

УДК 004.7

Косолапов А.А.

ПРИНЦИПЫ НЕЧЁТКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

В работе рассматриваются возможности использования нечёткой маршрутизации в транспортных сетях для выбора наилучшего маршрута на основе рейтинга, зависящего от длины маршрутов и загрузки транзитных узлов.

Ключевые слова: нечёткий выбор, маршрут доставки пакетов, показатели загрузки узлов

В современных сетях Интернет используется технология коммутации пакетов, когда данные в виде последовательности пакетов могут следовать разными путями к месту назначения. Однако эта архитектура не гарантирует минимальной задержки и небольшой вероятности потерь пакетов. Предполагается, что следующее поколение высокоскоростных сетей, будет работать не с коммутацией пакетов, а с коммутацией каналов и передачей трафика в режиме реального времени [1]. Это означает, что перед тем, как хост отправит первый пакет на другой узел, устанавливается связь (канал) между двумя хостами и эта связь не изменяется впоследствии. Канал по пути от отправителя до места назначения проходит через ряд промежуточных маршрутизаторов и линий связи.

Проблема маршрутизации заключается в выборе пути с достаточными ресурсами для удовлетворения требований по качеству сервисов (QoS, Quality of Service - качество обслуживания) в каждом элементарном соединении с использованием информации о состоянии сети. Состояние пути обычно определяется состояниями маршрутизаторов и линий связи, а именно доступной (свободной) полосой пропускания, объёмом буферной памяти и очередями и задержками передачи пакетов. Проблема маршрутизации может рассматриваться как для

индивидуального трафика (unicast), так и для мультитрафика (multicast) в зависимости от количества узлов назначения. Обзор алгоритмов маршрутизации можно найти в [1].

Поскольку многие параметры в алгоритмах маршрутизации являются неопределёнными или сложны в аналитической обработке, рассмотрим нечёткий алгоритм маршрутизации [2].

Рассмотрим сеть, представленную на рис. 1. Для простоты предполагается, что все связи имеют одинаковую пропускную способность (100 Мбит) и длину (2 км).

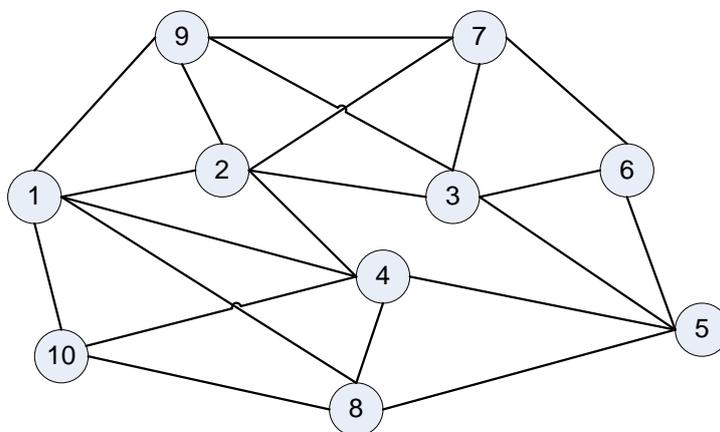


Рис. 1. - Коммуникационная сеть

Эти предположения логичны потому что, как правило, задержки распространения по каналам связи значительно меньше задержек в очередях в коммутационных узлах. Пусть каждая вершина имеет буфер входящих пакетов максимальной ёмкости (60 пакетов). Узлы 1, 5, 6, 7, 8, 9 и 10 по периметру сети действуют как узлы генераторы, получатели и переключатели трафика. Узлы 2, 3 и 4 - чистые узлы переключатели.

В соответствии с требованиями QoS путь должен быть определён до отправки сообщений из генерирующего узла и выбранный маршрут не должен впредь изменяться. Проблема заключается в определении оптимальной политики маршрутизации для каждого потока трафика в конкретном узле генерации на основе состояния системы для минимизации задержек пакетов, потерь пакетов и разрывов соединений в генерирующих узлах.

