

ПРИМЕНЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-1-13-20

Гадасин Денис Вадимович,
Московский технический университет связи и
информатики, Москва, Россия, denadiplom@mail.ru

Manuscript received 25 November 2023;
Accepted 10 December 2023

Шведов Андрей Вячеславович,
Московский технический университет связи и
информатики, Москва, Россия, denadiplom@mail.ru

Ключевые слова: нечеткость, транспортная задача,
балансировка, кластеризация

Структура модели ISO/OSI не позволяет произвести выбор оптимального маршрута передачи пакетов на канальном уровне и предотвратить образование кольцевых маршрутов. Данные функции выполняет сетевой уровень. В общем случае задачу маршрутизации пакетов решает коммутатор исходя из алгоритма маршрутизации, который содержит в себе скрытый механизм "флудинга". Пакет от коммутатора отправителя посылается во все порты, за исключением того порта, в который данный пакет поступил. При поступлении пакета коммутатор анализирует заголовок и если адрес в заголовке совпадает с адресом, которому принадлежит коммутатор то пакет принимается. Данная ситуация в совокупности с неравномерностью отправки сообщения создает повышенную нагрузку на коммутирующие устройства в случайные моменты времени и определяет проблему распределения потока входных данных в условиях пульсирующего трафика. Пульсирующий трафик можно рассматривать как нечеткость, лежащую в определенных границах. Для сглаживания трафика возможно применять кластеры коммутационных устройств, которые в свою очередь рассматриваются как исходящие устройства для следующего уровня кластеров. Таким образом, для распределения нагрузки возможно применить алгоритм распределения потоков, применяемый при решении транспортной задачи.

Информация об авторах:

Гадасин Денис Вадимович, к.т.н., доцент, доцент кафедры СИТиС, МТУСИ, Россия

Шведов Андрей Вячеславович, старший преподаватель кафедры СИТиС, МТУСИ, Россия

Для цитирования:

Гадасин Д.В., Шведов А.В. Применение транспортной задачи для балансировки нагрузки в условиях нечеткости исходных данных // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18. №1. С. 13-20.

For citation:

Gadasin D.V., Schvedov A.V. (2024) Application of a transport task for load balancing in conditions of source data fuzziness. T-Comm, vol. 18, no.1, pp. 13-20. (in Russian)

Введение

В модели ISO/OSI на канальном уровне отсутствует функция как выбора оптимального пути передачи пакетов, так и соответственно функция предотвращения закольцовывания маршрута. Разрешение данных проблем в семиуровневой модели передачи сообщений выполняет сетевой уровень. Основная задача, которая должна быть реализована в сети это поиск кратчайшего маршрута между двумя произвольными узлами, где один узел является отправителем, а другой получателем. Маршрут может проходить как через разные подсети, так и сегменты. В случае сегментной маршрутизации, внутри сегмента, сегмент гарантирует определенные параметры качества, а поиск маршрута рассмотрен в [1, 2].

В следствии того, что технология Ethernet реализована на канальном уровне то соответственно она так же не обладает функциями выбора оптимального маршрута и исключения закольцовываний. Поэтому, вместо предварительного вычисления пути, по адресу назначения, который указывается во входящем пакете Ethernet-коммутатор посылает его во все порты, за исключением того порта, в который данный пакет пришел. При поступлении пакета коммутатор анализирует заголовок и если адрес в заголовке совпадает с адресом, которому принадлежит коммутатор то пакет принимается. Данный процесс очень схож с процессом, получившим название флудинг, так как пакет передается во все порты (рис. 1).

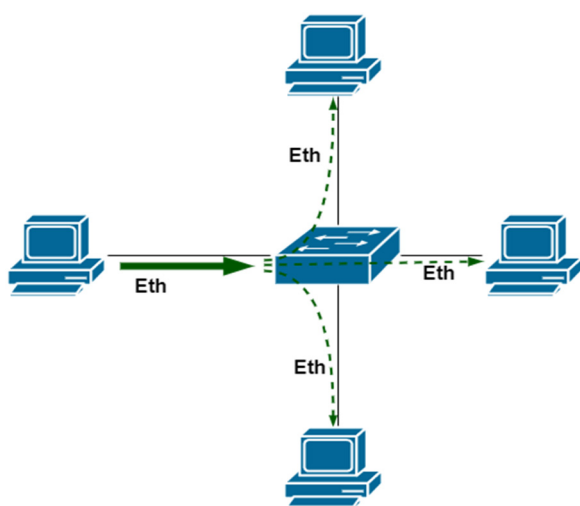


Рис. 1. Процесс флудинга

Для предотвращения ситуации с неконтролируемой рассылкой пакетов коммутатор имеет возможность проводить анализ MAC-адресов исходя из информации, которая содержится во входящих пакетах и записывать в таблицу маршрутизации, определенный MAC-адрес закрепляется за определенным портом. Применяя такой подход для процесса изучения MAC-адресов коммутатор имеет возможность посылать кадры только в нужные порты.

