

УДК 004.722.2

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ
ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ**

ЛИСТОПАД Н.И., ЛАВШУК О.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. Приведен обзор протоколов динамической маршрутизации. Произведен анализ преимуществ и недостатков протоколов векторов расстояния и протоколов на базе состояния канала. Приведены подходы к решению задач многокритериальной оптимизации с учетом требований качества обслуживания.

Ключевые слова: протокол, динамическая маршрутизация, качество обслуживания.

**TECHNOLOGICAL AND THEORETICAL SOLUTIONS FOR DYNAMIC ROUTING
LISTOPAD N.I., LAVSHUK O.A.***Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
(Minsk, Republic of Belarus)*

Abstract. Provides an overview of dynamic routing protocols. The analysis of the advantages and disadvantages of distance vector protocols and protocols based on the state of the channel was carried out. Approaches to solving the problems of multicriteria optimization taking into account the requirements of the quality of service are given.

Keywords: protocol, dynamic routing, quality of service.

Введение

В настоящее время в сетях *IP*, составляющих транспортную основу сетей телекоммуникаций нового поколения *NGN (Next Generation Network)*, используется достаточно широкий перечень внутренних протоколов динамической маршрутизации: протокол маршрутной информации (*Routing Information Protocol, RIP*), протокол маршрутизации внутреннего шлюза (*Interior Gateway Routing Protocol, IGRP*), расширенный протокол внутреннего шлюза (*Enhanced IGRP, EIGRP*), протокол взаимодействия промежуточных систем (*Intermediate System-to-Intermediate System, IS-IS*), открытый протокол кратчайшего пути (*Open Shortest Path First, OSPF*) [1] и др.

В данной статье проведем анализ внутренних протоколов динамической маршрутизации.

Протоколы динамической маршрутизации подразделяются на две основные категории: протоколы векторов расстояния и протоколы на базе состояния канала.

Маршрутизаторы, работающие по протоколам маршрутизации на основе векторов расстояния, совместно используют сведения о сетях с напрямую подключенными соседями. Соседние маршрутизаторы далее передают эти сведения своим соседям, пока они не будут известны всем маршрутизаторам корпоративной сети. Маршрутизатор, работающий по протоколу на основе векторов расстояния, не знает весь путь до адреса назначения, ему известно только расстояние до удаленной сети и направление, или вектор.

Протокол *RIP* является внутренним протоколом маршрутизации дистанционно-векторного типа и был первым протоколом на основе вектора расстояния *IP*. В качестве метрики используется количество переходов, которое ограничено максимум 15-ю маршрутизаторами.

Существует две версии *RIP*. Версия 1 передает полные обновления (таблицы маршрутизации) каждые 30 секунд, используя широковещательную рассылку. Версия 2 поддерживает частичные, запускаемые событиями обновления и использует многоадресную рассылку. *RIP* — это протокол медленной маршрутизации по сравнению с другими протоколами внутренних шлюзов. Достоинства протокола *RIP* версии 1: простота реализации, низкие требования к вычислительным ресурсам маршрутизаторов, низкие требования к объемам памяти маршрутизаторов, простота настройки. Недостатки протокола *RIP* версии 1: неэффективность метрики маршрутов, высокая загрузка каналов, ограниченный диаметр сети, медленная сходимость, отсутствие маски подсети, отсутствие подтверждения подлинности, отсутствие шифрования. В версии 2 предусмотрены важные

усовершенствования: аутентификацию, маску сети, групповую адресацию, метку маршрута, ссылку на следующий маршрутизатор. В настоящее время используется на маршрутизаторах более старых моделей с меньшей мощностью и требуют меньшего объема памяти и вычислений. [2]

Протокол маршрутизации *IGRP* разработан корпорацией Cisco, в 1980-х. Протокол создан для преодоления недостатков протокола *RIP*. *IGRP* – дистанционно-векторный протокол, использует алгоритм Бэллмана- Форда. Используется и другими производителями (не только *Cisco*). В протоколе *IGRP* в качестве метрики интерфейса используется величина:

$$M_{IGRP} = [K_1 * B + \frac{K_2 * B}{256 - L} + K_3 * D] \frac{K_5}{R + K_4} \quad (1)$$

где K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 – постоянные коэффициенты; B, L, D, R – отдельные метрики маршрута, причем B – ширина полосы (bandwidth), значение в диапазоне 1200 б/с – 10Гб/с; L – нагрузка (load), определяется долей (0-1); D – задержка (Internetwork delay), значение в диапазоне 10мс-167с; R – надежность (reliability), определяется вероятностью (0-1).

