
Диофантовы модели сети MPLS для восстановления соединений

Кулаков Кирилл Александрович

Петрозаводский государственный
университет

Москва - 2007

Актуальность

- *Специфика сетевых приложений*
 - *чувствительные к задержкам*
 - *чувствительные к изменениям топологии*
 - *Управление маршрутами*
 - *гарантированное время восстановления*
 - *качество сервиса*
 - *дополнительные критерии маршрутизации*
-

Сеть MPLS

- *Мультипротокольная коммутация по меткам*
 - *Уровень 2,5 в модели OSI*
 - *Коммуникация вида «точка-точка» (соединение)*
 - *Набор меток определяет маршрут следования пакета*
 - *Информация о топологии сети хранится на маршрутизаторе в виде набора маршрутов*
-

Задача ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЯ

- *Потеря соединения*
 - *Нарушение линии связи*
 - *Выход из строя узла*
- *Восстановление соединения*
 - *Построение обходного маршрута*
 - *Переключение соединения на новый маршрут*
- *Контур*
 - *Обратный текущему маршрут*
 - *Резервный маршрут*

Классификация методов восстановления (RFC 3469)

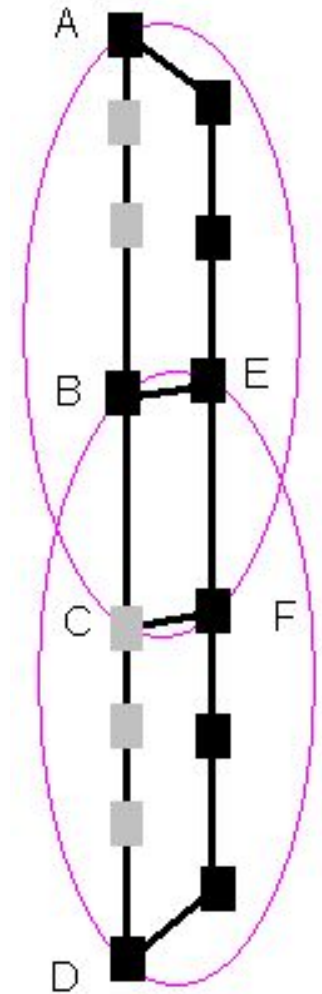
- Подготовка восстановления
 - Перенаправление (rerouting, после потери соединения)
 - Защитное переключение (protection switching, до потери соединения)
 - Масштаб восстановления
 - Локальное восстановление (обход точки разрыва)
 - Глобальное восстановление (построение нового маршрута между конечными точками)
-

Известные методы восстановления

- MPLS local protection (Fast reroute)
 - Построение локального резервного маршрута
 - Быстрое восстановление
 - MPLS global path protection
 - Построение глобального резервного маршрута
 - Short Leap Shared Protection (SLSP)
 - Разбиение маршрута на перекрывающиеся участки
 - Построение резервного маршрута в пределах участка
-

SLSP: Обзор

- Pin-Han Ho, Hussein T. Mouftah
- Разбиение маршрута на домены
- Построение резервного маршрута в домене
- Восстановление только для поврежденного домена
- Быстрое восстановление
- Меньшая деградация характеристик маршрута

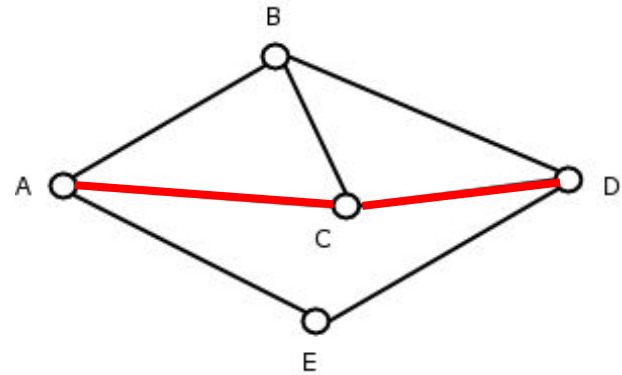


SLSP: Алгоритм

1. Построить множество простых циклов графа сети
 2. Для каждого домена выбрать покрывающие маршрут циклы — кандидаты
 3. Из множества кандидатов выбрать наилучший — резервный маршрут
-

