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)

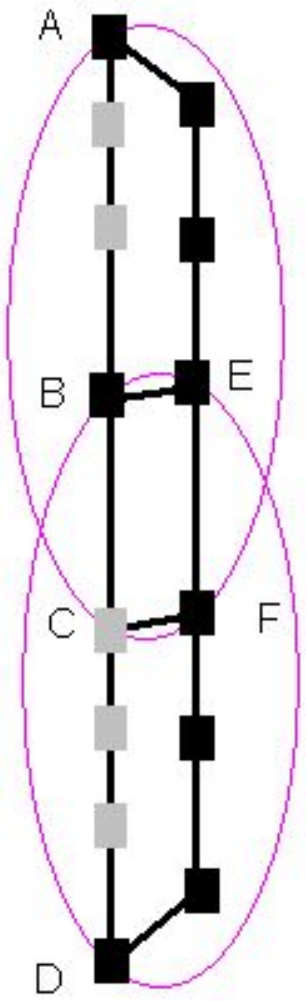
- Подготовка восстановления
  - Перенаправление (rerouting, после потери соединения)
  - Защитное переключение (protection switching, до потери соединения)
- Масштаб восстановления
  - Локальное восстановление (обход точки разрыва)
  - Глобальное восстановление (построение нового маршрута между конечными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

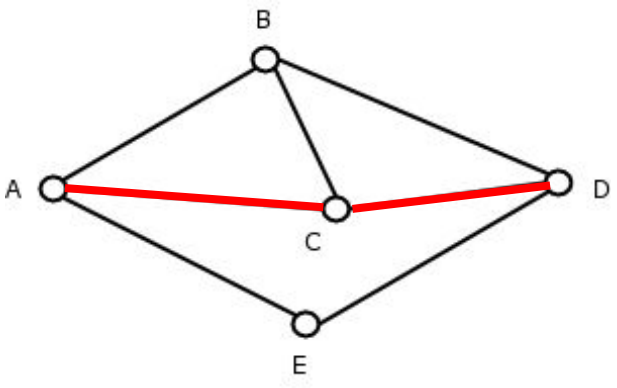


SLSP: Алгоритм

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

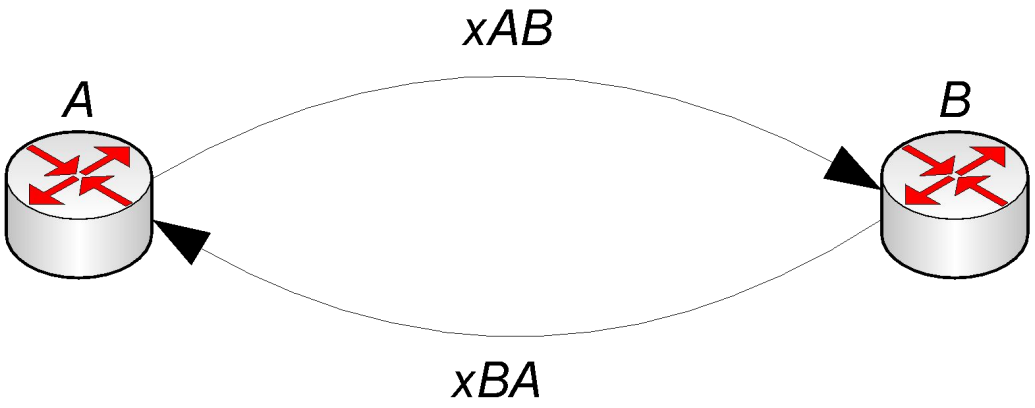
AED

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 *xAB* и *xBA*
- *Вес дуги* a_{xAB}