Весовые коэффициенты $K_i, i=\overline{1,5}$ являются административно настраиваемыми параметрами, по умолчанию их значения равны $K_1 = K_3 = 1, K_2 = K_4 = K_5 = 0$.

В результате формула (1) принимает вид

$$M_{IGRP} = [B + D] \quad (2)$$

В протоколе *IGRP* используется широковещательный механизм рассылки маршрутных обновлений.

Достоинства протокола *IGRP*: многопараметрическая метрика, возможность настройки коэффициентов в метрике, невысокие требования к вычислительным ресурсам, простота реализации. Недостатки протокола *IGRP*: медленная сходимость, невозможность работы с маской сети, низкая защищенность (отсутствие аутентификации, отсутствие шифрования).

Протокол *EIGRP* гибридный дистанционно-векторный протокол с элементами протокола состояния канала. В протокол *EIGRP* входит множество функциональных возможностей: поддерживает *VLSM* и бесклассовую маршрутизацию, использует составную метрику, использует частичные обновления для быстрой конвергенции, поддерживает лучший и возможный лучший маршруты, распределяет нагрузку между маршрутами с равной и неравной стоимостью. В силу всех этих факторов протокол *EIGRP* – оптимальный выбор для больших многопротокольных сетей, в которых используются, в основном, устройства компании *Cisco*. [2]

В протоколе *EIGRP* в качестве метрики используется величина:

$$M_{EGRP} = 256[K_1 * M_b + \frac{K_2 * M_b}{256 - M_l} + K_3 * M_d] \frac{K_5}{M_r + K_4} \quad (3)$$

где K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 – постоянные коэффициенты; M_b, M_d, M_r, M_l – отдельные метрики маршрута, причем M_b – величина обратной логической пропускной способности маршрута; M_d – кумулятивная логическая задержка маршрута; M_r и M_l – надежность и загрузка маршрута соответственно.

Весовые коэффициенты $K_i, i=\overline{1,5}$ (3) являются административно настраиваемыми параметрами, по умолчанию их значения равны $K_1 = K_3 = 1, K_2 = K_4 = K_5 = 0$.

В результате формула (3) принимает вид (часть $\frac{K_5}{M_r + K_4}$ не используется):

$$M_{EGRP} = 256[K_1 * M_b + K_3 * M_d] \quad (4)$$

Недостатки протокола *EIGRP*: несколько худшая по сравнению с *OSPF* сходимость, работает эффективно, если не изменять параметры по умолчанию.

Протоколы маршрутизации на базе состояния канала, такие как *OSPF*, не производят частой периодической рассылки полной таблицы маршрутизации. Вместо этого после объявления сети отправка обновления производится только при каком-либо изменении в топологии сети, например, при отключении канала. Кроме этого каждые 30 минут протокол *OSPF* выполняет полное обновление. Для протоколов маршрутизации по состоянию канала требуется следующее: более сложный процесс планирования и конфигурации сети, большой объем памяти для хранения большого количества таблиц, более высокая мощность процессора для сложных расчетов маршрутизации.

Протокол *OSPF* основывает метрику стоимости для отдельного канала на его пропускной способности. Метрикой для конкретной сети назначения является сумма стоимости всех каналов пути. Если существует несколько путей к сети, предпочтительным является путь с наименьшей стоимостью, и он заносится в таблицу маршрутизации.

Для расчета стоимости канала протокола *OSPF* используется следующее уравнение:

$$C = \frac{100000000}{P} \quad (5)$$

где P – пропускная способность канала в бит/с.

После получения объявлений *LSA* с описанием всех каналов в пределах соответствующей области маршрутизатор *OSPF* использует алгоритм *SPF*, так называемый алгоритм Дейкстры, для создания топологической древовидной схемы, или карты сети. Каждый маршрутизатор, на котором выполняется данный алгоритм, определяет себя в качестве корневого элемента своего собственного дерева *SPF*. Начиная от корневого элемента, дерево *SPF* определяет кратчайший путь к каждому месту назначения и общую стоимость каждого пути. Маршрутизатор заносит кратчайший путь к каждой сети в таблицу маршрутизации. Объявления о состоянии каналов рассылаются при появлении в сети каких-либо изменений. [2]

Достоинства протокола *OSPF*: использование пропускной способности как метрики, уменьшение размера базы данных состояний каналов, т.е. уменьшение числа расчетов *SPF*, быстрая конвергенция, поддержка бесклассовой маршрутизации, иерархическая структура с использованием областей. Недостатки протокола *OSPF*: Требуется больше памяти и более мощный процессор, первоначальная лавинная рассылка объявлений о состоянии канала заметно снижает производительность сети, высокая сложность конфигурирования.

