

УДК 621.317.75:519.2

Д.А. Перепелкин, А.И. Перепелкин

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ НА БАЗЕ ПРОТОКОЛА OSPF В КОРПОРАТИВНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Предложен алгоритм динамической маршрутизации на базе протокола OSPF, позволяющий уменьшить трудоемкость построения таблиц маршрутизации в корпоративных вычислительных сетях.

Ключевые слова: динамическая маршрутизация, протокол OSPF.

Введение. Быстрый рост числа компьютерных сетей, успехи в развитии оптоволоконных и беспроводных средств связи, сопровождаются непрерывной сменой сетевых технологий, направленной на повышения быстродействия и надежности сетей, возможности интегрированной передачи данных, голоса и видеоинформации.

Реализация способов взаимодействия абонентов в компьютерной сети осуществляется с помощью строго формализованных правил и систем специальных процедур, называемых протоколами. Иерархически организованную совокупность протоколов называют стеком протоколов. В современных компьютерных сетях наибольшую популярность получил стек протоколов TCP/IP.

Постановка задачи. В настоящее время наибольшее распространение получили алгоритмы динамической маршрутизации. Они обеспечивают автоматическое обновление таблиц маршрутизации после изменения конфигурации сети. Используя протоколы адаптивных алгоритмов, маршрутизаторы могут собирать информацию о топологии связей в сети и оперативно реагировать на все изменения конфигурации связей [1]. Целью данной статьи является разработка алгоритма динамической маршрутизации на базе протокола OSPF в корпоративных вычислительных сетях.

Обоснование выбора протокола. Современные адаптивные протоколы обмена информацией о маршрутах, в свою очередь, делятся на две группы, каждая из которых связана с одним из следующих типов алгоритмов:

- дистанционно-векторные алгоритмы (Distance Vector Algorithm, DVA);
- алгоритмы состояния каналов (Link State Algorithm, LSA).

Протоколом, основанным на алгоритме состояния связей стека TCP/IP является протокол

OSPF (Open Shortest Path First) [2].

Протокол OSPF реализован в домене маршрутизации gated, который поддерживает также RIP и внешний протокол маршрутизации BGP. Каждый маршрутизатор самостоятельно решает задачу оптимизации маршрутов. В процессе выбора оптимального маршрута анализируется ориентированный граф сети. Выбор оптимального маршрута определяется по алгоритму Дейкстры.

OSPF является протоколом внутреннего шлюза, используемым для маршрутизации внутри группы маршрутизаторов.

Характеристика протокола OSPF. Протокол использует технологию оценки состояния каналов, при которой маршрутизаторы передают друг другу информацию о прямых соединениях между ними и каналах связи с другими маршрутизаторами.

Структура заголовков протокола OSPF показана на рисунке 1.

Версия	Тип пакета	Размер пакета
Идентификатор маршрутизатора		
Идентификатор области		
Контрольная сумма		Тип AU
Аутентификация		

Рисунок 1

Версия. Номер версии протокола (текущее значение - 1).

Тип пакета. Используются пакеты следующих типов.

1. Hello.
2. Database Description.
3. Link State Request.
4. Link State Update.
5. Link State Acknowledgment.

Размер пакета. Размер пакета в байтах с учетом стандартного заголовка OSPF.

Идентификатор маршрутизатора. Идентификатор маршрутизатора отправителя пакетов. В протоколе OSPF отправителем и получателем пакетов являются два маршрутизатора, расположенные на разных сторонах канала.

Идентификатор области. 32-битовое число, идентифицирующее область, к которой относится данный пакет. Все пакеты OSPF ассоциируются с одной областью. Большинство пакетов передаются только через один интервал между маршрутизаторами (хоп). Пакеты, передаваемые через виртуальный канал, маркируются идентификатором магистрали (0.0.0.0).

Контрольная сумма. Стандартная контрольная сумма IP для всего пакета, начиная с заголовка OSPF, но без учета 64-битового поля аутентификации. При расчете контрольной суммы используются 16-битовые слова пакета, за исключением поля аутентификации. Если длина пакета не кратна 16, пакет дополняется 8 нулями до расчета контрольной суммы.

Тип AU. Указывает схему аутентификации, используемую для пакета.

Аутентификация. 64-битовое поле, используемое для аутентификации пакета.