В настоящее время поверх Ethernet трафика часто передается какой-либо другой трафик, например, IP-трафик. При передаче такого вида трафика так же существуют специальные широковещательные кадры, что соответственно ведет к передаче пакета на все порты. Таким образом, флудинг, копирование кадра во все возможные выходные порты, присущ технологии Ethernet и является неотъемлемой частью процесса

коммутации, что неминуемо приводит к росту нагрузки на узлы коммутации и соответственно к снижению параметров качества передачи пакетов. Одним из способов предотвращения флудинга и повышения качества связи в информационных системах является их интеграция с системами интеллектуального тестирования, что рассмотрено в [3].

Из флудинговой ситуации возможно развитие такого явления как бродкастовый (широковещательный) шторм. Широковещательный шторм возникает тогда, когда в сети возможно закольцовывание маршрута, в данном случае, кадр, который уже поступал на вход коммутатора и коммутатор успешно его «расфлудил» опять же поступает на вход коммутатора (рис. 2). Данная ситуация приводит к максимальной загрузке всех устройств в сети, а именно процессоров этих устройств.

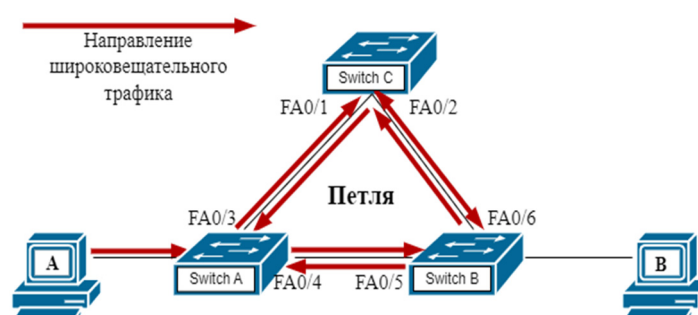


Рис. 2. Широковещательный шторм

Самый простой способ избежать широковещательного шторма – уменьшить количество соединений, оставив только самые необходимые, тем самым снизить возможность образования колец. Однако, понижая количество физических линий, уменьшается как избыточность, так и возможность резервирования и автоматического переключения при отказах, т.е. снижается надежность сети (один из основных параметров QoS).

Повысить надежность сети возможно при помощи внедрения технологий виртуализации и перехода к технологиям туманных вычислений, где возможно более правильно и точно обеспечить маршрутизацию пакетов [4], или применяя алгоритмы и модели кластеризации, что рассмотрено в [5-6], или путем использования технологии Spanning Tree, которая производит поиск циклов в топологии и в случае их обнаружения производит принудительный разрыв путем блокировки отдельных соединений в определенный временной отрезок. Несмотря на преимущества, которые предоставляет технология Spanning Tree ее применение ведет к усложнению процесса коммутации.

Решение данной проблемы лежит в объединении соединений («линков») в агрегированные группы LAG. Два коммутационных устройства, которые работают на уровне не ниже второго соединяются между собой парной линией. После чего производится настройка этих устройств таким образом, что данное соединение рассматривается как один «линк» по двум схемам соединения:

1. «Активный-активный», наиболее часто используемая. При данной схеме соединения трафик передается по двум линиям одновременно, при этом необходимо проводить балансировку нагрузки.

2. «Активный-пассивный». Данная схема соединения позволяет повысить надежность самого соединения, так как в случае выхода из строя основного соединения происходит переключение на резервный.

Основной недостаток данного решения в том, что две линии с каждой из сторон должны быть подключены к одному коммутирующему устройству, так как в противном случае как минимум могут возникать ошибки из-за постоянного обновления таблицы с MAC-адресами, а как максимум появляться кольцевые маршруты.

На следующем шаге происходит логическое объединение коммутаторов (рис. 3), т.е. несколько физических устройств объединяются в одно логическое путем их кластеризации, что позволяет агрегировать первичные данные и консолидировать информацию, порождая их интерпретацию с последующей переработкой этой информации [7]. Преимущество, которое дает кластеризация и которое очевидно – это упрощение управления и маршрутизации, так как одним устройством, пусть и логическим, управлять проще чем системой взаимосвязанных устройств. Основным преимуществом кластеризации является сокращение транзитных узлов, которые присутствуют в топологии сети с одновременным сохранением резервирования физических устройств, а также возможность объединения в агрегированные группы портов устройств, которые находятся на разных физических устройствах кластера, что позволяет организовать соединение коммутатора уровня доступа с несколькими устройствами агрегации. Также возможно организовать соединение устройств агрегации с ядром или магистралью.

