

ВОССТАНОВЛЕНИЕ МАРШРУТОВ В ОПОРНЫХ ИНФРАСТРУКТУРАХ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА БАЗЕ MPLS

Кулаков Кирилл Александрович
Корзун Дмитрий Жоржевич
Богоявленский Юрий Анатольевич

Петрозаводский государственный
университет

XIV Всероссийская научно-методическая конференция
"Телематика'2007"
г.Санкт-Петербург, 2007

Актуальность

Приложения:

- Чувствительные к задержкам
- Чувствительные к потере связности

Требования:

- Гарантированное время восстановления
- Учет дополнительных критериев
 - число переходов
 - загруженность линий связи и узлов

Восстановление соединений

- Сеть MPLS (мультипротокольная коммутация по меткам): управление маршрутами пакетов с помощью меток
- Потеря соединения: нарушение линии связи или выход из строя узла
- Задача построения обходного маршрута (поиск маршрута)
- Задача переключения соединения на новый маршрут (активация маршрута)

Базовые методы восстановления (RFC 3469)

- Модели:
 - Перенаправление (rerouting, после потери соединения)
 - Защитное переключение (protection switching, до потери соединения)
- Топология:
 - Локальное восстановление
 - Глобальное восстановление

Локальное восстановление

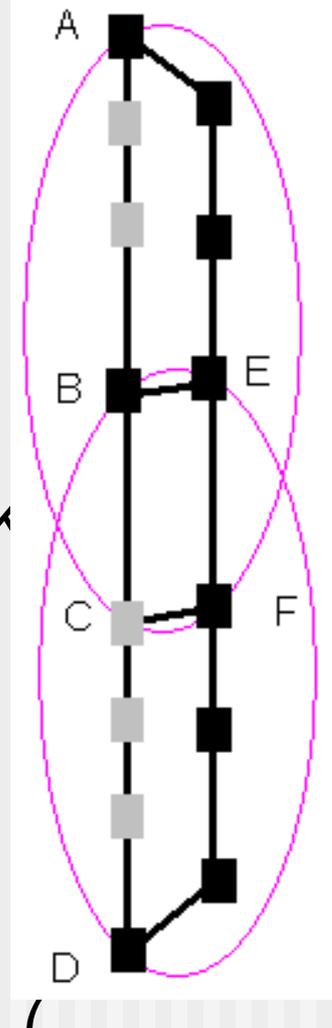
- Преимущества
 - Максимальное сохранение старого маршрута
 - Быстрое восстановление
- Недостатки
 - Ухудшение характеристик после нескольких восстановлений (локальная оптимизация)

Глобальное восстановление

- Преимущества
 - Построение наилучших маршрутов
 - Независимость от истории
- Недостатки
 - Вычислительная сложность

Short Leap Shared Protection (SLSP)

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

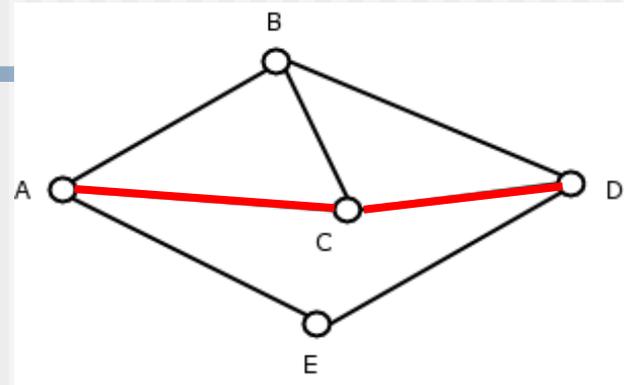


Алгоритм построения резервных маршрутов

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

Пример работы SLSP

Граф сети MPLS



1. Множество простых циклов

2. Множество кандидатов

3. Резервный маршрут

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

ABDCA, ACDEA

AED

Диофантова модель сети MPLS

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

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

$k \in S$ — Узлы сети

x_i — Линии связи

a_{ki} — Мера линии связи

I_k — Исходящие линии

m — Количество линий связи

Диофантова модель сети MPLS

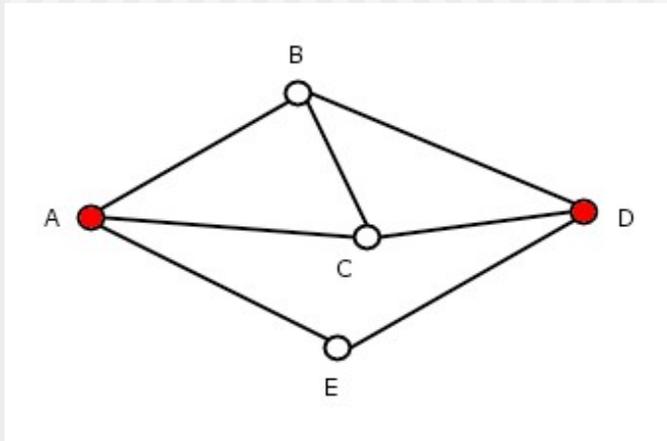
Решения системы одАНЛДУ – базис
Гильберта – контуры орграфа сети MPLS

