

УДК 004.738.5

## Проблемы маршрутизации и распределения информационных потоков в современных локальных вычислительных сетях

Ю.П. Преображенский, В.А. Шапкин, В.В. Уваров

Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия

В работе рассматриваются возможности обеспечения эффективной маршрутизации в компьютерных сетях. Проведены исследования протоколов маршрутизации по кратчайшему пути. Осуществлен анализ схем перераспределения нагрузки при передаче информации. Отмечается, что применение композитной метрики позволяет учесть особенности путей, вызванные используемой транспортной технологией. Рассмотрены различные задачи, которые встречаются в трафик-инжиниринге.

Ключевые слова: проектирование, маршрутизация, компьютерная сеть, информационный поток, топология.

## Problems of routing and distribution of information flows in modern local area networks

Yu.P. Preobrazhenskiy, V.A. Shapkin, V.V. Uvarov

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

The paper discusses the possibilities of ensuring effective routing in computer networks. Shortest-path routing protocols have been studied. An analysis of load redistribution schemes during information transfer was carried out. It is noted that the use of composite metrics makes it possible to take into account the features of the tracks caused by the transport technology used. Various tasks that are encountered in traffic engineering are considered.

Keywords: design, routing, computer network, information flow, topology.

Задача маршрутизации в общем случае заключается в нахождении оптимального по некоторым критериям пути или множества путей для обслуживания трафика пользователей. На рисунке 1 приведен пример распределенной сети со смешанной топологией. Очевидно, что для достижения удаленной сети X, каждый маршрутизатор, в зависимости от протокола маршрутизации, может выбрать тот или иной путь на основании различных критериев. Эти критерии известны как маршрутные метрики. Они показывают на сколько один путь лучше или хуже другого.

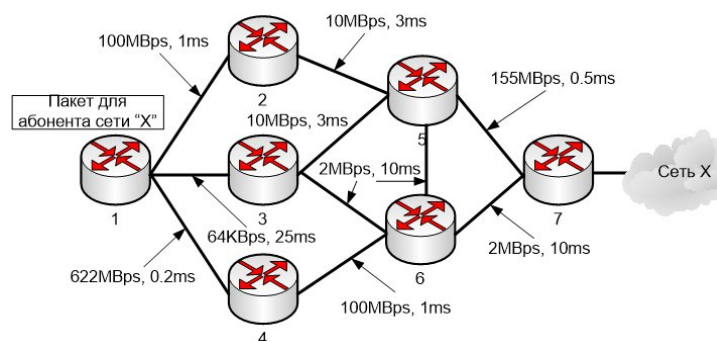


Рисунок 1. Задача маршрутизации в сетях с пакетной коммутацией

Были проведены теоретические исследования классических протоколов маршрутизации по кратчайшему пути, QoS маршрутизация, маршрутизация с учетом системных политик (Policy-Based Routing) и ограничений (Constrained-Based Routing).

Для решения задачи нахождения кратчайшего пути было предложено несколько аналитических алгоритмов. Наиболее известные и часто применяемые на практике – алгоритмы Беллмана-Форда и Дейкстры.

Протоколы маршрутизации, используемые на сегодняшний день, поддерживают только один класс обслуживания, называемый best-effort (обслуживание по мере возможности). В отличие от традиционных подходов к выбору пути, алгоритмы QoS маршрутизации при расчете оптимального пути учитывают требования трафика и доступность сетевых ресурсов. QoS маршрутизация определяется как механизм выбора пути, при котором маршруты для потоков определяются на основании некоторых данных о доступности ресурсов в сети и QoS требований потоков.

Был проведен анализ однопутевых схем, используемых для реализации QoS-маршрутизации. В большинстве подобных алгоритмов изначально предполагается, что возможно найти, как минимум, один путь, удовлетворяющий требованиям трафика. Такая ситуация свойственна для сетей, обслуживающих небольшую нагрузку. В то же время при увеличении нагрузки возможна ситуация, когда не удастся найти единственный путь для обслуживания трафика. В такой ситуации уместным является переход к многопутевым схемам маршрутизации и использование незадействованных путей с большим значением метрики. Поэтому использование данных алгоритмов в приведенном виде является нецелесообразным. Однако в сочетании с техникой многопутевой маршрутизации подобные решения могут использоваться на практике.

Алгоритмы маршрутизации с учетом системных политик появились недавно и позволяют гибко выбирать путь с учетом правил, принятых в данной сети, и уровня сервиса (SLA).

Алгоритмы QoS маршрутизации и маршрутизации с учетом системных политик, являются частными случаями широкого класса алгоритмов маршрутизации с ограничениями (CBR).

