

УДК 004.056

МАРШРУТИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ПРИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЯХ

Н.И. ЛИСТОПАД

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 4 марта 2019

Аннотация. Проведен анализ основных методов маршрутизации информационных потоков в сетях телекоммуникаций на основе многокритериальных требований по задержке, вариации задержки, вероятности потерь и полосы пропускания с учетом минимизации стоимости передаваемой информации. Рассмотрена возможность оптимальной маршрутизации путем введения единого комплексного весового коэффициента. Описаны основные направления дальнейшего развития QoS-маршрутизации.

Ключевые слова: маршрутизация информационных потоков, обеспечение заданного качества обслуживания, единый комплексный весовой коэффициент, сеть телекоммуникаций.

Abstract. The analysis of the main methods of routing information flows in telecommunication networks was carried out. It based on multicriteria requirements for delay, delay variation, loss probability and bandwidth taking into account the cost minimization of information transmitted. The possibility of optimal routing is considered by introducing a single complex weighting factor. The main directions for further development of QoS routing are described.

Keywords: information flow routing, ensuring of a given quality of service, single complex weighting factor, telecommunication network.

Doklady BGUIR. 2019, Vol. 121, No 3, p. 51-56
Routing of information flows with multicriterial requirements
N.I. Listopad

Введение

Для качественного обслуживания у провайдеров телекоммуникационных услуг должно быть соответствующее ресурсное обеспечение (маршрутизаторы, каналы связи и другое оборудование), технические характеристики которого удовлетворяли бы всем требованиям данных услуг. В то же время разные виды приложений, реализующие ту или иную услугу, предъявляют разные требования к техническим характеристикам сетей телекоммуникаций. Например, при отправке электронной почты или передаче файлов критичным являются пропускная способность каналов и вероятность потерь информации, в то время как для IP-телефонии наивысшим приоритетом является минимальное время задержки для обработки IP-пакетов. На разных участках сети телекоммуникаций может быть разное оборудование со своим набором характеристик. Для некоторых служб не все сетевые устройства могут соответствовать требованиям, предъявляемым к ним.

Текущее состояние и требования к протоколам маршрутизации информационных потоков в сетях телекоммуникаций

Маршрутизация информационных потоков традиционно рассматривалась как оптимизационная задача для определения кратчайшего пути. При этом поиск оптимального пути, как правило, обеспечивается на основании учета большого количества различных параметров, таких как количество интеллектуальных узлов, в которых производится обработка

информационных потоков, значения задержки, вариации задержки, величина потерь пакетов. Важной проблемой при выборе того или иного оптимального маршрута является величина задержки, поскольку требования минимизации данного фактора являются актуальными и достаточно жесткими для многих мультимедийных приложений.

Программно-технические средства поддержки заданного качества обслуживания в современных сетях телекоммуникаций в настоящее время достаточно сильно изменились главным образом за счет пересмотра метрик и параметров, которые используются при выборе оптимального маршрута. Здесь просматриваются две основные тенденции.

1. Все больше и больше среди специалистов начинает доминировать мнение, что необходимо практически полностью отказаться от топологических метрик – числа интеллектуальных узлов – и перейти к так называемым QoS-метрикам, основанным на учете основных показателей (параметров) заданного качества обслуживания: скорости передачи, полосы занимаемых частот, средних величин задержек, вариации задержек, уровня потерь информации, доступности предлагаемых сервисов.

2. Развитие протоколов маршрутизации все больше и больше происходит в направлении так называемых композитных метрик, которые объединяют в себя одновременно несколько QoS-параметров [2].

В работе [1] решается задача поиска оптимальных маршрутов для мультисервисных телекоммуникационных сетей. Особенностью данных сетей является то, что при выборе оптимального маршрута кроме полосы пропускания должны приниматься во внимание такие параметры качества обслуживания, как вероятность потерь пакетов, величина задержки пакетов, вариация времени задержки. Таким образом, авторам статьи [1] удалось сформулировать задачу поиска оптимального пути как многокритериальную задачу выбора маршрута на подмножестве осуществимых путей, удовлетворяющих ограничениям на параметры качества обслуживания и требованиям минимальной стоимости. Как результат такого подхода предложена модификация алгоритма Дейкстры, которая позволила реализовать многокритериальный поиск оптимального маршрута с учетом ограничений на каждый вышеназванный критерий в отдельности, а также для частного случая, когда стоимость маршрута может быть представлена в виде неадитивной функции.