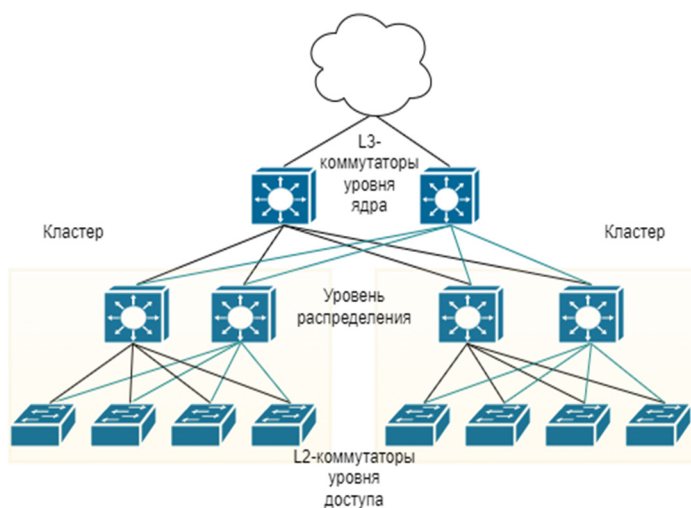


Рис. 3. Кластеризация коммутаторов

Уменьшение количества устройств при кластеризации не ведет к уменьшению нагрузки, которая приходится на кластер. Таким образом стоит задача балансировки (перебалансировки) поступающей нагрузки.

Транспортная задача для балансировки нагрузки.

Сеть передачи информации, в которой присутствуют кластеры коммутаторов и группы агрегированных каналов во многом напоминает транспортную сеть, а информация, которая передается по каналам связи схожа с грузами, которые перемещаются из одного склада в другой по дорогам общего

пользования. Тогда стоимости перемещения груза из транспортной сети можно поставить в соответствие параметры QoS сети передачи данных, а задачу балансировки нагрузки на отдельных уровнях сети возможно свести к решению транспортной задачи.

Для задачи балансировки возможно использовать модель Бэкмана [8], но основным фактор, определяющий решение такой задачи, это применение оптимизационных алгоритмов, позволяющих находить наилучшие решения в условиях ограниченности ресурсов. Данный тип задач относится к транспортным задачам, для решения которых возможно применять методы линейного программирования [9].

Реализация транспортной задачи в концепции кластеризации предполагает учет стоимости на передачу информации с коммутатора одного уровня на коммутатор другого уровня, где под стоимостью понимается приоритетный показатель сети, который должен быть учтен при передаче, например, время передачи или скорость. Таким образом, решенной задачей балансировки оказывается после составления такого плана, при котором вся информация будет передана с конечных устройств в узлы обработки, а общая стоимость передачи окажется минимальной, что соответствует решению задачи оптимизации на сетях и графах [10].

В соответствии с тем, что сеть состоит из узлов и каналов, которые связывают эти узлы и обладают определенными характеристиками, то канал определяется через переменную x_{ij} , а стоимость передачи через переменную a_{ij} , где i и j определяют исходящий и входящий узел соответственно. По каналу связи может передаваться любое количество информации, ограниченное лишь пропускной способностью данного канала. Тогда в каждый конкретный момент времени в сети может находиться количество информации $Z = (z_1, z_2, \dots, z_k)$, в которой

$$z_l = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot x_{ij}$$

переменные n и m определяют количество исходящих и входящих узлов соответственно, тогда решением задачи будет являться функция вида

$$f(Z) = \min \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot x_{ij} \right)$$

Исходящий и входящий узел имеет ограниченную пропускную способность b . Поэтому из исходящего узла не может быть передано информации больше, чем:

$$a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + \dots + a_{1n}x_{1n} = b_1^{ucx}$$

...

$$a_{m1}x_{m1} + a_{m2}x_{m2} + \dots + a_{mn}x_{mn} = b_m^{ucx}$$

Во входящем узле, если запрещена буферизация и создание очередей, не может быть принято и обработано информации больше, чем:

$$a_{11}x_{11} + a_{21}x_{21} + \dots + a_{n1}x_{n1} = b_1^{6x}$$

...

$$a_{n1}x_{n1} + a_{n2}x_{n2} + \dots + a_{nm}x_{nm} = b_m^{6x}$$

Тогда решением задачи будет система вида:

$$f(Z) = \begin{cases} \min \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} \cdot x_{ij} \right) \\ a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + \dots + a_{1n}x_{1n} = b_1^{ucx} \\ \dots \\ a_{m1}x_{m1} + a_{m2}x_{m2} + \dots + a_{mn}x_{mn} = b_n^{ucx} \\ a_{11}x_{11} + a_{21}x_{21} + \dots + a_{n1}x_{n1} = b_1^{ex} \\ \dots \\ a_{n1}x_{n1} + a_{n2}x_{n2} + \dots + a_{nm}x_{nm} = b_m^{ex} \\ a_{ij} \geq 0 \\ i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, m \end{cases}$$

Количество уравнений в данной системе зависит от того, является ли задача сбалансированной или нет. Сбалансированной задачей является та, где суммарная мощность узлов передачи совпадает с суммарной мощностью узлов, в которых производится обработка информации. В противном случае задача считается несбалансированной. Для упрощения решения несбалансированной задачи ее приводят к сбалансированной путем ввода фиктивных каналов с нулевой стоимостью. Для сбалансированной задачи количество уравнений определяется числом $m+n-1$.