Чтобы понять, в каком состоянии находится линия связи, подключенные к его портам, маршрутизатор периодически обменивается короткими пакетами HELLO со своими ближайшими соседями. Этот служебный трафик также засоряет сеть, но не в такой степени как, например, RIP – пакеты, так как пакеты HELLO имеют намного меньший объем.

Метрики выбранного пути могут характеризоваться следующими параметрами качества обслуживания (QoS):

- 1) пропускной способностью канала;
- 2) задержкой (время распространения пакета);
- 3) числом дейтограмм, стоящих в очереди для передачи;
- 4) загрузкой канала;
- 5) требованиями безопасности;
- 6) типом трафика;
- 7) числом шагов до цели;
- 8) возможностями промежуточных связей (например, многовариантность достижения адресата).

Для передачи статусной информации OSPF использует широковещательные сообщения HELLO. Для повышения безопасности предусмотрена авторизация процедур. OSPF-протокол требует резервирования двух мультикастинг-адресов:

224.0.0.5 предназначен для обращения ко всем маршрутизаторам, поддерживающим этот

протокол;

224.0.0.6 служит для обращения к специально выделенному маршрутизатору.

Любое сообщение OSPF начинается с 24-октетного заголовка, представленного на рисунке 2.

Версия	Тип	Длина сообщения
IP – адрес маршрутизатора - отправителя		
Идентификатор области		
Контрольная сумма	Тип идентификации	
Идентификация (октеты 0-3)		
Идентификация (октеты 4-7)		

Рисунок 2

Поле версия определяет версию протокола (= 2). Поле тип идентифицирует функцию сообщения согласно таблице 1.

Таблица 1

Тип	Значение
1	Hello (используется для проверки доступности маршрутизатора)
2	Описание базы данных (топология)
3	Запрос состояния канала
4	Изменение состояния канала
5	Подтверждение получения сообщения о статусе канала

Поле длина пакета определяет длину блока в октетах, включая заголовок. Идентификатор области – 32-битный код, идентифицирующий область, которой данный пакет принадлежит. Все OSPF-пакеты ассоциируются с той или иной областью. Большинство из них не преодолевает более одного шага. Пакеты, путешествующие по виртуальным каналам, помечаются идентификатором опорной области (backbone) 0.0.0.0. Поле контрольная сумма содержит контрольную сумму IP-пакета, включая поле типа идентификации. Контрольное суммирование производится по модулю 1. Поле тип идентификации может принимать значения 0 при отсутствии контроля доступа, и 1 при наличии контроля. В дальнейшем функции поля будут расширены. Важную функцию в OSPF-сообщениях выполняет однооктетное поле опции, которое присутствует в сообщениях типа HELLO, объявление состояния канала и описание базы данных. Особую роль в этом поле играют младшие биты E и T.

Бит E характеризует возможность внешней маршрутизации и имеет значение только в сообщениях типа HELLO, в остальных сообщениях этот бит должен быть обнулен. Если E=0, то данный маршрутизатор не будет посылать или принимать маршрутную информацию от внешних автономных систем. Бит T определяет сервисные возможности маршрутизатора (TOS). Если T=0, это означает, что маршрутизатор под-

держивает только один вид услуг (TOS=0) и он не пригоден для маршрутизации с учетом вида услуг. Такие маршрутизаторы, как правило, не используются для транзитного трафика.

Протокол OSPF использует сообщение типа Hello для обмена данными между соседними маршрутизаторами. Структура пакетов этого типа показана на рисунке 3.

0	8	16	31
Заголовок OSPF типа 1 (Hello сообщение) 24 октета			
Сетевая маска			
Время между Hello	Опции	Приоритет	
Время отключения маршрутизатора			
IP – адрес маршрутизатора			
IP – адрес резервного маршрутизатора			
IP – адрес соседа 1			
IP – адрес соседа 2			

IP – адрес соседа N			

Рисунок 3

Маршрутизаторы обмениваются сообщениями из баз данных OSPF, чтобы инициализировать, а в дальнейшем актуализовать свои базы данных, характеризующие топологию сети. Обмен происходит в режиме клиент-сервер. Клиент подтверждает получение каждого сообщения. Поля, начиная с тип канала, повторяются для каждого описания канала. Так как размер базы данных может быть велик, ее содержимое может пересылаться по частям. Для реализации этого используются биты I и M. Бит I устанавливается в 1 в стартовом сообщении, а бит M принимает единичное состояние для сообщения, которые являются продолжением. Бит S определяет то, кем послано сообщение (S=1 для сервера, S=0 для клиента, этот бит иногда имеет имя MS). Поле номер сообщения по порядку служит для контроля пропущенных блоков. Первое сообщение содержит в этом поле случайное целое число M, последующие M+1, M+2,...M+L. Поле тип канала может принимать значения согласно таблицы 2.