Анализ разработок отдельных специалистов в области маршрутизации показывает, что существующие на сегодняшний день протоколы построены главным образом на поиске оптимального пути по одной, пусть даже композитной метрике. При этом значения других метрик или не учитываются, или же учитываются не полной мере. Речь идет о том, что если по композитной метрике мы получаем некий оптимальный маршрут, то при этом другие метрики, составляющие композицию, могут быть далеки от своих оптимальных значений [1, 3, 4].

Еще одной важной проблемой, связанной с реализацией действующих протоколов маршрутизации, является не всегда эффективное использование сетевых ресурсов [3, 5]. В основу большинства существующих протоколов маршрутизации положены графовые модели, результатом работы которых является, как правило, один и тот же кратчайший путь, соответствующий выбранной метрике. Практика применения алгоритмов маршрутизации свидетельствует, что выбор кратчайшего пути между отправителем и получателем приводит к тому, что такой путь является единственным. При этом другие свободные пути никак не задействуются, а выбранный оптимальный путь может оказаться перегруженным при наличии свободных маршрутов [4]. Одним из возможных решений в данной ситуации является мультипутевая маршрутизация с балансировкой нагрузки между путями равной и близкой стоимости [5].

При использовании QoS-маршрутизации заслуживают внимания следующие подходы:

– необходимо следовать концепции централизованного вычисления путей в рамках маршрутизации от источника – концепция сервера маршрутов (Route Server, RS);

– необходимо обеспечить предвычисление путей до начала передачи трафика.

Маршрутизация является одним из наиболее действенных и эффективных механизмов для обеспечения заданного качества обслуживания, однако на практике в рамках существующих методов маршрутизации и протоколов на их основе сами функции обеспечения заданного качества обслуживания не всегда остаются реализованными в полной мере. Особенно эти вопросы будут актуальными при переходе к сетям нового поколения (NGN). В целом на основании выявленных недоработок существующих протоколов

и с учетом разработанных перспективных методов можно сформулировать требования к протоколам маршрутизации современных сетей телекоммуникаций [1].

I Протокол должен соответствовать требованиям QoS-маршрутизации, т. е. работать с доступными сетевыми ресурсами, информация о которых должна быть получена и постоянно актуализирована путем их постоянного мониторинга. Оптимальный маршрут должен быть выбран с учетом требований различных приложений к качеству их обслуживания при минимальной стоимости.

II Протокол маршрутизации при выборе оптимального маршрута должен обеспечивать сбалансированное использование сетевых ресурсов, что будет означать переход от монопутевых к мультипутевым методам.

III Задача поиска оптимального маршрута должна быть неотделима от задач управления доступом и резервирования ресурсов, т. е. эффективное сочетание дифференциального и интегрального подходов.

Анализ показывает, что перспективным подходом развития протоколов маршрутизации является концепция сервера маршрутов в сочетании с концепцией предвычисления путей, что позволит обеспечить поиск новых более эффективных методов управления трафиком в мультисервисных телекоммуникационных сетях [1]. Таким образом, в задачах поиска оптимальных маршрутов просматриваются три основных подхода [1]:

1. Переход от нескольких одиночных метрик, каждая из которых соответствует тому или иному QoS показателю, к композитной метрике, которую можно представить в виде аддитивной или мультипликативной функции отдельных метрик.

2. Последовательное использование заданных метрик, т. е. поиск маршрутов, удовлетворяющих требованиям первой метрики, затем поиск маршрутов среди найденных по первой метрике, но уже с использованием второй метрики и т. д.

3. Определение из множества метрик одной композиционной метрики, которая удовлетворяет требованиям каждой из отдельных метрик и определяет их значения. Так, если руководствоваться первым подходом, то вместо r аддитивных метрик в качестве комбинированной стоимостной функции пути p предлагается использовать следующие выражения:

$$L(p) = \sum_{i=1}^r d_i w_i(p); \quad (1)$$

$$L(p) = \sum_{i=1}^r \max(w_i(p), L_i), \quad (2)$$

где d_i – весовые коэффициенты различных метрик; L_i – допустимое значение метрики w_i .

Необходимо отметить, что учет нескольких QoS-метрик и различных требований приложений к значениям этих метрик является неоднозначной задачей и в целом существенно усложняет построение алгоритмов маршрутизации [1].

