также из системы будут «слиты» устаревшие пакеты (Рисунок 1).

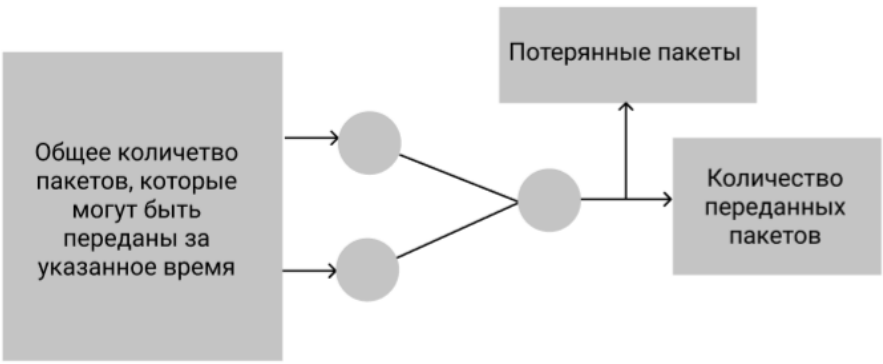

Рис. 1. Схема потока пакетов в системе.

Условия оптимизационной задачи: при известных константах, регулирующих начальные потоки трафика, найти такие параметры системы, которые при наименьших потерях будут обеспечивать нужную среднюю скорость передачи. Конкретные константы и целевую переменную задачи рассмотрим ниже после описания выбранных для моделирования алгоритмов.

3. Алгоритм «Дырявого Ведра». Ведра с «маркерами»

Алгоритм «Дырявого Ведра» был предложен Тернером в 1986 году и с тех пор нашел применение в самых разных сферах анализа процессов [2].

В применении к ресурсной сети этот алгоритм позволяет обеспечить безопасность системы. Например, в случае, когда один участок сети обеспечивает меньшую скорость, чем другой, соединенный с ним. В таком случае устройства, работающие по алгоритму «дырявого ведра», помещаются между двумя участками и регулируют скорость исходящего потока (V1 на Рисунке 2), задерживая его передачу (скорость, с которой «ведро» пропускает жидкость V2 на Рисунке 2) для уменьшения средней скорости до требуемой в подсистеме (V3 на Рисунке 2).

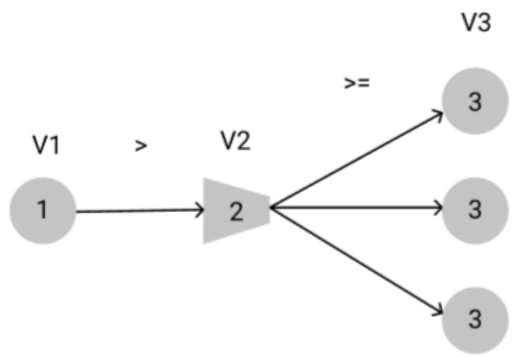

Рис. 2. Ограничение скорости в системе с помощью дырявого ведра.
V1,V2,V3 – скорости на разных участках системы.

Организуем два потока трафика, один из которых будет обладать приоритетом над другим, для этого будем использовать алгоритм «Дырявого Ведра» с маркерами.

Данные системы используют следующую абстракцию: абстрактная жидкость (поток данных) попадает в «ведро» с различной скоростью и покидает его с меньшей фиксированной скоростью. Причем при переполнении ведра жидкость выливается, применительно к пакетной передаче это означает, что пакеты, которые не дождались обработки из-за маленькой скорости канала на выходе, уничтожаются, в случае, когда ведро оказывается пустым, скорость выхода жидкости становится равной нулю. В проекции на наш случай существует буфер, иными словами, фиксированная очередь с отказом, которая обрабатывается с заданной скоростью.

Также существует «ведро» с «маркерами» или «метками», как их еще называют. В такое «ведро» с заданной скоростью поступают маркеры и определенные объемы абстрактной жидкости, причем маркеры – это своего рода «талоны» для жидкости на выход. Сколько «маркером» или «талонов» в данный момент в ведре, столько единиц жидкости может выйти, остальной объем находится в ожидании. В таком типе «ведра» также есть фиксированный объем, и, если он заполнен, новые единицы жидкости «выливаются». В таком случае мы получаем ту же простую очередь, но теперь скорость выхода зависит от скорости прибытия «маркеров» и количестве вытекающей жидкости разбивается на блоки определенных размеров (Рисунок 3).

