

Анализ методов и алгоритмов сетевой маршрутизации с обеспечением QoS

Гребешков А.Ю, Карташевский В.Г, Хмельницкий Д.В

Поволжская государственная академия телекоммуникаций и информатики

В существующих сегодня методах сетевой маршрутизации, как правило, отсутствуют механизмы поддержки резервирования ресурсов на всём маршруте установления соединения или прохождения сообщения. Это не позволяет обеспечивать сквозное гарантированное качество услуг связи (Quality of Service, QoS). Поэтому разработка алгоритма маршрутизации, с обеспечением качества предоставляемых услуг связи (QoS routing) является актуальной задачей.

Для нахождения оптимального маршрута, отвечающего требованиям по QoS, должны быть известны сведения о состояниях промежуточных каналов связи между исходящим узлом и узлом назначения. Поиск маршрутов существенно зависит от того, как производится сбор информации о состоянии сети, и где хранится эта информация. С этой точки зрения можно выделить три вида сетевой маршрутизации:

- маршрутизация исходящим узлом (source routing);
- иерархическая маршрутизация (hierarchical routing);
- распределенная маршрутизация (distributed routing).

При маршрутизации исходящим узлом весь маршрут полностью определяется исходящим узлом на основании информации об общем состоянии сети. Эта процедура требует значительного объема вычислений и при этом не исключена погрешность при определении состояния сети. Информация на исходящем узле должна обновляться достаточно часто, чтобы снизить вероятность отказов в обслуживании. Перечисленные недостатки являются существенными, что приводит к отказу от данного вида маршрутизации, особенно для сетей большой размерности.

При иерархической маршрутизации группы узлов объединяются в логические узлы. Исходящий узел учитывает состояние «своего» логического узла и остальных логических узлов. Несмотря на то, что логический узел или логический канал имеют сложную внутреннюю структуру, исходящий узел не рассматривает микросостояния «чужих» логических узлов. Однако без учёта микросостояний иногда трудно выполнить требования по задержке. В итоге при иерархической маршрутизации сложность и объем вычислений не снижаются, а точность решения задачи по сравнению с маршрутизацией исходящим узлом не улучшается.

При распределенной маршрутизации путь пропуска нагрузки определяется на основании распределенных вычислений. Узлы обмениваются между собой управляющими сообщениями; информация о состоянии сети, хранящаяся на каждом узле, совместно используется всеми узлами для поиска маршрута. Большинство алгоритмов распределенной маршрутизации использует дистанционно-векторный протокол (или протокол состояния каналов) для представления данных о сети в форме векторов расстояний на каждом узле. Основываясь на векторах расстояний, маршрутизация осуществляется на последовательной основе. Несмотря на то, что распределенная маршрутизация также требует сложных вычислений, указанный вид маршрутизации принимается в качестве базового т.к. позволяет с большей точностью, чем предыдущие методы учитывать текущее состояние сети связи.

Сеть связи традиционно можно представить в виде взвешенного ориентированного графа (V, E) . Узлы V графа представляют собой узлы коммутации или маршрутизаторы, ребра E представляют каналы связи. Каждый канал представлен в виде двух ребер, направленных в противоположных направлениях. Узлы и каналы имеют некоторое состояние, определяемое соответствующей метрикой. Состояние узла может быть определено независимо или в совокупности с состоянием подключенных каналов. В общем случае, задача маршрутизации формулируется следующим образом: имеется исходящий узел a , узел назначения b , множество ограничений

или требований по качеству услуг связи C . Необходимо найти маршрут, наилучшим образом соответствующий C .