Однако, все рассмотренные протоколы не укладываются в полной мере в рамки маршрутизации на основе качества обслуживания, поскольку в них заложена идея поиска кратчайшего пути по одной, пусть даже комбинаторной, метрике без учета достигаемых при этом значений других метрик. Так, например, в протоколе *EIGRP* при выборе маршрута может учитываться множество показателей качества обслуживания (задержка, загрузка, надежность, пропускная способность), использование комбинаторной метрики вовсе не гарантирует наилучших значений других метрик. Другой проблемой, связанной с применением существующих протоколов маршрутизации, является несбалансированное использование сетевых ресурсов. Как правило, балансировка между маршрутами с различной стоимостью требует от администраторов сети дополнительных настроек и зачастую ими не используется.

Существуют различные подходы к решению задач многокритериальной оптимизации с учетом требований качества обслуживания. Применяются как комбинаторные [1, 4], так и потоковые [1, 3] для решения в области *QoS*-маршрутизации. Представление прикладной задачи как комбинаторной задачи и решение ее путем направленного перебора является одним из распространенных подходов в процессе анализа и синтеза сетей телекоммуникаций. При первом подходе основу существующих сетей протоколов маршрутизации составляют различные алгоритмы кратчайшего пути в графе. Используются такие алгоритмы как, алгоритм Дейкстры и Беллмана-Форда, которые обеспечивают нахождения дерева кратчайших в выбранной метрике путей от узла источника ко всем остальным узлам, и вычислительная сложность которых приемлема для реализации в реальном масштабе времени [3]. С появлением концепции *NGN* и смещения акцентов при оценке алгоритмов управления трафиком на их возможности по поддержке функций *QoS* графоккомбинаторные модели и методы были существенно пересмотрены. Концепция *QoS*-маршрутизации требует определения такого пути (путей), между заданной парой узлов-адресатов, вдоль которого будут выполняться требования

одновременно по нескольким *QoS*-показателям (метрикам) [1, 4, 5]. В рамках подобной маршрутизации требования к *QoS*-показателям вдоль пути выступают в качестве ограничений на этапе его поиска, задача которого в общем случае может быть сформулирована: как задача поиска пути с ограничениями (*Multi-Constrained Path*) или как задача поиска оптимального пути с ограничениями (*Multi-Constrained Optimal Path*). [1]

Заключение

Проведенный анализ показывает, что задача оптимальной маршрутизации информационных потоков является комплексной. Комплексность проблем заключается в необходимости учета различных критериев и требований при выборе того или иного маршрута.

Сформулированная задача усложняется также и тем, что необходимо принимать во внимание целый спектр различных технологий, используемых в современных сетях телекоммуникаций с учетом их стоимости.

Таким образом, одной из основных перспективных задач можно выделить разработку методов и алгоритмов динамической многокритериальной маршрутизации при минимальной стоимости обеспечения выбранных маршрутов.

Список литературы

1. Евсеева О. Ю., Гаркуша С. В. Обзор технологических и теоретических решений в области маршрутизации на основе качества обслуживания // Проблемы телекоммуникаций. - 2012 - №3(8). С.24-46.
2. Пайпер Бен Администрирование сетей Cisco: освоение за месяц / – М.: ДМК Пресс, 2018.
3. Листопад Н. И., Михневич С. Ю., Хайдер А. А. QoS-маршрутизация информационных потоков в сетях телекоммуникаций // Проблемы физики, математики и техники. - 2016 - №2(27). С.90-96.
4. Листопад Н. И., Воротницкий Ю. И., Бортновский В. В., Хайдер А. А. Многокритериальная маршрутизация информационных потоков // Проблемы физики, математики и техники. - 2017 - №2(31). С.84-90.
5. Листопад Н. И., Воротницкий Ю. И., Хайдер А. А. Маршрутизация в мультисервисных сетях телекоммуникаций на основе модифицированного алгоритма Дейкстры // Вестник БГУ. Сер.1, Физика. Математика. Информатика. - 2015 - №1. С.70-76.