Общая модель

$$E^m(I^n)x = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{pmatrix} x \quad \begin{matrix} a_{ij} > 0 & \text{— Мера линии} \\ & \text{СВЯЗИ} \end{matrix}$$

Модель топологии сети MPLS

- Основа — матрица инцидентности
- Каждая линия связи YZ разделяется на 2 дуги xYZ и xZY
- Мера всех линий связи равна 1
- Поиск всех циклов сети

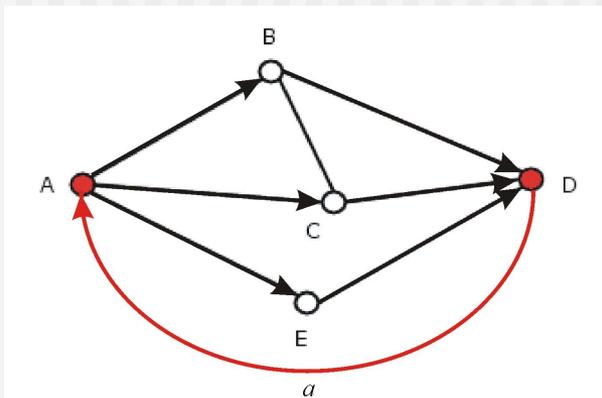


$$\begin{cases} x_{AB} + x_{AC} + x_{AE} = x_{BA} + x_{CA} + x_{EA} \\ x_{BA} + x_{BC} + x_{BD} = x_{AB} + x_{CB} + x_{DB} \\ x_{CA} + x_{CB} + x_{CD} = x_{AC} + x_{BC} + x_{DC} \\ x_{EA} + x_{ED} = x_{AE} + x_{DE} \\ x_{DB} + x_{DC} + x_{DE} = x_{BD} + x_{CD} + x_{ED} \end{cases}$$

21 элемент в базисе Гильберта 12

Модель сети MPLS с обратной связью

- Основа — модель топологии сети MPLS
- Отсечение дуг входящих в начальный узел и исходящих из конечного
- Добавление дуги связывающей конечный и начальный узлы
- Поиск циклов проходящих через дугу a

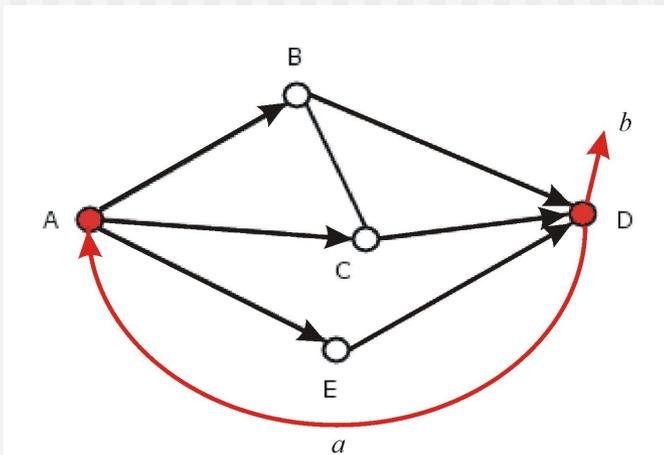


$$\begin{cases} x_{AB} + x_{AC} + x_{AE} = a \\ x_{BC} + x_{BD} = x_{AB} + x_{CB} \\ x_{CB} + x_{CD} = x_{AC} + x_{BC} \\ x_{ED} = x_{AE} \\ a = x_{BD} + x_{CD} + x_{ED} \end{cases}$$

5 элементов в базисе Гильберта ₁₃

Модель сети MPLS с мерой дуг

- Основа — модель с обратной связью
- Каждой дуге назначается мера (стоимость)
- Мера дуги равна 1
- В конечном узле существует сток b
- Поиск маршрутов с минимальной стоимостью b



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

3 элемента в базисе Гильберта 14

Алгоритмы решения систем одАНЛДУ

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

Преимущества диофантовой модели

- Орграф сети MPLS
- Дополнительные расширения (не только базовая маршрутизация)
- Эффективность вычислений
- Учет дополнительных критериев для отсева кандидатов на ранних этапах

Заключение

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

Спасибо за внимание!