Как было показано, маршрутизация по кратчайшему пути может привести к несбалансированному распределению трафика – каналы, через которые проходит кратчайший путь, становятся перегруженными, в то время как другие участки сети простаивают.

Многопутевая маршрутизация (рис. 2) была предложена как альтернатива маршрутизации по единственному кратчайшему пути для распределения нагрузки и уменьшения вероятности возникновения перегрузки в сети.

В общем случае для реализации многопутевой схемы маршрутизации с поддержкой QoS необходимо решить три задачи:

1. Получить информацию о характеристиках трафика для определения требований к обслуживанию;
2. Отобрать один или несколько путей, по которым будет передаваться данный трафик;
3. Поддерживать информацию об используемых ресурсах на данном пути.

Решению первой задачи посвящена такая область технических наук, как теория телетрафика. Обоснование выбора характеристик трафика в работе делается на основании результатов, полученных в рамках этой теории. Для решения задач в работе учитывается, что характеристики трафика, поступающего на обслуживание, могут быть описаны известным законом распределения.

Например, агрегированный мультимедийный трафик с некоторой точностью может аппроксимироваться равномерным распределением, учитывая тот факт, что интервалы времени между поступлениями заявок одинаковы. Для аппроксимации трафика данных может использоваться экспоненциальное распределение.

Было предложено несколько многопутевых схем маршрутизации для балансировки нагрузки в сети. ECMP (Equal Cost Multipath) [1] и OMP (Optimized Multipath) [2] принимают решение о пересылке пакетов на сетевом уровне. Первый подход реализован в протоколе OSPF. ECMP разделяет трафик эквивалентно по множеству путей с равной стоимостью. По определению, стоимость пути в протоколе OSPF является функцией пропускной способности:

$$\text{cost} = \frac{10^8}{Bw}, \quad (1)$$

где  $Bw$  – пропускная способность канала. Иными словами, в данной реализации распределение трафика происходит по путям с одинаковой пропускной способностью. Однако эти пути определены статически и не отражают текущее состояние сети. Более того, желательно разделять трафик в соответствии с текущей загрузкой каждого канала. Помимо этого, распределение ресурсов по пакетам (рис. 3(а)) требует значительных процессорных затрат.

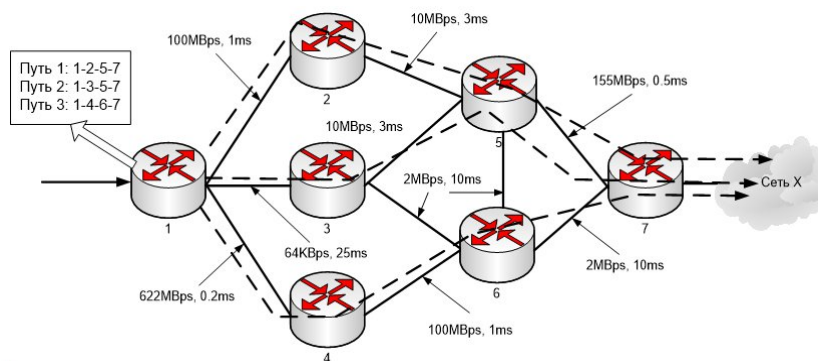


Рисунок 2. Реализация многопутевой маршрутизации

В случае высокоскоростных магистральных сетей более предпочтительным является потоковый (flow-based) подход (рис. 3(б)).

Процедуры, реализованные в алгоритме ECMP, обладают существенным ограничением – нагрузка распределяется только по путям с одинаковой стоимостью без учета динамики изменения нагрузки, хотя на практике содержание двух каналов с одинаково пропускной способностью требует высоких затрат. Обычно организации подключают основной высокоскоростной канал и один или несколько резервных низкоскоростных каналов.

В этом случае резервный канал будет простаивать до тех пор, пока не откажет основной, что экономически нецелесообразно.

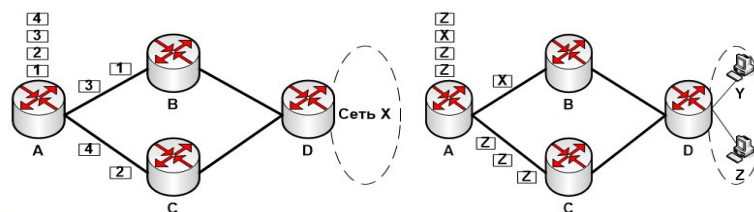


Рисунок 3. Распределение нагрузки: а) по пакетам; б) по потоку

Схемы многопутевой маршрутизации с распределением ресурсов по путям с неодинаковой стоимостью позволяют решить эту проблему. Самый простой и очевидный способ – пропорциональное распределение ресурсов в соответствии с метрикой. Наиболее известные протоколы, реализующие такую схему – IGRP (Interior

Gateway Routing Protocol) и EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol). Оба протокола являются закрытыми фирменными алгоритмами компании Cisco.