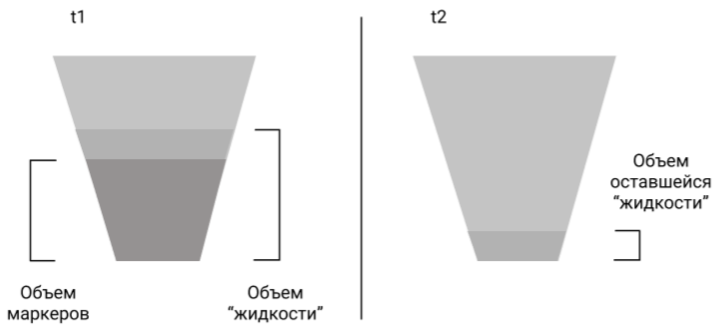

Рис. 3. Ведро с «маркерами». t1, t2 – два последовательных момента времени от начала работы системы.

4. Описание моделирования

Пусть имеется два источника пакетов, один из них генерирует пакеты с более высокой приоритетностью. Из каждого из двух источников трафик будет втекать в соответствующее «ведро» с маркерами, причем пакеты с большей приоритетностью будут попадать в «ведро», где скорость поступления маркеров больше. Из двух «ведер» пакеты будут сливаться в одно «ведро» с фиксированной скоростью выхода пакетов [3].

Таблица 1. Известные константы.

Смысл константы	Интервал, через который приоритетный источник генерирует пакеты	Интервал, через который неприоритетный источник генерирует пакеты	Размер приоритетного пакета	Размер неприоритетного пакета	Средняя скорость выхода пакетов из ведра без маркеров	Время работы системы
Обозначение	t11	t12	S1	S2	V3	T

Таблица 2.Неизвестные переменные.

Смысл константы	Скорость поступления маркеров в «ведро» с приоритетом	Скорость поступления маркеров в «ведро» без приоритета	Размер буфера маркерного «ведра» с приоритетом	Размер буфера маркерного «ведра» с приоритетом	Размер буфера обычного«ведра»
Обозначение	V21	V22	C11	C12	C2

Задача заключается в том, чтобы, зная константы в Таблице 1, найти такие значения переменных из Таблицы 2, при которых количество потерянных пакетов или пакетов, получивших отказ в очереди, - в сумме L, количество необслуженных пакетов, - должно стремиться к минимуму [4].

Схема, на основе которой будет строиться моделирование [5], представлена на Рисунке 4.