Для некоторых метрик QoS (остаточная пропускная способность, остаточная буферная емкость) состояние маршрута определяется состоянием канала. Это позволяет разделить алгоритмы сетевой маршрутизации на два класса: алгоритмы маршрутизации с оптимизацией каналов и алгоритмы маршрутизации с ограничением характеристик каналов. Для других метрик QoS (задержка, джиттер задержки, стоимость пропуска нагрузки) состояние маршрута определяется совокупным состоянием всех каналов маршрута. В этом случае алгоритмы маршрутизации делятся на два класса: алгоритмы маршрутизации с оптимизацией маршрута и алгоритмы маршрутизации с ограничением характеристик маршрута [1]. Из приведённых четырех классов алгоритмов в свою очередь образуются алгоритмы, объединяющие исходные в том или ином сочетании. Далее детально рассматриваются только алгоритмы, относящиеся к методу распределённой маршрутизации.

Алгоритмы для реализации метода распределённой маршрутизации делятся на два класса: алгоритмы, в которых каждый узел обрабатывает общее состояние сети и алгоритмы, в которых каждый узел обрабатывает только локальное состояние соседних узлов. На завершающей стадии могут применяться модифицированные алгоритмы Беллмана-Форда (или Дейкстры) [6,7]. В наибольшей степени целям обеспечения QoS отвечает алгоритм Чена-Нарштедт (Chen-Nahrstedt) [2,3].

При реализации этого алгоритма каждый узел обрабатывает информацию о локальном состоянии узлов сети. Алгоритм использует распределённое вычисление маршрута, используя при этом постоянно обновляемую информацию о локальном состоянии на каждом из узлов сети. Схема предоставления сквозного QoS в данном случае описывается следующим образом: когда узлу s необходимо передать данные с определенным требованием по QoS другому узлу t , то s выдает запрос на соединение, отвечающее этому требованию. Запрос на соединение представляется как набор взаимозависимых параметров (Qos, s, t, cid) , где Qos – требование к качеству услуг связи, s – исходящий узел, t – узел назначения и cid – уникальный идентификатор всей системы. Параметр cid может содержать, к примеру, IP-адрес исходящего узла и номер порта. Требование по качеству услуг связи (Qos), как правило, состоит из набора ограничений $\bigcup_{i=1}^n \{m_i \circ M_i\}$, где m_i – метрика, M_i – постоянная (константа), а \circ – оператор взаимосвязи ограничений. Цель маршрутизации заключается в нахождении маршрута P , при котором для $\forall i \in [1..n]$ выполняется $m_i(P) \mathfrak{X} M_i$, где \mathfrak{X} представляет собой один из символов неравенства $<$, $>$, \leq , или \geq . Если Qos содержит по крайней мере два ограничения характеристик маршрута, то задача маршрутизации в данном случае является NP-полной [4, 7].

Основная идея алгоритма аналогична известному методу волновой маршрутизации: поиск требуемого маршрута осуществляется в две стадии – стадия зондирования (probing phase) и стадия подтверждения (acknowledgement phase). Маршрут, находимый на стадии зондирования, называется предварительным. На стадии подтверждения осуществляется резервирование прозондированных ресурсов для пропуска нагрузки. Используется три типа управляющих сообщений: «зонд» (*probe*), «подтверждение» (*ack*) и «отказ» (*failure*).

На стадии зондирования осуществляется выборочное распространение сообщений «зондов» по некоторым предварительно определённым маршрутам от узла s к узлу t . Сообщение «зонд» имеет следующую структуру: $[k, Qos, s, t, cid]$, где k – узел, пославший «зонд», этим узлом может быть как исходящий узел, так и промежуточный. Прохождение «зонда» возможно лишь в том случае, если узлы и каналы на данном маршруте соответствуют сформированным требованиям по QoS. Когда узел t принимает «зонд», стадия зондирования завершается. При приеме «зондов», узел назначения t выбирает предварительный маршрут среди возможных маршрутов, основываясь на информации, переданной «зондами». На стадии подтверждения по

предварительному маршруту от узла t к узлу s посылается сообщение *ack*, резервируя при этом ресурсы вдоль всего маршрута. Когда узел s принимает *ack*, поиск маршрута считается успешно завершённым. Промежуточный узел на предварительном маршруте может не предоставить для резервирования требуемого количества ресурсов на тот момент времени, когда данный узел принимает «подтверждение». В этом случае «подтверждение» возвращается обратно как сообщение *failure* («отказ») для высвобождения зарезервированных ресурсов.

