

Р.А. АВЕТИСЯН, Р.А. ГЕВОРКЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТИЗАЦИИ В IP СЕТЯХ ПУТЕМ ЗАДАНИЯ СООТВЕТСТВУЮЩИХ МЕТРИК КАНАЛОВ

Рассмотрены различные концепции оптимизации маршрутизации в IP сетях. Задача определения оптимальных метрик каналов для однометрических и двухметрических протоколов маршрутизации решается с применением генетического алгоритма.

Ключевые слова: концепции маршрутизации в IP сетях, оптимизация маршрутизации, метрики каналов.

Методы оптимизации маршрутизации описывают процесс повышения производительности сети путем выявления и внедрения оптимальных моделей распределения нагрузки (трафика) без нарушения/изменения принятой структуры сети. В случаях, когда наращение нагрузок или временные колебания трафика вызывают перегрузки каналов связи, эти методы применяются для полного или частичного разрешения проблем производительности сети. Суть оптимизации заключается в “подстраивании” маршрутизации к сложившейся нагрузке в целях лучшей утилизации сетевых ресурсов, что, в свою очередь, повышает качество предоставляемых услуг (QoS – Quality of Service). Проблема оптимизации маршрутизации может быть сформулирована следующим образом: на заданной структуре сети и матрице спроса трафика необходимо найти такое решение для маршрутизации трафика, которое приведет к оптимальному QoS в сети. Под мерой QoS могут подразумеваться разные параметры производительности сети. Большинство определений в литературе основаны на утилизации каналов связи, что объясняется ее влиянием на задержку и потерю пакетов между маршрутизаторами [1]. Объектом оптимизации настоящей работы является минимизация наивысшей утилизации каналов связи в сети. В статье исследуется оптимизация маршрутизации для традиционных протоколов внутренних шлюзов (IGP – Interior Gateway Protocol). Эти протоколы опираются на метрики каналов для выявления наикратчайших маршрутов и определения выходных интерфейсов по всем направлениям. Таким образом, путем соответствующей настройки значений метрик возможно оптимизировать маршрутизацию. Сосредоточим свое внимание на наиболее распространенных протоколах маршрутизации, рекомендованных Cisco Systems – лидером на рынке сетевых технологий, которые учитывают два типа метрик – задержку и пропускную способность [2,3].

Рассмотрим характерные черты для разных концепций маршрутизации:

- *Маршрутизация, основанная на пунктах назначения (destination-based routing) и отправления (source-based routing).*

Существуют две принципиально разные концепции маршрутизации, которые, несомненно, влияют на процедуры и конечные результаты оптимизации. Это маршрутизация, основанная на пунктах назначения и отправления. Традиционные

протоколы маршрутизации, такие как OSPF (Open Shortest Path First), EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) и IS-IS (Intermediate System - Intermediate System), относятся к первой концепции, каждый маршрутизатор принимает решение о дальнейшей пересылке пакета, основываясь исключительно на адресе назначения пакета, указанном в его заголовке. Такая процедура маршрутизации проста и достаточно эффективна, однако она накладывает ограничения на возможности оптимизации (рис. 1).

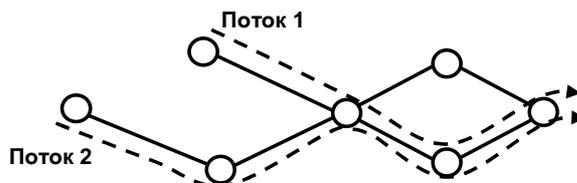


Рис. 1. Ограничения, накладываемые маршрутизацией по пункту назначения

При пересечении двух потоков с одинаковыми пунктами назначения они объединяются и отсылаются далее по одному и тому же интерфейсу, что может вызвать перегрузку на некоторых каналах связи, в то время как на других маршрутах утилизация каналов будет оставаться на низком уровне. Во избежание таких ограничений были разработаны новые технологии для маршрутизации, основанной на пункте отправления пакетов, такие как MPLS (MultiProtocol Label Switching). MPLS дает возможность устанавливать структуру маршрутизации внутри IP сети независимо от используемого протокола маршрутизации и задавать определенные маршруты для отдельных потоков трафика. Каждый IP пакет, предназначенный для MPLS маршрутизации, содержит специальную метку, которая лежит в основе принятия решений маршрутизаторами о дальнейшей пересылке пакета на всем пути его следования. Таким образом, маршрутизация пакетов не зависит от низлежащих протоколов маршрутизации, в ее основе лежат метки пакетов и информация о дальнейшей пересылке, заложенная в маршрутизаторах. Такая методика дает высокий уровень гибкости маршрутизации, т.к. позволяет достичь любой желаемой картины маршрутизации.