Такой вид задач можно решить с помощью методов линейного программирования, но исходя из того, что в задаче присутствуют особенности ограничения структуры, ее часто решают с помощью метода потенциалов или ss-метода. Для решения на первом этапе производится построение двух матриц размерность m на n .

В первой матрице отражаются стоимости каналов передачи между узлами, а вторая матрица определяет начальное базовое решение и строится методом северо-западного угла. Построение ведут по правилу «слева-направо, сверху-вниз». Таким образом, начальной клеткой, в которую заносят информацию, является крайняя верхняя левая. В эту клетку заносят число, которое соответствует минимальному из двух чисел – что максимум может передать первый исходящий узел и что максимум может принять первый входящий узел. Если выбранное число соответствует максимуму приема, то остальные значения в первом столбце будут равны нулю, при этом количество информации, которое может быть передано из первого узла уменьшается на это число и происходит переход к следующей клетке, где снова производится сравнение.

Так происходит до тех пор, пока минимальным из двух чисел не станет число, соответствующее количеству входной информации. После этого происходит переход на следующую строку в клетку, значение которой еще не определено в соответствии с правилом «слева-направо, сверху-вниз». После того как матрица будет заполнена и в соответствии с тем, что задача сбалансированная, число заполненных ячеек равно $m+n-1$. Расчет целевой функции производится путем последовательного сложения произведений ячейки матрицы стоимости на соответствующую ячейку матрицы опорного плана.

Далее строится новый опорный план в соответствии с выбранным методом и высчитывается значение функции распределения. В итоге получается опорный план, функция распределения которого минимальна, данный план и берется за основу при распределении нагрузки между узлами в сети с кластеризацией коммутаторов и агрегированием каналов.

Балансировка нагрузки в условиях пульсирующего трафика

В сетях с коммутацией пакетов невозможно точно предсказать время передачи одного сообщения от отправителя до получателя, в связи с тем, что если размер сообщения превышает максимальную величину пакета, которую допускает технология, применяемая в сети, то исходное сообщение может упаковываться более чем в один пакет, которые передаются в сеть. В связи с тем, что маршрутизация производится для каждого отдельного пакета, в зависимости от состояния сети, то пакеты до узла назначения могут передаваться разными маршрутами.

В свою очередь, заранее неизвестно сколько отправителей отправят сообщение в определенный момент времени, поэтому трафик, который проходит через узел коммутации характеризуется неравномерностью поступления, пульсацией. Уровень пульсации зависит как от алгоритмов, которые применяются на выходе устройства для кодирования отдельного пакета так и от количества транзитных участков, которые определяют маршрут передачи.

Исходя из этого точные характеристики трафика определяются в каждый конкретный момент времени и если каждый раз производить балансировку трафика, то коммутирующее устройство большую часть времени будет простаивать, т.к. оно будет отведено на переконфигурацию сетевых устройств, в таких случаях необходимо разработать модель балансировки в условиях нечетких динамических систем [11].

В случае, когда сеть вышла на устойчивый режим работы, то можно говорить о том, что трафик хоть и пульсирующий, но его характеристики изменяются в определенных пределах, тогда поставим таким характеристикам в соответствие треугольное нечеткое число (НЧТ) или трапециевидное нечеткое число (НЧТрпц), основные принципы, определения и правила при работе с нечеткими множествами подробно рассмотрены в работах [12-15]. Под нечетким числом будем понимать определенный диапазон (подмножество), которому соответствует определенное множество действительных чисел, определяющееся нормальной выпуклой функцией распределения такой, что:

а) существует определенное значение переменной (последовательный, непрерываемый набор), в которой функция принадлежности принимает значение равное единице. Данное ограничение определяет условие нормальности;

б) в случае перехода влево или вправо от точки (последовательного, непрерываемого набора точек) где функция принадлежности принимает значение равное единице, функция принадлежности монотонно убывает. Данное ограничение определяет условие выпуклости.

Нечеткое треугольное (рис. 4) или трапециевидное (рис. 5) число $\tilde{A}$ можно представить либо в виде тройки $\tilde{A} = (a, b, c)$ либо четверки $\tilde{A} = (a, b, c, d)$ чисел, таких что $a < b < c$ и $a < b < c < d$ соответственно.