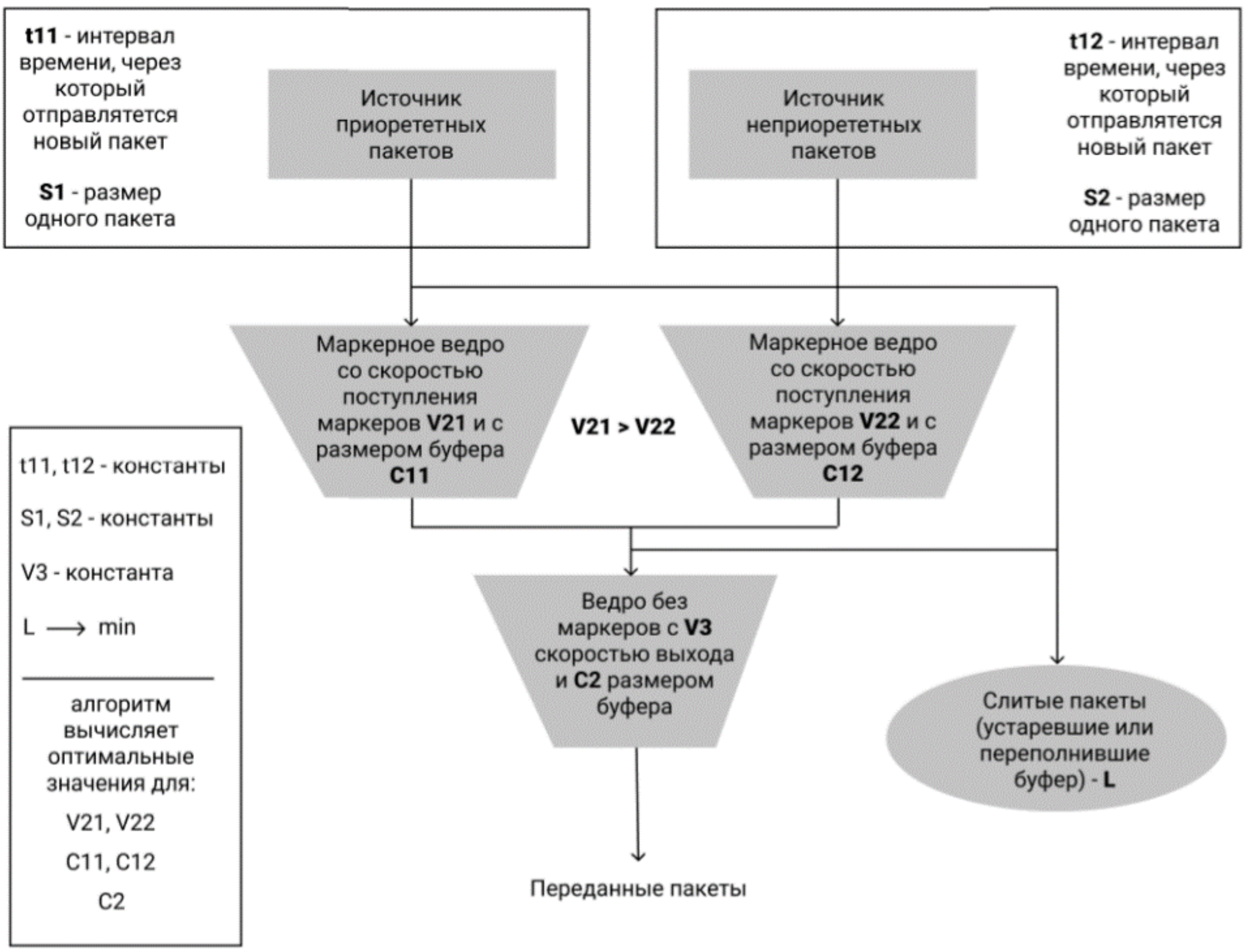

Рис. 4. Схема модели.

Произведем расчеты зависимости L потерь байтов от неизвестных величин.

$$V_{11} = S_1/t_{11} \qquad (1)$$

(1) – скорость потока пакетов из источника с приоритетом;

$$V_{12} = S_2/t_{12} \qquad (2)$$

(2) – скорость потока пакетов из источника без приоритета;

$$t_{заполнения\ 1} = C_{11}/(V_{11} - V_{21}) \qquad (3)$$

(3) – время заполнения ведра с приоритетным потоком;

$$t_{заполнения\ 2} = C_{12}/(V_{12} - V_{22}) \qquad (4)$$

(4) – время заполнения ведра с потоком без приоритета;

$$t_{заполнения\ 3} = C_2/(V_{21} + V_{22} - V_3) \qquad (5)$$

(5) – время заполнения последнего ведра;

$$L_1 = (T - t_{заполнения\ 1}) * (V_{11} - V_{21}) - C_{11} \qquad (6)$$

(6)–потери из ведра с приоритетом за время работы системы;

$$L_2 = (T - t_{заполнения\ 2}) * (V_{12} - V_{22}) - C_{12} \qquad (7)$$

(7) –потери из ведра с приоритетом за время работы системы;

$$L_3 = (T - t_{заполнения\ 3}) * (V_{21} + V_{22} - V_3) - C_2 \qquad (8)$$

(8)–потери из ведра с приоритетом за время работы системы;

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \qquad (9)$$

Проведя подстановку переменных, приходим к следующей зависимости целевой величины от заданных констант и искомых переменных:

$$\mathbf{L = T * (S_1/t_{11} + S_2/t_{12} - V_3) - 2 * (C_{11} + C_{12} + C_2)} \qquad (10)$$

Выведенная формула позволяет рассчитать зависимость потерь от разницы скоростей между вторым и третьим уровнем систему (V11 + V12 - V3) и суммарным объемом очередей (C1 + C2 + C3). Время работы системы (T) возьмем 600 секунд. Результаты графического отображения такой зависимости представлены на Диаграмме 1.

На Диаграмме 1 видно, что потери равны 0 при объеме очереди 3000Мб и разницы в скоростях 10Мб/с.