- *Однометрическая и двухметрическая маршрутизация.*

В случае маршрутизации, основанной на пункте назначения пакетов, маршрутизатор определяет выходной интерфейс для дальнейшей пересылки пакетов, исходя из значений метрик, которые количественно описывают дистанцию до пункта назначения. Как правило, отдельная аддитивная метрика присваивается каждому каналу, затем алгоритм определения наикратчайшего пути используется для определения оптимальных маршрутов между всеми узлами сети (однометрическая маршрутизация). Зачастую метрики каналов имеют физический смысл, например, “задержка” или “стоимость”, хотя их значения могут быть использованы напрямую для оптимизации маршрутизации, не неся в себе никакого физического смысла. То есть, задавая соответствующие значения метрик каналов, можно косвенно воздействовать на схему маршрутизации и, таким образом, оптимизировать ее.

Наряду с однометрическими протоколами существуют также схемы маршрутизации, которые позволяют учитывать при определении маршрута более чем одну метрику канала (многометрическая маршрутизация). Примером является протокол маршрутизации EIGRP, разработанный компанией Cisco, который учитывает четыре метрики. Однако только две из

них используются по умолчанию – аддитивная метрика “задержка” и метрика “емкость”. Сосредоточим внимание на этих двух типах метрик и покажем, как они могут быть задействованы для оптимизации маршрутизации. Дистанция до пункта назначения вычисляется по следующей нормированной формуле:

$$M = \frac{1}{\min_i(bw_i)} + \sum_i d_i = \max_i(icm_i) + \sum_i d_i, \quad (1)$$

где bw_i – пропускная способность канала i ; d_i – статическая задержка канала i .

Таким образом, маршрутизатор для определения маршрута учитывает сумму задержек всех каналов до пункта назначения и добавляет к ней компоненту пропускной способности, которая равна обратной величине минимума полос пропускания каналов до пункта назначения (полоса пропускания “узких мест”). Затем выбирается маршрут с наименьшим значением метрики маршрута M . Для удобства мы будем учитывать не саму пропускную способность канала, а величину, обратную ей, и обозначим ее icm ($icm_i = 1/bw_i$), т.е. в формуле для дистанции вместо обратной величины минимума пропускной способности ($1/\min_i(bw_i)$) вставим максимум из значений обратной пропускной способности ($\max_i(icm_i)$) каналов. На рис. 2 показана концепция маршрутизации, учитывающей пропускную способность и задержку каналов. Метрика дистанции маршрута А-В-С-Е равна 7 (сумма задержек = 3 плюс компонента пропускной способности = 4), а для маршрута А-Д-Е равна 5. Как следствие, маршрутизатор А выбирает маршрутизатор D для дальнейшей пересылки пакета к пункту назначения E, и поток 1 будет проходить через маршрут А-Д-Е.

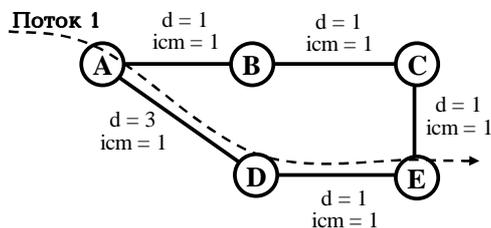


Рис. 2. Двухметрическая маршрутизация

В зависимости от значений d и icm решающую роль при выборе маршрута играют наименьшая суммарная задержка (т.е. кратчайший маршрут) или высокая пропускная способность, взятые в отдельности либо вместе. Оптимизация маршрутизации, основанной на двухметрических протоколах, имеет больший потенциал для достижения оптимальных решений по сравнению с однометрическими протоколами. Поскольку вторая метрика вносит больше гибкости, то реализуется больше схем маршрутизации. Следует отметить, что в случае задания одинаковых значений для всех метрик icm двухметрический протокол будет работать как однометрический и выдавать схемы маршрутизации соответствующим образом. Преимущества двухметрического протокола явно видны на рис. 3.