Линейная диофантова модель

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

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

x_i — Дуги

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

I_k — Исходящие дуги

$k \in S$ — Узлы сети

m — Количество дуг

Интерпретация модели

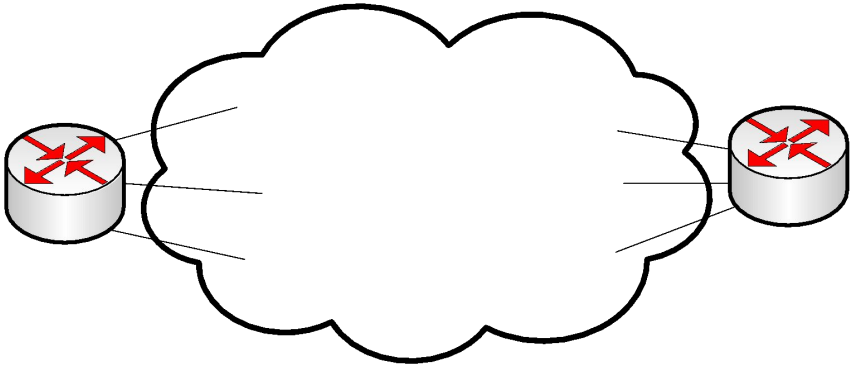
- Вес дуги $a_{ij} \geq 0$
  - Число попыток передачи
  - Коэффициент загруженности
  - Число переходов
  - Приоритет линии связи
- Источник $I_k = \varnothing \quad \sum_i a_{ki} > 0$
- Сток $I_k \neq \varnothing \quad \sum_i a_{ki} = 0$
- Недостижимый узел $\sum_i a_{ki} = 0$

Интерпретация решений

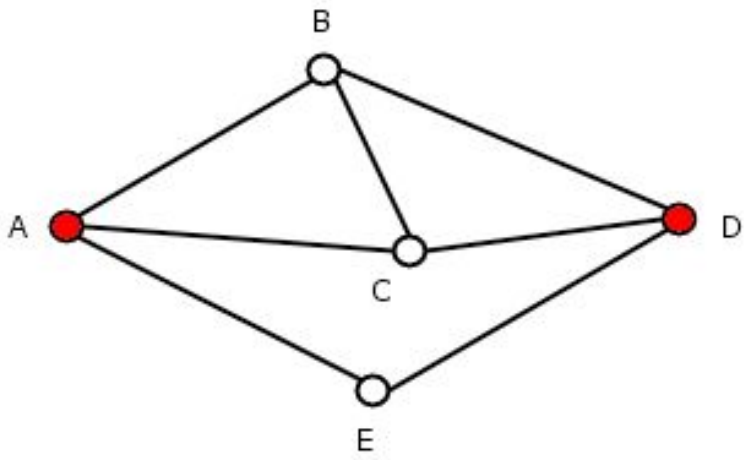
- Решение системы одАНЛДУ = циклический маршрут
- Множество всех решений
- Базис Гильберта – конечное описание всех решений
- Базисные решения – кандидаты на резервные маршруты

Простейшая модель

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



Пример 1

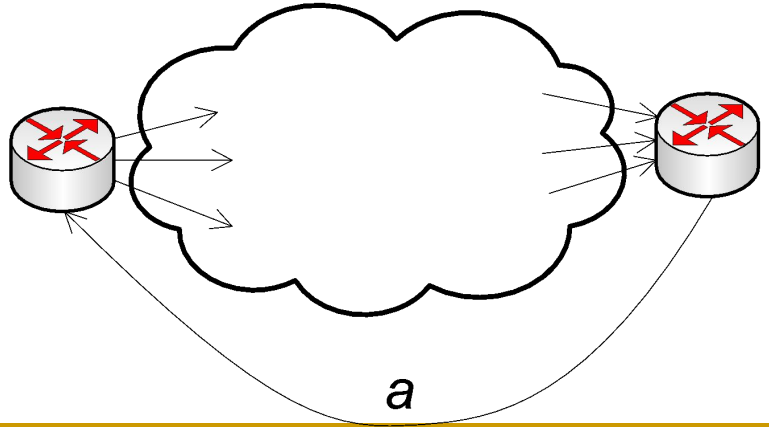


$$\begin{cases} xAB + xAC + xAE = xBA + xCA + xEA \\ xBA + xBC + xBD = xAB + xCB + xDB \\ xCA + xCB + xCD = xAC + xBC + xDC \\ xEA + xED = xAE + xDE \\ xDB + xDC + xDE = xBD + xCD + xED \end{cases}$$