Совокупность нечетких чисел, входящих в одно множество нечетких чисел возможно описать функцией принадлежности $\mu_A(x)$. Для треугольного нечеткого числа функция принадлежности имеет вид:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{если } x \in [a, b] \\ \frac{x-c}{b-c}, & \text{если } x \in [b, c] \\ 0, & \text{во всех остальных случаях} \end{cases}$$

Для трапециевидного нечеткого числа функция принадлежности имеет вид:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{если } x \in [a, b] \\ 1, & \text{если } x \in [b, c] \\ \frac{x-d}{c-d}, & \text{если } x \in [c, d] \\ 0, & \text{во всех остальных случаях} \end{cases}$$



Рис. 4. Нечеткое треугольное число

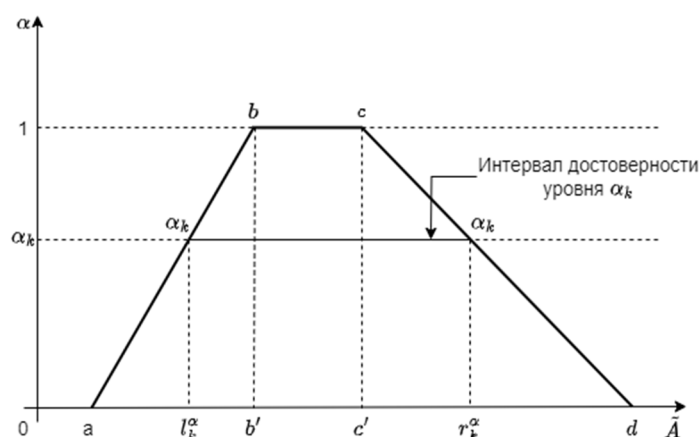


Рис. 5. Нечеткое трапециевидное число

При решении задач с нечеткими числами необходимо определить правила как математических операций, так и правила сравнения чисел между собой. В связи с тем, что треугольное, что трапециевидное число относятся к так называемым нечетким числам L/R – типа, т.е. есть мода числа, действительное число для которого значения функция принадлежности равна единице, а слева от этого числа, любая точка, принадлежащая функции принадлежности, определяется неубывающей функцией, соответственно справа от этого числа, любая точка, принадлежащая функции принадлежности, определяется невозрастающей функцией, то арифметическое действие сложение для двух нечетких треугольных чисел $\tilde{A}_1 = (a_1, b_1, c_1)$ и $\tilde{A}_2 = (a_2, b_2, c_2)$ есть $\tilde{A}_1 + \tilde{A}_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2)$. Аналогично для других арифметических операций и соответственно для трапециевидных чисел.

Наибольшую трудность вызывает правило сравнения двух нечетких чисел. В самом простом случае определить какое из двух нечетких чисел $\tilde{A}_1$ и $\tilde{A}_2$ больше или меньше если $c_1 < a_2$, т.е. если правая граница одного числа меньше левой границы другого числа. В том случае, когда рассматривается задача балансировки нагрузки на коммутирующих устройствах и параметры трафика представляются в виде нечетких чисел, то исходя из того, что эти параметры находятся относительно близко по отношению друг к другу, то будет перекрытие одного числа другим.

Решение в данном случае лежит в необходимости привести нечеткое число к его четкому значению, т.е. провести дефазификацию нечетких чисел и в дальнейшем работать именно с этими значениями. Самое простое правило дефазификации – сравнение нечетких чисел по их модам. В таком случае решение задачи распределения потоков не будет отличаться от варианта, когда в качестве значений выступают четкие значения, так как за моду может быть взято существующее, измеренное значение, а его вариация в определенных границах не учтена, кроме того, если в задаче присутствуют как треугольные, так и трапециевидные числа, а в качестве моды в трапециевидном числе присутствует диапазон $[b, x]$, то задача сравнения сводится к предыдущей – дефазификация данного диапазона.

Следующим способом сравнения можно выбрать сравнение исходя из вычисления сумм расстояний относительно начала координат как для левой границы нечеткого числа, так и для правой. Рассмотрим нечеткое число треугольной формы. Исходя из того, что нечеткое число задается функцией принадлежности, то каждая точка, принадлежащая данной функции, определяет α уровень принадлежности, причем на каждом уровне $0 \leq \alpha \leq 1$. На графике функции принадлежности видно, что уровень принадлежности определяет интервал достоверности $[l_k^\alpha, r_k^\alpha]$, для моды b интервал достоверности определяется как $b = [1, 1] = 1$. В соответствии с определением, что множеством α -уровня нечеткого множества A является множество A_α всех таких элементов универсального множества U , степень принадлежности которых нечеткому множеству A больше или равна α , а нечеткое число можно определить как нечеткое множество, то это число возможно разложить по уровням принадлежности

$$A = \int_0^1 \alpha A_\alpha d\alpha$$

Таким образом, четкое число A , дефаззификационного нечеткого числа $\tilde{A}$ в соответствии с его левыми и правыми отклонениями от начала координат, точки $[0,0]$ равно:

$$A = \int_0^1 (l_k^\alpha + r_k^\alpha) d\alpha$$

Найдем левое отклонение. Из рисунка 4 видно, что треугольник $\triangle abb'$ является прямоугольным и подобен треугольнику $\triangle aa_k l_k^\alpha$