Для определения качества пути используется композитная метрика на основании пяти составляющих: пропускная способность ( $Bw$ ), задержка  $dl$ , надежность  $R$ , нагрузка  $L$  и максимальный размер данных, который можно переслать по данному пути (MTU):

$$\text{metric} = \left[ k_1 \cdot Bw + \frac{k_2 \cdot Bw}{256-L} + k_3 \cdot dl \right] \cdot \left[ \frac{k_5}{R+k_4} \right]. \quad (2)$$

Использование композитной метрики позволяет учесть особенности путей, вызванные используемой транспортной технологией. Распределение нагрузки производится обратно пропорционально значению метрики, т. е. по пути с меньшим значением метрики передается больший объем трафика. В этих протоколах используется по пакетный подход, что требует значительных вычислительных ресурсов. Кроме того, фирменный статус протоколов IGRP/EIGRP не позволяет использовать их в оборудовании сторонних производителей.

При этом механизмы распределения нагрузки по путям с разной стоимостью не определены в открытых протоколах, таких как OSPF, RIP, IS-IS. Поэтому актуальной является разработка методики многопутевой маршрутизации для распределения нагрузки по путям с неодинаковой стоимостью, которую можно реализовать как в рамках существующих промышленных протоколов маршрутизации, так и в виде нового независимого протокола маршрутизации.

С появлением технологии мультипротокольной коммутации меток (MPLS) [3], был разработан еще один, не свойственный для дейтаграмных IP сетей класс алгоритмов маршрутизации – алгоритмы явной маршрутизации. Это вызвано тем, что благодаря MPLS появилась возможность создавать виртуальные пути в IP сетях и задавать требуемое качество обслуживания.

Попытки создать эмуляцию виртуальных каналов в IP сетях предпринимались еще в середине 90-х годов прошлого столетия в рамках протокола резервирования ресурсов RSVP [4]. Однако подход, реализованный в этом протоколе, оказался не масштабируемым, поскольку резервирование проводилось для единичных потоков, что требовало значительного объема вычислительных ресурсов на магистральных участках сети. При использовании технологии MPLS виртуальные пути создаются для агрегированных потоков, а их максимальное количество явно ограничено.

Согласно [5-7], трафик инжиниринг определяется как «аспект сетевого инжиниринга, решающий вопросы оценки и оптимизации производительности IP сетей. Трафик инжиниринг включает в себя вопросы применения технологий и научных принципов к измерению, моделированию и управлению межсетевым трафиком». Поэтому, одной из новых функций трафик инжиниринга является управление и оптимизация процедур маршрутизации, для передачи трафика по наиболее эффективному пути.

Оптимизационные аспекты трафик-инжиниринга могут быть достигнуты с использованием механизмов управления пропускной способностью и трафиком. Первый аспект включает в себя планирование пропускной способности, управление маршрутизацией и ресурсами.

Сетевые ресурсы, которые особенно важны для решения задач трафик инжиниринга, включают в себя пропускную способность каналов, буферное пространство, вычислительные ресурсы. Управление трафиком включает в себя функции управления трафика в узле, такие как формирование трафика в соответствии с SLA, управление очередью, планирование обработки очередей и другие функции, которые регулируют поток трафика через сеть или которые принимают решение о доступе к сетевым ресурсам между пакетами или потоками трафика [8].

Задача оптимизации в рамках трафик инжиниринга должна рассматриваться как продолжительный и повторяющийся процесс с целью улучшения производительности сети.

Задача оптимизации может изменяться со временем по мере появления новых требований к сети или внедрения новых технологий. Более того, разные сети могут иметь разные оптимизационные цели в зависимости от бизнес-моделей, свойств и ограничений в работе. Поэтому оптимизационные аспекты трафик инжиниринга тесно связаны с сетевым управлением.

С точки зрения управления решения об оптимизации могут быть проактивными или реактивными. В случае проактивной системы управления решаются задачи по предотвращению нежелательных будущих состояний сети. При использовании реактивного управления, система управления отвечает корректно и возможно адаптивно на события, которые уже произошли в системе.

Система управления включает в себя увеличение пропускной способности, управление маршрутизацией, управление трафиком и ресурсами (включая управление сервисными политиками в сетевых элементах). Входные данные для принятия решений системы управления трафик инжиниринга включают в себя переменные, описывающие состояние сети, политик и принятия решений.

Другими важными задачами трафик инжиниринга являются реализация автоматизированного управления функциями, которые адаптируются быстро и эффективно при значительных изменениях в состоянии сети, а также оценка производительности сети. Важно отметить, что оценка производительности принципиально влияет на правильность принятия дальнейших решений. Результаты такой оценки могут быть использованы для определения текущих и предсказания потенциальных проблем в будущем.