Для любой пары узлов "источник-приемник" состояние каждого приемлемого пути описывается количеством пакетов в очереди в каждом буфере по этому пути. Однако, это состояние изменяется, так как в каждом узле прибывают новые и уходят обслуженные пакеты.

Решающие правила выбора маршрута применяются по времени тогда, когда генерируется новая сессия или поток трафика [2].

Чтобы решить проблему, предлагается использовать размытую логику для определения рейтинга пути, основанного на нижеописанном критерии для всех существующих путей между парой "источник-приемник". Путь с наивысшим рейтингом выбирается для передачи потока трафика. Соединение разрывается только тогда, когда все буферы в выбранном пути полностью переполнены. В противном случае все пакеты сессии направляются по данному пути. Пакеты, прибывающие в переполненные буферы - теряются.

Рассмотрим путь с s связями и соответствующими буферами $i = 0, 1, 2, \dots, s$. Загрузка ρ_i каждого буфера i на пути определяется как занятая часть буфера.

Если n_i - размер очереди в буфере i и B_i - ёмкость этого буфера, то

$$\rho_i = \frac{n_i}{B_i} \quad (1)$$

Далее, мы возьмём сумму этих загрузок, которые можно измерить, и сгенерируем вес w_i для каждого буфера i

$$w_i = \frac{\rho_i}{\sum_{j=1}^s \rho_j} = \frac{\rho_i}{\sum_{j=1}^s \frac{n_j}{B_j}} \quad (2)$$

Теперь определим загрузку сети R как взвешенную сумму загруженных частей буферов, принадлежащих пути.

$$R = \sum_{i=1}^s w_i n_i \quad (3)$$

Выражение (3) можно несколько упростить, если принять, что все буферы имеют одинаковую ёмкость B . Тогда (1) будет определяться как

$$\rho_i = \frac{n_i}{B} \quad (4)$$

Тогда вес маршрута вычисляем по новому выражению

$$w_i = \frac{\rho_i}{\sum_{j=1}^s \rho_j} = \frac{\rho_i}{\sum_{j=1}^s \frac{n_j}{B}} = \frac{\rho_i}{\frac{n_1}{B} + \frac{n_2}{B} + \dots + \frac{n_s}{B}} = \frac{B\rho_i}{\sum_{j=1}^s n_j} \quad (5)$$

Подставив (4) в (5), получим

$$w_i = \frac{n_i}{\sum_{j=1}^s n_j} \quad (6)$$

Очевидно, что вес маршрута - это средневзвешенная длина очереди пакетов по данному пути. Его загрузку R считаем по той же формуле (3).

Для каждого пути мы выбираем количество роутеров s в маршруте и его загрузку R как нечёткие входные переменные и определяем рейтинг пути r как выходную переменную алгоритма.

Все переменные представлены четырьмя термами ZO, PS, PM и PB [3]. Рейтинг пути определяется как функция от s и R .

База нечётких правил для системы маршрутизации показана в таблице 1.

Универс (universe) для всех введенных нечётких переменных - множество $[0, 6]$. Функции принадлежности для s и r показаны на рис. 2. Заметим, что R является глобальной характеристикой занятости буферной памяти, а общая задержка является функцией от размера очереди n_i ; таким образом, она увеличивается как последовательность $1 + 2 + \dots + n_i$, сумма элементов этого ряда для заданного i определяется $n_i(n_i + 1)/2$. Отсюда получаем последовательность сумм 1, 3, 6, ...

Из этого следует, почему выбрана функция принадлежности для R , показанная на рис. 3 [2]. В целом величина R нормирована к выбранному диапазону $[0, 6]$.