Решением пропорции вида $\frac{b-a}{l_k^\alpha - a} = \frac{1}{\alpha_k}$ будет

$$l_k^\alpha = (b-a) \cdot \alpha_k + a, \text{ соответственно правое отклонение равно } r_k^\alpha = (b-c) \cdot \alpha_k + c.$$

Определим значение дефаззификационного числа.

$$A = \int_0^1 ((b-a) \cdot \alpha + a + (b-c) \cdot \alpha + c) d\alpha = \frac{a+2b+c}{2}$$

Аналогичным образом определяется отклонение для трапециевидного числа, для которого левый и правый индексы будут равны

$$l_k^\alpha = (b-a) \cdot \alpha_k + a$$

$$r_k^\alpha = (c-d) \cdot \alpha_k + d$$

$$A = \int_0^1 ((b-a) \cdot \alpha + a + (c-d) \cdot \alpha + d) d\alpha = \frac{a+b+c+d}{2}$$

Таким образом, получилась возможность сравнивать два разных вида нечетких чисел между собой и определять соотношения между ними при этом сама задача решается в нечетких значениях.

Основной сложностью при проведении дефаззификации является то, что для двух разных нечетких чисел величина отклонения может получаться одинаковой. В таком случае, если значениям нечетких чисел поставлены в соответствии какие-то критерии, например, для нечеткого треугольного числа b это есть критерий максимальной достоверности, предельная скорость поступления заявок на обработку, при которой отсутствует очередь, а значения слева и справа предельные отклонения от этой скорости, то тогда конечный выбор оставляется за лицом принятия решения или строго определенным правилом выбора.

В основном при сравнении нечетких чисел одного порядка используется метод сравнения центров тяжести. Исходя из того, что нечеткое число L/R типа представляет собой плоскую геометрическую фигуру, основание которой находится на оси абсцисс, а высота h равна единице, то можно вычислить координаты центра тяжести исходя из формулы:

$$G_{\tilde{A}(x,y)} = \begin{cases} x_{G(\tilde{A})} = \frac{\sum x_{G(c_i)} \cdot S_i}{S_{\tilde{A}}} \\ y_{G(\tilde{A})} = \frac{\sum y_{G(c_i)} \cdot S_i}{S_{\tilde{A}}} \end{cases}$$

Координата центра тяжести по оси абсцисс и ординат вычисляется как отношение произведений координат центров

тяжести по соответствующим осям простейших геометрических фигур, на которые можно разбить графическое представление нечеткого числа к площади этого представления.

В рассматриваемой задаче используются только два вида нечетких чисел треугольное и трапециевидное. В общем случае треугольник можно представить в виде двух прямоугольных треугольников, центр тяжести в которых лежит на пересечении двух прямых, параллельных катетам и находящимся на расстоянии равном $1/3$ длины катета которым они перпендикулярны. Трапецию можно представить в виде двух прямоугольных треугольников и одного прямоугольника (квадрата) центр тяжести в прямоугольнике (квадрате) находится на пересечении его диагоналей.

Для треугольного числа $\tilde{A} = (a,b,c)$ координаты центра тяжести определяются системой:

$$G_{\tilde{A}(x,y)} = \begin{cases} x_{G(\tilde{A})} = \frac{a+b+c}{3} \\ y_{G(\tilde{A})} = \frac{1}{3} \end{cases}$$

Аналогичным образом возможно определить координаты центра тяжести для трапециевидного числа $\tilde{A} = (a,b,c,d)$

$$G_{\tilde{A}(x,y)} = \begin{cases} x_{G(\tilde{A})} = \frac{a \cdot b - (a+b)^2 + (c+d)^2 - c \cdot d}{3 \cdot (c-b+d-a)} \\ y_{G(\tilde{A})} = \frac{2 \cdot (c-b) + d - a}{3 \cdot (c-b+d-a)} \end{cases}$$

В таком случае, при сравнении двух нечетких чисел одного вида, возможно принять что у большего числа центр тяжести по оси абсцисс отстоит дальше от начала координат, так как координата по оси ординат имеет одинаковое значение. Если в задаче присутствуют разные виды нечетких чисел тогда при их сравнении необходимо учитывать и координату по оси y . В качестве меры сравнения определяется длина вектора $\vec{v}_{\tilde{A}}$ начало которого находится в точке $[0,0]$ а координаты $\vec{v}_{\tilde{A}}(x_{G(\tilde{A})}, y_{G(\tilde{A})})$. За начальную координату вектора всегда принимается точка $[0,0]$ в связи с тем, что нечеткое число соответствует какой-либо параметрической характеристике и считается что данная характеристика не может принимать отрицательные значения, поэтому левая граница нечеткого числа, что треугольного, что трапециевидного может принимать минимальное значение равное нулю $\min l_k^\alpha = 0$. Длина вектора $\vec{v}_{\tilde{A}}(x_{G(\tilde{A})}, y_{G(\tilde{A})})$ рассчитывается исходя из теоремы Пифагора. Тогда при сравнении двух видов нечетких чисел необходимо сравнивать расстояния их центров тяжести от начала координат и за большее значение принимается то, чей вектор $\vec{v}_{\tilde{A}}$ имеет большую длину.