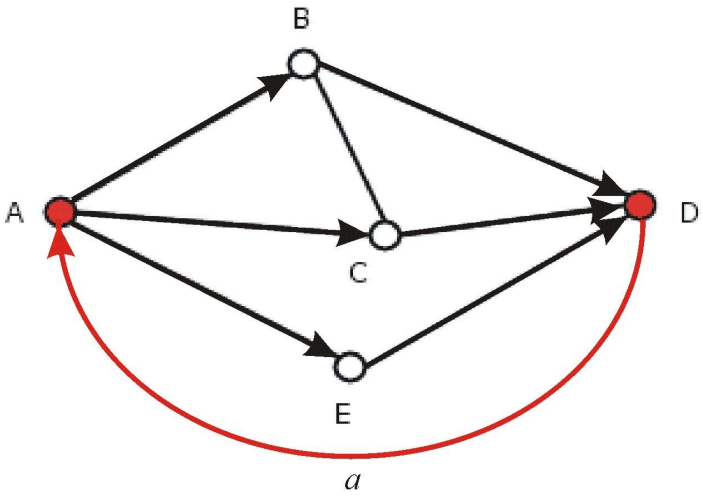
21 элемент в базисе Гильберта

Фиктивная дуга

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



Пример 2

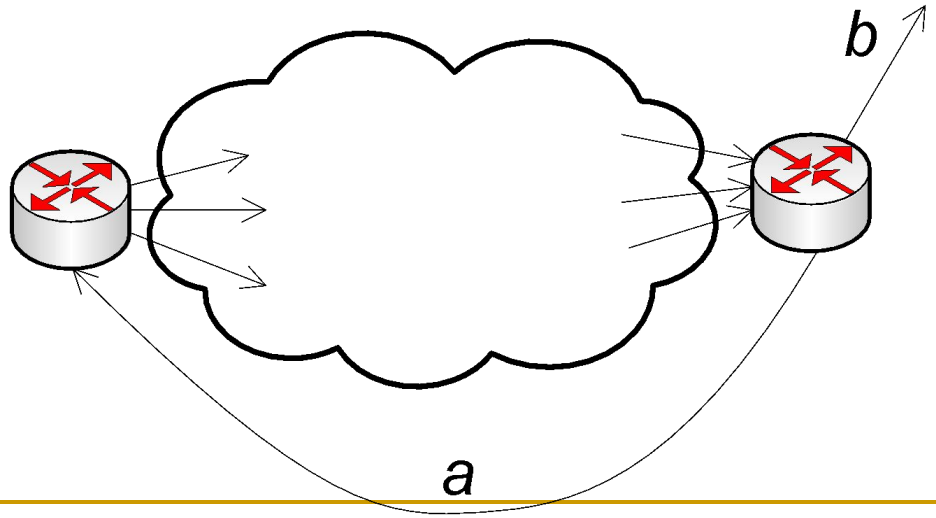


$$\begin{cases} xAB + xAC + xAE = a \\ xBC + xBD = xAB + xCB \\ xCB + xCD = xAC + xBC \\ xED = xAE \\ a = xBD + xCD + xED \end{cases}$$

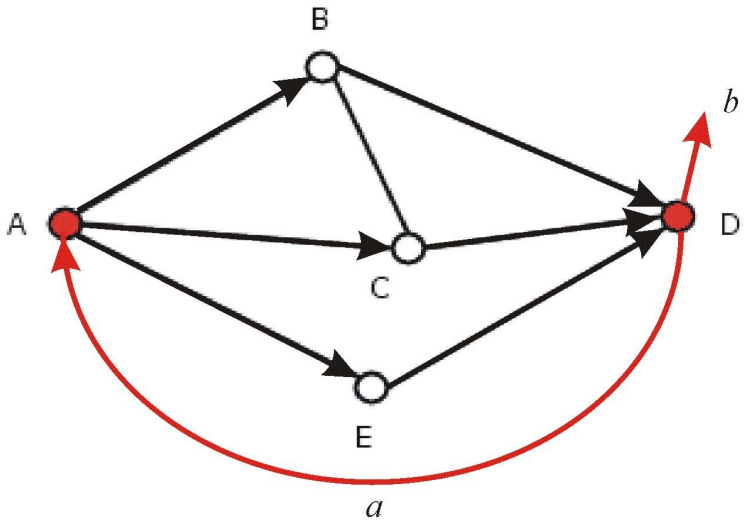
5 элементов в базисе Гильберта

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



$$\begin{cases} xAB + xAC + xAE = a \\ xBC + xBD = 2xAB + 2xCB \\ xCB + xCD = 2xAC + 2xBC \\ xED = 2xAE \\ a + b = 2xBD + 2xCD + 2xED \end{cases}$$

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