С точки зрения реализации механизмов трафик инжиниринга, выделяются три фундаментальных проблемы [9, 10]:

- как соотнести поступающие пакеты с классами пересылки (FEC);
- как соотнести классы пересылки с группами трафика;
- как соотнести группы трафика с физической топологией (сетевыми ресурсами)

в сети с коммутацией меток.

С точки зрения практического применения, основной целью трафик инжиниринга является эффективное распределение сетевых ресурсов для обслуживания поступающего трафика.

Для достижения этой цели требуется точное управление функциями маршрутизации. Вычисляемые маршруты должны удовлетворять определенным требованиям, учитывать доступность сетевых ресурсов и ограничение политик. В общем случае решения задач трафик инжиниринга могут быть ориентированы на трафик (traffic-oriented) или на ресурсы (resource-oriented).

Вывод. Решения, ориентированные на управление трафиком, относятся к вопросам качества обслуживания. Критерии качества обслуживания могут включать в себя потери пакетов, задержки, вариацию задержки (джиттер), пропускную способность и т. д.

Эффективность политики может быть оценена в относительных единицах выполнения требований трафика к обслуживанию, что особенно важно при заключении SLA. Механизмы решения этого класса задач заключены в дисциплинах управления очередями.

Решения, ориентированные на ресурсы, относятся к задачам оптимизации использования сетевых ресурсов. Эффективное распределение ресурсов, борьба и предотвращение возникновения перегрузок – вот лишь несколько примеров задач этого класса трафик инжиниринга. Эти задачи решаются с помощью алгоритмов многопутевой маршрутизации, протоколов сигнализации и управления.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шамаева Е.Ф. Методы сбора, обработки и анализа информации для интегральной оценки устойчивости развития региона / Е.Ф. Шамаева, В.Н. Прякин, Р.А. Глаз // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 1 (40). – URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1250> (дата обращения: 07.02.2024).
2. Токарев В.Л. Интеллектуальная поддержка обнаружения инцидентов информационной безопасности / В.Л. Токарев, А.А. Сычугов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 1 (40). – URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1271> (дата обращения: 07.02.2024).
3. Преображенский Ю.П. Об обеспечении безопасности корпоративной сети / Ю.П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2018. – Т. 12. – № 2 (25). – С. 47-50.
4. Львович Я.Е. Исследование характеристик защищенности мобильных сенсорных сетей / Я.Е. Львович, И.Я. Львович, А.П. Преображенский, Ю.П. Преображенский, О.Н. Чопоров // Радиолокация, навигация, связь: сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения А.С. Попова. – Воронеж, 2019. – С. 239-244.
5. Lvovich I.Ya. Analysis of integral characteristics in the IoT system / I.Ya. Lvovich, Ya.I. Lvovich, A.P. Preobrazhenskiy, Yu.P. Preobrazhenskiy, O.N. Choporov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/734/1/012020> (дата обращения: 07.02.2024).
6. Аветисян Т.В. Особенности информационных систем на предприятиях / Т.В. Аветисян, Я.Е. Львович, А.П. Преображенский // Вопросы науки. – 2023. – № 2. – С. 8-15.
7. Аветисян Т.В. Моделирование киберфизических систем при их развитии / Т.В. Аветисян, Я.Е. Львович, А.П. Преображенский // Системы управления и информационные технологии. – 2023. – № 1 (91). – С. 23-27.
8. Аветисян Т.В. О проблемах защиты информации в организациях / Т.В. Аветисян // Юность и знания – гарантия успеха – 2023: сборник научных статей 10-й Международной молодежной научной конференции. – Курск, 2023. – С. 81-83.
9. Аветисян Т.В. Проблемы создания информационной безопасности для распределенных информационных систем / Т.В. Аветисян // Проблемы и перспективы развития России: Молодежный взгляд в будущее: сборник научных статей 6-й Всероссийской научной конференции. – Курск, 2023. – С. 359-362.
10. Аветисян Т.В. О характеристиках безопасности в информационной системе / Т.В. Аветисян // Технологии и техника: пути инновационного развития: сборник научных статей Международной научно-технической конференции. – Воронеж, 2023. – С. 39-42.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Преображенский Юрий Петрович**, кандидат технических наук, доцент, проректор по информационным технологиям, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

*e-mail:* [petrovich@vvt.ru](mailto:petrovich@vvt.ru)

**Шапкин Валерий Алексеевич**, студент, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

**Уваров Виктор Васильевич**, студент, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

*e-mail:* [ViktUvarov44@mail.ru](mailto:ViktUvarov44@mail.ru)