Заключение

При проведении балансировки нагрузки для кластера коммутаторов возможно применить алгоритм решения, который используется при решении транспортной задачи. Решение задачи в привычном представлении предполагает, что критерии

оценки имеют строгие числовые параметры, для которых отсутствует неопределенность, однако в сетях передачи информации с коммутацией пакетов присутствуют задержки, источником которых, например, может быть нестабильность процесса передачи.

Нестабильность процесса передачи может рассматриваться как одна из причин пульсации трафика, т.е. время поступления очередного пакета определяется не строго, а во временном интервале. Возникновение интервалов приводит к нечеткости и усложняет распределение нагрузки в кластере. Разрешение нечеткости производится путем установления соответствия между интервалом и нечетким числом. Алгоритм решения задачи при этом в основном остается прежним.

Основная трудность возникает при выборе нового опорного плана, который производится исходя из сравнения полученных опорных планов на определенном шаге алгоритма. В том случае, если левая граница одного числа по абсолютному значению больше правой границы другого числа, то оно принимается за большее, в противном случае возникает неопределенность, которая решается с помощью проведения двухшаговой дефазификации. На первом шаге определяется являются ли числа одного вида. Если да, то для них высчитывается отклонение исходя из интервала достоверности для левой и правой границы.

В качестве большего принимается число, у которого отклонение больше. Если величина отклонения оказалась одинаковой или числа относятся к разному виду, треугольные и трапециевидные, то производится переход ко второму шагу. На этом этапе для каждого числа рассчитываются координаты центра тяжести и в качестве большего принимается то число, у которого координата по оси абсцисс отстоит дальше от начала. В том случае если сравниваемые числа отличаются друг от друга по виду, то сравнивается расстояния от их центра тяжести до начала координат и за большее принимается то, которое дальше отстоит от точки с координатами [0,0].

Для построения сетей уровня L2 небольших центров обработки данных или провайдеров, а также предприятий и кампусов необходимо производить совмещение кластеризации коммутирующих устройств и агрегирование интерфейсов. По таким параметрам как балансировка нагрузки, простота настройки эксплуатации, скорость переключения данных подход превосходит применение протокола STP для этих же целей.

Литература

1. Shvedov A.V., Gadasin D.V., Klygina O.G. Determining Shortest Paths between Two Arbitrary Nodes in a Composite Transport Network Using Segment Routing // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings, Moscow, 16-18 марта 2021. Moscow, 2021. P. 9416072. DOI 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416072. EDN QJRLWF.
2. Kalmykov N.S., Dokuchaev V.A. Segment routing as a basis for software defined network // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт 2021. Vol. 15, No. 7. pp. 50-54. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-7-50-54. EDN LYVZCV.
3. Zolotukhin P.A., Melkova E.K., Gadasin D.V., Korovushkina V.M. Using Intelligent Testing as a Tool to Improve the Quality of Transport Information Systems // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, Moscow, 15-17 марта 2022. DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744348. EDN NOMJLX.
4. Gadasin D.V., Shvedov A.V., Klygina O.G., Shulginov I.V. Routing Management system formation for machine-to-machine interaction in a decentralized environment // 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2021 - Conference Proceedings, Saint-Petersburg, 31 мая – 04 2021. P. 9470710. DOI 10.1109/WECONF51603.2021.9470710. EDN RUMWBY.
5. Gadasin D.V., Shvedov A.V., Koltsova A.V. Cluster model for edge computing // 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020 - Proceedings, Vienna, 20-22 октября 2020 г. P. 9261538. DOI 10.1109/EMCTECH49634.2020.9261538. EDN FGDLSA.
6. Gadasin D.V., Koltsova V., Gadasin D.D. Algorithm for Building a Cluster for Implementing the 'Memory as a Service' Service in the IoT Concept // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings, Moscow, 16-18 марта 2021. P. 9416112. DOI 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416112. EDN VRPCFG.
7. Статьев В.Ю., Докучаев В.А., Маклачкова В.В. Информационная безопасность на пространстве "Больших данных" // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16, № 4. С. 21-28. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-4-21-28. EDN IXUYWS.
8. Shvedov A.V., Gadasin D.V., Pak E.V. Application of the Backman Model for the Distribution of Traffic Flows in Networks with Segment Routing // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, Moscow, 15-17 марта 2022. DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744344. EDN RBMTBQ.
9. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Задачи и методы линейного программирования. Задачи транспортного типа. Изд. 3-е. М.: URSS, 2010. ISBN 978-5-397-01334-5. EDN QJWOTJ.
10. Минизка Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. М.: Мир, 1981.
11. Pavlov S.V., Dokuchaev V.A., Mytenkov S.S. Model of a fuzzy dynamic decision support system // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Vol. 14, No. 9, pp. 43-47. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-9-43-47. EDN VYFNLB.
12. Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений // Математика сегодня. М.: Знание, 1974. С. 5-49.
13. Беллман Р.Э., Заде Л.А. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976. С. 172-215.
14. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьев Г.В. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М.: Радио и связь, 1989.
15. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.