Единый комплексный весовой коэффициент

Одним из шагов эффективного использования многокритериальной маршрутизации является введение единого комплексного весового коэффициента. В работах [2, 3] представлен алгоритм поиска пути, для которого установлены минимальная стоимость и заданная задержка передачи информации: другими словами, рассматривается задача двухкритериальной маршрутизации, где в качестве функции оптимизации выбраны два параметра: величина задержки в передаче информации и стоимость такой передачи. Видимо, не требуется дополнительных обоснований и пояснений, что тот и другой параметр должны стремиться к своим минимальным значениям из всех возможных.

Таким образом, для каждого канала связи, соединяющего отправителя и получателя, задаются два аддитивных веса w_1 и w_2 , один из которых является весовым коэффициентом по задержке, а второй по стоимости. Единый комплексный весовой коэффициент можно рассчитать по следующей формуле:

$$w = w_1(e) + \alpha w_2(e). \quad (3)$$

Таким образом, задача состоит в расчете весового коэффициента w . Сам по себе расчет является достаточно простым, но только в том случае, если корректно выбран коэффициент α . Запишем выражение для α , взятое из [2, 3]:

$$\alpha = \frac{C_d - d(p)}{c(p) - c(q)}. \quad (4)$$

Алгоритмы, решающие подобные задачи, позволяют достаточно быстро находить множество осуществимых путей. Однако полученные осуществимые пути не всегда являются единственными и оптимальными по параметрам краткости и стоимости. Этот алгоритм можно улучшить за счет более строго вычисления параметра α . Улучшенный алгоритм представлен на рисунке. Одно из улучшений – это более строгий и более обоснованный выбор параметра α , который может быть рассчитан по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{c_d - c(p_d)}{d(p_d) - c(q)}. \quad (5)$$

Суть и назначение параметров $c_d(p)$, $c(p_d)$, $c(q)$, $d(p_d)$ можно легко определить из рисунка. Пример работы алгоритма представлен в статье [2]. Рассмотрим работу данного алгоритма более подробно. Вначале задается предельное значение одного из параметров качества обслуживания, например, задержки. Далее по топологии сети выбирается тот путь от источника s к получателю t , у которого суммарная величина задержки меньше заданной. Если таких путей несколько, то выбирается тот из них, где эта задержка минимальна. Если же несколько путей имеют одну и ту же минимальную величину задержки, то выбирается тот из них, у которого меньше стоимость.

Далее по формуле (5) рассчитывается коэффициент α . В формуле: c_d – величина заданной задержки; $c(p_d)$ – величина минимальной задержки от s к t ; $d(p_d)$ – стоимость передачи от s к t по выбранному пути, имеющему минимальную задержку; $c(q)$ – минимальная стоимость передачи от s к t (определяется по графу топологии на основании анализа всех осуществимых путей). После расчета коэффициента α значения каждого ребра исходного графа умножаются на w в соответствии с формулой (5). Таким образом, получается граф с новыми весовыми коэффициентами по каждой дуге. Далее в соответствии с проведенными пересчетами выбирается тот путь от s к t , который имеет меньшую сумму весовых коэффициентов по дугам. Для этого пути рассчитывается новый коэффициент α . Далее производится перерасчет исходного графа с учетом нового коэффициента, и после перерасчета определяется новый путь, у которого сумма весовых коэффициентов минимальна. Если в результате перерасчетов по двум итерациям получен один и тот же кратчайший путь, этот путь и является оптимальным, и работа алгоритма прекращается.