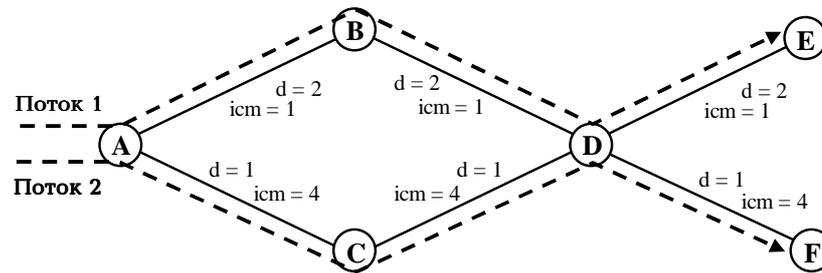


Рис. 3. Преимущества двухметрической маршрутизации

Допустим, имеется два потока с различными пунктами назначения, но их маршруты имеют несколько общих узлов, т.е. несколько раз проходят через одинаковые маршрутизаторы. Пусть А будет первым общим маршрутизатором на их пути, а D - последним. В то время как однометрический протокол объединит оба потока после их прибытия в маршрутизатор А и перешлет их маршрутизатору В или С, используя двухметрический протокол, можно добиться получения схемы маршрутизации, изображенной на рис. 3. Для потока 1 выбранный маршрут имеет суммарную метрику, равную 7, а метрика маршрута, проходящего через маршрутизатор С, для него равна 8. Для потока 2 картина обстоит иначе - метрика маршрута А-С-Д-F равна 7, в то время как метрика маршрута А-В-Д-Е равна 9. Суть решения проблемы заключена в задании величин обратных пропускных способностей таким образом, чтобы сделать некоторые маршруты менее привлекательными для одного потока, в то время как эти величины не будут иметь влияние на другой поток, т.к. на его маршруте уже имеются высокие значения величин обратных пропускных способностей (на отрезках, различных для двух потоков). Существенный выигрыш в QoS, который может дать EIGRP по сравнению с OSPF, зависит в основном от топологии сети и спроса трафика.

В данной работе для вычисления оптимальных метрик маршрутов использован генетический алгоритм. Для создания генных цепочек были пронумерованы все каналы в сети с присвоением веса каждому из них. Таким образом, каждая генная цепочка содержит веса всех каналов в порядке их нумерации. В случае однометрической маршрутизации сценарий маршрутизации может быть задан одной генной цепочкой, для двухметрической маршрутизации необходимо иметь уже две генные цепочки для каждого решения. Определенное решение выводится из генной цепочки путем соответствующего вычисления кратчайшего пути с использованием одной или двух метрик. Так как мы намереваемся минимизировать наивысшую утилизацию каналов в сети, то для функции пригодности была выбрана величина, обратная максимальной утилизации. При этом решения, приводящие к меньшей утилизации каналов, получают более высокое значение пригодности, т.е. имеют более высокие шансы к репродукции при создании нового поколения. Для воздействия на процесс репродукции возведем в степень функцию пригодности:

$$F_{\text{пригодности}} = \left(\frac{1}{\max_{i \in \text{каналам}} (\text{утилизация } i)} \right)^p, p > 0. \quad (2)$$

При $p < 1$ можно добиться искусственного завышения значения пригодности плохих решений по сравнению с хорошими, что позволяет избежать быстрого отсеивания плохих решений, т.е. ранней сходимости алгоритма. И, наоборот, при $p > 1$ разрыв между плохими и хорошими решениями увеличивается, что может привести к более быстрой сходимости процесса.