SLSP: Пример

Граф сети MPLS



1. Множество простых циклов

ABCA, BCDB, ABDCA, ACDEA, ABCDEA, ACBDEA, ABDEA

2. Множество кандидатов

ABDCA, ACDEA

3. Резервный маршрут

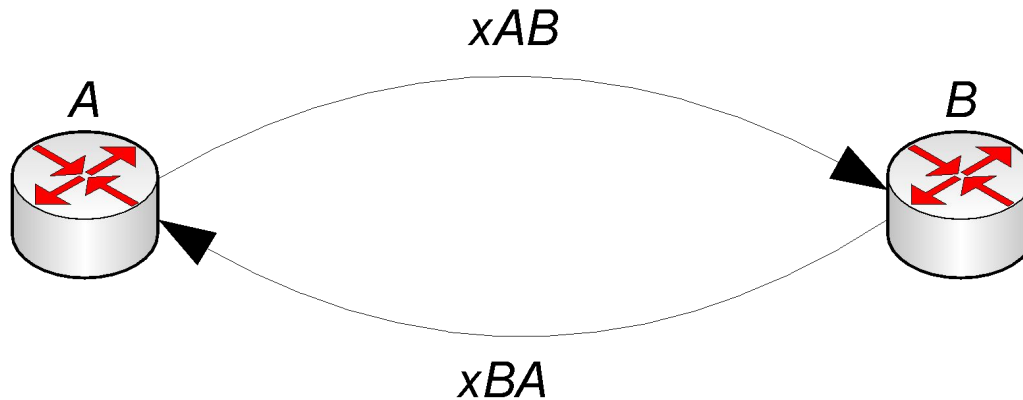
AED

Проблемы известных методов восстановления

- Построение всех простых циклов – экспоненциальный перебор
 - Учет дополнительных ограничений
 - Выбор оптимального маршрута
 - Эффективный алгоритм:
 - Небольшой набор кандидатов
 - Быстрый поиск кандидата
 - Построение резервного маршрута
-

Орграф сети MPLS

- Узел – вершина
- Линия связи AB – две дуги x_{AB} и x_{BA}
- Вес дуги $a_{x_{AB}}$



Линейная диофантова модель

Ассоциированные с формальными грамматиками системы однородных неотрицательных линейных диофантовых уравнений — системы одАНЛДУ

x_i — Дуги

$$\sum_{i \in I_k} x_i = \sum_{i=1}^m a_{ki} x_i$$

a_{ki} — вес дуги i с точки зрения узла k

I_k — Исходящие дуги

$k \in S$ — Узлы сети m — Количество дуг

Интерпретация модели

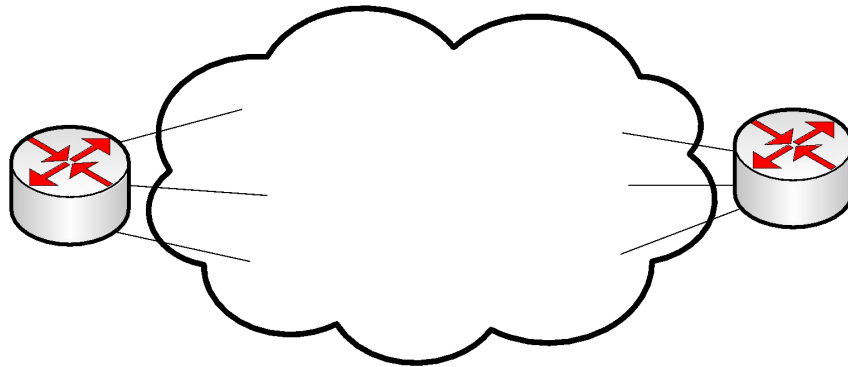
- Вес дуги $a_{ij} \geq 0$
 - Число попыток передачи
 - Коэффициент загруженности
 - Число переходов
 - Приоритет линии связи
- Источник $I_k = \emptyset \quad \sum_i a_{ki} > 0$
- Сток $I_k \neq \emptyset \quad \sum_i a_{ki} = 0$
- Недостижимый узел $\sum_i a_{ki} = 0$