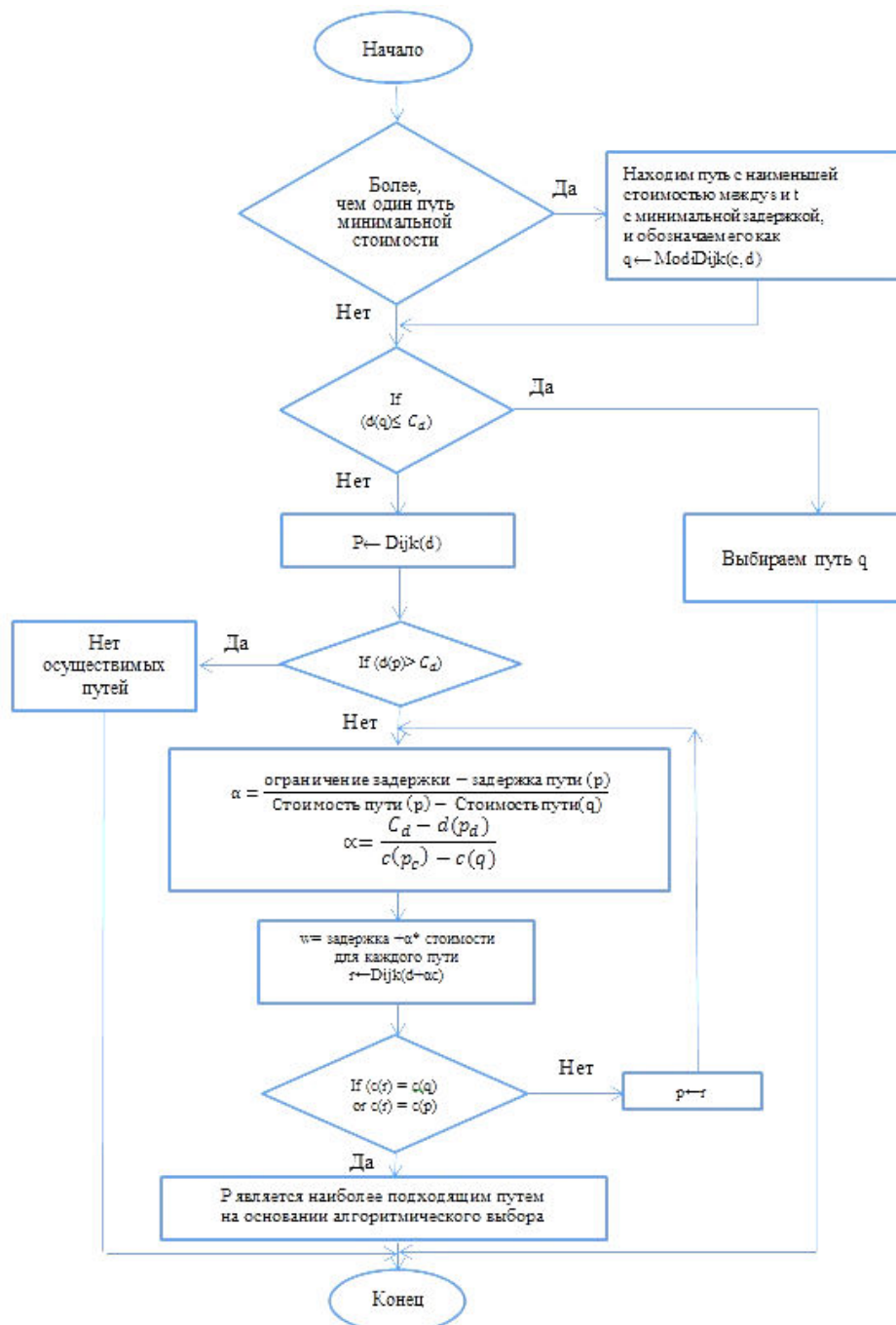
Проведенный анализ позволяет сделать однозначный вывод, что предложенный алгоритм поиска может быть применен и для других сочетаний параметров обеспечения заданного качества обслуживания: джиттер – стоимость; вероятность потерь пакетов – стоимость; скорость передачи – стоимость. При этом необходимо из рассмотрения изначально исключить все возможные пути, пропускная способность которых меньше директивно заданной. Таким образом, алгоритм выбора кратчайшего пути при многокритериальных требованиях может быть сформулирован следующим образом.

1. В результате анализа из графа топологии телекоммуникационной сети исключаются те ребра (каналы связи), пропускная способность которых меньше директивно заданной.

2. После реализации процедуры выбора множества осуществимых путей с помощью предложенного алгоритма осуществляется поиск кратчайшего маршрута отдельно по каждому из сочетаний критериев: вероятность потерь – стоимость; скорость передачи – стоимость; задержка – стоимость; джиттер – стоимость.

3. Из полученных на всех итерациях работы алгоритма промежуточных маршрутов выбирается тот из них, который является наиболее общим (наиболее близким) для всех критериев. Для одних из сочетаний критериев этот путь может быть найден уже на начальной итерации, для других – на завершающей и т. д.

4. Ситуация, когда алгоритм не смог выявить общих путей, означает, что многокритериальная задача при заданных ограничениях не имеет решений.