В целях увеличения производительности алгоритма и скорости вычислений предлагается перед оценкой решений применять процедуру локального поиска. При этом каждый раз используется процедура для отвода трафика с канала с наивысшей утилизацией. Эта процедура повторяется до тех пор, пока она дает улучшение имеющегося результата. В случае однометрической маршрутизации, чтобы отвести трафик с канала, достаточно повысить его метрику. То есть, мы увеличиваем метрику канала с наивысшей утилизацией и перемаршрутизируем все потоки. Если это вызывает возрастание утилизации на каком-либо канале в сети, то необходимо вернуть значение измененной метрики и, тем самым, закончить дальнейший поиск. В противном случае, процедура повторяется для канала, который после изменений имеет наивысшую утилизацию. Для протоколов двухметрической маршрутизации возможности для отвода трафика с определенных каналов шире. Можно увеличить метрику задержки или уменьшить метрику пропускной способности канала, либо наоборот. То есть, процедура поиска многократно применяет возможные модификации метрик самого загруженного канала. Любая модификация метрик приемлема, если она не приводит к возрастанию максимальной утилизации. Выполнение процедуры прекращается в случае, когда больше не удастся получить дальнейшее улучшение. Для улучшения результатов при репродукции не все генные цепочки выбираются случайным образом. В каждом цикле репродукции мы вводим наилучшее решение на данный момент и глобальное наилучшее решение в новое поколение.

Результаты предложенного алгоритма были апробированы на нескольких сетевых сценариях при помощи программного обеспечения для моделирования сети ns2 [4]. В таблице представлены параметры трех сценариев и результаты оптимизации для них. Все потоки трафика сгенерированы случайным образом между узлами сети. Приведенная в таблице первоначальная максимальная утилизация является результатом работы стандартного протокола OSPF (метрики всех каналов равны 1, т.е. получены наикратчайшие маршруты). Как и предполагалось, результаты, полученные при использовании двухметрического протокола EIGRP, позволили достичь меньшей утилизации, чем при использовании однометрического протокола OSPF.

Таблица

Результаты оптимизации для различных сетевых сценариев			
	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
Число маршрутизаторов	11	20	50
Число каналов	24	30	63
Число потоков	33	200	117
макс. утилизация	0,573	0,55	0,573
Результаты оптимизации для OSPF			
макс. утилизация	0,406	0,364	0,406
Результаты оптимизации для EIGRP			
макс. утилизация	0,383	0,363	0,347

Таким образом, предложенный подход позволяет повысить QoS сети за счет корректировки параметров метрик, воздействующих на маршрутизацию. Одним из наиболее важных преимуществ алгоритма является возможность его применения для сетей со сложной топологией, то есть в случаях, когда размерность задачи затрудняет или делает невозможным применение линейных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Chen S., Nahrstedt K.** An overview of Quality of Service Routing for the Next Generation High-Speed Networks: Problems and Solutions // IEEE Network Magazine. – November/December, 1998.– P. 64-79.
2. **Moy Jonh T.** OSPF, anatomy of an Internet routing protocol. – Addison – Wesley.- New York, 1998. – 345 p.
3. Enhanced Interior Gateway Routing Protocol. – Cisco White Paper EIGRP: <http://www.cisco.com/warp/public/103/eigrp-toc.html>: 45 p.
4. **Fall K., Varadhan K.** The ns Manual. The VINT Project, 2000: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc-stable/index.html>: 164 p.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 02.07.2004.

Ռ. Ա. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ռ. Ա. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ
IP ՑԱՆՑԵՐՈՒՄ ԵՐԹՈՒՂԱՎՈՐՄԱՆ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՈՒՄ` ԿԱՊՈՂԻՆԵՐԻ
ՀԱՍՏԱՊԱՏԱՍԽԱՆ ՄԵՏՐԻԿԱՆԵՐԻ ՏՐՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ

Քննարկված են տարբեր հնարավորություններ IP հոսքերի երթուղավորման օպտիմալացման համար: Միամետրիկական և երկմետրիկական նպատակակետի վրա հիմնված երթուղավորման արձանագրությունների օգտագործման դեպքում օպտիմալ մետրիկաների որոնման խնդրի լուծման համար կիրառվում է գենետիկ ալգորիթմ:

R. A. AVETISYAN, R. A. GEVORGYAN
ROUTING OPTIMIZATION IN IP NETWORKS BY MEANS OF SETTING APPROPRIATE ROUTE METRICS

Different concepts for routing optimization in IP networks are discussed. A problem of optimum metric definition for one-metric and two-metric routing protocols using the genetic algorithm is solved.