Интерпретация решений

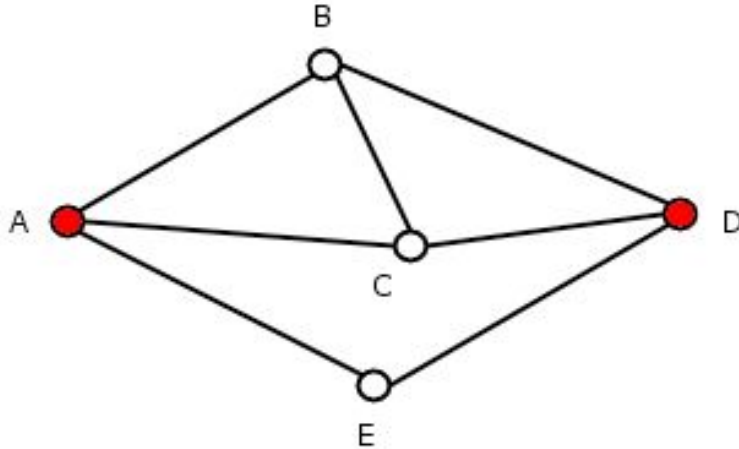
- Решение системы одАНЛДУ = циклический маршрут
- Множество всех решений
- Базис Гильберта – конечное описание всех решений
- Базисные решения – кандидаты на резервные маршруты

Простейшая модель

- Основа – матрица инцидентности
- Вес дуг $a_{ki} = 1$
- Базисное решение – простой контур
- Поиск всех простых контуров



Пример 1

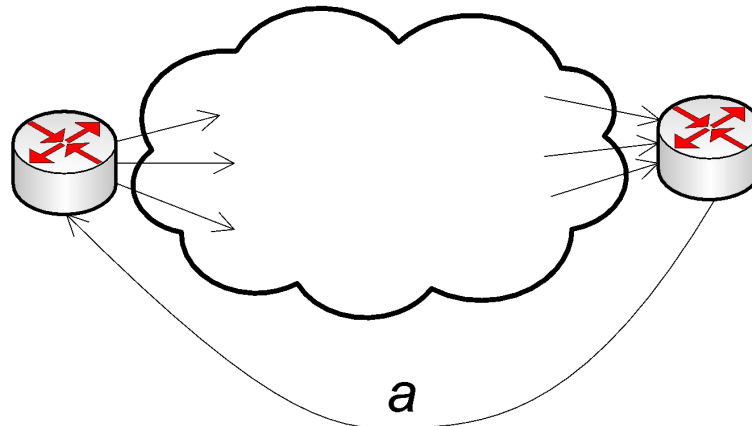


$$\begin{cases} x_{AB} + x_{AC} + x_{AE} = x_{BA} + x_{CA} + x_{EA} \\ x_{BA} + x_{BC} + x_{BD} = x_{AB} + x_{CB} + x_{DB} \\ x_{CA} + x_{CB} + x_{CD} = x_{AC} + x_{BC} + x_{DC} \\ x_{EA} + x_{ED} = x_{AE} + x_{DE} \\ x_{DB} + x_{DC} + x_{DE} = x_{BD} + x_{CD} + x_{ED} \end{cases}$$

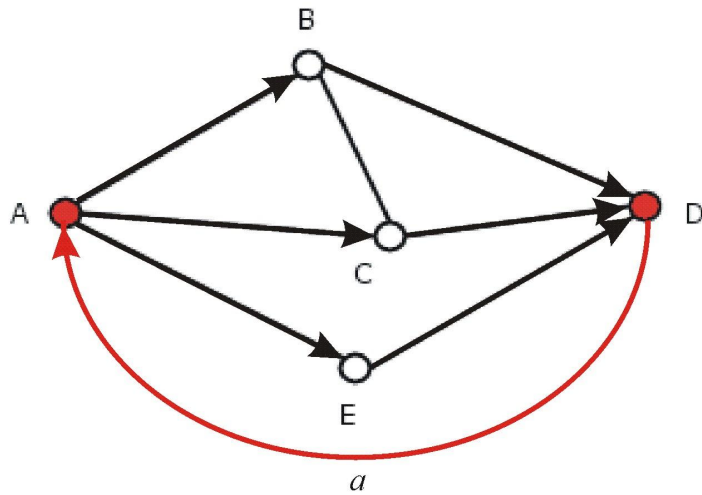
21 элемент в базисе Гильберта

Фиктивная дуга

- Наличие начального и конечного узла
- Удаление неиспользуемых дуг
- Добавление дуги a связывающей конечный узел с начальным
- Поиск контуров проходящих через дугу
- Базисное решение – простой контур