В алгоритме Чена-Нарштедт используются два важных параметра: ведущее условие (*forward condition*) и Δt - максимальное время ожидания «зонда». Путём изменения этих параметров получают алгоритмы для решения конкретных задач. Ведущее условие является булевой функцией с тремя аргументами (i, j, QoS) , где i – узел, на котором запущен алгоритм распределённой маршрутизации, j – узел смежный с узлом i и QoS – требование по качеству услуг связи. «Зонд», принимаемый узлом i , отправляется на узел j только в случае выполнения ведущего условия. Для ограничения потоков «зондов», что является известным недостатком методов волновой маршрутизации, введено следующее правило: промежуточный узел направляет на смежный узел только «зонд», прибывший первым и отвечающий ведущему условию. Все последующие «зонды», принятые этим узлом, далее не используются. Параметр Δt позволяет избежать отказов в определении маршрута при прохождении нескольких «зондов» через один и тот же узел с разным значением величины задержки. Алгоритм Чена-Нарштедт завершает установление соединения, когда исходящий узел принимает сообщение-«подтверждение» с успешным резервированием ресурсов. Если в течение максимально допустимого периода ожидания Δt исходящий узел не получает «подтверждение», то предполагается отказ в соединении.

Проведённый анализ показал, что алгоритм Чена-Нарштедт наименее уязвим к изменениям сетевой ситуации [3]. В настоящее время авторами проводятся исследования по разработке интегрированного алгоритма распределённой маршрутизации с учётом требований QoS на основе алгоритма Чена-Нарштедт и децентрализованной нейронной динамической маршрутизации [8].

Литература

1. Chen S., Nahrstedt K. An Overview of Quality-of-Service Routing for the Next Generation High-Speed Networks: Problems and Solutions. Режим доступа: [http://www-csgso.cs.uiuc.edu/~s-chen5/ 05.08.2001].
2. Chen S., Nahrstedt K. Distributed QoS Routing. Режим доступа: [http://cairo.cs.uiuc.edu/ 03.05.2001].
3. Chen S. Routing Support for Providing Guaranteed End-To-End Quality-Of-Service. Режим доступа: [http://cairo.cs.uiuc.edu/ 03.05.2001].
4. Wang Z., Crowcroft J. (1996) Quality-of-Service Routing for Supporting Multimedia Applications. Режим доступа: [http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/jon/ 01.10.2001].
5. Кормен Г., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ: пер. с англ. – М.: МЦНМО, 2001 г. – стр. 489-496.
6. Ахо А.В., Хопкрофт Д.Э., Ульман Д.Д. Структуры данных и алгоритмы: пер. с англ. – М.: «Вильямс», 2000 г. – стр. 183-191.
7. Гэри М.Р., Джонсон Д.С. Вычислительные машины и трудноразрешимые задачи: пер. с англ. – М.: Мир, 1982.
8. Гребешков А. Ю., Хмельницкий Д. В. Анализ современных методов маршрутизации вызовов на сетях связи с коммутацией каналов // Информатика, радиотехника и связь. Сб. трудов ученых Поволжья.– 2001.– Вып.6.

Analysis of methods and algorithms with QoS providing

Abstract. In some case there is no routing methods which supports network resource reservation throughout the path of connection. As result there is no guarantees for the end-to-end quality of service (QoS). In this situation development of routing algorithm with QoS guaranteed is the urgent problem. This paper discusses QoS routing strategies, advantages and disadvantages some of this. Distributed routing strategy discusses in detail. Chen-Nahrstedt algorithm is considered as the best method of distributed QoS routing which based on the analysis of local network node states.