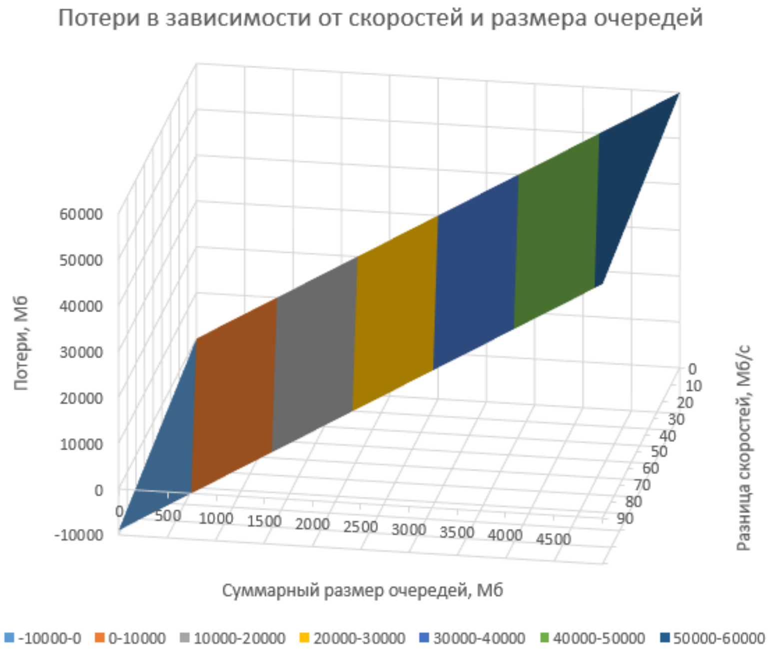

Диаграмма 1. Потери в зависимости от объема очередей и разницы скоростей обработки пакетов.

Так как значение T * (S_1/t_{11} + S_2/t_{12} - V_3) в формуле (10) вычисляется из заданных значений, будем считать его константным при решении конкретного случая. Переменные V_{21} и V_{22} при расчетах сократились, поэтому они не влияют на модель, от других переменных потери зависят линейно. Получается, что модель работает без потерь (L = 0) в случае, когда:

$$C_{11} + C_{12} + C_2 = T * (S_1/t_{11} + S_2/t_{12} - V_3)/2 \qquad (11)$$

Используя эту формулу, можно создать программную реализацию алгоритма, с помощью которой можно будет определять оптимальный размер очередей (C_{11}, C_{12}, C_2) на участках с подобным строением.

5. Дальнейшая реализация модели

В данной модели представлен простейший вид системы, он является примером минимальной реализации маршрутизатора, работающего с двумя разными потоками.

Данную модель можно усложнить, добавив в формулы вычисляемые неопределенности – например, непостоянный размер пакетов (его минимальное и максимальное значение) или меняющийся интервал генерации (минимальный и максимальный интервал генерации новых пакетов).

Также можно добавить в модель время жизни пакетов, что приблизит ее к реальному процессу. Можно увеличивать количество ведер и делать из них более сложные комбинации, изучая более сложные системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ №19-07-00525 А.

Литература

1. Абдулрахман Х. Потоки в ресурсных сетях с нестандартной достижимостью // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Федеральное Государственное Автономное Учреждение Высшего Образования «Южный Федеральный Университет». Ростов-на-Дону, 2019.
2. Таненбаум Э. Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2003. 992 с. ISBN 5-318-00492-X.
3. Абонентские сети доступа и технологии высокоскоростных сетей. Лекция 7: Управление трафиком [электронный ресурс]. URL: http://struk.narod.ru/CNAT/cnat_7.html (Дата обращения 26.10.2019).
4. Сайт Национального открытого университета «ИНТУИТ» [электронный ресурс]. URL: https://www.intuit.ru/studies/courses/986/212/info (Дата обращения 26.10.2019)
5. Алгоритмы для NP-трудных задач. Лекция 5: Приближенные алгоритмы. [электронный ресурс]. URL: https://logic.pdmi.ras.ru/seminars/logic-seminar/2018-09-06. Математический институт им. Стеклова, Санкт-Петергбург. (Дата обращения 26.10.2019)

Для цитирования:
Антонова В.М., Реброва А.Д. Моделирование соединения сетевых потоков с разным приоритетом. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2019. № 11. Режим доступа: http://jre.cplire.ru/jre/nov19/17/text.pdf. DOI 10.30898/1684-1719.2019.11.17