APPLICATION OF A TRANSPORT TASK FOR LOAD BALANCING IN CONDITIONS OF SOURCE DATA FUZZINESS

Denis V. Gadasin, Moscow Technical University of Communication and Informatics, Moscow, Russia, dengadiplom@mail.ru

Andrey V. Shvedov, Moscow Technical University of Communication and Informatics, Moscow, Russia

Abstract

The structure of the ISO/OSI model does not allow choosing the optimal packet transmission route at the channel level and preventing the formation of ring routes. These functions are performed by the network layer. In general, the problem of packet routing is solved by the switch based on the routing algorithm, which contains a hidden "flooding" mechanism. A packet from the sender's switch is sent to all ports, except for the port where the packet was received. When a packet arrives, the switch analyzes the header and if the address in the header matches the address to which the switch belongs, then the packet is accepted. This situation, combined with the unevenness of sending a message, creates an increased load on switching devices at random times and determines the problem of distributing the input data flow in conditions of pulsating traffic. Pulsating traffic can be considered as a fuzziness lying within certain boundaries. To smooth traffic, it is possible to use clusters of switching devices, which in turn are considered as outgoing devices for the next level of clusters. Thus, to distribute the load, it is possible to apply the flow distribution algorithm used in solving the transport problem.

Keywords: fuzziness, transport problem, balancing, clustering.

References

1. A.V. Shvedov, D.V. Gadasin, O.G. Klygina, "Determining Shortest Paths between Two Arbitrary Nodes in a Composite Transport Network Using Segment Routing," *2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings*, Moscow, 16-18 March 2021. P. 9416072. DOI 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416072
2. N.S. Kalmykov, V.A. Dokuchaev, "Segment routing as a basis for software defined network," *T-Comm*. 2021. Vol. 15, No. 7, pp. 50-54. DOI 10.36724/2072-8735-2021-15-7-50-54
3. P.A. Zolotukhin, E.K. Melkova, D.V. Gadasin, V.M. Korovushkina, "Using Intelligent Testing as a Tool to Improve the Quality of Transport Information Systems," *2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022, Conference Proceedings*, Moscow, 15-17 March 2022. DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744348.
4. D.V. Gadasin, A.V. Shvedov, O.G. Klygina, I.V. Shulginov, "Routing Management system formation for machine-to-machine interaction in a decentralized environment," *2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2021, Conference Proceedings*, Saint-Petersburg, 31 May – 04 2021. P. 9470710. DOI 10.1109/WECONF51603.2021.9470710
5. D.V. Gadasin, A.V. Shvedov, A.V. Koltsova, "Cluster model for edge computing," *2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020, Proceedings*, Vienna, 20-22 October 2020. P. 9261538. DOI 10.1109/EMCTECH49634.2020.9261538
6. D.V. Gadasin, A.V. Koltsova, D.D. Gadasin, "Algorithm for Building a Cluster for Implementing the 'Memory as a Service' Service in the IoT Concept," *2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings*, Moscow, 16-18 March 2021. P. 9416112. DOI 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416112
7. V.Yu. Statev, V.A. Dokuchaev, V.V. Maklachkova, "Information security in the big data space," *T-Comm*, 2022, vol. 16, no. 4, pp. 21-28.
8. A.V. Shvedov, D.V. Gadasin, E.V. Pak, "Application of the Backman Model for the Distribution of Traffic Flows in Networks with Segment Routing," *2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022, Conference Proceedings*, Moscow, 15-17 March 2022. DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744344
9. D.B. Yudin, E.G. Holstein, "Tasks and methods of linear programming. Transport type tasks," Moscow, 2010. ISBN 978-5-397-01334-5
10. E. Minieka, "Optimization algorithms on networks and graphs," Moscow: Mir, 1981.
11. S.V. Pavlov, V.A. Dokuchaev, S.S. Mytenkov, "Model of a fuzzy dynamic decision support system," *T-Comm*. 2020. Vol. 14, No. 9, pp. 43-47. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-9-43-47
12. L.A. Zadeh, "Fundamentals of a new approach to the analysis of complex systems and decision-making processes," *Mathematic Today*. Moscow: Znanie, 1974, 549 p.
13. R.E. Bellman, L.A. Zadeh, "Decision-making in vague conditions // Issues of analysis and decision-making procedures," Moscow: Mir, 1976, pp. 172-215.
14. A.N. Borisov, A.V. Alekseev, G.V. Merkuriev, "Processing of fuzzy information in decision-making systems," Moscow: Radio i svyaz, 1989.
15. L.A. Zadeh, "The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning," Moscow: Mir, 1976. 165 p.