Алгоритм поиска оптимального пути

На основании анализа существующих различных подходов и алгоритмов QoS-маршрутизации информационных потоков можно выделить следующие главные направления их дальнейшего развития и совершенствования [1, 2]. Разработка новых подходов и методов моделирования сетей телекоммуникаций на основе потоковых моделей динамического характера, что позволит учесть преимущества динамического управления трафиком путем мониторинга текущего состояния телекоммуникационной сети. Такой подход неизбежно приведет к пересмотру метрик и параметров, описывающих саму сеть телекоммуникаций, а также требования к выбору того или иного маршрута. Балансировка трафика сетей телекоммуникаций представляется перспективным и эффективным средством обеспечения заданного качества обслуживания и мультитепевой маршрутизации. Задачи управления трафиком необходимо решать комплексно в рамках единых математических моделей, включающих в себя как выбор оптимального маршрута, так и управление доступом к каналу связи и очередями на обслуживание поступающих заявок, а также резервирование ресурсов.

Заклучение

Выбор кратчайшего пути в сетях телекоммуникаций обеспечивается соответствующими протоколами маршрутизации и в настоящее время базируется, как правило, на многокритериальных концепциях, учитывающих различные требования по поиску самого маршрута, включая требования заданного качества обслуживания. Многокритериальная маршрутизация на основе комплексного весового коэффициента позволяет учесть различные требования при передаче потоков информации. Вместе с тем проблема выбора отдельных частных весовых коэффициентов, составляющих композицию, до конца строго не решена и требует дополнительного изучения. На сегодняшний день разработаны лишь эвристические алгоритмы, которые позволяют осуществлять поиск оптимального пути передачи информации в сетях телекоммуникаций при многокритериальных требованиях, что является недостаточным при решении целого ряда задач маршрутизации.

Список литературы

1. Листопад Н.И., Воротницкий Ю.И., Хайдер А.А. Оптимальная маршрутизация в мультисервисных сетях телекоммуникаций на основе модифицированного алгоритма Дейкстры // Вестн. БГУ, серия 1. 2015. № 1. С. 70–76.
2. Многокритериальная маршрутизация информационных потоков / Н.И. Листопад [и др.] // Проблемы физики, математики и техники. 2017. № 2 (31). С. 84–90.
3. Waleed A. Mahmoud, Dheyaa J. Kadhim // A Proposal Algorithm to Solve Delay Constraint Least Cost Optimization Problem // J. of Engineering, University of Baghdad. 2013. Vol. 19, № 1. P. 155–160.
4. Листопад Н.И., Михневич С.Ю., Хайдер А.А. QoS маршрутизация информационных потоков в сетях телекоммуникаций // Проблемы физики, математики и техники. 2016. № 2. С. 90–96.
5. Листопад Н.И., Бука Л.О. Маршрутизация информационных потоков в мультисервисных сетях с учетом требований качества обслуживания // Информатизация образования. 2016. № 2. С. 33–40.

References

1. Listopad N.I., Vorotnickij Ju.I., Hajder A.A. Optimal'naja marshrutizacija v mul'tiservisnyh setjah telekommunikacij na osnove modifitsirovannogo algoritma Dejkshty // Vestn. BGU, serija 1. 2015. № 1. S. 70–76. (in Russ.)
2. Mnogokriterial'naja marshrutizacija informacionnyh potokov / N.I. Listopad [i dr.] // Problemy fiziki, matematiki i tehniki. 2017. № 2 (31). S. 84–90. (in Russ.)
3. Waleed A. Mahmoud, Dheyaa J. Kadhim // A Proposal Algorithm to Solve Delay Constraint Least Cost Optimization Problem // J. of Engineering, University of Baghdad. 2013. Vol. 19, № 1. P. 155–160.
4. Listopad N.I., Mihnevich S.Ju., Hajder A.A. QoS marshrutizacija informacionnyh potokov v setjah telekommunikacij // Problemy fiziki, matematiki i tehniki. 2016. № 2. S. 90–96. (in Russ.)
5. Listopad N.I., Buka L.O. Marshrutizacija informacionnyh potokov v mul'tiservisnyh setjah s uchetom trebovanij kachestva obsluzhivaniya // Informatizacija obrazovanija. 2016. № 2. S. 33–40. (in Russ.)

Сведения об авторе

Листопад Н.И., д.т.н, профессор, заведующий кафедрой информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the author

Listopad N.I., D.Sci., professor, head of information radioengineering department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +375-17-293-23-04;
e-mail: listopad@bsuir.by
Листопад Николай Измаилович

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka st., 6,
Belarusian state university
of informatics and radioelectronics
tel. +375-17-293-23-04;
e-mail: listopad@bsuir.by
Listopad Nikolai Izmailovich