

ВОССТАНОВЛЕНИЕ МАРШРУТОВ В ОПОРНЫХ ИНФРАСТРУКТУРАХ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА БАЗЕ MPLS

К.А. Кулаков, Д.Ж. Корзун, Ю.А. Богоявленский

Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ)

Тел.: (8142) 71-10-15, e-mail: kulakov@cs.karelia.ru, dkorzun@cs.karelia.ru, ybgv@cs.karelia.ru

При использовании чувствительных к задержкам приложений (поточковый звук, видео и т.п.) задача быстрого восстановления маршрутов MPLS является критически важной. При поиске резервных маршрутов нужно учитывать дополнительные критерии. Например, некоторые маршруты восстановления могут не подходить из-за большой загруженности линий связи.

В настоящий момент предлагаемые методы опираются на задачу поиска всех простых контуров сети [1], которая, в общем случае, является вычислительно сложной, в частности, количество контуров может расти экспоненциально с увеличением размеров сети.

Рассмотрим сеть MPLS, использующую управление маршрутизацией пакетов [2]. Для соединения между конечными точками фиксируется маршрут из последовательности узлов сети. Каждый из узлов маршрута может управлять восстановлением соединения. Потеря соединения вызывается нарушением линии связи между соседними узлами или выходом из строя узла маршрута. Решение задачи восстановления включает построение нового маршрута для соединения (поиск маршрута) и переключение соединения на этот маршрут (активация маршрута). Далее будем рассматривать лишь задачу поиска маршрута.

Поиск может происходить как непосредственно после потери соединения (исправленный маршрут), так и заранее (резервный маршрут). Существует два базовых метода восстановления [2]:

- восстановление маршрута между узлами;
- восстановление маршрута между конечными точками.

В первом методе строится только маршрут обхода точки разрыва (линия или узел). Основным достоинством здесь является максимальное сохранение старого маршрута, что обеспечивает достаточно быстрое восстановление. Среди недостатков выделяют возможность существенного ухудшения характеристик маршрута после многократных восстановлений.

Во втором методе происходит построение обходного маршрута, который не пересекается (по узлам или линиям связи) с текущим маршрутом. Основным достоинством здесь является возможность построения наилучших маршрутов независимо от числа выполненных ранее восстановлений. Среди недостатков выделяют вычислительную сложность, которая существенно зависит от размера сети. В силу этого метод рекомендуется только для построения резервных маршрутов.

Нами показано, что модель простых контуров сети MPLS может быть представлена в виде однородной системы неотрицательных линейных диофантовых уравнений (одНЛДУ) с матрицей коэффициентов, совпадающей с матрицей инцидентности орграфа сети маршрутизаторов MPLS [3]. При этом базис Гильберта соответствует множеству простых контуров и может быть найден с помощью разработанных нами алгоритмов. Введение дополнительных ограничений в виде новых уравнений и неизвестных позволяет отсеивать заведомо ненужные контуры (например, исключение загруженных или чрезмерно длинных маршрутов).

Таким образом, мы предлагаем рассматривать не все простые контуры как в существующих алгоритмах восстановления (см., напр.: [1]), а лишь те, которые соответствуют различным вариантам технических требований к процессу восстановления (см. RFC 3469). Тем самым будет достигаться меньшее время задержки при восстановлении.

Для того класса систем одНЛДУ, который используется в предлагаемой модели, известны псевдополиномиальные синтаксические алгоритмы нахождения базиса Гильберта [4]. Теоретическая оценка сложности наихудшего случая составляет $O(q^3 m^2 n)$ для времени решения и $O(qmn)$ для требуемой памяти, где q – число элементов в базисе, m – число неизвестных, n – число уравнений. Экспериментальный анализ показывает, что для большинства тестовых систем временная сложность составляет $\Theta(qm^2)$.

Характеристика	Метод	Число неизвестных			
		100	200	500	1000
Время, сек	1	0,014	0,036	0,252	1,546
Память, Кб		1756	2084	3792	8168
Время, сек	2	0,02	0,112	3,064	23,598
Память, Кб		1756	2184	4048	10188

В таблице приведены характеристики алгоритма решения (среднее время работы и максимальный объем используемой памяти) в зависимости от числа неизвестных m . Измерения выполнены с помощью системы Web-SynDic [6].

Для каждого значения m генерировались 20 систем. Использовалось два метода генерации [5]. Первый позволяет генерировать частный случай орграфа сети MPLS. Второй учитывает возможность использования коэффициентов правой части (матрица A), отличных от коэффициентов инцидентности. Оба метода поддерживают ограничение на размер базиса Гильберта ($q \leq 500$). При оценке объема памяти измерялись все затраты (сегменты данных, потоки, сегменты кода и т.п.). Измерения выполнялись на ЭВМ с CPU Celeron

1200 МГц, RAM 512 Мб, Linux 2.6.5. Система Web-SynDic работала на платформе Java 1.4.2.08 / Apache Tomcat 5.0.19.

Данные результаты показывают, что синтаксический алгоритм дает существенный выигрыш по времени, по сравнению с использованием классических алгоритмов нахождения простых контуров в графе. Так, в [7] для нахождения простых контуров требовалось несколько минут даже при $m=100$ (использовалась ЭВМ SUN Ultra 80, CPU 2x450 МГц, RAM 2 Гб).

Полученная модель является новой по отношению к работам, как в нашей стране, так и за рубежом.

Литература

1. Pin-Han Ho, Hussein T. Mouftah. A framework for service-guaranteed shared protection in WDM mesh networks. SPIE Commun. Mag., vol. 40, pp.97-103, 2002.
2. V. Sharma, F. Hellstrand Framework for Multi-Protocol Label Switching (MPLS)-based Recovery. RFC 3469. Feb 2003.
3. Кулаков К.А. Диофантова модель сети MPLS для восстановления соединений за полиномиальное время. Сборник трудов Второй международной научно-практической конференции "Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности". Т. 5. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – С. 137-143.
4. Корзун Д. Ж. Grammar-Based Algorithms for Solving Certain Classes of Non-negative Linear Diophantine Systems. Труды международного семинара Finnish Data Processing Week at the University of Petrozavodsk (FDPW'2000): Advances in Methods of Modern Information Technology. Vol. 3. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. – С. 52–67.
5. Кулаков К.А. Генерация систем неотрицательных линейных диофантовых уравнений. Материалы международной конференции "Развитие вычислительной техники в России и странах бывшего СССР: история и перспективы". – Петрозаводск, Изд-во ПетрГУ, 2006. – Ч. 2. С. 58-65.
6. Система Web-SynDic – система удаленной демонстрации и тестирования синтаксических алгоритмов решения неотрицательных линейных диофантовых уравнений. <http://websyndic.cs.karelia.ru>.
7. Pin-Han Ho, Hussein T. Mouftah. Reconfiguration of Spare Capacity for MPLS-Based Recovery in the Internet Backbone Networks. IEEE/ACM Trans. on Net. Vol. 12. Feb. 2004. pp.73–84.