Таблица 2

OSPF - код	TOS - коды	TOS (RFC 1349)
0	0000	Обычный сервис
2	0001	Минимизация денежной стоимости
4	0010	Максимальная надежность
8	0100	Максимальная пропускная способность
16	1000	Минимальная задержка

Сообщения об изменениях маршрутов могут быть вызваны следующими причинами.

1. Возраст маршрута достиг предельного значения (LSRefreshTime).
2. Изменилось состояние интерфейса.
3. Произошли изменения в маршрутизаторе сети.
4. Произошло изменение состояния одного из соседних маршрутизаторов.
5. Изменилось состояние одного из внутренних маршрутов (появление нового, исчезновение старого и т.д.).
6. Изменение состояния межзонного маршрута.
7. Появление нового маршрутизатора, подключенного к сети.
8. Вариация виртуального маршрута одним из маршрутизаторов.
9. Возникли изменения одного из внешних маршрутов.
10. Маршрутизатор перестал быть пограничным для данной автономной системы (например, перезагрузился).

Обоснование алгоритма динамической маршрутизации на базе протокола OSPF.

Представим вычислительную сеть в виде неориентированного взвешенного связного графа $G=(V,(E,W))$, где V – множество вершин, $|V|=N$, E – множество ребер, W – множество весов ребер.

В настоящее время в протоколе маршрутизации OSPF используются два распространенных алгоритма маршрутизации – это алгоритм Беллмана – Форда и алгоритм Дейкстры. Однако трудоемкость этих алгоритмов достаточно высокая, порядка $O(N^2)$ и $O(N^3)$ соответственно [3].

В работе [4] предложен алгоритм парных перестановок, позволяющий за счет сбора дополнительной информации учесть возможные изменения конфигурации вычислительной сети и не производить полный пересчет маршрутных таблиц. Это позволило в существующей вычислительной сети снизить трудоемкость пересчета таблиц маршрутизации до величины порядка $O(N)$.

В условиях динамически изменяющейся структуры корпоративной вычислительной сети использование данного алгоритма оказывается неэффективным, так как он не учитывает возможные изменения топологии вычислительной сети. В работе [5] были предложены алгоритмы динамической маршрутизации, учитывающие изменения топологии вычислительной сети и позволяющие получить трудоемкость в этих условиях $O(N)$.

Алгоритм динамической маршрутизации на базе протокола OSPF. Для повышения эффективности использования протокола OSPF разработана программа, реализующая предложенные в работе [5] алгоритмы динамической маршрутизации.

Укрупненная схема алгоритма на базе протокола OSPF имеет следующий вид:

Шаг 1. Первоначальная инициализация исходных данных. Используя пакет HELLO протокола OSPF определить веса линий связи W_{ij} .

Шаг 2. Расчет таблиц маршрутизации на базе полученных данных, используя разработанные алгоритмы адаптивной маршрутизации.

Шаг 3 а) Определить, есть ли пакеты на передачу.

б) если есть – перейти к шагу 4,

в) иначе – к шагу 13.

Шаг 4. а) используя поля «Время жизни» и «Контрольная сумма заголовка» протокола IP определить, требуется ли уничтожить (отбросить) данный пакет;

б) если да – перейти к шагу 12;

в) иначе – к шагу 5.

Шаг 5. а) используя поле «Тип сервиса» определить, требуется ли создание виртуального соединения;

б) если да – перейти к шагу 6;

в) иначе – к шагу 8.

Шаг 6. а) Организовать виртуальное соединение, послав первый пакет «запрос вызова» адресату;

б) пакет согласия на соединение от адресата пришел – перейти к шагу 7;

в) адресат отклонил вызов – перейти к пункту 8.

Шаг 7. а) обмен пакетами;

б) установить флаг передачи;

в) послать адресату пакет ликвидации соединения;

г) получит пакет подтверждения рассоединения от адресата.

Шаг 8. а) Проверка флага передачи;

б) если флаг установлен – перейти к шагу 12;

в) иначе – к шагу 12.