Таблица 1

База нечётких правил для системы маршрутизации [2]

Номер правила	Входные лингвистические переменные		Выходная лингв. переменная
	<i>s</i>	<i>R</i>	<i>r</i>
1	ZO	ZO	PB
2	PS	ZO	PM
3	PM	ZO	PS
4	PB	ZO	ZO
5	ZO	PS	PM
6	PS	PS	PS
7	PM	PS	ZO
8	PB	PS	ZO
9	ZO	PM	PS
10	PS	PM	ZO
11	PM	PM	ZO
12	PB	PM	ZO
13	ZO	PB	ZO
14	PS	PB	ZO
15	PM	PB	ZO
16	PB	PB	ZO

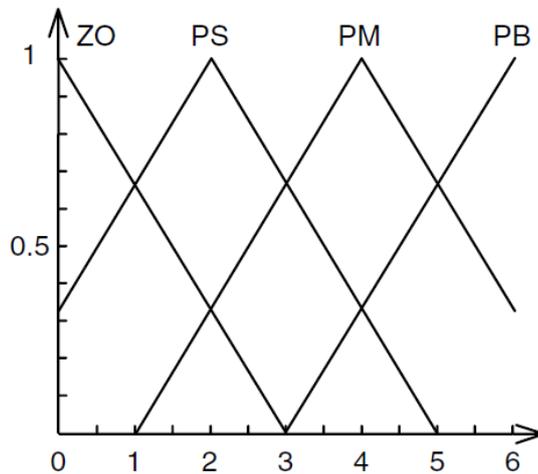


Рис. 2. - Функции принадлежности для s и r

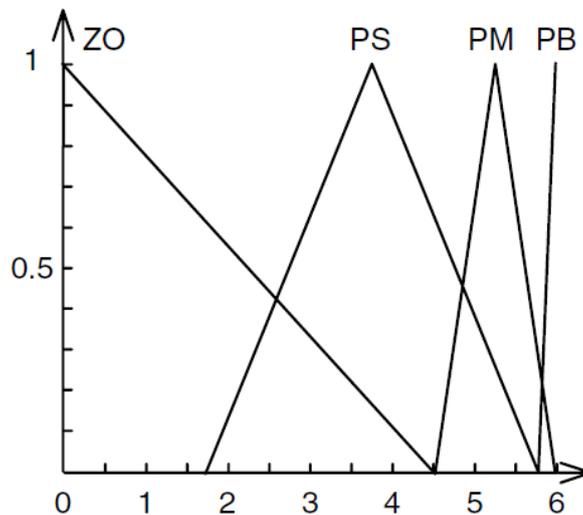


Рис. 3. - Функции принадлежности для R

Нечёткий алгоритм маршрутизации состоит из следующих шагов:

1. В каждый период принятия решений для каждой пары узлов "источник-приёмник" определяются все возможные пути между ними. Также записывается информация о состоянии очередей в узлах по каждому маршруту (n_i).

2. Для каждого пути вычисляются значения для s и R с использованием выражений (1), (2), (3) или (4), (6), (3). Затем определяется рейтинг r через фаззификацию, логический вывод и дефаззификацию.

3. Полученный путь с наивысшим рейтингом мы выбираем для передачи потока трафика.

Сравнение предложенного алгоритма нечёткой маршрутизации с алгоритмами фиксированной маршрутизации и минимального пути показало, что он не уступает этим алгоритмам по критериям минимальной задержки и минимальной вероятности потери пакетов [2].

Предложенные принципы маршрутизации можно использовать при выборе наилучших маршрутов перевозки грузов автомобильным, железнодорожным и морским транспортом и в других сетях массового обслуживания с очередями (с соответствующей корректировкой входных параметров, функций принадлежности и базы нечётких правил).

Литература:

1. Chen S, Nahrstedt K (1998) An overview of quality of service routing for next-generation high-speed networks: problems and solutions. *IEEE Network* 12:64–79.

2. Zhang R., Phillis Y.A., Kouikoglou V.S. *Fuzzy Control of Queuing Systems* / Springer-Verlag: London, 2005. – 175 p.

3. Косолапов А. А. Системи штучного інтелекту: методичні вказівки до практичних і лабораторних робіт із розділу «Нечітке виведення в інтелектуальних системах проектування та управління». – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2012. – 50 с.