Пример 2

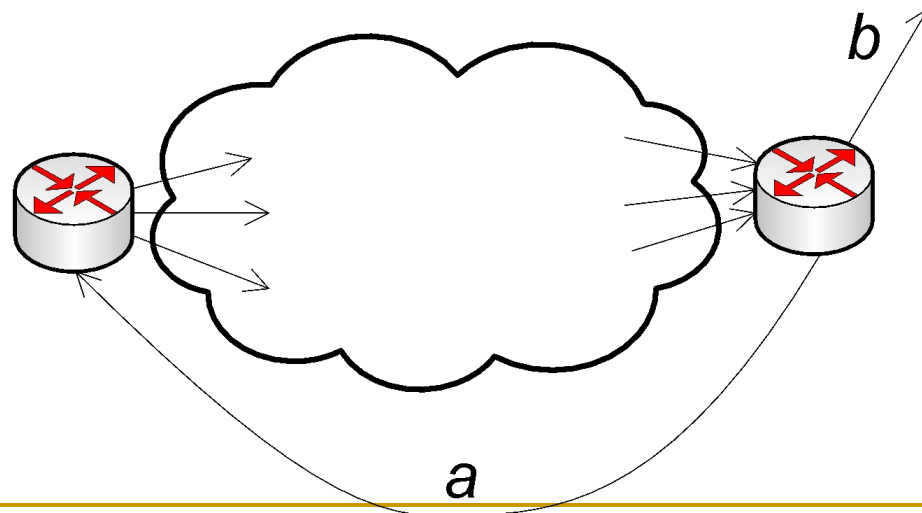


$$\begin{cases} x_{AB} + x_{AC} + x_{AE} = a \\ x_{BC} + x_{BD} = x_{AB} + x_{CB} \\ x_{CB} + x_{CD} = x_{AC} + x_{BC} \\ x_{ED} = x_{AE} \\ a = x_{BD} + x_{CD} + x_{ED} \end{cases}$$

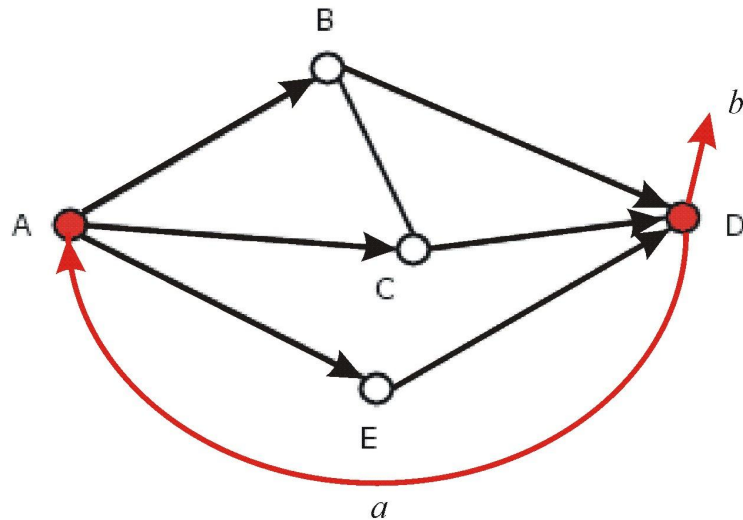
5 элементов в базисе Гильберта

Модель с мерой дуг

- Каждая дуга имеет меру
- Мера дуги a равна 1
- В конечном узле существует сток b
- Поиск маршрутов с минимальной мерой b
- Базисное решение – циклический маршрут



Пример 3



$$\begin{cases} x_{AB} + x_{AC} + x_{AE} = a \\ x_{BC} + x_{BD} = 2x_{AB} + 2x_{CB} \\ x_{CB} + x_{CD} = 2x_{AC} + 2x_{BC} \\ x_{ED} = 2x_{AE} \\ a + b = 2x_{BD} + 2x_{CD} + 2x_{ED} \end{cases}$$

3 элемента в базисе Гильберта

Преимущества модели

- Орграф сети
 - Меры дуг
 - Учет дополнительных ограничений
 - Поиск базисных решений – кандидатов
 - Известные алгоритмы решения систем одАНЛДУ
-

Решение

Псевдополиномиальный алгоритм нахождения базиса Гильберта

Оценки алгоритма решения с помощью
2 алгоритмов генерации систем одАНЛДУ
в web-системе Web-SynDic (<http://websyndic.cs.karelia.ru/>)

Характеристика	Метод	Число неизвестных, m					
		50	100	200	300	500	1000
Время, сек	1	0,005	0,014	0,0369	0,0848	0,2521	1,5463
Память, Кб		1508	1756	2084	2524	3972	8168
Время, сек	2	0,0059	0,0205	0,1123	0,5344	3,0639	23,5981
Память, Кб		1508	1756	2184	2632	4048	10188

Заключение

- Диофантовы модели сети MPLS
 - Более общий метод – учет дополнительных ограничений
 - Применение эффективных алгоритмов для поиска маршрутов
 - Использование модели для маршрутизации в других сетях
-