Шаг 9. а) используя поле «Тип сервиса» определить необходимую таблицу маршрутизации, с учетом желаемого уровня качества обслуживания;

б) если таблица 1 – перейти к шагу 10;

в) иначе – к шагу 11.

Шаг 10. а) передать пакет, используя первую таблицу маршрутизации;

б) перейти к шагу 12.

Шаг 11. Передать пакет, используя вторую таблицу маршрутизации;

Шаг 12. а) Проверка окончания работы маршрутизатора;

б) если да – перейти к шагу 16;

в) иначе – сбросить флаг передачи и перейти к шагу 3.

Шаг 13. Принять пакет со служебной информацией.

Шаг 14. Перестроить таблицы маршрутизации, используя разработанные алгоритмы адаптивной маршрутизации.

Шаг 15. Передать пакет со служебной информацией соседним маршрутизаторам.

Шаг 16. Конец работы маршрутизатора.

На основе предложенного алгоритма адаптивной маршрутизации на базе протокола OSPF разработана программа имитационного моделирования процессов маршрутизации в КВС.

Целью исследования было оценить корректность работы алгоритмов для максимального, минимального и среднего значения размерности решаемой задачи. Каждый эксперимент состоял из 100 испытаний, каждое испытание из 100 изменений. Ребро для изменения и приращение веса выбиралось случайным образом. Исходный граф в каждом испытании формировался также случайно. Для каждого испытания на множестве обработанных изменений выбиралось минимальное, максимальное и среднее значение размерности задачи. По этим значениям были построены графики. Для каждого эксперимента было найдено математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение для размерности задачи. Объем выборки при этом составлял, как можно рассчитать, 10000 значений. Для алгоритма адаптивной маршрутизации на базе протокола OSPF определялось число фактически выполненных парных переходов.

В таблице 3 приведены обобщенные статистические характеристики для среднего числа изменений при использовании для поиска оптимальных маршрутов.

Таблица 3

Граф	Min значение	Max значение	МО	СКО
$ V =10$	0,3	0,8182	0,5047	0,094
$ V =10$, полный	0,23	0,7	0,4236	0,09923
$ V =100$	0,06	0,74	0,2185	0,1368
$ V =100$, полный	0	0,61	0,09243	0,08626
$ V =500$	0	0,9192	0,0593	0,1173
$ V =500$, полный	9	1,18	0,0324	0,119

Из таблицы 3 видно, что максимальное зна-

чение среднего существенно ниже исходной размерности задачи, а математическое ожидание числа изменений не превышает единицы. Более того, обнаружена тенденция уменьшения математического ожидания числа изменений дерева оптимальных маршрутов с увеличением количества вершин исходного графа. На основе этого можно сделать вывод, что предложенный адаптивный алгоритм маршрутизации на базе протокола OSPF является эффективным при поиске оптимальных маршрутов в условиях изменения весов ребер графа.

Заключение.

Представим вычислительную сеть в виде неориентированного взвешенного связного графа $G=(V,(E,W))$, где V – множество вершин, $|V|=N$, E – множество ребер, W – множество весов ребер.

Обозначим мощность множества $|V| = N$, а мощность множества $|E| = M$. Тогда нижняя оценка трудоемкости расчета дополнительной информации будет равна:

$$O(N),$$

а верхняя:

$$O(N+M).$$

Таким образом, использование данного под-

хода позволяет повысить эффективность алгоритмов динамической маршрутизации на базе протокола OSPF за счет значительного уменьшения трудоемкости расчета таблиц маршрутизации в условиях динамически изменяющейся нагрузки и топологии вычислительной сети.

Библиографический список

1. Куракин Д.В. Маршрутизаторы для глобальных телекоммуникационных сетей и реализуемые в них алгоритмы. // Информационные технологии.– 1996. №2.
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Новые технологии и оборудование IP-сетей. – СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2001. – 512 с.: ил.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2001. – 672 с.: ил.
4. Уваров Д.В., Перепелкин А.И. Построение дерева кратчайших путей на основе данных о парных переходах // Системы управления и информационные технологии. №4 (16), Москва-Воронеж, 2004. С. 93-96.
5. Перепелкин Д.А., Перепелкин А.И. Разработка алгоритмов адаптивной маршрутизации в корпоративных вычислительных сетях. // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии – 2006. – №19. – С. 114–116.